

# 课程设计说明书

题 目: 汽轮机叶片数控加工工艺设计及仿真

姓 名:

学 院:

专 业:

班 级:

指导教师:

## 毕业设计（论文）原创性声明和使用授权说明

### 原创性声明

本人郑重承诺：所呈交的毕业设计（论文），是我个人在指导教师的指导下进行的研究工作及取得的成果。尽我所知，除文中特别加以标注和致谢的地方外，不包含其他人或组织已经发表或公布过的研究成果，也不包含我为获得\_\_\_\_\_及其它教育机构的学位或学历而使用过的材料。对本研究提供过帮助和做出过贡献的个人或集体，均已在文中作了明确的说明并表示了谢意。

作者 签 名：\_\_\_\_\_ 日 期：\_\_\_\_\_

指导教师签名：\_\_\_\_\_ 日 期：\_\_\_\_\_

### 使用授权说明

本人完全了解\_\_\_\_\_大学关于收集、保存、使用毕业设计（论文）的规定，即：按照学校要求提交毕业设计（论文）的印刷本和电子版本；学校有权保留毕业设计（论文）的印刷本和电子版，并提供目录检索与阅览服务；学校可以采用影印、缩印、数字化或其它复制手段保存论文；在不以赢利为目的前提下，学校可以公布论文的部分或全部内容。

作者签名：\_\_\_\_\_ 日 期：\_\_\_\_\_



## 注 意 事 项

1. 设计（论文）的内容包括：

- 1) 封面（按教务处制定的标准封面格式制作）
- 2) 原创性声明
- 3) 中文摘要（300 字左右）、关键词
- 4) 外文摘要、关键词
- 5) 目次页（附件不统一编入）
- 6) 论文主体部分：引言（或绪论）、正文、结论
- 7) 参考文献
- 8) 致谢
- 9) 附录（对论文支持必要时）

2. 论文字数要求：理工类设计（论文）正文字数不少于 1 万字（不包括图纸、程序清单等），文科类论文正文字数不少于 1.2 万字。

3. 附件包括：任务书、开题报告、外文译文、译文原文（复印件）。

4. 文字、图表要求：

1) 文字通顺，语言流畅，书写字迹工整，打印字体及大小符合要求，无错别字，不准请他人代写

2) 工程设计类题目的图纸，要求部分用尺规绘制，部分用计算机绘制，所有图纸应符合国家技术标准规范。图表整洁，布局合理，文字注释必须使用工程字书写，不准用徒手画

3) 毕业论文须用 A4 单面打印，论文 50 页以上的双面打印

4) 图表应绘制于无格子的页面上

5) 软件工程类课题应有程序清单，并提供电子文档

5. 装订顺序

1) 设计（论文）

2) 附件：按照任务书、开题报告、外文译文、译文原文（复印件）次序装

订

## 指导教师评阅书

### 指导教师评价：

#### 一、撰写（设计）过程

1、学生在论文（设计）过程中的治学态度、工作精神

优       良       中       及格       不及格

2、学生掌握专业知识、技能的扎实程度

优       良       中       及格       不及格

3、学生综合运用所学知识和专业技能分析和解决问题的能力

优       良       中       及格       不及格

4、研究方法的科学性；技术线路的可行性；设计方案的合理性

优       良       中       及格       不及格

5、完成毕业论文（设计）期间的出勤情况

优       良       中       及格       不及格

#### 二、论文（设计）质量

1、论文（设计）的整体结构是否符合撰写规范？

优       良       中       及格       不及格

2、是否完成指定的论文（设计）任务（包括装订及附件）？

优       良       中       及格       不及格

#### 三、论文（设计）水平

1、论文（设计）的理论意义或对解决实际问题的指导意义

优       良       中       及格       不及格

2、论文的观念是否有新意？设计是否有创意？

优       良       中       及格       不及格

3、论文（设计说明书）所体现的整体水平

优       良       中       及格       不及格

建议成绩： 优       良       中       及格       不及格

（在所选等级前的内画“√”）

指导教师：

（签名）

单位：

（盖章）

年    月    日

## 评阅教师评阅书

评阅教师评价：

### 一、论文（设计）质量

1、论文（设计）的整体结构是否符合撰写规范？

优       良       中       及格       不及格

2、是否完成指定的论文（设计）任务（包括装订及附件）？

优       良       中       及格       不及格

### 二、论文（设计）水平

1、论文（设计）的理论意义或对解决实际问题的指导意义

优       良       中       及格       不及格

2、论文的观念是否有新意？设计是否有创意？

优       良       中       及格       不及格

3、论文（设计说明书）所体现的整体水平

优       良       中       及格       不及格

建议成绩： 优       良       中       及格       不及格

（在所选等级前的内画“√”）

评阅教师：

（签名）

单位：

（盖章）

年 月 日

## 教研室（或答辩小组）及教学系意见

教研室（或答辩小组）评价：

### 一、答辩过程

1、毕业论文（设计）的基本要点和见解的叙述情况

优     良     中     及格     不及格

2、对答辩问题的反应、理解、表达情况

优     良     中     及格     不及格

3、学生答辩过程中的精神状态

优     良     中     及格     不及格

### 二、论文（设计）质量

1、论文（设计）的整体结构是否符合撰写规范？

优     良     中     及格     不及格

2、是否完成指定的论文（设计）任务（包括装订及附件）？

优     良     中     及格     不及格

### 三、论文（设计）水平

1、论文（设计）的理论意义或对解决实际问题的指导意义

优     良     中     及格     不及格

2、论文的观念是否有新意？设计是否有创意？

优     良     中     及格     不及格

3、论文（设计说明书）所体现的整体水平

优     良     中     及格     不及格

评定成绩： 优     良     中     及格     不及格

教研室主任（或答辩小组组长）：

（签名）

年 月 日

教学系意见：

系主任：

（签名）

年 月 日

# 目 录

摘要	1
关键词	1
<b>1 本课题研究的内容及意义</b>	1
2.1 汽轮机简介	2
2.2 汽轮机叶片简介	3
2.2.1 汽轮机叶片的结构与分类	3
2.2.2 汽轮机叶片材料	5
<b>3 汽轮机叶片三维建模</b>	6
3.1 PRO/E 软件简介	6
3.2 基于 PRO/E 软件的叶片三维建模分析	7
3.3 汽轮机叶片建模	8
3.3.1 汽轮机叶片型面数据点的提取	8
3.3.2 汽轮机叶片叶身建模	10
3.3.3 汽轮机叶片叶根建模	12
3.3.4 汽轮机叶片叶冠建模	13
3.3.5 汽轮机叶片建模总结	13
<b>4 叶片加工工艺分析及方案制订</b>	14
4.1 叶片毛坯的选用	14
4.2 叶片叶根和叶冠加工工艺设计	15
4.3 叶片叶身型面加工工艺设计	15
4.4 叶片工艺流程	15
<b>5 叶片的数控加工</b>	16
5.1 四轴联动加工中心简介	16
5.2 叶片数控加工工艺分析	17
5.3 数控编程	18
5.3.1 切削参数设定	18
5.3.2 刀具设置	19
5.3.3 机床设置	19
5.3.4 NC 序列设置	20
5.3.5 轨迹生成和加工仿真	21
5.3.6 刀位文件和后置处理	22
参考文献	26
附录 A 叶片工艺卡片	
附录 B 叶片叶身部分刀位文件及 NC 代码	

# 汽轮机叶片数控加工工艺设计及仿真

**摘要:** 本课题主要研究了基于 Pro/E 的汽轮机叶片三维造型设计、汽轮机叶片加工工艺设计,重点研究了基于 Pro/E 的汽轮机叶片数控加工技术。本文详细介绍了基于 Pro/E 的汽轮机叶片的三维建模;阐述了叶片从毛坯粗加工到叶片型面精加工的加工工艺及工艺流程

**关键词:** 汽轮机叶片; Pro/E; 数控加工;

## 1. 本课题研究的内容及意义

在整个汽轮机的发展历程中,汽轮机叶片的发展占据着相当重要的地位。因为叶片是汽轮机实现能量转换的关键部件,提高汽轮机工作效率的关键一环。叶片的加工工艺也在不断地与时俱进,而叶片的数控加工工艺一直是机械制造领域中的一个研究热点。

随着数控技术的发展和应用,国内外当下的主流的 CAD/CAM 软件有 UG、PRO/E 等,汽轮机叶片的数控加工将在今后占据越来越主要的地位,而普通机床也不会退出叶片加工的领域,因为相对数控机床而言使用普通机床的成本更低且加工某些叶根叶冠的效率更高。

## 2. 汽轮机及其叶片简介

### 2.1 汽轮机简介

汽轮机是用具有一定温度和压力的过热蒸汽(工质)为动力,并将蒸汽的热能转换为转子旋转的机械能的动力机械,是现代火力发电厂中应用最广泛的原动机,也可用来直接驱动各种泵、风机、压缩机和船舶螺旋桨等。汽轮机具有单机功率大、热效率高、运转平稳事故率低、寿命长等优点。在汽轮机中,蒸汽的热能转变为旋转的机械能,一般可通过两种不同的作用原理来实现:一种是冲动作用原理,另一种是反动作用原理。

由牛顿第三定律可知,当某物体对另一物体施加作用力时,此物体就必然要受到与其作用力大小相等、方向相反的反作用力,这个作用力称为冲动力。冲动力的大小取决于运动物体的质量和速度的变化。质量越大,冲动力越大;速度变化越大,冲动力也越大。受到冲动力作用的物体产生了速度变化,该运动物体

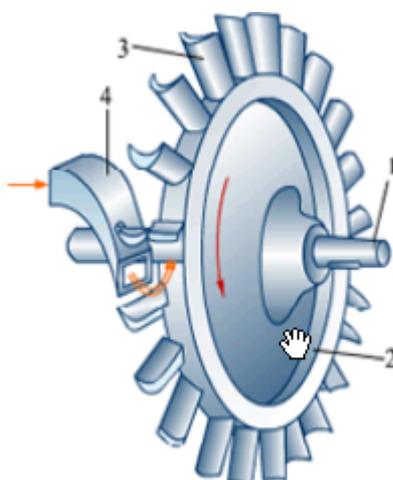


图 1 冲动式汽轮机工作原理图

1-轴；2-叶轮；3-动叶；4-喷嘴

就做了机械功。以单级冲动式汽轮机结构为例，如图 1。蒸汽在喷嘴中产生膨胀，压力降低，速度增加，蒸汽的热能转变为蒸汽的动能。高速气流流经叶片时，由于气流方向改变，产生了对叶片的冲动力，推动叶轮旋转做功，将蒸汽的动能转变为轴旋转的机械能。

在反动式汽轮机中，蒸汽不但在喷嘴（静叶栅）中产生膨胀，压力降低，速度增高，高速气流对动叶产生一个冲动力；而且在动叶栅中也膨胀，压力降低，速度在动叶出口相对于动叶进口时增加，气流必然对动叶产生一个由于加速而引起的反动力，使转子在蒸汽冲动力和反动力的共同作用下旋转做功。

汽轮机由转动部分和静止部分所组成。汽轮机转动部件的组合体称为转子，它包括主轴、叶轮(或转鼓)、动叶栅、联轴器及装在轴上的其他零件。蒸汽作用在动叶栅上的力矩，通过叶轮、主轴和联轴器传递给发电机或其他设备，并使它们旋转而做功。汽轮机的静止部分包括基础、台板(机座)、汽缸、喷嘴、隔板、汽封、轴承等部件，但主要是汽缸和隔板。

汽轮机转子一般分为四类，分别是套装转子、整锻转子、组合转子和焊接转子。套装转子的结构如图 2 所示。套装转子的叶轮、轴封套、联轴器等部件和主轴是分别制造的，然后将它们热套(过盈配合)在主轴上，并用键传递力矩。主轴加工成阶梯形，中间直径大，两端直径小，这样不仅有利于减小转子的挠度，而且便于叶轮的套装和定位。套装转子的优点是叶轮和主轴可以单独制造，故锻件小，加工方便、节省材料、容易保证质量、转子部分零件损坏后也容易拆换。其缺点是轮孔处应力较大、转子的刚性差，特别是在高温下工作时，金属的蠕变容易使叶轮和主轴套装处产生松动现象。因此这类转子只适用于中、低参数的汽轮机和高参数汽轮机的中、低压部分，其工作温度一般在 400℃ 以下。本文例子中的叶片正是套装转子中的末一级动叶片。

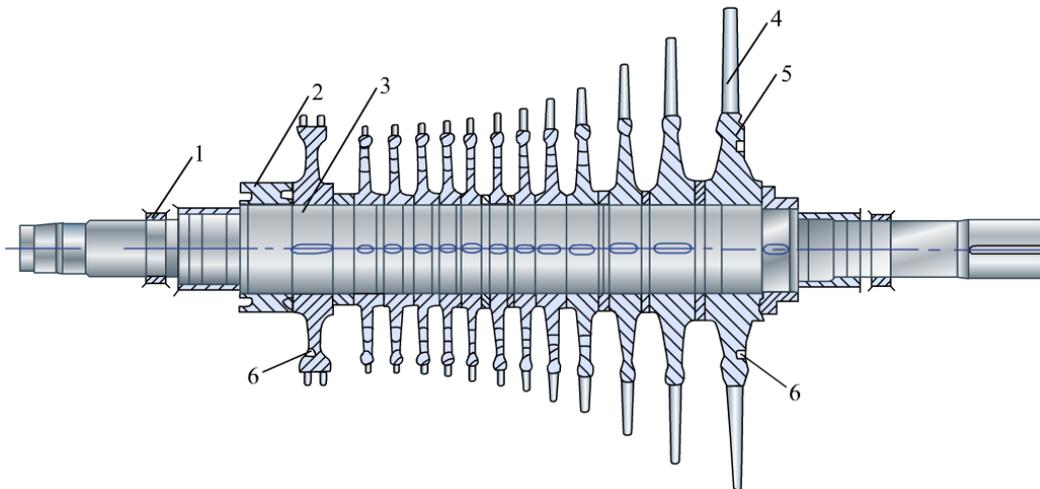


图 2 套装转子

1-油封环；2-轴封套；3-轴；4-动叶槽；5-叶轮；6-平衡槽

## 2.2 汽轮机叶片简介

叶片是汽轮机的关键零件,又是最精细、最重要的零件之一。它在极苛刻的条件下承受高温、高压、巨大的离心力、蒸汽力、蒸汽激振力、腐蚀和振动以及湿蒸汽区水滴冲蚀的共同作用。它是整个汽轮机能量转换的关键部件,决定着汽轮机的工作效率和安全可靠性能。

### 2.2.1 汽轮机叶片的结构与分类

汽轮机叶片按用途可分为动叶片和静叶片。动叶片安装在转子叶轮或转鼓上,接受喷嘴叶栅射出的高速气流,把蒸汽的动能转换成机械能,使转子旋转。静叶隔板用于固定静叶片,并将汽缸分成若干个汽室。



图 3 汽轮机动叶

叶片一般由叶身(图 3 中 3)、叶根(图 3 中 2)和叶冠(图 3 中 1)三个部分组成。叶根的作用是将叶片固定在转子,它的结构应该在保证任何运行条件下叶片都能可靠地固定在转子上的条件下,同时力求制造简单、装配方便。转子的结构形式、叶片的强度和安装工艺要求等决定着叶根的结构形式。

叶根通常有以下几种类型:

(1) T 型: 如图 4-a, 此种叶根结构简单, 加工装配方便, 工作可靠。但由于叶根承载面积小, 故叶轮轮缘弯曲应力较大, 故常用于受力不大的短叶片。

(2) 外包凸肩 T 型: 如图 4-b 所示为带凸肩的单 T 型叶根, 其外包凸肩能阻止轮缘张开, 减小轮缘两侧截面上的应力。

(3) 双 T 型: 如图 4-d 所示为带凸肩的双 T 型叶根, 由于增大了叶根的承载面, 故它可用于较长的叶片。此种叶根的加工精度要求较高, 特别是两承载面之间的尺寸误差大时受力不均匀, 叶根强度大幅下降。

(4) 菌形: 如图 4-c 所示。这种叶根和轮缘的载荷分布比 T 型合理, 因而其强度较高, 但加工复杂, 故不如 T 型叶根应用广泛。

(5) 叉形: 图 4-e 所示为叉形叶根, 这种叶根的叉尾直接插入轮缘槽内, 并用两排铆钉固定。叉尾数可根据叶片离心力大小选择, 被大功率汽轮机末级叶片广泛采用。

(6) 枞树形: 如图 4-f, 这种叶根和轮缘的轴向断口设计成尖劈形, 以适应根部的载荷分布, 使叶根和对应的轮缘承载面都接近于等强度, 因此, 在等尺寸的情况下, 枞树形叶根承载能力更高。

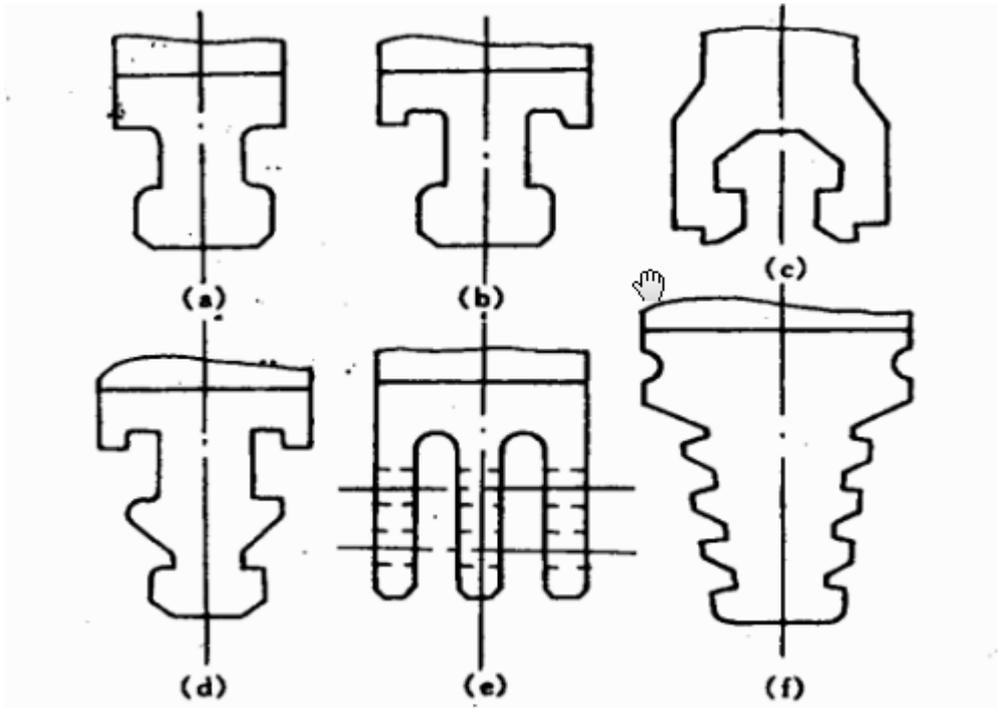


图 4 叶根类型

汽轮机同一级中，用围带、拉筋连在一起的数个短叶片或中长叶片称之为叶片组（成组叶片）；用围带、拉筋将全部叶片连接在一起的称之为整圈连接叶片；不用围带、拉筋连接的叶片称自由叶片。也有用围带、拉筋将整圈叶片连接在一起，形成整圈连接叶片，如图 5。围带的作用：增加叶片刚性，改变叶片的自振频率，以避免共振，从而提高了叶片的振动安全性；减小汽流产生的弯应力；可使叶片构成封闭通道，并可装置围带汽封，减小叶片顶部的漏气损失。拉筋的作用：拉筋的作用是增加叶片的刚性，以改善其振动特性。但是拉筋增加了蒸汽流动损失，同时拉筋还会削弱叶片的强度，因此应尽量避免采用拉筋，有的长叶片就设计成自由叶片（如图 6）。



图 5 整圈叶片



图 6 自由叶片

叶身是汽轮机的主要通流部分，承担着把蒸汽的动能转变为机械能的任务，要求有较好的气动特性，比如型线、进汽角、出汽角等。叶型（型面）是指叶身部分的横截面形状。型线是指型面的横截面形状的周线。按叶型沿叶高是否变化可把叶片分成等截面叶片（图 7-a）和变截面叶片（图 7-b）。等截面叶片的截面处处相等，适用于短叶片。变截面的叶片高度增大后可提高叶片的工作效率，同时为了改善叶片的强度条件，自下而上叶片的截面积逐渐缩小，如图 8 是一种典型的弯扭叶片实体图。

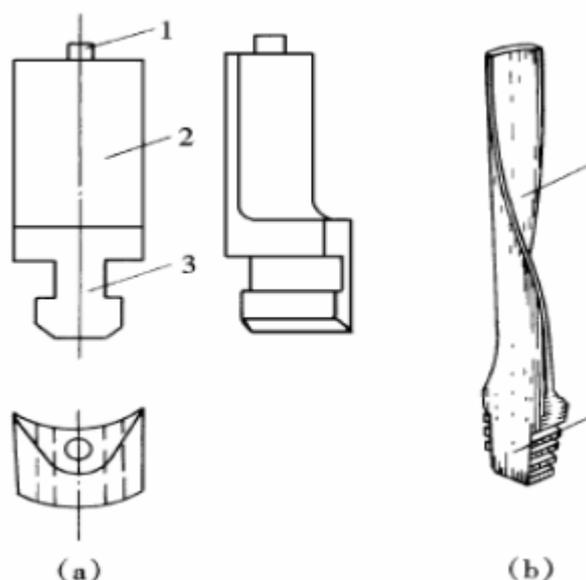


图 7 叶片类型



图 8 弯扭叶片

### 2.2.2 汽轮机叶片材料

汽轮机叶片受高温 高压蒸汽的作用，工作中承受着较大的弯矩，高速运转中的动叶片还要承受很高的离心力；处于湿蒸汽区的叶片，特别是末级，要经受电化学腐蚀及水滴冲蚀，动叶片还要承受很复杂的激振力。因此，叶片用钢应满足以下要求：

- ①有足够的室温、高温力学性能和抗蠕变性能
- ②有高的抗振动衰减能力
- ③高的组织稳定性
- ④良好的耐腐蚀和抗冲蚀能力
- ⑤良好的工艺性能

因此 1Cr13、2Cr13 等及以此为基含有 Mo、W、Nb、B、Ni 等强化元素的 12%—13%Cr 不锈钢，有良好的抗振性能和抗腐蚀性能，成为汽轮机叶片的主要材料。但在某些工作温度簇 400℃ 和要求抗腐蚀性不高的过热蒸汽区工作的叶片，可用一些低合金钢制作叶片以降低造价，如 ZrMo、ZrMnZr 及 15MnMoVCu 等强化型铬不锈钢。在湿蒸汽区工作的叶片需用抗腐蚀性高的不锈钢，并随着使用温度的提高及叶片尺寸的加大要使用有更高高温强度或强度的叶片用钢材料。1Cr13、2Cr13 等可用于工作温度簇 450℃ 的叶片。温度超过 500℃，需在 1Cr13 型的基础上，加入多元合金元素 Mo、W、Nb、B、Ni 等强化的钢。

### 3 汽轮机叶片三维建模

#### 3.1 PRO/E 软件简介

Pro/E 是美国参数技术公司的重要产品。是一款集 CAD/CAM/CAE 功能一体化的综合性三维软件，在目前的三维造型软件领域中占有重要地位，并作为当今世界机械 CAD/CAE/CAM 领域的新标准而得到业界的认可和推广，是现今最成功的 CAD/CAM 软件之一。它具有如下特点和优势：参数化设计和特征功能、单一数据库、全相关性、基于特征的参数化造型、装配管理、易于使用。

其 NC 加工模块具有强大的加工、后置处理功能。Pro/E NC 提供了数控车削、铣削、钻孔和线切割等数控模块，详见表 1。

表 1 PRO/E NC 模块

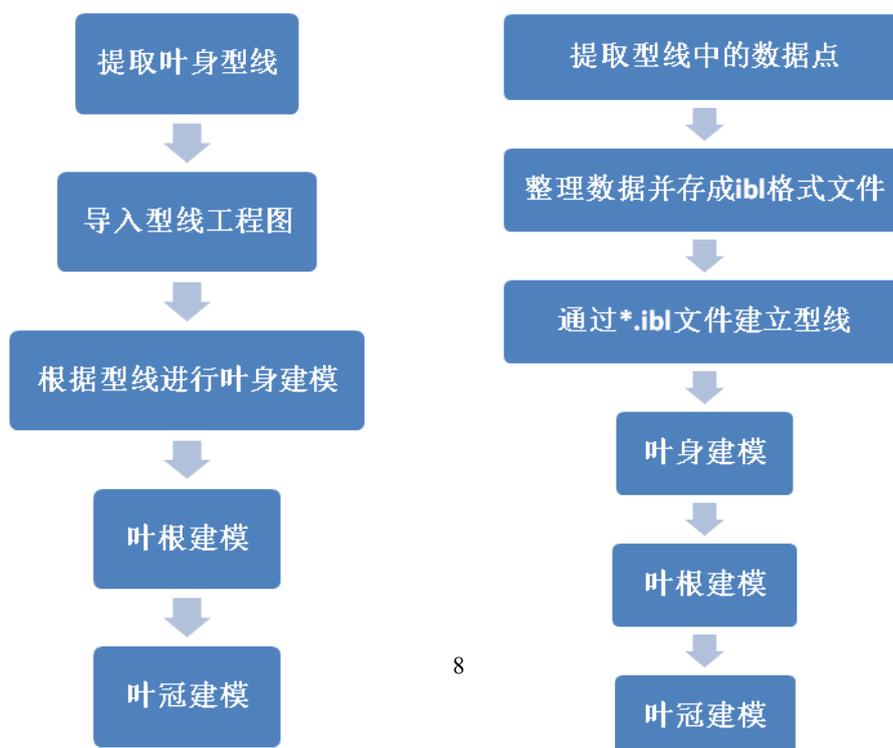
模块名称	执行功能
Pro/E NC-MILL	2.5 轴铣削 3 轴铣削和孔加工
Pro/E NC-TURN	2 轴车削和中心线钻孔 4 轴车削和中心线钻孔
Pro/E NC-WEDM	2 轴车削和 4 轴线切割数控加工
Pro/E NC-ADVANCED	2 轴到 5 轴铣削和孔加工 2 轴到 4 轴车削及孔加工 车铣加工中心上的车削、铣削和孔加工 2 轴车削和 4 轴线切割

### 3.2 基于 PRO/E 软件的叶片三维建模分析

汽轮机叶片的建模主要分为三部分，即叶身型面建模、叶根建模和叶冠建模。其中三部分中最复杂的无疑是叶身型面的建模。若叶身建模完成后可以以叶身两端面为基准进行叶根和叶身的建模。因此首先要解决叶身建模的问题。

首先，必须要具备叶身型面的设计数据。一般设计者会给出叶身各个截面的型线，叶身型面一般由直线段、圆弧段和样条曲线段组成。在建模是可以直接导入型面的型线，也可以提取型线上的坐标点再导入到 PRO/E 中。

在此可以给出两种基本的建模方案，方法一如图 9，方法二如图 10。本文则以第二种方法为例，介绍叶根建模的整个过程。



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。

如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/835000233030011220>