



核电与环境问答

美国核学会编

原子能出版社

内 容 简 介

这是美国核学会以问答形式编写的一本有关核电与环境的科普读物，旨在解答公众对发展核电站提出的一些问题，消除他们的一些不必要的疑虑。这本小册子分为22个专题，共收入了320个问题，并逐个作了简明扼要的回答。

本书可供从事核能研究和核环境保护工作的技术人员和科技管理干部参考，也可供对能源和环境问题感兴趣的读者阅读。

Nuclear Power
and the Environment
Questions and Answers
Published by the American Nuclear Society
Revised edition 1976

核电与环境问答

美国核学会 编
卢钺章 赵惠南 译
陈 维 敬 校
责任编辑 韩国光
原子能出版社出版

(北京 2108 信箱)

八九九二〇部队印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $7\frac{1}{8}$ · 字数 150 千字

1985年1月第一版·1985年1月第一次印刷

印数 1—3010 · 统一书号: 15175·553

定价: 1.05元

目 录

前 言	
第 一 章	能源前景和核电..... 4
第 二 章	经济性和可靠性.....11
第 三 章	能源自给和节能.....23
第 四 章	其他可供选择的技术.....31
第 五 章	辐射源.....45
第 六 章	核电站的放射性.....50
第 七 章	辐射的生物效应.....57
第 八 章	核燃料循环中的运输.....67
第 九 章	核燃料后处理和核废物处置.....77
第 十 章	钚的毒性.....93
第十一章	核燃料的转移.....104
第十二章	核电站的安全保卫.....115
第十三章	热排放.....121
第十四章	核电站厂址选择和地震.....128
第十五章	安全性：电站系统.....135
第十六章	安全性：颁发许可证及执行规章.....142
第十七章	安全性：紧急堆芯冷却.....150
第十八章	核电对公众的风险.....160
第十九章	受益和风险的判断.....168
第二十章	核责任和核保险.....180

第二十一章	增殖反应堆.....	188
第二十二章	热核聚变.....	196
能源换算表		204
参考书目		205

前 言

自从《核电与环境问答》第一版出版以来，发生了一系列事件，它们剧烈地改变了美国总的能源前景。这些事件是：

- (1) 1973年的阿拉伯国家石油禁运；
- (2) 石油价格在1974年上涨了三倍；
- (3) 天然气供应日益短缺；
- (4) 横贯阿拉斯加地区的油管开始铺设；
- (5) 关于煤矿露天开采的争论；
- (6) 关于核电的争论。

在这些事件中，即使有几件事的最后结果还不清楚，但每一件都对国家能源前景产生了影响。由于能源和环境前景的改变，有必要完全改编这本书。我们试图介绍在1975年末到1976年初这段时间内所观察到的这些事件和它们的影响。

在几个州核电已引起了公众的关注，并已成为一个政治性的争论问题。尽管这些争论从来未曾解说清楚，但有些人却认为这是一个道德上及精神上的问题。怎么会造成这种情况，为什么是这样，这些都无关紧要。要紧的是公众提出的有关公共卫生、安全和福利等方面的质询。这些质询应该得到如实的回答。作为一个专业的科学技术和教育组织，美国核学会(ANS)有责任出版这本书为公众提供有用的资料，并对一般有关核电和环境问题给予通俗易懂的答案。

核科学家和工程师们往往难以用简单的词句向公众说明

他们的复杂主题。批评者叫嚷说核电“不安全、不经济、不可靠也不必要”，面对这种强烈的不真实的指责，核电的辩护者们只能用几小时的长篇大论才能回答。不幸的是，“对批评者的有效回答犹如在一个拥挤戏院中出面制止因有人叫喊失火而引起的混乱”一样困难。但是在公众中，要求学习并愿为此做出一定努力的人们已经发现，渊博的核科学家和工程师们有实际根据的论点是可以信赖的。

这本书力图提供有关美国总的能源前景的资料，特别是有关用核能或其他能源发电的资料。在编写本书时，作者们有意识地努力提供真实资料，把主观意见减到最小程度，并且明确说明哪些是个人意见。我们注意区别哪些是真实经验，哪些是对目前和将来形势的估计，哪些是理论上对将来的预测。我们觉得，为了使公众理解，重要的是应该把真实经验与推测以及想象的恐惧区分开来，也同一些假设分开来。这些假设往往被当作值得报道的新闻而引起了公众的注意。

作者们在编写本书时得到了由美国核学会圣迭戈分会及洛杉矶分会会员组成的编委会、美国核学会全国公共情报委员会会员以及被公认为是本行专家的其他几位全国知名人士的帮助。在提高本书的总效果和质量方面，这些审稿人所做的贡献是无法估量的。但是，最后定稿的内容则完全由作者们负责。

凡认为是有用的论述都编成参考文献以方便读者。对那些从成熟的科技知识出发提出的不同意见，我们就试图介绍其主要论点。但是，我们不想讨论也不想介绍那些关于核电的不那么合理的观点。这类观点很少能说是真实情况。

作者们是核电的支持者。我们并不因此而向读者申辩，

也不承认这就会影响我们的客观性。作者们受雇于核工业企业并且继续从事于这项工作，这是因为他们相信事实，证明核电较其他选择更为有利。我们相信，并且有大量证据使我们确信，采用核电将为国家提供一种必需的、经济的、可靠的和安全的能源。

Robert J. Campana

Sidney Langer

第一章 能源前景和核电

1. 问：除了阿拉伯国家石油禁运外，还有没有其他因素对1973年末到1974年初的能源危机起了作用？

答：有的。1973—1974年能源危机的主要原因虽是阿拉伯国家对美国的石油禁运，但是美国对石油和天然气的需求和供应之间日益增长着的总的不平衡，多年来已是显而易见的事。有见识的观察家早就预言了比我们这次经历的“急性能源危机”更为严重的“慢性能源病”。

能源消耗正在飞速增长，这是由于：

- 人口的增长；
- 平均每个人消耗量的增长；
- 生产率的上升；
- 采用了用后就扔掉的产品；
- 浪费。

同时，国内的石油和天然气产量开始下降，1974年的下降率约为6%。因此，供求之间的长期不平衡已经发展了十几年了。

2. 问：美国的能源消耗量有多大，增长速度怎样？

答：1974年我们消耗的能源相当于每天耗用3540万桶石油，或每秒耗用17000加仑石油，或每人每天耗用7加仑石油。

1974年的增长率为每天130万桶（或3.8%）。

3. 问：美国国内生产多少能源，必须进口多少能源？

答：我们进口：

- 一次燃料总量的20%；
- 石油总消耗量的44%；
- 1974年每天700万桶石油，约值248亿美元。

4. 问：石油禁运期间（1973年11月—1974年3月），汽油必然是短缺的！但禁运结束后，看来我们又有足够的汽油了。那么，为什么仍有能源危机呢？

答：现在不是石油供应短缺，而是我们对国外能源的依赖日益增长，以前也是由于这个原因促成了禁运。

美国在1973年进口了石油80亿美元，1975年进口石油300亿美元。石油价格是：1973年是每桶4美元，1975年每桶14—16美元。

5. 问：为什么我们不改用天然气来减少我们的石油进口呢？

答：天然气的供应甚至比石油更短缺。由于天然气要优先供应居民用户，有些电力公司和工业企业被迫重新使用了石油。美国中西部和东部的许多地区禁止接受新的天然气居民用户。而且，天然气还急需用作为生产肥料、塑料和其他重要化工产品的初始原料。

6. 问：有没有办法减少石油进口？

答：有的，有两种办法：

- 节约能源，如第三章所讨论的；
- 在有效用显著的其他可供选择的能源资源时，用以代替石油。

7. 问：什么是可供选择的资源，它们如何利用？

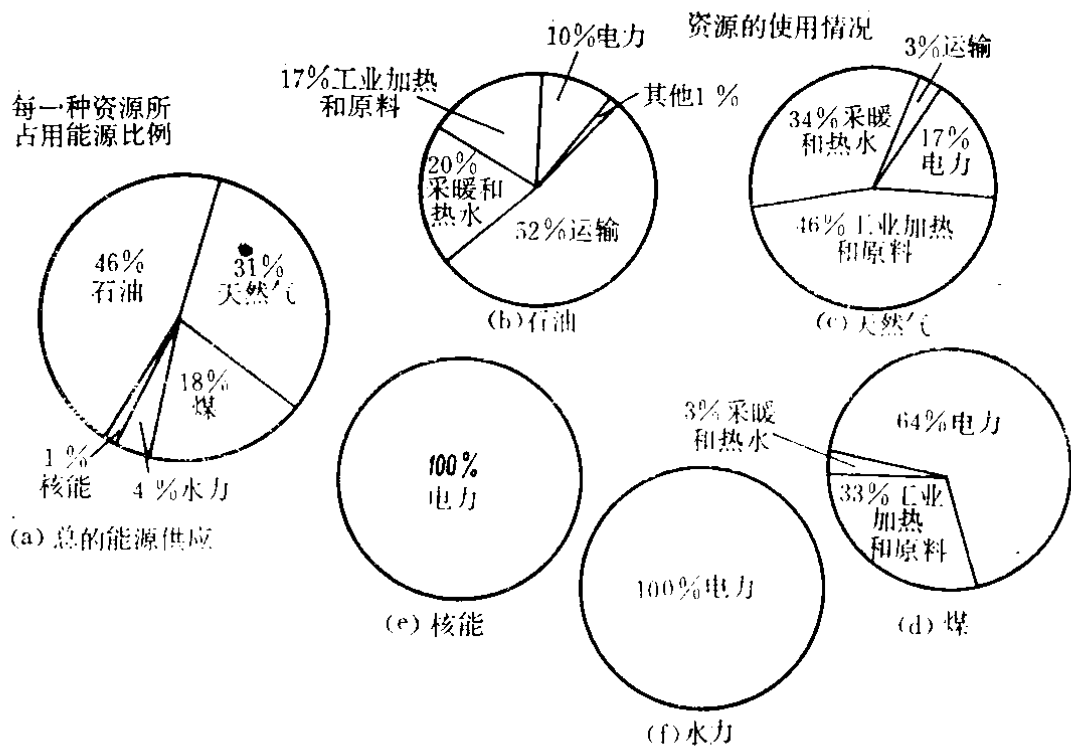


图1-1 各种燃料供应在美国能源需要中所占的比例^[1-1, 1-2]

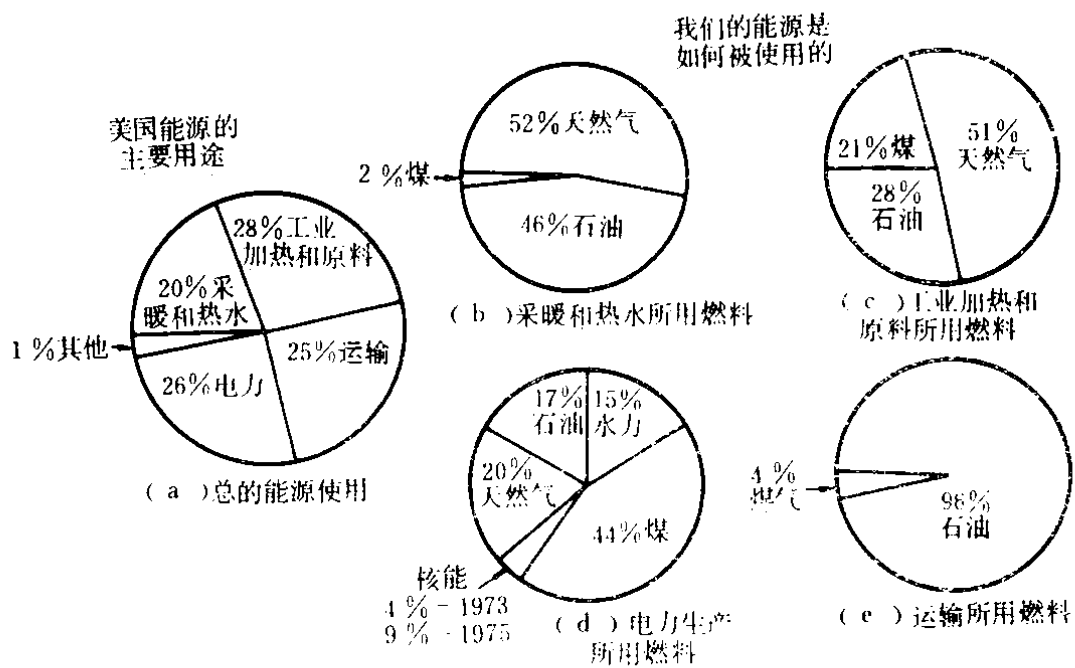


图1-2 美国能源的用途和主要能源用途的燃料供应^[1-1, 1-2]

答：主要可供选择的能源资源和能源用途如图1-1和图1-2所示。

在现阶段，矿物燃料（煤、石油和天然气）的供应量约占美国能源总消耗量的95%，其中石油和天然气多于75%（图1-1a）。可是，只有在发电方面才有可能选择能源资源（图1-2d）。由于石油太贵，天然气太少，因此煤是任何替代物必须与之比较的一种矿物燃料。

图1-2b至图1-2e表明，除了发电以外，其他每一种用途现在都完全依赖矿物燃料。有几种用途几乎完全依靠稀少的天然气或昂贵的石油。所以，如果是可行的、经济的、环境条件又许可的话，用煤来代替石油或天然气则是必要的。

8. 问：什么是发电用的天然气和石油的替代物？

答：煤和核燃料都是可用于发电的替代物。水力资源，因要靠降雨量，不可能在任何可观的规模上进一步代替天然气和石油。如果用煤和核燃料来代替天然气和石油发电，则可以做到：

- 减少天然气消耗量17%，即每年减少2.6万亿立方英尺的天然气；
- 减少石油消耗量10%，即每年减少5.94亿桶石油。

就全国范围来讲，无论是煤或核燃料都不能单独代替天然气和石油（见第二章），而必须两者都用。

9. 问：核电能节约石油到什么程度？

答：在1975年核电站生产了美国8%的电力，这也就相当于每天节约50万桶石油。一座100万千瓦的核电站，每天节约的石油，足可供应一个100万人口城市的所有的小汽车、卡车、公共汽车、火车、船舶和飞机的用油。30座100万千瓦

核电站，可以节约出整个阿拉斯加油田40年寿期的产油量（100亿桶）。165座100万千瓦的核电站就能节约1974年美国进口石油的总量，即每天700万桶石油。

10. 问：使用核燃料和煤发电固然可以减少许多石油进口，那末发电成本将会增加还是减少？

答：1975年核电成本约是油电成本的一半。在美国大部分地区，核电成本也比煤电成本低（见第二章）。

11. 问：美国从依赖国外的石油转为依赖国外的铀，得到的是什么呢？

答：美国并不依赖国外的铀资源。美国的铀资源是得天独厚的。同任何资源一样，美国铀资源的范围，将来有希望发现的蕴藏量，矿石的品位和提炼费用等，都有着不确定因素。虽然有些人对美国铀资源的蕴藏量表示有些担心^[1-3—1-7]，但据估计，美国轻水堆发电用铀的供应，可以很容易地维持到本世纪末。增殖堆投入商业运行后（见第二十一章）将使美国在几千年内都可以不依赖国外的铀资源。

12. 问：太阳能和地热能难道不是石油和天然气的重要替代能源吗？

答：在最近几年内，太阳能可能更加广泛地被应用于水的加热、室内采暖和降温。它在许多场合差不多已具有经济上的竞争力，其前景将随天然气的涨价而更加宽阔。但是，从现在看来，太阳能发电未必能成为一种经济的发电办法。

地热能已用于发电，但只限于在有干蒸汽的地方，而这样的地方是很少的。因此，在今后20年内，太阳能和地热都不可能较快地成为一种重要的资源（详见第四章）。

13. 问：需要多久才能投入足够的核电站来帮助解决

能源危机呢？

答：从计划到建成一座核电站需要8—10年，因此现在作出的决定将在若干年后影响我们。核电站的情况如表1-1所示。美国核电站正在迅速发展，现正在运行的56座核电站占1975年美国总发电容量的8%。建造中的64座核电站，超过了13%的总容量。97座设备正在订货的核电站和17座肯定兴建的核电站一起将另外占27%。表中所列的核电站，其容量相当于美国现在发电总容量的49%。在下一个十年内，平均每月都将有一个多核电站投入运行。

表 1 - 1 美国核电站——1975年11月30日的情况^[1-8]

	电厂容量 (兆瓦)	占美国总发电容量 (%)
56个核电厂已有运行执照	37955	8.0
64个核电厂已得到建设许可证	65742	13.8
97个核电厂设备订货	109953	23.2
17个核电厂肯定了建设计划	19132	4.0
总计234个核电厂	232822	49.0

注：另有约 25个核电厂，连同差不多相同数量的矿物燃料 电厂，或是推迟或是取消。

参 考 文 献

1-1 Task Force on Energy, "U.S. Energy Prospects: An Engineering Viewpoint," National Academy of Engineering (1974).
1-2 "Energy Alternatives: A Comparative Analysis," Science and Public Policy Program, University of Oklahoma, Norman, Oklahoma (May 1975).
1-3 Joel Selbin, "Uranium Supply Low", Letters, *Chemical & Engineering News* (July 28, 1975).
1-4 M.C. Day, "Maybe—Maybe Not," Letters, *Chemical & Engi-*

neering News (Oct. 20, 1975).

- 1-5 "World U_3O_8 Going, Going, Almost Gone, Says Canadian Geologist," *World Energy Report* (Sept. 29, 1975).
- 1-6 "A National Energy Plan for Research, Development and Demonstration, Vol. 1: The Plan," ERDA-48, U.S. Energy Research and Development Administration (June 1975).
- 1-7 William Shoupp, "Review of Nuclear-Based Energy Resources," *Proceedings of Conference on Magnitude and Deployment Schedule of Energy Resources*, Oregon State University (July 21-23, 1975).
- 1-8 "Nuclear Power Facts and Figures" (as of November 30, 1975), Atomic Industrial Forum.

第二章 经济性和可靠性

1. 问：三十年前，科学家们曾说过，用核能发出的电力将会如此便宜，以致于没有必要用电表记录电度。这一描绘发生了什么变化？

答：这种乐观论反映了在第二次世界大战中美国原子弹制造工程的成就，其中包括在四十年代中期建造和运行许多反应堆的成就。到了五十年代初，认识到建造核动力反应堆比建造钚生产反应堆要困难得多^[2-1]；同时也看清了由铀产生的动力必须与用其他燃料资源产生的动力相竞争。海军上将 H.G. 里科弗 (Rickover) 在 1957 年曾写道：“要算的不是铀的价格，而是煤的价格。”^[2-2]

以上引用的煤和核燃料的比较，在今天是最适用的。至少在九十年代后期以前，发电方面的经济竞争是煤与铀之间的竞争。但是不论是哪一种能源都不能单独供应预期的需要。对国家来说，不是只用煤或铀，而是煤和铀。烧煤电厂的容量，受开采和运输大量煤炭带来的后勤和经济问题以及环境保护问题的限制。核电站的容量则受新电厂的建造、运行和服务所需熟练的和受过训练的人力来源的限制。

2. 问：当许多电厂仍然燃用石油和天然气时，我们如何能依靠煤和铀作为我们的主要燃料？

答：确实很多电厂仍然燃用石油和天然气，但是正在修建或订货的电厂几乎都不使用这些燃料。

在五十年代和六十年代初期，煤是发电的主要燃料。但是，由于空气污染的迅速增长，许多烧煤电厂，特别是沿东海岸的，都改烧石油和天然气，以减少空气污染（见图 2-1）^[2-3]。因此，用煤作为燃料，在六十年代后期达到了顶峰。1973 年阿拉伯国家石油禁运，随即石油价格扶摇直上，对电业部门和他们的用户带来了可怕的问题。低硫石油供应短缺并且很贵。电业部门无法按燃料费用的增长而迅速调整电费价格。即使如此，电力费用已猛增。在新英格兰区，甚至在中西部，那里已无天然气可用，拥有“全电气化家庭”的人们 1975 年冬天每月所付的电费高达 200 美元。

3. 问：天然气的价格没有上涨三倍，新电厂不能烧天然气吗？

答：即便在石油禁运以前，天然气的供应已不能满足对这种非常适用的燃料日益增长的需要。可得到的供应量依次分配给：

- 居民和商业用户；
- 需要天然气作原料的工业（例如，化肥厂）；
- 生产电力的电业部门。

因此，电业部门天然气的消耗量急剧下降。例如，南加利福尼亚爱迪生公司 1970 年用的天然气占其全部燃料供应的 57%，1975 年下降到 15%（见图 2-2）！石油成了唯一可采用的代用燃料，电力成本因而迅速增加。

4. 问：石油价格能如何影响烧煤电厂和核电厂的建设？

答：1974 年初，许多电业部门曾经计划建造一些大型的核电站和烧煤电站，以满足预期的需要，减少对国外石油

的依赖，以至最终来缓和我们的能源危机。然而，石油价格增长三倍，导致利率的螺旋式上升，世界性的通货膨胀以及电业部门燃料费用的猛增（特别在东北部），减少了电业部门基本建设的资金。因此，50 %的计划建设的核电站和25 %的计划建设的烧煤电站都被推迟或取消了。实际结果是石油价格的上涨，推迟或取消了非烧油电厂。于是，美国在最近的将来，会变得更加依赖于国外石油。

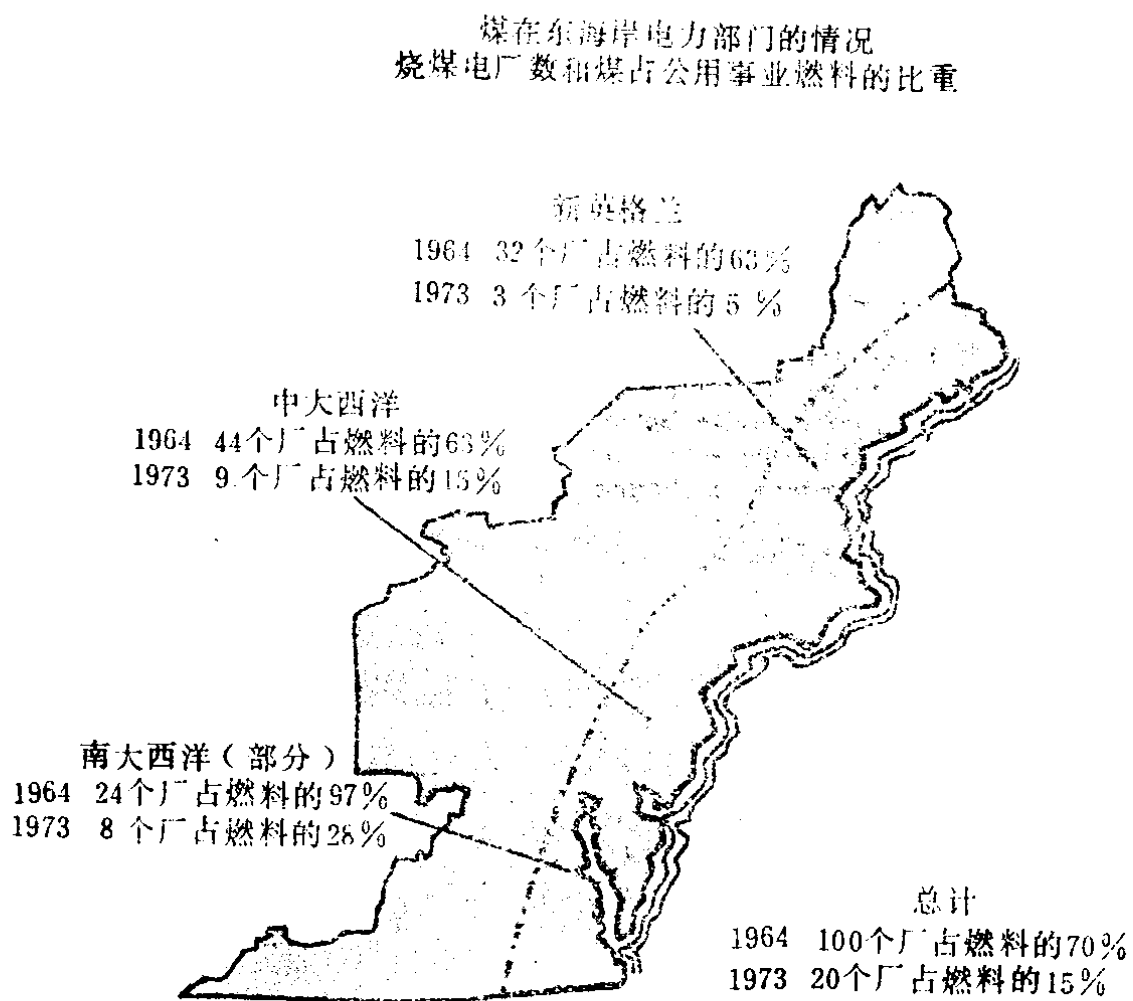


图2-1 东海岸的电力部门在七十年代因六十年代改烧煤为烧油（为保护环境）而受害^{〔2-3〕}