

Technology
实用技术

小型 风力发电机 设计与制作

〔日〕久保 大次郎 著

姚兴佳 王益全 译



科学出版社

小型风力发电机 设计与制作

〔日〕久保 大次郎 著
姚兴佳 王益全 译

科学出版社
北 京

图字: 01-2012-0414 号

内 容 简 介

本书对风力发电机的结构、工作原理进行了说明,重点介绍了小型风力发电机的主要部件(包括风力机、发电机、控制装置等)的设计与制作技术,同时也对塔架制作、安全对策、测试技术以及风速仪和发电量记录仪制作技术等作了较为详细的介绍。

本书可供从事风力发电的相关技术人员参考,也可供工科院校相关专业师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

小型风力发电机设计与制作/(日)久保大次郎著;姚兴佳,王益全译.

—北京:科学出版社,2012

ISBN 978-7-03-034571-4

I. 小… II. ①久…②姚…③王… III. ①小型-风力发电机-设计
②小型-风力发电机-制作 IV. TM315

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 114467 号

责任编辑:杨 凯 / 责任制作:董立颖 魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:卢雪娇

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京九天志诚印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 7 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2012 年 7 月第一次印刷 印张: 16 3/4 插页 2

印数: 1—4 000 字数: 260 000

定 价: 38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

译者序

能源是影响人类生存质量的重要物质基础。当前人类使用的主要能源是煤炭、石油、天然气等,这些能源的储量有限,是不可再生的,使用这些能源又会引起“地球变暖”等一系列环境问题。近年来,可再生能源发展很快,包括太阳能、风能、水能、生物质能、海洋能、地热能等,这些能源取之不尽、用之不竭,无污染或少污染,属于清洁能源。

在可再生能源的应用中,风力发电的发展最快,技术上也比较成熟。随着风力发电的迅猛发展,近年来,也造就了一大批业余爱好者。这些爱好者以自己的聪明才智和坚强意志在他们挚爱的热土上默默耕耘,有的也已经小有成绩。本书作者就是一位把退休后的主要精力投入其中,通过不倦的努力挑战人生并收获快乐的老者。他把多年来投身小型风力发电机设计和制作的宝贵经验毫无保留地介绍给我们,不由得让我们肃然起敬。能向读者介绍本书,我们感到十分荣幸。

如果您也不甘寂寞,经济上又允许,那么本书就是您的良师益友,在本书的指导下,相信您也可以设计和制作出具有良好性能的小型风力发电机,圆自己一个清洁能源之梦。

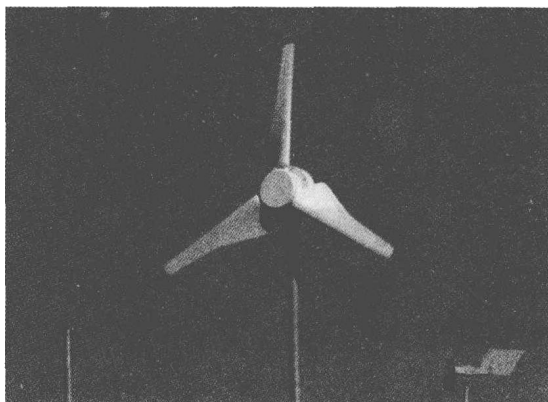
前言

近年来,人类面临着地球变暖、酸雨、森林破坏、沙漠化等一系列重大环境问题,就我们每一个人来说,在削减 CO_2 的问题上,能够以何种方式积极参与进来?换言之,每个人是否都应该考虑:如何依靠自己的努力,就在我们身边生产出清洁能源。

能量可以以多种形态存在,例如机械能、热能、电能等,从应用的角度来说,电能无疑是最为方便的一种形态。

从自然能源获得电能的方法主要有:太阳能发电、风力发电、水力发电、生物质能发电、氢和燃料电池等。大家知道,化石燃料(煤、石油等)燃烧时将产生大量 CO_2 。而采用上述 5 种能源发电时,不产生或很少产生 CO_2 ,而且这些能源取之不尽、用之不竭,因此,这些能源是清洁的可再生能源。

在上述可再生能源发电技术中,最简单的是太阳能发电。只需购入并安装好太阳能组件,在太阳的照射下就可以发电了。有人说,太阳能发电的发电量取决于太阳能电池板的性能及其设置场所,这样说毫不为过。本人是一名电子工程师,很愿意接受新技术的挑战,但就太阳能发电而言,购买了太阳能板,安装好控制电路,就算万事大吉了,并没有多少自己可干的事,因此对太阳能发电提不起兴趣。对于利用水的落差来工作的水力发电,本人也有过浓厚的兴趣。然而,要想利用有落差的水,需要具有水力权,因而限制了向水力发电方向的努力。



本书介绍的自制小型风力发电机和风速仪

本人已经到了退休年龄,希望快乐地享受最后的人生。如何使余生过得更有意义?更是我常常思考的问题。风能是可再生能源中最不稳定的一种能源,在技术上也有较大的难度,本人最后决定对风力发电领域发起挑战。

风几乎无时不有,无处不在,与水力权和日照权不同,目前尚无“风力权”一说。当然,空气是随机变化的流体,空气流动就形成了风,如何捕获风能并加以有效利用,是一个需要很好解决的课题。目前,对风的特性(风速、风向等)的准确预测还有一定困难,这就需要在日常的实践中不断积累经验。

由于兴趣所致,本人非常愿意做有价值、同时又有挑战性的课题。即使已经退休,也不愿整天无所事事。实际上,在原来的工作还没有辞掉的日子里,关于风力发电的课题曾经迟迟没有进展。尽管如此,我还是经常抽空儿一边学习有关知识,一边亲自动手,并完成了几种具有相当难度的发电机的制作。当然,从应用的角度来看,在当今的时代,利用化石燃料或者核燃料生产的电能已经非常便宜,搞小型风力发电在经济上并不划算。然而,小型风力发电仍然在很多场合得到了广泛应用,例如,在电网尚未到达的边远山区、海岛等作为照明、电视等生活用电源;发生灾害时,风力发电可以与太阳能发电一起构成互补供电系统,这是一种较为稳定的备用电源,等等。

目前,介绍风力发电理论的书籍有很多,但是,关于风力发电机组设计与制作实践的图书却非常少见。几年来本人亲手制作了从几十瓦到几百瓦的多种规格的小型风力发电机,积累了一些实践经验,本书就是这些设计与制作经验



位于三重县久居 青山高原的大型风车群

的归纳和总结。自己制作风力发电机时,需要使用一些特殊的材料、零部件以及加工工具、设备等,这些可以到专门的用品店购买。目前,本人所制作的风力发电机仍然在安全运行着,所发出的电能主要用于庭院和室内的照明。

自制一些常用物品是本人的一个爱好,最初是自己动手制作椅子、桌子等,后来常用金属加工一些简单的工具等物品。由于并不是生产产品,因此没有购买价格昂贵的金属加工机床,而只是购买了几种常用的价格便宜的加工设备,如普通钻床、小型皮带锯床、手电钻等。后来又购买了稍微高级一点的小型桌式车床。

仅仅依靠这些简单的工具就想制作风力发电机,现在回想起来的确有些鲁莽。当初,与机械室的朋友谈起风力发电机的制作问题时,被告知不要做蠢事,“连像样的机床都没有,仅凭个人能力就想制作出精密旋转的发电机,可能吗?”“还是就此罢手吧!”作为一名风能爱好者,想要自己制作风力发电机,的确是一种鲁莽的挑战,然而,这种挑战性反而激起了迎接挑战的欲望和激情,树立了与之长期战斗的决心。

从下定决心并开始工作以来,坚持努力了几年,制作了十台发电机,叶片更是多达几十个。有两台风力发电机竖立在离家不远的风力较强的田地边缘,已经安全运行了几年,当风速为 $6 \sim 7\text{m/s}$ 时,两台风力发电机合计发电为 $200 \sim 300\text{W}$ 。

在上述风力发电机制作过程中,在有关特殊材料的知识和选材方面,得到太阳电音(株)的岸柳二社长(现为会长)的大力帮助;在 FRP 叶片制作时,关于 FRP 成型技术方面,得到竹内化成(株)的宋宏明先生的悉心指导;在学术方面,受益于足利工业大学牛山泉教授的有关著作。对于以上各位对本书的贡献,谨致深深的谢意。

如果本书对有相同爱好的读者具有一定的参考价值,本人将感到十分荣幸。

2007 年 2 月 久保 大次郎

目 录

第 1 章 风力发电基础

1.1 风力发电机的类型与特点	1
1.1.1 螺旋桨型风车	1
1.1.2 荷兰型风车	3
1.1.3 多翼型风车	4
1.1.4 萨沃纽斯型风车	4
1.1.5 达里厄型风车	5
1.1.6 旋翼型风车	6
1.1.7 交叉流动型风车	6
1.2 螺旋桨型风力机的原理及基本术语	7
1.2.1 风力发电机的基本术语	8
1.2.2 螺旋桨型风力机的原理	14
1.3 风力机的功率	18
1.3.1 风轮功率	18
1.3.2 风力机的类型与功率系数	23
1.4 小型风力发电的应用领域及使用方法	24
1.4.1 获得所需电能的方法	24
1.4.2 风力发电与太阳能发电混合系统	26
1.4.3 小型风力发电的具体应用领域	27
1.4.4 小型风力发电机与燃料电池混合系统	28

第 2 章 风力发电用发电机

2.1 关于发电机	30
-----------------	----

2.1.1 能选用直流电动机作为发电机吗?	31
2.1.2 能选用自行车用发电机吗?	34
2.1.3 能选用汽车用发电机吗?	35
2.2 发电机的原理与结构	37
2.2.1 发电机的原理	37
2.2.2 永磁材料	38
2.2.3 磁路用电磁钢板	42
2.2.4 其他材料	43
2.3 发电机的发电特性	44
2.3.1 转速与发电特性	44
2.3.2 风速及风轮直径与转速和发电机输出功率的关系	45
2.4 初期制作的发电机	46
2.4.1 关于发电机结构形式的讨论	46
2.4.2 齿轮增速型发电机的制作	50
2.5 采用三相交流发电机的优越性	61
2.5.1 直流发电机	61
2.5.2 交流发电机	62
2.5.3 适用于风力发电的三相交流发电机	64
2.5.4 自制风力发电机时的注意事项	66

第3章 发电机的制作

3.1 制作时使用的主要工具、设备	68
3.1.1 木材和金属的切割	69
3.1.2 开 孔	70
3.1.3 切削、磨削加工	72
3.1.4 其他工具	74
3.2 500W 风力发电机(KG02)的制作	75
3.2.1 本机概要	75
3.2.2 制作顺序和要点	79

3.2.3	500W 风力发电机(KG02)的特性	85
3.2.4	附属机构的制作	87
3.2.5	试运行	90
3.3	700W 风力发电机(KG11)的制作	92
3.3.1	存在的问题及其解决方法	92
3.3.2	制作顺序及方法	94
3.3.3	700W 风力发电机的特性	98
3.3.4	附属机构的制作	100
3.3.5	试运行	103

第 4 章 风力机基础知识及设计方法

4.1	风力机基础知识	106
4.1.1	风力机概要	106
4.1.2	叶片的翼型	109
4.2	风轮叶片的设计	111
4.2.1	叶片的设计	111
4.2.2	1.6m 叶片的简易设计	117
4.3	设计时需要注意的几个问题	122
4.3.1	叶片的尖端速度	122
4.3.2	作用于风轮叶片上的离心力	122
4.3.3	叶片材料与结构	124
4.4	风力机的类型	125
4.4.1	装有扩(集)风器的风力发电机	125
4.4.2	装有防护罩的风力发电机	126
4.4.3	河豚型风力发电机	126
4.4.4	装有辅助翼的风力发电机	127
4.4.5	多风轮风力发电机	127

第 5 章 风力机的制作

5.1 木制叶片的优点	128
5.2 木制 2 叶片风力机的制作	129
5.2.1 叶片的规格	130
5.2.2 叶片原型的制作	130
5.2.3 翼型的加工	131
5.2.4 配件的制作及叶片装配	132
5.2.5 作用于叶片上的力	132
5.3 木制粘接型叶片的制作	133
5.3.1 利用巴尔沙木粘合制作	133
5.3.2 在具有扭转角的状态下粘接	133
5.3.3 轮毂部分的制作	134
5.3.4 叶片表面的强化对策	134
5.3.5 什么是 FRP	135
5.4 基于泡沫塑料和 FRP 的低速型风力机叶片制作	136
5.4.1 木制骨架的制作	136
5.4.2 泡沫塑料的切割	137
5.4.3 木制骨架与泡沫塑料的粘接	138
5.4.4 用 FRP 覆盖表面	139
5.4.5 叶片的精加工	140
5.4.6 轮毂的制作	140
5.4.7 完 成	142
5.5 基于泡沫塑料、巴尔沙木及 FRP 的高转速叶片制作	142
5.5.1 木制骨架的制作	142
5.5.2 叶片的切割与粘接	143
5.5.3 用 FRP 覆盖表面	143
5.5.4 叶片的精加工	144
5.5.5 对使用泡沫塑料叶片的考核	144
5.6 基于 FRP 成型技术的叶片制作	145

5.6.1 FRP 成型技术的特点	146
5.6.2 FRP 使用的材料和工具	147
5.6.3 叶片 FRP 成型工艺的流程	151
5.6.4 工艺 1——叶片原型的制作	152
5.6.5 工艺 2——清漆与氨基甲酸乙酯涂料的涂敷	153
5.6.6 工艺 3——雌型模的制作	155
5.6.7 工艺 4——叶片的成型	157
5.6.8 工艺 5~6——螺栓固定与离型	158
5.6.9 叶片与轮毂的安装	160

第 6 章 风力机的测试与评估

6.1 风力机特性的测试方法	163
6.2 测试结果及其评估	164
6.2.1 测试结果	164
6.2.2 功率系数	166
6.2.3 风速与输出电功率	167
6.2.4 发电机的最佳负载	168

第 7 章 蓄电池充电控制装置

7.1 风力发电的特性与蓄电池充电控制电路	170
7.1.1 蓄电池充电电路	170
7.1.2 获得最大输出功率的方法	171
7.1.3 基于 DC-DC 变换器的充电控制电路	174
7.2 300W 充电控制电路	178
7.2.1 基本电路与实用电路	178
7.2.2 关于开关电源控制器电路 TL494	180
7.2.3 电路的动作	181

7.3	700W 充电控制电路	186
7.3.1	推挽方式的中心抽头型 DC-DC 变换器电路	186
7.3.2	实际电路	186
7.3.3	充电控制器的实测特性	192
7.4	关于蓄电池	193
7.4.1	深度周期充放电型蓄电池	194
7.4.2	蓄电池的特性	196
7.4.3	使用注意事项	199
7.4.4	蓄电池的废弃	200
7.5	电气二重层电容器的应用	200
7.5.1	何谓电气二重层	200
7.5.2	电气二重层电容器的特点	200
7.5.3	在小型风力发电中的应用	202
7.6	安全对策电路	202
7.6.1	电磁制动电路及防止蓄电池过充电电路	202
7.6.2	蓄电池放电控制电路	206

第 8 章 风力发电机的安全对策及现场安装

8.1	强风时的安全对策	208
8.1.1	风轮上方偏转方式	209
8.1.2	风轮侧向偏转方式	210
8.1.3	变桨距控制和失速控制	211
8.1.4	叶尖距控制方式	213
8.1.5	基于发电机电磁制动的控制	214
8.1.6	受风面积可变方式	215
8.1.7	盘形制动方式及其他	216
8.1.8	尾翼的强风对策	217
8.2	风力发电机的安装及塔架制作	219
8.2.1	安装场所	219

8.2.2 关于风轮阻力	221
8.2.3 采用工程用铁管的简易塔架的制作与安装	223
8.2.4 正规塔架的制作与安装	224

第 9 章 风速仪与发电量记录仪的制作

9.1 风速与风速仪基础知识	228
9.1.1 风速仪的分类	228
9.1.2 风速分级、平均风速、瞬时风速	229
9.2 风速仪的制作	230
9.2.1 基于直流发电机的简易型风速仪	230
9.2.2 采用光传感器的螺旋桨型风速仪制作	231
9.3 自制风速仪的实测举例	238
9.3.1 台风实测例	238
9.3.2 季风实测例	240
9.4 关于风速·发电量记录仪	240
9.4.1 实测发电量与风速关系曲线的方法	240
9.4.2 自制的积算型风速仪和积算型电能仪	241
 参考文献	 245
后 记	247

风力发电基础

1.1 风力发电机的类型与特点

以风为动力而制成的风车历史久远,据说可以追溯到数千年以前。由风车产生的机械动力可用于提水、制粉等作业。然而,现在人们主要利用风车产生的动力来发电。将风能变换成电能后,其用途就不仅仅是提水、制粉等简单作业,还可更加灵活地用于很多种加工作业。

这种能够将风能变换成电能的风车称为“风力发电机”或“风力涡轮发电机”。

风车有很多种类型。根据风轮形式的不同,可以分为螺旋桨型、荷兰风车型、多翼型、达里厄(Darius)型、萨沃纽斯型等。

根据风车的旋转轴与水平面相对位置的不同,可分为水平轴型和垂直轴型。风车的旋转轴水平放置时为水平轴型;垂直放置时则为垂直轴型。

垂直轴型风车的一个重要特点在于其不需要用来跟踪风向的控制机构。

1.1.1 螺旋桨型风车

在风力发电中,应用最普遍的是如图 1.1 和图 1.2 所示的螺旋桨型风力发电机。由于螺旋桨型风力发电机的风轮旋转轴置于水平位置,因此,也称其为水平轴型风力发电机。螺旋桨型风力发电机的风轮叶片的形状与飞机机翼的形状相同,可以高速旋转。

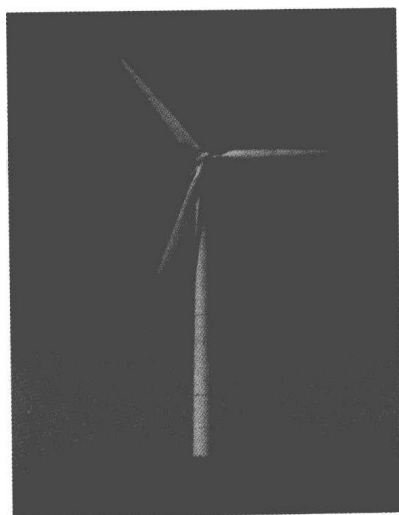


图 1.1 螺旋桨型风力发电机实例(神奈川县三浦岬)

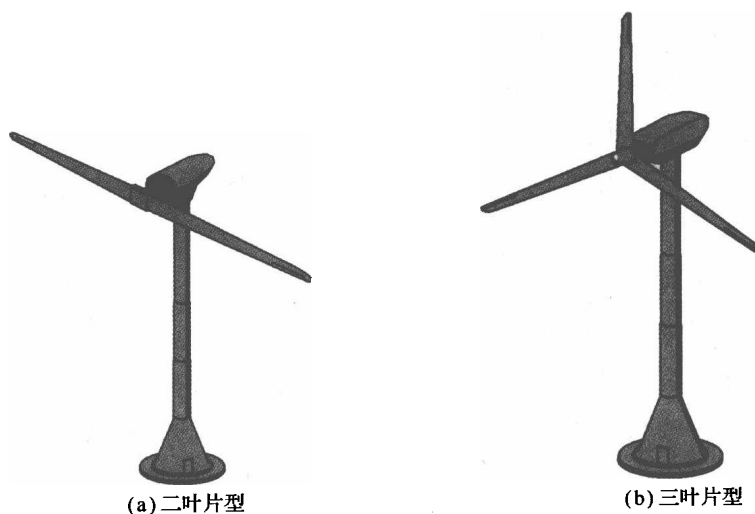


图 1.2 螺旋桨型风力发电机

根据流体力学可知,风车的叶片数较少时,可以获得较高的转速。在高速风力发电机中,有单叶片风力机和双叶片风力机,然而,性能更为优越的三叶片风力机的应用最为广泛。如果与转速相比,更需要获得较大转矩的话,则可以采用 5~6 个叶片的风力机。

螺旋桨型风力发电机在高速旋转时具有优良的特性,但噪声较大。同时,由于起动后效率损耗的影响,使机组的切入风速较高($3\sim 4\text{m/s}$)。

在风力发电中,螺旋桨型风力发电机的应用最为普遍,从小型机组到大型机组,应用得十分广泛。最近,已经出现了风轮直径达 70m 以上的超大型螺旋桨型风力发电机组。为了适应当今时代的需求,风力发电机组正在向大型化方向发展,与此同时,山上风力发电和海洋风力发电近年来也得到了快速发展。

1.1.2 荷兰型风车

作为一种著名的风车,人们马上可以举出耳熟能详的荷兰风车,图 1.3 示出了这种荷兰型风车的两个实例照片。

中世纪以来,有这样一种田园风光:在幽静的田园小屋上面,一台有 $4\sim 6$ 个叶片的风车在随风旋转,利用风车所产生的力来驱动设置在小房子内部的扬水泵,或者用于脱谷、制粉处理等。风轮叶片的骨架为木制,像带格子的日式拉门一样,把布固定在格子上,风吹拂风轮叶片而产生旋转动力。在当时,如果风向随着季节的不同而发生变化,则依靠人力将风车调节至来风的方向。显然,如果风力太大时,很可能将叶片上的布刮坏或刮飞。在历史上,这种古老的风车曾经长期实际应用于生产和生活中,现在则主要供观光旅游者欣赏。

一般说来,如果风车的转速较慢,则其转矩较大。在电气时代到来之前,风车将所捕获的风能转换成机械能而直接加以利用。

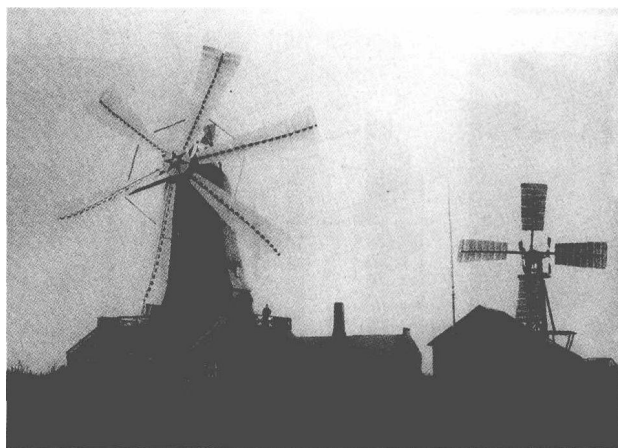


图 1.3 荷兰型风车实例