

# 再谈发展风力发电

黄毅诚

2003 年 4 月

风电是干净的能源，也是我国的重要能源资源。我国要解决二氧化碳排放等环境保护问题，实现可持续发展战略，风电可以作出重大的贡献。我国风力资源十分丰富，从资源上讲，有可能把风电总量占到全国用电量 50%的。很多国家都提出经过 30 年至 50 年的努力使风电占到总用电量的 50%，我国也应有自己的发展目标，使我国风电发展能跟上世界的潮流。

## 一、世界风电发展状况

近些年来，世界风力发电发展很快，可以说是在加速发展。发电能力方面，2002 年全球风力发电总量比上年增加了 28%，新增装机 686.8 万千瓦，总装机达到了 3100 万千瓦，是 1999 年的 4 倍，年均以 32%的速度递增。新增风电装机中 90%在欧洲和美国，主要是在欧洲，约占 3/4。德国在 1999 年新增风电装机 91.9 万千瓦，2001 年新增 130.1 万千瓦，2002 年新增 300 万千瓦，目前，德国风电装机总量已超过 1200 万千瓦，所发电量已可满足全国消费电量的 4.2%，计划到 2050 年，风电将占总发电量的 50%。

丹麦规划到 2030 年，风力发电将占总发电装机的 50%，达到 550 - 600 万千瓦，其中 400 万千瓦要建到海上，占 67%。2020 年将达到 275 万千瓦，其中 125 万千瓦在北海上，占 45%。在欧洲还有西班牙、英国等都提出在 2050 年风电要占到总电量的一个大的比例。法国前几年风电发展缓慢，目前已开始高速发展，2002 年风电装机达到 15.3 万千瓦，虽然量不大，但比 2001 年的 5.9 万千瓦增加了 62.8%，法国规划到 2007 年，风电装机达到 600 万千瓦。

技术方面，近几年来也有很大地发展。单机容量已从 300 千瓦、600 千瓦发展到批量安装 1500、1700、2000.....5000 千瓦。2000 年，世界上单机 1000 千瓦以上风电机组已经占到机组总数的 59.6%。我国风电机组单机容量最大的为

1300 千瓦，安装在营口的仙人岛，塔高 58 米、叶片长 29 米，年发电已达 280 万千瓦时。日本在东京湾已建了两台单机 1700 千瓦风电机组，塔高 70 米，另在东京湾北部建了一台 2000 千瓦风电机组，塔高 100 米，计划 2004 年投运，年发电 350 万千瓦时（1750 小时）。丹麦在首都附近建了 20 台单机容量 2000 千瓦风电机组，另在西部海岸礁石角建设 80 台单机 2000 千瓦的近海风电场，场址离海岸 17 公里，水深在 6.5-13.5 米之间，每千瓦装机年发电 3750 小时，每台机组带有卷扬机的安装维护平台，政府无补贴，头 10 年电价为 0.33 丹麦克郎/千瓦时，以后按市场价运行。德国在北海领海内的赫耳果兰岛以东 17 公里，距大陆 25 公里、水深 20 米处要建总功率为 100 万千瓦的大型风力田，一期安装 100 台单机容量为 5000 千瓦的风机，第一台机组已于 2001 年初试制完成，计划在 2004 年投入运行。5000 千瓦风电机组，采用三只叶片，塔高 90 米，旋转直径 80 米，在风速为 14.5 米/秒时，满发转数为 16.2 转/分。各台机组相距 600 米，50 万千瓦的风场占地为 6000 × 6000 米。技术在不停的向前发展，风力发电设备的技术也不会停止在这一水平上。

## 二、我国的风力资源

我国风力资源十分丰富，但现在还难准确地说有多少风力资源可以利用，国家气象局提供过一个资料：我国陆地上 10 米高度风能资源总储量约为 32.26 亿千瓦，其中可供开发利用的为 2.53 亿千瓦，约占 7.8%。理论上，50 米高度的风力资源是 10 米高度的一倍，到 100 米高度还要增加。现在只有内蒙古草原上的微型风力发电机运行高度在 10 米左右，而我国安装比较多的 600 千瓦风机，塔高是 40 多米，再加风叶的长度，已经达到 50 - 60 米高度。今后要发展的单机容量 1000 千瓦以上风机，总高度将达到 100 米。所以我国陆上风力资源为 5 亿千瓦的估计不是过大。世界上公认海上风力资源是陆地上的 3 - 5 倍，按 3 倍计算我国海上风力资源也有 15 亿千瓦。我认为现在没有必要在我国风力资源总量的计算上下功夫，不管怎样算，我国风力资源是十分丰富的，远远超过可开发的水电资源量，足够我们利用的。从西北的新疆、甘肃、宁夏，经内蒙到东北的西部，是一个大的风力带。一万多公里的沿海，上千的岛屿都能找到建风电的好场址。特别在台湾海峡，由于峡管效应，福建、广东都是风力资源十分丰富的地方。我国内陆多山，也能找到一些大的风口，如面积近 5000 平方公里的鄱阳湖，拿出

1000 平方公里湖面就能建 1000 万千瓦的风电。

我看到一个资料，世界上风力发电年平均利用小时，最高的是英国为 2880 小时，最低的是印度为 1800 小时，平均水平为 2023 小时。我国内蒙辉腾风电场已装了 70 多台 600 千瓦机组，平均年利用小时为 2650 小时，若安装单机 1000 千瓦以上风机，塔高超过 50 米，利用小时就可以提高到 3000 小时以上。广东的南澳风电场，最高一年的利用小时达到 3400，也有不足 3000 小时的年份。达板城风场现在达到 3000 小时，若增大单机容量可以超过 3000 小时。这些风电场的利用小时都超过了世界平均水平。

### 三、我国风电发展现状及分析

从 1990 年全国召开第一次风电会议至今，我们风电有所发展，2002 年风电装机约为 40 万千瓦，但原计划 2000 年建设 100 万千瓦风电的设想，未能达到。我国风力资源丰富，风电又是可再生能源，对环境没有任何污染，为什么在 20 来年内发展的速度过慢，和世界先进国家的差距不是在缩小，而是在拉大。从表面上看，是因为风力发电设备价格过高造成风电电价太高，远远超过煤电电价，在电力市场上没有竞争力，但主要根源还是有决策权的同志们对风力发电的重要性和它将对国民经济发展起到重大作用的认识没有跟上，没有采取应有的有力措施。

这些年，我国新增的风电，多数是利用国外政府提供的贷款建设的。外国政府提供的贷款，表面上看利息较低，但作为条件必须购买该国的设备。购买国外机电设备，价格本身就高，再加上用人家的贷款，必须买人家的设备，没有竞争，价格又要高出一大块。结果是贷款利息低的一点点的好处，全部被高价购买设备抵消了。我们吃这样的亏是不少的。用这种方式购买风电设备，再加上批量小，价格高是必然的。所以，我们开始建设的风电，大约 9000 - 10000 元一个千瓦，后来自己能生产部分部套时，造价降到 7000 元左右一个千瓦。

下面拿 600 千瓦风电机组为例，对风电机组的几个主要部件进行价格分析：

1. 齿轮箱（是一个慢转数的增速箱，从 18 转左右增到 1500 转）。外国公司卖给我国每台要价 60 万元，而我国南京高速齿轮箱生产的，质量一点不比国外进口的差，报价是 18 万元一台。我国能生产这种齿轮箱的企业不少，去年听说一台已降价到 15 万元，若大批量生产，这个价格是能作出来的。

2. 发电机（4 极 1500 转 600 千瓦）。国外公司 58 万元一台卖给我国。2001 年春天我到西安航空发动机厂考察时，介绍说国内几个企业报价为 18 万元，年底我去上海电机厂考察，这是我国机电制造水平最高的企业之一，他们报价是 13 万元一台。

3. 风叶。是用玻璃纤维和环氧树脂糊成的，在国外也完全靠人工一层一层地糊，操作工人要十分细心，否则会出现气泡，影响叶片寿命。去年我到保定，专门去生产风叶的工厂参观，他们生意很好，采用真空技术，生产风叶骨架时不产生气孔，采用特殊工艺生产的叶片模具，具有特高表面光洁度，用此模具生产的风叶，表面的光洁度很高，不用再打磨。同样的风叶，国外公司以前的报价三只风叶是 160 万元，而这个工厂生产的每只是 18 万元，3 只共 54 万元。当时我说产品比国外质量不差，价格只有 1/3，很好。又说一只风叶 18 万元，可以购买一辆小汽车。

从以上三种重要部件看，国内制造和从国外购买，价格上有很大的差距。也就是说只要国内生产，风电设备会有很大的降价空间。

新疆一家风电制造公司给了我一份资料，例举了 600 千瓦风电设备的部套清单，并说明了那些部分我国可以生产，那些不能生产。现例出我国能生产的部分及厂家，供大家参考（括号内的内容是我自己加注的）：

序号	部 件 名 称	生 产 厂 家
1	风叶（玻璃钢制品）	保定惠腾风电设备有限公司
2	机舱底座（金属结构件）	1. 西安振远水泥机械装配有限公司 2. 天水锻压机工厂 3. 青岛风电设备厂
3	机舱罩（玻璃钢制品）	1. 新疆发电设备厂 2. 保定 550 厂
4	散热器	1. 中洲机械厂 2. 上海贺得克有限公司
5	齿轮箱	1. 重庆齿轮箱厂 2. 杭州齿轮箱厂 3. 南京高速齿轮箱厂
6	发电机	1. 上海电机厂 2. 兰州电机厂 3. 湘潭电机厂 4. 沈阳电机厂 5. 铁道部永济电机厂
7	轮毂	1. 西安航空发动机公司 2. 中国第二重机厂

8	偏航轴承	1. 洛阳轴承厂 2. 瓦房店轴承厂 3. 徐州回轮支撑制造公司
9	偏航减速箱	1. 杭州齿轮箱厂 2. 西安重型机械研究所 3. 重庆铸力公司
10	塔架（可以用钢筋混凝土滑模技术建设，但要对比成本、寿命）	1. 新疆发电设备厂 2. 青岛风电设备厂
11	电控系统	1. 新疆工学院 2. 中科院电工所

国内还不能生产的部套有：

1. 液压系统
2. 高速轴刹车
3. 安全离合器

以上三项约占总价格 4%。

从以上清单可以看到，风电设备的部套，国内基本上能制造。如果一些零部件国内一时还不能制造，或制造成本高于进口，完全可以从国外购买。

#### 四、风电的优点及发展趋势

风电的优点大家都很清楚：不消耗任何燃料，是可再生的无污染的能源；建在西北、建在近海都不占用耕地；建设周期短，只要把设备立起来就能发电；单台发电设备投资不大，建设有灵活性；它也有不足之处，就是有风才有电，这和水电有水才有电一样。

我国风电有一个很好的特点：在冬、春季风大，发电多，而冬春两季又是我国的枯水期，风电和水电可以互补；另外我国的风，多在下午开始加大，到后半夜开始减弱，这正好和电力负荷曲线相吻合。

风电必须同大电网联起来才能正常运行，为了克服风电间歇性特点，可以考虑多建一些抽水蓄能电站。现在为了平衡电力负荷，电网中建了一些抽水蓄能电站，我去年参观了天荒坪抽水蓄能电站，这个电站在华东电网中在起到很好的削峰填谷作用，经济效益也很好。在雨水充足的浙江、福建等南方山区，选择抽水蓄能电站厂址是比较容易的。

世界风电发展的趋势是多数风电准备建在海上。丹麦到 2030 年时，风电将主要建在海中，要占到 76%，到 2020 年时要占到 45%。德国已在北海大规模的建

设风电，他们估算北海海中可以建约 6000 万千瓦风电。风电建在海中有许多优点：风速比陆地、岸边要高 20%，发电量增加 70%；海上很少有静风期，能更有效地利用风电机组的容量；海平面比较平，产生的摩擦力小，而且风速随高度变化也小，不需要建很高的塔架，这可以降低基建造价；海上风的湍流强度低，海面与其上面的空气温差比陆地表面与其上面的空气温差小，又没有复杂地形对气流的影响，作用在风叶的疲劳载荷减少，可延长风电设备的使用寿命，陆上一般为 20 年，海上可以达到 25 - 30 年；在海上噪音标准可以提高，风机的转数可增加，风轮转数增加 10%，风机的有效性可以增加 5 - 6%。但风电建在海上，要承受更强的载荷和海浪的冲击，要能抵抗海洋环境的盐雾腐蚀，吊装和维护的工作比陆地困难，基础建设也比陆地困难（施鹏飞文章提出海上风电机组占投资 51%，基础 16%，电器 19%，其他 14%）。

我去过天津沿海和河北黄骅沿海，那里海水很浅，到海里头 20 公里处，海水只有 10 来米深，还有很大的滩岸，风力又很大，建风电年平均利用小时可达 3000 小时以上，是很理想的建海上风力田的地方。辽宁营口地区风也很大，我国现在单机容量最大的风电机组就装在那里，海水也只有 7 米来深。苏北从连云港到长江口，约有 700 公里，沿海风力很大，海水也不深，按德国在北海建风电的标准（6×6 公里装机 50 万千瓦，每平方公里可装 1.4 万千瓦），只在 10 公里近海的水面上，就可以建设近亿千瓦的风电。我去过福建的平潭县——是一个岛，在其近海，浅滩及山上可建一、二百万千瓦的风电。浙江的嵊泗岛听说风力也很大，我没有去过。广东的南澳我是去过的，现在把风电建在了山上，若能建在近海中可能效果更好。

沿海均为我国缺能地区，若把近海风电发展起来，将对这里的经济发展有特大的促进作用。2001 年在福建召开的一个能源讨论会上，有位同志发言说“现在是西电东送，多少年后，要东电西送”，这句话可能有一定的道理，起码他看到了海上风电的巨大潜力。

## 五、建设风电有可能改变我国北方的自然条件

建设风电，可能还有另外一种作用。几年前，领导转来了沈阳有色院两位高级工程师向中央写的一个建议，大意是为什么北方的雨比历史上少，主要是西北的冷空气势力变大，顶住了东南暖湿气流北上。解决的方法是在西北几个大风口

处建设挡风墙，减弱西北冷空气的势力，使东南方暖湿气流北移，从而增加北方的雨量。这两位专家还设计了挡风墙的草图，叫引风器，没有标尺寸。我估算引风器进风口的高度有 10 米，风进来之后，引风器后部平滑向上转 90°，使风转 90° 向上吹，再形成空气屏幕，大约可以阻挡 30 米高的风。

这个设想可能对大气流动有点效应，效应多大不好说，但要在几个大风口处建设几百公里的挡风墙，工程量太大，而且投下去没有直接收入。我回文提出在大风口建设风力田，形成大面积的风电矩阵，同样可以起到减缓风力的作用，效果比挡风墙还好，可以阻挡 100 多米高度的风，而且建风电，有直接的收益，完全可以归还建设贷款。几年后，大约是在 2001 年 7 月间，在报上看到日本有位专家的文章，也说要解决我国北方的风沙，需在几个大风口处建设风电。可见用大规模建设风力发电来减缓西北风力，肯定是有效的。若能由此真的可以使东南方的暖湿空气北移，增加北方的雨量，那将是出奇的伟大成果。退一步讲阻挡的效果不大，也没有什么损失，在大风口建风力发电可以有很好的经济效益，国家应对此作出决策。

另外，前面提到天津至黄骅的近海上是建风电很好的地方，大量建设风电后，海面上的风力强度要减弱，由海风卷起的沙会减少，可以大大减少航道每年的维护量。

## 六、采取有力措施促进我国风电大发展

要使我国风电的发展速度和技术水平能赶上世界潮流，首先要解决对风电重要性认识的问题。随着经济的发展，我国人均发电装机达到一个千瓦是必须的，届时全国有 15 亿人口，相应要有 15 亿千瓦装机，电力发展空间很大。我们是否也应考虑 50 年后风电占到总用电量的 50% 若经过 50 年不能达到 60 年行不行？我们总要有一个发展风电的奋斗目标，再经过 20 年，风电能占到多大比例，10% 行不行？这已低于世界平均水平，2002 年全世界风电只占到总发电量的 0.4%，而规划到 2020 年要达到 12%。德国 2001 年风电占总电量的 3.5%，而到 2002 年已增加到 4.2%。

我国没有提出 20 年后，风电能占到多大比例，更不敢提出到什么时候风电能占到总电量的 50%，就充分说明我国对风电发展的可能性还没有认识，不了解世界风电发展的趋势，不了解我国风电能够大发展的可能性。这当然也有我们这

些发展风电的积极份子对决策者宣传不够的责任。这次中国能源研究会在华能集团公司的支持下，召开本次风电发展研讨会，就是一次进行宣传的好机会。拜托参加会议的各位同志，特别是新闻媒体的同志们，为大力发展我国风电，多作宣传。

毛泽东同志讲“政策和策略是党的生命”。德国风力发电之所以会飞速发展，就是因为德国制定了两部法律，即“风电供应法”和“可再生能源法”，也就是依靠政策引导，使投资建设风力发电者能得到好处。德国要在 2012 年把二氧化碳的总排放量比 1990 年减少 21%，另外到 2020 年要关闭现在运行的 19 座核电站，由此造成的电力空缺，大都要靠风电来填补。我国二氧化碳的排放量已排到世界的前几位，新增二氧化碳排放量可能已达到第一位，这给我国带来了很大的国际压力，全球气候变化我们也是受害者。要减少我国二氧化碳的排放量，主要靠发展可再生能源，其主力是发展风力发电，其次是尽快大幅度提高燃煤电厂的热效率，少烧煤，少排二氧化碳。

我国有十分丰富的风电资源，应当和其他国家一样提出一个宏伟的奋斗目标，例如到 2020 年使风电在总电量中占到 10%，8% 也可以，在多年后（50 年、60 年……）能占到总电量的 50%。为此也要象德国那样制定一些有力的政策，调动各个方面办风电的积极性。

（一）当前和看得见的时期内风电不会过剩，也不会产生重复建设的问题，要把审批风电建设的权力由国家计委下放到各省（市、自治区）。

（二）只要筹集到 20% 的资本金，不管是国内、国外，企业和个人都可以建设风电，其他 80% 资金由银行贷款。

（三）风电均准许和当地电网并网运行，上网电价在物价部门指导下，双方协商制定，一般不应超过 0.4 元/千瓦时。

（四）国家为支持发展风电，降低风电设备价格，实行风电设备免征增值税的政策。发电环节的增值税按小水电标准征收。

风电设备基本上由国内制造，加上批量生产，增大单机容量，可以大大降低风电设备的价格，从而减少建设风电的投资，可以作到单位千瓦造价不超过或低于 5000 元，办风电会有很好的经济效益。

我计算过，若风电千瓦投资降到 5000 元水平，年发电利用小时达到 2500 小



时，风电就可以和煤电竞争。若风电上网电价给予适当照顾，如每千瓦时 0.35 元到 0.4 元，投资风电就有很好的效益，在还款期就有利润，10 年还完款以后，就能赚大钱。10 年还完货款后，可以考虑把上网电价每千瓦时降低 0.1 元。

国内大批量生产风电设备，要总结我国发展彩电的经验和教训。在上个世纪 80 年代，彩电价格很高，建彩电生产线有利可图，全国要建几十条生产线，也有一个省要建三条的计划，怎样压也压不住。后来彩电大幅度降价，全国就只保留下了几家彩电生产企业。希望现在生产风电设备的企业，能加强企业管理，精打细算，赚到合理利润就可以了，千万不要和国外进口设备价格比较。如果利润太高，你生产能赚钱，别人也能赚，你赚 100，他只赚 50 也干，赚 50 是自己的。我 1975 年在北重厂任厂长时，工厂将飞机发动机改装为单机容量 2500 千瓦的移动电站，产生成本为 130 万元一台。当时石油部计划每台给 200 万元，我们厂内协商后，决定每台只要 150 万元。有人说我们是傻瓜，给钱不要，而我们从长远考虑，主要是担心价格定高了，我们能生产，其他企业也可以生产。结果，这种移动电站再没有人生产。

生产风力发电设备一定要确保产品质量，能进行单独试验的部件必须件件进行试验，试验合格后才能装配，装配好的设备也应进行联动试验，不管是那个企业生产的产品，在运行中出了质量问题，都应负责更换，并在合同中规定赔偿风电场由此造成的损失。

我深信我国的风力发电事业，一定会有一个大发展，能赶上世界风电发展的步伐，成为我国电力的一个主力军，为国民经济可持续发展做出贡献。这一天的到来大家一定会看到。

谢谢大家！