

秦大同 谢里阳 主编

MODERN
HANDBOOK
OF MECHANICAL
DESIGN

现代 机械设计手册

单行本

轴及其连接件设计



化学工业出版社

秦大同 谢里阳 主编

MODERN
HANDBOOK
MECHANICAL
DESIGN

现代 机械设计手册

单行本

轴及其连接件设计



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》、《零部件结构设计与禁忌》、《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《轴及其连接件设计》,主要介绍了轴的结构设计、强度校核、刚度校核、临界转速校核、可靠度计算、轴的计算机辅助设计,软轴的典型结构、选择与使用,联轴器的分类、选用、性能参数与尺寸,离合器的选用与计算、制动器的选用与计算等。本书可作为机械设计人员和有关工程技术人员的工具书,也可供高等院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

轴及其连接件设计/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 978-7-122-16335-6

I. ①轴… II. ①秦… ②谢… III. ①连接轴-技术
手册 IV. ①TH131-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 009837 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 23½ 字数 726 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: 48.00 元

版权所有 违者必究



《现代机械设计手册》单行本出版说明

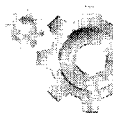
《现代机械设计手册》是化学工业出版社顺应现代机械设计时代发展要求而精心策划的大型出版项目，旨在将传统设计和现代设计有机结合，即结构设计、传动设计和控制设计有机融合，力求体现“内容权威、凸现代、实用可靠、简明便查”的特色。

《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》、《零部件结构设计与禁忌》、《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



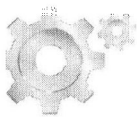
振兴装备制造业是中国由机械制造大国走向机械制造强国的必由之路。近年来,在国家大力发展装备制造业的政策号召和驱使下,我国的机械工业获得了巨大的发展,自主创新的能力不断加强,一批高技术、高性能、高精尖的现代化装备不断涌现,各种新材料、新工艺、新结构、新产品、新方法、新技术不断产生、发展并投入实际应用,大大提升了我国机械设计与制造的技术水平和国际竞争力。

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的信赖。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

上篇 轴和联轴器

第 1 章 轴

1.1 轴的分类、材料和设计方法	3
1.1.1 轴的分类	3
1.1.2 轴的常用材料	3
1.1.3 轴的设计方法概述	5
1.2 轴的结构设计	5
1.2.1 零件在轴上的定位与固定	6
1.2.2 轴的结构与工艺性	8
1.2.3 轴伸的结构尺寸	8
1.2.4 提高轴疲劳强度的结构措施	13
1.2.5 轴的结构示例	14
1.3 轴的强度校核计算	15
1.3.1 仅受扭转的强度校核计算	15
1.3.2 受弯扭联合作用的强度校核计算	16
1.3.3 考虑应力集中的强度校核计算	17
1.4 轴的刚度校核计算	21
1.4.1 轴的扭转刚度校核计算	21
1.4.2 轴的弯曲刚度校核计算	21
1.5 轴的临界转速校核计算	22
1.5.1 不带圆盘均质轴的临界转速	23
1.5.2 带圆盘的轴的临界转速	23
1.6 设计计算举例及轴的工作图	24
1.7 轴的可靠度计算	27
1.7.1 轴可靠度计算的基本方法	27
1.7.2 轴可靠度计算举例	28
1.8 轴的计算机辅助设计与分析	28
1.8.1 轴的计算机辅助设计	28
1.8.2 轴的强度校核的有限元计算	30
1.8.3 轴的刚度校核的有限元计算	33
1.8.4 轴临界转速的有限元计算	34

第 2 章 软 轴

2.1 软轴的结构组成和规格	35
----------------	----

2.1.1 软轴	35
2.1.2 软管	37
2.1.3 软轴接头	37
2.1.4 软管接头	38
2.2 常用软轴的典型结构	38
2.3 防逆转装置	39
2.4 软轴的选择与使用	40
2.4.1 软轴的选择	40
2.4.2 软轴使用时注意事项	41

第 3 章 联 轴 器

3.1 联轴器的分类、特点及应用	42
3.2 联轴器的选用 (JB/T 7511—1994)	42
3.2.1 联轴器的转矩	42
3.2.2 挠性或弹性联轴器计算	44
3.2.3 选用联轴器有关的系数	45
3.2.4 联轴器选用示例	47
3.3 联轴器的性能、参数及尺寸	48
3.3.1 联轴器轴孔和连接型式及尺寸 (GB/T 3852—2008)	49
3.3.2 凸缘联轴器 (GB/T 5843—2003)	54
3.3.3 弹性柱销联轴器 (GB/T 5014—2003)	57
3.3.4 弹性套柱销联轴器 (GB/T 4323—2002)	64
3.3.5 弹性柱销齿式联轴器 (GB/T 5015—2003)	68
3.3.6 弹性块联轴器 (JB/T 9148—1999)	85
3.3.7 弹性环联轴器 (GB/T 2496—2008)	89
3.3.8 梅花形弹性联轴器 (GB/T 5272—2002)	92

3.3.9 膜片联轴器 (JB/T 9147—1999)	100	3.3.14 十字轴式万向联轴器	159
3.3.10 蛇形弹簧联轴器 (JB/T 8869—2000)	110	3.3.15 钢球式节能安全联轴器 (JB/T 5987—1992)	181
3.3.11 弹性阻尼簧片联轴器 (GB/T 12922—2008)	127	3.3.16 蛇形弹簧安全联轴器 (JB/T 7682—1995)	190
3.3.12 鼓形齿式联轴器 (JB/T 8854.1~3—2001)	141	3.3.17 联轴器标准一览表	193
3.3.13 滚子链联轴器 (GB/T 6069—2002)	158	参考文献	196



下篇 离合器、制动器

第 1 章 离合器

1.1 常用离合器的型式、特点及应用	202	1.4.7 摩擦离合器的润滑与冷却	225
1.2 离合器的选用与计算	206	1.4.7.1 湿式摩擦离合器润滑油的 选择	225
1.2.1 离合器的型式与结构选择	206	1.4.7.2 湿式摩擦离合器的润滑 方式	226
1.2.2 离合器的计算	206	1.4.8 摩擦离合器结构尺寸	226
1.3 嵌合式离合器	207	1.5 离合器的接合机构	229
1.3.1 牙嵌离合器	208	1.5.1 对接合机构的要求	229
1.3.1.1 牙嵌离合器的牙型、特点与 使用条件	208	1.5.2 接合机构的工作过程	229
1.3.1.2 牙嵌离合器的材料与 许用应力	209	1.6 电磁离合器	230
1.3.1.3 牙嵌离合器的计算	209	1.6.1 电磁离合器的型式、特点及应用	230
1.3.1.4 牙嵌离合器尺寸的标注示例	211	1.6.2 电磁离合器的动作过程	231
1.3.1.5 牙嵌离合器的结构尺寸	211	1.6.3 电磁离合器的选用计算	232
1.3.2 齿式离合器	215	1.6.3.1 牙嵌式电磁离合器的选用	232
1.3.2.1 齿式离合器的计算	215	1.6.3.2 摩擦式电磁离合器的选用	232
1.3.2.2 齿式离合器的防脱与接合 的结构设计	215	1.6.4 电磁离合器产品	233
1.3.3 转键离合器	216	1.6.4.1 摩擦式电磁离合器产品	233
1.3.3.1 工作原理	216	1.6.4.2 牙嵌式电磁离合器产品	240
1.3.3.2 转键离合器的计算	216	1.7 磁粉离合器	243
1.3.4 滑销离合器	217	1.7.1 磁粉离合器的原理及特性	243
1.4 摩擦离合器	217	1.7.1.1 磁粉离合器的结构和工作 原理	243
1.4.1 摩擦离合器的型式、特点及应用	217	1.7.1.2 磁粉离合器的工作特性及 特点	243
1.4.2 摩擦元件的材料、性能及适用 范围	218	1.7.2 磁粉离合器的选用计算	244
1.4.3 摩擦盘的型式及特点	220	1.7.3 磁粉离合器的基本性能参数	245
1.4.4 摩擦离合器的计算	221	1.7.4 磁粉离合器产品	246
1.4.5 摩擦离合器的摩擦功和发热量 计算	224	1.8 液压离合器	247
1.4.6 摩擦离合器的磨损和寿命	225	1.8.1 液压离合器的特点、型式与应用	247
		1.8.2 液压离合器的计算	248
		1.8.3 活塞式多盘液压离合器的性能及 主要尺寸	249
		1.9 气压离合器	249

1.9.1 气压离合器的型式、特点与应用	249	2.3.2 瓦块式制动器的设计计算	311
1.9.2 气压离合器的计算	252	2.3.2.1 弹簧紧闸长行程瓦块式制动器	311
1.9.3 气压离合器结构尺寸	253	2.3.2.2 弹簧紧闸短行程瓦块式制动器	313
1.9.4 气压离合器产品	256	2.3.3 常用瓦块式制动器的主要性能与尺寸	314
1.10 离心离合器	259	2.3.3.1 电力液压瓦块式制动器	315
1.10.1 离心离合器的特点、型式与应用	259	2.3.3.2 多功能瓦块式制动器	327
1.10.2 离心离合器的计算	261	2.3.3.3 电力液压推动器	330
1.10.3 离心离合器产品	262	2.3.3.4 电磁瓦块式制动器	334
1.11 超越离合器	274	2.3.3.5 制动轮	342
1.11.1 超越离合器的特点、型式及应用	274	2.4 带式制动器	343
1.11.2 超越离合器主要零件的材料和热处理	276	2.4.1 普通型带式制动器	343
1.11.3 超越离合器材料的许用接触应力	276	2.4.1.1 普通型带式制动器结构	343
1.11.4 超越离合器的计算	277	2.4.1.2 普通型带式制动器的计算	343
1.11.5 超越离合器的结构尺寸和性能参数	278	2.4.2 短行程带式制动器	345
1.11.6 超越离合器产品	280	2.4.2.1 短行程带式制动器结构	345
1.12 安全离合器	293	2.4.2.2 短行程带式制动器计算	346
1.12.1 安全离合器的型式与特点	293	2.5 盘式制动器	347
1.12.2 安全离合器的计算	294	2.5.1 盘式制动器的结构及应用	347
1.12.3 安全离合器结构尺寸	296	2.5.1.1 点盘式制动器结构及产品	347
1.12.4 安全离合器产品	299	2.5.1.2 全盘式制动器结构及产品	352
		2.5.1.3 锥盘式制动器结构及产品	356
		2.5.1.4 载荷自制盘式制动器	357
		2.5.2 盘式制动器的设计计算	358
		2.6 其他制动器	359
		2.6.1 磁粉制动器	359
		2.6.1.1 磁粉制动器的结构及工作原理	359
		2.6.1.2 磁粉制动器的性能参数及产品尺寸	360
		2.6.2 电磁制动器和电磁离合制动器	362
		2.6.3 人力操纵制动器	362
		参考文献	363

第2章 制 动 器

2.1 制动器的功能、分类、特点及应用	304
2.2 制动器的选择与设计	305
2.2.1 制动器的选择与设计步骤	305
2.2.2 制动转矩的确定	305
2.2.3 制动器的发热验算	308
2.2.3.1 热平衡通式	308
2.2.3.2 提升设备和平移机构制动器的发热量	309
2.2.4 摩擦材料	309
2.3 瓦块式制动器	311
2.3.1 瓦块式制动器的分类、特点和应用	311

上 篇

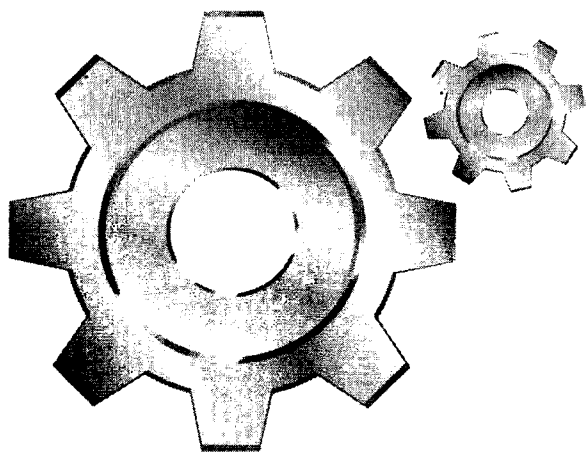
轴和联轴器



篇 主 编 吴立言

撰 稿 刘 岚 李洲洋 吴立言

审 稿 陈作模



第1章 轴

1.1 轴的分类、材料 and 设计方法

轴是组成机械的重要零件之一，各类做回转运动的传动零件都是通过轴来传递运动和动力。通常轴与轴承和机架一同支撑着回转零件，再通过联轴器或离合器实现运动和动力的传递。在轴的设计中，必须将轴与构成轴系部件的轴承、联轴器、机架以及传动零件等的设计要求一并考虑。

1.1.1 轴的分类

可以从轴所承载荷的不同、轴的形状以及轴的应用场合等方面对轴进行分类。

1) 按轴所承载荷的不同，可将轴分为心轴、传动轴和转轴。

只承受弯矩，不传递转矩的轴称为心轴。心轴又可分为工作时轴不转动的固定心轴和工作时轴转动的转动心轴两种。心轴主要用于支承各类机械零件。

只传递转矩，不承受弯矩的轴称为传动轴。传动轴主要通过承受转矩作用来传递动力。

既传递转矩又承受弯矩的轴称为转轴。各类传动零件主要是通过转轴进行动力传递。

2) 按结构形状的不同，可将轴分为光轴、阶梯轴、实心轴、空心轴等。由于空心轴的制造工艺较复杂，所以通常主要在轴的直径较大并有减重要求的场合，设计空心轴。

3) 按几何轴线形状的不同，可将轴分为直轴和曲轴等。

此外，还有一类结构刚度较低的轴——软轴。

软轴主要用于两个传动机件的轴线不在同一直线上的传动。关于软轴的设计与使用，详见本篇第2章。

1.1.2 轴的常用材料

轴的材料种类很多，设计时主要根据对轴的强度、刚度、耐磨性等要求，以及为实现这些要求而采用的热处理方式，同时考虑制造工艺问题加以选用。由于轴在工作时通常受到交变应力的作用，轴最常见的失效形式是因交变应力的作用而产生断裂，因此轴的材料应具有一定的韧性和较好的抗疲劳性能，这是对轴的材料的基本要求。

轴的常用材料是含碳量适中的优质碳素结构钢。对于受载较小或不太重要的轴，也可用普通碳素结构钢。对于受力较大，轴的尺寸和重量受到限制，以及有某些特殊要求的轴，可采用中碳合金钢。合金钢对应力集中的敏感性高，所以采用合金钢的轴的结构形状应尽量减少应力集中源，并要求表面粗糙度值低。

由于铸铁的韧性较差，所以应尽量少用铸铁作为轴的材料。但对于结构复杂且不太重要的轴，也可选用球墨铸铁或高强度铸铁作为轴的材料。

虽然强度极限高的材料，其弹性模量也稍大，但由于各类钢材弹性模量的差异不大，所以只为了提高轴的刚度而选用强度极限高的材料是不合适的。

轴一般由轧制圆钢或锻件经切削加工制造。直径较小的轴，可用轧制圆钢制造。对于直径大或重要的轴，常采用锻件制造。

轴的常用材料及力学性能见表 1-1。

表 1-1

轴的常用材料及力学性能

MPa

材料牌号	热处理	毛坯直径 /mm	硬度 (HBS)	抗拉强度 极限 σ_B	屈服强度 极限 σ_S	弯曲疲 劳极限 σ_{-1}	剪切疲 劳极限 τ_{-1}	许用弯 曲应力 [σ_{-1}]	备 注
Q235A	热轧或锻 后空冷	≤ 100		400~420	225	170	105	40	用于不重要及受载荷不大的轴
		$> 100 \sim 250$		375~390	215				
20	正火	25	≤ 156	420	250	180	100	40	用于载荷不大、要求韧性较高的轴
	正火	≤ 100	103~156	400	220	165	95		
		$> 100 \sim 300$		380	200	155	90		
		$> 300 \sim 500$		370	190	150	85		
		$> 500 \sim 700$		360	180	145	80		
	回火								

续表

材料牌号	热处理	毛坯直径 /mm	硬度 (HBS)	抗拉强度极限 σ_B	屈服强度极限 σ_S	弯曲疲劳极限 σ_{-1}	剪切疲劳极限 τ_{-1}	许用弯曲应力 [σ_{-1}]	备 注
35	正火	25	≤ 187	540	320	230	130	45	应用较广泛
	正火	≤ 100		520	270	210	120		
		>100~300	149~187	500	260	205	115		
		>300~500	143~187	480	240	190	110		
	回火	>500~700	137~187	460	230	185	105	50	
		>750~1000		440	220	175	100		
45	正火	25	≤ 241	610	360	260	150	55	应用最广泛
	正火	≤ 100		600	300	240	140		
		>100~300	170~217	580	290	235	135		
		>300~500	162~217	560	280	225	130		
	回火	>500~750	156~217	540	270	215	125	60	
35SiMn (42SiMn)	调质	≤ 200	217~255	650	360	270	155		
		25		900	750	445	255	70	性能接近于 40Cr, 用于中小型轴
		≤ 100	229~286	800	520	355	205		
		>100~300	217~269	750	450	320	185		
		>300~400	217~255	700	400	295	170		
40MnB	调质	>400~500	196~255	650	380	275	160	70	性能接近于 40Cr, 用于重要的轴
		25		1000	800	485	280		
		≤ 200	241~286	750	500	335	195		
40Cr	调质	25		1000	800	485	280	70	用于载荷较大, 而无很大冲击的重要轴
		≤ 100	241~286	750	550	350	200		
		>100~300	229~269	700	500	320	185		
		>300~500	217~255	650	450	295	170		
		>500~800		600	350	255	145	75	用于很重要的轴
40CrNi	调质	25		1000	800	485	280		
		≤ 100	270~300	900	735	430	260		
		>100~300	240~270	785	570	370	210		
35CrMo	调质	25		1000	850	500	285	70	性能近于 40CrNi, 用于重载荷的轴
		≤ 100		750	550	350	200		
		>100~300	207~269	700	500	320	185		
		>300~500		650	450	295	170		
		>500~800		600	400	270	155	70	性能近于 40CrNi, 用于重载荷的轴
38SiMnMo	调质	≤ 100	229~286	750	600	360	210		
		>100~300	217~269	700	550	335	195		
		>300~500	196~241	650	500	310	175		
		>500~800	187~241	600	400	270	155		
38CrMoAlA	调质	30	229	1000	850	495	285	75	用于要求高耐磨性、高强度且热处理(氮化)变形很小的轴
		>30~60	293~321	930	785	440	280		
		>60~100	277~302	835	685	410	270		
		>100~160	241~277	785	590	375	220		
20Cr	渗碳	15	渗碳	850	550	375	215	60	用于要求强度及韧性均较高 的轴, 如齿轮轴、蜗杆等
	淬火	30	56~62	650	400	280	160		
	回火	≤ 60	HRC	650	400	280	160		

续表

材料牌号	热处理	毛坯直径 /mm	硬度 (HBS)	抗拉强度极限 σ_B	屈服强度极限 σ_S	弯曲疲劳极限 σ_{-1}	剪切疲劳极限 τ_{-1}	许用弯曲应力 [σ_{-1}]	备 注
20CrMnTi	渗碳 淬火 回火	15	渗碳 56~62 HRC	1100	850	525	300	100	
1Cr13	调质	≤ 60	182~217	600	420	275	155		用于腐蚀条件下工作的轴
2Cr13	调质	≤ 100	197~248	660	450	295	170		
3Cr13	调质	≤ 100	≥ 241	835	635	395	230	75	
1Cr18Ni9Ti	淬火	≤ 60 $>60\sim 100$ $>100\sim 200$	≤ 192	550 540 500	220 200 200	205 195 185	120 115 105	45	用于高、低温及腐蚀条件下工作的轴
QT400-15			156~197	400	300	145	125		用于制造复杂外形的轴
QT450-10			170~207	450	330	160	140		
QT500-7			187~255	500	380	180	155		
QT600-3			190~270	600	370	215	185		
QT800-2			245~335	800	480	290	250		

1.1.3 轴的设计方法概述

轴的设计必须考虑多方面因素和要求, 主要包括材料选择、结构设计、强度和刚度分析。对于高速轴还应考虑振动稳定性问题。

轴的设计是以满足结构功能要求为出发点的。就是首先根据轴在具体系统中的作用, 设计出满足功能要求的结构, 然后再根据载荷与工作要求进行相应的承载能力验算。

事实上, 在轴的具体结构未确定之前, 轴上力的作用点是难以精确确定的, 弯矩的大小和分布情况不能求出。所以, 轴的计算通常都是在初步完成结构设计后进行校核计算, 计算准则主要包括轴的强度准则、刚度准则, 以及轴的振动稳定性准则等。轴的设计通常是按照“结构设计—承载能力验算—结构改进设计—承载能力再验算……”的顺序进行的。

通常轴设计的具体程序一般是: a. 根据机械传动方案的整体布局, 拟定轴上零件的布置和装配方案; b. 选择轴的材料; c. 估算轴的最小直径; d. 进行轴的结构设计; e. 进行承载能力验算, 通常包括强度验算、刚度验算和振动稳定性验算等; f. 根据承载能力验算结果, 或者确定设计, 或者改进设计; g. 绘制轴的零件工作图。

除了上述设计内容以外, 还有键或花键的连接强度校核、滚动轴承的寿命验算、滑动轴承的承载能力验算等工作, 与轴的设计有一定的关系, 需在轴的设计过程中一并考虑。

就设计方法而论, 轴的设计可分为常规设计与计算机辅助设计。这两类设计方法的主要差异在于,

常规设计中针对轴的承载能力的计算方法主要采用了较为简化的力学模型, 计算结果通常欠准确, 通常需要用经验数据对计算结果进行一定的校正。但常规设计方法已为广大工程设计熟悉, 并为此积累了大量有价值的经验数据, 在目前的工程设计中仍占主导地位。因此, 本章仍以介绍轴的常规设计方法为主。

在采用计算机辅助设计轴时, 其承载能力计算主要采用有限元法, 可以获得较为准确的计算结果。对结构复杂的轴运用计算机辅助分析的手段具有明显的优势。关于轴的计算机辅助设计与辅助分析方法, 详见本章 1.8 节的叙述。

通常, 轴所传递的载荷、轴的极限应力等因素具有一定的随机性。在常规的设计中, 视这些因素为确定性变量, 在判定轴的承载能力时, 通过计入一定的安全系数来确保结构的安全余度。若在设计中考虑载荷与极限应力的随机性, 就可确定轴安全工作的概率—可靠度, 这就有了轴的可靠性设计。可靠性设计方法是现代设计方法的重要内容, 关于轴的可靠性设计方法的基本概念, 详见本章 1.7 节的叙述。

1.2 轴的结构设计

轴的结构取决于轴的工作要求, 包括轴上零件的类型、尺寸、布置和固定方式等。同时, 轴的毛坯、制造和装配工艺、安装和运输等因素也会影响到轴的结构设计。

轴的结构设计首先应尽量使轴上零件定位准确、

固定可靠、装拆方便，以及有良好的工艺性。为了提高轴的强度，应考虑受力合理和减小应力集中。为了保证轴的刚度，应着重在轴的结构和支承点位置着手，达到减小轴的变形的目的。

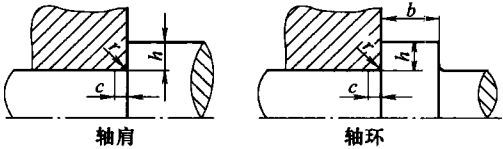
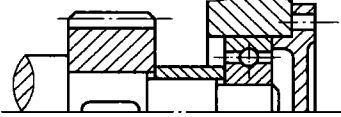
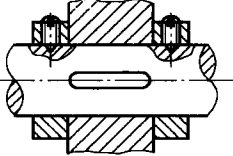
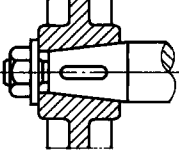
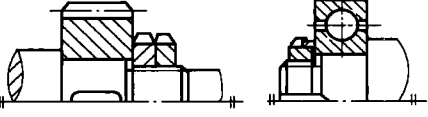
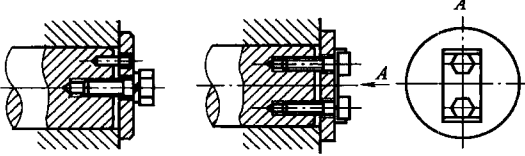
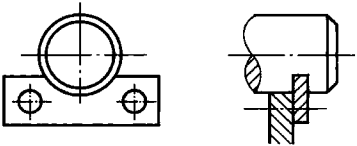
由于轴的应用场合极为广泛，影响轴结构的因素较多，因此轴不可能有标准的结构型式。轴的结构须根据具体情况进行分析，确定合理的结构方案。

1.2.1 零件在轴上的定位与固定

安装在轴上的零件的位置通常是通过轴上的定位结构来保证的，定位准确是定位结构设计的基本要求。零件装到确定的位置后，应保证其受到工作载荷后不会改变原定的位置，这就需要设计轴上零件的固定措施。零件在轴上的固定通常需从轴向和周向加以固定。

(1) 轴上零件的轴向定位与固定

表 1-2 轴上零件轴向定位与固定方法及特点

方法	简 图	特 点
轴肩轴环		结构简单，定位可靠，可承受较大的轴向力。常用于齿轮、链轮、带轮、联轴器和轴承等定位 为确保零件可靠定位，轴肩高度、圆角半径、轴环宽度应符合表 1-3 的规定
轴套		结构简单，定位可靠，可承受较大的轴向力。一般用于零件间距较小场合，以免增加结构重量。轴的转速很高时不宜采用
锁紧挡圈		结构简单，不能承受大的轴向力，不宜用于高速。常用于光轴上零件的固定 螺钉锁紧挡圈的结构尺寸见 GB/T 884—1986
圆锥面		能消除轴与轮毂间的径向间隙，装拆方便，可兼作周向固定，能承受冲击载荷。多用于轴伸处的零件固定，可与轴端压板或螺母联合使用 圆锥形轴伸的结构尺寸见 1.2.3 的(2)
圆螺母		固定可靠，装拆方便，可承受较大的轴向力。由于轴上切制螺纹，会使轴的疲劳强度降低。用双圆螺母或圆螺母与止动垫圈固定轴端零件时，具有较好的防松作用 圆螺母和止动垫圈的结构尺寸见 GB/T 810—1988、GB/T 812—1988 及 GB/T 858—1988
轴端挡圈		适于固定轴端零件，可承受剧烈振动和冲击载荷。轴端挡圈结构尺寸见 GB/T 891—1986、GB/T 892—1986
轴端挡板		适用于对心轴的固定或轴端零件的固定

续表

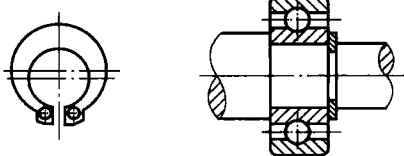
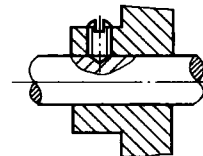
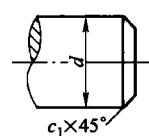
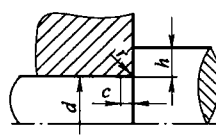
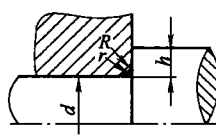
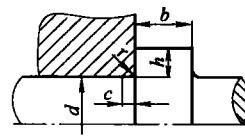
方法	简 图	特 点
弹性挡圈		结构简单紧凑,使用方便。只能承受很小的轴向力,常用于固定滚动轴承内圈。轴用弹性挡圈的结构尺寸见 GB/T 894.1—1986、GB/T 894.2—1986
紧定螺钉		适用于轴向力很小、转速很低或仅为防止零件偶然沿轴向滑动的场合。为防止螺钉松动,可加锁圈。紧定螺钉同时亦起周向固定作用

表 1-3 轴肩配合处倒圆半径与倒角尺寸推荐值 (GB/T 6403.4—2008)

mm

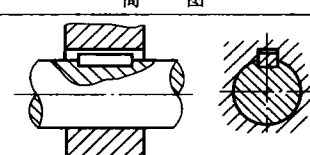
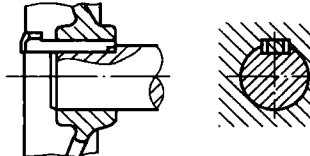
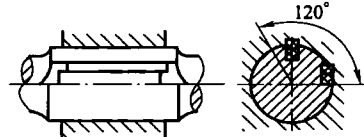
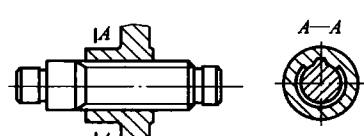
									
$c_1 \times 45^\circ$									
轴直径 d	<3	$>3 \sim 6$	$>6 \sim 10$	$>10 \sim 18$	$>18 \sim 30$	$>30 \sim 50$	$>50 \sim 80$	$>80 \sim 120$	$>120 \sim 180$
R, c 或 c_1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.6	2.0	2.5	3.0
轴直径 d	$>180 \sim 250$	$>250 \sim 320$	$>320 \sim 400$	$>400 \sim 500$	$>500 \sim 630$	$>630 \sim 800$	$>800 \sim 1000$	$>1000 \sim 1250$	$>1250 \sim 1600$
R, c 或 c_1	4.0	5.0	6.0	8.0	10	12	16	20	25

注: 1. 为确保零件可靠定位, 应使 $r < c$ 或 $r < R$; 轴肩高度 $h = (2 \sim 3)R$ 或 $h = (2 \sim 3)c$ 。轴环宽度 $b \approx 1.4h$ 。

2. 与滚动轴承相配合处的 h 与 r 值应根据滚动轴承的类型与尺寸确定 (见滚动轴承篇)。

(2) 轴上零件的周向定位与固定

表 1-4 轴上零件的周向定位与固定方法及特点

方法	简 图	特 点
平键		制造简单, 装拆方便, 对中性好。用于较高精度、高转速及受冲击或变载荷作用下的固定连接, 还可用于一般要求的导向连接 齿轮、蜗轮、带轮与轴的连接常用此形式 普通平键尺寸见 GB/T 1096—2003, 导向平键尺寸见 GB/T 1097—2003, 键槽尺寸见 GB/T 1095—2003
楔键		能同时传递转矩和承受单向轴向力。由于装配后造成轴上零件的偏心或偏斜, 故不适用于要求严格对中、有冲击载荷及高速传动连接 楔键及键槽的结构尺寸见 GB/T 1563—2003、GB/T 1564—2003 和 GB/T 1565—2003
切向键		可传递较大的转矩, 对中性差, 对轴的削弱较大, 常用于重型机械中。一个切向键只能传递一个方向的转矩, 传递双向转矩时, 需用两个并互成 120° , 切向键及键槽的结构尺寸见 GB/T 1974—2003
花键		有矩形和渐开线花键之分。承载能力高、定心性及导向性好, 制造困难, 成本较高。适于载荷较大、对定心精度要求较高的滑动连接或固定连接 花键尺寸和公差见 GB/T 1144—2001 (矩形花键) 和 GB/T 3478.1—9—2008 (渐开线花键)