

巍巍交大 百年书香  
www.jiaodapress.com.cn  
bookinfo@sjtu.edu.cn



丛书策划 张荣昌  
责任编辑 王 清 孟海江  
封面设计 唐韵设计

## 智能制造基础技术系列教材

电机与电气控制  
数字电子技术基础  
传感器原理与检测技术  
印制电路板设计与制作  
人工智能与Python编程  
人工智能控制技术  
人工智能基础及应用  
PLC应用技术  
数控加工工艺  
数控编程及零件加工  
数控加工编程  
变频与伺服控制技术  
制造执行系统（MES）  
可编程控制技术  
运动控制技术  
电力拖动基本控制线路  
UG NX 12.0数控编程  
**机械设计基础**  
数控车削编程与加工

本书提供教学资源包

网址: <https://www.sjhtbook.com>



扫描二维码  
关注上海交通大学出版社  
官方微信



ISBN 978-7-313-31914-2

9 787313 319142 >

定价: 56.00元

智能制造基础技术系列教材

## 机械设计基础

主编◎李慧娟 熊立贵 程国飞



上海交通大学出版社  
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

智能制造基础技术系列教材  
“互联网+”新形态一体化教材

# 机械设计基础

主编◎李慧娟 熊立贵 程国飞



上海交通大学出版社  
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

智能制造基础技术系列教材  
“互联网+”新形态一体化教材

# 机械设计基础

主编◎李慧娟 熊立贵 程国飞



扫一扫  
学习资源库



上海交通大学出版社  
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书以带式输送机传动装置设计为课程载体，采用项目导向、任务驱动的模式构建了教学内容，按设计过程确定了机械概述，平面机构运动简图及自由度，平面连杆机构，凸轮机构，间歇运动机构，带传动，链传动，齿轮传动，蜗杆传动，轮系，螺纹连接，键、销和花键的连接，轴，轴承，联轴器与离合器，减速器 16 个项目。本书的研究对象是一般工作条件下的常用机构和通用机械零件。读者通过完成各项目中的设计、加工、安装与维护任务，掌握常用机构和通用机械零件的工作原理、结构特点、设计与加工方法。本书可供高等院校机械设计制造、机电一体化、工业机器人技术及相近专业教学使用，也可作为高等专科学校、成人高等教育学校及相关工程技术从业人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械设计基础 / 李慧娟，熊立贵，程国飞主编.

上海：上海交通大学出版社，2024.12. -- ISBN 978-7-313-31914-2

I. TH122

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2024KR9850 号

机械设计基础

JIXIE SHEJI JICHU

主 编：李慧娟 熊立贵 程国飞

地 址：上海市番禺路 951 号

出版发行：上海交通大学出版社

电 话：021-6407 1208

邮政编码：200030

印 制：北京荣玉印刷有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：787 mm × 1092 mm 1/16

印 张：18.5

字 数：404 千字

版 次：2024 年 12 月第 1 版

印 次：2024 年 12 月第 1 次印刷

书 号：ISBN 978-7-313-31914-2

电子书号：ISBN 978-7-89564-004-7

定 价：56.00 元

版权所有 侵权必究

告读者：如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话：010-6020 6144

## 编写委员会

主 审 吴 涛

主 编 李慧娟 熊立贵 程国飞

副主编 杨彦伟 谢 承 黄 理 马 芬

参 编 赫焕丽 陈 楠 聂 波 杨美萍

廖政斌 吴丽霞 夏红兵 刘 演

万 丹 赵 君



# 前言

2024年1月31日，习近平总书记在中共中央政治局第十一次集体学习时强调，加快发展新质生产力，扎实推进高质量发展。在当今科技飞速发展的时代，机械设计作为工程领域的重要组成部分，对于推动工业进步和创新起着至关重要的作用。习近平总书记高度重视科技创新与制造业发展，强调“核心技术、关键技术，化缘是化不来的，要靠自己拼搏”。本书根据教育部关于高职高专教育机械设计基础课程教学的基本要求，以职业技能为核心、以职业活动为导向，在深入了解机械制造业对应用型人才的要求和广泛吸纳高职院校机械设计教学改革经验的基础上编写而成。

## 本书特点：

(1) 内容全面，体系完整。本书以带式输送机传动装置设计为课程载体，采取项目导向、任务驱动模式，按设计过程确定了机械概述，平面机构运动简图及自由度，平面连杆机构，凸轮机构，间歇运动机构，带传动，链传动，齿轮传动，蜗杆传动，轮系，螺纹连接，键、销和花键的连接，轴，轴承，联轴器与离合器，减速器 16 个项目。

(2) 校企合作，注重理论与实践相结合。本书由四所高职院校的专业教师和广东东莞市智通教育科技有限公司的工程师联合编写。书中不仅有详细的理论讲解，还配有大量的实例分析和设计案例，让学生在学习理论知识的同时，能够了解实际工程中的应用，提高解决实际问题的能力，以实际行动践行习近平总书记对科技创新的要求。

(3) 强调实用性和可操作性。本书提供了丰富的设计公式、图表和数据，方便学生在实际设计中进行查阅和使用。

(4) 适应时代发展需求。随着科技的不断进步，机械设计也在不断创新和发展。本书反映了机械设计领域的最新技术和发展趋势，使学生能够掌握前沿的设计理念和方法，响应习近平总书记对科技前沿探索的号召。

## 编写特色：

(1) 立德树人，提升素养，有机融入课程思政。本书以党的二十大精神为指引，贯彻《高等学校课程思政建设指导纲要》，认真落实立德树人的根本任务。通过介绍常用机构、通用件、标准件等的工作原理及在各行各业的应用，培养学生的专业精神、职业精神和工匠精神，激发学生的爱国情怀，引导学生践行社会主义核心价值观。

(2) 纸质教材+数字资源，适应出版融合发展要求。习近平总书记指出，教育数字化是我国开辟教育发展新赛道和塑造教育发展新优势的重要突破口。教育数字化是赋能教

育高质量发展、建设教育强国的重要途径。本书以《关于推动出版深度融合发展的实施意见》为指引，考虑到各院校实训条件不一，以及随着新技术发展，实训要求和内容需要不断更新、调整的现实，特将实训部分的内容以数字资源的形式呈现，以方便实训内容不断更新、完善，各院校可根据自身实训条件选择实训内容。

（3）精心规划，资源丰富，线上线下一体化学习。本书还配有教学课件、电子教案、在线题库等丰富的教学资源，有需要者可发邮件至 [2393867076@qq.com](mailto:2393867076@qq.com)，联系教学助手领取。

科技腾飞势如虹，创新引领时代风。在这个充满变革和挑战的新时代，我们期望学生不仅能够掌握传统的学科知识，而且能紧跟时代的步伐，适应科技发展的潮流，掌握新技术、新方法，以便在未来的学习和工作中取得更大的成功。希望通过本书的学习，学生能建立自我学习和自我管理的意识，为后续的专业学习和职业发展奠定坚实的基础。由于编者水平和时间有限，书中存在的不足之处，恳请读者批评指正。

# 目 录

## 项目 1 机械概述 / 1

|                         |   |
|-------------------------|---|
| 基本知识 .....              | 3 |
| 1. 机器与机构的认识 .....       | 3 |
| 2. 零件和构件的认识 .....       | 3 |
| 3. 机械设计的基本要求和一般过程 ..... | 4 |
| 4. 机械发展的现状与展望 .....     | 4 |

## 项目 2 平面机构运动简图及自由度 / 6

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 任务 2.1 平面机构运动简图的绘制 ..... | 7  |
| 基本知识 .....               | 8  |
| 1. 机构的组成 .....           | 8  |
| 2. 构件及运动副的表示方法 .....     | 11 |
| 任务实施 .....               | 13 |
| 1. 分析机构的运动 .....         | 13 |
| 2. 确定运动副的类型和数量 .....     | 13 |
| 3. 选择投影平面 .....          | 13 |
| 4. 选择适当的比例 .....         | 13 |
| 5. 绘制机构的运动简图 .....       | 13 |
| 任务 2.2 平面机构自由度的计算 .....  | 15 |
| 基本知识 .....               | 15 |
| 1. 机构的自由度 .....          | 15 |
| 2. 平面机构的自由度计算 .....      | 16 |
| 3. 机构具有确定相对运动条件 .....    | 16 |
| 4. 计算平面机构自由度的注意事项 .....  | 16 |
| 任务实施 .....               | 19 |
| 1. 计算机构的自由度 .....        | 19 |
| 2. 判断机构是否具有确定的运动 .....   | 19 |

## 项目 3 平面连杆机构 / 22

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 任务 3.1 按给定连杆位置设计平面四杆机构 .....          | 23 |
| 基本知识 .....                            | 24 |
| 1. 平面连杆机构的特点 .....                    | 24 |
| 2. 铰链四杆机构的基本类型 .....                  | 24 |
| 3. 铰链四杆机构的类型判别 .....                  | 26 |
| 4. 平面四杆机构的基本特性 .....                  | 28 |
| 5. 平面四杆机构的演化 .....                    | 31 |
| 6. 平面四杆机构的设计方法 .....                  | 34 |
| 任务实施 .....                            | 34 |
| 任务 3.2 按给定行程速度变化系数 $K$ 设计曲柄摇杆机构 ..... | 36 |
| 任务 3.3 按给定行程速度变化系数 $K$ 设计曲柄滑块机构 ..... | 36 |

## 项目 4 凸轮机构 / 37

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 任务 4.1 对心直动从动件盘形凸轮轮廓的设计 .....         | 38 |
| 基本知识 .....                            | 39 |
| 1. 凸轮机构的应用 .....                      | 39 |
| 2. 凸轮机构的类型及特点 .....                   | 39 |
| 3. 凸轮机构的运动过程和基本参数 .....               | 41 |
| 4. 从动件常用运动规律 .....                    | 42 |
| 5. 凸轮机构的压力角 .....                     | 45 |
| 6. 基圆半径的确定 .....                      | 46 |
| 任务实施 .....                            | 46 |
| 1. 按许用压力角的要求确定最小基圆半径 $r_{bmin}$ ..... | 46 |

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 2. 按轴的结构要求选取基圆半径 .....  | 47 |
| 3. 按作图法设计凸轮轮廓 .....     | 47 |
| 4. 检验凸轮轮廓 .....         | 48 |
| 5. 以坐标数值表示凸轮轮廓 .....    | 48 |
| 6. 选用材料、结构及制定加工精度 ..... | 50 |

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 任务 4.2 偏置直动从动件盘形凸轮轮廓的设计 ..... | 54 |
|-------------------------------|----|

## 项目 5 间歇运动机构 / 55

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 任务 5.1 棘轮机构的设计 .....      | 56 |
| 任务 5.2 槽轮机构的设计 .....      | 56 |
| 任务 5.3 不完全齿轮机构的应用 .....   | 56 |
| 任务 5.4 凸轮式间歇运动机构的应用 ..... | 57 |

## 项目 6 带传动 / 58

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| 任务 6.1 带传动的设计 .....                    | 59 |
| 基本知识 .....                             | 60 |
| 1. 带传动的类型 .....                        | 60 |
| 2. 带传动的特点及应用 .....                     | 61 |
| 3. V 带结构及尺寸标准 .....                    | 61 |
| 4. 带传动的工作特性 .....                      | 63 |
| 任务实施 .....                             | 67 |
| 1. 确定计算功率 $P_c$ .....                  | 67 |
| 2. 选择 V 带型号 .....                      | 67 |
| 3. 确定带轮的基准直径 $d_{d1}$ 、 $d_{d2}$ ..... | 68 |
| 4. 确定中心距 $a$ 及基准长度 $L_d$ .....         | 69 |
| 5. 验算小带轮包角 .....                       | 69 |
| 6. 计算 V 带根数 $z$ .....                  | 69 |
| 7. 计算 V 带的初拉力 $F_0$ .....              | 72 |
| 8. 计算作用在轴上的压力 $F_Q$ .....              | 72 |
| 9. 带轮的结构设计 .....                       | 72 |
| 10. 取值 / 计算过程列表 .....                  | 75 |
| 任务 6.2 带轮的加工 .....                     | 79 |
| 任务 6.3 带传动的张紧、安装与维护 .....              | 79 |

## 项目 7 链传动 / 80

|                        |    |
|------------------------|----|
| 任务 7.1 链传动的设计 .....    | 81 |
| 任务 7.2 链传动的安装与维护 ..... | 81 |

## 项目 8 齿轮传动 / 82

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 任务 8.1 渐开线标准直齿圆柱齿轮传动的设计 .....   | 83  |
| 基本知识 .....                      | 84  |
| 1. 齿轮传动的基本类型和特点 .....           | 84  |
| 2. 渐开线齿廓的形成和性质 .....            | 85  |
| 3. 渐开线齿廓啮合特性 .....              | 86  |
| 4. 渐开线标准直齿圆柱齿轮主要参数及几何尺寸计算 ..... | 88  |
| 5. 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动 .....       | 93  |
| 6. 轮齿的失效形式 .....                | 96  |
| 7. 渐开线直齿圆柱齿轮受力分析 .....          | 98  |
| 任务实施 .....                      | 100 |
| 1. 选择齿轮材料和齿轮的制造精度等级 .....       | 100 |
| 2. 计算载荷和许用应力 .....              | 103 |
| 3. 根据齿面接触疲劳强度设计并确定参数 .....      | 105 |
| 4. 按齿根弯曲疲劳强度校核 .....            | 107 |
| 5. 计算齿轮的几何尺寸 .....              | 109 |
| 6. 齿轮的结构设计 .....                | 109 |
| 7. 计算过程列表 .....                 | 111 |
| 8. 画零件图 .....                   | 114 |
| 任务 8.2 平行轴斜齿圆柱齿轮传动的设计 .....     | 116 |
| 任务 8.3 直齿圆锥齿轮传动的设计 .....        | 116 |

## 项目 9 蜗杆传动 / 117

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 任务 9.1 蜗杆传动的设计 .....   | 118 |
| 基本知识 .....             | 119 |
| 1. 蜗杆传动的类型和特点 .....    | 119 |
| 2. 普通圆柱蜗杆传动的主要参数 ..... | 122 |
| 3. 普通蜗杆传动的受力分析 .....   | 125 |

|                                |     |                                |     |
|--------------------------------|-----|--------------------------------|-----|
| 任务实施 .....                     | 127 | 2. 螺纹连接 .....                  | 154 |
| 1. 选择材料及精度等级 .....             | 127 | 3. 标准螺纹连接件 .....               | 157 |
| 2. 计算许用应力 .....                | 128 | 4. 螺纹连接的预紧与防松 .....            | 159 |
| 3. 按蜗轮齿面接触疲劳强度设计 .....         | 129 | 5. 受轴向载荷螺栓连接的强度计算 .....        | 160 |
| 4. 校核蜗杆传动的效率 .....             | 130 | 任务实施 .....                     | 163 |
| 5. 蜗轮齿根弯曲疲劳强度校核 .....          | 131 | 1. 螺纹连接的受力分析 .....             | 163 |
| 6. 热平衡校核 .....                 | 132 | 2. 螺栓连接的强度计算 .....             | 163 |
| 7. 普通圆柱蜗杆传动的几何尺寸<br>计算 .....   | 133 | 任务 11.2 受横向载荷螺栓连接的<br>设计 ..... | 164 |
| 8. 蜗轮、蜗杆的结构设计 .....            | 133 | 基本知识 .....                     | 165 |
| 9. 设计取值 / 计算列表 .....           | 135 | 1. 普通螺栓连接 .....                | 165 |
| 10. 画蜗杆零件图 .....               | 137 | 2. 铰制孔用螺栓连接 .....              | 167 |
| 任务 9.2 蜗杆的加工 .....             | 139 | 任务实施 .....                     | 168 |
| 任务 9.3 蜗杆传动的安装与维护 .....        | 139 | 1. 普通螺栓连接 .....                | 168 |
|                                |     | 2. 铰制孔用螺栓连接 .....              | 169 |
| <b>项目 10 轮 系 / 140</b>         |     | 任务 11.3 螺栓连接的设计 .....          | 171 |
| 任务 10.1 平面定轴轮系传动比的<br>计算 ..... | 141 | 基本知识 .....                     | 172 |
| 基本知识 .....                     | 141 | 1. 螺栓布置 .....                  | 172 |
| 1. 轮系的类型 .....                 | 141 | 2. 螺栓与被连接件的结构 .....            | 173 |
| 2. 一对齿轮传动的主、从动轮转向的<br>确定 ..... | 143 | 3. 螺纹连接的防松 .....               | 175 |
| 任务实施 .....                     | 144 | 任务实施 .....                     | 177 |
| 1. 列齿轮啮合顺序线 .....              | 144 | 1. 螺栓布置 .....                  | 177 |
| 2. 计算传动比 $i$ .....             | 144 | 2. 螺栓与被连接件的结构 .....            | 177 |
| 3. 确定末轮 (5) 的转速与转向 .....       | 145 | 3. 确定螺纹连接的防松方法 .....           | 178 |
| 4. 传动比公式的一般形式 .....            | 145 |                                |     |
| 任务 10.2 空间定轴轮系传动比的<br>计算 ..... | 146 | <b>项目 12 键、销和花键的连接 / 179</b>   |     |
| 任务 10.3 周转轮系传动比的计算 .....       | 146 | 任务 12.1 键连接的设计 .....           | 180 |
| 任务 10.4 混合轮系传动比的计算 .....       | 147 | 基本知识 .....                     | 181 |
|                                |     | 1. 键连接的类型 .....                | 181 |
|                                |     | 2. 键的选择 .....                  | 183 |
|                                |     | 3. 键连接的强度校核 .....              | 185 |
|                                |     | 任务实施 .....                     | 187 |
|                                |     | 1. 选择键连接的类型和尺寸 .....           | 187 |
|                                |     | 2. 校核键连接的强度 .....              | 187 |
|                                |     | 3. 相配的键槽尺寸 .....               | 187 |
| <b>项目 11 螺纹连接 / 148</b>        |     | 任务 12.2 销和花键连接的设计 .....        | 188 |
| 任务 11.1 受轴向载荷螺栓连接的<br>设计 ..... | 149 |                                |     |
| 基本知识 .....                     | 150 |                                |     |
| 1. 螺纹的基本知识 .....               | 150 |                                |     |

## 项目 13 轴 / 189

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 任务 13.1 轴的设计 .....                | 190 |
| 基本知识 .....                        | 191 |
| 1. 轴的分类与应用 .....                  | 191 |
| 2. 轴的常用材料及热处理方法 .....             | 193 |
| 3. 轴的结构设计 .....                   | 194 |
| 4. 轴的强度计算 .....                   | 204 |
| 任务实施 .....                        | 205 |
| 1. 选择轴的材料及热处理方法, 确定<br>许用应力 ..... | 205 |
| 2. 按扭转强度估算最小直径 .....              | 206 |
| 3. 设计轴的结构并绘制结构草图 .....            | 206 |
| 4. 按弯扭合成强度校核轴径 .....              | 207 |
| 任务 13.2 轴的加工 .....                | 211 |

## 项目 14 轴 承 / 212

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 任务 14.1 滑动轴承的选用 .....            | 213 |
| 任务 14.2 滚动轴承的选用 .....            | 213 |
| 基本知识 .....                       | 214 |
| 1. 滚动轴承的结构、主要类型及<br>特点 .....     | 214 |
| 2. 滚动轴承的代号 .....                 | 218 |
| 3. 滚动轴承类型的选择 .....               | 222 |
| 4. 滚动轴承的载荷分布、失效形式<br>及计算准则 ..... | 222 |
| 5. 滚动轴承的寿命计算 .....               | 224 |
| 6. 滚动轴承部件的组合设计 .....             | 229 |
| 任务实施 .....                       | 237 |
| 1. 计算支承反力(轴承径向载荷) .....          | 237 |
| 2. 选择轴承的类型 .....                 | 237 |
| 3. 求当量动载荷 $P$ .....              | 237 |
| 4. 计算轴承实际要求的额定<br>动载荷 $C'$ ..... | 237 |
| 5. 选择润滑方式 .....                  | 238 |

## 项目 15 联轴器与离合器 / 239

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 任务 15.1 联轴器的选用 ..... | 240 |
| 基本知识 .....           | 241 |
| 1. 联轴器的功用和分类 .....   | 241 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 2. 常用联轴器 .....        | 241 |
| 任务实施 .....            | 244 |
| 1. 选择联轴器的类型 .....     | 244 |
| 2. 确定联轴器型号和结构尺寸 ..... | 244 |
| 3. 确定联轴器的型号 .....     | 245 |
| 4. 校核最大转速 .....       | 245 |
| 5. 协调轴孔直径 .....       | 245 |
| 6. 规定部件相应的安装精度 .....  | 245 |
| 7. 进行必要的校核 .....      | 246 |
| 任务 15.2 离合器的选用 .....  | 246 |
| 基本知识 .....            | 246 |
| 1. 摩擦式离合器 .....       | 247 |
| 2. 牙嵌式离合器 .....       | 248 |
| 任务实施 .....            | 249 |
| 1. 离合器的特点 .....       | 249 |
| 2. 离合器的选用 .....       | 249 |

## 项目 16 减速器 / 250

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 基本知识 .....              | 252 |
| 1. 减速器的分类及功用 .....      | 252 |
| 2. 常用减速器的主要类型及特点 .....  | 253 |
| 3. 单级圆柱齿轮减速器的结构 .....   | 255 |
| 4. 减速器的润滑 .....         | 256 |
| 任务实施 .....              | 258 |
| 1. 传动方案设计 .....         | 258 |
| 2. 电动机的选择 .....         | 258 |
| 3. 传动比的分配 .....         | 262 |
| 4. 传动装置的运动和动力参数计算 ..... | 262 |
| 5. 传动零件的设计计算 .....      | 264 |
| 6. 减速器润滑方式的选择 .....     | 264 |
| 7. 减速器装配图设计 .....       | 264 |
| 8. 设计和绘制减速器零件图 .....    | 282 |
| 9. 整理和编写设计说明书 .....     | 282 |

## 参考文献 ..... 285

## 项目 4

# 凸轮机构

### 项目引入

凸轮机构在众多领域中都有着广泛而重要的应用。在机械制造领域，凸轮机构常用于自动机床的进刀机构。在汽车发动机中，凸轮机构控制着气门的开闭。凸轮机构通常由凸轮、从动件和机架组成，是机械常用传动机构之一，其功能是将凸轮的连续转动或移动转换为从动件的连续或不连续的移动或摆动。

本项目介绍了对心和偏置直动从动件盘形凸轮轮廓的设计两个工作任务。通过任务的学习，我们可以掌握凸轮轮廓设计的工作方法和步骤，学会选择滚子半径、基圆半径，校核凸轮压力角等，最终完成凸轮轮廓的设计。

### 学习目标 >

#### 知识目标

- ① 了解凸轮机构的类型、特点及应用。
- ② 掌握凸轮机构从动件的运动规律。
- ③ 掌握盘形凸轮轮廓的基本设计理论及方法。

#### 能力目标

- ① 能够正确设计对心直动从动件盘形凸轮轮廓。
- ② 能够正确设计偏置直动从动件盘形凸轮轮廓。

#### 素质目标

- ① 激发学习的热情，增强民族自豪感。
- ② 具有实事求是、精益求精、专一执着的工匠精神。

## 任务 4.1 对心直动从动件盘形凸轮轮廓的设计



### 任务书

设计一对心尖顶直动从动件盘形凸轮机构，凸轮按逆时针方向转动，行程  $h = 20 \text{ mm}$ ，凸轮轴直径为  $40 \text{ mm}$ ，从动件的运动规律如表 4.1 所示。

表 4.1 对心尖顶直动从动件的运动规律

| $\delta$ | $0^\circ \sim 90^\circ$ | $90^\circ \sim 150^\circ$ | $150^\circ \sim 240^\circ$ | $240^\circ \sim 360^\circ$ |
|----------|-------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 运动规律     | 等速上升                    | 停止                        | 等加速等减速下降                   | 停止                         |

- (1) 绘制从动件位移线图。
- (2) 设计凸轮轮廓曲线。
- (3) 选用材料和确定加工精度。



### 知识点

- (1) 凸轮机构的类型、特点及应用。
- (2) 凸轮机构中从动件的运动规律。
- (3) 按从动件运动规律设计对心直动从动件盘形凸轮轮廓的基本理论与方法。



### 任务分析

在各种机器中，尤其是自动化机器中，为实现各种复杂的运动要求，常采用凸轮机构。其设计比较简便，只要将凸轮的轮廓曲线按照从动件的运动规律设计出来，从动件就能较准确的实现预定的运动规律。

对心直动从动件盘形凸轮轮廓设计的内容如下。

- (1) 根据工作要求初步确定凸轮的基圆半径。
- (2) 根据从动件位移图线进行凸轮轮廓的设计。
- (3) 选择凸轮副材料。
- (4) 制定凸轮的加工精度等。



## 基本知识

### 1. 凸轮机构的应用

凸轮机构常用于轻载、低速的自动机或半自动机的控制，以下列举其应用实例。

图 4.1 所示为一内燃机配气机构。凸轮（1）做等角速转动迫使从动件（2）做往复摆动，使气阀（3）开启或关闭。

图 4.2 所示为一自动送料机构。圆柱凸轮做匀速回转运动，槽中的滚子带动杆（2）做水平往复移动，将工件推至指定位置，完成自动送料工作。

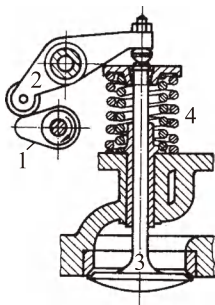


图 4.1 内燃机配气机构

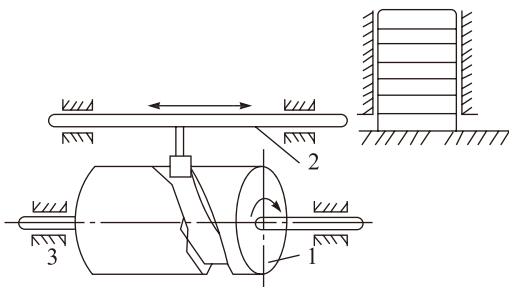


图 4.2 自动送料机构

图 4.3 所示为一自动装卸机构。凸轮（1）固定于滑块上，当其随滑块上下往复运动时，驱动从动件（2）以一定规律往复水平移动，从而实现工件的自动装卸。

图 4.4 所示为绕线机中用于排线的凸轮机构。绕线轴（3）等速转动，通过蜗杆传动带动凸轮（1）缓慢转动，凸轮（1）驱动从动件（2）做往复摆动，从而使线均匀地缠绕在绕线轴（3）上。

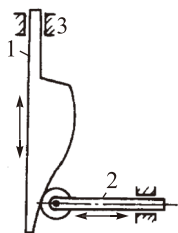


图 4.3 自动装卸机构

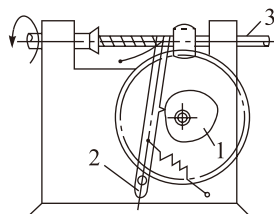


图 4.4 绕线机排线凸轮机构

### 2. 凸轮机构的类型及特点

#### 1) 按凸轮形状分

按照凸轮轮廓曲线的形状，凸轮可分为盘形凸轮、移动凸轮和圆柱凸轮三类。

（1）盘形凸轮。盘形凸轮是绕固定轴线转动并具有变化向径的盘形构件，它是凸轮最基本的形式，如图 4.5（a）所示。

(2) 移动凸轮。当盘形凸轮的回转中心趋于无穷远时, 凸轮相对机架做直线运动, 这种凸轮称为移动凸轮, 如图 4.5 (b) 所示。

在以上两种凸轮机构中, 凸轮与从动件之间的相对运动均为平面运动, 故又统称为平面凸轮机构。

(3) 圆柱凸轮。圆柱凸轮是一个在圆柱面上开有曲线凹槽, 或是在圆柱端面上作出曲线轮廓的构件, 它可看作是将移动凸轮卷于圆柱体上形成的, 如图 4.5 (c) 所示。

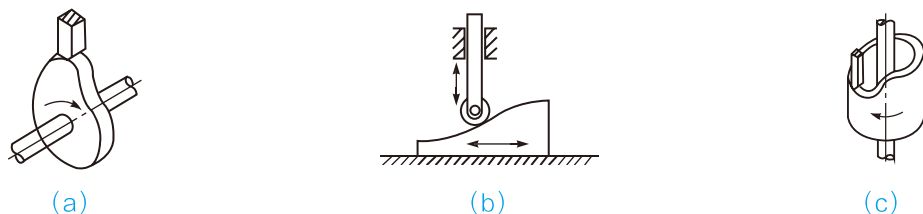


图 4.5 按凸轮形状分

(a) 盘形凸轮; (b) 移动凸轮; (c) 圆柱凸轮

## 2) 按从动件的形状分

(1) 尖顶从动件。尖顶从动件能与任意复杂的凸轮轮廓保持接触, 因而能实现任意预期的运动规律, 如图 4.6 (a) 所示。但因尖顶磨损快, 故适用于受力不大、运动精确的低速凸轮机构, 如仪器仪表。

(2) 滚子从动件。滚子从动件和凸轮是线接触, 接触处为滚动摩擦, 耐磨损, 可以承受较大载荷, 是从动件最常用的一种类型, 如图 4.6 (b) 所示。

(3) 平底从动件。平底从动件与凸轮轮廓表面接触的端面为一平面, 接触面易于形成油膜, 利于润滑, 当不考虑摩擦时, 凸轮与从动件之间的作用力始终与从动件平底垂直, 受力平稳, 传动效率高, 常用于高速凸轮机构中, 但只适用于外凸的凸轮轮廓, 如图 4.6 (c) 所示。

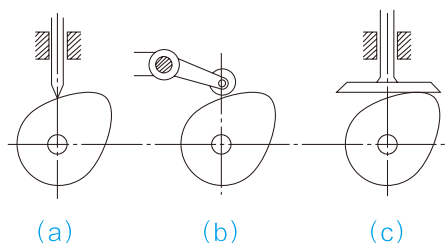


图 4.6 按从动件的形状分

(a) 尖顶从动件; (b) 滚子从动件; (c) 平底从动件

## 3) 按从动件运动形式分

(1) 直动从动件, 如图 4.6 (a)、图 4.6 (c) 所示。

(2) 摆动从动件, 如图 4.7 (a)、图 4.7 (b)、图 4.7 (c) 所示。

凸轮机构的特点：凸轮机构能将凸轮的连续转动或移动转换为从动件的连续或不连续的移动或摆动。只需根据从动件所需要的运动规律，设计适当的凸轮轮廓，从动件就能较准确地实现预定的运动规律。但凸轮机构属高副机构，容易磨损，常用于传力不大的场合。

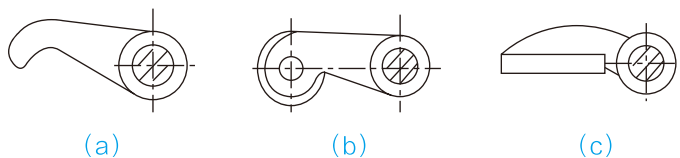


图 4.7 摆动从动件

(a) 尖顶从动件；(b) 滚子从动件；(c) 平底从动件

### 3. 凸轮机构的运动过程和基本参数

以图 4.8 对心尖顶直动从动件盘形凸轮机构为例，说明原动件凸轮和从动件间的运动关系和相关参数名称。

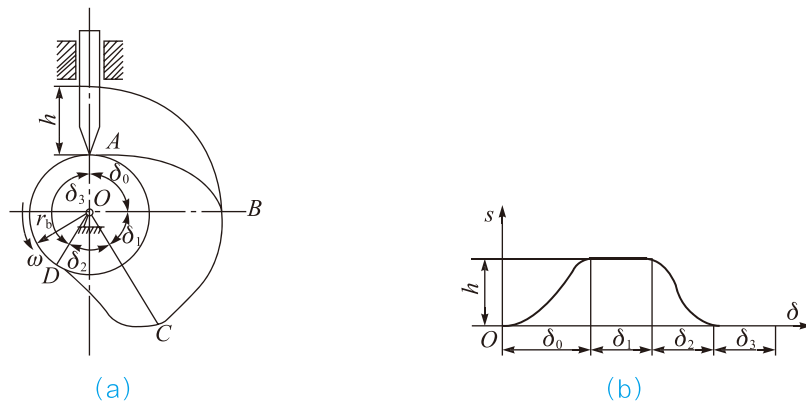


图 4.8 对心尖顶直动从动件盘形凸轮机构及其从动件位移线图

#### 1) 基圆

以凸轮轮廓最小向径  $r_b$  为半径所作的圆称为凸轮的基圆， $r_b$  为基圆半径。

#### 2) 推程及推程运动角

当从动件与凸轮轮廓上  $A$  点相接触时，从动件处于上升的起始位置。凸轮以角速度  $\omega$  逆时针方向转动一个角度  $\delta_0$ ，从动件在凸轮轮廓推动下由  $A$  点到达最高位置，这个过程称为推程，凸轮相应转角  $\delta_0$  称为推程运动角。

#### 3) 行程

在推程（回程）中，从动件移动的距离  $h$  称为行程。

#### 4) 远休止角

当从动件到达最远位置后，凸轮继续转动  $\delta_1$  角，从动件尖顶与凸轮轮廓  $BC$  段接触，而  $BC$  段是以  $O$  为中心， $OB$  为半径的圆弧，从动件停留在离凸轮轴心最远的位置，称为远休止，凸轮相应转角  $\delta_1$  称为远休止角。

### 5) 回程及回程运动角

当凸轮继续转动  $\delta_2$  角, 从动件逐渐回到起始位置, 这个过程称为回程, 凸轮相应转角  $\delta_2$  称为回程角。

### 6) 近休止角

当凸轮继续转动  $\delta_3$  角, 从动件尖顶与凸轮的  $DA$  圆弧段接触, 停留离凸轮轴心最近的位置  $A$ , 称为近休止, 凸轮相应转角  $\delta_3$  为近休止角。

如果凸轮继续转动, 从动件将重复上述动作。

### 7) 从动件位移线图

以凸轮转角  $\delta$  或对应的时间为横坐标, 以从动件位移  $s$  为纵坐标所作的线图, 称为从动件位移线图, 如图 4.8 (b) 所示。

## 4. 从动件常用运动规律

从动件常用的运动规律有等速运动规律、等加速等减速运动规律、简谐运动规律等。

### 1) 等速运动规律

从动件的运动速度  $v$  为常数时的运动规律, 称为等速运动规律。

从动件在推程做等速运动时, 其位移  $s$ 、速度  $v$  和加速度  $a$  的运动线图如图 4.9 所示。在此阶段, 经过时间  $t_0$  (相应的凸轮转角为  $\delta_0$ ), 从动件完成升程  $h$ , 从动件的速度  $v_0 = h/t_0$  为常数, 所以速度线图为水平直线。从动件的位移  $s = v_0 t$ , 其位移线图为一斜直线, 故又称直线运动规律。

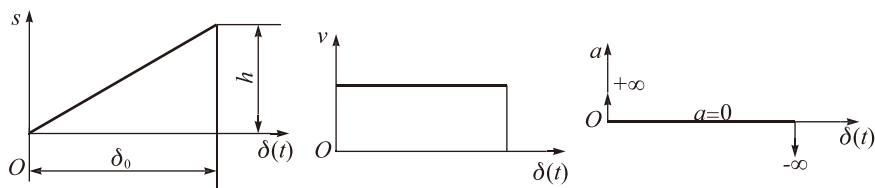


图 4.9 等速运动规律

等速运动规律的从动件运动方程 (推程) 如表达式 (4.1) 所示。

$$\begin{cases} s = \frac{h\delta}{\delta_0} \\ v = \frac{h\omega}{\delta_0} \\ a = 0 \end{cases} \quad (4.1)$$

由于速度为常数, 所以加速度为零 ( $a = 0$ ), 加速度线图 ( $a-\delta$  线图) 中加速度与横坐标轴重合。

从动件在推程开始和终止时速度发生突变, 加速度理论上趋于无穷大, 从动件的惯性力也趋于无穷大, 将会引起巨大冲击, 这种因速度突变而引起的冲击称为刚性冲击。冲击

会引起振动,影响机构的正常工作,严重时损坏机构。因此,等速运动规律的凸轮机构仅适用于低速轻载的场合。

## 2) 等加速等减速运动规律

这种运动规律是指从动件在一个行程  $h$  中,前半段做等加速运动,后半段做等减速运动,其加速度的绝对值相等,如图 4.10 所示。

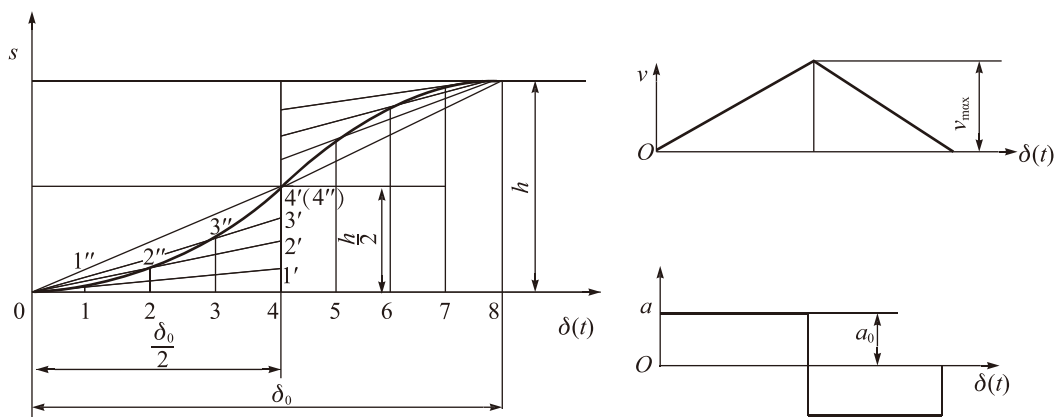


图 4.10 等加速等减速运动规律

从动件等加速段的运动方程(推程)如表达式(4.2)所示。

$$\begin{cases} s = \frac{2h}{\delta_0^2} \delta^2 \\ v = \frac{4h\omega}{\delta_0^2} \delta \\ a = \frac{4h\omega^2}{\delta_0^2} \end{cases} \quad (4.2)$$

由于加速度为常数,其推程的加速度线图为水平直线,速度线图为斜直线,位移线图由两段抛物线组成。由加速度线图可以看出,在运动的起始、中间和终止位置,加速度发生限值突变,导致机构产生柔性冲击,因此这种运动规律可用于中速、轻载的场合。

等加速度抛物线图作图方法如下。

- (1) 取长度比例尺  $\mu_s$ , 在纵坐标轴上作出从动件的行程  $h$ , 并将其分成相等的两部分。
- (2) 取角度比例尺  $\mu_\delta$ , 在横坐标轴上作出凸轮与行程  $h$  对应的推程角  $\delta_0$ , 将其也分成相等的两部分。
- (3) 在横坐标上将  $\delta_0/2$  的线段分成若干等分(图中为四等分), 得 1、2、3、4 各点, 过这些点作横坐标的垂直线。
- (4) 在纵坐标上将  $h/2$  的线段分成相同的等分, 得 1'、2'、3'、4' 各点, 连接 01'、02'、03'、04', 与横坐标垂直线分别交于 1''、2''、3''、4'' 各点, 将点 0、1''、2''、3'' 和 4'' 连成光滑的曲线, 即为前半行程的等加速运动的位移线图。

用同样的方法可得到等减速段位移曲线。从动件等减速段的运动方程（推程）如表达式（4.3）所示。

$$\begin{cases} s = h - \frac{2h(\delta_0 - \delta)^2}{\delta_0^2} \\ v = \frac{4h\omega(\delta_0 - \delta)}{\delta_0^2} \\ a = \frac{4h\omega^2}{\delta_0^2} \end{cases} \quad (4.3)$$

### 3) 简谐运动规律

某一质点在圆周上做匀速运动时，它在这个圆的直径上的投影所构成的运动称为简谐运动。从动件在推程做简谐运动的运动方程如表达式（4.4）所示。

$$\begin{cases} s = \frac{h[1 - \cos(\pi\delta / \delta_0)]}{2} \\ v = \frac{h\pi\omega \sin(\pi\delta / \delta_0)}{2\delta_0} \\ a = \frac{h\pi^2\omega^2 \cos(\pi\delta / \delta_0)}{2\delta_0^2} \end{cases} \quad (4.4)$$

由图 4.11 可知，从动件的位移曲线为简谐运动曲线，速度线图是正弦曲线，加速度线图是余弦曲线，因此简谐运动规律又称为余弦加速度运动规律。由速度线图和加速度线图可以看出，其速度和加速度是连续的，但在运动的起始和终止位置，加速度有限值突变，会产生柔性冲击，因此这种运动规律仅适用于中低速、轻载场合。

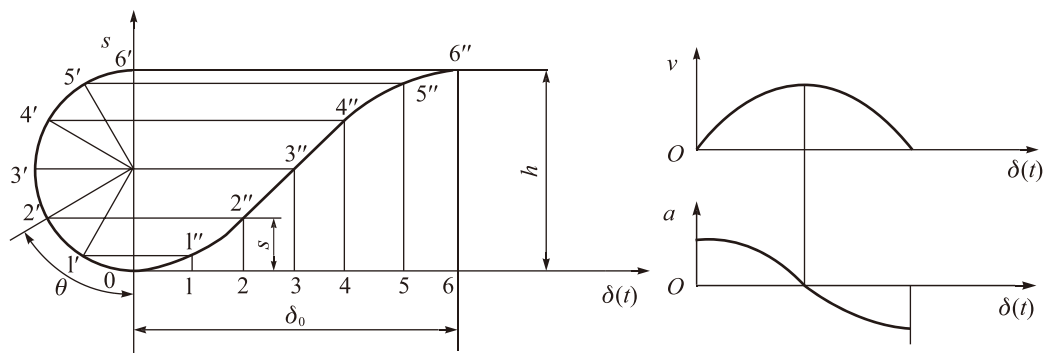


图 4.11 简谐运动规律

推程时从动件的位移线图如图 4.11 所示，作图步骤如下：

- （1）取角度比例尺  $\mu_\delta$ ，在横坐标轴上作出推程角  $\delta_0$ ，将其分成若干等分（图中为六等分），得 1、2、3、4、5、6 各点，过这些分点作横坐标的垂直线；
- （2）取长度比例尺  $\mu_s$ ，以行程  $h$  为直径在纵坐标轴上画半圆，把半圆周也分成相应的等分，得 1'、2'、3'、4'、5'、6' 各点，并将这些点向纵坐标轴投影，过投影点作投影线的

延长线，分别交于横坐标垂直线上，得 1''、2''、3''、4''、5''、6'' 各点，将这些点连接成光滑的曲线。

### 5. 凸轮机构的压力角

图 4.12 所示为对心尖顶直动从动件盘形凸轮机构，在推程的任一位置，从动件上的外载荷为  $F_Q$ ，当不考虑摩擦时，凸轮给予从动件的力  $F_n$  是沿法线方向的。从动件运动方向与力  $F_n$  方向之间所夹的锐角  $\alpha$  即为压力角。

将  $F_n$  分解为沿从动件导路方向的分力  $F_1$  和垂直于导路方向的分力  $F_2$ ，其中  $F_2$  是推动从动件运动的力，它除了克服作用于从动件的工作阻力  $F_Q$  外，还需要克服因  $F_1$  引起的导路对从动件的摩擦阻力。

$$\begin{cases} F_1 = F \sin \alpha \\ F_2 = F \cos \alpha \end{cases} \quad (4.5)$$

有害分力  $F_1$  随压力角  $\alpha$  的增大而增大，当有效分力  $F_2$  不足以克服导路中的摩擦力时，机构将发生自锁。为此，必须限制最大压力角  $\alpha_{\max}$ ，使  $\alpha_{\max}$  不大于许用压力角  $[\alpha]$ 。一般情况下，直动从动件凸轮机构推程的许用压力角  $[\alpha]$  为  $30^\circ \sim 40^\circ$ ，回程的许用压力角  $[\alpha]$  为  $70^\circ \sim 80^\circ$ ；摆动从动件凸轮机构推程的许用压力角  $[\alpha]$  为  $40^\circ \sim 50^\circ$ 。

压力角大小可使用量角器测取（图 4.13）。最大压力角  $\alpha_{\max}$  一般出现在从动件上升的起始位置、从动件具有最大速度  $v_{\max}$  的位置或在凸轮轮廓上比较陡的地方。

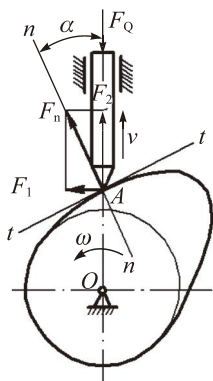


图 4.12 对心尖顶直动从动件盘形凸轮机构

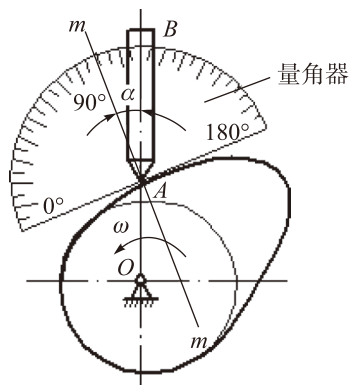


图 4.13 压力角的测量

最大压力角  $\alpha_{\max}$  也可根据从动件运动规律、运动角  $\delta_0$  和  $h/r_b$  比值，由诺模图查得。图 4.14 为对心直动从动件凸轮机构的诺模图。

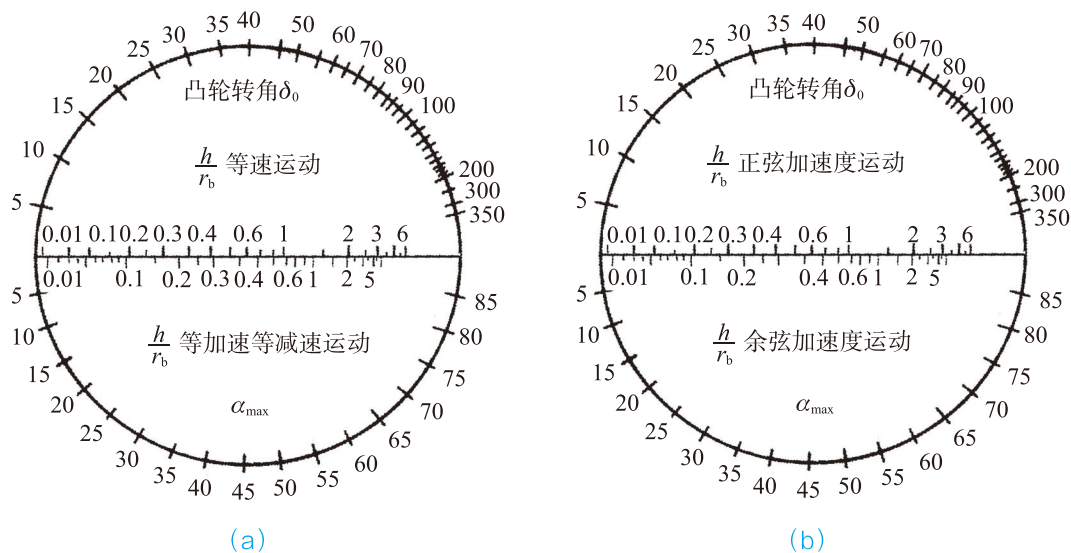


图 4.14 对心直动从动件凸轮机构的诺模图

## 6. 基圆半径的确定

凸轮机构中, 凸轮的基圆半径越小, 机构越紧凑, 但在其他条件都不变的情况下, 基圆半径越小, 凸轮工作轮廓越陡, 压力角越大; 基圆半径越大的凸轮工作轮廓越平缓, 压力角越小。因此, 在设计凸轮时, 应在满足  $\alpha_{\max} \leq [\alpha]$  的条件下, 选尽可能小的基圆半径。

凸轮与轴做成一体的凸轮轮廓的基圆半径比轴的半径大  $2 \sim 5 \text{ mm}$ , 当凸轮是单独加工, 然后装在凸轮轴上时, 通常可取基圆半径  $r_b = (0.8 \sim 1) d$  (凸轮轴的直径)。基圆半径也可按运动规律、许用压力角由诺模图中求出。



## 任务实施

由任务书已知: 凸轮按逆时针方向转动, 行程  $h = 20 \text{ mm}$ , 凸轮轴直径为  $40 \text{ mm}$ 。

### 1. 按许用压力角的要求确定最小基圆半径 $r_{b\min}$

推程  $\delta_0 = 90^\circ$ , 取  $[\alpha] = 30^\circ$ , 按等速运动规律, 由图 4.14 (a) 所示的诺模图中找出  $\delta_0 = 90^\circ$ 、 $\alpha_{\max} = 30^\circ$  的两点, 然后用直线将其相连交等速运动标尺于“1”处, 即

$$\frac{h}{r_b} \leq 1$$

将  $h = 20 \text{ mm}$  代入, 可得

$$r_b \geq \frac{20}{1} = 20(\text{mm})$$

回程  $\delta_2 = 90^\circ$ , 取  $[\alpha] = 70^\circ$ , 按等加速等减速运动规律, 由图 4.14 (a) 所示的诺模图中找出  $\delta_2 = 90^\circ$ 、 $\alpha_{\max} = 70^\circ$  的两点, 然后用直线将其相连交等加速等减速运动标尺于

“5”处,即

$$\frac{h}{r_b} \leq 5$$

将  $h = 20 \text{ mm}$  代入,可得

$$r_b \geq \frac{20}{5} = 4(\text{mm})$$

综合可得  $r_{b\min} = 20 \text{ mm}$ 。

## 2. 按轴的结构要求选取基圆半径

按许用压力角的要求,  $r_{b\min} = 20 \text{ mm}$ , 按轴的结构要求

$$r_b = (0.8 \sim 1)d = (0.8 \sim 1) \times 40 = 32 \sim 40(\text{mm})$$

取  $r_b = 40 \text{ mm}$ 。

## 3. 按作图法设计凸轮轮廓

### 1) 反转法原理

凸轮机构工作时, 凸轮在运动, 假想给整个凸轮机构加上一个与凸轮角速度大小相等、方向相反的角速度  $-\omega$ , 机构中各构件之间的相对运动关系并没有改变, 而凸轮相对地面静止, 从动件则随机架和导路以角速度  $-\omega$  绕  $O$  点转动, 同时又在导路中做往复移动。由于从动件尖顶始终与凸轮轮廓保持接触, 所以反转后的从动件尖顶的运动轨迹就是凸轮轮廓。这种设计方法称为“反转法”, 它是绘制凸轮轮廓曲线的基本方法。

### 2) 设计凸轮轮廓

对心尖顶直动从动件盘形凸轮机构如图 4.15 所示。

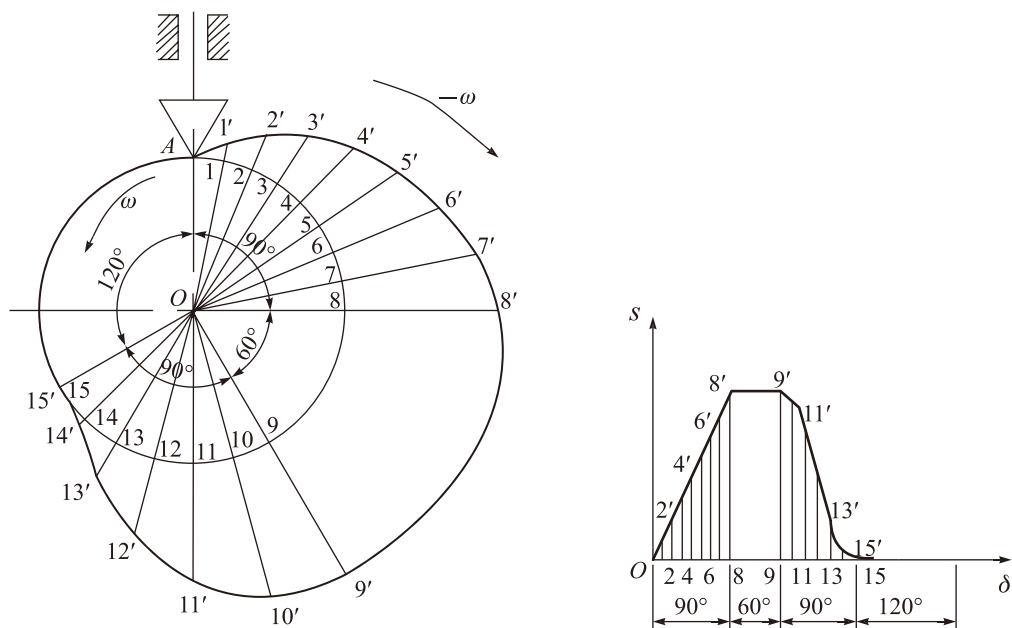


图 4.15 对心尖顶直动从动件盘形凸轮机构

(1) 选取比例尺, 作位移线图。选长度比例尺  $\mu_s = 2 \text{ mm/mm}$ , 角度比例尺  $\mu_\delta = 6^\circ/\text{mm}$ , 画从动件位移线图。并将推程运动角 8 等分, 回程运动角 6 等分, 得等分点 1, 2, 3,  $\dots$ , 13, 14, 15, 过这些等分点作横坐标的垂直线。

(2) 画基圆并确定从动件尖顶的起始位置。如图 4.15 所示, 取相同的比例尺, 以  $O$  为圆心、 $r_b$  为半径作基圆。过  $O$  点画从动件导路中心线与基圆交于  $A$ , 则  $A$  点即为尖顶从动件的起始位置。

(3) 画反转运动中从动件的导路位置。自  $OA$  沿  $-\omega$  的方向取角度  $\delta_0, \delta_1, \delta_2, \delta_3$ , 并将它们各分成与图 4.15 (a) 对应的等份, 得到 1, 2, 3,  $\dots$ , 13, 14, 15 点, 过各等分点作一系列径向线  $O1, O2, O3, \dots$ , 则各径向线代表从动件在反转运动中依次占据的位置。

(4) 作从动件尖顶轨迹。在位移曲线中量取各个位移量,  $11', 22', 33', \dots$ , 自各径向线与基圆的交点 1, 2, 3,  $\dots$  起, 截取同样的长度  $11', 22', 33', \dots$ 。

(5) 绘制凸轮轮廓。将起始点和  $1', 2', 3', \dots$  依次连成一条光滑曲线, 即为所设计的凸轮轮廓曲线。

#### 4. 检验凸轮轮廓

由于按许用压力角拟定基圆半径, 并按结构要求放大, 所以不需检验  $\alpha_{\max}$ ; 该凸轮机构采用尖顶从动件, 所以没有运动失真问题。

#### 5. 以坐标数值表示凸轮轮廓

由于用作图法设计出的凸轮轮廓不够精确, 需附凸轮轮廓的坐标数值, 即用转角和向径表示凸轮轮廓, 以便于划线、加工和检验。

凸轮转角以等分编号表示, 位移以位移和行程的比值  $s/h$  表示。表 4.1 是运动角为  $90^\circ$  等分时的位移比。使用时, 按所选的运动规律, 查出凸轮转角各等分编号的位移比  $s/h$ , 再由式 (4.6) 求出相应的向径。

$$r = r_b + h\left(\frac{s}{h}\right) \quad (4.6)$$

按  $r_b = 40 \text{ mm}$ 、 $h = 20 \text{ mm}$  及任务书所给的运动规律, 由表 4.2 的数值, 通过式 (4.6) 计算出向径值, 并列在凸轮工作图中。

表 4.2 运动角为  $90^\circ$  等分时的位移比

| 推程<br>等分<br>编号 | 等速<br>运动 | 等加速等<br>减速运动 | 简谐<br>运动 | 回程等<br>分编号 | 推程<br>等分<br>编号 | 等速<br>运动 | 等加速等<br>减速运动 | 简谐<br>运动 | 回程等<br>分编号 |
|----------------|----------|--------------|----------|------------|----------------|----------|--------------|----------|------------|
| 0              | 0.000 00 | 0.000 00     | 0.000 00 | 90         | 3              | 0.033 33 | 0.002 22     | 0.002 74 | 87         |
| 1              | 0.011 11 | 0.000 25     | 0.000 31 | 89         | 4              | 0.044 44 | 0.003 95     | 0.004 87 | 86         |
| 2              | 0.022 22 | 0.000 99     | 0.001 22 | 88         | 5              | 0.055 58 | 0.006 17     | 0.007 60 | 85         |

续表

| 推程<br>等分<br>编号 | 等速<br>运动 | 等加速等<br>减速运动 | 简谐<br>运动 | 回程等<br>分编号 | 推程<br>等分<br>编号 | 等速<br>运动 | 等加速等<br>减速运动 | 简谐<br>运动 | 回程等<br>分编号 |
|----------------|----------|--------------|----------|------------|----------------|----------|--------------|----------|------------|
| 6              | 0.066 67 | 0.008 89     | 0.010 93 | 84         | 34             | 0.377 78 | 0.285 43     | 0.312 70 | 56         |
| 7              | 0.077 78 | 0.012 10     | 0.014 85 | 83         | 35             | 0.388 89 | 0.302 41     | 0.328 99 | 55         |
| 8              | 0.088 89 | 0.015 80     | 0.019 37 | 82         | 36             | 0.400 00 | 0.320 00     | 0.345 49 | 54         |
| 9              | 0.100 00 | 0.020 00     | 0.024 47 | 81         | 37             | 0.411 11 | 0.338 03     | 0.362 18 | 53         |
| 10             | 0.111 11 | 0.024 69     | 0.030 15 | 80         | 38             | 0.422 22 | 0.356 54     | 0.279 04 | 52         |
| 11             | 0.122 22 | 0.029 88     | 0.036 41 | 79         | 39             | 0.433 33 | 0.375 56     | 0.396 04 | 51         |
| 12             | 0.133 33 | 0.035 56     | 0.043 23 | 78         | 40             | 0.444 44 | 0.395 06     | 0.413 18 | 50         |
| 13             | 0.144 44 | 0.041 73     | 0.050 60 | 77         | 41             | 0.455 56 | 0.415 06     | 0.430 41 | 49         |
| 14             | 0.155 56 | 0.048 40     | 0.058 53 | 76         | 42             | 0.466 67 | 0.435 56     | 0.447 74 | 48         |
| 15             | 0.166 67 | 0.055 56     | 0.066 99 | 75         | 43             | 0.477 78 | 0.456 54     | 0.465 12 | 47         |
| 16             | 0.177 78 | 0.063 21     | 0.075 98 | 74         | 44             | 0.488 89 | 0.478 03     | 0.482 55 | 46         |
| 17             | 0.188 89 | 0.071 36     | 0.085 48 | 73         | 45             | 0.400 00 | 0.500 00     | 0.500 00 | 45         |
| 18             | 0.200 00 | 0.080 00     | 0.095 49 | 72         | 46             | 0.511 11 | 0.521 98     | 0.522 21 | 44         |
| 19             | 0.211 11 | 0.089 14     | 0.103 00 | 71         | 47             | 0.522 22 | 0.543 46     | 0.544 37 | 43         |
| 20             | 0.222 22 | 0.098 77     | 0.116 98 | 70         | 48             | 0.533 33 | 0.566 44     | 0.566 42 | 42         |
| 21             | 0.233 33 | 0.108 89     | 0.128 43 | 69         | 49             | 0.544 44 | 0.584 94     | 0.588 31 | 41         |
| 22             | 0.244 44 | 0.119 51     | 0.140 33 | 68         | 50             | 0.555 56 | 0.604 94     | 0.609 99 | 40         |
| 23             | 0.255 56 | 0.130 62     | 0.152 67 | 67         | 51             | 0.566 67 | 0.624 44     | 0.631 40 | 39         |
| 24             | 0.266 34 | 0.142 22     | 0.165 44 | 66         | 52             | 0.577 78 | 0.643 46     | 0.652 50 | 38         |
| 25             | 0.277 78 | 0.154 32     | 0.178 61 | 65         | 53             | 0.588 89 | 0.661 98     | 0.673 23 | 37         |
| 26             | 0.288 89 | 0.166 91     | 0.192 17 | 64         | 54             | 0.600 00 | 0.680 00     | 0.693 55 | 36         |
| 27             | 0.300 00 | 0.180 00     | 0.203 11 | 63         | 55             | 0.611 11 | 0.697 53     | 0.712 41 | 35         |
| 28             | 0.311 11 | 0.193 56     | 0.220 40 | 62         | 56             | 0.622 22 | 0.714 57     | 0.732 78 | 34         |
| 29             | 0.322 22 | 0.207 66     | 0.235 04 | 61         | 57             | 0.633 33 | 0.731 11     | 0.751 61 | 33         |
| 30             | 0.333 33 | 0.222 22     | 0.250 00 | 60         | 58             | 0.644 44 | 0.747 16     | 0.769 86 | 32         |
| 31             | 0.344 44 | 0.237 28     | 0.265 27 | 59         | 59             | 0.655 56 | 0.762 72     | 0.787 50 | 31         |
| 32             | 0.355 56 | 0.252 84     | 0.280 81 | 58         | 60             | 0.666 67 | 0.777 78     | 0.804 50 | 30         |
| 33             | 0.366 67 | 0.268 89     | 0.296 63 | 57         | 61             | 0.677 73 | 0.792 35     | 0.820 83 | 29         |

续表

| 推程等分编号 | 等速运动     | 等加速等减速运动 | 简谐运动     | 回程等分编号 | 推程等分编号 | 等速运动     | 等加速等减速运动 | 简谐运动     | 回程等分编号 |
|--------|----------|----------|----------|--------|--------|----------|----------|----------|--------|
| 62     | 0.688 89 | 0.806 42 | 0.836 46 | 28     | 77     | 0.855 56 | 0.958 27 | 0.980 97 | 13     |
| 63     | 0.700 00 | 0.820 00 | 0.851 37 | 27     | 78     | 0.866 67 | 0.964 44 | 0.984 94 | 12     |
| 64     | 0.711 11 | 0.833 09 | 0.865 54 | 26     | 79     | 0.877 78 | 0.970 12 | 0.988 34 | 11     |
| 65     | 0.722 22 | 0.845 68 | 0.878 96 | 25     | 80     | 0.888 89 | 0.957 31 | 0.991 19 | 10     |
| 66     | 0.733 33 | 0.857 78 | 0.891 62 | 24     | 81     | 0.900 00 | 0.980 00 | 0.993 55 | 9      |
| 67     | 0.744 44 | 0.869 38 | 0.903 50 | 23     | 82     | 0.911 11 | 0.984 20 | 0.995 45 | 8      |
| 68     | 0.755 56 | 0.880 49 | 0.914 61 | 22     | 83     | 0.922 22 | 0.987 90 | 0.996 94 | 7      |
| 69     | 0.766 67 | 0.891 11 | 0.924 95 | 21     | 84     | 0.933 33 | 0.991 11 | 0.998 07 | 6      |
| 70     | 0.777 78 | 901 24   | 0.834 52 | 20     | 85     | 0.944 44 | 0.993 83 | 0.998 88 | 5      |
| 71     | 0.788 89 | 0.910 86 | 0.943 32 | 19     | 86     | 0.955 56 | 0.996 05 | 0.999 43 | 4      |
| 72     | 0.800 00 | 0.920 00 | 0.851 37 | 18     | 87     | 0.966 67 | 0.997 78 | 0.999 76 | 3      |
| 73     | 0.811 11 | 0.928 64 | 0.958 68 | 17     | 88     | 0.977 78 | 0.999 01 | 0.999 93 | 2      |
| 74     | 0.822 22 | 0.936 79 | 0.965 27 | 16     | 89     | 0.988 89 | 0.999 75 | 0.999 99 | 1      |
| 75     | 0.833 33 | 0.944 44 | 0.971 17 | 15     | 90     | 1.000 00 | 1.000 00 | 1.000 00 | 0      |
| 76     | 0.844 44 | 0.951 61 | 0.976 39 | 14     |        |          |          |          |        |

## 6. 选用材料、结构及制定加工精度

### 1) 凸轮机构常用材料及热处理

凸轮机构工作时，一般存在着冲击，从而使凸轮与从动件表面产生磨损。因此，对凸轮材料的要求是表面有一定的硬度，而芯部韧性要好；从动件尖端或滚子的表面硬度要高。

低速轻载的盘形凸轮机构：凸轮可选 HT250、HT300、QT800-2、QT900-2 等材料。从动件用中碳钢，高副端表面淬火至硬度为 40 ~ 50 HRC（洛氏硬度），也可采用尼龙。

中速中载时，凸轮常用 45、40Cr、20Cr、20CrMn 等材料。从动件可用 20Cr 等低碳合金钢，经渗碳淬火，渗碳层深 0.8 ~ 1.5 mm，硬度为 56 ~ 62 HRC。

高速重载时，凸轮用 40Cr 等中碳合金钢，表面高频淬火至硬度为 56 ~ 60 HRC。从动件可用 T8、T10 等碳素工具钢进行表面淬火处理。

### 2) 凸轮机构的结构

如图 4.16 (a) 所示，凸轮尺寸小，且与轴的尺寸相近，则与轴做成一体，成为凸轮

轴。凸轮尺寸大,且与轴的尺寸相差较大时,与轴分开制造,如图4.16(b)、图4.16(c)、图4.16(d)所示。当要求凸轮位置沿轴的圆周方向可调时,可采用图4.16(c)所示结构,粗调时,用螺钉定位,调好后用锥销固定;也可采用图4.16(d)所示的结构,用开槽的锥形套筒与双螺母锁紧凸轮位置,但这种结构承载能力不大;图4.16(b)所示结构简单,但不可调。

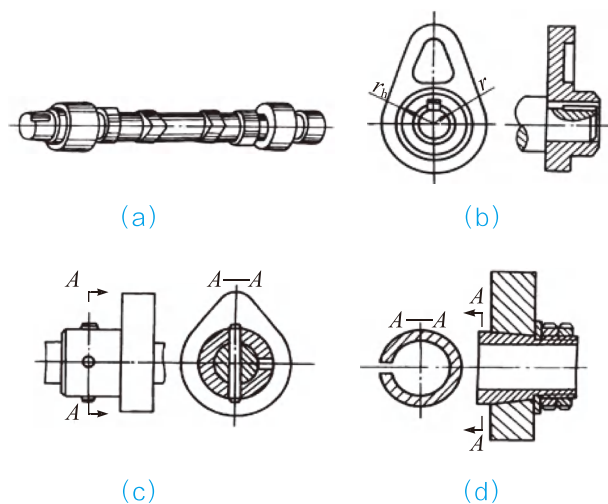


图 4.16 凸轮机构的结构

从动件末端的结构形式很多,常用的滚子结构如图4.17所示,滚子相对从动件要能自由转动。

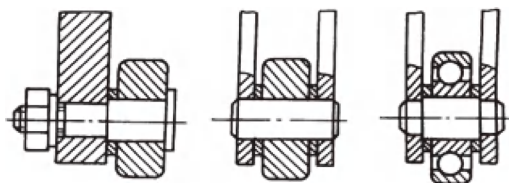


图 4.17 滚子的结构

### 3) 凸轮加工精度

凸轮精度的要求主要包括凸轮公差及表面粗糙度,如表4.3所示。

表 4.3 凸轮的公差和表面粗糙度

| 凸轮精度 | 公差等级或极限偏差             |          |         | 表面粗糙度/ $\mu\text{m}$  |                       |
|------|-----------------------|----------|---------|-----------------------|-----------------------|
|      | 向径/mm                 | 凸轮槽宽     | 基准孔     | 盘形凸轮                  | 凸轮槽                   |
| 较高   | $\pm (0.05 \sim 0.1)$ | H8 (H7)  | H7      | $0.32 < Ra \leq 0.63$ | $0.63 < Ra \leq 1.25$ |
| 一般   | $\pm (0.1 \sim 0.2)$  | H8       | H7 (H8) | $0.63 < Ra \leq 1.25$ | $1.25 < Ra \leq 2.5$  |
| 低    | $\pm (0.2 \sim 0.5)$  | H9 (H10) | H8      |                       |                       |

前面得出,该凸轮机构的基圆半径  $r_b = 40 \text{ mm}$ , 凸轮尺寸较大, 故采用凸轮与轴分开的结构, 如图 4.16 (b) 所示; 又因凸轮用于自动机中, 属中载中速, 所以选 20Cr, 渗碳淬火, 渗碳深度 1.2 mm、表面硬度 56 ~ 62 HRC; 取向径公差为  $\pm 0.08$ 、表面结构  $Ra = 0.8 \mu\text{m}$ ; 为防止装配时错位, 在凸轮上打印  $0^\circ$  标记。零件工作图如图 4.18 所示。

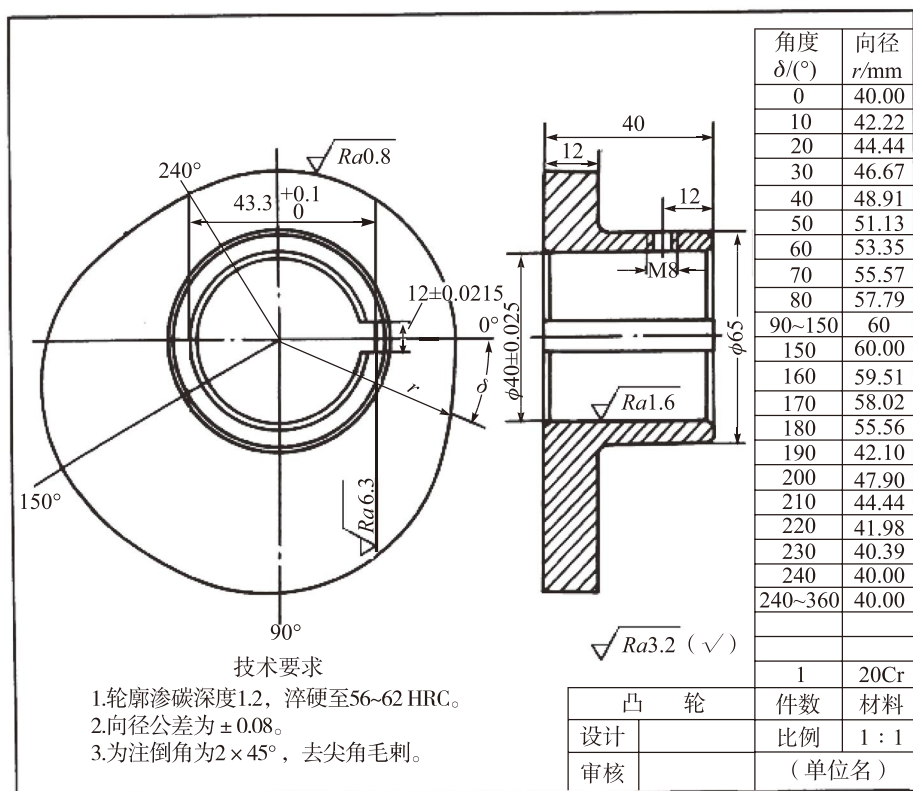


图 4.18 凸轮的零件工作图



## 拓展训练

设计一对心滚子直动从动件盘形凸轮机构, 凸轮按逆时针方向转动, 行程  $h = 20 \text{ mm}$ , 滚子半径  $r_T = 8 \text{ mm}$ , 从动件的运动规律如表 4.1 所示。

设计此凸轮轮廓。

### 1. 滚子从动件盘形凸轮

尖顶从动件尖端磨损较快, 故常采用滚子从动件来代替尖顶从动件。由于在工作中, 滚子从动件的滚子始终与凸轮轮廓曲线相切, 滚子中心到凸轮轮廓表面的距离等于滚子半径  $r_T$ , 因此可把滚子中心看作是尖顶从动件的尖顶, 作图步骤如下。

(1) 将滚子的中心看作从动件的尖顶, 按尖顶对心直动从动件盘形凸轮轮廓的绘制方

法绘出凸轮的轮廓曲线 $\beta_0$ ，称为理论轮廓曲线，如图4.19所示。

(2) 在已画出的理论轮廓曲线上选取一系列圆心，以滚子半径 $r_T$ 为半径作若干个滚子小圆。

(3) 作上述系列滚子小圆的内包络线，由于它是与滚子实际接触的凸轮轮廓曲线，故称为实际轮廓曲线 $\beta$ ，即为所求的凸轮轮廓，如图4.19所示。

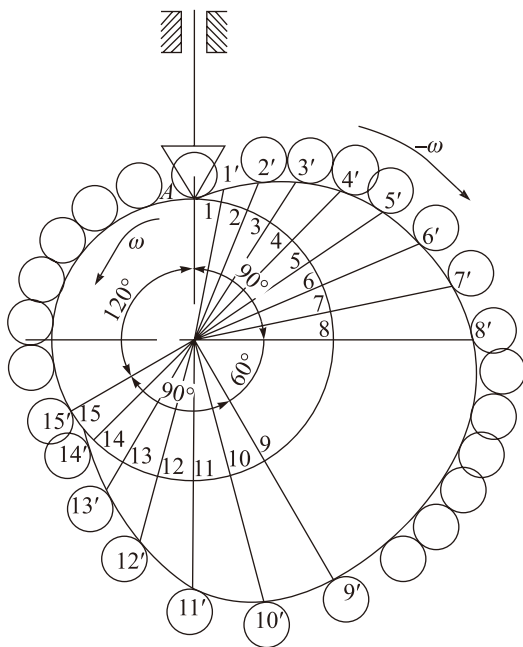


图4.19 对心滚子直动从动件盘形凸轮机构

## 2. 滚子半径 $r_T$ 选择

滚子从动件有摩擦及磨损小的优点，若仅从强度和耐磨性考虑，滚子的半径宜大些，但滚子的半径 $r_T$ 受到凸轮轮廓曲线曲率半径的限制。

设滚子半径为 $r_T$ ，凸轮理论轮廓曲率半径为 $\rho$ ，实际轮廓曲率半径为 $\rho'$ 。如图4.20(a)所示，当凸轮理论轮廓曲线内凹时，无论滚子取多大，都可以作出实际轮廓曲线。外凸时 $\rho' = \rho - r_T$ ，当 $\rho_{\min} > r_T$ 时，可完整绘出实际轮廓曲线。当 $\rho_{\min} = r_T$ 时，实际轮廓曲线出现尖顶，尖顶容易磨损，导致从动件的运动失真。当 $\rho_{\min} < r_T$ 时，实际轮廓曲线发生交叉，交点以外的部分在加工凸轮轮廓时将被切除，从动件的运动规律实现不了。

因此，在设计时应保证 $\rho_{\min} > r_T$ ，通常在选取滚子半径时按 $r_T < \rho_{\min} - (3 \sim 5) \text{ mm}$ 选取。

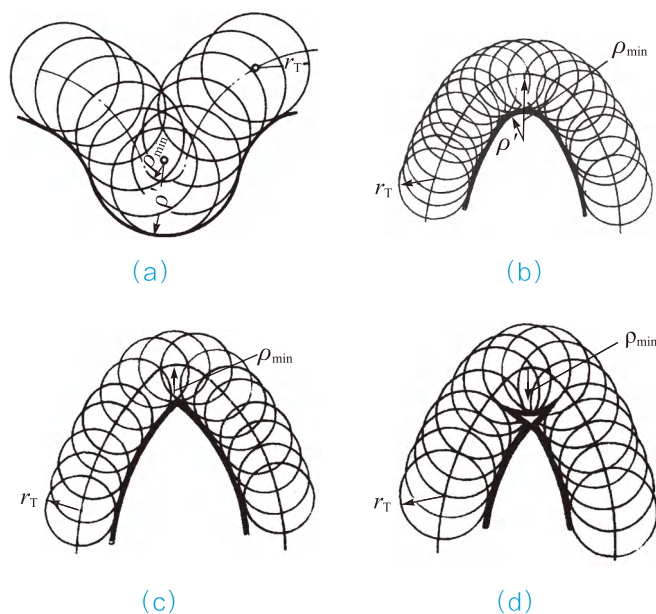


图 4.20 滚子半径的选取

(a)  $\beta_0$  内凸时; (b)  $\beta_0$  外凸时,  $\rho_{\min} > r_T$ ; (c)  $\beta_0$  外凸时,  $\rho_{\min} = r_T$ ; (d)  $\beta_0$  外凸时,  $\rho_{min} < r_T$

## 任务 4.2

## 偏置直动从动件盘形凸轮轮廓的设计



偏置直动从动件盘形凸轮轮廓的设计



拓展阅读 4  
他给盾构装上“智能掘进脑”