



**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



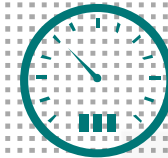
PART 12

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





04

# 叶片的气动特性与结构

# 叶片的气动特性与结构(Aerodynamics the Blades)

## 叶片的升力与失速

在风力机基础知识一节中介绍过叶片的升力与阻力，本节就水平轴风力机叶片的气动特性作进一步介绍。

图1是一个运行中的叶片截面气流图，我们称这个截面为翼型，翼型弦线与气流方向的夹角（攻角）为 $\alpha$ ，正常运行时气流附着翼型表面流过，靠近翼型上方的气流速度比下面的气流速度快，根据流体力学的伯努利原理，翼型受到一个上升的力 $F_L$ ，当然翼型也会受到气流的阻力 $F_D$ 。

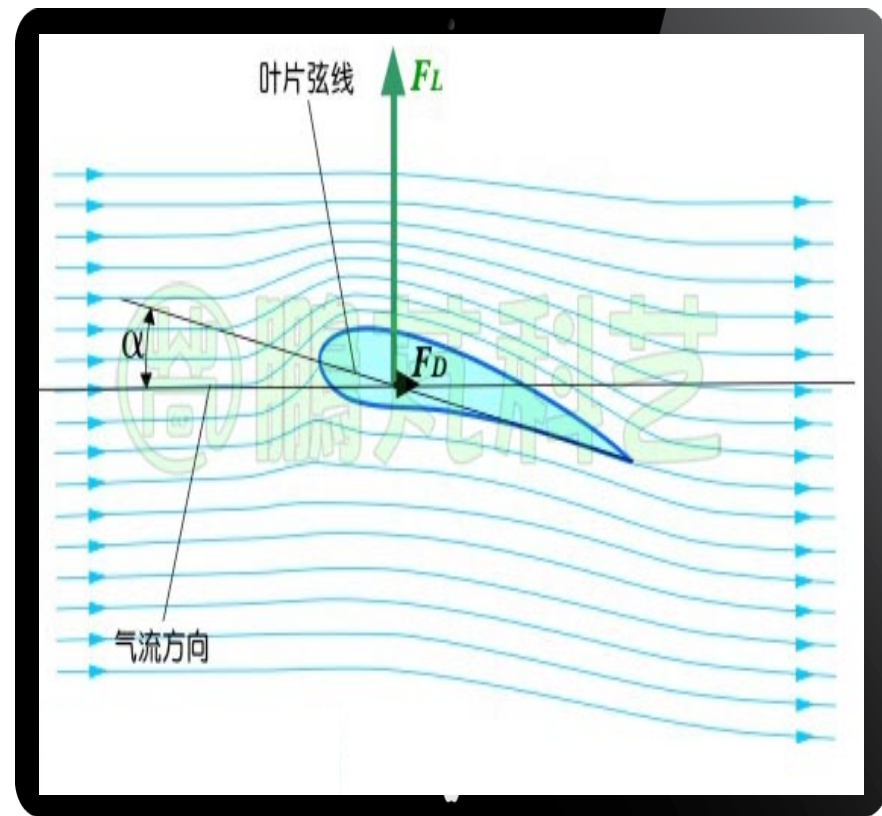


图1--翼型的攻角

## 叶片的气动特性与结构

这是正常的工作状态，有较大的升力且阻力很小。但翼型并不是在任何情况下都能产生大的升力。如果攻角 $\alpha$ 大到一定程度，气体将不再附着翼型表面流过，在翼型上方气流会发生分离，翼型前缘后方会产生涡流，导致阻力急剧上升而升力下降，这种情况称为失速，发生转变的临界角度称之为临界迎角或失速迎角，见图2。

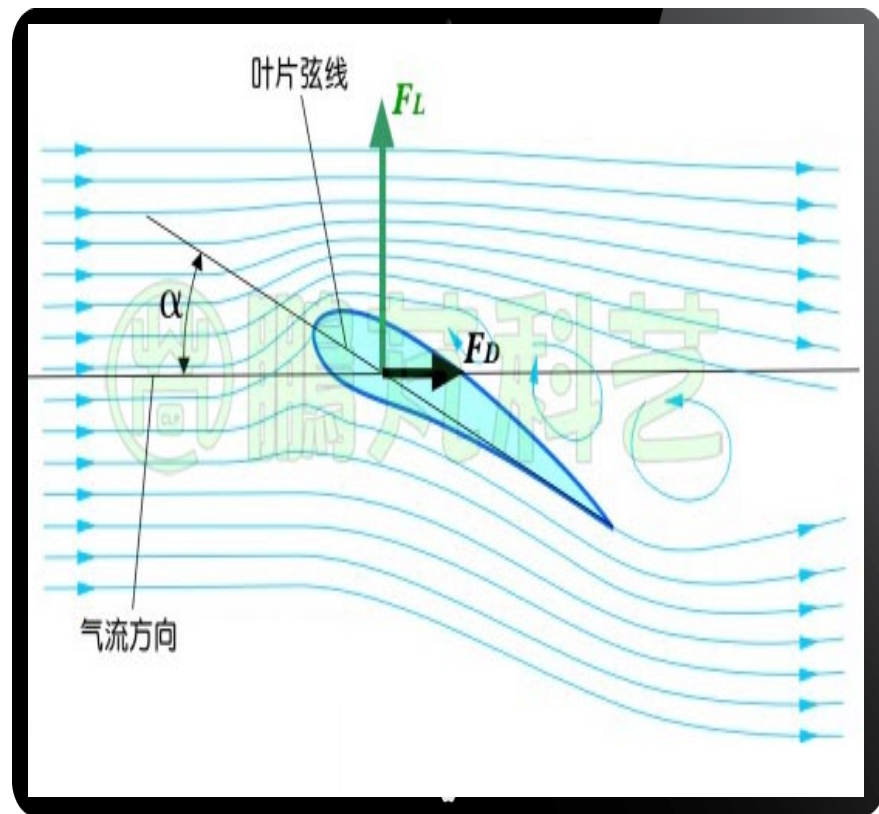


图2--攻角超过失速迎角后翼型开始失速



## 叶片的气动特性与结构

翼型什么时候开始失速，图3是一种翼型的升力系数与阻力系数随攻角的变化曲线，这是工作在理想状态下的曲线，与多数薄翼型较接近，图中绿色的是升力曲线、棕色的是阻力曲线。在曲线中可看出，攻角 $\alpha$ 在15度以下时升力随 $\alpha$ 增大而增大，当攻角 $\alpha$ 大于15度时开始失速，升力骤然下降，阻力大幅上升，在 $\alpha$ 等于45度时升力与阻力基本相等。

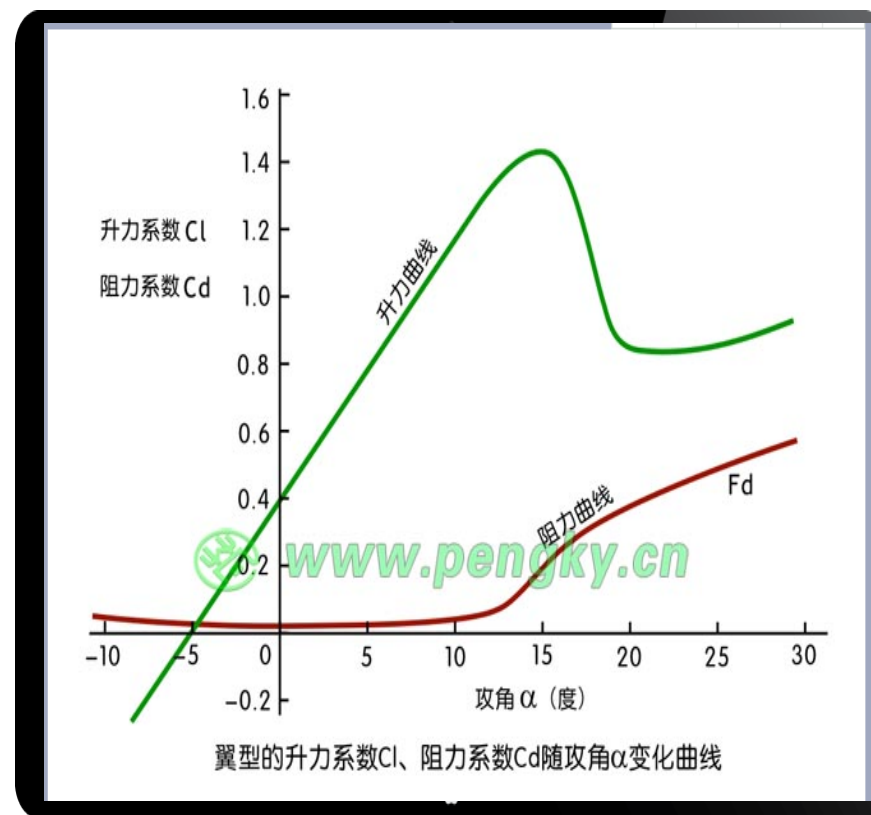


图3--翼型的升力曲线与阻力曲线

## 叶片的气动特性与结构

### 风力机的翼型

早期风力机多采用NACA系列翼型，但风力机是大型旋转机械，其叶片与飞机翼有许多不同，为保证机械强度，叶片靠根部附近的厚度要大，但阻力又不能太大；对整个叶片要求就是最大升力系数大、升阻比高、失速时气动性能稳定、气动性能对叶片前缘表面粗糙变化敏感性低等。于是20世纪80年代中期开始，一些风能技术发达的国家研究开发了各自的风力机专用翼型系列，其中代表性的有美国的NREL S翼型系列、丹麦的RISO翼型系列、瑞典的FFA-W翼型系列、荷兰的DU翼型系列，国内也开发了WA系列。

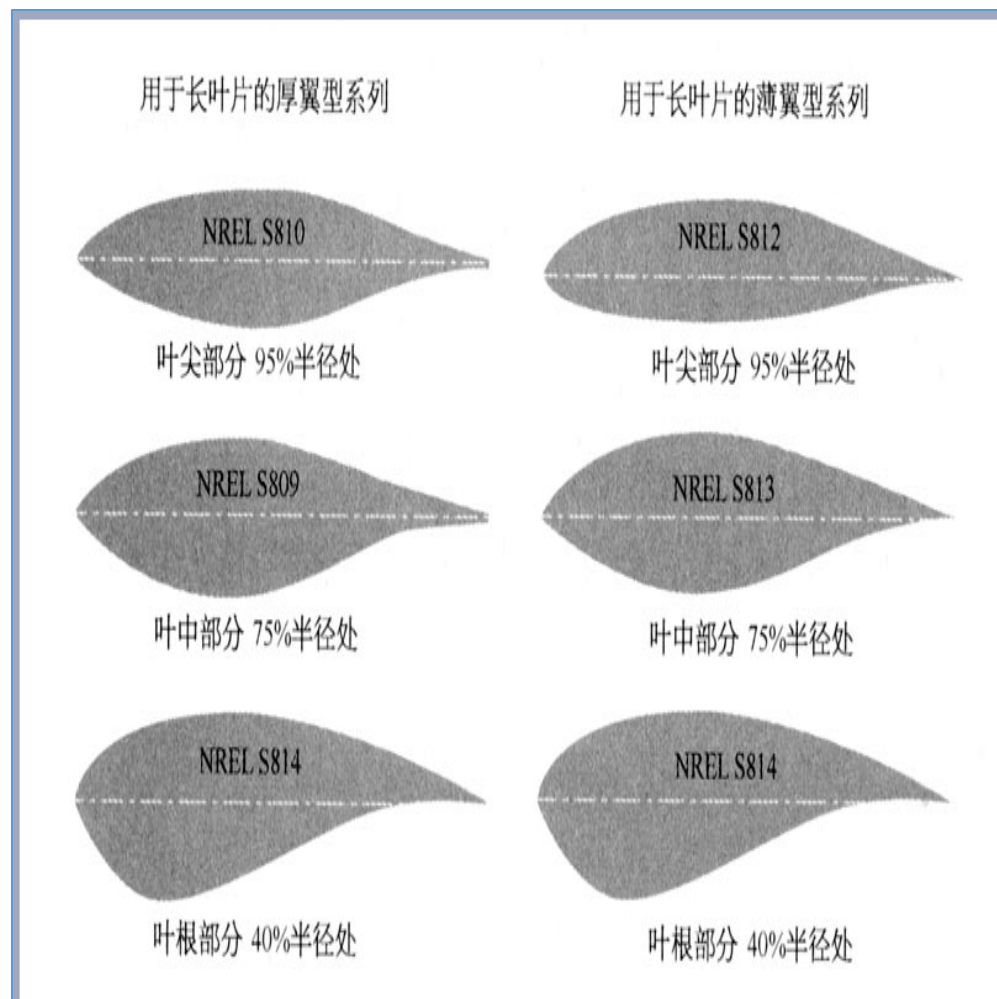
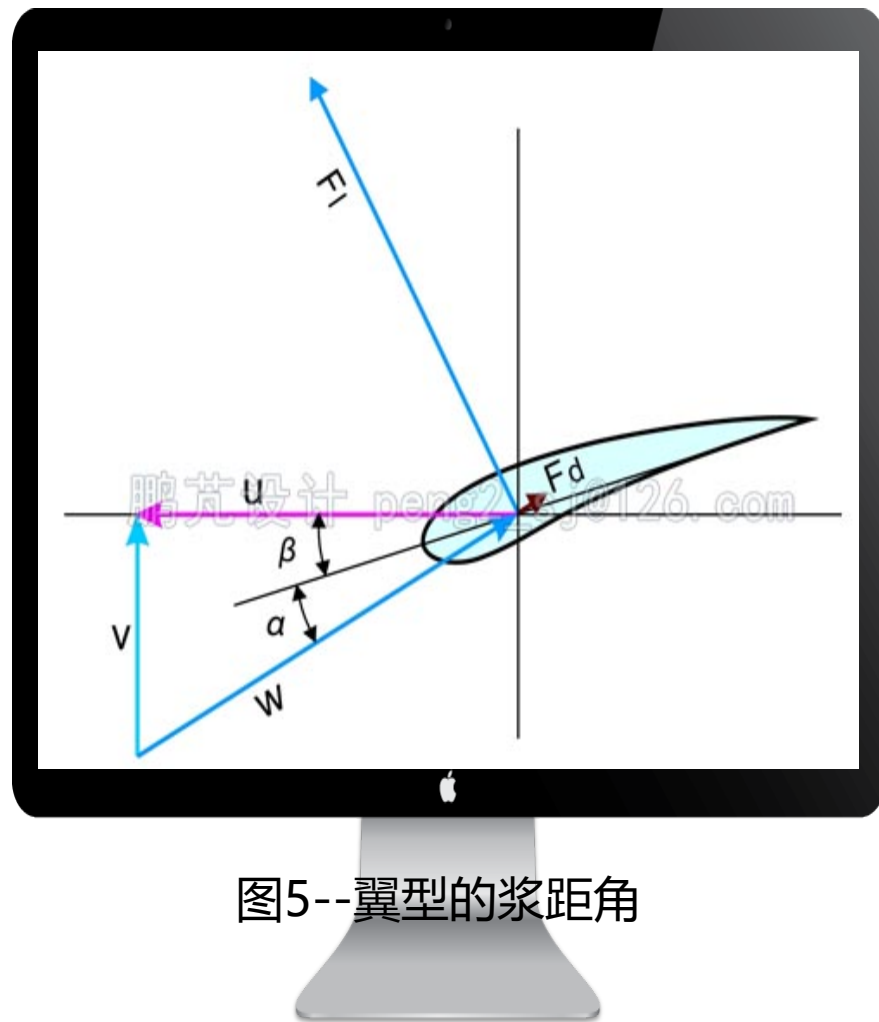


图4--风力机的专用翼型

# 叶片的气动特性与结构

## 叶片的结构

在图5中的翼型弦线与翼型前进方向有一固定的夹角 $\beta$ 称为桨距角，相对翼型的风速是外来风速 $v$ 与翼型线速度 $u$ 合成的相对风速 $w$ ，相对风速 $w$ 与翼型弦线间的夹角 $\alpha$ 是翼型的攻角。要尽量让翼型工作在失速前的攻角以获得最大的升力与较小的阻力。对于一定的风速 $v$ 与一定的线速度 $u$ 选择合适的翼型桨距角 $\beta$ 以获得最合适的攻角 $\alpha$ 。



## 叶片的气动特性与结构

实际的叶片是绕轴旋转运动的，沿叶片长度方向不同截面的线速度 $u$ 是不同的，叶尖处最快、靠叶根处最慢。对于同样的风速 $v$ ，在叶尖处相对风速与风轮平面夹角最小、在叶根处相对风速与风轮平面夹角最大，为了使叶片各段都能工作在较好的攻角，叶片必须做成扭转的。图6是一个风力机叶片，叶片上绘有各段的截面（浅绿色），每个截面两端有该截面弦线的延长线（橙红色），以叶片端截面弦线为水平（水平线为白色），可看出各截面弦线与水平面的夹角，在靠叶根处的夹角最大。

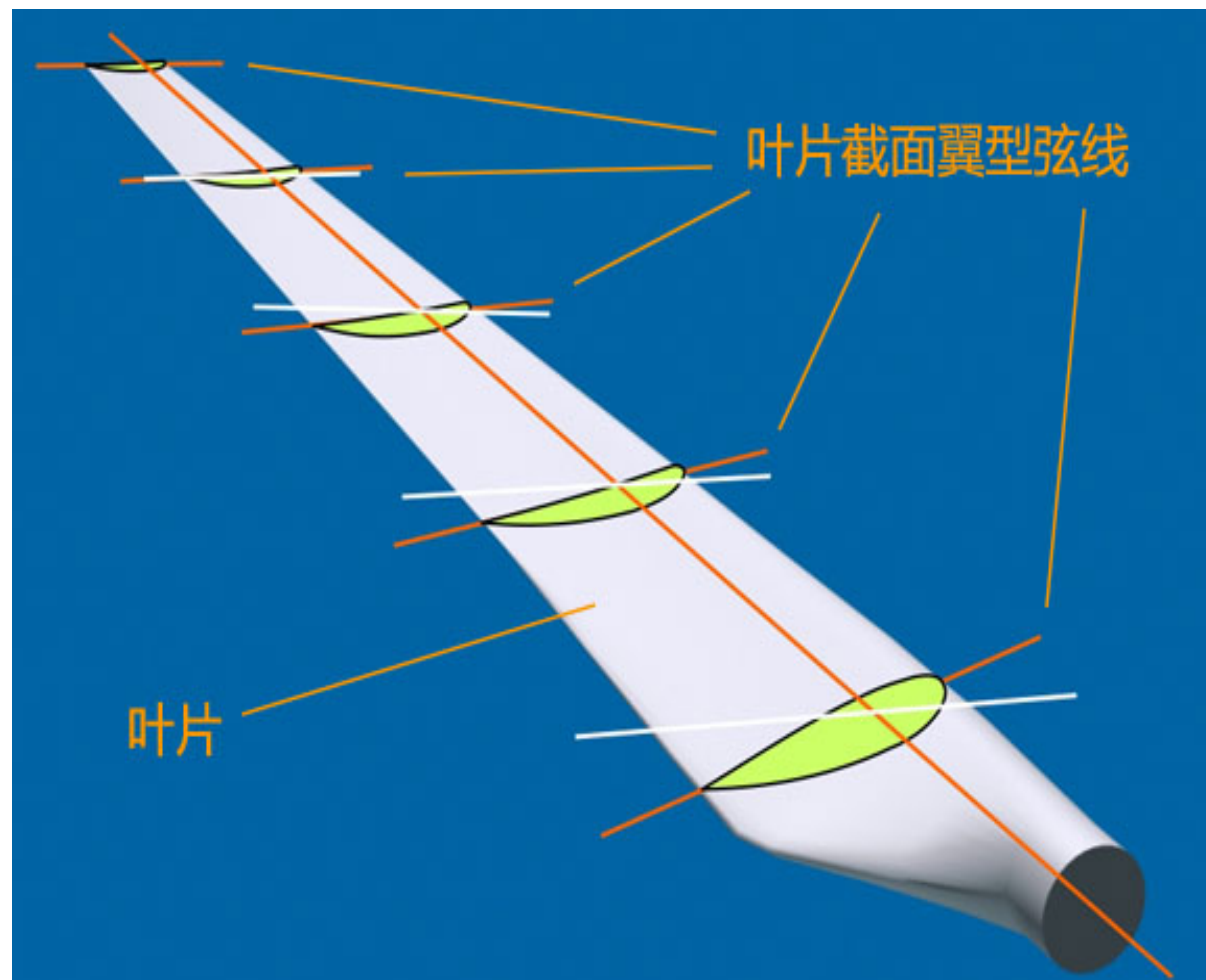


图6--风力机叶片不同部位截面图

## 叶片的气动特性与结构

叶片在风轮上的安装角度在靠叶尖处与风轮旋转平面的夹角最小，在靠叶根处的夹角最大，见图7。

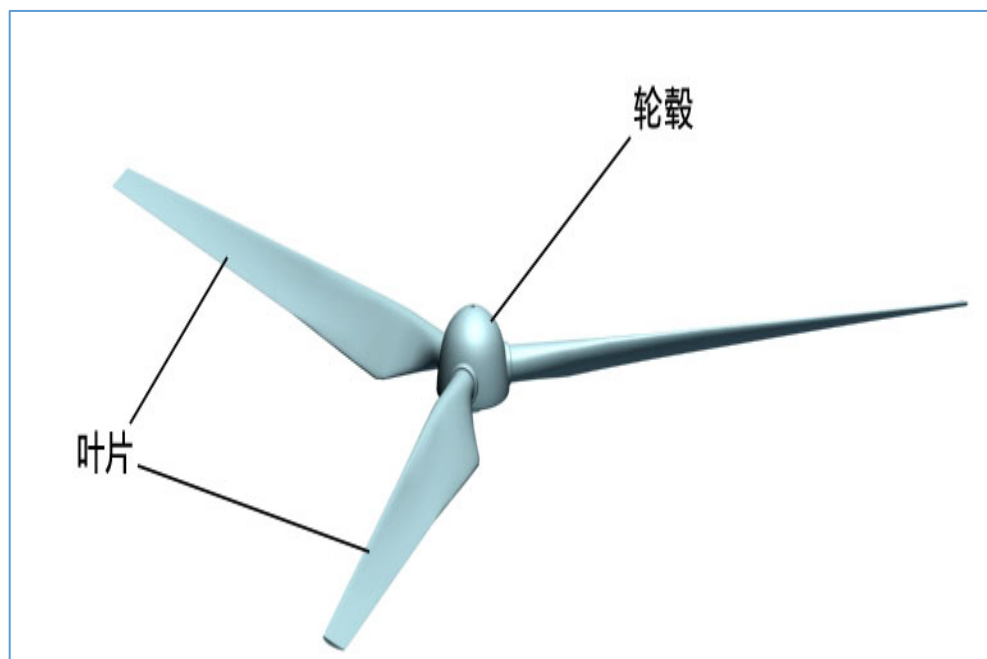


图7--有三个叶片的风轮

叶片扭转角

半径 (m)	扭转角 (°)	半径 (m)	扭转角 (°)
2.802	16.0	13.176	2.72
4.877	11.2	15.251	1.44
6.952	8.4	17.325	0.56
9.026	6.24	19.400	0.00
11.101	3.32		

这个扭转角有多大，对于不同的风力机与叶片的值不同，但对于大中型风力机相差不大。下面附表的数据来自《风力机设计、制造与运行》一书，表中数据是一个半径约40m的风轮，其叶片在不同半径处的扭转角。该角度是最佳运行风速为8m/s时的设计优化值。

# 叶片的气动特性与结构

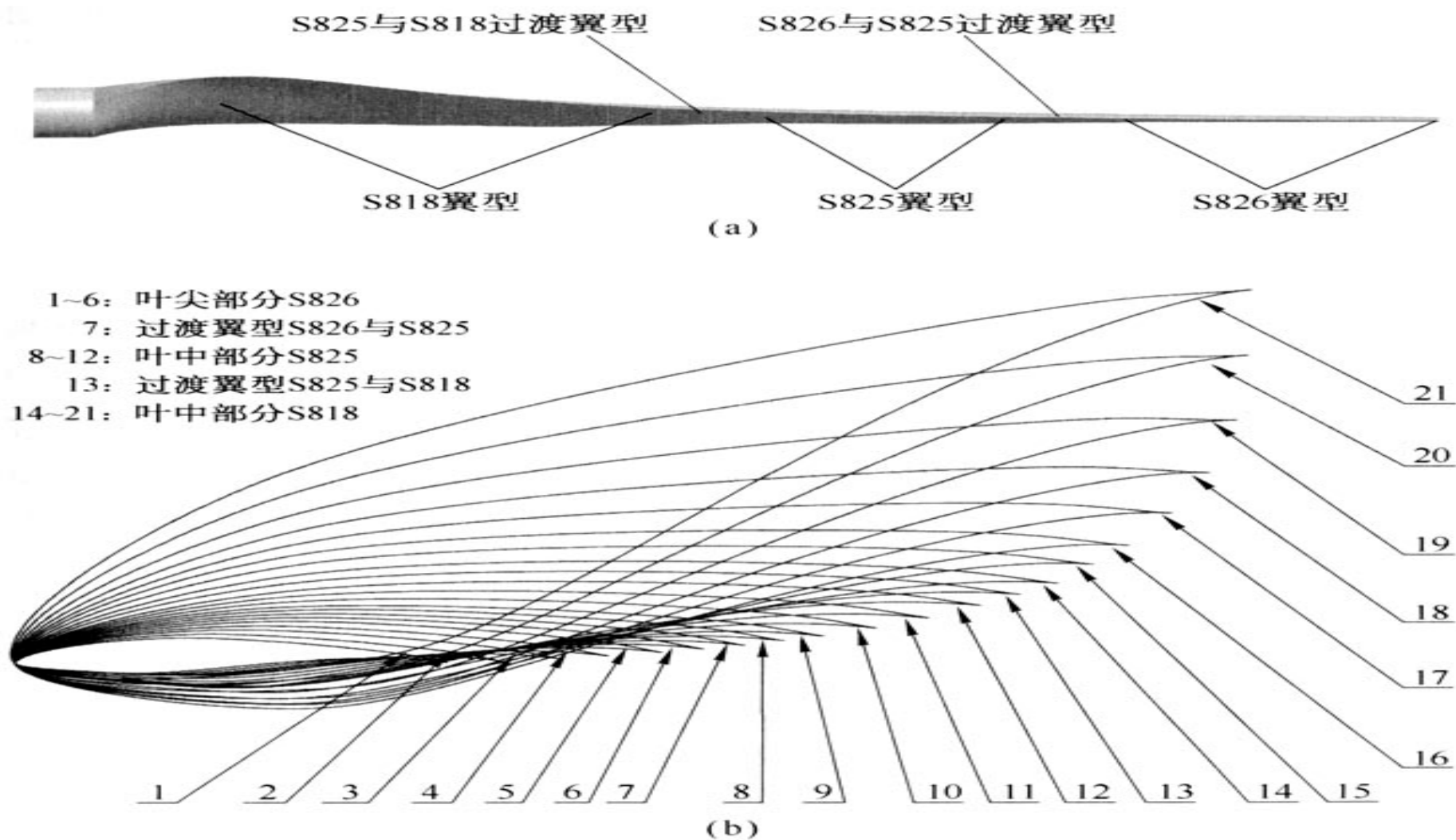


图 5 - 22 叶片弦长变化及扭转规律示意图



# 本课程结束

制作单位：湖南电气职业技术学院