

# 核电的经济竞争力 不断发展的目标

HANS-HOLGER ROGNER 和 LUCILLE LANGLOIS



目前世界大多数电力市场上的竞争日趋激烈,造成这种现象的部分原因是:技术的不断进步;燃料价格的降低以及已有的经验表明竞争的市场更具有生命力。在经合组织(OECD)成员国的许多市场上,电力价格约为0.02美元/千瓦时。核电价格能达到这个水平吗?如果不能,有办法使它达到这个水平吗?

目前,电力公司的责任是出售商品(kWh)和商业服务而不是战略利益。在较大的工业化国家中,生产能力过剩、需求增长缓慢和产品价格较低,迫使电力生产商和它们的供应商更加关注它们的运行成本和投资的盈利能力。如果这些公司想生存下去并保持繁荣,它们就越

来越需要执行商业化的、以利润为导向的方针。而且,在以后的几年中,它们必须大幅度降低成本。核工业也不例外。

核动力在这种环境中的处境如何? IAEA 规划与经济研究科正在对这些问题进行一系列细致的研究,并将其细分为对核动力的近期、中期和长期前途产生影响的一些议题。大致可将这些议题分为以下三类:影响已有机组的议题、影响机组的升级和延长寿命的议题,或影响新机组的议题。研究发现,从总体上看,核动力在近期、中期和远期的市场中都具有竞争潜力。但是,使这种潜力变为现实将需要对核工业及其监管部门做出重大的改变。

本文集中讨论许多工业

化国家中占优势的市场形势,其中的几条经验也可适用于发展中国家,尤其是期望从国际资本市场筹集其电力项目所需资金的国家。对发展中国家而言,其总体形势与工业化国家的差别很大。典型的情况是发展中国家的电力生产能力不足,其收入既要支付发电费用又要负担融资费用,这就给生产能力的进一步扩大带来了许多根本性的难题。因此,竞争性的价格必须反映长期的边际成本,而不是仅仅反映当前的运行费用。

## 运营中的核电厂

对已有的快要折旧完的核电厂而言,电厂的收入只需大于边际运行费用就可获利。因此,管理良好的许多核电厂目前拥有成本优势。例如,据报道,美国 2/3 以上电厂的电力价格低于约0.02美元/千瓦时的全国平均价格。

Rogner 先生是 IAEA 核动力司规划与经济研究科科长,Langlois 女士是该科科员。本文的所有参考资料可向作者索取。

照片:核电厂的发电量约占世界总发电量的 1/6。

但随着所有电力公司平均成本的缓慢下降,核电营运者所具有的成本优势会越来越小。由于净现金流量余额会因为竞争而逐渐减少,因而,核电营运者即使为了生存也必须降低单位成本和增加净现金流量余额。

成败取决于许多因素,包括有关融资与选择技术的明智决定,和正确的需求增长估计,再有就是管好电厂,使成本得到控制,盈余增加。但是,与参与竞争的电力系统的市场价格和边际成本相比,最终对商业上的生存能力来说最重要的变量是边际成本。

核电营运者必须能在不危及安全的前提下削减单位成本,尤其是运行和维护费用,并使电厂的可利用率达到较高水平。这两个要求,对电厂管理部门的压力都很大。过去的10年中,大多数有竞争力的核电厂的可利用率已有了明显但不急剧的提高,其运行和维护费用也有明显但不急剧的削减。例如,运行费用就下降了40%。

遵守安全条例的费用一直对核电的生产成本有重大影响。电力市场的自由化刚开始,人们就注意到了竞争的压力可能会对运行安全产生不利影响。在此期间的经验表明,这种担心是不必要的。英国和美国的研究表明,最成功的商业核电厂和

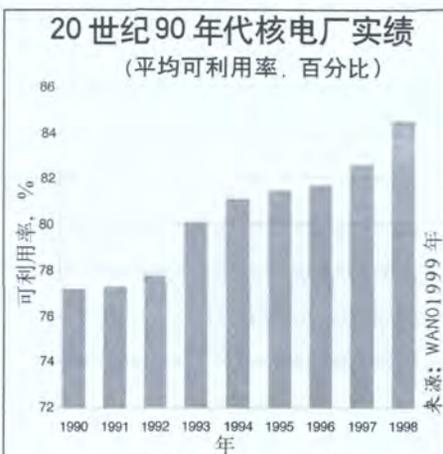
最安全的核电厂之间存在着密切的关联。在这些事例中,安全不但没有受到危及,而是成了电厂的商业要求中一个不可或缺的部分。

实际上,在如何对待核电的运行安全方面存在一种较强的商业观点:

在私有化的市场中,为了保护股东的生产性资产,经理们保证运行安全的劲头十足。安全相关事务方面的急功近利会造成商业上的巨大损失,因为核安全监管部门会迫使电厂关闭(例如1997年发生在安大略的情况),导致只出不进。另一方面,现金流量不足的电厂无法给维护、修理或必要的升级改造提供资金,无论这些活动与安全的关系如何紧密。无利可图的电厂,无论它如何安全,都会被其业主关闭。

### 未竣工的电厂和延长寿期问题

世界一大批核电机组的老龄化及延长寿期的可能性,都非常令人感兴趣。建成尚未竣工的核电机组或延长运营良好的核电机组的寿期,相对于建造新机组或使老机组退役,都是比较经济并且切实可行的选择。但在作出决定前,应客观地权衡



其利弊。有关使项目建成、给运行中的核电机组重新发放许可证或延长其寿期的决定,取决于它能否带来经济效益。最简单的经济评价是仅仅比较下列三个参数:建成费用的“净现值”(NPV)、预计该项目建成后的未来收入流的NPV(发电收入减去按公司政策折扣的成本)和关闭机组或停止施工的费用。一旦对这些数字进行了计算和比较,作出决定的基础就比较清楚了。即使该项目是由政府提供资金或要作出的是一个“防守性质”的决定(即挑选一个使经济损失最小的方案),这种做法也是对的。

**使项目建成** 比较简便的做法是假定将某项目目前的状态作为作出是否将其建成的决定的基础。因此,比起已竣工60%的电厂,往往把已竣工90%的电厂看成是更好的候选者。但是,工程方面的建成概算与残存费用之

间可能几乎没有什么联系，而这些数字对未来要作出的投资决定是十分重要的。已建成 90% 的电厂未必只有其造价 10% 的费用未付。残存的投资费用有可能比这少，但十分常见的是比这要多得多，甚至可能比电厂建成后的预期收入还要多。

需要注意的是终止一个建投项目所涉及的费用也可能很大，因为如果人为地终止某个项目，需要为大多数建造合同支付撤销费用或赔偿金。花一些钱建成项目也许比终止它更加经济。当在 NPV 的基础上判断是否应该关闭一座正在运行的核电厂时，也会发生类似的情况。关闭电厂需要许多费用，公司在赔本的情况下运行该电厂也许更好一些。

**延长寿期** 这为在近期到中期内继续和可获利地运行核电厂提供了一种现实的可能性。与建造新的电厂相比，延长寿期有几个重要的好处。

第一，延长寿期所需的投资费用尽管也不低，但总要比建造新电厂（核的或其它的电厂）的费用低，或许只是后者的一小部分。部分原因是需要支付土木工程、征用土地以及厂区准备之类的费用。另一个因素是运行费用已经比较低，否则就不考虑延长问题。该电厂已有了足够的退役基金，这就进一步减少了运行费用。再者，

考虑延长寿期的电厂通常几乎没有负债，大部分债务在电厂展期之前就已分期偿还，并且拥有能确保偿付由延长寿期所发生的债务的收入流。如果经济方面的计算结果正确，则资金来源应该不成问题。

寿期许可证展期还可能使功率提升，从而使容量得到有效增加，许多电厂已成功地使额定功率提升了 10% 以上。这样做降低了发电成本，因此很有吸引力。

出于环境方面的考虑，核电厂的延长寿期也很有吸引力。这对于为了符合大气污染标准和履行减少温室气体排放量的承诺，而不再允许增加化石燃料电厂的发电量的情况来说更具有吸引力。

在作出任何投资决定之前，应对所有可能出现的情况有所准备，以降低预期的建成费用。如果不这样做，此项投资决定就可能会出现偏差，这会使资金的筹措更加困难，也有可能发出发出的电没有销路。尤其是待竣工的项目（这种项目以前在费用控制和风险管理方面的经历可能不怎么好），必须使投资者确信能得到额外的回报，这也许会涉及到使该项目与过去的债务脱钩。合同中必须包含避免施工延期的奖励办法，并要通过存量控制、竞争性方式采购、兼顾国产与进口物项，以及确保使

用合适而最经济的产品来进行材料成本管理。

**安全升级** 无论是为了保护资产还是为了防止许可证被吊销，出于安全方面的考虑而使电厂升级对于电厂的继续运营，也许是不可缺少的。由于安全升级不会增加产出或收入，业主也许要面对投资问题，而预计这种投资是他们不能分期偿还的。如果核监管部门要根据这种升级的情况才能做出是否同意继续运行的决定，那就必须对照预期的收入和关闭电厂的费用，权衡此种投资是否值得。财务方面的 NPV 分析法将揭示出这些选择的相对经济效益。

## 新的核电厂

建造新核电厂的费用是化石燃料电厂的 2—4 倍。这还不包括影响项目的信誉等级的那些风险（例如竣工不了、汇率波动或费用超支）的费用。在 OECD 的投资规则中，已给与核电厂有关的所有 OECD 出口信贷的放款利率增加了 1% 的风险费。能够将此类风险和费用降低到或保持在足以使核电在资本市场中为新的核电厂融资进行竞争的水平吗？

随着发电成本的一再下跌，判断商业上能否成功的目标也变化很快。1995 年，在美国具有竞争力的新的核电厂的目标是 0.043 美元

不同发电选择方案的资本费用和建造时间

	每千瓦(电)装机容量费用 (美元)	1000兆瓦装机容量总费用 (10 <sup>9</sup> 美元)	建造周期 (年)	典型的机组规模 (兆瓦)	典型机组的总承包费用 (10 <sup>9</sup> 美元)
核,LWR	2100—3100	2.1—3.1	6—8	600—1750	1.5—4.2
核电,最佳的实践	1700—2100	1.7—2.1	4—6	800—1000	1.3—2.1
煤,粉状,ESP	1000—1300	1.0—1.3	3—5	400—1000	0.5—1.3
煤,FGD,ESP,SCR	1300—2500	1.3—2.5	4—5	400—1000	0.6—2.5
天然气,CCGT	450—900	0.45—0.9	1.5—3	250—750	0.2—0.6
风	900—1900	0.9—1.9	0.4	20—100	0.03—0.12

注:所有费用包括建造期间的利息。每千瓦电装机容量费用是按10%贴现率计算的。

LWR=轻水堆,ESP=静电除尘器,FGD=烟道气脱硫,SCR=选择性催化还原,

CCGT=复合循环燃气轮机。

来源:OECD,1998年。

/千瓦时。到1998年,在政府不加干预的情况下,若要使核电厂有利可图,相应的目标不得不降至0.03美元/千瓦时以下。在电力需求(需要新的装机容量)没有实质性的增长或化石燃料价格不猛涨的情况下,2000年的平均发电成本将降至0.02美元,甚至可能会进一步下跌。发电成本的这种下降不仅是竞争的结果,而且也是燃料价格降低和燃煤或燃气电厂的热效率显著提高的结果。目前燃气电厂的热效率已达到50%以上。

OECD一项有关预期的发电成本的研究(1998年)表明,全世界新核电厂包括建造期间利息在内的基建费用为1400~2800美元/千瓦(贴现率为5%)和1700~3100美元/千瓦(贴现率为10%)。比较不同国家的此类费用时发现,贴现率为5%时,核电在6个国家中是费用最低的选择;若贴现率为

10%,则核电在2个国家中是费用最低的选择。

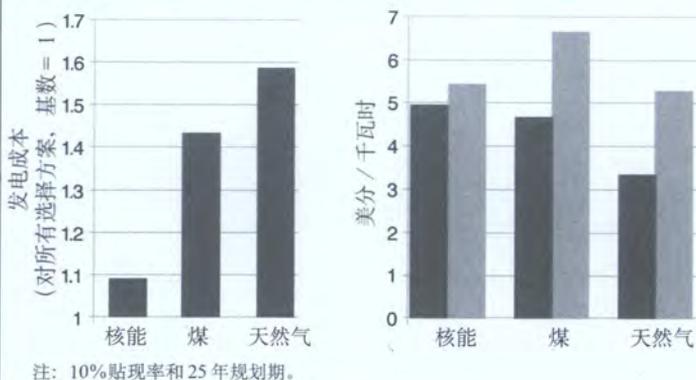
不同发电选择的成本结构不同,其敏感性也不同。由于资本费用高和建设周期长,核电成本对利率非常敏感。燃煤电厂的资本费用受减轻污染的要求的影响很大。燃气发电的成本对天然气的价格非常敏感,因为天然气的费用在总成本中所占的比例相对较高(见下页图)。如果燃料价格翻一番,核电的成本只增加不足10%,而天然气发电的成本将猛增约60%。在发电结构中拥有核电,可以减轻燃料价格和汇率的动荡对成本的影响。

在不断变化的市场环境下,还会建造新的核电厂吗?除非核工业采取重大步骤以减少新核电厂的资本费用和财务风险,否则核电将因价格过高而失去未来的市场。核电确实具有以下几个明显的优点:燃料价格低、供应可

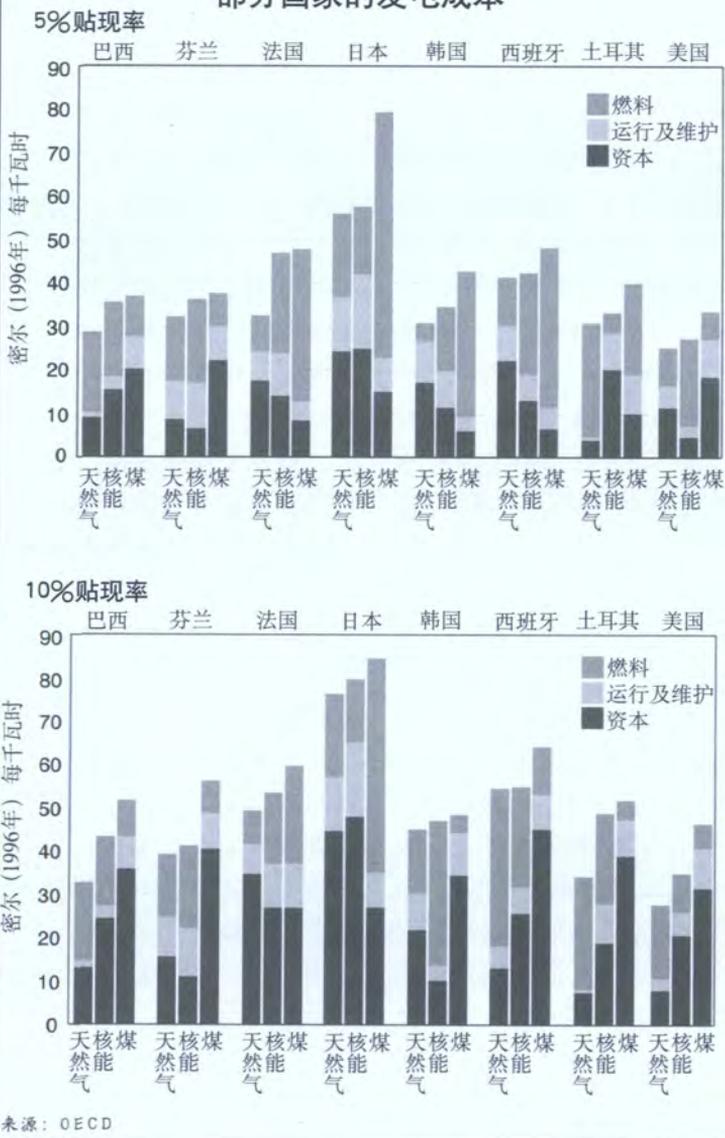
靠性高、环境影响最小、外部费用低以及如《京都议定书》中所描述那样具有明显地减少温室气体排放的潜力。尚未选定技术方案的政府,也许会因核电的这些优点而选中核方案,条件是这些优点不被较高的资本费用和发电成本以及相应的高风险所淹没。

**资本费用和 risk** 新核电机组有时可分为渐进型设计和革新型设计两类。前者涉及到为提高安全性和经济性而对现有的设计进行改进。渐进型设计的改进在本质上是基于过去的经验所做的工作的结晶。但是,渐进型设计带有某种负担,即需证明改进后的反应堆在商业上具有竞争力(例如,如果较低的单位资本费用是靠增大电厂规模获得的,这样的设计也许就没有吸引力。因为这会使总投资增加,其风险也许会极大地超出股东的承受能力)。

### 燃料价格翻番对发电成本的影响



### 部分国家的发电成本



革新型设计——即过去从未用作商用的全新设计——也许能为竞争能力的提高提供更大的潜力,这主要是因为它们是明确地针对特定的市场条件设计的。此外,它们还常常能明显地改善安全特性。

但是,除了南非在球床模块堆(PBMR)方面和美国在先进轻水堆(ALMR)方面的开发工作外,其它的开发先进反应堆的工作都还没有将建成商业上具有竞争力的反应堆作为其主要目标,这样的反应堆应该效率更高、更能获利且实绩更佳,因而其电力价格能达到甚至低于当前的市场价格。

由1979年的三里岛事故引起的开发先进反应堆设计的工作,大多把注意力集中于增强安全性,但总是增加费用。以迄今为止已建成的最昂贵的反应堆之一英国的 Sizewell-B 型反应堆为例,据估算,其资本费用的20%被用于“增强”安全性,以便使它成为“增强型”反应堆。

资本费用高是为核电厂融资和建造新核电厂的最大障碍,它约占估计的总发电成本的70%。按照目前的估计,这些费用必须降低约35%,新的核电厂才能与新的燃煤或燃气电厂进行竞争。要使这部分费用下降这么多当然需要采取一系列的

措施,其中包括削减遵守安全相关条例所需的费用及减少法规方面与运行后责任相关的不确定性。

不确定性、风险和责任都是有经济意义的,因为它们都包含一定的费用,有时甚至还很高,而这些费用都是能够设法降低或加以控制的。因此必须对这些费用进行一一估计并具体地加以说明。而对投资者而言,它们与估计的发电成本同等重要。因此,减少财务方面的不确定性与削减名义上的费用同等重要。

新的核电厂具有较高的但并不只是核电才有的财务风险。这其中包括能否建成的风险、法规和政治方面的风险以及由不断变化的市场造成的商业风险。投资者需要较高的投资回报,以补偿这种风险。核电的一个大问题是市场价格能否允许它们不但能提供这种回报,而且仍然能赢利。

**安全性的成本效益** 增强安全性是设计新核电厂时重点考虑的一个大问题,其费用是决定是否给核电厂投资的一个重要因素。因此,提高这些安全相关投资的成本效益能有助于新电厂的集资。对新的核电厂而言,尽管不能精确地求得安全费用占总费用的份额,但其所占份额不会小,有人估计高达40%—60%。

目前正在探索能减少在新反应堆的设计中用于增强安全性的费用的多种办法,其中的许多办法都包括要制订一个即使在最坏的事故情景下,厂外也不会有明显后果的标准(而不是规定许多单个的实绩要求和条例)。其它正在探索的办法包括:

- 使用非能动的安全设计;
- 减少需满足“核级”质量要求部件和材料的数量,对有些部件而言,这种要求能使采购费用增加200%;
- 安全监管部门对风险有更多的了解;和
- 监管部门只规定目标而不规定手段,允许在如何达到这一目标方面有更大的灵活性。

在过去的20年中,虽然已为核电厂制定了某些新的安全目标和安全要求,但在制订时几乎没有考虑经济性和效益,或者说几乎没有考虑能以比较和可能使成本效益更高的方式来达到预期的安全目标。这种做法受到下述情况的鼓励,当时多数核电厂是在垄断的市场中运营的,各种费用都有可能摊入电价,因而这些费用未必是人们关心的重点。但是,随着时代和市场的变化,监管部门的做法也必须随之而变,以便更清楚地规定什么样的电厂是安全的,同时,给如何达到这个目标提供灵活性。

与目前的核电厂相关的安全风险早已降到非常低的水平,但是与新建核电厂相关的财务风险却比较大,而且还在不断增加。投资者将基于费用/效益和净现值分析仔细审查新电厂和新的电厂设计。这种审查可用来找出哪些改进,会使可达到的最低成本仍然很高,或许随后获得的安全增益或与有待减少的风险本身相关的费用不相称,并可能威胁到电厂的在经济和财务方面的可行性。对于在成本意识和竞争性日益增强的市场中出售电力的公司来说,安全措施的净费用——与所有的发电费用一样——受到人们的极大关注。它对于选择核技术还是非核技术发电也是重要的。

报酬递减不是核安全所特有的,实际上在大多数环境与卫生防护标准中也存在这个问题。例如,在控制大气污染方面,除去90%—98%污染的费用也许是可忍受的,但是,去除最后2%的污染就往往得不偿失。必须毫不含糊地指出,安全相关支出的水平并不是衡量电厂安全水平的标尺。必须做到的是既要削减安全费用,同时又不损害而是增强安全性。

这种做法不是说要判断什么样的安全水平是合适的,而是说在安全领域内确实需要考虑经济后果、对所建议的安全要求进行财务分

析,以及进行费用与收益的背景分析。

**退役和废物处置的责任管理** 投资新核电厂的第二大障碍是运行后的责任,即与退役和废物处置相关的费用和风险。在这方面,需要将分析工作从工程费用概算和筹资扩大到责任管理领域。

完成这些任务所需的工程与技术都是现成的。人们已对退役和废物处置的工程计划和费用概算进行过彻底的研究,并定期更新,主要将其作为保证能留出足够资金,将其用于最终所需的退役和废物处置的基础。此外,为这些活动制定的许多标准也很好。

但是,目前的费用概算肯定会与最终发生的费用不一致,因为预测这些费用时所依据的环境肯定会有变化。这种变化的例子包括:废物处置设施的可利用性和指导它们的使用及早关闭电厂的政策;与材料释放有关的容许辐射标准和厂区条件的变化;影响电厂的运营、退役和废物处置的经济状况的监管部门政策;税收和会计规则的变化;重组、私有化或加剧的竞争。

鉴于退役和废物处置所涉及的时间较长,只要风险管理技术和应对措施到位,并且相应地灵活改变战略,公司通常是有时间去适应不

断变化的环境的。退役和废物处置能够完成,也一定能完成,这是毫无疑问的。仅有的问题的是时机、先后顺序、效率及由此产生的费用,其中的大部分都超出了核电厂的经理们所能控制的范围。选择多贵和效率多高的退役和废物处置办法,主要由政治因素决定。核电厂业主和运营者的主要选择是怎样最好地使所涉及的不确定性具体化并使其达到最小。

因此,重要的是公司准备如何应付意料之外的变化。从整体上看,核工业还没有很好地做好这方面的准备。它也没有定期地研究法规变化的经济意义。结果是,核工业和社会可能要支出巨大的经济费用和承受极低的工作效率,并且与关闭后的各种作业相关的财务风险会不受抑制地快速增长。应该将注意力集中到提高成本管理的效益和估计由不确定性和政策与法规的变化所引起的费用上。

需要的是谨慎而不是深谋远虑:需要在战略和财务方面为影响运行后责任的政治不确定性做好准备。不断地进行与公司的实际情况紧密相关的风险评估和谨慎地对能够影响公司资产或收入的情景做好财务准备,这些都是标准的公司风险管理战略。尽管有个别的例外,但核

电厂的业主和运行许可证持有者所用的此类技术并无统一的标准。

随着时间推移,如何管理风险与成本,将决定着哪些发电技术被保留或被废除、立即废除或逐步淘汰,以及选或不选作未来的电厂。高成本高风险的项目需要高回报。在竞争市场中,核工业能否提供所需的报酬,或者说能否将投资者的商业和财务风险降到可以接受的水平呢?这些都是不断发展的目标。

## 要创造条件

那么核电的前景如何呢?预计现有的高效电厂将能够茁壮成长。在核工业没有明确而有力的主动性去改变核电厂的设计要求、商业方向和监管环境的情况下,不会建造新的核电厂。

核电在环境方面确实有许多优点,尤其是在减少大气污染和温室气体排放量方面,但要确保它有一个美好的未来光靠这些是不够的。那些将核电增长的希望寄托在《京都议定书》而忽视改革的人是注定要失望的。最后一点,政策的制订者必须处理好废物的处置问题,并愿意让核工业证明核废物管理技术是成熟的。让公众理解作为一种工业过程的核废物处置是安全的,这是最最重要的。 □