



现代 机械设计手册

第6卷

秦大同 谢里阳 / 主编

MODERN

HAND
BOOK



化学工业出版社



现代 机械设计手册

第6卷

秦大同 谢里阳 主编

MODERN

HAND
BOOK



化学工业出版社

·北京·

《现代机械设计手册》从新时期机械设计人员的实际需要出发,追求现代感,兼顾实用性、通用性、准确性,在广泛吸纳国内工具书优点的基础上,涵盖了各种常规和通用的机械设计技术资料,贯彻了最新的国家和行业标准,推荐了国内外先进、节能、通用的产品,体现了便查易用的编写风格。

《现代机械设计手册》共6卷,其中第1卷包括机械设计基础资料,零件结构设计,机械制图和几何精度设计,机械工程材料,连接件与紧固件;第2卷包括轴和联轴器,滚动轴承,滑动轴承,机架、箱体及导轨,弹簧,机构,机械零部件设计禁忌;第3卷包括带、链传动,齿轮传动,减速器、变速器,离合器、制动器,润滑,密封;第4卷包括液力传动,液压传动与控制,气压传动与控制;第5卷包括光机电一体化系统设计,传感器,控制元器件和控制单元,电动机;第6卷包括机械振动与噪声,疲劳强度设计,可靠性设计,优化设计,反求设计,数字化设计,人机工程与产品造型设计,创新设计。

《现代机械设计手册》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

现代机械设计手册.第6卷/秦大同,谢里阳主编.
北京:化学工业出版社,2011.1
ISBN 978-7-122-08705-8

I. 现… II. ①秦…②谢… III. 机械设计-手册
IV. TH122-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第115191号

责任编辑:张兴辉 王 烨 贾 娜
责任校对:顾淑云

文字编辑:张绪瑞 陈 喆
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88 $\frac{1}{4}$ 字数2746千字 插页1 2011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:150.00元

版权所有 违者必究

撰稿和审稿人员

手册主编 秦大同 (重庆大学) 谢里阳 (东北大学)

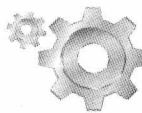
卷	篇	篇主编	撰 稿	审 稿
第1卷	第1篇	化学工业出版社组织编写	张红燕 刘 梅 李 翔 董 敏	王建军
	第2篇	翟文杰 (哈尔滨工业大学)	翟文杰	王连明
	第3篇	韩宝玲 (北京理工大学)	韩宝玲 佟献英 罗庆生 樊红亮	刘巽尔
	第4篇	方昆凡 (东北大学)	周年发 杨 威 罗 霄	董国耀
	第5篇	王三民 (西北工业大学)	崔虹雯 单宝峰 赵新颖 方昆凡	魏小鹏
第2卷			周文娟 吴文虎 张茵麦 程 铭	
	第6篇	吴立言 (西北工业大学)	王三民 袁 茹 谷文韬 李洲洋	沈允文
	第7篇	郭宝霞 (洛阳轴承研究所有限公司)	刘 岚 李洲洋 吴立言	陈作模
	第8篇	徐 华 (西安交通大学)	郭宝霞 周 宇 勇泰芳 张小玲	杨晓蔚
	第9篇	翟文杰 (哈尔滨工业大学)	张 松 蒋明夫	
	第10篇	姜洪源 (哈尔滨工业大学)	徐 华 诸文俊 谢振宇 郭宝霞	朱 均
	第11篇	李瑰贤 (哈尔滨工业大学)	翟文杰 王 瑜 郭宝霞	王连明
第3卷	第12篇	向敬忠 (哈尔滨理工大学)	姜洪源 教宏瑞 李胜波	陈照波
	第13篇	姜洪源 (哈尔滨工业大学)	李瑰贤 赵永强 陈照波 刘文涛	李瑰贤
	第14篇	秦大同 (重庆大学)	唐德威 于红英 胡 明 韩继光	陈 明
	第15篇	秦大同 (重庆大学)	闫 辉 林 琳 丁 刚 张一同	
	第16篇	刘光磊 (西北工业大学)	向敬忠 潘承怡 宋 欣	于惠力
	第17篇	吴晓铃 (郑州大学)	姜洪源 闫辉 王世刚	曲建俊
第3卷	第18篇	郝木明 (中国石油大学)	张光辉 郭晓东 林腾蛟 林 超	李建华
	第19篇	吴晓铃 (郑州大学)	秦大同 陈兵奎 石万凯 邓效忠	李钊刚
	第20篇	郝木明 (中国石油大学)	罗文军 廖映华 张卫青 欧阳志喜	
	第21篇	郝木明 (中国石油大学)	孙冬野 刘振军 秦大同 廖映华	吴晓铃
第3卷	第22篇	郝木明 (中国石油大学)	刘光磊 朱春梅	孔庆堂
	第23篇	郝木明 (中国石油大学)	吴晓铃 袁丽娟 郭宝霞	陈大融
第3卷	第24篇	郝木明 (中国石油大学)	郝木明 王淮维 孙鑫晖	陈大融
	第25篇	郝木明 (中国石油大学)		

第4卷

第5卷

第6卷

卷	篇	篇主编	撰 稿				审稿
第4卷	第19篇	马文星 (吉林大学) 杨乃乔 (北京起重运输机械设计研究院)	马文星 邓洪超 徐 辉 仵晓强 王 涛 卢秀泉 李雪松	杨乃乔 曹晓宁 宋 斌 吴根生 何延东 范丽丹	邓 菲 王宏卫 刘春宝 才 委 柴博森 侯继海	邹铁汉 潘志勇 郑广强 熊以恒 姜丽英 张 浦	方佳雨 刘春朝 刘伟辉
	第20篇	吴晓明 (燕山大学)	刘 涛 赵静一	吴晓明 高殿荣	张 伟	张齐生	姚晓先 吴晓明
	第21篇	包 钢 (哈尔滨工业大学) 杨庆俊 (哈尔滨工业大学)	包 钢 王 涛	杨庆俊 陈金兵	向 东 王雄耀	张百海	熊 伟
第5卷	第22篇	郝长中 (沈阳理工大学)	郝长中 高启扬	王铁军	吴东生	杨 青	于国安
	第23篇	张洪亭 (东北大学)	张洪亭	王明赞	李 佳	孙红春	贾民平 王明赞
	第24篇	王 洁 (沈阳工业大学)	王 洁 孙洪林	王野牧 张 靖	谷艳玲	杨国哲	徐 方 刘 洲 褚明杰 曲业闯 郑春辉 赵 强
	第25篇	时献江 (哈尔滨理工大学)	时献江	杜海艳	王 昕	柴林杰	邵俊鹏
第6卷	第26篇	孟 光 (上海交通大学) 吴天行 (上海交通大学)	孟 光 李增光 张志谊 塔 娜 李富才 万 泉	吴天行 龙新华 饶柱石 刘树英 张海滨 杨斌堂	雷 敏 华宏星 荆建平 静 波 蒋伟康 焦素娟	张瑞华 李 俊 张文明 韩雪华 严 莉 湛 勇	胡宗武
	第27篇	谢里阳 (东北大学)	谢里阳	王 雷			赵少汴
	第28篇	谢里阳 (东北大学)	谢里阳	钱文学	吴宁祥		孙志礼
	第29篇	何雪泓 (东北大学)	何雪泓	张 翔	张瑞金		颜云辉
	第30篇	隋天中 (东北大学)	隋天中				郝永平
	第31篇	李卫民 (辽宁工业大学)	李卫民 于晓丹	刘淑芬 邢 颖	仪登丽	潘 静	刘永贤
	第32篇	曾 红 (辽宁工业大学)	曾 红	陈 明			刘永贤
	第33篇	赵新军 (东北大学)	赵新军	钟 莹	孙晓枫		李赤泉



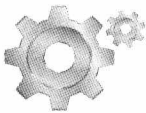
振兴装备制造业是中国由机械制造大国走向机械制造强国的必由之路。近年来,在国家大力发展装备制造业的政策号召和驱使下,我国的机械工业获得了巨大的发展,自主创新的能力不断加强,一批高技术、高性能、高精尖的现代化装备不断涌现,各种新材料、新工艺、新结构、新产品、新方法、新技术不断产生、发展并投入实际应用,大大提升了我国机械设计与制造的技术水平和国际竞争力。

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。

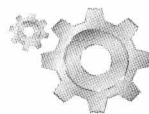
在新技术方面，许多零部件的设计内容都兼顾了当前高新技术装备的设计，例如第 13 篇“带、链传动”介绍了金属带等新型的传动方式，第 14 篇“齿轮传动”收录了新型锥齿轮、塑料齿轮的设计和应用，第 8 篇“滑动轴承”收录了气体润滑轴承、箔片轴承、电磁轴承等新型轴承的设计和应用，第 4 篇“机械工程材料”收录了复合材料等目前已广泛应用的一些新型工程材料。

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 and 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 ★★★★★

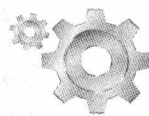
本手册尽量采用原始资料,公式、图表、数据准确,方法、工艺、技术成熟。所有产品、材料和工艺方面的标准均采用最新公布的标准资料,对于标准规范的编写,手册没有简单地照抄照搬,而是采取选用、摘录、合理编排的方式,强调其科学性和准确性,尽量避免差错和谬误。所有设计方法、计算公式、参数选用均经过长期检验,设计实例、各种算例均来自工程实际。手册中收录通用性强的、标准化程度高的产品,供设计人员在了解企业实际生产品种、规格尺寸、技术参数,以及产品质量和用户的实际反映后选用。

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!

主编



CONTENTS 目录

第26篇 机械振动与噪声

第1章 概述

1.1 机械振动的分类及机械工程中的振动问题	26-3
1.1.1 机械振动的分类	26-3
1.1.2 机械工程中的振动问题	26-4
1.2 有关振动的部分标准	26-6
1.2.1 有关振动的部分国家标准	26-6
1.2.1.1 基础标准和一般标准	26-6
1.2.1.2 平衡和试验台的振动标准	26-6
1.2.1.3 各种机器、设备的振动标准	26-7
1.2.1.4 振动测量仪器的使用和要求	26-8
1.2.1.5 人体振动与环境	26-8
1.2.2 有关振动的部分国际标准	26-9
1.2.3 机械振动等级的评定	26-10
1.2.3.1 振动烈度的评定	26-10
1.2.3.2 振动烈度的等级划分	26-10
1.2.3.3 泵的振动烈度的评定举例	26-10
1.3 允许振动量	26-12
1.3.1 机械设备的允许振动量	26-12
1.3.2 其他要求的允许振动量	26-12

第2章 机械振动基础

2.1 单自由度系统的自由振动	26-13
2.2 单自由度系统的受迫振动	26-14
2.2.1 简谐激励下的振动响应	26-14
2.2.2 一般周期激励下的稳态响应	26-16
2.2.3 扭转振动与直线振动的参数类比	26-16
2.3 多自由度系统	26-17
2.3.1 多自由度系统的自由振动及其特性	26-17
2.3.2 多自由度系统的简谐激励稳态响应	26-18

2.3.3 常见二自由度系统简谐激励下的稳态响应	26-19
2.4 振动系统对任意激励的响应计算	26-20
2.4.1 单自由度系统	26-20
2.4.2 多自由度系统的模态分析法	26-21

第3章 机械振动的一般资料

3.1 机械振动表示方法	26-22
3.1.1 简谐振动表示方法	26-22
3.1.2 周期振动幅值表示法	26-23
3.1.3 振动频谱表示法	26-23
3.2 弹性构件的刚度	26-24
3.3 阻尼系数	26-27
3.3.1 黏性阻尼系数	26-27
3.3.2 等效黏性阻尼系数	26-28
3.4 振动系统的固有角频率	26-29
3.4.1 单自由度系统的固有角频率	26-29
3.4.2 二自由度系统的固有角频率	26-33
3.4.3 各种构件的固有角频率	26-35
3.5 同向简谐振动合成	26-40
3.6 各种机械产生振动的扰动频率	26-41

第4章 非线性振动与随机振动

4.1 非线性振动	26-42
4.1.1 非线性振动问题	26-42
4.1.2 非线性恢复力的特性曲线	26-43
4.1.3 非线性阻尼力的特性曲线	26-45
4.1.4 非线性振动的特性	26-47
4.1.5 分析非线性振动的常用方法及示例	26-52
4.1.5.1 分析非线性振动的常用方法	26-52
4.1.5.2 非线性振动的求解示例	26-53
4.2 自激振动	26-54

4.2.1	自激振动系统的特性	26-54	5.4.3.1	材料的损耗因子	26-79
4.2.2	机械工程中的自激振动现象	26-55	5.4.3.2	阻尼结构	26-79
4.2.3	非线性振动的稳定性	26-57	5.4.4	干摩擦阻尼	26-80
4.2.4	相平面法及稳定性判据	26-57	5.4.4.1	刚性连接的干摩擦阻尼	26-80
4.3	随机振动	26-60	5.4.4.2	弹性连接的干摩擦阻尼	26-82
4.3.1	随机振动问题	26-60	5.4.5	干摩擦阻尼减振器	26-83
4.3.2	平稳随机振动	26-62	5.5	动力吸振器	26-83
4.3.3	单自由度线性系统的传递函数	26-62	5.5.1	动力吸振器设计	26-83
4.3.4	单自由度线性系统的随机响应	26-62	5.5.1.1	动力吸振器工作原理	26-83

第5章 机械振动控制

5.1	振动控制的基本方法	26-64	5.5.2.1	有阻尼动力吸振器的动态特性	26-85
5.1.1	常见的机械振动源	26-64	5.5.2.2	有阻尼动力吸振器的最佳参数	26-86
5.1.2	振动控制的基本方法	26-64	5.5.2.3	有阻尼动力吸振器设计	26-94
5.1.3	刚体回转体的平衡	26-65	5.6	缓冲器设计	26-94
5.1.4	挠体回转体的动平衡	26-65	5.6.1	设计思想	26-94
5.1.5	往复机械惯性力的平衡	26-65	5.6.1.1	冲击现象及冲击传递系数	26-94
5.2	定性减少振动的一些方法和手段	26-65	5.6.1.2	速度阶跃激励	26-96
5.3	隔振原理及隔振设计	26-66	5.6.1.3	缓冲弹簧的储能特性	26-96
5.3.1	隔振原理及一级隔振动力参数设计	26-66	5.6.1.4	阻尼参数选择	26-98
5.3.2	一级隔振动力参数设计示例	26-67	5.6.2	一级缓冲器设计	26-98
5.3.3	二级隔振动力参数设计	26-68	5.6.2.1	缓冲器设计原则	26-98
5.3.4	二级隔振动力参数设计示例	26-69	5.6.2.2	设计要求	26-98
5.3.5	非刚性基座隔振设计	26-70	5.6.2.3	一次缓冲器动力参数设计	26-98
5.3.6	隔振设计的几个问题	26-70	5.6.2.4	加速度脉冲激励波形影响提示	26-98
5.3.6.1	隔振设计步骤	26-70	5.6.3	二级缓冲器设计	26-99
5.3.6.2	隔振设计要点	26-72	5.7	机械振动的主动控制	26-99
5.3.6.3	隔振系统的阻尼	26-72	5.7.1	主动控制系统的原理	26-99
5.3.7	隔振元件材料、类型与选择	26-72	5.7.2	主动控制的类型	26-99
5.3.7.1	隔振元件材料、类型	26-72	5.7.3	控制系统的组成	26-100
5.3.7.2	隔振元件选择	26-73	5.7.4	作动器类型	26-101
5.3.8	橡胶隔振器	26-74	5.7.5	主动控制系统的设计过程	26-101
5.3.9	橡胶隔振器设计	26-74	5.7.6	常用的控制律设计方法	26-102
5.3.9.1	橡胶材料的主要性能参数	26-74	5.7.7	主动抑振	26-103
5.3.9.2	橡胶隔振器刚度计算	26-75	5.7.7.1	随机振动控制	26-103
5.3.9.3	橡胶隔振器设计要点	26-77	5.7.7.2	谐波振动控制	26-103
5.3.10	钢丝绳隔振器	26-77	5.7.8	主动吸振	26-103
5.3.10.1	主要特点	26-77	5.7.8.1	惯性可调动力吸振	26-103
5.3.10.2	选择原则与方法	26-78	5.7.8.2	刚度可调式动力吸振	26-104
5.4	阻尼减振	26-78	5.7.9	主动隔振	26-104
5.4.1	阻尼减振原理	26-78	5.7.9.1	主动隔振原理	26-104
5.4.2	阻尼类型	26-78	5.7.9.2	半主动隔振原理	26-104
5.4.3	材料的损耗因子与阻尼结构	26-79			

第 6 章 典型设备振动设计实例

6.1 旋转机械的振动设计实例	26-105
6.1.1 汽轮发电机组轴系线性动力学设计	26-105
6.1.1.1 建模	26-105
6.1.1.2 运动方程和求解方法	26-105
6.1.1.3 临界转速的计算	26-105
6.1.1.4 不平衡响应计算	26-105
6.1.1.5 稳定性设计	26-105
6.1.2 200MW 汽轮发电机组轴系动力学线性分析	26-106
6.1.2.1 200MW 汽轮发电机组轴系模型	26-106
6.1.2.2 单跨轴段在刚性支承下的临界转速和模态	26-106
6.1.2.3 刚性支承轴系的临界转速及主模态	26-106
6.1.2.4 弹性支承轴系的临界转速	26-108
6.2 往复机械的振动设计实例——CA498 柴油机隔振系统设计与试验研究	26-108
6.2.1 柴油机振动扰动力分析	26-108
6.2.2 柴油机隔振系统设计模型	26-109
6.2.3 隔振方案的选择	26-109
6.3 锻压机械的振动设计实例	26-110
6.3.1 锻锤的隔振计算	26-110
6.3.1.1 锻锤隔振的基本计算	26-110
6.3.1.2 砧座下基础块的最小厚度要求	26-111
6.3.1.3 三心合一问题	26-111
6.3.1.4 阻尼问题	26-111
6.3.1.5 隔振基础的结构设计	26-111
6.3.2 锻锤隔振基础的设计步骤	26-111
6.3.2.1 搜集设计资料	26-111
6.3.2.2 初步确定基础块的质量和几何尺寸	26-111
6.3.2.3 确定隔振器应具备的参数并选用或设计隔振器	26-112
6.3.2.4 基础块振动验算	26-112
6.3.2.5 砧座振幅验算	26-112
6.3.2.6 基础箱的设计及振幅	26-113
6.3.3 设计举例 5t 模锻锤隔振基础设计	26-113
6.3.3.1 设计资料及设计值	26-113
6.3.3.2 确定基础块的质量和几何尺寸	26-113

6.3.3.3 隔振器的选用与设计	26-113
6.3.3.4 基础块振动验算	26-113
6.3.3.5 砧座振幅验算	26-114
6.3.3.6 基础箱设计	26-114
6.3.4 有关锻锤隔振新理论、新观念介绍	26-114
6.3.4.1 砧座下直接隔振技术	26-114
6.3.4.2 阻尼的作用与取值范围	26-114

第 7 章 轴系的临界转速

7.1 概述	26-115
7.2 简单转子的临界速度	26-115
7.2.1 力学模型	26-115
7.2.2 两支承轴的临界转速	26-116
7.2.3 两支承单盘转子的临界转速	26-117
7.3 两支承多盘转子临界转速的近似计算	26-117
7.3.1 带多个圆盘轴的一阶临界转速	26-117
7.3.2 力学模型	26-117
7.3.3 临界转速计算公式	26-117
7.3.4 计算示例	26-118
7.4 阶梯轴的临界转速计算	26-120
7.5 轴系的模型与参数	26-120
7.5.1 力学模型	26-120
7.5.2 滚动轴承支承刚度	26-121
7.5.3 滑动轴承支承刚度	26-122
7.5.4 支承阻尼	26-125
7.6 轴系的临界转速计算	26-126
7.6.1 轴系的特征值问题	26-126
7.6.2 特征值数值计算实例	26-127
7.6.3 传递矩阵法计算临界转速	26-128
7.6.4 传递矩阵法计算实例	26-130
7.7 轴系临界转速设计	26-131
7.7.1 轴系临界转速修改设计	26-131
7.7.2 轴系临界转速组合设计	26-132
7.8 影响轴系临界转速的因素	26-133
7.8.1 支撑刚度对临界转速的影响	26-133
7.8.2 回转力矩对临界转速的影响	26-133
7.8.3 联轴器对临界转速的影响	26-133
7.8.4 其他因素的影响	26-133
7.8.5 改变临界转速的措施	26-133

第 8 章 机械振动的利用

8.1 概述	26-134
8.1.1 振动机械的组成	26-134

8.1.2	振动机械的用途及工艺特性	26-137	8.7.1.2	远超共振惯性振动机的动力 参数设计示例	26-163
8.1.3	振动机械的频率特性及结构特征	26-138	8.7.2	惯性共振式振动机的动力参数 设计示例	26-163
8.1.4	工程中常用的振动系统	26-139	8.7.3	弹性连杆式振动机的动力参数 设计示例	26-164
8.1.5	有关振动机械的部门标准	26-139	8.7.4	电磁式振动机的动力参数设计 示例	26-165
8.2	振动机工作面上物料的运动学与动 力学	26-140	8.8	主要零部件	26-166
8.2.1	物料的运动学	26-140	8.8.1	振动电机	26-166
8.2.1.1	物料的运动状态	26-140	8.8.2	仓壁式振动器	26-171
8.2.1.2	物料的滑行运动	26-140	8.8.3	复合弹簧	26-172
8.2.1.3	物料的抛掷运动	26-142	8.9	利用振动来监测缆索拉力	26-174
8.2.2	物料的动力学	26-143	8.9.1	测量弦振动计算索拉力	26-174
8.2.2.1	物料滑行运动时的结合质量与 当量阻尼	26-143	8.9.1.1	弦振动测量原理	26-174
8.2.2.2	物料抛掷运动时的结合质量与 当量阻尼	26-144	8.9.1.2	MGH 型锚索测力仪	26-174
8.2.2.3	弹性元件的结合质量与阻尼	26-144	8.9.2	按两端受拉梁的振动测量索拉力	26-175
8.2.2.4	振动系统的计算质量、总 阻尼系数及功率消耗	26-145	8.9.2.1	两端受拉梁的振动测量原理	26-175
8.3	常用的振动机械	26-146	8.9.2.2	高屏溪桥斜张钢缆检测 部分简介	26-175
8.3.1	振动机械的分类	26-146	8.9.3	索拉力振动检测的最新方法	26-176
8.3.2	常用振动机的振动参数	26-146			
8.4	惯性式振动机械的计算	26-147			
8.4.1	单轴惯性式振动机	26-147			
8.4.2	双轴惯性式振动机	26-149			
8.4.3	多轴惯性振动机	26-151			
8.4.4	自同步式振动机	26-152			
8.4.5	惯性共振式振动机	26-153			
8.4.5.1	主振系统的动力参数	26-153			
8.4.5.2	激振器动力参数设计	26-154			
8.5	弹性连杆式振动机的计算	26-154			
8.5.1	单质体弹性连杆式振动机	26-154			
8.5.2	双质体弹性连杆式振动机	26-155			
8.5.3	隔振平衡式三质体弹性连杆 振动机	26-156			
8.5.4	非线性弹性连杆振动机	26-156			
8.5.5	弹性连杆振动机动力参数的选择 计算	26-157			
8.5.6	导向杆和橡胶铰链	26-159			
8.5.7	振动输送类振动机整体刚度和局部 刚度的计算	26-160			
8.5.8	近共振类振动机工作点的调试	26-161			
8.6	电磁式振动机械的计算	26-161			
8.7	振动机械设计示例	26-161			
8.7.1	远超共振惯性振动机设计示例	26-161			
8.7.1.1	远超共振惯性振动机的运动 参数设计示例	26-161			

第 9 章 机械振动测量

9.1	概述	26-178
9.1.1	振动的测量方法	26-178
9.1.1.1	振动测量的内容	26-178
9.1.1.2	测振原理	26-178
9.1.1.3	振动量级的表述方法	26-178
9.1.2	振动测量系统	26-179
9.2	振动测量传感器	26-179
9.2.1	加速度传感器	26-179
9.2.1.1	加速度计的原理和结构	26-179
9.2.1.2	加速度计的类型	26-180
9.2.1.3	加速度计的主要性能指标	26-180
9.2.1.4	加速度计的安装	26-180
9.2.1.5	加速度计的选择	26-182
9.2.1.6	适用于不同场合的加速度计	26-182
9.2.1.7	加速度计的标定	26-183
9.2.2	速度传感器	26-183
9.2.3	位移传感器	26-184
9.2.3.1	电涡流传感器	26-184
9.2.3.2	激光位移传感器	26-184
9.2.4	其他传感器	26-184
9.3	测试仪器	26-185
9.3.1	电荷放大器	26-185

9.3.2	电源供给器	26-185
9.3.3	便携式测振仪	26-185
9.4	激振设备	26-186
9.4.1	力锤	26-186
9.4.2	电磁式激振设备	26-186
9.4.2.1	电磁式激振器	26-186
9.4.2.2	电磁式振动台	26-187
9.4.3	电液伺服振动台	26-187
9.4.4	冲击试验机	26-187
9.4.5	压电陶瓷	26-188
9.5	振动测量方法举例	26-188
9.5.1	系统固有频率的测定	26-188
9.5.2	阻尼参数的测定	26-188
9.5.3	刚度和柔度测量	26-188

第10章 机械振动信号处理与故障诊断

10.1	概述	26-190
10.1.1	机械故障诊断概述	26-190
10.1.2	机械故障	26-190
10.1.3	基本维护策略	26-191
10.1.4	故障特征参量	26-192
10.1.5	机械振动信号的分类	26-192
10.2	振动信号处理基础	26-193
10.2.1	频谱	26-194
10.2.2	模数(A/D)转换	26-196
10.2.3	模拟信号采样	26-196
10.2.4	量化误差	26-197
10.2.5	混叠与采样定理	26-197
10.2.6	滤波器	26-198
10.2.7	振动传感器的选择	26-198
10.2.8	测试位置的选择	26-198
10.3	机械振动信号时域分析与故障诊断	26-199
10.3.1	时域特征与故障检测	26-199
10.3.2	相关分析	26-202
10.4	机械振动信号频域分析与故障诊断	26-202
10.4.1	傅里叶变换基础	26-203
10.4.2	利用频谱分析进行故障诊断	26-203
10.4.3	倒谱(cepstrum)分析基础	26-207
10.4.4	利用倒谱分析进行故障诊断	26-208
10.5	旋转机械振动与故障诊断	26-209
10.5.1	旋转机械振动的基本特征	26-209
10.5.1.1	强迫振动	26-210
10.5.1.2	自激振动	26-210
10.5.2	旋转机械常见故障机理与诊断	26-211
10.5.2.1	振动测量与技术	26-211

10.5.2.2	振动标准	26-212
10.5.2.3	旋转机械振动信号特征与故障诊断	26-215
10.6	往复机械振动与故障诊断	26-219
10.6.1	往复机械振动的基本特征	26-219
10.6.2	往复机械故障诊断	26-220
10.7	滚动轴承和齿轮故障诊断	26-222
10.7.1	滚动轴承故障诊断	26-222
10.7.1.1	滚动轴承故障诊断方法及应用	26-222
10.7.1.2	锥形滚子轴承故障诊断示例	26-224
10.7.2	齿轮故障诊断	26-225
10.8	机械故障诊断中的现代信号处理方法	26-227
10.8.1	小波变换及其机械故障诊断应用	26-227
10.8.2	EMD及其机械故障诊断应用	26-229

第11章 机械噪声基础

11.1	声学基本知识	26-231
11.1.1	声波的特性	26-231
11.1.2	描述声场与声源的物理量	26-231
11.1.3	声学物理量的关系及波动方程	26-232
11.1.4	平面、球面和柱面声波	26-232
11.1.5	声波的传播	26-233
11.1.5.1	反射、折射和透射	26-233
11.1.5.2	声波的干涉	26-234
11.1.5.3	散射、绕射和衍射	26-234
11.1.6	自由声场和混响声场	26-234
11.1.7	简单声源模型	26-235
11.1.8	声辐射	26-236
11.2	噪声的评价	26-236
11.2.1	声压级、声强级和声功率级	26-236
11.2.2	声级的综合	26-237
11.2.3	等效声级	26-237
11.2.4	人耳的听觉特性	26-237
11.2.5	噪声的频谱分析	26-238
11.2.6	计权声级	26-238
11.2.7	噪声评价数NR	26-239
11.3	噪声标准与规范	26-240
11.3.1	噪声的危害	26-240
11.3.2	噪声标准目录	26-240
11.3.3	机械设备噪声限值	26-242
11.3.4	工作场所噪声暴露限值	26-244
11.4	机械工程中的噪声源	26-244

11.4.1	机械噪声	26-245
11.4.2	齿轮噪声	26-245
11.4.3	滚动轴承噪声	26-246
11.4.4	液压系统噪声	26-246
11.4.4.1	液压泵噪声	26-246
11.4.4.2	液压阀噪声	26-247
11.4.4.3	机械噪声	26-247
11.4.5	电磁噪声	26-247
11.4.6	空气动力噪声	26-247

第12章 机械噪声测量

12.1	噪声测量概述	26-249
12.1.1	测量目的	26-249
12.1.2	测量注意事项	26-249
12.1.2.1	测点的选择	26-249
12.1.2.2	背景噪声的修正	26-249
12.1.2.3	环境的影响	26-249
12.1.2.4	测量仪器的校准	26-249
12.2	噪声测量仪器	26-250
12.2.1	噪声测量基本系统	26-250
12.2.2	传声器	26-250
12.2.2.1	传声器的性能指标	26-250
12.2.2.2	传声器种类及特点	26-251
12.2.2.3	电容传声器	26-252
12.2.2.4	传声器的使用	26-252
12.2.2.5	特殊传声器	26-253
12.2.2.6	前置放大器	26-253
12.2.3	声级计	26-253
12.2.3.1	声级计的原理及分类	26-253
12.2.3.2	声级计的主要性能	26-253
12.2.3.3	积分声级计	26-255
12.2.3.4	噪声暴露计	26-255
12.2.3.5	统计声级计	26-255
12.2.3.6	频谱声级计	26-255
12.2.4	附件的使用	26-255
12.2.5	记录及分析仪	26-257
12.2.5.1	数据记录与采集	26-257
12.2.5.2	数字式分析仪	26-257
12.2.6	声校准器	26-258
12.3	噪声测量方法	26-259
12.3.1	声级测量	26-259
12.3.1.1	试验目的	26-259
12.3.1.2	试验原理	26-259
12.3.1.3	测点选择	26-259
12.3.1.4	测试内容	26-259

12.3.2	声功率测量	26-260
12.3.2.1	试验目的	26-260
12.3.2.2	试验原理	26-260
12.3.2.3	测点布置	26-261
12.3.3	声强测量	26-262
12.3.3.1	试验目的	26-262
12.3.3.2	试验原理	26-262
12.3.3.3	双传声器探头	26-264
12.3.3.4	声强信号处理方法	26-264
12.3.4	声成像测试	26-264
12.3.4.1	波束成型阵列测试技术	26-265
12.3.4.2	近场声全息测试技术	26-265

第13章 机械噪声控制

13.1	噪声源控制	26-267
13.1.1	噪声控制原则与方法	26-267
13.1.1.1	噪声源的控制	26-267
13.1.1.2	传播途径的控制	26-267
13.1.1.3	噪声接受者(点)的防护	26-267
13.1.2	机械噪声源控制	26-267
13.1.3	空气动力噪声源控制	26-268
13.2	隔声降噪	26-268
13.2.1	隔声性能的评价与测定	26-268
13.2.1.1	隔声量	26-268
13.2.1.2	计权隔声量 R_w	26-268
13.2.1.3	空气声隔声量的实验室测定	26-269
13.2.2	单层均质薄板的隔声性能	26-269
13.2.2.1	隔声频率特性曲线	26-269
13.2.2.2	隔声量计算	26-269
13.2.2.3	常用单层板结构隔声量	26-270
13.2.3	双层板结构的隔声性能	26-271
13.2.3.1	隔声频率特性曲线	26-271
13.2.3.2	隔声量计算的经验公式	26-271
13.2.4	轻型组合结构的隔声性能	26-272
13.2.4.1	各类轻型组合结构的隔声特性	26-272
13.2.4.2	轻型构造中的声桥和提高轻型构造隔声量的方法	26-273
13.2.5	隔声罩	26-273
13.2.5.1	隔声罩和半隔声罩的常用形式	26-273
13.2.5.2	隔声罩隔声效果计算公式	26-273
13.2.5.3	隔声罩设计步骤	26-273
13.2.5.4	隔声罩设计注意事项	26-274

13.2.6 隔声屏	26-274	13.4.1 消声器的类型与性能评价	26-281
13.2.6.1 隔声屏类型	26-274	13.4.1.1 消声器的类型	26-281
13.2.6.2 隔声屏降噪效果	26-274	13.4.1.2 消声器的性能评价	26-282
13.3 吸声降噪	26-275	13.4.2 阻性消声器	26-282
13.3.1 吸声材料和吸声结构	26-275	13.4.2.1 常见形式	26-282
13.3.2 吸声性能的评价与测定	26-276	13.4.2.2 直管式消声器的消声量	26-282
13.3.2.1 吸声性能的评价	26-276	13.4.2.3 其他消声器的消声量	26-283
13.3.2.2 吸声系数的测量	26-277	13.4.3 抗性消声器	26-283
13.3.3 多孔吸声材料	26-277	13.4.3.1 扩张式(膨胀式)消声器	26-283
13.3.3.1 多孔吸声材料的基本类型	26-277	13.4.3.2 共振式消声器	26-284
13.3.3.2 多孔吸声材料的吸声性能	26-278	13.4.3.3 微穿孔板消声器	26-285
13.3.4 共振吸声结构	26-278	13.4.4 复合式消声器	26-285
13.3.4.1 穿孔板共振吸声结构	26-278	13.4.5 喷注消声器	26-285
13.3.4.2 微穿孔板共振吸声结构	26-279	13.4.5.1 节流减压型排气消声器	26-285
13.3.5 吸声降噪量计算	26-279	13.4.5.2 小孔喷注型排气消声器	26-286
13.3.5.1 吸声降噪适用条件分析	26-279	13.4.5.3 节流减压加小孔喷注复合型 排气消声器	26-287
13.3.5.2 单声源时的室内吸声降 噪量计算	26-280	13.4.5.4 多孔材料耗散型排气 消声器	26-287
13.3.5.3 多声源时的室内吸声降 噪量计算	26-280	13.4.6 电子消声器	26-287
13.3.5.4 吸声降噪设计程序	26-281	参考文献	26-289
13.4 消声器	26-281		



第 27 篇 疲劳强度设计

第 1 章 机械零部件疲劳强度与寿命

1.1 零部件疲劳失效与疲劳寿命	27-3
1.1.1 疲劳失效及其特点	27-3
1.1.2 机械零部件常见疲劳失效形式	27-3
1.1.3 疲劳设计准则	27-3
1.1.3.1 名义应力准则	27-3
1.1.3.2 局部应力应变准则	27-4
1.1.3.3 损伤容限设计准则	27-4
1.1.3.4 多轴疲劳准则	27-4
1.2 疲劳载荷	27-4
1.2.1 循环应力	27-4
1.2.2 循环计数法	27-5
1.2.3 载荷谱编制	27-6
1.2.3.1 累积频数曲线	27-7
1.2.3.2 载荷谱编制	27-7
1.2.3.3 应用举例	27-8
1.3 材料疲劳性能	27-8
1.4 疲劳损伤累积效应与法则	27-9
1.4.1 线性疲劳累积损伤 (Miner) 法则	27-9

1.4.2 相对 Miner 法则	27-10
-------------------------	-------

第 2 章 疲劳失效影响因素与提高

疲劳强度的措施

2.1 应力集中效应	27-11
2.1.1 应力分布及材料对应力集中的 敏感性	27-11
2.1.2 理论应力集中系数	27-12
2.1.2.1 带台肩圆角的机械零件的 理论应力集中系数	27-13
2.1.2.2 带沟槽的机械零件的理论 应力集中系数	27-17
2.1.2.3 开孔的机械零件的理论应力 集中系数	27-22
2.1.2.4 其他典型零件的理论应力 集中系数	27-25
2.1.3 有效应力集中系数	27-26
2.1.3.1 带台肩圆角的机械零件的 有效应力集中系数	27-26
2.1.3.2 带沟槽的机械零件的有效	

应力集中系数	27-28
2.1.3.3 开孔的机械零件的有效	
应力集中系数	27-31
2.1.3.4 其他常用零件的有效	
应力集中系数	27-32
2.2 尺寸效应	27-36
2.3 表面状态效应	27-38
2.3.1 表面精度影响	27-38
2.3.2 表面强化效应	27-38
2.4 载荷影响	27-40
2.4.1 载荷类型影响	27-40
2.4.2 载荷频率影响	27-40
2.4.3 平均应力影响	27-41
2.5 环境因素	27-43
2.5.1 腐蚀环境	27-43
2.5.1.1 载荷频率的影响	27-43
2.5.1.2 腐蚀方式的影响	27-44
2.5.1.3 腐蚀介质的影响	27-44
2.5.1.4 结构尺寸与形状的影响	27-44
2.5.2 温度的影响	27-46
2.5.2.1 低温的影响	27-46
2.5.2.2 高温的影响	27-47
2.6 提高零件疲劳强度的方法	27-57
2.6.1 合理选材	27-57
2.6.2 材料改性	27-57
2.6.3 改进结构	27-57
2.6.4 表面强化	27-59
2.6.4.1 表面喷丸	27-59
2.6.4.2 表面辊压	27-60
2.6.4.3 内孔挤压	27-62
2.6.4.4 表面化学热处理	27-62
2.6.4.5 表面淬火	27-65
2.6.4.6 表面激光处理	27-65

第 3 章 高周疲劳强度设计方法

3.1 材料的常规疲劳性能数据	27-67
3.1.1 材料疲劳极限	27-67
3.1.2 材料的 S-N 曲线	27-74
3.1.3 疲劳安全系数	27-88
3.2 无限寿命设计	27-91
3.2.1 单向应力状态下的无限寿命设计	27-91
3.2.1.1 计算公式	27-91
3.2.1.2 设计实例	27-92
3.2.2 复杂应力状态下的无限寿命设计	27-93
3.2.3 连接件的疲劳寿命估算——应力	

严重系数法	27-93
3.3 有限寿命设计	27-95
3.3.1 计算公式	27-95
3.3.2 寿命估算	27-95
3.3.3 设计实例	27-95

第 4 章 低周疲劳强度设计方法

4.1 材料低周疲劳性能	27-97
4.2 循环应力-应变曲线	27-99
4.2.1 滞回线	27-99
4.2.2 循环硬化与循环软化	27-100
4.2.3 循环应力-应变曲线	27-100
4.3 应变-寿命曲线	27-103
4.3.1 应变-寿命方程	27-103
4.3.2 四点法求应变-寿命曲线	27-105
4.3.3 通用斜率法	27-106
4.4 低周疲劳的寿命估算	27-106
4.4.1 直接法	27-106
4.4.2 裂纹形成寿命估算方法	27-107
4.4.2.1 局部应力-应变分析	27-108
4.4.2.2 裂纹形成寿命估算方法	27-110
4.4.2.3 设计实例	27-111

第 5 章 裂纹扩展寿命估算方法

5.1 应力强度因子与断裂韧性	27-114
5.1.1 应力强度因子	27-114
5.1.2 断裂韧度	27-114
5.2 裂纹扩展特性与裂纹扩展速率	27-124
5.2.1 裂纹扩展过程	27-124
5.2.2 裂纹扩展门槛值 ΔK_{th}	27-125
5.2.3 裂纹扩展速率 da/dN	27-127
5.3 疲劳裂纹扩展寿命估算方法	27-138
5.4 算例	27-138
5.5 损伤容限设计	27-139
5.5.1 损伤容限设计概念	27-139
5.5.2 损伤容限设计的内容	27-140
5.5.2.1 确定关键件	27-140
5.5.2.2 材料选择	27-140
5.5.2.3 结构细节设计的控制	27-141
5.5.3 结构设计	27-141
5.5.4 缺陷假设	27-142
5.5.4.1 初始裂纹尺寸	27-142
5.5.4.2 连续损伤假设	27-142
5.5.4.3 剩余结构损伤	27-143

5.5.4.4	使用中检查后损伤假设	27-143
5.5.5	剩余强度	27-143
5.5.5.1	剩余强度概念	27-143
5.5.5.2	多途径传力结构剩余强度 曲线	27-144
5.5.6	损伤检查	27-146
5.5.6.1	可检查度	27-147
5.5.6.2	检查能力评估方法	27-147
5.5.6.3	检查间隔	27-149

第6章 疲劳实验与数据处理

6.1	疲劳试验机	27-152
6.1.1	疲劳试验机的种类	27-152
6.1.2	疲劳试验加载方式	27-152
6.1.3	疲劳试验控制方式	27-152
6.1.4	疲劳试验数据采集	27-153
6.2	疲劳试样及其制备	27-153
6.2.1	试样	27-153
6.2.1.1	光滑试样	27-153
6.2.1.2	缺口试验	27-154
6.2.1.3	低周疲劳试样	27-154
6.2.1.4	疲劳裂纹扩展试样	27-155
6.2.2	试样制备	27-156

6.2.2.1	取样	27-156
6.2.2.2	机械加工	27-156
6.2.2.3	热处理	27-157
6.2.2.4	测量、探伤与储存	27-157
6.3	疲劳试验方法	27-157
6.3.1	S-N 曲线试验	27-157
6.3.1.1	单点试验法	27-157
6.3.1.2	成组试验法	27-158
6.3.2	疲劳极限试验	27-159
6.3.3	ϵ -N 曲线试验	27-160
6.3.4	应力-应变曲线试验	27-161
6.3.5	裂纹扩展速率 (da/dN 曲线) 试验	27-162
6.3.6	断裂韧性试验	27-162
6.4	疲劳试验数据处理	27-163
6.4.1	可疑观测值的取舍	27-163
6.4.2	S-N 曲线拟合	27-164
6.4.3	ϵ -N 曲线拟合	27-165
6.4.4	应力-应变曲线拟合	27-166
6.4.5	da/dN 曲线拟合	27-166
6.4.6	断裂韧性试验数据处理	27-168
参考文献		27-170



第28篇 可靠性设计

第1章 机械失效与可靠性

1.1	机械零部件的典型失效形式	28-3
1.1.1	静载失效	28-3
1.1.2	疲劳失效	28-3
1.1.3	腐蚀失效	28-3
1.1.4	磨损失效	28-4
1.1.5	冲击失效	28-4
1.1.6	振动失效	28-4
1.2	机械零部件的力学性能与失效影响 因素	28-4
1.2.1	静载拉伸特性	28-4
1.2.2	静强度性能	28-5
1.2.3	疲劳性能	28-6
1.3	安全设计准则	28-7
1.3.1	静强度准则	28-7
1.3.2	疲劳强度准则	28-7
1.3.3	断裂准则	28-8

1.3.4	磨损设计准则	28-8
1.3.5	振动稳定性准则	28-9
1.4	可靠性及其指标	28-9
1.4.1	产品质量	28-9
1.4.2	产品的可靠性	28-9
1.4.3	产品可靠性与全寿命周期费用	28-10
1.4.4	寿命均值与方差	28-10
1.4.5	平均无故障工作时间	28-11
1.4.6	产品寿命分布与可靠度	28-11
1.4.7	失效率	28-11
1.4.8	可靠寿命与特征寿命	28-13
1.4.9	维修度	28-13
1.4.10	有效度	28-13

第2章 可靠性设计流程

2.1	可靠性目标及其分解	28-15
2.2	可靠性设计流程	28-15
2.3	设计各阶段的可靠性工作内容	28-16