

风能 及其利用

[美] 杰克·派克 著

能源出版社



TK8/01

风能及其利用

〔美〕 杰克·派克 著

孙云龙译 冷长庚校

能源出版社

1984

内 容 提 要

本书是美国杰克·派克所著的《The Wind Power Book》(1981版)一书的中译本。

该书全面地介绍了风能资源、风能利用、风力机械基础、风力系统的设计和建造(包括风力发电机、农场风车、风炉、传动机构、风能的储存)以及风能利用的经济效益等多方面的知识,既有理论(包括许多公式、图表、曲线和数据),又有实践(特别是作者从长期实践中得到的宝贵经验),十分适于从事风能利用研究和风力机械设计制造的科研和工程技术人员使用,也可供高等院校有关专业的师生参考和广大风能利用爱好者阅读。

风 能 及 其 利 用

杰克·派克 著

孙云龙 译

能源出版社出版 能源出版社发行部发行

妙峰山印刷厂印制

787×1092 1/32开本 8.25印张 180千字

1984年2月第一版 1984年2月第一次印刷

印数1—3,000

书号15277·21 定价:1.55元

HK 07/03 译校者的话

本书作者美国的杰克·派克 (Jack Park), 从六十年代起就开始设计制作小型风力发电机, 七十年代初, 他曾根据自己的经验, 写了《供实验者使用的简化风能系统》(Simplified Wind Power System for Experimentors) 一书 (由于风能书籍的缺乏, 已出了第二版, 并几乎传播到世界上的每个国家)。之后, 作者继续从事风能的研究设计和实验工作, 他已设计和制作了数十台小型风力机械, 其中几种风力发电机已由凯特柯公司 (Kedco, Inc.) 制造出售。作者是美国风能协会的主席 (1981年), 曾任过该协会的副主席和主任。他也是专门经营太阳能和风能工程和设计顾问业务的海伦公司 (Helion, Inc.) 的创始人和总经理, 他走遍了全美国, 曾到加拿大、欧洲和非洲做过关于风能利用的讲演, 他还在柯达德学院 (Goddard College) 和南加州建筑学院 (Southern California Institute of Architecture) 任教, 并曾任过《风能文摘》(Wind Power Digest) 杂志的技术编辑, 还与理查德·施温德合写过《农场、家庭和小工业使用的风力机械》(Wind Power for Farms, Homes and Small Industry) 一书。

本书是作者多年经验的总结, 被认为是目前最好的一本关于风能的书籍。作者对风能这一自然资源的利用有着浓厚的兴趣, 并积极倡导开展风能的利用, 但同时他也真实地指出了风能利用的一些难题。

需要说明的是, 原书附录未全部译出。如有关美国各地的风力资料被删去了, 其它关系不大的部分也做了删节, 因

此译出的附录的顺序重新做了编排。此外，原书前言也未译出，不过，主要之点已在前面对作者的介绍中概括进去了。读者若需要我国各地区的风力资料，请查阅有关的气象数据和书籍。

我国幅员辽阔，许多地区具有十分丰富的风力资源。我们的祖先与世界上许多古老的民族一样，也有着利用风能的悠久历史。目前四化建设中，有计划地开展和推广风能的利用，对发展生产、减轻体力劳动强度、改善人民的生活条件、节约能源，都是十分有意义的。特别是在缺乏能源、交通不便的广大农村和边远地区，综合利用风能、太阳能、地热能、潮汐能等天然能源，以形成多种结构的稳定、经济、可靠的能源供应，是摆在有关国家机关和广大科技人员面前的一项迫切任务。我们翻译这本书，也是为了尽我们自己的一份菲薄的力量。

由于水平所限，翻译中的缺点和错误一定不少，我们热切地盼望广大读者给予批评指正。

译校者 1983.8于北京

目 录

第一章 导论	1
§ 1. 风能的用途.....	5
§ 2. 能量预算.....	7
§ 3. 风力资源.....	11
§ 4. 系统设计.....	16
第二章 风力系统	21
§ 1. 帆翼水泵.....	22
§ 2. 老式农场水泵.....	26
§ 3. 风力-电力系统.....	28
§ 4. 风力-电力系统的演变.....	30
§ 5. 低电压技术.....	35
§ 6. 独特的Darrieus风力水泵.....	37
§ 7. 特威德系统.....	40
§ 8. 马萨诸塞大学的风炉.....	42
第三章 风力资源	44
§ 1. 全球范围内风的运行.....	44
§ 2. 风速的特征.....	52
§ 3. 风速的测量.....	61
§ 4. 风向.....	62
§ 5. 风的切变.....	64
§ 6. 紊流.....	67
§ 7. 地点勘察.....	69
§ 8. 风速计和记录器.....	71

§ 9 .	选点分析	77
第四章	风力机械基础	81
§ 1 .	风力机械特性	87
§ 2 .	风力机械的性能	91
§ 3 .	风力机械的种类	96
§ 4 .	Savonius叶轮	97
§ 5 .	Darrieus叶轮	99
§ 6 .	Darrieus叶轮是如何工作的	103
§ 7 .	多叶片的农场风车	108
§ 8 .	高速叶轮	111
§ 9 .	性能提高了的风力机械	115
§10 .	选择一个合适的风力机械	116
第五章	风力机械的设计	122
§ 1 .	空气动力学设计	124
§ 2 .	Savonius叶轮设计	129
§ 3 .	螺旋桨型叶轮设计	131
§ 4 .	Darrieus叶轮设计	139
§ 5 .	结构设计	141
§ 6 .	叶片负荷	147
§ 7 .	叶片构造	153
§ 8 .	颤振和疲劳	156
§ 9 .	调节器设计	158
§10 .	转向控制	162
§11 .	停机控制	164
第六章	风能系统的建造	167
§ 1 .	泵水系统	169
§ 2 .	水的贮存	173

§ 3 . 设计泵水系统	175
§ 4 . 风力-电力系统	180
§ 5 . 发电机和传动机构	182
§ 6 . 储能装置	184
§ 7 . 变换器	187
§ 8 . 风力-电力系统的设计	190
§ 9 . 风力-电力水泵	198
§10. 风炉	202
§11. 安装	208
§12. 避雷防护	210
§13. 从实践中得到的一些经验	211
第七章 展望	213
§ 1 . 风能经济学	213
§ 2 . 法律方面的问题	219
§ 3 . 社会问题	223
附录	225
附录 1 瑞利风速分布	225
附录 2 风速与高度的关系	227
附录 3 叶轮旋转面积	230
附录 4 Savonius叶轮的设计	232
附录 5 简化的叶轮设计	235
附录 6 单位变换因子	243
参考书目	246

第一章 导 论

——用风做动力和能源

现在，人们正在重新回过头来利用一种最古老的能源和动力——风能。

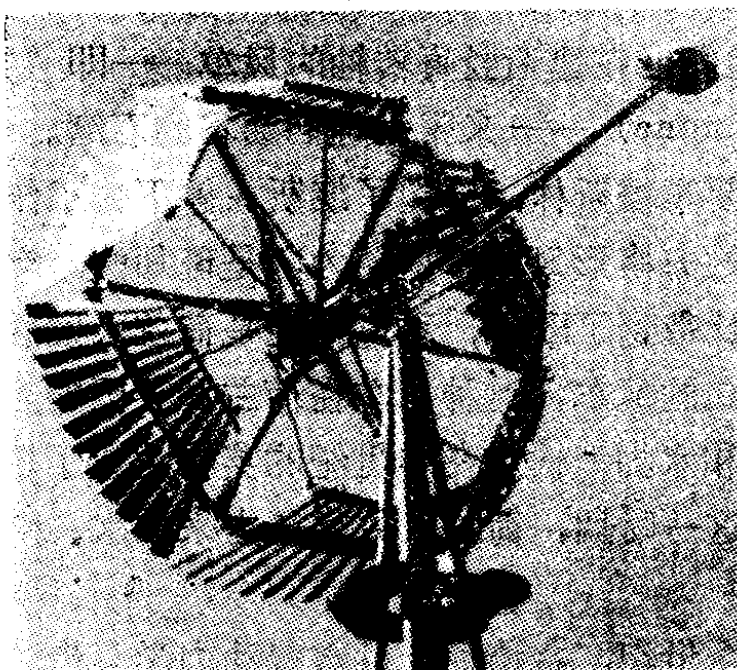
埃及人被认为是最先实际利用风能的。约在公元前2800年，他们就开始用风帆来协助奴隶们划桨，后来，使用风帆来协助役畜做诸如磨谷和提水等活计。

在公元前几个世纪，波斯人也开始利用风能，而到公元700年时，他们已在建造竖直转轴的风车——即“方格形风车”（Panemone）——来带动他们磨谷的石磨。其它的中东民族，主要是穆斯林，拾起了波斯人停下的工作，并建造了他们自己的方格形风车。据认为，是班师的十字军将风车的概念和设计带到了欧洲，不过可能是荷兰人发展了水平转轴、螺旋桨式的风车，这种风车在荷兰和英国的乡村是很普遍的。风力和水力很快就在中世纪的英格兰成了机械能的主要来源。在这一时期，荷兰人依靠风力来抽水、磨谷以及带动锯木机。

在整个中世纪，在诸如叶片空气动力学、齿轮设计和风车的整体设计这些领域中，新的技术改进不断产生。最老式的欧洲风车是柱式风车，它的螺旋桨安装在竖立在地上的柱子的顶端。这种柱子还起枢轴的作用，使得磨坊工人可以用它来将风车对准盛行的风向。柱式风车的设计很快就进化为

“帽式风车”，在这种风车中，对准风向的转轴是支撑叶片的“帽子”的一个组成部分。直到1750年，在发明了扇形尾——一种靠风力本身来操纵的自动调向机构之后，才不必靠人去调准风车的方向了。

在新英格兰的科洛尼亚尔，最早期的风车是英国风车的复制品。许多在荷兰得到应用的设计上的改进实际上被忽略了。到1850年时，丹尼尔·哈利戴开始发展了一种风车，这种风车后来演变成有名的“美国农场风车”。这种风车主要用来抽水，是一种在许多乡村地区仍可见到的为人们所熟悉的多叶片风车。就是在今天，假如没有这种风车，那么在美国、阿根廷和澳大利亚的许多地区，牲畜的牧场饲养也将会是不可能的。



丹尼尔·哈利戴发明的多叶片风车

在十九世纪中期发展起来的这种风车是现今在许多农村地区仍可见到的美国农场风车的前身。

到本世纪初，风力发电开始出现了，有些最初的发展要

归功于丹斯。到三十年代，约有十多个美国公司生产和出售风力充电机，大部分是卖给在多风的密西西比河流域以西的大平原上的农场主。在刮风时，这些机器一般可以给出多至1,000瓦的直流电功率。后来，一个由政府资助的将供电网扩展到边远的农场和住宅的“乡村电气化计划”（Rural Electrification Administration）开始实行，风力发电机不是按那个计划建立的供电网所提供的便宜的、稳定的电力的对手，所以大部分被闲置起来了。

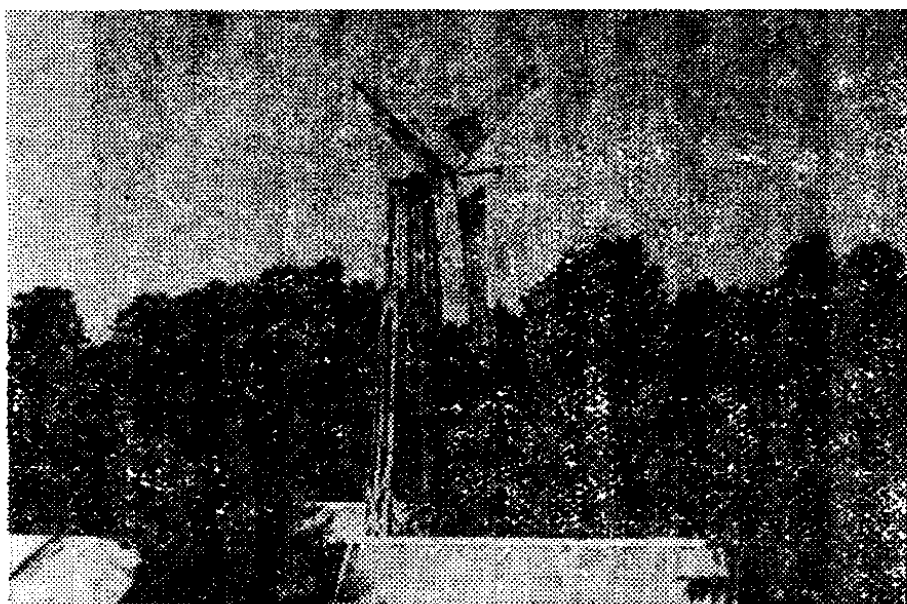


二次世界大战期间，其额定功率为1,250千瓦的为弗蒙特电网供电的巨大的史密斯-普特南风力发电机

一些欧洲国家建造了大量的风力发电机。在五十年代和六十年代，法国人建立了设计先进的100千瓦到300千瓦的发电机。德国人建造了一些100千瓦的风力发电机，来为他们的公用电网提供额外的电力。但是，由于便宜的矿物燃料发电机的激烈竞争，这些实验性机器后来停止了使用。

最难忘的风力机械之一是四十年代间在拉特兰、弗蒙特附近建造的史密斯-普特南风力机械，这架具有175英尺长的叶片的巨大机器被设计用来为弗蒙特电网提供 1,250 千瓦的电力。在一段短时间内它给出了1,500千瓦的电力，但是由于战时材料的缺乏和经费的不足，使得这项工程在强风折断了它的两个 8 吨重的叶片中的一个之后终止了。

谈论杰出的设计改进和风能的新用途是容易的，但是在此过程中发生的错误和灾难却很少在历史记载中出现。其实，从这些失误中得出的经验教训已被融合到了不断演变的设计



**在马萨诸塞州的伍兹霍尔的“新炼金术”研究所
的帆翼风车**

在这个植物的溶液培养实验中，用这个风力机械泵水供暖房生态系统的需要。

之中。毫无疑问，在风车设计领域里，有自然选择规则在悄悄地起作用。今天，我们有了便宜的电子计算器、铅笔擦以及有关书籍，它们可以帮助我们在建造起机器之前就预先发现我们的错误。

如果你想要设计和建造一个成功的风力系统，就应该了解从过去的成功和失败中得出的有益的教训。从划破膝关节、断裂了的扳手、打错了地方的孔和倒塌了的塔架中积累起来的经验，都包含在本书之中。不过，在书中所论述的每一件事情都完全对上号之前，你也必然会分享到技工、技师和工程师们的欢乐和忧愁。

§ 1. 风能的用途

今天，风能可被用来为诸如抽水、发电和为住房或畜棚供暖等这些有意义的工作提供部分或全部能源。让我们来更深入地讨论一下其中的一些用途。

抽水是风能的一种主要用途。丹尼尔·哈利戴和其它人在十九世纪中期就已开始为此用途制造多叶片风车，哈利戴的工作在时间上正好与铁制水泵工业的发展一致。不久，风力机械和铁制水泵的结合使得它们能够从深井中抽出水来，以给轰隆轰隆地横越北美大平原的蒸汽机车供水。对风力带动的深井泵的需求曾造成了本世纪初风力工业的繁荣。西尔兹百货公司曾以约15美元的价格出售那种机器，而塔架的价格约为25美元。

风亦被用来为磨谷、带动锯木机以及为带动洗衣机而提供机械动力。尽管我并不设想明年的肯莫尔牌洗衣机会用塔架、叶片和传动轴代替电源引线和插头来配套，但是，使用来自风力机械的机械动力仍会证明是有用的。

既然电力几乎可为任何工作提供动力，所以用风能来发电看来引起了很大的注意。人们可以用电力抽水、开动洗衣机、磨谷、给住房供暖和为阅读照明。当可以得到从旧汽车上拆下的发电机时，农民们很快就开始了建造“照明工厂”或自制风力发电设备。象《大众科学》和《现代机械》这些早期的机械杂志，就介绍了如何利用废弃了的发电机、自行车链条和家庭风力机械，来把抽水风车改装成风力充电机。

许多中西部的农民原先有汽油发电机或煤油发电机来给他们的蓄电池充电，这种外加的风能，帮助他们减少了燃料的耗费和减轻了发电机的磨损。在乡村电气化之前的风力充电机工业正是从这种农民后院里的工作中发展起来的。单在美国就曾有过约50万个风能系统，不过，不清楚在历史记载中的这个数字是否把水泵和风力充电机算在一起了。

农民们用风力发的电来听收音机、点一两支电灯为阅读照明，后来则为电冰箱和扭绞洗衣机供电，大致也就如此而已。烫衣服的电熨斗、电动刮胡刀和其它一些使用直流电的小器具出现了，但实践证明，其中的大多数都没有真正使用风力发出的电。事实上，也许这要归因于乡村电气化计划开始后风力发电的衰落。使用乡村电气化计划提供的电网的电力，电器工作得要出色得多。这种电网没有蓄电池的电被用完的麻烦。

乡村电气化使大多数风力充电机闲置起来。

乡村电气化计划的输电线架设起来了，而风力发电机则衰落了。西尔兹百货公司的商品目录炫耀着各种人们可以购买的、接插到新架设的输电线路就可以使用的奇妙的小器具。

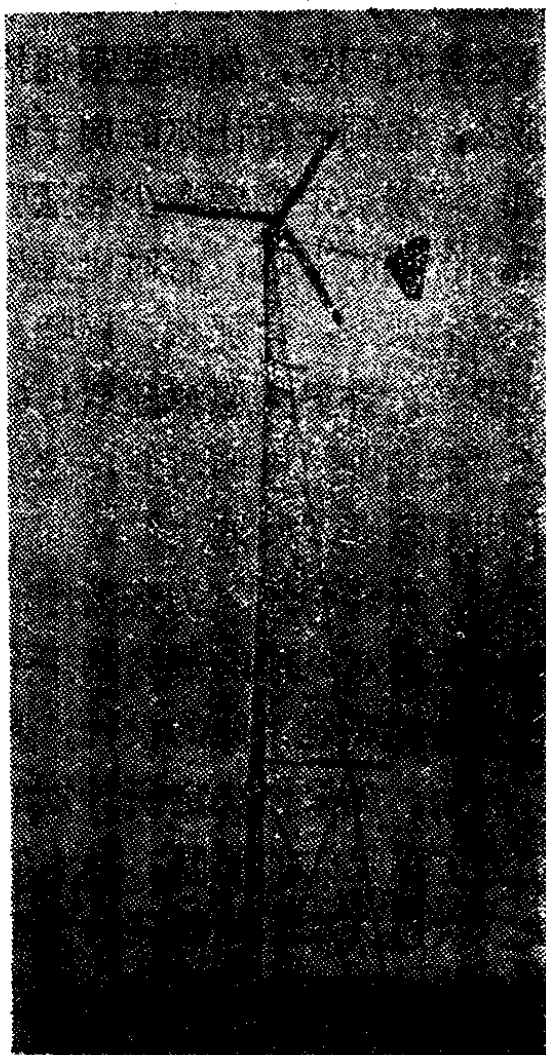
电炉、热卷发器、电动空调机、两台或更多的电视机，

这些用电器作为接到用风力充电的蓄电池上的负载还不是很现实的。然而，风能可以为这些器具的运转作出贡献，尤其是在当电网已经在为此承担起部分工作的情况下就更是这样。对这种并网发电方式来说（风能与电网电能一起使用），能够得到的风能越多，需要电网的电力就越少。

在另一种应用场合中，风能可以为家庭提供取暖的热量、为畜棚提供日常需用的热水，以及为几乎每一件需要热量的事情提供热量，只要它们对热量并无精确定量控制的要求。这种风力加热的概念，称为“风炉”，并且这正是风能的最有用的应用中的一个。风炉可以使用风力发电来产生热量，或者它们可以直接将机械能转换成热能。

§2. 能量预算

风力机械的设计，必须从现实地估算能量的需求和可以得到的风力资源开始。面对一个正在观摩我的风力机械的缺



一个三十年代的风力充电机

千千万万的中西部的农户在按乡村电气化计划架设起输电线之前，是靠风能供电的。

乏经验的人，我经常被问道：“这够给我的房子供能吗？”

对待这样的问题，如果要跟他抬杠的话，我常想这样回答：

“那么，你到底想让你的房子跑多快呢？”但通常，我仅仅是问：“你家中需要多少能量呢？”接着是提问人的茫然的凝视，含糊的嘟囔；有时则是因不知如何回答而出现的沉默。然后便是：“那么，好吧，它够为中等家庭供能吗？”

看来，许多人愿意建造1,000美元的风力机械，而与完好的老“爱迪生”电网断开，这是太有点想入非非了。如果从乡下住宅到老“爱迪生”之间架设输电线要耗资30,000美元的话，那么利用风力来为你的住宅供能倒是合乎情理的，但是大多数对风能的最终利用多少有点不是那么昂贵。

成功的风能系统的设计，起始于对预期应用的足够的了解。例如，如果你决定所计划的用途是抽水，你就必须确定，为了满足你的需要，抽水的扬程要多高，以及水流应该多快。吹过风车叶片的风的力量作用到水泵上来抽水，被提升的水的重量和水的流速，决定了必须供给水泵系统的功率。较深的水井就意味着水的负荷较重，而增加流速就意味着每秒钟内要提取更多的水，这两者都意味着需要更大的功率来完成这件工作，或者说这需要带动更重的负荷。

这种负荷的概念对于理解风能是十分关键的。设想你不是使用风能，而是曳拉绳子从井中提取一桶水，这种提水动作，对于你的身体而言，就是加了一个负荷。体内的新陈代谢过程必须将体内储存的化学能转变成机械能，你的身体付出的机械能的速率就是你产生的功率。水桶的重量（以磅为单位）、和你提拉水桶的速度（以英尺/秒为单位），一起决定了所产生的功率（单位为英尺·磅/秒）。而你产生这一功率的持续时间，决定了总共付出的机械能的总量。

你已盘算好了给风能派的用场，就十分明确地规定了你将要加到你的风能系统上的负荷。知道一些关于负荷的情况，可以使你能够做出能量的预算。你会问：“什么是能量预算？”让我们用一件类似的事情来解释它。当你收到你的工资支票时，你就有了一个可供你开销的确定的总钱数。可能你会会有一个预算，把你的钱分成几份，用来支付一些你要支付的账单。你也可能希望多少剩下一些可供储蓄、买一些啤酒或任何其他你喜爱的东西。对能量其实也应该是用同样的方法来安排，如果你要长期依靠风能，你就要尽快地确定一个能量的预算。

确定一个能量预算包括估计、计算，或者实际测量你所设想的一些具体工作所需要的能量。如果你要用电点灯，那么你就必须估算一下要点多少只灯，点多长时间和用多大瓦数。如果你是打算每个晚上听3小时的收音机，你就必须将这部分电能加到你的预算中去。如果你打算抽水，你就必须估算每天你需要多少水，并要计算从你的井中抽出这些水到储水罐中需要多少能量。

对于风炉，则要求你计算所需的热量。在某些情况下，你只需计算你需要多少热量来补偿在刮风时，你的房子所损失的热量，这样的系统只是在必要时才投入运行。此时你的能量预算将用热量单位来表示，也许是“英国热量单位”

(Btu)，但是可以十分容易地将它变换成马力·小时或者千瓦·时(kW·h)，这些对于风力机械设计者来讲更为熟悉的单位。

你的电费单据和你拥有的电器用具情况可以帮助你确定能量需求量。例如，在美国，居民的平均每月用电量约在750度左右，即约每小时用1度电。或者更具体地说，多数