

话说

HUASHUO
XINENGYUAN
CONGSHU

新能源丛书

李代广 编

风与风能



化学工业出版社

话说

HUASHUO
XINENGYUAN
CONGSHU

新能源丛书



李代广 编

风与风能

本书是《话说新能源丛书》之一，面向广大喜欢科普图书的读者朋友。

《风与风能》用生动的语言介绍了风的形成、风能资源、风车、什么是风力机、风力提水的作用、风力如何发电、大草原的风电场等知识，有助于读者朋友了解风能，研究、探究和利用风能。

本书图文并茂，特别适合喜爱科普图书的朋友和新能源行业人士阅读。

图书在版编目(CIP)数据

风与风能/李代广编. — 北京:化学工业出版社, 2009.6
(话说新能源丛书)
ISBN 978-7-122-05054-0

I. 风… II. 李… III. 风力能源-普及读物 IV. TK81-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第036828号

责任编辑:戴燕红 郑宇印
责任校对:凌亚男

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 装:北京市彩桥印刷有限责任公司
720mm×1000mm 1/16 印张7 $\frac{1}{2}$ 字数96千字 2009年6月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:25.00元

版权所有 违者必究

前言

FOREWORDS

风是人类最熟悉的一种自然现象，风能是一种无污染的可再生能源，它来自于太阳能，取之不尽，用之不竭，分布广泛。随着人类对生态环境的要求和能源的需求，风能的开发利用日益受到重视。

在几千年以前，我们的祖先就在农业生产和生活中对风能加以利用。目前，风能的利用形式主要有风力发电、风力提水、风力致热等。其中，风力发电发展迅速，世界各地每天都有新的风力机投入运行。风力发电在新能源和可再生能源行业中增长最快，年增长率达到35%。

我国有丰富的风能资源，目前我国的风力发电装机容量仅占全国电力装机的0.11%，风力发电发展潜力很大。

本书用浅显易懂的语言，深入浅出的叙述方式，对风能及其利用进行了全面的介绍。内容丰富翔实，图文并茂，具有一定的趣味性和知识性，对广大喜欢科普图书的朋友和新能源行业人士来说，是一本不可多得的好书，具有阅读和收藏价值。

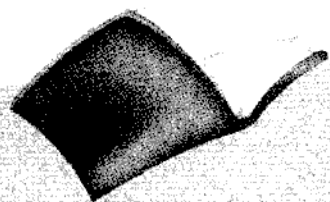
在本书的编写过程中，参考引用了一些文献资料，在此向文献作者致以诚挚的谢意！

由于编者水平有限，书中不足在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2009年3月

话说
新能源丛书
HUASHUO XINNENGYUAN CONGSHU



目录

CONTENTS

第一章 风与风能资源

古老的自然资源	2
风为何物	7
风从哪里来	9
风的种类	11
风的作用	21
风的特征	23
风的分级	25
风的测量	27

第二章 风能资源

世界风能资源分布	36
我国风能资源分布	37

第三章 风能的一般利用

风帆助航	42
清选谷物	46
风筝飞上碧云端	47
风车转转转	49
利用风力提水灌溉	55
风能致热	59

第四章 风力发电

回顾风力发电的历史	64
-----------------	----

风力发电的原理和特点	67
如何储存风电	70
风力发电的娃娃兵——小型风力发电系统	72
风光互补发电	74
我国风力发电的发展	75

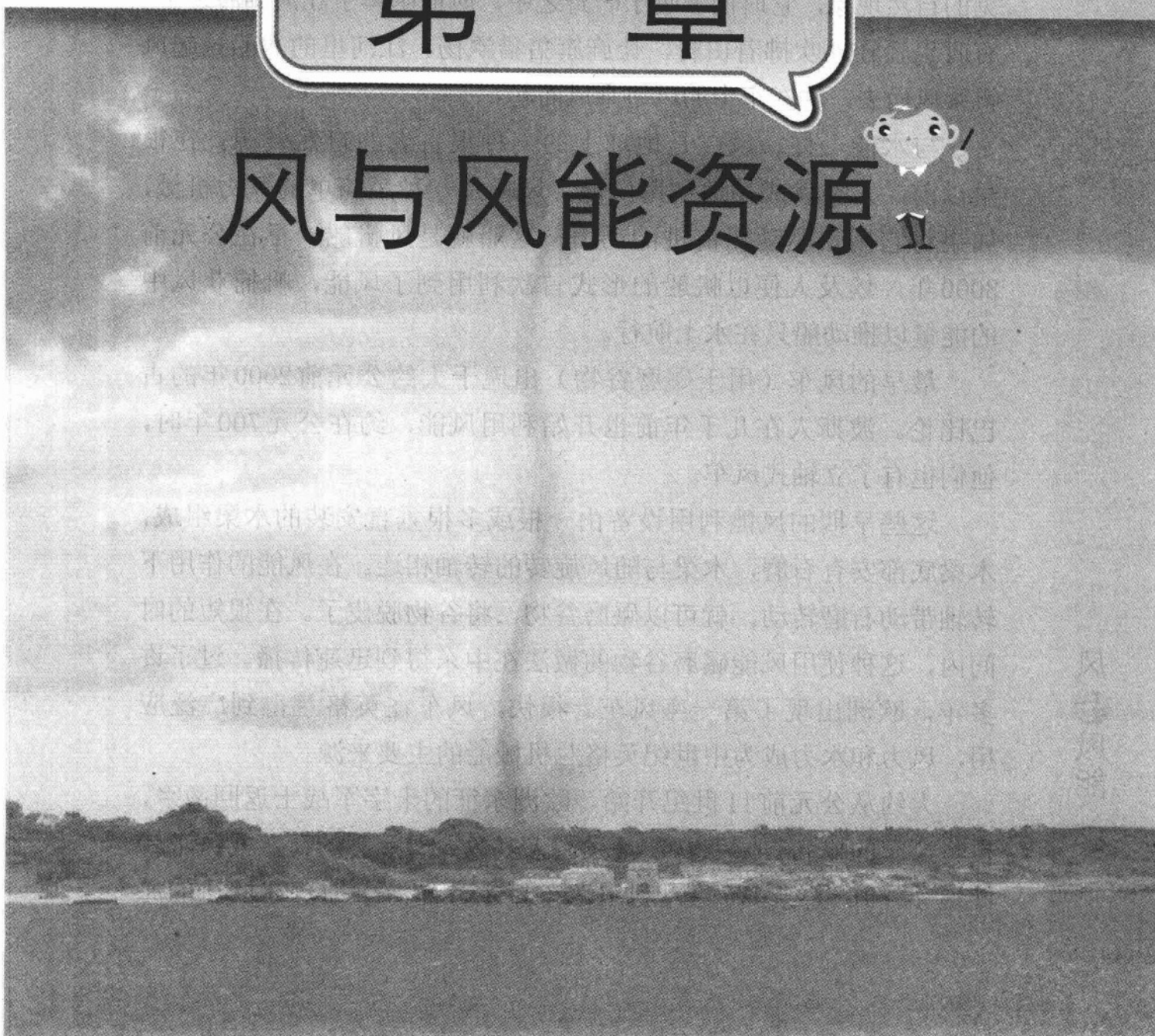
第五章 神奇的风力机

风力机家族成员	80
风力机的主要部件	86
风力机发电的奥秘	93

第六章 生机盎然的风电场

第一章

风与风能资源



古老的自然资源

你去过新疆和内蒙古草原吗？如果去过的话，可能看到过成排地矗立在荒漠和草原上的奇特的机械装置。这些具有巨大的旋转手臂的机械装置迎风而立，它们是用来发电的风力机。风是一种最常见的自然现象，它时而怒吼于旷野之中，时而咆哮于江河湖海之上。有时也轻轻地吹拂着田野，让旌旗猎猎飘扬。江河里的木船拉起风帆乘风而去，飘在空中的风筝乘风而起。

与水能一样，风能是地球上的一种很古老的自然资源。在很早以前，人类就成功地利用风能。风帆是一种最简单的风力机械，如果将它用作驱动船前进的动力，这船就是风帆船。早在公元前3000年，埃及人便以帆船的形式首次利用到了风能，帆捕获风中的能量以推动船只在水上航行。

最早的风车（用于碾磨谷物）出现于大约公元前2000年的古巴比伦。波斯人在几千年前也开始利用风能，约在公元700年时，他们也有了立轴式风车。

这些早期的风能利用设备由一根或多根垂直安装的木梁组成，木梁底部安有石磨，木梁与随风旋转的转轴相连。在风能的作用下转轴带动石磨转动，就可以碾磨谷物，将谷物脱皮了。在很短的时间内，这种使用风能碾磨谷物的做法在中东得到迅速传播。过了许多年，欧洲出现了第一座风车。很快，风车在英格兰得到广泛应用，风力和水力成为中世纪英格兰机械能的主要来源。

大约从公元前11世纪开始，欧洲东征的十字军战士返回故乡，也将风车的概念带回家，于是我们大多数人所熟悉的荷兰式风车就此诞生。16世纪，荷兰人利用风车排水、与海争地，在低洼的海

滩地上建国立业。

开始的时候，要靠人去根据风向的变化调准风车的方向。1750年，扇形尾翼问世，才不必靠人去调准风车的方向了。在这一时期，荷兰人依靠风力来抽水、磨谷等。荷兰人对风车进行了技术上的改进，他们广泛地利用改进的风车排除沼泽地积水和灌溉莱茵河三角洲。据史书记载，18世纪的荷兰曾有9000座风车排除围海造田的积水。

18世纪，瓦特发明了蒸汽机，风车的地位逐渐下降。到了19世纪下半叶，风车重新派上用场。1850年以后，美国在已有风车的基础上，制造成有名的“美国农场风车”用于提水，这种风车曾达到600万座。在美国西部，铁路公司用风车来抽取地下水供机车使用，居民用风车抽水灌溉农田以及供人畜饮用。

人们借助风的“神力”引水灌田，碾米磨面，这种方法简便易行，节省了大量的人力。后来，又有人利用风力发电。20世纪30年代，小型风力发电机在美国已很普遍，直到50年代中期，美国公司已出售了数以千计的风车发电机，但发电量都很有限，只够一户人家使用。

到20世纪70年代，世界出现能源危机，风车再度盛行起来。风车叶片形状也有很多变化，发电量也有所增加。

在交通运输方面，利用风能的帆船的诞生，使人类的航海航运事业得到快速发展。

很早以前，我国就借助风力驱动风帆。在《物原》一书中，可以找到我国利用风力驱动帆船的记载：“燧人以瓠济水，伏羲始乘桴，轩辕作舟楫，……夏禹作舵加以篷碇帆樯。”意思是说，燧人氏用葫芦过河，伏羲开始乘竹木编织的小筏子过河，轩辕发明舟船，夏禹发明了船舵、船篷、系船的石墩和船帆。如果夏禹发明了船帆，那么船帆的出现，至今已有3000多年的历史了。在距今1800年以前的东汉刘熙所著的《释名》一书中，对“帆”作了这样的解释：“随风张幔曰帆”。

我国古诗中就有不少关于帆船的记载。比如唐代大诗人李白的《行路难》中就有“长风破浪会有时，直挂云帆济沧海”的诗句。诗中描写的乘风破浪的帆船，就是以风为动力的。描写帆船的还有唐代诗人王维的《送秘书晁监还日本国》一诗，诗中有“向江惟看日，归帆但信风”的诗句。从唐诗中对帆船的描写来看，早在唐代，帆船已经成为我国和日本之间的主要交通工具了。

埃及和荷兰是世界上较早利用风能的国家。古埃及已经利用风磨碾米。多年来有关古埃及人修建金字塔的谜底一直没有揭开，它就像古埃及的狮身人面像一样充满着神秘的气息。如果说古埃及人靠风筝修建了金字塔，人们也许多半不会相信，但美国加州理工学院一位飞行学教授证实，这很可能是真的。

首先提出风筝修建金字塔的说法是加利福尼亚一位软件顾问莫琳·克莱门斯。她在偶然翻阅一本有关古埃及建筑物的书时发现，一幅象形图画上画着一排人以奇怪的姿势站着。他们手中握着类似绳子的东西，通过某种机械装置与天空中的一只大鸟相连。她认为，这只鸟有可能是一个巨型风筝，这些人在用它来提升重物。

后来，克莱门斯等在沙漠中进行了实验，试图利用一个面积约为27平方米的风筝拉起重达4吨的石块。神奇的是，风筝在风力的作用下，提起了巨大的石块。而整个过程只用了25秒。这说明，古代埃及人很有可能利用风筝提升巨大的石块。埃及金字塔的建造，还有风能的功劳。

荷兰以风车闻名于世，至今荷兰还保留900座古老的风车，专供旅游者观赏。

许多世纪以来，风力机同水力机械一样，作为动力源替代人力、畜力，对生产力的发展发挥过重要作用。19世纪末，发电机问世，丹麦建造了世界上第一座风力发电站，为当地居民的照明和生活用电提供电力。因为20世纪50年代中东油田的发现，才使风力机的发展缓慢下来。

随着火电和水电的大规模应用，风能逐渐被人们冷落下来。煤

炭和石油的大规模开采和应用，促进了工业革命的进程和生产力的发展。

但是，到了20世纪70年代，特别是最近几年，因为大量使用煤炭和石油导致的问题给人类生存带来了危机。首先是能源的危机，储存在地下的化石能源是人类史前经过数亿年才形成的，是不可能再生的，开采一些就少一些，现在已经所剩无几。日益减少的化石能源，给人类带来能源供应的危机。其次，由于人类社会近一个世纪以来对煤炭和石油的无节制应用，导致环境污染问题加剧，生态环境遭到巨大的破坏，直接威胁到人类的生存。在这种严峻的形势下，人们认识到常规矿物能源供应的有限性和污染性，于是寻求清洁的可再生能源遂成为现代世界的一个重要课题。风能作为可再生的、无污染的自然能源又重新引起了人们重视。古老的风能，又焕发出勃勃生机。

丹麦的风能利用走在世界前列，多年来风力发电为丹麦的生产生活提供了大量能源，不仅缓和了丹麦能源供需紧张的矛盾，而且丹麦成为世界最大的风车生产国。荷兰重新成为世界风车的王国。英国的风力发电至少能满足本国20%的电力需要；美国至今总装机容量已经超过2000兆瓦。美国能源研究与发展局宣布，到2010年，美国风力发电将达200亿千瓦，占全国总发电量的10%左右。

风能获得新生，除了世界各国普遍面临能源危机和环境污染这两个严重问题之外，还因为风能具有明显的优点。

① 风能取之不尽，用之不竭。风的产生是由太阳辐射引起的，因此，风能来源于太阳能。大约有2%的太阳能可以转化为风能。只要有太阳，就有风能。全球的风能资源总量是极其惊人的，目前已被开发的仅仅是微不足道的一小部分。据估计，地球上近地面的风能总量约为1.3万亿千瓦，其中可利用的就达200亿千瓦，是可供开发利用的水能的10倍。仅陆地上的风能就相当于目前全部火力发电量的一半以上。据中国气象科学研究院对我国900多个气象站的观测资料进行的分析，我国可供开发利用的风能总量为2.53

亿千瓦，接近于目前我国所有的发电站包括火电、水电、核电等的装机容量的总和。

② 风能是清洁的、无污染的能源。空气不仅对人体无害，而且人和一切生物都时时刻刻少不了它，风能不污染环境，利用它不会构成社会公害。在风能的利用过程中，对环境没有任何污染物排放，风能是一种绿色能源。

③ 不需花钱购买。风能来自大气空间，没有勘探、采掘、加工和运输问题，不需要投入资金购买。

尽管风能具有以上明显的优点，但是风能也存在不可忽视的缺点。风能的缺点是不经常性和不定向性，这在风能利用中需要加以考虑。当前风能的利用仅限于发电、提水和海水淡化。合理利用风能不仅对发展农牧业生产有很大的作用，而且对保护自然环境，免受其他能源生产所导致的公害，都具有重要意义。

目前对于风能的利用，世界上有两种方式：一种是采用机械装置把风能直接转化为机械能，直接为人们所用，例如，利用风力提水灌溉；另一种是利用风力发电装置将风能转化为机械能，再把机械能转变为电能，也就是风力发电。目前来看，风力发电是风能利用的最重要的方式。

全世界每天都有数万台风力机在运行，作为辅助能源正在发挥着巨大的作用。利用风力发电存在调速、调向、蓄能等特殊要求。

随着风力发电的不断发展，风力机的制造技术不断得到提高。新的风力机具有很多优点：能够抗风暴，使用寿命延长；具有自动调节和控制功能，利用计算机控制转速；近代航空技术得到运用，使机械效率大大提高。

但风力机仍存在许多不足之处。首先是能量输出不稳定，特别是大型风力机的利用率较低，还不具备作为独立能源的条件；其次，风力机的安全可靠性能尚无充分保障；另外，风力机的成本较高，在短期内尚不足以与矿物燃料相竞争。但是，随着科学技术的不断发展，在不久的将来，上述问题一定会得到解决。风能为我们

呈现出很美好的利用前景。

风为何物

“解落三秋叶，能开二月花。过江千尺浪，入竹万竿斜。”这是我国唐代诗人李峤写风的诗句。

这首诗让人看到了风的力量。风，能使晚秋的树叶脱落，能催开早春二月的鲜花，它经过江河时能掀起千尺巨浪，刮进竹林时可把万棵翠竹吹得歪歪斜斜。风，是一种最常见的自然现象，飘扬的旌旗，翻滚的麦浪，怒吼的林涛，汹涌的海浪，都是由风引起的。



汹涌的海浪

“昨夜西风凋碧树，独上高楼，望尽天涯路”，“北风卷地白草折，胡天八月即飞雪”都是描写风的诗句。在上两句诗中，不但描写了风能“凋碧树”、“折白草”，而且还指明了“西风”和“北风”。

风是我们非常熟悉的也是很常见的一种自然现象。“吹面不寒杨柳风”说的是春风，春风带来盎然生机；“暖风熏得游人醉”说的是夏天的风，夏天的风让人心旷神怡；“八月秋高风怒号”说的是秋风，金风送爽给人们带来丰收的喜悦；“北风吹雁雪纷纷”说的是冬天的风，寒风凛冽，迎来寒冷的冬季。

年头到年尾，风就这样吹着。风给人类带来欢乐，也会给人类带来灾害和痛苦。那么，风为何物，它是怎么形成的呢？

我们都知道，地球的表层是厚厚的大气层，厚度大约1000千米。根据大气层的不同物理特性，大气层可以划分为对流层、平流层、中间层、暖层和散逸层。风产生在对流层。对流层上部的空气温度低、密度大，向下沉降；接近地面的下部空气温度较高，不断上升，于是对流层的空气就发生上下流动的现象，也就是空气对流现象。空气流动形成风。

风能是一种蕴藏丰富的自然能源，也可以说是取之不尽，用之不竭的清洁能源。有人做过估算，地球上的风能蕴藏量大得惊人，粗略算起来，相当于目前全世界能源消耗总量的100倍，相当于1.08万亿吨标准煤蕴藏的能量。“大风起兮云飞扬”，大风包含着很大的能量，远远超出人类目前所能控制的能量，风能的有效开发利用，将对人类的生产生活产生巨大的影响。

在新能源当中，风能的研究开发具有一定的地位，但是，就目前的风能利用水平来看，在近期内，风能不可能成为能源供应的主力军，只能作为辅助能源存在。因为风能本身存在许多固有的弱点，比如风时有时无，忽大忽小，方向不定，变幻莫测。风的密度比较小，和水相比较，只是水的密度的1/816，因此风力存在不稳定性和分散性的特点，使风能利用受到影响。

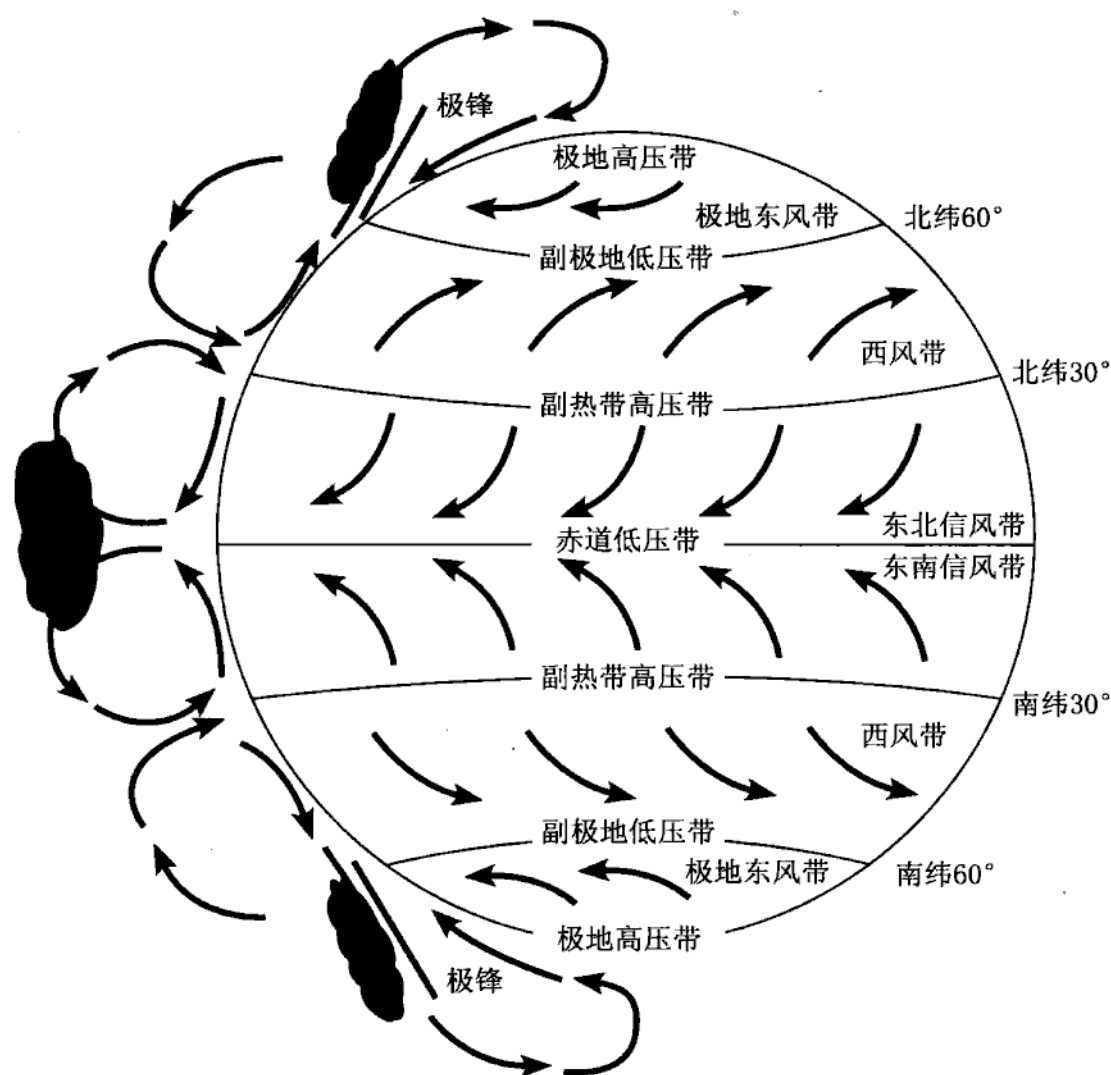
风从哪里来

“不行春风，难得春雨”“夜来南风起，小麦覆陇黄”。地球表面有了风，才能调节气温，传播花粉，迎来五谷丰登。有了风，才能让风筝飞上高高的天空；有了风，才能吹动风车，吹动风力机，让风的能量为人类服务。那么，风是怎样形成的呢？

我们已经知道，空气的流动形成了风，流动的空气所具有的能量就是风能。追根溯源，风能来自太阳能，风能是太阳能转化的产物。风能来自太阳辐射和地球自转。

太阳光照射到地球上，由于地球上各地区纬度不同，所接受的太阳辐射强度也不一样。在赤道和低纬度地区，由于太阳高度角大，日照时间长，太阳辐射强度强，地面和大气接受的热量多，温度就比较高；在高纬度和地球两极地区，因为太阳高度角小，日照时间短，地面和大气接受的热量少，温度就比较低。这就形成了高低纬度间的气压差异。这种高纬度与低纬度之间的温度差异，形成了南北之间的气压梯度，使空气发生自然的水平运动，按理说，风应该沿水平气压梯度方向吹，即垂直于等压线从高压向低压吹。地球赤道附近的热空气向上升，并通过大气层上部流向地球南北两极；两极地区的冷空气流向赤道。

但是，因为地球每时每刻都在自西向东旋转，使空气水平运动发生偏向。这种使空气水平运动发生偏向的力，称为地转偏向力。在地转偏向力的作用下，北半球气流向右偏转，大气环流在北半球产生东北风；南半球气流向右偏转，产生东南风。因为每年东北风和东南风都按时到来，很守信用，所以分别被称为东北信风和东南信风。在气压梯度力和地转偏向力的综合作用下，地球大气发生运动。



三圈环流示意图

实际上，地球表面并不是非常平坦的，地面风不仅受上述两个力的支配，而且在很大程度上受海洋、地形的影响。山隘和海峡能改变气流运动的方向，还能使风速增大，而丘陵、山地却产生阻力，使风速减小，孤立的山峰却因海拔高使风速增大。因此，风向和风速的时空分布较为复杂。

风的种类

一般来说，风可以分为以下几类。

1. 季风

因为海陆差异对气流运动的影响，在冬季，大陆比海洋冷，大陆气压比海洋高，风从大陆吹向海洋。夏季相反，大陆比海洋热，大陆比海洋气压低，风从气压高的海洋吹向内陆。这种随季节转换的风称为季风。

我国位于亚洲大陆的东部，濒临浩瀚的太平洋，季风强盛，内陆还有许多山系，地形复杂，巍峨的青藏高原高高耸立在大气中，改变了海陆影响所引起的气压分布和大气环流，增加了我国季风的复杂性。冬季风来自西伯利亚和蒙古等中高纬度的内陆，那里的空气严寒干燥，当冷空气积累到一定程度，在有利的高空环流引导下就会爆发南下，俗称寒潮，在这股频频南下的强冷空气的控制和影响下，形成寒冷干燥的西北风侵袭我国北方各地。每年冬季总有多次大幅度降温的强冷空气南下，主要影响我国西北、东北和华北，直到次年春夏之交才消失。

夏季风是来自太平洋的东南风、印度洋和南海的西南风，东南季风影响遍及我国东半部，西南季风则影响西南各省和南部沿海，但风速远不及东南季风大。热带风暴是太平洋西部和南海热带海洋上形成的空气涡旋，是破坏力极大的海洋风暴，每年夏秋两季频繁侵袭我国，登陆我国南海之滨和东南沿海，热带风暴也能在上海以北登陆，但次数很少。

青藏高原耸立，地势高亢开阔，冬季东南部盛行偏南风，东北