

成大先 主编

# 机械设计手册

第六版



## 机构·结构设计

HANDBOOK  
MECHANICAL  
DESIGN



化学工业出版社

# 机械设计手册

第六版

单行本

机构·结构设计

主编单位 中国有色工程设计研究总院

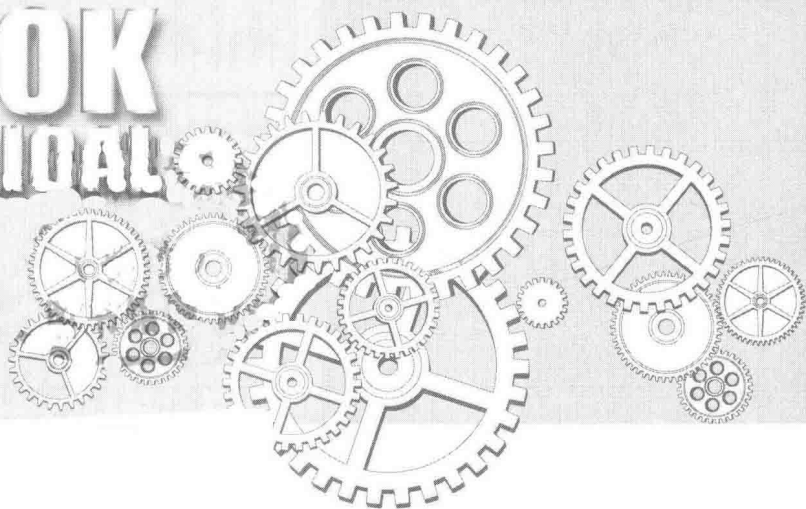
主 编 成大先

副主编 王德夫 姬奎生 韩学铨

姜 勇 李长顺 王雄耀

虞培清 成 杰 谢京耀

HANDBOOK  
OF MECHANICAL  
DESIGN



化学工业出版社

· 北 京 ·

《机械设计手册》第六版单行本共 16 分册,涵盖了机械常规设计的所有内容。各分册分别为《常用设计资料》《机械制图·精度设计》《常用机械工程材料》《机构·结构设计》《连接与紧固》《轴及其连接》《轴承》《起重运输件·五金件》《润滑与密封》《弹簧》《机械传动》《减(变)速器·电机与电器》《机械振动·机架设计》《液压传动》《液压控制》《气压传动》。

本书为《机构·结构设计》,包括机构设计以及机械产品结构设计。机构主要介绍了机构分析的常用方法,基本机构和组合机构的分析与设计,并列举了机构参考图例;机械产品结构设计则介绍了设计概念、各类设计准则以及绿色设计方法。

本书可作为机械设计人员和有关工程技术人员工具书,也可供高等院校有关专业师生参考使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

机械设计手册:单行本. 机构·结构设计/成大先主编. —6版. —北京:化学工业出版社,2017.1  
ISBN 978-7-122-28705-2

I. ①机… II. ①成… III. ①机械设计-技术手册  
②机构学-技术手册 IV. ①TH122-62②TH112-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 305196 号

责任编辑:周国庆 张兴辉 贾娜 曾越  
责任校对:宋玮

装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 24 字数 842 千字 2017 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

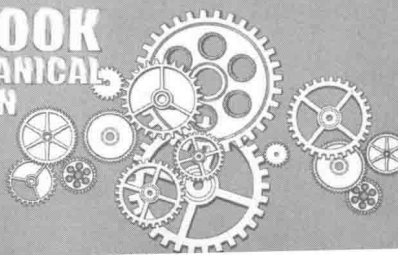
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:68.00 元

版权所有 违者必究

## 撰稿人员

- |     |                    |      |                |
|-----|--------------------|------|----------------|
| 成大先 | 中国有色工程设计研究总院       | 孙永旭  | 北京古德机电技术研究所    |
| 王德夫 | 中国有色工程设计研究总院       | 丘大谋  | 西安交通大学         |
| 刘世参 | 《中国表面工程》杂志、装甲兵工程学院 | 诸文俊  | 西安交通大学         |
| 姬奎生 | 中国有色工程设计研究总院       | 徐 华  | 西安交通大学         |
| 韩学铨 | 北京石油化工工程公司         | 谢振宇  | 南京航空航天大学       |
| 余梦生 | 北京科技大学             | 陈应斗  | 中国有色工程设计研究总院   |
| 高淑之 | 北京化工大学             | 张奇芳  | 沈阳铝镁设计研究院      |
| 柯蕊珍 | 中国有色工程设计研究总院       | 安 剑  | 大连华锐重工集团股份有限公司 |
| 杨 青 | 西北农林科技大学           | 迟国东  | 大连华锐重工集团股份有限公司 |
| 刘志杰 | 西北农林科技大学           | 杨明亮  | 太原科技大学         |
| 王欣玲 | 机械科学研究院            | 邹舜卿  | 中国有色工程设计研究总院   |
| 陶兆荣 | 中国有色工程设计研究总院       | 邓述慈  | 西安理工大学         |
| 孙东辉 | 中国有色工程设计研究总院       | 周凤香  | 中国有色工程设计研究总院   |
| 李福君 | 中国有色工程设计研究总院       | 朴树寰  | 中国有色工程设计研究总院   |
| 阮忠唐 | 西安理工大学             | 杜子英  | 中国有色工程设计研究总院   |
| 熊绮华 | 西安理工大学             | 汪德涛  | 广州机床研究所        |
| 雷淑存 | 西安理工大学             | 朱 炎  | 中国航空救生装置公司     |
| 田惠民 | 西安理工大学             | 王鸿翔  | 中国有色工程设计研究总院   |
| 殷鸿樑 | 上海工业大学             | 郭 永  | 山西省自动化研究所      |
| 齐维浩 | 西安理工大学             | 厉海祥  | 武汉理工大学         |
| 曹惟庆 | 西安理工大学             | 欧阳志喜 | 宁波双林汽车部件股份有限公司 |
| 吴宗泽 | 清华大学               | 段慧文  | 中国有色工程设计研究总院   |
| 关天池 | 中国有色工程设计研究总院       | 姜 勇  | 中国有色工程设计研究总院   |
| 房庆久 | 中国有色工程设计研究总院       | 徐永年  | 郑州机械研究所        |
| 李建平 | 北京航空航天大学           | 梁桂明  | 河南科技大学         |
| 李安民 | 机械科学研究院            | 张光辉  | 重庆大学           |
| 李维荣 | 机械科学研究院            | 罗文军  | 重庆大学           |
| 丁宝平 | 机械科学研究院            | 沙树明  | 中国有色工程设计研究总院   |
| 梁全贵 | 中国有色工程设计研究总院       | 谢佩娟  | 太原理工大学         |
| 王淑兰 | 中国有色工程设计研究总院       | 余 铭  | 无锡市万向联轴器有限公司   |
| 林基明 | 中国有色工程设计研究总院       | 陈祖元  | 广东工业大学         |
| 王孝先 | 中国有色工程设计研究总院       | 陈仕贤  | 北京航空航天大学       |
| 董祖楹 | 上海交通大学             | 郑自求  | 四川理工学院         |
| 刘清廉 | 中国有色工程设计研究总院       | 贺元成  | 泸州职业技术学院       |
| 许文元 | 天津工程机械研究所          | 季泉生  | 济南钢铁集团         |

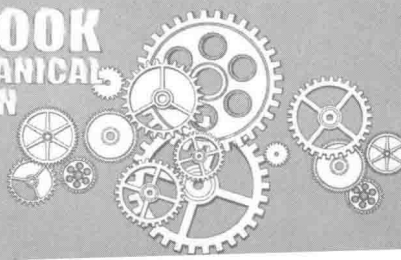


|     |                 |     |                    |
|-----|-----------------|-----|--------------------|
| 方正  | 中国重型机械研究院       | 申连生 | 中冶迈克液压有限责任公司       |
| 马敬勋 | 济南钢铁集团          | 刘秀丽 | 中国有色工程设计研究总院       |
| 冯彦宾 | 四川理工学院          | 宋天民 | 北京钢铁设计研究总院         |
| 袁林  | 四川理工学院          | 周堉  | 中冶京城工程技术有限公司       |
| 孙夏明 | 北方工业大学          | 崔桂芝 | 北方工业大学             |
| 黄吉平 | 宁波市镇海减变速机制造有限公司 | 佟新  | 中国有色工程设计研究总院       |
| 陈宗源 | 中冶集团重庆钢铁设计研究院   | 禡有雄 | 天津大学               |
| 张翌  | 北京太富力传动机器有限责任公司 | 林少芬 | 集美大学               |
| 陈涛  | 大连华锐重工集团股份有限公司  | 卢长耿 | 厦门海德科液压机械设备有限公司    |
| 于天龙 | 大连华锐重工集团股份有限公司  | 容同生 | 厦门海德科液压机械设备有限公司    |
| 李志雄 | 大连华锐重工集团股份有限公司  | 张伟  | 厦门海德科液压机械设备有限公司    |
| 刘军  | 大连华锐重工集团股份有限公司  | 吴根茂 | 浙江大学               |
| 蔡学熙 | 连云港化工矿山设计研究院    | 魏建华 | 浙江大学               |
| 姚光义 | 连云港化工矿山设计研究院    | 吴晓雷 | 浙江大学               |
| 沈益新 | 连云港化工矿山设计研究院    | 钟荣龙 | 厦门厦顺铝箔有限公司         |
| 钱亦清 | 连云港化工矿山设计研究院    | 黄畬  | 北京科技大学             |
| 于琴  | 连云港化工矿山设计研究院    | 王雄耀 | 费斯托(FESTO)(中国)有限公司 |
| 蔡学坚 | 邢台地区经济委员会       | 彭光正 | 北京理工大学             |
| 虞培清 | 浙江长城减速机有限公司     | 张百海 | 北京理工大学             |
| 项建忠 | 浙江通力减速机有限公司     | 王涛  | 北京理工大学             |
| 阮劲松 | 宝鸡市广环机床责任有限公司   | 陈金兵 | 北京理工大学             |
| 纪盛青 | 东北大学            | 包钢  | 哈尔滨工业大学            |
| 黄效国 | 北京科技大学          | 蒋友谅 | 北京理工大学             |
| 陈新华 | 北京科技大学          | 史习先 | 中国有色工程设计研究总院       |
| 李长顺 | 中国有色工程设计研究总院    |     |                    |

## — 审 稿 人 员 —

|     |     |     |     |     |    |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|
| 刘世参 | 成大先 | 王德夫 | 郭可谦 | 汪德涛 | 方正 | 朱炎  | 李钊刚 |
| 姜勇  | 陈谌闻 | 饶振纲 | 季泉生 | 洪允楣 | 王正 | 詹茂盛 | 姬奎生 |
| 张红兵 | 卢长耿 | 郭长生 | 徐文灿 |     |    |     |     |

**HANDBOOK  
OF MECHANICAL  
DESIGN**



# 《机械设计手册》(第六版)单行本

## 出版说明

重点科技图书《机械设计手册》自1969年出版发行以来,已经修订至第六版,累计销售量超过130万套,成为新中国成立以来,在国内影响力最大的机械设计工具书,多次获得国家 and 省部级奖励。

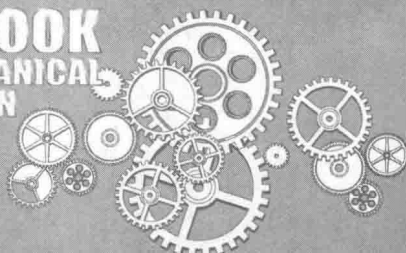
《机械设计手册》以其技术性和实用性强、标准和数据可靠、便于使用和查询等特点,赢得了广大机械设计工作者和工程技术人员的首肯和好评。自出版以来,收到读者来信数千封。广大读者在对《机械设计手册》给予充分肯定的同时,也指出了《机械设计手册》装帧太厚、太重,不便携带和翻阅,希望出版篇幅小些的单行本,诸多读者建议将《机械设计手册》以篇为单位改编为多卷本。

根据广大读者的反映和建议,化学工业出版社组织编辑人员深入设计科研院所、大中专院校、制造企业和有一定影响的新华书店进行调研,广泛征求和听取各方面的意见,在与主编单位协商一致的基础上,于2004年以《机械设计手册》第四版为基础,编辑出版了《机械设计手册》单行本,并在出版后很快得到了读者的认可。2011年,《机械设计手册》第五版单行本出版发行。

《机械设计手册》第六版(5卷本)于2016年初面市发行,在提高产品开发、创新设计方面,在促进新产品设计和加工制造的新工艺设计方面,在为新产品开发、老产品改造创新提供新型元器件和新材料方面,在贯彻推广标准化工作等方面,都较第五版有很大改进。为更加贴合读者需求,便于读者有针对性地选用《机械设计手册》第六版中的部分内容,化学工业出版社在汲取《机械设计手册》前两版单行本出版经验的基础上,推出了《机械设计手册》第六版单行本。

《机械设计手册》第六版单行本,保留了《机械设计手册》第六版(5卷本)的优势和特色,从设计工作的实际出发,结合机械设计专业具体情况,将原来的5卷23篇调整为16分册21篇,分别为《常用设计资料》《机械制图·精度设计》《常用机械工程材料》《机构·结构设计》《连接与紧固》《轴及其连接》《轴承》《起重运输件·五金件》《润滑与密封》《弹簧》《机械传动》《减(变)速器·电机与电器》《机械振动·机架设计》《液压传动》《液压控制》《气压传动》。这样,各分册篇幅适中,查阅和携带更加方便,有利于设计人员和广大读者根据各自需要

HANDBOOK  
OF MECHANICAL  
DESIGN



灵活选购。

《机械设计手册》第六版单行本将与《机械设计手册》第六版（5卷本）一起，成为机械设计工作者、工程技术人员和广大读者的良师益友。

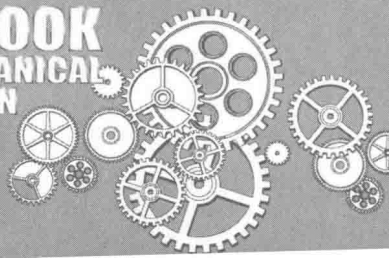
借《机械设计手册》第六版单行本出版之际，再次向热情支持和积极参加编写工作的单位和个人表示诚挚的敬意！向长期关心、支持《机械设计手册》的广大热心读者表示衷心感谢！

由于编辑出版单行本的工作量较大，时间较紧，难免存在疏漏，恳请广大读者给予批评指正。

化学工业出版社

2017年1月

**HANDBOOK  
OF MECHANICAL  
DESIGN**





《机械设计手册》自 1969 年第一版出版发行以来,已经修订了五次,累计销售量 130 万套,成为新中国成立以来,在国内影响力强、销售量大的机械设计工具书。作为国家级的重点科技图书,《机械设计手册》多次获得国家和省部级奖励。其中,1978 年获全国科学大会科技成果奖,1983 年获化工部优秀科技图书奖,1995 年获全国优秀科技图书二等奖,1999 年获全国化工科技进步二等奖,2002 年获石油和化学工业优秀科技图书一等奖,2003 年获中国石油和化学工业科技进步二等奖。1986~2015 年,多次被评为全国优秀畅销书。

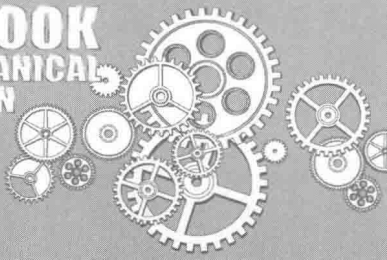
与时俱进、开拓创新,实现实用性、可靠性和创新性的最佳结合,协助广大机械设计人员开发出更好更新的产品,适应市场和生产需要,提高市场竞争力和国际竞争力,这是《机械设计手册》一贯坚持、不懈努力的最高宗旨。

《机械设计手册》(以下简称《手册》)第五版出版发行至今已有 8 年的时间,在这期间,我们进行了广泛的调查研究,多次邀请机械方面的专家、学者座谈,倾听他们对第六版修订的建议,并深入设计院所、工厂和矿山的第一线,向广大设计工作者了解《手册》的应用情况和意见,及时发现、收集生产实践中出现的新经验和新问题,多方位、多渠道跟踪、收集国内外涌现出来的新技术、新产品,改进和丰富《手册》的内容,使《手册》更具鲜活力,以最大限度地提高广大机械设计人员自主创新的能力,适应建设创新型国家的需要。

《手册》第六版的具体修订情况如下。

#### 一、在提高产品开发、创新设计方面

1. 新增第 5 篇“机械产品结构设计”,提出了常用机械产品结构设计的 12 条常用准则,供产品设计人员参考。
2. 第 1 篇“一般设计资料”增加了机械产品设计的巧(新)例与错例等内容。
3. 第 11 篇“润滑与密封”增加了稀有润滑装置的设计计算内容,以适应润滑新产品开发、设计的需要。
4. 第 15 篇“齿轮传动”进一步完善了符合 ISO 国际标准的渐开线圆柱齿轮设计,非零变位锥齿轮设计,点线啮合传动设计,多点啮合柔性传动设计等内容,例如增加了符合 ISO 标准的渐开线齿轮几何计算及算例,更新了齿轮精度等。
5. 第 23 篇“气压传动”增加了模块化电/气混合驱动技术、气动系统节能等内容。





二、在为新产品开发、老产品改造创新,提供新型元器件和新材料方面

1. 介绍了相关节能技术及产品,例如增加了气动系统的节能技术和产品、节能电机等。

2. 各篇介绍了许多新型的机械零部件,包括一些新型的联轴器、离合器、制动器、带减速器的电机、起重运输零部件、液压元件和辅件、气动元件等,这些产品均具有技术先进、节能等特点。

3. 新材料方面,增加或完善了铜及铜合金、铝及铝合金、钛及钛合金、镁及镁合金等内容,这些合金材料由于具有优良的力学性能、物理性能以及材料回收率高等优点,目前广泛应用于航天、航空、高铁、计算机、通信元件、电子产品、纺织和印刷等行业。

三、在贯彻推广标准化工作方面

1. 所有产品、材料和工艺均采用新标准资料,如材料、各种机械零部件、液压和气动元件等全部更新了技术标准和产品。

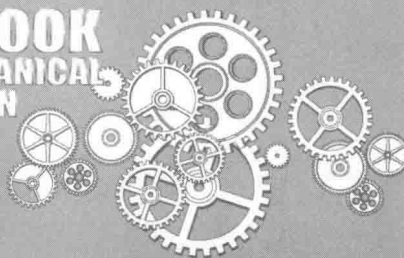
2. 为满足机械产品通用化、国际化的需要,遵照立足国家标准、面向国际标准的原则来收录内容,如第15篇“齿轮传动”更新并完善了符合ISO标准的渐开线齿轮设计等。

《机械设计手册》第六版是在前几版的基础上编写而成的。借《机械设计手册》第六版出版之际,再次向参加每版编写的单位和个人表示衷心的感谢!同时也感谢给我们提供大力支持和热忱帮助的单位 and 各界朋友们!

由于编者水平有限,调研工作不够全面,修订中难免存在疏漏和缺点,恳请广大读者继续给予批评指正。

主 编

HANDBOOK  
OF MECHANICAL  
DESIGN



## 第 4 篇 机构

### 第 1 章 机构分析的常用方法 ..... 4-3

#### 1 机构的自由度分析 ..... 4-3

##### 1.1 常用术语的概念 ..... 4-3

##### 1.2 机构的运动简图和机动画示意图 ..... 4-4

##### 1.3 机构的自由度分析 ..... 4-9

###### 1.3.1 平面机构自由度分析 ..... 4-9

###### 1.3.2 单封闭环空间机构自由度的 计算 ..... 4-10

###### 1.3.3 多闭环空间机构及开环机构的 自由度的计算 ..... 4-14

###### 1.3.4 空间机构自由度计算例题 ..... 4-14

##### 1.4 平面机构的结构分析 ..... 4-15

#### 2 平面机构的运动分析 ..... 4-17

##### 2.1 机构的位置和构件上某点的轨迹 分析 ..... 4-18

##### 2.2 机构的速度与加速度分析 ..... 4-18

###### 2.2.1 矢量图解法 ..... 4-18

###### 2.2.2 解析法 ..... 4-24

###### 2.2.3 瞬心法 ..... 4-24

##### 2.3 高副机构的运动分析 ..... 4-29

###### 2.3.1 用高副低代法求解 ..... 4-29

###### 2.3.2 用高副机构直接求解 ..... 4-30

#### 3 平面机构的受力分析 ..... 4-32

##### 3.1 杆组静定条件和构件惯性力的 计算 ..... 4-33

##### 3.2 运动副中摩擦力的计算 ..... 4-34

##### 3.3 机构的受力分析 ..... 4-35

###### 3.3.1 图解计算法 ..... 4-35

###### 3.3.2 用速度杠杆法求平衡力 $F_p$ ..... 4-36

###### 3.3.3 机构动态静力分析的 解析法 ..... 4-36

##### 3.4 惯性力的平衡 ..... 4-38

###### 3.4.1 具有不规则形状的旋转构件 平衡重力的确定 ..... 4-39

###### 3.4.2 平面机构的平衡 ..... 4-39

#### 4 单自由度机器的动力分析 ..... 4-43

##### 4.1 机器的运动过程和运动方程式 ..... 4-43

##### 4.2 机器运动方程的求解 ..... 4-43

##### 4.3 机器周期性速度波动的调节和飞轮 设计 ..... 4-43

###### 4.3.1 机器主轴的平均角速度 $\omega_m$ 与 速度不均匀系数 $\delta$ ..... 4-48

###### 4.3.2 飞轮设计 ..... 4-48

##### 4.4 机械效率的计算 ..... 4-50

### 第 2 章 基本机构的设计 ..... 4-52

#### 1 平面连杆机构 ..... 4-52

##### 1.1 四杆机构的结构型式 ..... 4-52

##### 1.2 按传动角设计四杆机构 ..... 4-52

###### 1.2.1 按最小传动角具有最大值的 条件设计曲柄摇杆机构 ..... 4-53

###### 1.2.2 按最小传动角设计行程速比 系数 $k=1$ ( $\varphi_{12}=180^\circ$ ) 的 曲柄摇杆机构 ..... 4-54

###### 1.2.3 按最小传动角具有最大值的条 件设计偏置曲柄-滑块机构 ..... 4-55

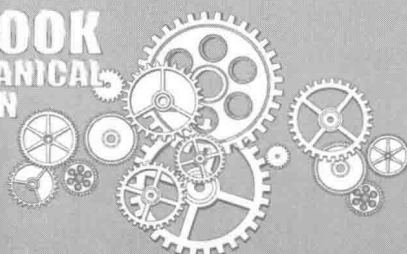
###### 1.2.4 根据最小传动角设计双曲柄 机构 ..... 4-55

##### 1.3 按照输入杆与输出杆位置关系设计 四杆机构 ..... 4-56

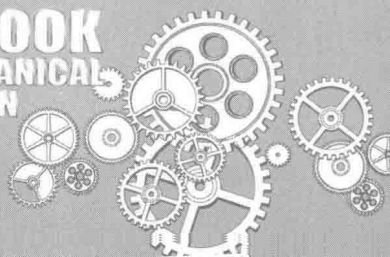
###### 1.3.1 几何法 ..... 4-56

###### 1.3.2 分析法 ..... 4-60

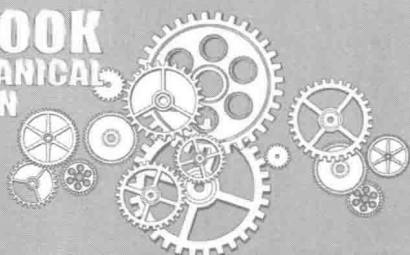
###### 1.3.3 实验法 ..... 4-63



|                                                         |       |                                                 |       |
|---------------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------|-------|
| 1.4 按照连杆位置及连杆点位置综合<br>铰链四杆机构 .....                      | 4-63  | 3.6.2 解析法 .....                                 | 4-105 |
| 1.4.1 已知连杆三个位置综合铰链<br>四杆机构 .....                        | 4-63  | 3.7 平底从动件盘形凸轮工作轮廓的<br>设计 .....                  | 4-111 |
| 1.4.2 已知连杆四个位置综合铰链<br>四杆机构 .....                        | 4-64  | 3.8 圆弧凸轮工作轮廓的设计 .....                           | 4-114 |
| 1.4.3 圆点曲线及圆心曲线 .....                                   | 4-65  | 3.8.1 单圆弧凸轮(偏心轮) .....                          | 4-114 |
| 1.4.4 已知连杆上点的位置综合铰链<br>四杆机构 .....                       | 4-65  | 3.8.2 多圆弧凸轮 .....                               | 4-114 |
| 1.4.5 轨迹综合 .....                                        | 4-67  | 3.9 凸轮及滚子结构、材料、强度、<br>精度、表面粗糙度及工作图 .....        | 4-116 |
| 1.4.6 相当机构及其应用 .....                                    | 4-70  | 3.9.1 凸轮及滚子结构 .....                             | 4-116 |
| 1.4.7 直线运动机构 .....                                      | 4-70  | 3.9.2 常用材料 .....                                | 4-119 |
| 2 瞬心线机构及互包络线机构 .....                                    | 4-71  | 3.9.3 强度校核及许用应力 .....                           | 4-119 |
| 2.1 瞬心线机构的工作特点及设计计算<br>的一般原理 .....                      | 4-71  | 3.9.4 凸轮精度及表面粗糙度 .....                          | 4-120 |
| 2.2 非圆齿轮节线设计 .....                                      | 4-73  | 3.9.5 凸轮工作图 .....                               | 4-120 |
| 2.2.1 再现一个给定自变量的函数的<br>非圆齿轮节线设计 .....                   | 4-73  | 4 分度凸轮机构 .....                                  | 4-122 |
| 2.2.2 偏心圆齿轮与非圆齿轮共轭 .....                                | 4-75  | 4.1 分度凸轮机构的性能及其运动<br>参数 .....                   | 4-122 |
| 2.2.3 椭圆-卵形齿轮及卵形齿轮<br>传动 .....                          | 4-77  | 4.2 弧面(滚子齿式)分度凸轮机构 .....                        | 4-122 |
| 2.3 互包络线机构的工作特点 .....                                   | 4-79  | 4.2.1 基本结构和工作原理 .....                           | 4-122 |
| 2.4 互包络线机构的设计 .....                                     | 4-80  | 4.2.2 弧面分度凸轮机构的主要运动<br>参数和几何尺寸 .....            | 4-124 |
| 3 凸轮机构 .....                                            | 4-83  | 4.2.3 弧面分度凸轮的工作曲面设计<br>及其实例计算 .....             | 4-126 |
| 3.1 凸轮机构的术语及一般设计步骤 .....                                | 4-83  | 4.2.4 弧面分度凸轮机构的动力学<br>计算 .....                  | 4-129 |
| 3.2 凸轮机构的基本型式及封闭方式 .....                                | 4-85  | 4.2.5 弧面分度凸轮机构主要零件的<br>材料、热处理与技术要求 .....        | 4-131 |
| 3.3 凸轮机构的压力角 .....                                      | 4-88  | 4.2.6 弧面分度凸轮机构的结构设计<br>要点 .....                 | 4-131 |
| 3.4 基圆半径 $R_b$ 、圆柱凸轮最小半径 $R_{min}$<br>和滚子半径 $R_r$ ..... | 4-89  | 4.2.7 弧面分度凸轮机构的主要零<br>部件图实例 .....               | 4-131 |
| 3.4.1 基圆半径 $R_b$ 对凸轮机构的<br>影响 .....                     | 4-89  | 4.2.8 弧面凸轮分度箱 .....                             | 4-133 |
| 3.4.2 确定基圆半径 $R_b$ 、 $R_{min}$ 的<br>方法 .....            | 4-89  | 4.3 圆柱分度凸轮机构 .....                              | 4-135 |
| 3.4.3 滚子半径 $R_r$ 的确定 .....                              | 4-92  | 4.3.1 工作原理和主要类型 .....                           | 4-135 |
| 3.5 从动件运动规律及其方程式 .....                                  | 4-93  | 4.3.2 圆柱分度凸轮机构的主要运动<br>参数和几何尺寸 .....            | 4-135 |
| 3.5.1 从动件运动规律 .....                                     | 4-93  | 4.3.3 圆柱分度凸轮的工作轮廓<br>设计 .....                   | 4-138 |
| 3.5.2 基本运动规律的参数曲线 .....                                 | 4-95  | 4.3.4 圆柱分度凸轮机构主要零件的<br>材料、技术要求及结构设计<br>要点 ..... | 4-138 |
| 3.5.3 常用组合运动规律方程式<br>应用 .....                           | 4-97  | 4.3.5 圆柱分度凸轮轮廓曲面展开为                             |       |
| 3.6 滚子从动件凸轮工作轮廓的设计 .....                                | 4-103 |                                                 |       |
| 3.6.1 作图法 .....                                         | 4-103 |                                                 |       |



|                                            |       |                                      |       |
|--------------------------------------------|-------|--------------------------------------|-------|
| 平面矩形时的设计计算 .....                           | 4-139 | 2 凸轮-连杆组合机构 .....                    | 4-174 |
| 4.4 共轭(平行)分度凸轮机构 .....                     | 4-140 | 2.1 固定凸轮-连杆组合机构 .....                | 4-174 |
| 4.4.1 基本结构和工作原理 .....                      | 4-140 | 2.2 转动凸轮-连杆组合机构 .....                | 4-176 |
| 4.4.2 共轭分度凸轮机构的主要运动<br>参数和几何尺寸 .....       | 4-140 | 2.3 联动凸轮-连杆组合机构 .....                | 4-179 |
| 4.4.3 用作图法绘制凸轮的理论廓线<br>和工作廓线 .....         | 4-144 | 3 齿轮-连杆组合机构 .....                    | 4-179 |
| 4.4.4 共轭盘形分度凸轮机构凸轮<br>廓线的解析法计算 .....       | 4-145 | 3.1 行星轮系与Ⅱ级杆组的组合机构 .....             | 4-179 |
| 4.4.5 共轭(平行)凸轮分度箱 .....                    | 4-147 | 3.2 四杆机构与周转轮系的组合机构 .....             | 4-182 |
| 5 棘轮机构、槽轮机构、不完全齿轮机构<br>和针轮机构 .....         | 4-148 | 3.3 五杆机构与齿轮机构的组合机构 .....             | 4-187 |
| 5.1 棘轮机构 .....                             | 4-148 | 4 凸轮-齿轮组合机构 .....                    | 4-190 |
| 5.1.1 常用形式 .....                           | 4-148 | 4.1 输出件实现周期性变速运动的<br>凸轮-齿轮组合机构 ..... | 4-190 |
| 5.1.2 设计要点 .....                           | 4-149 | 4.2 实现轨迹要求的凸轮-齿轮组合机构 .....           | 4-192 |
| 5.2 槽轮机构 .....                             | 4-150 | 4.3 输出件实现周期性停歇的凸轮-齿<br>轮组合机构 .....   | 4-193 |
| 5.2.1 工作原理及形式 .....                        | 4-150 | 5 具有挠性件的组合机构 .....                   | 4-194 |
| 5.2.2 槽轮机构的几何尺寸和主要运动<br>参数的计算(均布径向槽) ..... | 4-152 | 5.1 同步带-连杆组合机构 .....                 | 4-194 |
| 5.2.3 槽轮机构的动力性能 .....                      | 4-155 | 5.2 差动式带、链-连杆组合机构 .....              | 4-194 |
| 5.3 不完全齿轮机构 .....                          | 4-156 | <b>第4章 机构参考图例</b> .....              | 4-196 |
| 5.3.1 基本形式与啮合特性 .....                      | 4-156 | 1 匀速转动机构 .....                       | 4-196 |
| 5.3.2 设计参数的计算 .....                        | 4-158 | 1.1 定传动比匀速转动机构 .....                 | 4-196 |
| 5.3.3 不完全齿轮机构的设计计算<br>公式及工作图 .....         | 4-161 | 1.2 有级变速机构 .....                     | 4-201 |
| 5.4 针轮机构 .....                             | 4-163 | 1.3 无级变速机构 .....                     | 4-203 |
| 5.4.1 针轮机构的主要类型和特点 .....                   | 4-163 | 2 非匀速转动机构 .....                      | 4-204 |
| 5.4.2 针轮机构的设计计算 .....                      | 4-164 | 3 往复运动机构 .....                       | 4-206 |
| 6 斜面机构与螺旋机构 .....                          | 4-165 | 4 急回机构 .....                         | 4-214 |
| 6.1 斜面机构的特性指标与计算公式 .....                   | 4-165 | 5 行程放大机构 .....                       | 4-216 |
| 6.2 螺旋机构 .....                             | 4-167 | 6 可调行程机构 .....                       | 4-218 |
| 6.2.1 螺旋机构的特性指标 .....                      | 4-168 | 7 间歇运动机构 .....                       | 4-221 |
| 6.2.2 螺旋机构传动型式 .....                       | 4-168 | 8 超越止动及单向机构 .....                    | 4-227 |
| 6.3 参数选择 .....                             | 4-169 | 9 换向机构 .....                         | 4-229 |
| 7 往复油(汽)缸机构的运动设计 .....                     | 4-169 | 10 差动补偿机构 .....                      | 4-232 |
| 7.1 参数计算 .....                             | 4-169 | 11 气、液驱动机构 .....                     | 4-235 |
| 7.2 参数选择 .....                             | 4-170 | 12 增力及夹持机构 .....                     | 4-239 |
| 7.3 运动设计 .....                             | 4-171 | 13 实现预期轨迹的机构 .....                   | 4-244 |
| <b>第3章 组合机构的分析与设计</b> .....                | 4-173 | 14 安全保险、制动装置 .....                   | 4-250 |
| 1 基本机构的主要组合型式 .....                        | 4-173 | 15 定位联锁机构 .....                      | 4-255 |
|                                            |       | 16 伸缩机构 .....                        | 4-257 |
|                                            |       | 17 振动机构 .....                        | 4-260 |
|                                            |       | <b>参考文献</b> .....                    | 4-264 |



## 第 1 章 机械结构设计概念 ..... 5-3

- 1 机械结构设计的内容、应满足的要求和基本条件 ..... 5-3
- 2 机械零件的自由度分析——满足运动要求的结构设计准则 ..... 5-4
  - 2.1 机械零件的自由度 ..... 5-4
  - 2.2 自由度分析在支承件设计中的应用 ..... 5-5
  - 2.3 自由度分析在连接件设计中的应用 ..... 5-6
  - 2.4 运用自由度方法设计有综合运动方式的组合结构 ..... 5-7
- 3 机械结构方案设计的技巧 ..... 5-9
  - 3.1 利用形态变换的方法制定结构方案 ..... 5-9
  - 3.2 由机械结构中的相互关系变换制定结构方案 ..... 5-10
  - 3.3 结构方案设计实例 ..... 5-11
- 4 结构方案的选择和评价 ..... 5-13
  - 4.1 评价的标准 ..... 5-13
  - 4.2 机械产品的技术经济评价 ..... 5-14
  - 4.3 改变功能原理设计新结构 ..... 5-16
  - 4.4 采用优化设计方法寻求最优方案 ..... 5-16

## 第 2 章 提高强度、刚度和延长疲劳寿命的设计准则 ..... 5-19

- 1 机械结构合理受力准则 ..... 5-19
- 2 提高静强度的结构设计准则 ..... 5-22
  - 2.1 增大截面系数  $W$  或  $W_k$  ..... 5-22
  - 2.2 采用空心轴提高强度或刚度 ..... 5-22
  - 2.3 用拉压代替弯曲 ..... 5-23
  - 2.4 避免悬臂梁伸出过长 ..... 5-24
  - 2.5 等强度设计准则 ..... 5-24
  - 2.6 弹性强化和塑性强化准则 ..... 5-25
- 3 提高疲劳强度的结构设计准则 ..... 5-25
  - 3.1 降低应力集中准则 ..... 5-26
  - 3.2 改善表面状况准则 ..... 5-29
  - 3.3 采用表面处理提高疲劳强度准则 ..... 5-30
  - 3.4 降低应力幅准则 ..... 5-30
- 4 提高接触强度的设计准则 ..... 5-31

- 4.1 加大接触部分的综合曲率半径 ..... 5-31
- 4.2 以面接触代替点线接触 ..... 5-31
- 4.3 合理采用材料和热处理 ..... 5-32
- 4.4 提高抗冲击强度的结构设计准则 ..... 5-33
- 5 提高刚度的结构设计准则 ..... 5-35
  - 5.1 选择弹性模量较高的材料 ..... 5-35
  - 5.2 用拉、压代替弯曲的准则 ..... 5-35
  - 5.3 合理布置支持准则 ..... 5-37
  - 5.4 合理确定肋的形状和尺寸 ..... 5-37
  - 5.5 用预变形提高刚度减小工作变形准则 ..... 5-38
  - 5.6 提高机械零件接触面的接触刚度准则 ..... 5-39

## 第 3 章 提高耐磨性的结构设计准则 ..... 5-40

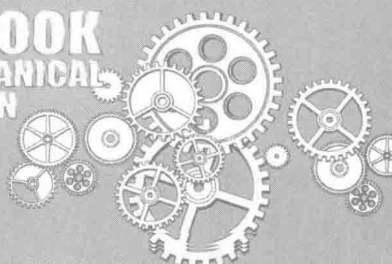
- 1 降低摩擦面压强准则 ..... 5-40
  - 1.1 降低摩擦面压强的途径 ..... 5-40
  - 1.2 避免局部剧烈磨损准则 ..... 5-40
  - 1.3 自动调节与补偿准则 ..... 5-41
- 2 局部更换易损零件准则 ..... 5-41
- 3 润滑设计降低磨损准则 ..... 5-42

## 第 4 章 提高抗腐蚀性的结构设计 ..... 5-43

- 1 常见的腐蚀分类 ..... 5-43
- 2 在腐蚀工作条件下材料的选用 ..... 5-43
  - 2.1 大气腐蚀 ..... 5-43
  - 2.2 淡水中的腐蚀率 ..... 5-44
  - 2.3 海水中的腐蚀率 ..... 5-44
- 3 提高抗腐蚀能力的机械结构 ..... 5-44
- 4 用覆盖保护层减轻或避免腐蚀 ..... 5-47

## 第 5 章 提高精度的结构设计准则 ..... 5-48

- 1 阿贝 (Abbe) 原则——被测尺寸与读数尺共线准则 ..... 5-48
- 2 误差补偿准则 ..... 5-49
- 3 传动机构误差传递准则 ..... 5-51
- 4 误差均化原理——采用多点接触提高精度准则 ..... 5-52





|                   |      |
|-------------------|------|
| 5 误差合理配制准则 .....  | 5-53 |
| 6 消除空回准则 .....    | 5-54 |
| 7 选择适当的材料准则 ..... | 5-55 |

## 第6章 符合人机工程学的设计 准则 .....

|                                                 |      |
|-------------------------------------------------|------|
| 1 基于人体形态学的设计准则 .....                            | 5-56 |
| 1.1 工作系统设计的人类工效学原则 .....                        | 5-56 |
| 1.2 我国人体尺寸 (GB/T 10000—1988) .....              | 5-56 |
| 1.2.1 我国各区人体尺寸数据特点 .....                        | 5-56 |
| 1.2.2 人体主要尺寸 .....                              | 5-56 |
| 1.3 在产品设计中应用人体尺寸百分位数的选择 (GB/T 12985—1991) ..... | 5-58 |
| 1.4 用于机械安全的人类工效学设计 .....                        | 5-59 |
| 1.4.1 全身进入机械的开口尺寸确定原则 .....                     | 5-59 |
| 1.4.2 人体局部进入机械的开口尺寸确定 .....                     | 5-60 |
| 1.5 人体尺寸 (摘自 GB/T 18717.3—2002) .....           | 5-62 |
| 1.5.1 工作空间人体尺寸 (GB/T 13567—1992) .....          | 5-63 |
| 1.5.2 坐姿人体尺寸 .....                              | 5-64 |
| 1.5.3 跪姿、俯卧姿、爬姿人体尺寸 .....                       | 5-65 |
| 1.5.4 使用人体尺寸数据注意事项 .....                        | 5-66 |
| 1.6 人体模板设计 .....                                | 5-66 |
| 1.6.1 二维坐姿人体模板功能设计要求 (GB/T 14779—1993) .....    | 5-66 |
| 1.6.2 四个身高等级的模板尺寸 .....                         | 5-68 |
| 2 工作岗位尺寸设计 (摘自 GB/T 14776—1991) .....           | 5-71 |
| 2.1 在生产区域内工作岗位尺寸的人类工效学设计原则及其数值 .....            | 5-71 |
| 2.2 术语和符号 .....                                 | 5-71 |
| 2.3 工作岗位尺寸 .....                                | 5-72 |
| 2.3.1 与作业无关的工作岗位尺寸 .....                        | 5-72 |
| 2.3.2 与作业有关的工作岗位尺寸 .....                        | 5-72 |
| 2.4 坐姿工作岗位和坐立交替工作                               |      |

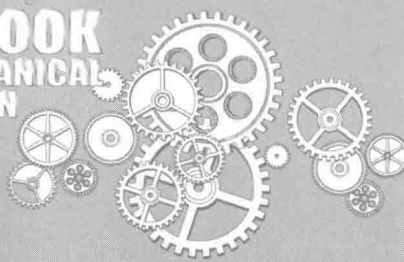
|                                          |      |
|------------------------------------------|------|
| 岗位尺寸设计举例 .....                           | 5-74 |
| 3 工作座椅工效学设计 (摘自 GB/T 14774—1993) .....   | 5-76 |
| 3.1 工作座椅的基本要求 .....                      | 5-76 |
| 3.2 工作座椅的主要参数 .....                      | 5-77 |
| 4 操纵器的工效学设计准则 (摘自 GB/T 14775—1993) ..... | 5-78 |
| 4.1 操纵器的操纵依托支点要求 .....                   | 5-82 |
| 4.2 体力搬运质量限值 (GB/T 12330—1990) .....     | 5-83 |
| 5 基于人体感觉器官要求的设计准则 .....                  | 5-83 |
| 5.1 满足视觉要求的设计准则 .....                    | 5-83 |
| 5.2 满足听觉要求的设计准则 .....                    | 5-85 |
| 5.3 满足触觉要求的设计准则 .....                    | 5-86 |
| 6 按美学造型要求的人机学设计准则 .....                  | 5-86 |

## 第7章 避免或减少对人损害的结构设计准则 .....

|                                                 |      |
|-------------------------------------------------|------|
| 1 机械结构设计的安全准则 .....                             | 5-88 |
| 1.1 人机隔离准则 .....                                | 5-88 |
| 1.2 避免人体各部位挤压的最小间距 (摘自 GB/T 12665.3—1997) ..... | 5-90 |
| 1.3 避免误操作造成伤害准则 .....                           | 5-91 |
| 1.4 安全标志与警告类标志 .....                            | 5-91 |
| 2 减小机械噪声的结构设计准则 .....                           | 5-92 |
| 2.1 噪声的限制值 .....                                | 5-92 |
| 2.2 减小噪声的设计准则 .....                             | 5-93 |
| 2.3 减小机械零件噪声的结构设计 .....                         | 5-94 |

## 第8章 绿色设计 .....

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| 1 绿色设计及产品绿色设计常用关键技术 .....       | 5-95  |
| 2 绿色设计的材料选择 .....               | 5-95  |
| 3 拆卸回收、快速方便、零件完好率高的产品绿色设计 ..... | 5-96  |
| 4 节能的绿色产品设计 .....               | 5-97  |
| 5 绿色设计举例 .....                  | 5-97  |
| 6 具有创新的两例 .....                 | 5-98  |
| 6.1 新型非零变位锥齿轮传动 .....           | 5-98  |
| 6.2 摆动活齿减速带轮 .....              | 5-100 |



机械设计手册

第六版

第 1 卷

HANDBOOK  
OF MECHANICAL  
DESIGN

# 第4篇 机构

主要撰稿  
阮忠唐 雷淑存 殷鸿樑 王德夫

审稿  
王德夫 成大先







# 第1章 机构分析的常用方法

## 1 机构的自由度分析

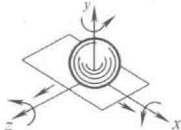
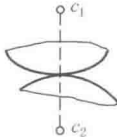
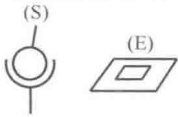
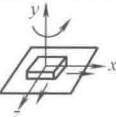
### 1.1 常用术语的概念

表 4-1-1

| 术 语   | 意 义                                                                                                                                                                                                                                          | 术 语   | 意 义                                                                        |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------|
| 零件    | 机器中的制造单元,如螺钉、键、轴等组成机构的各相对运动的单元                                                                                                                                                                                                               | 主动件   | 由外界给予的确定独立运动或力的构件。一般与机架相连,又称原动件、起始构件或输入构件                                  |
| 构件    | 两构件直接接触而又保持一定相对运动的连接。按所加的约束条件数的多少,可将运动副分为五级,见表 4-1-2                                                                                                                                                                                         | 从动件   | 机构中除机架和主动件以外的构件都叫从动件。其中直接输出运动或力的构件叫输出构件                                    |
| 运动副   | 点或线接触的运动副                                                                                                                                                                                                                                    | 机架    | 机构中用以支持运动构件的构件,通常把它看成是相对静止的,用作研究运动的参考坐标                                    |
| 高副    | 面接触的运动副                                                                                                                                                                                                                                      | 运动链   | 若干个构件通过运动副连接成可动的构件系统                                                       |
| 低副    | 低副所连接的两构件上瞬时接触(重合)点的相对运动轨迹相同,其相对运动特性是可逆的;而高副所连接的两构件的相对运动特性是不可逆的                                                                                                                                                                              | 闭环运动链 | 将构件以运动副相互连接而构成首尾封闭环路的可动构件系统,它可分为单环或多环闭链,闭链是组成一般机械的基础                       |
| 闭式运动副 | 用几何形状来保证接触的运动副                                                                                                                                                                                                                               | 开环运动链 | 构件以运动副相互连接而不构成首尾封闭环路的可动构件系统,它是组成机械手或工业机器人的基础                               |
| 开式运动副 | 依靠外力来保证接触的运动副                                                                                                                                                                                                                                | 机构    | 两个以上的构件以机架为基础,由运动副以一定方式连接形成的具有确定相对运动的构件系统。其运动特性取决于构件间的相对尺寸、运动副的性质以及其相互配置方式 |
| 约束    | 限制系统运动自由的条件                                                                                                                                                                                                                                  | 平面机构  | 各构件均在相互平行的平面内运动的机构                                                         |
| 自由度   | 描述或确定一个系统(构件也是一个简单系统)的运动(或状态,如位置)所必需的独立参变量(或坐标数)。例如一个不受任何约束的自由构件,在空间运动时,具有六个独立运动参数(自由度),即绕 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 轴的三个独立转动 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 、 $\theta_z$ 和沿这三个轴的独立移动 $S_x$ 、 $S_y$ 、 $S_z$ 。而在作平面运动时只具有三个独立运动参数,如 $S_x$ 、 $S_y$ 和 $\theta_z$ | 空间机构  | 各构件不在相互平行的平面内运动的机构                                                         |
|       |                                                                                                                                                                                                                                              | 机器    | 由一个或多个机构组成,用于执行机械运动,以变换和传递能量、物料或信息                                         |
|       |                                                                                                                                                                                                                                              | 机械    | 一般为机器和机构的统称                                                                |

表 4-1-2

运动副的分类

| 名 称     | 图 例                                                                                 | 简图符号                                                                                | 副级  | 代号                  | 约束条件                      | 自由度 |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|---------------------|---------------------------|-----|
| 开式空间运动副 |  |  | I   | $P_1$<br>( $S_h$ )  | $S_y$                     | 5   |
|         |  |  | II  | $P_2$<br>( $C_h$ )  | $S_y, \theta_x$           | 4   |
| 闭式空间运动副 |  |  | III | $P_3$<br>(S)<br>(E) | $S_x, S_z, S_y$           | 3   |
|         |  |                                                                                     |     |                     | $S_y, \theta_x, \theta_z$ |     |