

Cold Fusion and the Future

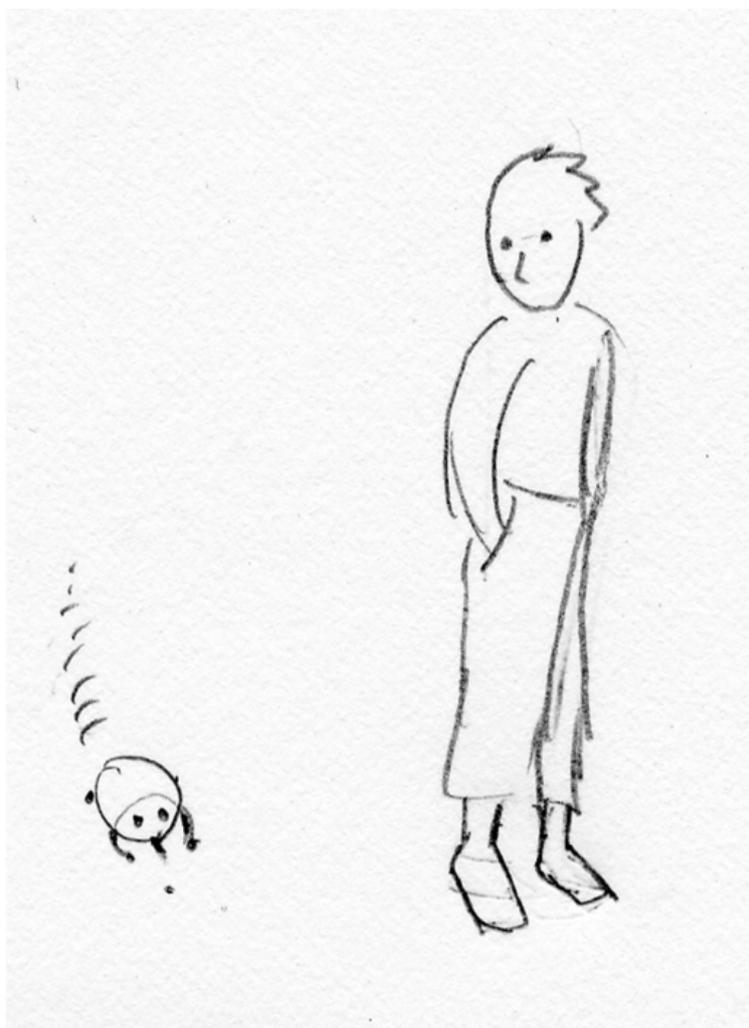
# 冷聚变与未来

Jed Rothwell

[美] 杰德·罗斯韦尔 著

毛智杰 译，张武寿 校译

LENR-CANR.org



Cold Fusion and the Future  
冷聚变与未来

Jed Rothwell

[美] 杰德·罗斯韦尔 著，毛智杰 译，张武寿 校译

Published by LENR-CANR.org, December 2004.

Second Edition, February 2005

Third Edition, March 2006

Fourth Edition, April 2007

Edited by Susan Seddon

Cover illustration by Aya Rothwell

作者已放弃本书版权，读者可免费传播，但最好从下列网站下载使作者知悉本书阅读量及感兴趣的读者数。

本书原文有两个版本，分别是屏幕阅读版：

<http://lenr-canr.org/acrobat/RothwellJcoldfusiona.pdf> (6 MB)

和高清打印版：

<http://lenr-canr.org/ColdFusionAndTheFuturehires.pdf> (15 MB)

本书中文版为：

<http://www.lenr-canr.org/acrobat/RothwellJlengjubian.pdf> (6 MB)

# 目 录

引言.....	1
第一部分 何为冷聚变? .....	7
一、冷聚变简介 .....	7
1. 热量——冷聚变反应的主要特征.....	11
2. 快速了解冷聚变实验.....	14
3. 热聚变与冷聚变的区别.....	18
二、理想能源 .....	21
1. 无害的核能.....	22
2. 先进的热机.....	25
3. 冷聚变动力模块.....	26
4. 如何生产冷聚变模块.....	27
5. 成本与化石燃料的比较.....	28
6. 铂族金属问题.....	33
三、预测的技术依据 .....	34
第二部分 技术和社会变革.....	37
四、普通技术, 日常用品和服务 .....	37
1. 当前能源还不够好.....	38
2. 更加便宜的机器.....	40
3. 不可或缺的能源.....	41
4. 效率仍很重要.....	42
5. 机器将更加强大.....	44
6. 首先用于小型装置.....	45
五、革命性技术 .....	46
1. 大量的新产品.....	48
六、冷聚变的协同效应 .....	49
七、模式的转换 .....	53
1. 新事物对旧事物的模仿.....	53
2. 古尔德间断平衡.....	56
3. 产品的诞生顺序.....	57
4. 苟延残喘的过时技术.....	59
5. 迅速开始的转型.....	61
6. 核心技术.....	62
7. 发展阶段.....	63
8. 颠覆性技术与可持续性技术.....	64
第三部分 产生变革的技术.....	68
八、超大型海水淡化项目 .....	68
1. 海水中有用元素的提取.....	70
九、全球变暖 .....	71
十、神奇的机器鸡.....	76
1. 机器鸡.....	76
2. 入侵物种及其他人为问题.....	84
十一、袭扰型袖珍武器 .....	86
1. 战斗机器鸡.....	91

十二、大规模杀伤性武器 .....	92
十三、前景黯淡的石油工业 .....	96
十四、没有前途的电力工业 .....	99
1. 热电联供 .....	101
2. 独立于电力公司的冷聚变 .....	103
3. 电力成本将大幅下降 .....	106
十五、家用冷聚变 .....	108
十六、农业和可持续发展 .....	113
1. 室内农业 .....	117
2. 水产养殖 .....	125
十七、未来汽车 .....	125
1. 生活在悬崖边的孩子 .....	125
2. 改造机动车 .....	128
3. 整个交通系统的改善 .....	129
十八、航空器、航天器和个人飞行器 .....	135
1. 航空器 .....	136
2. 航天器 .....	141
3. 个人飞行器 .....	142
第四部分 未来 .....	145
十九、悲观主义者的恐惧 .....	145
1. 虚无主义者和反对者 .....	147
二十、失业问题 .....	150
二十一、未来生活憧憬 .....	153
第五部分 附录 .....	160
附录一、专业术语 .....	160
附录二、冷聚变的潜在应用 .....	167
附录三、单位换算 .....	169
附录四、原始资料 .....	171
校对说明 .....	172
校者后记 .....	173
1. 近年来的冷聚变进展 .....	173
2. 热交易——地球热岛效应对冷聚变使用的限制 .....	175
3. 近年来的技术和商业变化 .....	176
4. 其他技术问题 .....	177
5. 冷聚变的前途 .....	178

# 引言

本书目的是让读者知道冷聚变能够帮助我们完成许多了不起的事，其内容既不回顾冷聚变历史也不试图说服读者相信冷聚变，有疑问者可查阅发表在盲评期刊和会议文集上的原始资料，也可以在<http://lenr-canr.org>网站上找到3,500多篇参考文献以及500多篇论文的全文。

已有数百所大学及国家实验室成功重复了冷聚变，实验表明冷聚变是真实存在的，某些情况下实验产生的温度和能量密度足以满足现实应用的需要。冷聚变商业化后可以消除大部分环境污染，每天节约数十亿美元的化石燃料费用。这对于数以亿计生活在赤贫中的人们来说无疑是天赐良机，在富裕国家，它会重新激起人们对未来的好奇和希望。

很不幸，这项研究在美国一直倍受压制，实验得不到资助，论文也无法发表。2004年能源部（DOE）对此进行了审议，虽然官方结论认为是闹剧<sup>1,2</sup>，但可能存在一线希望，因为一些评审者的结论是经过深思熟虑的<sup>3</sup>。尽管如此，为争取些许研究而奋斗还是持续了很多年。本书就是要激励读者，有可能的话投入到这场政治斗争中来。

大多数冷聚变研究者是对科学而非潜在利益感兴趣。他们想知道这一现象如何揭示自然规律以及如何用理论加以解释。但另一方面，公众想知道的是冷聚变能给我们做什么，它能否终结能源危机还是会成为另一个让人失望的传统核能。这不是自私，因为能源危机一年比一年严重，公众对能源的担忧是对的，把人类需求放在第一位也是对的。破坏性的全球变暖可能很快到来，2004年史无前例的反季节台风不断侵袭日本导致濑户内海水位大幅上涨。另外许多严重的政治危机都与能源尤其是石油有关，伊拉克战争可能不是一些批评人士所称的“石油战争”，但石油无疑是直接原因。中东如果没有石油，美国也不会卷入其中。能源问题经常是头条新闻背后的故事，能源生产导致大面积空气污染。在第三世界国家，疾病、痛苦和死亡最大的不可预防因素就是能源短缺。

我不想谈论研究现状，只想展望未来，探讨梦想。我希望读者

---

<sup>1</sup> DOE, *Report of the Review of Low Energy Nuclear Reactions*. 2004, Department of Energy, Office of Science, <http://lenr-canr.org/acrobat/DOEreportofth.pdf>

<sup>2</sup> LENR-CANR.org, Special Collection, 2004 DoE Review of Cold Fusion, <http://lenr-canr.org/Collections/DoeReview.htm>

<sup>3</sup> DOE, 2004 *U.S. Department of Energy Cold Fusion Review Reviewer Comments*. 2004, Department of Energy, Office of Science, <http://lenr-canr.org/acrobat/DOEusdepartme.pdf>

在阅读本书的时候能与作者写作的时候一样愉悦。本书并非认真分析技术研发或市场机会，它与阿瑟·克拉克（Arthur C. Clarke）的非虚构科幻小说杰作《未来简介》一样<sup>4,5</sup>。敏锐的读者会注意到我无耻地剽窃了《未来简介》的许多概念，比如大型海水淡化、海洋采矿、气垫船和自动驾驶汽车等！

虽然书中的预测有些异想天开，但每一个案例都是基于冷聚变的实验结果以及技术改进，如并行处理、薄膜金刚石和碳纤维等。就我所知这里最牵强的预测在物理学上也是可能的。举个离谱的例子，我想有朝一日在拉斯维加斯市中心上方覆盖一个巨大的碳纤维网格状穹顶空调。这样做可能不现实，因为就算使用零成本的冷聚变能源，设备的成本也过于昂贵。拉斯维加斯市民可能也不希望给城市装上空调，但无论如何冷聚变可以实现这一计划，其他能源则根本做不到。

相比较而言有的冷聚变发现更为可靠一些。据我所知，高温钨辉光放电等离子体实验只有大森唯义、水野忠彦<sup>6</sup>、奇里洛（Cirillo）<sup>7</sup>和其他两位学者重复了出来，我并不知道这项工作里面有什么谬误。水野使用最好的仪器在数年里几百次重复出该效应。但是实验如果没有足够广泛的重复性，我们仍无法确认其真实性，基于此的预测也只能是尝试性的。另一方面，数百名研究者在50—150℃低温下重复出来的实验没有任何问题。拒绝承认就等于拒绝实验方法本身。如果冷聚变可以商业化，我们可能看不到强高温冷聚变等离子体，但肯定能看到中温的汽轮机和暖气系统。

冷聚变会改变我们制造暖气、工业干燥炉、市政路灯以及飞机等各种产品的方式。本书只考虑它如何影响汽车、发电机、机器人等少数机器。对于一本书来说，冷聚变本身的争议性还不够，我把注意力集中在那些可能对社会有深远影响、有争议、彻头彻尾难以置信的技术上。举个例子，我建议我们废弃州际公路系统，把它们重新建在地下。我相信读者会觉得讨论这个比游泳池加热器更有趣，也会原谅我这么轻易地忽略这个宏伟工程的成本。以今天的科技水平，建造成本将是天文数字，可能比现有的高速公路系统高百倍。我认为几十年或者几个世纪后这个项目将变得可以想象，成本也会逐渐分阶段下降，随着我们财富增加直到变得可行。小型地下公路，

---

<sup>4</sup> Clarke, A.C., *Profiles of the Future*. 1963: Harper & Row.

<sup>5</sup> Clarke, A.C., *Profiles of the Future, Millennium Edition*. 1999: Indigo. 本版本包括一些冷聚变讨论。

<sup>6</sup> Mizuno, T., et al., *Production of Heat During Plasma Electrolysis*. *Jpn. J. Appl. Phys. A*, 2000. **39**: p. 6055.

<sup>7</sup> Cirillo, D. and V. Iorio. *Transmutation of metal at low energy in a confined plasma in water*. in *Eleventh International Conference on Condensed Matter Nuclear Science*. 2004. Marseille, France. <http://www.lenr-canr.org/acrobat/CirilloDtransmutat.pdf>

如波士顿隧道工程将展现道路地下化的好处并鼓励社会投资新的挖掘和建造技术。随着成本的下降，下几个世纪的某个时候，我希望这个项目能够真正开工建设。

我提出这些荒谬离谱的想法是因为我觉得它们很有意思，最重要的是我对能够解决重大且棘手问题的大胆设想很感兴趣。

《纽约时报》最近报道说能源独立是一个无法企及的目标，很大一个原因是美国消费了世界四分之一的石油产量，自己却只有3%的石油储备<sup>8</sup>。换句话讲《纽约时报》认为我们永远无法找到替代石油的能源，因为他们说的是“无法企及”而不是“短期内无法企及”或“不积极研究20年内无法企及”。冷聚变可以让我们立刻达到这个“无法企及”的目标。它能够给我们带来数十倍或数千倍于现今消耗的能源，仅有的局限性是产生多少废热才不至于危害环境。冷聚变和其它技术结合能解决许多无法处理的棘手问题，如全球变暖、清洁饮用水、亿万穷人的卫生设施、污染、昆虫入侵和其他威胁陆地和海洋的物种以及寻找那些藏匿在荒野中难以抓捕的罪犯和恐怖分子。这似乎很神奇，但我希望能够展示冷聚变的这种能力。

本书不是工程说明书而是预言书。能够解决这些问题的未来冷聚变机器可能与我在这里所描述或设想的完全不通同，我提出的只是原则上能做什么以及可能的解决方案。我很怀疑今天的人们能够理解冷聚变对今后的影响，或者能想象出一小部分应用方式。我们没有经验，也就无从感受使用体验了。总有一天那些一辈子与冷聚变打交道的产品工程师们会把这种能力视为理所当然，他们会本能地知道如何以我们永远想不到的方式来应用它。

1970年，思维最超前的电脑工程师或未来学家也可能想象不到1990年人们能将微电脑装进汽车燃油喷射系统、厨房搅拌机、酒店客房门锁、按摩浴缸、数码相机、智能电饭煲<sup>9</sup>、手机以及其它成千上万的设备上。

计算机专家精通复杂的软件和硬件，但他们对做米饭一无所知。他们认为计算机就是个会计机器或实验室的趁手工具而不是煮米饭的锅。微处理器出现后，电饭煲的制造者发现了如何使用它们。

各地的产品工程师都想方设法把电脑应用到新的地方。回顾过去，这些改进是可以预见的。任何酒店经理或旅客都能看到电脑门禁卡的优点。让未来变得难以想象的不是任何特定的增量改进，而

---

<sup>8</sup> *New York Times*, lead editorial, September 13, 2004, “CAMPAIGN 2004: THE BIG ISSUES Looking for Energy in the Campaign”

<sup>9</sup> 诸如Zojirishi *Neuro Fuzzy*®, Model No. NSBC-E1

是各种机器同时改进带来的效应。

当小到助听器电源大到航空发动机等各种尺寸的冷聚变能源问世后，世界各地的产品设计师就会找到新的应用，这些累积的变化将比电脑革命对我们生活和社会产生更深远的影响。

一些读者认为冷聚变研究者大多是些七八十岁的退休教授，他们士气低沉，还得与苛刻的反对派作斗争，所制备的装置很少能产生大于几瓦的功率，现在讨论冷聚变如何塑造未来毫无意义。冷聚变动力汽车至今还只是个遥远的梦想。但我认为必须满怀希望，对未来富有远见才能使我们在这场漫长不公的斗争中坚持下去。

尽管我想避开政治，但如果我们没有意识到这个课题所陷入的敌对和对学术自由的压制时则没有任何意义。杰出的教授和学者可以自由地选择任何课题，但当他们试图发表冷聚变的正面结果时，他们遭拒稿并禁止进行演讲，甚至受到骚扰并遭发配到仓管员这样的卑微岗位。

美国物理学会（APS）告诉诺贝尔奖得主朱利安·许温格（Julian Schwinger），他将被禁止在APS期刊上发表有关冷聚变的论文甚至信件。诺贝尔奖得主有权发表任何他想发表的东西，许温格以辞职表示抗议，他说：“一致性的压力是巨大的，我就经历过。编辑们因匿名审稿人的恶毒批评而拒绝了论文，审查制度取代公正的评审将是科学的死亡”<sup>10</sup>。

多年以后我向美国APS的一位高级会员询问过这个问题，他告诉我许温格疯了，他竟然相信冷聚变，为了维护他的尊严，他们拒绝了他的论文。必须指出的是，大多数科学家都保持中立。有些人不感兴趣，但多数人似乎持开放的态度。已有成千上万人从LENR-CANR.org网站下载了技术论文。这些论文太专业难懂不会引起其他人的兴趣，我们假设大多数读者都是科学家，问题是学者们没有时间探索每一个新想法，所以他们通常接受《自然》和《科学美国人》等科学期刊或新闻上的评论。

很不幸，一小群有影响力的反对者对大众媒体产生了巨大影响，他们使公众和科学家对这一学科产生了偏见。他们包括《自然》杂志前编辑约翰·马多克斯（John Maddox）、《科学美国人》杂志前编辑乔纳森·皮尔（Jonathon Piel）和现编辑约翰·伦尼（John Rennie）<sup>11</sup>，以及1989年负责调查冷聚变的能源部能源研究顾问委员

---

<sup>10</sup> Schwinger, J., *Cold fusion: Does it have a future?* *Evol. Trends Phys. Sci., Proc. Yoshio Nishina Centen. Symp., Tokyo 1990, 1991.* 57: p. 171. <http://lenr-canr.org/acrobat/SchwingerJcoldfusiona.pdf>

<sup>11</sup> Appeal to Readers, LENR-CANR.org, <http://lenr-canr.org/AppealandSciAm.pdf>

会（ERAB）小组负责人约翰·休伊曾加（John Huizenga）<sup>12</sup>。其他著名的反对者也都在能源部，他们当中许多人从事等离子体聚变研究。美国APS发言人罗伯特·帕克（Robert Park）的指责尤其严厉，思想也相当保守。1991年他在《华盛顿邮报》上谴责冷聚变是愚蠢或谎言的结果，并在2002年重申了这一指控<sup>13,14</sup>。一流的冷聚变研究者给他提供了论文副本，但他拒绝阅读。1999年，当我在美国物理学会的一次会议上碰见他，试图把麦库布雷（McKubre）等人的论文打印稿给他时，他碰都不碰，让文稿掉在地上。

这本书在描述希望而不是预测，冷聚变终将战胜狂热的反对派，不断扫清发展和商业化进程中的技术障碍。虽然我很确定实验是正确的，效应是真实的，但能否战胜反对者，我没有十足把握，这主要取决于两个因素：

正如马克斯·普朗克所说：科学进步是“一场又一场葬礼”。他解释道：“新的科学真理的胜利不是通过说服它的对手让他们看到光明，而是对手最终会死亡，熟悉它的新一代会成长起来”<sup>15</sup>。许多有权势的科学家疯狂地反对冷聚变，他们可能永远不会承认错误，冷聚变研究只有等到他们死去。不幸的是，大多数冷聚变研究人员都是退休的老科学家，他们的死亡速度比对手更快。

其次，在公众采取行动之前什么也不会发生。塞缪尔·弗洛曼（Samuel Florman）写道：

休·比沃爵士（Sir Hugh E. C. Beaver）在1955年第一届国际空气污染大会上追溯了长达700年的英格兰反空气污染运动。几个世纪以来一件件污染投诉、一个个委员会、一篇篇报告都无法有效地解决空气污染，情况不断恶化。最终1952年伦敦雾霾造成4,000人死亡，这为比沃爵士的新调查委员会奠定了基础，该委员会的报告得到支持，并采取了有效行动。他指出不是因为这份报告有多么特别，而是因为公众接受了，教训就是“只有公众舆论才能最终解决问题，只能如此”<sup>16</sup>。

在说服公众之前，他们不会相信也不会进行任何投资行为。

冷聚变也可能不会成功，因此我们必须奋勇向前，通过行之有效的节能技术促进社会改革，采用成熟的替代能源（如风能）来应

---

<sup>12</sup> Cold Fusion Research, November 1989, A Report of the Energy Research Advisory Board to the United States Department of Energy, <http://www.ncas.org/erab/>, <http://lenr-canr.org/acrobat/ERABreportofth.pdf>

<sup>13</sup> Park, R., *The Fizzle in the Fusion*, in *Washington Post*. 1991. p. B4.

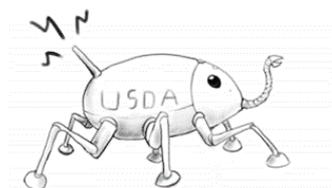
<sup>14</sup> Park, R., Letter to Frank Znidarsic, 2002.

<sup>15</sup> Planck, M., *A Scientific Autobiography*, 1948: Philosophical Library, p. 33 (translated by E. Gaynor)

<sup>16</sup> Florman, S., *The Existential Pleasures of Engineering*. 1996: St. Martin's Griffin, p. 40.

对能源危机。我不会不切实际地倡导投资1,000亿美元来开发冷聚变，我们要给铀裂变技术二次机会。用冷聚变来冒险的代价实在太大，由于赌注极大，我们可以承担一些可控的风险，资助那些重复性好、有前途的冷聚变实验。在全球范围内，我们每天花费37亿美元购买化石燃料，产生0.9夸特（1夸特等于 $10^{15}$ 英热单位或 $1.055 \times 10^{18}$ 焦耳）的能量，而冷聚变用15吨重水就够了，花费大约350万美元。想象一下每天37亿美元能为社会做些什么，如果这笔钱不是花在石油和煤炭上，而是花在住房、教育、食品和基础设施上会产生怎样的效益。每周大约有4.2万名儿童死于水源性传染病<sup>17</sup>，如果他们有足够的燃料烧开饮水、烹煮食物并在冬季保暖，他们的父母很容易就能预防这些疾病。无论阻力有多大，冷聚变研究都是一件值得冒险的工作，也是一份值得为之奋斗的事业。

即使是冷聚变研究者也无法意识到他们的工作会产生多大影响。冷聚变远不止是当今能源系统的清洁替代品，称其为替代品就好比说可联网的奔腾电脑取代了计算尺和打字机。冷聚变的成本会低几个数量级，种类会更丰富，污染也会更少，我们真的难以想象它的好处。



致谢：

本书许多内容都是根据我在《无限能》（*Infinite Energy*）杂志上发表的文章整理和撰写的，在此我要感谢已故编辑，冷聚变先驱尤金·马洛夫（Eugene Mallove，已于2004年去世），编辑苏珊·塞登（Susan Seddon）对本书提出了许多有用的建议，她的修改使本书带有一点英式英语的味道。水野忠彦和大野顺子协助翻译了日文版并提出了许多有益的建议。另外感谢塞尔吉奥·巴基（Sergio Bacchi）将本书翻译成巴西葡萄牙语，毛智杰和张武寿将其翻译成中文。

---

<sup>17</sup> Pruss, A., et al., *Estimating the Burden of Disease from Water, Sanitation, and hygiene at a Global Level*. Environmental Health Perspectives, 2002. **110** (5)

# 第一部分 何为冷聚变？

## 一、冷聚变简介

在大学图书馆或LENR-CANR.org网站的文库中，读者可以找到数百篇从实验角度描述冷聚变的论文和理论文章。由于本书主要介绍潜在技术应用，而不涉及具体的实验，所以本章将用一组常见问题（FAQ）简单介绍一下冷聚变。对于该领域全面的技术分析，我建议您阅读《冷聚变学生指南》<sup>18</sup>。

### 谁发现了冷聚变？

冷聚变是由马丁·弗莱希曼（Martin Fleischmann）和斯坦利·庞斯（Stanley Pons）两位教授于1989年3月正式宣布发现的。早些时候其他学者曾观测到稍纵即逝的实验证据，20世纪20年代，潘尼斯（Paneth）和彼得斯（Peters）以为从金属氢化物的室温聚变反应中检测到了氦，但后来他们收回了这一说法<sup>19</sup>。金英一（Y. E. Kim）认为迪伊（P. I. Dee）在1934年可能已经观测到冷聚变的证据<sup>20</sup>。1981年，大约在弗莱希曼和庞斯开始他们的实验时，水野忠彦观察到来自氘化钡的奇怪带电粒子，在经过一段时间的思考之后，他认为这是仪器错误而排除了该结果<sup>21</sup>。与这些早期研究人员不同的是，弗莱希曼和庞斯观察到清晰的信号并重复了很多次，在经过多年的努力之后，他们在20世纪80年代开发出了相当可靠的技术来重现这种效应。

### 什么是冷聚变？

冷聚变是金属氢化物（金属中溶解了氢或重氢）在一定条件下发生的反应，这个反应产生超热、氦元素和带电粒子，偶尔还会产生极低水平的中子。一些实验中的基体金属转化为其他元素，可在钡、钛、镍和一些超导陶瓷中观测到冷聚变效应。

### 何为超热？

许多化学和核反应都是放热过程。比如，划火柴时通过摩擦加

---

<sup>18</sup> Storms, E., *A Student's Guide to Cold Fusion*. 2003, LENR-CANR.org, <http://lenr-canr.org/acrobat/StormsEastudentsg.pdf>

<sup>19</sup> Mallove, E., *Fire From Ice*. 1991, NY: John Wiley, p. 104

<sup>20</sup> Kim, Y.E., *Possible Evidence of Cold D(D,p)T Fusion from Dee's 1934 Experiment*. *Trans. Fusion Technol.*, 1994. **26**(4T): p. 519. ICCF-4 version: <http://lenr-canr.org/acrobat/KimYEpossibleeva.pdf>

<sup>21</sup> Mizuno, T., *Nuclear Transmutation: The Reality of Cold Fusion*. 1998, Concord, NH: Infinite Energy Press, p. 35

热，火柴会燃烧直到木棍用完，总的来说燃烧释放的热量比输入的摩擦热要多得多。一些气体加载冷聚变装置也有类似情况，一旦反应开始，不需外部输入就会源源不断地产生热量。其他一些装置需要从外部输入电能以维持反应。输入电能产生一些热量，而冷聚变反应产生额外或多余的热量。如输入2瓦电能，反应器产生3瓦的热，多出的1瓦就是超热。

实际上热量是冷聚变最为重要的一面，一些研究人员——包括弗莱希曼——认为它是核反应而不是化学反应的最好证明。人们对冷聚变产生的热量总有很多误解，下一节我将对此进行详细讨论。

### 冷聚变是化学能还是核能？

总而言之，冷聚变不是一个化学过程，它不消耗任何化学燃料也不产生化学灰分，下一节中将详细说明。冷聚变反应器内主要含有水，水是一种惰性物质，不会燃烧或发生任何放热化学反应。反应器内含有的金属氢化物会产生少量化学热，但这些热量无法与反应器产生的热量相提并论，它产生的热量是相同尺寸化学电池的数十万倍。某些情况下大的能量是极低输出功率长时间累积的产物，这意味着可能出错。研究人员会错误地认为自己测量到的超热是50毫瓦，而实际上却为零。但一些实验产生了更高的功率，范围从500到10,000毫瓦（0.5到10瓦），测到这么多热会更令人信服。

与化学灰分相比，冷聚变确实产生核产物，包括氦、少量中子以及某些情况下的氚和基体金属的嬗变，有时会产生剧烈的物理变化，如金属熔化或蒸发。（见第2章第6节）

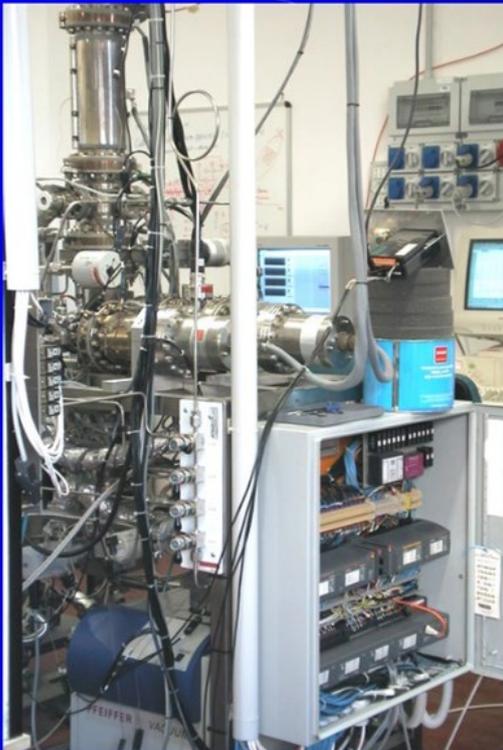
### 为什么冷聚变反应器不会变得非常热？

有人认为核反应产生巨大的能量，就像裂变反应堆内部或太阳光球层一样会非常热。但也不是非得如此，裂变中不纯的镭或铀摸起来很冷，几乎不热，它们内部一个个原子发生裂变后产生数百万电子伏特（eV）的能量，而化学反应中的原子最多释放3至4电子伏特能量。

化学反应在短时间内可能比核反应产生更多的能量：燃烧的火柴比不纯的镭更热。发生核反应的镭原子很少且相距很远，化学样品中大量原子同时参与了化学反应，镭持续数千年保持温暖，而火柴短时间内达到高温，半分钟就燃烧殆尽。

## 冷聚变是简单廉价的台式实验吗？

世界著名的电化学家理查德·奥里亚尼（Richard Oriani）说过，冷聚变实验是他50年职业生涯中做过最难的实验，其实验费用从50,000美元到2,000万美元不等。它们的复杂程度不同，从弗莱希曼和庞斯使用的等温外套半镀银试管到意大利国家核实验室（ENEA）和三菱重工的精密定制质谱仪。这些实验通常需要六个月到两年的时间才能完成。弗莱希曼和庞斯宣布该实验结果时称之为实现核聚变“相对简单”的方法，他们的意思是与建造一个耗资十亿美元的托卡马克反应堆相比较而言很简单。



### 主要特点

- ✓ 高精度质谱仪 (Balzers QMA 410)
- ✓ 两台离子泵：
  - 高温采用SAES公司CapaciTorr B 1300 (ST185 TiV合金 600 g) (300 - 400° C)
  - 室温采用SAES GP200 MK4 (ST707 合金170 g)
- ✓ 机械泵：
  - 主泵: 德国普发 TMU 261分子泵
  - 前级泵: 德国普发 TMU 071 + MD4
- ✓ 没采用低温吸附泵
- ✓ 自动化系统为 (Field-point + LabView)
- ✓ 压力控制回路

图1.1. 一套昂贵冷聚变实验的一部分，它位于意大利弗拉斯卡蒂（Frascati）的意大利国家核实验室（ENEA），该实验装置采用在线高分辨率质谱仪检测氦（<http://www.frascati.enea.it/nhe/>）。

冷聚变很难重复，反应通常不稳定，就像湿木头突然起火一样飘忽不定<sup>22</sup>。在潜在的突破性实验中，对物理反应的理解不佳通常导致这样的结果。1948年到1952年，晶体管只存在于稀有昂贵的实验室设备中，很难进行复制。一位科学家回忆说<sup>23</sup>：“早期有人敲门就能使晶体的性能发生变化。1955年，成百上千万个晶体管开始投

<sup>22</sup> 很可惜，今天依然如此——校者注

<sup>23</sup> Riordan, M. and L. Hoddeson, *Crystal Fire, the Birth of the Information Age*. 1997: W. W. Norton & Company.

入使用后，大批量生产的晶体管中任何一个都比1952年最好的实验室原型更加可靠”。

### 冷聚变真的如此之好吗？

一些质疑者认为冷聚变太好了，好的让人难以置信，他们怀疑冷聚变研究人员犯了一厢情愿的错误。然而他们应该铭记迈克尔·法拉第的格言：“如果符合自然规律，任何美好的事物都是真实的”。人类已经发现了无数古人认为不可思议的奇妙事物。

现代物理学家认为冷聚变太好所以不可能是真的，那只是因为他们无法理解它是如何工作的。他们不完全了解高温超导的机理，但他们接受它的存在。在1939年以前，没有人知道太阳中的聚变是如何工作的，在1952年发现DNA之前，没有人知道活细胞是如何繁殖的，然而人们从未声称太阳不存在，也从未声称细胞不能繁殖。

许多人也暗自怀疑，认为冷聚变太好所以不可能是真的，因为大自然从来都是有因果效应的。他们认为每件事都是困难的，总是要为大自然的慷慨付出代价。无论现在还是今后，资源都是短缺的，因此我们必须与其他人竞争获得自己的份额。这些人的思维还处于石器时代。我们唯一缺乏的是知识与科技，知识就是力量，有了知识我们可以释放地球上无法想象的巨量物质和能源，直至整个太阳系。在遥远的未来，当星际旅行成为常态时，每个人都可能拥有千顷居住空间，比如在火星上拥有一处巨大的庄园，或者在地球上拥有一座多层高塔。总有一天，机器人能够听懂人话并完成诸如清洁和烹饪等家务。它们的价格会逐渐下降，每个人都能拥有十几个机器人仆人。只要找到方法，能源就是最丰富的自然资源。太阳产生的  $2.8 \times 10^{26}$  瓦能量足以在一天内气化地球，足够给每个人提供人类所有能耗近四千倍的能量<sup>24</sup>。

### 高昂的实验费用是不是意味着聚变机器会很贵？

非也！大部分冷聚变实验支出是仪器，这些仪器用于测量热量、带电粒子、元素嬗变和中子。冷聚变装置不需要高精度或超纯材料，它们和珠宝一样都是手工组装的，其公差在毫米级。一些粗糙的手工装置产生了明显的、可用的热量。从某些方面来讲，未来批量生产的冷聚变装置成本应该和碱性电池或镍镉电池差不多。

---

<sup>24</sup>计算如下：太阳输出功率为  $2.8 \times 10^{26}$  W，人类使用能源的总功率为  $12 \text{ TW} = 1.2 \times 10^{13}$  W，世界人口是  $6 \times 10^9$  人。太阳输出功除以人类使用的总功率等于  $2.3 \times 10^{13}$ 。该数值除以人口得到 3,888，即人均太阳功率是人类使用总功率的3,888倍。

## 冷聚变如何商业化？

这需要知情公众的支持，参见本书[引言](#)。除非人们对政府和科学机构施加压力，否则美国不会允许这方面的研究，欧洲和日本也会主动阻止其探索。

开始认真研究之后可能还需要很多年才能发现一套理论并完全控制反应。如果反应不完全可控，如果我们不能确保它永远不会产生贯穿性辐射或其他危险的副作用，人们似乎不太可能接受商用冷聚变装置。

## 全部取代传统设备的成本是多少？

不会花销任何额外费用，所有的老设备都会逐渐磨损并在更换时用冷聚变型号来代替。汽车的寿命为5至10年，冷聚变过渡可能需要10年左右，在人们发现汽油动力汽车不再方便的最后阶段替换会加速（见第7章第2节）。建立冷聚变装置生产线的初始成本会很高，但是冷聚变比化石燃料动力更简单便宜，运行成本几乎为零，因此总体上将节约大量资金。

### 1. 热量——冷聚变反应的主要特征

在弗莱希曼和庞斯二人宣布冷聚变后不久，弗莱希曼说：“热是反应的主要特征”。热是最容易测量的效应，而最可靠的迹象是冷聚变的核过程。冷聚变与其他大多数核反应完全不同，后者会产生强烈的放射性（有些则不然，参见第2章第1节）。放射性通常比热更容易检测，普通核反应产生一两瓦的热量就会释放出很强的辐射，任何站在无屏蔽反应器附近的人都会受害而死去。

热量是冷聚变最重要的问题之一，它受到很多人甚至是科学家的误解。不管热是由化学反应、核反应还是摩擦引起的，其热效应都一样，都可以用量热计测量，量热计无法区分这些热源。

一根重0.2克的火柴燃烧25秒产生大约40瓦共约1,000焦耳或1 Btu（英热单位）的热量。一根同样重的蜡烛产生8,400焦耳热量。燃烧火柴或蜡烛需要氧气，但冷聚变装置不需要氧气。氢气和氧气燃烧时，最好的配比是0.022克的氢气和0.178克的氧气，反应生成0.2克的水，释放出3,133焦耳热量，没有一种燃料在封闭容器中可以产生比这更多的能量。

大部分冷聚变阴极的体积与火柴棍或硬币差不多。假设重0.2克的冷聚变钷阴极输出1瓦热量，50分钟产生3,000焦耳能量，理论上仍在化学反应范围内（3,133焦耳），实际上钷这种物质不可能产生这么多的化学能。如果两个小时反应还很强烈，就可以排除化学

反应的可能性。一些类似重量的冷聚变阴极连续几周产生1瓦或2瓦的热量输出，总计达百兆焦耳，少数达到50到300兆焦耳。

冷聚变阴极中确实含有少量化学燃料，该阴极是一种吸收氢或重氢（即氘）的金属氢（氘）化物。当氢吸收到金属内后电解池上部空间内会残留一些游离氧。电解停止后金属中的氢逐渐析出，并在顶部空间被点燃，确实产生了一点热量（见图1.5）。钯比任何金属更容易吸收和释放氢气，19世纪钯的氢化物曾用作打火机，0.2克钯阴极饱和吸氢也只能容纳约286焦耳的燃料<sup>25</sup>。

许多实验产生的热量很小以至于很难测量，但有些实验产生的热量却异常大，有时高达输入的3倍（超过300%）。负载气体的阴极，在没有电输入情况下，如果反应器产生了热量且温度比周围高也意味着产生了超热。

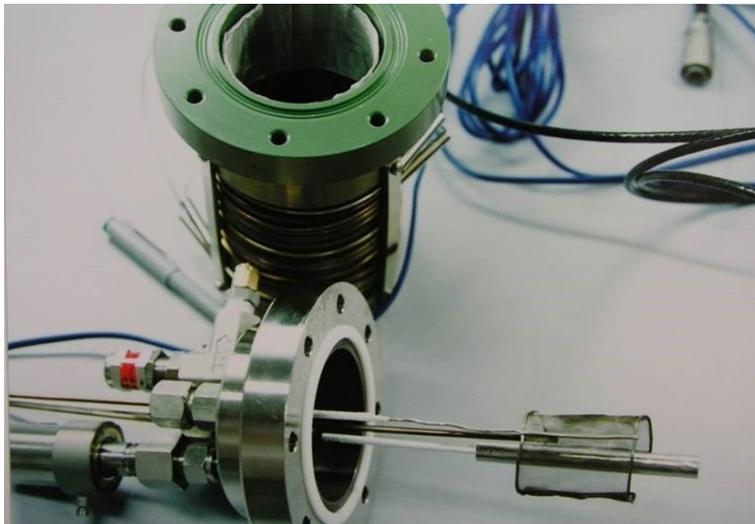


图1.2. 水野教授的反应器，阴极（右下）为一个100克的圆柱。该反应器断电后产生了85兆焦耳热量，整个实验过程至少产生97兆焦耳热量，足以使一辆普通美国汽车行驶27公里（每加仑汽油22.4英里条件下行驶16英里）。

水野报道了迄今为止最引人注目的一个实验：一个重100克的钯阴极在一个月内连续产生数瓦共计12兆焦耳超热，后来反应器变得越来越热，功率远超100瓦。水野开始警觉起来，电解池太热了，即使断开电源也无法冷却下来，反应器产生了所谓的“死后发热”。水野把反应器放在水桶里冷却，一桶水一夜间就蒸发了；第二天早晨补充水，又蒸发完了；接着再补，电解池最终在完全冷却之前的11

---

<sup>25</sup> 计算如下：0.2克 = 0.002摩尔Pd。以1:1的比例充满氢，0.002摩尔的Pd中有0.002摩尔的H（0.002克），转换成0.001摩尔的H<sub>2</sub>O。水的生成热是每摩尔285,800焦耳。除非温度很低，Pd:H很难达到1:1。在Pd-H的 $\alpha$ 和 $\beta$ 混合相中，钯打火机中Pd:H比例不超过1:0.5。换句话说，一个1盎司（28克）的钯打火机所含的能量大约相当于20根火柴。

天内总计蒸发了37.5升水。蒸发这么多水需要85兆焦耳能量，在断开电解电源之前，电解池产生了12兆焦耳超热，因此在整个实验期间，阴极至少产生了97兆焦耳热量，热值相当于2.8升汽油（0.74加仑）。实际释放的热量远超过于此，因为塑料桶并不是绝热的，且在早晨加水之前已经暴露在空气中好几个小时，这期间散发的热量大概也有几百兆焦耳。

上面这个电解池和其他电解池一样，尺寸与饮料罐相当，里面装满重水，阴极是一个100克的钷管，含有微量的化学燃料，整个反应不产生任何化学燃烧的灰分。火柴、煤、汽油或任何能产生97兆焦耳的燃料会填满好几个这样的电解池，在释放如此多能量后，它们都会变成灰烬。

冷聚变阴极就像一根永不熄灭的火柴，连续发热数周都不消耗任何燃料。由于研究者急于检查阴极和电解池内的其他材料，一般在反应一个月后结束电解。如果产生超热的电解池一直运行，我们有充分理由认为它能一直产生数周，数月乃至数年的超热。

科学家们只知道一种现象可以这样：即核反应——放射性衰变、裂变或聚变。冷聚变不可能是任何形式的化学能，它一定是核能或者某种从未发现或研究过的能源。

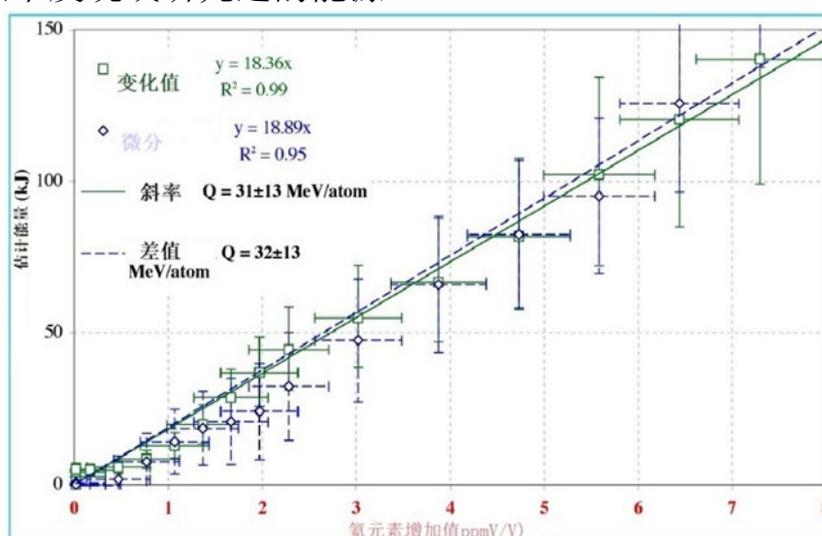


图1.3. 斯坦福国际研究所（SRI）对凯斯（Case）实验的氦测量结果，摘自麻省理工学院哈格尔斯坦（P.L. Hagelstein）等人2004年发表的《金属氘化物的新物理效应》。  
<http://lenr-canr.org/acrobat/Hagelsteinnewphysica.pdf>

迄今为止，大多数迹象表明冷聚变实际上就是核聚变，它生成氘、中子、氦等核产物。我们已知它可以将阴极中的原子转化为其他元素。当氘-氘发生聚变时，它产生的能量是固定的，每次氘-氘聚变反应产生24兆电子伏的能量，每克氘释放345,000兆焦耳能量<sup>26</sup>。

<sup>26</sup> S. K. Borowski, NASA Technical Memorandum 107030 AIAA-87-1814, "Comparison of

水野的电解池产生了97兆焦耳能量，约把0.3毫克的氘转化成了氦。不过这个电解池无法用来捕获或检测生成的氦，所以我们无法证明是否产生了氦。但其他实验测量到相同比例的氦，由于这些实验产生的能量比水野少得多，因此氦很少，现代仪器能够很准确地测量到这些氦。迈尔斯（M. Miles）等人首先在中国湖海军武器实验室确认氦产物正比于超热，此后其他几个实验室确认了该发现。图1.3显示SRI的冷聚变实验中氦与能量的比值接近氘等离子体聚变的计算值。

我们知道，由于氘逐渐转化成氦，电解池几乎可以无限地产生能量，且氦在电解池内可以持续存在数年甚至几个世纪。阴极会经历微小的元素嬗变，但变化速率很小，会持续数年。偶尔的阴极如嬗变热、蒸发或熔化会使反应突然停止（见第2章第6节），研究人员必须在制造商业电解池之前学会如何防止这种情况发生。

冷聚变的核反应副产物氘和中子比传统等离子体聚变预期少了11个数量级，因此无法用已有的理论解释。原因可能是室温下金属晶格中的条件与太阳内部完全不同，正如许温格所说，“冷聚变的环境与热聚变的环境不一样”<sup>27</sup>。

## 2. 快速了解冷聚变实验

冷聚变研究使用各种量热计，其中最有趣的一种叫做流量量热计，它就像咖啡机一样一端流入冷水另一端流出热水，温差乘以流过的水量就是样品产生的热量。量热计原理简单，但实际操作起来很复杂，图1.4展示的是流量式量热计的照片。



图1.4. 埃德蒙·斯托姆斯（Edmund Storms）建造的量热计。由于停电会毁掉实验，所以使用了右下角所示的DieHard®不间断电源，实验尽量使用普通的材料和仪器。然而实验从来都不便宜，无法小打小闹。

Fusion/Antiproton Propulsion Systems for Interplanetary Travel,” Table 1, “Cat-DD” data, <http://gltrs.grc.nasa.gov/reports/1996/TM-107030.pdf>

<sup>27</sup> Schwinger, J., *Cold fusion: Does it have a future?* Evol. Trends Phys. Sci., Proc. Yoshio Nishina Centen. Symp., Tokyo 1990, 1991. 57: p. 171. <http://lenr-canr.org/acrobat/SchwingerJcoldfusiona.pdf>

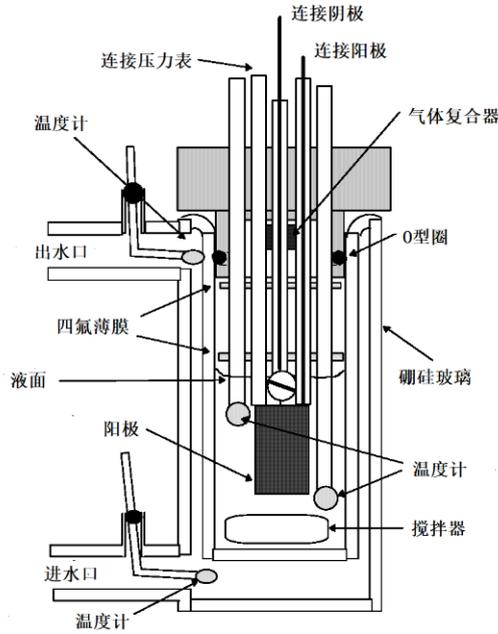


图1.5. 图1.4量热计中的电解池和流动冷却水套。

图1.5显示的是木箱内电解池示意图，电解池由两层硼硅酸耐热玻璃嵌套而成，电解池内盛有电解液，外夹套内盛有冷却水。冷聚变用的正极和负极浸泡在电解液中，电解池底部装有磁力搅拌器和传感器以保证电解液温度均匀。除了测量电解池中电解液温度的热电偶外，还有一对热电偶用来测量外部夹套出入口水温。为了防止爆炸，顶部空间的气体复合催化器将电解池产生的氧气和氢气转化为水。

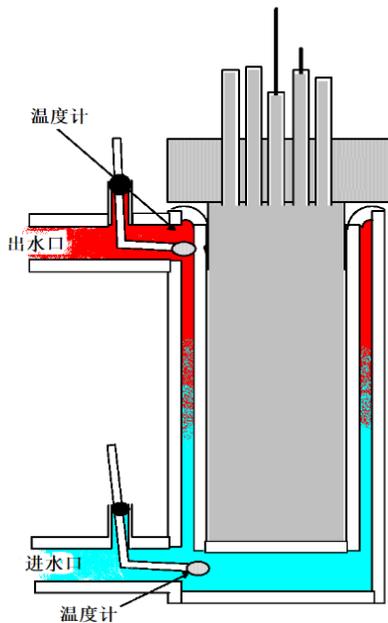


图1.6. 一个仅显示了外层冷却水套的简化量热计示意图。

图1.6是示意图的简化版，只显示流过冷却水的夹套，进入夹套底部的水是冷的，从顶部流出的水是温的，底部热电偶测量入水口温度，顶部热电偶测量出水口温度，例如：

功率计显示电解池内的电解功率为2.3瓦

夹套内的冷却水流量是每分钟30毫升

进水口热电偶测得温度是24.31°C，出水口热电偶测得温度是26.6°C，温差（出口温度减去进口温度）是1.29°C。

$30\text{毫升水} \times 1.29^\circ\text{C} = 38.7\text{卡热}$ ，或162.5焦耳

162.5焦耳除以60秒得到功率2.7瓦

$2.7\text{瓦输出} - 2.3\text{瓦输入} = 0.4\text{瓦超热}$

如图1.4所示，整个电解装置放在一个木盒内，木盒外又套了一个木箱，这样做可保证木箱内部 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 的恒温。这有点类似于俄罗斯套娃，电解池外是流动水的夹套，夹套外是保温瓶，保温瓶外是木盒，木盒外是木箱。

图中没有显示其他设备，比如水泵、虹吸管和可准确到每分钟20毫克水流量的电子称以及各种功率表和记录流量、输入功率、进出口水温的电脑等。

整个系统在工作时运行得很好，但它就像一个经常出问题的HO比例（1:87）电气化铁路模型<sup>28</sup>，你必须时刻关注，经常校准。这就是为什么研究者们更喜欢现代化的全电子塞贝克（Seebeck）量热计。

质疑者会以为上述例子中某些地方搞错了，如测量的水流量不准确，实际流量是每分钟26而不是30毫升，这样的话输入输出功率平衡，没有超热产生。此外他们也会怀疑功率计损坏，实际输入功率是2.7而不是2.3瓦，入口热电偶测的温度值太低或者说出水口没有完全混合导致热电偶测量到了暖层水温，这些问题都会产生0.4瓦特超热的错误读数。显示的错误读数同样有可能是负0.4瓦特，研究者会立即认为这种情况是仪器错误，因为如此强烈的持续吸热反应是不可能的（阴极首次加载氘时会有一个短暂的吸热反应，这在大多数量热计中都显示得很清楚，典型的小阴极吸热量远小于0.4瓦，且不能长时间吸热）。粗心的实验者可能犯这些错误，或者是这些错误的一些组合，这就是为什么实验必须在许多不同的实验室使用经过仔细测试标定的设备且一遍又一遍地重复。

冷聚变实验中使用的这种量热计出现错误的可能性很小，例如

---

<sup>28</sup> 如果读者不知道什么是HO比例铁路模型，那可能是1980年后出生的。

测量水流量的电子秤可以精确到10毫克，只要操作员经常检查电子秤确保其能够正常工作便可以测量出30.01毫升与30.02毫升之间的差别，因此不太可能出现把30毫升当成26毫升这种错误。同样，实际测量的功率也不是刚好2.3瓦，微电脑功率计测量直流电能精确到毫瓦，但测量复杂波形的电功率依赖于专业级别的仪表，这些仪表经过制造商的校准和认证，其售价高达16,000美元。多数量热计即使是零点几瓦特也可准确地测量出来。此外许多不同的实验室使用不同类型的量热计反复测量。就算质疑者怀疑流量量热计操作复杂，但其他类型如静态塞贝克量热计在冷聚变实验中也测到了超热现象。换句话说，超热不可能是流量量热计人为设计造成的，也不可能是单纯一个学者犯的错误。

搭建量热计是实验中比较容易的部分，熟手几个月就可以完成，困难的是筛选、准备和随后利用电子显微镜和质谱对阴极的分析，这个阶段可能需要几个月甚至几年的时间。质疑者经常把冷聚变实验描述为简单的，任何高中生都能完成的工作（事实上在俄勒冈州有一群很有天赋的高中生在做实验，他们为当地大学的一个暑期项目工作）<sup>29</sup>。批评人士一再将冷聚变电解池描述为装满金属钯的罐子<sup>30</sup>。2001年，《新闻周刊》的一位记者用虚构的事实和错误的描述凑成了一篇短文<sup>31</sup>：

与等离子体聚变相比，冷聚变科学家们使用了一种极其简单的装置，一个装满水的玻璃瓶以及一个像电池一样连接的两个电极等。

许多有效的实验依赖于微弱的测量信号，这为冷聚变研究者所声称的微量且模棱两可的结果找到了合理的依据……

首先，我们所看到的量热计并不像一个罐子那么简单，里面的阴极虽然小，但它与半导体或高温超导体一样复杂，有时需要几个月来制备和分析，其次冷聚变研究者（不是热聚变学者）并没有声称他们产生了极少的能量，实验产生的能量是巨大的，达到了易测量的功率水平。事实上，许多冷聚变实验输出功率用1850年的仪器就可成功测得，人们也在没有输入功率的情况下测得热产生。麦库布雷观察到持续超过300%，达到90个标准偏差的超热信号，他表示，“这样的效应既不微小也不短暂”<sup>32</sup>。

<sup>29</sup> *High School Students Do Cold Fusion*, <http://lenr-canr.org/Experiments.htm#HighSchoolStudents>

<sup>30</sup> Chang, K., “U.S. Will Give Cold Fusion Second Look, After 15 Years,” *New York Times*, March 25, 2004. 该记者试图写一篇客观而公正的文章，却使用了“罐子”等贬损性词语，虽然没有侮辱研究者，但这种荒谬的描述却很多。

<sup>31</sup> Beals, G., “Science: Pining for a Breakthrough,” *Newsweek*, October 15, 2001

<sup>32</sup> McKubre, M. C. H., et al., *Development of Advanced Concepts for Nuclear Processes in Deuterated*

### 3. 热聚变与冷聚变的区别

发生在太阳内的热聚变就是等离子体聚变，它与前述冷聚变一样将氘聚变生成氦并释放出相同级别的热量。除非采用钢或铅进行屏蔽，热聚变反应在输出1瓦热量时也会产生足以杀死观测者的中子流。托卡马克反应堆会向周围环境辐射，产生与铀裂变反应堆一样多的危险放射性废物，这比先进轻水裂变反应堆还要多<sup>33</sup>。未来的实验性ITER托卡马克反应堆耗资约50亿美元<sup>34</sup>，没人知道建造一个实际运行的反应堆需要多少钱，也许数百亿到数千亿美元，这会是历史以来最昂贵的发电设备。因为托卡马克反应堆成本太高，所以只能建造有数的几个，它放射性太强，我们只能慎重地将其建在远离城市的地方，产生的电力也必须通过长途传输或者转化为氢气通过管道输送<sup>35</sup>。

数千名全职科学家以每年花费10亿美元的代价对热核聚变研究了将近60年但没有取得任何实质性进展。热核聚变的研究经费都来自政府，企业和投资者对这项技术没有太大兴趣。冷聚变研究持续了16年，每年花费大约10万美元，大部分费用都是由几十名科学志愿者和退休教授自掏腰包进行的。它已经取得了巨大进步，比等离子体聚变技术更接近实用化，将来则更不用说。

最大的等离子体聚变反应装置功率为10.7兆瓦，比任何冷聚变装置产生的能量都要大得多，但它只持续不到一秒，释放大约6兆焦耳的能量<sup>36</sup>。有几十次冷聚变实验产生的能量比这更多，前面提到有些产生了数百兆焦耳热量。大多数情况下冷聚变释放的热量要小得多，一般不超过几瓦，但会持续几周或几个月，直到产生的能量慢慢超过热聚变。也许这种比较不公平，因为等离子体聚变研究者并没有尝试产生大量的能量，他们试图实现另外两个目标：盈亏平衡和自持。盈亏平衡指反应器输出的能量等于维持反应所需的输入能。在自持或“完全点燃”的反应中反应器运行不需要进一步输入功率。盈亏平衡是近50年来热核聚变的圣杯，大多数观察人士认为这个目标还很遥远，有人将等离子体聚变研究比作建造一个能够抵达太空的热气球。冷聚变在宣布后的几年里就实现了盈亏平衡和自持，它的输出能大于电学输入能，而气相冷聚变反应器没有外部输入只

---

*Metals*, EPRI TR-104195, Research Project 3170-01, August 1994

<sup>33</sup> Krakowski, R.A., et al., *Lessons Learned from the Tokamak Advanced Reactor Innovation and Evaluation Study (ARIES)*. 1993, Los Alamos National Laboratory.

<sup>34</sup> 这只是初期评估值，2016年时已飙升至180亿欧元——校者注

<sup>35</sup> U.S. Department of Energy, NREL, *Wind Energy Resource Atlas of the United States*, <http://rredc.nrel.gov/wind/pubs/atlas/>

<sup>36</sup> Strachan, J.D., et al., *Fusion Power Production From TFTR Plasma Fueled with Deuterium and Tritium*, PPPL- 2978, 1994, Princeton University Plasma Physics Laboratory.

有输出，它们可以实现自持发热。

等离子体聚变反应堆的成本远远高于冷聚变反应器。出于技术和经济原因，为整个城市服务的等离子体聚变电站只能做得非常非常庞大。一些观察人士认为，它们必须建造得非常大，十几个就可以满足美国的电力需求，而冷聚变设备可以做成任何尺寸。等离子体聚变电站将比类似容量的传统电站更大更复杂。图1.7所示的只是试验性反应堆，它并不产生高功率密度，对于这样一个庞大的设备来说10.7兆瓦功率还是太小了。大多数实验装置都是小型化而不是大型化，对于实验托卡马克来说，除非它建得巨大否则就无法工作。这不是一个中试发电厂，因此没有配发电机，只有托卡马克和用来测量反应的仪器。事实上还没有人开始研究俘获托卡马克辐射并将其转化为有用热量的实用方法。一个15兆瓦初始热功率的火车头或直升机发动机比这个小得多，冷聚变功率密度很高，可以做得与内燃机一样紧凑。

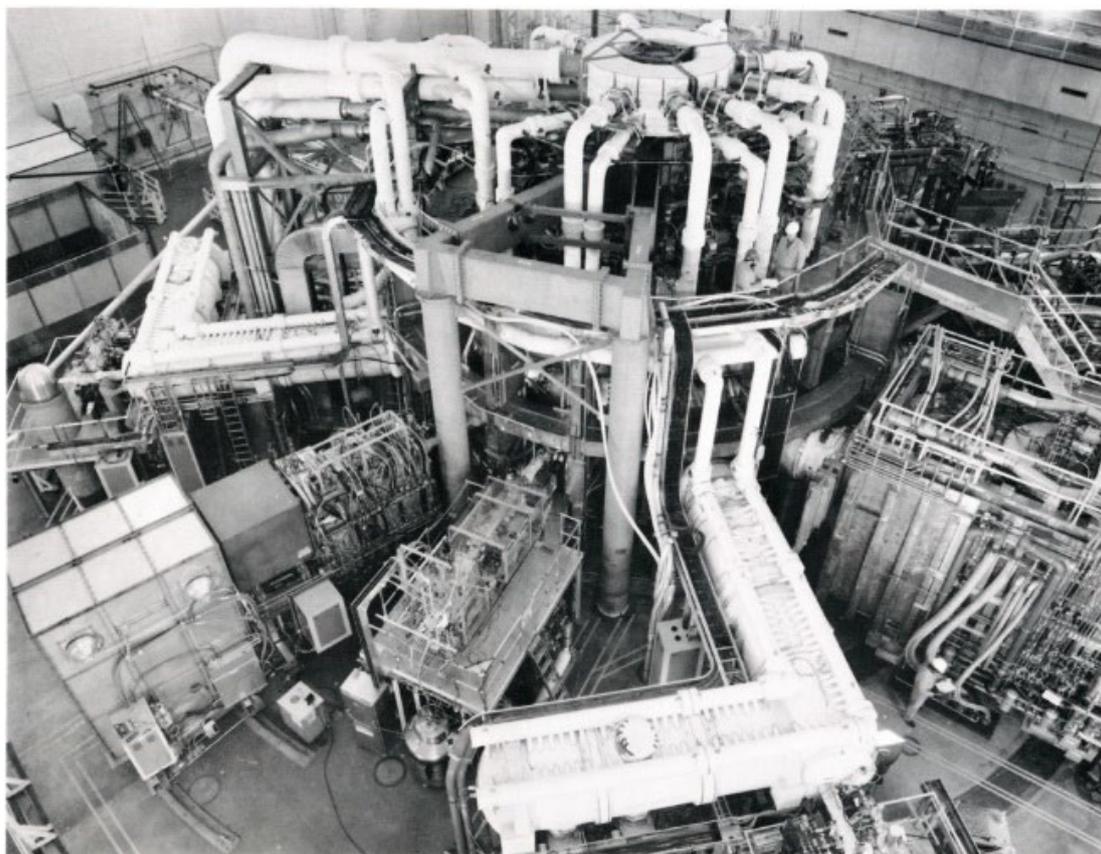


图1.7. 美国能源部普林斯顿大学等离子体物理实验室的托卡马克聚变试验堆（TFTR），注意右下角的人。这台仪器的建造成本约为10亿美元，每年运行成本为7,000万美元。它在一次实验中产生了6兆焦耳热量，创造了热核聚变的世界纪录。图片来自1991年普林斯顿大学等离子体物理实验室发表的《综述》。

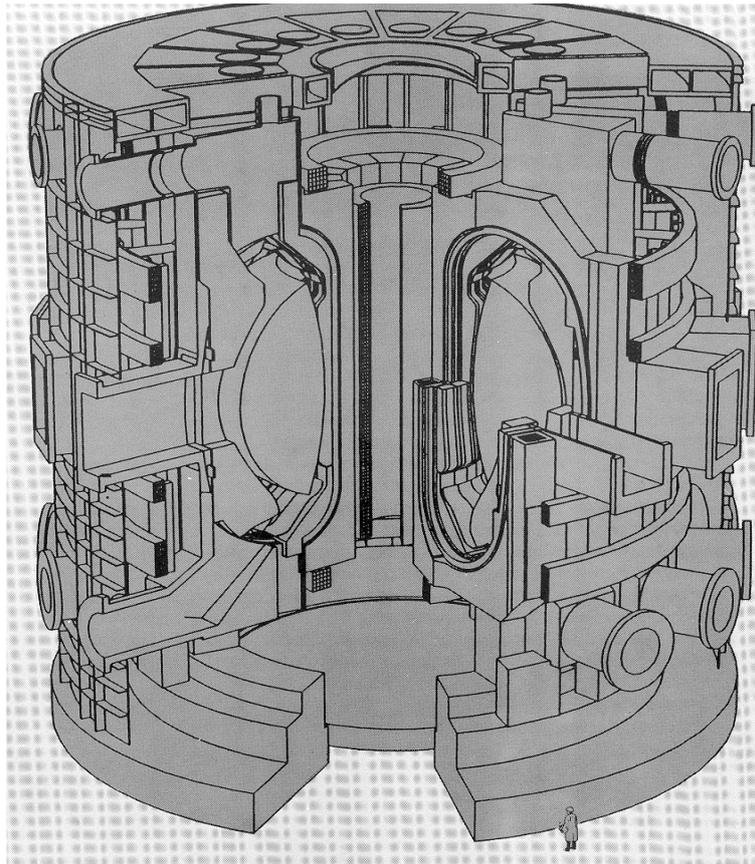


图1.8. 1991年设想的未来国际热核实验反应堆（ITER）托卡马克装置，注意右下角的人，ITER预计将耗资50亿美元。图片来自1991年普林斯顿大学等离子体物理实验室发表的《综述》



图1.9. 左边蓝色的塞贝克量热计内有一个典型的冷聚变实验装置。图片为波特兰州立大学约翰·达什（John Dash）教授的实验室，由Dan Chicea摄，B. Zimmerman供图。这个量热计要6,000美元，包括设备在内成本大约为5万美元。大多数实验由志愿者和退休教授运行，一些实验产生了50到300兆焦耳热量，实现了热核聚变60年来未能达到的两个目标：盈亏平衡和完全点火。

## 二、理想能源

冷聚变可称之为理想能源，它不仅不污染环境且燃料取之不尽，它比传统能源便宜数千倍且尺寸很紧凑。紧凑意味着高的能量和功率密度，按重量计算它比石油煤炭或其他化学燃料高一百万倍，一次少量加注的重水燃料可使反应持续数十年。功率密度至少与铀裂变反应堆堆芯一样，裂变需集中建造巨大且严密保护的反应堆，而冷聚变引擎和汽油引擎一样轻巧。

冷聚变的优势如此显著，让人们觉得难以置信，然而它并没有独特的优点，下面表格中其他能源也有各自优势。

表2.1. 不同能源对比。

	无污染	安全	资源永不枯竭	资源无限	燃料成本低廉	反应器成本低	结构紧凑	选址无限制	全天候工作	技术成熟
化石燃料						✓	✓	✓	✓	✓
水电	✓	✓	✓		✓	✓	✓			✓
风能	✓	✓	✓		✓					✓
太阳能	✓	✓	✓		✓					✓
核裂变	(1)		✓	✓	✓		✓	(3)	✓	✓
等离子体聚变	(2)		✓	✓	✓		✓	(3)	✓	
冷聚变	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

- (1) 虽然裂变堆在运行过程中不会产生污染，但铀矿开采则不然，放射性废物和乏燃料的处理是一个费用昂贵的难题，另外高放射性核废物和乏燃料也可能用于恐怖袭击。
- (2) 根据洛斯阿拉莫斯 (Los Alamos) 国家实验室的研究，等离子体聚变反应堆会产生与传统裂变堆差不多的核废物，它们在商业上无法与先进的裂变堆竞争，在环境、安全和健康 (ES&H) 方面也无很大优势<sup>37</sup>。
- (3) 因为存在灾难性故障的风险，裂变反应堆通常建在远离城市的地方，等离子体聚变反应堆可能产生大量危险的放射性废物，所以把它们建在人口集中的地方是不明智的。
- (4) 全天候工作意味着能源可以根据需要供给。太阳能无法晚上发电，但我们可以将太阳能或风能转化为氢气储存起来以备不时之需，当然这会增加成本。水力发电必须在干旱时减少发电，所有能源系统必须定期关闭以进行维护。

风力发电、太阳能发电和水力发电都没有明显污染，它们的能量来自太阳，取之不尽用之不竭，然而我们能从中获取的能量却有限，且往往远离需要能源的地方。河流会持续流动数十亿年，因此水电也是无限的，在发达国家几乎已经没有合适的河流蓄水发电。

<sup>37</sup> Krakowski, R.A., et al., *Lessons Learned from the Tokamak Advanced Reactor Innovation and Evaluation Study (ARIES)*. 1993, Los Alamos National Laboratory.

太阳能功率密度低，发电时断时续，夜间或恶劣天气下无法发电。理论上南达科他州、北达科他州和德克萨斯州的风能可以供应美国所有的电力<sup>38,39</sup>。但很不幸，南、北达科他二州远离人口中心，电力无法传输到数千公里之外。风能可以用来生产氢气，氢气可以通过管道输送到很远的地方供燃料电池发电。在发电厂储存氢气会增加一些优势，但成本太高，需要长时间来实施，且需要成千上万的风力发电机，其数量与美国长途商用卡车差不多。风能在欧洲更有希望，来自北海的近海风能可为欧洲提供的电力相当于目前的四倍<sup>40</sup>。

撇开理论偏见不谈，从严格的工程角度看，冷聚变与其他热源相比没有任何独特的地方。它没有火炙热，但阳光和它一样成本低廉且取之不尽。它比化学燃料能量密度高100万倍，但铀也可以做到。它绝对安全，但阳光、风力或水力发电也可以说很安全。可是没有任何一种能源同时具备冷聚变的所有优点，冷聚变并不像科幻小说里所说的那么可怕，它不会像裂变反应堆堆芯那样产生致命的辐射。虽然它无法像核弹那样产生巨大的爆炸，但人们对反应失控略有担心，如后面第12章所示。

## 1. 无害的核能

冷聚变属于核能，不会产生贯穿性辐射或放射性副产物，乍一看似乎不太可能，因为许多人认为所有核能与裂变和聚变一样都会产生危险辐射。钷-238的核装置只产生热量，并不产生辐射或有害废物，它产生的阿尔法辐射很容易用铝箔或其他薄如纸片的物品屏蔽。冷聚变也会产生阿尔法粒子（氦核），也很容易屏蔽。钷-238可以持续数十年释放有用热量，美国宇航局<sup>41</sup>用它制成放射性同位素热电发电机（RTG）为航天器提供动力<sup>42</sup>。RTG非常坚固，曾安装在火箭上，火箭发射后由于故障坠海，结果RTG从海底取回后完好无损，又用于另一枚火箭载荷上。

RTG本身无害，处理起来相当安全，但钷-238同位素非常稀少且很难分离，每公斤要数百万美元。这种相对安全的同位素必须从数吨极其危险的钷和铀中分离出来<sup>43</sup>，[bookmark43](#)RTG只是刚好使用了其中少部分安全的金属，并没有整体性减少放射性物质或风险，

---

<sup>38</sup> U.S. Department of Energy, NREL, *Wind Energy Resource Atlas of the United States*, <http://rredc.nrel.gov/wind/pubs/atlas/>

<sup>39</sup> American Wind Energy Association, <http://www.awea.org/>

<sup>40</sup> Danish wind industry Association, <http://www.windpower.org/en/core.htm>

<sup>41</sup> NASA, 也译为美国国家航空航天局——校者注

<sup>42</sup> NASA, Space Radioisotope Power Systems, *Multimission Radioisotope Thermoelectric Generator*, April 2002, <http://spacescience.nasa.gov/missions/MMRTG.pdf>

<sup>43</sup> 估计成本在每公斤100万到1,000万美元之间。美国能源部正在建设一个新工厂分离<sup>238</sup>Pu，这将花费15亿美元。在工厂全生命周期内，它将生产150公斤<sup>238</sup>Pu及5万桶危险核废物。参：Broad, W., *U.S. Has Plans To Again Make Own Plutonium*, in *New York Times*. 2005.

剩余的金属必须进行处理。

图2.1是执行航天任务的卡西尼号中使用的RTG，其中的钷-238的半衰期为88年，RTG不像冷聚变，它的放射性衰变无法关闭，所以这张照片中的反应堆已经很热了，并且还将持续发热几百年。传统的核反应堆需要高度屏蔽，右边的女人永远不能站在它旁边。卡西尼号有三个这样的RTG发电机，每个有8公斤钷-238，每克钷-238产生0.56瓦热量，总输出为4,480瓦，由于转换效率低，其电能输出只有285瓦<sup>44,45</sup>。冷聚变电解池中的钷产生相当高的功率密度，可以使用更高效的热机，285瓦的冷聚变发电机将更加紧凑小巧。

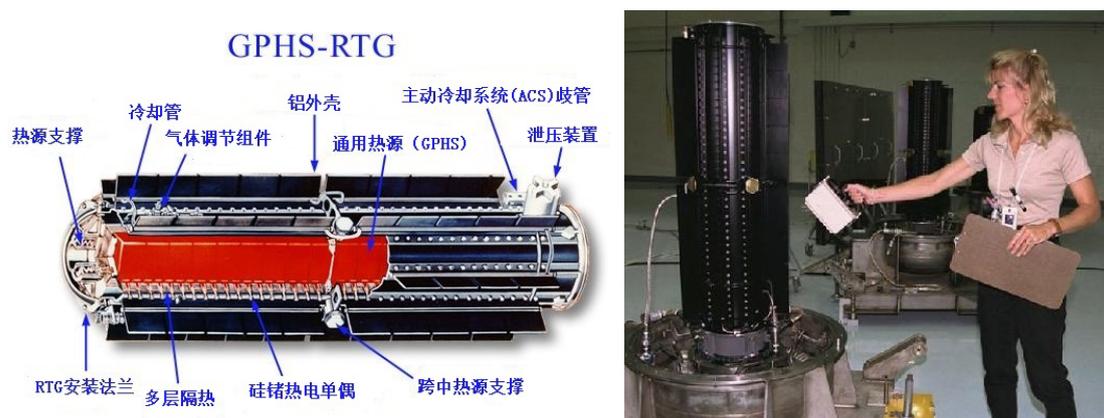


图2.1. 用于NASA卡西尼号任务的通用放射性同位素热电发电机（GPHS-RTG）。

小型RTG还用作心脏起搏器电池（见图2.2），它们已成功地植入数百名患者体内。其寿命大约20年，比化学电池长得多。除非故意磨碎金属起搏器并吸入其灰尘，否则病人没有摄入钷的风险<sup>46,47</sup>。由于担心病人死后可能发生的意外，它们已下架。如不取出心脏起搏器并妥善处理，可能危及他人健康。

<sup>44</sup> Uranium Information Centre, Melbourne, Australia, Plutonium, Nuclear Issues Briefing Paper 18, <http://www.uic.com.au/nip18.htm>

<sup>45</sup> NASA Vision Missions, Nuclear Systems Program Office, “Project Prometheus,” <http://spacescience.nasa.gov/missions/npsfactsheet.pdf>

<sup>46</sup> NASA, Environmental Effects of Plutonium Dioxide, <http://saturn.jpl.nasa.gov/spacecraft/safety/appendc.pdf>

<sup>47</sup> Sutcliffe, W. G., et al., *A Perspective on the Dangers of Plutonium*, Lawrence Livermore National Laboratory, April 14, 1995, UCRL-JC-118825, <http://www.llnl.gov/csts/publications/sutcliffe/118825.html>



图2.2. 钷动力起搏器，左上角插槽里的钷已经移除。几百个体内植入该电池的病人没有产生任何不良反应，冷聚变装置能缩小到该尺寸甚至更小，也能放大到任何需要的尺寸。<http://www.orau.org/ptp/collection/Miscellaneous/pacemaker.htm>

冷聚变装置的性能类似于NASA的RTG或钷起搏器，只不过制备它的材料不是稀有的同位素而是常规的金属。用于冷聚变反应的金属一开始都是无害的，在一些实验中使用后就具有了轻微的放射性，一些电解池产生了氚，但专家们相信商业电解池可以屏蔽这两种物质，即使产生了少量的氚，也不会对公众健康造成影响，办公大楼出口标识处所含的氚比冷聚变池中还多。家用和公用设备中也含有微量的放射性物质，如烟雾探测器中的镅（烟雾探测器是一种阿尔法粒子探测器，当阿尔法粒子被烟雾吸收时就会发出警报，它简单便宜，灵敏可靠）。某些建筑物地下室也会富集氡气等天然放射性物质。到目前为止，煤炭是最大的放射性污染源。全世界每年燃烧的煤炭大约释放8,960吨放射性钍和3,640吨放射性铀<sup>48</sup>。冷聚变不会把这么多放射性垃圾释放到环境中，它只会消耗1,200吨氘，即使1,200吨都能变成氚（这是不可能的）也不会像煤一样糟糕。无论如何放射性物质很难泄漏，因为电解池会像今天的汽车电池一样严格密封，汽车电池充满了危险的酸，但它们很少泄漏或造成伤害，冷聚变电解池应该同样可靠。从废弃电解池中分离和回收任何轻度放射性物质并不困难，如果还有辐射隐患，电解池可以安装类似烟雾探测器的警报器。

摄入钷-238会有健康风险，因为阿尔法粒子会逐渐损害紧挨着的组织。如果吸入钷碎片，它会卡在肺里，几年后可能致癌。钷-238放射性衰变无法停止，而冷聚变反应关闭后会停止释放阿尔法粒子，因此即使一个人在严重事故中摄入少量冷聚变阴极，也不会发生钷碎片所造成的组织损伤。

<sup>48</sup> Gabbard, A., *Coal Combustion: Nuclear Resource or Danger*. Oak Ridge National Laboratory Review, 1993. 26(3 & 4), <https://www.nrc.gov/docs/ML0932/ML093280447.pdf>

## 2. 先进的热机

卡西尼号上的热电发电机非常可靠。1972年NASA首批安装在先锋10号上的RTG在深空持续完美地运行了30年。其可靠的原因是没有运动部件，包括后来开发出的老式等离子体电子管在内的其他类型热电装置的可靠性都差于这种固态温差发电机。在遥远的将来，所有的电力都可能来自冷聚变热电发电机。热电发电机现在效率低成本高，它们只能把5%到10%的热量转化为电能，剩余的是废热，一些实验性原型机的转换效率达到了20%，包括冷聚变研究者彼得·哈格尔斯坦在内的一些科学家表示，他们可能已经发现了更高效的热电装置，其效率可能达到50%至80%。这比高性能的燃气轮机和其他热机都高很多，对于冷聚变来说是理想的装置，单这点就可以节约大量的化石燃料。

在等待这些理想设备面世的同时，我们可以使用冷聚变来驱动传统小型发电机。冷聚变产生热量不需多少成本，高效发电机将使它们体积更加紧凑、温度更低、运行更安静。卡西尼的RTG耗资数百万美元，即使价值500美元也不是一种实用的家庭发电方式，它只能产生285瓦的电能，不足以让一台微波炉运转。它重75公斤，产生4,000瓦的废热，你需要10到20个这样的电池来为你的住宅供电，产生大量的废热就像是在后院或地下室放了一台马弗炉。

冷聚变可以通过两种带有运动部件的先进热机——小型涡轮机和斯特林发动机——来发电。

30到60千瓦功率的微型涡轮机——即小型涡轮发电机——正在研发并用于楼宇和建筑，这种涡轮机的发电机、压缩机和涡轮都在一根轴上，部件比传统涡轮机少很多，涡轮通过强制气流运转，没有轴承也不需要润滑，大大减少了磨损和维护。一家公司已经安装了3,000台这样的机器<sup>49,50</sup>，它们体积和冰箱一样，与普通发动机不同的是它们可以使用种类繁多的燃料，包括天然气、丙烷、沼气或煤油，我们可以使用冷聚变产生的蒸汽代替燃烧气体或液体燃料。

NASA正在开发斯特林同位素发电机（SRG）来取代上述RTG。SRG有活动部件，不会像RTG那样持久，但它们更轻巧，这对宇宙飞船来说很关键。更大的25千瓦斯特林发电机还在研发中，它们可用于聚光太阳能发电，或与外部燃烧器一起制备小型发电机。这些都是封闭自给低维护性机器，有冰箱大小，使用源源不断的氢气工作，其四个汽缸活塞和发电机都放在一个装置内。它们比光伏太阳能电池效率高很多，是冷聚变的理想选择，它们能利用设备外部产

---

<sup>49</sup> Capstone Turbine Corporation, <http://www.microturbine.com/index.cfm>

<sup>50</sup> Stirling Energy Systems, Inc., <http://www.stirlingenergy.com/>

生的热量（阳光或外部燃烧），我们可以用冷聚变产生的热量取代外部燃烧。

### 3. 冷聚变动力模块

商用冷聚变装置会是什么样子？第一眼看上去它就是一个白色大保温水箱，与燃气或电热水器一样，位于气体燃烧器所在位置的是一个12千瓦的冷聚变模块，按照冷聚变的功率密度计算这是完全可行的。

冷聚变研究者汤姆·本森（Tom Benson）描述了重型冷聚变模块可能的模样：

冷聚变模块体积相当于一个大型卡车电池或一个小型复印机，它通过一扇门，几个人或小型叉车就能搬动。冷聚变模块由10片或更多的固体活性电解质片组成，可能是陶瓷或复杂的纳米结构金属氢化物。每个薄片由大表面积的铂电极连接，薄片空隙内充满了由压力系统控制的氘气。传感器会监测温度、压力、电解质的化学成分或相应的控制变量。控制系统根据这些信息并基于内部存储的数据或程序判断冷聚变反应并调整其输入电功率、气体压力、电解质内化学物质量从而保持恒定的聚变热反应。如果控制机制出现故障或者发生其他问题反应就会停止，设备会冷却下来。反应发生条件的窗口很狭窄，只能通过不断地控制来维持，所以本质上很安全。

整个装置套在钢制外壳内，并附带为汽轮机提供蒸汽的热交换器，或由固态热电发电机的热电板所包围。

模块会设计成多种类型，应用范围小至家用发电机大到小型工厂。每个模块产生10千瓦热能，热能可转换成电能，也可直接用于工业生产或取暖。这些模块可以插入到蒸汽发生器或热电发电机的空腔中。一两个这样的模块足够满足一个家庭的用电需求，10个就可用于烘干木材的干燥炉，50个就够一个污水处理厂。

模块根据需要运行5年或10年，直到电解质或基质退化到大约一半的有效功率，里面的氘气会逐渐泄漏，需要隔几年重新为储气罐充气。

我们可以把冷聚变模块想象成一个大的插入式可更换电池，不同的是它不发电，而是根据型号在不同的温度下产生热量，其设计温度从中温80—200°C至高温500—1000°C。通过改变功率密度可以将温度控制在 $\pm 50^\circ\text{C}$ （由制造商设定）。这些模块将由通用电气、西屋电气、三菱等工业厂商制造。模块的性能将由标准委员会制定和控制，担保实验室将对其进行认证，就像我们日常使用的电气或化学设备一样要通过卫生和监管机构许可和安全检查。

日本、美国、欧洲和中国规模化且有市场竞争力的工厂通过不断设计改进，将冷聚变模块用于生产工业用蒸汽、热或通过汽轮机和热电板产生电能。全世界成百上千万工程师一旦意识到冷聚变是真的，就会立刻嗅到金钱和名誉的味道，他们立即开始建造发电和控制设备。我们不必对此做过多推测，可以确信的是只要冷聚变原型机出来，工程师们会解决剩下的问题。

经过10年的大规模生产，冷聚变模块、热电板和其他部件就会像20世纪20年代的汽车和80年代的计算机一样大幅降价以应对大众市场的需求，其效率也会不断提高直至接近理论最大值。

#### 4. 如何生产冷聚变模块

冷聚变模块在某些方面与电池相似，制造难度应该和电池差不多。全世界实力雄厚的电池厂商有数千家，一旦物理理论突破以及标准产品设计出现，许多这样的公司就会展开竞争迅速压低价格。电池的确需要高科技以及严格控制的生产线，但所需的资本投入和专业知识远小于汽车厂或一吉瓦（即一百万千瓦）发电站。电池生产线必须清洁、无污染，但不需要达到半导体生产线那样昂贵，超洁净的标准。几个月就可以建造一条电池生产线，你可以向香港友力企业有限公司购买现成的碱性电池生产线。在不久的将来，我希望这家公司能和许多其他公司一起为成千上万的生产企业提供冷聚变模块生产线。



图 2.3. 香港友力企业有限公司网站上的碱性电池生产线 <http://www.unitedpower.com.hk>，冷聚变生产线应该与它一样大且复杂，大多数冷聚变模块尺寸从一号电池到汽车蓄电池不等。

小型设备按单位功率容量计费的最赚钱，所以大多数早期的冷聚变模块可能不比一号电池大。

一些实验证明冷聚变不需要专业、复杂或精确地制造，专业的电化学家徒手就可制备，水野的冷聚变装置（见下图2.4和2.5）已经

在高温下产生了有商业价值的热能（见第1章）。可以肯定的是这些人细心专业，他们使用超纯净水和99.9%纯度的试剂，小心地避免污染，但他们的工作台和工具并不是特别干净，组装出来的冷聚变模块和任何手工制品（如项链）差不多。



图2.4. 北海道大学水野教授实验室拥挤的一角，左边为水野的助手川崎友子，右边为水野，J. Rothwell摄。



图2.5. 水野实验室空调控制柜中的辉光放电装置，J. Rothwell摄。

## 5. 成本与化石燃料的比较

这一部分是基于冷聚变消耗重水的设想，重水中产生的能量与等离子体聚变一样多，有相当多的实验证明了这一点<sup>51</sup>，但这些证据

<sup>51</sup> Miles, M., B.F. Bush, and J.J. Lagowski, *Anomalous effects involving excess power, radiation, and helium production during D2O electrolysis using palladium cathodes*. Fusion Technol., 1994. 25: p. 478.

并不能让每个人都满意。当冷聚变中的氘聚变时，其产生的能量比化学燃料多数百万倍，阴极金属也可能发生改变，二次反应产生的能量可能不大，某些情况下还可能吸收能量。

正如引言中所述，全世界每天在化石燃料上花费约37亿美元，产生约0.9夸特的能量。这个成本还是大大低估了，它只包括燃料的初始井口价格。以石油为例，每天生产的桶数乘以40美元（当时石油成本）即目前世界石油市场价值，这还不包括将原油提炼成汽油和运输到加油站的额外成本，这样价格会翻倍，每桶石油84美元，每加仑汽油2美元。这一估值还忽略了污染成本以及不可避免的石油泄漏和挥发性化石燃料引起的事故。一些专家估计石油的潜在社会和经济成本为每加仑5美元左右，换句话说，司机为每加仑汽油支付2美元，其他人将再支付3美元用于污染、健康等费用。

表2.2显示了三种主要化石燃料：煤、石油和干天然气，数据来自于《2002年度能源评论》<sup>52</sup> 和美国能源信息署（EIA）网站<sup>53</sup>。

表2.2. 世界化石燃料消耗量。

燃料	每年消耗量	每天消耗量	价格	每天费用	每天产生热（夸特）
煤炭	52.52 亿短吨	1,400万吨	每吨18美元（美国）	3亿美元	0.26
石油	240亿桶	6,700万桶	每桶40美元	27亿美元	0.39
天然气	92万亿立方英尺	2,520亿立方英尺	每千立方英尺2.95美元（美国井口价格）	7亿美元	0.25

三种主要化石能源的年总产量为335夸特，包括液化天然气、核能、水电和地热的其他主要能源又增加了68夸特，世界能源总量达到403夸特（2001年数据）。

如果用冷聚变替代化石燃料每天产生的0.9夸特能量将会消耗约15吨重水，花费150万美元（我们将在下面解释每公斤100美元成本的由来），此外我们还需要200万美元回收重水，总花费约350万美元。换句话说，这种燃料将比它所取代的化石燃料便宜一千倍，随着技术进步，成本会下降更多。冷聚变会比水电或核能便宜得多。

能源是世界上最大的行业，规模高达2.8万亿美元，将来最终会缩水至13亿美元，只有口香糖行业的四分之一<sup>54</sup>，换句话说地球上每

<sup>52</sup> *Annual Energy Review 2002*. 2003, Energy Information Administration, U.S. Department of Energy. 夸特来自281页的表11.1。这个表格显示的是每年的总数，我用它除以365。部分煤炭和石油用于制造塑料或其他非能源行业。然而，这里显示的夸特只考虑实际燃烧的燃料。

<sup>53</sup> <http://www.eia.doe.gov/neic/quickfacts/quickcoal.htm>, <http://www.eia.doe.gov/neic/quickfacts/quickoil.html>, <http://www.eia.doe.gov/neic/quickfacts/quickgas.htm>

<sup>54</sup> Wm. Wrigley Jr. Company，它是最大的泡泡糖制造商，每年总销售额为36亿美元，这包括其他食品。他们销售价值27亿美元的泡泡糖，约占世界总量的一半。

人每年在能源上花费22美分。美国比其他国家使用的能源更多，每人每年2,499美元，未来大约是1美元，整个美国的能源支出总额将从现在7,030亿美元下降到2.8亿美元左右<sup>55</sup>。

以下是每天15吨重水消耗和回收花费350万美元成本估算的基础。

氘聚变每公斤产生 $3.45 \times 10^{14}$ 焦耳（3.45亿兆焦耳）<sup>56</sup>，汽油每公斤45兆焦耳（或每加仑132兆焦耳），一公斤氘气能量大约相当于7,600吨汽油（260万加仑）。

1摩尔重水包含16克氧气和4克氘，每千克氘气产生的能量是重水的5倍，因此一公斤重水产生6,900万焦耳能量，相当于1,533吨汽油（52.3万加仑）。

一公斤水里含有0.015%的氘，一个氘原子对应6,700个氢原子（有文献说是1/5400）<sup>57</sup>，这些氘在聚变后产生13,000兆焦耳热量（98加仑汽油）。

如果全世界每年消耗的403夸特或 $4.3 \times 10^{20}$ 焦耳能量都来自冷聚变或等离子体聚变，8个大型工厂就可以生产所消耗的6,162吨重水。

化石燃料产生335夸特能量，其余68夸特来自核能、水电以及其他能源。仅替代化石燃料，每年就需要5,000吨重水，即每天15吨左右。一个密封的冷聚变电解池整个寿命周期内只有很少一部分重水会消耗掉，电解池废弃时，剩余的重水就会扔掉，这样全世界每天要消耗数千吨重水。重水很贵，坎杜（Candu）型核反应堆里面的重水慢化剂不会直接废弃，而是经过提纯后循环利用。只要价格高，就有可能从冷聚变电解池中回收重水。

---

<sup>55</sup> *Annual Energy Review 2002. 2003*, Energy Information Administration, U.S. Department Of Energy. <http://www.eia.doe.gov/emcu/aer/>, p. 13, year 2000 data

<sup>56</sup> Borowski, S.K., *Comparison of Fusion/Antiproton Propulsion Systems for Interplanetary Travel*. 1996, NASA, Table 1, “Cat-DD” data, <http://gltrs.grc.nasa.gov/reports/1996/TM-107030.pdf>

<sup>57</sup> Hamer, W., Peiser, H., *A Hydrogen Isotope of Mass 2*, NIST, <http://nvl.nist.gov/pub/nistpubs/sp958-lide/043-045.pdf>. Quote: “The modern best estimate of the ratio is 5433.78 in unaltered terrestrial hydrogen.”



图2.6. 安大略国际水电公司年产800吨的布鲁斯点（Bruce Point）重水工厂，该工厂已于1997年关闭，八个这种规模工厂提供的重水即可满足如今全世界的能源消耗。



图2.7. 加拿大安大略省汉密尔顿（Hamilton）的加拿大原子能公司先进的重水中试装置，该公司供图。其中试装置每年生产约1吨重水，规模化后比前图所示的老布鲁斯点工厂更高效、更清洁。

高纯度重水零售价目前每公斤高达1,000美元，一家中国公司的广告邮件显示99.85%纯度重水为每公斤460美元，批发价约为300美元<sup>58</sup>。冷聚变电解池制造工厂将会拥有重水提取设备，它的成本也是

---

<sup>58</sup> Miller, A.I. (Atomic Energy of Canada Ltd.), *Heavy Water: A Manufacturers' Guide for the Hydrogen Century*. Canadian Nuclear Society Bulletin, 2001. 22(1),

批发价。由于能耗占重水生产成本的一大部分，有了冷聚变后其价格会下降50—80%或更多，换句话说重水生产设备的小部分产能用于自身驱动，大约占0.05%。这0.05%还是用20世纪40年代以来就没有得到过改进的低效率提取技术，三菱和其他公司已经推出了现代、高效、清洁、环保的重水提取方法，加拿大核能公司在纽约州汉密尔顿的一个中试工厂（见图2.7）已经测试了其中一种工艺<sup>59</sup>。就算采用低效方法，冷聚变也能将重水的成本降低到100美元左右。如果采用先进技术，其成本可能降到50美元以下。从废弃电解池中回收重水将会更便宜，可能每公斤几美元。要取代所有的化石燃料，我们每天需要15吨新生重水和2,000吨回收重水。

实际的冷聚变电解池可能使用氘气而不是重水，但这不会改变预计的成本或所需的重水吨数。地球上所有的氘存在于重水中，重水与普通水混合在一起。氘气的零售价比重水贵，但它在冷聚变电解池生产厂的成本会更低，因为先进的提取技术生产的是氘气而非重水。

根据爱因斯坦的质能公式 $E = mc^2$ ，用于全球能源生产的6,162吨重水将有4,930吨转化为游离态氧，1,227吨转化成氦，5吨湮灭转化为能量。由于一切能量的来源都是把质量转化为能量，目前同样5吨的质量在化学和太阳能的作用下消失了。

地球上有 $2 \times 10^{13}$ 吨重水，以目前的能源消耗速度足够维持32亿年，这些重水足够维持这颗行星存在的时间，太阳在成为白矮星之前预计会持续40到50亿年。太阳系其他地方的重水更多，它们都集中在一些行星上，地球上重水是水的0.015%，火星是0.1%，金星是2.2%<sup>60</sup>。

顺便说一下，假设第一代冷聚变热机的效率与今天的汽油发动机一样，即将20%的热能转化为车辆动力，一辆汽车平均每年会消耗大约1克重水（很难想象冷聚变的效率会更低，设计出一种比传统汽车更耗能的现代汽车，需要一个有悖常理的天才）。美国乘用车平均每年行驶11,766英里（18,936公里），消耗532加仑（2,014升）汽油<sup>61</sup>，产生70吉焦耳原始热量，其中14吉焦耳转化为推力，推力加热周围空气，所有能量最终会退化为废热。

换句话说，一加仑重水可以让一辆普通的美国汽车行驶4,800万英里。

---

[http://www.cns-snc.ca/Bulletin/A\\_Miller\\_Heavy\\_Water.pdf](http://www.cns-snc.ca/Bulletin/A_Miller_Heavy_Water.pdf)

<sup>59</sup> Miller, A.I., *ibid.*

<sup>60</sup> Miller, A.I., *ibid.*

<sup>61</sup> *Annual Energy Review 2002. 2003*, Energy Information Administration, U.S. Department Of Energy. <http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/>, p. 61.

## 6. 铂族金属问题

如果只有铂族贵金属（铱、钨、钼、铂、铑和钌）才能使冷聚变有效工作的话将严重限制其用途。目前铂金的价格高于黄金，钼在2001年曾达到每盎司1,090美元，钼的需求超过产量，贵金属公司使用各种方法利用最新技术探寻钼，每年只能开采和回收171吨<sup>62</sup>。即使冷聚变产生巨大需求，也不大可能提高太多。如果只有在钼中才能发生冷聚变，我们就必须建造大型集中的电厂每天24小时发电以最大限度地利用已有的钼。这些钼无法满足家用发电机或汽车需求，因为它们大部分时间都处于闲置状态，汽车和房屋可以使用大型工厂生产的电力或氢气。

具有讽刺意味的是现在世界上有一半的钼都进入了汽车催化转换器，幸运的是冷聚变不需要催化转换器，或许最好的方案是将这些钼从汽车里提取出来放入大型中央发电厂，混合动力汽车使用无污染的氢内燃机。多数氢能源倡导者支持使用燃料电池，但我们没办法这样做，因为燃料电池也需要铂族金属。这并非巧合，燃料电池和冷聚变都应用了表面催化效应，铂族金属是最好的催化剂，由弗莱希曼和庞斯首创的湿式电化学电解池类似于燃料电池。冷聚变化学电解池利用电将水转化为氢和氧，燃料电池则相反，它将氢和氧转化为电能。

还有一个更纠结的问题，德州农工大学、北海道大学、三菱公司及其他单位的实验明确证明了冷聚变能将钼阴极转变成其它金属，特别是铬和铁等<sup>63</sup>。目前还不清楚这种情况是否经常发生，也许我们能找到预防方法。如果做不到这点，在还没有产生足够能源之前，每年开采的171吨钼很快会转化为廉价、无用的铬和铁。上面描述场景是我们采用大型发电机，24小时运转，能在几十年内反复回收使用同一钼阴极的情况下才会发生。如果钼在几年内变成铁，冷聚变将永远不会成为实用能源。

幸运的是有迹象表明，冷聚变也可以发生在包括镍和钛在内的富有金属中，这些材料的冷聚变实验还没有广泛重复出来，所以我对此仍存疑虑。冷聚变可能使这些金属发生嬗变，但嬗变带来的可能是好处。假设嬗变过程可以调整输出元素种类，一辆冷聚变汽车引擎运行几年后，内部的电解池可换掉，金属能回收，很大一部分的镍或钛能转化成金或其他有价值元素。

由于其它原因，阴极使用多年后可能逐渐失效。核反应产生的

---

<sup>62</sup> U.S. Geological Survey <http://minerals.usgs.gov>. For other years some sources put the numbers closer to 220 metric tons. About 100 tons are mined.

<sup>63</sup> Mizuno, T., T. Ohmori, and M. Enyo, *Anomalous Isotopic Distribution in Palladium Cathode After Electrolysis*. J. New Energy, 1996. 1(2): p. 37.

热量通常集中在极小区域，这会导致金属熔化或汽化，并在表面形成坑状结构（见图2.8）。坑状结构周围元素经常会发生嬗变。这没有什么影响，因为金属可以熔化再造，除非它全部嬗变成其他元素。当然这种结构损坏可能降低电解池性能，减少电解池寿命，若干年后如果金属表面大部分蒸发或熔化，阴极就无法继续工作。普通机械磨损也会限制其使用寿命，但通过良好的工程设计可以使熔化保持在最低限度。早期的冷聚变装置中，热破坏加上电解池外部污染渗透会使其使用寿命限制在几年内，必须进行例行维护更换阴极。之后通过提高密封性能改进阴极，电解池应该能保持和机器一样的寿命。

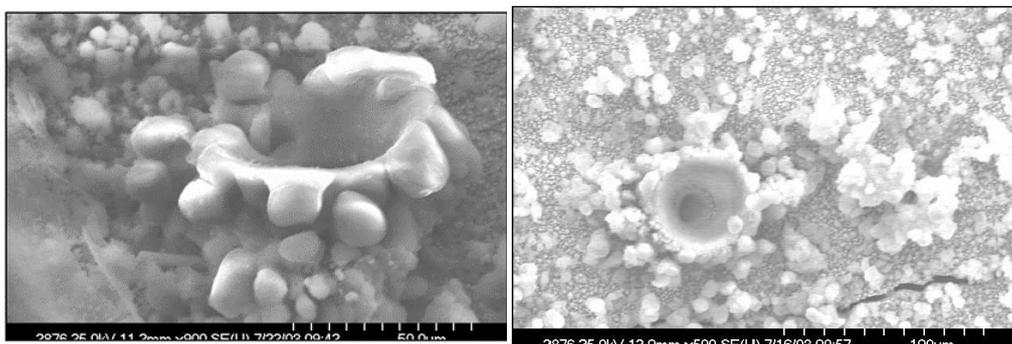


图2.8. 熔融金属在液体中凝固的显微特征。参：Szpak, S., P.A. Mosier-Boss, and F. Gordon. *Precursors and the Fusion Reactions in Polarised Pd/D-D<sub>2</sub>O System: Effect of an External Electric Field*. in ICCF-11. 2004.

### 三、预测的技术依据

冷聚变商业化之前必须克服许多障碍，首先是阻止融资的政治反对势力，如果成功了，就可以进行大规模研究。在理论获得突破前，进展可能很缓慢，没有人能知道什么时候会成功。有了理论后我们就知道如何控制反应，然后就可以进行工程开发。像暖气和发动机这样的产品，必须重新设计进行严格测试以确保不会对生物或环境造成危害。冷聚变似乎不太可能有安全问题，因为它释放的粒子很少，且释放的粒子可以用一张纸或铝箔屏蔽。事实上很少有粒子从电解池中泄露出去，即使灵敏的仪器也很难发现它们。数百名学者对活跃的、无屏蔽的冷聚变电解池进行了研究，他们没有任何不健康迹象。

冷聚变实验拥有以下物理特性，这使它能成为一种革命性的实用能源：

一些实验产生的温度和功率密度足以使紧凑的发动机产生电力

或动力。

与汽油发动机不同，冷聚变电解池不需要氧气，也不产生一氧化碳或其他尾气，因此它可以方便地在室内使用，也可以在水下或外太空使用。

它不会产生危险的贯穿性核辐射或放射性废物，因此可以放心地在任何地方使用，甚至能植入心脏起搏器内。

虽然我们还不知道核燃料是氘还是钚抑或是两者的结合，但很明显，任何一种少量的燃料都将使反应持续数十年，冷聚变电解池产生的热量比同样大小的化学电池多几千倍。

除了使用铂族金属外，冷聚变也能使用镍或钛等普通金属（见第2章第6节）。

不管规模大小都能够良好运行。

我们知道冷聚变器件尺寸可以缩小，因为事实已经如此，大多数冷聚变阴极是一厘米长的片或丝。最终冷聚变热电电池会像第2章中展示的钷起搏器电池一样适用于手机、手表和无数其他小型低功率设备。它比微型内燃机更有前途，可以做成纳米电源。冷聚变也可以和任何能源一样放大其规模。单个阴极或装载气体的金属片看起来比汽油发动机活塞还小，用今天的自动化制造技术，成千上万个批量生产的电解池组成一个兆瓦级的反应堆并不困难。传统的一吉瓦裂变反应堆是由数千个小型铀燃料芯块提供能量（见图3.1），这些装入燃料棒中的黑色铀圆柱体长1.7厘米，直径0.7厘米。每个冷聚变芯块含有电极和持久供给的重水或氘气，这些芯块可装入柱状或方形容器中，能为各种尺寸的冷聚变发动机提供动力。



图3.1. 一个仿制的铀核燃料芯块（由橡胶制成），图源自American Nuclear Society, 555 North Kensington Avenue, La Grange Park, Illinois 60526.

冷聚变的潜在局限性也很明显。它可能在高温下变化，称为辉光放电或等离子体电解冷聚变<sup>64</sup>，但温度似乎不太可能满足高炉或火箭发动机的需要。这并不意味着我们将依赖其他主力能源，冷聚变可以为高炉发电，也可以将水分解成航天飞机使用的氢氧燃料。

虽然冷聚变还处于实验阶段，但我们已经可以得出一些产品设计结论，前面描述了一些物理参数，以下是一些产品设计的推测：

- 不同的设备在不同的温度范围工作，从微温到钨、镍或钛阴极的熔点。冷聚变效应可以使阴极汽化，因此可以达到这些极端温度，我们只需对冷聚变电解池的散热进行优化并将高温损害降至最低。
- 将会开发出各种各样大小不同的热机使冷聚变适应性变得更广泛，这是任何汽油发动机、交流电或电池无法比拟的。
- 冷聚变刚开始将产生1瓦至1千瓦的热或电，主要用于小型设备，小型设备更容易设计，制造成本更低，每瓦特利润也更高。
- 优化后的热机和电池能够封闭任何辐射或氚等短寿命放射性副产物。

---

<sup>64</sup> Mizuno, T., et al., *Production of Heat During Plasma Electrolysis*. Jpn. J. Appl. Phys. A, 2000. **39**: p. 6055.

## 第二部分 技术和社会变革

### 四、普通技术，日常用品和服务

冷聚变商业化后会彻底改变我们生活，不是因为它有多独特，而是它的普通和安全让人如此向往。

冷聚变首先会带来最普通的变化。新能源革命不是叹为观止的未来应用，而是对日常生活的改变，让更多人拥有这种无限清洁的能源，纯净的水和无污染的生活世界。几十年后冷聚变会带来新奇的应用，如地下磁悬浮列车和容纳千百万人的太空酒店，但它首先将通过给数十亿穷人提供清洁饮用水来改变我们的世界。

水泵、马达、电灯、暖气、热水器、空调和汽车将是我们最需要的第一批冷聚变装置，原因有如下三点：

1. 这些都是应用广泛，不可或缺的机器。
2. 总体而言它们消耗了大部分能源，像铁路机车、飞机和高炉这样的大型机器设备，看似高大上，但总体上比小型装置消耗的能源要少。
3. 小型装置价格低廉，去商店就可以买到，消费者就能决定其改变的速度（见下面第2节和第7章第5节）。

在美国乡村电气化的上世纪30年代，佐治亚州的一位农民上午在教堂做礼拜时说，生活中有两个伟大的奇迹：“耶稣在心中，电在家里”。现在日常生活的水、电和其他必需品都很丰富，我们无法想象没有它们的生活。不幸的是世界上三分之一约20亿人还没有这一切，结果造成了可怕的人间苦难和生态破坏，每年因不清洁饮用水导致220万人死亡，占有所有死亡人数的5.3%，大多数受害者是五岁以下的儿童<sup>65</sup>。穷人被迫把大部分收入花费在煤油上，他们在印度和海地的山上砍伐树木收集柴禾，造成摧毁农田和村庄的灾难性洪水。刚开始，人们用冷聚变只是烧开水，泡茶和给婴儿冲奶粉，他们知道应该这样做，但以前买不起燃料。以后小型冷聚变净水器会为他们提供做饭，洗澡，饲养动物等的清洁用水，还可以给电灯、电视、手机和电脑供电。在中国偏远的农村，小型水力发电机（大

---

<sup>65</sup> Pruss, A., et al., *Estimating the Burden of Disease from Water, Sanitation, and hygiene at a Global Level*. Environmental Health Perspectives, 2002. **110** (5).

多只有咖啡壶大小)和低功耗液晶电视已经带来了信息技术革命,这一趋势将会加速,冷聚变也会给农业设备、摩托车和汽车提供动力。

美国的穷人也该庆祝。亚特兰大曾有5万户居民因在冬季付不起燃气费而遭断气,还有许多美国人没钱支付每加仑2美元的汽油。

如果冷聚变能将19世纪西方水平的卫生设施和照明条件带给全人类也将是最有益的历史突破,但它能做到的远不止这些。发达国家有大量的泵、电机和电灯,这些设备存在缺陷,它们使用笨拙、危险、肮脏且昂贵的能源,这些能源会导致灾难性的全球气候变化。尽管已改进很多,我们还是无法知道有多糟糕,因为我们已经习惯了现状。我们缺乏灵感和想象力,甚至无法想象事情会变得更好。冷聚变会给人类带来许多精彩的东西,最宝贵的礼物也许是一种新的希望、一种动态的变化、一种进步以及一个可能更光明、更广阔、更美妙的未来。

## 1. 当前能源还不够好

很明显有些能源还没有满足我们的要求,我们经常为笔记本电脑和手机电池而烦恼,它们动力不足,耗能太快。烟雾探测器内失效的电池导致众多人死亡和受伤,许多公司正在为手机开发燃料电池,这种电池充电后可以运行数周。一些医疗设备问题更严重,比如植入人体的辅助心脏泵,也称为心室辅助装置(VAD),它们像人工心脏,但不能代替心脏,它们可以促进血液流动。它们与人工置换心脏不同,能延长病人的生命,这些泵有些工作了很多年。心脏泵减少心脏的负担,帮助心脏病人从发作中痊愈或手术后恢复。心脏泵里面有电池,我们通过电磁感应透过皮肤为其充电。它必须经常充电,因为它们比其他植入设备(如心脏起搏器)消耗更多的电力。2001年,第一款心脏泵AbioCor出现,它重达3磅,取下充电器或断电后只能运行30分钟。冷聚变驱动的心脏泵会更小,可以使用一辈子。不过一开始可能做不到,当代技术制备的泵可能在使用5到10年后磨损,冷聚变有助于研发更持久的泵,也许会采用人工肌肉(电活性聚合物,EAP)。心脏只做大约2瓦的机械功,因此植入体内的先进热电转换器产生的余热不是问题<sup>66</sup>。

其他医疗设备也有迫切需要,包括动力假肢——特别是腿,以及可以长距离高速行驶的动力轮椅。它们无法使用目前的能源,多数轮椅是为那些不愿走太快的老人制造的,但许多残疾年轻人可能更喜欢以每小时15公里的速度(与跑步速度相当)驾驶机动轮椅行

---

<sup>66</sup> Pinkerton, G., *Miniaturized Electronics: Driving Medical Innovation*, Medical Device & Diagnostic Industry

驶10或20公里。迪安·卡门（Dean Kamen）发明的轮椅可以爬楼梯，能在陡峭的斜坡和不平坦的路面上行驶，他还开发了赛格威（Segway）“平衡车”，冷聚变可以改进轮椅和平衡车，也可以改进我最喜欢的城市通勤用电动自行车。

你不要以为人们不会使用核动力心脏起搏器、假肢或心脏泵，他们不会认为这太冒险或太超前。正如我们在第2章中看到的，患者已经接受了钷动力起搏器，传统化学起搏器电池寿命大约六年，之后就必须更换，这是个痛苦且危险的手术，患者会乐于接受终身使用的设备。

每个人都知道现在的电池无法满足手机和心脏泵用电需求，并不是所有能源都昂贵且不耐用，电池在19世纪和20世纪已经很好了，但现在我们的标准提高了。想想那些用于园艺的小型汽油发动机，如吹叶机和割草机，它们非常狂暴，效率低下。它们如此笨重只能将10%的燃烧热转化为机械能，发出一英里外都能听到的噪音，不戴保护耳罩会损害听力。它们很难启动，当负载过大时就会熄火，你得通过繁琐的程序重新启动。它们排放刺鼻有毒的烟雾，不能在室内使用，使用几分钟后就会变得非常热，严重的可烫伤人或引起火灾。使用这些工具，人们还得在房子和车库里储存有毒易爆的汽油，每年造成数千次泄漏和严重事故。

当未来的人们逐渐习惯冷聚变的自由和便利时，他们一定认为我们一直对这些讨厌的机器感到沮丧和愤怒。我们同样怜悯1600年的人，他们在崎岖的道路上骑马，速度不能超过每小时13公里，我们认为他们一定感到孤独和沮丧，但他们可能并不这么想，他们认为自己的交通没有问题，因为他们没有意识到改变是可能的。这是想象力的失败。在17世纪中期的法国，情况开始改变，罗马帝国灭亡后，人们第一次修建运河，改善道路。从19世纪20年代开始，人们意识到发展铁路的可能性，在铁路连接欧洲和美国的每一个大城市后，一些人再次被一种感觉所迷惑，认为交通运输已经非常完善，不用再改进了。海勒姆·马克西姆（Hiram Maxim）是一位杰出的发明家，他意识不到汽车比铁路更具优势，他的想象力失败表明仅仅有工具和技术能力来完成一个目标是不够的，你必须看到必要性，意识到它的价值，感受到它的潜力。马克西姆写道：

人们已经习惯把所有功劳都归于汽油发动机，因为它带来了汽车，在我看来这是错误的。我们拥有蒸汽机已经一个多世纪了，我们可以在1880年甚至1870年制造蒸汽汽车，可是我们却一直等到1895年。

在我看来之前没有制造公路车辆的原因是那时自行车还没有

大量出现，人们没想过在普通公路上进行长距离旅行。人们认为铁路已经足够好，自行车产生了新的需求，这些需求超出了铁路的能力范围。后来自行车无法满足需求，人们更需要机械驱动而不是脚踏的车辆，我们现在知道答案是汽车<sup>67</sup>。

进步始于不满。只有大家都意识到目前能源系统有多糟糕时，未来能源才会变得更好，我们才会转向冷聚变或替代系统，如风能和混合动力汽车。

## 2. 更加便宜的机器

冷聚变动力设备刚出现时会比较昂贵，一旦新鲜感慢慢褪去，竞争加剧，价格就会下降到和传统化石能源设备一样，冷聚变电解池不会比电池更贵，热水器或汽车其他部分价格与传统型号一样。经过多年激烈争夺，一些具有竞争力的品牌生产的冷聚变设备会比化石燃料型号更便宜。它们更简单组件更少，比如汽车将不需要消声器以及减少污染的催化转换器或油箱。

在售价相同的情况下，如果要在数百美元运行费用的化石燃料机器与无污染零运行费用的冷聚变机器之间做选择，所有消费者都会选择冷聚变型号，化石燃料机器很快就会停产。

冷聚变加热器和汽车对美国人来说可能不是什么革命性的东西，冷聚变只有一个显而易见的优势，它不需要花钱，只需要在定期维护时加注燃料。冷聚变可以全年为住房供暖或制冷，或者加一次燃料就能让汽车行驶数万英里，但是美国人已经习惯了让房子保持舒适的温度。他们可以随心所欲地开车，限制因素是交通拥堵，就算别人付油钱，多数人每周也不会多开200英里，美国中产阶级现在想用多少能源就用多少。

刚开始美国中产阶级使用冷聚变不会节省多少钱，但他们会为穷人的生活改善而激动不已，他们会为全球变暖的噩梦逐渐消退而感到宽慰。冷聚变不会直接影响他们，除非他们在电力公司或石油公司工作，因为他们很快就会下岗。我希望冷聚变带来的新机会将抵消这种失业。即使这样，小的改变也会立即发生，很快就会出现一些对我们有重大影响的隐形改变。由于冷聚变是一种小型技术，它会超过大多数商人和经济学家的预测，更快地渗透到社会中。它重量很轻，你可以夹着一个普通冷聚变装置走出商店或把它开出停车场。当成千上万人购买的新物件融入生活时很快会产生重大影响。1908年，市场上出现了批量生产的廉价汽车，尽管一次只能买一辆，开始的时候城市里只有少数人才能拥有，但它们悄无声息，快速地

---

<sup>67</sup> Rae, J., *The American Automobile Industry*. 1984, Boston, Mass.: Twayne Publishers, quoted in Cardwell, D., *The Norton History of Technology*. 1995: W. W. Norton & Company, p. 368.

影响着人们的生活。1980年有谁会料到个人电脑这么快会对我们的工作、约会、婚姻、育儿和其他方面的个人生活产生重大影响，这些变化一次只发生在一个人身上，无人注意。

一些专家预测，即使冷聚变现在能得到完善，也需要50年来取代其他能源并进入大多数人的日常生活。电话、电和电灯大约50年后才在多数家庭普及。19世纪80年代人们首次制造出汽油车，到1908年才开始大规模生产，20世纪20年代汽油车才遍布我们的城市道路。汽车只有建立起庞大的路网和加油设施才能普及，冷聚变汽车可以利用我们已有的道路，但它不需要加油站。1945年发明出来的电脑直到45年后才开始普及。我不认为冷聚变会遵循这种模式，电气化、电信网络、汽车制造和微处理器制造用了几十年才取得成功，因为它们都是大型，资本密集型且复杂的工业，冷聚变要简单得多。

### 3. 不可或缺的能源

各种机器都使用能源，作为一种商品，能源影响各行各业，当能源价格和可得性改变时，其他行业也会随之改变。

冷聚变降低了采矿、运输、热处理、切割、铣削等成本，从而降低了原材料价格。从木头石材到最新的高科技碳纤维材料，一切都将变得更便宜。冷聚变会大大降低高耗能（也称为隐含能源）材料的成本，如铝、钢、铜和棉花<sup>68</sup>。

当今世界化石燃料工业本身消耗的能源最多，石油公司燃烧石油来运行油井、超级油轮、炼油厂、管道和油罐车。北海钻井平台配备了如钻机、直升机、生活舱、发电机、加热器等众多设备，平台自身消耗的能源相当于一口小油井的产量。生产燃料的能量称为间接能耗，石油公司使用10%到20%的石油来维持石油生产设备运转。有人估计这个比率为20%，非正式来源为10%，区别在于石油的开采地点、油井类型、运输距离以及炼油厂的燃料等级<sup>69</sup>。煤炭效率高一些，在8%左右，风力发电机约为2%。风力发电机安装好后，三到四个月的发电量才够生产另一台风力发电机。风力发电机运行20年左右就必须更换叶片和电机，塔筒的寿命要长一些。从普通水中提取重水所消耗的能量就是冷聚变的间接能耗，以目前的重水提取技术来看这一比例为0.05%，技术改进后会更低（见第2章）。

冷聚变将释放能源领域大量的资本、劳动力和资源，包括配电

---

<sup>68</sup> Centre for Building Performance Research, Victoria University of Wellington, New Zealand, <http://www.vuw.ac.nz/cbpr/documents/pdfs/ce-coefficients.pdf>

<sup>69</sup> Pimentel, D. and M. Pimentel, *Food, Energy, and Society, Revised Edition*. 1996: University Press of Colorado, p. 17.

设施所需的钢材、混凝土以及油轮。油轮占运输船舶的四分之一，承担了世界34%的货运量，也就是说世界船舶的总运载能力是8.5亿吨，油轮占了3.85亿吨<sup>70</sup>。

冷聚变将释放出用于建设煤矿、炼油厂和输电线路的土地。

传统能源消耗很大，因为能源生产需要大量的基础设施，如油井、管道、冶炼厂、海港、加油站、天然气管道、电厂、水坝、煤矿、数千英里的运煤专列、高压线路、分布在各个街道的配电线路等等。沿着高速公路开车或在城市上空飞行时，可见的大部分人造景观都是用于能源生产、储存和分配的。有了冷聚变，所有这些基础设施将不复存在，十几家重水工厂就足以满足整个世界的能源需求。

食物隐含能源成本很高，这里所说的隐含能源并不是我们从食物中获得的热卡。牛排所隐含的能源包括玉米种植机械所消耗的能量，肉牛运输、屠宰、冷藏、牛肉运输和烹饪所需的能量。近年来，食物的隐含能源成本大幅增加，特别是新鲜水果需要从南美或澳洲穿越大半个地球送到美国和欧洲。一罐甜玉米含有375千卡的营养，生产它需要3,065千卡能量，其中450千卡用于生产，主要是农机的燃料消耗，1,006千卡用于包装，可以看出种植和加工食品的原始技术消耗的能源要少得多。假如提供一份玉米需要消耗3,065千卡的热量，而玉米只产生375千卡的营养，自己种植玉米的话就会饿死。不会挨饿是因为机器在为你工作，每产生一卡路里食物就要消耗10卡路里的化石燃料。

现代食品保存方法，如冷藏和冷冻比干燥和装罐需要更多的能量，冷冻一包玉米需要1,270千卡，冷冻机保持冷冻每月需要额外消耗265千卡能量<sup>71</sup>。

肉是最奢侈的食物，我们喂养动物的植物生长需要消耗大量的化石燃料。生产一份140克的牛肉大约需要13,000千卡的化石燃料，主要是石油，而140克的牛肉只含有375千卡的能量。换句话说，一个四分之一磅的汉堡要配半加仑的汽油，我们对石油的依赖比我们想象的要严重得多。如果能源用完，我们不仅无法通勤上班而且会挨饿，好消息是冷聚变取代石油后会大幅降低食品的生产成本。

#### 4. 效率仍很重要

有些人以为一旦我们有了冷聚变就不用再担心能源效率，如某人曾说：“节能不再省钱，所以建筑也不需要保温”。

<sup>70</sup> 经合组织，<http://www.oecd.org/dataoecd/39/20/2751848.pdf>

<sup>71</sup> Pimentel, *ibid.*, p. 192, 195。注：1千卡= 4,184焦耳；一罐玉米需要12.9兆焦耳，相当于307克汽油的能量。

在有些情况下我们用低效率换取低成本的确是经济的，如大多数热机可以通过降低能效来减少设备成本，低温低压蒸汽对管道和汽轮机的磨损更小（见第14章）。

然而许多情况下能效仍然至关重要，不是因为节约资金，而是因为低效的机器根本无法使用，它们要么体积太大，要么太热太危险。我们在第2章中设想用NASA的卡西尼号RTG（放射性同位素热电发电机）为一所房子供电，由于这些设备的效率只有10%，每台设备体积都与人一般大，三四十台这样的设备，释放的热量足够为整个社区供暖。

效率只有5%或10%的汽车会有一个巨大的引擎，就像19世纪的蒸汽拖拉机一样。没有隔热材料的建筑需要大型嘈杂的供暖系统，即使这样也会透风和不便。举个极端的例子，传统的日本农舍比任何结构都通风良好，因为它的墙壁就是纸做的。晚上和天气不好时加装薄木板条，但比纸暖和不了多少。冬天住在这样的房子里，牙膏都冻住了，一天中只有洗澡时暖和。房间放一个小火盆取暖，另外使用暖桌——铺着毯子的桌子下面有电暖器或木炭炉。

农舍的暖桌舒适而温暖，它可能是浪漫的，但如今很少有日本人会忍受寒冷进行这种体验。你可以在每间房放一个5千瓦的冷聚变暖气，但没多大用，就像中世纪城堡里熊熊燃烧的壁炉一样，你会感觉一边太热一边太冷。



图4.1. 现代化房子里围着暖桌吃饭的日本家庭，冬天在传统农舍里他们会穿着外套，桌子上过夜的牛奶会结冰，参：The Japan Forum, TJF Photo Data Bank, <http://www.tjf.or.jp>

保持高效还有一个很重要的原因，长远来看，人类会增加10倍或100倍的能耗以执行本书中描述的一些大型项目，机器产生的大量

废热会损害生物圈，对人类和其他生物造成不良影响。即便是现在，汽车密集的大城市气温也比周边高一到两度，雪融化得更快。这对树木和植物没有好处，为了减少未来机器产生的废热，必须使它们保持合理的效率。

近期内，在我们启动任何大型项目之前，冷聚变看起来都会提高整体效率，大幅减少人类的能源消耗总量，原因是使用热电联供发电机，详见第14和15章。

## 5. 机器将更加强大

冷聚变会使各种机器更加便宜，大幅提升某些机械的性能，当然，这些机械不会是大屏幕电视或缝纫机。让缝纫机变得袖珍没什么好处，插上电源也不麻烦，而且缝纫机只需要一点点电。其他机器将变得更便宜、更方便、更环保，以下是从冷聚变中获益最多的常用装置，我们将那些易实现和转换效果最好的列在前面：

- 便携式电脑、电话中继、移动电话、飞机黑匣子等电子设备可以利用热电电池连续工作几十年而无需充电。
- 电灯，特别是那些由热电电池供电，坚固耐用的独立式低压白光LED灯，它们作为应急照明、露营或在第三世界农村使用比较理想。
- 小型暖气、大型集中式供热系统（锅炉）以及热水器。
- 泵和其他小马达——由汽轮机或斯特林发动机直接驱动，或热电电池驱动。
- 热电制冷机，比如现在市场上的燃气制冷机，空调用的热激发吸收式制冷机，它们在沸点以上运行良好<sup>72</sup>。
- 汽车、摩托车、拖拉机等小型车辆。
- 大型但相对简单的工业设备，如在沸点温度以下进行材料处理的加热炉。
- 超过沸点温度以上过程用的大型熔炉。
- 卡车和重型设备使用的大型发动机。
- 兆瓦级发电机及工业设备。
- 大规模海水淡化厂。
- 铁路机车，船用发动机。
- 当用热解聚法处理污水、垃圾和塑料的工厂用于生产合成油和化肥后，石油便不再用于燃料，可作为工业原料和润滑剂。总有一天这些工厂会完全封闭和自动化，尺寸也可以缩小到能装入卡车后面，我们可以大规模生产并把它们送到成千上万的村庄和城镇用于污水处理，详见第13章。

---

<sup>72</sup> U.S. Department of Energy, *Thermally-Activated Absorption Chillers*, [http://uschpa.admgt.com/TB\\_TAchillers.pdf](http://uschpa.admgt.com/TB_TAchillers.pdf)

- 航空发动机

## 6. 首先用于小型装置

假设冷聚变效应完全可控可重复，物理学家和化学家将会在未来某个“零时”把原型机交给工程师，基础研究当然会继续，随之而来的是不断改进器件。1952年，第一个实用化的晶体管在开发出来后，产品工程师迅速进行大规模生产，但改进晶体管的基础研究一直持续到今天。

工程师们需要几年的时间才能完成设计并建立生产线，与此同时，监管、健康和机构将会对其进行安全认证，我认为小型商业产品会在“零时”后的三年内出现。与大型装置相比，小型装置比如热水器、暖气、水泵用热机、吸热制冷冰箱和空调等更易开发，制造成本更低，所以它们将首先出现。一些昂贵而复杂的装置也会很快生产出来，NASA、军方和通讯公司都希望冷聚变热电发电机能在难以到达的关键地方得到应用。

以单位热值为衡量标准，石油是最昂贵的燃料，以汽车和卡车为主的运输业消耗了大部分石油，它们将是主要替代目标。从消费者的角度看，所有能用冷聚变驱动的机械中汽车最受欢迎，采用冷聚变技术对环境污染、全球变暖和经济最有益处。汽车制造商会意识到这一点，他们会尽一切努力开发冷聚变汽车，新型汽车需要很长时间设计及建设生产线，“零时”之后的十年内冷聚变汽车就会到来。丰田和本田花费了大约5年时间设计生产销售混合动力车，冷聚变汽车可能采用混合动力，用冷聚变的汽轮机或斯特林发动机将取代汽油发动机。日本汽车制造商在混合动力技术上遥遥领先，美国汽车制造商现在才开始从他们那里获得技术授权，日本厂商有望在冷聚变汽车领域占据优势。

在汽车上市的同时，我们会看到适用于住宅或公寓的热电联供发电机。

许多电器都可以很好地与冷聚变热机兼容。我们习惯于用电，忘记了其他动力几乎同样方便。汽车机械师和木匠使用压缩空气驱动的工具，这种工具温度低，不起火花，更安全。19世纪末小型蒸汽机完成了许多电动马达的工作。冷聚变动力烘干机将直接使用热能烘干衣服，它也可以带动小型斯特林发动机来驱动滚筒。我们将在第15章中探讨如何用热能直接代替电能。

大型发电机与某种形式的高温冷聚变配套而不是与数千个小型电解池一起匹配会工作得更好。如果这样，兆瓦级反应堆和大型卡车发动机可能需要几年时间才能推向市场，冷聚变也不会像我预测

的那样迅速席卷整个社会。灯泡和空调等小型装置消耗了绝大多数能源，当冷聚变功率达到千瓦级后，转变将是迅速而深刻的，它会影响到个人、社会乃至国家。下一阶段将会发明出叹为观止的新设备，它们和冷聚变一起将会完成一些我们无法想象的事，这将是化石燃料、太阳能或风能永远无法做到的。首先是海水淡化，这仍然是我们熟悉的领域，成千上万的人已从海水淡化厂获得饮用水。尽管海水淡化厂本身并不新奇，但它将是第一批使用冷聚变的动力设备，并有可能造就世界性进步，使我们至今都不敢有所奢望的沙漠变得繁荣。

## 五、革命性技术

除了上一章提到的普通日用机器，冷聚变将使许多化石燃料无法实现的新技术成为可能，其中最引人注目的是大规模海水淡化，海水淡化厂将海水转化为可饮用的淡水，在能源丰富的中东国家，它已为数百万人提供饮水。但为大规模农业提供灌溉用水还远远不够，海水淡化厂消耗的化石燃料或核能成本高昂且污染量大。采用冷聚变技术，海水淡化产量可提高数百倍甚至数千倍，直到灌满一条横贯大陆的人工河，灌溉生长出的各种树木和植物将给环境带来积极影响，最终将撒哈拉沙漠和戈壁<sup>73</sup>变成良田。

将所有沙漠都变成良田是一个可怕的想法，这会导致沙漠物种灭绝，减少生物多样性和文化多样性，破坏世界上一些最为壮观的景观。由于人类活动，撒哈拉沙漠和戈壁的规模已经扩大很多，适当缩小它们的规模不会损害生态。给非洲增加的耕地将非常适合养活世界上最贫困的国家，而沙特阿拉伯等产油国也会很快这样做。美国的沙漠和干旱地区应被保存下来，为洛杉矶和拉斯维加斯等缺水城市生产大量淡水将产生无法估量的价值，在这些地方增加百万公顷翠绿的草坪和郊区农田并不会破坏生态。在海地，使用冷聚变能源代替木材燃料，再加上海水淡化和植树造林计划的双重作用会扭转砍伐森林造成的灾难，这种砍伐破坏了生态和经济并在洪水中造成数千人死亡。在印度，当季风减弱和干旱加剧时，大规模的海水淡化可防止大面积的农作物歉收。

有新闻报道称不久以后淡水可能取代石油成为最吃香的资源，淡水的争夺会导致战争，冷聚变将会避免这种噩梦。

---

<sup>73</sup> 此处戈壁特指中蒙交界的荒漠——校者注

我们将在第8章详细论述改造沙漠的大型海水淡化工程。

海水淡化只是无限清洁能源成果的一个例子，把冷聚变与大规模海水淡化厂结合起来将使我们有能力改造地球，消除短缺、饥饿和污染，大幅降低工业原料、化肥、食品和其他商品的成本。以下是一些可以与冷聚变结合产生革命性变化的商用技术：

室内农业将会增加。室内农场的范围将从简单的温室扩展到计算机控制的高科技水培农场，植物种在水里，水中培养西红柿等农作物在日本已很常见。与传统的户外农场相比，室内农业占地更少，可大幅降低水和农药使用量，减少生态破坏。这将在第16章中详述。

通讯将得到改善。在发展中国家和人口密度低的地区，通过部署高空冷聚变动力无人机而不是手机发射塔，建立手机服务的成本会大幅降低。在天空，它们将比卫星低很多，也很容易与普通手机交换信息。（已有手机可把信号传输到低轨道卫星，但需额外电力，且手机体积很大，但带宽有限。）飞机覆盖范围将比大多数手机发射塔——那些位于高山顶的发射塔除外——大得多。飞机在空间站一次可停留数月，在小区域上空盘旋，或者像直升机一样旋停。它们可飞到风暴和商业空中交通上方用于监测和指挥。备用飞机会定期替换，长期运转的飞机将返回地面进行例行维护。它们还将用作无线电和电视发射机。它们将部署在地球同步卫星无法到达的北纬地区。NASA正试图为此而开发太阳能飞机，但它们很精致，只能携带很轻的有效载荷，因此不实用。

高空无人机手机信号站在搜索和救援任务中会特别有用，由于山峰挡住了手机信号塔，山谷里迷路的徒步旅行者通常无法拨打手机，有飞机基站飞过上空时就不是问题。未来每个人都会携带手机<sup>74</sup>，如果徒步旅行者没有手机或出现人身事故，这时就需要使用带有摄像头的高空无人机搜寻他们。第10章描述了更为激进的方法，采用小型、自主、半智能的“鸟类”机器人从树梢高度寻找人类。

令人惊叹的新型航空器和航天器将会出现，它们载客量更大，飞行速度更快（详见第18章）。

目前已经诞生了许多先进，自动化的能源密集型垃圾回收技术，这些技术的发展受制于高昂的能源成本，冷聚变有助于它们成功。例如，有毒化合物可以通过一个盛满钢水的密封容器而彻底降解，然后分解成单质元素再分类收集，这个过程与垃圾焚烧炉不同，不向空中排放废气。那些来自“超级基金”场地的有毒废物将会转化为基本元素，一些有毒元素如砷，即使从化合物中分解出来仍然是危险的，我们可以自动将它们分离提纯，装入达标的储罐中再利用。

---

<sup>74</sup> 现在已经人手一个了——译者注

由无毒元素组成的二恶英（二恶英由碳、氢、氧和氯组成）等有毒或致癌化合物会立即分解成无害元素。有机化学物质、污水和医疗废物会转化为水、碳和一些微量元素。马萨诸塞州的熔融金属技术公司（Molten Metals Technology, Inc）首先开发出了这种技术，不幸的是这家公司倒闭了<sup>75</sup>。

## 1. 大量的新产品

当冷聚变完成基础研究并获得专利后，几十家（然后可能数百家）公司就会开始生产冷聚变电解池，成千上万的公司将会使用这些电解池来提升产品性能，产品开发将呈现爆炸式增长。电力、晶体管、计算机和其他基础突破都经历了这一过程，首先一家公司提出核心理念，然后一大批公司开始生产核心产品，更多公司将核心产品推广到各种应用中，其参与的人员数量，投入的资金规模和开发热情都将是巨大的。

世界航空史上有个类似的有趣事件，1908年之前大多数专家和几乎所有的报纸编辑都不相信会有飞机。莱特兄弟于1903年成功试飞，他们于1904和1905年向公众展示了长达40分钟的飞行，但报刊记者和专家既不承认也不去俄亥俄州代顿进行考证。1908年8月，威尔伯·莱特（Wilbur Wright）<sup>76</sup>在一群法国专家的见证下进行了飞行，专家们都惊呆了，整个报界都疯了，消息很快传遍了整个欧洲。其中一个曾极力反对他们的批评者阿奇迪肯（Archdeacon）写道：“长期以来，人们一直指责莱特兄弟在欧洲和美国进行鼓吹和欺骗，现在法国人奉他们为圣，我很自豪能成为第一批为这种不公进行呐喊的人”<sup>77</sup>。在美国，经过几周的无视之后，奥维尔·莱特（Orville Wright）<sup>78</sup>在华盛顿特区进行了一次飞行演示，航空热随即席卷全球。1911年，《科学美国人》出了一期航空特刊，其中写道：“现在有超过50万人积极从事与航空有关的行业”。

冷聚变商业化开始不久后，数十万名产品工程师将会夜以继日地工作，不断突破，设计出大量的创新应用。我希望大部分大型企业能跟上形势，每一家企业都该竭尽全力，如果通用（GM）不迅速推出冷聚变动力汽车，福特或丰田就会让它破产。

冷聚变会成为新产品的倍增器，会降低许多商品的成本，允许生产以前没有效益的新产品，使它们变得更轻、更牢固和更安全。

---

<sup>75</sup> Holusha, J., *Business Technology; No-Smoke Ways to 'Burn' Wastes*, in *New York Times*. 1993.

<sup>76</sup> 即莱特兄弟中的哥哥——校者注

<sup>77</sup> Archdeacon, E., *L'Auto*, August 9, 1908. 我怀疑冷聚变的批评家们永远不会做出如此优雅的让步，而冷聚变研究者们也永远不会像莱特兄弟那样大度地原谅他们的批评者。双方对立太深，如此妥协是不可能的。

<sup>78</sup> 即莱特兄弟中的弟弟——校者注

我只能想到冷聚变几个明显的用途，毫无疑问，它会给各种各样的机器带来数不尽的好处，但由于我对大多数行业知之甚少，无法猜测具体情况。就像上世纪80年代微处理器问世后的情形，工程师和设计师将很快知道如何应用冷聚变技术。设计师们很快将微处理器应用到搅拌机、门锁、极可意（Jacuzzi）浴缸以及其他各种人们从未想象过的事物上，这极大地提高了产品性能，使它们无处不在。想象一下，如果1965年某人告诉你他的浴缸不久将由一台比阿波罗火箭更复杂的电脑来控制，你首先会感到困惑而不是惊讶，然后会问：“为什么浴缸需要电脑，浴缸有什么可控制的？”今天的工程师会说：“冷聚变是一种很好的发电方式，为什么要把它安装到灯具上呢，交流电已经足够了”。首先工程师们可能不会这么想，他们会认为交流电功率太大，可能引起火灾和触电，因此我们最好使用自带电能的灯具。今天的电线不仅提供电力，还起着控制作用，他们对照明装置进行开关和调节。我们最好建一个网络来控制所有灯具，这样我们就可以从任何一个房间控制灯光，或者回家前就从户外进行控制，无论如何，只用简单开关控制的年代正在过去。最新的LED照明灯具需要电脑控制，它们可以调节成你喜欢的任何颜色、色度或强度以适应你一天的心情，你可以把房间先调成深红色，下一刻调成黄色，再下一刻调成白色，就像选择各种各样不同手机铃声一样<sup>79</sup>，我们将来会把大量的时间花在这些决定上。

## 六、冷聚变的协同效应

冷聚变会促进各种技术的进步，从那些无法量产的原型机到成熟商品，甚至包括一些不存在或永远不可能实现的东西。如果它们能够和冷聚变一起制造出来将会是非常赚钱的买卖。因此，如果有任何方法可以制造出真正超前的机器，人们就会有动机继续努力。

采用冷聚变技术后，许多技术将变得具有成本效益和价值，这就是协同效应：“两种或两种以上因素或力量的相互作用，联合效应大于单独效应相加”（《美国传统词典》），以下是一些例子：

---

<sup>79</sup> Yunis, J., *TRADE SECRETS, Light That Swings Quick as a Mood*, in *New York Times*. 2004. 如文中所述，可参<http://www.colorkinetics.com/>上的图片。因为灯是由独立的红、蓝、绿LED组成，所以颜色可变。实际上，这些光可以产生色度，但非完全的白色。很明显，这篇文章出现在“家庭与花园”板块，而非“技术”或“科学”板块。

## 热电转换

冷聚变产生热量，而大多数机器都需要电力，所以我们必须把热量转化为电能。我们可以使用庞大、嘈杂的汽轮机发电，也可以使用热电芯片这样精巧的方案。热电芯片没有移动部件也能将热量转化为电能，它类似于计算器上的光伏片。冷聚变热电发电机将打开传统涡轮发电机涉及不到的广泛领域，比如手机或手表电源。

热电芯片将成为重要的冷聚变外围设备，大多数机器使用机械动力、电力而不是热能，所以单靠冷聚变无法实现这些广泛应用。普通热电芯片的效率现在只有5%—10%，它们还有改进余地，而且已经取得了进展，一些原型机效率已接近20%，有专家认为有可能达到50%—80%，冷聚变将鞭策推动发展这种裹足不前的，以及其他缺乏动力的技术。

## 大规模高纯同位素生产

许多情况下，冷聚变可能对某个产品甚至某个行业产生多种影响，如令汽车使用成本更低更安全。新技术和老技术相互影响的结果很难预测，比如冷聚变会降低铜等许多高能耗材料的价格，降低铜和其他元素分离的成本。如今高纯同位素主要在国家实验室内制备，它们以克或毫克为单位出售给研究者。研究表明不同的铜同位素可能具有截然不同的性质，比如更好的导电性或导热性，但很多人不知道这一点。

同位素分离需要大量能源，因此价格昂贵，冷聚变将降低成本，并可能促成一个全新行业。冷聚变不仅使普通铜更便宜，还能大规模分离出铜-63和铜-65，使专用铜更有效。

某些硅的同位素可能用来制造更快的半导体器件。在星球大战导弹防御计划中，政府制造了铅-207样品，希望这种同位素能让天基激光发挥作用（政府在这个实验上花费2.5亿美元后放弃了）<sup>80</sup>。然而除了核能与核武器外，无人考虑使用纯同位素，因为它们太昂贵了。

锡是一种常见元素，每公斤价格约为1美元，锡-112样品价格为每克100美元，锡-115每克1,700美元<sup>81</sup>。锡很常见，锡-115只占其含量的0.34%，而且很难从其他九种同位素中分离。如果价格低廉，纯的锡-115能广泛使用，研究人员可能发现其显著的特性。现在研究锡-115没有意义，即使发现它的价值，制造成本也会阻碍其广泛使用。

---

<sup>80</sup> Gray, T., *The Wooden Periodic Table*,  
<http://www.theodoregray.com/PeriodicTable/Elements/082/index.html#sample4>

<sup>81</sup> Price quotes from TASC Corporation in Japan, 1999.

## 人造肌肉

所谓的“人造肌肉”或电活性聚合物（EAP）尚在研发中，它们模仿生物肌肉，通电时会收缩，断电后会放松。它们将取代电机、齿轮、轴承和其他易损的运动部件。与这些设备相比，EAP更安静、更强大、更耐久。某天它们可能用于人工假肢、人工心脏、机器人、扑翼机和许多其他未来设备。实用的冷聚变动力将促进它们的发展，如果病人必须拖着一个10公斤（20磅）的电池组来让腿动，然后使用者得每四个小时就给电池组充电，那么无论人造肌肉假腿功能再多，再栩栩如生都没太大意义。

## 人造钻石和挖掘技术

人们已对人造金刚石做了大量研究，特别是金刚石薄膜，它可以用于眼镜防刮，使切削工具更锋利持久。这项技术尚未成功，如果能得到完善并商业化，结合冷聚变技术将极大地改进挖掘设备。将金刚石刀具、冷聚变和改进的机器人相结合，我们可以制造出具有革命性的自动挖掘机，它可以利用冷聚变的紧凑及其无氧大功率特性大大降低原材料开采和地下建筑工程的成本。最终公路、购物中心、仓库、工厂、污水处理厂和其他设施可能都会埋入地下。一些专家推测，不久的将来即使用今天的挖掘技术在地下修造建筑可能也会比地面上更便宜。把工业区建在地下甚至建在浅海之下肯定更美观，冷聚变是最佳的“绿色”技术代表。

如果钻石切割工具没有成功，我们可以使用大量零成本的能源找到其他方法来降低挖掘成本，比如利用大功率激光或高温。

在美国大规模地下基础设施建设已经开始，例如马萨诸塞州波士顿的中央大干线/隧道项目（CA/T，或“大开挖”）<sup>82</sup>，但事实证明这是一个失败的项目，7英里的建造成本从20亿飙升至150亿美元，到现在隧道还在漏水并需要大量维修。就像英吉利海峡隧道一样，它是工程上的杰作，但却是一场经济灾难<sup>83</sup>。尽管如此，它证明了大规模地下工程的可行性。最终这些项目的成本可能变得更可预测并降低很多。

在瑞士，有些地方的道路和铁路都很拥挤，人们更加注重建设大型地下磁悬浮列车系统，它以隧道形式埋在地下，列车以每小时500公里的速度运行。瑞士地铁项目很具有前瞻性，最终会扩展到整个欧洲<sup>84</sup>。日本大规模的铁路和公路隧道已很常见，如果采用冷聚变

---

<sup>82</sup> Central Artery/Tunnel Project, <http://www.bigdig.com/>

<sup>83</sup> Pym, H., *BBC Analysis: Eurotunnel's money troubles*, <http://news.bbc.co.uk/1/hi/business/3472955.stm>

<sup>84</sup> The Swissmetro/Eurometro transport system, <http://www.swissmetro.com/>

机器人进行挖掘，会使这个国家看起来像瑞士奶酪一样<sup>85</sup>。日本平原稀少，低矮陡峭的山脉随处可见，所以高速公路和铁路沿线有很多隧道，地下购物中心也经常作为火车站的一部分。

通勤者可以避开市中心密集的车站，回家路上可以避免风吹日晒，也可以顺路购买食品，即使地震也不会伤到他们。在日本地震很常见，但地震产生的地表地震波并不会影响地下建筑。据报道，1989年里氏7.1级地震袭击旧金山时，一些在湾区捷运（BART）地铁乘车和站点候车的人们甚至都没有震感。采用冷聚变技术可以在地下修建8车道的高速公路，4车道在上面，4车道在下面。

最大问题将是处理挖出的土石，日本人将其填入大海和东京湾，这极具破坏性。他们夷平了大阪外的山丘，在海湾中部建造了一个新的国际机场。日本领导人提出了更加疯狂的计划，他们要夷平日本20%总计超过7.5万平方公里的山峦，将其填入大海形成与四国岛差不多大的第五大岛<sup>86</sup>。不幸的是，冷聚变提供的无限能源将使我们有能力破坏环境和犯大错。

我们将在第17章详述隧道公路。

## 人工智能

尽管投资巨大，但现代计算机科学有多个领域——尤其是机器人技术——并无太大进展。人工智能从未得到令人信服的发展，因此也没有出现真正自主的机器人。美国国防高级研究计划局（DARPA）举办了一场声势浩大的300英里无人驾驶车辆（汽车和摩托车）竞赛：2004大挑战。封闭整条道路，参赛的自动驾驶车辆不受其他车辆、雨水或夜色的影响，最终结果显示没有一支团队能够成功完成挑战赛程指定的路线<sup>87</sup>。实际上没有一辆车能成功驶出11公里，它们不是冲出路外就是把影子误作路障而停车，这已是40年来我们对人工智能和机器人深入研究做到的最好结果。

一年后的2005大挑战取得了巨大进步<sup>88</sup>，斯坦福大学的自动驾驶车辆用6时53分完成了比赛，另外五支队伍有四支在不到10小时内完成了比赛。总之人工智能在一年内虽无太大进步，但工程师们解决了一些具体问题，赢得了这场竞赛。

即使未来几十年不能出现通用智能，我们也很可能制造出具备识别、抓取、携带以及能够理解简单命令且独自行走的家用机器人。通用智能可以让机器人自己学会做这些事，而不是等待工程师们一次单独开发一个能力。

---

<sup>85</sup> 指多孔——译者注

<sup>86</sup> Kerr, A., *Dogs and Demons: Tales from the Dark Side of Modern Japan*. 2001: Hill and Wang, p. 234.

<sup>87</sup> The Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), <http://www.darpa.mil/>

<sup>88</sup> DARPA Grand Challenge, <http://www.darpa.mil/GRANDCHALLENGE/index.html>

其他形式的计算机智能和机器人已经取得了成功，电脑可以打败顶级的国际象棋冠军，小型自主无人机已经能够从澳大利亚飞往美国，但还无法载客。遥控飞机更加常见和可靠，已成功地用于军事侦察。

不管有没有通用智能，机器人技术的重大突破都是不可避免的，总有一天会商业化。此外我们应该记住，现实世界中简单的导航任务并不需要太多智能。蜜蜂、老鼠、蝙蝠和鸡等动物都能做到这一点。不管这些动物的大脑有多么神奇和复杂，最终我们将对生物学和计算机科学有足够的认识从而模仿并制造出“鸟脑”级计算机。这个我们会在第10章中详述。

## 七、模式的转换

冷聚变将引发前所未有的变化，我认为能与之媲美的是史前的火、语言或农业。19世纪是有记载以来历史上最伟大的变革和创新时代，它带来了蒸汽机、铁路、电报、电话、卫生设备、麻醉药、电灯、马达、汽车和许多其他东西。在我看来，这些比20世纪的发明对人类的生活影响更深远。能源对技术的方方面面至关重要，所有机器都使用能源，最终冷聚变就会像19世纪的伟大发明一样引发社会变革。

尽管冷聚变的影响将比以往的技术革命更大，但我们仍能从这些革命中学到很多东西，因为人们对变化的反应是可以预测的。现代历史上从没有任何创新能像冷聚变那样受到知识分子的强烈反对，以前的突破和改革确实对社会构成了挑战，引起了破坏和抵制，这些创新需要大量的资金和人力投入。历史为从化石燃料到冷聚变的转变提供了有用的线索，本章描述其中一些转换模式。

### 1. 新事物对旧事物的模仿

第一批汽车看起来和马车一样，只是没有套马。第一款冷聚变汽车的外观也会与今天的汽车相似，它们拥有相同的车身、轮胎、控制系统和电子设备。多年以前，汽车有很多不同形状和尺寸，但由于安全法规和空气动力学的限制，现在看起来都差不多。

第一台冷聚变发电机也将类似于今天的内燃发电机，设计师将燃煤锅炉换成冷聚变热源，其他部件会保持不变。工程师们喜欢可靠的设计，只有必要时他们才会创新。

冷聚变暖气将与现有的燃气热风管道或散热器连接，它们都会遵循同样的安全法规，冷聚变发电机将连接到供电局的进线保险盒上。

新技术经常从一开始就对旧技术进行替代，但新材料就像19世纪木船上的铁一样会与旧材料一起使用：

早期的做法是用铁部件替换每一个木制的部件，但许多船东对铁有偏见，所以铁船出现之前出现过木铁复合船，复合船把铁框架和铁连接板与木板和木甲板组合在一起来使用<sup>89</sup>。

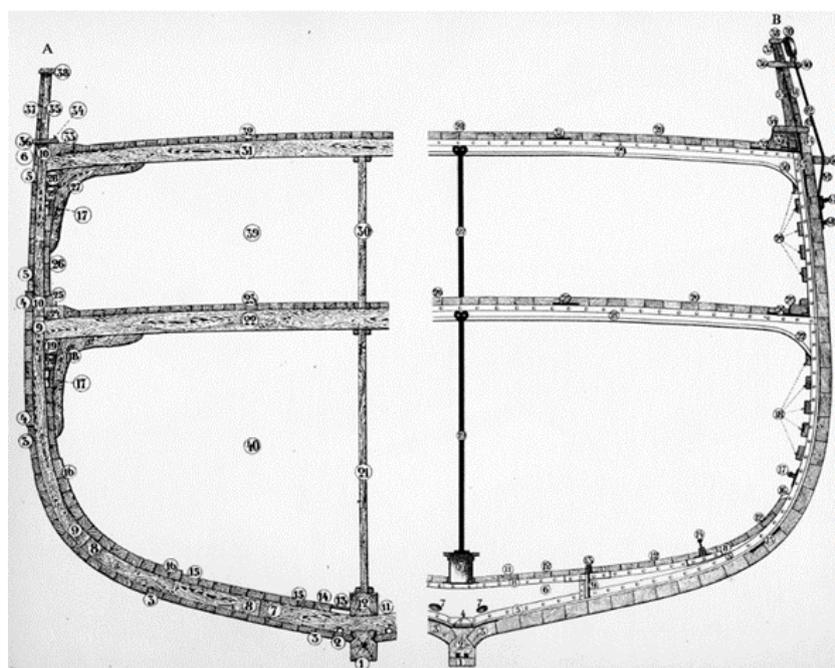


图7.1. 木船横截面图（左）以及19世纪含铁零件船体的横截面图（右）。参：Baker, W., *The Lore of Ships*. 1963: Holt, Rinehart and Winston, “The Hull,” p. 27。

即使新技术本身更好，它也会对旧技术进行模仿。用粘土制作光滑的陶罐更容易，但很多早期中国陶罐还是做成了编织篮子的外形。第一批塑料家居用品的形状类似于木头、柳条和其他传统材料的，20世纪60年代后塑料椅子看起来才更像塑料。20世纪70年代，我参观过一个早期文字处理系统的演示，显示屏设计成打字机的样子，新文本只出现在屏幕底部，光标不会移动，换行时必须像使用纸一样把文字向下滚动。通过发挥人类的“聪明才智”并经过多余的努力，老机器的局限性终于融入到新设备中，售货员还解释说这将使秘书们使用它会更自在。发电厂控制室有一些不必要的大型控制装置，比如那些连接小触点的老式J型手柄（手枪手柄）开关，因为要与驱动设备机械连接，它们在老旧电厂中必须做得很大。一项

<sup>89</sup> Baker, W., *The Lore of Ships*. 1963: Holt, Rinehart and Winston, “The Hull,” p. 19.

官方研究结论认为这是导致三里岛事故的一个原因，“控制装置太大，严重浪费空间，其他控制装置不得不安装在远离操作者的地方，导致无法及时操纵。”<sup>90</sup>

早期的冷聚变装置会在几年后显得笨拙而落后，类似于图7.3所示的个人电脑，第一代型号总会更快地过时了。

早期型号的机器有时是基于以往和现实生活的设想，这些设想用在新设备上毫无意义。早期豪华汽车后面是乘客用的封闭车厢，前方司机乘坐的位置只有帆布罩，这使司机和方向盘以及其他控制装置暴露在恶劣的自然环境中。可能是因为传统马车夫在外面骑马，设计师觉得本应如此，因此不辞辛苦地把旧的限制和问题强加到新事物上。很快出来的豪华汽车就像今天一样了，只有单个封闭车厢，司机和乘客间由玻璃窗隔开。

发明全新技术的工程师们常常不厌其烦地去解决那些不需要解决的问题，早期的铁路机车设计了带钉的驱动轮，其下方轨道分布着间隔的孔洞，设计者认为光滑的钢轮会在轨道上打滑而无法推动火车头前行，所以增加钢钉来与轨道配合，他们没有意识到机车巨大重量通常会产生足够的摩擦力防止打滑。这些设计师并不是完全错了，确实发生过这些问题，但他们的解决方案有些不切实际，机车驱动轮确实有时无法获得牵引力，特别是当铁轨上覆盖了冰、湿树叶或成群蝗虫的时候。火车头装着沙子，把沙子扔到光滑的铁轨上会提高牵引力。现代火车头都配备了复杂的电子控制设备和传感器，可以向每个驱动轮传递适量的扭矩防止打滑，确保经济运行。设计师获得现实世界机器使用经验后就会放弃那些解决不存在问题的多余功能，第二代机器往往更加简洁美观。

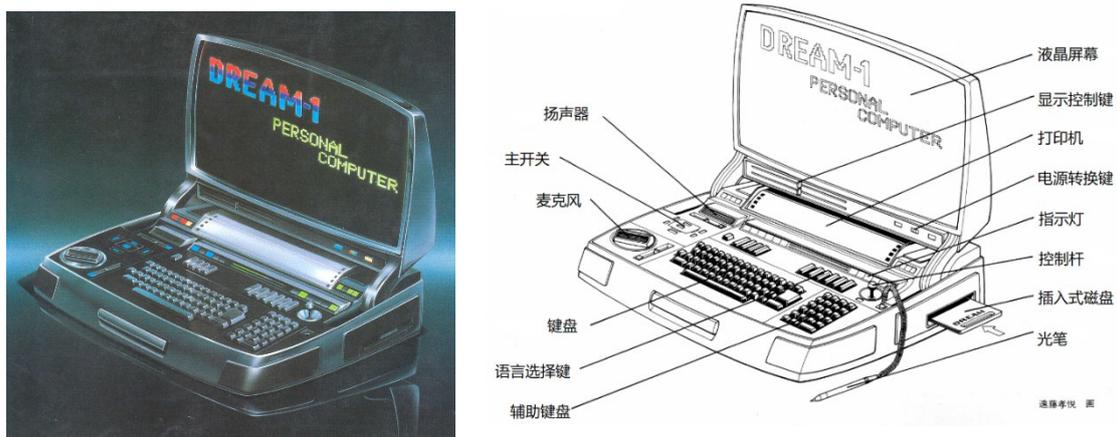


图7.2. 1981年6月日文版《科学美国人》个人计算机专刊中的梦想1号概念计算机，左为封面，右为第2页的内容。

图7.2显示的是1981年日文版《科学美国人》编辑们所设想的未

<sup>90</sup> Ford, D., *Three Mile Island*. 1982: Penguin Books, p. 115

来梦想1型个人电脑。他们首先列出了一份功能清单，然后设计出了这款多功能便携式电脑，包括一大堆说不清楚的控制键、一个巨型旋钮麦克风（见图左）、一个操纵杆、一支光笔、一个外部存储器，最重要的是它还有一个内置打印机。就像在驱动轮上安装钉子的机车设计者一样，他们不知道什么功能可行，什么功能可用，以及什么输入法受欢迎，所以他们一股脑都集成进去。他们没想到使用便携式电脑的人不会经常使用打印机，或者说他们在旅途需要打印时会选择使用酒店的电脑或到复印店进行打印。当然，酒店为客人提供电脑服务是该文发表之后的事。梦想1型电脑有许多大且多余的控制，如显示屏下方的两个显示控制滑块（可能用于亮度和对比度）以及用于选择电池和外部交流电的电源模式开关。显示控制开关可以做的更小，电源转换可以更加便捷，接入市电后电脑自动停止使用内部电池。

尽管日本的编辑们为他们所设想的电脑堆积了许多无用功能，但他们却在讨论会上遗漏了杂志出版后电脑引入的一个关键功能。编辑和专家们认为计算机永远不可能显示日文，因为日文占用了太多的内存（RAM）和磁盘空间，日文汉字太复杂多变，计算机无法处理。到1985年，所有的日本电脑都能显示全部日文字符，计算机把罗马字母键盘自动转换成日文字符。到1995年，所有运行微软视窗系统的电脑不仅可以输入和显示日语，还可以处理中文（中国汉字比现代日语汉字多得多）、阿拉伯语、希伯来语、俄语等几十种语言。现在想想觉得很奇怪，编辑们竟然没有把本国文字作为电脑的基本特性，因为今天每个日本专业人士都在进行文字处理。在冷聚变普及几年后，人们就会觉得许多特性对日常生活至关重要，包括一些以前不存在的特性。他们想知道没有这些功能将如何生存，就像我们想知道没有电子邮件和互联网将如何生存一样。

对于新出现的问题，早期冷聚变设备会存在许多不完善的方案以及一些无关特性，这些特性可能只适用于目前危险笨重的燃油和电子设备。

## 2. 古尔德间断平衡

有时现代科技必须解决一些早已消失的古老问题，开发QWERTY键盘主要是防止快速打字时按键连在一起，这种键盘已经诞生了一个多世纪，其他键盘布局可以让打字更快捷。史蒂芬·古尔德（Stephen J. Gould）形容QWERTY是次优布局<sup>91</sup>。他将其存在归

---

<sup>91</sup> Gould, S. *Bully for Brontosaurus*. 1991: W. W. Norton & Company, p. 69

因于两种基本的进化机制：偶然性和先入为主性，偶然性是指一长串不可预测的先决条件的偶然结果。先入为主意味着先到一步，第一个占领没有竞争的小众市场。一些早期小怪癖一旦被推入一个稳固的渠道，现有机制就会增强其路径的稳定性。古尔德举了一个例子：“无良政客一旦上台，掌握了特权、资金和媒体，他们就几乎永远占据上风。”这就引出了古尔德间断平衡理论的前提：“停滞是复杂系统的常态，完全激发的变化也通常是迅速而短暂的。”冷聚变的转变可能遵循该模式，很长一段时间内什么都不会发生，之后这种变化将在全球范围内迅速展开。

燃油汽车到冷聚变汽车的转变将是一个间断平衡特别明显的范例，制造一辆新车需要很长时间（常态停滞期），燃油汽车是一个更大系统的一部分，包括炼油厂、加油站、道路、交通信号灯等等（复杂的系统）。一旦冷聚变汽车上市，消费者将面临巨大的购买压力（快速和偶发的事件），当道路上四分之一的汽车采用冷聚变动力后，加油站由于利润率降低将会大批倒闭。例如在20世纪70年代高油价冲击下，许多加油站倒闭了，消费下降了数百个百分点。燃油车会很快停产，使用变得越来越不方便，零配件很难找到，年轻的机械师不会修理汽油发动机。加州修订后的反污染法将禁止汽油车，亚特兰大、纽约和其他大城市也将紧随其后。那些坚持开汽油车的司机将被迫在车辆报废前更换，十年后只有少数人想买汽油车。最终大城市开门营业的加油站数量将与今天的马厩数量大致相当。

### 3. 产品的诞生顺序

首台机器问世时通常是业余爱好者和喜欢轻浮、新奇、易变和无用的小玩意人士的高科技玩具，比如1900年的汽车或1977年的个人电脑。第一代个人电脑就是价格高昂的玩具，它没有磁盘甚至没有显示器。第一批汽车是那些具有路边维修天赋的富家子们的玩具。

之后的机器成了非常昂贵的奢侈品，但可靠性更好，不再需要专业人员操作。到1905年，汽车的速度超过了马，未经训练的人也可以坐在驾驶室内轻松驾驭。

再后来机器进一步改进，大批量生产，它们更简便安全，成为许多人的必需品。汽车在1908年8月12日进入这一阶段，福特在当时推出了售价850美元的T型车<sup>92</sup>，个人电脑在20世纪80年代后期逐渐进入这个阶段。

---

<sup>92</sup> Microsoft Bookshelf CD, *The People's Chronology*, 1992: Henry Holt and Company.

最后，机器的性能变得可靠，成本大幅下降，新型号取代了旧型号。美国马匹的数量在1929年到达顶峰之后开始迅速下降<sup>93</sup>。1992年前后，计算机开始普及至各行各业，手工记账和手写账本已经成为一门失传的艺术。在机器经历这些阶段的过程中，人们态度的变化是可预计的，一开始人们攻击它为精英主义或鄙视它不切实际。

（20世纪初，人们嘲笑路过的汽车司机，大喊“弄匹马来”！）后来人们习惯了自己拥有汽车，他们已无法想象没有汽车的生活。弗雷德里克·刘易斯·艾伦（Frederick Lewis Allen）描述了这种转变，1906年，伍德罗·威尔逊（Woodrow Wilson）说：“没有什么比汽车更能在这个国家传播社会主义情绪了”。他说它展现了财富的傲慢。1925年，印第安纳州曼西（Muncie）市的一位低收入妇女告诉一位社会科学家：“我宁肯不穿衣也要买辆车”。另一个说：“我宁肯不吃饭也不能没车”。采访者问一个农妇，为什么她家连浴缸都没有却有一辆福特T型车，她回答说：“我不能坐在澡盆里进城”，艾伦称这很适合汽车革命的主旨<sup>94</sup>。

冷聚变类似于铁路、汽车和微处理器等其他重大突破，但这种类比不应走得过远。如果风险投资家认为冷聚变革命会像计算机热潮一样就错了，它们之间有许多本质区别。冷聚变的商业化策略完全不同，比如要进行广泛的安全测试，不同公司的冷聚变热水器在外观和功能上可以完全不同，而电脑必须严格遵循一两个技术标准（它们必须与PC或Mac兼容），否则它们就没有价值。

冷聚变历史的独特性使它有别于以往的突破，它是如此的新奇，令人惊讶和费解，大多数科学家和工程师仍然拒绝相信它的存在。以前多数突破并没有让专家们感到惊讶，只有X光片让专家和外行人感到诧异。例如铁路是运河和矿车的简单扩展，16世纪以来铁轨一直采用木头制造，第一条铁路建造之前运河的建造者已经知道如何建造铁路路基<sup>95</sup>。个人电脑本质上是一台1979年的小型机，上面安装了华丽但不可靠的操作系统。1979年程序员能够在几个小时内掌握个人电脑。如今的个人电脑都没有任何功能让那个时代的程序员感到困惑，让他们感到震惊的是如此大的内存和极其复杂的软件，这显然是千万人多年艰苦劳动的产物。错综复杂的情况并不少见，纽约市的建筑、爱荷华州的农田和国会图书馆摆放的书籍也反映了

---

<sup>93</sup>我唯一的资料来源是我母亲对1939年康奈尔大学一门经济学本科课程的回忆。这位教授的主要论点是，从马匹到汽车的转变造成了大规模的失业，这也是他在这个学期中反复强调的。他认为这是大萧条的主要原因。

<sup>94</sup> Allen, F., *The Big Change: America Transforms Itself: 1900-1950*. 1952: Harper & Brothers. Chapter 8, “The Automobile Revolution”

<sup>95</sup> Cardwell, D., *The Norton History of Technology*. 1995: W. W. Norton & Company, p. 65

巨大的复杂性和众多人的努力。

我认为这些独特性意味着主流以外的公司和机构将会首先开发冷聚变，今天的能源公司很难成为主角。这种效应的新奇性将产生一种心理障碍，大型老牌公司将难以应对这种大规模的变化。他们可能无法迅速改变工艺和市场以应对挑战，现有的化石燃料公司将难以打入冷聚变市场，原因很简单也很实际，它们没有相关资质。冷聚变可以植入机器内部，燃料将像干电池一样整合到设备中。那些具有制造热机、熔炉和电池经验的公司将拥有制造冷聚变电解池所需的各种技术，油井钻探或煤炭开采公司则没有。

微处理器是有史以来最全能的器件之一，它可用于收款机、汽车发动机、电梯、宇宙飞船以及无数其它机器。如今它无处不在，没有人注意它出现在电动牙刷抑或一次性圣诞音乐贺卡上。尽管如此，微处理器却无法像冷聚变一样创造出那么多令人震惊的新机器，微处理器所代替的多数功能——如以前模拟控制的电梯——已经做的相当好。我们的房子、汽车、厨房和其他日常生活用品看起来和1970年几乎一样。当然办公室看起来不一样，几乎和无人电话中心或天文台一样了。冷聚变会对人们——尤其是第三世界——的日常生活产生更直接的影响。

#### 4. 苟延残喘的过时技术

COBOL编程语言已经过时，但或许会再沿续20年，它是技术可长期遗存的例子。

蒸汽机车在20世纪30年代就已经过时，但中国仍在使用<sup>96</sup>。它们结构简单易于维修，但燃料消耗是柴油或电力机车的三倍，在铁路上行驶过程中时刻都要大量管护，它们排放大量的污染，用电力机车来取代对所有人都有好处。这就是中国政府最近购买日本新干线高速电动列车的原因。

1840年，蒸汽机车的基本动力布局已经非常完善，此后也无太大改变。它活塞前置，蒸汽和烟雾从烟囱排出。1910年，设计师们可能已经为火车开发出了燃煤汽轮机，类似于当时流行于船舶上的型号，它效率更高。但火车转而采用了柴油发动机。这是过时技术的显著标志，即使基础科学进步也无法改进它们。很显然，在1910年，设计师们认为汽轮机根本不值得开发。

远洋帆船在1850年就已经过时，它们在19世纪70年代之前曾大

---

<sup>96</sup> 作者可能忽略中国最新的发展情况，目前中国已经完全淘汰蒸汽机车，到处都是高速铁路——译者注

量建造，许多帆船在第一次世界大战前仍在使用，20世纪30年代仍有少量用于大西洋贸易。1910年它们对经济的总体贡献已经很小，运输的货物吨位微不足道，而且无法载客。上世纪30年代我父亲在商上当水手，仍有一些帆船往来于大西洋航线，一天他们在大洋中遇到一艘帆船，船长抱着怀旧的心情向它欢呼，命令船慢慢绕着它转。直到1951年世界上仍有两艘装备完整的商业帆船<sup>97</sup>。

蒸汽机车、帆船和COBOL大型计算机的寿命都有一个可以解释的共同特点，它们属于长期投资品，非常昂贵，你不能因为有更好的东西就随便放弃，它们是缓慢变化的大型技术。

当市场出现危机或突然变化时，过时技术往往会突然失效。第一次世界大战对帆船来说是一次致命的打击，它们无法跟上船队，美国和英国疯狂地制造了数百艘廉价蒸汽船使战后航运市场供需失衡，经济性差的帆船无法在市场上占有一席之地。许多COBOL程序在2000年“千年虫危机”<sup>98</sup>期间遭取代，一些程序用“开窗口”来进行修补以使在第二次大修之前继续运行10年或20年。最终计算机出现另一次危机或重大转变（例如大规模并行处理器或人工智能重大进步）时，剩下的COBOL应用程序将遭彻底淘汰。

对石油工业来说，最后的危机可能是油轮泄漏或爆炸。一旦行业开始衰退，企业会节省维修费用，不再购买新的设备，破旧设备发生事故的可能性就会大大增加。发生严重事故后，公众会要求石油公司停产，剩余的石油应用，如塑料原料将让位于冷聚变碳氢化合物现场制备机。对电力公司来说，最后的危机可能是一场摧毁高压电线的飓风，大型中央燃气发电机、水电大坝和剩余数十年使用寿命的风力轮机将遭废弃，由于大多数用户已经拥有了自己的冷聚变发电机，不再值得花大量金钱修复电网与用户重新连接。处理破产电力公司遗留下来的废弃铀裂变堆将是最大的问题。

汽车在家庭支出里属于大件消费品，尽管汽油价格已经超过两美元，拥有SUV的家庭也无法一夜之间更换它们，他们必须等到汽车报废，这需要5年或10年。耐用家电如热水器和冰箱通常可以使用15年左右，商场里的暖气和自动扶梯可以使用30年，冷聚变进入市场后很长时间内这些设备还会继续运转。新干线铁路列车能运行约20年，需要很长时间来设计冷聚变驱动的新列车，所以40年后它们才会引入冷聚变技术，一些老式的外部电力驱动型新干线列车仍会继续运行，它们仍然需要少量过时的吉瓦级发电厂供电。

---

<sup>97</sup> Tunis, E., *Oars, Sails and Steam*. 1952: The World Publishing Company.

<sup>98</sup> 指2000年开始无法继续用原始的2位数表达年份——校者注

## 5. 迅速开始的转型

一些专家预测，冷聚变与电气化、电话、汽车和电脑的普及一样需要50年时间。我相信一旦有了商业产品，这种转变将会快得多，冷聚变不需要电话和汽车那样新的基础设施，而且比计算机发展的前30年便宜得多。大多数冷聚变设备是热水器这样的消费品，因此改变的步伐将由普通消费者决定。换句话说，在商店购物的人们将决定变化的步伐。

想象一下，早上起来你发现热水器坏了，地下室里全是水，于是你关上水龙头，拖干地面去西尔斯（Sears）百货买一个新的。因为需要热水，你马上可以挑一个，自己能否购买既不需要委员会批准也不需要国会法案表决。必须更换飞机或高炉时，决策、计划和批准可能需要数年的时间。

你在商场找到三种热水器：电热水器、燃气热水器和冷聚变热水器，它们都是300美元。第2章已经说明冷聚变不需要特殊材料，制造起来既不很难也不精密，所以价格不该更高。

你会选择哪种型号？燃气或电热型每年的运行费用为200至400美元，冷聚变型号不需要任何费用，三家公司都有相同的质保，接受政府消费者安全机构的检测，得到保险商实验室（UL，美国商店不会销售没有UL认证的产品）的认证。也许一开始，胆小的用户会犹豫不决，不愿购买新技术，但很快所有客户都会选择冷聚变型号。燃气和电热型将积满灰尘直至停产，卖燃气热水器就像给想要iPod的顾客推销手摇留声机一样。

当你做出选择的时候，世界各地数以百万计的其他客户也在做出选择。落后国家以及农村消费者以前购买过时产品，现在没有滞后。无论你身处宾夕法尼亚州的小镇还是日本村庄，你都不会对遍布的电脑商店和卫星天线感到惊讶。一旦旧型号停产，不管是否愿意，每个人都得接受冷聚变。市场是一个暴君，会封杀那些不受欢迎和不出名的品牌。现在主要的电子商店已经开始逐步淘汰VHS磁带播放机，无法播放的磁带很快会堆满人们的书架。烹饪是一门艺术，美食家可能想继续使用燃气烤箱和火炉，厨师们通常更喜欢熟悉的工具，不幸的是市场会否定这一想法，因为天然气公司将会倒闭。对于顽固的厨师、珠宝制造者和雕刻家来说，如果他们坚持用燃气火焰来达到恰到好处的效果，会有专门的瓶装燃气或把水分解成氢和氧的冷聚变机器（添加化学物质来使火焰可见）。正如克拉克所说，人类从未完全停止使用任何工具，你在亚特兰大仍可买到麻袋装的煤炭来做饭和取暖，但找到过时的工具不容易。

冷聚变的转变将是迅速的，其速度不是由政府机构或企业高管

而是由消费者决定的。公司高管有时会把自己想象成领导和决策者，但实际上他们受客户冲动的控制，所有的力量都掌握在消费者手中，尤其像热水器这样便宜而广泛使用的产品。

## 6. 核心技术

就像微处理器与硬盘、打印机、液晶显示屏（LCD）和其他外设结合使用一样，冷聚变将与许多新机器外设相结合。最初小众发烧友用微处理器制造原始电脑，当时的电脑还没有屏幕、键盘、打印机或硬盘，只有闪烁的红色发光二极管。后来稍微先进一点的电脑有了键盘，配备了显示屏，程序刻录在磁带上，可靠性就像大风天在沙滩上写字一样。

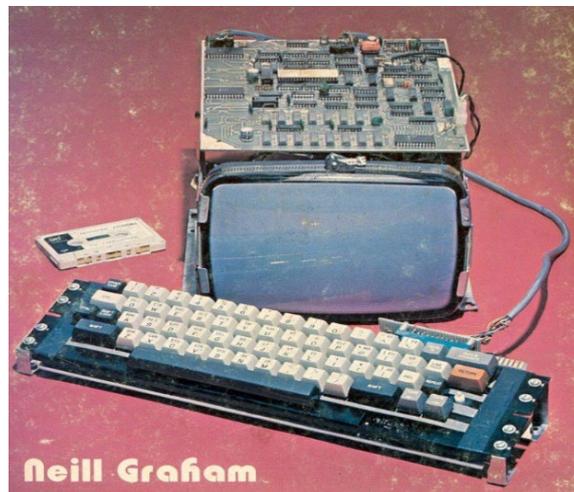


图7.3. 早期的家用电脑，注意左边的录音带。参：Graham, N., *Microprocessor Programming for Computer Hobbyists*, 1977: Tab Books.

年复一年，大批工程师和生产线工人对计算机各方面进行了渐进式改进。计算机内存和硬盘逐渐变得更快更大，新型显示器和打印机亮相了。上千家新计算机公司成立，竞争日趋激烈，产品开发周期从5年减少到6个月。数百万人参与这些工作，投资高达数十亿美元，这背后并不需要什么天才，一个人没有成果，其他人也会做出贡献。最原始最核心的东西就是微处理器，没有它其余设备都毫无意义。

微处理器先问世并不意味着更难制造，或者比硬盘或软件更重要。在许多消费品中，冷聚变的外围设备和热电芯片等组件可能与冷聚变电解池一样贵，一样有利可图。

在微型计算机开发出来之前，打印机和其他计算机外设市场规模很小。20世纪70年代，每年售出大约4万台电脑和打印机，而今每

小时就售出1.9万台<sup>99</sup>。在打印机销量极少的年代，没有人会投入大笔资金开发100美元的打印机，如今热电芯片市场也很小，而且存在其他有竞争力的发电机，所以其改进动力有限。

## 7. 发展阶段

汽车和微处理器分四个阶段为市场带来一连串新产品，首先，新机器所需要的外围设备，第二，是人们期待的改进：新产品会比老产品更好。人们知道大型计算机能用于会计工作，只要足够便宜，新的个人电脑也能做到。第三，新机器突破旧机器极限后会以人们意想不到的方式取代其它技术，比如数字CD播放机取代模拟播放机，70年代几乎没人（除了克劳德·香农等专家）会想到电脑与电唱机有任何关系。最后，新技术会创造出以前不可能或不切实际的新应用。

微处理器的这些阶段是：

1. 外围设备。小硬盘和打印机。在这些产品出现前，微处理器只不过是玩具。
2. 改进。现有数据处理应用程序的改进和扩展，例如针对小型企业的会计系统，这些企业以前负担不起，只能手工记账。
3. 取代其它技术。微处理器取代了机械燃油喷射、唱片机以及与传统数据处理无关联的机器，如小型计算机取代大型机。
4. 新应用。从电子游戏到互联网。没有微处理器，互联网可能主要为大学、政府研究机构和大公司提供服务，不可能成为一种大众媒体，也不可能变成朋友间视频通话的工具。

汽车的这些阶段是：

1. 外围设备。更好的轮胎，取代摇把的自动启动器。
2. 改进。在城里跑得比马车还快。早期的汽车是不用马拉的马车，也就是说它是一辆马车的替代品。它不是一种公共交通工具，很脆弱并不适合长途旅行，城市之外几乎没有铺好的道路和加油站。
3. 取代其他技术。一段时间后汽车变得更加可靠，它开始取代短程公共交通，如有轨电车和通勤铁路。类似于从大型机到个人计算机的变化，个人计算机取代大型机组成网络。
4. 新的应用。随着道路改善和加油站普及，汽车带来一种新的自

---

<sup>99</sup>“电脑的安装数量预计将从1970年的9万增加到1975年的20万。”假设所有旧电脑都报废了，在1970年到1975年期间，所有的20万台旧电脑都售出了，那么每年的总销量大约为4万台。事实上，这个时代的许多电脑使用时间都超过了五年。目前，IBM兼容型个人电脑和服务器的年销量约为1.7亿台。这还不包括大型机和苹果电脑。该估计来自：Sanders, D., *Computers in Business, An Introduction*, 1968: McGraw-Hill, p. 512。

助长途旅行方式，汽车旅馆应运而生。然后带来了郊区住宅发展、州际高速公路系统、大型购物中心以及许多其他喜忧参半的东西。

冷聚变的这些阶段是：

1. 外围设备。更好的热电芯片和其他小型自动化免维护热机。
2. 改进。升级现有的汽车、泵和发电机。
3. 取代其他技术。冷聚变将取代电力公司。个人拥有的小型机器将再一次取代由大型机器组成的网络，我们每个人都会拥有独立的能源。
4. 新应用。许多新的应用如植入人体的心脏泵，大规模海水淡化项目，个人飞行器，这些都无法用以前的能源实现。

突破也带来许多异想天开的，浮华和有趣的应用。

汽车：汽车影院和赛车，汽车将作为地位的象征以及迷恋的对象，比如跑车和SUV。

计算机：千万人在线角色模拟游戏。通过互联网与来自各个国家和各行各业的参与者进行在线讨论。

冷聚变：巨大的热气球飞艇就像时速120公里的空中游轮。拉斯维加斯将变得更加明亮嘈杂华丽。我预计城市的长老们会颁布一项庄严的欢乐穹顶法令，装有空调的碳纤维网格穹顶覆盖整个城市，彩色的视频广告以及大功率音响配合不间断震耳欲聋的流行音乐。穹顶内的空调会冻得你牙齿打架，喧闹的灯光以及24小时不停的狂欢是前几代人做梦都想不到的。

最后，既然人总是人，新技术通常也会介入色情领域：汽车可以停在离家几英里远的僻静处；因特网可以用来从事色情活动。下一代企业家将设想出冷聚变的相应用途。也许是作为进入轨道空间并实现零重力的私人手段？

像晶体管这样的根本性突破并不是必然的，可是它一旦实现，集成电路等偶然衍生或后续突破必定接踵而至。冷聚变的发现无论如何都不是必然的，技术上的困难和政治上的反对使得它可能永远不会有所发展，而一旦发展起来，许多偶然的突破如家用发电机和高效热电芯片将接踵而至。

## 8. 颠覆性技术与可持续性技术

克里斯坦森（C. Christensen）有一篇精彩的文章分析了颠覆性技术与可持续性技术<sup>100</sup>。颠覆性技术在某些方面是不太好的机器或

---

<sup>100</sup> Christensen, C., *The Innovator's Dilemma*. 1997: Harvard Business School.

方法，但它拥有巨大的发展潜力。刚开始主流用户认为它太小太慢或太贵，因此只能吸引小众市场有特殊需求的人。与传统技术相比，它会迅速从底层渗透到主流市场并最终取代主流产品。

克里斯坦森将颠覆性创新与可持续性创新相比较，可持续性创新以所有人能欣赏的方式改进最先进的技术，使产品更加便宜，性能更好，功能更强，从商业角度看它对现有客户更有吸引力。新款通常比旧款更复杂，需要更多的专业知识以及更贵的生产线来制造。可持续性并不意味着逐步递增，持续的新型号可能与以往型号大不相同，可能基于不同的物理原理但功能相同，可以满足同一种客户需求。克里斯坦森描述了从蒸汽驱动到燃油驱动挖掘设备“激进”但持续的转变，蒸汽挖掘机通过蒸汽机收缩和释放缆绳控制挖斗，燃油挖掘机使用引擎、齿轮、离合和刹车等。老牌的挖掘设备制造商转向到燃油发动机，客户很快就采购了新机器，老牌公司的管理人员接受培训以便认识并积极投资可持续技术以跟上竞争的步伐。

老牌公司难以应对颠覆性技术，虽然它们在持续创新方面做得很好，但他们的工艺可能无法转化为颠覆性的技术。20世纪40年代航空运输刚刚起步时，铁路公司没有飞机运营方面的技术或组织能力，他们也从未试图在航空业中立足。二战后飞机得到改进，客运航空公司的地位已经很稳固了，铁路公司即使想要进入也很难了。多数早期的数码相机不是由日本老牌的相机公司而是由打印机公司制造的，冷聚变装置可能由那些与当今能源关系不大或无关的公司来生产。

开始时，颠覆性技术通常不如老技术好，单位成本可能比较低，速度慢效益差，可靠性或效率较低，老客户通常不需要它。例如早期的数码相机比胶片相机更贵，图像质量也很差。颠覆性技术通常更简单，它并不一定是创新，它可能是基于一项新的研究突破，也可能只是对旧技术的重新包装。要销售颠覆性技术，必须找到新客户，最佳地点是新兴市场。1981年希捷公司推出了5.25英寸温彻斯特（Winchester）硬盘驱动器，克里斯坦森将其与当时行业标准的8英寸驱动器进行了比较：

	<b>8英寸驱动器 (小型计算机市场)</b>	<b>5.25英寸驱动器 (台式机市场)</b>
容量 (MB)	60	10
体积 (立方英寸)	566	150
重量 (磅)	21	6
读取时间 (毫秒)	30	160
每兆字节成本	\$50	\$200
单价	\$3000	\$2000

小驱动器效率低，速度慢，每兆字节成本更高。在1981年，现成的硬盘客户是小型机制造商，他们想要更大容量更快速度的磁盘驱动器，对重量或驱动器占用的空间并不关心。另一方面，新兴台式计算机市场需要低成本紧凑轻便的硬盘，他们愿意牺牲速度和单位容量来换取这些优势。如果希捷在小型机市场上寻找客户会很快破产。基于更简单的技术，5.25英寸驱动器的改进比8英寸驱动器更快。到1987年时，5.25英寸驱动器容量已经可以满足小型机的需求。8英寸驱动器更快容量更大，但已超出市场需要，它们没有像小型驱动器那样迅速改进或降价，所以惨遭淘汰。那些忠实满足客户需求并坚持使用8英寸硬盘技术的公司都破产了。正如克里斯坦森所说，他们被顾客俘虏了，两年后进入5.25英寸市场的公司也失败了，因为他们无法与希捷丰富的经验和客户满意度相竞争。

冷聚变将可能成为历史上颠覆性技术最好的范例，特别在早期阶段。刚开始冷聚变动力机器会既昂贵又难伺候，只能吸引那些需要尖端技术设备以及小众应用的客户，如南极科考人员和NASA火箭专家。这些应用会带来巨大的利润，美国宇航局愿意花费数百万美元购买小型钷驱动放射性同位素热电发电机（RTG），制造冷聚变设备的专业公司将会进入这些细分市场，很快赚取大笔利润。他们将把这些利润投入到研发中，为主流应用准备更大更便宜的电解池。

根据我们对冷聚变性能的了解，一旦学会如何控制反应，小型机器将会很快发展起来。也许会出现无法预见的安全问题，或大型能源公司在国会玩政治游戏阻止个人使用冷聚变。如果没有这些情况，你就能在通用电气（GE）为电力公司开发出400兆瓦级发电机之前买到一台20千瓦的家用发电机。不考虑燃料费用，家用发电机每千瓦成本将会比使用化石燃料的400兆瓦发电机更贵。当通用电气开始开发大型冷聚变发电机的时候越来越多的人会购买小型发电机，而小型发电机价格的下降（参考上面示例中5.25英寸硬盘的价格下跌方式）会导致集中发电失去市场。

老客户看到的是问题，新客户看到的却是特色。20世纪40年代末液压挖掘机（称为反铲挖掘机）刚开发出来时又小又弱，它的铲子很窄，一次只能挖0.25方，缆索挖掘机一铲能挖1到4方，每方成本更低。工人会用缆索挖掘机开挖房子的地基，然后用镐和铲子从房子到街道挖一条狭窄的沟埋设上下水管道。缆索挖掘机太大挖不出这么窄的沟，液压挖掘机干却很合适，这是小尺寸机械的优点。到了1970年，液压设备得到了发展，液压挖掘机可以胜任各种工作，缆索挖掘机公司因此倒闭了，克里斯坦森以液压挖掘机商的视角描

述了上世纪50年代的状况：

他们的客户不需要也不会使用液压技术，每一家缆索挖掘机制造商都竭尽全力抢夺彼此的客户，如果他们把目光从客户下一代需求上移开，现有的业务就会处于危险之中。20世纪50年代液压反铲市场很小，开发更大更好更快缆索挖掘机从现有竞争对手抢夺市场份额比投资液压挖掘机带来的利润更加明显。他们并不是因为没有技术而失败，也不是因为缺乏液压技术或不知道如何使用液压技术而失败，最优秀的技术人员在帮助客户解决问题时就会使用到液压技术，失败也不是因为管理层的冷漠或傲慢，只是因为他们知道液压机的意义时已经太晚。

冷聚变主要是由主流机构工作的独立科学家进行研发的，包括主流能源研究所。阿莫科石油公司（Amoco Production Company）和美国电力研究院（EPRI）<sup>101</sup>曾资助了一些令人印象深刻的冷聚变研究，但他们搁置研究结果，缩减或取消项目，其原因显然是这些组织的管理者对冷聚变持敌对态度<sup>102,103</sup>。如果克里斯坦森的假设是正确的，这些管理者会感到困惑，他们无法想象用冷聚变能做些什么。第一台冷聚变发电机将会是昂贵的新奇玩具，功率可能有几千瓦，价格可能高达5万美元，成本效益也会低于传统发电厂，他们比传统发电厂的规模小一百万倍。小型冷聚变发电机与燃气轮机或风力轮机完全不同，后者在与电网并网时效果最好，就连我也不明白电力公司会为什么要开发冷聚变。这些昂贵的玩具将进化成价格低廉、性能可靠的家用发电机，最终电力公司将会因此而破产。

不管何种价位的冷聚变发电机出现在市场上对电力行业来说都是致命打击，就像1895年第一批摇晃笨重的汽车一样，它们的出现意味着34年后马车运输业的消亡，第一台微型计算机意味着多数大型计算机10年后的终结。冷聚变对能源工业没有帮助，只会扼杀。电力石油和其他能源行业对冷聚变的理性反应应该是有序地做好清算准备，这对EPRI和埃克森（Exxon）的管理者来说是不可想象的，从他们的角度来看，这就像是建议列支敦士登对美国宣战而五角大楼应该立即开始谈判投降一样。

---

<sup>101</sup> EPRI是美国主要电力公司组成的联合体——校者注

<sup>102</sup> Hoffman, N., *A Dialogue on Chemically Induced Nuclear Effects. A Guide for the Perplexed about Cold Fusion*. 1995, La Grange Park, Ill: American Nuclear Society. (See the Foreword by Thomas Schneider of EPRI.)

<sup>103</sup> Lauzenhiser, T. and D. Phelps, *Cold Fusion: Report on a Recent Amoco Experiment*. 1990: Amoco Production Company, Research Department.

# 第三部分 产生变革的技术

## 八、超大型海水淡化项目

洁净的水是食物、健康和卫生的基础，获得洁净水是地球上每个人与生俱来的权利。冷聚变加热器让穷人烧开饮用水每年就可挽救200万生命（详见第4章）。除安全饮用水外，为了经济繁荣和美好生活，人们还需要更多的水用于每日洗澡、冲洗马桶和灌溉农田。要保证充足的水资源，我们需要用冷聚变来淡化海水，从海洋中提取饮用水。

假设保留三分之二的沙漠作为野生动物保护区，灌溉剩余的沙漠和戈壁足以弥补几个世纪以来人类造成的破坏，我们将会获得美国农田88%，总计350万平方公里的土地。

表8.1. 主要沙漠与美国农业用地的比较。

	百万平方公里	百万平方英里
撒哈拉	9.2	3.6
戈壁	1.3	0.5
美国农业用地	3.9	1.5

假设我们使用地下滴灌技术减少三分之二的用水量，按美国主要农业用地每年降雨量1,000毫米（40英寸）计算需400毫米。假设当地没有降雨，400毫米的降雨量需要1,400立方千米淡水。2002年，沙特阿拉伯30家大型淡化厂每年的产能约10亿立方米（1立方千米）淡水，每座淡化厂的成本为8.94亿美元，全世界每年海水淡化量为5—10立方千米<sup>104</sup>。世界上最大的海水淡化厂位于以色列阿什克伦（Ashkelon），耗资2.5亿美元，年产1亿立方米淡水（0.1立方千米）。该厂为以色列提供六分之一的饮用水，占其全部用水量的5%。

要灌溉这些沙漠我们需要比现有淡化厂多280倍的产能，大约是14,000个阿什克伦海水淡化厂，这还不是最大的数目。每个工厂占地300米×250米（19英亩），按以色列的造价总成本达3.5万亿美元，

<sup>104</sup>关于海水淡化量的信息尚不清楚。大多数消息来源称，沙特阿拉伯2002年的产量为10亿立方米，而其他消息来源称为20亿立方米。一些人声称沙特拥有世界20%的产能；也有人说是30%。沙特政府，沙特信息资源，<http://www.saudinf.com/main/y3668.htm>称：“占世界淡化水产量21%的沙特有30座工厂，总成本超过700亿沙特里亚尔（190亿美元），其中150亿里亚尔（40亿美元）用于运行和维护。所有这些电站均由SWCC运营，每天生产300多万立方米淡水和5吉瓦电力。”水网组织<http://www.hydronet.org/article-print-55.html>称全世界的总产量约为10立方公里。这些只是粗略估计。

冷聚变将使其成本大幅下降10倍甚至更多，它将简化工程设计，降低建设运营维护费用。廉价的能源将大大降低铝、钢、铜和其他建筑材料的成本，减少运输及工程机械施工价格，标准化大规模制造的海水淡化厂将会更加便宜。

多数现代海水淡化厂采用反渗透（RO）技术，RO设备昂贵，但造水过程很节能。冷聚变最好使用更传统的多级闪蒸（MSF）法，采用这种技术，水煮沸后冷凝收集，其耗能比RO多4—30倍，耗能大不要紧，我们可以采用廉价耐用的设备换取效率。MSF工厂制备的水中盐残留较少，与RO的10—500 ppm相比只有1—50 ppm<sup>105</sup>。RO法水中残留盐虽然不会伤害人体健康，但RO法水灌溉沙漠作物几十年后盐会逐渐积累，导致土壤贫瘠。

如果这项大型灌溉工程的成本像现在这样高达3.5万亿美元，我们永远不会去做，人类只会把钱花在战争上<sup>106</sup>。即使采用冷聚变也要花费几十年，耗资数千亿美元。第一家海水淡化厂建成后，庄稼开始生长，地价开始上涨，就可以收回本钱了。即使价格依然昂贵，我们也会比现在更有钱，冷聚变会节省包括石油煤炭以及电力基础设施在内的数万亿美元，更不用说再不会因争夺石油而发动战争了。建造炼油厂和高压线的工人失业后会富余大量熟练工，我们应该给他们机会去建造另一种大规模基础设施，包括海水淡化厂、储水罐、数千公里的管道和灌溉网络。冷聚变将节省社会资金和资源，每人每月可能有几百美元入账，我们应该将这些钱捐出来用于更大的社会用途，为子孙后代以及世界上最贫穷地区的人们服务。

实际上，14,000座海水淡化厂可能高估了，我们的假设是沙漠里没有降雨，无限期供应所有的水。随着项目推进，原本贫瘠的土地会长出各种树木，气候发生变化后会带来自然降雨，减少灌溉需求。第一批7,000座淡化厂的建造需要几十年，建造完成后降雨量应该会增加，可能不再需要其他7,000座淡化厂了。

我们可以用今天的技术和设备建造以煤、石油或天然气为燃料的淡化厂。现在已经有很多这样的工厂，它们为数百个世界上最缺水的城市（如洛杉矶）提供饮用水。我们可以通过铀裂变建造更多淡化厂以满足数千座城市需求，但永远无法满足灌溉用水，这些设施要花费数万亿美元，会迅速耗尽剩余的化石燃料储备，造成可怕的空气污染和温室气体排放。核裂变会产生大量危险的乏铀燃料棒。风能或太阳能导致的污染可以忽略不计，但它们并不比化石燃料便

---

<sup>105</sup> California Coastal Commission, *Seawater Desalination in California*, <http://www.coastal.ca.gov/desalrpt/dchap1.html>

<sup>106</sup> Wilson, J., *Iraq war could cost US over \$2 trillion, says Nobel prize-winning economist*, in *The Guardian*. 2006. <http://www.guardian.co.uk/Iraq/Story/0,2763,1681119,00.html>

宜，太阳能或风能大面积铺开将占用大量的土地资源，消耗成百上千万吨混凝土和钢铁，灌溉所需要能源至少比传统能源便宜千倍才可行。

## 1. 海水中有用元素的提取

海水淡化项目有明显的附带效益，分离后排入海洋的咸水（即卤水）浓缩后可以通过化学处理来回收其中有价值的元素。这是一种蛮力方法，最好是将水过滤的同时采用核元素的分离方法进行提取。两种技术都需要大量能源，而冷聚变使节能变得不再重要。海水中大量溶解了70多种不同的元素，最常见的是钠、氯、硫、镁、钾、钙、溴和锶，十立方千米海水所含的元素足以满足世界工业的需求。1924年，人类首次从海水中提取到商业化的溴<sup>107</sup>，二战期间，美国和英国开始大规模提取镁<sup>108</sup>。很可惜，海水中的钯、金等贵金属的浓度比镁低数亿倍。

假设我们改善气候，增加降雨，建设更多室内农业，我们就需要1,400立方千米的水，1,000立方千米（一万亿吨）就够了。我们可以提取少部分海水中溶解的镁和溴，把剩下的冲回海洋，其他一些可提取的元素浓度要低很多。海水淡化厂经过几十年的建设，技术不断进步会使选择性提取变得更加经济，表8.2显示了可能提取的一些元素。

表8.2. 1,000立方千米海水中含有的元素和化合物量。

元素和化合物	当今世界消耗量（吨）	溶解在海水中的量（吨）	消费量的倍数
氯化钠（NaCl）	210,000,000	30,215,827,338	144
金属镁（Mg）	3,360,000	1,280,000,000	381
硫（S）	59,000,000	898,000,000	15
钾（K）*	23,000,000	399,000,000	17
溴（Br）	570,000	67,000,000	118
碘（I）	21,400	58,000	3
钼（Mo）	127,000	10,000	0
钒（V）	60,000	2,000	0
钯（Pd）	171	0.06	0

\* 美国地质勘探局（USGS）显示世界钾肥产量为2,740万吨（按重量计算钾在K<sub>2</sub>O中占比为83%）。

消费数据来自于美国地质勘探局：<http://minerals.usgs.gov/minerals>。

海水中元素数据来自：Y. Nozaki, *A Fresh Look at Element Distribution in the North Pacific*, Ocean Research Institute, University of Tokyo, [http://www.agu.org/eos\\_elec/97025e-table.html](http://www.agu.org/eos_elec/97025e-table.html)

1,000立方千米水里含有1.5亿吨重水，我们需要其中6,200吨来

<sup>107</sup> Clarke, A.C., *Profiles of the Future*. 1963: Harper & Row, chapter 12

<sup>108</sup> U.S. Geological Survey

<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/magnesium/mgcommcs04.pdf>

替代现在所消耗的能源。

最后随着农业和室内农业的进步，我们可能不需要增加350万平方公里农田，我们可以创造一片青翠的土地，给成百上千万人一个美好的生活场所，恢复环境，扭转前几代人造成的破坏。

下面第9章中我们将看到巨型海水淡化工程如何帮助逆转全球变暖的影响。

## 九、全球变暖

冷聚变可以消除全球变暖，不是说它会改善、减缓或找到解决全球变暖的方法，我的意思是科学快速地推广冷聚变可以像沙宾疫苗消除脊髓灰质炎一样有效地消除全球变暖。冷聚变可以修复许多其他能源无法解决的大规模问题，其他能源要么过于昂贵，要么造成的问题比解决的还要多。

冷聚变可以帮助我们逆转不断恶化的危机，如饥饿、森林砍伐、饮水不足和人口爆炸。通过采用冷聚变驱动的设备实施全国乃至全球规模的项目，可使我们清除森林、田野和海洋中的入侵物种，消除公路旁堆积如山的垃圾和危险的固体废弃物。当然我们必须发明新的设备将冷聚变应用到农业、林业、水净化厂等，这些工作不会自行完成，有能力做并不意味着真的会付诸实施。

1955年后，发达国家的纳税人只需每人花费几美元就能像消灭天花那样彻底消灭小儿麻痹症。不幸的是这些国家拖延了33年，导致成千上万人死亡，更多的人终生残废<sup>109</sup>。要解决这些问题，需要的不仅仅是冷聚变，还需要新的法律。我们必须进行详细规划，资助这些项目，得到各国机构和全球最大银行的长期承诺。这些项目只有与开明的政策，科学的产品规划，更好的医疗教育，平等的人权等其他应有的社会改革一起施行才会成功。

假设我们使用冷聚变驱动拖拉机和农业设备在海地进行山地绿化，但没有给海地人民提供家用冷聚变发电机、加热器和净水器以提高他们的生活水平，他们仍然要砍伐树木获得薪柴，我们的绿化计划就无法获得成功。不进行社会改革，冷聚变可能加剧饥饿和其他社会灾难，并增加失业。

---

<sup>109</sup> 1988年，当第一世界用沙宾疫苗消灭小儿麻痹症33年后，终于开始全球协力抗疫。最初由国际扶轮社和日本政府资助。2006年，报告的病例数量降至37,678例。预计到2008年将根除这种疾病。 <http://www.polioeradication.org/>

让我们仔细研究冷聚变如何扭转全球变暖这个棘手的问题，全球变暖可能最终导致包括我们自己在内的数百万物种灭绝。

尽管有少数专家仍在质疑全球变暖，但我们先接受这个共识：它确实存在。严重的全球变暖迹象已经出现，世界各地的冰川正在以惊人的速度融化，日本周边的海水温度上升了一两摄氏度引发了毁灭性的台风。日本的天气很容易预测，初夏一个月左右的季风雨，9月开始有台风和热带风暴，多数年份会有两到三次台风登录。2004年春夏，风暴季开始之前日本就遭受了现代气象史上最严重的7次台风<sup>110</sup>。过去20年，日本濑户内海的潮水已经上升了7厘米，2004年美国的飓风季节是有记录以来最严重的一次。

多数专家认为全球变暖是真实存在的，它是由化石燃料燃烧导致大气中二氧化碳过量造成的，可能还有其他原因，比如太阳辐射波动。无论什么原因，冷聚变都可以解决这个问题。

倘若二氧化碳是问题的症结，通过消除化石燃料需求，冷聚变会迅速消除二氧化碳和其他破坏性排放，阻止问题恶化。然而20世纪初已经存在于大气中的二氧化碳可能仍然是个问题，我们可以通过在撒哈拉和戈壁植树造林来吸收二氧化碳（见第8章）。自然界也可能通过其他方式逐渐清除二氧化碳，一些专家认为海洋植物可以吸收二氧化碳，如果新的森林和自然机制还不够，我们可以建设巨型合成油工厂来解决，把粘稠的烃类物质泵回地下——那也是我们最初发现它的地方。

另外，假设全球变暖是由环境（不一定是二氧化碳）、天气或太阳辐射等自然变化引起的，虽然控制太阳并减少太阳辐射显然超出了人类的能力，但这并不意味着我们必须接收所有到达地球阳光。如果必须的话，我们可以建造数十个太空电梯，将数万吨材料送入太空，建造轨道聚酯薄膜遮阳伞来减少到达地球的光能。这听起来难以置信，但每台太空电梯成本预计只有60亿美元，100万平方公里的聚酯薄膜也不会太重，成本也不会太高。它重约700万吨，可以装满大约50艘货柜船，如何部署将是最困难的，冷聚变会使这项工作更容易，成本更低（第18章将讨论太空电梯）。

很难想象除了冷聚变外还有什么技术能直接根除全球变暖。或者有一种能源与以往截然不同，它的存在可激发生命性的思考——人类在哪里、为什么以及如何生活在这个星球上——并可指导人类的生活。世界范围内，我们每年烧掉约2万亿美元的化石燃料，每分钟消耗180万加仑石油，我们正在使堆积如山的煤和哗哗流淌的石油

---

<sup>110</sup> NHK National News, September 2004

变成气体，这是一种难以想象的大规模活动<sup>111</sup>，只有冷聚变才能在同等规模上抵消其影响。

大规模灌溉工程真的可以振兴沙漠地区吗？它能吸收足够的二氧化碳改变现状吗？如第8章所示，以今天的技术不可能耗资3.5万亿美元灌溉三分之一的撒哈拉沙漠和戈壁，大规模冷聚变淡化设备将使这个项目成本便宜很多。项目开始后的第五年第一批工厂就会上马，管道铺设好后，当土地开始产出时就会产生大量的现金利润，更不用说人道主义效益了。

冷聚变海水淡化可能不会从撒哈拉或戈壁开始，第一代冷聚变海水淡化厂将比今天的化石燃料和铀裂变淡化厂便宜，但他们仍然昂贵，仍然需要大量专业人员操作。为了保证快速回本，最好将他们建在洛杉矶等发达国家的城市。地下滴灌已在美国和以色列获得应用，加州或以色列新种植的树木吸收的二氧化碳量将与撒哈拉沙漠绿化树木吸收的相当，第一世界的发展将有助于扭转全球变暖。随着海水淡化厂逐渐标准化，成本降低，设备自动化程度提高，建造由少数人运营的大型海水淡化厂将成为可能。然后我们就可以开始在撒哈拉这样的偏远无人区建造规模空前的大型项目，这些地区不久将变得更有名气更加富裕。

对于生长中的森林，每年每公顷吸收1—10吨二氧化碳，30年后多数树木长大后每公顷可以吸收约150吨。假设通过灌溉重新在沙漠、希腊岛屿和海地造林，我们将会创造200万平方公里的森林和200万平方公里的农田与农场，这些森林将吸收300亿吨二氧化碳。目前由于人类活动，我们每年向大气中排放约65亿吨二氧化碳，这些森林将抵消四年半人类活动的影响。当森林中所有的树木长大后，冷聚变将消除所有新增的二氧化碳排放，我们只需清除19和20世纪化石燃料燃烧积累的二氧化碳就够了。我们可以在树木成材后通过不断砍伐清除碳，就像现在一样把木材用于建筑和造纸，把旧报纸和拆除的木结构房屋埋到地下深处厌氧垃圾填埋场。废弃的露天矿坑很适合作为这种用途，这样做还可以防止森林火灾，森林火灾会把封存的碳直接释放到大气中。

如果砍伐木材不够，或者我们决定把大部分新森林用于公园和郊区居住，我们仍需要消除那些死亡树木所含的碳（树木死亡腐烂后会变成二氧化碳），冷聚变动力机器人可以收集撒哈拉沙漠新森林、北美和欧洲已有森林倒下的树木和枯枝，我们可以将其深埋。这些机器人不是破坏森林和影响生活的大型伐木机械，它们比人小，

---

<sup>111</sup> 美国能源信息署（Energy Information Administration）和《国际石油月刊》（International Petroleum Monthly）报告称，目前全球石油消费量为每天8,315万桶。

可能还没有啄木鸟或昆虫大。烘烤去除木材的水分和养分留下木炭（纯碳）可能是个好主意，木炭被压缩后可节省垃圾填埋场的空间。换句话说，我们要建造人工煤矿，把固体碳埋入地下，把死掉的树木和其他有机碳，如垃圾、农业废弃物、锯末和旧报纸一起填埋或许更省事成本也更低。

将碳基产品永久深埋入无法分解的填埋场，这样碳就不会回到大气中。这些垃圾填埋场将逐渐把大堆旧报纸、废弃木材和其他垃圾聚集起来。近年来，人们谴责固体垃圾增加，事实上地球有大量空间，一些非常大非常深的洞穴可以装下我们所有垃圾。我们挖掘巨大的洞穴首先是为了开采铁、煤和其他原料，这些产品用完后，我们不妨把它们放回洞里。未来的考古学家发现这些填埋场时会很兴奋，未来的制造商会很高兴找到原材料这样集中的来源。我们现在将东西扔掉是因为回收昂贵，冷聚变加上智能机器人最终会大大降低回收成本。

如果这个计划无法迅速消除足够多的二氧化碳从而导致严重的全球变暖，我们可以通过上述方法用冷聚变建造上万个巨型化工厂把二氧化碳分解成碳和氧，让碳和水中的氢结合。换句话说就是合成石油，然后将石油注入到对环境零影响的地下深处隔绝起来。有些地方如沙特阿拉伯的地质环境容易储存大量碳氢化合物。这些工厂将通过生产合成油来逆转石油燃烧产生的影响，逆合成消耗的能量加上间接能耗将比燃烧原始石油更多。为了清除人类向大气释放的所有二氧化碳，我们必须消耗工业革命到现在所有煤炭和石油燃烧产生的能量，冷聚变可以很容易地提供这么多能源。要从大气中清除二氧化碳需要建造数千座这样的工厂，花费数万亿美元。与那些为人们创造森林、农田和舒适居住环境的海水淡化厂不同，这些固定碳的逆合成工厂不会创造效益，除了防止全球变暖外很难想象还有其他好处。它们将生产数十亿吨石油，但价值并不比其他工业废料——如高炉炉渣或海水淡化厂剩下的卤水——高，我们可以使用其中一小部分作为塑料原料或润滑油，其余部分泵入地下扔掉。如果火星或月球能用到，我们可以将它们运走或用来建造太空电梯。

人类似乎不太可能愿意花这么多钱来解决全球变暖问题，但我认为会的。

- 如果事实证明全球变暖像一些科学家所担心的那样严重，不解决成本会更高，纽约、佛罗里达和威尼斯将沉入海底。
- 在我们停止为化石燃料以及化石燃料造成的污染、疾病、战争和恐怖主义买单（每年几万亿美元）后，会有大量资金剩余。

- 冷聚变将使所有大型项目的造价更低。

人类已经在从事一些大型乃至全球化的高风险活动，我们向大气排放大量的二氧化碳，每年在北美硬化52.5万公顷的土地用于建造购物中心和停车场，做这些根本不需要理由或者仅仅为一些琐碎的理由。我们浪费了三分之一的能源。如果我们能生产更高效的汽车和更好的房子，使用更紧凑的荧光灯，我们的生活会更舒适、更健康、更安全。

各国在战争时期团结一致短短几年就能完成艰巨的任务，第二次世界大战是一个巨大逆向工程，消灭了5,000万人口，毁掉了几代人的工作，摧毁了成千上万的城市乡镇和村庄。

最终大型灌溉项目会通过增加粮食产量和提高土地价值来收回成本，长远看它就像横贯大陆的铁路一样，会是一个非常有利可图的事业，它将扭转全球变暖的趋势。即使代价是第二次世界大战的两倍也比城市和国家被洪水淹没要低。

没有人会认为人类不可能实现我所描述的这些宏伟目标，如灌溉沙漠或在太空中张开数千平方公里的聚酯薄膜。20世纪50年代，首个严肃星际飞行方案发表在期刊和大众报纸上，一些专家驳斥了整个概念，它们认为人类永远无法拥有这样的能力。克拉克在1963年写道<sup>112</sup>：

有些人从来不学习。那些60年前嘲笑飞行以及10年前（甚至5年前）嘲笑星际旅行想法的人现在确信我们永远无法触及星辰，他们又一次错了，他们没有领会时代的重大教训。如果某件事理论上可行，又没有任何基本科学定律的反对，它迟早会成为现实。

冷聚变研究者心胸开阔想象力丰富，他们可能一时未能理解这种能源史无前例的惊人之处。冷聚变学者埃德蒙·斯托姆斯曾说过：

全球变暖无论引起什么后果，更好的能源都会提高人类的生存能力。将城市从沿海（或者用堤坝和水泵将它们隔离起来）转移到已变得干燥而不适合耕作的土地上，开发出适合生活的局部环境，都需要大量的能源。

在我看来，斯托姆斯的想法不够宏大，我们不应该去适应全球变暖或适应其他全球性危机如物种入侵、森林砍伐和人口过剩。我们不要相信那些权宜之计或折中方案能让我们蒙混过关，我们绝不能让数百万富人过着舒适生活而放弃数十亿遭水位上涨威胁的人们，那将是种族灭绝。我们必须比以往任何时候都要着眼大局。冷聚变将给我们带来更多的能量和财富，这些都是我们梦寐以求的。我们

---

<sup>112</sup> Clarke, A.C., *Profiles of the Future*. 1963: Harper & Row.

可以科学地利用这些能量和财富来根除问题，清理混乱，让一切都回到气候变暖前的状态，其他任何做法都是自取灭亡。

## 十、神奇的机器鸡

美国宇航局希望利用人工智能制造小型的，类似昆虫的机器人（或机器昆虫）。

设想一下机器昆虫未来的任务：它们具有多种功能，可以用来探索过去/现存生命的证据，勘探水和稀有矿产资源，确定磁力和其他力，深入裂缝，构建微型固定装置，进行地球物理研究，作为远程通信中继和完成独特的实验。它们也可以使用与生物传感器等效的化学传感器执行嗅觉和味觉任务。机器昆虫可以拥有各种实用的移动技能，如跳跃、长距离飞行和爬行到达特定地点，以及进行地下隧道挖掘作业<sup>113</sup>。

在第6章中，我已预测一旦我们知道动物大脑如何工作，找到“鸟脑类”的电脑进行模拟，实用性的人工智能将会出现。让我们仔细了解一下这些电脑与冷聚变的协同效应，它们将会配合得非常好。

### 1. 机器鸡

与价值百万美元的机器人不同，鸡可以毫不费力地区分阴影和物体，它们有一种不可思议的能力，能快速精准地在三维空间中运动。会飞的动物和你想的一样，它们视觉敏锐，反应比人类更灵敏。问问那些养鸡的人是如何把鸡赶出家门的，鸡在客厅沙发上卧着，它从你身上跳过，冲到桌子下面，飞起来迅速穿过厨房大门落在灶台上。它们找到你的午餐，你还没有喊出声来，它们就已经啄走了食物，任何超级计算机都无法与之匹敌。我不相信未来50年里会有任何一台计算机能通过图灵测试<sup>114</sup>，但这些计算机至少会在物体识别和三维空间移动等简单任务上与老鼠和鸡的大脑媲美，这将大大扩展它们的能力。

人工智能的关键在于计算机的大规模并行处理（MPP），传统

---

<sup>113</sup> Bar-Cohen, Y., *Electroactive Polymers As Artificial Muscles - Capabilities, Potentials And Challenges*, Robotics 2000 and Space 2000 conference, Albuquerque, NM, USA, February 28 - March 2, 2000, <http://ndeaa.jpl.nasa.gov/ndeaa-pub/EAP/EAP-robotics-2000.pdf>. Don't you just love it when NASA talks like this?

<sup>114</sup> 即人工智能测试——译者注

台式机只有一个处理器（CPU），MPP有数千个。单个MPP处理器可能比台式机CPU更小、更慢、更简单，当所有MPP处理器一起解决一个问题时，它们在模式识别这样的任务上会快很多。活动的大脑就像一台MPP计算机，所有细胞同时独立工作。多年来并行处理一直是超级计算机的标准架构，随着多核个人电脑的引入，并行处理终于应用到小型计算机上，多核台式电脑在2005年就已经普及了，每台电脑有2到4核。2007年英特尔发布的一款80核原型处理器使得这一进步突飞猛进，其每秒超过一万亿次的浮点运算，达到了1996年世界上最快超级计算机的速度<sup>115</sup>。1996年的那台超级计算机功耗500千瓦，安放在232平米的建筑内，英特尔这台80核处理器的面积只有1平方厘米，功耗60瓦，有望五年内实现商用。

二十年后，我们可能看到一块芯片上有数千个MPP处理器的微型计算机。一般而言，它们的运行速度会比今天的台式机快1,000倍，在视觉和模式识别等任务上可能快10万倍（今天的计算机速度是80年代的5,000倍）。想象一个重100克的手持模型，它可以完美地模拟鸡的部分智力，可以在三维空间运动并识别物体，并知道人或昆虫是单独的、有意志和可预测行为模式的活体。

鸡没有责任感，它想干什么就干什么，当你建造一台模拟鸡大脑的计算机时，你会忽略这一部分，消除它的意志，取消所有动机和欲望，让电脑只服从命令，当然鸡不会这么做。你带走了生活乐趣，只留下干枯的智慧。你把电脑装进一个小机器人，给它一个儿童所拥有的体力，然后命令它清理饭桌，把盘子放进洗碗机里。鸡可以识别饭桌上的盘子，机器人也可以，它知道如何把盘子捡起来，迈着从容的步伐送到厨房并放到洗碗机内，整个过程不会撞墙，不会把洗碗机当作垃圾桶，与鸡的正常行为相比，这些任务很简单。

机器人的大脑只具备鸡所拥有的几个技能，这些技能可以满足我们目前的需要。如果它真像鸡一样聪明，它会认出并记住几十个不同的人，回忆他们的行为，但它不像鸡一样有所偏爱，不会在你忘记给它喂食时烦躁不安。一只真正的鸡擅长于等级政治、保卫领地并向异性求爱，它大部分时间都花在这些社会活动上，机器人则不需要这些技能。

除了鸡的反应能力和视觉，机器人将有一台类似于现有的传统逻辑芯片主机控制电脑来记住指令，安排任务，存储照片和操作内部GPS。它会理解交通法规，会指示机器人走人行道，等交通灯变绿后过马路。鸡很容易识别交通灯颜色，但它不明白这些光信号的

---

<sup>115</sup> Intel Corporation, “Teraflops Research Chip, Advancing Multi-Core Technology into the Tera-scale Era” <http://www.intel.com/research/platform/terascale/teraflops.htm?iid=newstab+supercomputing>

含意。传统内置电脑会跟踪交通灯规则，但无法识别现实世界中的红绿灯。

一个行动缓慢，用于洗盘子和叠衣服的家用机器人需要电池驱动。它每天都要充几次电，但这也可通过更换电池组来缩短时间。冷聚变不会大幅提高这类居家机器人的能力，但它会提高其他机器人的能力，尤其是独立移动的机器人，人类会派这些机器人到偏远森林、寒冷南极、深邃海底或遥远行星执行任务，冷聚变将给它们带来远超传统能源的能力。



图10.1. 小女孩和她的宠物鸡，这只鸡能认出女孩和她的家人。当你心烦意乱决定把鸡赶出家门时，鸡能感受到你的情绪和意图。

想象一下用冷聚变技术制造和鸡一样的机器人，让它像鸡一样寻找并消灭某种昆虫。我们把机器人送进国家公园，那里到处都是破坏树木的亚洲长角甲虫（见图10.2）<sup>116</sup>。我们让机器人在公园特定区域巡逻，找到并消灭甲虫，这些机器人可以天天工作而不用休息。鸡非常善于捕食昆虫，就算那些又小又快的昆虫也无法逃脱。鸡可以区分昆虫种类，知道哪些好吃，哪些是苦的，哪些是有刺的。我们的机器鸡不会误杀其他昆虫，也不会攻击人类，它像一只真正有翅膀的鸡，可以轻松地飞上枝头，它还有一个爪子可以在泥土和树叶里翻找。它能有条不紊地在指定区域巡逻，一个地方至少每天巡视一次，它不知疲倦地爬树，在每一个角落和缝隙中寻找昆虫。它利用鸡的识别能力和内置GPS来判断位置。如果目标是夜行性的，它可能被设计成夜间捕食。因为动力充足，它可以配备一个夜视相

<sup>116</sup> USDA Forest Service, Asian Longhorned Beetle, <http://www.na.fs.fed.us/spfo/alb/>

机和一个LED灯，还可以使用吸引甲虫的信息素来进行传统的清除作业。

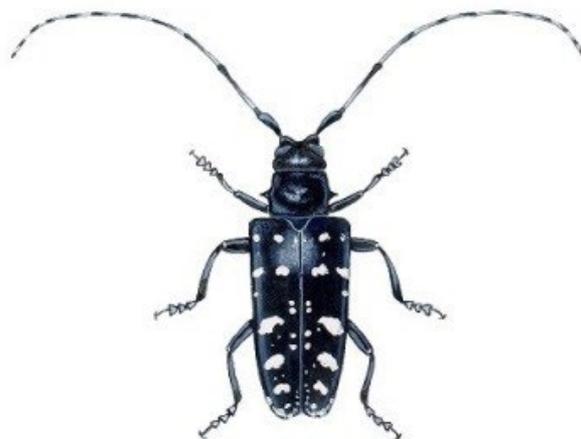


图10.2. 雌性亚洲长角甲虫，图源自美国农业部（USDA）网站。

机器人记录甲虫的消灭和逃脱数量及带有时间戳和GPS位置的其他观察结果。它通过内置通讯芯片定期向总部发送进度报告，这些不断增加的数据对负责清除任务的博物学家来说是信息宝库。项目工程师定期对成群的机器人进行软件升级或指派新任务以提高它们的性能。例如他们可以指示机器人在夏末或雨后仔细寻找某种树上的甲虫。

如果机器人部件损坏或需要日常维护，它会返厂维修，然后再返回指定区域。鸡速度很快，能从几英里外找到回家的路。一个安装了GPS的机器鸡将在几周内到达北美任何地方，几个月后到达全世界。这在机械上不是问题，机器人的腿和翅膀由人造肌肉（电活性聚合物）驱动，它们的寿命与天然肌肉一样长。有些鸟每年从南美迁徙到北美，能够经受暴风雨并进行长达数千公里飞行。

假设这些机器鸡最终会非常便宜，能够大规模生产，我们可以派一万只到国家公园消灭入侵甲虫。在整个北美释放上百万只。他们有组织地在广阔的区域进行搜索，一只机器鸡发现害虫后会召唤其它过来帮忙。经过几年时间，甲虫被清除后我们可以召回这些机器鸡，或者给它们下达另一项任务。

#### 机器鸡规格：

- 1到2公斤重，和真鸡差不多，形状可以根据需要变化，可以像一只有4到6条腿的大型昆虫。
- 不是由机械马达和齿轮驱动而是由人造肌肉（电活性聚合物 EAP）驱动，EAP的负载循环和强度已经达到了商业实用水平。
- 这种机器人具有坚固可折叠扑翼，与其说像鸟倒不如说它像甲虫。采用螺旋桨既危险又嘈杂，还会伤害人类。

- 具备双目视觉和夜视功能，为夜间工作配备低亮度照明。
- 配有通讯模块、GPS以及与其它机器鸡通讯的网络。
- 能够传回死亡昆虫的照片，一些型号还能收集并运回昆虫尸体。
- 可以对其他物种进行观察拍照和录像，这些数据是博物学家的宝库，可以第一次为许多物种种群进行真实的数量统计。
- 杀灭方法：可能是无法伤害到人类或污染环境的塑料钳子，它们没有毒药或利器。
- 它们使用信息素布撒器来吸引猎物。
- 由坚固的塑料制成，带有柔软的橡胶外壳，没有尖锐的边缘或突出，足够轻，与车辆或人相撞或从树上掉下来砸到儿童也不会造成重伤。
- 无噪声，安静且不显眼，对环境无害。它们在执行剪切藤蔓或收集枯枝这类工作时动作缓慢，砍一根藤蔓要花费几个小时，比啄木鸟更安静。
- 它们外形普通，机身有“美国农业部”字样的印刷说明。
- 它们能够理解并服从少量的语音命令：如“停下、走开、你是谁/什么、帮忙、报告”。
- 有一个醒目的红色“紧急”联络按钮用于搜索和救援，按下后机器人会立即通过电话联系警察，传输你的声音和图像。如果机器人无法通讯，在告知你它的计划后会飞到高空，试图再次与外界联络。
- 闯入野餐地时会告知存在：“你好，我是美国农业部的害虫管理机器人，如果你想让我离开这个区域，请说“走”；如果需要帮助，请说“帮助”；如果想让我告诉你关美国农业部/康奈尔虫害控制项目的情况，你可以说：报告……”
- 看起来不吓人，很可爱，让它走就立刻消失。
- 如果有人抱起机器人试图把它带回家，它不会攻击或反抗，而是说：“请不要打扰这个机器人，这个机器人正在给你拍照并通过网络联系公园管理员和当地警方，如有紧急情况，请按下机器人顶部的红色紧急按钮”，同时红色紧急按钮开始闪烁。

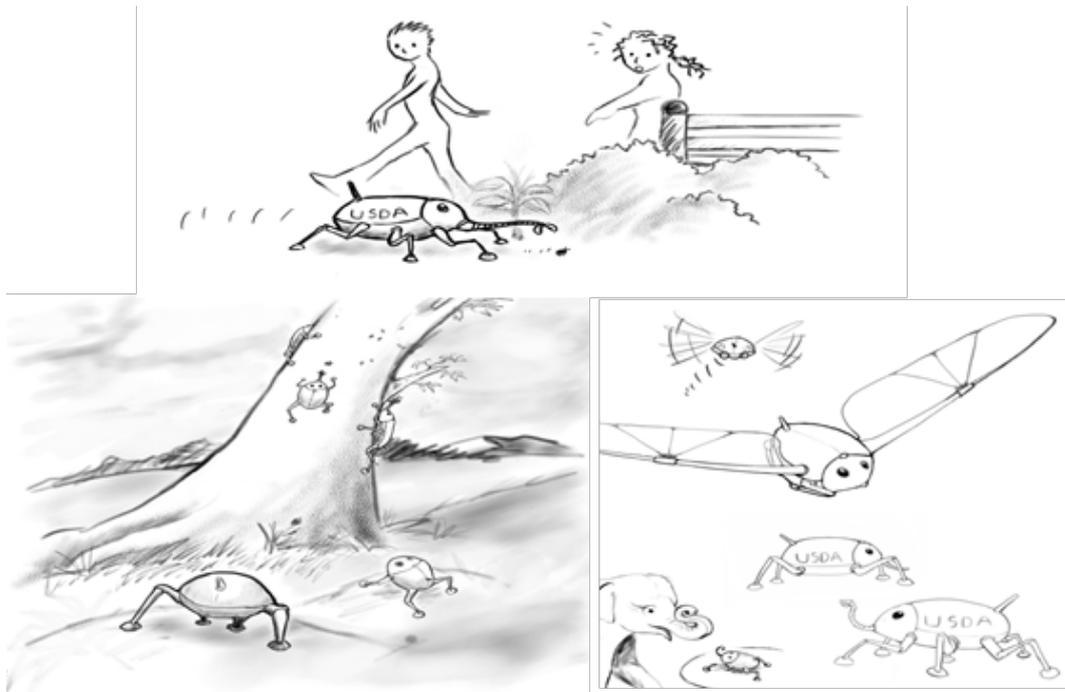


图10.3. 公园里攀爬和飞翔的“机器鸡”，由A. Rothwell绘制。

机器人真空吸尘器已进入市场，它们会做一些机器鸡能够完成的事情，它们知道如何在房间里移动把每个角落都清扫干净，就像鸡监视甲虫可能的藏身地点一样。一台与机器鸡更加相似的机器原型正在研发中，它是一种移动缓慢的小型机器人，用于农田巡逻和捕捉鼻涕虫<sup>117</sup>。设计者希望未来的型号能将鼻涕虫浸泡在装有液体的塑料桶中，通过死后的鼻涕虫发酵产生的沼气为其提供动力。换句话说这些机器人会消化它们的猎物，并利用其能量去猎获更多。真正的活鸡做着同样的事情，它们吃掉昆虫，再利用消化后的能量去寻找更多的昆虫。这种以鼻涕虫为食的捕食机器人速度慢耗电少，他们无法捕捉到任何移动速度超过鼻涕虫的生物。（鼻涕虫不仅行动缓慢，也很容易识别，它们在红色LED光下十分显眼。）随着这些机器人的进步，它们将逐渐具备捕捉更灵活害虫的能力，它们会进化成我们所描述的机器鸡。读者可能奇怪为什么这里需要冷聚变？为什么不采用消灭害虫产生的化学能，或者采用传统电池或燃料电池来驱动机器鸡，答案是虽然机器鸡可以采用这些传统的能源，而且也会变得逐渐有用并具有成本效益，可是一旦引入冷聚变会极大地提高产品性能，近乎无限的能源使其功能更多性能更好，带来更简化和更宽容的设计。

电池只能使机器鸡变得笨重，它们只能爬行或行走，无法飞行。它们很难穿过密集车流的道路到达指定地点。即使防水，它们也无法穿过湍急的溪流或爬上陡峭的堤岸。他们无法在树梢、裸露的岩石表面或其他难以到达的地方寻找昆虫。虽然燃料电池比普通电池储存更多的能量，但依然很重，它们的行驶距离仍然有限。依赖猎物化学能的机器，比如捕捉鼻涕虫的机器人或活鸡往往会被“饿死”，也就是说他们会被困在森林里耗尽能量。不管采用何种传统能源，都必须小心翼翼地使用这些机器人。从第一代产品开始，它们的设计必须具有极高的效率和高超的捕捉能力。它们无法内置集成通讯、GPS或复杂的大型电脑，无法从工厂飞到几百英里外的指定地点。冷聚变给设计师更多自由，可以肯定的是这些机器仍然必须具备合理的能源效率，我们不希望它们释放出数百瓦的废热，这样很危险。设计者可以采用10—20瓦的功率，使其比真正的鸡拥有更强大的动力。

设计者刚开始可能不知道如何让这些机器人很好地运行，早期型号捕捉不到很多昆虫。使用冷聚变技术后他们就不会挨饿，会待在驻地全速工作数周或数月。他们将充分利用自身有限的能量，一直与工程师和博物学家传输性能数据，这些数据有助于下一代机器

---

<sup>117</sup> Kelly, I., et al., *Artificial Autonomy in the Natural World: Building a Robot Predator*, <http://www.coro.caltech.edu/People/ian/publications/ecal99.pdf>

的改进。

一个真正鸡的大脑重约一克，它体积和功耗很小。人工制造的鸟类大脑级计算机可能最终与之匹敌，首批型号肯定会重达一百多克，需要几瓦的电力。冷聚变将使设计工程师有机会在多种产品中使用这些简陋低效的早期型号，否则我们将需等待更长时间。

这些机器人的燃料电池型号能够存储一些昆虫猎物的低分辨率照片以及所在位置的基本数据。这些数据存储在数码相机一样的存储卡上，当机器人每周返回基地补充燃料时才由人类收集数据（电池驱动型必须每隔几小时返回基地）。冷聚变供电型将拥有充足的电量，使其能够装载完整的便携式电脑硬盘，可以记录高分辨率的图片、视频、质谱数据、GPS位置、温度、环境光线、现场天气以及工程师和博物学家认为有用的其他信息。它将会定时向总部传送数据，当机器人处于山谷深处无法到达总部，或远离手机信号塔时它会用GPS设备自己定位，然后飞到高空建立联系，传输信息，下载最新的软件并更新后回到原地。

今天工程师的设计受制于能源，经常面对艰难的选择和令人沮丧的性能取舍，研究人员描述设计这种以鼻涕虫为食的机器人时他们面临复杂的权衡和限制：

这种机器人和动物都同样处于自由生活状态，同时要兼顾多个目标，进行鼻涕虫收集的同时还要为电池充电，不能迷路，必须始终保持足够电量返回补给点，必须保证传感器和操纵装置功能正常等等。我们如何在整个体系内对机器人进行编程以使他们预期的生存时间最大化？作为设计者，我们的策略是找到一个经过计算行之有效的方案以提供足够的性能。由于消化过程效率低下，系统处于生存能力的边缘，因此我们对性能的要求可能比以鼻涕虫为食的动物更苛刻。

不幸的是，因为缺乏详细信息，所以我们无法立即找到一个最佳解决方案……

如果研究者们不必担心电池、燃料补给和生存时间等问题，那么这项工程就会容易很多。冷聚变给仿真动物的能量是真实动物的一百万倍，永远不会让前者在生存线上挣扎。从事该项目的工程师们现在正在寻找一种巧妙的、精致平衡的解决方案。而冷聚变将给他们提供一个强有力的答案，把他们的主要担心抛到一边。其他机器设计也将获得解放，即使是那些工程师已经习惯了权衡利弊而自己不会注意到的机器。

一只机器鸡可以成为出色的守卫。想象一下移动的防盗报警器或看门机器狗一天不停地从一个房间到另一个房间，检查每一个地

方，查看每一样东西，观察动静或任何不寻常的东西。鸡很容易识别家里的陌生人，善于引起骚动而躲避它害怕的人。在欧洲，鹅用来看门。窃贼可能打碎一个普通的固定防盗报警器，甚至会对看门狗开枪，但我怀疑多数窃贼无法抓住或用枪击中一只鸡。守卫机器人在任何情况下都会快速通过内置摄像头报警，同时按设定程序逃离或飞到房梁上，并继续向当地警方直播偷盗视频。

看门机器鸡还可以充当稻草人，定期到菜园巡逻吓跑乌鸦和鹿，然后巡视谷仓，返回房屋。它会是一个移动的火灾报警器，到处检查是否有烟雾或火灾迹象。它会是一个称职的保姆，跟在花园里玩耍儿童的身后，确保他们不会迷路或掉进水里。

一点智慧就能带来很大的帮助。冷聚变电解池可以缩小到任何尺寸，让我们能制造像麻雀或蝗虫那么大的机器人。中国已经在研究比蝗虫还小的冷聚变电解池，其产生的能量远超蝗虫。美国和英国的军事研究人员正在开发鸟类和昆虫大小的微型飞行器用于侦察<sup>118</sup>。这样的机器人太弱小了，无法采取行动，我们可以给它们输入搜索入侵甲虫的程序，发现后呼叫机器鸡小队。他们会认出人和车辆，警察可以派出大量的这种机器人去寻找迷路的驴友、通缉犯或者藏在阿富汗山区的恐怖分子。人类军队要搜索一个国家每棵树、每个洞穴和每栋房子是不现实的，昆虫可以进入这些地方。一百万只机器昆虫一个白天的高速搜索可以覆盖巨大的区域，他们可以在拥挤的体育场里快速观察每一个人，或给它们近距拍照。这类昆虫机器人的电力可以持续几十年，它们的智能虽然只相当于一只活的昆虫，但拥有我们几乎无法想象的能力。

在为独裁者服务时，这些“蝗虫”会盘旋在国民上空记录他们的活动以及他们所读的书，窥窃他们的聚会和谈话。当国民做了任何可疑或与指定工作无关的事时，“蝗虫”就向警察总部发送一段视频。还有其他无数可能的坏事，随后的第11章将描述人们可能将机器鸡用作可怕的武器。

如果我们能制造出超越鸡、狗或猴子一样智商的电脑，电脑就能完成所有日常体力劳动。拉布拉多狗现在充当导盲犬，卷尾猴可以照顾四肢瘫痪的病人。他们会操作病人的电脑和电视，给他们拿食物和水，给他们洗脸。在我看来他们的反应能力和感官使他们可以做开车一类的事情，比如树上嬉戏的猴子表现出比奥运体操运动员或马戏团杂技演员更好的协调和反应能力。如果猴子能够理解一项任务的目标，并且我们能以某种方式激励它们去做这项工作，我

---

<sup>118</sup> DARPA, Micro Air Vehicle (MAV) Advanced Concept Technology Demonstration (ACTD)  
<http://www.darpa.mil/tto/programs/mav.htm>

想机器人也能够处理大多数常规的重复性工作，如生产线、烹饪或脑外科手术。与猴子一样智商的机器人肯定可以做手术，它可以在医生的监督下进行操作。实际上机器人能完成大部分的工作，就像大型喷气式飞机大部分飞行都是由自动驾驶完成一样。另如精密的激光眼科手术目前已由电脑操作，却无法用其他方式来完成。

## 2. 入侵物种及其他人为问题

入侵物种是指那些由人类偶然或故意从一个生态系统带到另一个生态系统的物种。亚洲长角甲虫偶然从中国来到美国。美国东南部的葛藤原产于日本，铁路公司于19世纪末引进它们是为了防止水土流失，葛藤的根长得很快，每天可长30厘米，能很好地防止土壤侵蚀。葛藤在美国没有天敌，它们占领并摧毁了300万公顷的土地<sup>119,120</sup>。

在西海岸的西雅图地区，一个名为反常青藤联盟的组织在公园和荒野四处铲除欧洲常青藤。欧洲常春藤在欧洲不会造成危害，但在这个生态系统中是入侵物种。

对付入侵物种的最好方法是制造那些和害虫一样大小的自主机器人，或者与害虫天敌一样大小的自主机器人。葛藤和常青藤可让啄木鸟大小的机器人来摧毁，昆虫尺寸的机器人太费时，狗或人大小的机器人太具破坏性。如今大多数农机都有卡车或拖拉机那么大，这么巨大的机器人做这项工作显得太荒谬了。我们需要昆虫或鸟类尺寸的机器人来杀死入侵的昆虫，需要潜入水中的鱼形机器人来杀死入侵澳大利亚水域的日本海星和海藻<sup>121</sup>。

人们把海星和海藻带入货柜船的压舱水中，货柜船的压舱水对海洋生态系统有重大威胁！不管有没有冷聚变，我们都应该行动起来解决这个问题。大部分问题都可以通过一个简单的喷嘴和过滤网来解决，这套组合可以粉碎和杀死大于1毫米的物种。利用现有技术和更好的检验法规，我们可以很好地阻止新物种入侵，很难想象用今天的技术如何根除已入侵的物种。手工修剪数以百万计的葛藤需要消耗大量的人力物力，一只海星可以产下2,000万只卵，我们没有足够的潜水员来消灭澳大利亚所有入侵的海星。为了应对入侵物种，人们有时会从原产国引进另一种物种，日本海域有海星的天敌，我们可以把它们带到澳大利亚。不幸的是，这种天敌在澳大利亚也是

---

<sup>119</sup> National Park Service, *Weeds Gone Wild: Alien Plant Invaders of Natural Areas*, Kudzu, *Pueraria montana* var. *lobata*, <http://www.nps.gov/plants/alien/fact/pulo1.htm>

<sup>120</sup> University of Alabama, *The Amazing Story of Kudzu*, <http://www.alabamatv.org/kudzu/>

<sup>121</sup> Japanese starfish, *Asterias amurensis*. Asian kelp, *Undaria pinnatifida*. The World Conservation Union, Invasive Species Specialist Group lists these two among the top 100 worst invasive species. <http://issg.org/>

一种外来入侵生物，它最终会造成新的不可预见的问题。这就像一则寓言，某人因为一条椅子腿太长就将其锯短，结果造成另一条腿太长，他不停地将椅子腿锯短，直到锯得椅子没了腿。

我想机器鸡最终会消灭长角甲虫。我们曾用更粗暴的方法将其他物种灭绝，现在只是没有或不想这么做。就算它们不能消灭北美所有的长角甲虫，也会大大减少甲虫的数量及它们对树木造成的破坏。那些原本由甲虫控制的生态位，将由当地物种来占据。一百万只机器鸡需要两三年时间才能完成首次攻击，此后，几千只机器鸡将继续在树林里巡逻，寻找甲虫破坏的迹象，并对其他物种进行观察和统计。

生态圈内的其他人为问题也可以通过小型机器人来解决，美国东海岸出现数百万只白尾鹿，它们破坏树苗和濒危物种，大量饿死又造成疾病传播。华盛顿特区的一位博物学家称它们为有蹄子的老鼠。鹿的数量暴增是因为人们消灭了它们的天敌，如狼和美洲狮，郊外的人们也不再猎鹿。我们不能让机器鸡到处猎鹿，那样做太残忍了。我们不希望机器人带着致命武器或致命剂量的毒药到处游荡，误杀好奇的儿童或牧民。我们可以让昆虫机器人给鹿注射节育激素，野生动物节育已经小规模试验过了，激素本身不贵，但实施费用高昂。请经验丰富的猎人去找鹿，再用接种镖打鹿，算下来要花很多钱。这样的操作对人类也有危险，我们必须经过详细的实地测试，可能要在远程控制下运行多年。这些机器人可能是半自主的，他们会将目标动物的视频图像发给人类操作员，在给药前申请许可。也许兽医们能找到更安全的方法，比如用人类的避孕贴，在动物嘴里喷洒避孕药，或者喷洒在它吃的食物上。

我们也可以用来控制野猫野狗的数量，人们正在将RU-486堕胎剂与动物饲料进行混合试验，机器人大范围单独给药会影响到更大比例的种群。

机器鸡还能够捡起人们丢弃在街道、高速公路、公园和河里的垃圾和污物。它们可能配备辐射探测器，寻找丢失的放射性废物或放射性碎片，他们会耐心地进行定位和收集，安全处理每一块易致癌的放射性废物。

## 十一、袭扰型袖珍武器

世界上全部已有军用设备，从船只、坦克、卡车、飞机、通讯卫星到手电筒和电台都将因冷聚变而变得过时。如果一个与澳大利亚体量相当的国家从现在开始装备冷聚变动力武器、运输设备、飞机和后勤支持，十年后它可以摧毁任何一支军事力量，就像英国在鸦片战争中打败中国，或像美国内战中铁甲蒸汽船轻松击败帆船一样。

冷聚变对军队的最重要贡献可能不只是制造新式武器，还能用于普通民用机械，如汽车引擎、供电设施和运输机。它们会对现代战争产生巨大影响，例如铁路在美国内战和第一次世界大战中就起了至关重要的作用。1948年，艾森豪威尔将军写道<sup>122</sup>：

大多数高级军官认为有四件装备是我们在非洲和欧洲取得胜利的关键，它们是推土机、吉普车、2.5吨卡车和C-47（DC-3）飞机，很奇怪这些都不是作战装备。

许多其他民用技术在第二次世界大战中也发挥了关键作用，包括高辛烷值汽油、无线电和青霉素。

直升机、坦克和卡车上的高性能冷聚变发动机将改变这些武器的性质，使其作战范围无限增加，一架冷聚变动力直升机可以在地球任何地方起飞再不间断地飞到任意地点。它能以目前直升机最高每小时400公里（每小时250英里）的速度飞行<sup>123</sup>，无需使用巡航速度以减少燃料消耗。舰艇、坦克、直升机和运输机就像现在的核动力航母和潜艇一样几个月不用加油。坦克战中最头疼的一个问题就是后勤和燃料补给，由于燃料短缺，盟军对欧洲的反攻在1944年秋陷入停顿，德国坦克军团在阿登战役中因燃油耗尽而被截停。建立大型燃料库和燃料运输是1991年海湾战争的一个主要任务。除非履带磨损和脱落，冷聚变动力坦克能不用加油而一直运行，装甲气垫船的航程几乎也是无限的。

雷达的发明是为了满足军事需求，但民用同样至关重要。从某种意义上而言，雷达并不是武器，它不会伤害任何人。冷聚变将产生许多新型武器，我希望大部分像雷达一样不会致命。我预计它们会小而便宜，看起来更像玩具而不是武器，它们是我在本章中唯一要讨论的。我对武器知之甚少，也不喜欢思考战争。

尽管我不是武器方面的专家，但任何对飞机和机器有基本了解

---

<sup>122</sup> Eisenhower, D., *Crusade in Europe*. 1948: Doubleday & Co., p. 164

<sup>123</sup> 冷聚变无法提高直升机飞行速度，速度限制因素是旋转和驱动材料而非发动机功率。

的人都能想到价格低廉，大规模生产的袖珍武器与冷聚变结合所产生的威力，下面讲述一个虚拟小国卢里塔尼亚（Ruritania）是如何压制和摧毁美国空军的：

首先假设美国空军的战机不多，如10个飞行团，每个团约130架飞机，总计1,300架。

其次，喷气式发动机非常脆弱，航母上的飞机起飞前，机组人员必须在飞行甲板上排成一行，缓慢地寻找掉落的螺丝、工具或金属碎片，这称之为外来异物（FOD）排查。一旦引擎吸入异物就会对起飞时的飞机造成严重损坏甚至造成停飞。喷气发动机经常吸入鸟类造成严重的损害和事故。美国联邦航空局（FAA）的记录显示，每年约有4,000起鸟类撞击事故，野生动物——主要是鸟类以及跑道上的鹿和其他动物——撞击飞机造成的损失约3亿美元<sup>124,125</sup>。

简而言之，让一架飞机失灵的最简单方法就是把一个扳手扔到启动的引擎中，引擎会损坏甚至发生爆炸。不管怎样，这架飞机都会失灵。所以要打败美国空军，你需要大约13,000个扳手，把它们放在停机坪附近。你监视着飞机，当飞行员发动引擎时冲上去在引擎进气口扔10个扳手。实施这个诡计时不能让阻止你的机组人员和其他军事人员得逞。假设卢里塔尼亚人大批量生产13,000个小型低速飞行器，每个都有乌鸦或遥控飞机那么大，它们由螺旋桨驱动，也可以是扑翼机，能以不超过每小时150公里的速度在3,000米高空飞行。

自动驾驶飞机已经可以从美国飞到澳大利亚，协调一大群这类飞机并不是什么难事。长途飞行也不是挑战，普通材料制成的飞机也能做到。鸟类可以迁徙数千英里，海鸟还能在海上的飓风中生存下来。

这些机器“乌鸦”安装有简单的电脑、照相机和短程无线电遥控器，它们每100只一群，每群由一架配备GPS和通讯系统的高空高速侦察机控制，也可以由一个分布式侦察机网络控制，这将更难以击落。他们可以通过卫星或侦察机互相联系从而与卢里塔尼亚保持通讯。每架侦察机都在高空盘旋，由于电力不受所携燃料限制，飞机的无线电功率可以满足任何需求。“乌鸦”和侦察机都无时无刻不在美国空军基地上空巡逻，当喷气式飞机或涡轮直升机引擎启动时，几只“乌鸦”就会俯冲进它的发动机进气道，就像小型的神风

---

<sup>124</sup> International Bird Strike Committee. <http://www.int-birdstrike.com/index.html> [http://wildlife-mitigation.tc.faa.gov/public\\_html/](http://wildlife-mitigation.tc.faa.gov/public_html/)

<sup>125</sup> 2009年1月15日，全美航空公司1549号航班撞上了好几只加拿大鹅。两个引擎都已失灵，飞机在哈德逊河迫降。机组人员的精湛技术与现代飞机的优良设计相结合，使机内所有人得以幸存。

战斗机<sup>126</sup>一样。它们会盘旋数周或几个月直到驱动螺旋桨的马达因磨损而坠落地面。每天都会有新的攻击群派出，一架磨损后另一架新的取而代之。这些机器的价格只是美国飞机成本的一小部分。

你可能认为把这些东西打下来很简单。没错，农民用猎枪就可以击中“乌鸦”，空军和陆军会打掉数百架机械“乌鸦”，但卢里塔尼亚可以派出数千架来补充，高射炮和爱国者导弹不是用来打3,000米高空随意飞行的鸟群的，就像用攻城槌打蚊子一样。相比制造一只“乌鸦”，美国必须在弹药、人力和精力上比卢里塔尼亚投入更多，这是一场不对称的经济战争。

如果美国空军试图派出一架直升机或喷气式飞机去扫射这些讨厌的机器，卢里塔尼亚的值班人员会注意到飞机开始移动，会命令5至10只“乌鸦”进行阻击。最终卢里塔尼亚将派出由几十架全尺寸载人飞机组成的空军占领美国，届时美国将无力阻止。由于这些大型飞机也采用冷聚变动力，它们可以在全球高速作战，任何化石燃料飞机都无法达到其作战高度，因为它或许在大气层之外。抵达目的地后它们会在主要城市和军事基地上空无限期地盘旋并随时待命。当美国试图启动飞机拦截时，成千上万的机械“乌鸦”会俯冲下来，在飞机出动的那一刻将其瘫痪。爱国者导弹发射管的盖子一旦打开，他们就会迅速冲进去。经过几周不断的失败，美国将没有完好的飞机，被迫谈判投降。这看起来似乎不太可能，但请记住游击战术和创新型小型武器曾打败过伟大的帝国——如美国独立战争中的英国和越战中的美国。越战中美国空军投放高科技弹药攻击人和动物前要进行瞄准，而越军把尿桶挂在树上欺骗美军<sup>127</sup>。

由于航程无限，成群的机械“乌鸦”很容易隐蔽，它们从多个方向随机地发动攻击。它们还从不同地方被派到数千公里外，最后聚集到目标周围。一些从东边飞来，另一些可能绕地球一圈后从西边飞来，它们掠过海浪，躲避雷达的追踪，或者潜入森林深处等待数周。

当然这只是幻想。现实中美国将迅速开发出小型装置或廉价火箭摧毁“乌鸦”，用来击落“乌鸦”的装置可以采用传统动力，因为它们飞行距离很短。即便如此，冷聚变技术仍将终结大型载人的化学燃料推进的战斗机和直升机，他们在廉价简单的武器面前会非常脆弱。如果大型载人军机仍在使用的，也必须重新设计，采用冷聚变发动机后取消易受攻击的进气口或易爆性燃料。

---

<sup>126</sup> 二战期间日本使用的自杀式攻击飞机——校者注

<sup>127</sup> 此处作者没说清楚，美军本来用化学传感器探测挥发汗液中的氨气来识别越军，结果越军用尿桶挥发的氨气来欺骗和吸引美军——校者注

人们可以想象许多类似的大规模干扰性武器，它们会给军队的各个部门造成严重破坏，比如给轮胎放气，切断电线，近距离发送假GPS信号，或者耐心安静地躲在油罐车底部钻洞。冷聚变可以驱动钻头一直旋转直到钻头彻底磨损，或者将一根钢棒升温到炽热并长时间保持高温且逐渐穿透材料。

为了防止挖掘机操作员将光纤或地下管道挖断，它们经过的线路上都设置有警示牌。“乌鸦”会寻找这些标识并钻入地下切断连线。即使炼油厂能够受到保护，长达数千公里的输油管道也无法全程守卫。我们几乎不可能隐藏这种脆弱的基础设施，也没有足够的军队来保卫它们。

一架小型、静音、不显眼的遥控冷聚变动力“乌鸦”会在夜里飞进某军事基地，躲在楼宇屋檐下或装卸码头的一堆垃圾里，一周后点燃一场大火。用迪士尼动画片《星际宝贝》（Lilo and Stitch）里的话来说，这些末日机器将“不可抗拒地吸引到大城市，它们扰乱下水道系统，颠倒路牌，偷走每个人的左鞋”。数以百计的万圣节捣蛋滋扰并不会阻止一支军队，它们会逐渐消停，但是这种日复一日，猝不及防，成千上万自动或远程控制造成的大量混乱和额外工作，没有哪支军队能长期应付。诺曼底战役期间，法国抵抗运动采用类似的战术挫败了德国军队。伊拉克战争中，几个人引爆的汽车炸弹拖住了数千名士兵，使整个国家士气低落。想象一下每天上万起小事件的效果，其中大多数是无害的，但每起事件都足以使一辆卡车瘫痪，或使数十名士兵停止正在执行的任务。

能用飞行扳手来击败战斗机就没有必要投放大型炸弹了。飞行扳手小巧便宜，更轻，更快，更安全，适合部队使用。当你能用柔术和利用飞机自身弱点进行摧毁时，为什么还要用炸药呢？如果你只是想让飞机在地面失去战斗力，就不用去伤害飞行员了。即使这样，传统化学炸药依然可以用于冷聚变动力的武器，使其更邪恶且具有破坏性。配备炸药的无人冷聚变动力武器会战胜最强大最复杂的武器系统，比如大型军舰（我不认为他们能战胜发射井中的核弹）。

想想20世纪70年代首次部署的MK-47鱼雷，它们长6米，重1.5吨，射程8公里，能在1.4公里外锁定目标，每枚造价250万美元。再想象一下冷聚变动力版，射程一百万公里，可以全速前进直到轴承磨损而引擎停止转动。由于不需要探测100米以外的目标，它们将拥有成本更低的电子设备。假设卢里塔尼亚即将对美国宣战，派出大量的鱼雷在港口和美国海军基地外巡航等待大型军舰的出现。然后鱼雷尾随在军舰后面，定期与卢里塔尼亚指挥部通过卫星联络，发

送它们的位置、运行状态、当地天气等。无人鱼雷的加速转弯和机动性比载人船舶快得多，一枚鱼雷至少比一艘大型军舰便宜3,000倍，如果简化设计并大规模生产可能便宜10万倍，所以卢里塔尼亚有能力制造大量的鱼雷来击溃敌人，即使美国海军找到一些摧毁它们的方法也没用。

鱼雷会在水面舰艇几米远处尾随。跟踪一艘潜艇有些复杂，当潜艇入水时，他们会成群跟着。潜艇很安静，所以很难发现；但在这个距离内，鱼雷完全可以侦测到螺旋桨的声音，也可能接收到船员的对话，它可以录下来传回卢里塔尼亚。无线电在水下传输距离很短，离潜艇最近的1号鱼雷无法与卢里塔尼亚取得联系，但它可以向后面几米、上方50米的2号鱼雷发送短程信号，2号鱼雷将信号传递给上方50米的3号鱼雷，以此类推，直到海洋表面，最后一枚鱼雷将潜艇位置和状态通过卫星发回总部。宣战时信号发送到鱼雷队列的最后，片刻之后信号会依次传递到1号鱼雷。1号鱼雷会冲过去引爆，然后是2号，3号等等。

带有弹头的全尺寸常规鱼雷可以增加100枚一米长，像鱼一样的机器，它们不带战斗部价格要便宜很多。它们可能对卢里塔尼亚军队的通讯有帮助，也可能只会给潜艇船员带来麻烦，他们会日夜不停地撞击船体，卡住螺旋桨，挤到水平舵里，盖住潜望镜头，对声纳发出刺耳的噪音。当潜艇入水时，它们会一大群冲过来，像搭顺风车的帽贝一样吸附在船体上。弗里曼·戴森（Freeman Dyson）等人建议用一种“移动帽贝水雷”或“鲫鱼”来跟踪潜艇，这些机器人能黏在过往船只的外壳上。第二次世界大战期间曾部署了50万枚普通帽贝水雷。1942年出版的一篇科幻小说描述了一种自动控制的移动水雷，它们潜入港口等待船只经过，然后将其炸毁<sup>128</sup>。

潜艇或水面舰艇上的水手会意识到“帽贝”黏在船体上。据已故海军上将安东尼·格里芬（Anthony Griffin）爵士介绍，皇家海军的专家经过训练后可以潜入抛锚船只下面清除这些水雷<sup>129</sup>。在战时这对潜水员和舰只来说都是一项危险的任务，因为舰艇无法移动且易受攻击。冷聚变将使“帽贝”更易实现，更有效。首先“帽贝”会不停地寻找潜艇，它可以游半个地球后在港口外等待，当有船只或潜水员出来查看时，它就会游走或沉在水底淤泥里。其次清除一两个传统固定的“帽贝”已经非常困难，可以想象一下子清除100个具有动力的远程控制人工智能“帽贝”会有多难。每当潜水员接近“帽贝”时，它就会脱离船体更换新的位置或者游走，或在黑暗中

---

<sup>128</sup> Leinster, M., *The Wabblers*, in *Astounding*. 1942. 这本早期描述后来人们称之为控制论。

<sup>129</sup> Griffin, A., personal communication.

耐心等待直到潜水员放弃。等潜艇启动时它们又返回来再次黏上。

潜艇装备有反鱼雷武器，我不知道能携带多少，假设携带20枚，那么卢里塔尼亚人就要派出四十枚带弹头的全尺寸随船鱼雷或者一百条“鱼”和“帽贝”来协助。

潜艇的主要优点是隐蔽。核潜艇是一种有效威慑，我们无法知道它藏匿在哪里，因此不可能在第一次打击中摧毁它。冷聚变跟踪鱼雷将削弱这一优势。虚构的卢里塔尼亚可能不需要它们，但中国需要这种武器，它是世界上唯一受到美国潜艇威胁的核国家。一旦冷聚变可行，中国就可以轻而易举地开发出这种鱼雷。以色列有一艘装备核导弹的潜艇，对以色列有敌意的国家可能也想获得这种鱼雷。

## 1. 战斗机器鸡

上述武器可用现有技术结合冷聚变来实现，这些令人讨厌的“乌鸦”可以通过远程操作来控制，这会让卢里塔尼亚士兵日夜忙碌，通讯数据链也会经常中断，导致武器失效或落入敌人手中。

第10章已描述了未来人工智能的突破，我称之为“鸟脑”级过程控制电脑。它们与小型自主机器结合，我称之为“机器鸡”，NASA称之为“机器昆虫”。如果“乌鸦”之类的小型武器具备较低程度的人工智能，其功能与鸡或黄蜂类似，它们的威力就会大得多。它们能够飞行，识别人类，区分不同物种。与今天的人工智能机器人不同，它们很容易区分阴影和物体，这将使本章所描述的武器更易操作更具攻击性。

机器鸡将是人类的福音。它们可以完成许多人类做不到的工作，比如消灭入侵物种，清理散落在大片区域的垃圾，或者充当窃贼和火灾的移动报警器。但是，一个恶意的“机器鸡”与常规武器或大规模骚扰武器结合会造成可怕的伤害。恐怖分子或独裁者可能制造成百上千万只比手枪还小的飞行机器人，每个机器人都会配备0.22口径的子弹或像蜜蜂蜇刺一样的毒针。它们会直接飞向受害者然后近距离射杀他，会盘旋在城市或军事基地上空，然后飞进开着的门窗，暗杀楼宇中的人。

鸡可以轻易地将活人与其他物体、动物、诱饵和死人区分开来，它们比人动作快、更敏捷，无人能挡。它们能识别制服、武器和人的意图——比如当你拿起扫帚把鸡赶出厨房时。当你我两人都在收拾桌上的残羹剩饭到院子喂食，鸡发现每个人手里都有食物，他们会分成两组聚在各人周围。即使像蜜蜂这样简单的生物也会这样做，如果你我踩到蜂巢，蜜蜂就会一拥而出分成两组分别攻击我们两个。

今天的超级计算机可能很难将两个人识别为两个独立的目标，但一群愤怒的蜜蜂却能做到这点。所以每把飞行手枪都会选择一个真人，而不会选择影子或人体模型，它们都能击中选择的目标。

这些会飞的“手枪/蜜蜂”将是终极智能武器，每个都会杀死或打伤一名士兵。一个拥有几卡车“飞行手枪”的恐怖分子只需舒舒服服地坐着，不冒任何风险，神不知鬼不觉地在几周之内就干掉多数美国士兵。对付这种邪恶武器的唯一途径就是其它冷聚变驱动的鸟脑级装置。幸运的是这些装置不需配备破坏性或威胁性的武器，我们不必展开一场新的核军备（小型致命核武器）竞赛，我们只需成本与“飞行手枪”一样低的机器把手枪打飞使其失效就行，一只“鸡”通常能对付另一只“鸡”。

如前所述，管线很容易受到遥控“乌鸦”或自主机器鸡的攻击，它们无法隐藏起来。人类军队的规模不足以让这些管线免受这些小武器的攻击，自主机器鸡几乎不需要任何代价完成这项工作，防范破坏并阻止普通事故或泄漏。

人类最终会开发出冷聚变和鸟脑级计算机，它们的潜在用途远大于风险。只有在这项技术成熟之后本章所描述的武器能力才能发挥出显而易见的效果，因此让民主国家处于技术开发的前沿会是一个好的思路。

## 十二、大规模杀伤性武器

大多数专家认为冷聚变核弹从物理学上是不可能实现的，我希望他们是对的。冷聚变装置成本很低，单价只要几千美元，可行的话就可以制造出数百个鞋盒大小的炸弹，每个都和广岛原子弹威力差不多。它没有放射性因此无法检测。2004年8月《大众机械》杂志封面故事就是基于这种不太可能的情况。

这篇文章引用了尤金·马洛夫对冷聚变炸弹的担忧，还援引了一些不愿透露姓名的国防部专家的话，这些专家似乎担心通过简化氙或武器级铀的生产，冷聚变会降低常规核武器生产的门槛。即使发生这种情况，核武器生产和维护的大部分工作都不会改变，制造核武器仍然需要数十亿美元和数千名熟练专家。大多数学者认为《大众机械》是在哗众取宠，所宣称的内容毫无用处。马丁·弗莱希曼以前常说1989年他想推迟宣布冷聚变，因为他有国家安全方面的顾虑，但他称这个杂志的故事太过分了，他补充道：

冷聚变与国家安全存在联系，但我认为《大众机械》的这篇文章对这一话题无所帮助<sup>130</sup>。

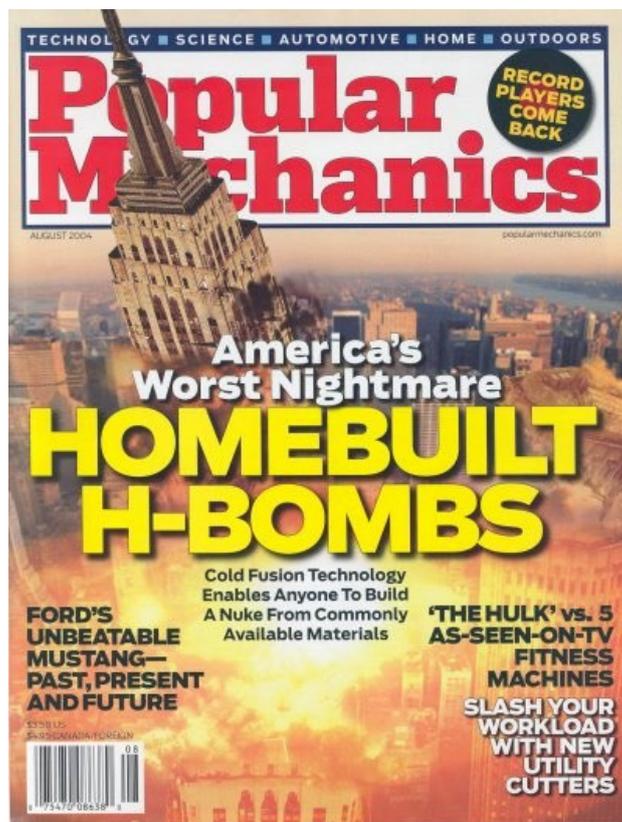


图12.1. 2004年8月《大众机械》杂志耸人听闻的封面标题：“美国最可怕的噩梦来自于自制氢弹，冷聚变技术使任何人都能用普通材料制造核弹。”

大多数学者认为反应失控或爆炸是不可能的，原因有三点：

1. 冷聚变只有在完整的金属晶格内才有效。
2. 温度上升的速度相对较慢，上升到最高温度前晶格就已破坏了。
3. 它不是链式反应。在铀裂变链式反应中，一个反应直接触发两个或更多反应，反应在短时间内呈指数增长（1微秒80代）。

冷聚变可以提高金属温度，较高的温度通常会引发更多的冷聚变反应，这就是所谓的正反馈。柴火也是如此，火焰的热量迅速点燃汽化更多燃料使火势加速。但是火和冷聚变都不是链式反应，而裂变是。

除了这些局限性，冷聚变历史上至少发生了5次令人不安且无法解释的爆炸<sup>131</sup>：

<sup>130</sup> Fleischmann, M., personal communication, 2004

<sup>131</sup> 也许还有很多。我在2006年3月初修改了这一节，列出了三个事件。很快有学者与我联系，并指出另外两篇描述异常爆炸的论文。这是一个广阔的领域，无人能知道所有的报道。成千上万的论文是用英语发表的，更多的用我看不懂的语言，还有很多结果就没有发表。

1. 1985年2月，美国犹他大学弗莱希曼和庞斯早期的电解池在校园实验室发生爆炸。
2. 1989年9月，印度巴巴原子研究中心（BARC）的拉达克里希南（T. P. Radhakrishnan）等人的电解液温度从71°C飙升至80°C，电解池发生了爆炸<sup>132</sup>。
3. 1991年4月，中国工程物理研究院张信威和王大伦等人观测到钷管阴极电解池中发生了三起爆炸，其中两起炸坏了玻璃电解池，电解池顶盖被掀翻到一两米远。一次爆炸发生半小时后电解池所在水浴升高了5°C。电解池顶部有33毫升气体，这些气体发生氢氧爆炸释放的能量只有实际值的四十分之一<sup>133</sup>。
4. 2004年9月，法国艾克斯-马赛第二大学（Université d'Aix-Marseille II）比伯里安（J-P. Biberian）的一个钷管阴极电解池发生爆炸。电解池顶部空间气体不超过120毫升，不足以引起如此大规模的化学爆炸（见图12.2）。
5. 2005年1月，日本北海道大学水野忠彦等人在辉光放电实验中发现，在第一阶段正常等离子体出现前电解池温度突然升至80°C，阴极周围出现一道明亮的白色闪光，片刻之间电解池炸得粉碎，电解池耐热玻璃安全门也炸飞了，碎片飞出6米远，其中一块伤到了水野。爆炸产生了大约13.2万焦耳的能量，比总输入能高441倍<sup>134</sup>。

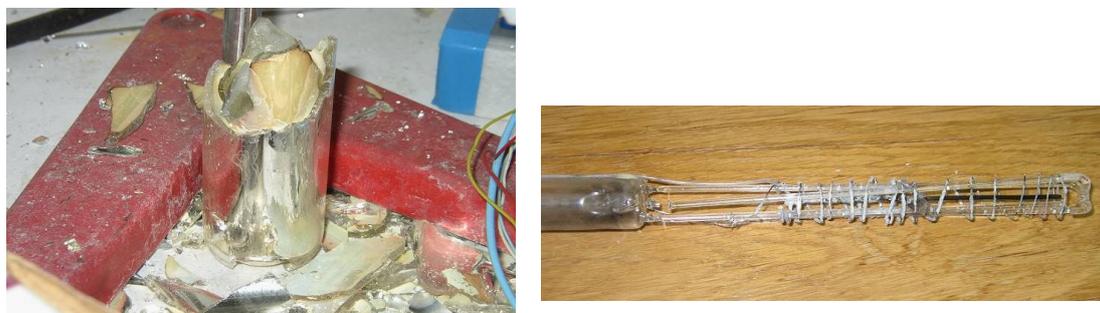


图12.2. 2004年9月艾克斯-马赛第二大学爆炸的反应器残骸，J-P. Biberian供图。

事件1、3、4和5都很异常，也就是说它们产生的能量比任何化学反应都多。目前还不清楚事件2产生了多少能量，可能是一次传统

<sup>132</sup> Radhakrishnan, T.P., et al., *Tritium Generation during Electrolysis Experiment*, in *BARC Studies in Cold Fusion*, P.K. Iyengar and M. Srinivasan, Editors. 1989, Atomic Energy Commission: Bombay. p. A 6. <http://lenr-canr.org/acrobat/Radhakrishtritiumgen.pdf>

<sup>133</sup> Zhang, X., et al. *On the Explosion in a Deuterium/Palladium Electrolytic System*. in *Third International Conference on Cold Fusion, "Frontiers of Cold Fusion"*. 1992. Nagoya Japan: Universal Academy Press, Inc., Tokyo, Japan. <http://lenr-canr.org/acrobat/ZhangXonthexplo.pdf>

<sup>134</sup> Mizuno, T. and Y. Toriyabe. *Anomalous energy generation during conventional electrolysis*. in *The 12th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science*. 2005. Yokohama, Japan. <http://lenr-canr.org/acrobat/MizunoTanomalouse.pdf>

复合反应导致的爆炸。1992年1月，斯坦福国际研究所（SRI）发生了一起悲惨的事故，冷聚变电解池爆炸导致学者安德鲁·赖利（Andrew Riley）死亡。不过这是由传统化学反应引起的，它发生在一系列安全装置和预防措施失效之后，是一个不可思议的巧合<sup>135</sup>。

犹他大学的第一次爆炸产生了最为异常的能量，查尔斯·博德特（Charles Beaudette）在一次电台采访中这样描述：

第一个实验是在犹他大学北亨利·艾林（North Henry Eyring）大楼1113室进行的，他们把装置留在实验室过夜，第二天早上来的时候发现里面一团糟。目击者说，实验台上有一个大洞，空气中烟尘弥漫，庞斯和弗莱希曼脸上的表情很滑稽，就像刚吃了金丝雀的猫，他们对所发生的一切真的很满意。<sup>136</sup>

毫无疑问，反应释放的能量比同样尺寸化学装置释放的要多，但这并不能证明大型装置会发生巨大的爆炸，反应最坏的情况可能类似于传统核裂变反应堆的堆芯熔毁。与同等质量的化学燃料相比，熔毁释放的能量更大，会造成切尔诺贝利爆炸那样灾难性的破坏，但无法引发原子弹那样的大爆炸。

对铀核反应堆进行重新设计可以完全避免熔化。下一代反应堆原型，如球床模块化反应堆可实现这一目标。它有30万个圆形迷你反应堆，每个都有网球那么大。球的形状使它们保持一定的安全距离，永远不会达到临界状态或失去控制。反应堆由氦气自身对流循环来冷却，不需要易损坏的泵或其他主动装置，即使反应堆废弃，循环也会继续下去。裂变反应堆可以防止熔毁，看起来冷聚变反应堆也行，且其机理类似。大多数专家都认为一旦我们了解了反应的性质，我们就会知道如何设计冷聚变电解池，从而不再发生1985年那样的爆炸或熔化。

不幸的是我们对1985年2月的爆炸性质一无所知，弗莱希曼和庞斯没有留下任何实物证据，比如一块烧焦的桌子或爆炸的阴极碎片。在我看来这是不负责任和不专业的表现，弗莱希曼遗憾地表示同意。不幸的是，冷聚变历史上有许多类似的粗心行为，以及对重要实验证据和数据的轻率破坏。水野在书中写道<sup>137</sup>，他发现阴极表面形成

---

<sup>135</sup> Smedley, S.I., et al. *The January 2, 1992, Explosion in a Deuterium/Palladium Electrolytic System at SRI International*. in *Third International Conference on Cold Fusion, "Frontiers of Cold Fusion"*. 1992. Nagoya Japan: Universal Academy Press, Inc., Tokyo, Japan.

<sup>136</sup> RADIO WEST, by Douglas Fubbrezio, interview with M. McKubre and C. G. Beaudette, November 27, 2002, station KUER, University of Utah, <http://lenr-canr.org/Collections/KUERinterview.htm>. 最初文字记录说这个洞有14英寸，但弗莱希曼回忆说它要小得多。

<sup>137</sup> Mizuno, T., *Nuclear Transmutation: The Reality of Cold Fusion*. 1998, Concord, NH: Infinite Energy Press, Chapter 4.

了某种黑色物质，在苦思冥想了一段时间后随便刮掉了。细小微粒钚呈现出的黑色或是钚与其他物质的混合物。他后来意识到自己做过最愚蠢的事情就是随便把它扔掉，这种材料可能是反应性质的关键证据，他说：“我已意识到毁掉了关键证据，就像扔掉了珍宝一样”。

水野小心翼翼地将2005年爆炸的实物证据和电脑数据保存下来，他如今仍在研究这些材料。

## 十三、前景黯淡的石油工业

冷聚变将淘汰所有其他能源。除非有更好的出现，否则一百年后它很可能是我们唯一的主力能源。冷聚变产生的大部分热可以转化为其他形式的能量，如电力或特种化学燃料。其他能源将逐渐消失，首先消失的是石油和煤炭等最昂贵、最具争议、对环境破坏最严重的能源。

在美国，由于以下几个原因，石油将成为最先让冷聚变取代的能源：

- 石油是最昂贵的化石燃料，消费者会很乐意购买廉价的替代品。人们没有动力去替换煤炭，因为煤炭价格约为石油的十分之一<sup>138</sup>。
- 石油成本高于煤炭等其他能源，其中10%—20%的能量用于提取和精炼。中东的石油必须用油轮绕半个地球运送到其他国家，油轮消耗的石油相当于其所载石油的5%。
- 大多数石油只用于狭窄的用途：运输，主要是汽油车，也用于柴油火车、轮船和飞机。以前美国和其他国家有以石油为燃料的发电机，上世纪70年代石油危机后大多数遭淘汰<sup>139</sup>。由于使用石油的机器范围非常小，很容易成为攻击目标。一旦车用冷聚变发动机开发出来，世界45%的石油市场就会易主。
- 美国有充足的煤炭和铀，天然气几乎可以自给，但60%的石油需要进口。美国的石油勘探量在20世纪30年代达到顶峰，70年代以后几乎没有发现新的石油，石油产量在1971年达到顶峰，现在已经下降了三分

---

<sup>138</sup> 不同能源通常用不同的单位来度量，这使它们很难比较。一吨煤产生25,849百万焦耳，相当于4.4桶石油。2002年，一吨煤的价格为17.80美元，一桶石油为20.34美元，因此石油价格大约是煤炭的五倍。2004年9月，油价涨至40美元左右，而煤价未变。 *Annual Energy Review 2002*, 2003, U.S. Department Of Energy. <http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/>, p. 215

<sup>139</sup> *Annual Energy Report 2002*, p. 149

之一，几十年后将降至零<sup>140</sup>。

- 石油具有浓厚的政治色彩，大部分石油来自饱受战争、革命和恐怖主义困扰的中东地区。一些批评人士指责伊拉克战争实际上是“一场石油战争”。这虽然存在争议，但反过来说如果中东没有石油美国似乎也不太可能介入该地区。

1949年—2002年按行业划分每天消耗石油量（百万桶/天）

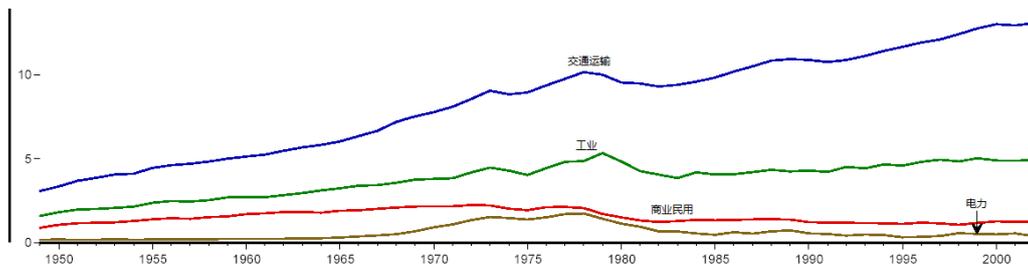


图13.1. 按行业划分的美国石油消费量，摘自2002年度能源报告第148页。

马丁·弗莱希曼曾经说过，冷聚变就像一辆旧自行车，必须先习惯它才能相信它。一旦你在实验室里多见过几次你就不会那么吃惊了。人们需要时间来理解冷聚变产生的影响。令人惊讶的是很多专家一开始就忽略它，我曾多次与石油专家讨论冷聚变，他们上来就说，燃油市场逐渐萎缩长远看并不重要，还有塑料以及许多其他用途。19%的石油用于非能源领域，专家们说这个市场未来还会增长。哈尔·普托夫（Hal Puthoff）在会见鹏斯（Pennzoil）、德士古（Texaco）、马拉松（Marathon）、滨海（Coastal）以及其他石油公司的总裁们时，这些人告诉他，他们欢迎零成本能源，并解释说：“我们把宝贵的石油从地下开采出来用于生产尼龙、塑料、药品等，这消耗不了太多石油，我们有很大的利润空间。用来作为汽车动力燃料以及为住宅供暖就跟焚烧梵高和毕加索的作品一样令人心疼，请减轻石油行业的负担。顺便让我们买一些（零成本能源）以提高精炼厂的效率”。恕我直言，我认为这些高管是在开玩笑或虚张声势，没有哪个理智的高管会对失去81%的业务前景如此乐观。石油公司为什么要关心客户的用途？不管顾客是烧了还是用来生产尼龙，每桶石油他们都会赚40美元。我想这些高管错了，他们会失去100%的业务，石油将会变得一文不值。我曾问过专家：“基础原料能合成石油吗？是否能采用碳和水做出想要的碳氢化合物”。他们说可以，但需要惊人的能量，用碳和水合成石油需要的能量和燃烧石油所需要的能量一样多，加上一些其他成本会是地球上最不经济的化工厂。他们并没有想到能源成本为零时工厂的运行成本会很低。

<sup>140</sup> Deffeyes, K., *Hubbert's Peak, The Impending World Oil Shortage*. 2001: Princeton University Press.

合成石油工厂类似于今天的炼油厂，主要运行成本是管道和泵的磨损。合成所需的碳可以来自空气中的二氧化碳，也可能来自煤炭或垃圾和污水，这些都需要城市付费<sup>141</sup>给工厂。日本和美国宾夕法尼亚州的热分解聚合工厂已经在用有机废物合成石油了。个人电脑、废旧轮胎、甚至火鸡骨头和羽毛都能转化成石油。其中一家工厂的首席执行官解释说：“我们正在加速这个过程，几分钟内就能完成地球几十万年才能完成的事情<sup>142</sup>。批评者指出，这样生产的石油成本太高，用途也不广，而且合成过程本身消耗的能量太多。有了冷聚变技术后生产成本会降低很多，未来产品种类也会扩大，满足从沥青到润滑油等所有需求。小型合成工厂将建在塑料厂内，在合成石油需要的地方建厂比开采石油进行远距离运输成本更低，更方便更安全。

我们最终将会实现解聚设备全自动化，缩小体积后还能装到一辆卡车上，通过大规模生产，我们可以将其用于小型社区的污水处理。这对于第三世界国家的乡村来说是一个巨大的恩惠，那里把未经处理的污水（人畜粪便）当作肥料，严重污染了饮用水和河流。在遥远的未来，这些工厂将会设计成空调机组或炉子一样大小，我们可以把他们安装在房屋和公寓楼的地下室。厕所、淋浴间、厨房水槽和垃圾处理器里大多数废弃物都会通过下水道进入这个装置，里面的垃圾和污水会立即处理转化为纯净水和少量大部分为碳的干燥无害有机物。固体废物会自动装进密封的塑料袋里以便每月收集。

在遥远的未来，当食品化学合成技术成熟后，这台家用机器可以直接与食品合成机器连接，水和废物将会自动转化为食物。

为了避免全球变暖，未来某一天我们可能建造成百上千万吨石油产能的大型综合设施（见第9章），即反向油井。它们将建在沙特阿拉伯的沙漠里，把二氧化碳和水转化为碳氢化合物后再注入到地下岩层。

石油和电力公司的高管以及能源专家经常在电视上说化石燃料过渡将需要50到70年。他们从不在公开场合讨论冷聚变，我在私下向他们提起这个话题时他们说这与风电或下一代裂变反应堆等传统替代能源没有不同。他们的意思是我们按照他们的计划用70年等到他们的发电机坏掉，油井枯竭。他们没有意识到，消费者去西尔斯和百思买（Best Buy）采购寿命为5—10年的小家电时发现更好的样式是不会等50年后再做选择（见第7章第5节）。个人购买冷聚变热

---

<sup>141</sup> 指通过碳交易或废物回收体系——译者注

<sup>142</sup> Segre, F., *Company Seeks Fortune Turning Garbage into Oil*, Reuters News Service, <http://www.planetark.com/dailynewsstory.cfm?newsid=21583&newsdate=22-Jul-2003>

水器或冷聚变家用发电机不会因为电力公司的发电机还有50年的寿命而犹豫。消费者不会停下来考虑他们购买的商品是否会对电力公司或石油公司产生不利影响，相反许多人会出于怨恨而选择冷聚变型号。人们对电力公司没有友情或忠诚度，对石油公司和欧佩克（OPEC）也没什么好感。大多数人会很乐意停用他们的产品，即使需要为更换的产品支付额外费用也心甘情愿，如果替代品便宜他们会很兴奋的。

## 十四、没有前途的电力工业

在前一章中我们了解了冷聚变如何迅速淘汰石油市场，我预测它将逐步消减我们对电力工业的需求。煤电会造成污染，核电会产生危险的核废物，因此我们都明白最好的办法是淘汰它们。那些无污染的现代电力技术也终将遭遗弃，风能和太阳能等替代能源价格昂贵，水力发电最终也会变得没有竞争力，水坝的维护成本很低，但它们远离城市，产生的电能必须通过维护成本很高的输电线路进行传输。最终它们很可能在风暴中损坏，不值得修复。



图14.1. 2004年佛罗里达州风暴摧毁的输电线路，输变线路是电力公司的致命弱点。

太阳能在太空或月球表面可能有竞争力，但产品工程师们会习惯使用冷聚变，大规模生产的冷聚变能源成本低廉，质量可靠，即使在月球上工程师们也不会考虑其它方案。

为了理解电力公司为什么容易受冷聚变的影响，让我们来了解一下它的历史。19世纪和20世纪大部分时间里，由于电厂必须建在远离城市的地方，因此发出的电必须经过远距离传输，再通过巨大而复杂的电网进行分配，建造大型中央发电厂发电是有意义的。远

离城市是因为大多数电厂是烧煤的，会排放大量浓烟。其他是水电大坝，必须建在河流陡峭降落的地方，这些河段无法通航，附近很少有城市。后来核电站也被安置在远离城市的地方，因为人们觉得它们可能是危险的，事实证明这是一种明智的预防措施。尽管铀的开采和提炼可能已经导致数千人死于癌症，美国商业核反应堆在运行中尚未造成任何人员死亡，但也有极其严重的事故，如布朗弗里核电站（Brown's Ferry, 1975）、兰乔赛可核电站（Rancho Seco, 1978）、三里岛核电站（Three Mile Island, 1979）和康涅狄格扬基核电站（Connecticut Yankee, 1996）<sup>143</sup>，其中一些事故很危险，它们是美国迄今为止代价最大的工业事故，已花费了数十亿美元的清理费用，几乎使电力公司破产。

从历史上看，旧技术存在规模效应，集中式工厂更安全、更清洁、更节能、成本更低。对大型中央工厂进行监管更容易减少污染，运行大型设备风险较大，为确保安全，需要数百人来监视和维护。

过去80年中，随着技术进步，这些优势消失了，先进的燃气发电机组污染很小。与旧的燃煤电厂相比，它们更安全，自动化程度也高，只需少量员工运行维护。电厂的规模经济性已经减少或消除，100兆瓦的中型燃气电厂与1,000兆瓦的大型燃气电厂效率相当。中央发电机和电网之所以得到保留，首先因为它们已经付费的，其次是现成的，我们知道如何使用它们（详见第7章第2节古尔德对“老牌号”的评论和定义）。不管有没有冷聚变，未来几十年电力公司都有可能惹上麻烦陷入经济停滞。中央发电机正逐渐让工厂和商业园区的私人发电机所取代，尤其是私人热电联供装置（详见下文）。冷聚变将加速这一趋势，它将直接向个人住宅、购物中心、工厂和农场提供电力和供暖。

表14.1显示了集中发电的一些主要优势，这些优势大部分已经被改进的传统发电机边缘化了，剩下的将受到冷聚变排挤。

---

<sup>143</sup> 康涅狄格州总检察长办公室新闻稿，1997年9月16日，“我们现在面临的是东北公用事业公司自己制造的核管理噩梦。我们的目标不再是让核电站退役，而是净化核废物堆。”  
<http://www.ct.gov/ag/cwp/view.asp?A=1772&Q=282568>.

表14.1. 集中发电和电力公司的优势。

大型中央发电机的优势	现代发电机	冷聚变
污染转移到人口较少的地方，因此受害者更少	✗	✗
减少剩余污染	✓	✓
规模经济	✓	✗
有效利用燃料	✓	✗
安全性增强	✓	✓
热电联供	✓	✓
电力公司的优势		
由专家来维护设备	✓	✗
由专家监控网络		✗
风暴等灾害后迅速修复网络		✗
分配电力使容量和设备成本共享		✗
同步许多不同发电机的交流电		✗

✓现代小型燃气发电机或冷聚变发电机比大型中央发电机更能发挥这一功能。

✗现代发电机或冷聚变使这一功能变得不必要。

电力公司客户共享大型中央发电厂发电机的小部分容量，他们想用就用，设备成本要比自己购买发电机便宜。夜间有额外容量可用时，大型工厂能以较低的费率用电，这一优势也适用于冷聚变。与邻里共享一台冷聚变发电机比单独买一台要便宜，就这一点而言，与邻居共用一台热水器会更便宜，因为两家都有隔热的热水管道。然而没有人愿意花费300美元共用一个热水器，为了维护管道和弄清楚谁欠了多少燃气费不值得这么麻烦。有了冷聚变后，购买自己的专用容量更省事，冷聚变设备会非常便宜，不值得共享。

## 1. 热电联供

小型发电机只能将25%的热量转化为电能，其余作为废热流失，冷聚变发电机也可能如此。“废热”或“损失能量”是工程术语，实际上我们无需浪费这些热量，可以将其很好地应用到任何需要中温的场合。冬天你可以用它来给房子供暖，夏天用它来带动空调，也可以用它把干燥室加热到56°C来烘干木材杀死寄生虫。这就是热电联供（CHP），一台小型发电机效率低下，作为热电联供装置使用时比超现代100兆瓦燃气轮机为家庭办公或工厂输送更多有用能量<sup>144,145</sup>。

大型电力公司的发电厂用于热电联供并不是新思路。19世纪以来，纽约爱迪生热电联供厂已经这样做了，它将蒸汽输送到街道下面的热力管线为建筑物供热，我们有时称其为“集中供热”。这种

<sup>144</sup> United States Combined Heat and Power Association, <http://uschpa.admgt.com/>

<sup>145</sup> CMC Power Systems, Inc., <http://www.cmcpower.com/html/electricity/household.asp>

方法没有广泛推广，原因是大多数电力公司的发电厂位置偏僻，远离城市和工厂。把热蒸汽从50公里外输送到城区是不现实的，我们必须在需要蒸汽的建筑物和工厂附近建造一个热电联供装置。有人提议在核电站旁边建工厂，这样就可以利用废弃的蒸汽，目前为止还没人这么做。电力公司的发电机太大了，它们产生的废蒸汽太多，必须配套等规模的应用，只把小部分蒸汽输送到工厂的干燥室没有太大意义。

燃气轮机污染小，全自动化，操作安全，非常适合作为热电联供装置。日本工厂、购物中心和写字楼里私人燃气热电联供发电机非常普遍，提供了大量电能，1996年达到峰值后才开始下降<sup>146</sup>。美国的热电联供装置从1989年的1,610亿千瓦时增加到现在的3,550亿千瓦时，占总发电量的9%<sup>147</sup>。在康奈尔大学校园，一台8兆瓦的热电联供发电机将70%的燃料转化为电能和热量<sup>148</sup>，这些兆瓦级的热电联供机组只适用于设备齐全的大型设施，如购物中心、办公园区、机场、大学校园或人口稠密的市中心。

美国能源部和一个制造商联盟正在研究超越热电联供的小型燃气发电机用于热驱动空调<sup>149</sup>。这种机器的冷聚变型号可以安装在地下室和设备柜中，它们非常安全，不产生烟雾、二氧化碳或其他气体。反应产生的核产物将保留在密封罐内以便回收利用。它们可以安放在任何地方，包括城市、郊区、偏远的小木屋以及第三世界的乡村。

第一代冷聚变发电机可能类似于美国能源部、通用电气（GE）、顶石公司（Capstone）、英格索兰公司（Ingersoll-Rand）和其他工业公司正在开发的先进微型涡轮发电机（见第2章第2节）。这些都是非常高效的热电联供发电机，功率从25千瓦至500千瓦不等，每千瓦成本仅500美元左右，大修期为15个月<sup>150</sup>。

尽管燃料成本为零，也无需节省燃料，但冷聚变发电机很可能是热电联供发电机，我们将在下一章中详述。

美国《2002年度能源评论》中的数据显示大部分能量从中央发电厂流失，图14.2中显示的总发电量以夸特（千万亿Btu）为单位。26夸特能量或65%的发电燃料浪费在转换损耗中，1.24夸特损耗在输

---

<sup>146</sup> Yomiuri, "Tokyo Electric Power Co. freezes new construction plans," August 2, 2001.

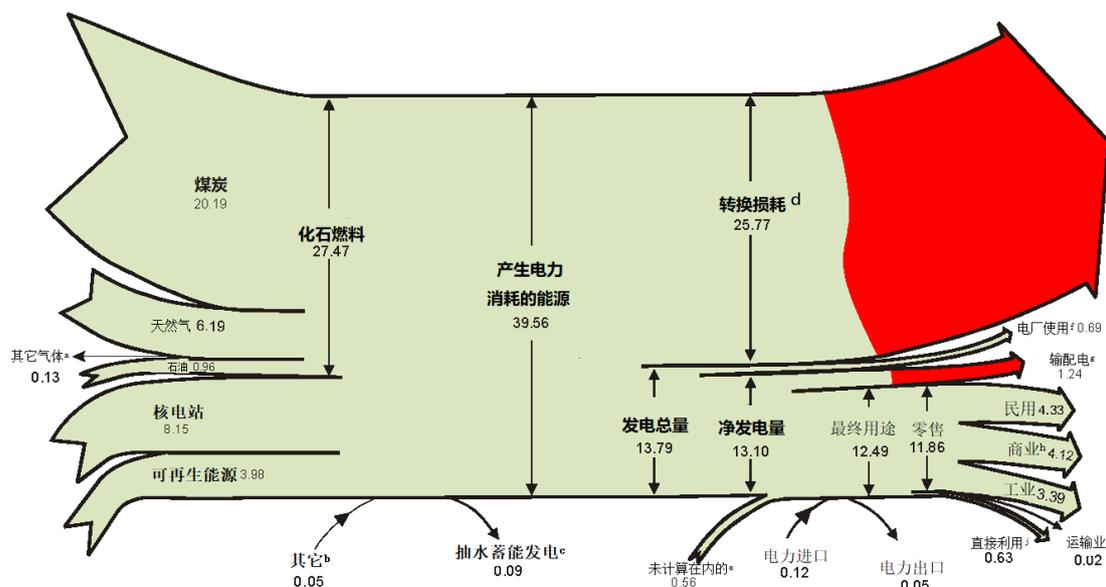
<sup>147</sup> Annual Energy Review 2002, Table 8.2c.

<sup>148</sup> Cornell University, <http://www.sustainablecampus.cornell.edu/energy.htm>. The entire campus uses 55 megawatts of electricity, including a 1.1 megawatt hydroelectric generator.

<sup>149</sup> Petrov, A., et al., *Study Of Flue Gas Emissions Of Gas Microturbine-Based CHP System*, Engineering Science and Technology Division (ESTD), Oak Ridge National Laboratory (ORNL), Oak Ridge, Tennessee

<sup>150</sup> U.S. Department of Energy, Microturbines Program, [http://www.eere.energy.gov/de/program\\_areas/det\\_microturbine\\_prgrm.shtml](http://www.eere.energy.gov/de/program_areas/det_microturbine_prgrm.shtml)

配电（T&D）过程中。我们可以利用热电联供将这些能量利用起来，转换损失产生的余热可用于供暖或工艺加热，热电联供发电机放置在建筑物旁也可以消除T&D损失。能源转换和输配电过程中的损耗比美国消耗的所有煤炭还要多（20夸特煤炭用于发电，3夸特直接用于高炉为主的工业）。换句话说这些浪费的27夸特能量相当于全球能源消耗的7%，这是集中发电付出的高昂代价。



- a. 高炉气、丙烷气以及其它来自于化石燃料的生产废气。  
 b. 电池、化学物质、氢气、沥青、购买的蒸汽、硫以及其它各种各样的技术。  
 c. 抽水蓄能设施采用泵生产的少量能源。  
 d. 大约三分之二的能量用于产生电能，参看第二章最后的注释。  
 e. 数据采集误差以及非取样错误。  
 f. 数据收集误差以及非取样错误。  
 g. 输配送损耗估计在总发电量的9%，参看第二章后面注释。  
 h. 商业零售加上表8.5上的大约95%的其它零售能源。  
 i. 表8.5上的大约95%的其它零售能源。  
 j. 商业和工业设施就地使用的净发电量以及无法提供的邻近和共址设施销售的电量信息。  
 注释: 总数可能不等于分项数据相加是由于分项舍入导致。  
 来源: 表2, 2a, 8.1, 8.5以及A6.

图14.2. 2002年发电量（单位为夸特或千万亿Btu），浪费的电量用红色显示（红色为作者标注）。美国能源部能源信息署2003年发布的《2002年度能源评论》第219页，<http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/>。

## 2. 独立于电力公司的冷聚变

如上所述，多亏电力公司你才能与所在城市其他用户共享发电容量。由于需要电时你才会用，所以电费会比你自已买发电机便宜。电力公司还提供其他福利和关键服务，他们可以根据需求波动将发出的电从一个地方输送到另一个地方，风暴损坏电网后他们会进行紧急维修。冷聚变将使这些工作变得多余，每个家庭和工厂都会拥有自己所需的发电容量，电网将不复存在。将电网所有发电机输出的交流正弦波同步并将峰值匹配是电力公司最苛刻的工作之一。2002年美国东北部经历了最严重的一次停电，原因是一些地区的电力恢复延迟了一两天，而延迟乃是发电机在启动期间正弦波很难同

步，无法完全协调运行造成的。当所有建筑物都能自己发电，发电机就不需要同步了，发出的电也可以从交流电（AC）变成直流电（DC），交流电的主要优点是远距离传输。当发电机就在家中地下室时，我们可以使用直流电，大多数常见的现代设备如电视和电脑都需要直流电，直流电也更安全，不大可能电死人。

一些观察人士认为，即使冷聚变得以应用，电力共享也可能是经济的。我们让家用发电机白天为电网供电，晚上从办公室发电机获得电力。在加州，电力公司有义务购买家用太阳能电池产生的多余电力。由于电网是现成的，电力共享可能是经济的，特别是第一代冷聚变发电机上市时会比较昂贵。一户家庭的洗衣机和家庭影院都在使用时，用电峰值可能高达15到20千瓦，如果冷聚变发电机每千瓦成本为1,000美元，购买一台10千瓦发电机并在高峰时段从电网购买电力可能是有意义的。现在家庭备用发电机每千瓦只需350美元，如果冷聚变发电机也能这么便宜，我们不妨买一台20千瓦的型号<sup>151</sup>，这样不必担心不够用，再也不用和电力公司打交道了。



图14.3. 一台安装在屋外空调旁的7千瓦备用发电机，20千瓦冷聚变发电机也就这个尺寸，照片来自亚马逊网站产品评论，D. Kontac摄。

电力公司所做的事情类似于计算机的“分时”，这是一项上世纪六七十年代出现和消失的技术。1979年，一台配备12兆字节（MB）硬盘，64千字节（kB）内存的小型计算机价格是3.2万美元。因此将3到4个终端连接到小型计算机同时使用一个处理器（CPU）和硬盘是划算的，更大型计算机可以连接数以百计的终端。这些小型和大型计算机通过精心分配资源，统一协调防止单个用户独占机器或出

<sup>151</sup> Centurion Home Standby Generators, <http://www.centuriongenerators.com/>

现问题。即使一个程序崩溃或者计算机终端硬件出现故障，计算机操作系统也会继续运行。今天电力公司所做的工作与小型计算机是一样的。它负责监管和分配稀缺资源，无论白天还是晚上你都可以使用大型中心机器的一小部分，出现问题后电力公司的专家都会进行修复。如今个人电脑几乎已经取代了所有的小型 and 大型计算机，计算能力不再是稀缺资源，12兆字节的磁盘现在只需0.1美分，我们不用费劲把它分给四个人。购买电脑可以自作主张，你可以在办公用品商店将它和咖啡机、便签纸一起买走。每个人都有自己的电脑和硬盘，每个人都是电脑行家，电脑出问题时必须靠自己解决。大型计算机的成本效益虽不如微型电脑，但仍然得靠专家运行，他们可以迅速解决使用过程中出现的问题。这就是为什么大型计算机仍然用于一些关键领域。未来也许仍会有专业人士运行的50兆瓦电厂，他们会用于大学校园、军事基地或购物中心等大型综合设施。

冷聚变最终会使电力变得非常便宜，电力公司销售的电就像河边的水一样毫无价值。

一些作者认为，电力公司会继续存在下去，因为人们不想成为电力专家，自己维修电脑已经够糟糕的了。塞缪尔·弗洛曼担心家用发电机的可靠性，他写道：“我们都讨厌电力和电话公司，服务中断时，他们会有一群能干的员工到现场进行维修。让社区技工来修理家中的太阳能集热器或风力发电机说起来很容易，谁遇到这种情况都会不知所措，那些经历过汽车需要修理或急需水管工的人对此深有感触”<sup>152</sup>。弗洛曼没有住在佐治亚州的亚特兰大，这里冬季的暴风雪有时会导致几个小时甚至几天停电。西尔斯修理家用电器或更换热水器的修理工来的几乎和电力公司一样快，只是呼叫他们的次数要少得多。由于冷聚变发电机至关重要，供暖和空调公司都会提供快速更换服务，就像汽车经销商提供汽车租赁一样。如果第一代冷聚变发电机不太可靠，我们可以安装两台，每一台的容量大约是所需最大容量的一半，现在已有开发商对一些房屋的采暖炉使用这种配置<sup>153</sup>。不管怎样，冷聚变发电机不会由社区服务技工来修理，它们是高技术设备，内部没有可维修的部件，当一个模块损坏时，动手能力强的房主会去西尔斯购买一个密封好的替换模块。

电力公司维护电网的成本不可能再大幅度降低了，他们非常专业，已经与高压塔、电线杆、变压器以及电线打了120年交道。冷聚变会迅速降低发电成本，但电网配电的成本则没法再低。

---

<sup>152</sup> Florman, S., *Blaming Technology*. 1981: St. Martin's Press. p. 86

<sup>153</sup> 比如我的住房。供暖承包商建议我们安装两个小煤气炉，而不是一个大的。因为房子很狭小，卧室在一端，所以晚上只需要一个加热器。这种设备有点贵，但操作起来更经济。当一个加热器偶尔损坏的时候，另一个也可以让房子保持足够的温度，问题只是等候修理工上门。

水力发电和风力发电机也将遭淘汰，它们只能建在远离城市的特定的区域，必须把发出的电通过电网送到需要的地方，冷聚变可以在任何地方使用。

如果我们还没有电网，还没有为它付费，我们似乎不太可能从头建一个。建造小型的局域电网，采用热电联供集中供热和局域电网低容量互连成本会更低，这会减少我们对高压输电线的需求，它们既有害也不美观，有些人怀疑它们会引起健康问题，虽然证据不足，但毫无疑问，输电线对环境和野生动物造成了严重破坏和威胁。为清理出一条主干输电线路，我们需要砍伐成千上万棵树，为了防止这些树木再生，我们还必须使用化学落叶剂或养羊。

### 3. 电力成本将大幅下降

电力成本主要有三部分构成：燃料、发电设备和配电网（输电线路和变电站），这三部分恰好大致相等，每部分大约占电费的三分之一，总体上极便宜或零成本的燃料使电费减少三分之一。实际上我们已经发现了一些极其廉价的燃料如铀，以及一些完全免费的燃料如风能和太阳能，但它们无法显著降低电力成本，我们还没有找到一种恰好能与廉价发电机一起运行的廉价燃料。阳光是免费的，但光伏片很贵；风不需要任何费用，但风力发电机很贵（尽管每年成本都在降低），而且风能分布区域很广，需要很大的电网。铀虽然便宜但很危险，需要精密的控制设备和安全壳，在铀燃料上节省下来的大部分成本都损失在昂贵的核电厂中。煤是便宜，燃煤发电机的名义成本也很低，但粗心的公众可能无法注意到一些成本。据美国环保署（EPA）的报告<sup>154</sup>，煤电每年造成一万多人死亡，极大地破坏了健康和财产。煤炭气化将消除这些问题，使煤炭变得和天然气一样清洁，每吨煤炭发电也更多，但这种电厂成本会更高。目前天然气成本适中、污染小、电厂造价不高，发电成本最佳。

冷聚变的燃料氘非常便宜，几乎是免费的。它看起来非常安全，可以小规模地在住宅、购物中心和工厂中使用以逐渐消除对电网的需求，从而减少另外三分之一的电费。届时电力公司也将破产，失去客户而变得毫无用处。最后剩下的将是设备费用，冷聚变将逐渐降低所有热机的成本，包括发电机、汽车和航空发动机、空调等，原因有如下三条：

1. 首先对于大多数热机来说，可以用较低的效率换取较低的设备

---

<sup>154</sup> Schaeffer, E.V., Director, Office of Regulatory Enforcement, Environmental Protection Agency, letter of resignation protesting lax enforcement of antipollution laws, March 1, 2002, <http://www.grist.org/news/muck/2002/03/01/>

成本。低温低压蒸汽对管道和涡轮的磨损更小，因为铀燃料便宜，大多数核反应堆都在效率较低的温度下运行。

2. 大多数初级耗能设备对消费者没有直接吸引力，他们无法区分不同的产品。如热水器没有太多花里胡哨的功能，它只产生热水，没有人太关心它的外观。冷聚变设备制造商只有一种竞争方式来吸引客户，他们必须在设备寿命和成本上进行不停地优化。
3. 当主要成本下降时——本例中是燃料价格——就会为创新和降低其他成本带来商机。如第7章所述，廉价的微处理器刺激了廉价硬盘的发展。大规模生产的汽车为更先进，更便宜的轮胎打开了市场。不幸的是目前电力技术问题阻碍了这种良性协同效应，廉价的铀燃料只适用于昂贵的反应堆，零成本的太阳能只适用于高昂的光伏片。有了冷聚变，经济规律就会正常运作，廉价燃料将会促进便宜发动机的发展。

因此冷聚变将削减三分之二的电力成本（燃料和电网），降低剩余的电力成本（设备）。

人们会尝试通过冷聚变来为过时的机器和那些注定灭亡的产业续命，如石油、天然气和电力公司，但这只会在短期内有效。在冷聚变汽车上市后前30年内，少数油井还会运行，只是由冷聚变驱动油泵。1819年，蒸汽船第一次横渡大西洋。1839年，北大西洋轮船开始定期提供客运服务。尽管蒸汽船竞争日益激烈，帆船还是在19世纪40年代到60年代的快船时代迎来了最后的全盛期。帆船建造商靠借鉴蒸汽船的技术生存了下来，而蒸汽船逐渐扼杀了它们的业务。快船采用了最新的海洋工程技术，蒸汽拖船对其作业起了关键作用，快船又长又笨，必须由蒸汽拖船拖离伦敦和纽约的码头，通过狭窄的航道进入公海后起航。蒸汽机首先延长了帆船时代，然后慢慢将其终结，这类似于计算尺制造商采用计算机来降低生产成本，或邮局通过互联网销售邮票。电力公司将来会用冷聚变替代煤或铀来发展大型中央发电厂，从长远来看他们会失败，但在未来几十年，它们会为社会提供尽可能廉价的电力。

## 十五、家用冷聚变

大部分能源用于工业和交通运输，但有相当一部分（22%）用于家庭：

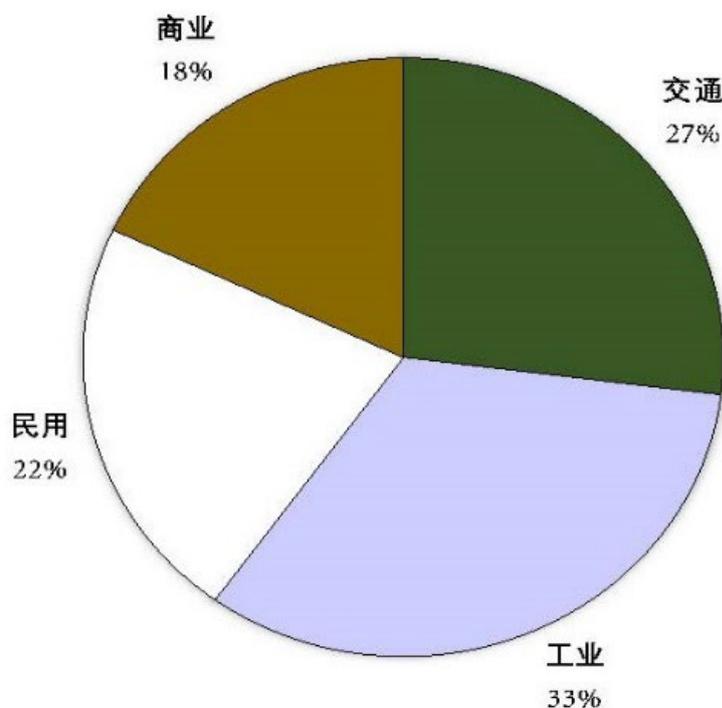


图15.1. 2002年终端使用部门在美国能源消费中的占比，数据来自美国能源信息署2003年发布的《2002年度能源评论》第36页 <http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/>

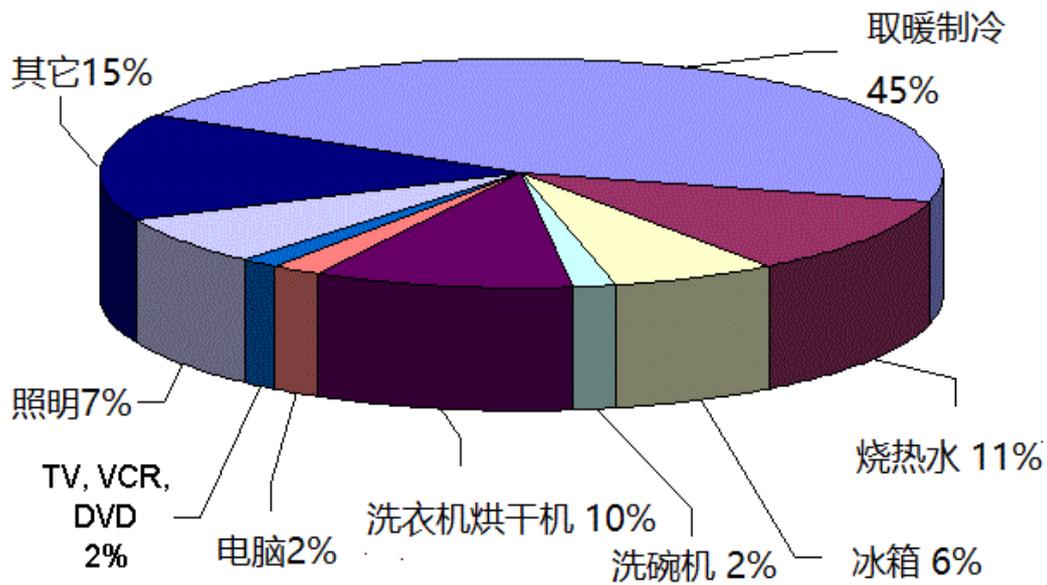
2000年美国能耗总计7,030亿美元，折合每人2,499美元<sup>155</sup>，这些能源涵盖工业、军事、农业等领域。按每户平均2.59名成员<sup>156</sup>，户均6,472美元。从家庭角度来看，美国大部分能源支出属于间接费用，它们通过税收支付给政府和军队，通过食品杂货店支付给农民。家庭能源直接费用很大一部分用于交通（汽油）和住宅（家用天然气和电力），1996年平均每户花费1,338美元<sup>157</sup>，以下是美国“能源之星计划”发布的一份图表，列出了详细的能源成本<sup>158</sup>：

<sup>155</sup> *Annual Energy Review 2002*. 2003, Energy Information Administration, U.S. Department Of Energy. <http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/>, p. 13, year 2000 data

<sup>156</sup> 平均居家（household）人数不应与平均家庭（family）人数（3.14）相混淆，不是所有家庭成员都住在一起。U.S. Census Bureau, <http://factfinder.census.gov>.

<sup>157</sup> DOE/EIA-0632 (97), *A Look at Residential Energy Consumption in 1997*, November 1999, DOE/EIA-0632 (97), <http://www.eia.doe.gov/pub/pdf/consumption/063297.pdf>, p. 1. The numbers have not changed much since 1996.

<sup>158</sup> Energy Star program, [http://www.energystar.gov/index.cfm?c=products.pr\\_pic](http://www.energystar.gov/index.cfm?c=products.pr_pic)



\*“其他”代表一系列家用电器，包括炉灶、烤箱、微波炉和小家电，单个而言这些电器占比不超过2%的家庭能源支出。

图15.2. 家庭能源成本明细，来自能源之星计划。

我们都熟悉如何在家里使用能源，这里详细分析一下如何用冷聚变改变住宅能源。

上面的饼状图显示的是成本。天然气比电力便宜，它用于取暖和制冷。电能用于照明和洗碗机等电器。取暖和制冷占45%支出，但获得55%的能源。

采用冷聚变技术，我们可以把消耗的大部分电能用冷聚变产生的热量直接替代。

如今多数空调和冰箱是电动的，烘干机和热水器也常用电，有些房子连中央暖气系统采用的都是电加热，这非常浪费。电是高级能源，用天然气加热，或在气候温和的地区采用电热泵都会更合算。燃气烘干机比电动烘干机更经济，可能是因为人们很少将燃气管道和烘干机连接，美国只有16%的烘干机是燃气型的<sup>159</sup>。如果电力公司使用燃气发电，用户再采用电加热烘干会损失三分之二的电厂初始能量，而现代化的天然气炉只会在烟道中有10%多的余热损失。

40—50千瓦功率的家用冷聚变发电机才能满足所有加热和冷却的需求，由于家用发电机效率低于大型发电机，冷聚变必须产生200千瓦的原热，差不多相当于一台公寓使用的锅炉（70万Btu/h），这

<sup>159</sup> DOE/EIA-0632 (97), *A Look at Residential Energy Consumption in 1997*, November 1999, <http://www.eia.doe.gov/pub/pdf/consumption/063297.pdf>, Fig. 2.19.

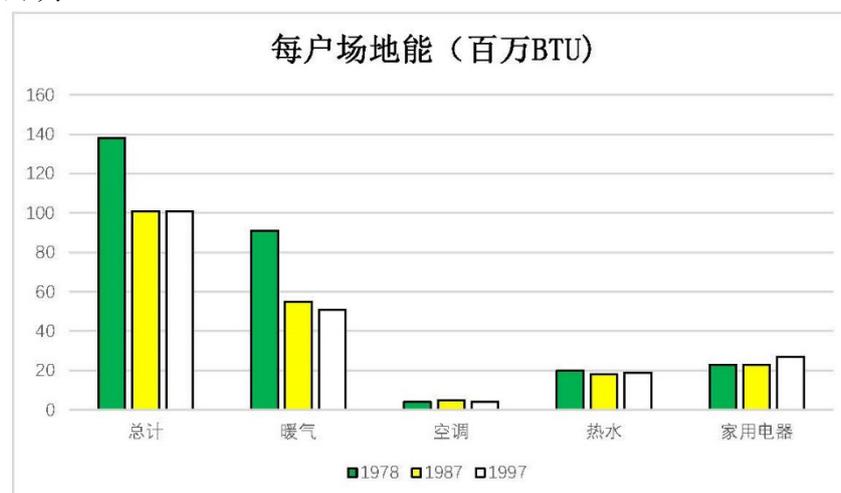
台锅炉会非常庞大、昂贵而危险。

幸好我们不需要这么多电能，10千瓦就可以满足一个大房子的用电需求，因为图15.2的饼状图中显示的大部分能源都用于供暖和制冷，我们可以采用冷聚变产生的热能来替代。

炉子和烤箱可以用冷聚变产生的热能，有些厨师可能更喜欢冷聚变制备的氢气作为炉灶或烧烤架燃料。出于安全考虑，氢气可以与其他气体混合使其泄漏时有味儿，燃烧时可见。冰箱也可以采用冷聚变热能，20世纪30年代市场上就出现了燃气冰箱，它们坚固耐用，经济实惠，这种冰箱只有里面的灯泡用电。

美国能源部出版物《1997年住宅能源消耗分析》显示<sup>160</sup>，1997年美国住宅能源消耗为1.01亿Btu（29,600千瓦时），涵盖电力、天然气、燃油和木柴等在内的所有能源。这些能源采用不同计量单位，能源部将它们统一成英热单位Btu，我把Btu换算成千瓦时。“场地能（site energy）”指的是房子内部和周围实际消耗的能量。发电厂在为家庭提供电能外还要释放6,100万Btu（17,877千瓦时）的废热，因此，每个家庭平均总能源消耗是场内29,600千瓦时加上场外1,7877千瓦时废热，总计47,477千瓦时，冷聚变将会把每户总源耗降低到大约3万千瓦时。

29,600千瓦场地能可分为四类：暖气、空调、热水和家用电器（包括照明）：



1987至1997年之间的统计准确度在95%左右。

数据来源：能源信息管理局 1978、1987和1997居民能源消耗调查报告。

图15.3. 1978年、1987年和1997年每户美国家庭按总用途和最终用途消耗的场地能，数据来自DOE/EIA-0632(97)，图2.8。

我们把1997年29,600千瓦时家庭总能耗按用途划分为四大类，以此区分哪些可以直接使用冷聚变热能，哪些需要冷聚变产生的电

<sup>160</sup> DOE/EIA-0632 (97), *ibid.*

能。

表15.1. 29,600千瓦时场地能的四个主要用途。

直接使用冷聚变产生的热量	kWh	百分比
暖气	14,947	50%
空调	1,172	4%
热水	5,568	19%
总计	21,687	
使用冷聚变发电机的电器	7,913	27%

该文件另一部分（见其表3.1）列出了一些电器的用电量。1997年，冰箱平均能耗为1,141千瓦时，平均每户超过一台冰箱，每户冰箱的总能耗为1,323千瓦时，普通家用烘干机耗能1,090千瓦时。这里我们把冰箱、烘干机和其它电器放在一起讨论是有道理的，因为它们通常都用电。未来它们将直接使用冷聚变产生的热能，所以我们将2,413千瓦时（8%）放到“直接使用冷聚变”类别里面：

表15.2. 29,600千瓦时可分为五个主要用途，把冰箱和烘干机添加到直接使用类别。

直接使用冷聚变产生的热量	kWh	百分比
暖气	14,947	50%
空调	1,172	4%
热水	5,568	19%
冰箱和烘干机	2,413	上升至8%
总计	24,100	
使用冷聚变发电机的电器	5,500	19%

因此，每年5,500千瓦时电能输出的冷聚变发电机即可满足所有电器的用电需求。

家庭耗能最多的就是暖气，每年14,947千瓦时，采暖需要30°C左右的温和空气，发电机就可以产生足够多的热空气。要产生5,500千瓦电能，发电机就要排放16,000—22,000千瓦时废热，我们可以利用这些废热为房间取暖，就像汽车暖风一样。冬季我们用一个控制杆打开汽车内的一个挡板引导冷空气穿过发动机机体进入汽车。冷聚变发电机会有一个类似的挡板，冬天可以将热空气直接送入屋内，夏天可以将热空气通过烟道排出。挡板加上一个鼓风机和一个恒温器就能使发电机变成热电联供系统（一体化发电机加上暖气炉）。该设备体积很小，几乎不需要任何成本，我们不需要再单独购买采暖炉。如果22,000千瓦时的废热不足以让房子暖和，我们可以在晚上熄灯后把热电联供设置成单一制热模式。未来用于建筑物或房屋的冷聚变发电机都应该是这种热电联供发电机。

理想情况是热电联供发电机产生5,500千瓦时电力和22,000千瓦

时热量，总计27,500千瓦时，而目前家庭总能耗为47,477千瓦时。热电联供发电机可以在晚上不用电时产热，总计释放大约30,000千瓦时能量。具有讽刺意味的是冷聚变会大幅降低总体能源消耗。虽然我们不用为省钱或减少污染进行节能，但不管怎么说节能总是一个好主意（见第4章第4节），因为我们会在大型项目中使用更多的能源。

一年有8,760小时，那么24,100千瓦时直接热能应用（加热器、空调、热水、冰箱和烘干机）的平均功率为2.8千瓦（ $24,100/8,760$ ）。这个平均值没有什么意义，我们通常在冬天——尤其是其晚上——需要供暖，空调只在夏天——尤其是其白天——使用，实际的热能消耗可能比平均值高5到10倍。我们平均每小时消耗的电能只有0.6千瓦时，一天当中某些时候实际需求会高得多。大多数照明和家用电器在深夜或者工作日无人在家时会关闭，周六上午家庭忙碌时，电视、洗衣机、吹风机、电脑和大部分的灯都可能开着，总计会有5—10千瓦功率。打开洗衣机或电灯时，会产生短暂的大电流，我们可以用电池组来解决，但电池组很快会耗尽，因此在这些机器稳定运行时冷聚变发电机必须提供足够的电力来满足峰值需求，该功率大概为10千瓦。

上述分析表明，给房子配备冷聚变发电机驱动电器——尤其是电暖气——将是一个赔本买卖，我们可能需要一台50千瓦的发电机。等加热炉需要更换时，我们可以买一台10千瓦的冷聚变热电联供发电机，外加一个冷聚变烘干机和空调。更换这三种电器将会消除大部分峰值用电需求。你会保留旧冰箱，一年中冰箱比烘干机消耗更多的电能，烘干机只在开机时功耗较大。

随着冷聚变的普及，家用发电机的用电负荷会越来越小，第一款冷聚变烘干机会有一个冷聚变加热元件，但仍然需要一个电动滚筒（同理燃气烘干机也需要电动滚筒），滚筒电机比加热元件能耗小很多，烘干机电机连接到家里的电线上不会增加太多电力负荷。随着冷聚变热电池和热机的改进，以及设计师越来越有经验，让烘干机自身驱动滚筒会更方便。可以想象使用斯特林发动机带动滚筒，但似乎使用热电电池更为实用，热电电池产生的废热也将用于烘干衣物。

许多工厂在加热工艺中使用电加热原件（如塑料热熔机），在烤箱中使用电来烘烤面包，这些都可用冷聚变产生的热能直接替代。

高效热电装置完善后，所有电器、灯具、计算机以及其他设备最终都能自己发电，80%热电效率（一些专家认为这是可能的）几乎不会产生余热。一台160瓦的台式电脑可以使用200瓦的冷聚变装

置，其散发的热量只比现在的计算机多一点点。它不必在插座上插线也无需使用家用发电机，房间墙内也不用走线。

## 十六、农业和可持续发展

就算有了冷聚变，如果不能控制人口增长，我们在与世界贫困和环境破坏的斗争中就不会取得胜利。冷聚变将为全球60亿人口<sup>161</sup>带来健康、食物、繁荣和体面的生活。但我认为没有任何技术能支撑100亿或200亿人口，即使有这样的技术，它对生态系统的破坏也会非常严重。幸好我们在减少人口激增方面取得了进展，尽管每年出生的实际人数仍然处于历史最高位，但增长率已经下降，第三世界国家的人口增长仍然处于失控状态。解决方案非常明确，有三个必要步骤，从各方面讲每个步骤都是可取的：

1. 我们必须改善——特别是女性的——教育并增加就业机会。
2. 我们必须改善卫生保健，特别注重降低婴儿死亡率，穷人生得多往往是因为他们害怕孩子夭折，如果确信婴幼儿都能长大，大部分父母会少生。
3. 我们必须提供养老金，许多穷人生孩子是为了老有所养。

减少人口就会减少污染，两个问题相辅相成，在其他条件相同时，人口越多污染就越严重。但这个其他条件总不相同，每个国家人均污染量以及GDP中每一美元产生的污染量有很大的差异。包括美国在内的大多数国家仍有大幅减少碳排放的空间。

20世纪60年代，由于人口密度高，且经历了前所未有的繁荣和无节制的工业增长，日本空气污染非常严重。在东京，当地新闻报道过几乎没几天能从市区看到富士山。隔着几条街就能闻到河流散发的恶臭，水俣病和四日市的哮喘事件导致的疾病死亡、汞中毒和自杀事件使污染和环境破坏达到最严重的地步。法律诉讼最终支持了原告，法官认为公司和地方政府都有责任，最终促使国家制定了严格的环保法律并进行了改革。

---

<sup>161</sup> 目前已经超过70亿——译者注

图16.1. 每日能见度的年度变化，标准为从东京市中心吉祥寺眺望富士山、秩父山脉和东京塔，Y轴显示每年上午9:00时这些目标的可见天数，数据源自成蹊大学气象观测所 [http://www.seikei.ac.jp/obs/pwork/tower\\_j.htm](http://www.seikei.ac.jp/obs/pwork/tower_j.htm)

如今，天气晴朗时就可从东京看到富士山，东京市中心的河流里有19世纪以来最健康的鱼类。作为发展典范，四日市由联合国评为最清洁的工业城市之一<sup>162</sup>，市政网站自豪地讲述了污染、试验和恢复的故事。



图16.2. 三重县四日市，20世纪60年代（左）与如今（右）对比。前景中的石化炼油厂造成了有记录以来最严重的污染，参见四日市环境部网站：<http://www.city.yokkaichi.mie.jp/kankyo/kogai.htm>

<sup>162</sup> NHK のドキュメンタリーの連続番組「ナビゲーション東海」、「四日市公害からのメッセージ」、2004年9月20日。



图16.3. 20世纪60年代至今三重市不同地点采集到的二氧化硫浓度，峰值出现在1967年（昭和42年），底部绿色部分所示的环境目标为0.017 ppm。



图16.4. 上世纪60年代日本政府认定污染是受害者的问题，在当地学校安装公共水槽，命令儿童们排队漱口清洗嗓子，一位老师正在教孩子们正确漱口的方法。如今保留下来的公共水槽用来提醒人们勿忘过去，学生们正在重现历史。摘自2004年9月20日NHK系列纪录片“东海导航”中的《从四日市污染中吸取的教训》。

20世纪60年代中期，烟气和粉尘污染非常严重，儿童们不停地咳嗽，饱受喉咙疼痛和哮喘的折磨。政府认为这是孩子们的问题，他们为当地学校安装了公共水槽，要求学生们根据墙上海报的要求每天排队洗脸漱口以清洁喉咙（见图16.4）。如今已不再需要公共

水槽了，但还是和海报一起保存下来以提醒人们过去有多糟糕。学生们一边观看前辈们的新闻短片，一边重演历史，他们成群结队地洗脸漱口，试图想象过去的情景<sup>163</sup>。

尽管日本人口数量保持稳定，但空气和水污染仍然在降低。（实际上略有上升，与40年前相比更多集中于城市中心。）日本工厂的工程师并没有什么秘不示人的高科技灵丹妙药，国家仅仅是实施和执行了基本的法律法规，鼓励具有成本效益的工程。

日本仍然存在严重问题，特别是固体废弃物污染。一些专家认为日本空气污染治理技术在上世纪七八十年代起飞后现已落后于世界标准。此外农村公路、大坝和混凝土河堤等大量不必要的建设是当今世界上最令人恐惧的环境问题。<sup>164</sup>

我们不可能通过减少人口来从根本上降低污染或阻止全球变暖，更不可能将全球人口减少一半来避免全球变暖。另一方面，即使没有冷聚变，我们也可以在保持现有人口的同时减少10倍的污染。采用冷聚变后可以把污染降低4到6个量级。我们不用为此花钱，相反还会省钱，因为污染的定义就是错配的资源：它们是宝贵的原材料，冲入我们无法到达的河流中，飘散到大气或均匀分布在成百上千万公顷的土地上。目前生产的金属钯有一半用于汽车催化转化器，它们很大一部分被尾气加热升华，从汽车排气管吹出后进入到高速公路和沿线的土壤和水中，成为对人类、牲畜、植物和野生动物健康有毒的重金属。钯是一种比黄金更有用的贵金属，它来之不易、珍贵而神奇，我们将其中的一半扔掉，变成散布在这片土地上无法清理的毒药。

在遥远的未来，一旦人口得到控制，污染会大幅减少，所有地方的人们都有机会获得尽量多的教育，成百上千万人可能想从地球迁移到其他星球去。最终将有1,000亿人口散布到太阳系所有可居住的卫星和行星上。地球的污染水平会变得非常低，以至于很难检测到。工业特别是农业和重工业将转移到沙漠、地下或月球上。持续的户外耕作应该是我们改变的首要目标，它是污染和环境破坏的最大因素。

皮门特尔（Pimentel）夫妇这样描述土地使用危机：“爱荷华州曾经拥有世界上最好的土地，经过大约一百年的耕作后表层土壤已经流失了一半<sup>165</sup>。世界大约30%的可耕作土地在过去40年里消失”。

---

<sup>163</sup> NHK, “Navigation Toukai,” *ibid.*

<sup>164</sup> Kerr, A., *Dogs and Demons: Tales from the Dark Side of Modern Japan*. 2001: Hill and Wang

<sup>165</sup> Pimentel, D. and M. Pimentel, *Food, Energy, and Society, Revised Edition*. 1996: University Press of Colorado, p. 154.

农业用地供应减少的主要原因是城市扩张、工业发展和道路建设导致的大面积土地流失。例如从1945年到1975年，美国已有与内布拉斯加州面积相当的农田铺上了柏油，由房屋和工厂所覆盖。显然我们得有房子住，房子最好建在景致好的地界。但是我们需要淘汰具有破坏性的公路、工厂、尤其是农业，它们消耗了太多土地、水、能源、劳动力和金钱。

自古以来，农业生产的可靠性、质量和土地利用几乎没有改善。干旱或暴雨会导致作物绝收，无法想象现代工业会因为这种相对次要的气象条件而损失一年的产出。间隔很长一段时间，飓风可能中断工厂的生产或毁坏仓库里的货物；但是，一场在工厂里几乎不会注意到的暴雨会摧毁农田的出产。人们永远不应该受天气支配，永远不必担心蝗虫或老鼠吃掉他们的粮食，文明应该超越这些限制，我们应该能像生产其他商品一样采用完全可控的生产线在室内生产食品。

## 1. 室内农业

温室可以部分或完全与外部环境隔离以减少虫害影响，温室需要自然采光，所以冬季产量很低。日本宇宙植物公司（Cosmoplant Corporation）更进一步，他们建造了全封闭的高科技食品工厂，在人造光和其他严格控制条件下从头到尾种植生菜<sup>166</sup>。

2004年，宇宙植物公司有4家工厂运营，还有2家在建。（很遗憾，可能因为过于超前，该公司已于2007年宣布破产。）每家工厂的成本为450万美元，日产5,000颗生菜，每颗零售价为158日元（1.40美元），与户外种植的生菜价格相当。这些工厂可以保证全年向食品杂货店供应高品质新鲜生菜。消费者喜欢生菜，它颜色嫩绿，叶子柔软，属于健康食品。接收光线均匀使它富含叶绿素；不使用杀虫剂，生长环境清洁，使它更加“有机”，颇受消费者青睐。不要以为它是一种无味的工厂食品，它不像美国杂货店里出售的绿番茄，种植出来主要供机器采摘。日本消费者标准很高，他们需要可口的农产品、无瑕疵的水果、可以生吃的鱼肉以及新鲜的烤面包，他们愿意为高品质食物付费。美国小镇杂货店里可能只出售速冻食品、生蛆的水果、罐头、零食和啤酒，而在日本偏远村庄里也能够找到新鲜美味的食品。

宇宙植物公司和其他日本公司正计划建造工厂生产西红柿、草莓和其他高价值的季节性经济作物，消费者愿意一年四季以固定价格来购买。

---

<sup>166</sup> NHK系列纪录片“静冈导航”，光の技術が農業を変える（照明研究如何改变农业），2004年9月27日。

由于生菜在人造光下长大，所以要消耗大量能源。经过精心设计，照明设备比传统照明更加省电。使用传统荧光灯的食品工厂会消耗大量电力，即使采用冷聚变也不切实际。

到目前为止，户外农业是地球上能效最低的行业。由于冬季无法生长，温带气候条件下生长的农作物全年光合作用所储存的能量还不到地面接收光照的0.1%。与之相比，利用人造光进行农业生产的前景似乎更加暗淡。燃煤或核能发电效率约为33%，第一代大型冷聚变发电机的效率可能也差不多。传统白炽灯的光转换效率只有10%，荧光灯或LED灯为30%。总的来说，即使高效的照明也只能将10%的冷聚变热能转化成光。在没有季节变化的人造白光条件下，植物的光合作用效率只有1—2%。换句话说，植物收集了0.2%的电厂初始热能，投入的能量是食物最终营养（卡路里）的500倍。一个正常人每天要摄入1,200千卡热量（5百万焦耳），每人每天是2,500百万焦耳，大约是美国目前所有能源消耗的2.6倍<sup>167</sup>。美国消耗的能源比其他国家多得多，如果世界上每个人都食用白色荧光灯种植的素食食品，世界能源产量至少得增加十倍（肉类生产比这更高）。即使采用冷聚变，这一过程的成本也非常高昂，而且会产生破坏性的废热。

万幸的是，我们不需要这么多能耗。日本东海大学<sup>168</sup>、宇宙植物公司以及其他地方的研究人员已经率先采用了能耗更低的方法。在生长的前两周，生菜幼苗被置于白色荧光灯下，白光在生菜生长初期效果最好。工厂可以容纳7万株幼苗，因为幼苗很小挤在一起，所以不占用太多空间，也不需要很多照明。当植株长至6厘米左右时就会被装进10层的托盘内通过缓慢移动的传送带转移到特殊生长室。大部分植物都在这里长大，两周后就可上市。

托盘内的植物由靠得很近的红色LED灯照明，LED产生的660纳米纯红光是植物可吸收的一种波长。与来自太阳或荧光灯的白光不同，大部分LED红光都会被吸收。叶绿素是绿色的，它最容易吸收450纳米的蓝光和660纳米的红光（见图16.6），由于物体反射自身颜色波长的光，因此它不吸收绿光。LED灯具内安装有铝制冷却水路用于降温，寿命是普通LED灯的10倍以上，这意味着它可以靠近生菜而不会烧坏叶子，减少了光浪费。

---

<sup>167</sup> 在美国，每年人均消费3.38亿英热单位（Btu），即每天90万Btu或977兆焦耳。参： *Annual Energy Review 2002*, p. xvii.

<sup>168</sup> Tokai University, Plant Factory Laboratory, <http://www.c-living.ne.jp/pfl/index.htm>

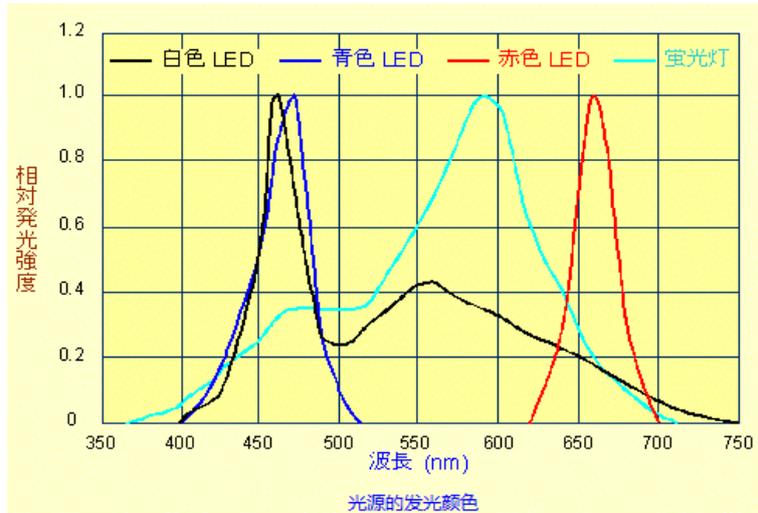


图16.5. 白光（黑线）、蓝光（蓝线）和红光（红线）LED以及荧光灯（浅绿线）光谱，荧光灯大部分光能不产生有效光合作用而浪费了，东海大学生物科学技术系高辻正基提供数据。

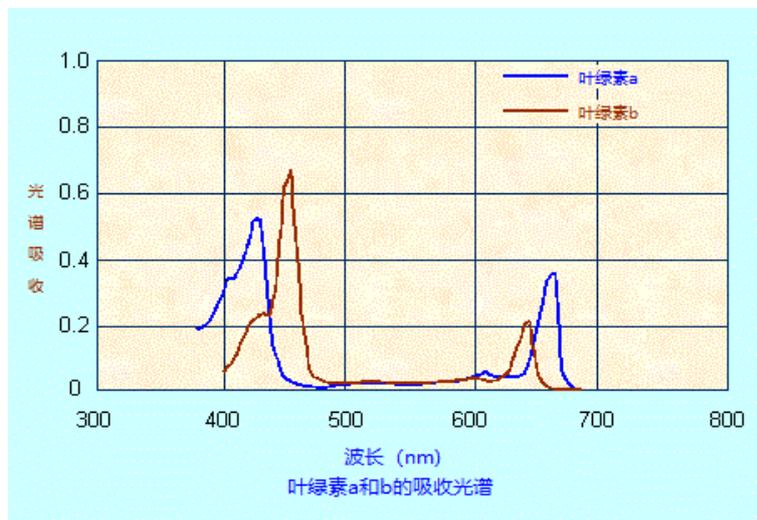


图16.6. 叶绿素a和b的吸收光谱，这两组峰值为光合作用有效辐射，第二组峰值恰好接近红色LED的输出，东海大学生物科学技术系高辻正基提供数据。

农场里的植物在夜间会停止生长，而工厂里一天24小时照明可以使植物一直进行光合作用。他们的生长条件得到优化，房间里的二氧化碳浓度是自然浓度的5倍，植物生长的温度、湿度保持在最佳水平。工厂不受干旱、土壤侵蚀、天气和季节变化的影响。工人们穿着与手术室医生和护士一样洁净的制服在封闭建筑物里面工作，有效地杜绝了昆虫和细菌。农场种植生菜要三个月，但工厂里只需一个月，两周幼苗期，两周生长期。

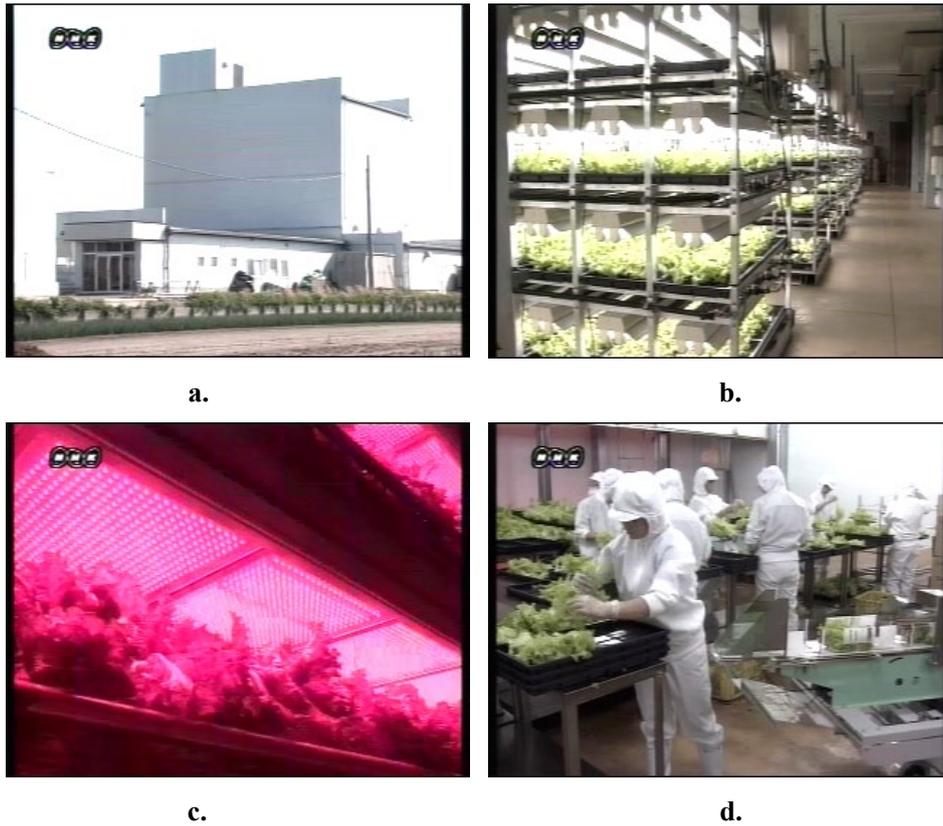


图16.7. a为宇宙植物公司生菜生产车间；b为在白色荧光灯下生长的幼苗；c为在红色LED灯下生长成熟的生菜；d为工人们在包装生菜时穿着干净的制服和塑料手套。摘自2004年9月27日NHK电视台系列纪录片“静岡导航”中的《照明研究如何改变农业》。



图16.8. 日本东海大学植物实验室在不同颜色LED灯下种植植物的实验，东海大学生物科学技术系高辻正基供图。

如今一个高亮度的红光LED灯功率为125毫瓦，生菜工厂有200万个LED灯，总功率为250千瓦，能耗为6,000千瓦时/每天，相当于一辆大型拖车的发动机功率<sup>169</sup>。一台用于普通办公楼暖通空调（HVAC）的冷聚变发电机就可以满足植物工厂的需求，冷聚变发电机会比卡车更静音。假设6,000千瓦时电能中有大约2,000千瓦时转换成光能，除以每天出产的生菜5,000棵，转化为热量单位后每棵生菜需要344千卡光能。一棵生菜平均重539克，内含54千卡热量，即15%的光能转化为食物能量，该效率是户外农业的一百倍<sup>170</sup>。当然对户外农业来说，光来自太阳，免费且无任何污染，目前我们已经达到了户外农业的极限，世界上的可耕地已经开发了一半，可供我们利用的阳光已经不多了。

虽然人不能仅靠生菜生存，但应注意，这家工厂生产的食物足够为200个成年人提供每日所需的卡路里摄入量。

食品工厂的光合作用效率非常高，但仍需很多能量。传统农业生产1卡路里蔬菜需要大约10卡路里化石燃料<sup>171</sup>，考虑到LED灯所需电能发电过程中的能耗，化石燃料或核能的消耗与生菜所含热量的比值是59:1，这比传统的肉类生产更糟糕，生产1卡路里的肉类需要34卡路里化石燃料。食品工厂会减少其它能源投入，如农机、农药、冷储和运输。农场通常远离城镇，而食品工厂可建在城镇附近以降低运输成本。在农场里，一整片生菜几乎都在同一时间成熟，生菜储存和销售需要一个多月，但食品工厂一年到头都能源源不断地生产生菜。

生菜工厂可以用其他方式节约资源，如上所述它可以消除植物病、害虫和天气造成的损失，它可以节省大量土地，这在土地昂贵的日本显得尤其重要。除了生菜种植托盘可分层放置外，植物本身之间的距离也比户外农场近8倍，10 × 10米植物工厂（0.01公顷）产量相当于20公顷的室外农场。

哥伦比亚大学梅尔曼公共卫生学院（Mailman School of Public Health）的德波米耶（D. Despommier）主张建立城市食品工厂，他称之为垂直农场，他的网站<sup>172</sup>和一些论文描述了食品工厂的优势，比如：

- 没有干旱、洪水、虫害等自然因素导致的作物歉收。

---

<sup>169</sup> The Goodyear Tire & Rubber Company, *Factors Affecting Truck Fuel Economy*, [http://www.goodyear.com/truck/pdf/radialretserv/Retread\\_S9\\_V.pdf](http://www.goodyear.com/truck/pdf/radialretserv/Retread_S9_V.pdf)

<sup>170</sup> 这是一个粗略的估计，但我很高兴地报告，东海大学植物工厂实验室的芦田博士同意这是合理的。资料来源：芦田，私人通讯。

<sup>171</sup> Pimentel, D. and M. Pimentel, *Food, Energy, and Society, Revised Edition*. 1996: University Press of Colorado, p. 192, 195.

<sup>172</sup> The Vertical Farm Project, <http://verticalfarm.com>

- 所有垂直农场的食品都是有机的，不使用除草剂、杀虫剂或化肥。
- 垂直农场可以通过污水循环消除农业废水。

德波米耶设计的食品工厂主要利用自然光而不是人造光，它比宇宙植物公司工厂使用的能源要少得多，但作物无法在夜间生长，因此生产时间更长，也无法节省太多空间。德波米耶估计全年1英亩室内作物产量相当于户外4至6英亩或更多，比例大小取决于所种植的植物（例如生产草莓，1英亩室内面积等于30英亩户外面积）。而宇宙植物公司的工厂，1英亩室内面积等于2,000英亩户外面积，在日本节约空间比在美国更重要。

未来更大型的食品工厂有40层写字楼高，里面放置几百个托盘架。也许会今天的国际机场航站楼一样大（50公顷），和我们最高的办公楼一样高（400米）。我们可以在里面放置300个托盘架，一个50公顷的工厂拥有300万公顷户外农场（740万英亩）的生产能力。它们将完全自动化，工作人员将由机器人取代，因此大楼内的空间不会浪费在休息室、会议室或浴室上。我们可以在大城市附近建一两个这样的工厂，供应城市所需的所有农产品和粮食，同时回收处理城市产生的有机废物和污水。用高热、高能冷聚变技术处理污水将比今天的方法更加卫生。

未来，人们不再愿意购买手触摸过的食物，或昆虫及有害细菌污染过的食物。另一方面，他们会毫不犹豫地吃喝几个月前曾经的污水和垃圾。虽然不能细想，其实我们早就这么做了。

配备了宇宙植物公司的照明设备，一家占地50公顷的巨型工厂能耗惊人，每公顷大约750兆瓦，似乎不太可能清除废热。然而，LED照明效率有望很快提高，东海大学的学者正在研究利用脉冲间歇光来节约能源和减少热量。尽管如此，植物工厂所需的电力也会相当于今天5到10个核电站的发电量，所有食品工厂消耗的电力可能比我们现在生产的还要多，这些发电机将耗资数千亿美元。即使燃料是免费的，我们仍得提高发电和照明效率。

因为饲养动物消耗的食物是其产出肉类能量的十倍，所以室内养殖生产肉类需要消耗大量能源。幸运的是我们有另外一种选择。非营利组织新收获（New Harvest）的研究人员正在开发人造肉，他们通过在动物体外生长的组织来生产肉类<sup>173</sup>。这不仅会减少能耗，也会消除许多肉类生产的问题，如疾病导致动物掉膘，肉源性病原体，抗生素产生的耐药菌，动物粪便污染以及对诸如牛和猪等数以百万计动物的残忍屠宰和仓储。

---

<sup>173</sup> New Harvest nonprofit research organization, <http://www.new-harvest.org/default.php>

目前全世界有15亿公顷耕地用于种植粮食（其他耕地用于林业和生物质燃料等），相当于每人0.27公顷。这么大的耕地可用一千个大型食品工厂代替，占地约60,000公顷，比纽约市的面积还小。实际上我更希望这些工厂不占用一公顷土地，我们可以将其建在大城市近郊地下，或者直接建在大多数城镇地下，把地面变成生活区或公园。这些工厂可以小型化，每个社区杂货店的正下方都有一个这样的工厂，它通过管道连接中央污水处理厂把无菌肥料和水运进来。生菜、草莓、瓜果和其他农产品完全成熟时，可以用机器人采摘，几分钟后就可以放在商店的货架上出售。

在遥远的未来，食物不是种植，可直接由原料合成，会占用更少的空间消耗更少的能源，食品成本会降低几个数量级，保证世界各地的人们实现吃饭自由。我并不是说机器会制造出含有人工食用色素的合成胶质，或者像肉的豆腐汉堡。机器制造的食物从物理和化学上都与天然的一样<sup>174</sup>。一套这样的机器可以用来扫描最新鲜的蔬菜、水果、谷物、肉类和其他食物，把这些三维物体存储为电子模板。这些电子拷贝在稍微处理后精心清除掉其中的病原体、土壤或瑕疵。另外一套机器将通过分子组装分层复制原始分子。能够在原子水平上分析材料的机器已经应用几十年了，能够识别和移动单个原子的扫描隧道显微镜（STM）是最近才发展起来的，图16.9显示了IBM研究人员如何使用这种仪器移动单个原子。当然这比组装一亿亿亿个原子（10倍阿伏伽德罗数）形成苹果分子的三维排列要简单得多。毫无疑问，要完善这种原子合成还需要几个世纪。而数十亿年前，大自然已通过DNA和其他细胞机制对此进行了完善。

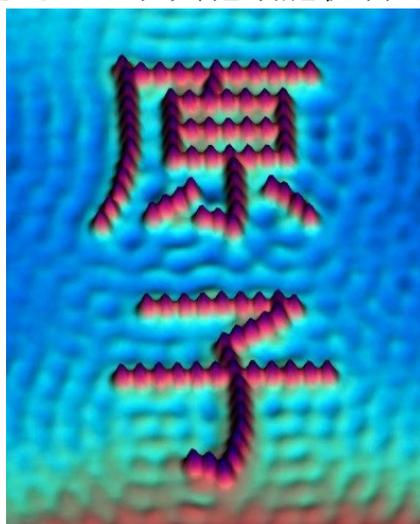


图16.9. IBM公司研究人员卢茨（Lutz）和艾格勒（Eigler）使用扫描隧道显微镜（STM）在铜表面移动单个铁原子形成中文“原子”。在遥远的未来，这种操作单个原子的能力可能演变成对原子进行扫描然后用原子组装任何物体的技术。图片来自IBM的STM图像库 <http://www.almaden.ibm.com/vis/stm/atomo.html>

<sup>174</sup> 阿瑟·克拉克的经典短篇小说《众神之食》（Food of Gods）描述了这种技术的必然结果。

我并不建议淘汰世界各地所有的农场，一些应该当作博物馆保存起来，另一些作为新型食物的研究中心以了解人类与自然互动是如何影响环境的。我希望成百上千万公顷的土地将由那些喜欢园艺和农业的人耕种，他们不仅为自己，也为了家畜和家禽的福祉，这些动物应该和野生物种一样在地球上占有一席之地。在遥远的未来，当机器人从事繁重劳作，动物最后不会受到屠宰时，农业将会变得更令人愉悦。

美国食品纯粹主义者认为日本消费者所认同的温室和食品工厂里生产的食品更“有机”似乎有些自相矛盾。（有机这个词虽然无法严格定义，但大多数人一看就能理解。）当然，许多日本人会鄙视工厂生产的食品，他们要吃手工种植的粮食和散养土鸡蛋。一个食品纯粹主义者会欣赏不需要杀虫剂的工厂化食品，但会谴责其单一和无瑕疵的外观，无菌和单调的味道。如果他自己从未在农场工作过，他会为消失的季节变化以及无法与土地亲密接触而感伤。他会振振有词地说，许多农民都是土地的好管家。一个有责任心的农民可以阻止水土流失、防止地下水资源遭到破坏。与每天在高速公路上数小时上下班的人，或者与破坏怀俄明州地下水的天然气公司相比<sup>175,176</sup>，每一名农民都值得称赞。耕种对土地有好处，但不耕种更好。最好让土地恢复到半自然状态，减少人为干预以防止入侵物种，定期清理灌木和森林以防止火灾。在北美，这应该被称为半自然状态，因为人类几十万年前已经通过放火来改造森林了。到目前为止，人类活动对自然景观的影响应该与鹿和其他大型物种的影响一样才对。

野牛公地计划描述了一种世界，我希望冷聚变和食品工厂能够帮我们实现。根据这项计划，美国成百上千万公顷的贫瘠农地能像非洲平原一样变成自然保护区和旅游景点：

野牛公地将是一个从墨西哥到加拿大重新恢复和连接起来的区域，在那里人类学会跨越最初的人工边界一起工作。野牛公地意味着篱笆倒塌的那一天，野牛将在恢复的草海中自由迁徙，就像野生鲑鱼从河流游向海洋再返回一样。该区域与肯尼亚的一样，把动物圈在外面而不是圈在里面<sup>177</sup>。

世界上大约一半的土地用于农业，20%用于居住<sup>178</sup>。对于一个健康的生态系统来说是太多了，它减少了生物多样性。不幸的是，即使是这么大地块土地也不足以体面地养活每个人，生态系统已达

---

<sup>175</sup> Diamond, J., *Collapse, How Societies Choose to Fail or Succeed*. 2005: Viking.

<sup>176</sup> Ivins, M. and L. Dubose, *Bushwacked*. 2003: Random House, Chapter 9.

<sup>177</sup> Great Plains Restoration Council, Buffalo Commons plan,

[http://www.gprc.org/Buffalo\\_Commons.html](http://www.gprc.org/Buffalo_Commons.html)

<sup>178</sup> Pimentel, p. 155

到极限。生物工程、绿色革命、过度灌溉、破坏性开采地下水以及大量使用杀虫剂和化肥都增加了粮食产量，但这些方法都有局限性且正在破坏土地，使整个生态系统濒临崩溃。

## 2. 水产养殖

室内养鱼（水产养殖）已经商业化，新英格兰和波士顿很大一部分食用鱼由室内养殖场提供。

海洋捕捞正在造成野生鱼类数量灾难性下降和其他广泛的生态破坏。即使未来得到妥善处理，它也不可能提供超过1%的世界食物消耗<sup>179</sup>。我们在海洋隔离区域建造的大规模渔场产生了大量污染，破坏了生态环境。同时也存在争议，因为养殖鲑鱼身上出现了比野生鲑鱼更多的毒素，养殖鲑鱼还可能把野生鲑鱼挤出生态位。室内养鱼消除了这些问题，它能在一小块区域内养殖大量鱼类。中国数千年来一直在封闭的湖泊（而非海洋）里养鱼，高科技计算机技术与其结合后产能更高。室内养鱼是能源密集型行业，冷聚变可以降低这个行业的成本。

马萨诸塞州的一家公司在一英亩的土地上用水箱养殖了90万条条纹鲈鱼，这些鱼比野生鱼或池塘鱼更健康，味道更好。水箱内安装了水泵产生快速的人工水流，里面的鱼每天都在冰冷的水流中奋力游几十英里。这可改善鱼肉的口味，我想可能这里比静止的池塘更亲近于自然，鱼在里面会更加快乐。这种鱼9个月就能上市，是通常所需时间的一半。根据州环保官员的说法，该工厂排放的废水超过了许多饮用水标准<sup>180</sup>。

# 十七、未来汽车

## 1. 生活在悬崖边的孩子

设想你去拜访一个原始部落，发现那里的房屋建在悬崖边几米远处，时不时会有小孩玩耍坠亡。你会觉得无法容忍，感觉不可思议，心想这些人为什么不把住房搬到离悬崖200米远的地方，为什么不竖起篱笆和围墙让儿童们远离悬崖。这太恐怖了，这些人太野蛮了，根本不珍惜孩子的生命。

---

<sup>179</sup> Pimentel, p. 106

<sup>180</sup> Herring, H.B., *900,000 Striped Bass, and Not a Fishing Pole in Sight*, in *New York Times*. 1994.

现在回到美国、日本或欧洲的任何城市或乡镇看看，数以亿计的儿童生活在繁忙的街道旁，汽车以80公里的时速呼啸而过，偶尔会有小孩追着球或狗跑到街道上，或者在上学路上忘记左右看而让汽车撞倒。每年有成千上万的儿童身亡或致残，我们却几乎没有采取预防措施<sup>181</sup>。后人会认为我们太野蛮了，竟然放任这种事情发生，他们会说我们对孩子没有怜悯之心。我们和所有父母一样都会为此悲伤，但我们就与那些让孩子掉落悬崖的原始人一样缺乏想象力，没能采取一些既简单又安全的办法来避免这种悲剧，比如在道路旁修建围栏，或者进行文明限速。除非有行人防护通道，通过居民区的车辆不能以高于每小时20或30公里（每小时12至18英里）。这与跑步、骑自行车或骑马的速度一样，使司机能够在快要撞到行人时刹车或减至非致命车速。10公里时速的汽车能把人撞倒，但很少会撞死<sup>182</sup>。

机动车造成世界范围内的伤亡规模不亚于黑死病、早期工业革命的工厂采矿业或现代战争。交通事故主要集中在第三世界国家，每年导致120万人死亡，3,880万人重伤，堪比20世纪最严重的灾难：

第二次世界大战中死亡5,000万人

1918年的大流感中死亡2,000万至4,000万人

第一次世界大战中死亡900万人

汽车出现后的100年中有3,000万至5,000万人死于交通事故

汽车污染造成的死亡人数很难确定，很可能与交通事故一样多，甚至更多。在富裕国家，完善的法规和良好的道路虽然可以将事故率降至最低，但污染造成的死亡人数可能更多。据世界卫生组织（WHO）估计，欧盟国家每年机动车事故造成4.5万人死亡，再包括非欧盟国家在内的大欧洲地区造成约12万人死亡。WHO报告称欧洲每年约有8万人死于道路空气污染<sup>183</sup>。在欧盟，运输业对环境和健康（包括拥挤）产生的影响估计高达2,600亿欧元，冷聚变将很快改变这种现状。

---

<sup>181</sup> 2002年，在英国有超过36,000名道路伤亡者是16岁以下的儿童。参见Child Accident Prevention Trust, Factsheet, <http://www.capt.org.uk/pdfs/factsheet%20road%20accidents.pdf>

<sup>182</sup> 研究表明，时速40英里的汽车撞击会导致85%的行人死亡；时速30英里时，该比例降至45%；时速20英里时，降至5%且有30%的人完全无伤。参见Child Accident Prevention Trust, Ibid.

<sup>183</sup> *Averting The Three Outriders Of The Transport Apocalypse: Road Accidents, Air And Noise Pollution*, Press Release WHO/57, 31 July 1998, <http://www.who.int/inf-pr-1998/en/pr98-57.html>

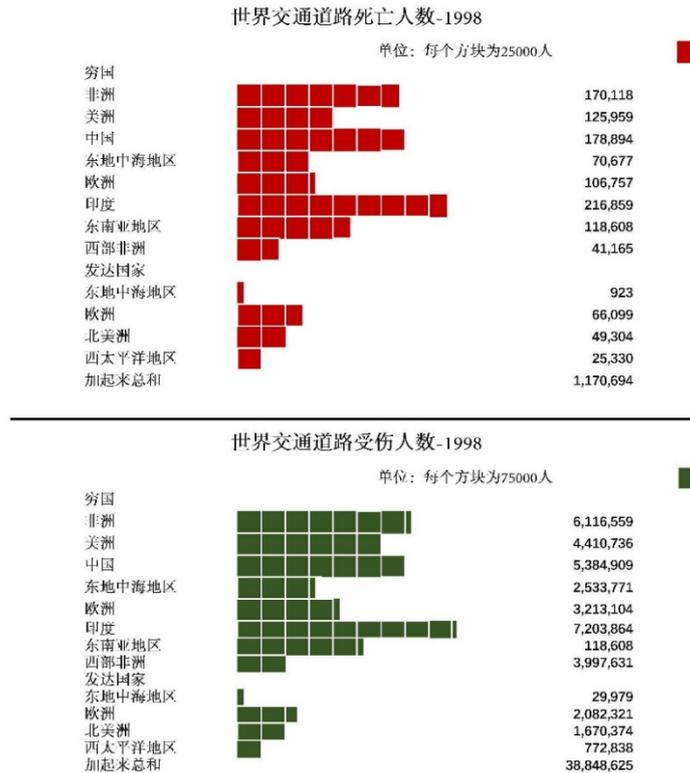


图17.1. 1998年世界交通伤亡数据，参世界卫生组织报告《伤害：全球疾病负担的主要原因》。

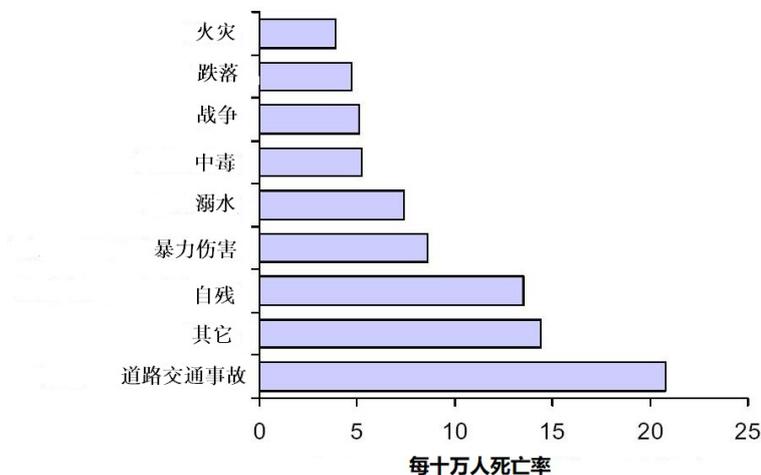


图17.2. 2000年世界卫生组织《伤害手册》中按原因归类的全球伤害死亡率，世界范围内道路交通事故是导致死亡率最高的因素。参 <http://whqlibdoc.who.int/publications/924156220X.pdf>。

除了提供饮用水、食物和教育外，改造汽车也是当务之急，冷聚变技术会让汽车变得更安全、方便、快捷、安静和舒适。

第三世界的国家可以采用第一世界已有的方法来减少交通事故，比如修建更好的道路和交通屏障，减少交通拥堵，设置更低限速。与此同时第一世界国家可以利用冷聚变技术发展出更为激进的解决

方案，一旦我们设计出新型道路和开发出新型汽车，就可以将其引入发展中国家。

强迫儿童生活在公路边、呼吸污染的空气或饮用污染的水，应视作虐待儿童的犯罪行为，必须予以制止。这些恐怖行为一直伴随着我们，我们已经习以为常。解决的第一步是发现问题所在，为此感到不安，然后寻找解决方案。

与致命事故或受污染的水相比，许多技术问题本来并不可怕，但仍然是生活中痛苦的根源，几十年前我们就应该解决。交通堵塞耗费数十亿工时，交通、割草机和建筑设备产生的噪声给人们带来压力并导致各种健康问题。城市里明亮的灯光让人难以入睡，也无法欣赏夜空。这些问题中有些是由必要的取舍造成的，如人们必须工作，必须忍受污染和交通堵塞。但城市里明亮的灯光只会让电力公司股东受益，制造嘈杂的割草机没有任何好处。相反，让人心烦意乱的机器也可能让用户花更多钱，高噪声通常是由糟糕的设计、能效低下或维护不善造成的。

## 2. 改造机动车

显然，冷聚变在这个领域将会产生巨大影响，它将淘汰汽油。重申一下第2章中的数字，一公斤重水产生的能量相当于150万公斤汽油（52.3万加仑），但其未来的成本将会是100美元甚至更低。

第一款冷聚变动力汽车的外观可能与今天的小汽车一样。类似于昂贵的美国中型车，又大又重。消费者喜欢重的汽车，大而重意味着操控性更好，车内更宁静，发生事故时也更安全<sup>184</sup>。

冷聚变将使我们重新思考整车设计。传统汽车的许多机械和结构，诸如反污染装置、节能油泵和空调等设备将不再需要，油箱、排气管和消声器也将取消。轻质的铝和塑料车身以及符合空气动力学要求的成型灯具可以改善汽车能耗，但发生事故后更换成本很高，因此可以不用。汽车的整体形状仍可保持空气动力学要求，但要更安全，也更容易驾驶。汽车制造商将取消与节能和污染有关的昂贵研发项目，采用更易回收的钢制车身，最终使冷聚变汽车的生产成本比燃油车更低。

第一批车型可能采用汽轮机-电混合动力，类似于目前市场上丰田、本田的油电混合动力汽车。这种车不会排放蒸汽，产生的蒸汽会凝结回收，古老的蒸汽动力汽车很不方便，锅炉冷却后需要重新点火，半个小时后才能上路。冷聚变的开启和关闭似乎很慢，但这可能只是当今实验技术的局限。假设反应堆需要20分钟达到最大输

---

<sup>184</sup> National Highway Transportation Safety Administration, <http://www.nhtsa.dot.gov/>

出，使用混合动力设计和储能电池后就不是问题了<sup>185</sup>。我们可以提高锅炉隔热性能保持水温以便发动机快速启动并避免烫伤事故。即使在严冬，冷聚变电解池也会处于保温待机模式。按下启动按钮加速时电池开始供电，冷聚变电解池会快速调整到最高设置，汽轮机也很快为电池充电。汽车停好后，汽轮机将继续为电池充满电直到返回至待机模式。

汽轮机使冷聚变汽车、卡车、推土机以及其他重型机械更安静、更便宜、更可靠。热电装置改进后即可淘汰汽轮机，机械运动部件更少，噪声更小，可靠性更高了。汽车将配备固态热电空调和暖气，司机停车时这些设备仍可继续运行。厢式货车将配备冰箱等能源密集型设备。

冷聚变汽车的主要卖点是环保，它几乎不产生污染。当然了，刹车片和轮胎会磨损，润滑油也会滴到路面上，但这些与燃油造成的空气污染相比微不足道。撰写本书时油电混合动力汽车卖的非常火爆，购车人可能出于赶时髦，也可能是想表达对环境的关注<sup>186</sup>。混合动力汽车有两种，分别来自本田和丰田。本田之所以销量平平是因为它看起来更像普通的思域。丰田普锐斯（Prius）要等上6个月才能提上车，它有一种未来感，配备电脑仪表盘，时速15公里（时速10英里）以下的采用全电动模式，非常安静，而本田即使在低速行驶时听起来也更像一辆普通燃油车。第一款冷聚变汽车如果外形美观，即使刹车和齿轮等大多数内部系统都是传统设备，销量也会更好。

### 3. 整个交通系统的改善

我希望汽车通勤将来不会那么普遍，通勤距离会更短，大多数通勤方式由远程办公来取代，人们会在自己家附近的小型卫星通讯办公室里办公。大型公司会拥有上千名员工，这些员工将会分散在城市（或一个大陆）的小型办公室，通过大屏幕实时远程沟通。护理、教学、烹饪或研究等工作会要求员工集中在同一地点。我希望改进的航空运输能取代大部分城际旅行和长途卡车运输。自动汽车很可能在未来几个世纪里成为我们主要的交通工具。想象一下如何根本性地改进汽车和道路，我们不仅要消除污染，还要消除事故、噪声、不便以及城市的萎缩，除了喧嚣的高速公路外我们还需要安静的乡间小路，我们要避免与鹿及其他野生动物发生碰撞，还要改造成百上千万公顷遭沥青破坏的生态系统。让我们想想汽车出行如

---

<sup>185</sup> 现在的油电混动车电池容量很小，无论何时都不能单独依靠电池供电。丰田普锐斯（Prius）仅用电池只能行驶一英里左右。

<sup>186</sup> 其实混动车特别省油——校者注

何惠及社会所有成员，包括那些老年人，他们无法驾驶汽车时会感到孤独。

人们提出了各种各样的方案以减少上述问题，很多是不切实际，无法令人满意的折中方案，它们成本太高了。有些人提倡发展更多的公共交通，但这是用19世纪的方案解决21世纪的问题。他们天真地以为美国人会放弃开车，骑自行车或步行上班，或不住在郊区。如果这些是我们能想出的最好解决办法，我们还不如让自己在接下来的二千年里忍受着苦不堪言的交通拥堵。我们需要的是更为大胆激进的方案，消除汽车造成的伤亡、损失、浪费和挫折感，同时保留汽车给我们带来的自由和便利。有了冷聚变技术，再加上挖掘技术和计算机技术，我们就可以把大部分繁忙的主干道和高速公路都埋在地下，使制造出的汽车<sup>187</sup>名副其实，实现真正的自动化。

地下高速公路听起来很不现实，但我相信它可以将旅行速度提高两三倍，防止几乎所有的交通事故。这种交通系统不仅现实而且必然，它不但能将旅行速度翻倍还能在世界范围内防止100万人死亡和3,500万人重伤，仅在美国就能节省2,300亿美元的医疗费用<sup>188</sup>。我们为什么要忍受这些问题呢？我们的祖先就是由于不满足于帆船和土路上的马车，所以制造出了蒸汽船和汽车，这是巨大的进步。现在是我们采取类似重大举措的时候了。我们永远不应该满足于那些本来可以变得更安全、更好的系统，世界各地的人们都应该获得技术带来的好处。

冷聚变汽车隧道会比现在的隧道更容易设计，因为它对通风要求更低。里面只有司机和乘客需要新鲜空气，因为车辆不烧油所以不需要。它对通风系统的要求与今天的地铁隧道一样。燃油汽车将禁止入内，它们会在事故中爆炸所以很危险。冷聚变汽车在发生严重事故后会焖烧但不会爆炸。地下隧道的行车条件会一直保持在最佳状态。我们不必在铺设下水道、管道或电话线时毁坏路面，因为这些将在隧道中单独配制，工人进入时不用阻断交通。隧道内将配备无线电、电视和手机天线，里面也将配备车辆接近时自动开启的路灯，以及用于交通控制计算机的摄像头和传感器。由于隧道内不受天气影响，车辆也不会污染环境，这些高科技设备比在地面道路上寿命长很多。一旦汽车进入隧道就像机场通道内的水平扶梯一样自动运行。隧道中没有行人、动物、倒下的树枝或其他车辆，我们可以应用如今的计算机技术实现汽车自动化。

---

<sup>187</sup> 汽车的英文automobile，即自动车——译者注

<sup>188</sup> 根据美国国家公路交通安全管理局（National Highway Transportation Safety Administration）的数据，美国每年因车祸损失2,300亿美元，平均每人820美元。参：<http://www.nhtsa.dot.gov/nhtsa/announce/press/pressdisplay.cfm?year=2002&filename=pr38-02.htm>

在城市街区，人们会在地面道路上手动驾驶汽车，在人行道上步行去商店、学校或晚上散步。当人们想长途旅行时，得以不超过30公里的时速沿着地面道路行驶到地下主隧道入口。（手动控制下的车速被电脑限定在时速30公里内，即使猛踩加速也不行。）像地下车库入口一样，隧道入口陡峭狭窄。入口通常处于关闭状态并配备摄像头和机器人自动安全系统以防止儿童和动物进入。系统会在高峰时段自动调节，发现等候的汽车时迅速打开大门。一旦汽车进入隧道，电脑就会接管工作，方向盘（或控制杆）就会自动缩回到仪表盘，乘客这时可以读一份报纸或打个盹，到达距目的地最近的出口时车辆自动驶出。

地下道路是三维的，可以一直保持畅通。就像今天的高速公路一样，两条道路相交时立体交叉。因为地下道路没有红绿灯，即使车道更少也会比地面道路上更快。行驶中可能不时减速或停车以让其他车辆汇入或驶出，但这些动作完全由交通计算机自动控制，延时会很短，一旦交通恢复畅通，车辆将会恢复全速行驶。如今，无论是否有交叉车流，原始交通信号灯都会让汽车停下来，即使交叉路口没车了，也要让等待的车辆多停几秒钟。

在城市中，从入口到出口的实际速度可能是每小时60公里（每小时40英里）。在地下城际高速，速度可能高达每小时250公里（每小时150英里），在如此狭窄的空间里高速移动需要一些时间来适应。显然，没有人能在隧道里以如此高的速度驾驶汽车，人类的反应能力无法胜任这项任务，一时的分心就会引起灾难性的事故。即使在今天，在拥挤，快速行驶的高速公路上变换车道和操纵车辆也常常是一种可怕的经历。

隧道里会有狭窄的路肩把不同车道分开，所有的汽车和卡车都以相同的速度行驶，并精确地隔开。与手动驾驶汽车相比，它们可以靠得更近，甚至可以一辆接一辆地连在一起，像火车一样从一个入口移动到另一个入口。美国交通部已经测试过这种高速公路列车或汽车列队。它们通过路面上的磁性引导传感器在普通公路上自动驾驶<sup>189</sup>。地下隧道中没有人工驾驶车辆，干净且不受干扰，公路列车将会更容易实施。通过减少车辆间距，交通密度可以提高一到三倍。交通中心的控制计算机将确定这些列车的组成，它会将目的地相同的车辆排在一起。当列队接近一个入口时，一些车辆将脱离，另一些车辆会加入，重组过程会导致列队减速或暂停。

---

<sup>189</sup> Bryant, B., *Actual Hands-Off Steering: and Other Wonders of the Modern World*. 1997, Federal Highway Administration, <http://www.tfhrc.gov/pubrds/pr97-12/p32.htm>. 这项技术还能降低能耗：“车辆在紧密的自动化队列中行驶，当间距约为车身长度一半时可显著减少空气动力学阻力，从而使燃油经济性提高和排放量降低20%至25%。”但对于冷聚变来说，这并不重要。

由于没有人类驾驶员，车辆之间将会完美配合，不会有挑衅性驾驶或交通违规。车辆绝不会不打灯就转弯或变道，每辆车都知道周围车辆的去向以及每辆车的路线规划，它们会不断地在无线网络中彼此通讯，中央交通控制计算机根据需要向所有车辆发出统一命令。如果发生事故，后方几公里的所有汽车都会接到通知并实施紧急制动。由于给定了总体交通密度和最高安全车速，所有车辆都会以相同的速度行驶，不会出现超车或变道的危险操作，也不会出现从外侧车道到出口的无计划抢行。当中央交通计算机决定将一组车辆移动到外侧车道时，它会命令周围的车队和单独车辆后退以腾出变道空间。

随着这些自动控制系统不断完善，变得更便宜可靠，计算机软件可以提高到足以应对户外公路危险，例如恶劣天气和在道路上游荡的动物，一些剩余的地面高速公路可能改造成自动控制以容纳更多车辆，提高通行速度。（颠覆性技术有时会延长与之竞争的过时技术寿命，前面我曾建议电力公司使用冷聚变中央发电机延寿几十年。）随着最后一辆手动车退役，旧高速公路会得到升级。同一条道路上既有手动车也有自动车总是个麻烦，无论如何，这种重叠不会超过10或20年，因为汽车会很快磨损，当自动车速度比手动车高一倍，致命事故减少一万倍时，人们就买不到手动车了。

所有汽车和卡车都将完全封闭，窗户只有在紧急情况下才会打开，卡车上的货物和包装箱都将安全封闭在车厢内。那些敞篷货车，抖搂着苫布、拖着滚滚灰尘和飞沙走石的泥头车，载着数千鸡笼的畜禽运输车，以及将恶臭脏水洒到后面汽车挡风玻璃上的垃圾车永远无法以每小时250公里的速度行驶。当床垫绑在汽车顶部或伸出半开的门外时，门控机器人不会打开隧道，因为这些不安全的货物会掉在路上。乘客没系安全带时它也不给开门。如果在隧道中行驶时乘客解开安全带，汽车就会发出警告并报警，一个愤怒的警察会出现在仪表盘屏幕上，你的车会在下一个出口驶离隧道，那里会有一辆巡逻车和打印好的交通罚单等着你。也许你觉得这太烦人了，我也有同感，但我无法想象还有什么其他方法可以让紧密连在一起的车队能以每小时250公里的速度安全行驶。当然，这些都是极端情况，这种介入也有好处，如果你觉得自己在开车时心脏病发作了，就可以给警察打电话寻求帮助，紧急医疗服务人员会视频呼叫到你的仪表盘屏幕上并提供保障。这时所有其他车辆都将被分流，你的车将获得紧急许可，并以最快速度自动驶往离医院最近的出口，在那里急救队将派出一辆救护车等着你。

由于汽车自动驾驶，漫长而无聊的隧道旅途几乎没啥可看没啥

可做。车内的娱乐设施将得到改善，挡风玻璃将会内置一个液晶显示屏，手动模式下会显示道路信息。行人走到汽车前面时会发出警告。自动模式旅行时你可以把液晶显示器转换成不透明的彩色，就像屏幕保护程序一样，给你提供隐私、照明和虚拟环境。你可以选择一个视图，显示你的汽车在海啸上冲浪，或者划着独木舟沿着激流而下。车辆隔热良好，引擎声音不大，道路也很平坦，所以你不会觉得颠簸或有动感。也许更合适的场景是仲夏傍晚在剑桥的卡姆（Cam）河或威尼斯的平底船上泛舟闲游，或者进入到星空环绕的太空。

汽车会像地铁车厢或飞机一样，形状和大小都差不多，能够在计算机控制下高速行驶和快速反应。它们将比今天的车辆有着更严格的工程标准，接受频繁、严格和自动化的安全检查。

现在几乎所有的交通事故都不是由机械故障或路况引起的，而是由于驾驶人员失误或鲁莽造成的。大多数严重交通事故发生时的车速都超过30公里/时，当街道上手动车速度不超过30公里/时，并且所有的高速公路都自动化时，致命事故将会非常罕见，有的话也会成为头版新闻，全世界每年交通事故死亡人数会从120万下降到几千人。随着计算机和传感器改进，事故将逐渐变得和今天的商业飞机失事一样罕见。

如今高速公路上许多延误都是交通事故造成的，平时除了高峰拥堵外延误很少会出现。交通高峰期可以通过中央计算机进行预测、规划、监控和控制，可以通过调整每天不同时段不同路段的高速费率来大大降低交通拥堵。（无论如何，我们需要用公路通行费或里程税来代替燃油税。）当你在高峰期接近一个入口时，交通管制计算机向你的仪表可视控制台发送一条信息：“本道路十五分钟内所有西行交通口已预定，您可以选择另一条威斯康辛大道路线，或者在8点46分进行预订，请注意，收费标准在上午9:00之前有效”。当预定完成后，电脑会要求你把车停在附近，控制台会显示一个倒计时时钟，在出发前两分钟发出预告。

雨雪几乎不会延误隧道内交通，除非雨雪导致出口处的交通中断。许多司机可能不用在地面下车，他们可以直接把车开进自己住房或办公室底部的地下停车场。

如果第10章中描述的“鸟脑”级计算机开发出来，自动驾驶汽车不仅能在地下自动行驶，也能在地上自动行驶，届时人们就永远不用开车了。人们只需上车，告诉电脑目的地后就撒手了，汽车会慢慢穿过你所在的街区，然后以每小时250公里的速度在地下疾驰。全自动汽车将会给那些无法开车的人们带来巨大的益处。它们安全快

速，任何人都可以按需使用，包括小孩、盲人、病人、老年人以及其他不能操控现有汽车的人。它们将使所有社会成员都享有现代汽车赋予健全成年人的自由、独立和机动性。地下道路已经避免了大多数严重交通事故，但人们还得继续在没有改善的地面道路上驾车直到“鸟脑级计算机”接管交通。这最终将消除司机引起的交通事故，这些司机包括酒驾司机、鲁莽司机、并线缓慢的胆小司机和出租车司机、找不到路标或出口标志的路盲司机、生病或犯困的司机、带着熊孩子的司机、路上打电话的司机等。最后司机本身也将成为历史。

全自动驾驶汽车和飞机将使运输行业的大多数工作岗位消失，比如卡车司机、出租车司机和飞行员。

乘坐一辆全自动智能汽车并不像你想象的那么新奇。事实上，几千年来人们一直是这么干的，许多劳累的农民骑着认路的马，迷迷糊糊地就回了家。

人们将不能坐在敞篷卡车的车斗中，也不能不系安全带而开车，虽然发生在地下道路的事故很少，也不会导致汽油燃烧而引起爆炸，但在时速250公里的事故中，如果不系安全带，乘客幸存的几率很小。安全带可以是小型飞机和过山车配备的四点式安全带，（对20世纪的司机来说，这些车最像游乐场里的设施。）佩戴头盔也是必要的，宠物和其他物品必须妥善放置，250公里时速的车辆在碰撞中突然停了下来，从后座甩出来的一瓶桃罐头就会造成致命打击。这些都是极端情况，设计师知道如何处理，高速行驶中的赛车通过自毁吸收撞车的大部分冲击来保护驾驶员座舱。小型飞机发生事故时，机翼和大部分机身会被撞成碎片，只留下完好无损的乘客舱在跑道上弹跳，乘客却可以从残骸中安然离开。

地下公路必须禁止危险化学品和爆炸物，他们必须通过地面道路慢速运输，通过管道或最终由机器人驾驶的垂直起降飞机运输。为了避免恐怖主义和犯罪，地下公路入口机器人可能需要检查汽车是否载有爆炸物或违禁品。

当我建议汽车应该自动化、规范化和标准化时，一些读者哀叹这将带来自由的丧失。他们喜欢开车，他们认为这是一种自我表达的方式，他们不希望所有的车看起来都一样。他们想通过选择汽车型号来彰显个性，他们想拥有修车自由。就像不让普通人给波音747客机换轮胎一样，似乎不太可能允许业余机械师对电脑控制的汽车进行改造，因为汽车的常规运行速度是每小时250公里。我希望保留一些道路给那些喜欢汽车的人，让他们把开车作为一种爱好，或作为一种自我表达的手段。他们完全有权这样做，就像人们有权骑自

行车、游泳、在特拉华河上划独木舟或享受悬挂式滑翔机等危险运动一样。然而高速公路系统和电梯一样并不是为了满足人们心理上的需求，也不是一种自我表达的手段，它是一个公共交通系统。全自动驾驶汽车和地下道路有如此多的优势，虽然会使生活更加规范，少一些色彩和刺激，但我相信大多数通勤者会更喜欢。

当多数大型地面公路遭废弃时，成百上千万公顷的土地将会挪作他用。也许一些著名的废弃高速公路会为那些怀旧的汽车爱好者保留下来作为国家公园。这些爱好者所驾驶的数十万辆汽油动力汽车不会造成重大污染或伤害，毕竟开车风险很小。弗吉尼亚州天际线公路和加州1号公路等风景优美的道路应该让手动车和摩托车以及自行车通行。当新的新泽西收费公路开放时，它将是一条拥有16车道的自动地下高速公路，它建在目前收费高速公路下方50米处，上面100公里的旧路可以变成一个怀旧博物馆，道路为那些愿意手动驾驶的汽油车配备21世纪之交的加油站、快餐店以及身穿旧日服装的州际公路警察。

电信、航空运输或时速500—1000公里的自动化地下磁悬浮车取代大多数城际高速公路会更好<sup>190</sup>。与能够进出隧道的私人轮式乘用车不同，这些车辆只在特殊的磁悬浮轨道上运行。可以想象，磁悬浮轨道可以修建在隧道外面，穿过城市街区，这样任何人都可以开着自己的磁悬浮车到达自家附近的停车场，或者直接开到门前。这似乎既笨又贵，就像巨大的有轨电车网络一样。也许它们可以配备地面低速行驶的可收放车轮。

磁悬浮列车之所以快，部分原因是它没有轮子，车轮对汽车的速度和控制有一定限制。气垫船属于没有轮子的交通工具。设计师们提出了各种奇异的车辆，比如在特殊悬轨上能变成单轨列车的汽车。我认为这些替代车辆要么噪声太大，很难操控，要么不切实际。如果将来有什么东西能取代汽车的话，那将是个人飞行器，这将在下一章详述。

## 十八、航空器、航天器和个人飞行器

航空航天技术和空中交通控制技术的进步与冷聚变相结合将会催生出两种新形式的飞行器：一种具有更大有效载荷，可以承载数千人或数百吨货物；另一种具有更小载荷，可以承载一两人供个人

---

<sup>190</sup> 类似于马斯克的超级环磁悬浮系统——译者注

使用。

## 1. 航空器

飞机和直升机将会有无限航程，它们可极速飞行，无需巡航来节省燃料。只要机组人员有食物和水，高性能的冷聚变喷气式飞机和冲压喷气式飞机将会以数倍音速飞行。

现今的飞机存在两个问题，一是有效载荷小，二是必须连续飞行，否则就会坠毁。大型喷气式客机最多可载500人，波音和空客正在考虑建造1,000座的客机，这可能已经接近实际极限。第二个问题导致传统飞机永远无法增加更多载荷，它不能太慢或在空中停下来。飞机需要很长的跑道，为了安全必须在空中保持几公里的间距。飞机越大需要的跑道越长，它着陆时对跑道和起落架冲击也越大。如今的机场已经够大了，城市不太可能允许跑道再长两三倍。

一架载客1,000人的飞机也许看起来很大，但以火车或轮船的标准看则不然。1858年下水的大东方号（Great Eastern）游轮可以搭载4,000名乘客或10,000名挤在一起的士兵，其乘坐条件远比飞机宽敞舒适。

我们需要一架像巨型直升机一样能在航站楼前盘旋、缓慢垂直降落的飞行器。悬停飞行器降落时刹车或轮胎同时着地所以不会让混凝土跑道或飞行器起落架超载。

空中交通拥堵时，飞行器会减速并在机场上空固定位置盘旋，靠近其他悬停的飞机，其情形就像等待交通信号的汽车。由于不需要像今天的飞机那样绕着巨大的圆圈高速盘旋，因此将大大减轻空管压力。多个分散的机场、还有直接空降货物的工厂、购物中心和卡车停车场也会起到同样的作用，所以飞行器起落将不再受大型机场限制。

有四种航空器可以悬停：

1. 直升机：因为受限于转子（螺旋桨）的尺寸和强度，所以看起来直升机不太可能更大或更快，即冷聚变对其改进有限。

2. 气垫船：也称为气垫车（ACV）或地效飞行器。

3. 飞艇（如上世纪德国的齐柏林大型飞艇）。

4. 垂直起降飞机（VTOL）：如鹞式喷气式战斗机，它像一架采用喷气发动机的螺旋桨直升机。

大型气垫船在几十年前就已投入使用，当时主要为英吉利海峡两岸提供摆渡服务，它在商业领域不那么成功的主要原因是能耗太高，如果采用冷聚变就没问题了。它们无法与英吉利海峡隧道和“快船”——双体船——竞争，因此2000年后惨遭淘汰。与普通船、

飞机和“快船”相比，气垫船有自己的固有优势。它们比普通船只快得多，不受恶劣天气和巨浪影响，可穿越水、冰、沙、沼泽和任何平坦表面。我们可以开发出货运兼客运的巨型远洋气垫船。英吉利海峡的渡轮两天内即可从伦敦到达纽约，开发出更快的渡轮也是有可能的。今天空运货物所需的时间大概是两天，我们必须把货物分装到集装箱，等待空出一条拥挤的起飞跑道。一艘大型气垫船的运载量可以和一百架飞机相当<sup>191</sup>，它可以停靠在现有集装箱码头，该码头能比机场吞吐更多货物，如果从海岸到一个新内陆港恰好有一段宽阔平坦的陆地，它可以直接行驶几公里过去。这段路不需要铺装，可以有庄稼、栅栏或一米高以下的巨石。气垫船会比先进的“快船”更好，首先因为它是现成的，人们有相关操作经验，其次是气垫船对环境危害较小。“快船”的航速像水翼船一样能达到每小时70公里，但会杀死鲸鱼和其他大型海洋生物，破坏海洋生态。

气垫船在军队中广泛使用，深受欢迎，它能够飞一米以上，能在水面、沙滩、沼泽、带刺铁丝网或雷区上轻松飞行。美国海军拥有一支庞大的装甲气垫船登陆舰队。

巨型刚性热空气飞艇也叫齐柏林飞艇，它使用热空气代替氢气或氦气，也可以使用热空气和氦气的组合。一艘飞艇能把几千吨货物或原材料从一个大陆运送到另一个大陆，它不需要机场来降落，只需要一个开阔场地，它可以盘旋在露天矿场上空装载矿石<sup>192</sup>。除非有反重力装置，否则飞艇仍然是最静音的航空运输方式。像兴登堡这样的氢气飞艇很危险，氦和热空气飞艇比较安全。它们能像漂浮在天空的城镇一样大，人们可以住在里面，就像一些有钱的退休人士常年住在伊丽莎白女王2号游轮上一样。

到目前为止，我们只开发出鹞式喷气式战斗机为主的小型垂直起降机。螺旋桨垂直起降机具有直升机相同的机械和速度限制，并不成功。我们需要的是长途（1,000公里及以上）巨型喷气式超音速冷聚变垂直起降机，承载量能与19世纪蒸汽船媲美。这种垂直起降机不需要跑道，4,000名乘客就座后即可从乘客登机口直接升空。上升至11,000米（35,000英尺）后即可以3马赫（3,572公里/小时，2,220英里/小时）的速度巡航。如果目的地机场很拥堵，垂直起降航班可以在登机口上空盘旋等待放行，之后会缓慢地垂直下降，与登机口对接，通过几十个出口让乘客离机。

今天我们从纽约到东京需要忍受长达14小时的长途飞行，采用

---

<sup>191</sup> 有史以来最大的气垫船载重112吨，可载418人和60辆汽车，时速110公里。波音747的有效载荷是140吨。更大的气垫船是可能的。

<sup>192</sup> McFee, J., *The Deltoid Pumpkin Seed*. 1973: Farrar, Straus and Giroux.

超音速垂直起降机只需3小时7分钟。地球上最长的旅行也不超过4小时，餐食、空乘、枕头以及悉心照料都将成为过去。今天的空乘人员在紧急情况下扮演着重要角色，未来将不再需要他们，建造这些飞机的时候，机器人已经能和人类空乘一样善于处理紧急情况。不管发生什么，机器人都会保持冷静，任何事故都可能是瞬间而灾难性的，空乘人员也无能为力，额外牺牲几十条性命似乎也没有意义。不用说飞行员也将由机器人取代。

人们不应该过多地起身在机舱内走来走去，由于飞行时间缩短，因此无需提供开放空间。但是飞机的座位应该像今天的头等舱一样豪华宽敞，我们无需节省空间，当然也不必省油而让飞机挤满乘客。

大型货运垂直起降机有助于缓解公路交通拥堵。随着隔日达快递业务的发展，高速公路上的许多长途卡车已由航空器所取代。冷聚变将使航空运输更加便宜，有了货运垂直起降机，货物可以由无人驾驶飞机直接从工厂运到杂货店和购物中心，航空器可以降落在停车场或屋顶。

超音速垂直起降机在有小机翼或没有机翼时都有极佳的飞行性能，发动机为其提供大部分升力和控制。现代超音速战斗机有宽阔的翼形升力体机身，巨型垂直起降机也可以如此设计。

一架有机翼的飞机可以有惊人的滑翔距离。2001年，一架空客飞机在所有引擎失效的情况下，飞行员设法滑翔136公里并最终安全降落在机场。但是，如果一架飞机只有引擎和保持高度的升力体，当所有引擎都抛锚时就会像石头一样垂直降落。由于引擎至关重要，飞机应该有多个引擎防止一两个出现故障。6是个不错的数字，大自然已经为它们设计出一个精妙的排列顺序：像昆虫一样，前面、中间和后面各有两个（见图18.1）。在航空器起飞或降落时，六个引擎会直接指向下方，然后稍微转向推动它前进。让巨大的引擎旋转也许不太可行，但我们可以将引擎保持固定，气流可以用导流板重新定向，这种方法已用在一些先进的战斗机上。如果引擎确实会旋转，它们就必须迅速移动以保持平稳飞行。如今的飞机机翼里面安装有大型旋转齿轮，可以克服巨大阻力快速地对襟翼动作。未来的飞机会使用某种电激活人工肌肉，可能不会是第10章中描述的电活性聚合物（EAP），因为EAP的力量还不够强大，其他类型可能更强、运动范围更小，如压电类材料或许可行。

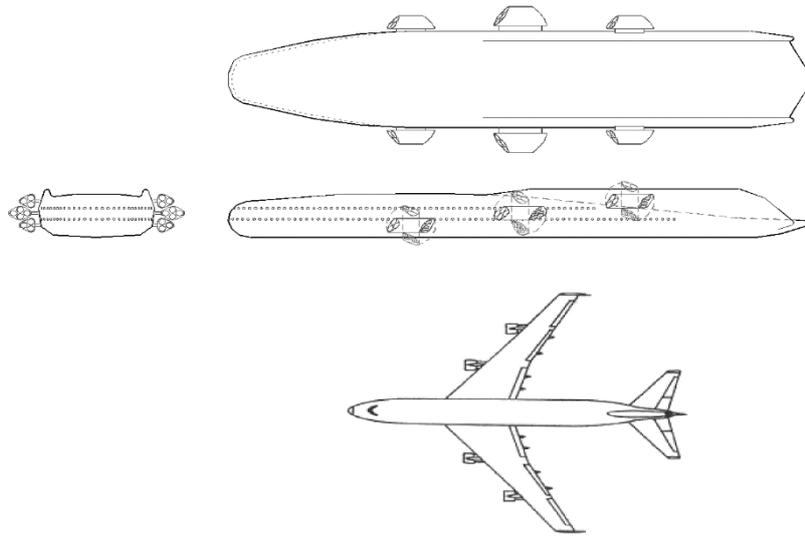


图18.1. 上图是亚当·考克斯 (Adam Cox) 设想的超音速垂直起降客机，下图为与之比较的等比例波音747客机。超音速客机发动机飞行时旋转面向后，起飞和着陆时旋转面向下。

### 超音速垂直起降客机的规格

升力体设计：机身就是一个巨大的机翼

长度：122米（400英尺）

高度：12米（40英尺）

机身宽度：24米（80英尺）

重量：4,000吨（是波音747的10倍）

发动机：20个冷聚变氢燃料喷气发动机

——三个并联 四组

、 ——四个并联 二组

机动性：

——发动机具备矢量推力

——发动机吊舱旋转90°可垂直上升和倾斜飞行

冷聚变与燃烧相比，功率密度和温度更低，很难想象冷聚变航空发动机将如何运行。冷聚变发动机的效率会低于今天的航空发动机，意味着更笨重。不过这没太大关系，因为飞机不需要燃料箱，所以重量限制减少，可以腾出更多空间来设计发动机舱。一架波音747空重181,000公斤（181吨），从纽约飞到日本需要烧96吨燃料，为了安全必须携带更多<sup>193</sup>，同等条件下冷聚变只需要消耗183克重水

<sup>193</sup> Boeing Company, <http://www.boeing.com/commercial/747family/flash.html>, 远程型波音747可以携带174吨燃料（63,705加仑）。

（一杯的量）。

很难想象冷聚变航空发动机如何工作，20世纪50年代，我们开发出了传统的铀裂变航空发动机，其中一个原型机运行了120小时，汉密尔顿（C. Hamilton）<sup>194</sup> 描述了该项目的高潮：

由通用电气公司运营的直接循环项目取得了巨大成功。气流在直接循环喷气发动机中压缩后进入反应堆，加热后通过管道返回发动机涡轮。1956年，一台由核反应堆驱动的改进型J-47涡轮喷气发动机进行了一次地面测试，被称为1号热转化反应堆试验（HTRE-1）。

后来进行了这个项目更为严格的实验，HTRE-2和HTRE-3，实验验证了利用核反应堆为一个或多个涡轮喷气发动机提供动力的概念。HTRE-3最终可以为两个涡轮喷气发动机提供动力，尽管没有用于飞行试验，但它可以装入一架飞机。

由于屏蔽核辐射所需重量太大以及发生核事故的危险性，该项目最终遭终止。最近，人们对这一课题又重新燃起兴趣。汉密尔顿描述了一种化学-核混合发动机，它可以在高达1,500°C运行。这么高的温度可以通过辉光放电冷聚变或钛气相载氘冷聚变来实现。

我可以想象一台发动机的工作方式，但无法确认这些方案是否可行：

- 蒸汽涡轮喷气发动机，其工作流体受冷凝后重新使用。这会是一种笨重和相对低功率的动力，可用于低速螺旋桨飞机。柴油发动机同样很笨重，但第二次世界大战期间德国人将其用于高空侦察机。
- 燃烧氢气和氧气的燃烧涡轮机。辉光放电冷聚变装置通过热解产生大量的氢气和氧气，这些气体在涡轮机中燃烧，反应生成的热蒸汽再返回冷聚变装置。（氧气和氢气会在冷聚变装置很近的地方爆燃，这很危险，但水箱里的水绝对安全。）这样的话，飞机就得携带250吨普通水，而不是96吨航空燃料，它的飞行距离将受所带水量限制。不用说水比煤油安全得多。
- 低速汽轮机或氢氧涡轮机，高速冲压式喷气发动机。冲压式喷气发动机采用周围空气作为工作流体，需要一个超高温热

---

<sup>194</sup> Hamilton, C., *Design Study Of Triggered Isomer Heat Exchanger-Combustion Hybrid Jet Engine For High Altitude Flight*. 2002, Air Force Institute of Technology: Wright-Patterson Air Force Base, Ohio.

源。NASA最近测试的试验性冲压喷气发动机使用的氢气可以通过机载冷聚变分解水产生。

毫无疑问，航空工程师们会找到实用方法的。

## 2. 航天器

太空旅行最需要解决的问题是从地面穿越大气层进入轨道（地表至轨道）。考虑现在我们对冷聚变性能的了解，它产生的热能似乎无法满足火箭发动机的要求，但它可以将水分解成航天飞机使用的氢氧燃料。不过还有一个解决方案：太空电梯，太空电梯由一根碳纤维制备的长缆绳组成，它连接位于距地面36,000公里高的一颗静止轨道卫星。像钢这样普通材料的强度永远无法满足这样的距离，但碳纳米管的强度是钢的100倍，用不了十年我们就可以用它来建造太空电梯。



图18.2. 太空电梯概念，图片视角为从地球静止轨道中转站沿着太空电梯朝向地球。参：NASA, Flight Projects Directorate, [http://flightprojects.msfc.nasa.gov/fd02\\_elev.html](http://flightprojects.msfc.nasa.gov/fd02_elev.html)

当第一根缆绳从地球表面延伸到地球同步平台后，自动车便可顺着爬上去并提升其他缆绳，最终几根缆绳绑在一起足以承载巨大的重量，如载有许多乘客或数吨货物的车厢。太空电梯比火箭或其它航天器更安全高效。虽然没有冷聚变也可以建造这个项目，但冷聚变将是理想的动力。最终太空电梯的终点会建造一个巨大的空间站。往空间站运送更多的物资将成为一个优势，地球同步空间站上积累的质量越大，外加的平衡力也越大，太空电梯的稳定性就越好。最终，整个空间站可能包括一个用于预组装深空飞行器的巨大密封舱，以及用于飞往月球和太阳系行星的仓库和货物转运区。

在低重力或零重力情况下建造巨型建筑可能比地球表面建造一座中等摩天大楼或封闭空间更加经济。无需抵抗地心引力，也无需抵御诸如风、暴雨和地震等自然力。为人类居住而设计的大型空间站内部会有大量空气，需要异常坚固的外壁。大型仓库或宇宙飞船组装大楼内部没有空气也行，因为大多数工人将是机器人，而不是穿着太空服的人类。最终工程师们可能发现在高真空或低压纯氮气环境下制造产品更容易也更便宜，因为它比顶级的计算机芯片无尘洁净间还要干净。

一旦我们离开空间站，我们就需要能够穿越太空到达月球、火星和其他行星的飞船。离子推进用于飞船很不错，但我希望能发明出新的推进系统，可以更好地利用冷聚变产生的巨大而持续的能量。

高温版冷聚变——如等离子体辉光放电——可能适用于火箭，即便如此它也不能像冷聚变汽车那样使火箭具有无限航程，因为火箭必须携带推进剂。冷聚变可以通过传统发动机增加射程（喷气发动机或冲压发动机），火箭到达高空后可以飞离大气层，可在太空中巡航，也可随意再入。对于冷聚变动力火箭来说，水可能是最好的推进剂，因为它不会爆炸，水会以过热蒸汽或氢气、氧气的形式喷出。今天的火箭使用爆炸性化学燃料，燃料也是推进剂。用水推进火箭更安全，最终可能比太空电梯更安全快捷。

### 3. 个人飞行器

在遥远的未来，我希望能研制出某种个人飞行器，它会是一种全自动的小型私人航空器，可以像今天的汽车一样随意驾驶。这种飞行器将取代汽车用于多数超过50公里的旅行，这样我们就不再需要很多地面或地下公路。人们乘坐这些无声的机器直接飞往目的地，由于飞行高度远高于生态圈，因此不会对自然有任何影响，也不会因为飞行器产生的噪声而影响到任何人。在市区的短途旅行中，这些飞行器会在距地面一千米高度按预定线路飞行；远离城市时，它们应该在云层上方飞行，这样显得更低调，你只有用望远镜才能看到。

个人飞行器或空中汽车的起降点可以在任何地方，从家庭车道（或屋顶起飞平台）到办公室或购物中心的停车场。它是全自动的，换句话说它既不需要飞行驾照也不需乘客的任何动作。就这点来说，它无需陪乘人员，你可以让飞行汽车送米莉（Millie）阿姨回家，然后让其自行返回。

为了保证规范通行，中央空中交通控制系统将会一直监控这些空中汽车。天气恶劣或交通拥挤时，中央控制系统会命令一些飞行

汽车在空中悬停以等待地面情况好转。

科幻小说的作者设想了三种空中汽车，根据理论只有两种具有现实性：

1. 反重力机器或无作用力驱动是最理想的，但它们似乎违反了牛顿第三定律。如果证明它们确实存在，冷聚变作为动力的飞行汽车将会非常安静，能够无声无息地悬停在空中，降落时不会产生风或扰动（成百上千万嘈杂的汽油驱动反重力机器将是一场噩梦）。反重力也许是驱动太空飞行器的理想手段，经过几个世纪的发展后，它们能够到达太阳系任何地方。
2. 全自动驾驶直升机或垂直起降飞行器。鉴于机器人技术和空中交通控制的进步，这些技术很可能在未来50到100年内得以实现。即使由冷聚变驱动，它们也会产生可怕的噪声、气流、混乱和破坏。由于能飞得更低，与飞机相比它们会杀死更多的鸟类和野生动物。大城市里数百个富人拥有它们还行，但让几十万人驾驶这些飞行器飞越亚特兰大或纽约这样的城市则是无法想象的。
3. 大型扑翼机是一种像鸟一样的机器，它采用的不是旋转的螺旋桨而是拍打的翅膀。这听起来不太可能，但多伦多大学已经建造了小尺寸模型，目前正在开发载人型号<sup>195</sup>。1999年，一位著名的女试飞员进行了飞行测试，其中包括一次短暂的飞行。当由冷聚变提供动力时这种扑翼机的噪声很小，由于机翼移动相对缓慢，风会扩散很远，所以与飞机和直升机相比，它们造成的混乱和破坏要小得多。像所有的鸟类和飞行器一样，它们必须不断地将大量空气向下推动才能停留在空中。如果不用机械齿轮而用EAP人造肌肉驱动，它们将变得特别安静。

成千上万的城市居民可能永远无法驾驶空中汽车上下班或购物，即使这些机器非常静音也仍具有破坏性。当着陆时它们会不停地嗖嗖飞过低空，我们不想看到罗马、巴黎、华盛顿或波士顿等著名城市天际线上挤满这样的小型航空器。如果这些飞行器在树梢高度行驶，我们也许可以忍受。但我认为，在未来几个世纪里，轮式交通工具更有可能继续为城市服务，而私人航空器将主要用于城镇、偏远的郊区和乡村，或用于城市到遥远地方的旅行。

想象一下住在亚特兰大的人决定去960公里外的华盛顿。今天，开车需要11小时，坐飞机要4到12小时——包括天气造成的飞机延误和机场排队安检的两个小时。将来通过地下公路要四个小时，不喜

---

<sup>195</sup> Project Ornithopter, University of Toronto Institute for Aerospace Studies  
[http://www.ornithopter.net/index\\_e.html](http://www.ornithopter.net/index_e.html)

欢在车里挤上四个小时的人可能选择飞行。他首先需要通过电脑预订一辆空中出租车，让它在附近某个方便的地点等候，比如购物中心或一些收取少量费用提供区域机场服务的大型建筑。开车到达购物中心后空中出租车已经在车库等候，停车即可进行换乘，空中出租车的机器人管家会提供装卸行李服务。空中出租车在汽车自动离开后驶出车库，直接上升到1万米的巡航高度，一个半小时后抵达华盛顿。空中出租车降落在国家机场，一辆地面出租车已在那里等候。此时空中出租车或在机场等待客户或自行飞到其他需要的地方。

对于超过一千公里的航程，人们仍然可以乘坐定时起飞的多座客机，就是我们上面描述的超音速喷气式垂直起降机。

在这种情况下，小型垂直起降机不断从大城市的七八个地点起飞和降落。由于航空器只在少数指定的地方直接升降，比任意地点随意起降破坏性更小，也不会那么碍眼。或许我们可以在一个世纪内使用直升机或喷气式航空器实施这一系统，尽管会很吵，但只要局限在城市的几个区域内，应该不会比今天的飞机差。

飞行汽车的速度会越来越快，最终会超过音速。未来某天人们能从一个大陆到另一个大陆走亲访友或通勤上班，地球上任何地方两人间距离不会超过几个小时。人们可以生活在南极或喜马拉雅山等任何偏僻的地方，虽然离城镇几百公里，他们也不会感到任何不便，机器人修理工或人类保姆会像今天一样快速上门。

平时会有数百万人跨越国界从一个大陆飞到另一个大陆，很难想象有数百万海关稽查员和边境巡警追逐他们。我希望国家、边界、移民以及其他令人乏味的事务最终会消失，每个人都能自由地生活在太阳系里，国家名字只出现在邮政地址里，国家之间的旅行会比从弗吉尼亚到马里兰更为普通。这似乎是一个遥不可及的梦想，但想想欧盟成员国1945年还在打仗，如今它们已经使用同一货币，取消边境检查，各国的公民可以自由选择居住地了。

## 第四部分 未来

### 十九、悲观主义者的恐惧

读者们一定会想到，虽然我所描述的奇妙新设备及其高超能力有可能使生活变得更精彩，但如果它们落入独裁者、恐怖分子、不负责任的公司或政府手中就可能使事情变得更糟。地下高速自动化公路必须有门禁机器人和交通控制计算机来监控汽车，暴君可能用它们来跟踪公民。尽管我怀疑冷聚变核弹的可能性，但我也能想到许多其他方式使冷聚变致人非命，把我们栖息的星球变成人间地狱。

冷聚变可以让我们离乌托邦这个模糊的理想更近一步，它肯定能给我们每个人带来健康、休闲和物质财富，这大概是我们所期望最接近乌托邦的地方。但反乌托邦总是可能的。人们能把任何祝福变成诅咒，自从我们发明了工具并开始塑造自己的生活环境，我们就塑造了自己的命运。

1989年首次宣布冷聚变时，一些极端环保主义者担心情况会变得更糟，洛文斯（A. Lovins）和里夫金（J. Rifkin）以及其他希望冷聚变是一个实验误差，因为它会给人类带来太多的能源<sup>196</sup>。他们把它比作给婴儿一把机关枪，里夫金说：“[冷]聚变的发现是有史以来最坏的消息，就在我们开始对全球社会问题开始培养全球意识的时候，一些科学家却说我们不必处理这些问题”。我不明白这个逻辑，事实上如果我们不再需要处理污染和能源危机“这些问题”时，我们可以处理其它问题。我们并不缺少灾难，冷聚变对解决美国的很多问题无能为力，这些问题如医疗危机、艾滋病、犯罪、种族偏见以及宗教战争，冷聚变也不会教育全世界成百上千万文盲。我不知道里夫金是否认为我们现存的唯一问题就是污染和能源危机，而解决它们将是一种耻辱，因为我们已经没有其它可担心的了？无论如何，我们可以用现有的技术轻易地摧毁地球，无需冷聚变、核弹或其它先进技术，我们正在使用人类最古老的工具“火”来摧毁雨林。古中国人、古希腊人和古罗马人大面积砍伐森林，把成百上千万公顷的良田变为沙漠，公元前2000年技术的破坏性副作用与今天的一样严重。

冷聚变肯定会增强人们的能力，从小的公害到大的全球破坏无

---

<sup>196</sup> Mallove, E., *Fire From Ice*. 1991, NY: John Wiley. p. 86

所不能。巨大的冷聚变动力音箱和激光表演可能把流行音乐和明亮的灯光带到社区、海滩和原始国家公园。由于不必支付汽油费，人们会倾向于驾驶迈克卡车大小的SUV。

我们很容易看出如何采用冷聚变减少大气中的二氧化碳含量，从而减轻全球变暖的威胁。也许有人会通过大幅增加二氧化碳或其他污染物的含量而从冷聚变中获利。如果通过焚烧雨林能赚取每亩100美元，或杀死成千上万吨的海洋磷虾能轻松挣钱，我敢打赌，除非通过法律禁止，否则肯定会有人这么干。不幸的是许多美国法律却起到相反的效果，政府补贴乙醇生产、城市无序扩展、鼓励购买8万美元的悍马SUV以及纵容其他盲目的环境破坏行为<sup>197</sup>。我赞扬了把道路铺设在地下、将机器做的更静音轻便、以及把工厂建在人们不想居住的沙漠、荒地甚至月球上带来的好处。但至少在短期内，美国开发商似乎更有可能利用冷聚变的优势疯狂地建造更多的大型购物中心，把世界上最为葱茏美丽的土地变成一片肮脏、油腻、垃圾遍地的停车场和空荡荡的大卖场。

冷聚变将给我们更多的选择和机会，它将使我们有办法消除过去造成的所有伤害，并使每个人的生活都变得更加美好。我们可以明智地使用它，我们的祖先经常聪明地选择并完成了许多了不起的事情，他们改善了每个人的生活，在美国废除了奴役和童工等不人道的制度，遗憾的是这些做法在世界其他地方仍然存在。他们遏制了狩猎野牛和捕鲸等大规模生物灭绝行为。但世界上最大的哺乳动物蓝鲸仍处于濒危状态，其数量仍在下降，但它们仍有可能从19世纪的大灭绝中恢复。自20世纪60年代以来日本的空气污染已大为减轻（详见第16章）。人类在过去取得了巨大的进步，它们是否会继续进步取决于公众和选民的愿望。我相信大多数人赞成科学研究和负责任地使用新技术，一旦媒体和温和的政治领导人解释清楚这些问题，大多数人会做正确的事。

大部分人是理智而正直的，否则人类将无法生存。民主和自由市场体系不会永远奏效，历史一直是贪婪、愚蠢、目光短浅的少数人与明智的大多数之间的角力。到目前为止的冷聚变较量中，蠢人赢了每一局，他们压制了几乎所有的研究。我亲眼目睹了惨败，没有人比我更了解那些蠢人有多强大以及冷聚变研究者如何错失遇到的少数机会。如果没有公众的支持，学者们永远不会获得资助，然而他们常常轻视说服公众相信他们工作有效性的好机会。但历史表

---

<sup>197</sup> 玉米乙醇是能汇（energy sink）而非能源，生产1兆焦耳的乙醇燃料需要1.7兆焦耳的化石燃料。参见 Pimentel, D. and M. Pimentel, *Food, Energy, and Society, Revised Edition*. 1996: University Press of Colorado, chapter 19. 乙醇游说团体声称，生产1兆焦耳只需要0.6兆焦耳，但这效率仍然低得离谱。

明人们经常会改变想法，他们会进行改革并克服巨大的困难击退成群的傻瓜和愤怒的反对者。历史给了我们谨慎的希望，事情发展最终可能如我所预言的那样好转。

## 1. 虚无主义者和反对者

现在很流行悲观主义，那些受过良好教育、生活舒适、有影响力的科技界人士和领导者，如《科学美国人》的资深作家霍根（J. Horgan）说我们已经接近“科学的终结”<sup>198</sup>。从现在起，我们将只需填充细节并在基本常数上添加小数点。深奥的理论可能有一些细微的进步，但实验科学已经走到了尽头，不会揭示任何新的东西。其他人则说，我们已经接近历史的终结<sup>199</sup>，未来我们只能希望比现在过得稍微好一点，社会、经济和政治都无法改善。《纽约时报》说能源独立是一个无法实现的目标（见[引言](#)）。这只能意味着现在的共识就是能源危机无法解决，在可预见的未来我们仍将主要依赖石油。

我怀疑是否存在阻止冷聚变研究的有组织巨大阴谋。如果有，这些阴谋家也不会邀请我参加他们的会议。我的感觉是，反对源于贪婪、懒惰、非理性的无所不知以及新流行的虚无主义。科学家们应该知道，在没有事先做足功课的情况下不应该对一项主张做出判断，但他们却懒得阅读相关文献，更不会全面客观地阅读。霍根是失败主义、非理性和反科学人群的代表，他和他的编辑雷尼（Rennie）以及其他冷聚变反对者从未发表过科学论文支持他们的观点，也从未提出一个可以证伪的论点。他们说自己的观点是基于多数人的意见和共识，好像科学比拼的就是受欢迎的程度。雷尼直接告诉我理解技术问题或提供可证伪的论点不是他的职责，他认为公众对他没有那样的期望<sup>200</sup>。一个普通的科学家会羞于承认这样奇怪的想法，但雷尼却对此大肆吹嘘。

许多舆论制造者已经对进步失去了信心，它们不停地在对技术蔑视和错位的敬畏两种立场之间来回摇摆。二十世纪六七十年代，人们把技术当作圈套和幻想，人们想象着新技术的成果能够像弗兰肯斯坦（Frankenstein）一样拥有怪兽般的生命，散发出改变人性的神奇能力。美国国会图书馆馆长丹尼尔·布尔斯廷（Daniel J. Boorstin）在《时代》杂志上写道：“我们未来生活的科技共和国是

---

<sup>198</sup> Horgan, J., *The End of Science: Facing the Limits of Knowledge in the Twilight of the Scientific Age*. 1996: Helix Books.

<sup>199</sup> 应该指历史学家弗兰西斯·福山的著作《历史的终结及最后之人》——校者注

<sup>200</sup> *Appeal to Readers*, LENR-CANR.org, <http://lenr-canr.org/AppealandSciAm.pdf>

一个反客为主的世界，即需求不是由人性或数百年的渴望创造的，而是由技术本身创造的”<sup>201</sup>。

20世纪80年代的流行文化转向另一个极端，《时代》杂志把电脑评为年度风云人物（这是第一个也是唯一的非生物获此殊荣），程序员和互联网创造者被广为传颂。那些对机器如何工作以及如何制造知之甚少的人都属于这两种极端。技术只是一种工具，可以用来从善也可以用来作恶，我们可以用来清除四日市的污染，也可以用来制造热核武器。当然，我们必须区分我们所掌握的各种工具，有些仅仅意味着伤害，让制造手枪或雷达探测器的公司对它们造成的伤害负部分责任有一定道理。但如果我们把问题归咎于通用技术就如同有人用锤子砸你而你却起诉五金店一样。

与霍根及人声喧沸的《时代》和历史终结论者正相反，克拉克于1963年写道：

在我们可以想象的未来，海洋中的重氢可以驱动所有机器，为所有城市供暖。如果两代人以后发生能源短缺——这完全有可能——将是我们无能造成的，我们会像石器时代冻死在煤床上的古人一样可悲。

……原料永远不会短缺，但乔治·达尔文爵士（Sir George Darwin）的预言可能完全正确。他预言我们的时代将是一个黄金时代，之后将是无数世纪的贫困。在这个不可思议的巨大宇宙中，我们永远不会耗尽能量或物质，但我们很容易脑力枯竭<sup>202</sup>。

1818年，托马斯·杰斐逊写道：

每一代人都不可能完全继承前人的知识基础并加上自己的发现和收获将其传递下去而获得稳定的积累。正如某人所说，有些知识并不一定能够得到传承并造福人类，但在我们能够确定和预想的未来一定可以。我们确实需要回顾半个世纪前，回到许多现在活着的人都记得的年代，看看那个时候科学和艺术所取得的巨大进步。其中一些服务于人，把人从劳作的枷锁中解放出来，给人们带来莫大的福祉，完成那些仅凭自己微弱力量做不到的事情，将舒适的生活扩大到那些以前只知道必需品的人们。这些都不是乐观的虚幻梦想，我们眼跟前就有活生生的例子<sup>203</sup>。

这些是传统观念，也是我们文明的源泉。

人们对技术总是怀有某种程度的抵触，考虑到人类自己发明的那些可怕的机器和武器，这是可以理解的。里夫金所信奉的卢德

<sup>201</sup> Florman, S., *Blaming Technology*. 1981: St. Martin's Press, p. 7. The quote is from 1977.

<sup>202</sup> Clarke, A.C., *Profiles of the Future*. 1963: Harper & Row, Chapter 12.

<sup>203</sup> Jefferson, T., *Report of the Commissioners for the University of Virginia*, August 4, 1818, <http://etext.virginia.edu/toc/modeng/public/JefRock.html>

(Luddite)派哲学自20世纪60年代以来就一直存在，它影响了人们对冷聚变的认知，任何与原子核有关的东西像核裂变一样可疑，人们指责冷聚变是一个虚假的承诺，常常嘲笑约翰·冯·诺伊曼在1956年说过的话：“几十年后能源可能是免费的，它就像不需计价收费的空气一样”。1954年，在战后最乐观的时期，原子能委员会主席刘易斯·施特劳斯(Lewis L. Strauss)做出了与本书类似的预测：

我们对未来再怎么期待都不过分，我们的子孙将会拥有极其便宜的电力，他们只会把世界周期性的大饥荒作为历史事件来了解，他们将毫不费力地在海上、海底和空中以最安全，最快速的方式旅行，随着疾病的治愈以及人类衰老原因的发现，他们的寿命将比我们长得多<sup>204</sup>。

忽视冯·诺伊曼或施特劳斯等人的意见将是愚蠢的，他们只是在时间线上错了几十年，但长远看他们是对的。不管有没有冷聚变，我们都会找到所需的能源。除非雷尼和里夫金是对的，否则我们总会找到办法。许温格担心“审查制度将是科学的死亡”(见[引言](#))。马丁·弗莱希曼说：“人们不想进步，他们对技术进步感到不舒服，他们不想要也得不到。”

弗莱希曼感到沮丧，可以理解他的幻想破灭了。他所忍受的人身攻击比近代史上任何科学家都多。当然，我和他一样感到愤怒，但我试图用我所希望的现实的乐观来平衡这种愤怒。是的，除非冷聚变的支持者对未来满怀信心和期望，否则它无法取胜。

进步需要心理平衡，我们绝不能满足于现状。在一定程度上我们必须对不便感到不满；对浪费和失去的机会感到沮丧；对容易避免的事故、污染和饥荒感到愤怒。然而，我们决不能绝望，决不能停止想象去解决问题，改善事务。进步也许不会无限继续，但正如杰斐逊所说，它会“无限继续到我们无法确定和可预见的未来”，而我们远未接近极限。如果未知的帝国像北美一样大，我们现在只是在海边建立了一些定居点，我们对这块大陆到底有多大只有一知半解，我们还在争论加利福尼亚是岛屿还是半岛，西部还有3,000英里未开发的荒野。即使是这样的类比也是保守的，大自然中未知和未探索领域永远不会减少，每一个新的答案都可以解开十几个或几十个新的谜团。总有一天，我们会失去进取心，不再寻求答案，但我们永远不会失去问题。

---

<sup>204</sup> Strauss, L., *Speech to the National Association of Science Writers*. 1954: New York City.



图19.1. 一张1760年出版的法语版北美地图，地图中可以确认加利福尼亚是半岛而非岛屿，但佛罗里达则被认为是群岛。作者藏品。

## 二十、失业问题

推广冷聚变可能对经济造成伤害，导致一些经济部门失业率上升，特别是化石燃料和电力行业，但其影响可能没你想的那么大，特别对工业化国家而言。美国的能源行业以美元计价规模庞大，但员工数量却少得惊人<sup>205</sup>。冷聚变可能在俄罗斯、委内瑞拉或沙特阿拉伯等石油出口国造成更为严重而广泛的失业并引发社会动荡。

最先受到冷聚变冲击的将是化石燃料行业，尤其是石油工业。石油是按热值计价最贵的燃料，也是世界上最大宗进口物资。无论以美元还是以吨位来衡量，它都是世界上最大宗商品。

几乎所有的油基燃料都用于运输，一些用于飞机、轮船和铁路，但大多数用来精炼成汽油用于汽车。冷聚变动力汽车一旦出现，汽油车的销量就会直线下降，原因如下：

1. 汽油是普通家庭中最大最明显的一项支出，汽车将成为消费者最希望用冷聚变替代的一个产品。
2. 多数汽车5年或10年后就必须报废更换，买新车的话我们不妨买

<sup>205</sup> Bureau of Labor Statistics “Establishment Data Employment Seasonally Adjusted,” <http://ftp.bls.gov/pub/suppl/empsit.ceseeb3.txt>

一款冷聚变车。

3. 汽车行业竞争激烈，每个厂商都迫切希望用新的冷聚变车型抢占市场份额，因此他们会快速开发新车型。

即使燃油还会继续销售，石油公司也会看到自己的末日，他们会停止新项目，放弃对现有设备的维护直到无法使用。石油专家肯尼思·德费耶（Kenneth Deffeyes）<sup>206</sup> 认为石油公司已经这样做了，因为石油供应已经见顶，很快就会迅速下降。当石油公司准备退出时，炼油厂和油轮将成为一堆废品，过渡期间如果一艘破油轮或输油管道发生严重事故，公众会要求加快清算（见第7章第4节）。

长远而言，电力和天然气公司的命运也是注定的。不同于汽油车与冷聚变车的竞争，它们会与家用冷聚变发电机竞争一段时间。电力公司可能采取“打不过就加入”的策略，用大型集中式冷聚变发电厂取代一些燃煤电厂与核电站。

设计一辆新车和建造新车生产线需要很长时间，所以第一款冷聚变车型上市可能需要很多年，然后向冷聚变汽车的过渡才会开始。但只要起了头，过渡就很快。第一辆冷聚变汽车面世十年后，汽油车将会消失（见第7章第2节）。

与化石燃料技术直接相关的工作分为以下几类：

**表20.1. 与化石能源有关的就业数据。参：Bureau of Labor Statistics “Establishment Data Employment Seasonally Adjusted,” <ftp://ftp.bls.gov/pub/suppl/empsit.ceeseeb3.txt>, July 2004 column.**

行业	就业人数
油气开采	132,000
原煤开采	75,000
开采服务行业	185,000, 煤矿业大约有 56,000
油和煤产品	113,000, 许多与能源业无关
加油站	868,000

上表格中总就业人数约为120万。19%的石油生产用于非能源产品，如塑料原料和化肥，这些行业比燃油行业劳动力更密集。刚开始他们不会受冷聚变影响，经过多年研发后，这些石油化工基础材料也可以用冷聚变产热来合成。这会危及到石油公司，但塑料厂和合成油厂需要的工人数量应该与采用石油原料的工厂差不多，因此不会减少就业。

表20.1中75%的加油站工人从事低薪而没有出路的工作。在美国，他们的工作是最危险的，如上夜班时经常遭抢劫。加油站里只有老

<sup>206</sup> Deffeyes, K., *Beyond Oil, the View from Hubbert's Peak*. 2005: Hill and Wang.

板和机修工享受高薪，而冷聚变汽车仍然需要机修工。加油站大部分利润来自于便利店里销售的食物、饮料和杂货，其中一部分可继续作为社区便利店经营，并在高速公路上为旅客服务。

从这120万个就业者的角度来看，美国有280万人在食杂店工作，他们的工资和福利通常比加油站好。无论是否采用冷聚变技术，人们购买食物、饮料和杂货数量并无改变，都需要同样多的收银员。加油站员工进入日常食杂店应该算是换到了好工作。

这些就业预测可能低估了失业人数，因为其它行业也可能受到严重影响。例如占世界上四分之一船舶的油轮，因此造船业可能萎缩。当然也可能增加，因为冷聚变将成为新“快船”或气垫船的理想动力。冷聚变会大大降低整个运输业的成本，刺激全球贸易繁荣<sup>207</sup>。

电力公司会逐渐陷入破产，造成一些不可避免的失业。他们的生存期将比石油公司长，其衰败也将是渐进的，需要很多年，应该不会对劳动力市场造成直接和严重影响。与75%的加油站员工不同的是，大多数电力公司员工属于高薪和高技术人员，他们拥有的技能仍然有用。事实上，我们正需要这类人从事改造沙漠的大规模海水淡化项目，或从事将大部分道路和高速公路转移到地下的大型工程。政府或许会为家用发电机提供税收抵免，鼓励电力行业迅速解体，让这些人有机会更好地发挥才能，赚更多钱。

25%的石油行业雇员是技术工人，他们是建造、维护管道和清理大规模石油泄露方面的专家。随着石油遭逐步淘汰，埃克森等公司或许会在新兴的环保行业和重塑地球面貌的伟大项目中有所作为。它们可以开始清理20世纪留下的烂摊子，然后清除陆地和海洋中的入侵物种，再后来可改造火星。300年后，如果埃克森这样的公司能够成为保护地球生态系统的专家，并在太阳系其他地方从头开始创造新的生态系统，那将是一件出人意料的事。

当人们不用每周花20美元购买汽油时，他们可能把这笔钱花在其它地方<sup>208</sup>，比如采购更昂贵的肉食，这会使280万杂货店职员以及150万包括农民在内的食品制造部门受益。人们还可能在观看电影上花更多的钱，这将使37.8万的影音工作者受益。我们在石油上省下的钱不会凭空消失，它们将会以不同的方式在经济中循环。

尽管这些保证充满希望，但十年内失去120万个工作机会也是一个严重问题，这几乎占美国就业岗位的百分之一。如果政界、商界

---

<sup>207</sup>传统船舶的化石燃料成本适中，大约占总价的5%，但如果算上“快船”，将是总价的三分之一。参：MGI Cargo Analyst, *Fast Ships*, <http://www.mergeglobal.com/fastship.pdf>

<sup>208</sup> Energy Information Administration, *Annual Energy Review 2002*, p. 61. The average motor vehicle consumed 532 gallons of gasoline in 2001. At \$2 per gallon, this comes to \$20.46 per week.

领袖对此惊慌失措或阻碍转型，整个经济可能遭受损失。然而我认为就业方面的其他问题，比如业务外包可能比冷聚变造成的影响更大。再比如说医保，一些专家说美国医疗保健支出的三分之一用于支付文书和官僚管理费用。日本和欧洲这方面的开销不到5%，美国的人均医疗费用是其他发达国家的大约三倍。美国有1,400万人从事医疗保健，超过600万人从事金融保险，医保管理的重大改革将使成百上千万人失业。医疗改革只能减少就业，而冷聚变在废除某些就业机会的同时也将创造新的就业机会。

几十年后，第10章描述的机器鸡会减少就业，但这将是我们儿孙需要担心的问题了。我一直困惑于已经居高的失业率，无论在哪里你都能看到需要迫切完成的工作。房屋、建筑和街道需要维修；学校的孩子需要老师陪伴更长时间。软件过于草率凌乱。机修工们老是加班。我认识的所有科学家和学者即使已经退休，不再领取工资，每天也要工作10小时，每周5到6天。我对经济学知之甚少，但就业似乎与实际需要完成的工作量没有关系。

大多数受石油业崩盘不利影响的将是富有的股东和石油酋长，他们有能力照顾自己。18年前他们已得到预警，石油行业没有未来，如果他们没有投资冷聚变或采取其他措施保住自己的财富，只能怪他们自己了。

## 二十一、未来生活憧憬

“…小男孩特别喜欢攀爬大树，采摘树上成熟的镰刀梨。春天，他在冰雪融化的水面上开着玩具船。夏天，他和狗狗一起挖土拨鼠的洞，他常常躺在一排排草莓地里，晒着阳光，嘴里嚼着世界上最好的草莓。”

——富兰克林·罗斯福这样描述他童年的生活<sup>209</sup>

“我们希望有一天，就如同纺车、织机和黄油搅拌器一样，轰鸣的工厂和仓库爆满的时代会一去不返。我们的后代不再为钱财所困，他们会记住我们许多人已经忘记，但却是世界上真正重要而无法估量的事物，如美丽、智慧、欢笑和爱心。”

——阿瑟·克拉克<sup>210</sup>

<sup>209</sup> Miller, N., *F.D.R., An Intimate History*. 1983: Doubleday, p. 18

<sup>210</sup> Clarke, A.C., *Profiles of the Future*. 1963: Harper & Row.

未来我们应该如何利用冷聚变？我希望它能让时光倒流，使我们生活中许多外在的有形事物——比如道路、公园和房屋——逐渐恢复到1950年，甚至1920年的样子。大规模制冷空调为轰隆隆的城市降温的场景让我畏缩。只有一点点喧闹的城市才令人愉悦，我想大多数人更喜欢安静亲善、对行人友好的城市——比如位于华盛顿特区的乔治敦（Georgetown），或安然地居住在宁静的乡村。

隐形的技术是最好的，我们应该利用冷聚变和其他突破性技术把那些从事文明基本工作——如制造业和回收——的大型嘈杂机器送到人类不愿意生活的地方，如沙漠、地下或月球。如果有人听到机器声，那就太吵了；如果有人受打扰，那就太烦人了。

我希望冷聚变能使我们有办法消除污染、危险、噪声以及令人恼火、浪费时间的交通堵塞。汽车应该被置于地下，远离人类视野，它们应该完全自动化，这样就不会伤到人。如果一定要建设购物中心和快餐店，也可以把它们建到地下。我们应该把那些将乡村分割开来的公路以及丑陋笨重、嗡嗡作响的电线杆拆除，留下适合骑行、散步和休闲的道路，像英国乡下的小径一样狭窄、安静、荫凉、充满田园风情。20世纪的人们无法忍受居住在钢铁厂、矿坑或令人生厌的屠宰场和肥皂厂附近，我们为什么应该住在公路旁呢？公路就像工厂一样是我们所赖以生存的，但它们不应该妨碍邻里，破坏风景或打扰任何人。

我们应该消除夜晚的噪声和明亮的灯光，这样每个人都可以在萤火虫和星星陪伴下或青蛙的叫声中安静地入眠。冬天寒冷的时候，我们可以在壁炉里点燃柴火，在烟囱里放一个无声装置来净化烟雾和清除污染。

从20世纪60年代后期开始，公众对技术的态度出现了一种崭新而期盼已久的变化，它们不再愿意受人摆布。20世纪50年代，我们用高架公路野蛮地摧毁了波士顿城市社区，破坏了一些美国最古老的历史景观，致使烟雾和噪声随处弥漫。我们这样做只是为了让富有的通勤者开车上班更方便。20世纪90年代，我们开始做出补偿，把整个肮脏的综合设施通过“大开挖”项目埋入地下。20世纪70年代，我们的美食学也跌到了类似的低谷，为了方便机器采摘和未成熟运输，我们引进了故意培育得很硬的西红柿，这种西红柿像湿纸板一样无味，颠倒优先顺序，完全置消费者于不顾。如今食品生产商正想方设法采摘和运输柔软、成熟和天然的西红柿。我们为什么要为了机器而牺牲生活质量？我们应该让产品设计师努力满足我们的需求，为时尚和奇想服务，这是他们的工作。

举个极端点的例子，在新建墓地里，昔日高大的石碑已经让石

板取代，只有站在石板上方向下才能看到它们。它们以相同间距整齐地排成行，一模一样没有任何特色。墓地里那些古怪的雕塑、洛可可式的装饰、长凳、树木、各种各样的形状、凸起的花坛以及反映复杂婚姻或悲惨童年的奇怪墓群都不见了。为什么现在的墓地如此同质化？这一切都是为了方便割草机能够轻松地除草。即使在死亡这件事上，我们也要遵从机械化、流线型美学的要求，我们将成本效益置于传统之上，扼杀每个人的个性和记忆。我们可以让割草机和机器人制造商找到一种方法来割草，同时规避复杂的墓碑、树木、土拨鼠洞、花坛和门球的铁环门。

我希望冷聚变的研发能够秉承现代设计理念：机器必须为人类服务，绝不能反过来。

最重要的是我希望城市变得安全，孩子们能够自由玩耍。他们应该像我在20世纪60年代生活的华盛顿特区一样，整个夏日都在户外无拘无束地一起玩耍。瓢泼大雨中，他们把沟里的水堵起来，在泥地里溅起水花；阳光灿烂时，他们在住房前廊下棋或打扑克。他们由狗狗陪伴，并由一个小机器人在身后保护，在没有围栏或边界的森林和田野中自由地奔跑。比起学校、课本、电脑游戏或少年棒球联盟，孩子们从大自然和玩伴中能学到更多的东西。

不管报纸怎么说，如今破坏儿童社交，使他们孤立无援的既不是犯罪也不是互联网和电视。大多数社区的犯罪率并不比上世纪60年代高，那时我们从不为此担心，因为我们总是和年龄较大的孩子在一起。现在的问题是过去60年里，我们的建筑、城市规划、郊区和学校设计都在剥夺孩子们的幸福和独立。交通系统以及与邻居、学校、商店和电影院的距离很远，这些都束缚了他们。孩子们不能随时去拜访朋友，也不能成群结队到树林里过家家。妈妈们得开车送他们到处走。将来我希望孩子们能够叫自动驾驶汽车带他们去任何目的地。当然，这需要父母的许可。汽车本身会有足够的智能来询问父母，6岁以上的孩子通常会自己或与朋友一起上高速去任何他们想去的地方。6岁是一个合理的年龄线，比如现在大多数航空公司都让6岁的儿童在父母允许下单独旅行。

在几个世纪后遥远的未来，我想象一个9岁天才小女孩每月会往返两次去上高级钢琴课，她一个人乘坐飞船花三个小时从斯里兰卡的一个村庄到月球背面的一所音乐学院。旅途中，她不必做家庭作业，可以通过可视电话与朋友闲聊。她这一趟旅行消耗的能源可能比现在一个普通美国人一生消耗的还要多。这不行吗？如果未来人们的能源消耗量是现在的一千倍，且都消耗在我们觉得很无聊的地方，只要不产生噪声和废热，不打扰任何人且对生物圈不造成伤害，

我觉得也没什么。今天孩子所玩视频游戏的计算量比1970年任何科学家所拥有的计算量都多，每秒的计算量比古代数学家一生的计算量都多，没有人认为这是对资源的浪费，也没有人反对。

我鄙视那些认为贫穷是高尚而追求物质是贪婪或颓废的观念。地球上每个想要汽车的人都应该有汽车，他们可以有多辆车、家庭影院和按摩浴缸。汽车是铁做的，太阳系里有无限的铁。只要这些车不妨碍我骑电动自行车，也不以丑陋的公路、噪声、烟雾、污染和伤亡来破坏世界，人们就应该拥有他们心中所渴望的车辆。塞缪尔·弗洛曼写道：

我们当前面临的问题显而易见。我们有太多的人想要太多的东西。这不是技术造成的，而是人类本性所致。

众所周知，成百上千万贫困家庭需要充足的食物和住房。很少有人提及他们有吃有住后会希望在精致的餐厅享用美食，在海边有度假别墅。人们想去听爱乐乐团演奏，想去国外度假。那些文盲想学习读写，然后不断地接受教育，让他们的子女成为医生和律师。看到成百上千万人都想要这么多，确实吓人，这几乎就是俄克拉荷马州土地热（Oklahoma land rush）的现场，只是人数不是数百而是成千上万人，奖品也不是土地而是生活所提供的一切<sup>211</sup>。

弗洛曼认为大多数人都有理智和适度的欲望，但“只有当我们把所有这些适度的欲望放在一起，发现好东西不够多时才会出现问题。”只要我们的物质及能源供应仍然有限；世界人口仍居高不下；我们的房屋、公路、工厂和商场仍在侵占鸟类、海龟、真菌、鱼类和其他野生动物的栖息地，我们就必须节俭。

在别人挨饿，其他物种濒临灭绝的情况下，买几十辆汽车或住在规模庞大的豪宅里是不道德的。长远办法是不要试图限制人们的欲望，限制是不可能的。正如弗洛曼所说：人们“…不会为了自愿、模糊的精神承诺而停滞不前，人类在进化的熔炉中走了这么远并不是为了满足一种田园牧歌式的生活。”解决的办法是改造世界，最终改造整个太阳系，这样每个人都可以拥有近乎无限的物质财富。大多数人在获得所需的财富后都会满足于一种适度、理智、负责任的生活方式。

在未来，我希望地球上每个角落都能消除赤贫。只要人们需要，他们就应该有足够的食物、水、医疗保健、高等教育和互联网接入。这些东西都应该是免费的，就像今天的街道照明、公共图书馆和公共基础教育一样。但这并不意味着我希望每个人都能像今天的富人

---

<sup>211</sup> S. Florman, *The Existential Pleasures of Engineering* (St. Martin's Griffin, 1996), p. 76

那样生活，或者希望富人消失。我并不提倡共产主义，我希望每个人都能达到美国或欧洲中产阶级的生活水平。我不在乎是否一定数量的人比我们更富有，也许全世界会有几百万幸运的人，比如彩票中奖者和行业巨头能像今天的一些电影明星和大亨一样过着奢华的生活。

有些资源本身非常有限，如只有少数人才能住在曼哈顿的黄金地段，也只有少数人能担任名声显赫的政治职位、公司高管或大学校长。然而任何想要舒适乡村小屋的人都应该拥有一套。我们不可能都住进汉普顿<sup>212</sup>，但世界上还有许多其他美丽的地方。我们可以通过拆除高速公路、工厂和数百英里充斥着令人沮丧气息的快餐店而在乡村腾出空地。我小时候许多地方很美，现在却很丑，将来会变美的。我们可以弥补我们的错误。我们可能需要减少人口，或者将几十亿人迁移到月球和火星上。其他星球的大自然也一样美丽，我希望有一天我们能将火星改造成地球，人们可以脱掉宇航服在那里行走。

传统上，人们认为贫穷不可避免，“因为常有穷人和你们同在……”<sup>213</sup>这种态度已经成为逃避社会变革的借口。贫穷是个人的悲剧，它威胁社会、经济以及国家的安全。但它并不比传染病、污染、室内吸烟、文盲、露天下水道或我们已经消除的任何其他祸害更不可避免。我们可以通过开明的社会政策、教育、资本主义和精巧的新技术——尤其是通过冷聚变——使每个人都达到中产阶级的保障水平。如今的虚无主义者说，我们已经接近历史的终结，未来不会有进步也不存在任何希望。另一些人则认为剥削是人类的本性，总有赢家和输家，总有人要砍柴挑水等等。简而言之，他们认为一定会有穷人。也许他们觉得没有足以值得去做的工作，或者图书馆里没有足够多的书供每个人阅读。

那些认为群众生活不会更好的人永远不明白那些被压迫的亿万人并非一无是处，他们与我们一样，只要给半点机会，甚至十分之一的机会，他们就会实现我们所拥有的一切。中国将会有10亿人购买汽车，如果他们都购买汽油车，世界会陷入全球变暖这一前所未有的灾难，并且十年之内肯定会出现石油短缺。企业和政府面临两个选择：他们或对中国人购买汽油车袖手旁观；或开始认真进行冷聚变研究，给中国人提供冷聚变车型<sup>214</sup>。

那些认为无法实现巨大进步的人没有历史感。今天，生活在第

---

<sup>212</sup> Hamptons，美国度假胜地——校者注

<sup>213</sup> 语出《圣经·新约·马太福音26:11》，此处采用和合本译文——校者注

<sup>214</sup> 中国学者正在研究冷聚变，他们仅用最少的资金和最基本的资源就做出很好的工作。参《第九届国际冷聚变会议文集》，2002年，清华大学，北京，清华大学出版社。

一世界的每个人，包括那些依靠福利生活的人，如果以1600年的标准看都很富裕。按古人和原始人的标准，我们都相当富有，享受着庄严的权力。我们已经实现了1800年人们即使是最荒诞不经的梦中都无法想象的事情。我们可以与世界上任何地方的朋友交谈，观看多年前事件的视频记录。几秒钟内，我们就可以在互联网上成千上万的书、报纸以及记录的事实中找到想要的东西。干净的饮用水和食物都能无限制地满足我们的需求，实际上已超出所需。我们已经消除了大多数可怕的疾病，我们可以修复心脏或在体内植入新的心脏，我们可以从前几代人无法治愈的损伤中恢复过来。我们可以在14小时内飞过半个地球，我的一个朋友曾经突发奇想用四天的周末假期从广岛飞到亚特兰大去欣赏音乐会。我们的科学家可以遥控机器人探索其他星球。半个小时内我们的军队就能毁灭地球上任何一个国家，摧毁数千城市，杀死上亿人口。

冷聚变或任何技术最终目的就是让人们能够为自己工作，掌控自己的命运，感受自己的痛苦或快乐。冷聚变最迫切的目标是让人们的生活恢复到人口激增和黑暗邪恶工业化工厂形成之前的模样。当然，有些人更喜欢城市和黑暗邪恶的夜总会，但我希望大多数人会选择靠近大自然的生活。除他们可以完全使用电视、互联网、杂货店、医院等所有现代化便利设施和生活必需品外，除非自愿，我并不建议人们“回归自然”，过原始生活。人们应该与自然和谐相处，不过分扰乱自然，但决不能再受自然的任意摆布。人们不应该担心干旱会毁掉生计，不再害怕传染病。我希望没有人生活在恐怖、暴政、犯罪以及战争的阴影下，但是技术对解决这些问题几乎无能为力。

我希望我们首要的目标是改善儿童的生活。也许这源于我童年时的一种伤感和渴望，其动机是好的。富兰克林·罗斯福在哈德逊河谷有过一段田园诗般的童年，这段经历是他改革精神的主要源泉，也是他不屈不挠的意志以及对未来信心的源泉。他经常回到童年时的家，坚持把房子和土地保留成记忆中的样子。在他的余生里，他一直都觉得所有的孩子都应该得到他曾经享受过的那种幸福。这对我们的文明来说，至少未来几百年都是一个值得奋斗的目标。也许我们会继续发起史诗般的项目，如征服星际空间或了解宇宙的起源，但现在让我们为孩子和其他物种纠正错误，清理20世纪留下的烂摊子。虽然可能要付出高昂的代价，但如果我们连孩子们的安全和幸福都保证不了，钱还有什么用呢？

在炎热的夏天，在树林里散步或在池塘里游泳这样简单的快乐应该是每个孩子与生俱来的权利。每天清晨，他们能独自走出家门，

沿着空无一人、铺满薄霜的小路，走到高高的田野上，那里鹰在鸣叫，鹿从草丛中窜出，在前方奔跑。

想象一下，这是2204年的一个冬夜，你心血来潮想在周末去月球看看，你朋友的机器人团队正在那里建造一台测试自己钟爱理论的200万平方米射电望远镜。这个实验就像今天的冷聚变实验一样，是一个22世纪小型私人资助的物理实验。但你想来想去还是决定留在马里兰州弗雷德里克（Frederick）的家里，让机器人给你端来一杯可口的可可，然后生火。我想我会这样做的，我觉得看着燃烧的火苗比看电视更有趣。那些喜欢热闹的人一定会有一台2米宽、连接互联网的平板电视以播放电影、纪录片、新闻或欣赏两个世纪里地球上任何地方举行过的音乐会。或者你可以把屏幕切换到朋友家里，进行一次即兴访问，并与真人大小的图像视频交流。你可以观看现场体育赛事。如果对自然景色非常痴迷，你可以将屏幕转换成一个大型实时网络投影仪，俯瞰科罗拉多大峡谷、日本富士山、喜马拉雅山，或者从月球的亚平宁山脉俯瞰雨海<sup>215</sup>。但是，如果你像我一样，喜欢隐蔽、安静的地方，你可以选择一个由隐藏在北方50公里一棵树上无声摄像机拍摄的风景，欣赏两百年前我曾经走过的冰冷寂静、月色掩映的草地。

---

<sup>215</sup> 雨海是月球上第二大玄武岩平原——译者注

# 第五部分 附录

## 附录一、专业术语

本书中的专业术语出自水野忠彦的《核嬗变：冷聚变的现实》一书<sup>216</sup>，一些术语在本书中没有出现，对冷聚变感兴趣的读者很快就能遇到它们。

### 阿尔法 ( $\alpha$ ) 粒子, 阿尔法 ( $\alpha$ ) 衰变

参见“放射性衰变”

### 贝塔 ( $\beta$ ) 粒子, 贝塔 ( $\beta$ ) 衰变

参见“放射性衰变”

### 超热

量热计内的化学或核反应产生超过外部热源输入反应器内的热量，冷聚变实验中，电解消耗4瓦，而电解池产生5瓦，额外的1瓦就是超热。刚开始你无法辨别它是由化学反应还是核反应引起的，如果它持续很长一段时间，累积起来的能量比化学反应可能产生的能量多得多，而且实验结束后没有发现任何化学反应的迹象，你就能确定它是由核反应引起的。

### 氘

氘是含有两个中子的氢原子，有放射性，半衰期为12.3年，参见“氢”。

### 催化剂

一种在反应过程中不消耗且通常改变和增加反应速率的物质，在封闭的冷聚变电解池中，铂网或铂珠经常用作催化剂使游离的氘气在低温下与氧气重新结合。

### 氘和氚

氘即重氢。普通的轻氢原子由一个质子和一个电子组成，重氢原子由一个质子和一个中子外加一个电子构成。普通空气和水中，每6,700个氢原子中大约有一个重氢。

氚原子核含有一个质子和两个中子，它是一种放射性同位素，

---

<sup>216</sup> Mizuno, T., Nuclear Transmutation: The Reality of Cold Fusion. 1998, Concord, NH: Infinite Energy Press. 我与Eugene Mallove撰写了术语表。

半衰期为12.3年，普通空气和水中不含氘。

氘和氚是氢的同位素。

由氘构成的水被称为重水（ $D_2O$ ）。相比之下普通水有时被称为“轻水”，但实际上它包含六千七百分之一的重水，这个比例在地球上任何地方的天然水中，包括冰、水和蒸汽中都是一样的<sup>217</sup>。

## 氘核

氘离子，含有一个质子和一个中子

## 氘化物

吸收了氘的金属，参考氢化物。

## 等离子体

原子在高度电离的类气体状态下分裂成质子、带电原子、中子和电子，等离子体是电中性的。

## 电极，电解，电解质

电解是电流通过液体从一个电极到另一个电极，这种液体被称为电解质。电解把液体分子分解成带正电和带负电的离子，正离子被吸引到负极（阴极）上，而负离子被吸引到正极（阳极）上。水分子由两个氢原子和一个氧原子组成，电解时会被分解，氢原子带正电荷，所以被吸引到阴极，氧原子则被吸引到阳极。换句话说，氧化发生在阳极，还原发生在阴极。

## 电流，电压

参见“电压”

## 电压

电压是电势或电动势的度量，直流电功率是用伏特乘以安培得到的，增加两者中任何一个都会增加电能所做的功。粗略进行类比，在一条河流推动水轮机所做的功中，电压是水下降的高度，安培是水量。

## 电子伏（eV, keV, MeV）

电子从低电势转移到高1伏特电势时获得的能量，电子伏特缩写为eV，千电子伏和兆电子伏分别为keV和MeV。化学反应每个原子通常产生零点几个eV，最多4或5 eV，核反应每个原子产生MeV级的能量，1电子伏特等于 $1.6 \times 10^{-19}$ 焦耳。

## 放热和吸热

放热的化学反应或核反应产生热量，吸热的反应吸收热量。冷聚变电解池中钷最初吸收大量氢或氘形成氢化物后发生吸热反应致使周围环境温度降低，切断电流后大部分氢逐渐从阴极逸出是一个

---

<sup>217</sup> 严格地说，因为水循环的存在，海水中的氘比例最高——校者注

放热反应。如果所有的氢都离开钷，第一个反应吸收的热量等于第二个反应产生的热量，两者相互抵消<sup>218</sup>。实际上，大部分的氢通常会留在钷内，很难全部清除。冷聚变产生的热量远远高出这些化学反应产生的热量，某些情况下高出数千倍，少数情况下会高出数十万倍。

## 放射性废物

铀矿开采、核能发电或核武器生产所产生的废弃物。放射性废物处理是个大问题。

## 放射性衰变

在放射性衰变中，一个粒子从原子核中发射出来，原子从一种元素转变成另一种元素。原子在不受外界影响下的自发衰变形式有三种。

$\alpha$ 粒子是自然放射性衰变释放出来的，它是氦原子核，有两个质子和两个中子，带正电。 $\alpha$ 衰变发生在元素周期表中的重元素中。铀及其它重元素还会发生另外两种形式的放射性衰变：自发裂变和 $\beta$ 衰变。一个重元素分裂成两个几乎同等大小较轻元素时就发生了自发裂变。 $\beta$ 衰变涉及电子从原子核发射或俘获过程，由于电子比质子和中子轻很多，原子的质量只发生少许变化，质量数保持不变，它也由一种元素变成了另一种元素。例如，氚（超重氢）由一个质子和两个中子组成，质量数为3，当氚经历 $\beta$ 衰变时，它会发射一个电子使原子核的中子变成质子，原子从氚转变成氦-3（两个质子，一个中子），其质量数仍然为3。有三种形式的 $\beta$ 衰变：

1. 负 $\beta$ 衰变：中子释放出一个电子转变为质子，元素嬗变成下一个高序数的元素。

2. 正电子发射：质子放出一个正电子转变为中子，元素嬗变成上一个低序数元素。

3. 电子俘获或K俘获：最低轨道（K壳轨道）的电子被质子捕获转变成中子，元素嬗变成上一个低序数元素。

这些都是自发放射性衰变，意味着原子本身发生了变化。与之不同的是大量聚集在反应堆或核弹内的物质受到中子轰击时发生的核变化，这种反应产生的中子会引发其它原子发生反应。

## 废热

严格地说“这是在能量转换或转移过程中产生且损失而无法使用的热能”（由太平洋西北国家实验室定义）。例如，普通汽车发动机的效率是20%，意味着80%的汽油燃烧热从排气系统排出，20%

---

<sup>218</sup> 作者的说法只对Pd-D<sub>2</sub>O封闭电解池而言是有效的，Pd吸D是放热反应，脱D是吸热反应，但热量都很小，对于封闭电解池，因为Pd吸了D所以D无法与O复合，导致输出热功率减小。对于开放或气相Pd-D系统，可观测到Pd吸D放出的热或脱D吸收的热——校者注

转化为汽车动力。对于电力传输，转换损耗和输配电（T&D）损耗最终形成废热，所有形式的能量最终都会降级成热能，例如，车辆前进最终会使空气、轮胎和道路升温。

从字面意义上讲，汽车发动机80%的余热并不一定都浪费掉了，如第15章所述，冬季，我们可以通过移动一个杠杆打开挡板引导车外空气穿过热的发动机缸体进入车内。换句话说，我们可以利用废热来取暖。普通电厂66%的热量都浪费了，不足以驱动汽轮机发电的余热可以用于暖气和其他用途，参见“热电联产”。

## 伽马（ $\gamma$ ）射线

由放射性衰变释放出的电磁辐射，伽马射线的能量在10 keV至10 MeV之间。

## 功率

参见“能量和功率”

## 氦

元素周期表中第二轻的元素，它有两个同位素氦-3和氦-4，氦-3有两个质子和一个中子，不太稳定；氦-4具有两个质子和两个中子，比较稳定。氦-4是许多核反应的副产品，有充分的证据表明它是由冷聚变反应产生的。

## 焦耳

能量的度量，一瓦特电持续做功一秒钟，1卡=4.18焦耳。

## 卡路里

一克水上升一摄氏度所需的能量，大约等于4.18焦耳（瓦·秒）。注意膳食中的“大卡”等于1,000卡路里（1千卡），食物在体内氧化后所含热量以“大卡”来衡量。

## 离子

一个或一组带电原子，正离子是被剥去一个或多个外层电子的原子，负离子具有额外的电子。

## 量热计

测量放热过程产生热量或吸热过程吸收热量的仪器。老式传统的量热计样品周围包裹着水，样品加热（或冷却）导致水温上升（或下降），水的质量和温度显示产生了多少热量。在现代的电子塞贝克封套量热计中，样品被包裹在数百个串联在一起的热电偶模块（热电堆）中，所有热电偶的净输出总和显示样品产生的热功率。

## 裂变和聚变

裂变是把重元素分裂成较轻的元素。聚变是把较轻的元素结合在一起而形成较重的元素。当比铁重的元素裂变时，它们会释放能

量。比铁轻的元素裂变消耗的能量比释放的能量多。聚变相反，元素越轻，聚变过程中产生的能量就越多。最轻的元素氢聚变产生的能量是所有核反应过程中最多的，这种能量维持恒星发光发热。

裂变和聚变都会把一种元素或同位素嬗变成另一种元素或同位素。

## 能量和功率

能量是热或做功的量，功率是能量的瞬时度量。例如，某时刻功率可能是10瓦，当该功率稳定持续20秒，总计就是200焦耳。功率类似于速度，而能量类似于行进的距离（速度 × 持续时间 = 距离；功率 × 持续时间 = 能量）。大量的能量有时用千瓦时来计量，1千瓦时相当于1,000瓦持续1小时，或等于3.6兆焦耳。

## 钯、铂、铂族金属 (PGM)

这些贵金属有着相似的性质，矿藏常常在一起。钯因能吸收大量氢所以用于氢过滤器、加氢催化剂和冷聚变阴极。铂常用于冷聚变电解池的阳极，或控制实验中的阴极，在不产生超热的实验中用于标定设备，为钯测试做准备。铂族金属包括铱、钨、钯、铂、铑、钌。

## 千瓦 (kW)

功率的度量，等于1,000瓦。

## 千瓦时 (kWh)

能量的度量，1,000瓦持续做功一个小时，1千瓦时=360万焦耳（3.6兆焦耳）。

## 氢化物

一种能吸收氢的金属，就像咖啡吸收糖一样。氘化物是一种吸收了氘的金属。更一般地说，它是指氢（氘）与一个更具正电性的元素或基团的化合物。

## 热电联产或热电联供 (CHP)

多数传统发电机在发电过程中会损失三分之二热能，其冷却塔中释放出的滚滚蒸汽虽不足以驱动涡轮机，但对于许多工业用途或暖气来说已经足够了。通过热电联供，把蒸汽输送到工厂或建筑物中使用，见第14和15章。

## 热电芯片

类似于计算器上将光能转化成电能的光伏片，热电芯片在没有移动部件的情况下可以将热量转化为电能。热电装置是可逆的热泵，把热电装置置于热环境中，它就会产生电能（塞贝克效应），当电流流过热电装置时，它会把热量从一边吸引到另一边，起到热泵或冰箱的作用（珀耳帖效应）。如今的热电芯片效率很低，因此很少

用于发电，主要用于制冷冰箱，通常是啤酒冰箱大小的盒子，由汽车仪表盘点烟器连接供电。给它们通电时，芯片的一边变热，另一边变冷。实际上，它们既可以作冰箱也可以作取暖器。朝一个方向按下电源开关，开始为啤酒冰箱内的物体降温；往另一个方向按下电源开关，电流倒过来后，由于箱外的热量被泵入箱内，箱内就会变热。

## 嬗变

通过核裂变（使原子核分裂）或核聚变（使原子核聚集和结合）把一种元素转变成另一种元素。

## 死后发热

在一些冷聚变实验中，断开电解池电源后钨阴极仍然发热很长时间，弗莱希曼和庞斯首先报道了这一现象，他们称之为死后发热。

## 同位素和同位素比

同位素是质子数相同但中子数不同的原子，一种元素可能有几种同位素，例如，铜原子有29个质子，一些有34个中子，一些有36个中子，36个中子的铜原子比34个的要重。铜的两种同位素的原子质量分别为63（= 29 + 34）和65（= 29 + 36），它们被命名为铜-63（<sup>63</sup>Cu）和铜-65（<sup>65</sup>Cu）。有些元素，如金只有一种同位素。大多数同位素具有相同的化学性质，它们在特性上有细微的差异，一些铁同位素具有更好的导电性。同位素之间可能有更多尚未发现的差异，但由于同位素分离和制备纯同位素样品既困难又昂贵，使这一课题未得到详细研究。

元素的各种同位素以不同的比率存在，这个比率是固定的，例如，69%的铜是铜-63，31%是铜-65。有些元素的同位素比值更极端，99.762%的氧是氧-16，氧-17为0.038%，氧-18为0.200%。当一种元素与自然同位素比例（也称为非自然同位素分布）不同时，它只能有两个来源：

1. 它可能是人造的，使用了化学或物理分离技术。安大略水电公司为加拿大重水铀反应堆生产纯化重水，铀同位素被分离出来制造原子弹。

2. 它可能来自核反应，在核反应中，一种元素会嬗变成一种或多种其他元素。

冷聚变可以改变同位素比，这证明它是一种核反应。

## 瓦特（电、热）

功率的测量，直流电路中，瓦特 = 伏特 × 安培，一瓦特热能是由消耗一瓦特电能的加热器产生的热值。

## 校准（或标定）

在实验的第一阶段，通过测量一个已知量，或将其与一个标准的、高质量的仪器进行对比来校准（或标定）仪器。例如，将温度计浸入冰水混合物中进行校准，根据定义，冰水混合物的温度为 $0^{\circ}\text{C}$ ，沸水为 $100^{\circ}\text{C}$ 。或者将温度计与另外两只高质量温度计一起放置在一个搅拌均匀的温水烧杯中进行校准，当水冷却时，记录下三支温度计显示的温度，确定目标温度计的校正系数。

在样品室中放置一个电加热器来标定量热计，将加热器设定为1瓦特功率运行数小时，然后分别升至2瓦特、3瓦特、4瓦特和5瓦特。不同功率下，进入水中的热功率与通过量热计壁向周围环境损失的热功率平衡时量热计会稳定在特定温度。假设1瓦时，温度稳定在高于环境 $2.4^{\circ}\text{C}$ ，在2瓦时 $4.8^{\circ}\text{C}$ ，3瓦时 $7.2^{\circ}\text{C}$ 等等，将这些温度绘制成一条标定曲线，确定标定常数为 $2.4^{\circ}\text{C/W}$ 或 $0.42\text{ W}^{\circ}\text{C}$ 。如果放在量热计中的样品温度升高 $5.1^{\circ}\text{C}$ ，那么你就知道样品产生了2.1瓦的热量。

这种标定方法之所以有效，是因为腔室中加热器消耗的电功率可以非常精确地进行测量且功率随时间保持稳定。采用差的仪表和功率波动的低质量电源会使标定不准确，量热计标定的最大困难往往是环境温度变化引起的噪声。

冷聚变实验可能需要数个月来对仪器标定以及进行其他方面的测试。

## 阳极

电化学池中吸附氧的正极（参见“电极，电解”）。

## 阴极

电化学池中吸附氢的负电极（参见“电极，电解”），传统冷聚变实验的阴极由吸氢的钯制成。

## 英热单位（Btu）

将1磅水加热 $1^{\circ}\text{F}$ 所需的热量， $1\text{ Btu} = 1055.06\text{ 焦耳}$ 。

## 原子，原子核，化学反应和核反应

元素的最小单位，由一个带正电的原子核和一团带负电的电子组成，原子的大部分质量集中在由质子和中子组成的原子核中。化学反应只影响电子，原子核保持不变；核反应影响原子核，使原子转变成不同的元素或同位素。

## 质子

原子核中带正电粒子。

## 中子

除氦以外所有原子核中的中性（不带电）粒子，中子的重量几

乎和质子一样。

## 重水和轻水

参见“氘”

## 附录二、冷聚变的潜在应用

下表格列出多年来人们对冷聚变的推测或设想，本书中已经对此进行了很多探讨，表的内容分为三部分：

- 一、 坏的一面。
- 二、 好的一面，即冷聚变与当前技术结合带来的好处。
- 三、 未来新事物，即冷聚变与其他新技术开发之后得以实现的应用。

一、坏的一面
加热冬季寒带的街道，这对生态有害。提升主要城市的街道温度来融化冰是个好主意，传统能源已经实现了。
节能不再省钱，未来的建筑也就不需要隔热，住在这种建筑里很不舒服。对于冷聚变来说，效率仍然很重要。
在寒冷的城市，大功率加热器和电灯驱散了冬天的寒冷和黑暗，但同时也破坏了生态！
大量的制冷设备使炎热的夏天成为过去。
炙热电加热栅栏，以往只有战争时期才会出现。
数不清的破坏性军用器材。
恐怖的武器。
冷聚变动力油井泵，石油公司高管们曾说乐见其成！参见第13章。
二、好的一面
第三世界国家人们的日常能源消耗，如烹饪、照明、抽水、净化水、交通等。
冷聚变改进的电动自行车，电动自行车很有趣，它们已在中国广泛用作实用交通工具。
热气球或其它永久悬停在空中的航空器，其中一些可供人们永久

居住。
在一个地点可长年高空盘旋的机器人飞行器，功能类似于地球同步卫星，它们将用作电视和手机信号塔和中继器。
较低温度下运行的涡轮发动机，更便宜且更长寿。
可能更重，更坚固，更便宜，推进器面积更小的飞行器。
蒸馏海水获得淡水，用于大规模灌溉的海水淡化工程。
从海水中回收稀有和有用元素。
热解聚工厂处理污水、垃圾和塑料，生产合成油（用作原料，而不是燃料）和化肥。参见第13章。
大规模回收利用，清理大多数现有固体废弃物垃圾场，能源自由加上改进后的机器人可实现这一点。
农业和水产养殖业的改进。
<b>三、未来新事物</b>
把高速公路、工厂和购物中心埋入地下的大规模挖掘项目。
大型远程载人航天器，今天的离子发动机可能是个不错的选择，未来可能发明出新的推进系统。
垂直起降机，但我希望不是那种像直升机一样的飞行汽车，因为它们太吵了。
靠喷气作用悬在空中的无翼飞行器。
主要用于货运也可能用于载客的大型远洋气垫船，比“快船”对生态环境更有益。
太空电梯。
可供数百万人居住的地球轨道低重力和零重力旅馆。
数十亿人的大规模太空探索和殖民，月球上的地下城市和工业。
火星地球化，大量的能源会让事情变得更容易。
地球上大规模环境改造工程，即清理20世纪留下的烂摊子。
需要大量动力的假肢——特别是腿和手臂——以及人工肌肉（电活性聚合物EAP）方面的巨大进步。
改进的心脏泵，也称为心室辅助装置（VAD）和人工心脏。
同类型技术的应用：超人类半机械人和身体扩展，比如让你以100

公里时速跑20公里的外骨骼，或延长手臂的捆绑式推进器，如一组人造翅膀可让你在有重力情况下飞翔（拍打式而非踩踏式）。
在第10章描述的“鸟脑”级计算机开发出来之前，传统机器人的巨大进步。生产线上固定位置机器人已经有足够的能源。
合成石油并将其深埋地下，阻止全球变暖的反向油井。
为住房、娱乐和野生动物腾出绝大部分土地资源的大规模食品工厂，以及在月球或地球轨道上的农业。
工业规模的铁、硅、铜等常用元素同位素的分离，这些高纯同位素可能具有独特而有用的性质。
冷聚变阴极元素的工业规模嬗变。

## 附录三、单位换算

本书中用到的单位都是常规国际单位（SI），因此“吨”指的是公吨，在欧洲拼写为tonne。本附录是为那些不熟悉公制或国际单位制的读者准备的。换算定义可以在国家标准与技术研究所（NIST）的网站上找到：

<http://physics.nist.gov/cuu/Units/index.html>

许多网站提供将国际单位制转换成标准美国单位的换算表，有些提供能源和功率单位，如焦耳、千瓦和英热单位（Btu），以及一桶石油（bbl）、一吨煤和一立方英尺天然气中的能量。因为这些在线工具很方便，所以没必要在这里全部罗列出来。一些不熟悉国际单位制的读者可能喜欢一些非正式的近似单位，例如：一升大约是一夸脱，一米大约是一码（三英尺），没必要记住一米是1.093613298码。

在本书中我有时会在括号中习惯加入美制单位，比如80公里（50英里），这些都是近似值，80公里实际上等于49.7097英里，大约8:5的比例比较容易记住。注意我们所常用的美制单位是根据国际单位制来定义的，因此1英里正好是1609.344米。下面表格列出了一些经验法则和精确换算，有的没有确切对应单位或很少使用对应单位。

### 国际单位制和近似的美制单位

单位类型	国际单位	单位近似换算	单位确切换算
长度	米	1 米 ≈ 1 码	39.370078740 英寸
	千米	8 千米 ≈ 5 英里	0.621371192 英里
面积	公顷	1 公顷 ≈ 2.5 英亩	2.471043692 英亩
质量	克	28 克 ≈ 1 盎司	
	千克	1 公斤 ≈ 2 磅	2.204622622 磅
	吨	1 吨 ≈ 1 美制吨	1.102311311 美制吨
体积	升	1 升 ≈ 1 夸脱 (¼ 加仑)	0.264172052 美制加仑
	毫升	200 毫升 ≈ 1 杯	
功率	瓦特		1 马力 = 745.7 瓦
能量	兆焦	≈ 1000 Btu	947.817120313 Btu

### 温度

#### 温度对比

$$\text{摄氏度} = (5/9) \times (\text{华氏度} - 32)$$

摄氏度	华氏度	这个温度下
0°C	32°F	水结冰
20°C	69°F	许多实验在这个温度下进行
37°C	99°F	身体温度
60—80°C	140—176°F	咖啡的温度，以及许多工业过程运行的温度。冷聚变可以很容易达到这些温度，并且它已在数百个实验中做到了。
100°C	212°F	1大气压下水的沸腾温度。冷聚变可以很容易地达到这个温度，大多数电解池都没有加压，它们被故意保持在较低的温度以避免沸腾。有相当多的证据表明冷聚变在较高的温度下运行更好。
200—300°C	392—572°F	核电站压水堆水温，这将是大多数冷聚变热机的理想温度。电厂的压水堆更热，效率更高，但会对设备造成更大的磨损。
407°C	765°F	煤炭燃点
1,500—3,200°C	2,732—5,793°F	不同火炉中煤的燃烧温度，可能很难直接用冷聚变来实现。冷聚变可以用来产生电力或化学燃料，这些燃料很容易达到这些温度。
1,552°C	2,826°F	钷的熔点
1,660°C	3,020°F	钛的熔点，冷聚变似乎不太可能在这个温度或更高的温度下反应。
1,500万°C	2,700万°F	太阳内核温度
4亿°C	7.2亿°F	PPPL托卡马克反应堆内聚变等离子体温度 <sup>219</sup>

<sup>219</sup> PPPL: *An Overview*, 1991: Princeton University Plasma Physics Laboratory。因为对于大多数实际用途来说理想温度是300°C，所以4亿°C看起来很悬殊。

## 附录四、原始资料

文中的参考文献都用脚注表示，以下书籍对于冷聚变、能源以及未来具有特别价值。

*Annual Energy Review*. Energy Information Administration, U.S. Department of Energy. <http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/>

Beaudette, C.G., *Excess Heat. Why Cold Fusion Research Prevailed*. 2000, Concord, NH: Oak Grove Press (Infinite Energy, Distributor).

Cardwell, D., *The Norton History of Technology*. 1995: W. W. Norton & Company. Christensen, C., *The Innovator's Dilemma*. 1997: Harvard Business School.

Clarke, A.C., *Profiles of the Future*. 1963: Harper & Row.

Clarke, A.C., *Profiles of the Future, Millennium Edition*. 1999: Indigo. This edition includes some discussions of cold fusion.

Deffeyes, K., *Hubbert's Peak, The Impending World Oil Shortage*. 2001: Princeton University Press.

Florman, S., *Blaming Technology*. 1981: St. Martin's Press.

Florman, S., *The Existential Pleasures of Engineering*. 1996: St. Martin's Griffin. Krivit, S. and N. Winocur, *The Rebirth of Cold Fusion*. 2004: Pacific Oaks Press. Mallove, E., *Fire From Ice*. 1991, NY: John Wiley.

Mizuno, T., *Nuclear Transmutation: The Reality of Cold Fusion*. 1998, Concord, NH: Infinite Energy Press.

Pimentel, D. and M. Pimentel, *Food, Energy, and Society, Revised Edition*. 1996: University Press of Colorado.

Storms, E., *The Science of Low Energy Nuclear Reaction*. 2007: World Scientific Publishing Company.

## 校对说明

1. cell在英文中有细胞、单元、电池、电解池、模块等多种含义。在做电池或电解池时特指小型的或可大量组装在一起的单元，如“光伏电池”是photovoltaic cell，“燃料电池”是fuel cell。因为这种电池每个电压都不高，电流也不大，需要很多电池组合在一起使用。本书中大量出现的cold fusion cell根据场景分别译为“冷聚变电解池”和“冷聚变模块”。
2. 冷聚变的主要现象excess heat有人称为“过热”，本书通译为“超热”，这主要是为了与“超功率”表达一致。如果把excess heat译为“过热”，那么只能用“过热功率”来表达excess power，不仅拗口而且量纲混乱，此外“过”在汉语中含有贬义。本书中超热有时指能量，有时指功率，需要根据上下文理解其含义。
3. fast ship是“快船”，但本书中的快船有两个含义，一种指帆船，一种指双体船，后者在原文用首字母大写的方式，译文加了引号。
4. machine 在书中包括小到心脏起搏器和灯泡，大到汽车和飞机等各种电器、仪表、设备、机械、机器和装置，本书根据语境译为对应汉语。
5. turbine在国内业界一般直接用音译“透平”，火电和核电厂用的steam turbine叫汽轮机，水电站用的water turbine叫水轮机，天然气发电用的gas turbine叫燃气轮机，风电用的wind turbine叫风力轮机。因担心普通读者看不懂，所以书中的turbine在泛指时未译为透平，而是用了涡轮或涡轮机。
6. 书中的人名翻译首先尽量与已有成例——特别是冷聚变业界内的——一致，其次遵照新华通讯社的《英语姓名译名手册》，最后参考多个翻译软件和现成例句中的译法。不常见专有名词在第一次出现时在括号内标明原文；日本和韩国的专有名词尽量使用其自有汉字名称。
7. 因时过境迁，原文中很多网址已经无法打开，为尊重原著而未做改动。
8. 专业术语已按汉语拼音顺序重新排列。
9. 译者和校者的注释以脚注的形式加以说明。
10. 书中多次提到中国，既有“他山之石，可以攻玉”式的美化，也有流行的误解。在翻译校对过程中与作者通讯时，他说现在中国已与本书面世时大不相同，委托我们自行处理相关表述，但校者觉得还是尊重作者原意为好，读者自有判断。

# 校者后记

笔者最早是在2006年读到本书的，当时我正在美国俄勒冈州波特兰州立大学约翰·达什教授的低能核实验室（Low Energy Nuclear Laboratory）做访问学者，图1.9所示量热计正为笔者当时所用。§1.3所述“俄勒冈州有一群很有天赋的高中生在做实验，他们为当地大学的一个暑期项目工作。”指的就是该实验室，笔者也参与指导过两期学生。记得2006年那期报名的学生有40多个，最后有3人入选，所以说“很有天赋”确实不是虚词。

那时笔者读到本书§12讨论钚电解系统的爆炸，于是向作者罗斯韦尔去信（本书注释#131说的就是此事）谈到我读研时导师张信威教授发现的一次冷聚变爆炸，此后作者把该事件也列入其中。当时他建议把讨论爆炸的论文——即第三届国际冷聚变会议上发表的文章（见注释#133）——电子版发布在lenr-canr.org网站上。我直接扫描后给他，结果为了便于读者检索，他把扫描件文字识别后转换成字符版。我在检查过程中又与张老师讨论了这次爆炸的机理，最后该讨论又敷衍成一篇详细分析的论文发表在《凝聚态核科学杂志》（[J. Condensed Matter Nuclear Science, 2015, 17:116](#)）上，这是当时与本书有关的一段插曲。

2015年5月，笔者为了给罗斯韦尔发在YouTube上的6分钟视频[A Brief Introduction to Cold Fusion](#)（《冷聚变简介》，国内可在[优酷视屏](#)或[腾讯视屏](#)上观看）加上中文字幕，向他索要原文字幕时他提出可否把这本书翻译成汉语，我实在太忙，没敢应承。

2020年10月，笔者在用塞贝克量热计重复弗莱希曼-庞斯-迈尔斯型实验，读到罗斯韦尔新著的《[弗莱希曼与庞斯量热法述评](#)》（[Review of the calorimetry of Fleischmann and Pons](#)）一文，因为与自己的工作直接相关，所以就翻译了出来，他又提到翻译本书的事情。考虑到毛智杰先生长期从事冷聚变信息搜集整理工作，他办的冷聚变世界网站（[www.lenr.com.cn](#)）在国内有广泛影响，并且自费进行冷聚变研究，所以就推荐毛先生来翻译，我来校对。他在2021年5月份就翻译好了，译本也已上传到lenr-canr.org网站上，可惜我一直没有时间，译稿电子版一直放在电脑桌面上，直到最近才抽空阅读原文和译本并进行了校对。

下面分五个方面谈谈笔者对本书的印象及感想。

## 1. 近年来的冷聚变进展

本书最早在2004年就已成书，最新版是2007年的第4版。书中冷

聚变的能源应用设想都是以当时相对成熟的钯阴极-重水电解池为基础的。多数电解池实验具有低温和低功率密度的特点，所以作者在§4.6中才说“大型发电机与某种形式的高温冷聚变配套而不是与数千个小型电解池一起匹配会工作得更好”，§18.1中也说“冷聚变与燃烧相比，功率密度和温度更低”，所以冷聚变发动机的低温低功率与航空发动机要求的高温高功率有天然矛盾。但近十多年来的冷聚变实验已经走向了高温高功率，无论是用于发电还是航空，本书中担心的问题至少在实验室原型上已经得到解决。

这些年来冷聚变的最大进展是以意大利罗西（A. Rossi）为代表的Ni-H<sub>2</sub>系统和日本联合小组为代表的Cu-Ni-Zr-H<sub>2</sub>或Pd-Ni-Zr-D<sub>2</sub>系统，其相同点是都使用粉末合金，用干法（气相）而非湿法（电解）进行实验，温度已经达到几百摄氏度，更高的到了1200甚至1700°C，超热到几百瓦，输出比输入能高到几十倍，也就是说冷聚变反应釜比传统的电解装置温度和功率密度高很多，可直接用于汽轮机发电及驱动航空发动机。其次，所用材料也不一定是贵金属钯，可直接用镍或含钯的镍合金，所以§16中担心的原料稀有和浪费也不会成为问题。

当然，最终能源的使用方式取决于冷聚变的机理和相关实验技术的积累。如果释放能量以热为主，冷聚变与热机的结合是最简单的技术路线。还有一种冷聚变直接产生带电粒子，但现在还只有两个实验室能重复，如果未来能得到第三方验证并大规模使用，则把能量转化为电力就像核电池一样简单了。而本书中所述电解池也不是全无前途，电解的好处是容易控制反应速度，如果高温电解系统得以发展，对于需要即时控制的应用——如汽车和家庭——会更有利。

就冷聚变研发本身而言，在§4.2中作者以为“电气化、电信网络、汽车制造和微处理器……都是大型、资本密集型、复杂的工业，冷聚变要简单得多。”这应该是作者对冷聚变的最大误解，笔者以为冷聚变最终也是“大型、资本密集型、复杂的工业”，他的物理机理只会比高温超导更复杂，需要从测量仪器到物理原理都有巨大突破才能摆脱至今仍存在的，如§1中所说的“冷聚变很难重复，反应通常不稳定”的情况。晶体管早期“有人敲门就能使晶体的性能发生变化”（见§1），人们靠运气制作矿石收音机。直至今日，重复冷聚变实验仍有很大的运气成分，这与晶体管刚出现时的情形一样。所以冷聚变一定是复杂的大科学问题，否则也不会这么晚才发现，而且科学界到现在还没接受它。

## 2. 热交易——地球热岛效应对冷聚变使用的限制

目前碳基燃料的主要问题是二氧化碳排放到大气中的温室效应导致全球变暖，从排放的角度看冷聚变不存在温室气体的问题，但其废热最终仍会导致地球气候变暖——即人类使用的一次能源功率太高引起的温升。类似于现在城市的热岛效应，到时候整个地球都受热变暖。由于这种总功率的限制，§19中担心的人类无节制使用能源的奢侈场面即使出现也会很短暂。而§21中预言的“未来人们的能源消耗量是现在一千倍”也很难成为现实。可以合理地预测，冷聚变大规模推广会终结碳交易，但最后会出现热交易以保证人类使用冷聚变而不影响地球气候。

我们可用等温外套量热法做一个简单估计，把地球当作一个有保温层（即大气）的受热体，太阳照射到地球表面的总功率是 $1.73 \times 10^{17} \text{ W}$ ，该功率使地球表面平均温度维持在 $15^\circ\text{C}$ （已对昼夜，四季和不同地区的温度进行了平均），对应于 $288 \text{ K}$ 。可以合理地设想，没有太阳时地球的温度是 $0 \text{ K}$ （地表每平方米的地热能不到 $0.1 \text{ W}$ ，远小于太阳光量常数 $1.4 \text{ kW}$ ，所以忽略），可求得地球的量热常数是二者的商即 $1.73 \times 10^{17} \text{ W}/288 \text{ K} = 6 \times 10^{14} \text{ W/K}$ 。2015年应对气候变化的《巴黎协定》目标是在本世纪末将全球温升控制在工业革命前水平以上 $2^\circ\text{C}$ 以内，努力不超过 $1.5^\circ\text{C}$ 。因为 $0.5^\circ\text{C}$ 温升的损失就很大了，所以我们将总功率加热引起全球变暖 $0.5^\circ\text{C}$ 作为一次能源的上限，可求得 $0.5 \text{ K} \times 6 \times 10^{14} \text{ W/K} = 3 \times 10^{14} \text{ W}$ 。

2019年，全世界一次能源总功率达到峰值 $1.85 \times 10^{13} \text{ W}$ ，按上述估计，还可以提高16倍。根据目前世界总人口70亿计算，平均每人可使用 $43 \text{ kW}$ 。目前地球人均 $2.6 \text{ kW}$ ，中国人均 $3.3 \text{ kW}$ ，美国人均 $11 \text{ kW}$ 。也就是说，全人类达到美国目前的能源消费水平是可能的，当然前提是冷聚变研发成功。所以一种普遍流行的说法——即如果中国人（或世界上所有人）都过上美国人的生活这个地球会承受不了——只是一种静态的观点，就像以前人们以为吃白面大米只是富人的专利一样。

未来全世界的功率交易配额大概以该机理估算，当然还需要消除二氧化碳的温室效应并根据每年功率与温升值进行更精细的计算。但估计最早也得在半个世纪以后才会出现这种情况了。具体交易方式可参考目前的碳交易，考虑到科技发展的非平衡性，率先使用冷聚变的国家肯定在谈判中具有先发优势，而一些原始部落可通过出卖交易份额得到经济补偿。给地球安冰箱——通过工程，如安装反光屋顶给地球降温——也不再是玩笑，而会成为未来的普遍政策。

这里只计算一次能源，至于太阳能、风能、水电等可再生能源除了制造过程本身消耗能源外，使用过程中不会加热地球，所以到时候会因为功率交易的存在具有了成本优势并获得第二次生命。但人类前两个世纪排放的二氧化碳则必须通过各种方式捕获封存（如本书谈到的反向油井，但估计合成石油也会排放大量废热）。

如果人们到月球真的像§21所述那样方便的话，“一趟旅行消耗的能源可能比一个普通美国人一生消耗的还要多”的太空活动也会计入交易，当然其热排放只计算大气层内的部分。

另一方面，冷聚变导致的热岛效应也可以用来改变人类气候。人类已经历过数次冰期还有更多的小冰河期，只有冷聚变的大规模普及才可以熨平气候的变化曲线，只有这时候人类才可能真正地摆脱靠天吃饭的被动命运，实现持久的繁荣。

### 3. 近年来的技术和商业变化

书中涉及的其他技术也有很大进展，全球商业模式也发生了深刻的变迁，这些都是作者当时无法预料的。

作者撰写本书时美国60%的石油需要进口，石油产量已经从1971年的峰值下降了三分之一，预计几十年后将降至零（见§13）。本世纪前十年美国人还以为无法获得能源独立（见§19.1）。实际情况是本世纪第二个十年出现了页岩油和页岩气革命，本书预见的石油消费见顶（见§7和§20）不仅没有实现反而增加了消费，美国还从油气进口国变成出口国。而中国已经取代美国成为世界上碳排放最多的国家，世界各国比任何时候都更依赖于油气。这些情况的结果是既推迟了能源危机，又加重了全球变暖。而特朗普在台上的四年中，甚至连全球变暖这样的事实也要否认。

移动互联网的普及是本书问世后的最大技术变化。直到本书最后一版面世时苹果手机才刚刚出现，当时还只是个娱乐设备。现在智能手机不仅大规模普及，基于手机的应用已经极大地改变了商业模式和生活方式。本书中设想的未来人们乘坐自动汽车到商业中心购物，填埋废报纸垃圾（见§9）等等已经变得像书中说的用冷聚变动力采油一样了，因为至少中国的大型零售企业已经大面积倒闭，世界各地的纸媒体也急剧萎缩。

卓别林于1936年拍摄的电影《摩登时代》（*Modern Times*）中老板通过大屏幕指挥工人工作，可视电话也早就提出来了，实际上这些只是在移动互联网完全普及后才得以实现。

本书对冷聚变的应用大量以帆船与蒸汽船的对比，马车与汽车

的对比，以及计算机发展为例，如果作者今天重新写这本书，肯定会以智能手机的发展为例进行更详细的说明，因为这是多数读者眼睁睁看到的变化。

另一方面，人工智能的发展仍很慢，机器鸡并没有那么快实现。但书中提到的扫地机器人（见§10）倒是比作者预言的还要智能，它既不用一天充几次电，也不用通过更换电池组来续命，已经实现了自动充电。而作者在§10中描述的用于侦察的昆虫机器人令笔者想起了2002年汤姆·克鲁斯主演的《少数派报告》（Minority Report），剧中机器蜘蛛部队挨家挨户检查居民的虹膜来抓捕男主角，虽然这看起来还很遥远，但先进的通讯技术永远首先与政治权力相结合，其问题早有人预言过了，此处不赘。

作者在§17和§18分别讨论了全自动驾驶汽车和飞机，这些年来智能汽车已经成为汽车产业的研发热点。笔者估计至少在人口稠密，地价昂贵（即停车位很贵）的东亚城市地区，智能汽车理论上可使汽车保有量大幅度下降，如只需目前一成的汽车即可满足所有人的出行需要，不再需要购买私家车来实现出行自由。当第一批全自动车上市后，因为它自己就可以当网约车，充分竞争的结果必然是智能汽车迅速挤占人工出租车市场。出行价格下降的结果是，对个人而言，买车不如租车。但对已经居住分散的美国，智能汽车是否会导致汽车总保有量大幅下降？我还不能肯定。

关于冷聚变汽车，国内的林溪石教授也设想类似于本书§2.3所述的驱动模块，说明英雄所见略同。

## 4. 其他技术问题

§2.2、§15和§17.2都讨论了热电装置取代汽轮机的问题，理论上如果热电器件的效率足够高且足够便宜，那么仅热片本身就可以利用温度自然波动来大规模发电，更不用说用于冷聚变了。目前它仅用于便携式设备降温，户外烧柴发电和信号测量等小众场合。就笔者所知，国内的胡志宇教授正在进行这方面的研发。

§2.5关于重水价格的讨论其实必要性不大，作者设想重水可以降低到每公斤100美元，理论上就是涨到10,000美元也比煤炭便宜。因为1公斤重水等效于1,553吨（或198万升）汽油，所以10,000美元/公斤的重水价格等效于0.5美分/升的汽油价格，算成人民币也不超过0.35元/升。所以未来的冷聚变应用中，燃料几乎是免费的。考虑到现在国内的重水也只有5,000元/公斤，换算成汽油等价于0.25分/升，与400升汽油热值相当的重水才值一瓶最便宜的饮用纯净水。因为重水主要在海边提取，而这根本没法垄断，所以价格会十分便宜。冷

聚变也可用氢做燃料，但用氢是否会更便宜不取决于氢的价格，主要看燃烧氢是否容易除灰。因为氘氘反应的核产物氦-4很容易从材料中逸出，如果氢的反应产物不是氦而是与金属反应嬗变成其他元素，除灰反而更麻烦一些。

本书§11和§12提到冷聚变的军事用途。在笔者看来，冷聚变的大规模普及会消除人类大部分战争。对能源的争夺是从古至今战争和战乱的直接或间接原因，现代的石油战争就不用说了，在古代，气候影响了农业，也影响了牧草和农作物的光合作用，进而影响了人类摄入的能量。古代气候变冷时游牧民族就入侵农耕帝国，最近的一项研究表明约2/3的中国内乱与气候变冷有关。因此，对能源的争夺也是古代战乱的原因。如本书所述，在冷聚变大规模普及后，连农业都可以通过工厂化来实现。人类的能源纠纷将主要体现在如何分配热排放配额，这是在谈判桌上就可以完成的，不需要战争。

## 5. 冷聚变的前途

回首冷聚变发现后33年来的历史是令人压抑的，正如§19中所述“到目前为止的冷聚变较量中，蠢人赢了每一局，他们压制了几乎所有的研究。”虽然冷聚变取得了许多进展，但整体而言它还在科学的主流之外，更谈不上大规模应用了。

虽然全世界每年的研发经费不断增加，每天都能看到各种科技新闻，但多数是零敲碎打的细碎进步，有学者说人类在1970年代以后就处于科学技术的停滞期，或者真如§7.2中古尔德间断平衡理论所云“停滞是复杂系统的常态，完全激发的变化通常是迅速而短暂的。”也许“技术上的困难和政治上的反对使它（冷聚变）可能永远不会有所发展。”（见§7.7）

克拉克于1963年写道：“…重氢可以驱动所有机器，…如果两代人以后发生能源短缺将是我们无能造成的，我们会像石器时代冻死在煤床上的古人一样可悲。”（见§19.1）注意这是近60年前的预言，已经过了两代人的时间了，我们仍没有学会这个技术。

对人类而言，现在的问题还不是能源短缺，而是碳排放造成的全球变暖将破坏整个生态圈。笔者深信，冷聚变提供了解决人类能源问题的最乐观方案，但它能否成为本书中描述的现实，取决于研究者（包括自己）的努力，政治家和投资者们耐心而长期的支持，否则我们很快就会毁灭在自己的手中！

张武寿 2022年5月5日 于 北京中关村