

# 11: 成本

以下是选择出来的一组比较性成本评估，指出了在现在的风电市场中，影响决策的各种因素。

值得注意的是，在能源科技的成本比较方面一直存在着许多争论。因为要对所有的科技进行公平的假设是非常困难的，而汇率变化使成本比较变得更加错综复杂，常常使得对各地项目成本逐年同期比较缺乏可信度。虽然如此，这里给出的数据在成本的基础上对各种技术都作了有用的初步比较。

尽管受到商业敏感性冲击，有关风电设备购买和安装的技术成本还是有降低的空间。项目成本很大程度上依赖于贷款的成本和不可再生能源的燃料价格波动。风险能影响投资决策，因此贷款的成本一直都在变化中。

在全球范围内，最近石油价格大幅上升，天然气的价格也预示着化石燃料价格上升的趋势，环境政策的作用越来越重要，对未来化石燃料价格的影响将不可估量。



## 11.1 当前发电成本

发电成本经常被称作“发电成本/kWh”或者“投资成本/kW”。前者要求评估最初的投资成本加上全年营运，维护，化石燃料费或核燃料技术的成本。项目的整个生命周期中，折现率亦是变化的。后者不包括当年成本，而只包括到项目正常营运之前，其设计、购买和安装发电设备所发生的成本。

表11.1显示的是国际能源署(IEA)在2003年发布的多种技术的成本统计<sup>[54]</sup>。可以看到，即

使是跟燃料这些传统能源的操作成本相比，风能的价格优势也显而易见。

随着更多化石燃料的储存被挖掘，开采和运输的成本增加，供应的稳定性对于进口燃料也存在风险。不过，风电场都能提供相同量的燃料，而这些燃料全是免费的！风力发电的成本取决于当地的平均风速。一个理想的陆上风电场，若其建造成本是1000美元/kW，行业期望折现率为5%，则其的发电成本大约为每40美元/MWh。风速情况较差的风电场发电成本可能上升到80美元/MWh。

值得注意的是，风速与投资成本通常成正比，因为风速高的地点经常位于偏远地区，难以到达，因此会有更高的投资成本。全球范围内的海上风电产业仍然处于发展的婴儿期，因此详细的成本难以计量。投资成本在1550–1750美元/kW这种建设成本相对较低的地区，根据风速的不同，发电成本是美元85–120/MWh。

陆上风电相对于火力发电已具备一定竞争力，海上风电作为相对欠成熟的技术，现在的成本还比较高。就目前的小规模商业应用，很难达到有代表性的成本，但是非常明显的是，风电场往海上发展以及经济规模效应的缺乏，意味着海上风电的成本正处于成本曲线的开端，随着经验的积累，最终会下降。

图11.1显示了陆上风电场和海上风电场的成本差异。风机的成本在陆上风电场的总成本中占了70%，而在海上风电场上这一比例只有50%。总体看来，风机成本主导了风电场的总成本，因此，如果风机的成本得到削减，将会对风电总成本的减少有深远的影响。

数据11.1 陆上及海上风电场成本分布

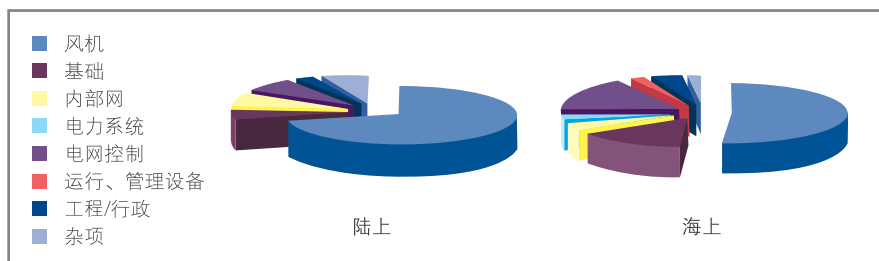


表 11.1 发电投资成本估计

技术	资本成本(美元/kW)
混合燃气循环	400–600
传统煤	800–1,300
加工煤	1,100–1,300
气化煤	1,300–1,600
核	1,700–2,150
燃气涡轮—中心式的	350–450
燃气涡轮—分布式的	700–800
柴燃机—分布式的	400–500
单元燃料—分布式的	3,000–4,000
陆上风电	900–1,100
海上风电	1,500–1,600
光电—分布式的	6,000–7,000
光电—中心式的	4,000–5,000
生物质能	1,500–2,500
地热能	1,800–2,600
水电	1,900–2,600

### 案例分析： 英国创新评估及能源白皮书

英国政府官方的《能源评论》报告中，对未来单位电力的生产成本作了完整的比较<sup>[55]</sup>。具体内容见表11.2中。

英国《能源评论》中强调：“对可再生能源的支持会促进技术创新，而各种技术长期的单位

成本也将随着规模的扩大和经验的积累而逐渐降低。如此看来，今天的投资相当于购买了未来预期价格低廉的技术的期权。”紧接着发表的白皮书也表明，“需要具体的措施来激励可再生能源的发展，而这将带来经济的规模效应和成熟的市场，从而大幅度地降低成本。”

继《能源评论》之后，英国政府发表了在本国前所未见的有关可再生能源的白皮书。它在制定能源开发目标时优先考虑环境，同时也就可再生能源的未来做出郑重承诺，并表明风电能带来更大的利益。之所以会得出这个非常积极的展望，其主要论证是：“类似海上和陆上风能以及生物能的相关技术是极具潜力的，与提高能源使用效率和节能一起，可再生能源是从长期来看，限制二氧化碳减排量的最有效的方法。”<sup>[56]</sup>

### 案例分析： 中国风电场的投资案例

中国2006年即将生效的《可再生能源法》中声明：

“可再生能源发电项目的上网电价，由国务院价格主管部门根据不同类型可再生能源发电的特点和不同地区的情况，按照有利于促进可再生能源开发利用和经济合理的原则确定，并根据可再生能源开发利用技术的发展适时调整。上网电价应当公开。”

目前，该法律的实施细节正在讨论之中，预计将在2005年底出台。施鹏飞和谢宏文在“关于风力发电上网电价机制的建议”

表11.2 英国政府的成本估计<sup>(1)</sup>

技 术	2020 单位电力成本, 5-15% 折扣率		对估计值的信心
	p/kWh	\$cents/kWh	
光伏发电	10-16	18-28.8	高
路上风电	1.5-2.5	2.7-4.5	高
海上风电	2-3	3.6-5.4	中
植物能	2.5-4	4.5-7.2	中
波浪能	3-6	5.4-10.8	低
不排出二氧化碳的化石能源	3-4.5	5.4-8.1	中
核能	3-4	5.4-7.2	中
联合循环燃气机组(CCGT)	2-2.3	3.6-4.1	高
整体煤气化联合循环(IGCC)	3-3.5	5.4-6.3	中

(1) 汇率率：1英镑=1.8美元

表11.3 典型中国风电场的发展过程案例

项目容量	50 MW
每年的能源产量	100,000 MWh
总投资	\$ 55 M
净资产	20 % total investment
贷款	80 % total investment
贷款年利息率	6.12 %
还款时限	15 years
发电增值税	8.5 %
所得税	33 %
20年运营期间的平均价格税	\$0.0726/kWh (RMB0.581/kWh)
总投资的内部收益率	7.62 %
IRR on equity	9.49 %

一文中，提出了几种不同的方案<sup>[57]</sup>。表11.3显示了一个典型的中国风电场的发展过程的案例。

## 11.2 外部成本

明确这一点很重要，即如果只是持续运营现有的电力系统不会降低成本。除了对环境的破坏，环境经济学家还提出了“一切照旧”的模式，相对于可持续发展的模式来说，给社会带来的成本会更高。支持这个论点的理由包括：

- 常规能源的供电系统需要不断更新和拓展
- 石油和天然气供应日趋不稳定
- 日益增长的环境破坏成本
- 人类健康状况下降带来的相关成本增长
- 依赖于外国资源所造成的成本（供给的安全性）
- 间接成本，例如补助金，税收减免，研发费用，维持治安和管制费用，这些通常在成本分析中并未包括
- 二氧化碳的排放成本，包括政



© 绿色和平/潘灿雄

策度量，比如有关二氧化碳排放税，诉讼费用以及保险费等。

- 其它非正式成本，即至今未货币化的成本

除了前两个成本因素，其他的通常被称为“外部成本”，即那部分由社会承担，而没有列入常规技术比较的成本。在试图将能源相关的外部成本量化的研究中，最著名的是由欧盟资助的ExternE研究项目<sup>[58]</sup>。在这个联合研究项目中，许多欧洲与美国的研究人员进行协作，使用了能源的生命周期以及影响方式来量化不同形式能源发电对环境产生的外部成本。



© 绿色和平/雷山雄

表11.4 EnterE结果摘要

技术	外部成本范围 [\$cents/kWh]
煤/褐煤	2.2-18.6
油	3.2-13.5
燃气	0.6-4.3
核能	0.3-0.9
生物能	0.1-6.4
水力发电	0.005-0.9
路上风电	0.06-0.3

虑环境的影响，并没有把供给稳定性或者其他经典争议议题考虑进去，比如核废料的处理和存放成本。因此最终结论在很大范围中还存在不同形式的不可靠性。

表11.4中的数值是多年研究的结果，也是整个欧盟首次共同把能源的外部成本进行量化的尝试。ExternE的研究还在继续。最重要的结论是，所有可再生能源，特别是风能有着可以忽略不计的外部成本。而化石燃料则会导致额外的环境成本。如果环境的外部成本能够内部化，那么根据已有的经验，风电将成为最廉价的电力生产方式。该研究只是调查陆上风电，但是一般认为海上风电的净外部性与陆上风电的相仿<sup>[59]</sup>。

表11.4简要地表明了欧盟15个国家(包括挪威但是除去卢森堡共和国)的电力部门产生的外部成本，最终结果的范围表现为最高和最低国家的结果情况。在其他条件中展开的评价反映了各国环境、意见分歧、数据可用性的差别、不同的方法(在协议的框架内)、以及纳入考虑范围的参数的区别。

有必要了解一下ExternE的研究方法，是从学术角度去量化那些没有被考虑进常规定价的外部成本。大多数时候，他们只考

## 11.3 成本展望

图11.2显示了一个主要的风机制造厂商25年来不断下降的产品价格，从而很好地说明了技术投资以及经济规模效应可以使成本降低。图11.3则显示了风机单机容量增大对成本的影响。

这些例子显示了稳定的市场中，既定的研发支持和规模效应可以带来的可能性。可再生能源的大力推广，正值这个前所未有的经济不稳定而竞争日益剧烈的时代。陆上风能现今的生命周期被证明是成本不断下降的阶段。与之形成对比的是，化石燃料发电和核电享受着长期的补贴，而且将环境污染的成本转嫁给整个社会(相对于生产电量的每单位价格)。

陆上风能的成功已经改变了投资者对其他可再生能源技术的投资欲望。期望从下一轮技术创新中获益的创业者们，象之前关注陆上风能一样，正对海洋技术蠢蠢欲动。

图11.2 25年内风电机组成本的下降

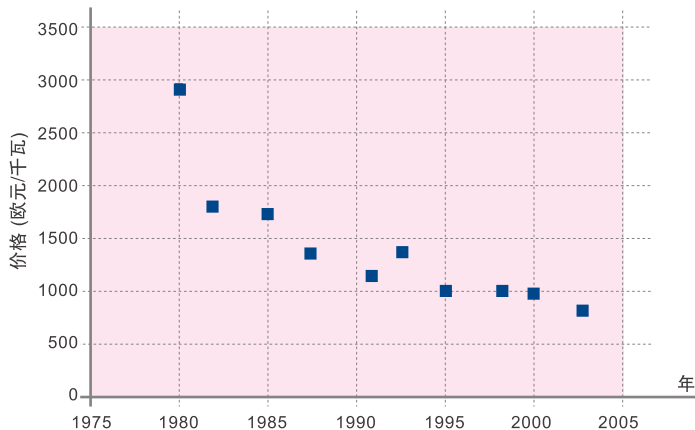
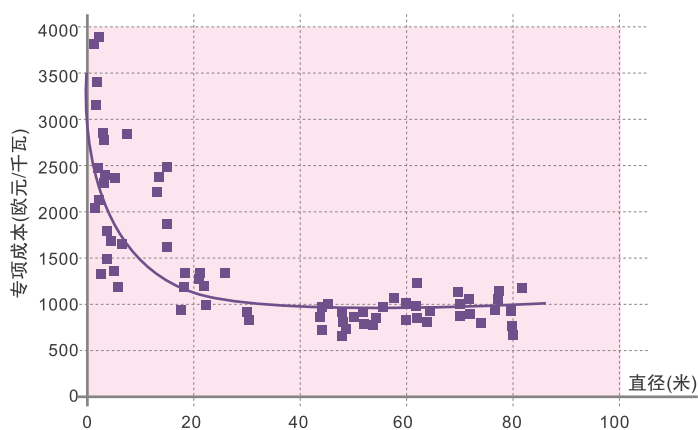


图11.3 相对风机直径增大成本的减少



## 11.4 结论

这部分的讨论已经考虑到发电技术在目前可理解范围内的成本。须注意以下几点：

- 所列成本得自于工业化国家经验
- 成本会随着经验的积累、世界政策的变动、能源已开发量等因素而变动
- 所谓的“外部成本”并不是会计体系的一部分

了解了以上几点，我们可以知道，与传统发电成本相比，陆上风电已经具备了竞争力。这是在过去十年，通过规模经济效应和技术发展而导致的成本下降。进一步说，当二氧化碳减排作为最重要的考量时，海上风能亦能

成为有吸引力的经济选择。

成本分析将置信度作为一个重要的因素，尽管通常不会把它明确地表达出来，但是它对决策的制定非常重要。置信度有力的指出，对于这类让我们充满信心且有广泛的经验支持的技术，成本预算肯定是可实现的。陆上风电就属于这类。

生产电能的过程中也产生一些额外的成本，按照惯例，这些成本并没有归类到在传统的电力成本计算中。当选择性地把这些成本算进各种能源的开发中时，可见风电和其他可再生能源是社会总成本最低的。许多国家对可再生能源采取特别的财务处理，

这些外部成本便是其原因——激励机制被认为是对完全估量环境损失的困难的一种回应。