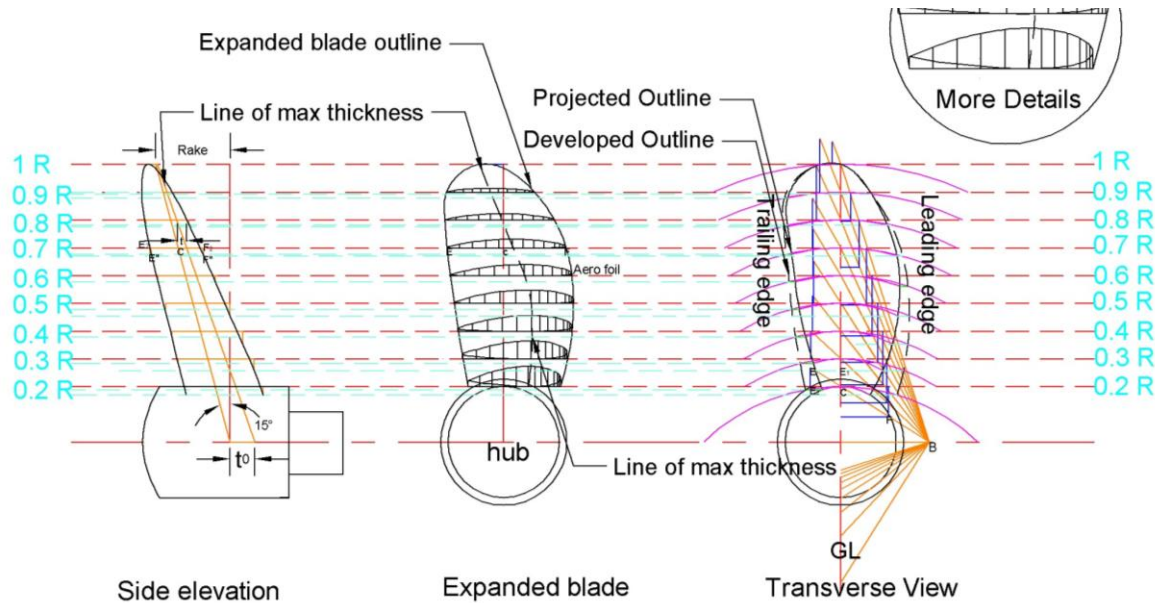




# 第二章

# 螺旋桨几何特征





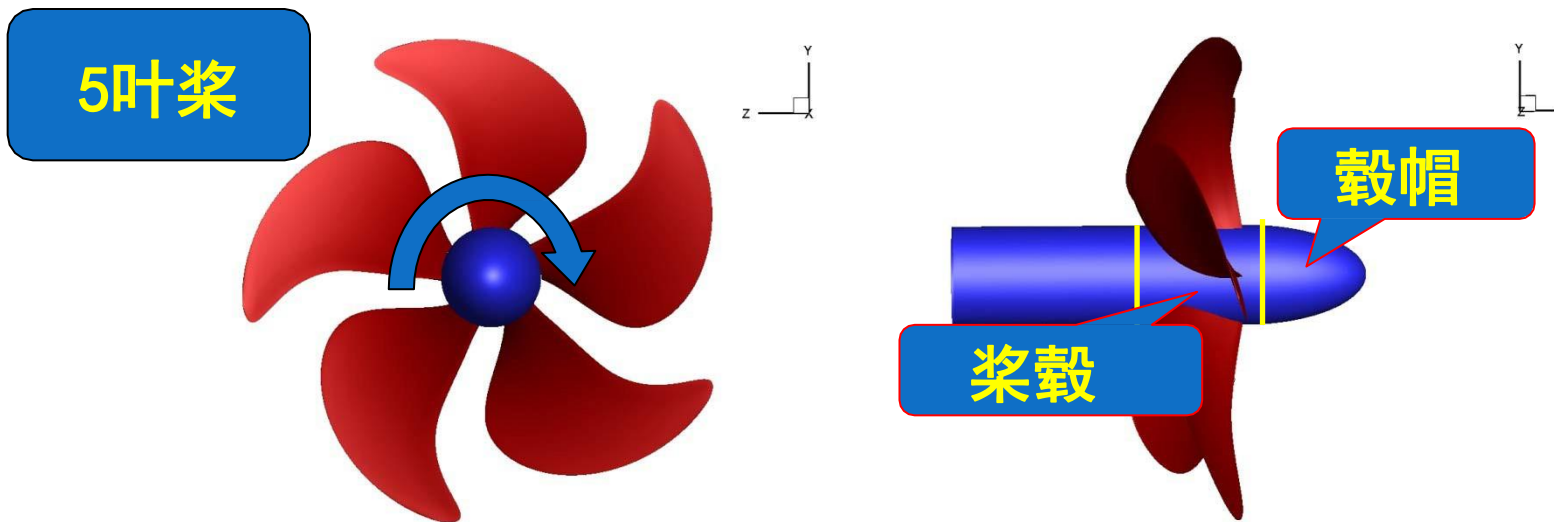
- 船舶推进器的种类
- 推进器发展历程
- 各类推进器的优缺点
- 各种功率定义
- 功率单位（马力）
- 传送效率
- 推进效率



## 2.1 螺旋桨的外形及名称

### 螺旋桨基本组成

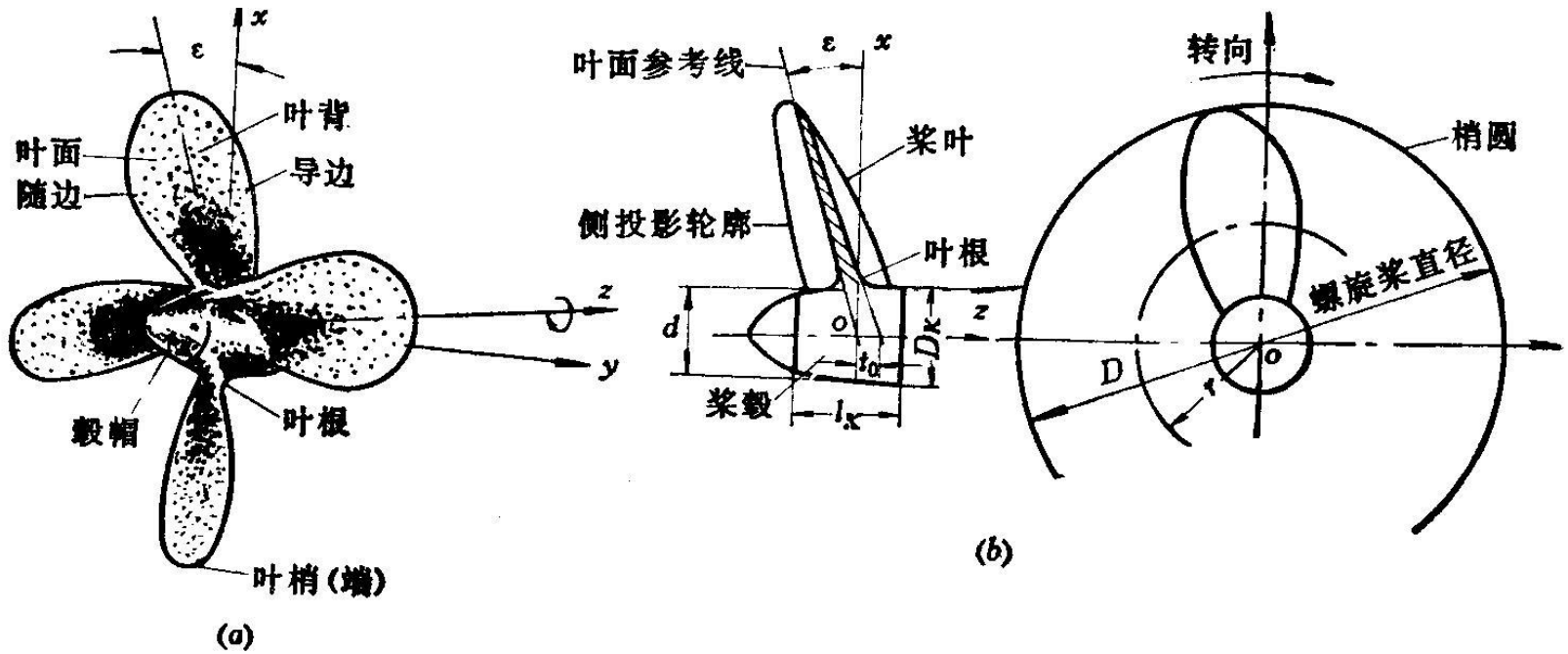
- **桨叶**—— 由桨叶数目决定为几叶桨；
- **桨毂**—— 螺旋桨与尾轴连接部分；
- **毂帽**—— 桨毂后端与之形成的光顺流线形体。



根据螺旋桨的旋向可以分为右旋桨（从尾部看顺时针旋转）或左旋桨（逆时针）



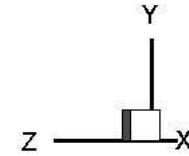
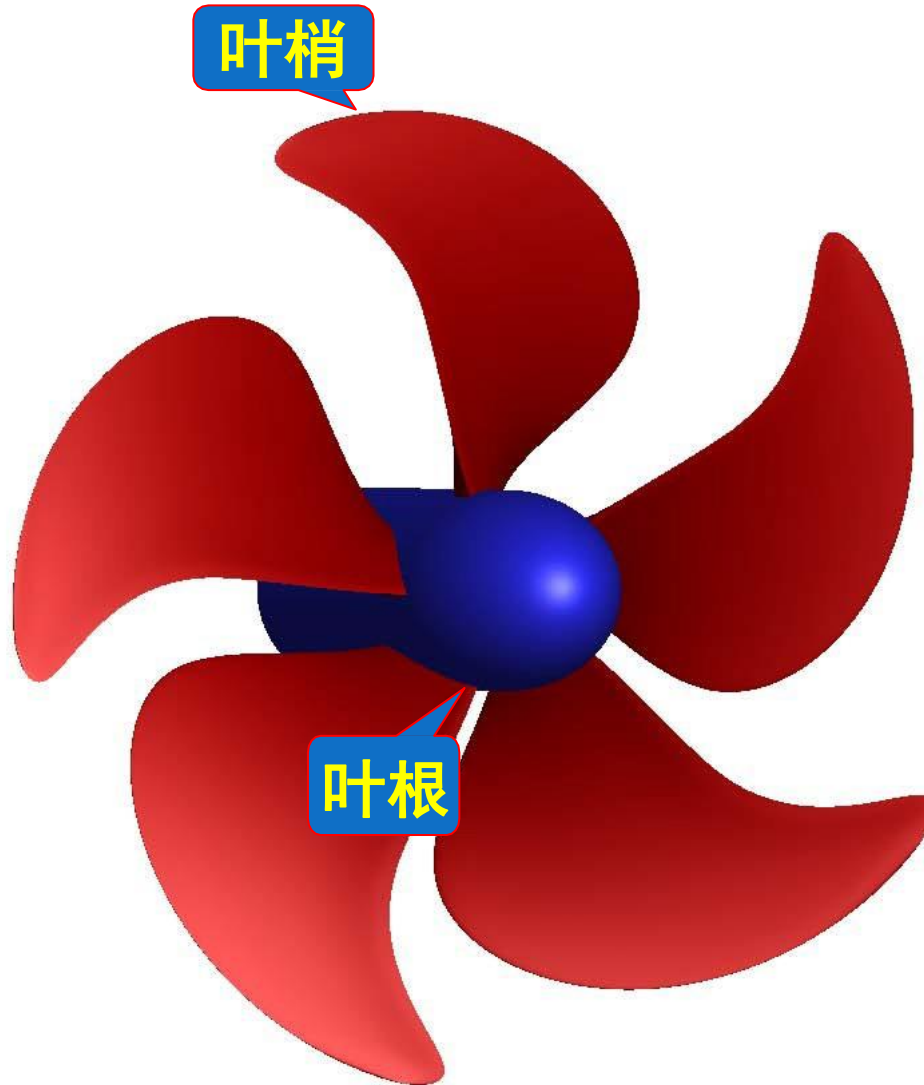
## 2.1 螺旋桨的外形及名称



- **叶面**—— 由船尾后面向前看时所见到的螺旋桨桨叶的一面；  
另一面称为**叶背**。
- **叶根**—— 桨叶与毂联接处。
- **叶梢**—— 桨叶的最外端称为叶梢。
- **导边**—— 螺旋桨正车旋转时桨叶边缘在前面者；  
另一边称为**随边**。



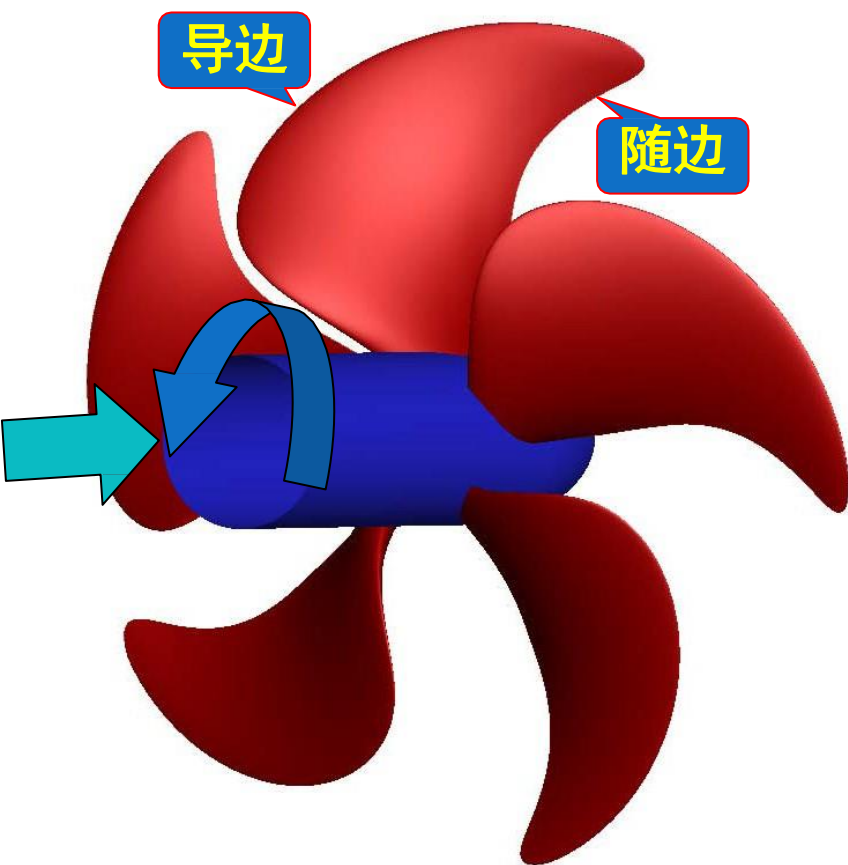
## 2.1 螺旋桨的外形及名称



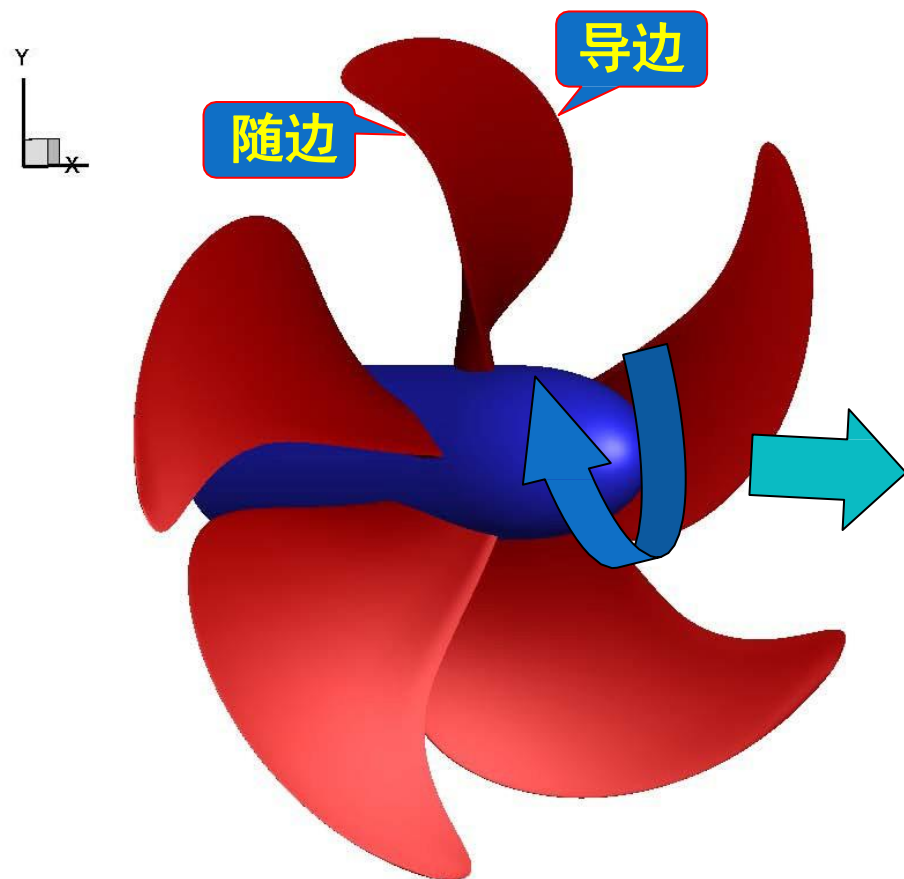


## 2.1 螺旋桨的外形及名称

### 叶背

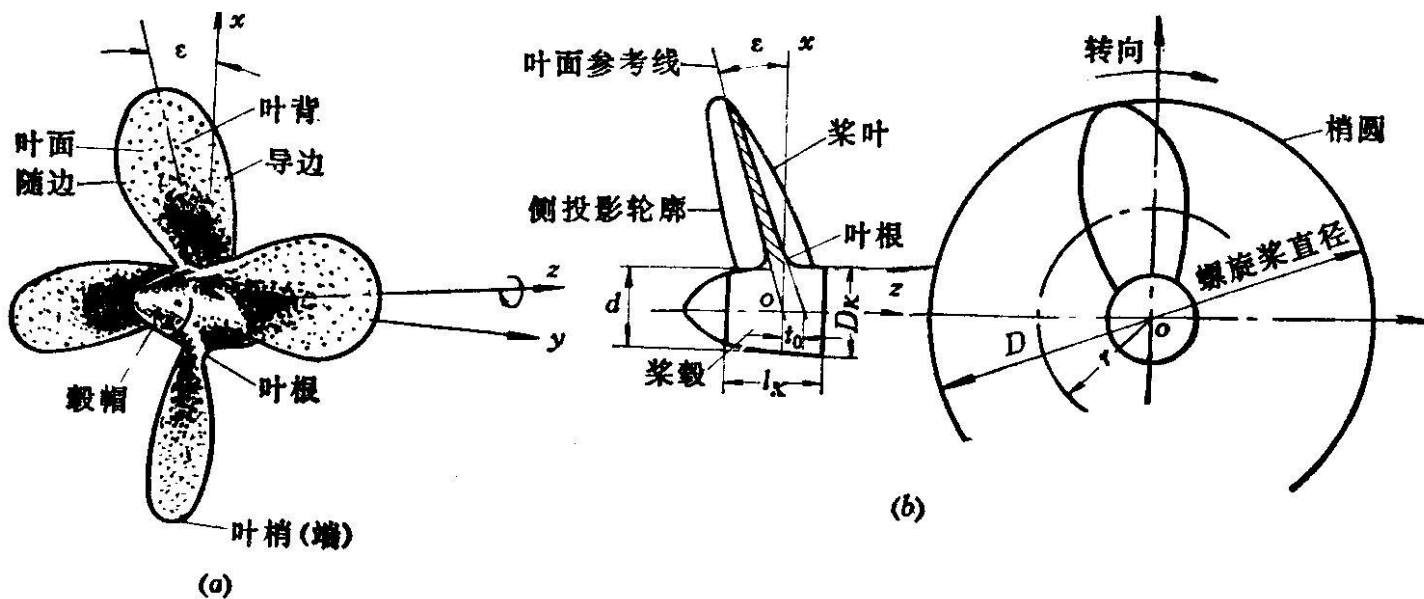


### 叶面





## 2.1 螺旋桨的外形及名称



• **梢圆**-- 螺旋桨旋转时（设无前后运动）叶梢的圆形轨迹。

• **螺旋桨直径**-- 梢圆的直径，以  $D$  表示。

• **螺旋桨的盘面积**-- 梢圆的面积，以  $A_0$

表示：
$$A_0 = \frac{\pi D^2}{4}$$

• **右旋桨**-- 当螺旋桨正车旋转时，由船后向前看去所见到的旋转方向为顺时针者；反之，则为 **左旋桨**。

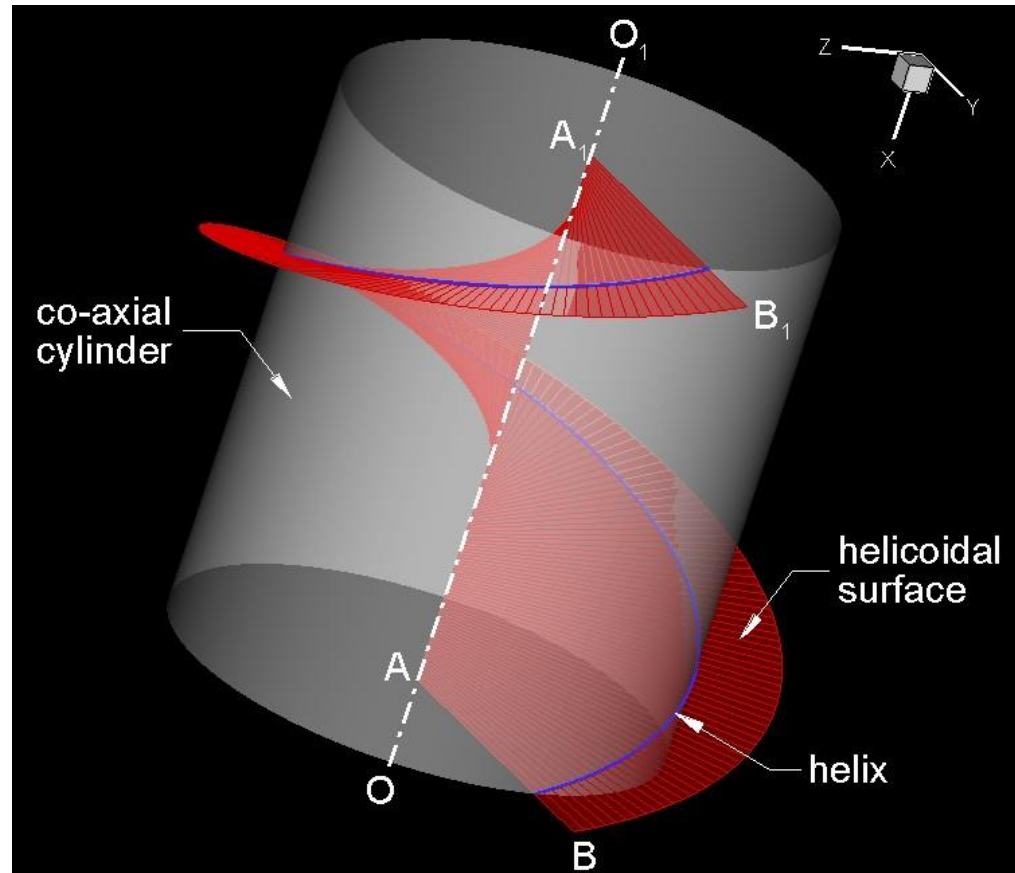
• **内旋桨**-- 装于船尾两侧之螺旋桨，在正车旋转时其上部向船的中线方向转动者；反之，则为 **外旋桨**。



## 2.2 螺旋面和螺旋线

螺旋桨的叶面为螺旋面，因此有必要先讨论螺旋面和螺旋线的形成及其特点

- **螺旋面** —— 设线段AB与轴线 $OO_1$ 成固定角度，并使AB以等角速度绕轴 $OO_1$ 旋转的同时以等线速度沿 $OO_1$ 向上移动，则AB线段在空间中所描绘的曲面即为**等螺距螺旋面**；
- **母线** —— 线段AB；



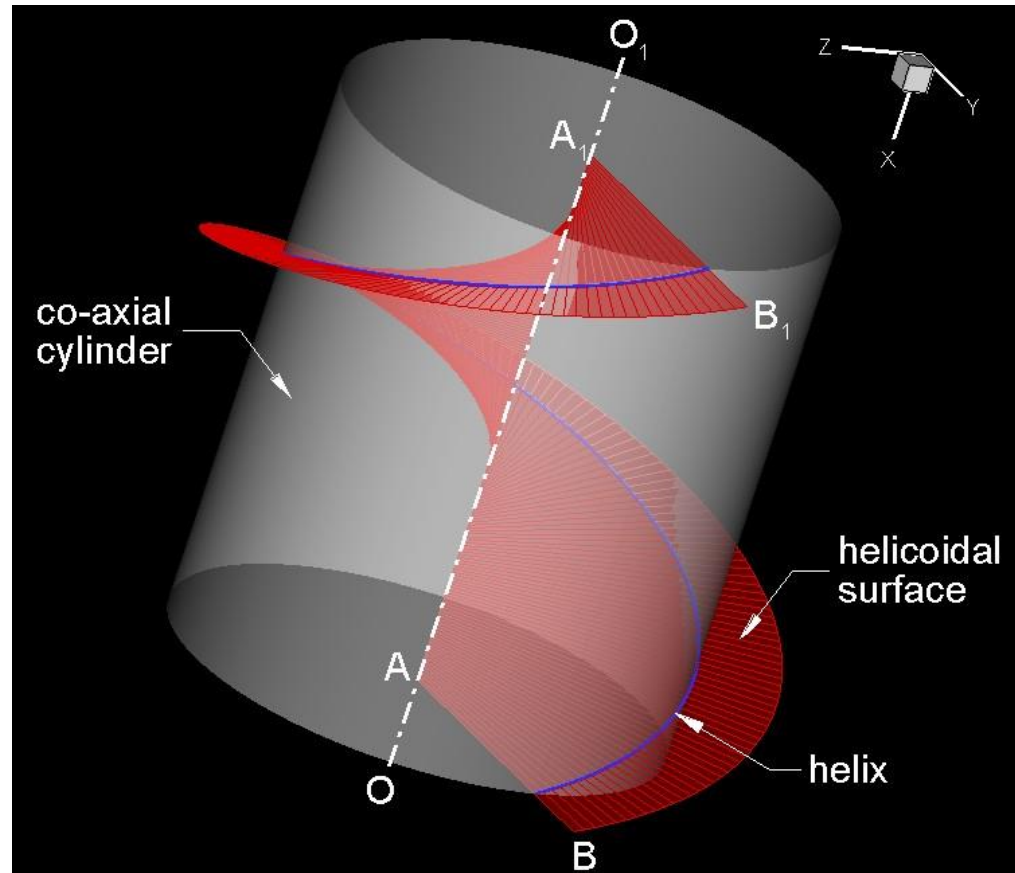




## 2.2 螺旋面和螺旋线

螺旋桨的叶面为螺旋面，因此有必要先讨论螺旋面和螺旋线的形成及其特点

- **螺旋线** —— 线段AB上一点的运动轨迹，或者是同心轴的圆柱面与螺旋面的交线；
- **螺距** —— 母线绕行一周在轴向前进的距离 $P$

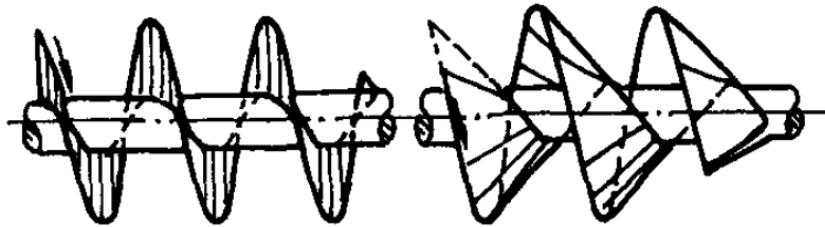




## 2.2 螺旋面和螺旋线

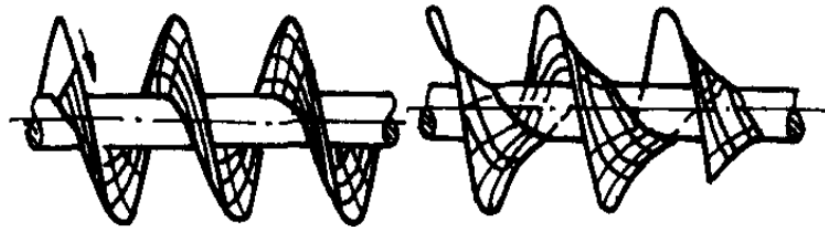
### 螺旋面形式

- **正螺旋面** --- 母线为直线且垂直于轴线 (a) ;
- **斜螺旋面** --- 母线为直线但不垂直于轴线 (b) ;
- **扭曲螺旋面** --- 母线为曲线 (c) 和 (d) 。



(a)

(b)



(c)

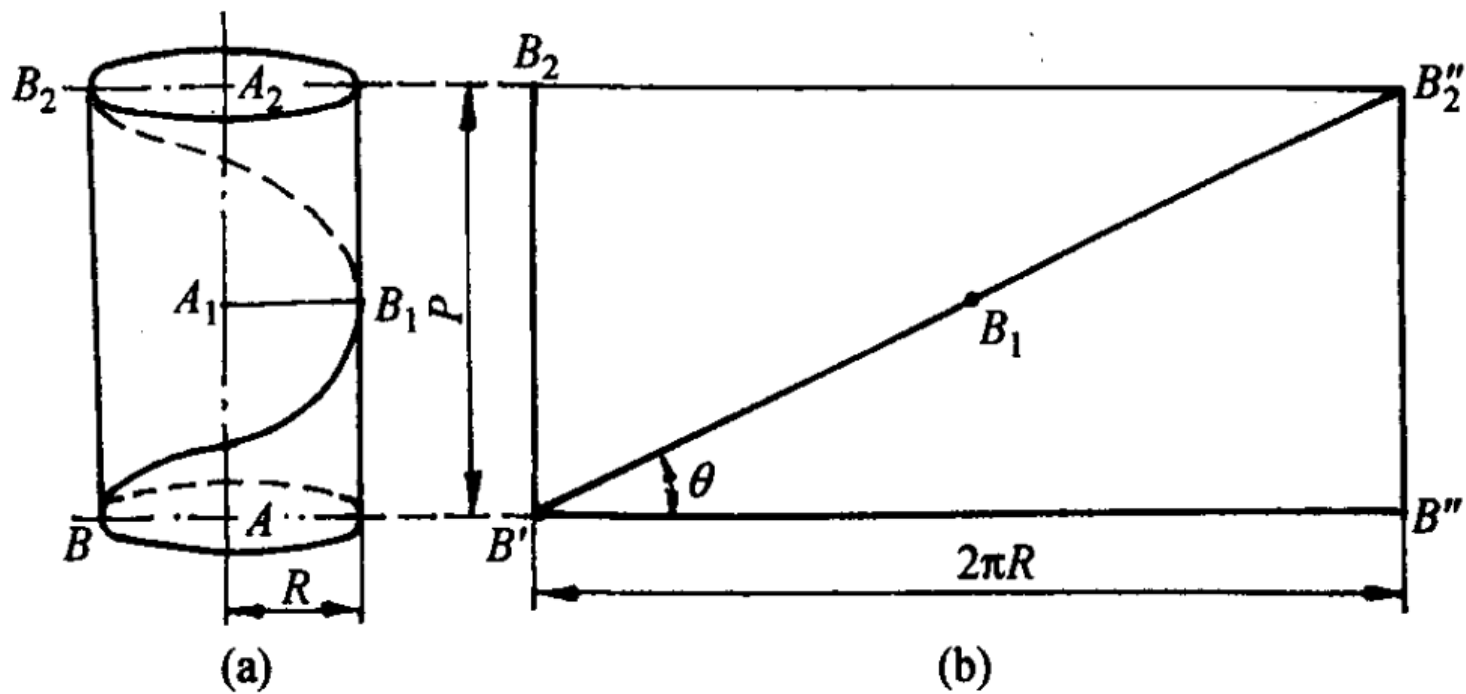
(d)



## 2.2 螺旋面和螺旋线

### 螺距三角形（圆柱面展开）

- **节线** —— 矩形对角线；
- **螺距角** —— 节线与底线间的夹角； $\tan\theta = \frac{P}{2\pi R}$

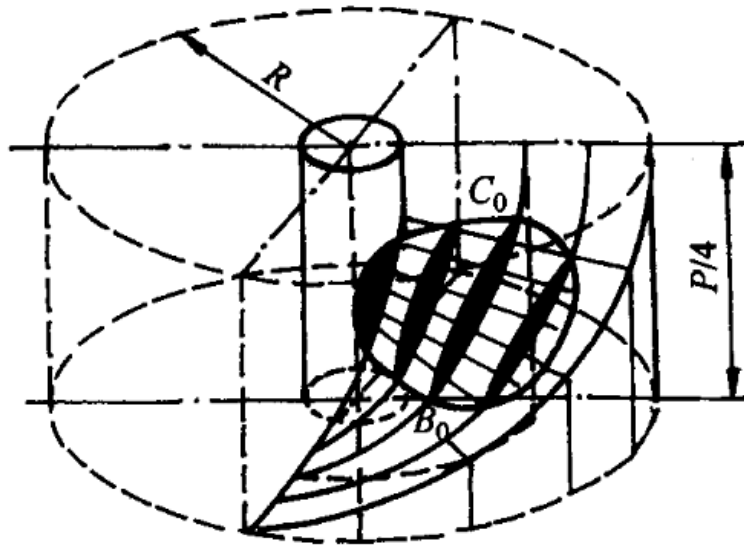




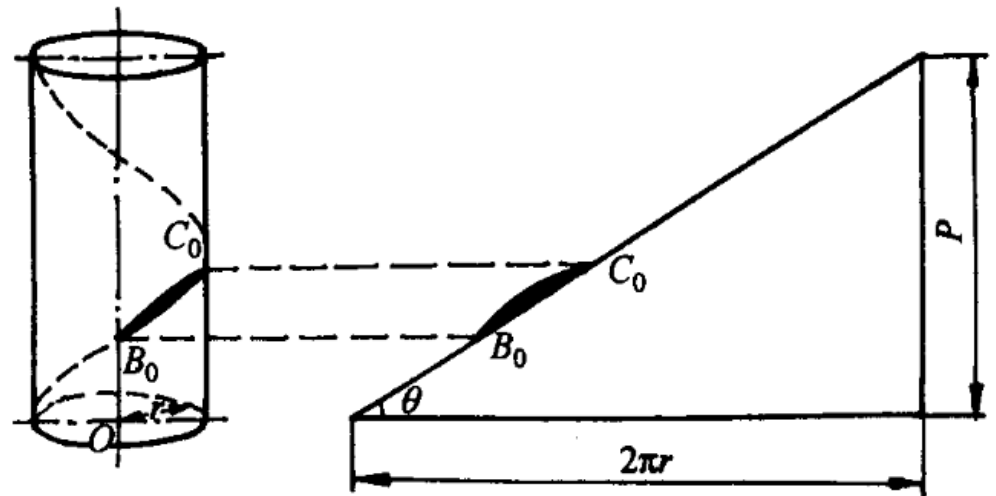
## 2.2 螺旋桨特征参数

### 螺旋桨叶面为螺旋面的一部分

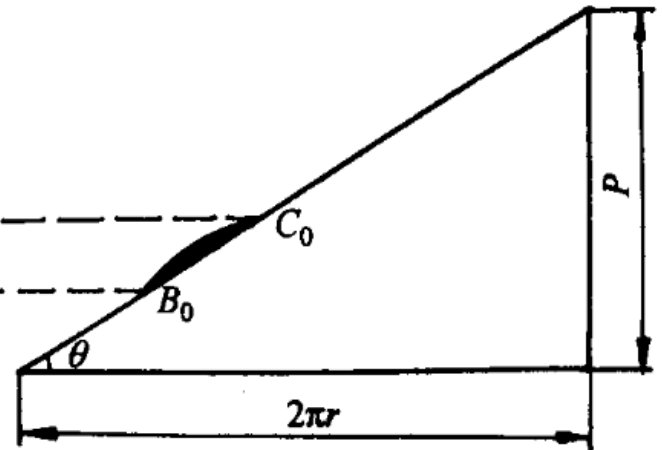
- **面螺距** —— 桨叶为等距螺旋面一部分时的螺距；
- **螺距比** —— 面螺距 $P$ 与直径 $D$ 之比： $P/D$



(a)



(b)

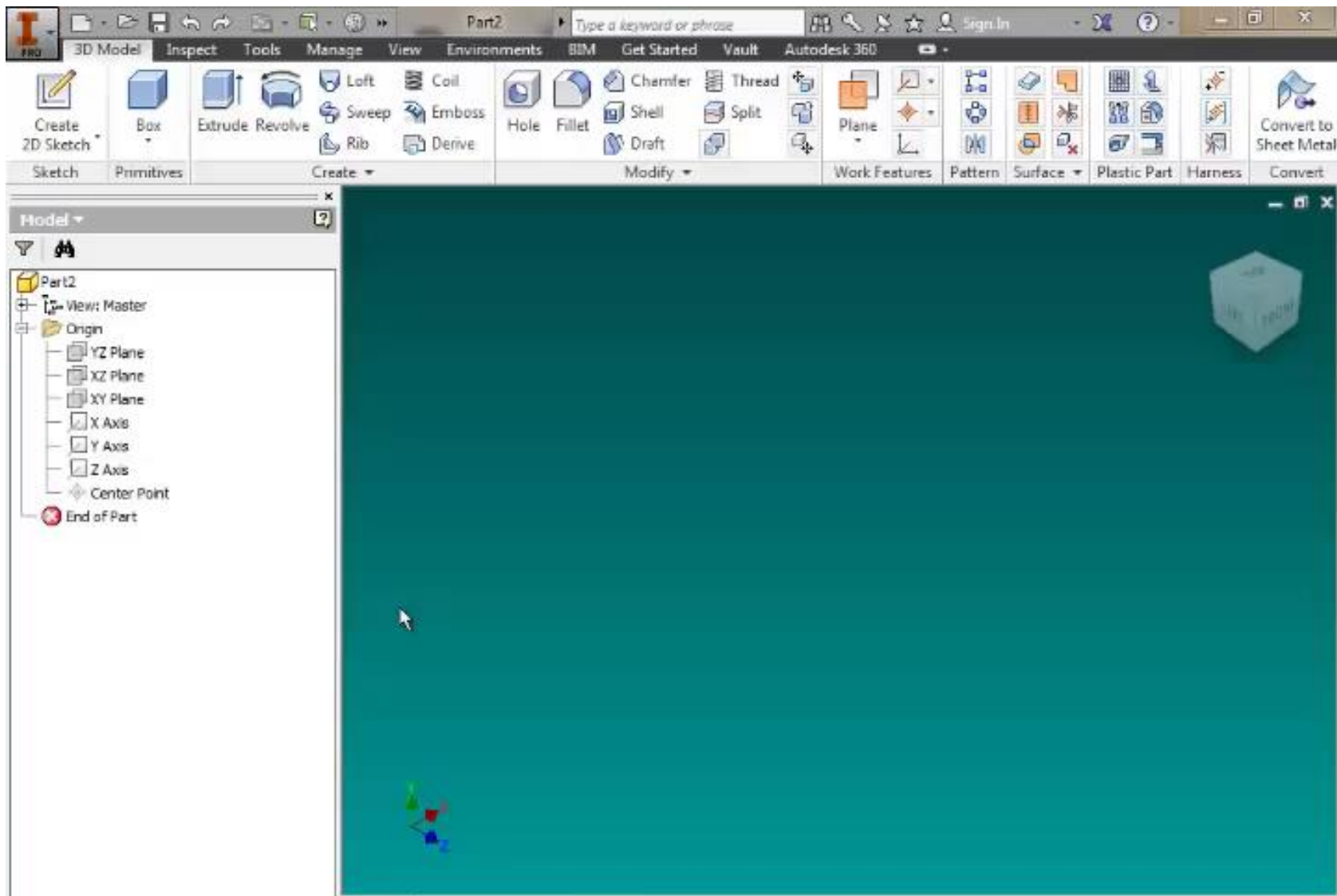


(c)



## 2.2 螺旋桨特征参数

### 螺旋桨叶面的生成演示

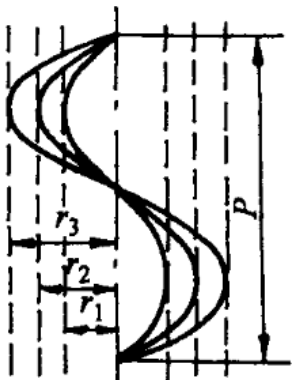




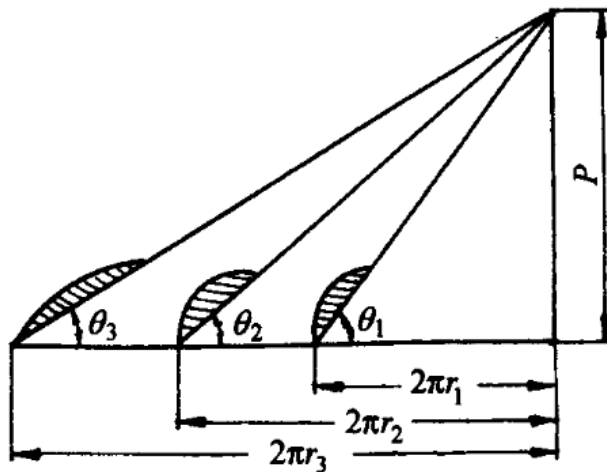
## 2.2 螺旋桨特征参数

### 螺旋桨叶面为螺旋面的一部分

- **螺距角** —— 半径为 $r$ 处的螺距角 $\theta$ 表征该处桨叶的倾斜程度，不同半径处螺距角不同；
- **变螺距螺旋桨** —— 螺旋桨桨叶各半径处面螺距不相等，一般采用半径为 $0.7R$ 或 $0.75R$ 处的面螺距代表面螺距；

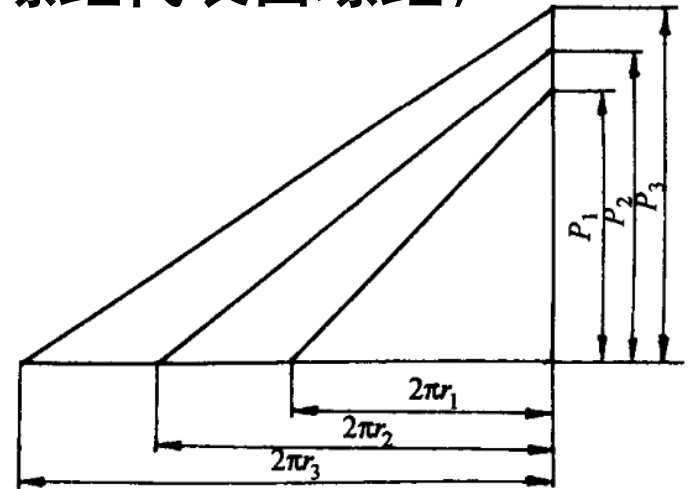


(a)



(b)

等螺距螺旋桨不同半径处的螺距角



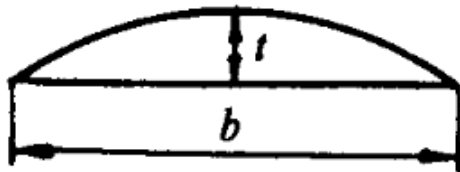
变螺距螺旋桨不同半径处的螺距和螺距角



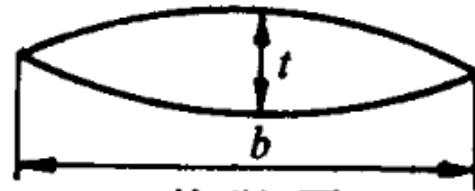
## 2.2 螺旋桨特征参数

### 桨叶切面和切面几何特征

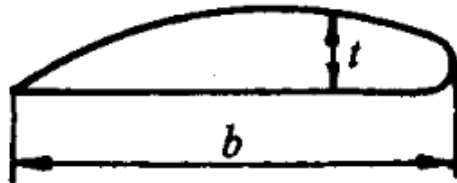
- **桨叶切面** —— 与螺旋桨共轴的圆柱面和桨叶相截所得的截面称为桨叶的切面，简称桨叶切面或叶剖面；
- **叶切面形状** —— 将相截圆柱面展开后的切面形状，通常与翼型切面相仿，也会有弓形切面等其他形状；



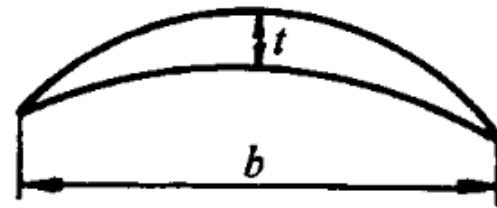
弓形切面



梭形切面



机翼形切面



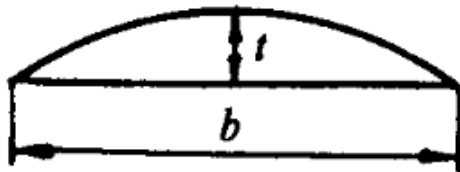
月牙形切面



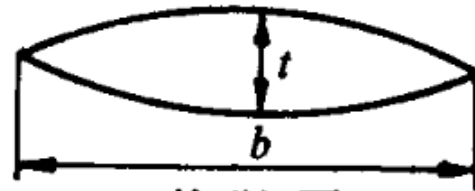
## 2.2 螺旋桨特征参数

### 不同切面形状优缺点

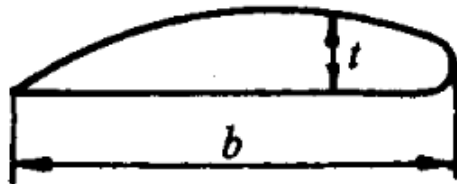
- **机翼形切面** --- 效率高，空泡性能较差；
- **弓形切面** --- 效率低，空泡性能较好；
- **梭形切面** --- 适用于停船较多的船型；
- **月牙形切面** --- 适用于高速船；



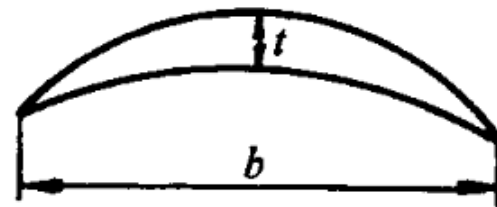
弓形切面



梭形切面



机翼形切面



月牙形切面

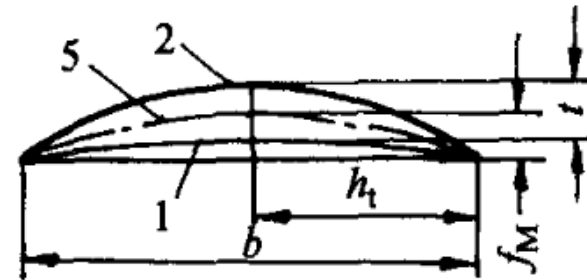
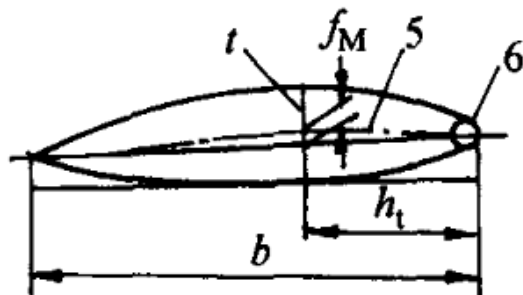
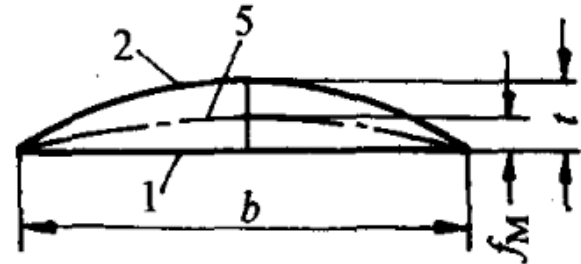
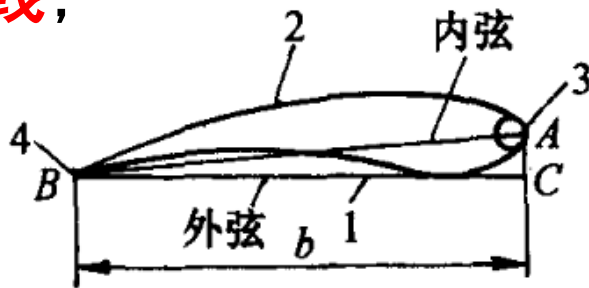




## 2.2 螺旋桨特征参数

### 桨叶切面几何参数

- **内弦** —— 连接切面导边和随边的直线AB，对于理论设计的螺旋桨通常称内弦为**弦线**；
- **外弦** —— 线段BC所示，对于系列图谱螺旋桨通常称外弦为**弦线**；



(a)

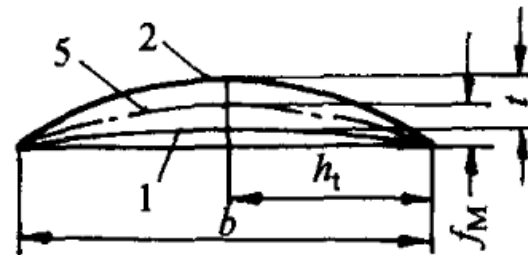
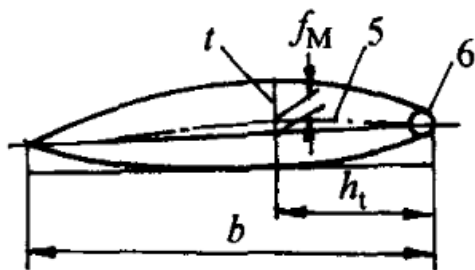
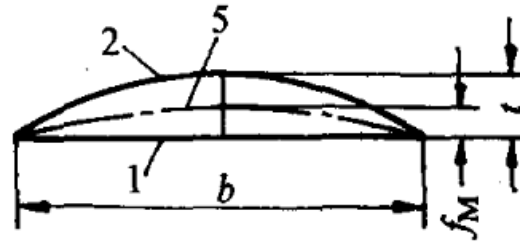
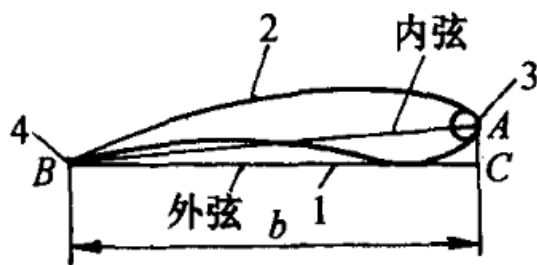
(b)



## 2.2 螺旋桨特征参数

### 桨叶切面几何参数

- **切面厚度** —— 垂直于所取弦线方向与切面上下面交点间的距离，其最大厚度 $t$ 称为叶厚；
- **叶厚比 $\delta$**  —— 最大厚度 $t$ 与切面弦长 $b$ 之比 $\delta = t/b$ ；
- **拱度** —— 切面中线或平均线（也称拱线）到内弦线的最大距离 $f_M$ ，拱度与弦长之比为**拱度比 $f = f_M/b$** ；



(a)

(b)

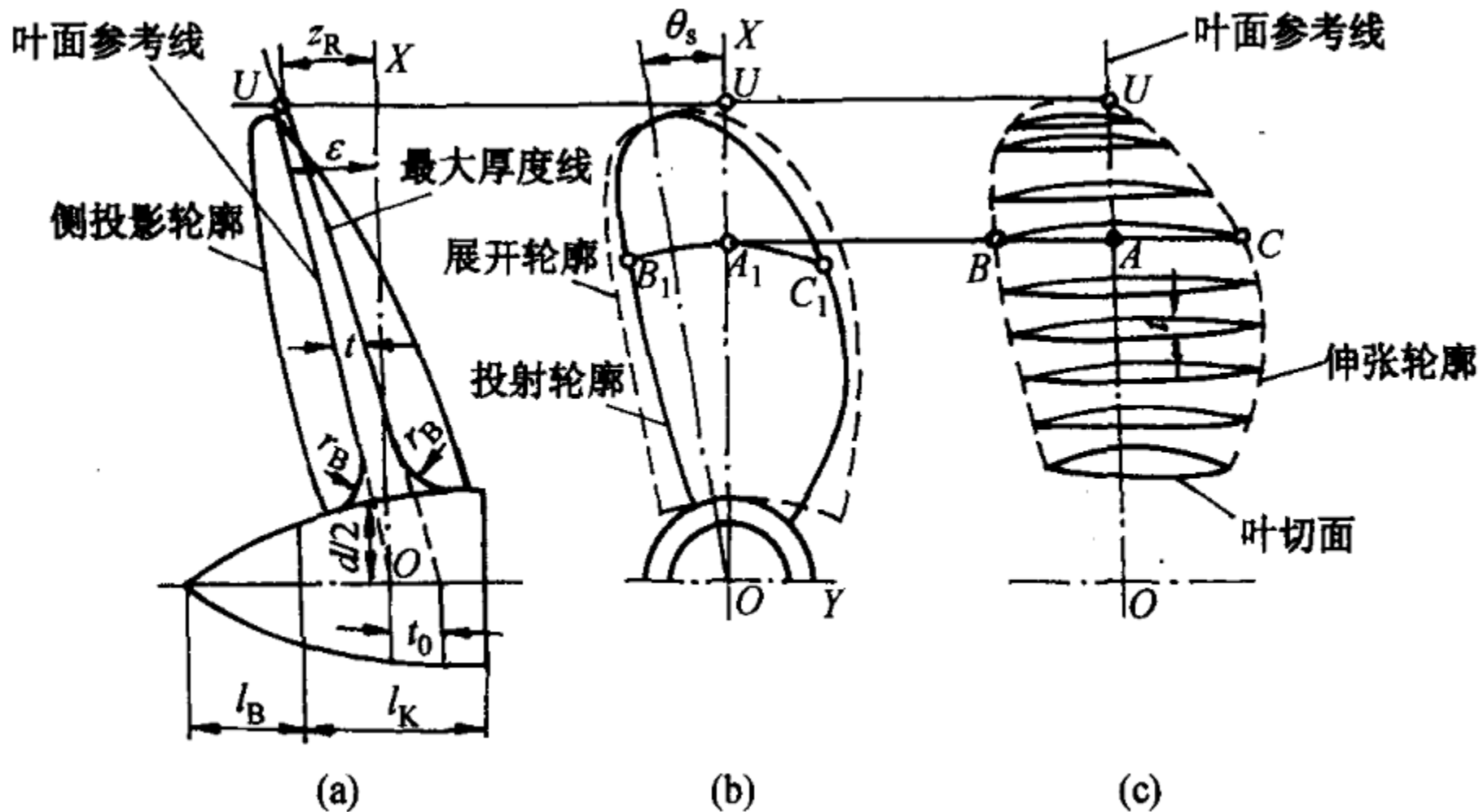


- 螺旋桨的组成
- 螺旋桨几何参数
- 螺旋线和螺旋面
- 螺距三角形
- 螺旋桨的面螺距
- 桨叶切面形式和特征



## 2.2 螺旋桨特征参数

### 桨叶的外形轮廓和叶面积

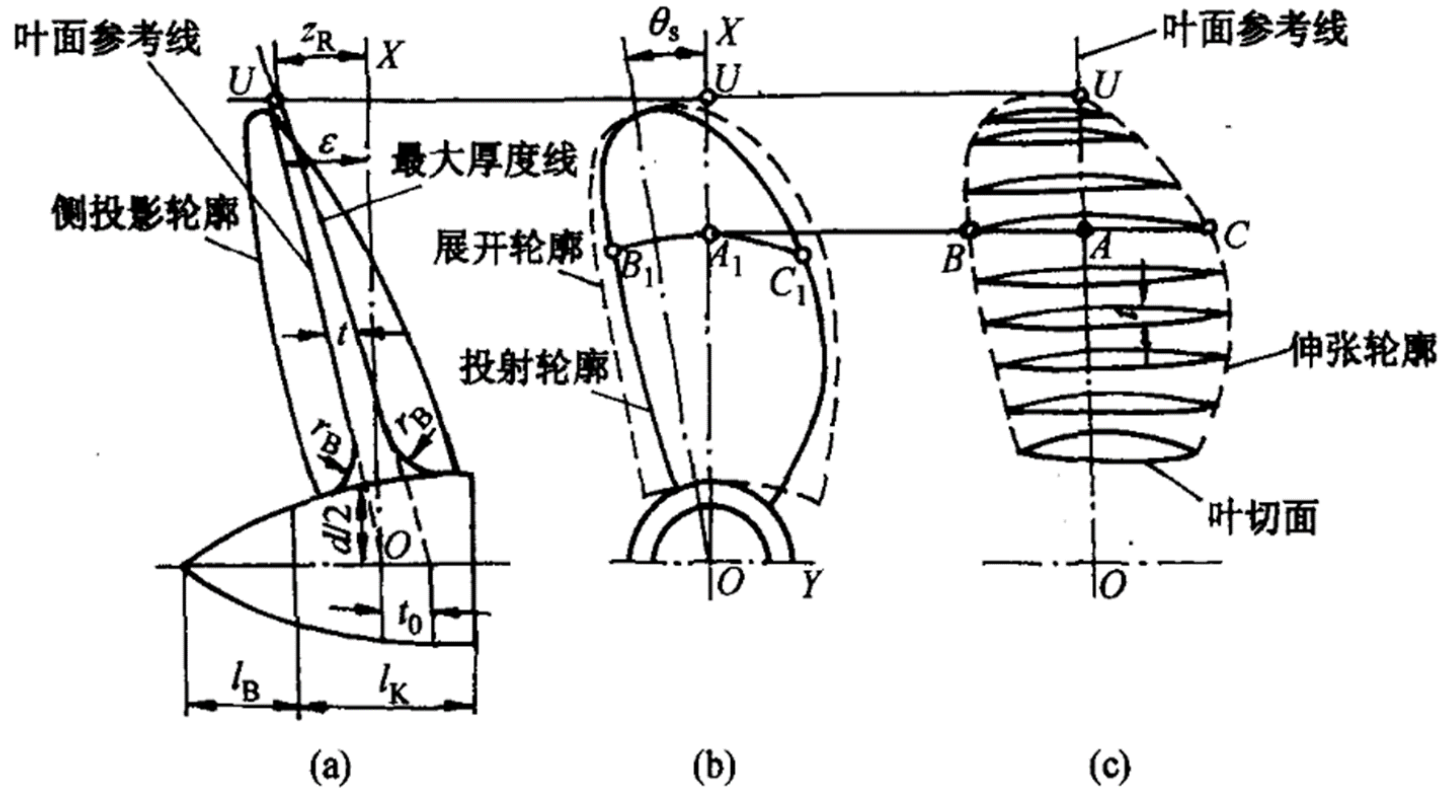




## 2.2 螺旋桨特征参数

### 桨叶的外形轮廓和叶面积

- **纵斜** —— 参考线线段OU在轴线上的投影长度；
- **纵斜角** —— **斜螺旋面**中的参考线与轴线的垂线间夹角；

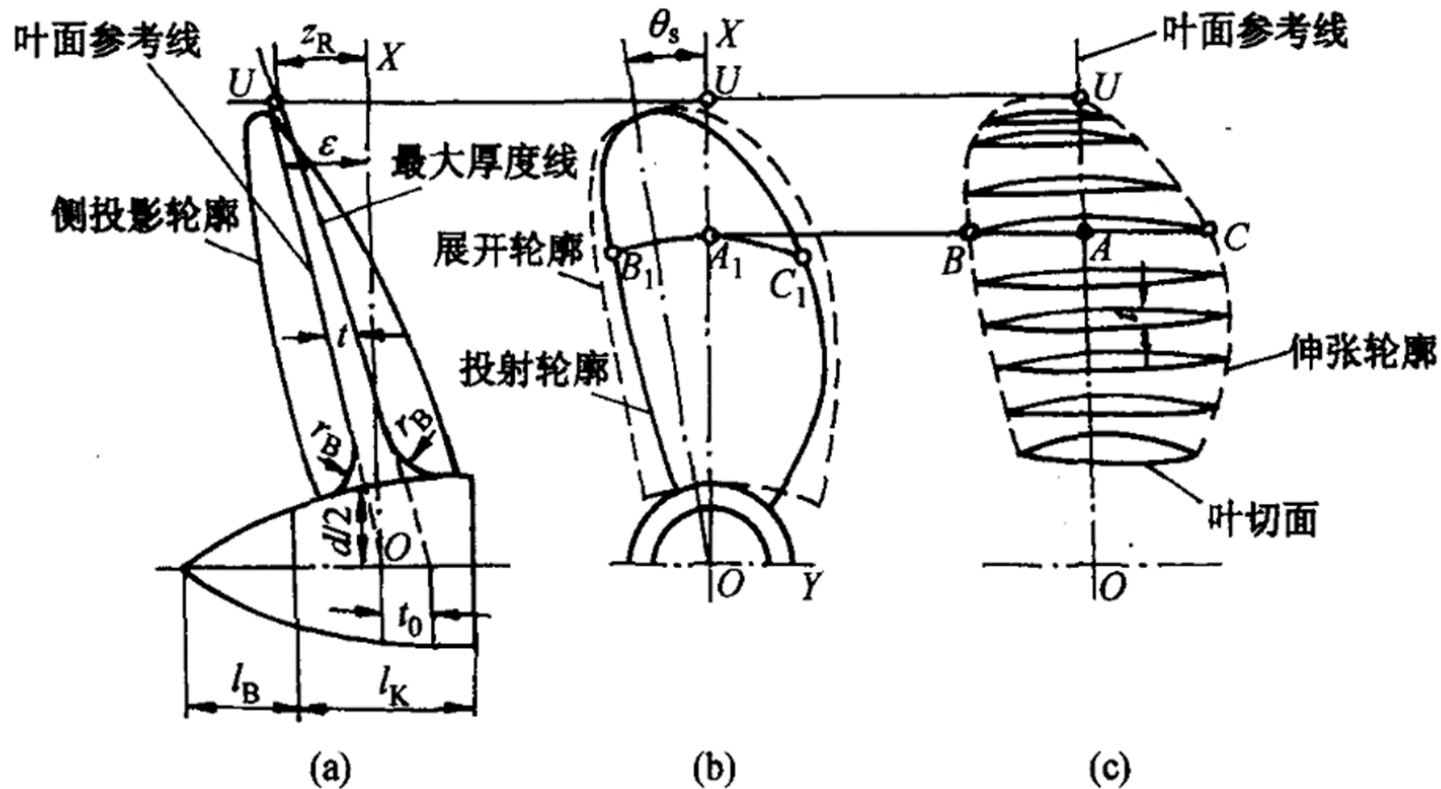




## 2.2 螺旋桨特征参数

### 桨叶的外形轮廓和叶面积

- **纵斜 $z_R$ 和纵斜角 $\epsilon$**  —— 一般是向后倾斜，目的是增大桨叶和尾框架或船体间的间隙，减小螺旋桨诱导的船体震动，但纵斜不宜过大 $<15$ ，否则离心作用大，对桨叶强度不利

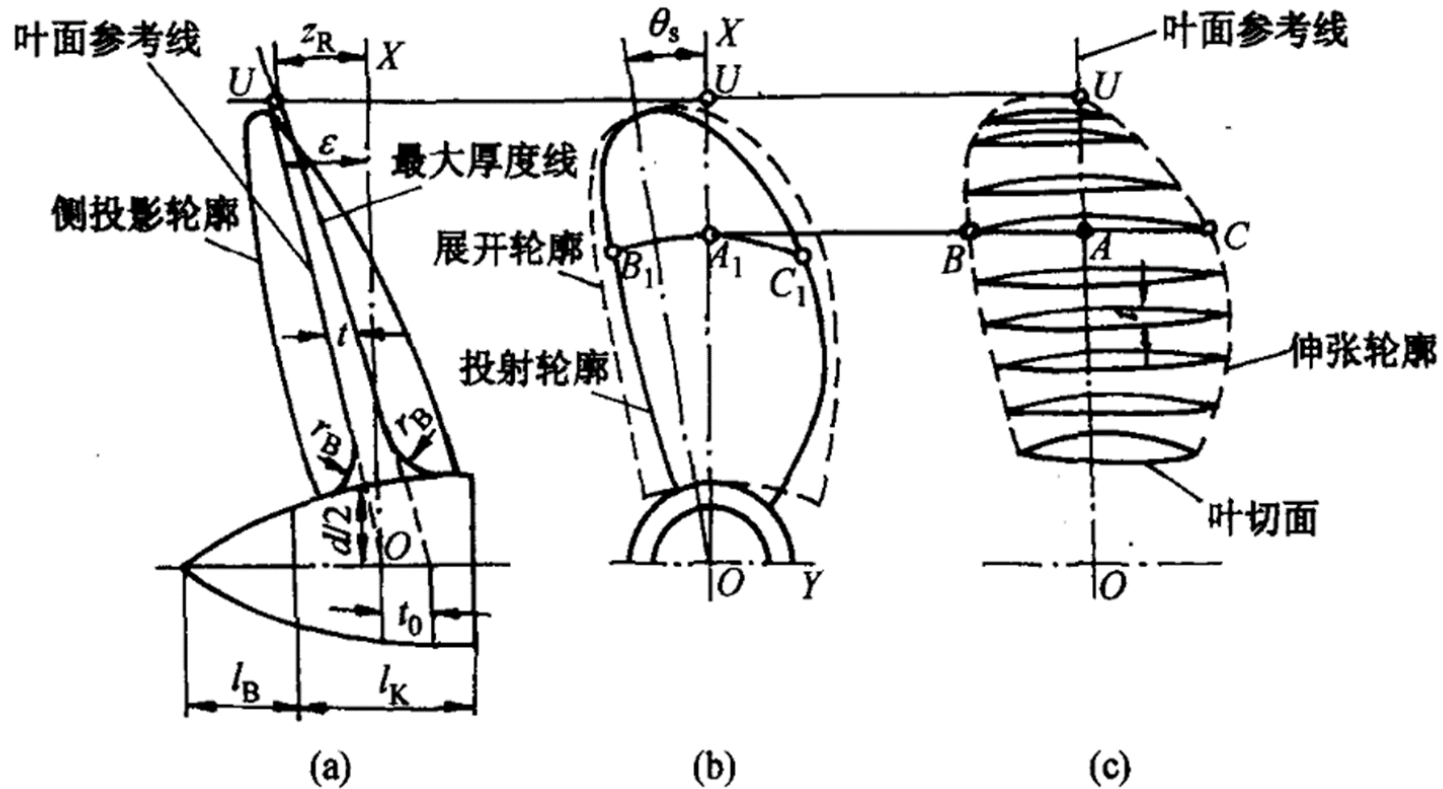




## 2.2 螺旋桨特征参数

### 桨叶的外形轮廓和叶面积

- **侧斜** —— 不对称桨叶的叶梢到参考线间的距离；
- **侧斜角** —— 侧斜相对应的夹角；

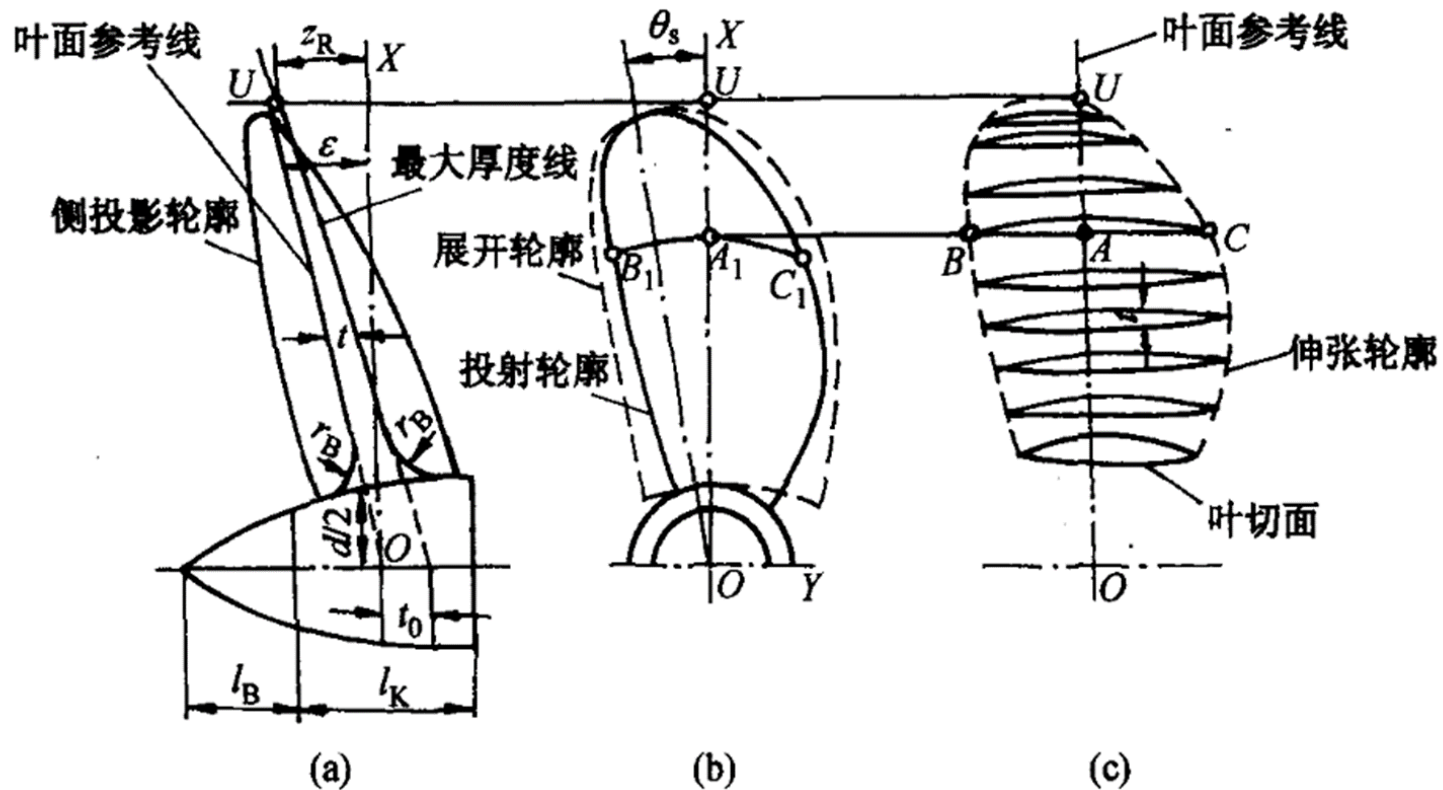




## 2.2 螺旋桨特征参数

### 桨叶的外形轮廓和叶面积

- 侧斜 $X_S$ 和侧斜角 $\theta_S$  —— 螺旋桨侧斜方向一般与旋转方向相反。合理设计侧斜可以明显减小由于尾流不均匀导致的水动力变化，从而降低螺旋桨对船体的振动激励。



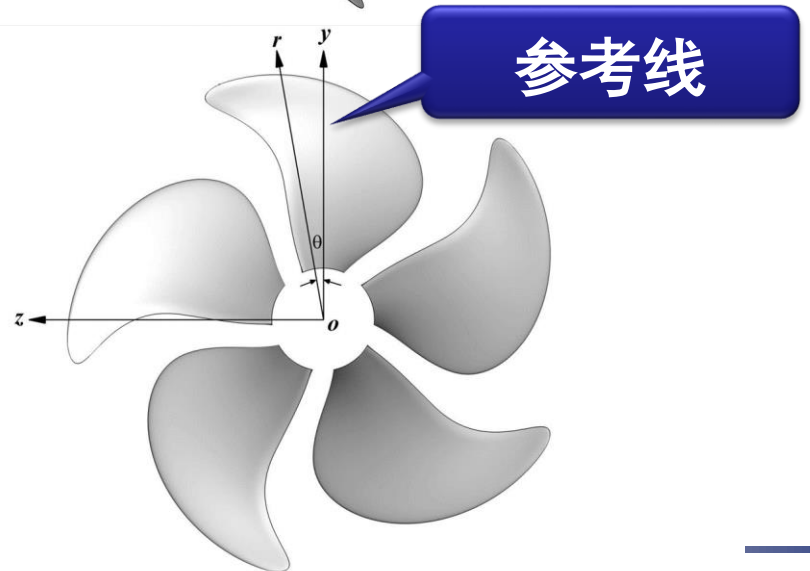
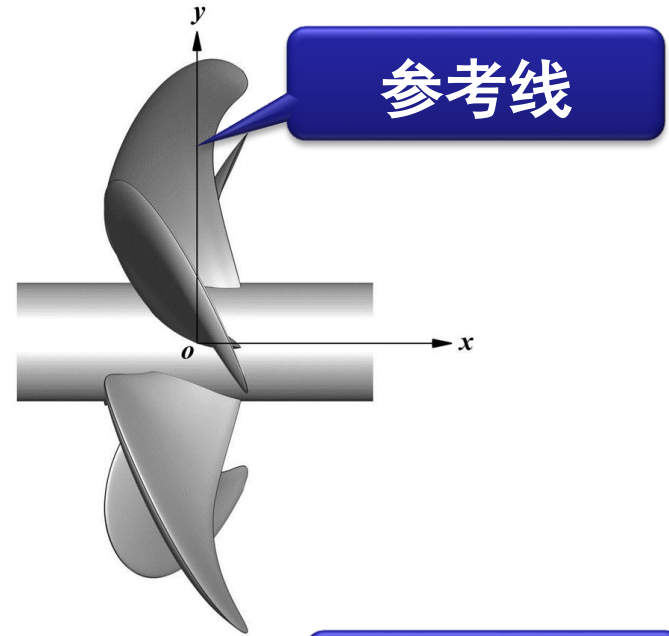
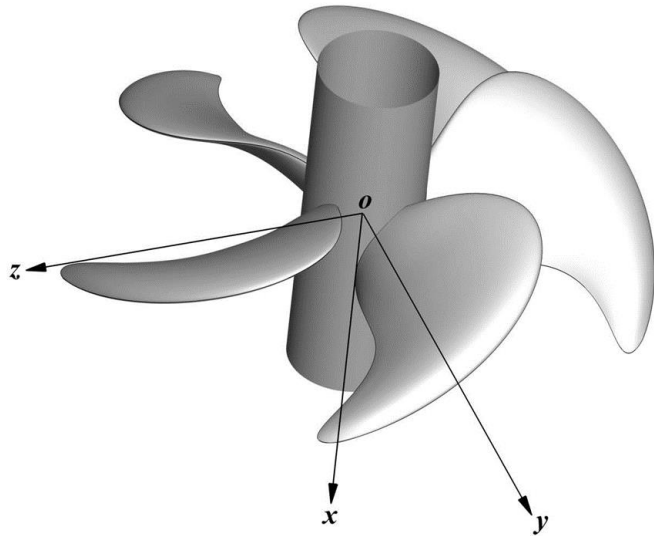


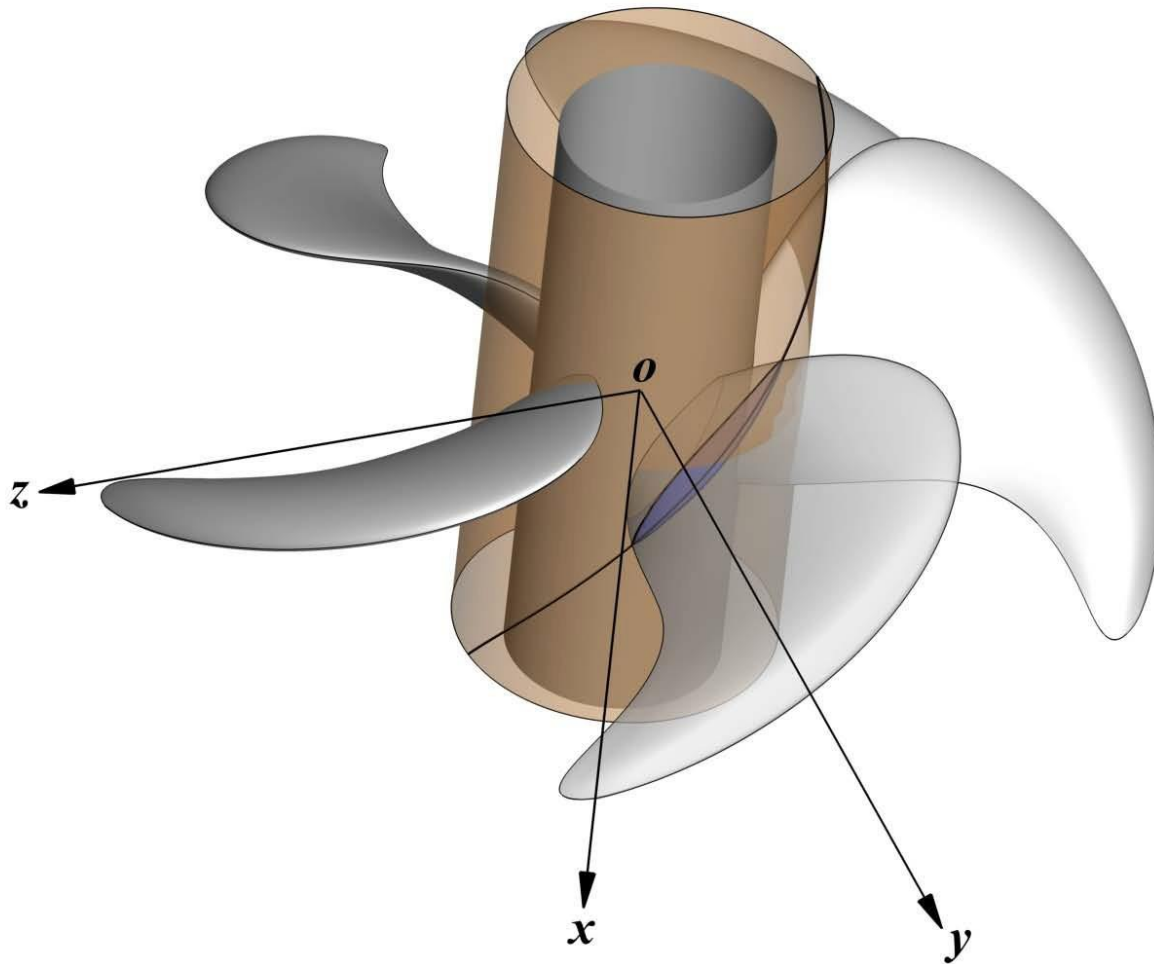


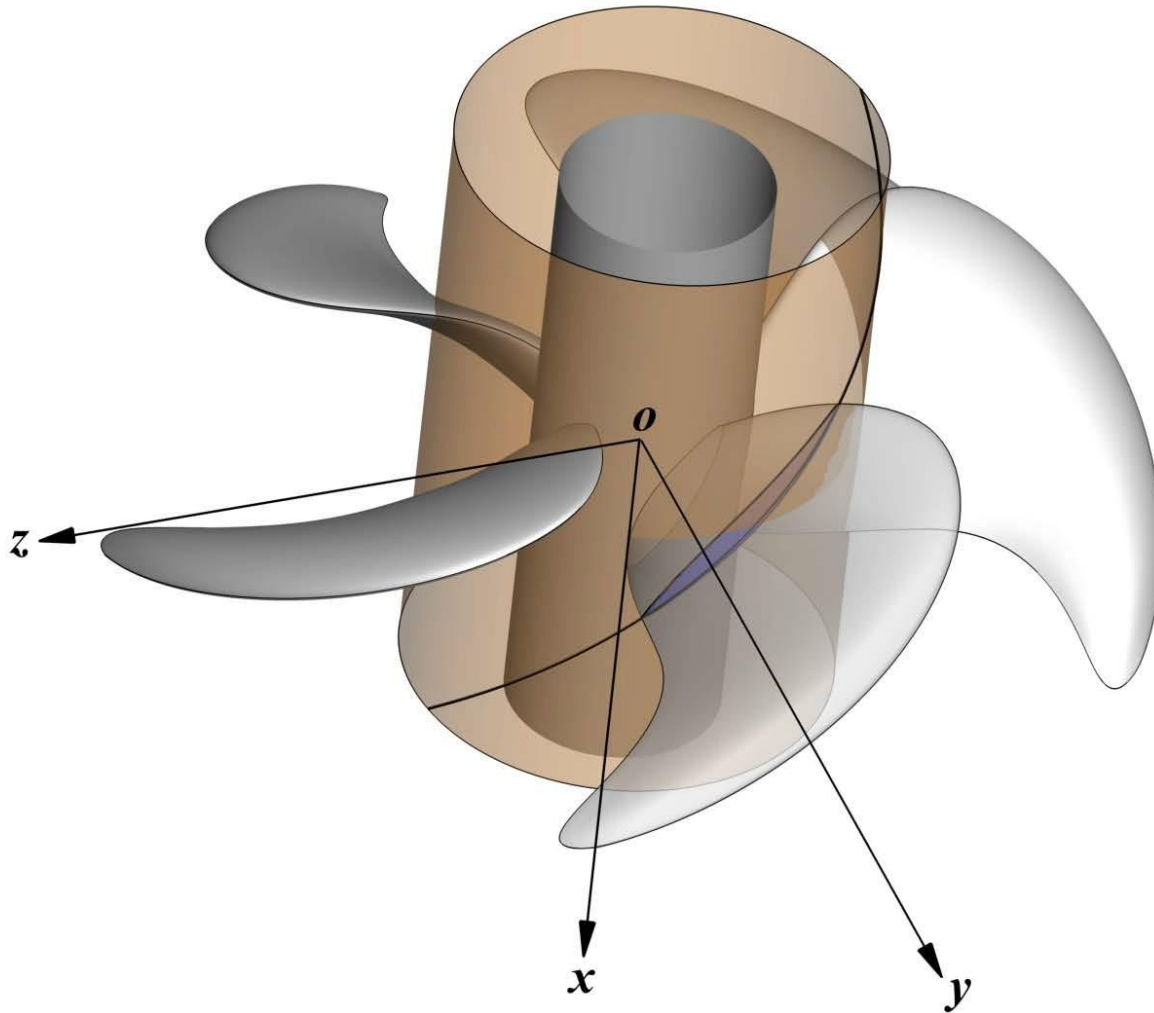
## 2.2 螺旋桨特征参数

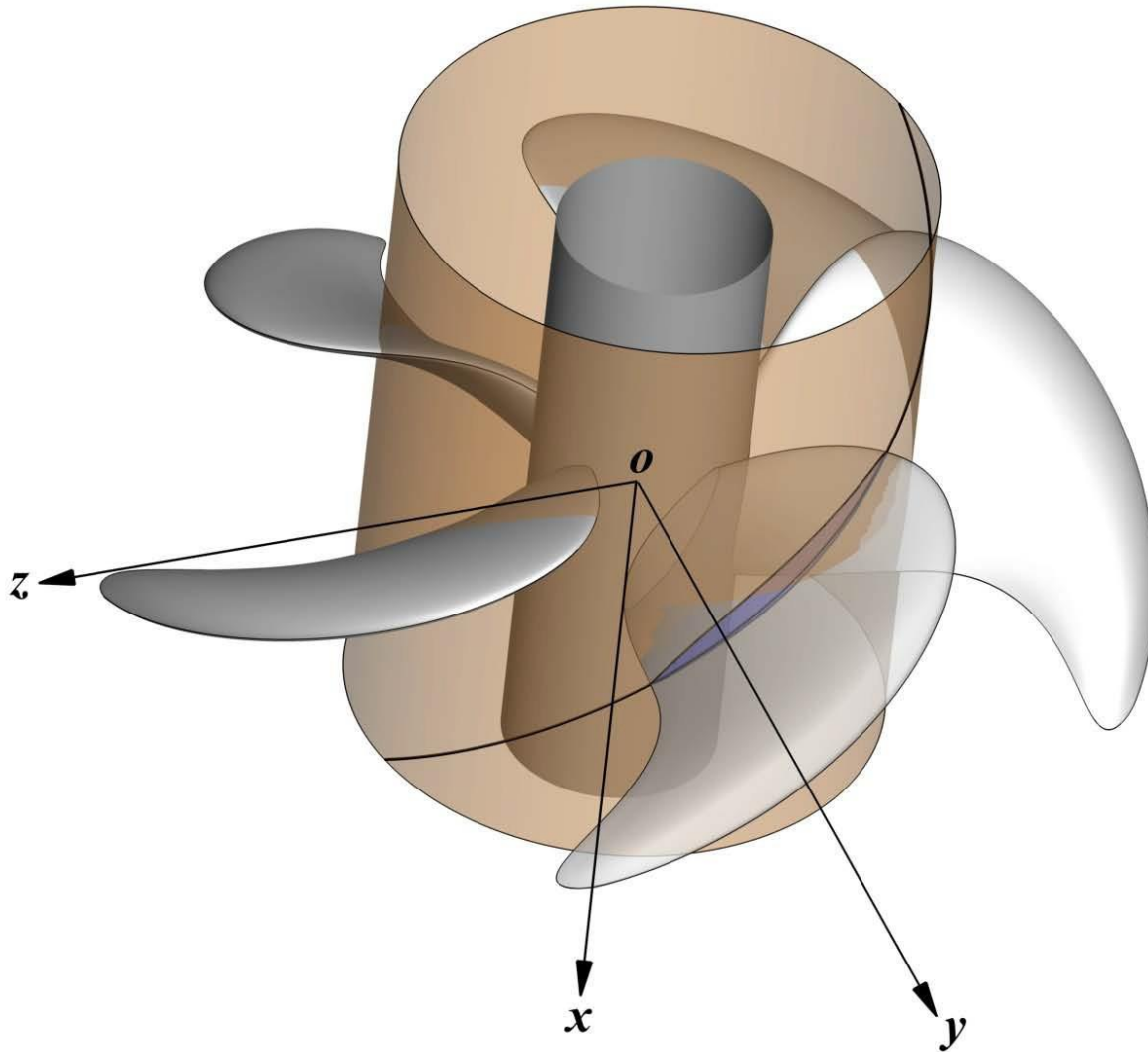
### 桨叶的外形轮廓和叶面积

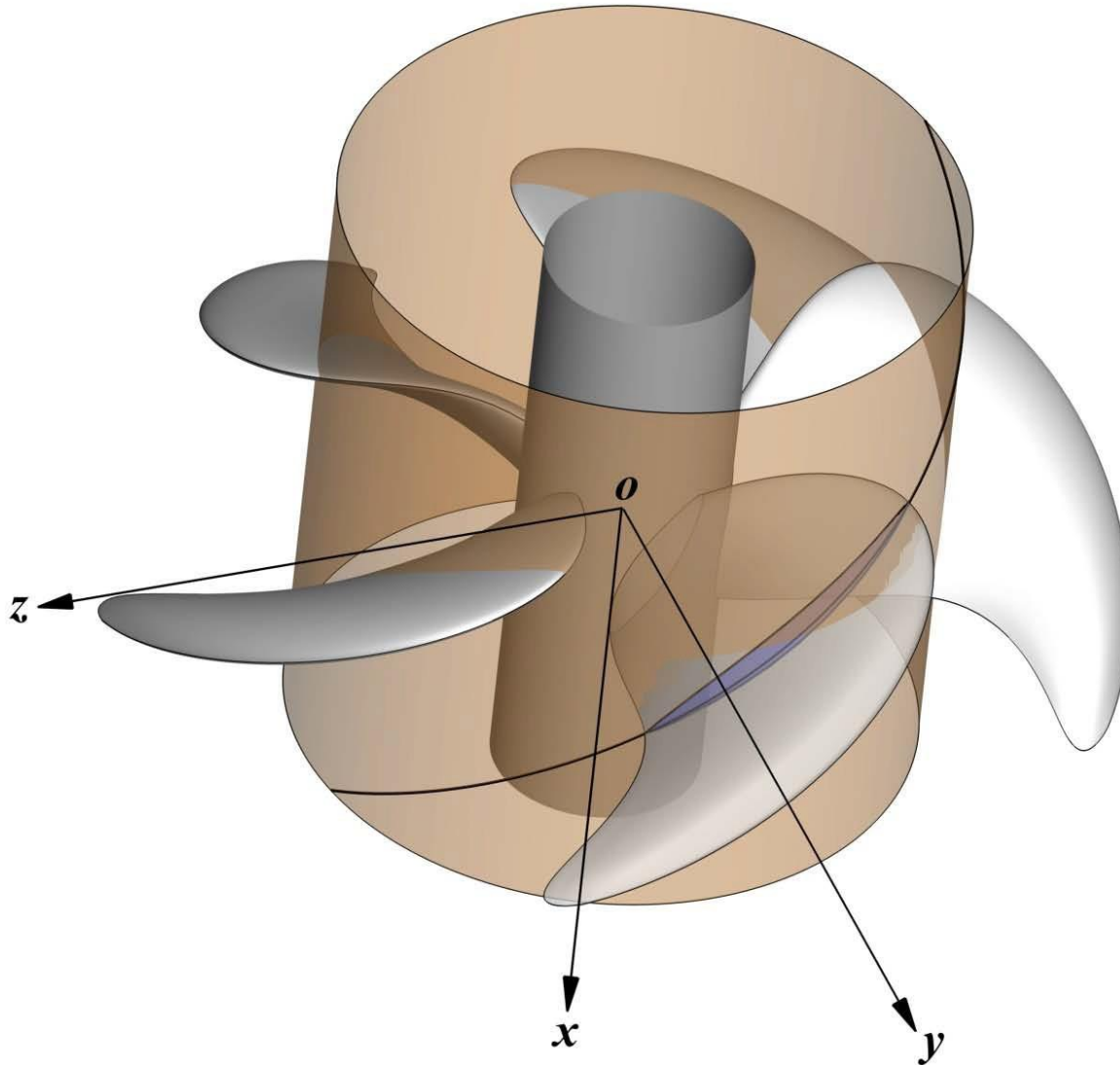
- 螺旋桨的参考坐标系

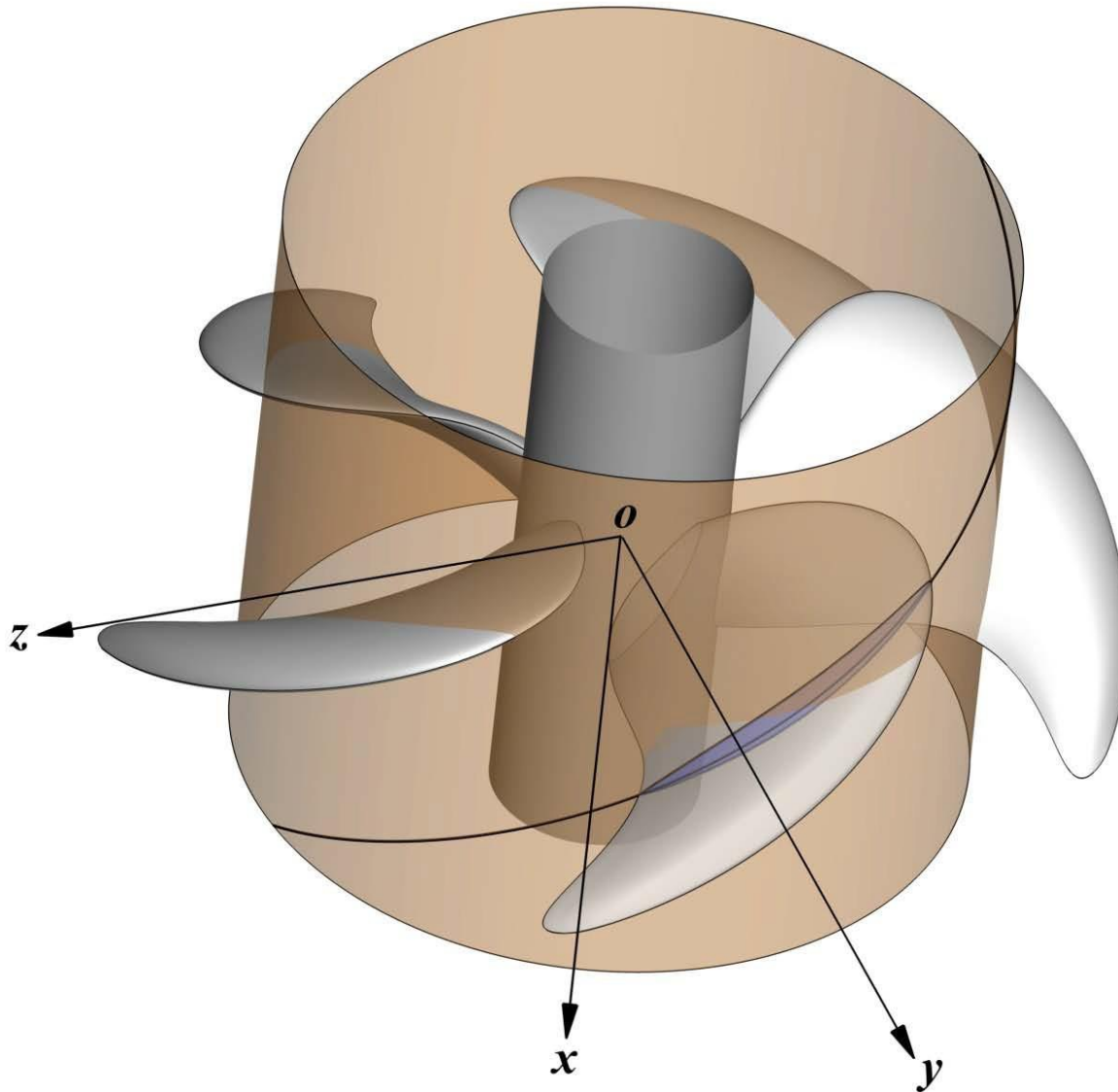


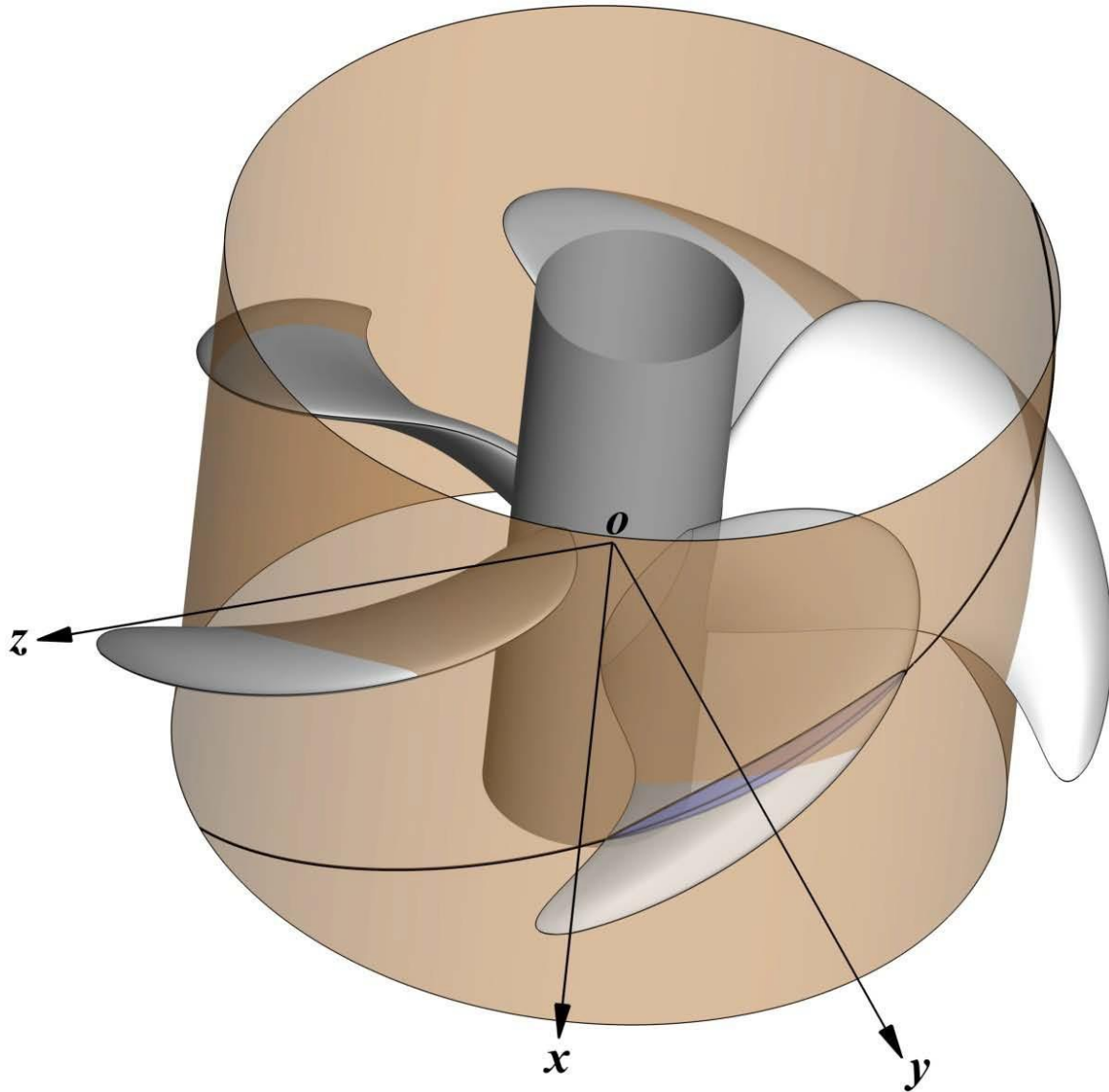


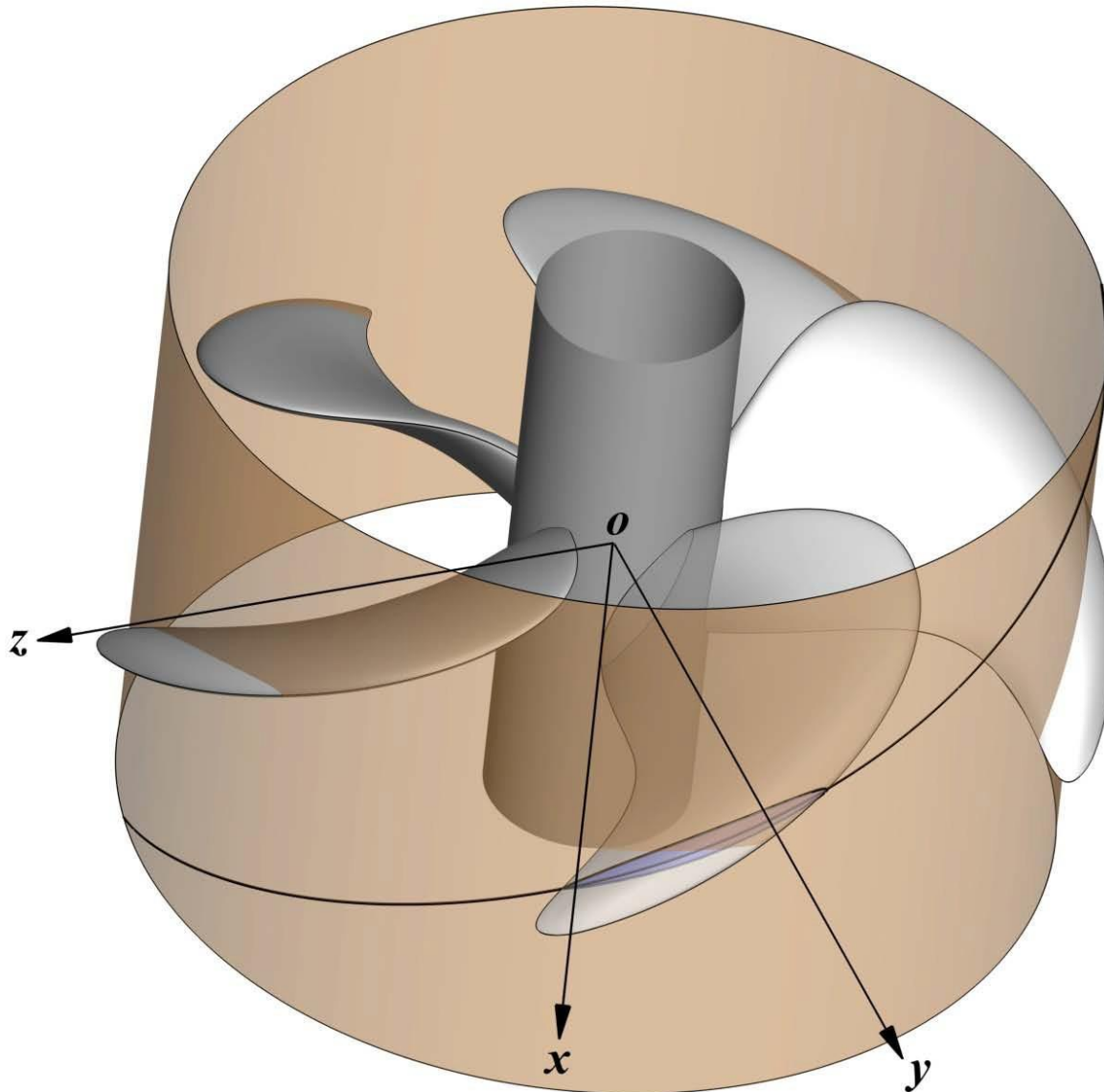




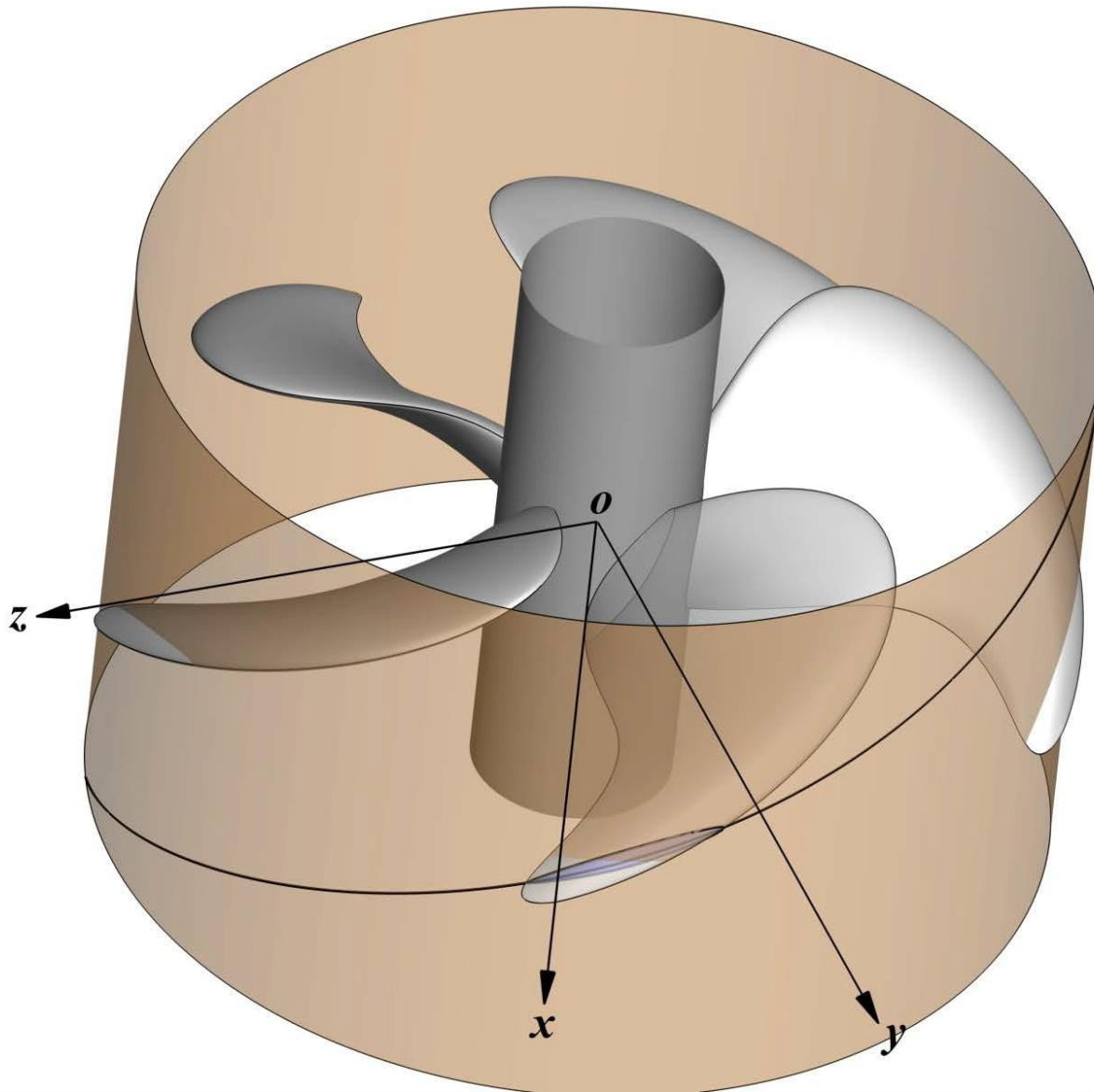


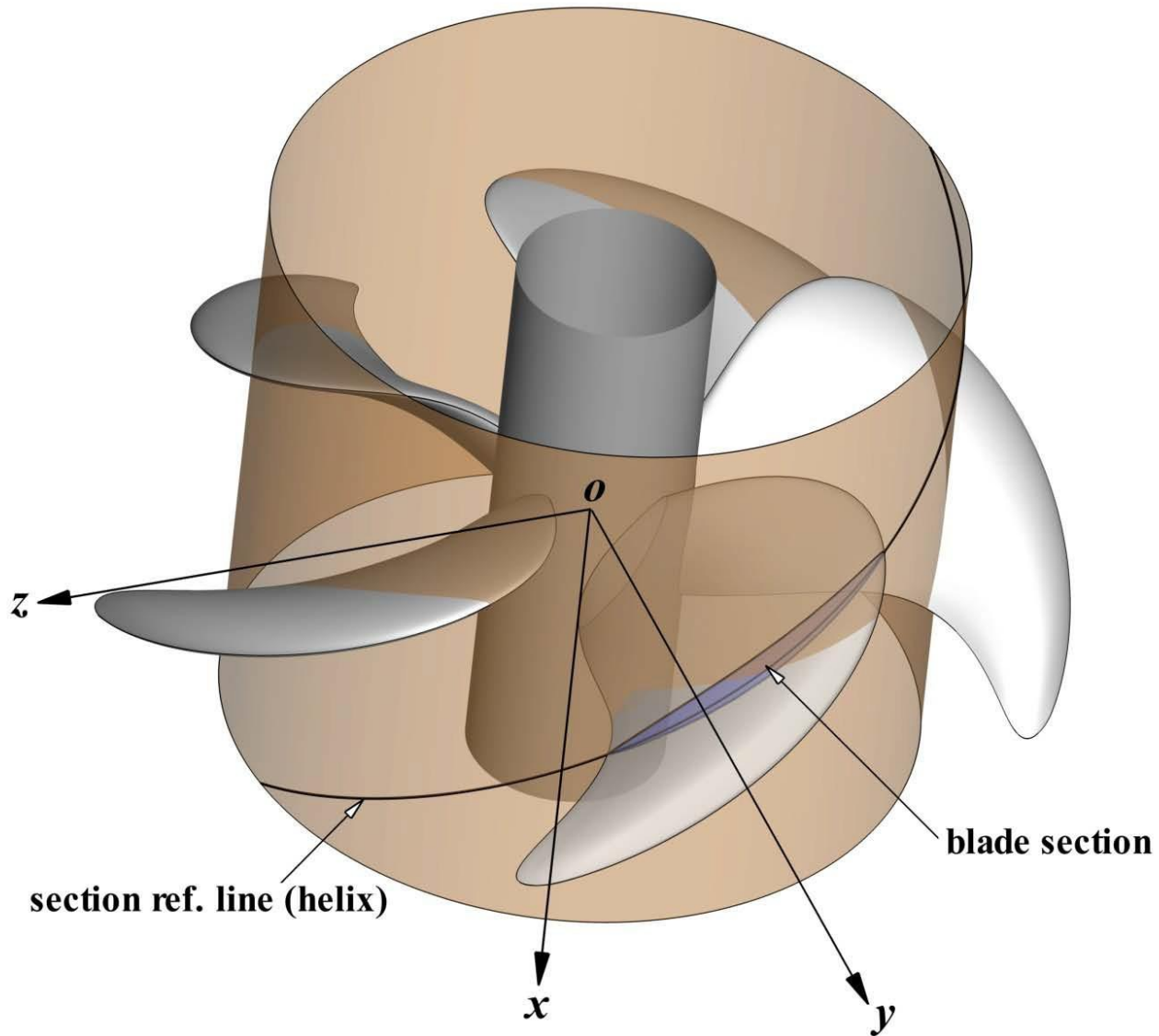


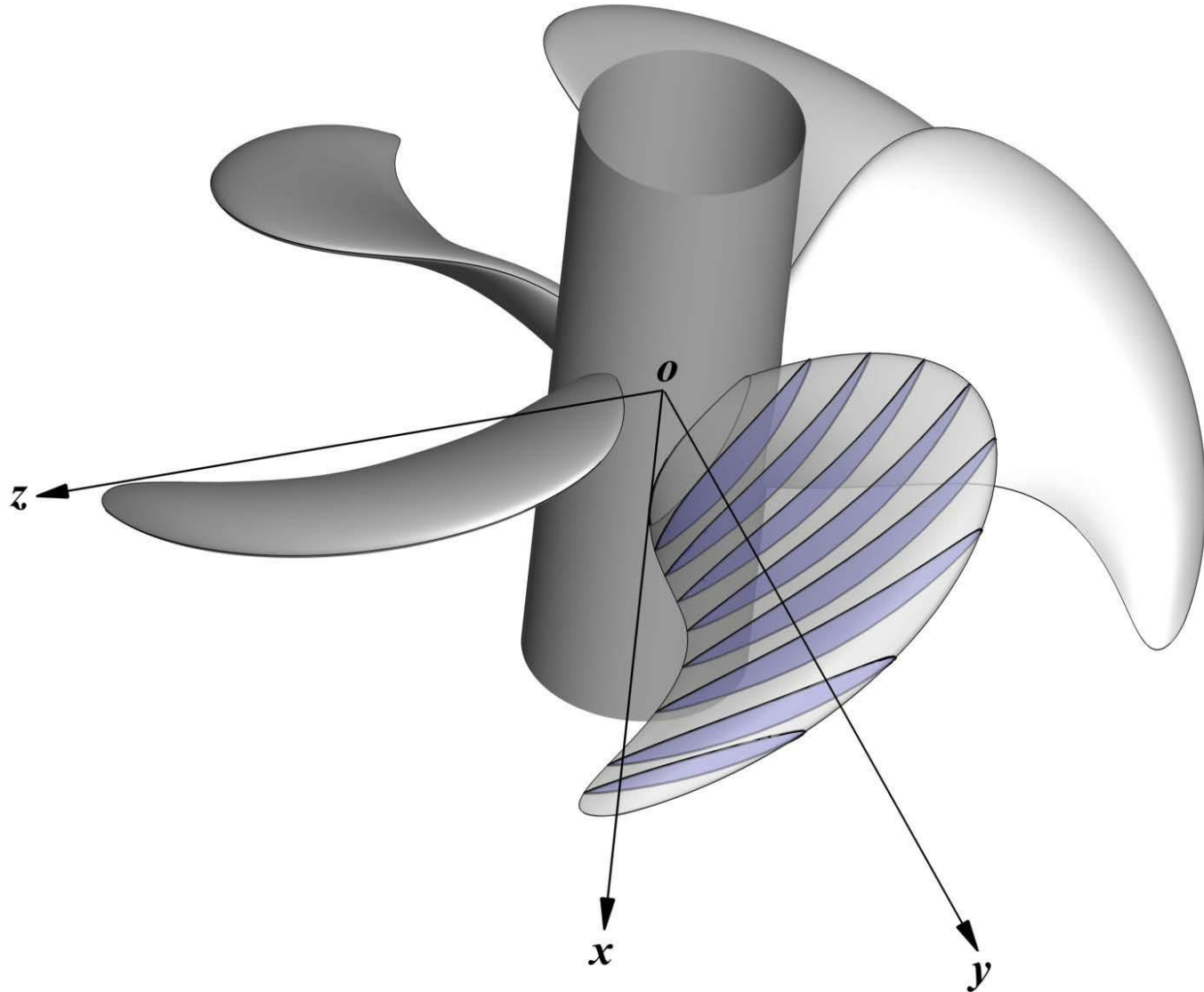


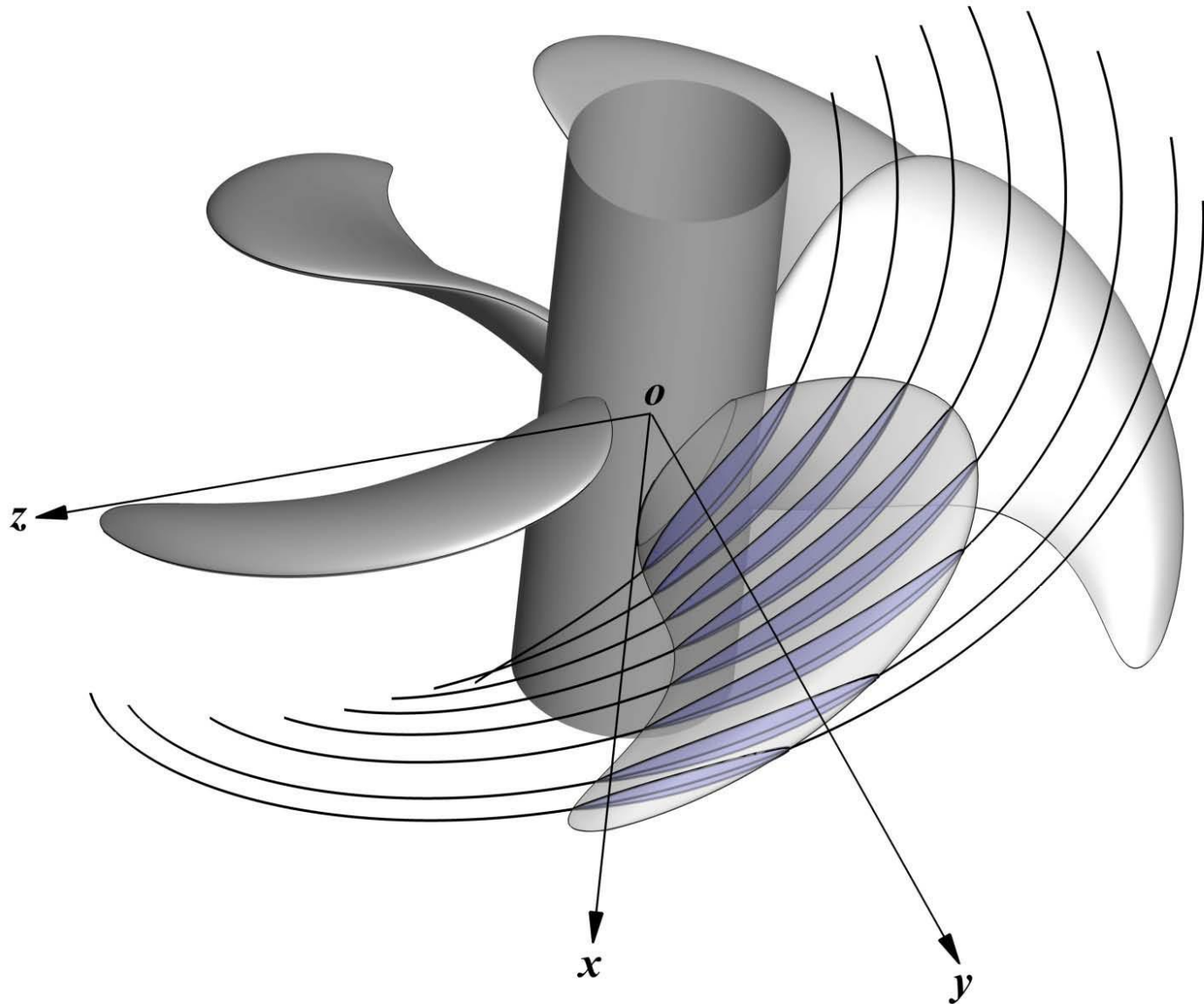


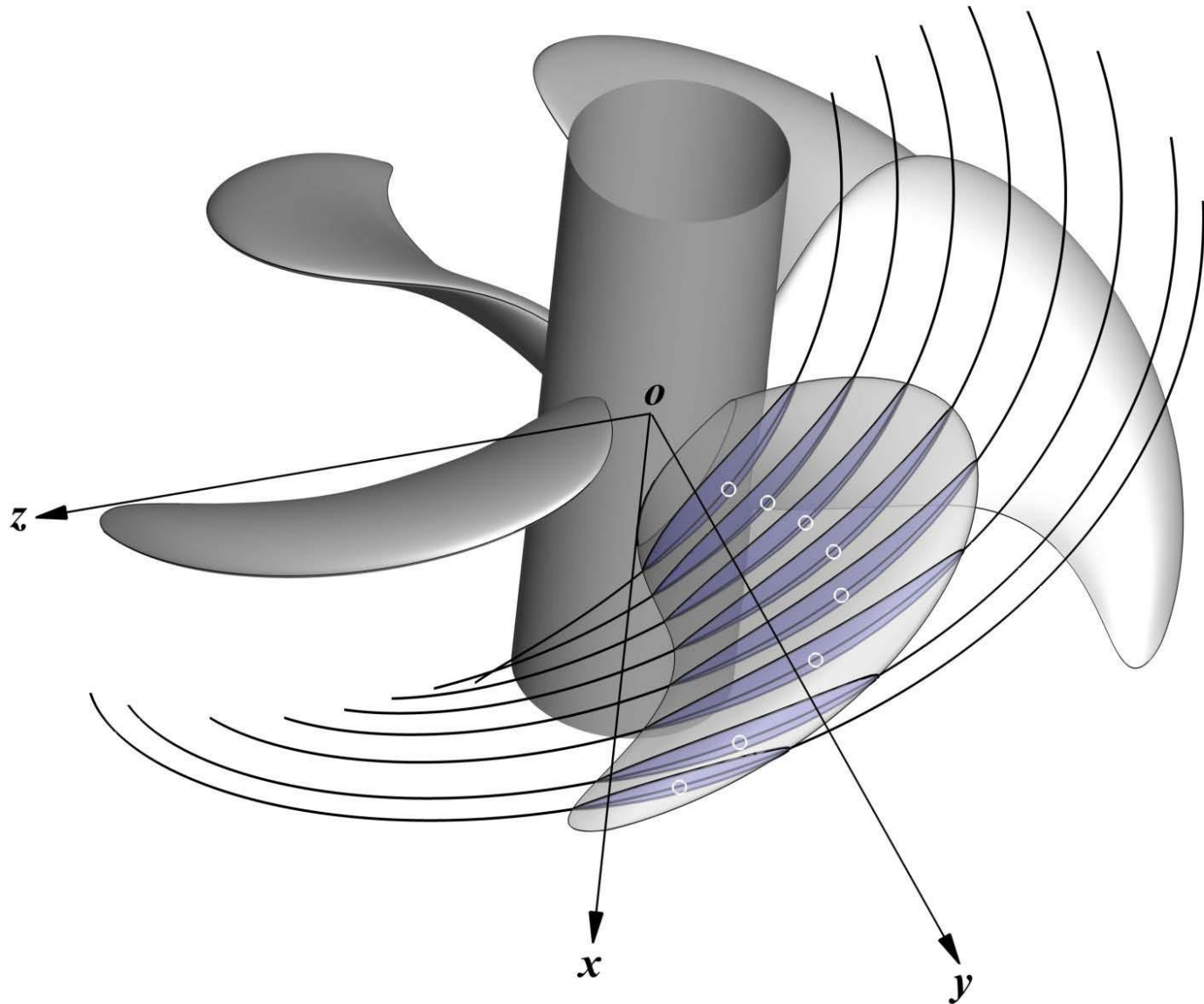


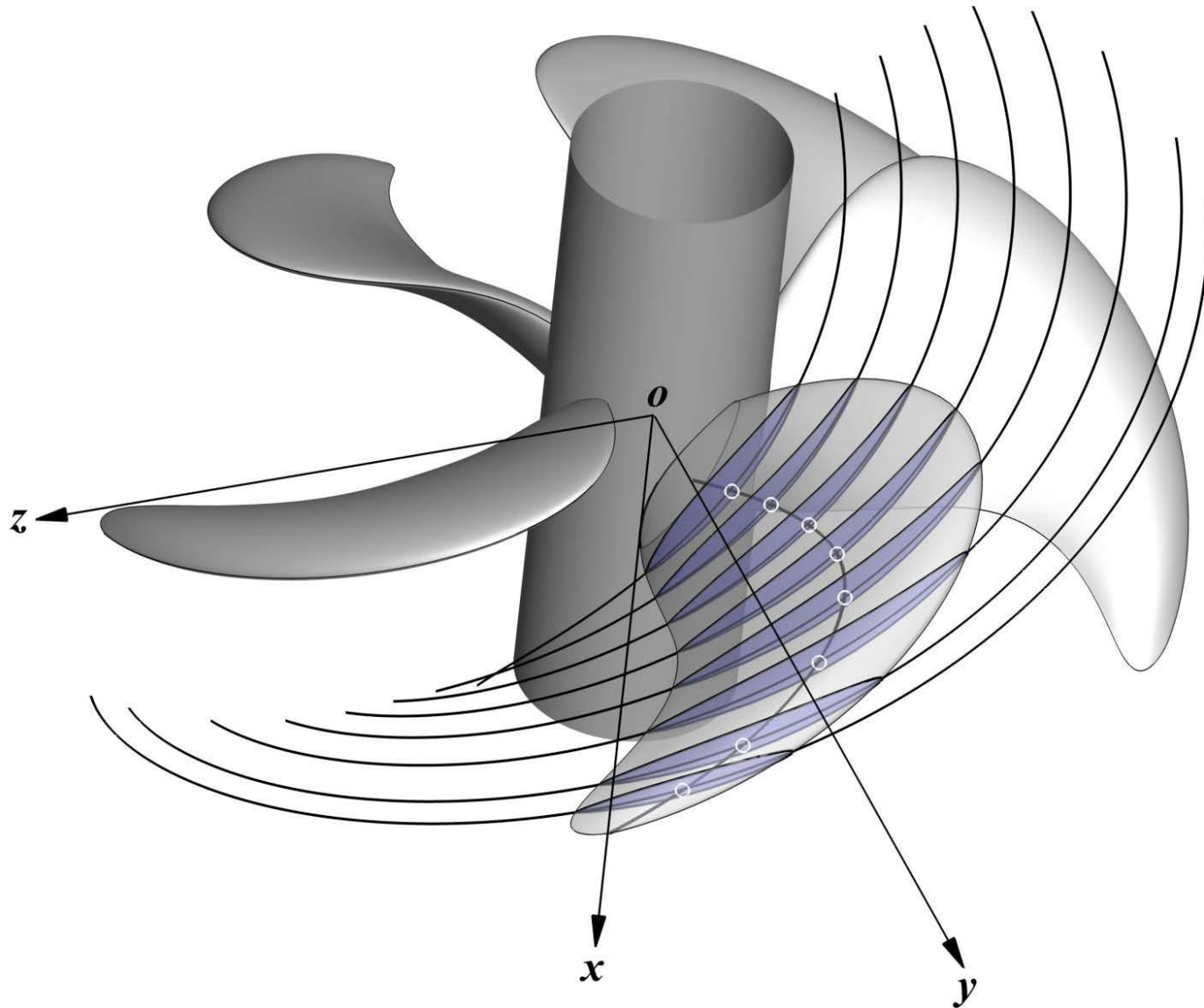


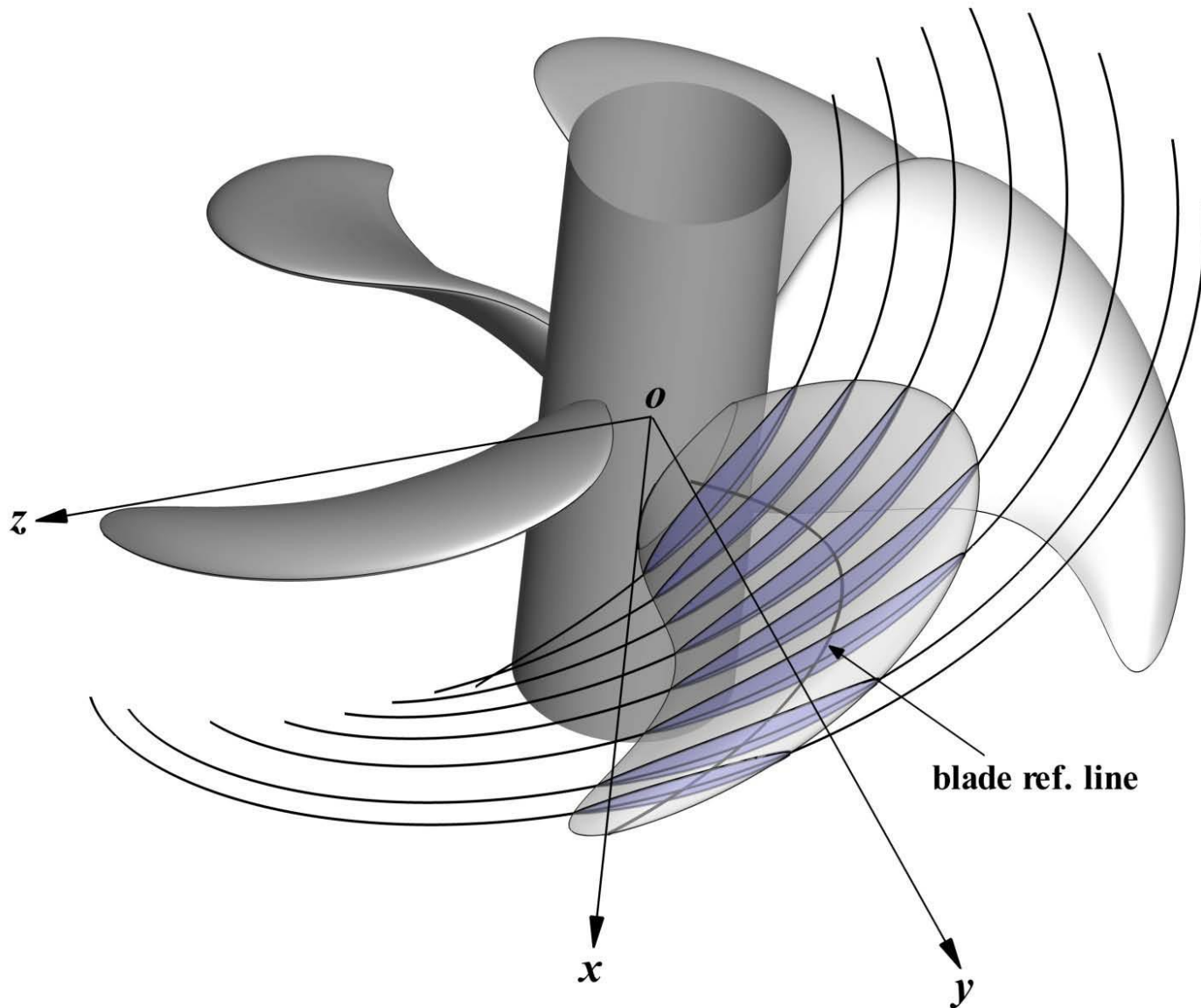






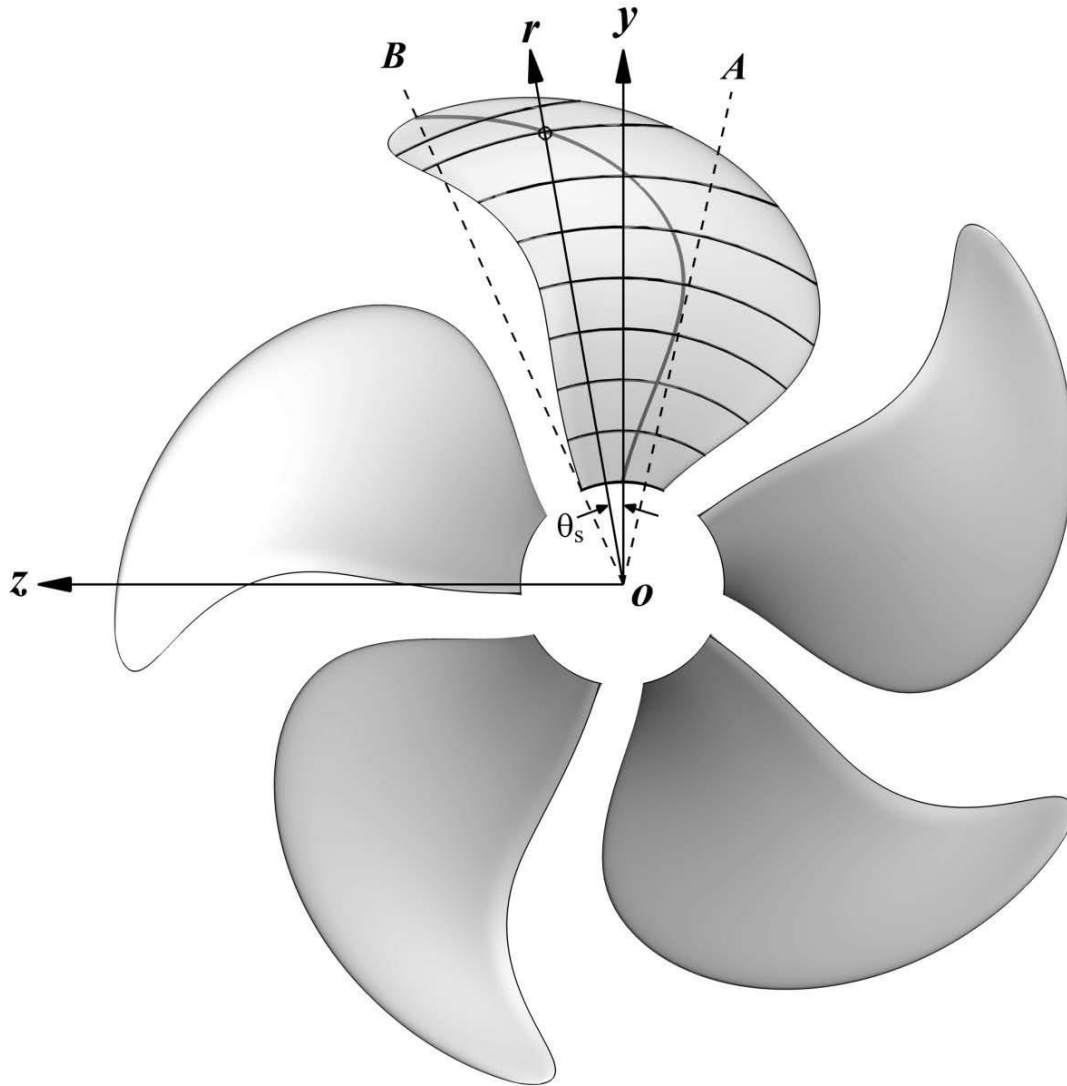








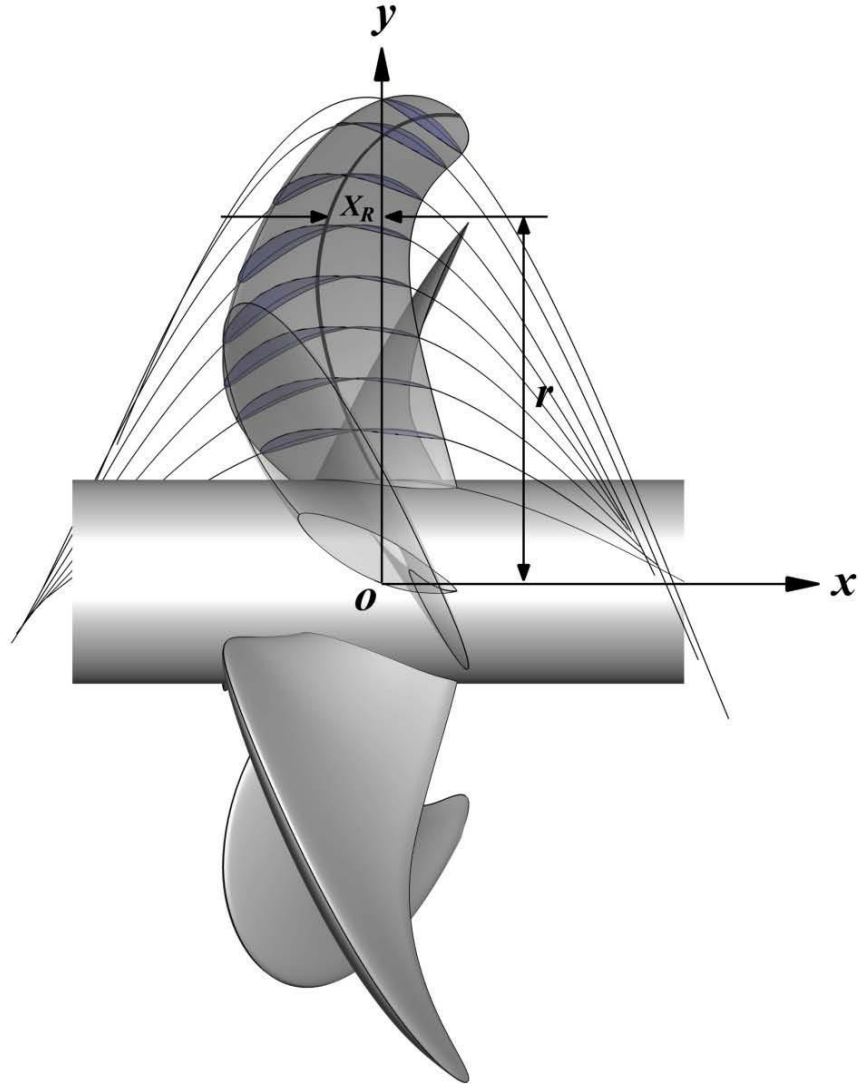
# 侧斜和侧斜角







# 纵斜

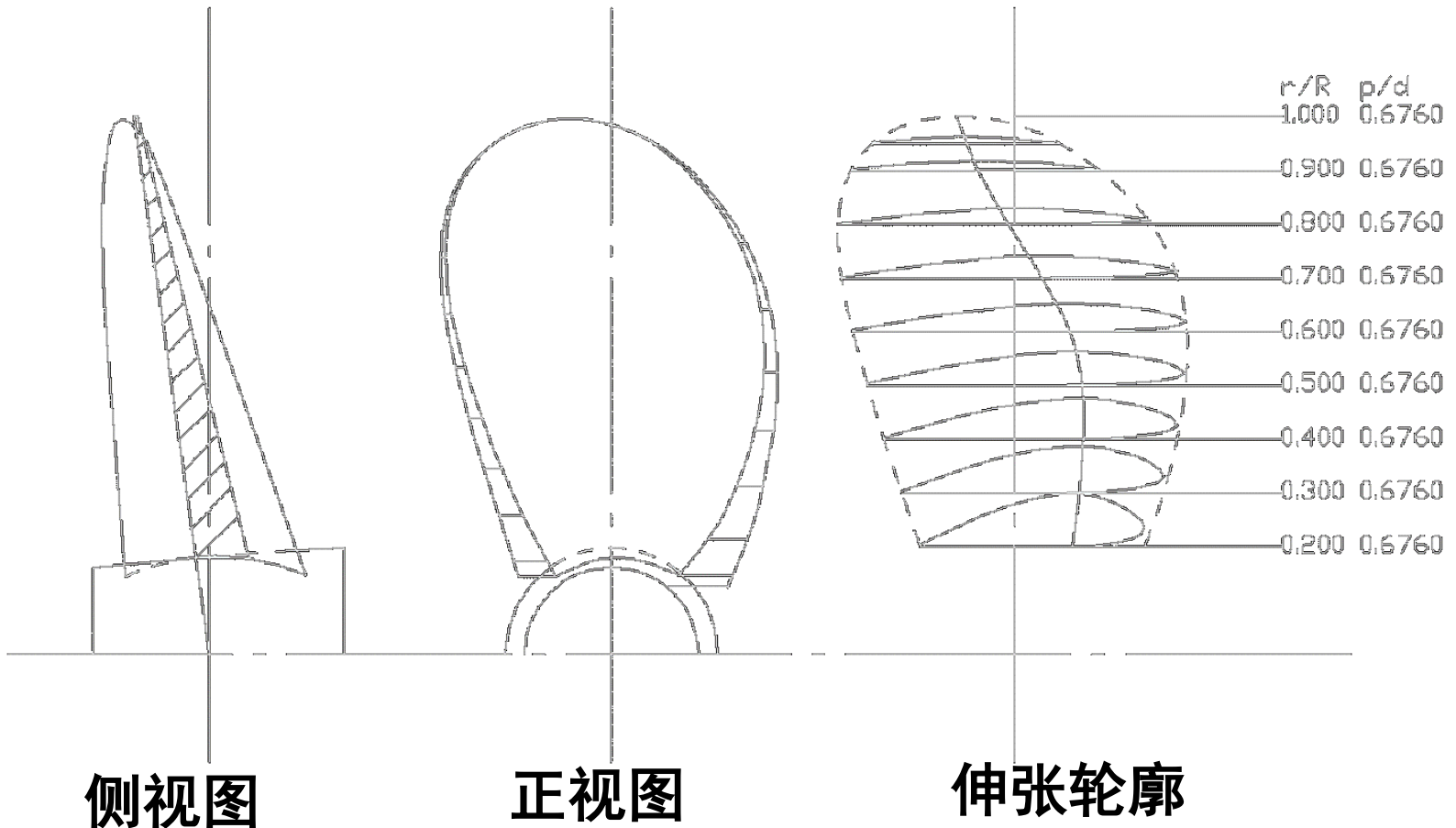




## 2.2 螺旋桨特征参数

### 桨叶的外形轮廓和叶面积

- 螺旋桨视图

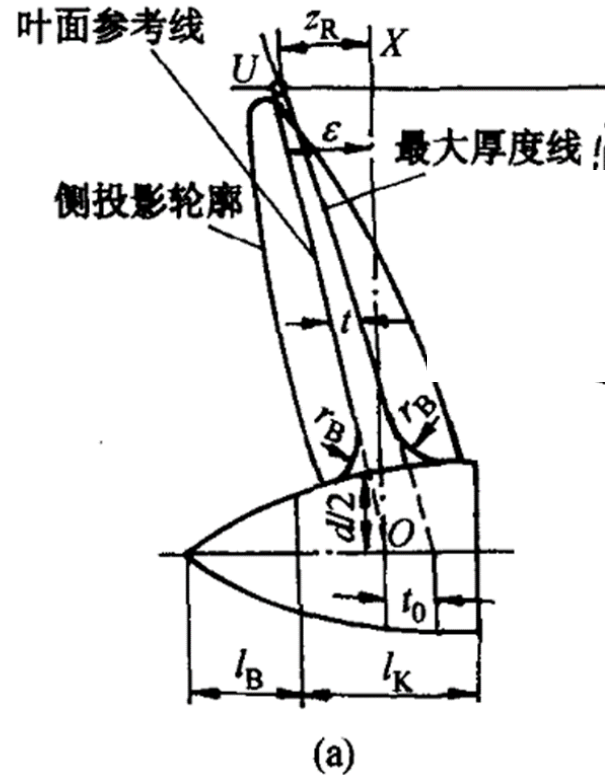




## 2.2 螺旋桨特征参数

### 螺旋桨最大厚度线和叶厚分数

- 最大厚度线与参考线间的轴向距离  $t$  表示改半径处叶切面的**最大厚度**。
- 仅表示不同半径处切面最大厚度沿径向的分布情况，并不表示最大厚度沿切面弦向的位置。
- **叶厚分数**，辐射参考线与最大厚度的线延长线在轴线上交点的距离  $t_0$  与直径  $D$  之比。
- 叶梢处桨叶厚度的处理，呈圆弧状。

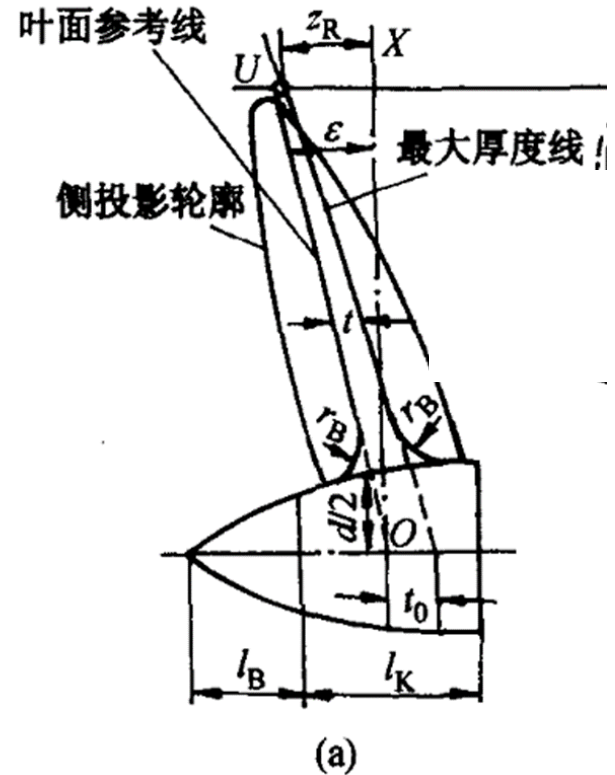




## 2.2 螺旋桨特征参数

### 螺旋桨桨毂参数

- 呈圆锥体，各处直径不相等；
- 桨毂直径一般是指辐射参考线与桨毂表面相交处至轴线距离的两倍，并且以 $d$ 来表示。
- **毂径比**，毂径 $d$ 与螺旋桨直径 $D$ 的比值。





## 2.2 螺旋桨特征参数

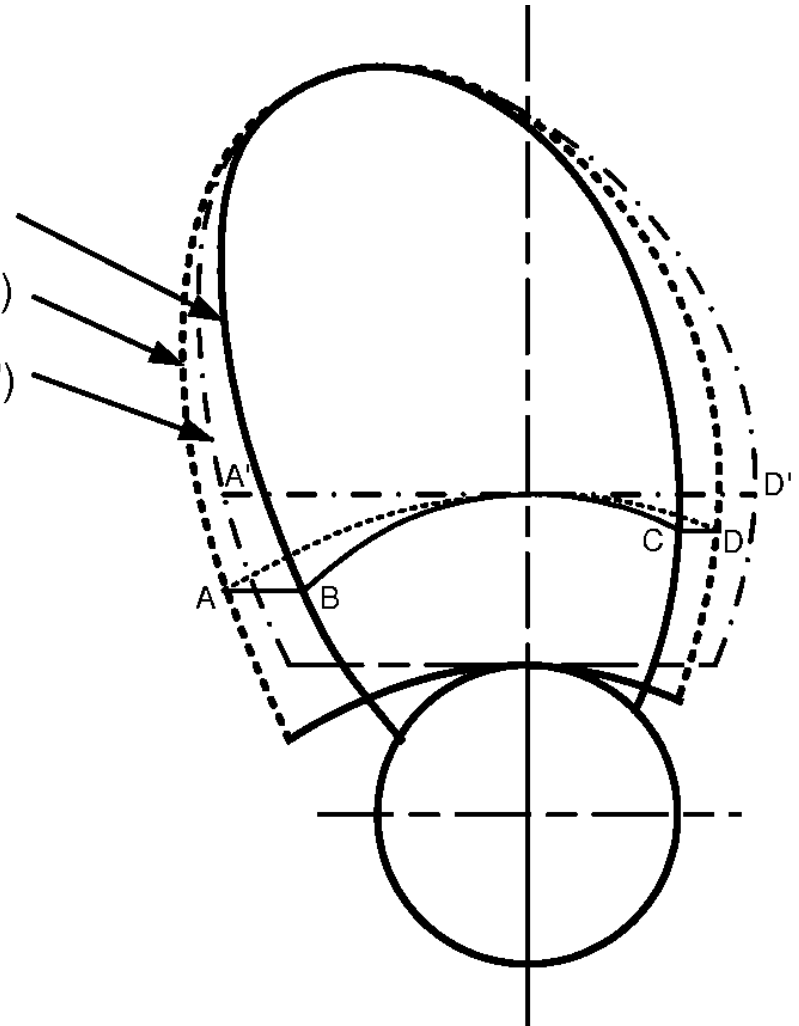
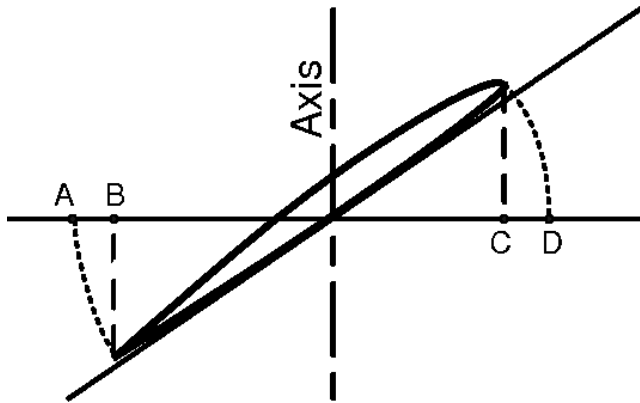
### 桨叶的外形轮廓和叶面积

投射轮廓  
 展开轮廓  
 伸张轮廓

Projected outline (B-C)

Developed outline (A-D)

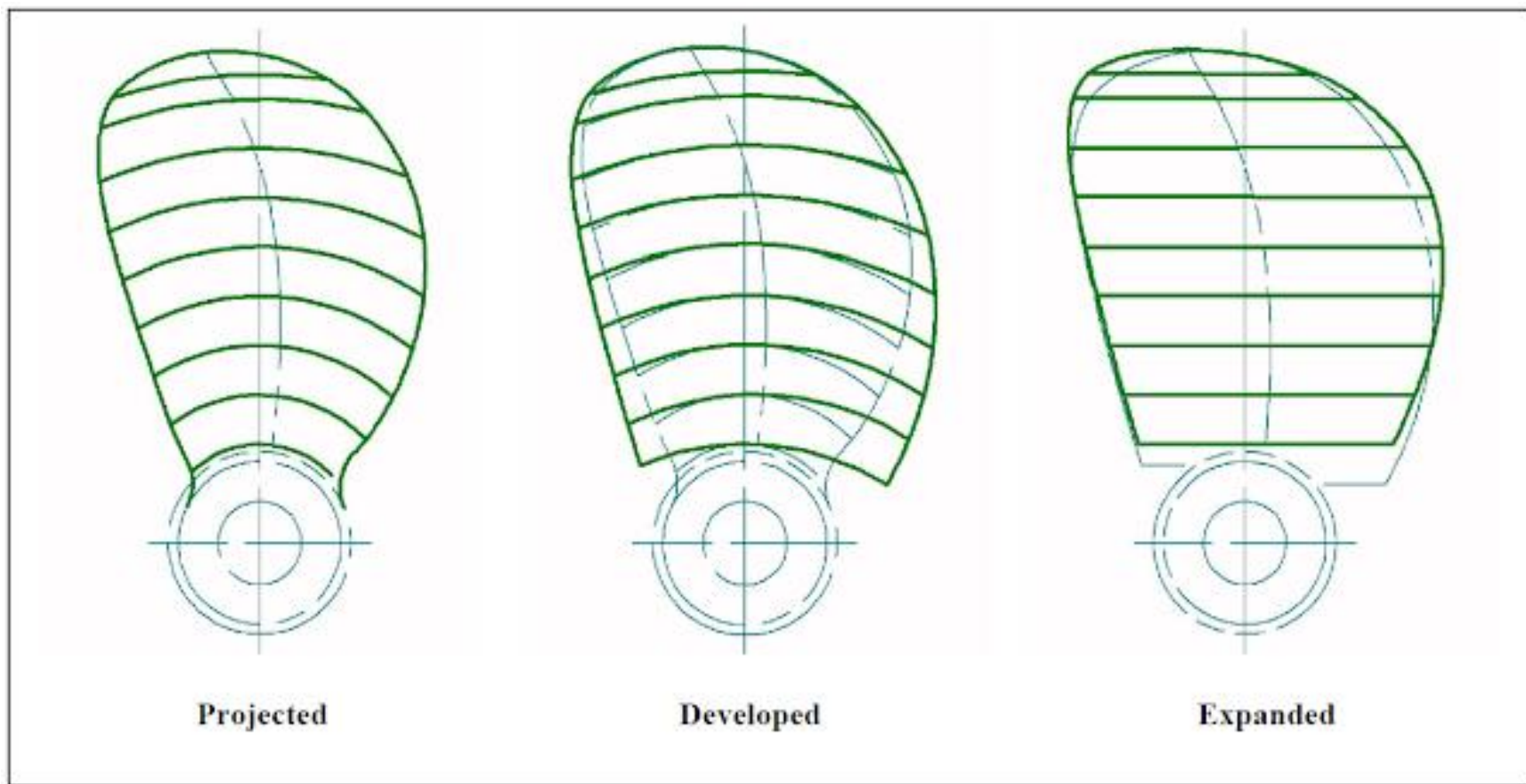
Expanded outline (A'-D')





## 2.2 螺旋桨特征参数

### 桨叶的外形轮廓和叶面积



Projected

Developed

Expanded

投射轮廓

展开轮廓

伸张轮廓



## 2.2 螺旋桨特征参数

### 桨叶的外形轮廓和叶面积

- **投射面积** $A_P$  --- 所有桨叶投射轮廓包含面积之总和；
- **投射面比** --- 投射面积 $A_P$ 与桨盘面积 $A_0$ 之比；
- **展开面比** --- 展开面积 $A_D$ 与桨盘面积 $A_0$ 之比；
- **伸张面比** --- 展开面积 $A_E$ 与桨盘面积 $A_0$ 之比；

螺旋桨桨叶的展开面积和伸张面积极为接近，故均可称为**叶面积**，展开面比和伸张面比均可称为**盘面比**或叶面比。盘面比的大小实质上表示桨叶的宽窄程度。



## 2.2 螺旋桨特征参数

也可用桨叶平均宽度 $b_m$ 来表示桨叶的宽窄程度

$$b_m = \frac{A_E}{Z \left( R - \frac{d}{2} \right)}$$

其中， $A_E$ 为螺旋桨伸张面积， $d$ 为毂径， $Z$ 为叶数。

或者也可以用平均宽度比 $\overline{b_m}$ 来表示：

$$\overline{b_m} = \frac{b_m}{D} = \frac{\pi A_E / A_0}{2Z \left( R - \frac{d}{2} \right)}$$