

中国科学院新世纪〈科学丛书〉 主编 何远光

太阳的儿子 —— 风

沈德昌 著

★ 风——太阳的“儿子”
★ 我国的风力资源在哪儿
★ 风的各兄弟，力气有多大
★ 乘风破浪走远洋



1

— 内蒙古大学出版社 —

责任编辑: 秦晓霞

封面设计: 徐敬东

图书在版编目(CIP)数据

太阳的儿子: 风 / 沈德昌著. —呼和浩特:

内蒙古大学出版社, 2000.5

(新世纪〈科学丛书〉) / 何远光主编)

ISBN 7-81074-022-9

I. 太… II. 沈… III. 风 — 普及读物

IV. P425-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 25092 号

顾问

王大珩 院士

王佛松 院士

张广学 院士

王绶琯 院士

郭慕孙 院士

严陆光 院士

编委

关定华 研究员

胡亚东 研究员

陈树楷 教授

周家斌 研究员

刘金 高级工程师

何远光 高级工程师

史耀远 研究员

太阳的儿子: 风

沈德昌 著

内蒙古大学出版社出版发行

内蒙古瑞德教育印务股份

有限公司呼和浩特市分公司印刷

内蒙古新华书店经销

开本: 850 × 1168 / 32 印张: 0.5 字数: 12 千

2000 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

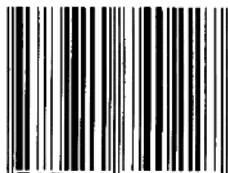
印数: 1-11000 册

ISBN 7-81074-022-9 / N · 1

本书编号: 1 - 24

全套 50 册 定价: 50.00 元 (分册 1 元)

ISBN 7-81074-022-9



9 787810 740227 >



目 录

沈德昌, 1947 年生, 中国农业机械化科学研究院高级工程师。1984~1999 年主要从事风能利用方面的科学研究, 负责完成了国家六五、七五、八五风力提水机组攻关课题。现任中国风力提水工作网负责人、中国太阳能学会理事、中国农机工业协会风力机械分会副秘书长、国家科技部九五风能攻关项目专题负责人。

主要著作有《风力机理论与设计》(合著)、《中国农村的风力提水》、《风力机——螺旋泵提水机组研究》等。

崇尚科学(序) (1)

风——太阳的“儿子” (2)

我国的风力资源在哪儿 (4)

风的各兄弟, 力气有多大 (6)

乘风破浪走远洋 (8)

风车转, 把田灌 (9)

它给草原带来了光明 (13)

建设风电场, 前景更辉煌

..... (14)

崇尚科学

——寄语青少年

江总书记在党的十五大报告中号召我们“努力提高科技水平，普及科技知识，引导人们树立科学精神，掌握科学方法”。面向 21 世纪，我们要实现科教兴国的战略目标，就是要大力普及科技知识，提高国人的科学文化素质。特别是对广大的青少年，他们正处于宇宙观、世界观、人生观、价值观的形成时期，对他们进行学科学、爱科学、尊重科学的教育，进而树立一种科学的思想和科学精神，学习科学方法对他们的一生将产生重大的影响，同时也是教育和科学工作者的重要任务之一。

由中国科学院和内蒙古大学出版社共同编纂出版的“科学丛书”就是基于上述思想而开发的一项旨在提高青少年科学文化素质，促进素质教育的科普工程。该“丛书”具有以下三大特色。

买得起：丛书每辑 50 册，每册一元。

读得懂：每册以小专题的形式，用浅显的表达方式，通俗易懂的语言，讲述各种创造发明成果的历程，剖析自然现象，揭示自然科学的奥秘，探索科技发展的未来。

读得完：每册字数万余字，配以相应的插图，一般不难读完。

我们的目的就是要通过科普知识的宣传，使广大青少年在获得科技知识、拓展知识面、提高综合素质的同时，能够逐步树立起科学的思想和科学的精神，掌握科学方法，成为迎接新世纪的优秀人才。

最后，真诚地祝愿你们——

读科学丛书，创优秀成绩，树科学精神，做创新人才。

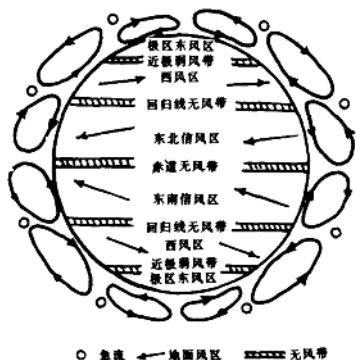
中国科学院 卢佩群

风——太阳的“儿子”

风调雨顺、风和日丽、狂风暴雨、微风荡漾，人们常常谈论风。那么，风是怎样产生的呢？从宏观上讲，风是由太阳的热辐射引起的与地面大致平行的空气流动。太阳对地球表面不均衡地加热，造成了地球大气层中温度和压力的差别。当太阳加热地球一面的空气、水面和陆地时，地球的另一面则通过向宇宙空间辐射热量而冷却。地球每天不停地转动，整个表面轮流经历这种加热和散热的周期变化。由于地球轴线相对于太阳的倾斜角度有季节性的变化，造成了地球表面加热量日常分布的季节性变化。

在赤道附近，地球所吸收的太阳能要比两极附近多得多。较轻的热空气在赤道附近上升，并向两极流动，而较重的冷空气则从两极移向赤道进行补充。在北半球，地球自西向东的自转使向北流动的空气折向东，使向南流动的空气折向西。当向北流动的空气到达北纬 30° 时，它几乎已经折向正东了。因为这种风是从西边吹来的，故称之为“盛行西风”。空气倾向于在北纬 30° 偏北一点的位置上积累起来，造成了这一地区的高压带和温和的气候。一些空气从这个高压地区向南流动，并由于地球的自转而偏折向西，形成了全世界海员所称的那种“信风”。类似的效应导致了在纬度高于 50° 地区的“极区东风”。

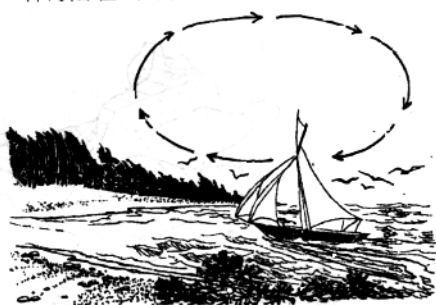
同样的道理，在赤道以南，地球的自转使向南流动的空气折向东，而将向北流动的空气折向西，所以在南半球也有盛行西风、信风和极区东风。全球性的气流模式如图所示。



全球性气流模式

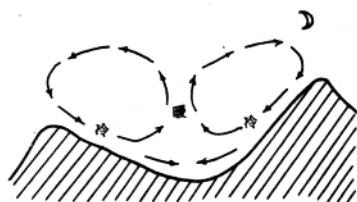
在大陆和海洋之间,由于陆地的比热小于海洋,大陆和海洋在一年里增热与冷却的速度不同,于是会产生风向随季节有规律变化的季风。冬季大陆冷却快,温度比海洋上低,使大陆上的气压比海洋上的高,迫使空气从大陆流向海洋;夏季大陆增热比海洋快,温度比海洋高,使海洋上的气压高于大陆,于是空气便从海洋流向大陆。这样,风向就随冬夏季节的交替而发生了相反的变换。我国东部和南部广大地区正好处在大陆和海洋高低气压中心之间的过渡地带,为冬夏季风必经。冬季盛吹偏北风,夏季盛吹偏南风。所以,我国也是世界上著名的季风国家。

同样,在沿海地区还有一种海陆轻风。由于白天陆地上的气温比海洋上的气温上升得更快,结果陆地上较热的空气膨胀上升,海面上较冷的空气便流向陆地来补充上升的热空气。人们把这种吹向陆地的气流叫做“海风”。相反,在夜间的时候,风是从陆地流向海洋的,称之为“陆风”。在中纬度地区,海风可以从海岸线深入内陆 50 多公里,而在热带地区则可深入内陆 200 公里以外。



(a) 白天风从海洋吹向陆地

海风



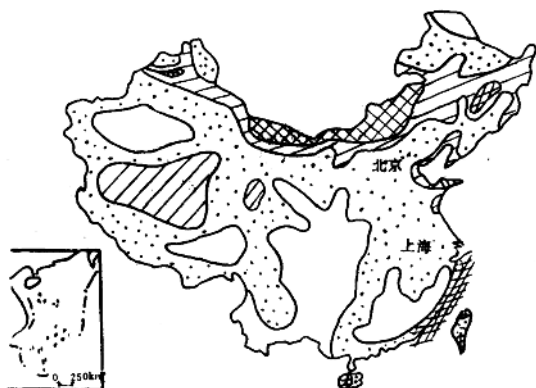
山风

在多山地区也会出现地方性风。在白天,由于山顶比山谷热得早,山顶上的空气就变轻上升,而山谷里的冷空气则沿着山坡流向山顶以补充上升的热空气,于是就形成了从山谷吹向山顶的“谷风”。在夜间则发生相反的过程,形成从山顶吹向山谷的“山风”。

我国的风力资源在哪儿

地球上近地层每年的风能总量约为 1.3×10^{15} 瓦, 可利用的风能量至少为 10^{12} 瓦, 约为地球上可利用水能总量的 10 倍。我国的年风能储量为 32.26 亿千瓦(千瓦), 其中实际可开发量为 2.53 亿千瓦(千瓦)。

由于我国地形复杂, 风能的地区性差异很大, 即使在同一地区也有较大的不同。从风能利用的角度分析, 我国大致可分为四种风区, 如图所示。



中国风能区域的大致划分

风能区域及其标志	丰富区	较丰富区	可利用区	贫乏区
风速大于 3 米/秒的小时数(小时/年)	大于 5000	4000~5000	2000~4000	小于 2000
风速大于 6 米/秒的小时数(小时/年)	大于 2200	1500~2200	500~1500	小于 500
风能密度(瓦/平方米)	大于 200	150~200	50~150	小于 50

一、风能丰富区。本区风能密度大于 200 瓦/平方米, 3~20 米/秒风速的年累积小时数大于 5000 小时。主要集中在以下三个地区:

1. 东南沿海、山东和辽东半岛沿海及其岛屿。这一区域濒临海洋, 风速较高。风力等值线与海岸线平行, 风能密度是全国最高的。其中, 东南沿海、台湾以及黄海、东海诸岛秋季风能最大, 冬季次之; 山东和辽东半岛春季风能最大, 冬季次之。2. 内蒙古和甘肃北部。该区是内陆连成一片的最好的风能区域。本区冬季风能最大, 春季次之, 夏季最小。3. 松花江下游地区。

二、风能较丰富区。该区的有效风能密度为 150~200 瓦/平方米, 3~20 米/秒风速的年累积小时数为 4000~5000 小时。主要集中在三个地区, 其中有两个地区是风能丰富区向内陆的延伸。

1. 沿海岸区, 包括从汕头海岸向北沿东南沿海的 20~50 公里地带到东海和渤海沿岸。2. 东北、华北和东北的北部地区, 包括从吉林图门江口向西, 沿燕山山麓再经河西走廊, 过天山到艾比湖南岸, 横穿我国三北北部的广大地区。该区除天山以北地区夏季风能最大, 春季次之外, 都是春季风能最大。此外, 东北平原的秋季、内蒙古的冬季、河西走廊的夏季风能最大。3. 青藏高原中部北部地区。该区风能密度在 150 瓦/平方米以上, 3~20 米/秒风速出现的小时数与东南沿海相当, 可达 5000 小时以上。但该地区海拔较高, 因而空气密度较小。因此, 在青藏高原利用风能时, 必须考虑空气密度的影响。该区春季风能最大, 夏季次之。

三、风能可利用区。该区有效风能密度为 50~150 瓦/平方米, 3~20 米/秒风速年累积时数为 2000~4000 小时, 分布在以下三个地区:

1. 两广沿海, 包括福建海岸 50~100 公里的地带。风能季节分配是冬季风能最大, 秋季次之。2. 大、小兴安岭山地。该区有效风能和累积时数由北向南逐步增加。春季风能最大, 秋季次之。3. 三北中部、黄河和长江中下游以及川西和云南的部分地区。东从长白山开始, 向西穿越华北, 经西北到新疆最西端。北从华北开始穿长江过黄河, 到南岭北侧和从甘肃到云南的北部。这一大区连成一片, 约占全国面积的一半。该区冬、春季风能较大, 夏、秋季风能较小。又可称为季节风能利用区。

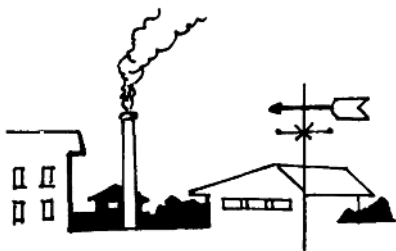
四、风能欠缺区。该区有效风能密度在 50 瓦/平方米以下, 3~20 米/秒风速的年累积小时数为 2000 小时以下。集中分布在基本上四面为高山所环抱的三个地区, 即四川盆地、雅鲁藏布江河谷、塔里木盆地西部。由于这些地区四周的高山阻碍了冷暖空气的入侵, 所以当地风速都比较低, 除个别地区外, 基本上无风能利用价值。

上述四区的划分适用于总的平均趋势, 并不能代表各区中具体地形的风能潜力, 例如新疆的达板城和哈密西部的百里风区都属于风能较丰富区, 但该地区 3~20 米/秒风速年累积时数可达 6000 小时以上, 风能潜力十分丰富, 是开展风能利用最好的地区之一。

风的各兄弟, 力气有多大

我们在收听天气预报时, 常会听到这样的报道: 今天白天风向北转南, 风力 2 到 3 级。这里的“级”谁都知道是表示风力大小的, 而风力的大小则是用风速来衡量的。风速就是风的水平流动速度。相邻两地间的气压(温度)差越大, 空气流动速度越快, 风的力量也就越大。风速的单位用每秒多少米或每小时多少公里来表示。风速范围与风力等级有一定的对应关系, 发布天气预报时, 一般采用风力等级。

国际通用的风力等级是由英国人弗朗西斯·蒲福爵士制订的, 他把风力分成 17 个等级。实际上超过 12 级飓风以上的风在陆地上是绝少出现的, 因此根据人们在海洋和陆地所能观察到的现象, 我们通常谈到的风力只有 12 级。也就是说, 在风的家族里, 按力气大小



软 风

分为软风、轻风、微风、和风、清风、强风、疾风、大风、烈风、狂风、暴风、飓风 12 个等级, 如下表所示。一般来说, 一、二级风没有多少利用价值; 三级风到八级风是风力机械可以安全工作的风力范围; 九级风以上, 风

力机械必须停机,进行自我保护。



大 风

狂 风

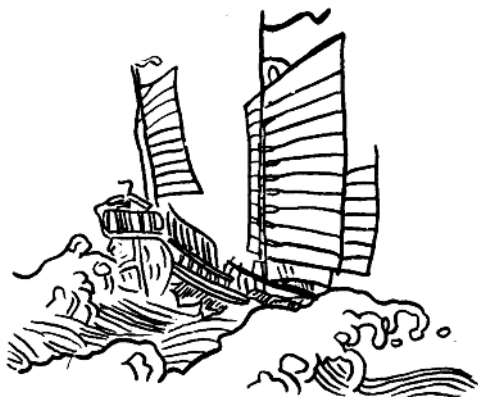
风力等级表

风力等级	风的名 称	海面状况		海岸船只 征 象	陆地地面物 征 象	相 当 风 速		
		浪 一 般(米)	高 最 高(米)			公里/时	海里/时	米/秒
0	无风	—	—	静。	静,烟直上。	小于1	小于1	0~0.2
1	软风	0.1	0.1	寻常渔船略觉 摇动。	烟能表示风向,但 风向标不能转动。	1~5	1~3	0.3~1.5
2	轻风	0.2	0.3	渔船张帆时可 随风移行每小 时2~3公里。	人面感觉有风,树 叶有微响,风向标 能转动。	6~11	4~6	1.6~3.3
3	微风	0.6	1.0	渔船渐觉簸 动,随风移行 每小时5~6 公里。	树叶及微枝摇动 不息,旌旗展开。	12~19	7~10	3.4~5.4
4	和风	1.0	1.5	渔船满帆时倾 于一方。	能吹起地面灰尘 和纸张,树的小枝 摇动。	20~28	11~16	5.5~7.9
5	清风	2.0	2.5	渔船缩帆(即 收去帆之一部 分)。	有叶的小枝摇摆, 内陆的水面有小 波。	29~38	17~21	8.0~10.7
6	强风	3.0	4.0	渔船加倍缩 帆,捕鱼须注 意风险。	大树枝摇动,电线 呼呼有声,举伞困 难。	39~49	22~27	10.8~13.8

风力等级	风的名 称	海面状况		海岸船只 征 象	陆地地面物 征 象	相 当 风 速		
		浪 高 一般(米)	浪 高 最高(米)			公里/时	海里/时	米/秒
7	疾风	4.0	5.5	渔船停泊港中,在海者下锚。	全树动摇,迎风步行感觉不便。	50~61	28~33	13.9~17.1
8	大风	5.5	7.5	近港的渔船皆停留不出。	微枝折毁,人向前行,感觉阻力甚大。	62~74	34~40	17.2~20.7
9	烈风	7.0	10.0	汽船航行困难。	建筑物有小损坏(烟囱顶部及屋顶瓦片移动)。	75~88	41~47	20.8~24.4
10	狂风	9.0	12.5	汽船航行颇危险。	陆上少见,见时可使树木拔起或将建筑物损坏较重。	89~102	48~55	24.5~28.4
11	暴风	11.5	16.0	汽船遇之极危险。	陆上很少,有则必有重大损毁。	103~117	56~63	28.5~32.6
12	飓风	14.0	—	海浪滔天。	陆上绝少,其摧毁力极大。	118~138	64~71	32.7~36.9

乘风破浪走远洋

从远古以来,人类就把风当作能源使用。早在公元前 3000 多年前,埃及和巴比伦等文明古国就已发明了风帆船。帆的发明,使风力代替了部分人力。帆船的应用是古代人民把风当作能源使用的最初形式。早在 2000 多年前的秦汉时期,我国利用风力驱动的帆船就已经在江河上航行了。到明朝时,我国风帆助航技术达到鼎盛时期。



风是怎样推动

帆船在水面上前进的呢？

当风从船尾向船头方向吹来时，这叫顺风。此时只要在船上把帆张开，使帆面与风向垂直，风就会推着船前进。如果风从船的侧面吹来，这叫横风。此时只要让帆面偏转一些，使它与风向不成直角就可以了。这样，当风力作用到帆面上时就会分解成两个方向的力：一个是推动船沿航向前进的推力，另一个是使船产生横移的飘移力。驶帆技术高的船工能及时把帆面与风向调节成最佳的角度，同时配合上舵的导向作用，可使推力变为最大，漂移力变为最小。这种横向受风的行驶方法，古代叫做“抢风”。如果风从船头方向吹来，这叫顶头风。在迎风的航向上，将帆偏转使之与风向成一定角度，抢风行驶一段时间之后，将船转到另一舷侧受风，再抢风行驶大致相同的时间后，重又转到原来的舷侧受风并抢风行驶。这样两侧交替更换，使船做“之”字形曲折前进。

为了便于看风使舵，常在桅杆顶上升起一面带状小旗，叫做“定风旗”。舵工根据定风旗所指示的风向来调整帆与舵的角度，使船能以尽可能快的速度前进。

在我国东部沿海，冬季多吹偏北风，出海的船队扬帆南下是一路顺风，可以一直驶过南海进入印度洋。而在夏季则多吹偏南风，从南洋回航的船队又是顺风，可以一帆风顺地回到出发港。“北风航海南风回”，自古以来，我国东南沿海远航外洋的船舶，都是北风出海，南风回航。我国著名航海家郑和曾率领 2.7 万多人，乘坐 62 艘船，利用风帆助航，七次下西洋，为世界航海史写下了光辉的一页。

风车转，把田灌

你看，在那蓝天白云之下，微风习习，风力提水机的风轮欢快地转动着，驱动水车源源不断地把水从河渠里提到田间，滋润着地里的庄稼。这是苏北典型的乡村风景画。

我国采用风车提水的历史约有 1700 多年。几个世纪以来，在中国使用最广泛的是斜杆式传统风车。在 20 世纪 50 年代，这类传统风车在江苏、浙江和福建沿海地区非常盛行，农民用它们灌田或排水，盐场工

人用它们提盐水晒盐。后来,由于我国电力和石油工业的发展,多数传统风车在 60 年代逐步被电泵和柴油机水泵所替代。尽管如此,在东南沿海地区仍有上千台斜杆式提水风车被用户保留下来,用于制盐和农田灌溉等提水作业。70 年代以来,由于工农业迅速发展,常规能源供应不足,风力提水重新得到重视。到 90 年代,我国已研制成功十多种现代风力提水机,形成了高扬程小流量风力提水机组和低扬程大流量风力提水机组两大系列。前者主要用于为北方农、牧区提供人畜饮用水或小面积草场、农田灌溉;后者主要适用于东南沿海地区的农田灌溉、盐场制盐、水产养殖等提水作业。

图 1 所示是一种适用于草原牧区的高扬程小流量风力提水机,它的主要结构和工作原理如下:

1. 风力机部分,由风轮、机头、尾翼、塔架和刹车机构等部件组成。

风轮是把风能转化为机械能的动力部件,它由叶片、轮毂、轮臂、内外支撑圈、叶片托板等零件构成。其叶片数一般为 10 到 24 片。风轮直径是标志风力机大小的主要参数,风轮发出的功率由风轮轴传递给机头传动箱。

机头也叫传动箱,它包括箱体、风轮轴、减速齿轮、曲柄连杆机构等零部件,其功能是把风轮的水平旋转运动变为拉杆的垂直往复运动。由于风力机拉杆与活塞泵的泵杆相连,所以拉杆的上下运动就可以带动活塞泵进行提水作业。机头座与塔架的回转轴之间安装了滚动轴承,可使装在机头上的风

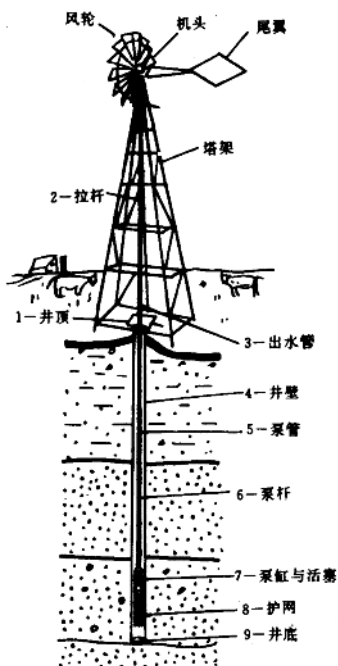


图 1

轮在风向变化状态下也能随时保持迎风。

尾翼是风力机的调向、调速部件,它通过倾斜的销轴和尾翼杆与机头上的倾斜销孔铰接在一起。当风速小于额定风速时,尾翼在任何风向下都与风轮旋转面保持垂直,使风轮正向迎风。当风速大于额定风速时,在侧翼或风轮轴偏心距的作用下,风轮旋转面会偏离风向某一角度。这时,风力机处于调速状态,风越大,偏离的角度也越大。在八级大风下,风轮旋转面会与尾翼面平行并拢,使风轮完全偏离风向。这时,风力机处于停机状态。

塔架是风力机的腿和臂。它支撑着风力机的主要部件,使风轮高出周围的障碍物而处于风况较好的位置。塔架顶部装有回转体组件,可允许机头上的部件绕塔架垂直中心线自由回转。塔架通常采用三棱体或四棱体桁架结构,一般由角钢材料制成。

刹车机构可使风轮旋转面与尾翼面很快并拢到平行位置,实现风力机紧急停车。当松开刹车时,风轮会自动回到迎风位置,风力机恢复正常工作。

2. 配套水泵部分,主要由护网、进水接头、上活塞、下活塞、泵缸、泵管和泵杆等组成。护网在泵的最底部,它可防止水中的悬浮杂物进入泵缸内,减少上活塞与泵缸之间的磨损,延长泵的使用寿命。

进水管是泵缸与护网之间的连接件。

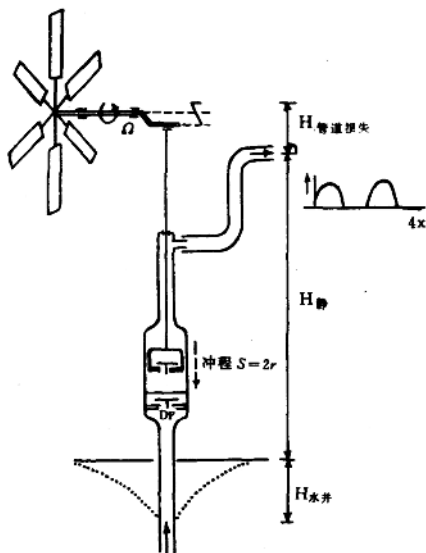


图 2

下活塞由阀座、阀门、皮碗和活塞等零件组成,它与进水接头连接配合,起底阀的作用,固定在泵缸的底部。

上活塞的组成与下活塞类似,它与泵杆连接,在风力机拉杆的驱动下在泵缸里上下移动,它与泵缸是水泵的主要工作部件。

这种风力提水机的工作原理如图2所示:当风轮在风力的吹动下旋转起来后,动力经过传动机构带动风力机拉杆向上运动,与拉杆相连的泵杆和上活塞也随之向上移动。此时上活塞的阀门被关闭,上、下活塞之间形成具有一定真空度的空腔。由于压力差的作用,下活塞的阀门被打开,水经护网从进水管进入空腔。风轮继续转动,驱动风力机拉杆向下运动,泵杆和上活塞也随之向下移动,上下活塞之间的空腔容积减少。这时在水的压力下,下活塞的阀门被关闭,上活塞的阀门被打开,空腔里的水就通过上活塞的阀门进入泵管。如此循环下去,泵管里的水越积越多,然后充满泵管并从泵管出口流入蓄水池供人们使用。

图3所示是我国东南沿海地区使用的一种低扬程大流量风力提水机组。这种风力提水机组的工作原理是:当风轮在风的吹动下旋转起来后,它所产生的动力由传动系统传递给水泵的驱动轴带动水泵旋转,当水泵的转速增加到某一数值后,就把水从河流或渠道中源源不断地提升到农田里、盐池中或养殖塘供农民使用。

目前我国已基本形成南方型低扬程大流量风力提水机组和北方型高扬程小流量风力提水机组两大系列,约



图3

有十几种产品型号。适用于农田排灌、盐场提水、水产养殖与滩涂改造

用的低扬程大流量风力提水机已经在东南沿海地区投入使用。同时,适用于北方农牧区的高扬程小流量风力提水机也已开发成熟,在内蒙古、甘肃、青海、河北等省区为提供人畜饮水、进行小面积农田灌溉发挥了作用。到1998年底,中国风力提水机保有量为1800台左右。

今后我国对风力提水机的需求仍将继续缓慢增加,到2010年全国风力提水机保有量可从现在的1800台发展到6000台。

它给草原带来了光明

人类进入20世纪以来,对风能又有了新的发现。早在20世纪30年代,丹麦、瑞典、苏联和美国就已经研制出一系列小型风力发电机。当时,这些小型风力发电机的功率一般在5千瓦以内,曾广泛地应用于沿海岛屿和偏远的农牧地区,为发展当地的经济,提高人民生活水平发挥了较大的作用。

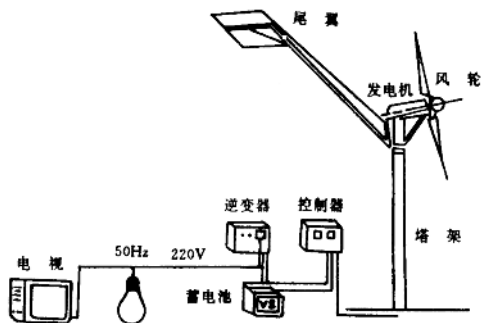
中国从80年代初把风力发电作为农村电气化的措施,主要研制、开发和示范应用小型充电用风电机,供农牧民和渔民一家一户使用。经过近20年的发展,5千瓦以下的机组技术已经成熟,具备了年产万台的能力。到1998年底,我国小型风力机拥有量达到16万台,居世界首位。在电网不能通达的偏远地区,约60万居民利用风能实现电气化,电灯和电视进入农家牧户,生活质量明显提高。我国在风力发电应用方面取得成绩最大的当数内蒙古自治区。

在内蒙古广阔的草原牧区,地域辽阔,农牧民居住分散,电网覆盖率很低。在那里架设电网,耗资巨大,很难实现。在相当长的一段时间里,当地大多数农牧民晚间只好靠煤油灯和蜡烛照明,夜里的草原一片暗淡。

从80年代初到现在,我国科技工作者已先后研制成功了额定功率为50瓦、100瓦、150瓦、200瓦、300瓦、500瓦、750瓦、1千瓦、2千瓦、3千瓦和5千瓦等十多种小型风力发电机,在内蒙古自治区政府的支持下,逐步在草原牧区推广应用。农牧民高兴地说,风力发电机给草原带来了光明和欢乐,也给我们带来了党和政府的亲切关怀。现在农牧民

可以用风力机发出的电进行照明；小朋友们可以在电灯下读书、做作业；大家可以坐在家里看电视、听广播，享受丰富多彩的文化生活。可以说，是风力机给草原带来了现代文明，极大地提高了农牧民的物质生活和精神生活水平。小型风力发电机从内蒙古草原牧区发展起来了，推广应用取得了丰硕的成果。到1999年上半年，内蒙古自治区小型风力机累积安装量已超过12万台，约占全国小型风力机总数的75%。

如图所示，小型风力发电机一般由风轮、发电机、尾翼、塔杆、控制器、蓄电池和逆变器组成，小型风力机的风轮一般由两个叶片或三个叶片组成。从材料上看，有木质叶片、玻璃钢叶片、尼龙叶片，也有以镀锌铁皮做外皮，内装骨架焊接成型的叶片。这种风轮的风能利用系数一般在40%以上。这种



风力机可以带动电视、收音机、收录机和照明灯泡等家用电器，大一点的风力机还可以带动洗衣机、剪羊毛机等，给农牧民的日常生活带来了许多方便。

建设风电场，前景更辉煌

在风能利用方面，中国将继续提高小型风力发电机、风力提水机的质量和可靠性，为广大农牧渔民提供生活、生产动力；同时将集中力量重点开发600千瓦以上的大型风力机组，加强国产化进程；巩固和扩大风电场建设。大型风力机由风轮、增速箱、发电机、尾翼、塔架和计算机控制系统组成，它是作为常规电网的电源，投入并网运行的。目前，商业化的机组单机容量为150~1650千瓦，既可以单独并网，也可以由多台，甚至成百上千台组成风力发电场(windpower plant，简称风电场)。