



能源开发概论A

第十章 新能源开发

能源与矿业学院
中国矿业大学（北京）



目 录

第一节 太阳能开发

第二节 风能开发

第三节 海洋能开发

第四节 地热能开发

第五节 生物质能开发

第二节 风能开发

目 录

1. 风及风能的特性
2. 风力机的种类及结构
3. 风力发电系统
4. 风力发电发展
5. 思考题

目 录

1. 风及风能的特性
2. 风力机的种类及结构
3. 风力发电系统
4. 风力发电发展
5. 思考题

1. 风及风能的特性



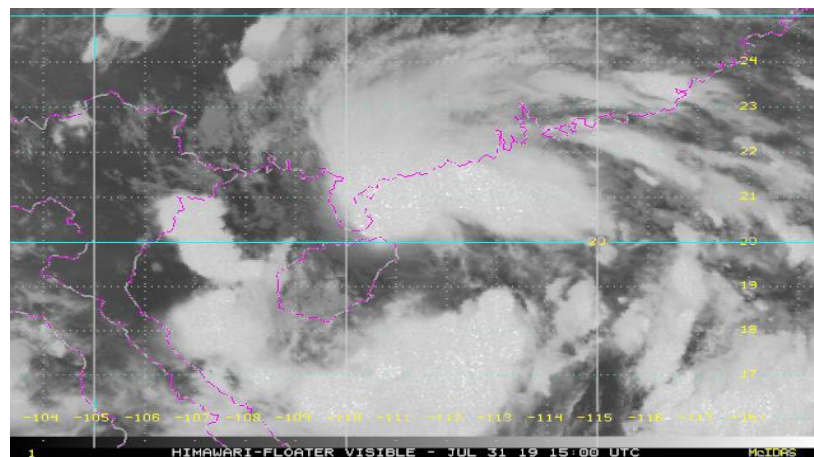
风吹麦浪



风吹落帽子



龙卷风席卷城市



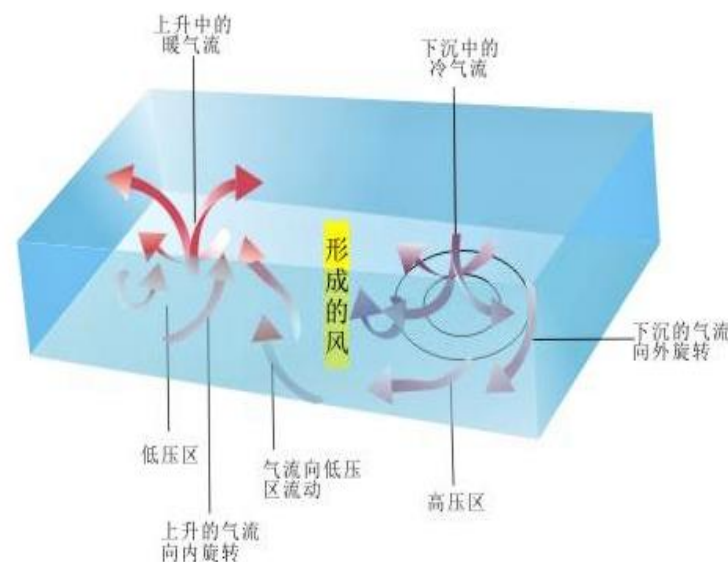
卫星拍摄龙卷风形成

1. 风及风能的特性

1.1 风的形成

风 (Wind)

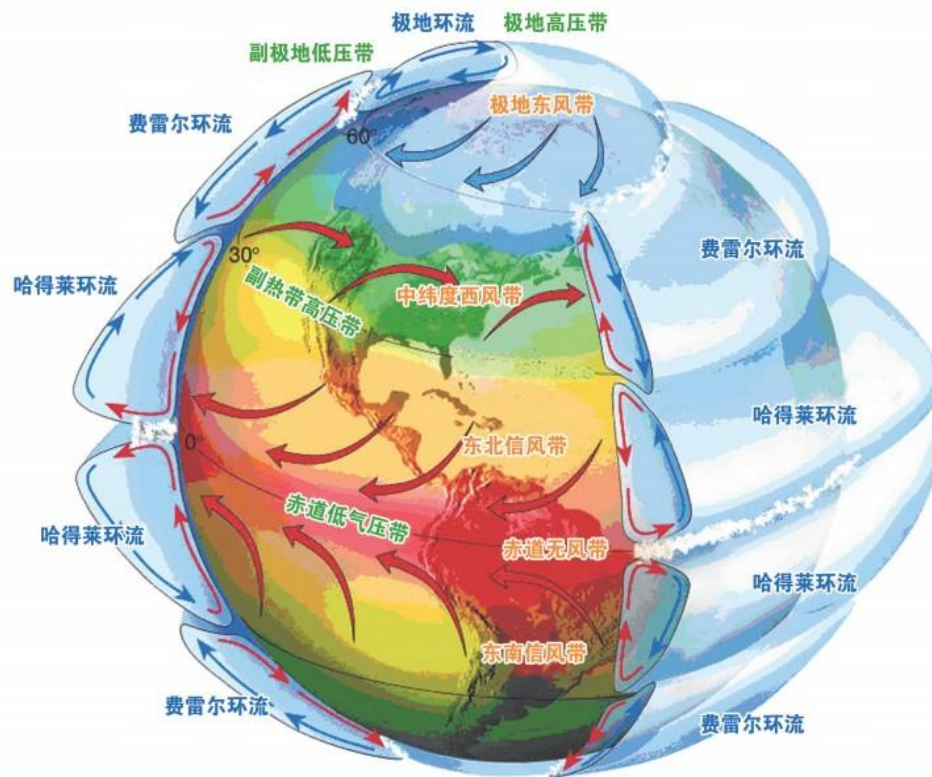
风是由**空气流动**引起的一种自然现象，它是由**太阳辐射**热引起的。太阳光照射在地球表面上，使地表温度升高，地表的空气**受热膨胀**变轻而往**上升**。热空气上升后，低温的冷空气横向流入，上升的空气逐渐**冷却变重**而**降落**，由于地表温度较高又会加热空气使之上升，这种空气的流动就产生了风。



1. 风及风能的特性

1.1 风的形成

地球绕自转轴每24小时旋转一周，**温度、气压**昼夜**变化**。由于地球表面各处的温度、气压变化，气流就会从**压力高**处向**压力低**处运动，以便把热量从热带向两极输送，因此形成不同方向的**风**，并伴随不同的气象变化。地球的自转进一步促进了大气中半永久性的行星尺度**环流**的形成。



大气环流

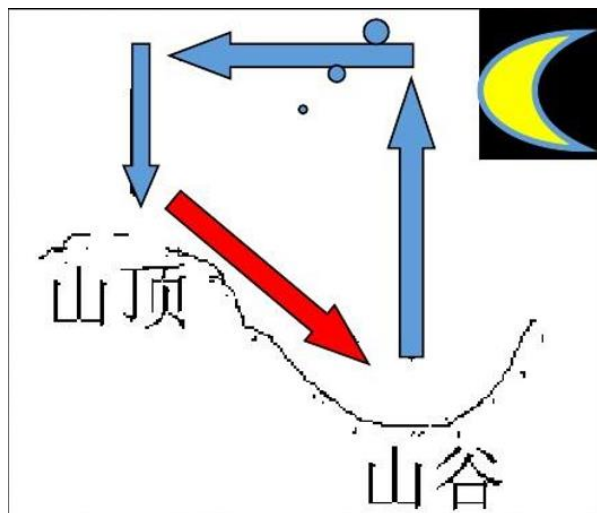
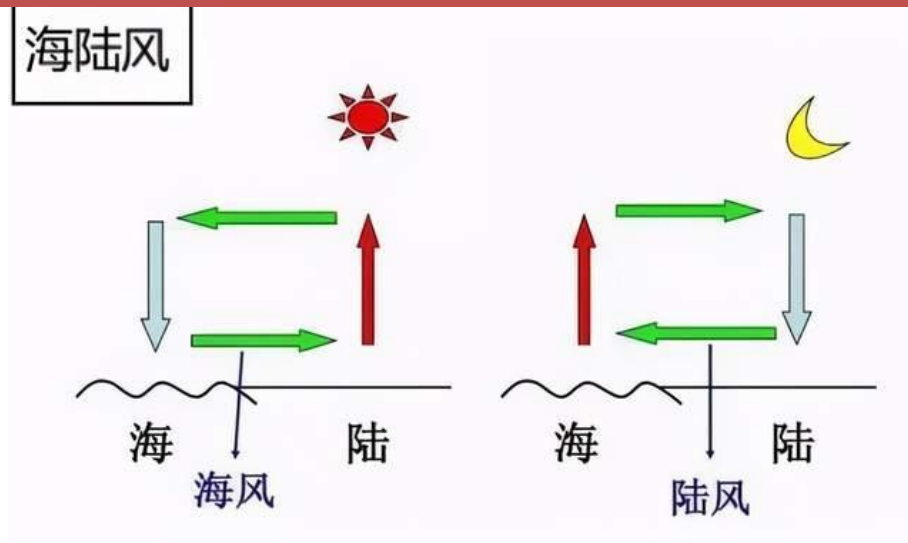
1. 风及风能的特性

1.1 风的形成

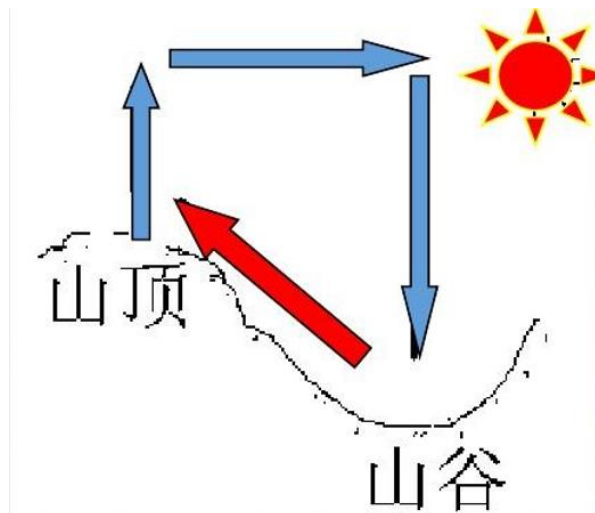
➤ 区域风:

海陆风、山谷风

海陆风



夜间”山风”



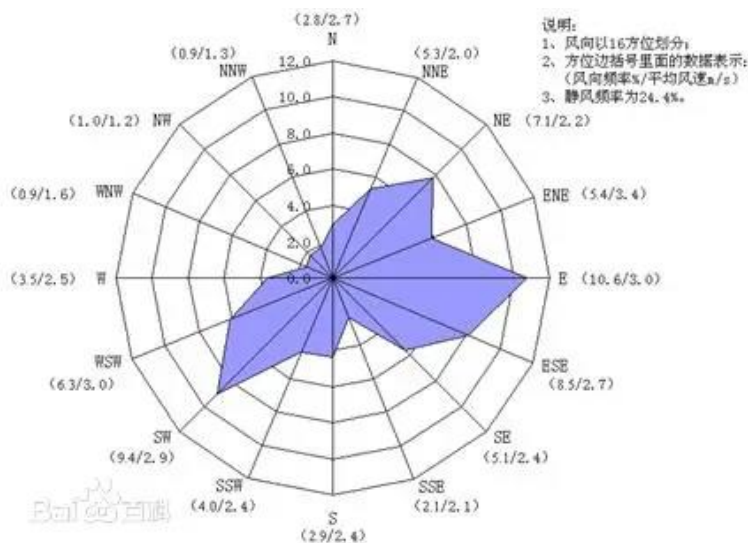
白天”谷风”

1. 风及风能的特性

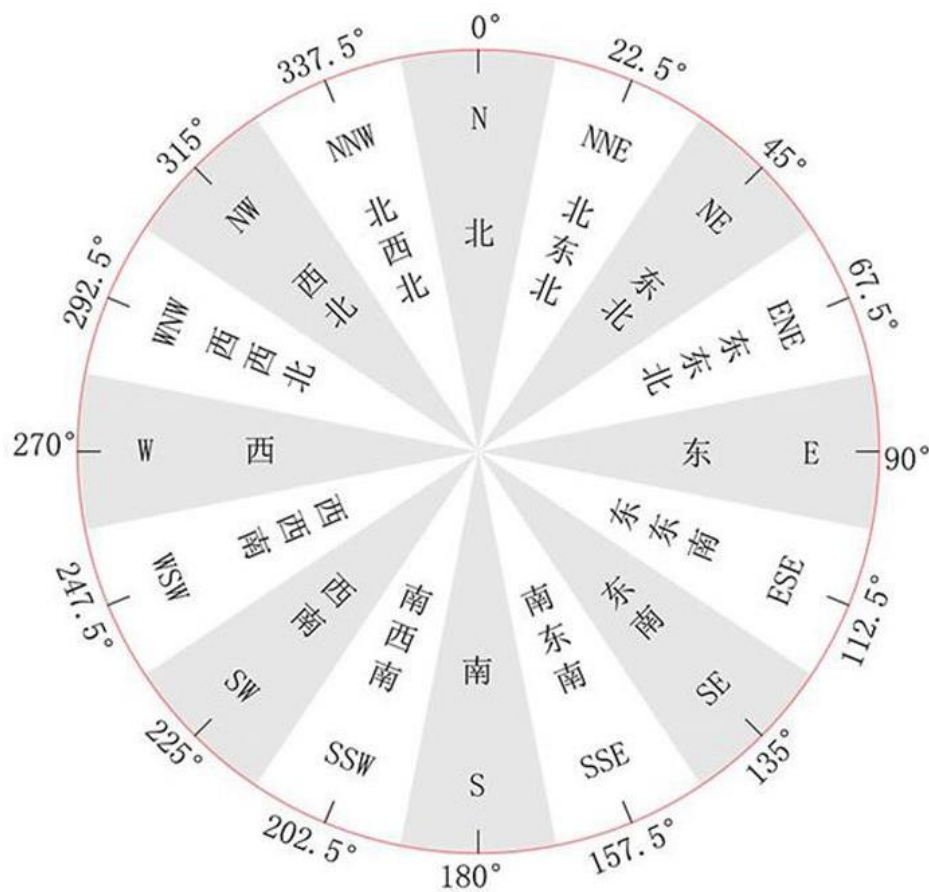
1.2 风的基本特性

➤ **风向**：风吹来的方向

◆ **风向频率（风频）**：在一定的
时间范围内，某风向出现的
次数占各风向出现的总次
数的百分比



风频玫瑰图



风向感应16位图

工业布局时注意风向对工程位置的影响

1. 风及风能的特性

1.2 风的基本特性

➤ **风速**：风在单位时间内吹过的距离

◆ 瞬时风速、平均风速

计算风资源时，都用10min的平均风速

◆ **风速频率**：在一定时间内，相同风速出现的时间长度占测量总时间的百分比

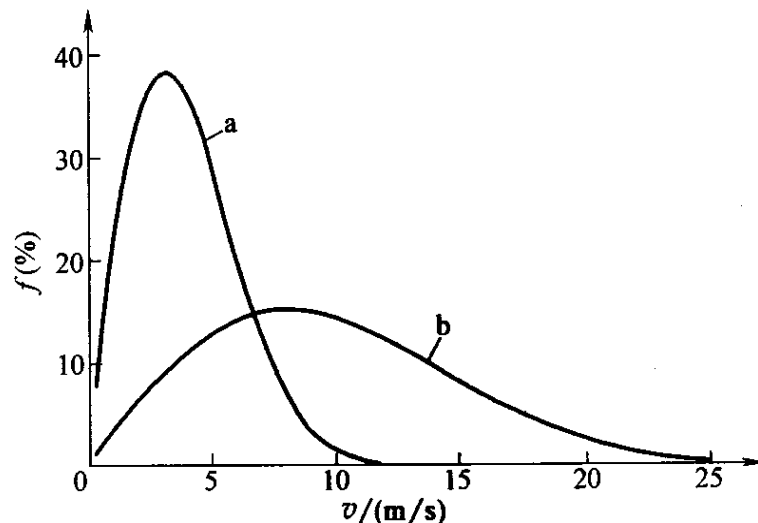
◆ **风速变幅**：在测量平均风速的限定时间内，最大风速与最小风速之差

◆ **起动风速（切入风速）**：可使风力机起动运行的风速；

◆ **切除风速（切出风速）**：限制风力机超速运行的上限风速

◆ **有效风速**：起动风速和切除风速之间的风速

国内风力机的起动风速一般为3m/s，切除风速为20m/s，有效风速范围为3~20m/s。



风速频率分布

1. 风及风能的特性

1.2 风的基本特性

➤ **风级：**根据风力强度划分的等级

风速级别	风速/(m/s)	风级名称	陆地地面生物的征象	作用在平板上的压强 /10Pa
0	0~0.4	静风	大气稳静，炊烟直上	
1	0.5~1.5	软风	烟随风而动，风向可辨，但风标不动	0.13(1m/s)
2	2~3	轻风	脸有风感，树叶动，风标也动	0.8(2.5m/s)
3	3.5~5	微风	树叶和细枝摇动，小旗展开	3.2(5m/s)
4	5.5~8	和风	尘沙刮起，纸片飞舞，小树枝摇动	6.4(7m/s)
5	8.1~10.9	清风	有小树摇动，池塘、沼泽水面掀起浪花	13(10m/s)
6	11.4~13.9	强风	大叔摇动，电线鸣叫，举伞困难	22(13m/s)
7	14.1~16.9	疾风	树身摇动，顶风行走甚感不便	33(16m/s)
8	17.4~20.4	大风	小树枝折断，顶风行走极其困难	52(20m/s)
9	20.5~23.9	烈风	房屋发生轻微损坏（烟囱倒塌，屋顶瓦片揭掉）	69(23m/s)
10	24.4~28	狂风	陆地少见，数目连根拔起，建筑物严重破坏	95(27m/s)
11	28.4~32.5	暴风	陆地很少，一旦发生必有重大损毁	117(30m/s)
12	32.6~35.9	飓风	陆地很少，其摧毁力极大	160(35m/s)
13	36.9~40.4			208(40m/s)
14	40.1~45.4			265(45m/s)
15	45.1~50			325(50m/s)
16	50.1~54			365(54m/s)
17	54.1~60			470(60m/s)

1. 风及风能的特性

1.3 风能

风能(wind energy) 空气流动所产生的动能。太阳能的一种转化形式。由于太阳辐射造成地球表面各部分受热不均匀，引起大气层中压力分布不平衡，在水平气压梯度的作用下，空气沿水平方向运动形成风。

在一定的技术条件下，风能可作为一种重要的能源得到开发利用。风能利用是综合性的工程技术，通过风力机将风的动能转化成机械能、电能和热能等。

据估计到达地球的太阳能中虽然只有大约2%转化为风能，但其总量仍是十分客观的，全球风能约为1300亿千瓦，比可开发的水能总量还要大10倍。

1. 风及风能的特性

1.3 风能

➤ 优点:

- ◆ 风能为清洁的能量来源
- ◆ 风能设施日趋进步，大量生产降低成本，在适当地点，风力发电成本已低于其他发电机
- ◆ 风能设施多为不立体化设施，可保护陆地生态
- ◆ 风力发电是可再生能源，很环保，很清洁



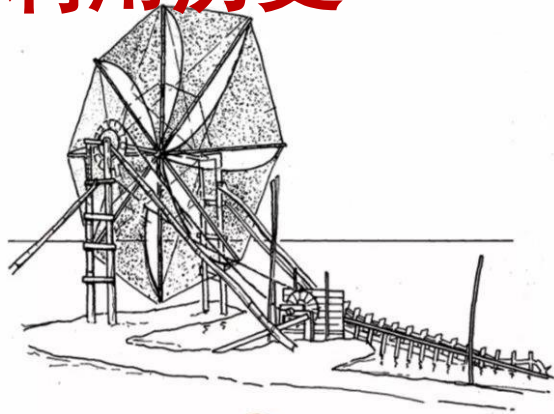
➤ 限制及弊端

- ◆ 风速不稳定，产生的能量大小不稳定
- ◆ 风能利用受地理位置限制严重
- ◆ 风能的转换效率低
- ◆ 风能是新型能源，相应的使用设备也不是很成熟
- ◆ 在地势比较开阔，障碍物较少的地方或地势较高的地方才适合用风力发电



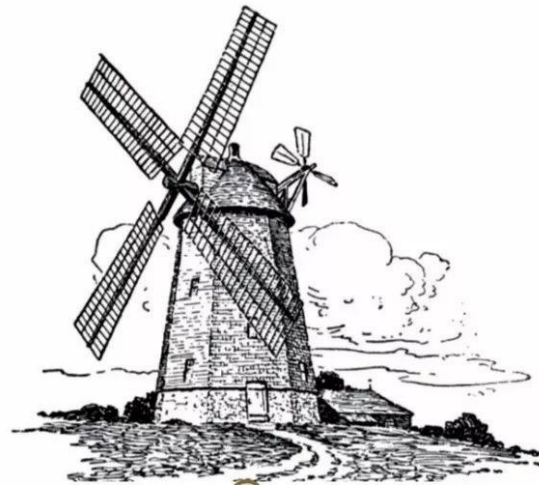
1. 风及风能的特性

1.4 风能的利用历史



13世纪

东亚利用风车提水灌溉



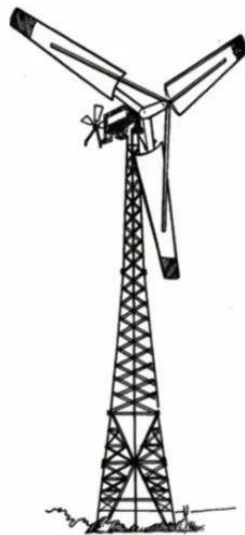
16世纪

欧洲利用风车排水和磨面



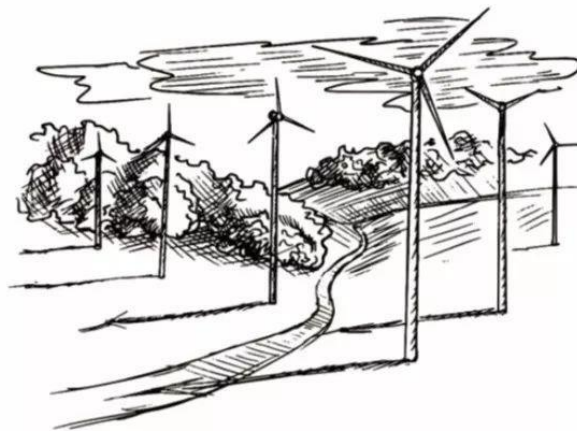
19世纪

北美利用风车给农场泵水



20世纪初

小型风力机用于偏远地区发电



20世纪80年代

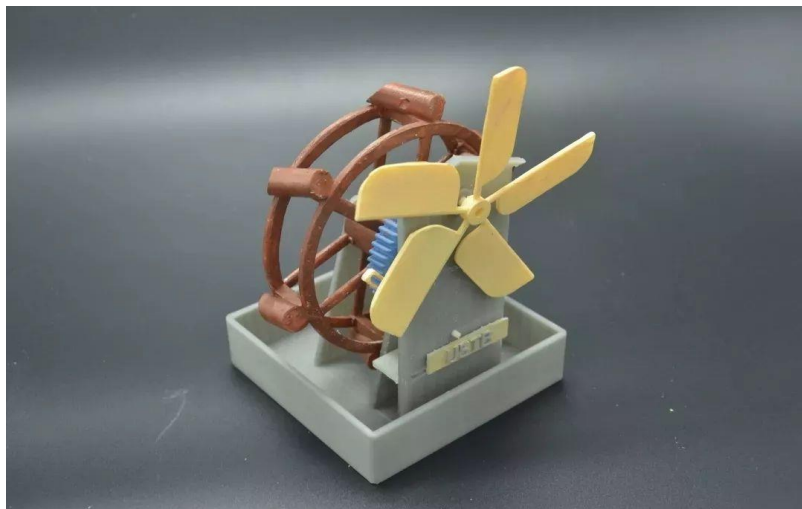
建设大规模风电场

1. 风及风能的特性

1.4 风能的利用历史



风力水车

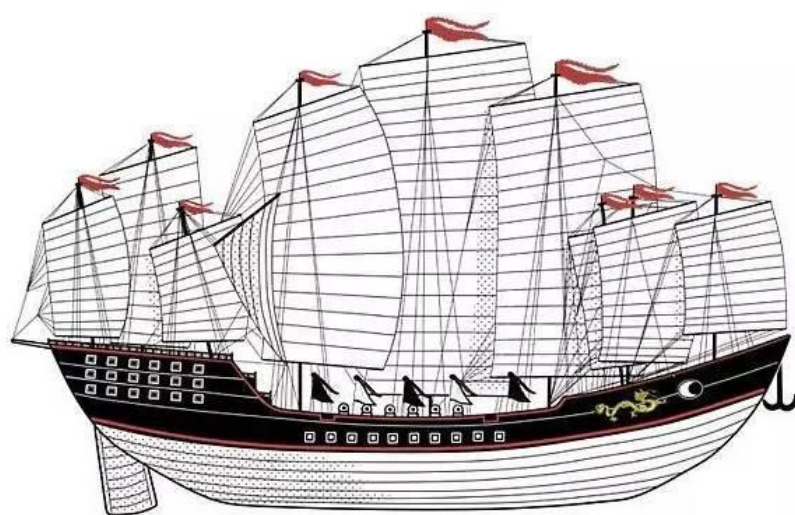


立帆式垂直轴风轮

1. 风及风能的特性

1.4 风能的利用历史

➤ 风力助航



大明·远洋舰队旗舰·郑和宝船

138米



1. 风及风能的特性

1.4 风能的利用历史

➤ 风力制热

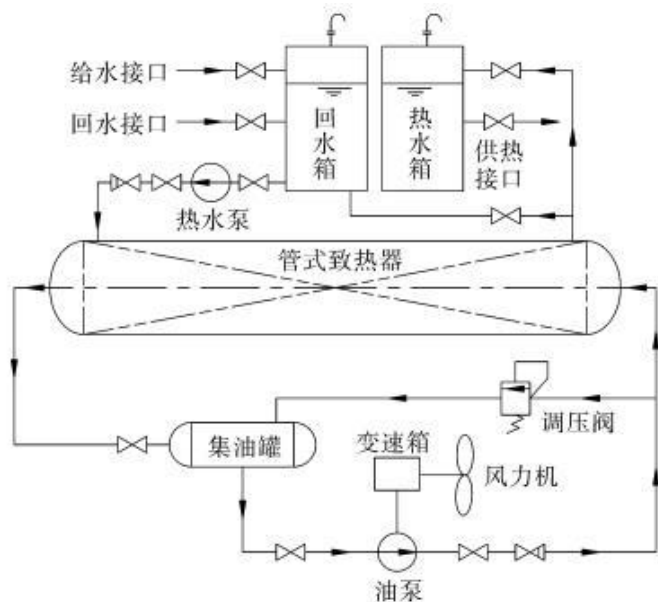
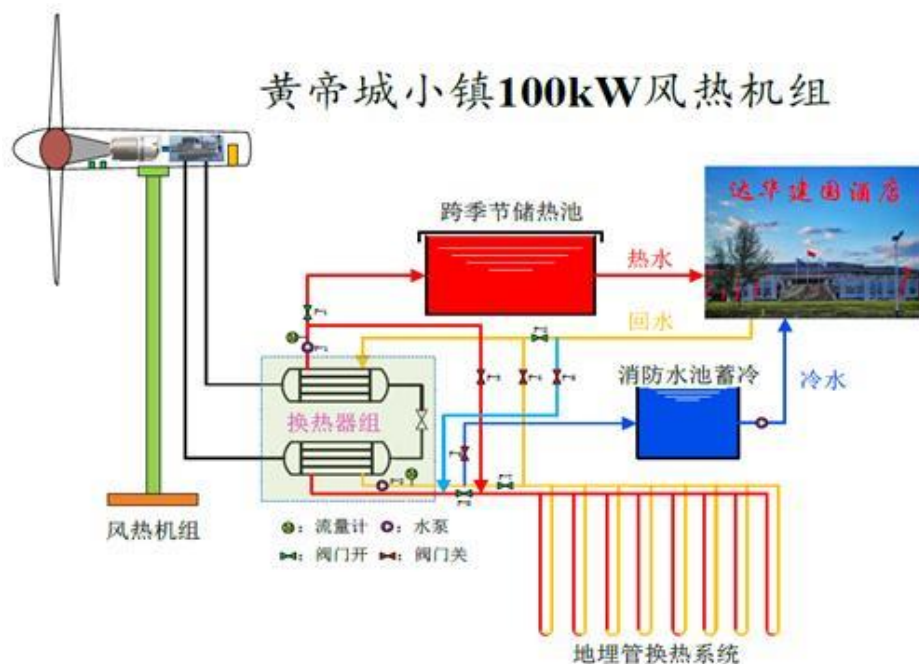


图1 风力驱动管式致热器系统



1. 风及风能的特性

1.4 风能的利用历史

➤ 风力提水



1. 风及风能的特性

1.4 风能的利用历史

➤ 风力发电



目 录

1. 风及风能的特性
2. 风力机的种类及结构
3. 风力发电系统
4. 风力发电发展
5. 思考题

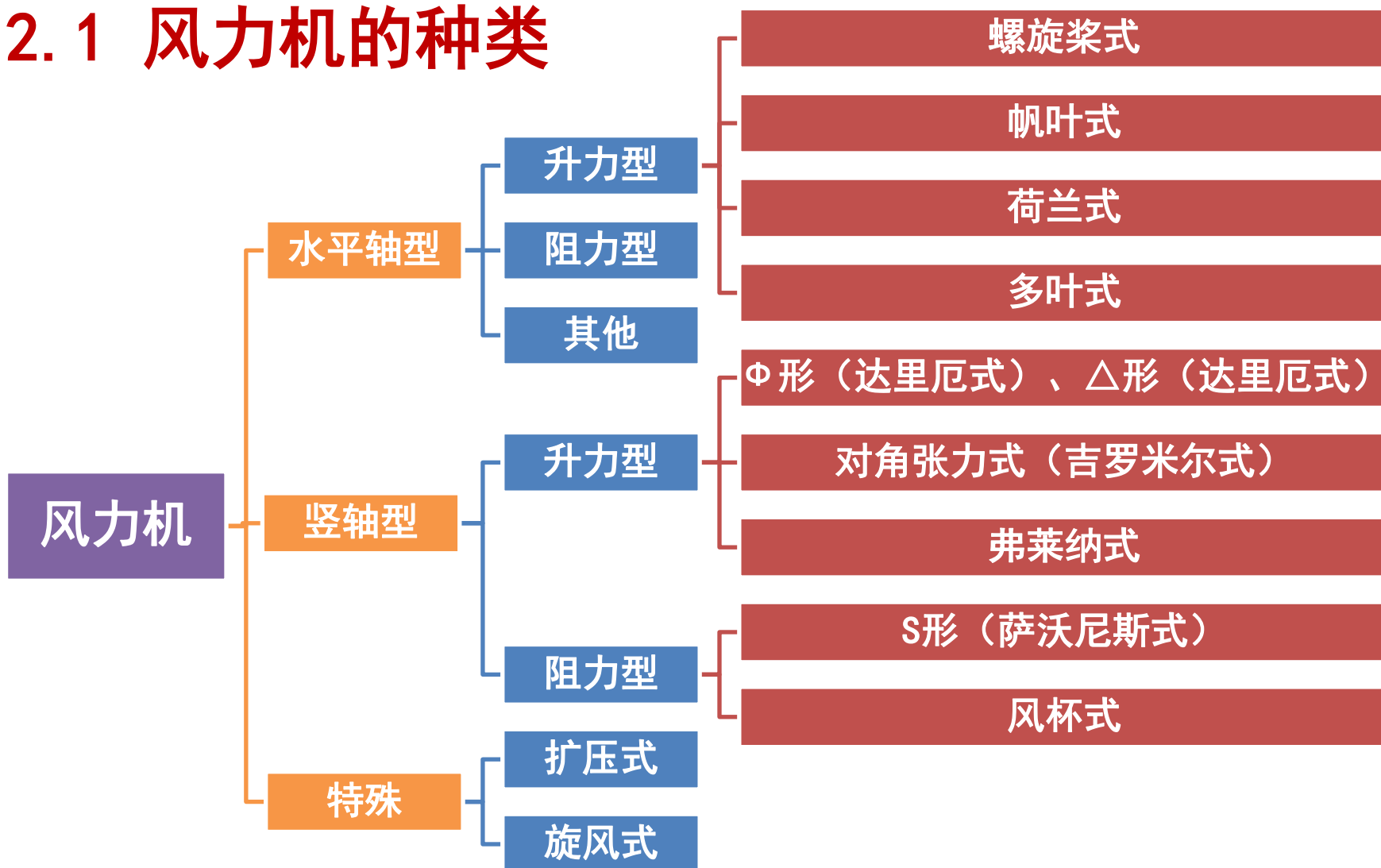
2. 风力机的种类及结构

2.1 风力机的种类

- ◆ 按**风轮轴与地面的相对位置**，分为**水平轴型**和**竖轴（立轴）型**
- ◆ 按**叶片工作原理**，分为**升力型**和**阻力型**
- ◆ 按**风力机的用途**分类，有**风力发电机**、**风力提水机**、**风力铡草机**、**风力脱谷机**等
- ◆ 按**风轮叶片的叶尖线速度与吹来的风速之比的大小**来分，有**高速风力机**（比值大于3）和**低速风力机**（比值小于3）；也有把该比值2~5者称为**中速风力机**
- ◆ 按**风机容量大小**分类：**国际上**通常分为**小型**（100kW以下）、**中型**（100~1000kW）和**大型**（1000kW以上）3种；**我国**则分成**微型**（1kW以下）、**小型**（1~10kW）、**中型**（10~100kW）和**大型**（100kW以上）4种；也有的将1000kW以上的风机称为**巨型**风力机
- ◆ 按**风轮相对于塔架的位置**，分为**上风式（前置式）**和**下风式（后置式）**
- ◆ 按**风轮的叶片数量**，分**单叶片**、**双叶片**、**三叶片**、**四叶片**及**多叶片式**
- ◆ 按**叶片的形状**，可分为**螺旋桨式**、**十字形**、**H形**、**O形**、**S形**等
- ◆ 按**叶片与轮毂的连接**分为**定桨型**和**变桨型**

2. 风力机的种类及结构

2.1 风力机的种类

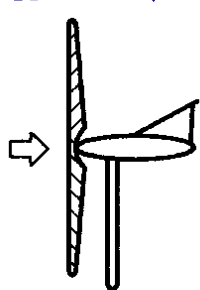


风力发电所采用的风力机，水平轴型的占绝大多数，达**98%**以上。

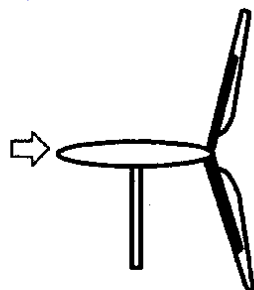
2. 风力机的种类及结构

2.1 风力机的种类

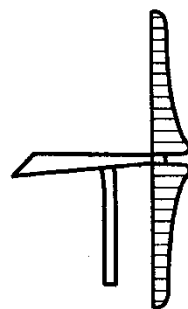
➤ 水平轴型风力机



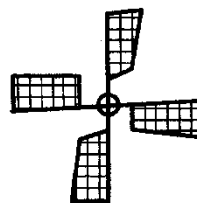
上风式



下风式



帆叶式



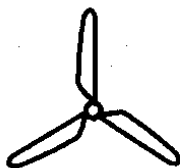
荷兰式



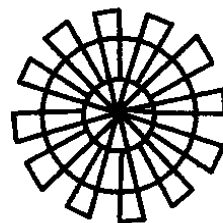
单叶片



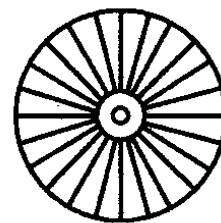
双叶片



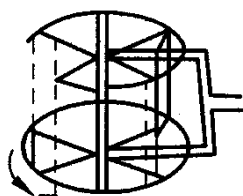
三叶片



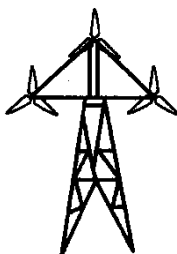
美国农场多叶片



自行车轮多叶式



挡板式



多转子式



安德罗式



反向旋转叶片式

2. 风力机的种类及结构

2.1 风力机的种类

➤ 竖轴型风力机

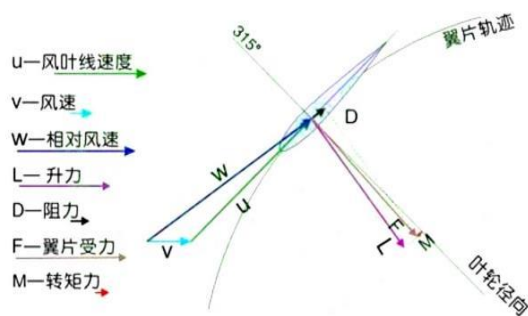
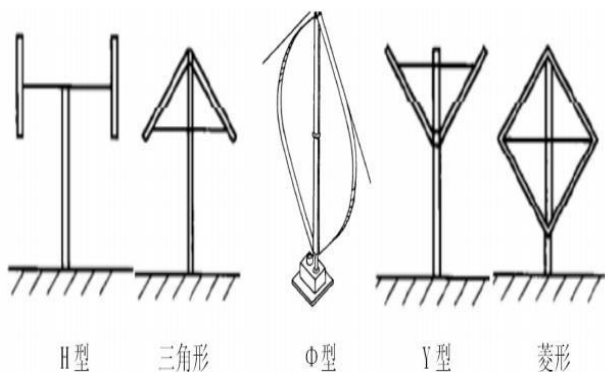


图2 H型垂直轴风力发电机

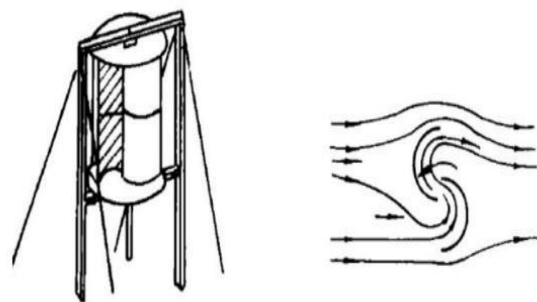
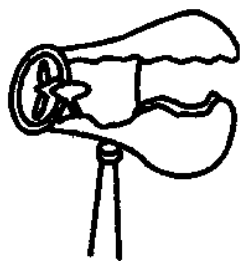
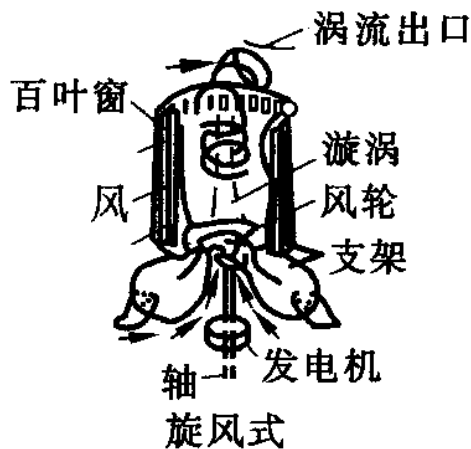


图3 Savonius阻力型垂直轴风力机

➤ 特殊型风力机



扩压式



2. 风力机的种类及结构

2.1 风力机的种类

➤ 升力型风力机

◆ 依靠叶片产生的升力作为旋转动力以气流中的获取能量

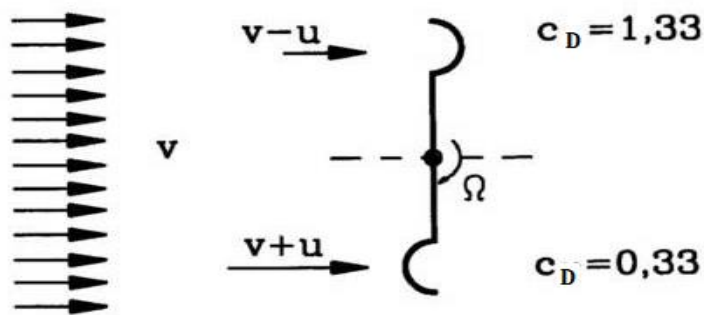


2. 风力机的种类及结构

2.1 风力机的种类

➤ 阻力型风力机

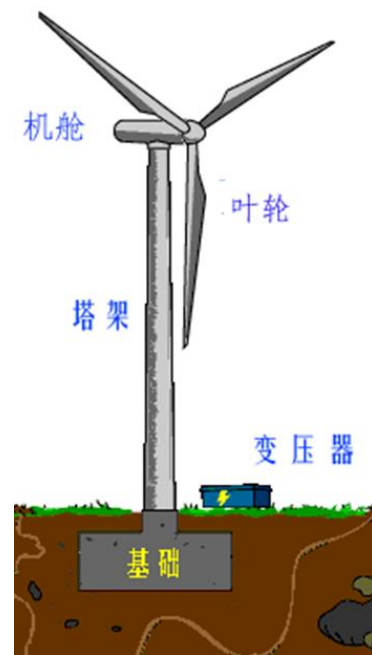
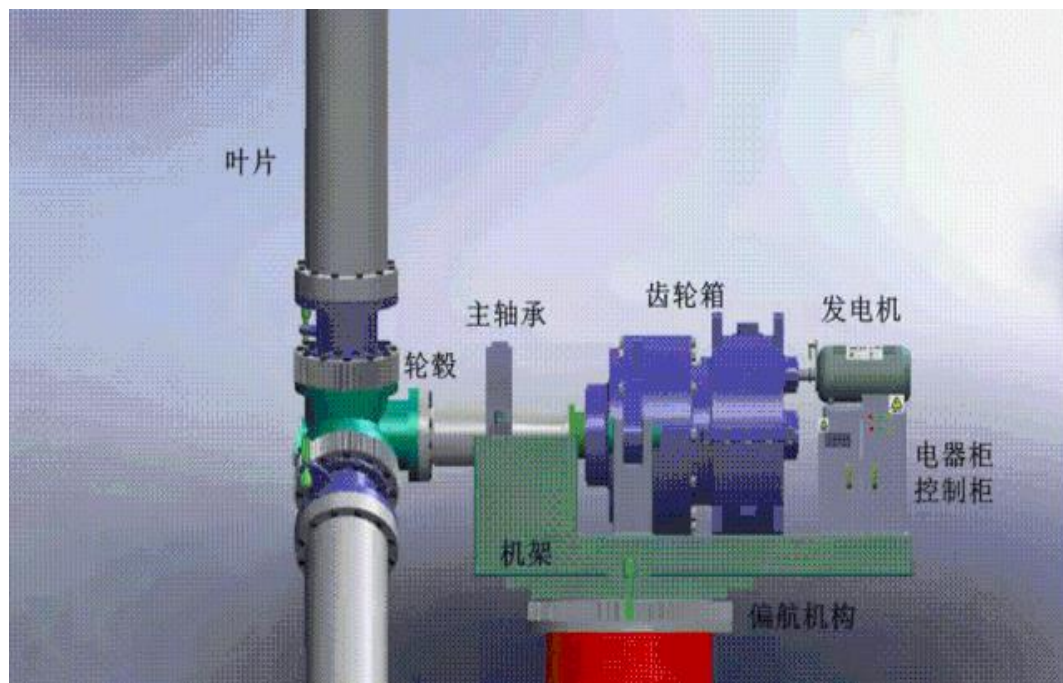
- ◆ 阻力型风机依靠叶片在气流流动方向上的阻挡作用产生的反作用力作为旋转动力以获取气流中的能量



2. 风力机的种类及结构

2.2 风力机的结构

- 风力发电机组是由风轮、传动系统、偏航系统、液压系统、制动系统、发电机、控制与安全系统、机舱、塔架和基础等组成。



2. 风力机的种类及结构

2.2 风力机的结构

- **风轮**是风力机最重要的部件，其作用是捕捉和吸收风能，并将风能转变为机械能，由风轮轴将能量送至传动装置。
- **控制系统**包括调速（限速）机构和调向机构（偏航系统）。
- **传动装置**是将风轮轴的机械能送至做功装置的机构，如增速机构、齿轮、皮带等
- **做功装置**根据既定意图不同有发电机、水泵、粉碎机、铡草机等
- **蓄能装置**为了把有风或大风时捕捉的能量多余的部分储存起来，供无风时使用，如风力发电机的蓄电池、风力提水机的蓄水罐等
- **塔架**用来支撑风轮、控制系统和机舱等机头部件
- **附属装置**，根据风力机用途还有一些附属装置，如机舱、机座、回转体、停车机构等，它们主要配合主要部件工作，保证风力机的正常运行。

2. 风力机的种类及结构

2.3 风力机如何运行

当风速达到启动风速时，风轮机开始运行，带动发电机发电。随着风速增加发电机的功率开始增加。

达到设计风速时，风力发电机可以达到额定功率。当风速进一步增加时，风力发电机的能量控制开始工作，使发电机不会超负荷，而是在额定点附近工作。

如果风速进一步增大超过了能量控制调节的范围，风力发电机就会实施停机保护。



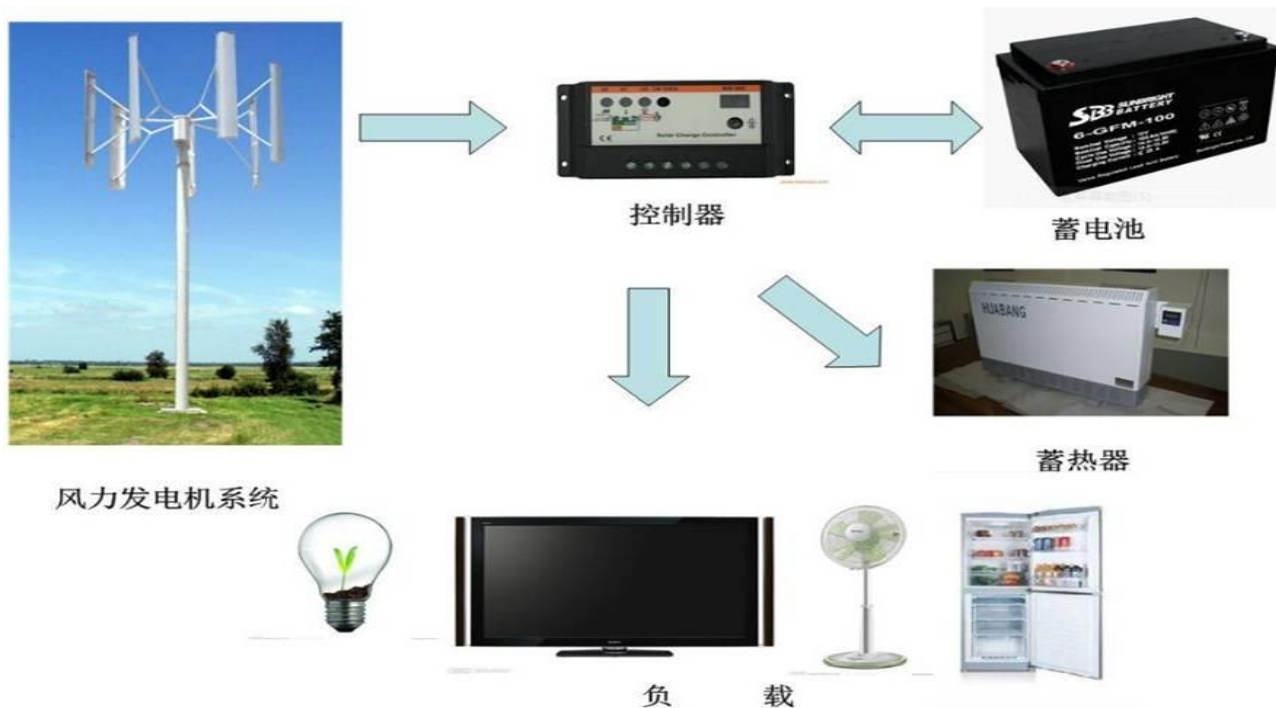
目 录

1. 风及风能的特性
2. 风力机的种类及结构
3. 风力发电系统
4. 风力发电发展
5. 思考题

3. 风力发电系统

3.1 独立型风力发电系统

风力发电机组独立运行是一种比较简单的运行方式。由于风能的不稳定性，需要配置充电装置，最普遍使用的充电装置为蓄电池，当风力发电机在运转时，为用电装置提供电力，同时将多余的电能向蓄电池充电。根据供电系统的不同可分为**直流系统**和**交流系统**。



3. 风力发电系统

3.1 独立型风力发电系统

➤ 直流系统

独立运行的直流风力发电系统为由一个风力机驱动的小型直流发电机经蓄电池蓄能装置向**电阻性**负载供电。

风力发电机

控制器

蓄电池组

用户

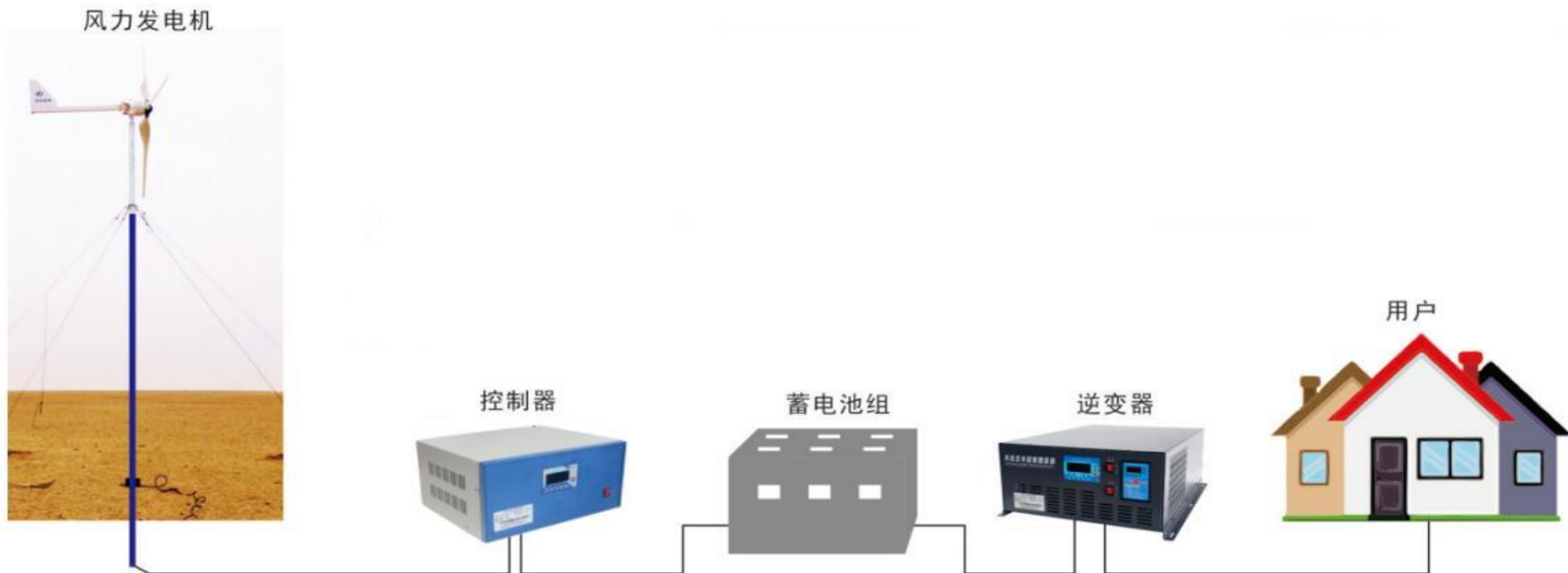


3. 风力发电系统

3.1 独立型风力发电系统

➤ 交流系统

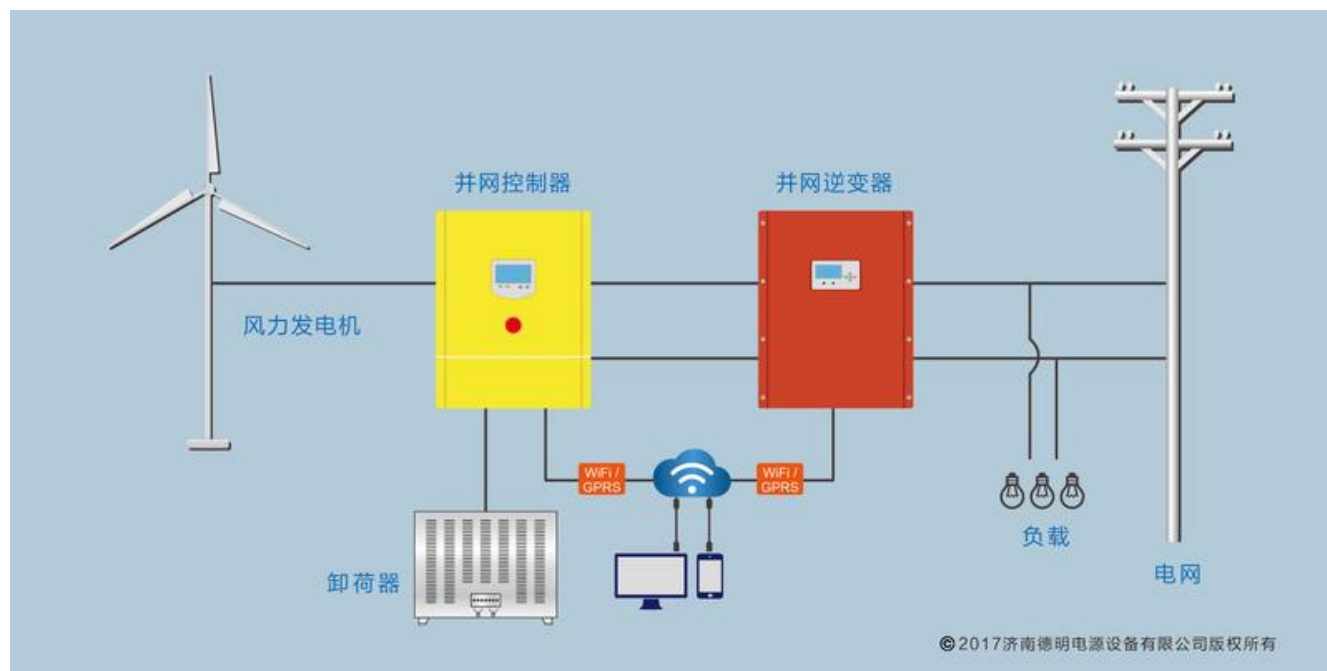
如果在蓄电池的正负极两端直接接上直流负载，则构成了一个由交流发电机经整流器组成整流后向蓄电池充电及向直流负载供电的系统。如果在蓄电池的正负极接上**逆变器**，则可向**交流**负载供电。



3. 风力发电系统

3.2 并网运行风力发电系统

指接入电力系统运行且**规模较大**的风力发电场。单机容量一般在数百kW及MW。并网运行的风力发电场可以得到大电网的补偿和支撑，大功率风电机组并网发电是高效大规模利用风能最经济的方式，是当今世界利用风能的**主要方式**。



3. 风力发电系统

3.2 并网运行风力发电系统

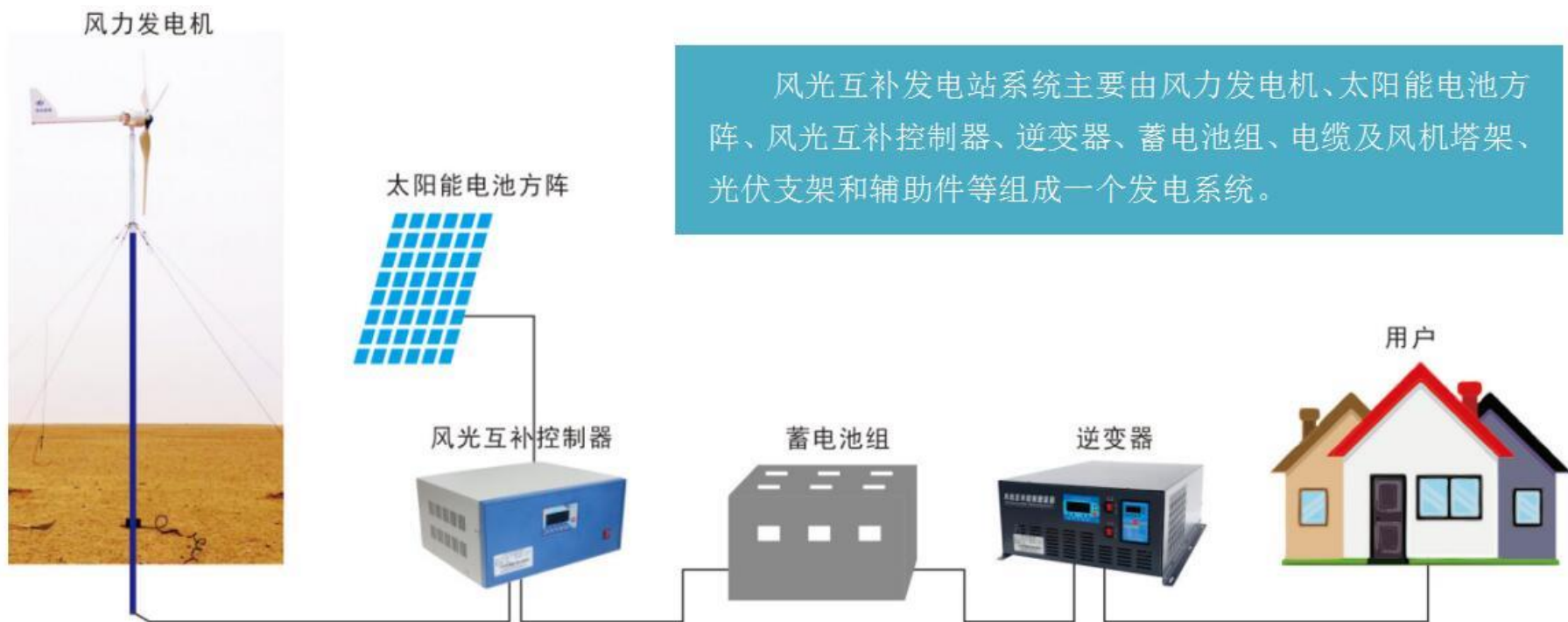
➤ 分类

- ◆ 双速异步发电机
- ◆ 滑差可调的绕线式异步发电机
- ◆ 变速双馈异步发电机
- ◆ 变速交流发电机经变频器与电网连接运行
- ◆ 直接驱动低速交流发电机经变频器与电网连接运行
- ◆ 变速经滑差连接器驱动同步发电机

3. 风力发电系统

3.3 互补型风力发电系统

在互补运行的风力发电系统中，除了有风力发电装置之外，还带有一套**备用的发电系统**，经常采用的是柴油机，也有利用太阳能电池。在风力发电机不能提供足够的电力时由太阳能电池提供备用的电力，以实现**连续、稳定**的供电。

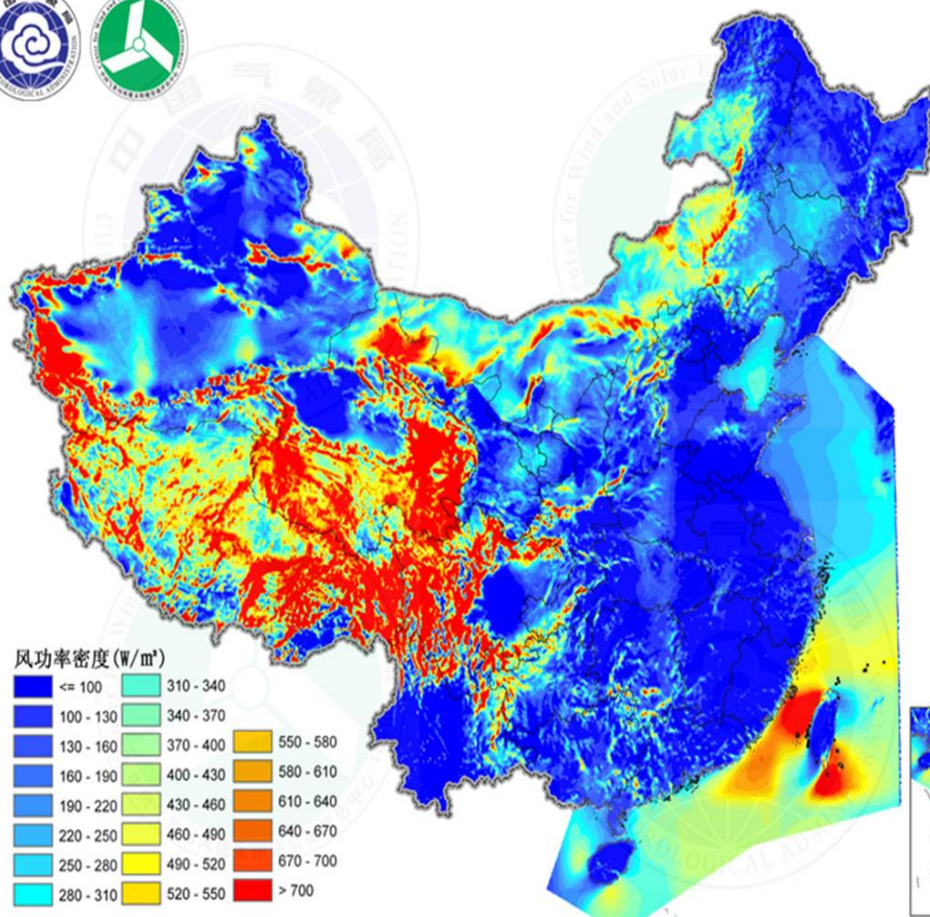


目 录

1. 风及风能的特性
2. 风力机的种类及结构
3. 风力发电系统
4. 风力发电发展
5. 思考题

4. 风力发电发展

4.1 我国资源分布

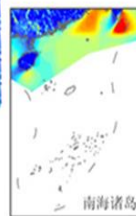


风能资源丰富和较丰富的地区主要在三个大带里。

第一是三北（东北、华北、西北）地区丰富带。

第二是沿海及其岛屿地区丰富带。另外在一些地区由于湖泊和特殊地带的影晌，风能也较为丰富。成为内陆风能丰富地区

第三是青藏地区丰富带



4. 风力发电发展

4.1 我国资源分布

指标	丰富区	较丰富区	可利用区	贫乏区
年有效风能密度 (W/m^2)	>200	150-200	50-150	<50
年 $\geq 3m/s$ 累计小时数(h)	>5000	4000-5000	2000-4000	<2000
年 $\geq 6m/s$ 累计小时数(h)	>2200	1500-2200	350-1500	<350
占全国面积的百分比(%)	8	18	50	24

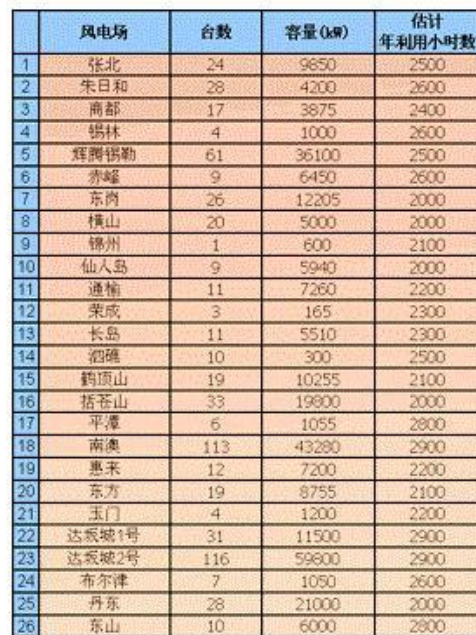
我国风能分区及面积占比

4. 风力发电发展

4.1 我国资源分布

省区	风能储量	省区	风能储量	省区	风能储量
内蒙	6,177.5	山东	393.6	湖北	192.7
西藏	3,993.0	山西	387.1	广西	168.1
新疆	3,433.0	河南	367.5	浙江	163.5
青海	2,421.4	云南	366.6	宁夏	148.4
黑龙江	1,722.8	江西	292.9	福建	137.2
甘肃	1,143.0	安徽	250.5	贵州	100.6
吉林	637.5	湖南	246.5	台湾	104.8
河北	611.9	江苏	237.6	海南	64.0
辽宁	605.8	陕西	234.2		
四川	435.8	广东	195.0	全国合计	25,300.0

4.1 我国资源分布 中国风电场分布图



4. 风力发电发展

4.1 我国资源分布

东海大桥海上风电场



内蒙古乌兰察布风电场

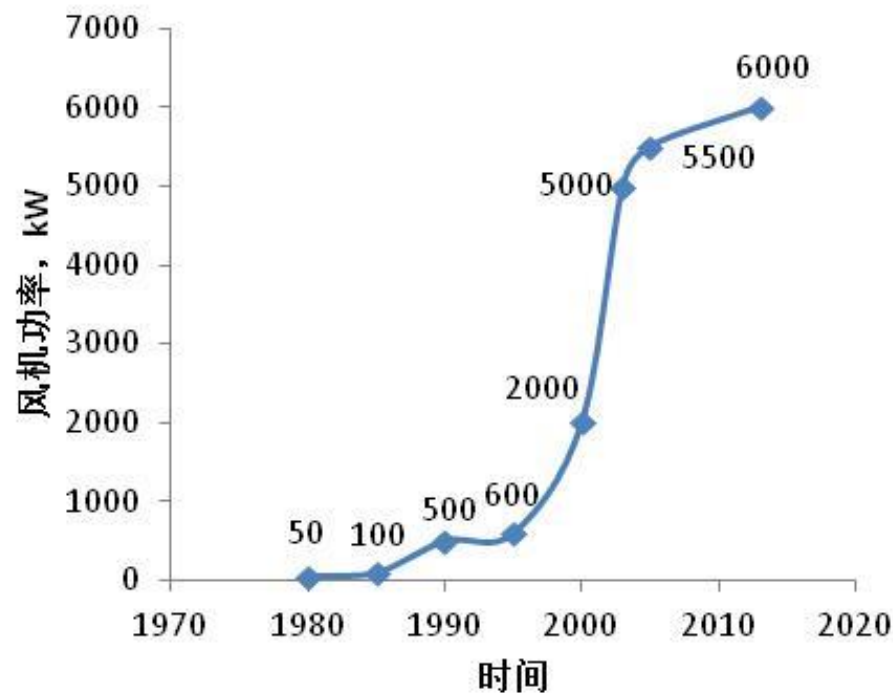
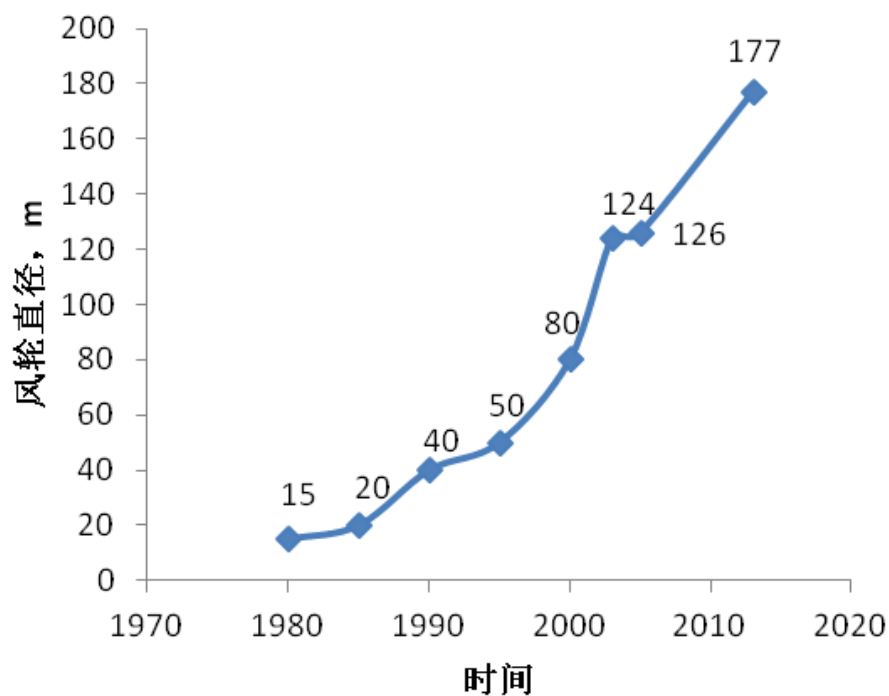


4. 风力发电发展

4.2 风电行业现状

➤ 风力发电机容量和风轮直径发展

风轮直径和发电机单机容量越来越大



4. 风力发电发展

4.2 风电行业发展趋势

“十四五”期间我国风电仍有大幅增长空间。

类别/区域	2019年		2025年	
	容量	占比	容量	占比
装机合计	20915	——	53602	——
陆上风电	20318	97.2%	50602	94.4%
海上风电	597	2.8%	3000	5.6%
开发方式				
集中式	20205	96.2%	50602	94.4%
分散式	800	3.8%	3000	5.6%
区域分布				
西部、北部	13620	64.8%	31526	58.8%
东中部	7385	35.2%	22076	41.2%

“十四五”风电装机规划及分布（单位：万千瓦）

4. 风力发电发展

4.2 风电行业发展趋势 向海上风电场发展



2013-2020年中国海上风电新增及累计装机容量（单位：万千瓦）

4. 风力发电发展

4.2 风电行业发展趋势

➤ 海上风电的优势

- ◆ 海上**风能资源比陆地大**，不但风速高，而且海上很少有静风期，能更有效利用风电机组的发电容量；
- ◆ 海上表面粗糙度低，海平面摩擦力小，风随高度变化小，不需要很高的塔架，可**降低风电机组成本**；
- ◆ 海面与其上面的空气温差小，海上风的湍流强度低，作用在风电机组的疲劳载荷小，可**延长使用寿命**。一般陆上风电机组设计寿命20年，可在海上运行25年；
- ◆ 海上面积辽阔，**项目规模可以大**，风电场距离海岸较远，**不影响景观**。

4. 风力发电发展

4.2 风电行业发展趋势

➤ 海上风电的缺点

- ◆ 要承受的风载荷大，还要承受海浪带来的负荷，抵抗海洋环境的盐雾腐蚀
- ◆ 运输和吊装条件受限，需要自备吊装主要部件的起重设备，避免因维修而等待大型浮吊造成的损失；
- ◆ 海上风电机组基础成本高



4. 风力发电发展

4.3 风电场选址

- 建设风电场除了要考虑风速条件外，还要综合考虑场地状况、道路状况、接入电网的条件等因素。一个完整的风电场项目，一般包括以下几个步骤：

- ◆ 风电场选址
- ◆ 项目可行性评估
- ◆ 项目准备
- ◆ 风电场建设
- ◆ 风电场运行和维护
- ◆ 风电场退役
- ◆ 场地恢复



4. 风力发电发展

4.3 风电场选址

➤ 一般需要考虑以下一些因素：

◆ 风能资源

主要考虑年平均风速，风速频率，年发电量和容量系数

容量系数：发电机组的年度电能净输出，与风电机组额定容量与全年运行8760h的乘机比值称为风电机组的容量系数。

◆ 风电场地的状况

场地应该开阔，地质条件好，便于大规模开发。

◆ 交通运输方便

◆ 并网条件好

距离电网越近，并网资源越少，线损和压降也越小

◆ 不利气象条件和环境的影响

各种不利因素可能影响发电机组的寿命

◆ 土地征用和环境影响

4. 风力发电发展

4.4 全球最大海上风电机组

► 机组参数：

额定容量：16MW

高度：264m

叶片长度：118m

转轮直径：242m

年能源产量（AEP）：8000 万千瓦时，足以为 20000 多户家庭供电，比其前身 MySE 11.0-203 高 45%

环境效益：与燃煤发电相比，在运行 25 年期间，每台涡轮机减少了160 万吨二氧化碳排放



MySE16.0-242海上风电机组

目 录

1. 风及风能的特性
2. 风力机的种类及结构
3. 风力发电系统
4. 风力发电发展
5. 思考题

思考题

- 1、如何有效利用我国的风力资源
- 2、如何因地制宜地布置风力发电机
- 3、如何使风力发电变成优质能源
- 4、如何更好的进行风力发电站选址



谢谢大家

