

国外风力发电动向

(四)

浙江电力试验研究所

目 录

一、200 KW风机项目——美国能源部	
联邦风能计划之一	2
二、利用“分仓方法”(method of Bins)	
对风能转换装置特性的评价	15
三、调制自励三相发电机系统	30
四、用于同步发电机的达里厄(Darrieus)	
主轴风机	39
五、北卡罗来纳州 Boone 的风力发电站	
	47
六、200 千瓦竖轴风轮机的某些初步试验	
的结果	48

目 录

一、200 KW风机项目——美国能源部	
联邦风能计划之一	2
二、利用“分仓方法”(method of Bins)	
对风能转换装置特性的评价	15
三、调制自励三相发电机系统	30
四、用于同步发电机的达里厄(Darrieus)	
主轴风机	39
五、北卡罗来纳州 Boone 的风力发电站	
	47
六、200 千瓦竖轴风轮机的某些初步试验	
的结果	48

200 KW 风机项目

— 美国能源部联邦风能计划之一

(1980 年 7 月)

风动力系统作为人类能源的一部分已经应用了几个世纪。它的应用包括从抽水、磨粉直到发电。有一段时间在美国和欧洲相当注意于发展大型风力驱动的发电系统作为电力来源。但是对于这种系统的兴趣正在减退，因为它的价格无法与目前的矿物燃料发电系统比较。而且过去这些工作是由私人投资的，因此使继续研究和发展的工作遭到困难。

能量需要的日益增加，燃料价格的上涨，燃料资源的枯竭以及对国外资源的依赖性，使得人们有必要去调查和发展可以代用的能源。风能是一种清洁的取之不尽的能量来源，它能作为有生命力的代用能源。因此，建立了联邦风能计划，以研究、发展风能系统的多种应用和原理。由国家科学基础委员会制定的这个计划，现在是由能源部指导和资助的。

联邦风能计划的一个方面是发展设计、制造和运行大型水平轴风机系统所必需的技术。计划的这一方面工作是由国家航空和宇宙航行管理局 (NASA) 的刘易斯研究中心承担的。叙述在这个报告中的四台 200 KW 风机 (即 MOD-0A 型——译者注) 组成了目前正在发展中的四个独立系统的开端。在设计上相类似的另二种系统的风机将有较大的机械尺寸和较大额定容量的发电机。

这个项目的总目的是取得大型水平轴风机在典型的公用电网环境中运行时的初步经验和数据。几个关键的项目内容如下：

- 1) 变动的输出功率 (由于风速变化引起的) 在电网中的效果。
- 2) 与电网需要的适应性 (发变的电压和频率的控制)。
- 3) 无人值班、故障——安全运行的实现。
- 4) 风机系统的可靠性。

- 5) 需要的维护工作量。
- 6) 公众的初步反映和接受力。

途径

为了满足总目的的要求在管理这个项目时采用了适当的途径以达到下述二个要求：

1) 项目中涉及的公用电网不但要提供试验场地，而且在风机要取得直接的运行经验时，电网要与风机的实际需要相吻合。这对今后风机系统的成功运转发挥作用是非常必须的。

2) 建立起风机系统在设计、制造和运行方面的工业能力。以便一旦在技术问题过关以后，就能迅速地实现商业性应用。

根据公用电力公司的建议选定了安装实验风机的公用电力公司。有六十四个以上的公用电力公司提示了他们自己公司的详细资料和他们建议的安装风机的场地。这些建议的场地是根据可利用的风能、需要的补充功率、对项目提供人力的兴趣和气候、风向的变化情况等条件选定的。为了更详细的选定，图1中列示了十七个当时选择的场地及参与的电力公司。在每个场地上装设了相同的气象塔和测风装置，这样每个场地的风力资源情况就能建立在同样的基础上来比较。

图1 初步候选的风机场地

场 地	组 织 者
Cold Bay (阿拉斯加)	阿拉斯加 Bussell 电力公司
Point Arena (加利福尼亚)	太平洋煤气和电力公司
San Geronio Pass (同上)	南加利福尼亚爱迪生电气公司
Oahu,* (夏威夷)	夏威夷电力公司
Russell (堪萨斯州)	堪萨斯 Russell 城
Holyoke (麻省堵塞州)	Holyoke 城煤气和电力部门
Ludington (密执安州)	Consumers 动力公司
Kingsley Dam (内布拉斯加州)	内布拉斯加公共动力和灌溉分配公司
Clayton* (新墨西哥)	克兰顿城
Montauk Point (纽约)	长岛电灯公司

(续上)

场 地	组 织 者
Boone [△] (北卡罗里纳州)	兰色岩电力有限公司
Boardman (俄勒冈州)	波特兰通用电气公司
Culebra* (波多黎各州)	波多黎各水力资源管理局
Block Island* (罗德艾兰州)	Block 岛电力公司
Huron (南达科他州)	东河动力有限公司
Amarillo (得克萨斯州)	东南公共服务公司
Augsburger (华盛顿)	Bonneville 动力管理局

有 * 者选为 200 KW 风机场地

有 △ 者选为 2000 KW 风机场地

四个被选定安装 200 KW 风机的地点是新墨西哥州的克兰顿 (Clayton)、波多黎各州的 Culebra、罗德艾兰州的 Block 岛、和夏威夷州的 Oahu, 对于这些公用电力公司高峰负荷时要求由燃料产生的功率为

地 点	燃 料 种 类	高峰负荷 (KW)
Clayton	柴油和天然气	3800
Culebra	柴油 (辅助)	1400
Block 岛	柴油	1400
Oahu	石油	950000

除 3 Culebra 外, 其他三个电网都是孤立的, 没有与邻近的电网相连接。Culebra 最近敷设了水下电缆从主岛引进功率。过去用于发电的柴油发电机目前作为水下电缆故障时的备用。

克兰顿风机外貌如图 2 (a) 所示, 它的主要里程如下:

- 1) 1977 年 11 月 30 日首次运转。
- 2) 1978 年 1 月风机完成 3 100 小时运行。
- 3) 1978 年 3 月风机移交给公用电网。
- 4) 1978 年 5 月风机成功地完成 3 1000 小时运行, 发

电 94000 度。

5) 1979 年 2 月风机完成 3 3000 小时运行, 发电 286000 度。

6) 1980 年 5 月风机完成 3 6000 小时运行, 发电 580000 度。

Culebra 风机外貌如图 2 (b) 所示, 它的主要里程如下:

1) 1978 年 6 月 26 日首次运转。

2) 1978 年 11 月风机完成首次 100 小时运行。

3) 1979 年 1 月风机移交给公用电网。

4) 1980 年 5 月风机完成了 1000 小时运行, 发电 130000 度。

Block 岛的风机外貌如图 2 (c) 所示, 它的主要里程是:

1) 1979 年 5 月 1 日首次运转。

2) 1979 年 10 月风机完成首次 100 小时运行。

3) 1979 年 10 月 12 日风机移交给公用电网有部分时间带基荷运行。

4) 1980 年 5 月风机完成 800 小时连续运行, 发电 45000 度。

Oahu 风机外貌如图 3 所示, 它的主要里程为:

1) 1980 年 5 月 23 日首次运转。

2) 1980 年 6 月风机完成首次 100 小时运行。

3) 1980 年 7 月风机移交给公用电网。

总的风机设计、部件制造、工程图纸和试验的设备及试验的进行都是由 NASA 刘易斯研究中心进行的。项目的责取分工如下:

风机安装地点	协调 / 制造	总装 / 工厂试验	建造
Clayton	刘易斯	刘易斯	承包商
Culebra	刘易斯	承包商	承包商
Block 岛	承包商	承包商	承包商
Oahu	承包商	承包商	承包商

西屋电机公司的专门小组负责承包商的投标工作。刘易斯研究中心和承包商的人员共同参加每台风机最初三个月的运行评定，并进行每台风机的验收试验。参加的公用电力公司负责每台风机的维护和运行工作。

风机概况

1. 运行范围

当额定风速 18.3 英里/小时，风机转速 40 转/分时，风机的额定输出功率为 200 瓩。额定风速的定义是使风机达到满功率的最低风速。输出功率是风速的函数（如图 4 所示）。它可以通过变化桨叶的迎风角来调整。当风速低于切入风速和高于切除风速时，转子叶片置于顺桨位置，此时没有功率产生。切入风速的定义为能够发出功率的最低风速，这里是 6.9 英里/小时。切除风速的定义为风机运行时可能造成过度叶片应力的最低风速，这里是 34.2 英里/小时。所有这些风速都是在 30 呎高程处测量的。

2. 机械系统

200 瓩风机系统的简图如图 5，它由风机转子、机舱、塔、升降机和控制室组成。绕着水平轴旋转的二张螺旋桨式的转子叶片安置在塔的下风方。传动部件把 40 转/分的转子速度变换到 1800 转/分的发电机速度，它安装在密闭的玻璃钢机舱内。机舱和转子部件安装在塔的顶部，以提供必要的叶尖对地的间距。升降机用来把设备运到塔的顶部。风机的控制和电气开关等安放在塔基的控制室内。标有夏威夷风机机舱内部的所有主要部件情况的简图如图 6 所示。夏威夷风机的传动系统是直接驱动发电机的，去掉了前三台风机采用的 V 型皮带拖动的传动系统。在夏威夷风机在工厂总装时的照片如图 7 所示，从中可以看到各部件的相对尺寸和安装位置。原始设计规范和运行参数汇总于表 1。现对其中的某些部件作些说明。

叶片——夏威夷风机的转子叶片是用木材制作的，除了根部转轴部分是用钢材制作的外。图 8 所示的木质叶片的形状与

通常的飞机机翼形状相似，前面制造的风机叶片是铝制成的。

轮毂——转子轮毂（图9所示）把叶片连接到低速主轴上，并把叶片迎风角调整机构安装在轮毂内部。轮毂是刚性型式，这就是说叶片是刚性地连接到轮毂上，仅允许叶片有迎风角调整度数的自由度。轮毂把转子叶片产生的扭矩传递到主轴上，以便把其他的叶片负荷通过低速轴的轴承传递到机座上。

表1 200 驻风机设计规范*

<u>转子</u>		<u>塔</u>	
叶片数	2	型式	管型树架
直径(呎)	125	高度(呎)	93
转速(转/分)	40	地面距离(呎)	37
转动方向	逆时针(上风方看)	机舱高度(呎)	100
与塔相对位置	下风	通道	升降机
机舱型式	密闭	传动	
功率调整方法	变动迎风角	型式	三级变速
圆锥角(度)	7	传动比	45:1
倾角(度)	0	额定功率(马力)	460
<u>叶片</u>		<u>发电机</u>	
长度(呎)	59.9	型式	交流同步
材料	木质	额定功率(千伏安)	250
重量(磅/每片)	3000	功率因数	0.8
线型	NACA23000	电压(伏)	480(三相)
扭曲度(度)	8	转速(转/分)	1800
实度(%)	4	频率(赫)	60
叶头弦宽度(呎)	2.0	定向驱动	
叶根弦宽度(呎)	5.2	型式	线性传动
弦斜度	线性		
对风速率(度/秒)	0.4		
对风驱动	液压		

*这是为夏威夷风机改定的参数，其他几台风机略有不同。

控制系统

监控电路 微处理机

迎风角调整 液压

性能

额定功率(瓦) 200

风速(英里/小时)

30呎高

机舱高

投入风速 6.9 9.5

额定风速 18.3 22.4

切除风速 34.2 40

最大设计风速

125

150

重量(千磅)

转子(包括叶片) 13.6

塔上面部分 46.3

塔 44.0

重量 90.3

系统寿命

所有组件(年) 30

迎风角调整部件——迎风角调整部件包括液压动力源, 齿条和齿轮传动装置以及装在轮毂上转动叶片的齿轮组。这种迎风角调节系统的型式与用在航空工业中变化螺旋桨角度的系统型式相类似。如图10所示一对齿条由液压动力线性地来回移动。齿条转动一个齿轮, 齿轮再带动主齿轮。主齿轮通过装在叶片主轴上的斜齿轮转动叶片。液压动力独立安装在机舱内的前部, 如图6所示。压力油通过旋转接头送到主轴内, 再传送给装在转动轮毂上的齿条-齿轮装置。最大的迎风角变化速率是每秒钟8度。

驱动传输装置——驱动传输装置把旋转转子的机械功率传

送给发电机以发电功率(如图6所示)。轮毂把高转矩低转速的功率通过低速轴传递给齿轮箱。固定速比为1比45的齿轮箱把这个功率传递给高速轴得到低转矩高转速的功率。在夏威夷的风机上,这个功率通过液压联轴器传递给发电机。淘汰了目前在其他风机上采用的V型皮带传动系统,以提高可靠性。

圆盘刹车——安装在高速轴延伸部分的圆盘刹车系统作为停用时的刹车和紧急停机时的动态刹车用来停住转子。

底座——钢结构的底座用来支撑整个转子和机舱部分。

对风装置——装在塔顶上的整个机舱是由转轮轴承支撑的,这样机舱可以转动以保持与风向一致。夏威夷风机是采用图6所示的移动式的刹车和液压线性执行机构来转动的。当风速在风机的切入风速以上时,对风速度为每秒0.4度。

固定的对风刹车——一旦风机与对准了风向,二个固定的对风刹车就把风机停住在所希望的对风方向。

液压联轴器——高速轴上的液压联轴器的功能是降低由于连续变化的风速引起的功率振荡,当然叶片必须经得起由于塔影和风剪切效应。

发电机——发电机是一般商业上通用的同步发电机,其特性参数如表1所示。

塔——开敞桁架式的塔是采用圆管组成的,它比采用其他钢材型式的结构有更大的气流通能力。越是增加通过塔的气流,就越能减少由于通过塔的尾流区造成的转子叶片上的循环应力。塔是固定在混凝土板的基础上。

升降机——为了安装塔上的部件装设了一台链式升降机。这种系统有方便的升降能力,又有最大的气流通能力。

3. 控制系统

风机控制系统(图11所示)必须能保证风机在遥控和无人管理下安全可靠地运行。为了达到这个目的,控制系统必须能自动地执行下述三个主要功能:

1) 在风速变化的大范围内控制风机产生的电功率,包括所有必要的开机、停机和同步操作。

2) 使转子部件对准风向。

3) 防止由于不正常运行或外部环境引起的损坏。

下面讨论的控制系统的五个主要部分就是设计来提供高可靠性的，虽然这些部件用的是通用组件。

微处理机——微处理机发出的控制逻辑保证风机在工作风速范围内的连续稳定输出。当风速超过投入风速时，控制器启动风机，升速和把风机同步接入电网。当风速低于投入风速或超过切除风速时，微处理机自动地关机和固定风机。

而且微处理机还从装于机舱顶上的风向传感器测定风向，在风速超过投入风速的情况下保持风机对准风向。

叶片逆风角控制器——从风速传感器和发电机来的信号送入微处理器的控制逻辑，从而控制叶片的逆风角。低于投入风速和高于切除风速时叶片顺桨。在投入风速和额定风速之间时，叶片逆风角保持在一个固定值。风速在额定风速和切除风速之间时，叶片逆风角不断调整以保持恒定的 200 匹输出功率。

安全系统——安全系统是设计用来保护风机防止严重损坏。它是自动关机系统能立即操作所有其他控制器工作。多种传感器监视关键性的参数，如转子速度、发电机电流、电负荷、振动、对风误差、逆风角控制系统液压水平、轴承温度、齿轮箱油温、微处理机故障等。如果任何传感器的信号超过了正常安全运行范围，安全系统将自动将风机停下。例如，万一转子超速，速度传感器的结果是命令叶片顺桨。它是用反转转子上力矩方向的办法来使转子停下的。在液压动力系统故障时，一个备用的压缩空气系统也会使叶片顺桨。而且，如果在顺桨时叶片故障，机器继续超速，第二套完整的重复的独立的速度传感器将作用于紧急刹车，在几秒钟内把转子停住。

遥控和监视系统——装在电网调度中心的遥控和监视系统使得电网调度员有可能通过微处理机实现手动开停机操作。并通过监视系统以数字显示风速、转速、有功功率、无功功率、电流和电压。当安全系统自动操作停机的时候，与停机有关的超速、叶片顺桨、液压系统故障、振动、温度过高和微处理机

工况等指示信号也同时能反应出来。

4. 年能量输出

关于 200 瓩风机运行在不同平均风速环境下的计算的年能量输出如图 12 所示。这里的平均风速是在实际风机场地上 30 呎高处测量到的所有的每小时风速值的算术平均数。能量输出是平均风速的有力函数，因为风力的能量正比于风速的三次方。能量输出是用转子功率系数为 0.36 和转子轴到发电机输出效率为 0.9 来计算的。风速的断面曲线假定是韦伯 (Weibull) 分布。转子捕获的能量应按机舱高处 (100 呎) 的风速来计算。不同高程处的风速是用大多数所选风机场地的风剪切梯度来计算的。并预算风机在风速在投入风速和切除风速之间的时间内有 10% 的时间是停机的。这停机时间允许进行计划的和非计划的维护检修。

5. 结论

本文中叙述的 200 瓩风机项目是联邦风能计划的一个方面，它是由 NASA 刘易斯研究中心为能源部主办的。项目的总目的是获得安装在公用电网中的大型风机——将来的代表性应用的早期运行和性能参数。也涉及到电网保证的问题，它们的需要、关系和设备也已经介绍和遇到，而且使得电网获得了第一手的运行经验。这些风机的运行将提供有价值的早期数据，帮助树立风机在作为补充能源方面的技术上的和经济上的合理性。

浙江省电力试验研究所

王孟龙 译自

"200-KILOWATT WIND
TURBINE PROJECT"



图1 初步考虑的风机安装地点

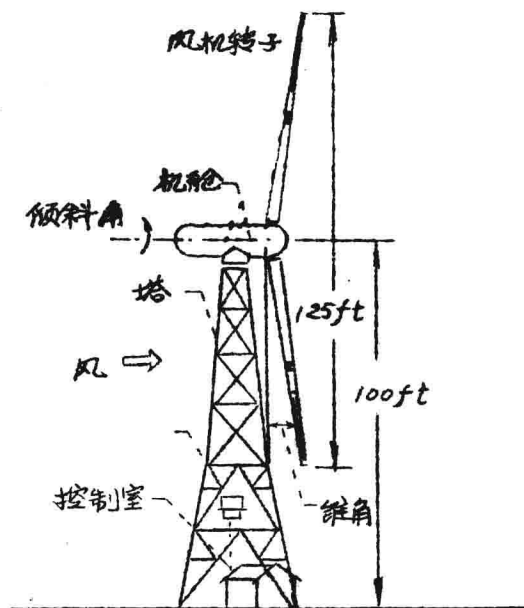


图5 200 瓩风机系统

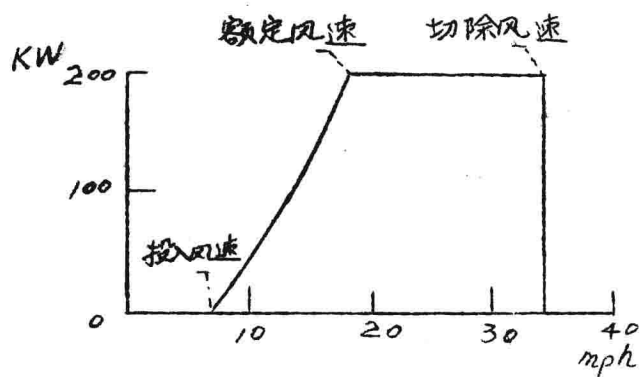


图 4 输出功率与风速的关系

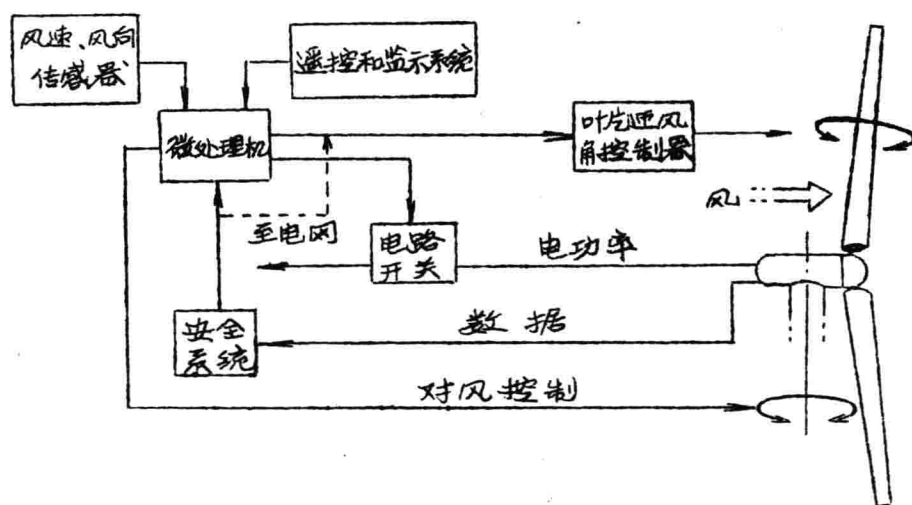


图 11 简单的风机控制系统图

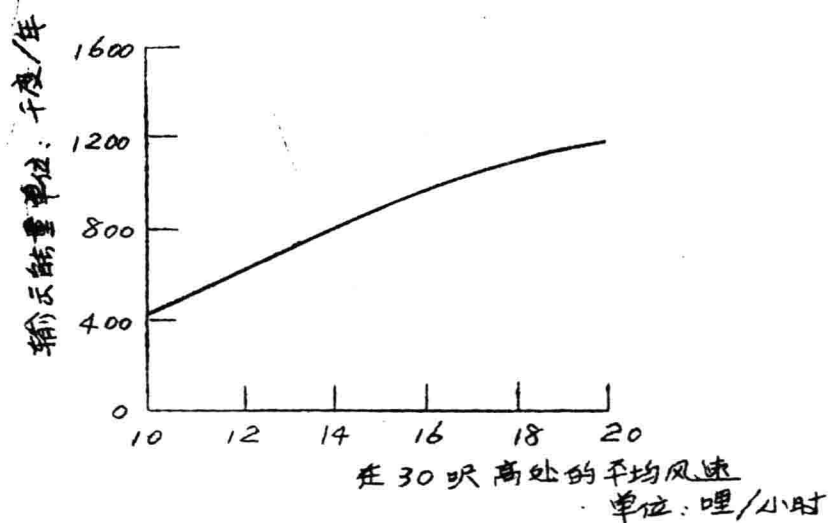


图 12 200 瓩风机年能量输出

利用“分仓方法”(method of Bins)

对风能转换装置特性的评价

Robert E. A Rins 1978年3月

摘 要

本文详细描述3风能转换装置(WECs)野外运转特性评价的“分仓方法”，以及数据收集和整理的技巧。“分仓方法”是一种简易方法，而且有助于关于风能转换装置对可变风力场作示反响的复杂问题的探讨，举例介绍利用“分仓方法”所取得的典型成果，概述了决定风能转换装置特性测量的校正方法。也讨论如何使“分仓方法”的技巧得到更进一步完美的这样一个课题。

目 录

I 引言

II “分仓方法”

发展经过

描述

一般性探讨

风的垂直剪切力校正

密度校正

数据综合

典型成果

III 验证

IV 继续讨论的课题

V 概要

参考文献