

中,美,法核能行业比较

新能源行业

深度报告

2010 年 9 月 29 日 星期三

徐缨
021-50586660-8640
xuying@longone.com.cn

陈骏鹏
010-66216231-8620
cjp@longone.com.cn

桂方晓
010-66216231-8618
gfx@longone.com.cn

朱晓明
010-66216231-8615
zxm@longone.com.cn

投资要点

全球核能发展史可以用一句话来概括：在欧洲大陆萌芽，在英国，尤其是在美国 and 法国开花结果，在亚洲得到生命的进一步延续。具体到各国，由于国情，地理位置等等的不同，各国核能工业所经历的发展路径又各有特点。

首先，在美国，核能最初是出于军事的目的而发展起来。而后由于国际原油价格的极度不稳定，美国政府出于对国家能源安全及地缘政治的考虑，核能开始被用于民用，并一度在电能市场上得到了极大的发展。随着本土的三里岛事故及前苏联的切尔诺贝利核电站事故的发生，1990 年代后，核能在电能市场上的进一步发展受到了很大限制。目前美国一共有 104 座核电站，核电占比社会总发电量在近 20 年来一直维持在 20% 左右。

进入 21 世纪，由于温室气体效应已成为世界普遍关心的一个大问题，对二氧化碳的排放课税已越来越可能在不久的将来成为一个事实。在这样的大环境下，美国政府重新开始加大对核能工业的支持力度。我们认为，如果二氧化碳的排放被课税在 200 美元/吨之上，核能发电在经济性上的优势就将显露出来，作为未来清洁能源的一种选择在美国必将得到进一步的发展。

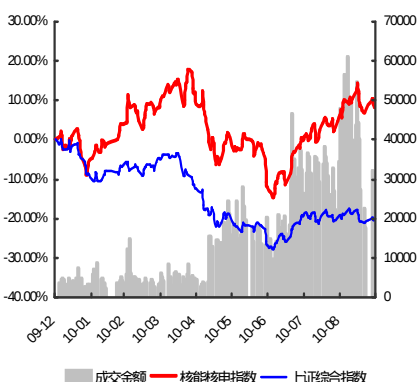
其次，法国由于能源的匮乏，同时受石油危机的影响，大力发展核电一直是法国政府能源政策中的重中之重。同时，法国核电的发展还得益于该国核军事工业的深厚积累。目前法国共有核电站 59 座，核电占法国总发电量的 77% 左右。考查各种发电的成本因素，核电在法国具有极强的生命力。未来，核电还将继续在法国的能源领域中占据首位。

最后，中国的核电发展路径可以说是前慢后快。中国核电利用起步早、前期发展比较慢。2005 年后，国家核电政策由“适度发展核电”改为“积极发展核电”，核电产业进入高速发展时期。2010 年，新兴能源产业发展规划出台，规划到

行业指数

	绝对涨幅(%)	相对涨幅(%)
1 个月	4.81	4.81
3 个月	21.14	13.58
6 个月	-0.04	16.38

行业相对上证综指走势图



2020 年装机容量达到 86GW(1G=100 万千瓦)，按此测算，未来十年我国核电产业装机规模的复合增长率达到 22%。

中国核电的技术路线早期以引进为主，逐步消化吸收、逐步提高国产化比率。目前我国的现有技术“二代加和三代”并存，并将持续相当一段时间，国家核电技术公司已开始引进、消化第三代技术，我们认为西屋公司的三代技术最终会成为核电的主流技术。核电的运营商以“三大”为主，即中核、中广核、中电投，未来维持现有格局。

目录

1. 核能发电原理.....	6
2. 美国.....	6
2.1 发展历史：起源于军工，受阻于过于严格的监管和高启的成本	6
2.1.1 电能及其来源的历史变迁.....	7
2.1.2 核能发展史.....	9
2.2 现状：虽不令人振奋，但潜在的碳排放限制可能赋予新的生命	12
2.3 政策：监管全面，力度不小	13
2.3.1 课税扣除及贷款担保.....	13
2.3.2 核能的研发.....	14
2.3.3 核动力厂的安全及监管	14
2.3.4 核反应堆安全	15
2.3.5 核设施移除(decommissioning)	15
2.3.6 核事故责任	15
2.3.7 核废料的管理	16
2.3.8 核武器扩散	16
2.4 未来：经济性决定一切.....	16
2.4.1 铀在美国的储备情况	16
2.4.2 核能的替代作用分析	17
2.5 核电的未来.....	19
2.6 相关上市公司	22
2.7 结论	23
3. 法国.....	23
3.1 法国核电历史是一个军事和民用相结合的历史	23
3.2 法国核电占有重要的地位	25
3.3 法国核电具有很强的竞争优势	26
3.4 法国大力鼓励核电发展	29
3.5 法国核电的未来趋势	29
3.6 法国核电发展过程中受益公司	30
4. 中国.....	31
4.1 我国核电的历史	31
4.1.1 我国核能利用起步早，发展慢	31
4.1.2 早期的技术以引进国外为主，多条技术路线并行	32
4.1.3 2005 年后，国家核电产业政策改变：从适当发展到积极发展.....	33
4.1.4 核电发电成本接近火电，碳排放具有先天优势	34
4.2 我国核电的现状	34
4.2.1 我国的铀矿资源	34
4.2.2 核电“三大核电运营商，一大技术路线”	36
4.2.3 技术和资源瓶颈面临破解	37
4.3 核电产业化及相关上市公司梳理	38
4.3.1 核电相关上市公司股价表现：与政策相关性密切	39
4.4 我国核电的未来	40
4.4.1 政策基调：大力发展和支持	40

4.4.2 装机容量：超预期增长	41
4.4.3 技术路线：由二代、二代改向三代全面迈进	41
4.4.4 国产化率：决定三代推进速度与企业利润的关键	42

图形目录

图 1: 核裂变，核聚变示意图	6
图 2: 社会总发电量，煤电，汽油发电，天然气发电，传统水力发电和核能发电自 1973 年以来的发展变化趋势 ..	7
图 3: 煤电，汽油发电，天然气发电，核能发电及传统水力发电占总发电量份额的历史变迁	8
图 4: 美国自 1957 年建设了第一座核反应堆后，在运营的核反应堆数目变化情况	10
图 5: 美国自 1973 年核电净产出和容量因子的逐年变化情况	10
图 6: 两次中东石油危机爆发过程及前后中，国际原油价格大幅波动	11
图 7: 第一次中东危机时，随着原油价格的大幅上扬，股指同时剧烈下挫	12
图 8: 美国 1973 年以来汽油在交通运输行业的使用量占汽油总产量的百分比变化情况	19
图 9 法国核电站历年建造数量图	24
图 10 法国核电站分布图	24
图 11 法国核电发电量增长迅猛	25
图 12 法国核电装机容量、发电量图(2007 年)	24
图 13 法国核电发电占比具有绝对优势(2007 年)	26
图 14 法国发电成本对比图(公共角度不考虑赋税，包括外部费用，3%的折现率，2003)	26
图 15 法国发电成本对比图(供应商角度，不考虑赋税和外部费用，2003)	27
图 16 欧洲各种发电方式的外部成本(欧分/千瓦时)	28
图 17 退役的核电站不会增加核电的成本(2004)	28
图 18 法国核电未来趋势图	30
图 19 法国电力公司股价和指数对比图	30
图 20 阿海珐公司股价和指数对比图	31
图 21 核电占整个电力生产的份额 2009	32
图 22 核电和其它电源成本比较	34
图 23 我国核电相关上市公司股价表现	39
图 24 核电发展将受系列政策推动	40
图 25 中国大陆已运行和在建的商用核电机组分布示意图	41

表格目录

表 1: 历史估计铀储量(百万磅)	17
表 2: 核，煤，天然气在基本情形下的发电成本	21
表 3 美国核电相关上市公司	22
表 4 三家公司上市以来股价表现	22
表 5 我国大陆运行的商用核电机组	32
表 6 我国核电站建设标准	33
表 7 我国核电规划表	33
表 8 我国核电技术线路	37

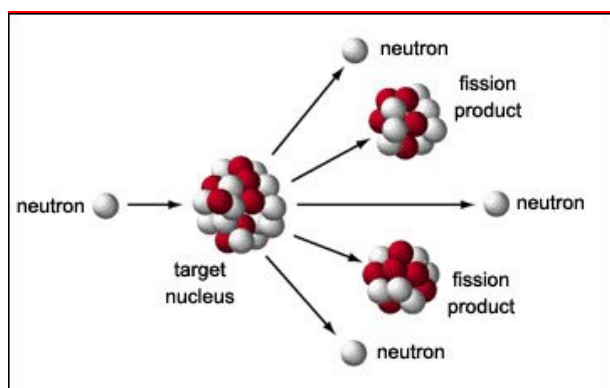
表 9：部分核设备上市公司	38
表 10：核电相关上市公司简介	39
表 11 AP1000 技术国产化计划	42

1. 核能发电原理

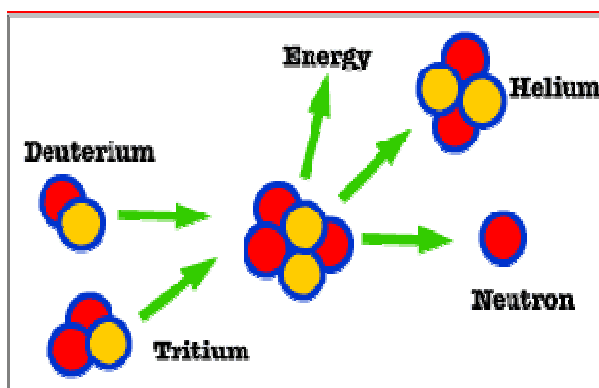
原子尽管小，但将原子核聚集在一起的能量却是非常巨大。某些元素的同位素可以裂变，并以热能的形式释放出部分能量。U-235 就是比较容易裂变的同位素。在裂变过程中，U-235 吸收漂移的中子并分裂成质量更轻的两个原子（称为裂变产物）。缺失的那部分质量以热能形式释放。

另一种核能的产生形式是核聚变：许多较小的原子共同聚集形成较大的原子核束，期间吸收或释放出巨大的能量。太阳就是通过核聚变产生热、光和其它辐射线。

图 1: 核裂变，核聚变示意图



资料来源: <http://en.wikipedia.org>



资料来源: University of California at Berkley

裂变/聚变释放出的热能在核能厂被用来加热水使之沸腾，产生的水蒸汽就可以用来发电。这个步骤和用煤、原油或天然气来发电的原理是一致的。

目前通过核聚变发电在技术上还有较大的障碍，科学家们尚在有限的空间里无法很好地控制核聚变反应。但核聚变产生更少的辐射物质，也提供持续时间更长的能量。

一般建成的核反应堆分为轻水反应堆和重水反应堆。所谓轻水反应指的是用普通的水作为由核裂变发射出的中子的速度减缓介质以维持核反应的连锁反应。在轻水反应中，普通水同时还作为冷却介质以帮助热能转换成蒸汽推动发电机涡轮的旋转。而重水反应指的是在核反应过程中用重水替代普通水（普通水的分子式是 H_2O ；重水则是 D_2O ，D 是氘）。

2. 美国

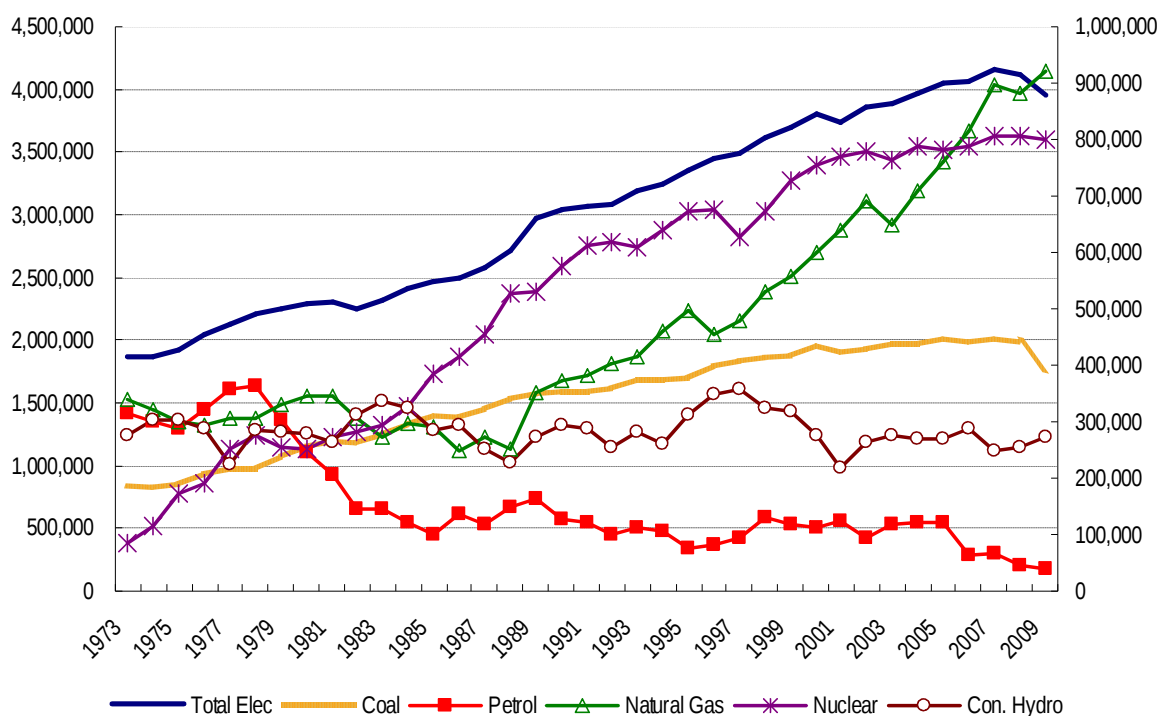
2.1 发展历史：起源于军工，受阻于过于严格的监管和高昂的成本

核能的发展史可以用一句话来概括：在欧洲大陆萌芽，在英国，尤其是在美国开花结果，在亚洲得到生命的进一步延续。核能既然在美国得到开花结果，我们在这里就主要以美国为例讨论一下核能的发展史。不过首先应考察一下电能及其来源在美国的历史变迁。

2.1.1 电能及其来源的历史变迁

在美国，电能的主要来源有：煤，汽油，天然气，传统水力及核能。其中，煤发电占社会总发电量的比例最大，其市场份额一直保持在 40%~60% 范围内。容易理解，随着美国的人口及经济的不断增长和发展，社会总用电量一直处于上升通道中，并未出现过任何太大的波动。但电能的来源则经历过较为深刻的变化，尤其出现在汽油发电，天然气发电和核能发电上。

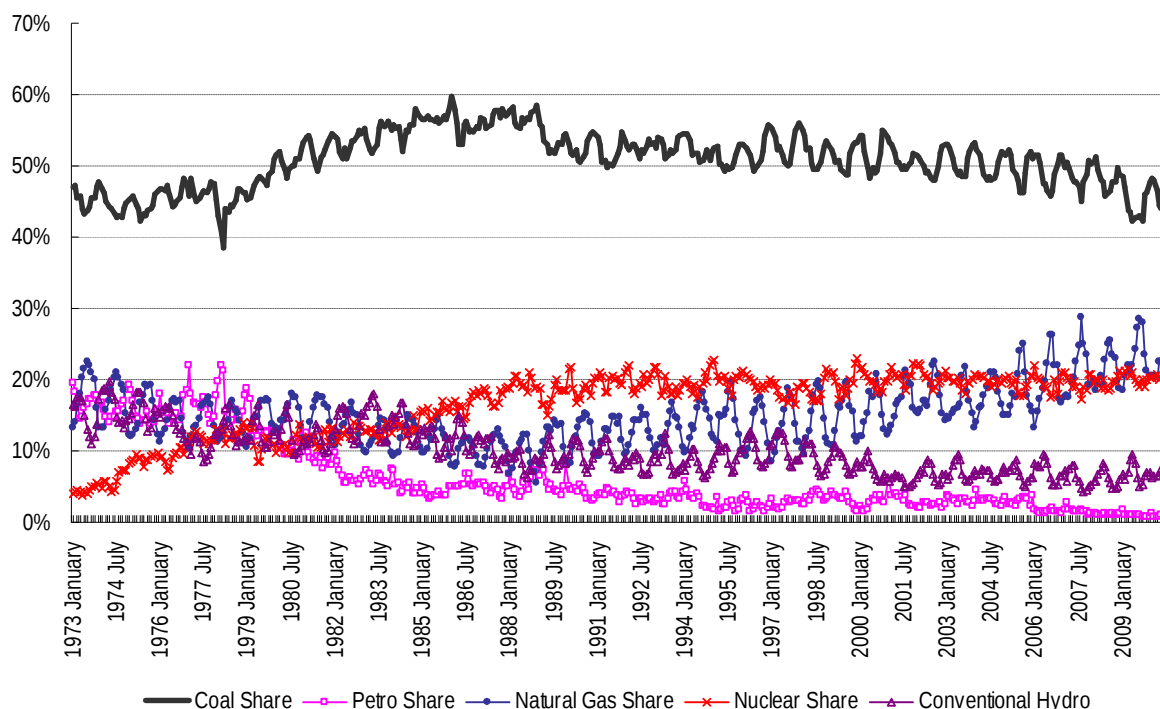
图 2: 社会总发电量，煤电，汽油发电，天然气发电，传统水力发电和核能发电自 1973 年以来的发展变化趋势



单位: million KWH 左轴: Total Elec, Coal 右轴: Petrol, Natural Gas, Nuclear, Con. Hydro

资料来源: www.eia.gov, 东海证券研究所

图 3: 煤电发电, 汽油发电, 天然气发电, 核能发电及传统水力发电占总发电量份额的历史变迁



资料来源: www.eia.gov, 东海证券研究所

美国社会总发电: 1973 年, 美国社会的总发电量大约是 1864BKH(十亿千瓦时), 此后一直处于上升趋势。在 2007 年时达到最高峰, 为 4157BKH。2008 年和 2009 年由于经济危机而略有下降, 总发电量分别是 4119BKH 和 3953BKH。在 1973 年至 2009 年期间, 社会总发电量的年复合增长率大约为 2.1%。

煤电发电: 发电量处于较为平缓的上升趋势中, 而其占比社会总发电量则在 40%~60% 的范围内徘徊。1973 年, 煤发电量约为 848BKH, 大约占社会总发电量的 45%。其后虽处于上升通道中, 但总体上来讲, 其上涨可以说比较平稳。尤其是煤发电在社会总发电量中的占比一直比较平坦, 最低时占比大约 42%, 最高时则为 58%。煤发电量在 2007 年达到近期的顶峰, 约为 2016BKH, 占比 48.5%。2009 年的煤发电量为 1764BKH。1973 年至 2009 年, 煤发电量的年复合增长率为 2.0%, 基本等同于社会总发电量的年复合增长率。

汽油发电: 发电量和占比都呈现明显下降趋势。近几年来, 汽油发电占社会总发电量的比例一直维持在 1%~2%。1973 年, 汽油发电量大约为 314BKH, 占比 17%。在 1978 年达到最高峰大约为 365BKH, 占比仍在 17% 左右。而后在经历了第二次中东石油危机后, 汽油发电量剧烈下滑, 在 1985 年时仅为 100BKH 左右, 占比 4%。1980 年代的后半段, 汽油发电量又略有上扬, 但在进入 1990 年代后至今, 基本就处于缓慢下降的趋势。2009 年, 美国社会的汽油

发电量大约是 39BKH，占比仅 1%。1973 年至 2009 年期间，汽油发电量的年复合下降率大约是 5.5%。

天然气发电：发电量和占比，尤其是占比呈现明显上扬趋势。1973 年，天然气发电量为 341BKH，占比 18%。1990 年代前，天然气的发电量基本保持在稳定的水平，1989 年的天然气发电量也只有大约 353BKH，占比 12%。但 1990 年之后，天然气的发电量就有了就相当令人瞩目的增长，2009 年的天然气发电量已达到 920BKH，占比 23%。1973 年至 1989 年的年复合增长率大约在 0.2%，而 1990 年至 2009 年的年复合增长率则高达 4.6%。

传统水力发电：发电量虽然呈现缓慢上升的趋势，但其占比社会总发电量则显示下降的趋势。1973 年，传统水力发电量为 275BKH，占比 15%。1997 年时，传统水力发电量达到近期顶峰，为 356BKH，占比 10%。2009 年，其发电量为 272BKH，占比 7%。1973 年至 2009 年的年复合增长率接近于零。

核能发电：无论从发电量还是占比社会总发电量都显现出令人瞩目的增长趋势。1973 年，核能发电量仅为 83BKH，占比 4.5%。此后，核能发电就一直处于较快的上升通道中（快于社会总发电量的增长速度），2009 年的核能发电量为 799BKH，占比 20%（实际上，自 1990 年初开始，核电的占比就一直稳定在 20%上下）。1973 年至 2009 年期间，核能发电的年复合增长率为 6.5%，而其占比的增长率则达到了令人瞩目的近 400%。由此可见，随着汽油发电的逐步减少，核能发电作为一种替代品的确扮演着非常重要的角色。

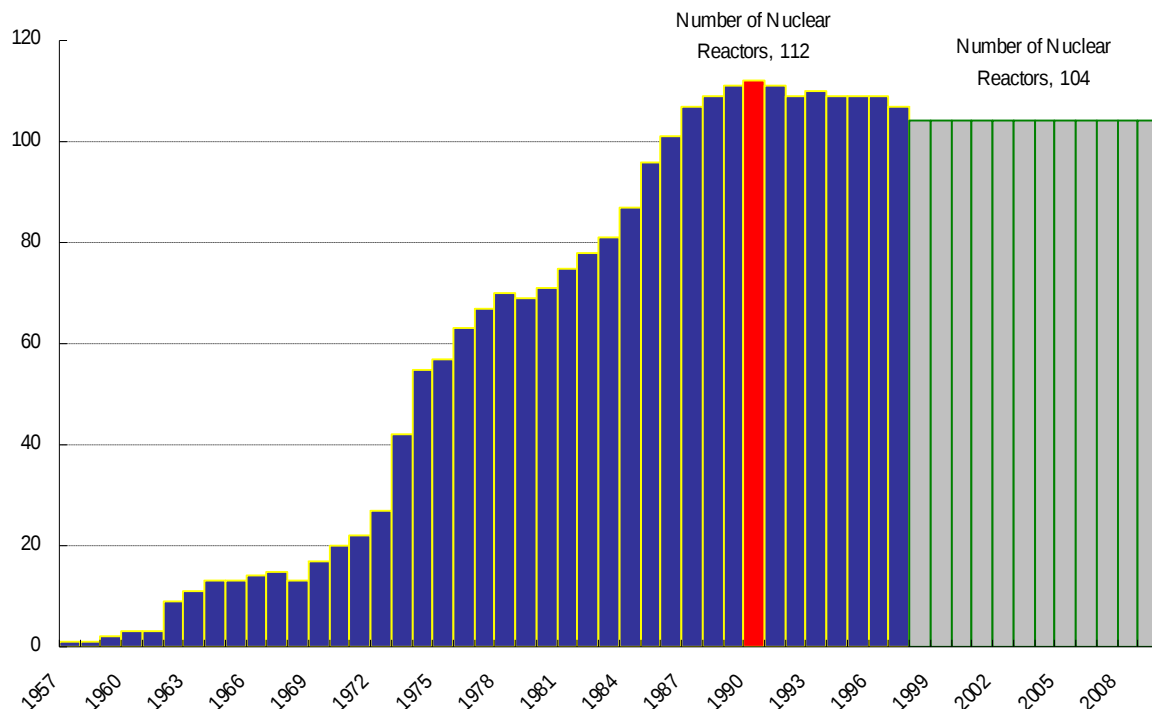
（电能还有其它的来源，如：木材，废物和地热等。由于它们的占比极其微小，所以在计算时没有统计进去）

2.1.2 核能发展史

世界的第一座核反应堆(Chicago Pile I)在 1942 年的 11 月~12 月期间，由著名的物理学家 Enrico Fermi 带领，在美国的芝加哥大学建成。最初建立的核反应堆都是用于军事目的，尤其在第二次世界大战期间（1945 年 7 月，在著名的 Manhattan Project 中，世界第一颗原子弹得到测试。而后在 8 月，美国分别在日本的广岛和长崎投下了两颗原子弹从而结束了第二次世界大战）。战后，美国政府建立 Atomic Energy Commission(AEC, 原子能委员会)鼓励核能的民用化。1946 年，AEC 授权在 Idaho 州的仅 1000 人的小镇 Arco 建立核反应堆 Experimental Breeder Reactor I。在 1951 年 12 月 20 日，该反应堆第一次由核能产出电能，点亮了 4 盏灯。到了 1955 年 7 月 17 日，Arco 的能量使用第一次都由核能提供。第一家商用核电厂则是于 1957 年在 Pennsylvania 州的 Shippingport 市建成。1963 年 12 月 12 日，Jersey Central Power and Light Company 宣布将建立一家核动力厂，其用途在于作为石油燃料厂的在经济上

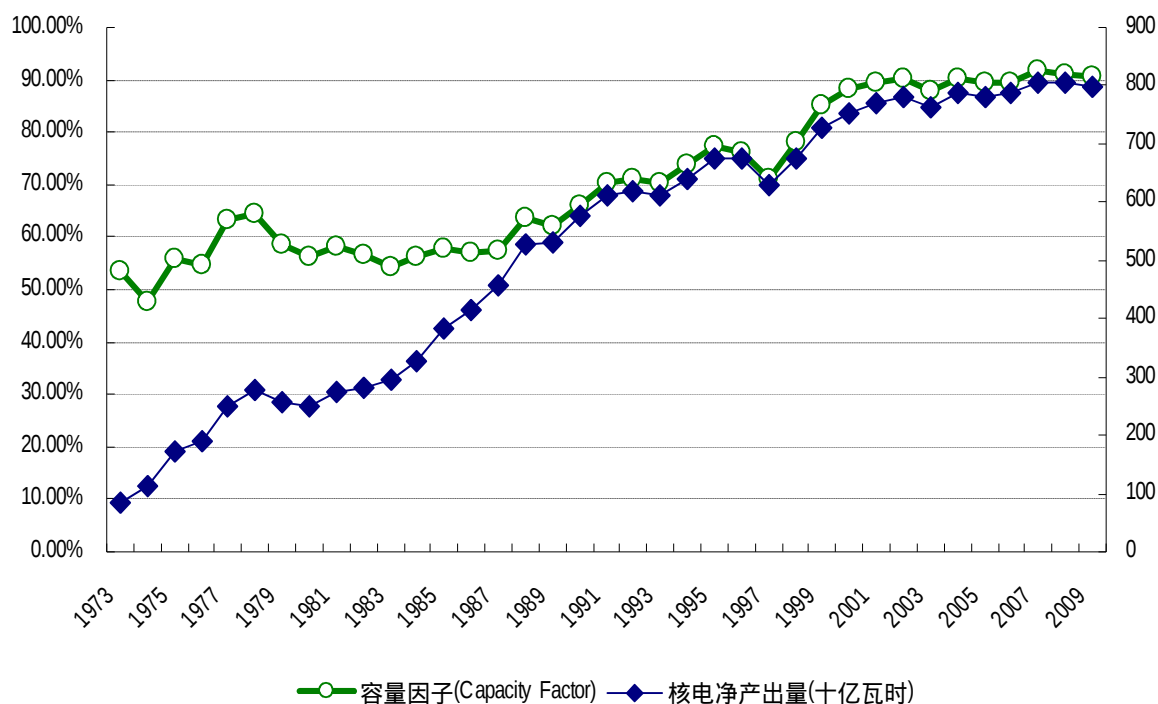
可行的替代。从此核电的发展开始步入正轨。核反应堆的数量，核电产出量以及容量因子（capacity factor）都呈现显著上扬的趋势。

图 4: 美国自 1957 年建设了第一座核反应堆后，在运营的核反应堆数目变化情况



资料来源: www.eia.gov, 东海证券研究所

图 5: 美国自 1973 年核电净产出和容量因子的逐年变化情况



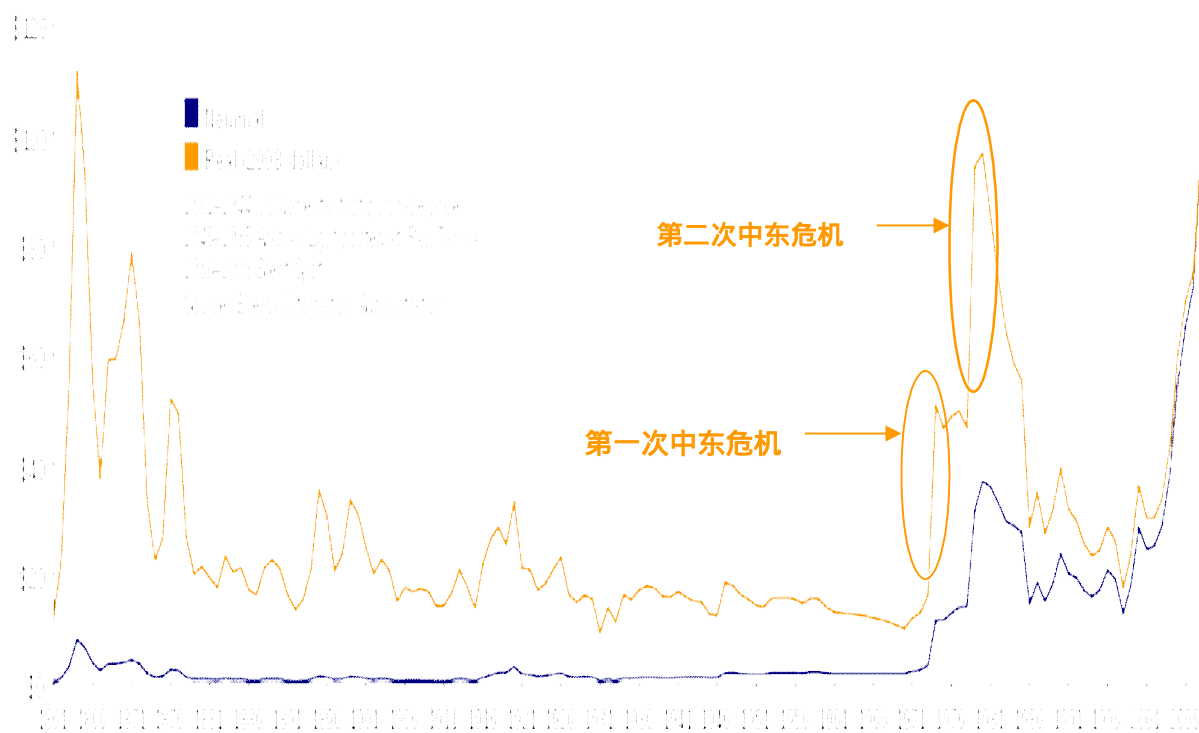
左轴: 容量因子(动能厂的能量实际产出与满负荷情况下的产出间的比值); 右轴: 核电净产出(单位: 十亿瓦时)

资料来源: www.eia.gov, 东海证券研究所

图 4,5 这两张图中比较引人注目的地方在于 1990 年代后半期开始, 美国核反应堆的数量, 核电净产出量及容量因子都开始显现稳定状态, 这与在过去 20 年中, 核电占比社会总发电量一直稳定在 20% 上下呼应。

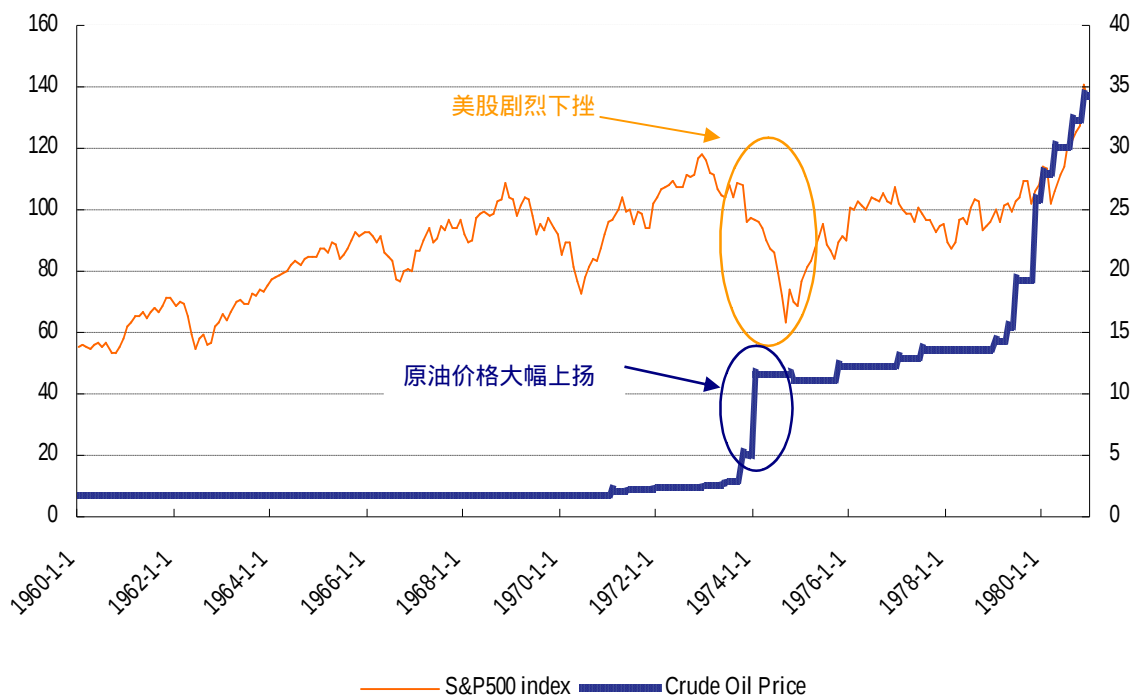
原油危机催化核能利用的历史转折点出现: 对核能发电真正意义上的关注开始于 1970 年代。1973 年爆发第一次中东原油危机, OAPEC(OPEC 中的 Arab 成员国)为了抗议美国在 Yom Kippur 战争中重新开始向以色列提供军火, 开始了联合一致的石油禁运。国际原油价格在期间大幅飙升, 同时伴随着的还有股市的急剧下泻。1979 年由于伊朗革命, 又爆发了第二次中东原油危机。

图 6: 两次中东石油危机爆发过程及前后中, 国际原油价格大幅波动



资料来源: <http://en.wikipedia.org>

图 7: 第一次中东危机时, 随着原油价格的大幅上扬, 股指同时剧烈下挫



资料来源: Bloomberg, 东海证券研究所

在第一、二次中东石油危机期间, 国际原油价格分别上扬了接近 130% 和 170%。在第一次石油危机爆发期间, 美国 S&P500 指数跌幅最严重时一度接近 50%。正是在这样的大环境下, 世界各国 (尤其是美国和当时的西欧各国) 考虑到本国能源和地缘政治的安全性, 开始探寻原油的替代品。也正是在这样的情况下, 核能开始登上了历史舞台。

至此, 我们已能看出, (1) 核能在 1970 年代至 1990 年代的大约 20 ~ 25 年里有了长足的发展, 其主要表现在对于汽油发电的替代上, 核电扮演者极其重要的角色, 虽然并无证据表明这是唯一重要或最重要的角色 (天然气发电等的替代作用同样非常重要); (2) 核能发电占社会总发电量的百分比从 1990 年代开始就一直维持在 20% 上下。汽油发电的占比自 1990 年代开始至本世纪初, 则维持在 3% ~ 5% 之间; 之后的占比则基本维持在 1% ~ 2% 之间。 (3) 核电在美国电能市场的进一步发展自 1990 年起并未出现。

2.2 现状: 虽不令人振奋, 但潜在的碳排放限制可能赋予新的生命

美国核工业在经历了数十年的不确定性后已显示较为光明的前景。1978 年以来, 无新的核动力厂被建设, 相反超过 100 座核反应堆的建设被取消, 包括所有在 1973 年后开始兴建的核反应堆。最近的一座兴建完毕并开始运作的核反应堆在 1970 年开始建造, 获执照于 1996 年开始运营。但核能现在由于

波动剧烈的原油价格，非常可能出台的二氧化碳排放限制措施和新的联邦政府的补贴和激励政策而又获得广泛的关注。

美国的核能工业现在拥有位于 31 个州的，65 个地点的获得运营执照的 104 座反应堆。核电占美国社会总发电量的 20% 左右。每年的核电产出高于汽油发电和水力发电，稍稍低于天然气发电。核能发电量显著低于煤炭发电量（煤炭发电量占美国社会总发电量的一半左右）。2008 年美国核能发电量达到近期的顶峰，为 8420 亿千瓦时，超过了整个 1960 年代美国社会的总发电量。导致核工业在美国的扩张被停止了近 30 年的主要原因是较高的资金成本，公众对于核安全和核废料的担忧，以及依从规则所带来的成本支出。其中较高的建造成本是妨碍核能扩张的最主要因素。

现存反应堆在运营上的平稳表现，极为可能的碳排放限制，波动剧烈的原油及天然气的价格已经或正在促使发电工业重新考虑兴建新的核反应堆的可行性。目前已有公用事业公司和其它类型的公司在申请 30 份联合在一起的建造许可和运营执照。在申请运营执照的核反应堆主要是 Westinghouse 的 AP1000 型，其次是 Areva EPR 型。根据核能监管委员会的计划安排，即将到来的第一份运营执照将在 2011 年或 2012 年发出。如果在收到运营执照后立即开始全规模的建造，第一座新的核反应堆将很可能在 2020 年前开始运营。不过需要指出的是，到底有多少反应堆在收到运营执照后会开始建造仍有很大的不确定性。可能的主要影响因素有建造成本，融资状况，建造产能，原油价格，联邦激励政策和碳排放限制政策。在这样的情况下，新的核能产出将会出现在 0 ~ 100GW 的范围内。

2.3 政策：监管全面，力度不小

美国的核工业一般已认同核能产出的大扩展不能没有联邦政府的支持。2005 年的能源政策法案(Energy Policy Act of 2005)包含有显著的，建造新的核能设施的激励措施。这些措施包括（生产）课税扣除，贷款担保，监管措施延误保险，以及 Price-Anderson 核责任体系法案的延伸。

2.3.1 课税扣除及贷款担保

对于新建的产能在 6000MW 以下的核设施，在第一个 8 年的运营中，2005 年的能源政策法案提供 1.8 美分/kwh 的（生产）课税扣除，以 US\$125million/1000mw 为限。

2005 年能源政策法案授权对先进的旨在减少温室气体排放的能源项目，包括新的核能动力设施，进行联邦贷款担保。担保金额的上限以建造成本的 80% 为限。这一贷款担保被核工业广泛地认为是为新的核反应堆融资的关键。但能源部于 2007 年 5 月 16 日颁布的贷款担保细则却受到了核工业严厉的批

评。批评的焦点集中在担保额被限制在项目负债额的 90%。核工业希望负债总额得到 100%的担保只要负债总额不超过整个建造成本的 80%。能源部的解释是如果进行 100%的担保，将会降低放贷者的进行尽职调查的主动性，反而会增加项目出现资不抵债的风险。最终，能源部同意 100%的负债额担保，但仅限于联邦融资银行的贷款。法案同时要求预先估计由于出现资不抵债而导致的政府成本应由专款或项目资助方以前端费的形式支付。

2.3.2 核能的研发

能源部的核能研发项目包括先进的核反应堆，燃料循环技术及设施，和基础设施方面的支持。Obama 政府的最初针对核能研发活动的 FY2010 集资要求大约在 7.6 亿美元，较之 FY2009 的集资水平低 3000 万美元左右。2009 年 10 月 28 日签署的 FY2010 能源及水务发展专款法案提供近 7.9 亿美元。2005 年能源法案授权到 2015 年为止拨款 12.5 亿美元以研发下一代的核动力工厂。下一代核动力工厂以 Generation IV 项目的研发为基础，必须能够产电，氢或两者皆而有之。

能源部的燃料循环研发项目由原先的工程规模发展和样机再处理设施重新定位至较小规模，长期的，以科学为基础的研发。FY2010 对该项目的拨款额在 1.92 亿美元左右，较之 FY2009 年的水平高出 5000 万美元。其中的 3500 万美元用于建立针对极端材料的能源创新中心。

2.3.3 核动力厂的安全及监管

纵观核能发展的历史，有关它的安全的争议从来就没有停止过，尤其在发生了 1979 年 3 月的三里岛（位于宾夕法尼亚州）事件和 1986 年 4 月的切尔诺贝利核电站事故后，更是如此。

就公共安全的后果而言，美国核工业的安全记录与其它形式的商用能源技术相比较是非常好的。三里岛事件发生后，有关方面曾经作过一个针对居住在方圆 5 里的 32000 位居民的调查。调查结果是到 1998 年为止，并没有出现癌症发病率的提高。

在核动力厂处于正常运转过程中而释放的极小量的放射物一般被认为不具有显著危害。从科学上来讲，对于露置于低水平的放射条件下所承担的风险具有很大的不确定性。就像很多致癌物质和其它有害物质，对于健康的影响只能在暴露于相对较高的放射条件下才能衡量。

在这样的情况下，美国能源监管委员会的安全规则的设计目标是保持每年，每一核反应堆发生核心危害事故（燃料熔化）的概率于万分之一之下。规则同样倾向于确保反应堆的外壳在 90%的时间里处于安全状态，这样一旦出现

核心危害事故，核泄漏就能够被防止住。因此，任何反应堆发生主要泄漏事故的概率就能被控制在十万分之一/年之下（目前美国有 104 座核反应堆在运转，十万分之一意味着就平均而言，核心危害事故每 100 年发生一次；主要的泄漏事故每 1000 年发生一次）。

在遵守规定方面，能源监管委员会规定每一核动力厂需有两名驻厂检验员。驻厂检验员惯例检查厂的系统，观察核反应堆操作人员的表现，准备惯例检验报告。对于出现严重的安全违背操作的核动力厂，能源监管委员会派出特别检查团队驻厂。

2.3.4 核反应堆安全

核动力厂长久以来一直被认为是恐怖袭击的潜在目标。所有获得能源监管委员会执照的商用核动力厂都有一系列物理的障碍物以阻止进入到反应堆的关键部位并要求有训练有素的安全力量存在以保卫核安全。2009 年 2 月 17 日，能源安全委员会经投票决定要求所有新的核动力设施具有这样的防护设计，即当出现大型商用飞机坠毁事件发生时，反应堆的核心部位保持冷却状态或者核反应堆外部防护壳保持完整，并且放射物质不会由已使用过的燃料储蓄池中泄漏出去。能源监管委员会没有同意在现存的反应堆上加装外部钢防护壳以应对可能出现的飞机坠毁事故。尽管如此，在 2001 年 9/11 事件发生后，能源监管委员会对所有核反应堆在应对飞机失事这样的事故时提出额外要求。另外，2005 年能源政策法案要求能源监管委员会对核设施配备的安全力量每三年检查一次。

2.3.5 核设施移除(decommissioning)

能源监管委员会要求拥有核设施的公用事业部门向特定的信托基金捐款以确保在核放射物质和保护设施在核反应堆的寿命结束后被移除时，有足够的资金可以被使用。

2.3.6 核事故责任

Price-Anderson 法案对一旦出现核事故而对公众造成损害的责任作出规定如下：商用核反应堆的拥有者必须承担由法律系统判决生效的，因为核事故而造成的对公众的损害的赔偿。在出现严重的放射物泄漏事故后，这些核设施的拥有者必须放弃他们大部分的由法律赋予的辩护权。

2.3.7 核废料的管理

核能源中最富争议性的一个方面是对放射性废料的处理，这些放射性废料如若不经处理，其危险性将存在数千年。每一座核反应堆一年平均产生高度放射的核废料大约 20 公吨。美国一年新产出的这样的核废料就超过 2000 公吨。这些核反应堆还产出大约 40000 立方米的低水平的放射废料。

联邦政府承担永久处理这些核废料的责任，而各州则有权发展核废料处理设备以处理大部分的低水平的核废料。根据核废料政策法案，各种核废料必须被隔绝并深埋于地下储藏室。这些储藏室的地理结构要求是经过成千上万年都不会受到干扰。1987 年，仅有 Nevada 州的 Yucca Mountain 成为唯一的候选地点。但现在的 Obama 政府已决定终止这一项目的继续进行。Yucca Mountain 的替代点尚由一组所谓的“蓝带”专家在评估。

2.3.8 核武器扩散

对核能的兴趣在全世界的重新燃起增加了公众对核武器扩散的担心，因为用以制造核燃料的技术也可以用来制造核武器。最让公众担心的是铀的浓缩技术和核废料的再处理。国际原子能署指导一个安全项目旨在防止民用核燃料设施被用于军用目的。但并非所有潜在的武器扩散项目都处于国际原子能署的监管之下，所以对此机构的监管效果已存在愈来愈多的疑问。在世界上已发生数起虚假的商用铀浓缩及再处理技术被暗中用于军事目的。国际防核扩散政体的领袖们已经建议了不少方法用来控制这类双重用途的技术的传播。这些建议主要是指对不进行铀浓缩和核废料再处理给予物质激励。

2.4 未来：经济性决定一切

要探讨核能的未来，首先就要简略检讨一下美国的铀储量情况。其次是上面“核能发展史”中提到过的核能的替代作用，即：核能的未来将是继续在电能市场中还是会在终端产品的使用上发挥更大的作用(用核能驱动来替代原油驱动)？最后探讨一下核能发电的经济性。任何一种商品如若在经济上不可行，则其发展前景将不会光明，哪怕政府在短期会有政策扶持或补贴。世界上没有一个政府会对某项商品的发展永远扶持补贴下去。只有在经济性上可行，核电才会有比较光明的发展前途。

2.4.1 铀在美国的储备情况

美国能源信息署在 2008 年底修订了美国铀储量的数据，这是该机构自 2004 年以来第一次修订这一数据。更新的数据主要来源于公司的年报，公司在各类会议上披露的信息，私人联系及行业中专家的判断等。

截止到 2008 年底，在 MFC(Maximum Forward Cost, 最大远期成本)为 100 美元每磅 U_3O_8 的条件下，美国的铀储备约为 12.3 亿磅。在 MFC 为 50 美元每磅 U_3O_8 的条件下，铀储备量约为 5.4 亿磅。按照 1999 年~2008 年的平均消费水平，在 MFC 为 100 美元的条件下，这些储备可以满足大约 23 年的需求。如果在 MFC 等于 50 美元的条件下，大约只能满足 10 年的需求。尽管如此，美国国内的铀产量，就平均而言，只提供大约 10% 的核燃料需求。所以，国内铀供应所能满足的有效年数实际比上面的计算数要高得多。

美国的铀储量主要分布在两个州，Wyoming 和 New Mexico。在 MCF 等于 100 美元的情况下，两州的铀储备量占全美铀储量的 2/3；在 MCF 等于 50 美元的情况下，两州的储备量占全美铀储备量的 3/4。以开采方式分类的话，在 MFC 上至 100 美元的条件下，在地层下的铀矿占总储量的 1/2 不到。在 MFC 等于 50 美元的情况下，通过 ISL(in-situ leaching, 开采铀或铜的一种方式)可获得的铀大约占整个铀储量的 40%。目前，ISL 在美国是铀开采的主要方式。

表 1: 历史估计铀储量 (百万磅)

年份	MFC 上至 30 美元	MFC 上至 50 美元	MFC 上至 100 美元
1993	292	952	1511
1994	294	953	1501
1995	290	947	1493
1996	285	939	1480
1997	281	931	1466
1998	276	923	1452
1999	274	908	1432
2000	271	904	1430
2001	268	899	1422
2002	266	896	1418
2003	265	890	1414
2008	102	539	1227

资料来源: EIA, 东海证券研究所

2.4.2 核能的替代作用分析

不同于 Toth 和 Rogner 在他们的研究文章《Oil and Nuclear power: Past, present, and future》中的观点，我们认为核能，在可见的将来，在能源市场将始终扮演原油发电替代品的角色，想要在终端产品的使用上有大作为则相对比较困难。

上世纪七，八十年代起，核电能够成为汽油发电的替代品的最主要原因有两个，一是 70，80 年代的技术进步（涡轮和循环技术）使得天然气和核能在电能市场中已可以扮演越来越重要的角色。二是同期（指上世纪 70,80 年代）

OPEC 国家在国际原油市场上的市场份额角力以及两次中东石油危机导致的原油价格的大幅波动，使得很多国家，尤其是许多 OECD 国家开始致力于寻找原油的替代品，业已成熟的技术又使得在电力市场最容易找到原油替代品。核能由于它的一些独有的特点使之成为原油替代品的首选之一。当时普遍认为，核能具有较低的燃料成本，较低的燃料和废物体积，相对巨大且在全球分布比较均匀的储量（不像原油仅在世界的为数不多的几个国家有比较丰富的储量）。其它国家如：法国，瑞典，日本，瑞士，韩国，比利时和德国同时还认为核能的利用不但能提供技术上的多样化及供应方面的安全，而且认为世界的石油时代已接近尾声，原油应该留存给诸如交通运输和化学原料等更为重要的市场而不是在其它用途方面被大规模地烧掉。也就是说大规模地烧油发电已不合时宜。

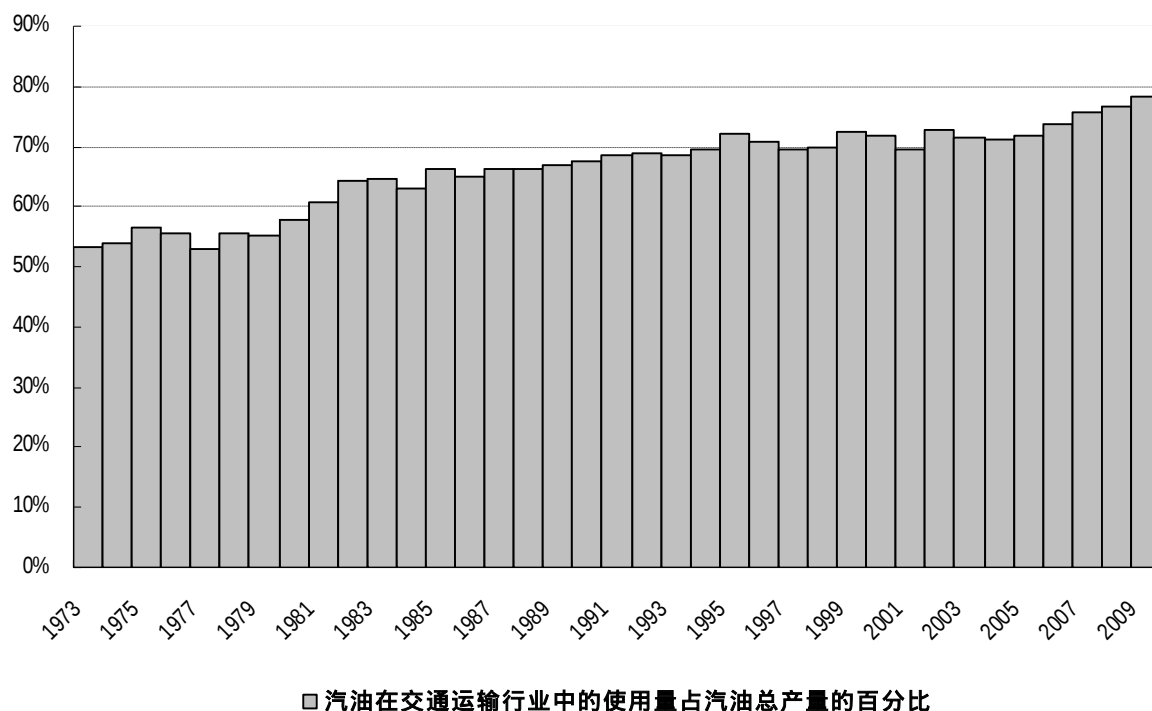
进入上世纪九十年代后，核能发电未能进一步在电能市场上有所作为，其主要原因有：

(a)社会公众对核能在经济性，运行安全性，核扩散，放射性废物的处理等方面开始担忧。以经济性为例，较大规模的核动力厂在 1970 年代初的核电厂的建造成本大约在\$210/kw，1980 年代初则已上升至大约\$1200/kw，到了 1980 年代末，这一成本进一步上升至大约\$2000/kw。2008 年，在 Florida 州的两座 AP1000 核反应堆的建造成本已高达近\$8000/kw。即使考虑通胀因素，1970 年代初的建造成本-\$210/kw 到了 2008 年大约为\$1100/kw，涨幅的确显著，但与\$8000/kw 相比，通胀的贡献实在不能算什么。建造成本出现如此令人瞠目的涨幅主要原因还时归咎于当公众对核设施的安全性产生越来越多的担忧后，能源监管委员会(NRC)以及它的前身原子能监管委员会办公室觉得需要做些什么以便于给公众一个交代，结果是 NRC 不断地提高对核设施在安全防护方面的要求，这导致相当部分的核设施在建设到一般时，由于新的措施出台，而不得不重新翻修，有时是全部推到重头再来。有些措施，在核工业的专家们看来是如此地超乎必要地严格，以致更本不可能在建造前作预判。工期成月，甚至成年地被拖延。另外，核设施建造地区时常有环境及健康保护人士的抗议活动，在相当程度上也是工期一拖再拖的一个重要原因。工期拖得越久，成本就越高。

事实上，正是出于上述的种种原因，自 1974 年以来，没有新的核能发电厂再被完全建成过（并非因为技术上的原因，主要还是高启的成本和出于安全性考虑的各种层出不穷的新规定使得在建的核能厂或被耽搁，或被取消）。

(b) 由于技术方面的原因，原油作为能源的来源在交通运输行业中始终处于支配地位。原油在提供化工原料中的重要元素碳上的地位在看得见的将来还难以被替代。

图 8: 美国 1973 年以来汽油在交通运输行业的使用量占汽油总产量的百分比变化情况



资料来源：www.eia.gov，东海证券研究所

汽油在交通运输行业中的使用量由美国能源信息署网站直接提供而汽油总产量则由我们将 EIA 直接提供的 Total Petroleum Field Production 加上汽油净进口量得到的。

从图上可以看出，这一百分比不但没有下降而且呈现略略上扬的趋势。在 1973 年，这一百分比是 53%，而在 2009 年，这一百分比已上升至 78%。原油在交通运输行业内的地位非但没有被削弱，而且在一定程度上得到了加强。从另一个角度上说，核能的未来还是会比较多地出现在电能市场上，想要在终端产品的使用上，尤其是在交通运输行业内取代原油还有很长的一段路要走（在看得见的未来，尚难想象飞机或汽车将会用核能来驱动。虽然早已有了核潜艇，所有轮船的驱动都用核能这一天恐还看不见）。

2.5 核电的未来

“今天，核能并非是个在经济上有竞争力的选择。况且，不像其它能源技术，核能因为安全，核扩散以及废料处理的问题需要政府的深层次介入。尽管如此，如果，在将来，二氧化碳排放被赋予一个显著价格的话，核能极可能成为一个重要的-实际上极为关键的电能产出的选择。虽然我们并不很确定地知道这将在何时发生，但我们相信，核选择应该被保留，因为这是一个重要的，无碳的，将来对电力的供应将作出显著贡献的动力来源。

为将来而保留核选择要求在以下四方面作出有效应对：成本，安全，核扩

散和废料处理。如果显著数目的新的核设施在越来越多的国家建立起来，上述四个方面的挑战的严重性将大为增加。应对这些挑战的努力只有在核能在减少全球变暖上贡献巨大才可具有合理基础。...”

- “The Future of Nuclear Power”, MIT 2003

核能的未来离不开对成本，安全，核扩散和核废料处理的有效应对。由于在安全防护，核废料的处理方面已不再有太大的技术难题，所以成本应对将是决定核能前途的最为关键的因素。如果投资者预期中的核电成本能够低于经风险调整的使用其它技术（如：煤，天然气，可再生能源等）发电的成本低时，投资于商业核发电设施的时代才会到来。核发电厂虽然具有相对较高的资金成本，但同时它的边际运营成本又很低，所以核发电能够在基本负载与其它形式的发电竞争。尽管目前促进可再生能源使用的力度在不断加大，在未来 50 年，为了平衡电能的供需，在电产能上的增加及替换投资（如果不考虑核电的话）将主要依赖于天然气和煤。因此，在考查核电的经济性时，我们主要将其与天然气和煤在基本负载方面进行比较。

按照 MIT(麻省理工学院)在 2003 年撰写的研究报告 “ THE FUTURE OF NUCLEAR POWER ”，在进行成本比较之前，还需在以下三个方面的假设做一些解释：

(a)目前运营中的核电厂都是国营的或虽由投资者拥有但受到政府严厉监管的垂直整合的垄断企业。在这样的市场结构下，由建造成本，运营表现，燃料价格变化和其它因素带来的风险都由消费者承担。但这样的市场结构在发达国家和越来越多的发展中国家正在发生改变，未来的市场结构将更有利于竞争。在更具竞争性的市场，是投资者而不是消费者将承担由建筑，运营等引起的不确定性而导致的风险。

(b)在 1980 年代和 1990 年代早期完成建造的核电厂的成本都非常高（这样的情况不但出现在美国，在绝大部分的欧洲国家也如此），远远高于甚至是现在（而不是那时）估计的成本，其中的原因至今未能彻底搞清楚。因此，历史在这里不具有参考价值。换句话说，未来建造核电厂的成本仍具有很大的不确定性。即使对核电厂的投资在一张电子表格上显得很具有吸引力，投资者仍将面对在某一特别地点建造核电厂所带来的监管和政治方面的挑战。

(c)在基本情形下比较核能、煤碳和 CCGT(Combined Cycle Gas Turbine: 联合循环燃气轮机。一种天然气发电技术)发电技术的水平化成本(levelized cost)。水平化成本指的是电的恒定，真实批发价。这一价格能够满足私人投资者的融资成本，债务偿还，收入税以及相关的现金流限制。

表 2: 核, 煤, 天然气在基本情形下的发电成本

不同发电技术的产电成本(真实水平化成本, 美分/千瓦时, 85%容积因素)

基本情形	25年	40年
核能	7.0	6.7
煤	4.4	4.2
天然气(低)	3.8	3.8
天然气(中)	4.1	4.1
天然气(高)	5.3	5.6
天然气(高)先进	4.9	5.1

碳排放限制情形 (25年/40年)	US\$50/吨碳	US\$100/吨碳	US\$200/吨碳
煤	5.6/5.4	6.8/6.6	9.2/9.0
天然气(低)	4.3/4.3	4.9/4.8	5.9/5.9
天然气(中)	4.6/4.7	5.1/5.2	6.2/6.2
天然气(高)	5.8/6.1	6.4/6.7	7.4/7.7
天然气(高)先进	5.3/5.6	5.8/6.0	6.7/7.0

资料来源: The Future of Nuclear Power, MIT 2003; 东海证券研究所

*25 年和 40 年指的是资金恢复期限(capital recovery period)

*在计算中假设通宵资金成本 (overnight capital cost) = US\$2000/KWH

*天然气(低): 指的是天然气起始价格为\$3.50/MMBtu,然后在未来的 40 年里每年上涨 0.5%。

*天然气(中): 指的是天然气起始价格为\$3.50/MMBtu,然后在未来的 40 年里每年上涨 1.5%。

*天然气(高): 指的是天然气起始价格为\$4.50/MMBtu,然后在未来的 40 年里每年上涨 2.5%。

*天然气(高)先进:指的是天然气的价位一直处于高位,并且先进的 CCGT 设计使得热量率能大约提高 10%。

*US\$50/吨碳: 每排放 1 吨二氧化碳, 将被征收 50 美元碳排放税。显然, 如果利用核能发电, 这一碳排放税将不会发生。

从计算结果上可以得出以下结论:

*在碳排放是免费的情况下, 核能发电的成本是最高的, 甚至比出现高价位天然气的情形下还要高出 43% (如果资金恢复期是 25 年) 和 31% (如果资金恢复期是 40 年)。

*在碳排放是免费的情况下, 如果天然气的价格能保持在低至中等价位, 天然气的发电成本是最经济的。比之一般普遍认为很经济的煤发电都还要便宜 2%~14%。

*在每吨碳排放被征税 50~100 美元的情形下, 核能发电仍是最不经济的。天然气发电依旧是最具吸引力的。

*在碳排放每吨被征收 200 美元的情况下，如果天然气的价格能保持在低位，或者能发展先进的 CCGT 设计，天然气将继续在经济性上保持优势，但煤炭的经济性已大为减弱，而核能发电的经济性已超过煤炭发电。

2.6 相关上市公司

在美国，比较有代表性的三家主营业务与核电相关的公司是 Exelon Corp, Entergy Corp, 和 Nextera Energy Inc.

表 3 美国核电相关上市公司

公司	主营业务描述	市值(百万美元)-2010-9-17
Exelon Corp	公共事业服务集团公司。通过下属公司在 Illinois 和 Pennsylvania 州批发电能给用户。该公司批发天然气/煤气于 Pennsylvania 地区的用户。公司亦在 Pennsylvania 和 New Jersey 运营核能厂。	27,835
Nextera Energy Inc.	清洁能源公司，通过其下属公司生产，传输，批发及销售电能。其电能的来源主要是天然气，风能和核能。	22,356
Entergy Corp	主要从事电能的生产和电能的零售批发。主要针对 Arkansas, Louisiana, Mississippi 和 Texas 州的用户。公司在美国的北部也拥有并运营核能厂。	14,325

资料来源：Bloomberg，公司年报，东海证券研究所

表 4 三家公司上市以来股价表现

公司	1980 年代	1990 年代	2000 年代	2010 年至今
Exelon Corp	远远落后于大市的表现。S&P500 指数十年回报 192%，公司回报 61%。	远远落后于大市的表现。S&P500 指数十年回报 317%，公司回报 52%。	远远跑赢大市。S&P500 指数十年回报 -22%，公司回报 168%。	跑输大市。S&P500 指数回报 1%，公司回报 -14%。
Nextera Energy Inc.	略跑输大市，主要是在十年里的后 1/4 段时间，出现较大幅度的跑输。S&P500 指数十年回报 192%，公司回报 169%。	远远落后大市。S&P500 指数十年回报 317%，公司回报 24%。	远远跑赢大市。S&P500 指数十年回报 -22%，公司回报 137%。	基本相当。S&P500 指数回报 1%，公司回报 2%。
Entergy Corp	跑输大市。S&P500 指数十年回报 192%，公司回报 88%。	远远落后大市。S&P500 指数十年回报 317%，公司回报 14%。	远远跑赢大市。S&P500 指数十年回报 -22%，公司回报 223%。	跑输大市。S&P500 指数回报 1%，公司回报 -6%。

资料来源：Bloomberg，公司年报，东海证券研究所

三家公司的股价表现显示出很明显的公用事业公司的股价表现特征。大市走的不好时，它们会表现比较好，而大市走强时，它们的表现则会差很多。

如果考查三家公司上市以来的股价表现（而不是像上表那样分时间段考查），三家公司都跑输大市。在过去的 30 余年里，S&P500 指数的回报是 829%，而 Exelon Corp, Nextera Energy Inc. 和 Entergy Corp 三家公司的回报则分别是 486%，696% 和 520%。

三家公司目前的静态 PE 和今年的动态 PE 如下：

表 5 三家公司目前的静态 PE 和今年的动态 PE

公司/指数	静态(TTM)	当年动态
Exelon Corp	10.88	10.68
Nextera Energy Inc.	12.56	12.26

Entergy Corp	10.66	11.22
S&P500 指数	14.81	13.51

资料来源：Bloomberg，东海证券研究所

2.7 结论

在美国，核能最初是出于军事的目的而发展起来。而后由于国际原油价格的极度不稳定，美国政府出于对国家能源安全及地缘政治的考虑，核能开始被用于民用，并一度在电能市场上得到了极大的发展。随着本土的三里岛事故及前苏联的切尔诺贝利核电站事故的发生，核能在电能市场上的进一步发展受到了很大限制。目前在美国处于运营状态的核反应堆数量在 104 座，而其占电能市场中的份额，自 1990 年代以来，就一直维持在 20% 上下（排在煤电和天然气发电之后位列第三），未能有进一步的发展。

由于全球温室气体效应已成为世界普遍关心的一个大问题，对二氧化碳的排放课税已越来越可能，在不久的将来，成为一个事实。在目前的政策环境下，如果二氧化碳的排放被课税在 200 美元/吨之上，核能发电的经济性就将显露出来。

核能，作为一种清洁能源，在未来，随着各类技术的进一步发展，在电能市场中的地位将会越来越显著。

3. 法国

3.1 法国核电历史是一个军事和民用相结合的历史

法国的核电历史其实是一个军事和民用相结合的历史。为了更好地回顾法国核电应用的历史，我们必须先从法国核军事工业开始。

1) 准备时期（20 世纪 40 年代中期至 50 年代中期）

这个时期，法国主要是成立了原子能委员会（CEA），为发展军事核工业进行了组织上的准备。在克鲁齐尔发现了大型铀矿，并在布歇建立了金属铀生产厂；建立了封特耐欧罗兹核研究中心和萨克莱和研究中心，为制造核武器准备研究基地；并且建立了法国第一座反应堆-EL-1 堆（天然铀重水堆，功率为 150KW），为 50 年代建立武器级钚生产堆奠定了基础。

2) 大规模发展时期（20 世纪 50 年代中期至 70 年代初期）

在这个时期建立了包括从铀矿勘探、开采、冶炼，到核燃料循环、核武器制造、核发电等在内的一套完整的核工业体系。军事核工业取得了大规模的发展。在 1956~1959 年期间在马库尔建成了 G1、G2 和 G3 三座生产堆，生产武器级军用钚（含钚-240 量低于 7%）。1956 年 6 月开始在马库尔建立乏燃料后处理厂。

3) 核电建设高峰期（70 年代中期至 90 年代）

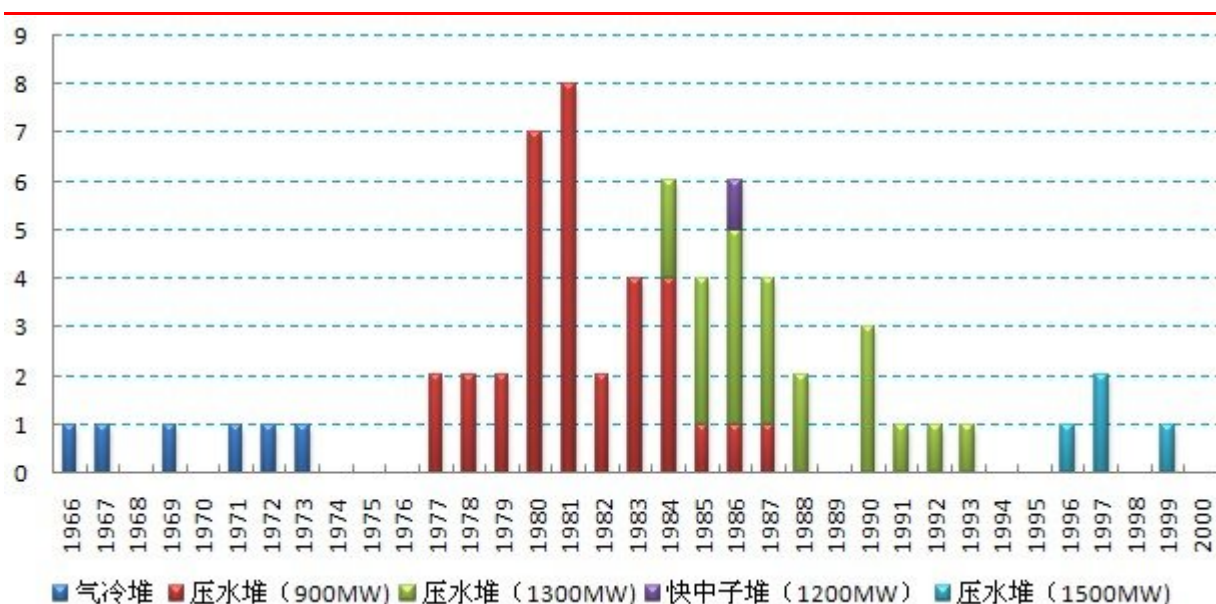
在这个时期，对军事核工业进行了调整，加快了把军事核工业技术转为民

用核工业的速度。1986 年在阿格(Hague)建成了一座乏燃料后处理厂-UP3 厂(年处理能力为 800 t)。

继 1968 年关闭 G1 生产堆之后，在 80 年代初期又关闭了 G2 和 G3 生产堆，与此同时发电动力堆有了很大的发展，1975 年末法国仅有 10 座发电动力堆运行(净发电功率约 286 万千瓦)，1978 年-1988 年是法国核电建设的黄金十年，建成投产的压水堆核电站从 10 台飙升到 50 台。1995 年末有 56 座发电堆在运行(净发电功率为 5773.3 万千瓦)。在建机组 5 台，其装机容量为 712 万千瓦，计划建设的机组 8 台，其容量为 1170 万千瓦。

截止 2008 年 1 月 1 日，法国 90 万千瓦装机平均运行 26 年，130 万千瓦装机平均运行 20 年，145 万千瓦平均运行 10 年。

图 9 法国核电站历年建造数量图



资料来源：东海证券研究所

上图所示为法国历年建造的核电反应堆图，从图中我们可知法国核电反应堆主要类型均为压水堆，且从 70 年代末开始法国进入了核电建设的黄金时期。

法国抛弃了多年自主研制已经成熟，并且已经建成的 6 台核电机组的气冷堆技术（容量上不去，没有规模效应），转而引入美国西屋公司压水堆技术，这个技术上的转变是法国核电蓬勃发展的技术基础。

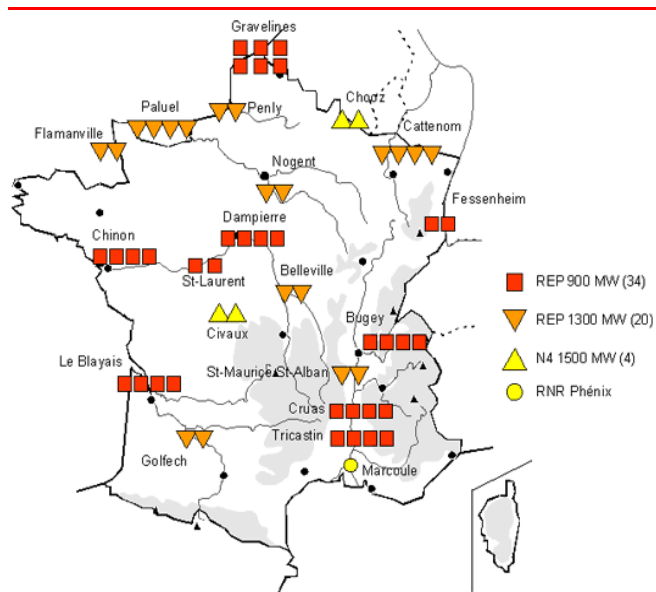
随着战后重建工程的启动，法国工业和民用电力需求剧增，1950 年到 1970 年法国的电力需求增加了 4 倍，使得法国煤矿资源日渐减少，被迫进口大量石油天然气，1974 年进口能源占总能耗的比例超过了 76%，第一次石油危机爆发，使法国能源供给遭受致命打击，法国政府不愿意在能源问题上受制于别人，决定大规模发展核电，迎来了核电建设的黄金时期，也一举奠定了核电在法国

电力工业中的统治性地位。

3.2 法国核电占有重要的地位

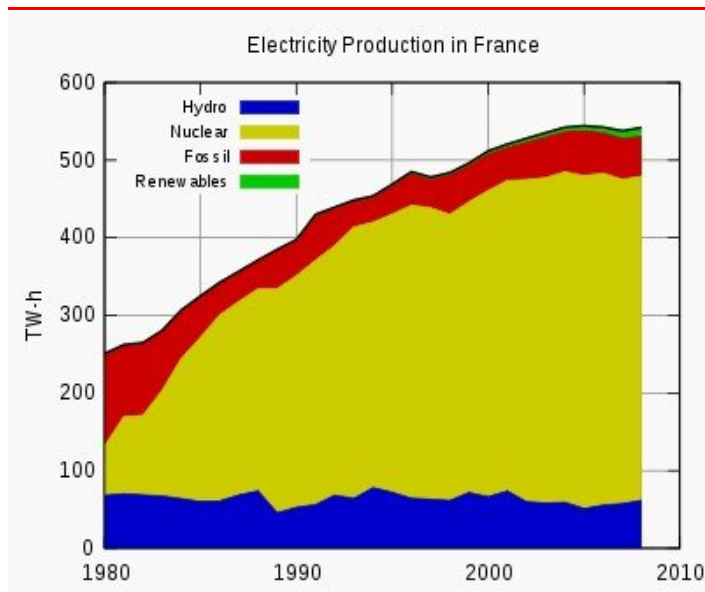
当今，法国核电在世界上占有很重要的位置，法国目前拥有 59 座核反应堆，包括 58 座压水堆和 1 座快中子增殖实验堆，占到了全球反应堆总数的 14%，发电量是全球核发电量的 17%。共有 49 座核电站建立于 1980-1995 年间，核电的发电量从 1980 年以来迅速增长，截止 2007 年，法国核电发电量为 4180 亿千瓦时。

图 10 法国核电站分布图



资料来源：东海证券研究所

图 11 法国核电发电量增长迅猛

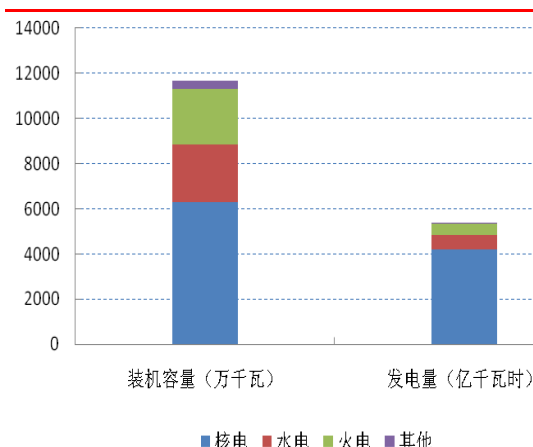


资料来源：东海证券研究所

法国核电分布主要集中在靠近水域的区域，比如沿海或河流区域，这些地方也恰恰是用电集中负荷区域。从 1980 年以来，法国核电发电呈现迅猛的增长，而其他的发电方式发电量基本保持不变。

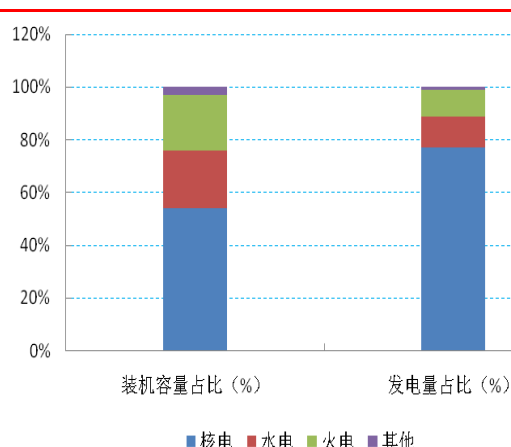
从图 10,11 中我们可以发现无论是从装机容量还是从发电量角度来看，核电在法国的能源结构中占据绝对主导地位。

图 12 法国核电装机容量、发电量图（2007 年）



资料来源：《法国核电价格及相关政策》

图 13 法国核电发电占比具有绝对优势（2007 年）



资料来源：《法国核电价格及相关政策》

3.3 法国核电具有很强的竞争优势

法国电力成本测算可以分为 2 种方式：

1. 私人角度（供应商测算）

总成本=资本成本+运行维护+燃料费用

包含赋税

利息率=根据项目风险评估确定的私人投资回报率

2. 公众角度（政府部门）

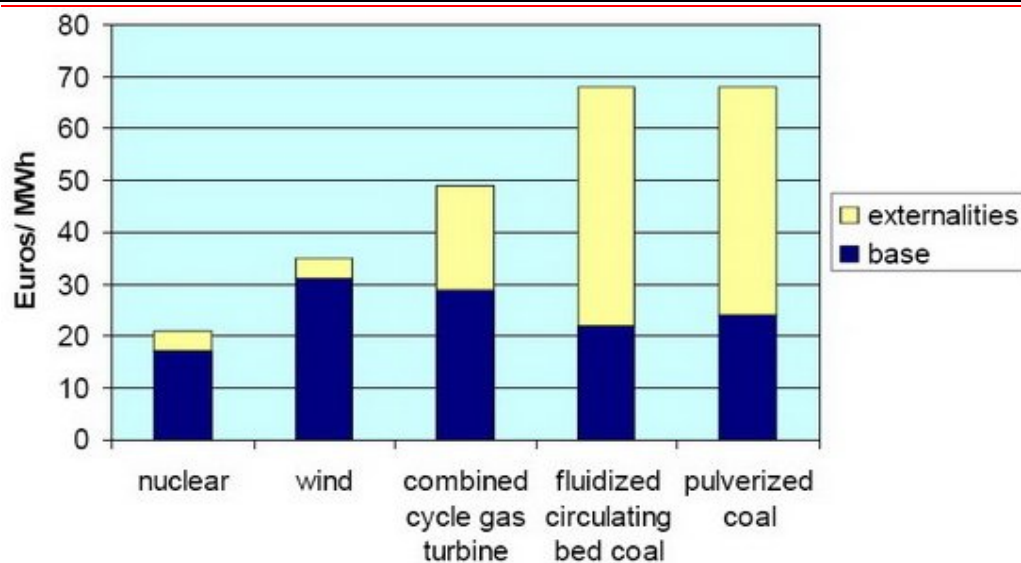
总成本=社会成本=发电成本+外部成本

发电成本中不考虑赋税因素

利息率=长期低风险利率（政府债券利率）

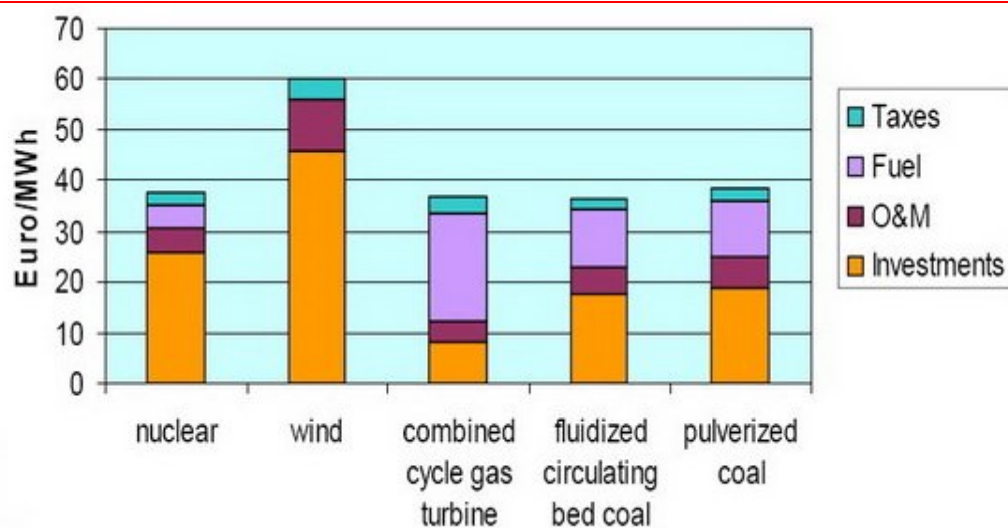
公众角度的观点会影响政府的政策制定，比如能源政策等。而私人角度的观点则决定了投资的策略，最佳的选择是在 2 个不同的角度评估中寻找一个平衡点。

图 14 法国发电成本对比图（公共角度不考虑赋税，包括外部费用，3%的折现率，2003）



资料来源: European energy forum

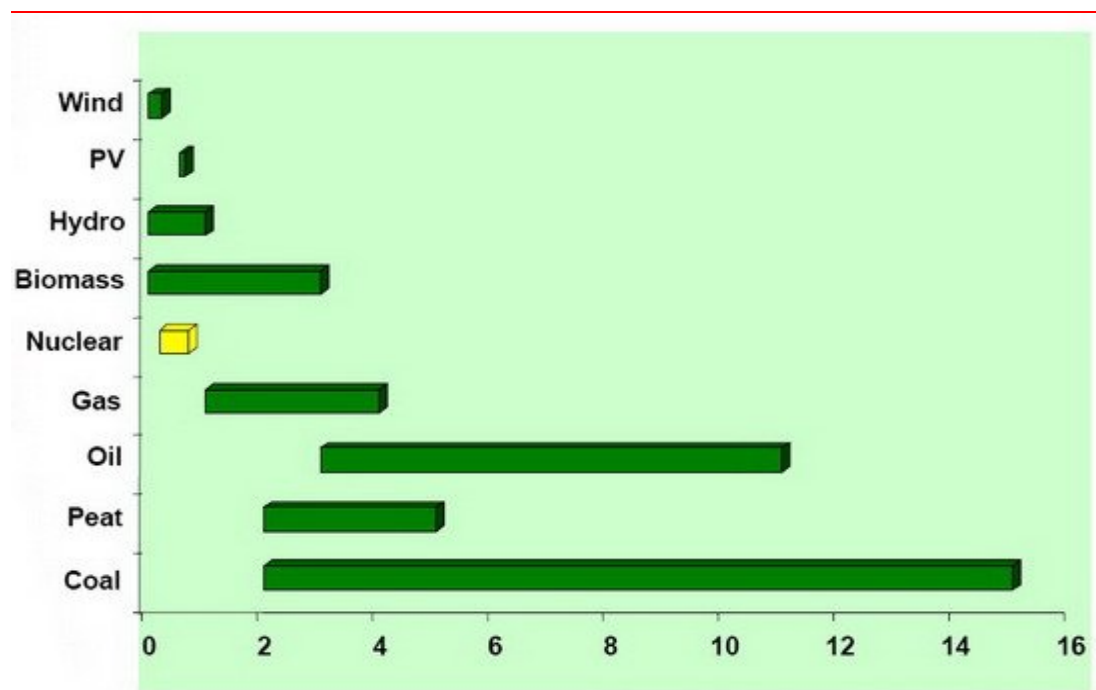
图 15 法国发电成本对比图 (供应商角度, 不考虑赋税和外部费用, 2003)



资料来源: European energy forum

从图中我们可知, 综合考虑 2 个不同的角度因素, 核电的成本相较于其他方式具有明显的优势, 从公众角度, 核电发电成本在 20 欧元/MWh 附近, 同时从供应商角度看, 核电成本在 30-40 欧元/MWh, 而法国的公众民意对政府政策影响较大, 故核电为较好的投资方式。

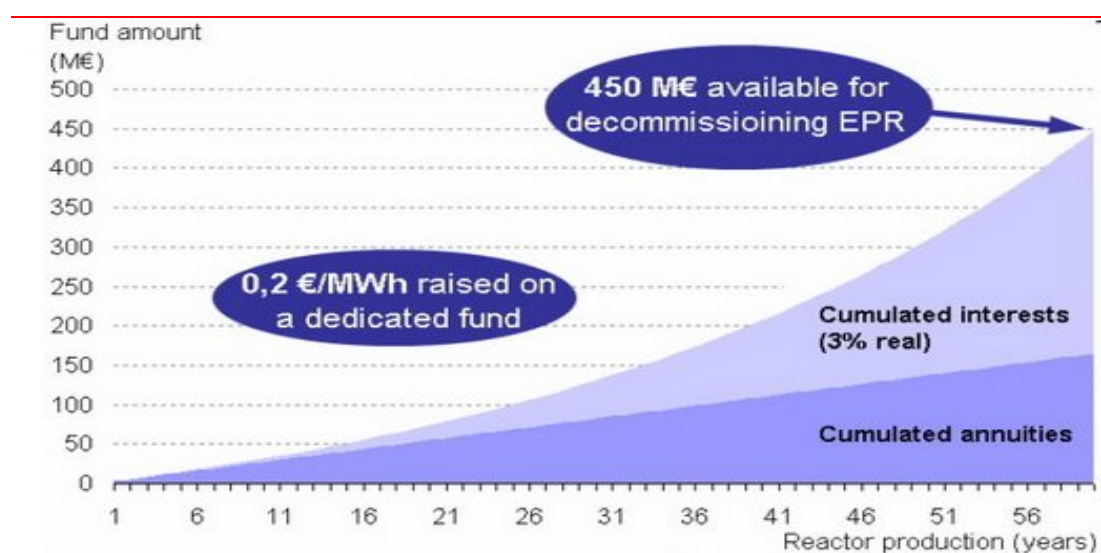
图 16 欧洲各种发电方式的外部成本（欧分/千瓦时）



资料来源：EU-EUR 20198,2003 from ExtermE study

核电的外部成本是比较低的，不到 1 欧分/千瓦时。相比于煤电和石油发电具有很大优势。

图 17 退役的核电站不会增加核电的成本（2004）



资料来源：European energy forum

人们往往会认为退役的核电站维护需要大量的费用，从而造成核电成本的升高，其实每年都会为核电站提取专用的资金用来为退役后的维护做准备，根据图中的预测，我们可知，到 60 年左右的时候，EPR 核电站退役时，将会累计 450 百万欧元专用资金。

3.4 法国大力鼓励核电发展

综观法国核电的发展历程，我们发现政府的政策从中起了巨大的推动作用。

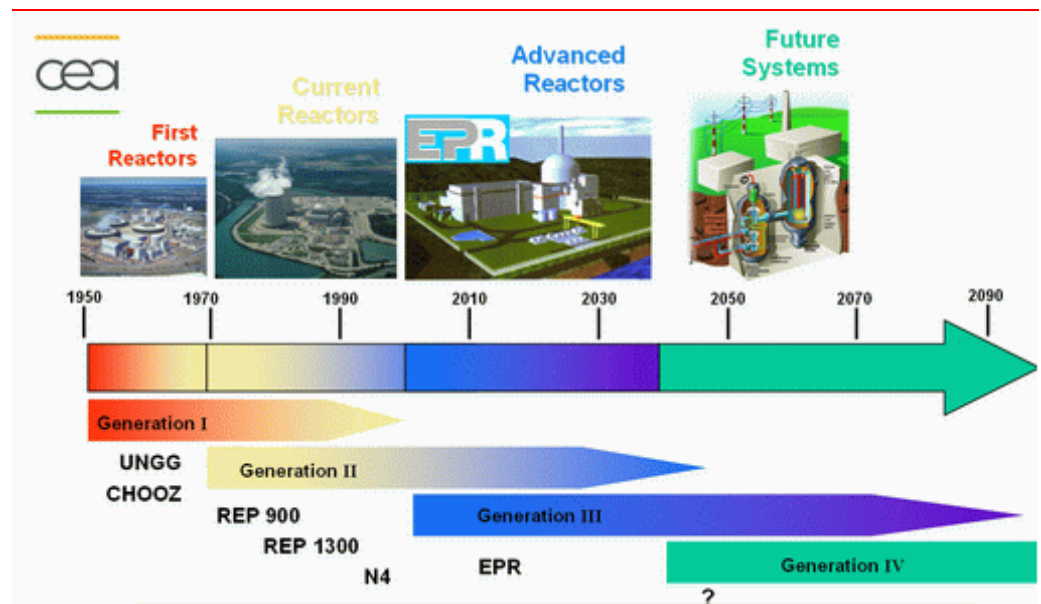
- ◆ 在核电发展政策上，法国政府并未给予税收优惠政策，而是提供政府信用，给予立项和审批支持。
- ◆ 法国历届政府的连续政策支持，建立了明确和完善的能源政策，给予核电发展长期持续的支持。在不违反和安全的前提下，尽可能得给予法国电力公司更多的自主权，包括核电设计、建造和运营；同时，在核电电价、乏燃料和退役等配套政策上尽可能给予支持。
- ◆ 法国建立了强大的核工业体系，培养了 EDF，AREVA 等一批核电企业，为法国核电的发展奠定了良好的工业基础。
- ◆ 1999 年，议会辩论明确了法国能源政策的 3 个政策要点：能源供给的安全，环境保护，放射性物质的处理等。同时指出，天然气在发电上对比核电没有经济上的优势，且价格波动大。在可预见的将来，其他的可再生能源和节能政策并不能取代核电在法国的地位。
- ◆ 2005 年，法国通过了一项关于能源政策和安全的法律。明确了核电的重要地位，同时也决定推广 EPR 技术。
- ◆ 2008 年，法国颁布政府法令，针对核能设立最高级别的理事会，强调核能对法国经济实力的重要作用，特别是电力供应。

3.5 法国核电的未来趋势

目前认为法国核电未来的发展路径有 2 条，第一是采用核电新技术，比如发展第四代核电技术，第二是在现有的核工业基础上革新。由于第四代核电技术可使用的时间节点可能在 2040 年前后，故第二条路径比较容易实现。目前法国已经成功开发了 EPR 技术，国内已经启动了 EPR 示范项目工程。EDF 打算用 EPR 技术来填补第四代反应堆与现役反应堆之间的空缺。

- ◆ 运用延寿管理技术，提高现在运行的核电机组使用寿命，如 1980 年建造的核电机组将可延长至 2020 年，寿命为 50 年左右。
- ◆ 从 2020 年开始，20 世纪 70 年代末投入运行的核电机组将逐步退役，EPR 将用来替换这些机组。按照 EDF 方案，EPR 原型堆将于 2012 年投入运行，2015 年开始批量建造，陆续在 2020-2025 年投产。也就是说，在 2010 年后，法国核电建设将会迎来新一轮高潮，但是核电在总电力中所占比重可能会有所下降。预计这个比例会维持在 70%-80% 之间。
- ◆ 到 2040 年左右，届时第四代核电技术将会投入使用。

图 18 法国核电未来趋势图



资料来源：CEA

3.6 法国核电发展过程中受益公司

1. 法国电力公司 (EDF) :

法国电力公司隶属于法国财政部和工业部，成立于 1946 年，是在整合全国 150 多家小电力公司基础上形成的全国唯一的核电公司，是目前法国国内最大的国营企业之一，保持着市场绝对垄断地位，负责全国发、输、配、售电业务。目前法国电力公司的总市值为 584.61 亿欧元，动态 PE15.43

图 19 法国电力公司股价和指数对比图

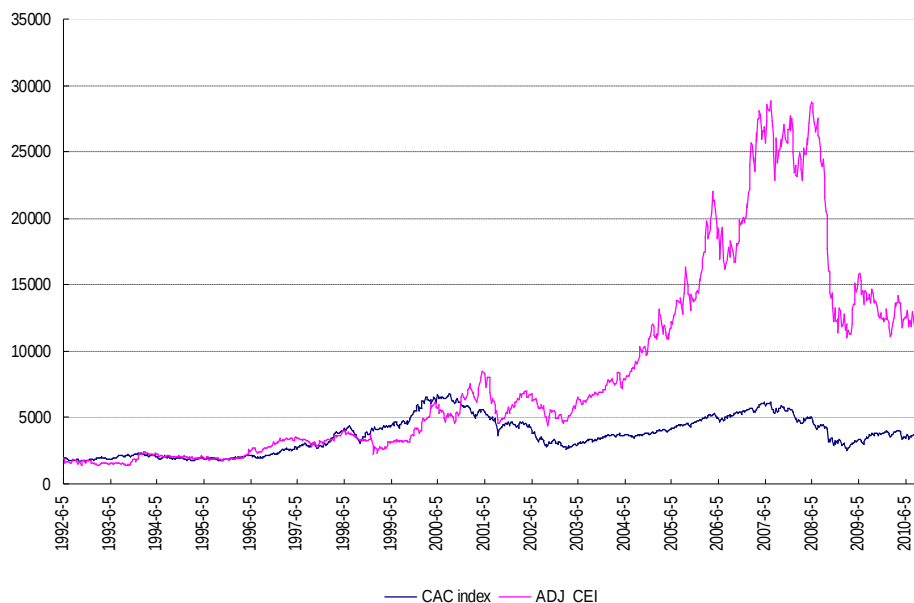


资料来源：Bloomberg, 东海证券研究所

2. 阿海珐集团公司 (Areva)

阿海珐集团成立于 2001 年，法国原子能委员会 (CEA) 控股 78.96%，法马通公司控股 9% (Areva NP)，法国核燃料总公司 (Areva NC) 控股 8%。主要业务包括核燃料采矿、核燃料提炼和销售、核反应堆制造、废料回收。目前总市值为 113.52 亿欧元，动态 PE31.06。

图 20 阿海珐公司股价和指数对比图



资料来源：Bloomberg，东海证券研究所

3. 法国通用电气-阿尔斯通公司 (GEC-ALSTHOM)

阿尔斯通有限公司成立于 1928 年，1989 年和英国通用电气(GEC)合资成立 GEC-ALSTHOM 公司，各占 50%股份。阿尔斯通是世界上著名的能源和运输设备制造商，在核电领域提供汽轮发电机组等设备。

4. 中国

4.1 我国核电的历史

4.1.1 我国核能利用起步早，发展慢

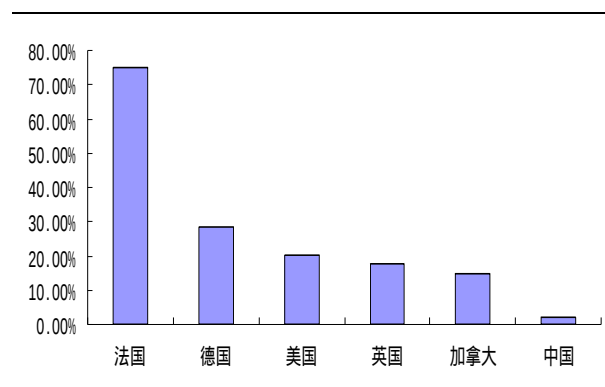
我国开发利用核能已经 30 余年，但是发展步伐一直比较慢，到目前为止投入运行的核电机组只有 11 台，总装机容量 900 万千瓦，核能占一次能源消费的比重仅为 0.8%，远低于世界平均水平的 5.6%；核电装机占总装机容量比重仅为 1.1%，核电消费占总电力消费比重只有 1.9%，远低于世界平均水平的 17%。

表 5 我国大陆运行的商用核电机组

	项目名称	台数	装机容量
运行机组	秦山一期	1	31
	秦山二期	2	130
	秦山三期	2	144
	大亚湾	2	197
	岭澳一期	2	198
	江苏田湾	2	212
	合计	11	912

资料来源：公开资料梳理、东海证券研究所

图 21 核电占整个电力生产的份额 2009



资料来源：PRIS、东海证券研究所整理

4.1.2 早期的技术以引进国外为主，多条技术路线并行

目前,在我国已核准的 10 个核电建设项目及在建和待开工的 28 台机组中,所采用的技术路线大致分为二代改进型技术、三代技术及高温气冷堆,采用的标准则分为美国 ASME 标准、法国 RCC-M 标准,以及国内的混合标准等。

我国首个核电站“秦山一期”装机容量只有 30 万千瓦,采用压水堆设计,主要为国产技术。1982 年大亚湾核电站获批,采用法国技术,基本上是一个法方完全负责的项目,谈不上国产化率。秦山一期和大亚湾一期项目分别与 1991 年和 1994 年投入运营。

秦山二期 1987 年立项,1、2 号机组分别于 1996 年和 1997 年开工,经过 8 年的建设,两台机组分别于 2002 年和 2004 年投入商业运营。秦山二期核电站是全面贯彻“以我为主、中外合作”的方针,通过自主设计、建设,掌握的核电核心技术,创立了具有自主知识产权的商用核电品牌——CNP-650。

在自主建设秦山二期的同时,我国在“九五”期间从增加核电装机容量的角度出发,分别从加拿大、法国和俄罗斯整体购买了三个核电机组,分别是田湾项目、岭澳项目和秦山三期项目。

我国先后引进法国、加拿大、俄罗斯、美国等国的技术，所以技术路线和标准都不统一。例如，正在运行的 11 座核电机组中，秦山一期、秦山二期 3 套国产机组和秦山三期两套引进加拿大技术的机组，采用的是美国 ASME 标准；田湾两套引进俄罗斯的百万千瓦机组，采用俄罗斯核电标准；另外 4 套采用法国标准。

表 6 我国核电站建设标准

	核电站	采用标准
1	秦山一期、二期，3 套国产机组 秦山三期：2 套加拿大机组	美国 ASME 标准
2	田湾 2 套俄罗斯机组	俄罗斯标准
3	大亚湾 2 套机组 岭澳 2 套机组	法国标准

资料来源：公开资料梳理、东海证券研究所

4.1.3 2005 年后，国家核电产业政策改变：从适当发展到积极发展

在过去几十年里，我国对核电发展的政策一直是“适当发展核电”或“适度发展核电”。2005 年 10 月，党的十六届五中全会提出了我国“积极发展核电”的方针，改变了过去的“适当发展核电”和“适度发展核电”的提法。从此我国核电进入了政策支持和发展的快速时期。

2007 年 10 月，我国政府就制定了《2005~2020 年核电中长期发展规划》，制定了到 2020 年投运核电机组 4000 万千瓦、在建 1800 万千瓦的目标，显示了政府对核电发展的重视与支持。

2010 年《**新兴能源产业发展规划**》出台，规划期为 2011 到 2020 年。该规划将累计直接增加投资五万亿元人民币，每年增加产值一点五万亿元。其中核电方面，则是将我国 2020 年底按规划装机容量提高至 86GW（1G=100 万千瓦），相当于目前核电装机容量的近 10 倍。与发达国家相比，我国核电事业具有很大的发展空间。目前，我国核电装机容量占总装机量的 1.3%，核电发电量占总发电量的 2%，与全球平均占比 17% 的水平存在很大差距。

表 7 我国核电规划表

时间	政策	备注
2005 年前	适当发展或适度发展	
2005 年后	积极发展	
2007 年 10 月	2005-2020 年核电中长期发展规划	目标：2020 年投运 4000 万千瓦，在建 1800 万千瓦
2010 年 7 月	新兴能源发展规划	目标：2020 年装机 8600 万千瓦

资料来源：公开资料梳理、东海证券研究所

核电发展的具体扶持政策如下：

我国政府出台了一系列扶持政策支持核电发展，其中最重要的直接补贴、增值税返还和优先上网政策。

直接补贴：我国向关键的核电设备生产企业提供了 8 亿元人民币补贴，核电设备生产企业中约有 10% 的企业直接受益。

增值税返还：政策规定，核电站投运第 1 个 5 年、第 2 个 5 年和第 3 个 5 年分别获得返还增值税的 75%、70% 和 55%。

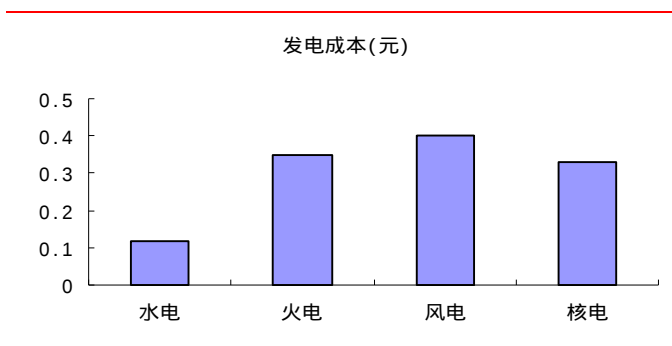
优先上网：同时，核电享受与风电等新能源同样的优先上网政策。

4.1.4 核电发电成本接近火电，碳排放具有先天优势

我国核电站的度电成本大约为 0.33 元（按中广核数据，二代加技术），跟火电成本不相上下，相比其它新能源，核电具有较大的成本优势（光伏的度电成本为 3 元，按《中国光伏产业发展报告》）。从环境的角度考虑，核电基本上是零排放，不排放二氧化碳和二氧化硫等污染物。

长期来看，核电成本将呈现下降趋势。按中广核数据，用二代加的改造技术，度电成本可以降至 0.3 元以下。

图 22 核电和其它电源成本比较(2009 年)



资料来源：公开资料梳理、东海证券研究所

4.2 我国核电的现状

4.2.1 我国的铀矿资源

中国在核燃料循环的几乎每一个环节都越来越依赖于其它国家。这些环节包括：用作核燃料的铀(需要进口)，铀的转换，浓缩及构建服务。国内的铀矿目前仅能满足中国核燃料需求的一半。自 2000 年以来，对国内核矿的开采已有了显著的增加，但国营大企业通过订立合约在海外获取铀储备。

中国目前最主要的两家核浓缩厂是通过合约在 1990 年代由俄罗斯帮助建

立的。

中国一直努力想在铀燃料循环过程的每一环节都自给自足，因此已启动了一系列的国内项目，通常与外国供应商合作，以满足它的核燃料需求。

铀资源和开采

- ◆ 中国已知的铀储备大约在 100,000tU 并不能满足国家的需要。每年出产 840t, 可以满足 4000MW 的发电需求。就国际标准而言，中国的铀矿是低等级的，而且生产是低效率的。中国的铀矿主要分布在福州，重庆，伊宁(Yining)，蓝田(Lantian)，本溪(benxi)，曲印龙(Quinglong)和韶关。
- ◆ 铀的进口一直在增长，来源地主要是 Kazakhstan, Namibia, Niger 和 Australia (尤其是最近从 Australia 的进口大为增加)。
- ◆ 中国国家核能总公司(CNNC)在河北的故园(Guyuan)在发展一处铀钼矿，2009 年已开始投产。有报道说在北内蒙鄂尔多斯盆地的砂岩中发现了成千上万吨的铀储矿。
- ◆ 为了勘探铀矿的其它来源，CNNC 在 2007 年委托加拿大的 Sparton Resources 和北京第五测试机构共同实验从煤灰中过滤出铀，这些煤灰来自于云南小龙塘(Xiaolingtang)发电站。这些煤灰中含有 160-180ppm 的铀，高于某些铀矿的接受水平(cut-off level)。这一发电站煤灰堆含有 1700 吨的铀，每年还增加 106 吨。
- ◆ 在需要进口更多的铀的前景下，CNNC 建立了 SinoU(中国国际核铀公司)，旨在海外获取铀资源。获取的潜在对象分布在 Kazakhstan, Uzbekistan, Mongolia, Namibia, Algeria, Zimbabwe, Canada, Australia 和 South Africa。
- ◆ 其它的中国公司，如：Sinosteel, CGNPC, CNNC International, 中国广东核铀公司和某些中国的主权基金等在获取海外铀资源方面都有相当大的举动。

铀的转换

在兰州的，1980 年就开始运营的年转换 1000 吨铀的厂大概已关闭。另外一家在甘肃西北部，离玉门较近的酒泉迪沃普(Diwopu)的转换厂可年转换 500 吨。

铀浓缩及浓缩铀的进口

2010 年中国需要 3600 吨铀以浓缩 250 万 SWU。到 2020 年，预计需要 10,000 吨铀和 700 万 SWU。

中国的铀浓缩厂所用的技术都是俄罗斯的离心分离技术。目前中国也是俄罗斯第六代离心分离技术的主要客户。

浓缩的铀

中国境内核反应堆的浓缩铀的大部分来自于国外。

大亚湾核电站的浓缩铀中的 30%由欧洲的 Urenco 提供。2008 年 5 月的浓缩铀合约指明由俄罗斯的 Tenex 在 2010~2021 年期间向中国的第一批 4 座 AP1000

核反应堆提供低等级的浓缩铀。

燃料构成

- ◆ CNNC 的主要 PWR 燃料构成厂是在四川省宜宾市，于 1982 年建成，主要是为秦山 1 号核反应堆提供核燃料。在 2008 年 10 月时就已能年产 400 吨，目前的年产量是 600 吨。计划在 2020 年达到年产 1000 吨。
- ◆ 宜宾的 VVER 燃料构成于 2009 年启动，使用的技术也是来源于俄罗斯。2010 年 8 月，54 个 VVER 1000 燃料装配设备已被生产出来并装入 Tianwan 的核反应堆中。第二座燃料构成厂于 1998 年设立在内蒙古的包头。
- ◆ 为了满足核燃料的自给自足，还需要额外的燃料生产产能。目前 Taishan 核电站所需的核燃料就是在法国构成的。

再处理及循环

CNNC 和法国的 Areva 公司签订协议在中国的甘肃建立年产 800 吨的再处理厂。使用的是法国技术，并由 Areva 负责运营。设计，建造及试运转大约需要 10 年时间（2010 年算起，到 2020 年才能完全建成）。

核废料管理

按照在 2010 年装机容量达到 20GW，在 2020 年达到 40GW 的计划，2010 年的核废料将新增 600 吨，2020 年则将新增 1000 吨。累计核废料则会分别达到 3800 吨和 12300 吨。CNNC 已起草规定已针对民用核废料的处理。

储藏及废弃

在兰州已建立起一处中央化的核废料储藏设施。最初的储藏量可达 550 吨~1100 吨。

分离出来的高等级废料将被玻璃化，并装入胶囊，然后储藏在 500 米深的地层深处。候选地点备选在甘肃，大致在 2020 年建成。

废弃工业规模的低级到中级的废料点一处选在甘肃，另一处在广东，临近大亚湾核电站。

4.2.2 核电“三大核电运营商，一大技术路线”

我国的核电运营具有垄断性，主要是有三大核电运营商即中核、中广核和中电投进行投资运营，其他企业只能参股 50% 以下。而中核、中广核是传统两强，中电投集团则是通过在海阳核电（目前在建，采用 AP1000 三代核电技术）首次取得的绝对控股地位，从参股核电走向了核电竞争的前台。

在核电技术自主化方面，中核集团和中广核两大核电投资主体展开了竞争。中核集团下属远在四川的中国核动力研究设计院以大亚湾堆型（法国 M310）为参照系，重新设计堆芯，把燃料组件从 157 个改成 177 个，并加大了压力容器的尺寸，推出了 CNP-1000 的技术方案。

中广核在引进、消化、吸收国外先进技术的基础上，结合 20 多年来的渐进式改进和自主创新形成的“二代加”百万千瓦级压水堆核电技术 CPR-1000 方案。该方案得到了国家有关部委和业内专家的普遍认同。从已经和即将开工的核电站来看，CPR-1000 成为了我国二代改进型核电站的主流方案。

国家核电技术公司负责引进第三代技术，成立于 2007 年 5 月，国核公司是经国务院授权，代表国家对外签约，受让第三代先进核电技术，实施相关工程设计和项目管理，通过消化吸收再创新形成中国核电技术品牌的主体，是实现第三代核电技术引进、工程建设和自主化发展的主要载体和研发平台。国家核电技术公司与西屋联合体在北京已签署第三代核电自主化依托项目核岛采购及技术转让框架合同，在浙江三门和山东海阳建设四台 AP1000 机组。正式引进第三代核电技术。

表 8 我国核电技术线路

	“二代加”技术路线	三代技术路线
中核	CNP-1000	
中广核	CPR-1000	
中电投		AP1000
国家核电技术公司		AP1000

资料来源：公开资料梳理、东海证券研究所

4.2.3 技术和资源瓶颈面临破解

对于核电的建设和发展，主要的困难在于技术和资源的瓶颈。目前，我国选择的是二代加和三代并行发展的技术路线。然而，即使是在我国已经在建数台且还将核准大批建设的二代加核电站中，核心技术我们仍然没有掌握。从当前核电设备的国产化比例来看，虽然国产化率已达 70%，但剩余的 30%才是核心的关键技术并占到了整个利润份额的 70%，从这个角度看，只有大力推进二代加核电站核心设备的国产化率，加快对三代核电站技术的引进、消化、吸收和再创新，才是支撑今后 10 到 20 年我国核电大规模发展的关键。

目前，我国已加快对第三代核电技术的引进和消化，专门成立了国家核电技术公司负责技术的引进工作。从核电技术的发展路径看，我国三代核电站的建设更多的倾向于运用 AP1000 系统。目前正在实行《AP1000 设备国产化实施方案》，通过引进技术的消化吸收以及依托目前四台机组的制造，全面掌握 AP1000 设备的设计和制造技术，从第五台机组开始，我国 AP1000 设备可以基本实现国产化。

而根据国家核电技术公司公布的情况，目前我国以 AP1000 机组为依托已率先掌握第三代核电五大核心技术。这五大核心技术分别为核岛筏基混凝土一次性整体浇注、钢制安全壳成套工艺、大型锻件国产化等三代核电的五大核心技术。目前，国产化设备已经达到 55%，压力容器、蒸汽发生器、主管道、

主泵等的关键技术已经全部突破，重大专项有 CAP1400 甚至到 CAP1700，目前 CAP1400 主要的概念参数已经完成，现在已经开始进入初步设计阶段了，比如核机筒材、主管道、大型锻件、超大型冷却塔等关键设备课题的研究已经完成，而且已经开始研制，确保了我国后续三代核电批量化、规模化发展。

4.3 核电产业化及相关上市公司梳理

根据核电产业的发展规划，核电将迎来巨大的发展空间，而核电设备制造企业和相关资源提供商有可能最先受益。根据核电建设的投资特征，在核电站固定资产投资中核电设备投资占 50%左右，是核电投资最主要的环节。如果按照 12000 元/千瓦造价计算，一套 100 万千瓦核电机组的总造价为 120 亿元，核电设备投资为 60 亿元。根据核电投资的组成以及核电设备的投资组成，预计未来 10 年内我国的核电设备的市场投资总额超过 3000 亿元人民币，年均投资额度约为 300 亿元人民币，核电设备制造企业将迎来较大的发展空间。

核电设备制造具有较高的技术和投资门槛，同时对设备稳定和安全有着极高的要求，需要进行相关认证，所以核电设备制造行业的集中度处于电力设备行业的最高水平。由于核电站的建设运营只集中在少数几家企业手中，因而核电核心设备及核电辅助装备制造领域最值得投资者关注，特别是在大型铸锻件、主循环泵和核级泵、核安全级阀门、焊接等核心技术装备方面，具有较大发展机遇。

核岛和常规岛的主设备制造企业以东方电气和上海电气为主要代表，东方电气的主要优势在于其在 CPR1000（即中国改进型百万千瓦级压水堆核电站技术）核电设备制造领域的先发优势，上海电气则主要在其拥有完整的产业链布局。核电的高速成长还将创造 60 亿~70 亿元/年的大型铸锻件需求，国内只有中国一重和二重重装等具有大型万吨锻造机的制造技术。

另一个值得关注的核电子行业是燃料棒铀管和核电阀门等核电的消耗设备，东方锆业、宝钛股份、中核科技等公司有望随着核电市场新增需求的不断扩张而相应受益。

表 9：部分核设备上市公司

分类	公司代码	公司简称	相关设备
核岛、常规岛、大型铸锻件	600875	东方电气	蒸汽发生器、压力容器、稳压器、
	601727	上海电气	硼注箱、安注箱、发电机、汽轮机
	601106	中国一重	核电铸锻件
	601268	二重重装	
核电辅助系统设备、核材料	600848	自仪股份	核电仪控系统
	002227	奥特讯	核电站电源系统
	000777	中核科技	核电阀门
	002438	江苏神通	
	600202	哈空调	核电站空调系统

600416	湘电股份	核级泵
002130	沃尔核材	核辐射改性新材料
002318	久立特材	核级不锈钢管
600456	宝钛股份	核电凝汽器用钛管
600328	东方锆业	锆材

资料来源：公开资料梳理、东海证券研究所

4.3.1 核电相关上市公司股价表现：与政策相关性密切

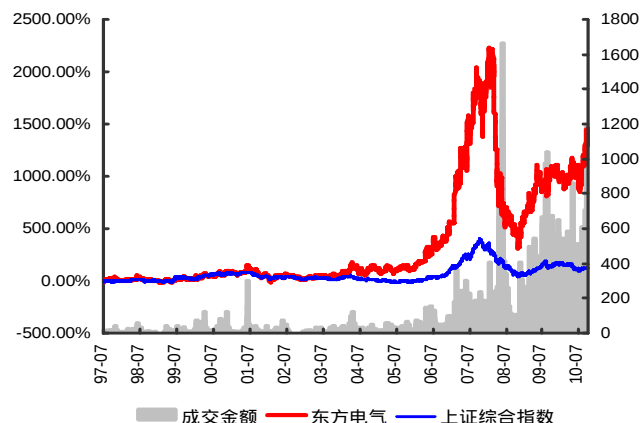
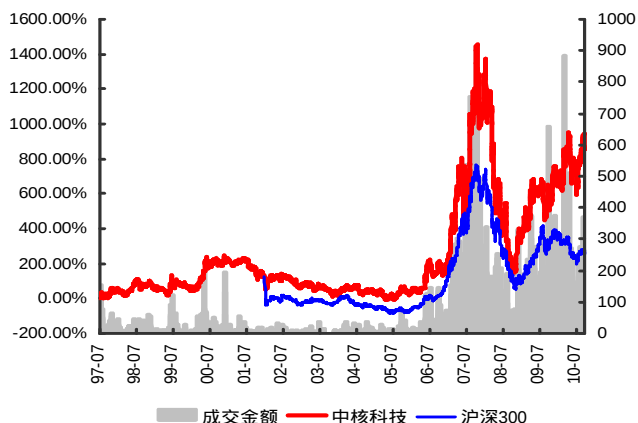
我们选取两家核电主设备制造公司上海电气（601727）、东方电气（600875），三家核级设备公司中核科技（000777）、哈空调（600202）、江苏神通（002438），一家核级新材料公司沃尔核材（002130）等六只标的，参考一下其上市以来的股价表现。

表 10：核电相关上市公司简介

公司	主营业务描述	市值（亿元）9/21
上海电气	综合型装备制造业集团，拥有国内最强大的核电设备配套能力。主要产品长期居中国领先地位，并在国际市场上占有一定的份额。公司位居核岛主设备市场份额第一，并垄断了堆内构件和控制棒驱动机构。	1057.95
东方电气	我国最大的发电设备制造企业之一。在核电汽轮发电机和交直流电机及控制装置的生产和销售上居于国内领先地位。	634.82
江苏神通	核级设备公司。公司应用于核电站的产品包括核级蝶阀、核级球阀、非核级蝶阀、非核级球阀等。除国内市场外，公司生产的核电阀门还远销至土耳其、印度、巴基斯坦等国家。	35.50
中核科技	核级设备公司。公司是中国阀门行业和核工业系统的首家上市公司，主营工业阀门和核级阀门，能制造碳钢、不锈钢、超低碳不锈钢、合金钢、蒙乃尔、钛等特殊合金材料的阀门。	47.38
哈空调	核级设备公司。公司是国内最大的电站空冷器、石化空冷器、电站（核电站）空气处理机组专业生产厂家和出口基地。公司主要产品分为空气冷却设备、空气调节设备、节能换热设备三大类，其中石化空冷器国内市场占有率为 50%以上。目前重点研发百万千万超临界机组直接空冷产品。主要客户为大型电站。	50.03
沃尔核材	核级新材料公司。公司是核辐射改性新材料的高新技术企业，专业从事核技术应用电子和电力新产品、新设备的技术研发、制造和销售，主导产品包括：热缩套管、热缩母排、热缩电缆附件、冷缩电缆附件、电缆分支箱等 9 大类 2500 多种产品。主要客户为大型核电站。	43.63

资料来源：公开资料梳理、东海证券研究所

图 23 我国核电相关上市公司股价表现



资料来源：Wind

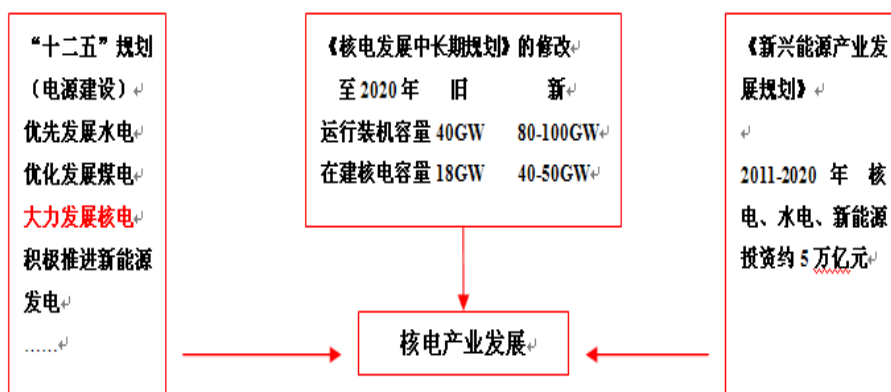
4.4 我国核电的未来

4.4.1 政策基调：大力发展和支持

政策是核心，三代技术的消化吸收是关键。

无论是即将出台的“十二五”规划中关于电源建设的部分，还是修改中的《核电中长期发展规划》，抑或是将出炉的《新兴能源产业发展规划》，对待核电发展与核电站建设的基调均为积极乐观的，可以确定，未来十年核电建设将受到政策的有力支持，核电设备投资将有稳定保障。

图 24 核电发展将受系列政策推动



资料来源：中电联、东海证券研究所整理、预测

4.4.2 装机容量：超预期增长

2007 年 11 月 4 日，国务院正式批准了发改委上报的《核电中长期发展规划(2005-2020 年)》，其中装机容量的发展目标为：到 2020 年，核电运行装机容量争取达到 4000 万千瓦；核电年发电量达到 2600-2800 亿千瓦时。2020 年末在建核电容量应保持 1800 万千瓦左右。

2010 年 9 月 20 日，岭澳核电站二期工程一号机组顺利投产，我国电力装机总容量突破 9 亿千瓦，核电运行装机容量突破 1000 万千瓦；与此同时，国务院已核准 34 台核电机组，装机容量共 3692 万千瓦，其中已开工在建机组达 25 台、2773 万千瓦，由于核电站建设周期在 5 年左右，这也意味着 2015 年前后我国核电运行装机容量即可提前达到 4000 万千瓦的目标。

超预期增长带来规划的修改，我们预计，《核电中长期发展规划》修改稿出炉后，2020 年发展目标有望调整为：装机容量 8000-10000 万千瓦，在建容量 4000-5000 万千瓦。

4.4.3 技术路线：由二代、二代改向三代全面迈进

我国在建核电机组以国产化程度较高的二代改进型为主，但在可预见的未来，三代核电机组将以其全方位的优势成为核电站建设的主流技术。

图 25 中国大陆已运行和在建的商用核电机组分布示意图



资料来源：国家核电技术公司

目前国际上较为成熟的三代技术包括美国西屋公司(目前由日本东芝控股)的 AP1000 技术与法国阿海珐公司的 EPR 技术。2004 年，国家核电技术公司就负责组织第三代核电技术国际招标工作。2006 年 12 月，中国与西屋公司签约，以全国技术转让方式引进 AP1000，建设浙江三门、山东海阳核电示范工程，共

四台核电机组。上述两个项目也是世界上第一个进入商业化运作的第三代核电技术、AP1000 项目。计划将于 2013 年建成。

简单来说，AP1000 的以下优势是它成为三代主流技术的原因：

- 1、AP1000 安全性程度最高，内陆核电站必须选择 AP1000 设计。
- 2、AP1000 设计简化，模块化施工加快建设进程，投资成本下降空间大。
- 3、AP1000 技术已经高度成熟。

4.4.4 国产化率：决定三代推进速度与企业利润的关键

三代核技术 AP1000 的国产化进程直接关系到核电站建设中的两个重要问题：一是三代核电站建设的成本，国产化率的提高有利于降低建造成本；二是我国核电设备企业能在多大程度上分享三代核电的蛋糕。

从目前进度来看，三大发电设备制造商中，上海电气在 AP1000 技术消化吸收上相比其余两家走在了前面。

表 11 AP1000 技术国产化计划

主设备	#1	#2	#3	#4	国内制造厂
蒸汽发生器	0	100%	100%	100%	哈锅，上海电气
反应堆压力容器	0	100%	100%	100%	一重、上海电气
堆内构件	0	100%	100%	100%	上海电气
控制棒驱动机构	0	0	100%	100%	上海电气
环行吊车	0	100%	100%	100%	大重 - 大起
燃料装卸料设备	0	100%	100%	100%	上海电气
主泵*	10	25%	40%	100%*	哈电机 + 沈鼓（泵）
其他容器和储罐	100%	100%	100%	100%	
主管道	100%	100%	100%	100%	一重、二重或中船重工
其他核级泵	100%	100%	100%	100%	
爆破阀	0	0	0	100%	航天总公司研究所
其他核级阀门	0	0	100%	100%	

资料来源：三门核电站

附注：**一、行业评级**

推荐 - Attractive：预期未来 6 个月行业指数将跑赢沪深 300 指数
中性 - In-Line：预期未来 6 个月行业指数与沪深 300 指数持平
回避 - Cautious：预期未来 6 个月行业指数将跑输沪深 300 指数

二、股票评级

买入 - Buy：预期未来 6 个月股价涨幅 $\geq 20\%$
增持 - Outperform：预期未来 6 个月股价涨幅为 $10\% - 20\%$
中性 - Neutral：预期未来 6 个月股价涨幅为 $-10\% - +10\%$
减持 - Sell：预期未来 6 个月股价跌幅 $> 10\%$

三、免责条款

本报告基于本公司研究所及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研获取的资料，但本公司及其研究人员对这些信息的真实性、准确性和完整性不做任何保证。本报告反映研究人员个人的不同设想、见解、分析方法及判断。本报告所载观点并不代表东海证券有限责任公司，或任何其附属或联营公司的立场，且报告中的观点和陈述仅反映研究员个人撰写及出具本报告期间当时的分析和判断，本公司可能发表其他与本报告所载资料不一致及有不同结论的报告。本报告可能因时间和其他因素的变化而变化从而导致与事实不完全一致，敬请关注本公司就同一主题所出具的相关后续研究报告及评论文章。本报告中的观点和陈述不构成投资、法律、会计或税务的最终操作建议，本公司不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保。

本报告旨在发给本公司的特定客户及其他专业人士，但该等特定客户及其他专业人士并不得依赖本报告取代其独立判断。在法律允许的情况下，本公司的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供多种金融服务，本公司的关联机构或个人可能在本报告公开发布之间已经了解或使用其中的信息。

本报告版权归“东海证券有限责任公司”所有，未经本公司书面授权，任何人不得对本报告进行任何形式的翻版、复制、刊登、发表或者引用。

东海证券有限责任公司是经中国证监会核准的合法证券经营机构，我们欢迎社会监督并提醒广大投资者，参与证券相关活动应当审慎选择具有相当资质的证券经营机构，注意防范非法证券活动。

东海证券研究所

地址：上海市浦东新区世纪大道 1589 号长泰国际金融大厦 11 层

网址：<http://www.longone.com.cn>

电话：(86-21) 50586660 转 8638

传真：(86-21) 50819897

邮编：200122