

中国电机工程学会 编

风力发电知识 读本



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

中国电机工程学会 编

风力发电知识 读本



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为一本面向大众读者的科普读物,主要讲述了风及风能的基本知识、风力发电的发展及现状、风力发电机组技术及关键设备、双馈风力发电机组和直驱风力发电机组技术、风电场选址、风电并网及海上风电的有关内容。

本书在写法上删繁就简,规避了繁琐的理论性内容,采用浅显的语言,将风力发电的关键知识点呈现给读者,使读者对风电这种“绿色”可再生能源发电模式有一个全面的了解,以达到向读者普及风力发电知识的目的。

图书在版编目(CIP)数据

风力发电知识读本 / 中国电机工程学会编. —北京:
中国电力出版社, 2012.11
ISBN 978-7-5123-3698-8

I. ①风… II. ①中… III. ①风力发电 IV. ①TM614

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第260422号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京盛通印刷股份有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012年12月第一版 2012年12月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 3.75印张 60千字

印数 0001—3000册 定价 18.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

《风力发电知识读本》

编写组

组 长 黄其励

副组长 肖 兰 钟鲁文 周 纓 张大同

编写成员 (按姓氏拼音排序)

郭 靖 胡湘燕 宋红梅 伍晶晶

肖 兰 张 超 周 纓

责任编辑 宋红梅

鸣谢

国电联合动力技术有限责任公司

内蒙古电力公司培训中心

中国大唐集团新能源股份有限公司





序

地球已经有46亿岁了，她需要的能源来自与地球平均距离为1.5亿千米之外、表面温度约5500℃的太阳。光，从太阳到地球大约需要8分19秒。太阳光中的能量支持着地球上所有生物的生长，也影响着地球上的气候。地球自西向东自转，同时围绕太阳以椭圆形轨道公转。地球自转与公转运动的结合产生了地球上的昼夜交替和四季变化。由于地球上各纬度所接受的太阳辐射强度不同，加之地球自转形成的地转偏心力，形成了大气环流。受温度、海洋、地形的综合影响，在不同地区产生了不同的气流运动——风。

不必说文人墨客笔下“春风又绿江南岸”、“柳絮池塘淡淡风”所呈现的充满诗情画意的风，单只讲为人类传递信息的风筝、提供动力的风车和风帆，都是人类有效利用风的杰作。人们还认识到风能也是一种可再生能源，只要太阳、地球还在，风能就不会枯竭。相对于传统化石能源而言，风能还是一种清洁能源，风能的利用不会造成空气污染。大力发展风能等可再生能源，已成为人们的共识。

大规模利用风能的最好途径就是通过风力发电机组把风能转变成电能，后者既可以就地方便消纳，又可以远距离传输、大规模利用。

2006年，中国风电装机仅为260万千瓦。到2012年6月，中国并网风电已达到5258万千瓦，超过美国，跃居世界第一。

回顾几年来走过的历程，我们可以深情地说，中国风电确实取得了骄人的成绩！根据国家规划，到2015年，累计并网风电装机将超过1亿千瓦，2020年累计并网风电装机将超过2亿千瓦。我们期待这一天早日到来，为此也需要做出更大的努力！在我们正在努力改变能源利用结构，确保经济社会低碳、清洁、可持续发展的今天，让每个人都了解风力发电知识，懂得如何高效、安全、方便地利用风能，是很重要的任务。

中国电机工程学会组织编写了《风力发电知识读本》和《风吹电来》两本科普图书，一本侧重以通俗的文字来讲述风电的知识；一本侧重以图文并茂的形式来生动展示风电的魅力。我相信不管您是一位热心于环保的普通读者，还是一位对新知识充满好奇的小朋友，只要读了它，都能有所获益。

黄其励

2012年9月2日



目 录



序

1 风和风能 1

1.1 风	2
1.1.1 风的形成	2
1.1.2 风的分类	3
1.2 风能及其利用	8
1.2.1 风能的特点	8
1.2.2 风能利用的历史和主要方式	9
1.2.3 我国的风能分布	12

2 风力发电 14

2.1 洁净的能源	15
2.1.1 “绿色”风电	15
2.1.2 风电发展现状	15
2.1.3 风力发电机组的演变过程	17
2.2 风力发电基本原理	18

3 风力发电机组 19

3.1 风力发电机组的主要组成	20
3.2 风力发电机组的结构形式	22
3.3 风力发电机组的关键设备	24
3.3.1 桨叶	24
3.3.2 风力发电机组机舱内的设备	28
3.3.3 塔架	30

4 风力发电技术 32

4.1 双馈风力发电机组技术	33
4.2 直驱风力发电机组技术	35
4.3 风电储存技术	37
4.4 中国的小型风力发电机组技术	38

5 风力发电场 39

5.1 风电场	40
5.2 风电场选址	41
5.2.1 选址的综合因素	41
5.2.2 选址的技术要求	43
5.3 风电并网	46
5.3.1 风电并网方式	46
5.3.2 风电对电网的影响	47
5.4 海上风电	49



1

风和风能



风是人们接触最多，却也是最不在意的一种大气中的自然现象。自古以来，人们赋予了风各种各样的猜想，于是风成了各路神仙，还有了千奇百怪的名字。在科学地揭示了风的成因之后，人们发现风是一种非常好的能源，并开始尝试着将风能转化为电能使用。

1.1.1 风的形成

风是我们最熟悉的一种自然现象。我们的生活空间中充满了空气，正如鱼儿生活的地方充满了水。水和空气都是“流体”，水有流动，形成水流；空气也有流动，便形成了风。我们感知的风是什么样子的呢？骑车上学途中，我们有时顶风而行，有时顺风而驰；若遇到楼宇间风口吹出强烈的疾风，则感觉仿佛有一只巨手想把人和车推倒。这便是我们感知到的、蕴藏着巨大能量的风。

风的能量从何而来呢？它主要来自于太阳能，太阳的辐射给地球上的空气加热时，地球大气受热并不均匀，温度高的地方空气上升，于是在地表形成了低压；温度低的地方空气下降，在地表形成了高压。高压和低压之间形成气压梯度，空气从高压区向低压区流动，这就形成了水平运动的风。

Q：为什么我没有感受过“垂直运动”的风？

A：地表风基本都是水平运动的，如果坐上飞机，遇到气流时飞机强烈颠簸——这就是垂直风的直接体验！

1.1.2 风的分类

风有很多别名。若用科学的语言，我们如何将风分类呢？风的分类方法很多，比如按照强度分类、按照形成地区的地理特点分类、按照物理学性质分类等。其中最简单的就是按照强度分类。

风分三六九等——风的强度等级分类



您一定在天气预报中听到过类似这样的说法，“渤海风力6~7级转4~5级”。这里所说的“级”就是按照强度对风的分类，称为“蒲福风力等级”。它把风按照风速分为从0~12共13个等级，数字越高，风速越快，风中所携带的能量越大。下面的口诀很形象地为我们描述了风的强度等级。

0级烟柱直冲天，1级青烟随风偏；
2级风来吹脸面，3级叶动红旗展；
4级风吹飞纸片，5级带叶小树摇；
6级举伞步行艰，7级迎风走不便；
8级风吹树枝断，9级屋顶飞瓦片；
10级拔树又倒屋，11、12级陆上很少见，海上见。

为了方便记录，人们还给这13个等级的风分别起了名字：0级为无风，1级为软风，2级为轻风，3级为微风，4级为和风，5级为清风，6级为强风，7级为疾风，8级为大风，9级为烈风，10级为狂风，11级为暴风，12级为飓风。这里要注意一下，台风也被称为飓风，但和蒲福风力等级中12级的飓风并不是一回事。

蒲福风力等级

风力等级是根据风对地面或海面物体影响而引起的各种现象，按风力的强度等级来估计风力的大小。国际上采用的是英国人蒲福（Francis Beaufort，1774—1859）于1805年拟定的风力等级，故称蒲福风力等级，他把无风到飓风分为13级。

Q: 真想在陆地上体验一下超过10级的大风!
A: 陆地上超过10级的阵风也有过，比如在新疆山口地区有时阵风就非常强。

风的地理形成分类



除了按照风速分类外，风还可以按照形成原因和地理位置等因素分类，这些风被统称为“地方性风”，比如季风、信风、海陆风、山谷风等。

季风：季风是指冬夏风向相反的环流系统，比较常见的形成原因是海陆差异。在冬季，陆地比海洋冷，陆地气压比海洋高，风从陆地吹向海洋；夏季则相反，陆地比海洋热，风从海洋吹向内陆。我国西南部还有因青藏高原而形成的高原季风。

信风：由于赤道是低压区，赤道附近的风都吹向赤道，这样形成的风叫信风。在古代，海上的国际通商常会借助信风辨别方向，因此信风也有“贸易风”的美誉。

冰川风：如果有机会去冰川玩玩，还可以体验到冰川风。因为冰川表面比周围冷很多，这些冷而重的空气沿着冰川向下奔去，这样形成的下坡风就是冰川风。

布拉风：当山地高原处汇集了一大团干冷空气，然后冲破山的阻隔直冲而下，这种又干又冷的风称为布拉风。强大的布拉风风速可以达到40米/秒，有着很强的破坏力。

海陆风：有海陆差异的地区，白天海洋上的气流吹向大陆，称为海风；夜间情况相反，低层风从大陆吹向海洋，称为陆风（见图1-1）。

山谷风：在山区，由于热力原因引起的白天由谷地吹向山坡的风，称为谷风；夜间由山坡吹向谷地的风，称为山风（见图1-2）。

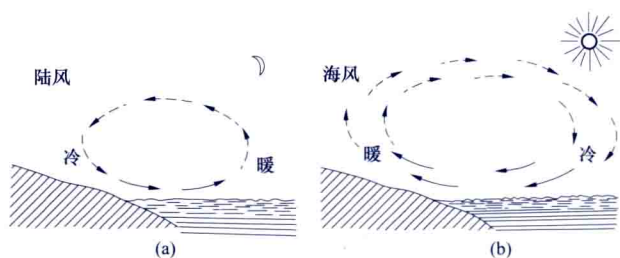
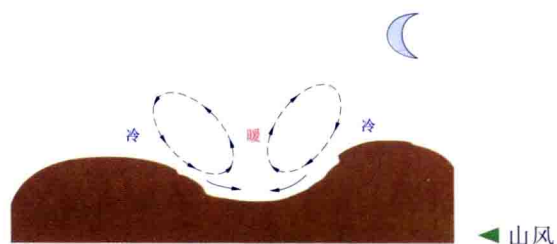
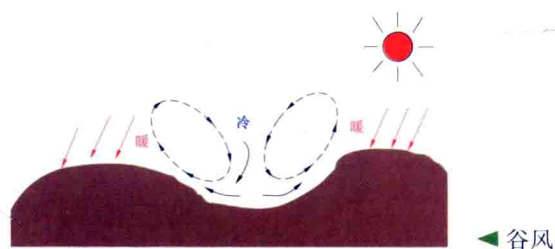


图1-1 海陆风形成示意图

(a) 夜间; (b) 白天



山风



谷风

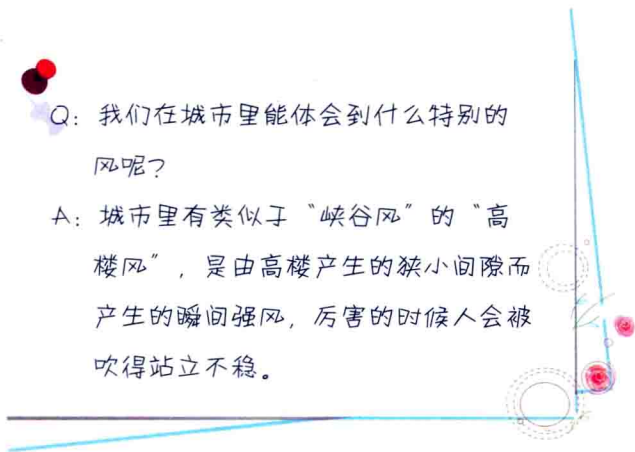
图1-2 山谷风形成示意图

峡谷风：当气流从比较宽阔的地带吹向狭窄的山谷，风会一下子变得很强很快，这种风称为峡谷风。

坡风：坡风是在比较陡的坡地上形成的一种风。白天，坡地上面空气增热快，因此风沿着坡地向上运动；晚上，冷却的空气沿着坡地下滑，这样形成的风称为坡风。

Q：我们在城市里能体会到什么特别的风呢？

A：城市里有类似于“峡谷风”的“高楼风”，是由高楼产生的狭小间隙而产生的瞬间强风，厉害的时候人会被吹得站立不稳。



1.2.1 风能的特点

风能是怎样的能源呢？我们来看看风能的特点：首先，风能的蕴量巨大。太阳辐射到地球的能量中，有2%转化为风能，这可是一个非常庞大的数字。地球上的风能约为27 400亿千瓦，其中可以利用的约为200亿千瓦，这个数量有多大呢？它是地球上可开发利用的水能总量的10倍！全世界每年燃烧煤炭得到的能量，还不到风能在同一时间内提供给地球能量的1%。根据美国能源

Q：为什么说风能多，但不集中呢？

A：如果我们利用化石能源，开采一个煤矿或者油田就行了；如果利用水能，在合适的位置修个水电站就可以。风能四处皆是，很难把它们集中利用。因此需要选好风电场场址，形成规模化利用。

Q：一阵风大，一阵风小，今天可能刮8级大风，明天可能微风徐徐，有没有办法让风能变得稳定一些？

A：这个很难……