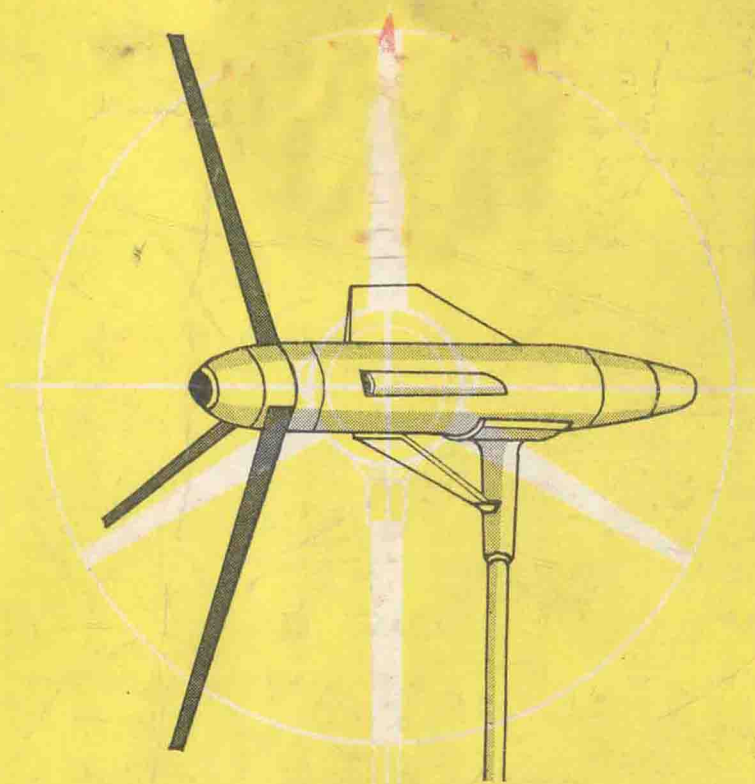


小型风力机的设计与制作

(附:小型风力机设计图例)

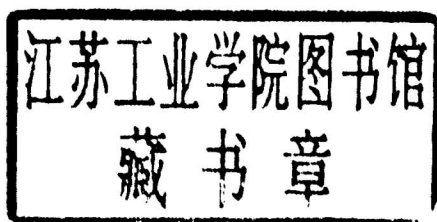
(日) 牛山 泉 著
三野正洋 著



小型风力机的设计与制作

(附：小型风力机设计图例)

(日) 牛山 泉 原著
三野正洋
刘 文 博 译

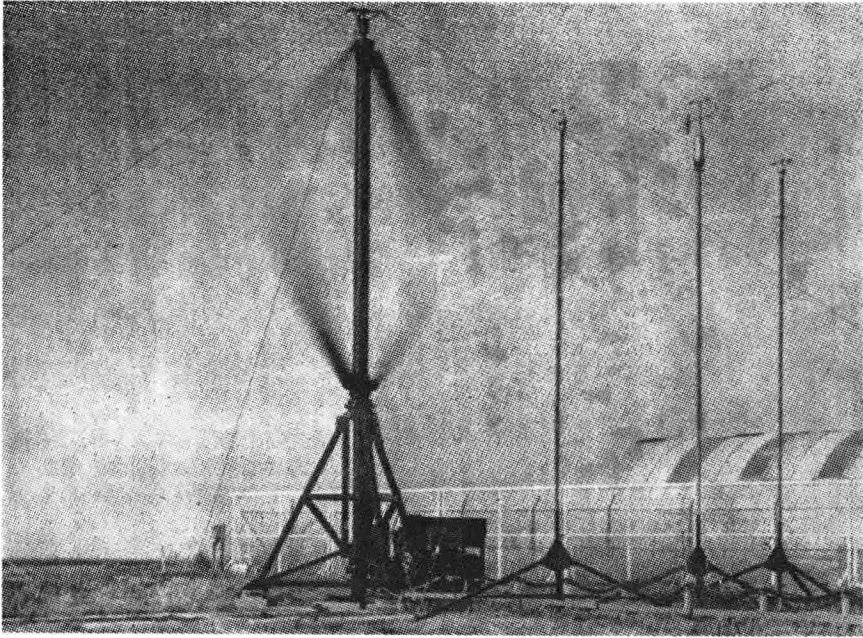


中国空气动力学研究会 风能专业委员会
中国太阳能学会

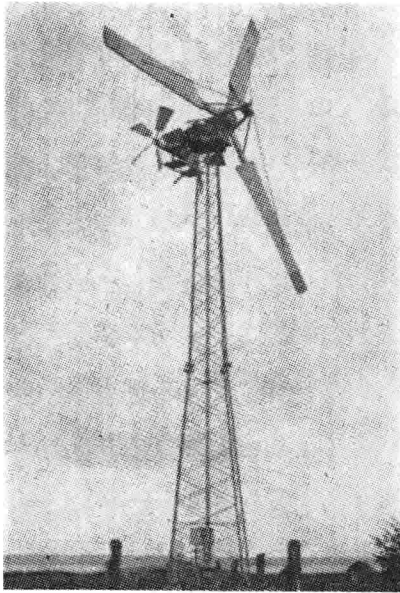
中国风能技术开发中心

出版

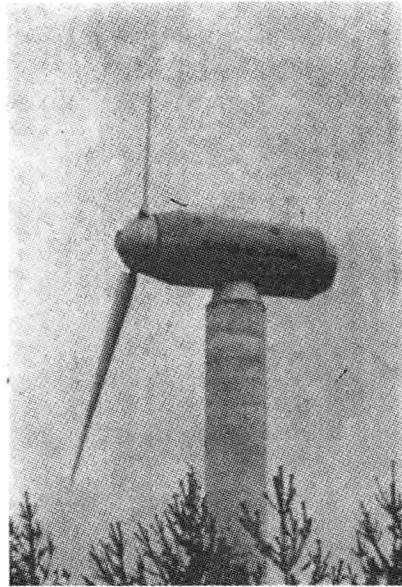
1985年



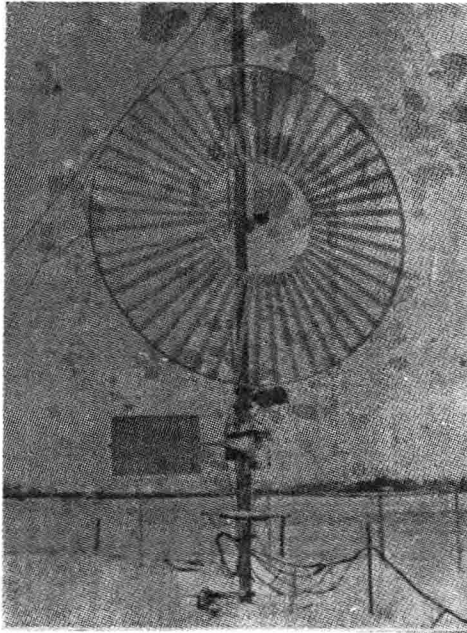
高速运转的弗克尔-VEN公司的垂直轴达里厄式风力机



在风力发电王国——丹麦使用众多的利萨卡公司的20千瓦风力机



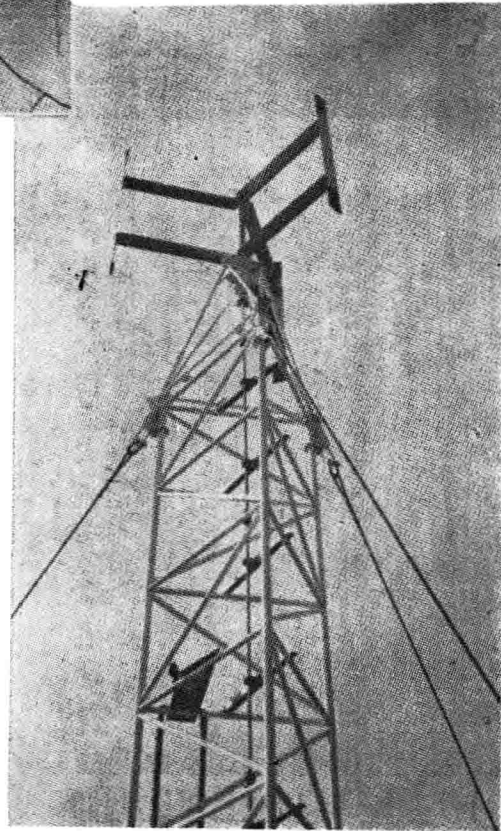
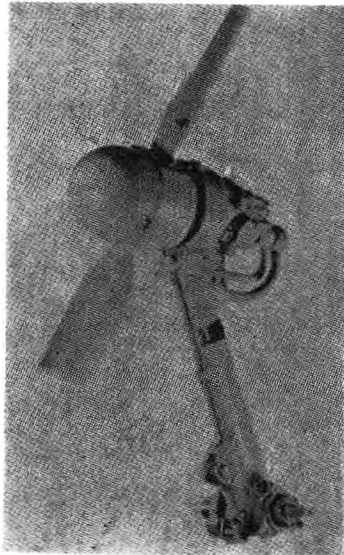
瑞典萨布·斯卡尼阿公司飞机部开发的风轮直径18米、60千瓦风力机

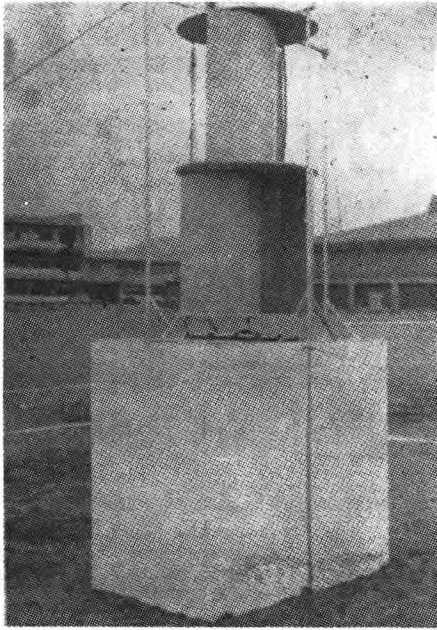


◀奥库里霍姆州立大学研制的5千瓦自行车轮式风力机(由美国风力涡轮公司出售)

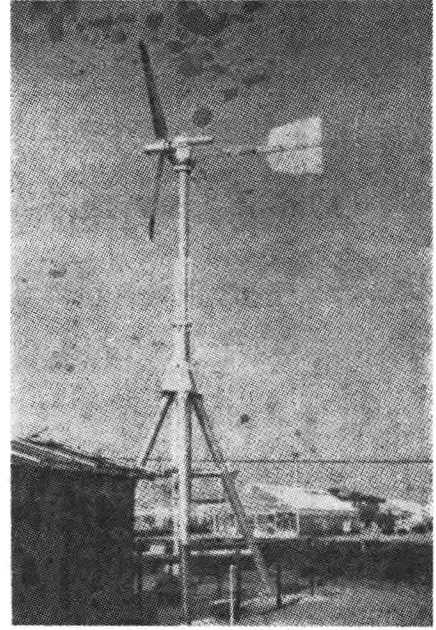
▼东海大学和望星企业共同研制的直叶片垂直轴式风力机,它可用于发电和提水

英国达乌台·洛特尔公司的飞机芯式紧急发电用风力机

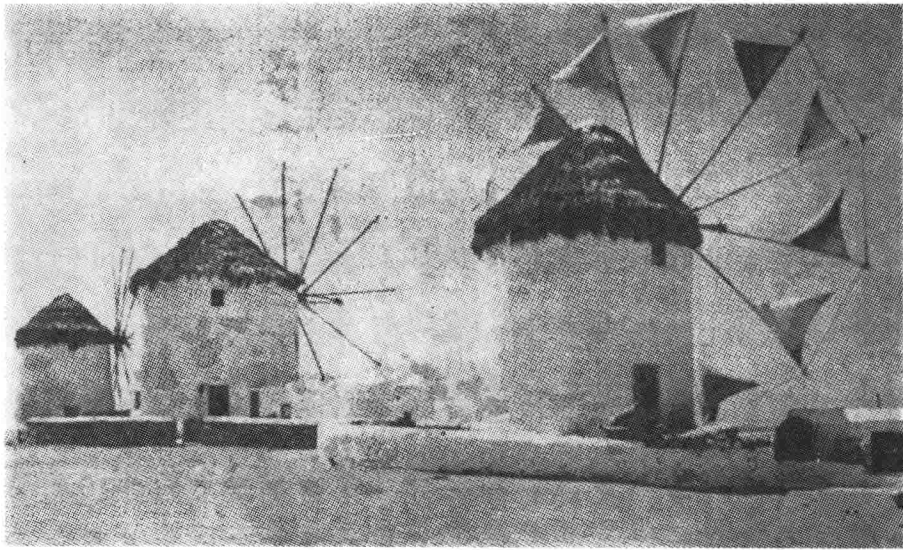




已经过试验的双段式萨布纽斯风力机，它在风速为10米/秒时，输出功率为110瓦

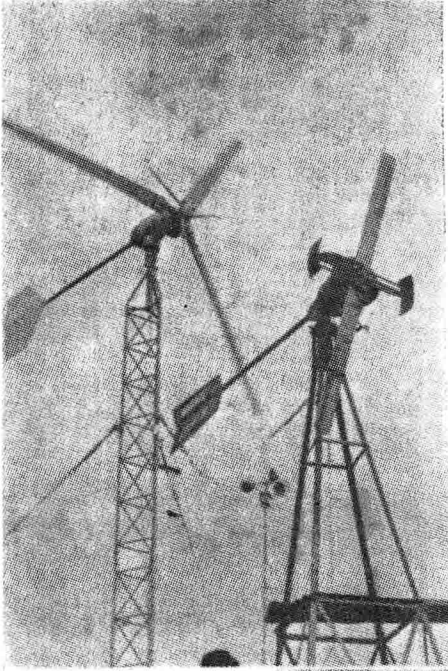


爱和县武丰蔬菜试验场的富士电机公司制造的5.5米、750瓦风力机

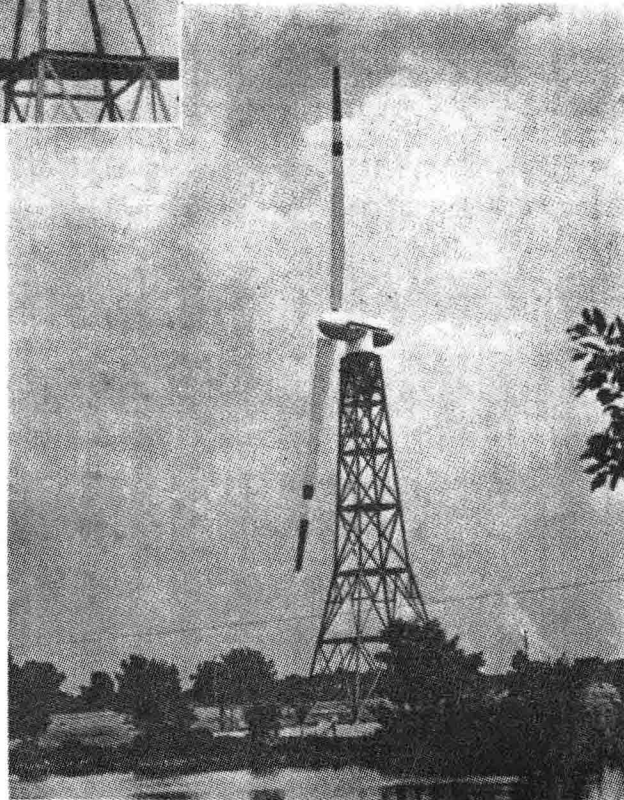


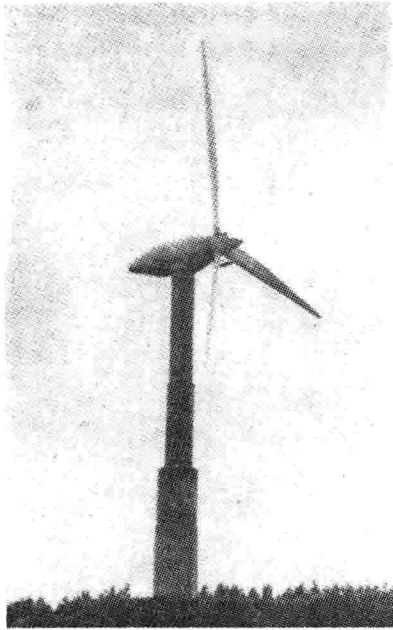
地中海沿岸使用众多的帆翼风力机

目前比较普及的瑞士电气公司风力机和美国风电公司的风力机

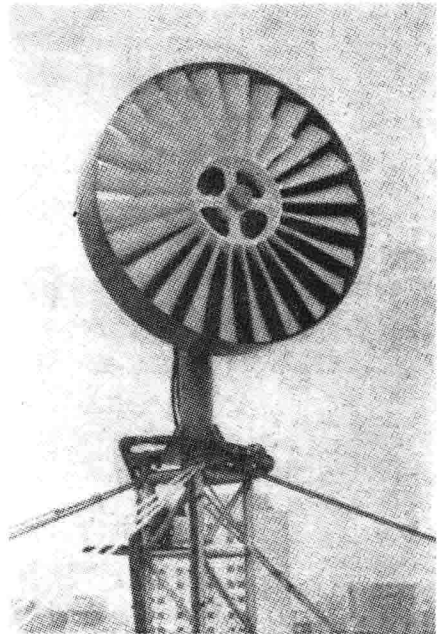


美国宇航局(NASA)和能源部(DOE)研制的直径38米MOD-0型100千瓦风力机

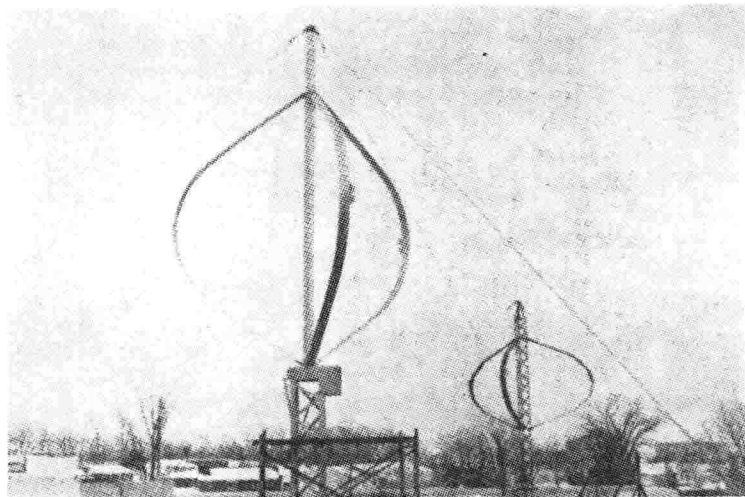




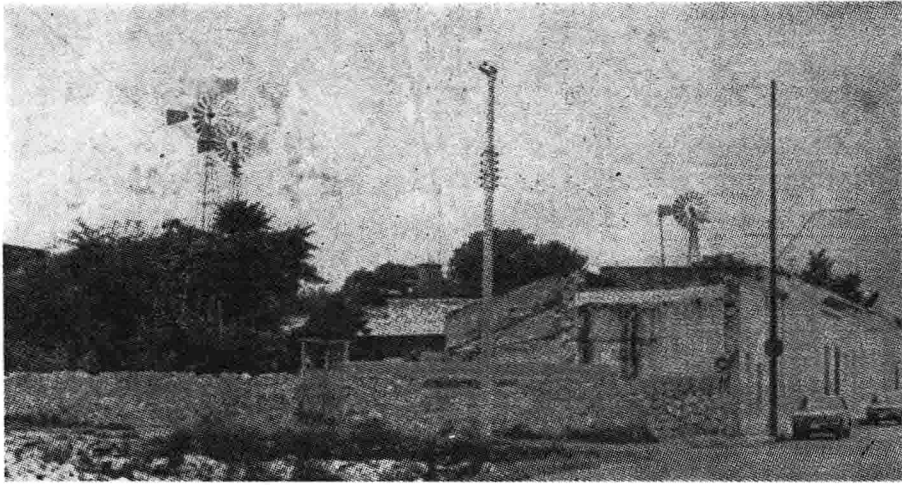
目前世界上最大的自制风力机。此机安装在丹麦茨宾道的一个校园里，这是一台风轮直径54米、2000千瓦的巨型机组



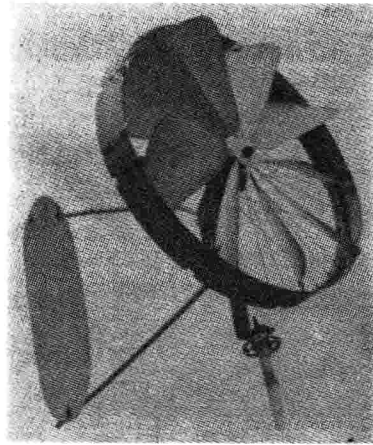
日本南极考察队在昭和基地使用的导流风轮式强风地区涡轮风力机



设置在加拿大的风力机研究中心——国立航空研究所屋顶上的达里厄式风力机



在墨西哥墨里大市内的多翼风力机(提水用)



▲利用自行车的车圈制作的风力发电机

◀荷兰的提水、磨面风车，大型的风轮直径达20米

序

我国是世界上最早利用风能的国家之一，而且早期在技术上也是很先进的。利用风力机提水灌溉、汲海水晒盐，可以追溯到公元前好几个世纪。英国的风能权威 E. W. Golding 在他的《风力发电》一书中，引证的第一张图片，就是我国苏北的传统竖轴帆翼式风车。至于利用风帆助航技术，虽已难于考证始用于何年代（如黄帝作舟之说），但是史书上确实可信的记载有秦朝（公元前 221 年）徐福由山东蓬莱率领庞大船队扬帆过海东渡日本，这在世界史上也是壮举，如果没有完善的风帆助航技术，那是办不到的。

众所周知，在自然能源中，风能和水电一样是比较容易转换成为机械能的，所以各国也都或早或迟开始了风能的利用。例如，荷兰和英国的风车磨房，大约从公元七世纪以来就广泛应用于城乡（这是 Washington Irving 的传说），直到发明了蒸汽机，它才退出了历史舞台，仅保留一些，作为古迹，供人观赏。

本世纪以来，由于能源消耗的急剧增长以及由此而带来的环境污染等副作用，加之以七十年代初期，世界上爆发了一场石油危机，风力机又重新被人们重视，而且赋予了新的内涵：即将成熟的航空器的理论移植到风力机上来，使得风力机的效率比之老式风车提高了几倍乃至十倍。各工业发达国家在近十年投入数以亿美元计的研制费，相继制成了兆瓦级风力发电机，形成了风能工业，使用风力机的概念由单机运行发展到并网运行和建成有相当规模的风车田，装机容量之大，如美国南加利福尼亚州达到 260 兆瓦；英国能源委员会规划在英格兰岛的北部海域中筹建风车田。由于技术日趋成熟，估计到九十年代，风力发电机的每千瓦的投资或每千瓦时的成本，将可与常规电厂相埒，从而使风能在能源构成中占有一定的份量。

我国对新型风力机的研究，五十年代后期有过一个兴旺时期，吉林、辽宁、内蒙古、江苏、安徽和云南等省都研制过千瓦级以下的风车，但是没有做好巩固和发展成果的工作。七十年代后期，风车又重新受到重视，而且取得较好的效果，如中国农机科学院、南京航空学院研制的风力机用于江苏兴化的提水灌溉以及改造传统风车用于苏北盐场等，都取得较好的经济效益；在浙江、黑龙江、福建研制出了目前我国较大功率的机组；内蒙古的有关单位研制的小型风力发电机已有批量生产，用以解决地处偏远、居住分散的农牧民住户、蒙古包的生活用电（照明，收、听、看）和少量生产用电（电牧栏和电照明接羔），这不仅方便了生活，有利于生产，而且改变着几千年来“灯火靠酥油，燃料靠畜粪”的落后状况，具有战略性的重大意义。

我国的“三北”、青海、西藏有数百万平方公里的干旱地区，东南几千里海岸线外散布着数以千计的大小岛屿。这些地方有两个共同特点：(i) 正规电网难以覆盖到，(ii) 风力资源比较丰富。因此，按照“开发新能源要因地制宜”的原则，这些地区开发和利用风能是有广阔前景的，中央领导同志最近指出，要研制出世界上第一流的小型风力机来。这一指示是完全符合我国当前国情的，最近几年来，我国的一些著名院校和高级科研单位对我国风力机的研制，做出了可喜的成绩；此外有相当多的风力机爱好者也在从事这一工作，还有一支科技队伍已转向了风力机的研制。但是，风力机的研制，涉及到许多学科的知识，和许多领域的

技术，如机械学、电子学、空气动力学以及材料学等等，而目前我国的大专院校，尚未设置有关风力机的专业，随着我国风能利用的迅速发展，广大风能工作者迫切希望有一本合适的、便于自学或参考的书，以利于工作，或者说有助于入门。

日本牛山泉、三野正洋二氏合著的《小型风力机的设计与制作》（小型风车ヘント“フック”），取材精练，举例也很实际，可供风力机研制人员参考，对于业余风力机爱好者，更是一本有价值的教材。黑龙江省机械工业研究所刘文博同志有鉴于此，将此书译出以饷读者，我相信是会受到欢迎的。我对译稿浏览一过，颇有获益，故而欣然命笔，写点感受，实不足称为序文。

合肥工业大学 邓慎康

1985.1.10

译 者 的 话

风能是太阳能的一种表现形式。在能源问题受到世界各国普遍关注的今天，风力资源的开发和利用已广泛地受到国内有关部门的重视，不少单位正在积极地进行风力机的研制与开发工作，并且已取得了可喜的成绩。但是到目前为止，国内系统介绍风力机设计与制造的书籍却甚少。这不能不给许多从事这方面实验研究工作的科技人员和风能利用爱好者带来极大的困难。

日本上智大学副教授、工科博士牛山泉和日本大学讲师三野正洋合著的这本《小型风力机的设计与制作》和国内一般的工具书不同，它不只是给出图表查查数据，而是全面系统地介绍了在风力机设计和制造过程中遇到的各方面的基础知识和基本概念。它既不是纯理论的书籍，又不是普及性的读物。而是一本能够切实地指导小型风力机的设计、制造和应用的实用性很强的中级读物。

本书某些段落谈及的是日本国内的情况，如日本风能资源、日本风能利用的有利地点及日本局部地区的风况等。译者考虑到作者对这些问题的阐述，对我国从事气象和从事风能资源研究工作的人也有参考价值，因此将这些部分仍保留了下来。

作者提出的风力—热转换作为风能利用发展的第三个阶段的思想，译者觉得对我国处于高寒地带又有强风的广大地区解决冬季取暖、供热问题，很有参考价值。因为目前，国内小型风力机利用的研究除了重点解决风力发电和提水之外，对风力—热的直接转换的利用方式亦在开始进行探索。

总之，在目前风能利用参考资料尚缺的情况下，本书是一本很好的参考书，相信它的出版会对我国方兴未艾的风力利用的研究开发工作有所帮助。

本书的出版，得到了中国太阳能学会、中国空气动力学研究会和中国风能技术开发中心的大力支持和热情鼓励，使我有信心克服了一些困难把它奉献给读者，在此谨对他们深表谢意。同时也要感谢负责本书编辑工作的钱慰慈、张秀智同志，负责本书校阅工作的金允汉（第二、三、四、五、六章）、胡玉琴同志（第一、七章）及王库同志（第八、九、十章和附图）。中国气动力研究与发展中心贺德馨同志为全书译文作了技术校审。

由于译者水平有限，错误之处在所难免，敬希读者批评指正。

译 者

1984.11

目 录

第一章 风能利用概论

1-1	风的形成	(3)
1-2	风随时间的变化	(3)
1-2-1	风的日变化	(4)
1-2-2	风的季节变化	(4)
1-3	风随高度的变化	(5)
1-4	风的随机性	(6)
1-4-1	风的脉动(紊流)	(6)
1-4-2	风向的变化	(7)
1-5	风的地区局限性	(8)
1-6	风的观测和有关风参数的性质	(9)
1-6-1	风的观测	(9)
1-6-2	有关风参数的性质	(9)
1-7	风能的储量	(11)
1-7-1	地球全部风能的估算	(11)
1-7-2	日本风能的地理分布	(13)
1-7-3	日本风能储量的估算	(13)
1-8	风能利用的历史和现状(小型风力机)	(14)
1-8-1	风车的起源	(14)
1-8-2	风车的普及	(14)
1-8-3	风车的全盛时期	(14)
1-8-4	风力发电机的诞生及实用化	(15)
1-8-5	日本的风能利用	(17)
1-9	风能利用的展望	(18)

第二章 风场的选择

2-1	风力机的设置场址	(23)
2-2	在平地设置的情况	(23)
2-3	在山脊或山顶设置的情况	(23)
2-4	根据植物生长判定设置场址	(24)
2-5	气象因素对风力机的影响	(25)
2-5-1	紊流	(25)
2-5-2	强风	(25)

2-5-3	风剪切	(25)
2-5-4	结冰和粘雪	(25)
2-5-5	雷	(25)
2-5-6	盐雾损害	(25)
2-5-7	尘 砂	(26)
2-6	在建筑物上面或附近设置的情况	(26)
2-7	根据风速判定设置场址	(27)
2-8	日本风能利用的有利地点	(27)

第三章 风力机的基础知识

3-1	风力机能获得的能量	(33)
3-2	风力机的种类及特征	(37)
3-2-1	水平轴风力机的种类及特征	(38)
3-2-2	垂直轴风力机的种类及特征	(40)
3-2-3	特殊风力机	(42)
3-3	风力机性能表示方法	(43)
3-3-1	表示风力机性能的特征参数	(43)
3-3-2	风力机的输出功率与转速和风速的关系	(46)

第四章 风力机的设计基础

4-1	能源需求量的判定	(49)
4-1-1	电负荷的判定	(49)
4-1-2	机械负荷的判定	(53)
4-2	风力机的输出功率及能量	(56)
4-3	风能利用装置	(60)
4-3-1	风力机的能量转换特性	(60)
4-3-2	风能利用装置	(62)

第五章 风力机的空气动力学设计

5-1	风力机叶片	(67)
5-1-1	风力机叶片的空气动力学	(68)
5-1-2	风力机叶片的角度	(68)
5-1-3	风力机叶片的断面形状	(71)
5-1-4	风力机叶片的面积和实度	(71)
5-1-5	风力机叶片的平面形状	(72)
5-2	风力机叶片的设计方法	(73)
5-2-1	翼型的确定	(73)
5-2-2	风力机叶片的图解设计法	(75)
5-2-3	风力机叶片的叶素理论设计法	(81)

第六章 风力机的结构设计和机械设计

6-1	风力机的结构设计	(91)
6-1-1	作用在叶片上的离心力	(91)
6-1-2	作用在叶片上的阻力	(91)
6-1-3	风力机的扭矩	(93)
6-1-4	叶片的角动量和尾翼所受的力	(94)
6-1-5	风力机的负荷条件	(96)
6-1-6	风力机的可靠性设计	(98)
6-2	风力机的机械设计	(99)
6-2-1	风力机的转速控制	(99)
6-2-2	风力机的方向控制	(103)
6-2-3	风力机叶片的材料和结构	(106)
6-2-4	帆翼和萨布纽斯叶片	(108)
6-2-5	风力机叶片和主轴的连接形式	(111)
6-2-6	风力机的增速机构	(113)
6-3	塔架	(114)
6-4	塔架的基础	(118)

第七章 风能利用装置的主要组成部分

7-1	发电机	(121)
7-1-1	汽车用交流发电机的原理和结构	(121)
7-1-2	汽车用交流发电机的性能	(122)
7-1-3	在风力机上用交流发电机发电	(123)
7-1-4	其他发电机	(125)
7-2	蓄电池和逆变器	(126)
7-2-1	蓄电池及其种类	(126)
7-2-2	蓄电池的原理	(126)
7-2-3	蓄电池的性质	(127)
7-2-4	蓄电池的用途	(127)
7-2-5	充电的知识	(128)
7-2-6	蓄电池的维护	(129)
7-2-7	逆变器	(130)
7-3	提水水泵	(132)
7-4	充气 and 防冻	(136)
7-5	风能的热转换和贮存	(137)
7-5-1	能源的利用结构	(137)
7-5-2	风力-热转换的方式	(138)

第八章 小型风力发电装置的经济性

8-1 小型风力发电装置的经济性评价	(145)
8-2 小型风力发电装置的电力成本	(147)
8-3 小型风力发电机输出功率的成本估算	(149)
8-3-1 两种风力机的成本比较	(149)
8-3-2 成本估算所需的数据	(150)

第九章 世界上的小型风力机

9-1 美 国	(156)
9-2 澳大利亚	(169)
9-3 加拿大	(171)
9-4 丹 麦	(173)
9-5 英 国	(176)
9-6 法 国	(177)
9-7 西 德	(179)
9-8 意大利	(181)
9-9 日 本	(181)
9-10 瑞 士	(186)
9-11 苏 联	(187)

第十章 风力机的实际制作

10-1 业余爱好者自制风力发电机的实例	(193)
10-1-1 茅野义胜制作的风力机	(193)
10-1-2 金纲均制作的风力机	(195)
10-2 自制风力机的尺寸及形状	(196)
10-2-1 风力机的尺寸范围	(196)
10-2-2 能够自制的风力机的种类	(196)
10-3 木质螺旋桨的制作方法	(197)
10-4 发电机及其配线	(203)
10-5 若干新方案	(204)
10-5-1 提高萨布纽斯风力机性能的方案	(204)
10-5-2 提高垂直轴高速风力机起动性能的方案	(204)
10-5-3 定风向时的风力机	(205)
10-6 家庭组装机的结构举例	(207)
10-7 轴承和滑环	(209)
10-7-1 轴 承	(209)
10-7-2 滑 环	(210)
10-8 简易的计算法	(210)

小型风力机设计图例

[A] H0.9萨布纽斯风力机·····	(215)
[B] ϕ 0.45螺旋桨风力机·····	(216)

附 录

一、中国风能资源的分布·····	(219)
1. 中国有效风能密度(瓦/米 ²)·····	(221)
2. 中国有效风力出现时间百分率(%)·····	(221)
3. 中国全年3—20米/秒风速小时数·····	(222)
4. 中国全年6—20米/秒风速小时数·····	(222)
二、中国各地的风能资源·····	(223)
三、中国小型风力机研制概况·····	(237)
四、介绍几家风能研制单位及厂家·····	(243)

第 1 章

风能利用概论

