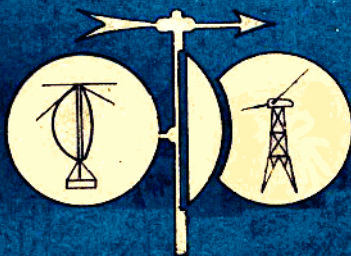


4 风力发电译文集

WECSS



电力部电力建设研究所

前 言

根据国家科委新能源组风能分组第一次工作会议精神，为加强风力发电的科技情报工作，介绍国外风力发电科研、设计、制造、运行工作的一些情况，以期作为国内开展风力发电工作的参考，我们编译出版了“风力发电译文集”。

选辑文章时，除了着眼于技术问题之外，也对风力发电的经济性给予一定的注意。多数文章选自技术比较成熟的水平轴风力机方面，但是，对和水平轴风机可相竞争的 Darrieus 立轴式风机也选了一部分内容。国内，对于风力发动机在叶片的设计、制作方面是个薄弱环节，“译文集”中关于叶片方面的文章占有不小的比重。对于未来的新型的风能转换系统也选译了相应的文章。大型的风力发电系统中，变速恒频发电机是降低成本的一个重要途径，“磁场调制发电机系统的应用和发展”一文对于变速恒频系统作了详细的论述。

为了节约“译文集”篇幅，每篇文章中的参考文献均略去了，读者若有兴趣，可查阅原文，有的文章插图，原文中是照片，几经复制，已不清晰，因制图困难，故都略去了，请读者见谅。

由于我们的水平很低，经验也不足，又加时间仓促，无论选题、翻译、编排方面不当和错误之处可能不少，恳望批评指出。

电力工业部电力建设研究所
“风力发电译文集”编译组

一九八一年三月

目 录

风力的重新利用.....	(1)
风机系统设计.....	(7)
小型风机的有关实验和研究.....	(14)
用模拟方法进行风能转换装置运行试验.....	(20)
旋风型聚能器.....	(25)
用狭条原理分析立轴式风机.....	(31)
200千瓦MOD—OA风力涡轮机方案.....	(42)
小型风力装置转子桨叶的制作方法.....	(50)
高速风力涡轮机最佳和近似最佳的桨叶.....	(54)
MOD—O 型复合材料桨叶	(60)
MOD—1 型风力涡轮发电机方案	(65)
经济的风力发电系统.....	(76)
150英尺风 轮机 桨叶.....	(83)
风力发电的现状.....	(92)
磁场调制发电机系统的应用和发展.....	(93)

风力的重新利用

Laki lar 威斯汀豪斯电气公司

“世上没有新鲜的事儿”，就风力为人们做功而论，这句常说的谚语听起来是真的。埃及人过去常常利用风推动帆船航行于尼罗河，波斯人和希腊人曾利用风磨粮食，荷兰人则利用风排除莱茵河三角洲的沼泽。好多个世纪中，风力发动机曾发展成各种各样可靠的机器，这种机器遍及欧洲，作为锯木厂、造纸厂、面粉厂的原动机。自从1850年以来，在美国安装了六百万个以上的小风车，大部分在农场用来抽水、发电；它们最终被蒸汽机和1930年引入的农电网所代替。

当今，风能似乎还是一种化钱最少的太阳能技术，尤其对发电来说是如此。风能转换系统（WECS）的母线电能成本取决于环境的和应用的参数以及机器的类型，但是对于中型机组（100—600 kw）和大型机组（600kw以上）来说，4~8美分/千瓦小时，是典型的现行预算价格（图1）——虽然，小型的商品风力涡轮机的电能成本可达中、大型的2—3倍。对于200kw类型的机器，能源部的近期目标是1.5—2.5美分/千瓦小时。

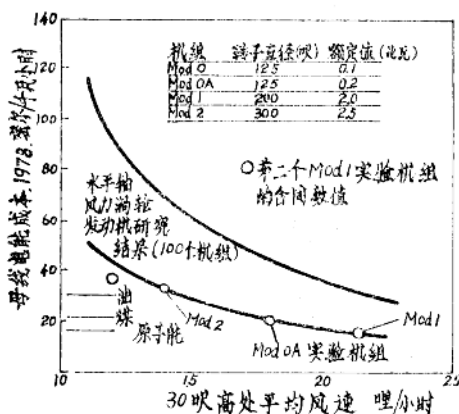


图1 公共事业规模的水平轴风力发动机设计母线电能成本和年平均风速的关系

母线馈电成本取决于风能转换系统的安装成本, 使用和维护成本, 资本的固定回收率, 电能生产率。不但选择一个低投资成本的风能转换系统是重要的 (当今小型商品机器的典型价是800—5,000美元/千瓦), 而且本地的风力资源必须充沛, 并要恰当地匹配机器的运行特性 (图2)。为了能够进行生产, 大多数机器至少应当达到30%的效率。

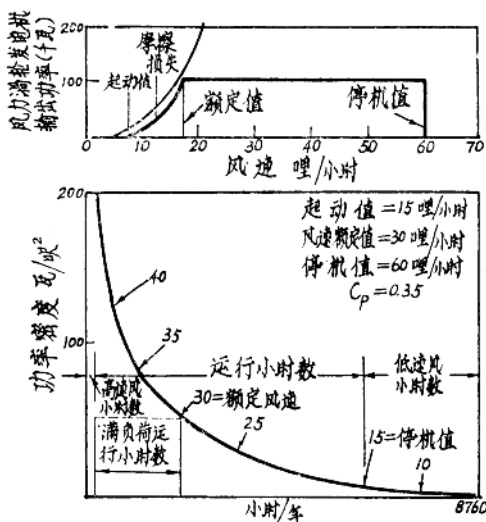


图2 (上图)表示125呎转子直径的输出功率, 风速超过18哩/小时, 输出100kw。从功率持续曲线(下图)可以得到风的年度输出能量

显而易见, 风力本身具有断续和变动的特性。如果风能转换系统不是以燃料节省装置的方式运行—所谓燃料节省装置, 就是风能转换装置的全部瞬时输出用来供应负载以顶替公用电源功率, 那么, 必须仔细考虑能量储存装置, 这就要化相当大的费用。例如, 对于一种铅酸电池设备, 每十小时运行周期, 成本达到约300美元/千瓦。现在, 人们普遍的看法是: 把风力发电用于公共电力网经济上最有效的方法是一有风就发电, 只用它节省主发电站的燃料, 而不是试图储存风能。

除了当地风况易变之外, 还必须提出技术的, 环境的, 社会的等问题。有待研究的技术和社会问题包括: 电力系统稳定性、电压瞬变过程、谐波、故障切除能力、对通讯和电视传输的影响、社会安全、法律的责任与保险、土地的使用权问题。

与矿物燃料相比, 风力表现出低能通量的特征, 这与大多数的太阳能形式的情况相象。(表1)

表1 燃 料 的 含 能 量

燃 料	含能量 (英热单位/磅)
汽 油	18,000—19,000
6 号燃料油	17,400—19,000
烟 煤	13,000—13,600
天然气 (油田气热值)	26,000—27,000
流动水100呎水头	8
空气以22哩/小时运动 标准温度压力	0.02

理由是：空气的密度低，对于一定的速度，空气密度是空气动能的决定因素。风力资源更有用的量度是功率密度，即能量通过单位面积的速率。对于风，我们可以设想风流是不可压缩的，因此整个能流 P 表现为动能。以转子面积每平方米瓦特数来表示一瓦特/平方米，则 $P = \rho \times 2v^3$ ，式中 ρ —空气密度，单位公斤/米³， v —风速，单位米/秒。

功率密度与风速之间有3次方的关系，这是风机的运行和经济性能要如此专门的场址的原因，也着重说明了对风况进行正确的调查的重要性。对于15英里/小时的典型风速，短期的功率密度仅有204瓦特/米²，与此相比较，对于45英里/小时的风速，功率密度可达5,508瓦特/米²。而有效面积是转子扫过的平面，它按转子的直径平方成比例增加。因此，一个兆瓦级水平轴风力机，其转子直径必须在170英尺以上，而且还要取决于风速的大小。图3所示的是美国大陆的风力（取平均风速）的功率密度的估算值。风力电站安装的有利位置包括山顶和山脊，西部大平原和沿海地区。

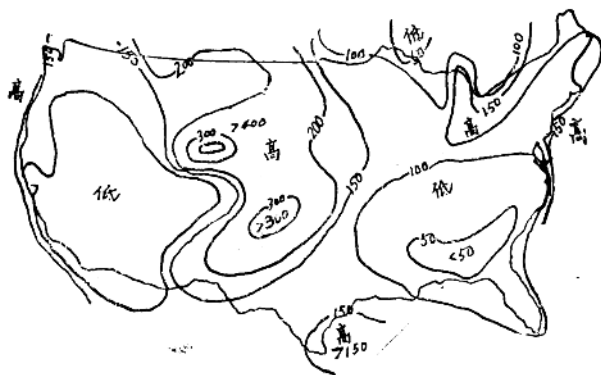


图3 美国平均有效风力资源。曲线标志“高”的平均风速超过18哩/小时

无论怎样，风力涡轮机不能从被截获的风中提取全部的能量。甚至在理想的条件之下，一个连续的气流中，风力涡轮机能提取风能的极限值仅仅是59.3%（Betz系数）。风力机的类型按其从风力提取能量的能力有明显的不同，（图4）每一类机器只适合于某个特定的用途。例如，低速多桨叶风力机最适宜于抽水。

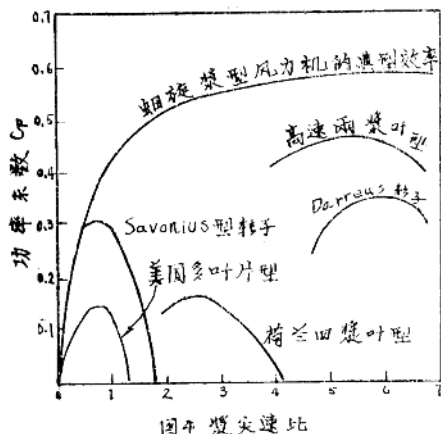


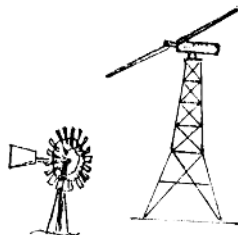
图4 每种风能转换机有不同的功率系数。每一型号最适宜于一种特定的用途

风力发动机的类型

风力发动机根据相对于风流的转动轴的方向分类。

水平轴风力发动机（HA—W TG）的转动轴与风向和地平面平行（下图）。各种转子设计成不同的桨叶数，其桨叶数在1至50或更多的数目之间变化，单个桨叶型还带有一个平衡锤。大部分风机有主动转向能力，即转子靠伺服机构跟踪风向的变化。上风向的转子所设计的桨叶，相对于风流方向，它在塔前转动；下风向转子，其桨叶相对于风流方向在塔后转动。

用来防止桨叶在高速风时超速的技术包括：改变桨距，跟着桨叶转动的襟翼，或装在桨翼自身上的襟翼及使螺旋桨转向侧风的装置—使用与桨叶平行的调速器。对于使用同步发电机要求固定速度的风力发动机，其转子速度的控制尤其重要。



立轴式风力发动机 (VA—WTG) 的转动轴垂直于地平面和风流。下图所示这种立轴式转子是法国学者 GJM·Darrieus 于 1920 年发明的。人们认为: Darrieus 型转子在当今仍然是水平轴螺旋桨型转子系统的重要竞争者。而 Darrieus 型转子是个升力装置, 其特点是: 采用机翼横截面的弧线桨叶; 它有相对低的起动扭矩, 但是有高的桨尖速比, 因此相对于单位转子重量和成本而言, 有较高的输出功率。

翼型截面的三叶片的
Darritus 型立轴式风力
发动机是联邦政府提供资
金的风能计划的一部分。
这个风力机由 Sandia
Labs 建造, 安装在新墨
西哥的 Albuquerque。

其余的 VA—WTG 系统包括 Savonius 的“S 形”转子系统; 以及较少实用的“Ma—daras”旋转圆柱原理, 依靠曼格斯效应, 能产生垂直于风流的平移力。

立轴式风力机对任何方向的风都能反应, 但是, 桨叶在其自身尾流中的干涉, 降低了效率。不过, 塔低, 所用的材料少, 风力涡轮机安装基础要求低, 故投资成本是经济的。

侧风桨叶式转子的转动轴的方位既和地平面平行又和风流方向垂直, 多少有点像一个水轮。研究这类实际机器所做的工作相对比较少。

大型的风能转换系统的有限经验

一个多世纪以来, 多桨叶风轮机已经在部分美洲的农场和住宅中出现, 用于提取家庭和灌溉用水, 发电, 以及完成类似的职能。大多数机器是小型的, 典型的功率小于 1 马力。今天, 风力机不一定必然用于工业, 但是用于公共事业系统而有雄心的计划已经着手进行。

美国最大的风力发电系统是 Smith—Putnam 机器, 在额定风速时, 它能发出 1.25 兆瓦的输出功率。这台机器原是为佛蒙特州中央公用事业服务公司用的, 安装在佛蒙特州鲁特兰附近的格兰特帕地台上, 它的两片桨叶的转子直径有 175 呎 (原文误为 1,750 呎—译者注), 重 16 吨。在四十年代早期, 它间断地运行了两年, 直到一道结构性裂缝使得一个桨叶折断后, 才停止运行; 主要出于经济上的考虑, 一直没有把它修复。而且, 直到 1970 年能源危机到来之前, 在美国没有进行任何较大的风力研究和试验项目。

1975 年, 美国能源研究开发署通过美国国家航空和航天局 Lewis Plum Brook 研究所, 在俄亥俄州桑达斯基建造了一个 100 千瓦级水平轴风力发电机, 这就是 Mod—o

型,其直径125呎,有一对桨叶。单侧转子被安装在流线型机座的下风端,它包括了一个同步发电机系统。这个机座在100呎高的塔顶上。风速一达到或超过8哩/小时,就可以发出功率。风速达到18哩/小时,就输出100千瓦的功率。双桨叶转子的功率系数大约是0.4,这意味着大约40%的风的动能变换成了驱动轴的能。

作为美国能源部风力发动机的计划一部分,威斯汀豪斯电气公司在新墨西哥州的克萊頓和波多利各的库莱布拉岛等地区已经建造,运转和试验了Mod—oA型风力发动机,年前在勃劳克岛,罗得岛和夏威夷以相同的机组作予期的运行。这种Mod—oA型是双桨叶的Mod—o的改进型,其容量是200千瓦,转子直径是125呎。Mod—oA的不同之处是桨叶根部被加强,有较刚性的方向驱动,以避免方向振动与转子转速之间的共振,塔用管材构成而不用角梁。

两个公共事业规模的水平轴风力发动机计划定在今后两年内实施,这也是美国能源部主办的。通用电气公司供应上述计划的第一个机器(Mod—1)已接近完工,其场址选在北卡罗来纳州的博恩,在30呎高度上平均风速为18哩/小时。这个机器两个桨叶的转子直径是200呎,在当地有效的额定风速时,能供应2兆瓦电力。

波音工程建设公司将建造一个巨型的300呎转子,在30呎高度上,当风速达到19.3哩/小时,它将发出2.5兆瓦的电力。这个庞大的桨叶是空心钢结构的,内有适当数目的翼梁。投入运行时间予定为1980年初,而一个中等风速的场址仍有待于选择。

目前,能源部估计,Mod—oA现在供电或本为2.0~2.1美分/千瓦小时。同时予言,Mod—I型机电能成本为1.0~1.1美分/千瓦小时。到1981年,能源部计划研制一种电能成本为0.4~0.6美分/千瓦小时的原型机(注),以便成批生产后,能推广到高电费,高风速地区。

在大平原地区,历史上就有了许多风力涡轮机。对于这些地区的许多小的市政和合作公共事业,当代的风能转换系统能供给高峰电量的大部分,从而可以省下一部分生产电能所需的燃料。其它有可能应用在大风,高电费,烧油地区及在水电系统生产附加电力以节省备用燃料。

总之,风力发电在技术上的可能性虽然早就得到证明,但是风本身的不稳定性和所需的高额设备投资仍然使它不适宜于广泛地应用于工业和公共事业。如果,石油和煤,价格继续上涨,那么风力的应用可能很快地再一次蓬勃兴起。

(译者注:此段原文中单位是¢/kwh,对照表1,Mod—oA机的母线电能成本为20~21mil/S/kwh即20~21密尔/千瓦小时,相当于2.0~2.1美分/千瓦小时。为了前后统一,译文此处一律为美分/千瓦小时)

[俞仲华译自 POWER VOI 123 No 5 MAY 1979]

韩 查 理 校

风 机 系 统 设 计

系 统 特 点

风能转换系统的主要特点在于风这种能源的周期性。事实上,风能转换系统的输出功率是随着它的转子的扫掠面积和风速的立方而变化。由于输出功率和风速之间的立方关系,且风又不是稳定的,在一个长的时间内,风机的实际输出功率可能比同一个时间内按平均风速估算的值高很多。由于风速是随地面高度而增加,合适的建设地点的选择是个关键。由于在平滑的山丘和其它物体的上方或周围的气流速率的增加,或者因附近的树木、建筑物和其它障碍物引起气流速率的降低,都会发生风速的局部不规则现象。

此外,风能转换系统的规模和输出功率受材料强度限制,从而限制了桨叶、轴承、塔架高度和其它关键装置部件的尺寸。因此,倘若需要一个生产电能的大型风能转换系统(例如100兆瓦功率容量),那么这个系统必须由一些相应小型的(譬如每台达几兆瓦)、分散而又相互联系的风能转换系统组成;或者可以研究大型风力旋涡发电机系统。

系 统 要 求

通常,风能转换系统的使用是按照型式,所需要的输出功率和连续供给动力的风能转换系统能量消费者的要求来分类。在许多使用情况下,动力供给可以短时间中断而不致破坏利用动力的过程,譬如收获谷物或其它原料、灌溉或生活楼抽水、蓄水池抽水、谷物或其它原料干燥、作为燃料的电解氢等。若用户要求一个连续的电源,那末,风能转换系统必须同一个稳定电源相结合,如一台内燃发电机装置,一个常规的公共电网等;或者贮能设备和风能转换装置一起提供,如蓄电池、抽水蓄能、压缩空气蓄能、惯性蓄能、和作为再生电能用的电解氢蓄能等。

评 价 标 准

在多数风能转换系统使中,目的是使所设计的系统运行费用最小,进而由这个系统生产的电能价格最低。对于一个规定了输出容量的风能转换系统来说,要求其投资费用(包括所需要的一些蓄能装置在内)减至最低;通过部件的满意的设计(如桨叶、发电机、轴承、齿轮传动装置、塔架、蓄能设备等),使在其使用年限内运行和维修费用也最低。

经常用来确定风能转换系统服务年限的其它标准包括：

- 能量偿还时间（作为风能转换系统所需要的时间是，由风能生产的足够的能量等于风能转换系统在制造中所消耗的能量，以及在这个偿还期内运行的维修它所消耗的能量之和）；

- 系统的能量增量（风能转换系统在使用年限内生产的总的能量被同一时间运行、维修和制造它所消耗的能量去除）；

- 基于环境的、美学的、法定的、财政的、制度的或其它约束性的多方面条件，风能转换系统要有一个为公众满意的振动，或者为公共事业、农场用户、家庭用户或其它可能的用户满意的振动。

机 组 规 模

采用开式转子的风机一般按照下述规模分类：

- 小型机组——风机转子直径达35英尺，或功率输出达10千瓦；
- 中型机组——风机转子直径约100英尺，或功率输出在10~100千瓦之间；
- 大型机组——风机转子直径超过100英尺，或功率输出达几兆瓦。

风机效率为75%时，与转子直径和风速相应的轴马力

转子直径 (英尺)	风 速 (英里 / 时)			
	10	20	30	40
50	6 马力	48 马力	162 马力	384 马力
100	24	190	638	1520
150	53	424	1432	3400
200	96	768	2550	6040
300	212	1700	5728	13600

能 量 价 格

E·W·Golding已研究过一个输出功率已经确定的常规风能转换系统生产的能量的最低成本（见“*The Generation of Electricity by Wind Power*”，自然科学丛书、纽约、1956；也可参看附录的文献选集 Lotker 等人论文中的有关论述）。

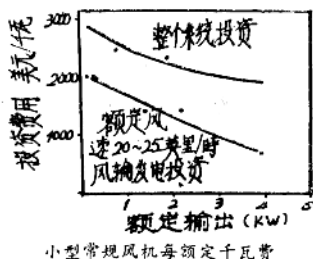
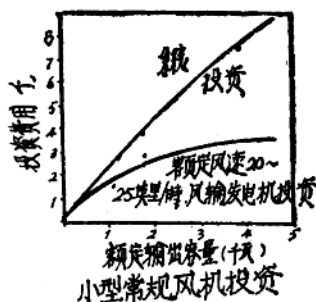
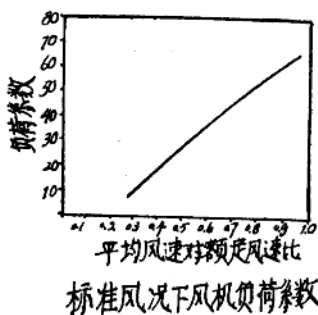
虽然常规风机的投资费用是随着机器的规模和额定输出功率而增加，但每千瓦投资费用是随着规模和输出功率的增加而减少。随着规模的增加，所需要的机组较少，相互联接和输送电能的费用也可减少。因此，从经济上讲，如有可能，在使用中采用一个大型

机组要比许多小型机组更好些。可是，正如前面指出的，也许建造和可靠地运行这样规模的机组受到限制。

Golding也指出，常规风能转换系统机组的投资费用会随着“额定风速”的增加而减少，因为风机输出功率一旦确定，机器设计在较高的额定风速下，桨叶、转子、传动装置和系统的其它部分的尺寸和重量会减少。根Golding估算，大批量生产大型的（兆瓦级）常规风能转换系统的成本是大批量生产中型（如10千瓦级）机组的成本的一半。

另一方面，风能转换系统的负荷系数将随着平均风速对额定风速比值的增加而增加（例如，对于所给定的地区，随之给出了一个确定的平均风速，就可以降低风能转换系统机组所设计的额定风速）。因此，在设备费用和负荷系数之间有一个拆表的方案，从而导致风能转换系统的能量费用最小。

Goding等人提供的资料是根据15%的假设固定变化率和每千瓦小时2密尔的运行与维修费得出的。若建设地点的平均风速约为15英里/时，当设计的额定风速取平均风速的1.8倍时，由大型常规的风能转换系统生产的能量的最低成本为每千瓦小时约20密尔，在此情况下，每平均千瓦容量的投资费用（即每额定千瓦投资费用被负荷系数除）大约为1200美元。



经 济 性

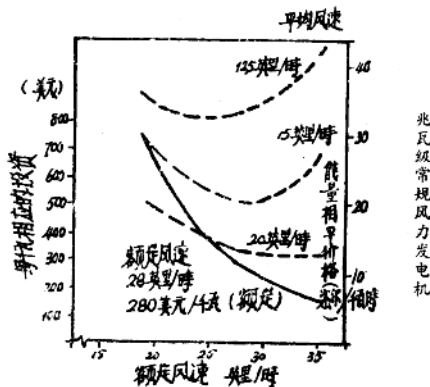
据估算, NASA建造的第一台实验性100千瓦常规风能转换系统机组的投资费用大约在500,000美元, 或者每额定千瓦容量约5,000美元。预计, 最终批量生产这一类型机组每台的投资约为150,000美元, 或额定千瓦容量1,500美元。(这些估算适用于: 额定风速为18英里/时, 设计在最佳工况运行(即根据风能转换系统生产的母线电价), 建设地点的平均风速在10~12英里/小时。

当风机与化石燃料发电系统连接, 且在劲风时用以节约燃油时, NASA对100千瓦机器的这些估算和Golding对大型与中型机器有关成本的估算, 也可用来作为对大型常规的风机和化石燃料系统得失相当的成本的计算, 例如, 作为一个化石燃料发电厂, 燃油成本每桶增加每1美元, 若从电厂生产电能观点来看, 燃油增加的成本仅仅是每千瓦小时再加上2密尔。此时, 燃油的成本加一个增量, 视为由风能生产的电一样, 则会出现风力发电和化石燃料发电成本相当。对于最佳设计的大型风机来说, 即按照额定风速为每小时24英里设计, 并且运行在15英里/时的平均风速下, 当燃油价格每桶增加到10~11美元时, 如附图所表明的就会出现价格相当。

NASA100 千瓦 (额定功率) 实验性风能转换系统成本一览表
(平均风速12英里/时)

	实 验 性 机 组 100 千瓦 (额定功率)	生 产 性 机 组 100 千瓦 (额定功率)
转子		
桨叶	160千美元	35千美元
轮毂(变桨距)	95千美元	30千美元
	50.4%	43.7%
机械部分		
齿轮箱	11.5千美元	8千美元
底板、传动轴等	43千美元	20千美元
	10.8%	18.5%
发电机、调节器	68千美元 13.5%	16千美元 10.7%
塔架、基础	128千美元 25.3%	40千美元 26.8%
	505千美元 或	149千美元 或
	5,050 美元/千瓦	1490 美元/千瓦

此外，可以用类似的方法确定其它情况下的价格平衡点。例如，一个设计在额定风速为18英里/时的典型风机，运行在平均风速为15英里/时的典型风机，当石油价格每桶上涨到14—15美元时便出现价格相当。



电能平衡价格估算（无蓄能装置）

$$\text{平衡价格} = \frac{CC \times FCR}{LF \times 8.76} + O \text{ 与 } M \text{ (密尔/千瓦小时)}$$

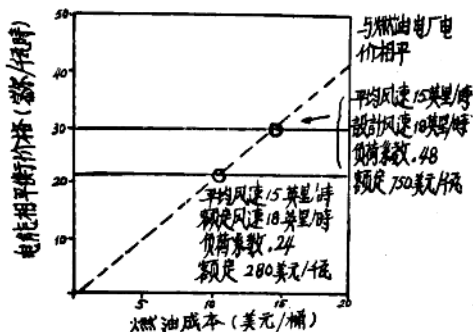
此处

CC = 投资费用 美元/千瓦（额定）

FCR = 年固定变化率（例如，0.15）

LF = 负荷系数

O与M = 运行和维修费用（例如，2密尔/千瓦小时）



上述分析方式也同样适用于大型风力旋涡发电机系统。对此系统，每千瓦投资和由它生产的电能价格可能比常规风能转换系统要稍低些，这是因为小型风机只是作为一个给出输出功率的容器，而旋涡型发电系统具有将塔架变为多种用途的建筑物的可能性，因而减少发电系统的建筑费用。

兆瓦级风机作为节能燃料用标准的无盈亏成本

蓄 能 选 择

如果一个风能转换系统加上充足的蓄能容量，它就可以带上基本负荷单独运行而不必并入常规的电力系统。在这种情况下，它完全可以用来代替一个常规的发电厂。

能储蓄由风能产生的能量的系统，可以按如下分类：电化学蓄能系统（如蓄电池组、或电解氢蓄能系统）、热能蓄能系统（如储蓄由机械能运动产生的热能）、动能系统（如飞轮或超导电磁系统）和势能系统（如抽水或压缩空气系统）。

最近的一个蓄能系统调查是根据实用而经济的标准，对这些现行的蓄能技术中的一部分作了评价，估算了它们的投资。例如，对于这种能量转换机组看成是一个蓄能装置一样，对蓄能系统的使用年限、分散蓄能的能力和机组大致的工作周期进行了预计。

调查估算的总的投资是按大约10小时的蓄能周期时间为依据，对于某些风能基本负荷的使用条件，这可能不够，因为补偿风速短时间的变化可能需要几天的时间，而对于允许的风力强度中的季节性变化，可能需要6个月甚至更长的蓄能时间。在这些情况下，为了蓄能系统（如电解氢或压缩空气）会付出不同的代价，如用来开挖天然气井或其它自然地下建筑以作为储蓄风力产生的能量。

蓄 能 技 术 评 价

	蓄 电 池 组	氢 蓄 能	热 蓄 能	飞 轮	电 化 学	抽 水	压 缩 空 气 蓄 能
实用而最经济的 规 模	10 (兆瓦小时)	10 (兆瓦小时)	600 (兆瓦小时)	10 (兆瓦小时)	10,000 (兆瓦小时)	10,000 (兆瓦小时)	100 (兆瓦小时)
成本 预 计 美元/千瓦 (额定)	180	300	100~400	400	500~600	200~300	230
预计使用年限 (年)	10~20	30	20	30	30	50	20
分 散 储 能	是	是	是	是	不是	不是	不是
目前周转效率	70~80	40~80	高	80	90~95	70	45

如果我们假定变化率为0.15，周转效率0.6，负荷系数0.9，每千瓦小时运行和维修费2密尔，那么，在一个风能转换系统中由于每千瓦额定投资为200美元的蓄能系统来说，每千瓦小时约增加9密尔；而每千瓦额定投资增加到400美元的蓄能系统，其每

千瓦时约增加到17密尔。

上面的例子是这样估算的，运行在平均风速为15英里/时最佳兆瓦级常规风力系统所生产的电能价格，每千瓦小时在20密尔，加上每千瓦（额定）200美元的风力蓄能系统，由风力发出的电能母线电价会增加到每千瓦小时30密尔；假若蓄能系统每千瓦（额定）成本400美元，母线电价会提高到每千瓦小时38密尔。在此情况下，当燃油价格增涨到每桶11美元，此时具有成本在200美元/千瓦蓄能装置的风力发电系统将与运行在75%的负荷系数、千瓦投资在270~390美元之间的柴油厂电价相当；或者当燃油价格增涨到每桶15美元，那么，具有成本为400美元/千瓦的蓄能装置的风力发电系统也与上述条件下的柴油电厂电价相等。

具有蓄能装置的母线电价增量

$$P_s = \frac{CC \times FCR}{E \times LF \times 8.76} + O \text{ 和 } M \text{ (密尔/千瓦时)}$$

此处

P_s = 因蓄能装置所增加的母线电价

CC = 蓄能系统的投资 美元/千瓦(额定容量)

FCR = 固定变化率(例如为0.15)

E = 蓄能系统的周转效率

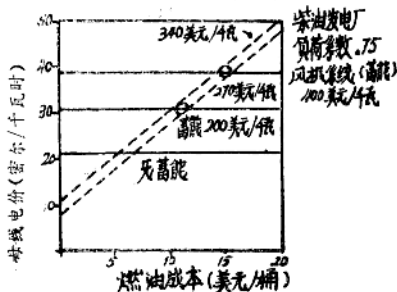
LF = 蓄能系统的负荷系数

O 和 M = 运行和维修费用(例如2密尔/千瓦小时)

由于每额定千瓦投资和风能转换系统的负荷系数都是随着系统容量而增加，且由二者综合给定一个蓄能装置的总容量，当该系统的容量增加到与常规化石燃料或核燃料系统所提供的负荷系数相等的时候，由此系统生产的能量价格将不再有较大增加。

结 论

总之，尽管风机本身是属于能量转换系统中最简单之列，但风本身却是一个分散而又多变的介质，选择一个最合适的风机建设地点和作为特殊使用而选择最佳设计经常是困难而复杂的问题，因此，风机方面大量的研究和试验工作仍然有待去做。并且，风能使用清洁，在本质上又是用之不尽的能源，它对于满足人们未来能源的需要这一目标能做出较大贡献，故仍引起人们的很大兴趣。



具有蓄能的兆瓦级风机的无盈亏成本

毛荷馨译自《Wind Machine》 陈文忠校

小型风机的有关实验和研究

一、 前 言

近几年来,笔者们一直关心能源问题,以“能源净化和制造、贮存”为研究课题之一,从1976年开始研究,至今从未间断。为了掌握风力发电的基本情况,以及调查研究风力在多变的不正常情况下的有关发电问题,一开始就把小型风机安装在户外,根据自然变化的风力进行各种试验(试验情况见后)。担心能源消耗殆尽而积极开发多种多样新能源,风能算得上能源之上而占其应有的地位。

本报告阐述室兰地区自然风能资源,以及在现场进行小型螺旋桨风机的实验情况。

二、室兰地区风力概况

据室兰地区气象台的观测资料,这个地区的风力概况如下:

年平均风速:1971~1974年约5米/秒,1975~1976年降低到约4米/秒,1972~1976年最大风速(10分钟最大平均值)约8~19米/秒,瞬间最大风速约14~32米/秒。1972—1976年,风向均为西北偏西风。以1972年为例,月平均风速以及风向频率如图1、图2所示。从这些图可以得知,室兰是风能资源丰富的一个地区。

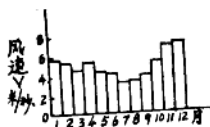


图1 月平均风速(1974年)



图2 风向频率(1974年)

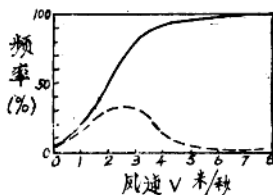


图3 风力曲线
(1977年9月—1978年1月)