

秦大同 谢里阳 主编

MODERN  
HANDBOOK  
MECHANICAL  
DESIGN

现代  
机械设计手册

单行本

# 连接件与紧固件



化学工业出版社

秦大同 谢里阳 主编

MODERN  
HANDBOOK  
OF MECHANICAL  
DESIGN

现代  
机械设计手册

单行本

# 连接件与紧固件



化学工业出版社

· 北 京 ·

《现代机械设计手册》单行本共 16 个分册,涵盖了机械常规设计的所有内容。各分册分别为:《机械制图及精度设计》、《零部件结构设计及禁忌》、《常用机械工程材料》、《连接件与紧固件》、《轴及其连接件设计》、《轴承》、《机架、导轨及机械振动设计》、《弹簧设计》、《机构设计》、《机械传动设计》、《润滑与密封设计》、《液力传动设计》、《液压传动与控制设计》、《气压传动与控制设计》、《机电系统设计》、《疲劳强度与可靠性设计》。

本书为《连接件与紧固件》,主要介绍了连接设计基础、螺纹连接、键和销连接、过盈连接、胀套及型面连接、焊铆粘连接、锚固连接等。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。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

连接件与紧固件/秦大同,谢里阳主编. —北京:  
化学工业出版社, 2013. 3  
(现代机械设计手册: 单行本)  
ISBN 978-7-122-16339-4

I. ①连… II. ①秦… ②谢… III. ①连接件-设计-  
技术手册 ②紧固件-设计-技术手册 IV. ①TH131-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 009485 号

---

责任编辑: 张兴辉 王 焱 贾 娜  
责任校对: 关雅君

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: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 21¼ 字数 652 千字 2013 年 3 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

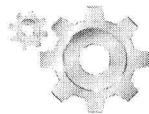
网 址: <http://www.cip.com.cn>

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: 38.00 元

版权所有 违者必究



## 《现代机械设计手册》单行本出版说明

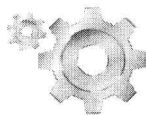
《现代机械设计手册》是化学工业出版社顺应现代机械设计时代发展要求而精心策划的大型出版项目，旨在将传统设计和现代设计有机结合，即结构设计、传动设计和控制设计有机融合，力求体现“内容权威、凸显现代、实用可靠、简明便查”的特色。

《现代机械设计手册》自2011年3月出版以来，赢得了广大机械设计工作者的青睐和好评，荣获2011年全国优秀畅销书和2012年中国机械工业科学技术奖。广大读者在给予《现代机械设计手册》充分肯定的同时，也指出了《现代机械设计手册》装帧厚重，不便携带和翻阅。为了给读者提供篇幅较小、便携便查、定价低廉、针对性更强的实用性工具书，根据读者的反映和建议，我们在深入调研的基础上，推出《现代机械设计手册》单行本。

单行本保留了《现代机械设计手册》的优势和特色，结合机械设计人员工作细分的实际状况，从设计工作的实际出发，将原来的6卷33篇进行合并、删减，重新整合为16个分册，分别为：《机械制图及精度设计》、《零部件结构设计及禁忌》、《常用机械工程材料》、《连接件与紧固件》、《轴及其连接件设计》、《轴承》、《机架、导轨及机械振动设计》、《弹簧设计》、《机构设计》、《机械传动设计》、《润滑与密封设计》、《液力传动设计》、《液压传动与控制设计》、《气压传动与控制设计》、《机电系统设计》、《疲劳强度与可靠性设计》。

《现代机械设计手册》单行本，是为了适应机械设计行业发展和广大读者的需要而编辑出版的，将与《现代机械设计手册》（6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。

化学工业出版社



## FORWORD

## 前言

振兴装备制造业是中国由机械制造大国走向机械制造强国的必由之路。近年来,在国家大力发展装备制造业的政策号召和驱使下,我国的机械工业获得了巨大的发展,自主创新的能力不断加强,一批高技术、高性能、高精尖的现代化装备不断涌现,各种新材料、新工艺、新结构、新产品、新方法、新技术不断产生、发展并投入实际应用,大大提升了我国机械设计与制造的技术水平和国际竞争力。

但是,总体来看,我国的装备制造业仍处于较低的水平,距离世界发达国家还有很大的差距。机械设计是装备制造的龙头,是装备制造过程中的核心环节,因此全面提升我国机械设计人员的设计能力和技术水平非常关键。近年来,各种先进技术在机械行业的应用和发展,正在使机械设计的传统内涵发生巨大变化,这就给广大机械设计人员提出了更高的要求:一方面,当前先进的、现代化的机械装备都是机、电、液、光等技术的有机结合体,尤其是控制技术、信息技术、网络技术的发展和运用,使得设备越来越智能化、现代化,这已经成为现代机械设计的发展方向 and 趋势,如何实现这些技术的有机融合将至关重要;另一方面,各种现代的机械设计方法,已经突破前些年的理论研究阶段,正逐步应用于设计、生产实际,越来越发挥其重要的作用;还有,随着计算机硬件性能和软件水平的持续提高,计算机技术已全面深入地渗透到机械领域,各种设计技术、计算技术、设计工具在机械设计与制造中的广泛应用,使得设计人员的创造性思维得到前所未有的解放,设计手段极大丰富。

伴随着这些变化,传统的机械设计资料、机械设计工具书已逐渐呈现出诸多不足,不能完全满足新时期机械设计人员的实际工作需要。针对这种情况,化学工业出版社顺应时代发展的要求,在对高等院校、科研院所、制造企业的科研工作者和机械设计人员进行广泛调研的基础上,邀请众多国内机械设计界的知名专家合力编写了一套全新的、符合现代机械设计潮流的大型工具书——《现代机械设计手册》,这是一项与时俱进、有重大意义的创新工程,对推动我国机械设计技术的发展将发挥重要的作用。因其在机械设计领域重要的科学价值、实用价值和现实意义,《现代机械设计手册》荣获2009年国家出版基金资助。

化学工业出版社在机械设计大型工具书的出版方面历史悠久、经验丰富,深得广大机械设计人员和工程技术人员信赖。为了扎实、高效地进行《现代机械设计手册》编写和出版工作,化学工业出版社组织召开了多次编写和审稿工作会议,充分考虑读者在手册使用上的特点和需求,确定了手册的整体构架、篇目设置、编写原则和风格,针对编写大纲进行了充分细致的研讨,对书稿内容的编、审工作进行了细致周密的安排,确保了整部手册的内容质量和工作进度。

《现代机械设计手册》的定位不同于一般技术手册,更不同于一般学习型的技术图书,



它是一部合理收集取舍、科学编排通用机械设计常用资料，符合现代机械设计潮流的综合性手册。具体来说，有以下六大特色。

### 1. 权威性 ★★★★★

《现代机械设计手册》阵容强大，编、审人员大都来自于设计、生产、教学和科研第一线，具有深厚的理论功底、丰富的设计实践经验。他们中很多人都是所属领域的知名专家，在业内有广泛的影响力和知名度，获得过多项科技进步奖、发明奖和技术专利，承担了许多机械领域国家重要的科研和攻关项目。这支专业、权威的编审队伍确保了手册准确、实用的内容质量。

### 2. 现代感 ★★★★★

追求现代感，体现现代机械设计气氛，满足时代的要求，是《现代机械设计手册》的基本宗旨。“现代”二字主要体现在：新标准、新技术、新结构、新工艺、新产品、现代的设计理念、现代的设计方法和现代的设计手段等几个方面。在体现现代元素的同时，也不是一味求新，而是收录目前已经普遍得到大家公认的、成熟的、实用的技术、方法、结构和产品。《现代机械设计手册》注意传统设计与现代设计的融合，注重机、电设计的有机结合，注重实用性的同时兼顾最新的研究应用成果。

在新技术方面，许多零部件的设计内容都兼顾了当前高新技术装备的设计，例如第13篇“带、链传动”介绍了金属带等新型的传动方式，第14篇“齿轮传动”收录了新型锥齿轮、塑料齿轮的设计和应用，第8篇“滑动轴承”收录了气体润滑轴承、箔片轴承、电磁轴承等新型轴承的设计和应用，第4篇“机械工程材料”收录了复合材料等目前已广泛应用的一些新型工程材料。

在现代设计手段的应用方面，例如机械零部件设计部分，注重现代设计方法（例如有限元分析、可靠性设计等）在机械零部件设计中的应用，并给出了相应的设计实例；第11篇“机构”篇中，平面机构的运动分析通过计算机编程来实现，并提供了相应的程序代码，大大提高了分析的准确性和设计效率；在产品的设计和选择方面，推荐了应用广泛的、节能的、可靠的产品。

在贯彻新标准方面，收录并合理编排了目前最新颁布的国家和行业标准。

### 3. 实用性 ★★★★★

即选编机械设计人员实际需要的内容。手册内容的选定、深度的把握、资料的取舍和章节的编排，都坚持从设计和生产的实际需要出发。例如第5卷机电控制设计中，完全站在机械设计人员的角度来写——注重产品如何选用，摒弃了控制的基本原理，突出机电系



统设计,控制元器件、传感器、电动机部分注重介绍主流产品的技术参数、性能、应用场合、选用原则,并给出了相应的设计选用实例;第6卷现代机械设计方法中摒弃或简化了繁琐的数学推导,突出了最终的计算结果,结合具体的算例将设计方法通俗地呈现出来,便于读者理解和掌握。

为方便广大读者的使用和查阅,手册在具体内容的表述上,采用以图表为主的编写风格。这样既增加了手册的信息容量,更重要的是方便了读者的使用和查阅,有利于提高设计人员的工作效率和设计速度。

#### 4. 通用性 ★★★★★

本手册以通用的机械零部件和控制元器件设计、选用内容为主,不包括具体的专业机械设计的内容。主要包括机械设计基础资料、机械通用零部件设计、机械传动系统设计、液力液压和气压传动系统设计与控制、机构设计、机架设计、机械振动设计、光机电一体化系统设计以及控制设计等,能够满足各类机械设计人员的工作需求。

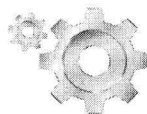
#### 5. 准确性 ★★★★★

本手册尽量采用原始资料,公式、图表、数据准确,方法、工艺、技术成熟。所有产品、材料和工艺方面的标准均采用最新公布的标准资料,对于标准规范的编写,手册没有简单地照抄照搬,而是采取选用、摘录、合理编排的方式,强调其科学性和准确性,尽量避免差错和谬误。所有设计方法、计算公式、参数选用均经过长期检验,设计实例、各种算例均来自工程实际。手册中收录通用性强的、标准化程度高的产品,供设计人员在了解企业实际生产品种、规格尺寸、技术参数,以及产品质量和用户的实际反映后选用。

#### 6. 全面性 ★★★★★

本手册一方面根据机械设计人员的需要,按照“基本、常用、重要、发展”的原则选取内容;另一方面兼顾了制造企业和大型设计院两大群体的设计特点,即制造企业侧重基础性的设计内容,而大型的设计院、工程公司侧重于产品的选用。本手册强调产品设计与工艺技术的紧密结合,倡导结构设计与造型设计的有机统一,重视工艺技术与选用材料的合理搭配,使产品设计更加全面和可行。

三年多来,经过广大编审人员和出版社的不懈努力,《现代机械设计手册》将以崭新的风貌和鲜明的时代气息展现在广大机械设计工作者面前。值此出版之际,谨向所有给过我们大力支持的单位和各界朋友们表示衷心的感谢!



# CONTENTS 目录



## 连接件与紧固件

### 第 1 章 连接设计基础

|                 |   |
|-----------------|---|
| 1.1 连接的类型和选择    | 3 |
| 1.1.1 连接的分类     | 3 |
| 1.1.2 连接的选择     | 3 |
| 1.2 连接设计应考虑的问题  | 3 |
| 1.2.1 被连接件接合面设计 | 3 |
| 1.2.2 受载均匀化设计   | 3 |
| 1.2.3 减小紧固件所受载荷 | 4 |
| 1.2.4 强度和刚度计算   | 4 |
| 1.2.5 其他方面问题    | 4 |
| 1.3 紧固件的标准和检验   | 4 |
| 1.3.1 紧固件的有关标准  | 4 |
| 1.3.2 紧固件的检验项目  | 4 |

### 第 2 章 螺纹连接

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| 2.1 螺纹                                  | 6   |
| 2.1.1 螺纹的类型、特点和应用                       | 6   |
| 2.1.2 螺纹术语及其定义                          | 8   |
| 2.1.3 螺纹标准                              | 14  |
| 2.1.4 普通螺纹                              | 15  |
| 2.1.4.1 普通螺纹牙型与基本尺寸                     | 15  |
| 2.1.4.2 普通螺纹公差                          | 20  |
| 2.1.5 梯形螺纹                              | 25  |
| 2.1.5.1 梯形螺纹牙型与基本尺寸                     | 25  |
| 2.1.5.2 梯形螺纹的公差                         | 27  |
| 2.1.6 锯齿形螺纹                             | 32  |
| 2.1.6.1 锯齿形螺纹牙型与基本尺寸                    | 32  |
| 2.1.6.2 锯齿形螺纹公差                         | 34  |
| 2.1.7 55°非螺纹密封的管螺纹                      | 38  |
| 2.1.8 55°密封管螺纹                          | 40  |
| 2.1.9 60°密封管螺纹                          | 42  |
| 2.1.10 米制锥螺纹                            | 44  |
| 2.1.11 矩形螺纹                             | 46  |
| 2.2 螺纹连接的标准元件                           | 46  |
| 2.2.1 紧固件的标记方法                          | 46  |
| 2.2.2 螺栓                                | 47  |
| 2.2.3 螺母                                | 71  |
| 2.2.4 螺钉                                | 89  |
| 2.2.5 垫圈和挡圈                             | 121 |
| 2.3 螺纹零件的结构要素                           | 141 |
| 2.3.1 外螺纹零件的末端                          | 141 |
| 2.3.2 普通螺纹收尾、肩距、退刀槽、倒角                  | 143 |
| 2.3.3 螺钉拧入深度、攻螺纹深度和钻孔深度                 | 145 |
| 2.3.4 螺塞与连接螺孔尺寸                         | 146 |
| 2.3.5 地脚螺栓孔和凸缘                          | 147 |
| 2.3.6 孔沿圆周的配置                           | 147 |
| 2.3.7 通孔与沉孔尺寸                           | 148 |
| 2.3.8 普通螺纹的内、外螺纹余留长度、钻孔余留深度、螺柱突出螺母的末端长度 | 150 |
| 2.3.9 扳手空间                              | 151 |
| 2.3.10 对边和对角宽度尺寸                        | 152 |
| 2.4 螺纹紧固件的性能等级和常用材料                     | 153 |
| 2.4.1 螺栓、螺钉和螺柱的性能等级、材料和热处理              | 153 |

|         |                  |     |
|---------|------------------|-----|
| 2.4.2   | 螺纹紧固件的应力截面积      | 155 |
| 2.4.3   | 最小拉力载荷和保证载荷      | 156 |
| 2.4.4   | 螺母的性能等级          | 158 |
| 2.4.5   | 有效力矩型钢六角锁紧螺母     | 162 |
| 2.4.6   | 不锈钢螺栓、螺钉、螺柱和螺母   | 164 |
| 2.4.7   | 紧定螺钉             | 165 |
| 2.4.8   | 自攻螺钉、自挤螺钉和自钻自攻螺钉 | 166 |
| 2.4.9   | 耐热用螺纹连接副         | 167 |
| 2.4.10  | 有色金属螺纹连接件        | 168 |
| 2.5     | 螺纹连接的结构设计        | 169 |
| 2.5.1   | 螺纹连接的类型和选择       | 169 |
| 2.5.2   | 螺栓组的结构设计         | 171 |
| 2.5.3   | 螺纹连接的预紧          | 171 |
| 2.5.4   | 螺纹连接的防松          | 173 |
| 2.6     | 螺纹连接的强度计算        | 176 |
| 2.6.1   | 螺栓组的受力分析         | 176 |
| 2.6.2   | 螺栓连接的强度计算        | 178 |
| 2.6.2.1 | 不预紧螺栓连接、预紧螺栓连接   | 178 |
| 2.6.2.2 | 受偏心载荷的预紧螺栓连接     | 180 |
| 2.6.2.3 | 高温螺栓连接           | 180 |
| 2.6.2.4 | 低温螺栓连接           | 181 |
| 2.6.2.5 | 钢结构用高强度螺栓连接      | 181 |
| 2.7     | 螺纹连接设计示例         | 181 |

## 第 3 章 键、花键和销连接

|         |                     |     |
|---------|---------------------|-----|
| 3.1     | 键连接                 | 183 |
| 3.1.1   | 键和键连接的类型、特点和应用      | 183 |
| 3.1.2   | 键的选择和键连接的强度校核计算     | 183 |
| 3.1.3   | 键连接的尺寸系列、公差配合和表面粗糙度 | 185 |
| 3.1.3.1 | 平键                  | 185 |
| 3.1.3.2 | 半圆键                 | 188 |
| 3.1.3.3 | 楔键                  | 189 |
| 3.1.3.4 | 切向键                 | 192 |
| 3.1.3.5 | 键和键槽的形位公差、配合及尺寸标注   | 194 |

|         |                 |     |
|---------|-----------------|-----|
| 3.1.4   | 键连接设计示例         | 194 |
| 3.2     | 花键连接            | 195 |
| 3.2.1   | 花键连接的类型、特点和应用   | 195 |
| 3.2.2   | 花键连接的强度计算       | 196 |
| 3.2.2.1 | 简单计算方法          | 196 |
| 3.2.2.2 | 花键承载能力计算的精确算法   | 197 |
| 3.2.3   | 矩形花键连接          | 202 |
| 3.2.3.1 | 矩形花键基本尺寸系列      | 202 |
| 3.2.3.2 | 矩形花键的公差、配合      | 203 |
| 3.2.3.3 | 矩形花键的标记与尺寸标注    | 204 |
| 3.2.4   | 圆柱直齿渐开线花键连接     | 204 |
| 3.2.4.1 | 渐开线花键的术语与代号     | 204 |
| 3.2.4.2 | 渐开线花键的基本齿廓      | 206 |
| 3.2.4.3 | 渐开线花键的基本参数和尺寸计算 | 208 |
| 3.2.4.4 | 渐开线花键的尺寸系列      | 210 |
| 3.2.4.5 | 渐开线花键公差与配合      | 215 |
| 3.2.4.6 | 渐开线花键参数标注与标记    | 220 |
| 3.2.5   | 花键连接设计示例        | 222 |
| 3.3     | 销连接             | 223 |
| 3.3.1   | 销的类型、特点和应用      | 223 |
| 3.3.2   | 销的选择和销连接的强度计算   | 223 |
| 3.3.3   | 销的标准件           | 226 |
| 3.3.3.1 | 圆柱销             | 226 |
| 3.3.3.2 | 圆锥销             | 230 |
| 3.3.3.3 | 开口销和轴销          | 232 |
| 3.3.4   | 销连接设计示例         | 233 |

## 第 4 章 过盈连接

|       |                 |     |
|-------|-----------------|-----|
| 4.1   | 过盈连接的类型、特点和应用   | 235 |
| 4.2   | 圆柱面过盈连接设计计算     | 236 |
| 4.2.1 | 计算方法            | 236 |
| 4.2.2 | 设计计算示例          | 241 |
| 4.3   | 圆锥过盈配合的计算和选用    | 243 |
| 4.3.1 | 圆锥过盈连接的型式、特点及应用 | 243 |

|         |                           |     |
|---------|---------------------------|-----|
| 4.3.2   | 圆锥过盈连接的计算和选用 .....        | 243 |
| 4.3.2.1 | 计算基础与假定条件 .....           | 243 |
| 4.3.2.2 | 计算要点与公式 .....             | 243 |
| 4.3.3   | 油压装拆圆锥过盈连接的参数<br>选择 ..... | 246 |
| 4.3.4   | 过盈设计示例 .....              | 246 |
| 4.4     | 过盈连接的结构设计 .....           | 249 |
| 4.4.1   | 圆柱面过盈连接的合理结构 .....        | 249 |
| 4.4.2   | 圆锥面过盈连接的结构和要求 .....       | 250 |

## 第 5 章 胀套及型面连接

|         |                      |     |
|---------|----------------------|-----|
| 5.1     | 胀套连接 .....           | 251 |
| 5.1.1   | 胀套连接的特点和应用 .....     | 251 |
| 5.1.2   | 胀套连接的类型 .....        | 251 |
| 5.1.3   | 胀套连接的选用和设计 .....     | 258 |
| 5.1.3.1 | 胀套连接类型的选择 .....      | 258 |
| 5.1.3.2 | 胀套型号选择 .....         | 258 |
| 5.1.3.3 | 结合面的公差与表面粗糙度 .....   | 258 |
| 5.1.3.4 | 被连接的轴与轮毂尺寸 .....     | 259 |
| 5.1.4   | 胀套连接安装和拆卸的一般要求 ..... | 260 |
| 5.2     | 型面连接 .....           | 260 |
| 5.2.1   | 型面连接的结构、特点和应用 .....  | 260 |
| 5.2.2   | 型面连接的廓形和尺寸 .....     | 260 |
| 5.2.3   | 强度计算 .....           | 261 |
| 5.3     | 星盘连接 .....           | 262 |
| 5.3.1   | 星盘连接的结构、特点和应用 .....  | 262 |
| 5.3.2   | 星盘连接的设计 .....        | 262 |

## 第 6 章 焊、铆、粘连接

|         |                                   |     |
|---------|-----------------------------------|-----|
| 6.1     | 焊接 .....                          | 264 |
| 6.1.1   | 焊接结构的特点和应用 .....                  | 264 |
| 6.1.2   | 焊接方法和焊接材料 .....                   | 264 |
| 6.1.3   | 焊接接头 .....                        | 270 |
| 6.1.4   | 电弧焊接头的坡口选择和点焊、缝焊<br>接头尺寸推荐值 ..... | 270 |
| 6.1.5   | 焊接接头的静载强度计算 .....                 | 272 |
| 6.1.5.1 | 许用应力设计法 .....                     | 272 |
| 6.1.5.2 | 可靠性设计方法 .....                     | 277 |

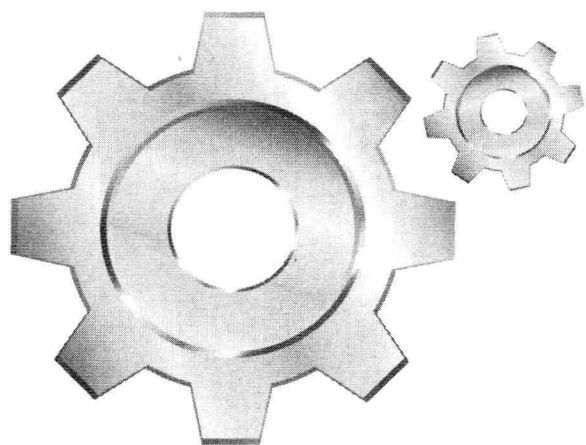
|         |                           |     |
|---------|---------------------------|-----|
| 6.1.6   | 焊接接头的疲劳强度计算 .....         | 277 |
| 6.1.6.1 | 许用应力计算法 .....             | 277 |
| 6.1.6.2 | 应力折减系数法 .....             | 279 |
| 6.1.6.3 | 结构构造细节分析法 .....           | 281 |
| 6.1.7   | 焊接件的工艺及设计注意要点 .....       | 283 |
| 6.1.8   | 焊接设计示例 .....              | 283 |
| 6.2     | 铆钉连接 .....                | 284 |
| 6.2.1   | 铆接的类型、特点与应用 .....         | 284 |
| 6.2.2   | 铆缝的设计 .....               | 284 |
| 6.2.2.1 | 铆缝的形式 .....               | 284 |
| 6.2.2.2 | 钢结构铆缝的结构参数 .....          | 284 |
| 6.2.2.3 | 铆钉连接的强度计算 .....           | 286 |
| 6.2.2.4 | 铆钉材料和连接的许用应力 .....        | 286 |
| 6.2.3   | 铆接结构设计中应注意的几个<br>问题 ..... | 287 |
| 6.2.4   | 铆钉 .....                  | 287 |
| 6.2.5   | 铆接设计要点 .....              | 300 |
| 6.3     | 粘接 .....                  | 301 |
| 6.3.1   | 粘接的特点和应用 .....            | 301 |
| 6.3.2   | 胶黏剂的选择 .....              | 302 |
| 6.3.2.1 | 胶黏剂的分类 .....              | 302 |
| 6.3.2.2 | 胶黏剂选择原则和常用<br>胶黏剂 .....   | 302 |
| 6.3.3   | 粘接接头设计 .....              | 305 |
| 6.3.3.1 | 粘接接头设计原则 .....            | 305 |
| 6.3.3.2 | 常用粘接接头形式及其改进<br>结构 .....  | 305 |
| 6.3.3.3 | 接头结构强化措施 .....            | 306 |
| 6.3.4   | 粘接工艺与步骤 .....             | 308 |
| 6.3.4.1 | 表面处理 .....                | 308 |
| 6.3.4.2 | 胶液配制和涂敷 .....             | 309 |
| 6.3.4.3 | 晾置与固化 .....               | 309 |

## 第 7 章 锚固连接

|     |                     |     |
|-----|---------------------|-----|
| 7.1 | 锚固连接的特点与作用原理 .....  | 311 |
| 7.2 | 锚固连接及锚栓的分类 .....    | 311 |
| 7.3 | 锚栓的安装 .....         | 315 |
| 7.4 | 锚固连接设计 .....        | 316 |
| 7.5 | 锚栓的规格、材料及安装尺寸 ..... | 317 |

# 连接件与紧固件

主 编 王三民  
撰 稿 王三民 袁 茹 谷文韬 李洲洋 宁方立  
审 稿 沈允文





# 第1章 连接设计基础

机械是由零件组成的。为了满足功能、结构、制造、装配、维修和运输等方面的要求,组成机械的各零件是通过各种制约关系组合在一起的。各零件之间的这种制约关系称为连接。机械连接按其运动关系可分为动连接和静连接。被连接的零件之间有相对运动的连接称为动连接,又称为运动副,如铰链、齿轮副、凸轮副等。在机器工作时,被连接的零件之间不允许产生相对运动的连接称为静连接,如螺纹连接、过盈配合连接、粘接等。本篇中的连接均指静连接。

在机器中起连接作用的零件称连接件或紧固件。常用的连接件有螺纹紧固件、键和销等。由于这些零件用量较大,为了加速设计工作和便于专业化生产,降低成本,我国对这些零件的结构、形式、尺寸作了统一规定,制定了国家标准。因此,这类零件也称为标准件。根据标准件的代号和标记,可以从相应的国家标准中查出各部分形状和全部尺寸。在连接设计过程中,其主要工作就是确定连接的类型,并依据连接类型和被连接件尺寸等,合理地选择连接件和紧固件的类型与尺寸。

## 1.1 连接的类型和选择

### 1.1.1 连接的分类

根据连接的工作原理分为:形锁合连接、摩擦锁合连接和材料锁合连接。形锁合连接是通过被连接件或附加固定件的形状互相嵌合,使其产生连接作用,如铰制孔用螺栓连接、平键连接、型面连接等。摩擦锁合连接是靠被连接件相互压紧,在接触面间产生摩擦力,阻止被连接件相对移动,以达到连接的目的,如受横向载荷的紧螺栓连接、楔键连接、过盈配合连接等。材料锁合连接是通过在被连接件间涂敷附加材料,靠其分子间的分子力将零件连接在一起,如粘接、焊接等。

根据连接的可拆性分为:可拆连接和不可拆连接。可拆连接可以经多次拆装,拆装时不损伤连接中的任何零件,且其工作能力不遭破坏,如螺纹连接、键连接、花键连接以及销连接等。不可拆连接若需拆开,至少会损坏连接中的一个零件,如焊接、粘接、铆钉连接等。

另外,还有一种可以做成可拆或不可拆的过盈配

合连接,在机器中也常使用。

根据采用的连接件与紧固件不同,连接分为:螺纹连接、键连接、销连接、铆钉连接等。

### 1.1.2 连接的选择

连接类型的选择是以使用要求、经济要求以及被连接件的尺寸等为依据的。一般地说,采用不可拆连接多系由于制造及经济上的原因;采用可拆连接多系由于结构、安装、运输、维修上的原因。不可拆连接的制造成本通常较可拆连接低廉。

在具体选择连接的类型时,还须考虑到连接的加工条件和被连接零件的材料、形状及尺寸等因素。例如:板件与板件的连接,多选用螺纹连接、焊接、铆接或胶接;杆件与杆件的连接,多选用螺纹连接或焊接;轴与轮毂的连接则常选用键、花键连接或过盈连接等。有时亦可综合使用两种连接,例如胶-焊连接、胶-铆连接以及键与过盈配合同时使用的连接等。轴与轴的连接则采用联轴器或离合器,这将在其他篇中讨论。

## 1.2 连接设计应考虑的问题

连接类型确定之后,连接设计应考虑的问题有:被连接件接合面形状、连接件或紧固件的类型、布置形式、尺寸等,以及连接的承载能力、工作环境、制造工艺、装配工艺等。

### 1.2.1 被连接件接合面设计

为使两零件可靠地连接起来,它们的接合面必须紧密贴合,因此两零件的接合面形状应简单,容易得到高精度和紧密的配合,有合理的形状和足够大的尺寸。最常见的接合面是平面(如箱体与箱盖之间的连接)或圆柱面(如齿轮与轴)。连接接合面的几何形状通常都设计成轴对称的简单几何形状,如圆形、环形、矩形、框形、三角形等。这样不但便于加工制造,而且便于对称布置紧固件,并使紧固件分布位置的对称中心和连接接合面的几何形心重合,从而保证连接接合面受力比较均匀。

### 1.2.2 受载均匀化设计

在连接结构中,紧固件的数量通常比较多,在连

接设计时，应尽可能保证这些紧固件受力均匀。因此，在设计中应限制在受力方向的紧固件数目或焊缝长度，并要求接头材料有较大的塑性，使受载得以均匀化。另外，由于变形不协调或结构不连续等，导致紧固件中的应力分布不均，即存在应力集中，如螺钉、铆钉连接在零件上钻孔，键连接在轴上加工键槽，不但减小了被连接件的承载面积，而且引起应力集中。为减轻这些应力集中，应选用应力集中较小的连接方式，如焊，粘、弹性环连接，并采用减小应力集中的结构，如减载槽等。为了避免螺栓承受附加的弯曲载荷，除了要在结构上设法保证载荷不偏心外，还应在工艺上保证被连接件、螺母和螺栓头部的支承面平整，并与螺栓轴线相垂直。在铸、锻件等的粗糙表面上安装螺栓时，应制成凸台或沉头座。当支承面为倾斜表面时，应采用斜垫圈等。

1.2.3 减小紧固件所受载荷

当螺栓连接承受弯矩或转矩时，应使螺栓的位置适当靠近连接接合面的边缘，以减小螺栓的受力。如果同时承受轴向载荷和较大的横向载荷，应采用销、套筒、键等抗剪零件来承受横向载荷，以减小螺栓的预紧力及其结构尺寸。在冲击或变载荷条件下工作的汽缸或油缸螺栓，可采用长螺栓结构，从而降低螺栓的刚度，使工作时所受的总载荷减小。对点焊来说，应尽量使连接承受剪切载荷，避免使点焊受拉力。

1.2.4 强度和刚度计算

对于重要连接，如发动机汽缸盖与缸体连接、压力容器壳体间的连接、飞机机翼与机身的连接等，都需要根据连接的种类、工况以及载荷性质等对连接进行必要的强度校核，做到既满足连接的工作要求，又保证应力最大的连接件满足强度要求。此外，在可能

的条件下，还应使连接的强度等于或接近于被连接件的强度，以及所有连接件接近于等强度，以便充分发挥被连接件和连接件的承载能力。另外，当变形会影响连接质量时，如精密卡具的连接、高压密封腔的连接等，需要进行刚度校核，并应尽量减小或消除连接产生的变形。如焊接常引起较大的变形，设计和施工中应尽量设法避免。精密机械应对连接引起的变形进行消除。除保证连接的强度和刚度以外，还应该注意避免其他的失效，如防止连接的松动、粘接剂老化、不同金属连接腐蚀等。

1.2.5 其他方面问题

考虑加工、装配、拆卸、修理方便，紧固件应采用标准件，同一台机器上紧固件的规格应尽量减少，要保证拆装所需的操作空间等；还应考虑施工、材料等对环境的影响，如铆接时产生噪声，粘接材料有的对人有不利影响等。必要时把几种连接方式结合使用，能达到更好的效果，如键-过盈配合、点焊-粘接、铆焊等。

1.3 紧固件的标准和检验

1.3.1 紧固件的有关标准

紧固件的标准是在机械工业的六项基础标准上制定的，以此为基础制定了紧固件基础标准，每个紧固件的产品标准必须符合这两类基础标准（表 1-1）。

1.3.2 紧固件的检验项目

表 1-2 列出根据国家标准规定的紧固件力学性能归纳得到的资料，其具体检验方法详见有关标准。

表 1-1 紧固件的有关标准

| 标准分类     | 标准名称                               |
|----------|------------------------------------|
| 机械工业基础标准 | 极限与配合、形状与位置公差、表面粗糙度、机械制图、普通螺纹、键与花键 |
| 紧固件基础标准  | 名词术语、标记方法、标注及公差、结构要素、通用技术条件、验收条件   |
| 产品标准     | 各种螺栓、螺母、自攻螺钉、木螺钉、垫圈、销钉、铆钉等         |

表 1-2 紧固件检验项目说明

| 序号 | 名称     | 目的                 | 主要内容                  | 适用零件                 |
|----|--------|--------------------|-----------------------|----------------------|
| 1  | 抗拉强度试验 | 确定紧固件本身的抗拉强度       | 对机加工试件或实物进行拉力试验       | 螺栓、螺钉、螺母、紧定螺钉、高抗剪铆钉等 |
| 2  | 硬度试验   | 检查紧固件的机械性质、全脱碳层深度等 | 布氏、洛氏、维氏、显微硬度检查       | 螺栓、螺钉、紧定螺钉、剪铆钉等      |
| 3  | 抗剪强度试验 | 确定紧固件抗剪强度          | 将紧固件放在夹具的半圆孔内，进行双剪切试验 | 螺钉、铆钉等               |

续表

| 序号 | 名 称         | 目 的                            | 主 要 内 容                                                  | 适 用 零 件         |
|----|-------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------|
| 4  | 板夹紧力试验      | 确定抽心铆钉等紧固件产生在被连接件上的压紧力         | 将两板连接起来以后,加横向拉力                                          | 铆钉、螺钉           |
| 5  | 芯杆固紧力试验     | 确定抽心铆钉与被连接件的固紧力                | 在专用夹具上试验                                                 | 拉丝抽心铆钉          |
| 6  | 锁紧性能试验      | 确定螺母的自锁能力                      | 安装时测锁紧力矩,作多周期加力试验,拧下螺母测松脱力矩                              | 各种螺母、螺钉、锁紧装置等   |
| 7  | 密封试验        | 检验紧固件防液、气介质泄漏性能                | 用典型压力容器,装入各种紧固件进行测量                                      | 螺钉、螺栓、螺母等       |
| 8  | 振动试验        | 鉴定各种紧固件系统在加速振动下的防松或抗振能力        | 将紧固件固定在夹具上,使之产生一定的夹紧力,在振动台上进行纵向或横向振动试验                   | 螺栓、各种螺钉、铆钉等     |
| 9  | 扳手特性试验      | 鉴定螺母能重复经受拧紧和拧出力矩转动而不产生永久变形的能力  | 反复拧紧拧松紧固件至一定拧紧力矩达到产品技术条件规定的次数                            | 螺栓、各种螺钉、螺母、锁紧装置 |
| 10 | 旋转槽转矩试验     | 鉴定转矩槽承受转矩的能力                   | 反复扭紧螺钉,测试槽寿命                                             | 有槽紧固件           |
| 11 | 紧固件杆部膨胀特性试验 | 检查可变形实心铆钉和抽心铆钉杆部膨胀特性           | 在夹具上装紧铆钉,测量钉杆直径变化                                        | 铆钉              |
| 12 | 自锁螺母永久变形试验  | 鉴定自锁螺母的自锁能力                    | 将试样装到芯棒上,测量其扭紧力矩                                         | 自锁螺母            |
| 13 | 应力松弛试验      | 试验紧固件的应力松弛                     | 在应力松弛试验机上,保持受载试样初始长度,加热可达 1260℃,求一定时间后预载的减小值             | 在高温下工作的紧固件      |
| 14 | 应力持久性试验     | 试验不受结构和尺寸限制的各种紧固件可能产生的脆变       | 在试件上加稳定的静载荷                                              | 多用于高强度钢制造的紧固件   |
| 15 | 应力腐蚀试验      | 确定紧固件在应力腐蚀条件下对应力腐蚀开裂的相对敏感性     | 在 3.5%NaCl 溶液中,加载达技术条件规定的最小破坏拉力的 75%。每小时浸入 10min,观察裂纹或断裂 | 在应力腐蚀条件下工作的紧固件  |
| 16 | 晶间腐蚀试验      | 确定铝合金紧固件抗电化腐蚀的能力               | 将紧固件放入用浓硝酸与氢氟酸配成的溶液中酸蚀,检查晶间腐蚀深度是否符合规定                    | 铝制紧固件           |
| 17 | 盐雾试验        | 确定紧固件在模拟高温度和盐度大气条件下的相对抗盐雾腐蚀的能力 | 空气湿度在 95%~98%,在规定的雾化箱内,5%的盐水雾化,持续时间为 96h                 | 在盐雾中工作的紧固件      |
| 18 | 湿度试验        | 确定紧固件在模拟高湿度大气条件下的相对抗湿能力        | 试验湿度在 49℃左右,相对湿度在 90%左右,持续时间 96h                         | 在潮湿环境下工作的紧固件    |
| 19 | 抗疲劳试验       | 鉴定紧固件在室温下的抗疲劳性能                | 利用疲劳试验机和夹具进行试验                                           | 受应变力的螺栓、螺母等紧固件  |

## 第 2 章 螺 纹 连 接

### 2.1 螺 纹

#### 2.1.1 螺 纹 的 类 型、特 点 和 应 用

螺纹连接是依靠内外螺纹间的咬合实现连接作

用。由于螺纹连接具有结构简单、装拆方便、性能可靠、易于加工等优点，广泛应用于各种机电产品中。因螺纹连接的适用领域非常广泛，故采用的螺纹种类很多（达 300 多种），其中绝大多数为专用螺纹。表 2-1 中给出了常用的螺纹类型、特点和应用情况。

表 2-1

螺纹的类型、特点及应用

| 螺 纹 种 类                    | 代号 | 特 点                                                                                                                  | 应 用                                                                                      |
|----------------------------|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 普通螺纹<br>GB/T 192—197—2003  | M  | 牙型角为 $60^\circ$ 的三角形螺纹，按螺距分为粗牙和细牙两种，细牙螺纹螺距小、升角小、大径大、螺纹的杆身面积大、强度高、自锁性能较好，但不耐磨、易脱扣；粗牙螺纹的直径和螺距的比例适中、强度好，应用最为广泛          | 主要用于紧固连接，一般连接多用粗牙螺纹，细牙螺纹用于薄壁零件，也常用于受变载荷、振动、冲击载荷的连接，还可用于微调机构的调整，普通螺纹也称一般用途的螺纹，是螺纹件数量最多的一种 |
| 特种细牙螺纹<br>JB/T 9313—1999   |    | 牙型与普通螺纹相同，而螺距比普通螺纹的细牙螺距还要小                                                                                           | 主要用于光学仪器上大直径、小螺距的薄壁零件                                                                    |
| 过渡配合螺纹<br>GB/T 1167—1996   |    | 牙型与普通螺纹相同，选取普通螺纹的部分尺寸，利用内、外螺纹旋合后在中径上形成过渡配合进行锁紧，易产生过松或过紧而影响装配效率和质量                                                    | 主要用于双头螺柱，固定于机体的一端，以防止当拧紧螺柱的另一端螺母时，螺柱从机体中脱出，应在中径尺寸之外采用辅助的锁紧措施，防止螺柱松动                      |
| 过盈配合螺纹<br>GB/T 1181—1998   |    | 牙型与普通螺纹相同，利用中径尺寸过盈锁紧螺柱，不允许采用辅助的锁紧措施                                                                                  | 主要用于大功率、高转速、工作环境差的动力机械（如飞机发动机），推荐采用分组装配的方法                                               |
| 短牙螺纹<br>JB/T 5450—1991     | MD | 牙型角为 $60^\circ$ 的三角形螺纹，将牙型高度由普通螺纹的 $\frac{5}{8}H$ 改为 $\frac{1}{2}H$ ，其螺距完全采用普通螺纹的全部细牙螺距，公称直径范围为 $8\sim 160\text{mm}$ | 用于细牙螺纹尚不能很好满足的薄壁零件处，多用于光学仪器的调焦                                                           |
| MJ 螺纹<br>GJB 3.1—3.3—2003  | MJ | 牙型角为 $60^\circ$ 的三角形螺纹，与普通螺纹相比，加大了外螺纹的牙底圆弧半径和小径的削平量，以此来减小应力集中并可提高螺纹强度                                                | 主要用于航空、航天器中，MJ 螺纹也称加强螺纹                                                                  |
| 小螺纹<br>GB/T 15054.1—5—1994 | S  | 牙型角为 $60^\circ$ 的三角形螺纹，为提高小螺纹的强度，基本牙型上小径处的削平高度从普通螺纹的 $0.25H$ 加大为 $0.321H$ ，由于小螺纹的牙槽浅，工艺性将好一些                         | 用于仪表、仪器和电子产品中，公称直径小于 $1\text{mm}$ 的紧固连接螺纹                                                |
| 矩形螺纹                       | Tr | 牙型角为 $0^\circ$ 的正方形螺纹，牙厚为螺距的一半，传动效率高，牙根强度差，对中性不好，磨损后间隙也无法补偿，工艺性差                                                     | 曾用于力的传递或传导螺旋，如千斤顶、小型压力机等；目前，仅用于对传动效率有较高要求的机件，矩形螺纹没有制定国家标准                                |
| 梯形螺纹<br>GB/T 5796.1—4—2005 |    | 牙型角为 $30^\circ$ 的梯形螺纹，牙型高度为 $0.5P$ ，螺纹副的小径和大径处有相等的间隙，与矩形螺纹相比，效率略低，但工艺性好，牙根强度高                                        | 广泛应用于各种传动和大尺寸机件的紧固连接，常用于传动螺旋、丝杠、刀架丝杠等                                                    |
| 短牙梯形螺纹<br>JB/T Q374—1985   |    | 牙型角为 $30^\circ$ ，牙型高度为 $0.3P$ ，结构紧凑，强度好，工艺性也好                                                                        | 用于要求径向尺寸小的梯形螺纹的传动，如阀门等，也用于紧固和定位                                                          |

续表

| 螺纹种类                                         | 代号  | 特点                                                                                                                                                                                                  | 应用                                                                                                                                             |
|----------------------------------------------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 锯齿形螺纹<br>GB/T 13576.1~4—1992                 |     | 一般情况下,螺纹牙工作面的牙侧角为 $3^\circ$ ,非工作面的牙侧角为 $30^\circ$ ,也可根据传动效率来选择承载面的牙侧角,并根据牙底强度的需要选取非承载面的牙侧角。锯齿形螺纹兼有矩形螺纹效率高和梯形螺纹牙根强度高、工艺性好的优点,是一种非对称牙型的螺纹,外螺纹的牙底有相当大的圆角,可以减小应力集中,螺纹副的大径处无间隙,便于对中,同时还可任选大径或中径两种不同的定心方式 | 用于单向受力的传动和定位,如轧钢机的压下螺旋、螺旋压力机、水压机、起重机的吊钩等。目前使用的有 $3^\circ/30^\circ$ 、 $3^\circ/45^\circ$ 、 $7^\circ/45^\circ$ 、 $0^\circ/45^\circ$ 等不同牙侧角的锯齿形螺纹 |
| 自攻螺钉用螺纹<br>GB/T 5280—1985、<br>GB/T 6559—1986 | ST  | 随着螺距 $P$ 的减小,滚压螺纹时所消耗的能量降低,且制造精度有所提高                                                                                                                                                                | 主要用于金属薄板                                                                                                                                       |
| 圆弧螺纹                                         |     | 牙型为圆弧形,常用的牙型角为 $30^\circ$ 或 $45^\circ$ ,牙粗、圆角大、螺纹不易碰损并易于消除污垢,内、外螺纹配合时有间隙,用于需要经常拆卸的地方,有较长的寿命,处于动载荷时强度较高                                                                                              | 用于经常与污物接触和易生锈的场合,如水管闸门的螺旋导轴,也可用于玻璃器皿的瓶口、吊钩或需消除污物的场合,还可用于薄壁空心零件上                                                                                |
| 管连接用细牙普通螺纹                                   | M   | 与普通细牙螺纹相同,不需专用量刀具,制造经济,靠零件端面和密封圈密封                                                                                                                                                                  | 用于液压系统、气动系统、润滑附件和仪表等处                                                                                                                          |
| 55°非密封管螺纹<br>GB/T 7307—2001                  | G   | 牙型角为 $55^\circ$ ,其牙顶和牙底均为圆弧形,公称直径近似为管子内径,内、外螺纹均为圆柱形的管螺纹,内、外螺纹配合后不具有密封性,在管路系统中仅起机械连接的作用                                                                                                              | 用于电线保护等场合。由于可借助于密封圈在螺纹副之外的端面进行密封,也可用于静载荷下的低压管路系统                                                                                               |
| 55°密封管螺纹<br>GB/T 7306.1、2—2000               | R   | 牙型角为 $55^\circ$ ,公称直径近似为管子内径,内、外螺纹旋紧后不用填料而依靠螺纹牙本身的变形即可保证连接的紧密性。它有两种配合方式:<br>①圆柱内螺纹/圆锥外螺纹,密封性好一些<br>②圆锥内螺纹/圆锥外螺纹,密封性稍差些,但不易被破坏。圆锥螺纹的锥度为 $1:16$ ,牙顶和牙底均为圆弧形                                           | ①圆柱内螺纹/圆锥外螺纹的配合,可用于低压、静载,水、煤气管多采用此种配合方式<br>②圆锥内螺纹/圆锥外螺纹的配合,可用于高温、高压、承受冲击载荷的系统                                                                  |
| 60°密封管螺纹<br>GB/T 12716—2002                  | NPT | 牙型角为 $60^\circ$ 的密封管螺纹,其锥度为 $1:16$ ,与 $55^\circ$ 密封管螺纹的配合方式及性能相同。该螺纹牙型规定牙顶和牙底均是平的,实际加工中多呈圆弧形,该螺纹牙型来源于美国标准                                                                                           | 主要用于汽车、拖拉机、航空机械、机床等燃料、油、水、气输送系统的管连接                                                                                                            |
| 米制锥螺纹<br>GB/T 1415—1992                      | ZM  | 基本牙型及尺寸系列均符合普通螺纹规定的管螺纹,性能与其他密封管螺纹相同,其优点是能与普通螺纹组成配合,加工和测量都比较方便,锥度为 $1:16$                                                                                                                            | 用于气体、液体管路系统依靠螺纹密封的连接                                                                                                                           |
| 气瓶螺纹<br>GB/T 8335、8336—1998                  |     | 牙型角为 $55^\circ$ 、锥度为 $3:25$ 的圆锥螺纹,其牙顶和牙底均为圆弧形。螺纹牙分为螺纹牙型的角平分线垂直于螺纹轴线和垂直于圆锥体母线两种。锥螺纹的锥度也不完全相同                                                                                                         | 用于气瓶的瓶口与瓶阀连接及其他密封连接的锥螺纹(简称圆锥螺纹),以及瓶帽与颈圈连接的非螺纹密封的圆柱管螺纹(简称圆柱螺纹)                                                                                  |