



新能源与环保技术

NEWENERGY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGY

国家级职业教育教师教学创新团队共同体

风力发电工程技术专业

课程拓展资源

湖南电气职业技术学院



在内蒙、甘肃、河北、吉林、新疆、江苏、山东等省区建设大型风电基地



基本知识风力发电机 (1)

制作单位：湖南电气职业技术学院

制作时间：2022年9月

目录 Contents



PART 01

风力机基础知识



PART 02

风的测量



PART 03

风力机的原理与组成



PART 04

叶片的气动特性



PART 05

风轮实度



PART 06

机舱设备与塔架



PART 07

风力机对风装置



PART 08

风力机调速方式



PART 09

独立变桨距系统



PART 10

齿形带传动变桨



目录 Contents



PART 11

[统一变桨驱动机构-1](#)



PART 12

[统一变桨驱动机构-2](#)



PART 13

[直驱式风力发电机](#)



PART 14

[双馈风力发电机组](#)



PART 15

[扩散放大器风力机](#)



PART 16

[高空风筝风力发电机](#)



PART 17

[圆柱齿轮增速箱](#)



PART 18

[行星齿轮增速箱](#)



PART 19

[风力发电机的轴承](#)



PART 20

[水平轴风力机图片](#)



超声波式风速风向仪

超声波风速风向仪也叫超声波风速风向传感器，有多种测量计算方法，其中传播时差法简单也用得较多。时差法通过超声波在空气中的传播速度来测量风速，顺风传播速度快，逆风传播速度慢，风速为零时双向速度一样。图4就是一个超声波风速风向仪，在上方有四个超声波探头，每个探头即可发送超声波也能接受超声波，相对的两个探头是一组。每一组探头可测出相对方向的风速，两组探头联合则可测出具体的风速与风向。

超声波式风速风向仪最大优点是无机械磨损，缺点是尺寸大些，雨、雪、霜、雾、沙尘会影响测量，使输出误差加大。采用探头加热技术，可防止冰雪对传感器造成的影响，以适合在恶劣天气条件下使用。

大型风力机都安装有风向与风速测量传感器，风向传感器向风力机偏航控制器实时提供信号，控制器驱动偏航电机保证风力机准确对风；风速传感器向风力机控制器提供风速信号，控制器根据风速、负荷调整桨距角，使风力机运行在最佳状态。

近些年激光测风雷达技术进展较快，开始在风力发电机组安装应用。



图4--超声波风速风向传感器

03

风力机的原理与组成

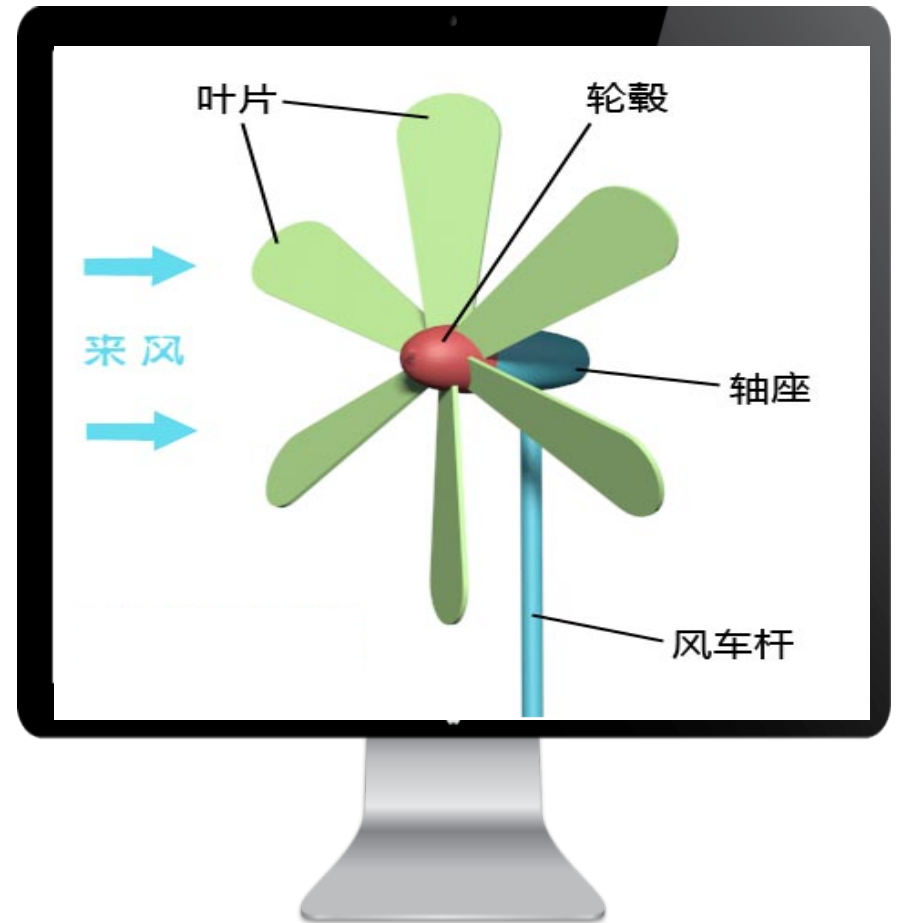
风力机的原理与组成 *(Horizontal Axis Wind Turbine Composition and Form)*

水平轴风力机的工作原理与结构形式

薄板叶片的玩具风车

水平轴风力机的风轮旋转轴是水平方向的，和地面与风向基本平行。图1是一个玩具风车，在风车杆上固定有轴座，轴座前方有轮毂，两者通过风车轴相连，轮毂可绕风车轴自由旋转。风车有6个叶片，叶片固定在轮毂上，叶片与风车轴垂直，叶片之间的夹角是60度，6个叶片与轮毂组成风轮，每个叶片相对于风轮平面有25度（或相近角度）的倾斜角度。当风车轴与来风平行时，风轮就会旋转起来。

图1 薄板叶片的玩具风车



风力机的原理与组成

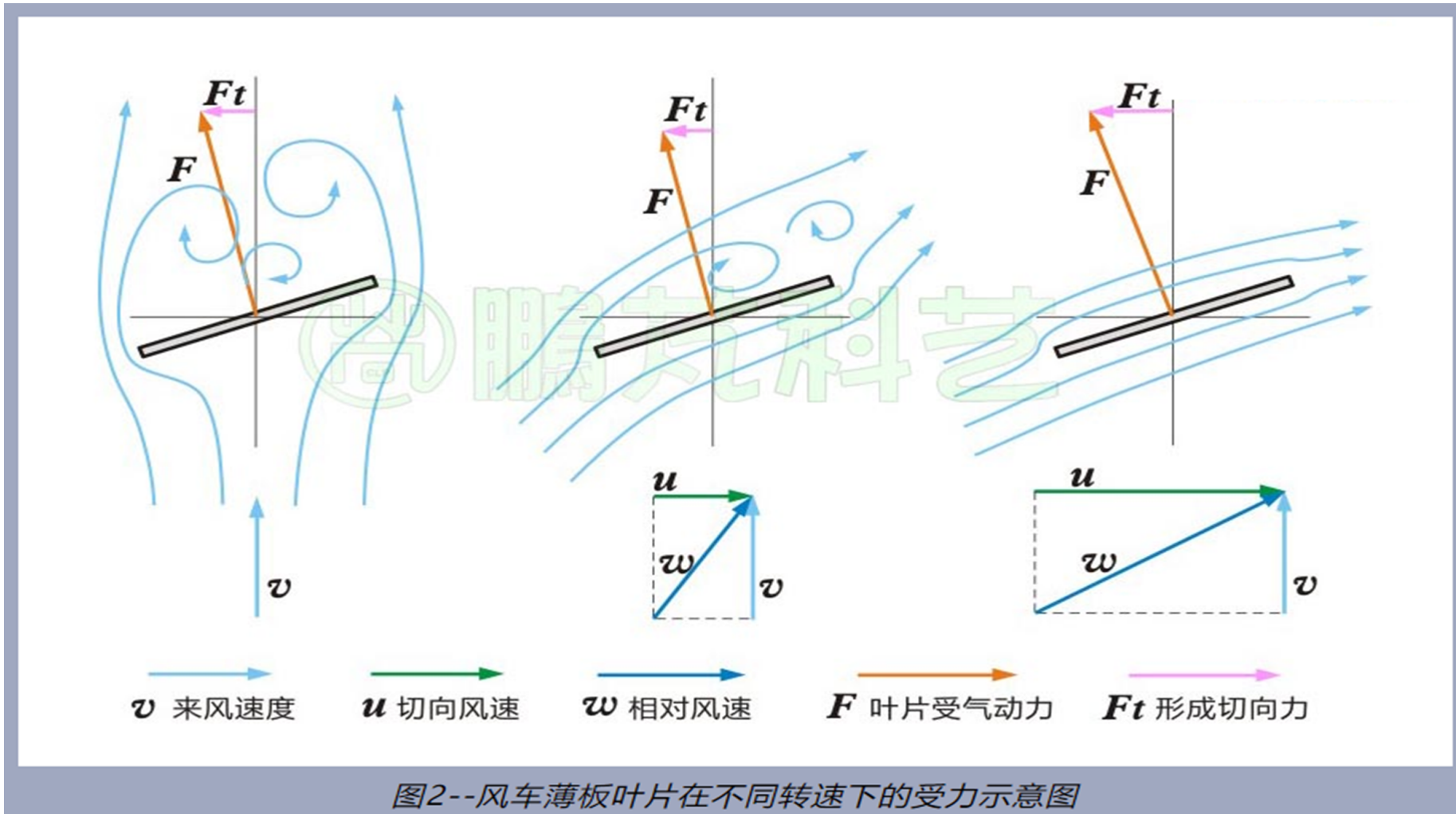
水平轴风力机的工作原理与结构形式

图2左图是风车还未转动时的气流状态，此时气流从薄板叶片两边绕过，并在叶片后方形成涡流，叶片前方（相对画面是下方）与后方会有较大的压差，由于叶片并非垂直于风向，气流在叶片上产生的压差合力 F 与风轮转轴间有一个角度，该角度使 F 在叶片运动方向产生分力 F_t ， F_t 与此处风轮圆周相切，推动叶片向左方转动，于是风车开始转动， F_t 也称为切向力。

图2中图是风车以中等速度转动时的气流状态，此时的风速仍为 v ，由于风车已经转动，薄板叶片该截面处的线速度为 u ，方向向左，于是叶片受到的来风除了 v 外还有来自左方的气流 u ， v 与 u 的合成风速为 w ，见下方矢量合成图，相对风速 w 是薄板叶片受到的真正来风方向。图的上方表示叶片此时的气流状态，由于来风 w 的方向与叶片还有较大夹角，见下方矢量图中的 w 与上方叶片的夹角，气流流经叶片时在叶片后方产生有涡流，叶片工作在失速状态，虽有一定的升力但阻力也较大，其合成力为 F ， F 在叶片运动方向产生分力 F_t ， F_t 推动叶片向左方运动。

风力机的原理与组成

水平轴风力机的工作原理与结构形式



风力机的原理与组成

水平轴风力机的工作原理与结构形式

采用薄板叶片的荷兰风车

像小风车这样采用薄板叶片的风力机很早就得到应用，典型的是荷兰风车，早在13世纪荷兰人就广泛使用风力机进行抽水、辗磨谷物、加工大麦等工作。十八世纪末，荷兰全国的风车约有一万二千座，高高耸立的抽水风车，使荷兰从大海中取得近乎国土三分之一的土地，这是古代风力机应用创造的伟大奇迹，当然这也得益于荷兰一年四季盛吹西风，才有如此动力。后来蒸汽机、内燃机和电动机的发明与应用逐渐淘汰了大部分风车，目前荷兰还有两千余架各式各样的风车，由于利用的是自然风力，没有污染，其中许多仍在发挥作用。图3是网络上荷兰风车的照片。



图3--荷兰风车

风力机的原理与组成

水平轴风力机的工作原理与结构形式

翼型叶片

薄板叶片失速角小，容易进入失速状态，现代实际应用的叶片是流线型的，叶片截面如同机翼截面，称为翼型。翼型有一定厚度，强度大、升力大、阻力小。

图5是翼型叶片在不同转速下的受力示意图，图中翼型是叶片在风轮某圆周上的截面，图中风轮转轴相对画面是垂直方向，所以叶片的运动方向相对画面是水平方向，来风的方向相对画面是向上，风速为 v 。

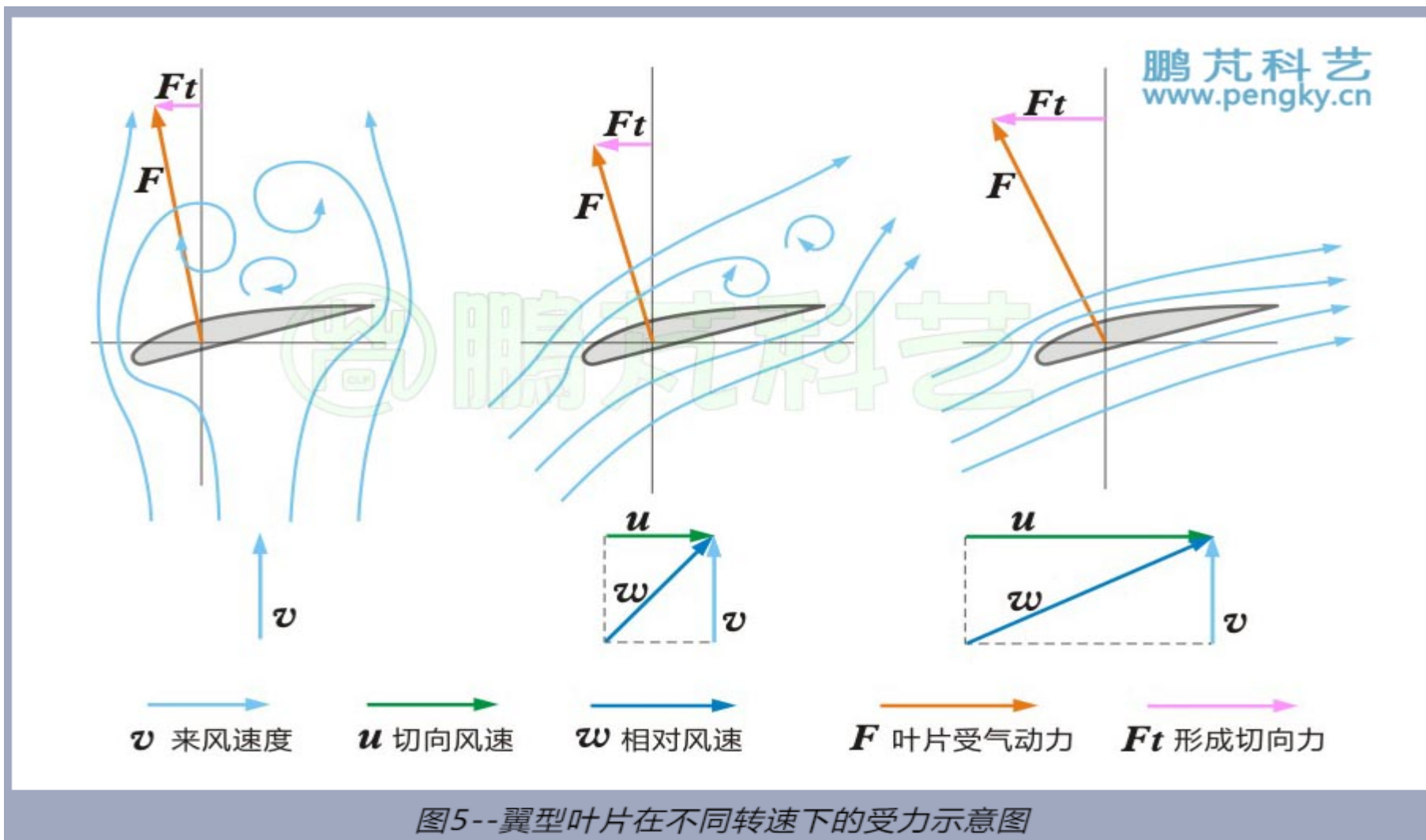
图中有3个工作状态，左图是风轮静止时的状态，中图是风轮转速较低时的状态，右图是风轮以额定转速旋转时的状态。三个状态的气流与受力分析状况与图2薄板叶片基本相同，



图4--国内早期的卧轴风车

风力机的原理与组成

水平轴风力机的工作原理与结构形式



风力机的原理与组成

水平轴风力机的工作原理与结构形式

现代的风力机大多数是水平轴风力机，水平轴风力机主要由叶片与轮毂、机舱与塔架构成。常见的风力机有三个叶片，叶片安装在轮毂上构成风轮，风吹风轮旋转带动机舱内的发电机发电，塔架是整个风力机的支撑，见图6。

风力机的叶片数目

风轮除了三叶片的还有双叶片的，甚至单叶片的



图6--水平轴风力机组成图

风力机的原理与组成

风力机的对风形式

风轮要正面对着来风方向才能最好的接受风能，面对风向，风轮在塔架前方的称为迎风式风力机，风轮在塔架背风方向的称为顺风式风力机，见图7。

使风力机自动朝向风向称为对风（偏航）功能。小型风力机普遍采用尾舵对风，风把尾舵吹向风力机后方使风轮面向风，图8中的迎风式风力机就是带尾舵的风力机。顺风式风力机勿需任何装置即可自动对风，称之为自由偏航。大中型风力机采用专门的偏航装置对风，在后面的章节有相关介绍。



图7 8--迎风式风力机与顺风式风力机

风力机的原理与组成

机舱内的主要设备

在风力机的机舱底盘上安装有主轴承、齿轮箱、发电机、偏航装置、风向风速测量、控制柜等，发电机是风力机产生电能的设备，由于发电机转速高，风轮转速低，风轮需通过齿轮箱增加转速后才能使发电机以正常转速工作；控制柜控制风力机的对风、风轮转速等；风向标测量风向发出信号给控制柜；偏航装置按控制柜的信号推动风力机进行对风。多个风力机组组成风电场，

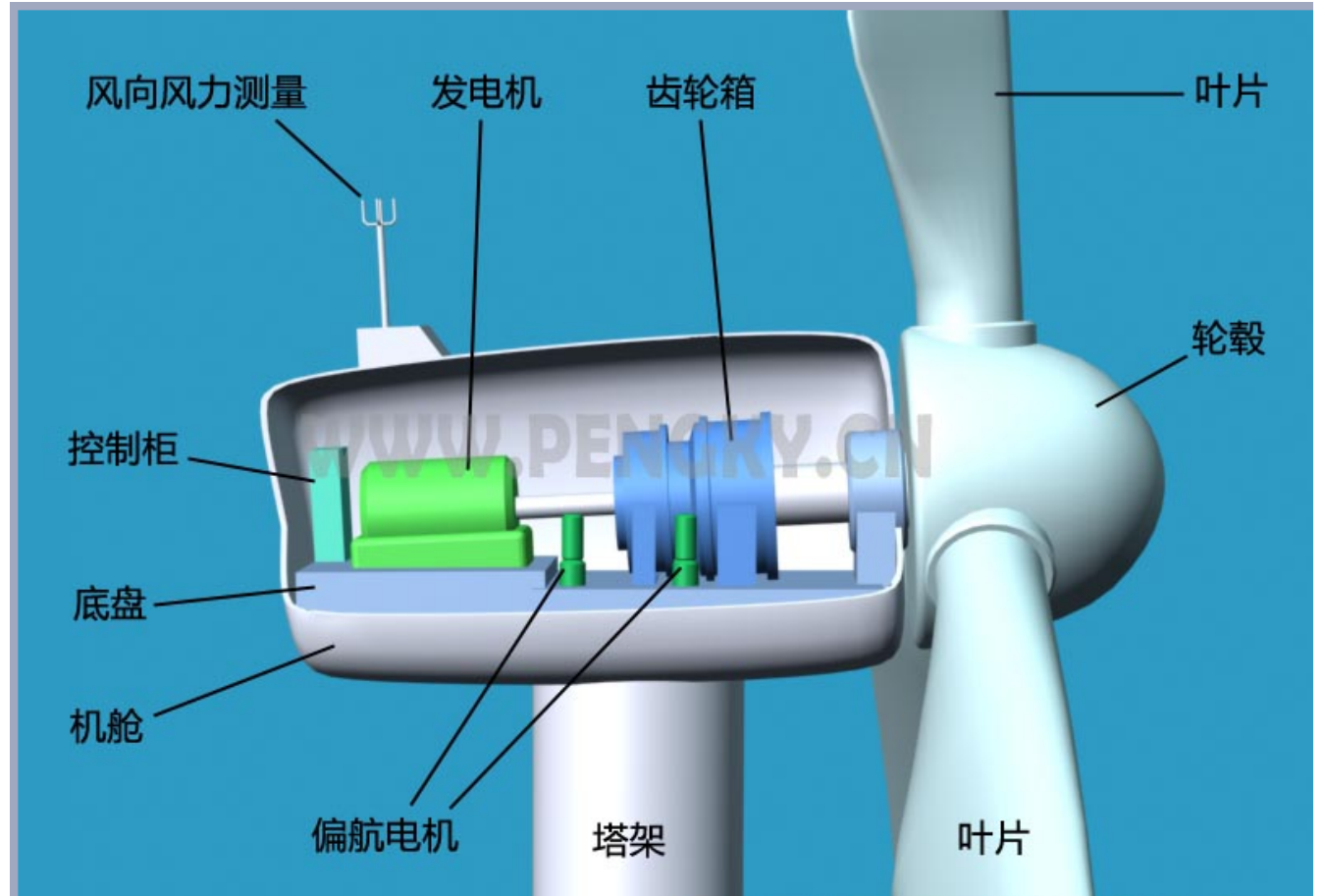


图9 --机舱主要设备示意图



本课程结束

制作单位：湖南电气职业技术学院