

中国风电电价分析

1、世界风电发展

随着全球经济的不断发展和越来越严格的环保要求，近年来，国际风电市场快速发展，年平均增长速度在 30% 以上，相当于蓬勃发展的信息技术的发展速度。今天，估计全球风电的总装机容量超过 1800 万千瓦，年发电量约 360 亿千瓦时，这相当于中国大城市的 3600 万户家庭用电量，如北京、上海和广州等，即能满足近 1 亿城市人口的生活用电的需求。1996 至 2000 年全球风电市场见表 1。

表 1 - 全球风电装机容量

年度	新增装机容量 (MW)	年底的总装机容量 (MW)	总容量的增长 速度 (%)
1996	1,292	6,070	27
1997	1,566	7,636	26
1998	2,597	10,153	33
1999	3,923	14,076	39
2000	4,500 (估计)	18,500	32
平均			31.4

来源：BTM 咨询公司和 Vestas 对 2000 年度市场的估计

近年最成功的风电市场是欧洲，特别是德国、丹麦和西班牙。美国也非常积极地利用风能技术，印度、中国和南美等许多发展中国家也是如此。在多种经济和地理条件下，风能都显示了其优越性。

目前，一个主要趋势是在商业化的基础上，开发大规模的风电场，如 2001 年美国将建设四个超过 20 万千瓦的风电场。

据国际能源机构预测，如正常发展，2020 年度世界用电量将翻一番。未来增长的电力需求意味着 2020 年风电的装机容量将达到 12 亿千瓦，年发电量约 2.5-3 万亿千瓦时，相对于 10% 的全球用电量。

2. 风电电价

风电是最便宜的再生能源。在风能资源好的风场，它已经能够完全与新建的化石燃料电厂和核电厂相竞争。随着更多和更大风电场的开发以及采用更先进技术，电价继续下降。另外，众所周知，化石燃料价格不断上升，因此，预计在 3 到 5 年后，当风电电价比常规能源的便宜时，风电市场将更加繁荣。

根据美国风能协会分析，在过去的二十年里，风能电价已经下降了 80%，见图 2.1。在 80 年代早期，当第一台风机并网，风电高达 30 美分/千瓦时。现在最新的风电场风电的价格仅为 4 美分/千瓦时，这一价格可与许多常规能源技术相竞争。

目前美国政府为所有新建风电场的前十年运行，提供 1.5 美分/千瓦时的发电税收补贴（PTC，随通货膨胀而调整）。由于有 PTC 的支持，一些新建风电场的合同电价已降至 3 美分/千瓦时以下。

丹麦 BTM 咨询公司计算的风电成本见表 2.2。风电成本越来越具有竞争力。现在风电成本已降至 0.26 丹麦克朗/千瓦时。通过技术进步和成本优化，今后 5 年内，预计度电成本将再下降 20%，因此，风电的度电成本（包括资金投入）将接近化石燃料发电的可变成本。

在英国，通过“非化石燃料公约（NFFO）”，风电电价已经显著下降。表 2.1 显示了在连续的再生能源法令的合同下，风能电价是如何下降的。最低平均电价为 2.51 便士/千瓦时（约合人民币 0.314 元/千瓦时），是在 1999 年苏格兰再生能源法令（SR0）下，基于 15 年合同得出的。应注意的是，由于 NFFO 带来的强烈竞争，为取得最好的成本效益，投资者优先开发风能资源最好的场址。

表 2.1 - 下降的风能电价

法令	英国便士/千瓦时
NFF02（如果 15 年合同）	8.60
NFF03（加权平均，大项目） 1994	4.30
SR01（平均）1994	3.99
NFF04（平均，大项目）1997	3.50
SR02（平均）1997	2.78
NFF05（平均，大项目）1998	2.88
SR03（平均）1999	2.51

然而，风能经济性的关键是选择合适的场址。从风能取得的能量与风速的立方成正比，即风机装在平均风速 7 米/秒场址的发电量将是在 6 米/秒场址的 1.7 倍。因此，好的风能资源是决定风能成本的最基本因素。

事实上，不同国家的风电成本不同，因为不同的风能资源和不同的建设条件，包括不同的激励政策，但是趋势是风能越来越便宜。成本下降有许多原因，如随着技术的改进，风机越来越便宜并且高效。风机的单机容量越来越大，这减少了基础设施的费用，同样的装机容量需要更少数目的机组。随着贷款机构增强对技术的信心，融资成本也降低了；随着开发商经验越来越丰富，项目开发的成本也降低了。风机可靠性的改进减少了运行维护的平均成本。

另外，开发大的风电项目能减少项目的总投资，从而减少度电成本以实现成本效益。风电场的规模大小影响着它的成本，如大规模开发可吸引风机制造商和其他供货商提供折扣，使场址的基础设施的费用均摊到更多风机上以减少单位成本，能有效地利用维护人员。根据美国风能协会，在一个极好场址（平均风速为 8.9 米/秒）的大风场（50MW 及以上）的电价可以做到 3 美分/千瓦时或以下；而在一个中等场址（平均风速为 7.1 米/秒）的小风场（3MW）的电价可能高达 8 美分/千瓦时。

简言之，尽管相对年轻的产业，但风能的经济性已经很强。据预测，在未来十年里，成本将继续下降，主要因为风机价格的下降。

3. 中国风电电价的案例分析

目前，中国风电项目的规模相对较小。1995 至 2000 年间，平均项目规模小于 1 万千瓦，电价范围为 0.6—0.7 元/千瓦时，不含增值税。正如前述，开发大规模的风电项目能减少单位容量的成本，从而减少电价。因此，我们的分析将仅考虑大项目。为了确定如何取得 0.40 元/千瓦时的风电目标电价，我们的分析包括如下两部分：

- ◇ 分析现有政策框架下的风电电价；
- ◇ 确定取得 0.40 元/千瓦时的风电电价的一个方案。

3.1 现有政策框架下

选择一个风电场作为我们分析的基础。该场址风能资源好，并且有广阔的可用空地。假定 152 台 V47-660 kW 风电机组将安装在该场址，那么

$$\text{项目容量} = 100,320 \text{ kW}$$

基于当地人们测量的风能数据，首先，能够容易地计算 152 台 V47-660kW 风电机组的理论年发电量，然后折减由尾流、紊流、可用率和电力传输、低空气密度、低温等造成的损失，我们估计

$$\text{实际年发电量} = 285,596 \text{ MWh}$$

按照中国的有关法规和经验，估计总投资如下：

$$\text{总投资} = 950,000,000 \text{ 元人民币}$$

包括风电机组、进口关税、联网和输电工程、通讯、必要的土建工程、土地征用、前期费用、管理监理费用、保险、准备费、外汇风险和建设期利息等。

假定资本金占总投资的 20%，其余部分使用国际贷款，15 年还贷期，年利息 8.0%。建设期为 1 年，生产期 20 年，因此，计算期为 21 年。根据中国法规，该项目仅征实际占用土地。通货膨胀率按 0% 计算。

目前中国税率如下：

增值税率为 17%

进口关税为 6%

所得税率为 33%

按照国际经验，运行维护费用取 0.05 元/千瓦时，其中包括备品备件、易耗品、工资福利等。

基于上述条件，使用中国财务分析模型进行我们的项目分析，结果如下：

电价 = 0.529 元/千瓦时(不含增值税)

电价 = 0.619 元/千瓦时(含增值税)

资本金的内部收益率(IRR) = 18.0% (20 年)

上述电价比目标电价高许多。为了减少这一电价，我们进行如下分析以了解不同参数对电价的影响，如总投资、发电量和税率等。

请注意，在如下章节中，如无特殊说明，“电价”即指风电场销售电能的上网电价，不含增值税。当计算电价时，IRR 保持恒定，为 18%，特殊说明除外。另外，在每次分析时，我们仅改变一个参数，其他保持不变。

3.1.1 进口关税

表 3.1.1 - 关税对电价的影响

进口关税	6%	4%	2%	0%
电价 (元/千瓦时)	0.529	0.523	0.516	0.464

当进口关税减少 1%，电价仅下降 0.003 元/千瓦时，然而，取消进口关税时，与进口关税为 6%相比，电价显著减少至 0.464 元/千瓦时（12.3%），因为当进口关税为 0%时，进口增值税也为 0%，同时，总投资减少至 821,762,000 元人民币。因此，免征进口关税是使电价显著减少的必要条件。

3.1.2 增值税

增值税对电价的影响见表 3.1.2。增值税对含增值税的电价影响很大，但对不含增值税的电价仅有一点作用。

3.1.3. 所得税

表 3.1.3 - 所得税对电价的影响

所得税	电价 (元/千瓦时 kWh)
免二减三	0.528
免五减五	0.518
0%	0.495
15%	0.508
33%	0.529

如果所得税率由 33%减少至 0%，电价仅减少 0.034 元/千瓦时。按照中国的目前政策，经济开发区的企业可享受所得税的优

惠政策，如免二减三、免五减五，然而根据我们的分析，风电项目从这些优惠政策中收益不大。

3.1.4. 贷款利息

表 3.1.4 - 贷款利息对电价的影响

贷款利息 (%)	0	2	4	6	8	10
电价 (元/千瓦时)	0.37	0.408	0.447	0.487	0.529	0.572

当贷款利息增加 1%，电价平均增加 0.02 元/千瓦时，即 3.8%，因此，贷款利息对电价的影响很大。

3.1.5 贷款还贷期

表 3.1.2 - 贷款还贷期对电价的影响

贷款还贷期 (年)	8	10	12	15	20
电价 (元/千瓦时)	0.616	0.584	0.558	0.529	0.499

当还贷期由 10 年增至 15 年，电价减少 0.055 元/千瓦时，然而当由 15 年增至 20 年，电价则减少 0.03 元/千瓦时，因此获得长期贷款是非常重要的。

3.1.6. 总投资

表 3.1.6 - 总投资变化对电价的影响

总投资 (%)	-15	-10	-5	0	+5	+10	+15
电价 (元/千瓦时)	0.457	0.481	0.505	0.529	0.553	0.577	0.601

如果总投资减少 5%，电价相应减少 4.5%。按照丹麦做法，当地电力部门和政府应支付风电场外的上网和设备运输所需的输电线路和道路的费用。如果中国也采用类似的规定，那么总投资将减少 6.5%，即电价减少 0.031 元/千瓦时。

3.1.7 风机价格

在该部分，“风机价格”指风机进口部分的价格，包括转轮和机舱，不含国内制造的塔架。

表 3.1.7 - 风机价格对电价的影响

风机价格 (%)	-20	-15	-10	-5	0	+5	+10
电价 (元/千瓦时)	0.462	0.479	0.495	0.512	0.529	0.546	0.562

如果风机价格减少 5%，电价减少 0.017 元/千瓦时。如果将来在中国稳定的风电市场的支持下，Vestas 在中国建立完整的风机制造工厂，包括叶片厂，那时 Vestas 风机的价格将显著下降，从而对电价产生一个明显的影响。

3.1.8. 运行维护费用

表 3.1.8 - 运行维护费用对电价的影响

运行维护费用 (元/千瓦时)	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08
电价 (元/千瓦时)	0.499	0.509	0.519	0.529	0.539	0.549	0.559

运行维护费用减少 0.01 元/千瓦时，相应的电价减少幅度与之完全一致。

3.1.9. IRR

表 3.1.9 - IRR 对电价的影响

IRR (%)	12	15	18	21	24	27	30
电价 (元/千瓦时)	0.468	0.498	0.529	0.561	0.596	0.630	0.663

当 IRR 增加 1%，电价相应上升约 0.01 元/千瓦时。在美国，通常投资商要求风电项目的 IRR 为 18%，而燃气项目的 IRR 仅为 12%。随着开发更多、更大的风电项目，投资商和开发商将对风电技术信心更足，从而他们所要求的 IRR 将下降，如本项目的 IRR 能从 18% 降至 12%，电价将减少 10% 以上。

3.1.10. 发电量

表 3.1.10 - 发电量对电价的影响

发电量增加 (%)	-15	-10	-5	0	+5	+10	+15
电价 (元/千瓦时)	0.613	0.582	0.554	0.529	0.506	0.485	0.466

如果本项目的发电量增加 5%，电价将平均减少 4.6%，因此风能资源是影响风电电价的关键因素。

3.2 风电的目标电价 - 0.4 元/千瓦时

从上述的分析可以看出，在现有的政策框架下，几乎不可能达到目标电价，因此，我们提出如下建议，但是其他条件与 3.1 部分一致。

假定：

- 对进口风机免征关税；
- 对风电免征增值税；
- 资本金占总投资的 20%，其余部分使用国内无追索贷款，15 年还贷期，年利息 6.21%；
- 当地电力部门支付风场外的输电线路的费用；
- 当地政府支付运输设备所需的风场外的道路建设费用。

使用上述假设，我们重新分析本项目的经济性。

- 项目容量 = 100,320 kW
- 实际年发电量 = 285,596 MWh
- 总投资 = 约 750,000,000 元
- 所得税率 = 33%
- 运行维护费用 = 0.05 元/千瓦时
- 销售电价 = 0.4 元/千瓦时
- 资本金内部收益率 = 18.22% (20 年)

基于上述假设，风电电价将由 0.529 元/千瓦时明显降至 0.4 元/千瓦时，IRR 保持 18% 不变。因此，如果上述假定条件

能够形成中国优惠政策的框架，那么使风电项目的电价降至 0.4 元/千瓦时是可行的，并且对投资商具有吸引力。

4、100MW 风电项目的受益者

开发 100MW 的风电项目意义重大，最明显的是能实质性地推动风电国产化政策的实施。由独立开发商融资、风机制造商共同实施第一个 100MW 的项目，谁将是受益者呢？

对于多个参与者来说，它将产生一个多赢的局面。中国人民、中国中央和地方政府、开发商和风机制造商都将从中受益。

中国政府的整体目标是为人民提供更好的环境和发展国内的风电产业。风电是最好的清洁能源，通过实施 100MW 风电项目，政府将能取得

- 在特定地区，减少污染
- 创建国产化的商业基础

一般地，中国受益者如下：

- 中国政府达到实现国产化政策的目标
- 地方政府从税收和土地征用等方面获得收入
- 地方电力部门从电力销售中获得效益
- 地方供货商从供货和服务中获得效益
- 中国银行从贷款中获益

建立风机制造厂时，地方受益者如下：

- 为地方政府提供就业机会，地方政府从税收和土地征用等方面获得收入
- 地方供货商从供货和服务中获得效益

对于开发商，投资这类项目的总体目标自然是收益，开发商的收益将是

- 大于 15% 的投资资金的内部收益率
- 未来项目的商誉

风电设备和技术的供应商自然也从中收益，如：

- 销售收益
- 建立风机制造厂，为中国其他项目供货
- 提高未来收益的基础
- 向其他亚洲国家出口叶片的机会

总之，开发如此规模项目的好处很多，我们由衷希望中国政府给予支持，尽快实施，以取得“第十个五年计划”制定的风电目标。