

机械设计手册

MACHINE DESIGN
HANDBOOK

机械工业出版社

2

R78.28.00.00
6.2
2

机 械 设 计 手 册

第 2 卷

主 编 徐 灏

副主编 邱宣怀 蔡春源

汪 恺 余 俊



机 械 工 业 出 版 社

内 容 提 要

该手册是为了满足广大读者强烈要求组织编写出版的。该书内容新、系统、全面。包括了所有现代设计和常规设计方法,数据、图表丰富,实用性强。全书共42篇,分5卷陆续出版。

本卷以机械设计现代设计理论和设计方法为主,内容包括:机构及机械系统设计、造型设计和人机工程、价值工程、疲劳强度设计、蠕变设计、可靠性设计、优化设计、失效分析和故障诊断、机械设计工程数据库、计算机辅助设计等。提供现代机械设计理论、方法,从整体设计出发,提供优化、可靠、造型、计算机辅助设计等方面的数据和具体方法,供有关技术人员查阅使用。

机 械 设 计 手 册

第2卷

主 编 徐 颢

副主编 邱宣怀 蔡春源

汪 恺 余 俊

责任编辑: **张继铨** 陈国威 曲彩云 朱亚寇

李骏带 李书全 王兴垣 张秀恩

版式设计: 胡金瑛 封面设计: 郭景云

责任校对: 熊天荣 肖新民 责任印制: 王国光

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 1/16·印张 92 1/2·插页 3·字数 2864 千字

1991年9月北京第一版·1991年9月北京第一次印刷

印数 00,001—36,000·定价:53.00 元

ISBN 7-111-02535-0/TH·414

前 言

《机械设计手册》是继《机械工程手册》之后出版的一部大型机械设计专业技术工具书。

机械工业担负着向国民经济各部门,包括工业、农业和社会生活各个方面提供各种性能先进、价格低廉、使用安全可靠的技术装备的任务,所以在现代化建设中是举足轻重的。市场竞争的生命力在于产品的水平。任何科技成果要转变为有竞争力的商品,设计起着关键性的作用。机械设计是机械产品研制的第一道工序,设计工作的质量和水平,直接关系到产品质量、性能、研制周期和技术经济效益。工业发达国家都十分重视产品设计:日本认为,工业发达是企业对产品设计高度重视的结果;美国认为,设计是一本万利的事,对产品设计投资1美元,带来的利润却是1500美元;英国认为,产品设计是英国工业的命脉,英国工业革新必须以设计为中心,始终应把产品设计作为企业的头等大事,应时常探索研究使产品设计尽善尽美;法国认为,设计是工业的生命,要培养超一流设计大师,要大胆启用有才华有实践工作经验的设计人员。

这里,有必要回顾一下机械和机械设计发展的历史。机械的发明和发展,是先由几种简单工具开始的。石器时代的石刀、石斧,只是为了能省力或便于用力。后来发展到利用杠杆原理制作灌溉或扬水用的桔槔,利用滑轮原理制作重物提升用的辘轳等简单机械。这些机械所需的原动力是直接出自人的本身。为了省力和扩大力,开始时利用牲畜力,后来利用风力和火力。待到18世纪60年代发明了蒸汽机,作为动力带动了纺织机、磨粉机、鼓风机、工作母机和铁路机车,促进了冶金、轮船和火车等工业的发展。到19世纪60年代,出现了第一台直流发电机,到19世纪80年代,研制成功了交流发电机和交流电动机,20世纪初,电动机已在工业生产中取代了蒸汽机,成为驱动各种工作机械的基本动力。电气技术的应用,使机械工业得到了高速的发展。工业的发展,要求围绕机械设计制造的基础理论和设计方法,能适应当时机械工业的形势。到18~19世纪,材料科学、结构力学、弹性力学、流体力学、热力学、制图和公差等,都分别发展成为一门独立学科。但由于机械设计的复杂性,还需将这些学科在应用于设计时作某些简化假设,再加上设计人员的经验,逐渐形成了一整套机械设计方法。在这套设计方法中,要应用一些经验设计方法、经验设计公式和经验系数等,称之为常规设计或传统设计。

1946年世界上第一台电子数字计算机诞生。经历了电子管、半导体、集成电路和大型集成电路的发展,电子计算机在机械设计中已广为采用。电子计算机的发展,使有限元法、优化设计和计算机辅助设计等成为可能。加上材料科学、计算力学、摩擦学和设计理论等的发展,逐渐形成了一套现代设计理论和方法。现代设计的特点为:(1)从静态设计到动态设计;(2)从单项设计指标到综合设计指标;(3)从常规设计到精确设计;(4)从手算设计到广泛应用计算机的设计。常规设计是不可缺少的,但对于培养具有更广阔视野的设计人员来说显得非常不够。近二、三十年,设计方法更为科学化、系统化、完善化和现代化了,虽然如此,常规设计仍然是重要基础。

由于机械产品品种繁多,除一些重要的机械产品(如机床等)有专业手册,加上综合性的《机械工程手册》外,编写一部能统贯整个机械设计领域,主要写机械设计共性内容,具

IV 前 言

有现代设计水平,实用性强,为机械设计学科领域的机械设计人员、科研和教学工作者查阅使用的《机械设计手册》,实属当务之急。为此,机械工业出版社于1985年冬着手组织全国专家、学者进行《机械设计手册》的编写工作。

本手册是在现代设计方法在我国经历了宣传普及阶段并在设计中初步取得成果、新的设计标准规范陆续制订公布的有利时机完成编写工作的。在制订编写提纲过程中,广泛听取了各方面的意见,将设计作为一个整体来考虑,不仅要考虑强度和润滑等常规设计注意的问题,还要考虑便于制造、技术经济指标合理和美观等方面,贯彻“四性”(实用性、整体性、科学性、先进性)精神,立足于80年代机械设计水平进行编写。手册中的计量单位一律采用国家法定计量单位,原有的数据单位,还没换成法定单位的,我们一律换算成法定单位。标准均为现行标准。

本手册共有42篇,分5卷出版。第1卷共7篇。第1篇机械设计总论,对机械设计的地位、设计遵循原则、设计的内容和设计方法作战略性的描述,使读者对机械设计有整体性理解。后面6篇是机械设计的基础理论和基本数据,各篇尽量用较小的篇幅写出覆盖面广的现代设计所需的实用内容。第2卷共10篇,是现代设计理论和设计方法。其中第8篇机构及机械系统设计,是机械设计的第一步骤,它是方案设计的主要内容。考虑到现代设计中的计算机应用,故以数值解法为主,代替了传统的图解法。第9篇造型设计和人机工程,介绍机械设计中如何考虑机器的形体和色彩,如何考虑操作者的人体尺寸、出力大小和视力范围等。第10篇价值工程,介绍机械设计中技术经济指标的计算以及评价和决策。下面几篇疲劳强度设计、蠕变设计、可靠性设计、优化设计、计算机辅助设计,都是一些现代设计方法。第16篇是计算机辅助设计所用的“数据库”,第15篇是与现代设计密切相关的“失效分析和故障诊断”。这些篇大多是现有手册中没有的,个别篇虽然少数手册中有类似的篇名,但本手册是从现代设计的要求出发进行编写,内容新而且深入。第3卷共8篇,第4卷共11篇,是机械零部件设计部分。虽然其中大部分篇名,在一些机械设计手册中也有,但本手册采用了最新的标准规范,尽量与现代设计相结合,所以各篇中都有一些内容,甚至整篇内容在一般手册中是没有的。一些重要的设计计算,另备有设计软件包。第5卷共6篇,是各种传动、机械自动化和工业机器人。其中工业机器人是机电仪一体化的典型产品,作为本手册的终篇,对贯彻本手册编写意图是有深刻含意的。为与本手册精神相一致,工业机器人也只写其共性部分。

《机械设计手册》是一部千万字的巨著,参加编写人员近200名,组织工作繁重。为了统一编写精神,经多次讨论确定了编写体例,按篇确定主编,由主编提出编写人员,召开编写会,审查各篇的编写提纲,按篇确定2~4位审稿人,初稿完成后送审,审稿意见与编写人见面,共同商量改稿意见,在此基础上,部分篇召开了审稿会。待到条件成熟,按卷召开定稿会。所以,本手册的出版,是在国内大专院校、研究院所和工厂的教授、研究人员和工程师的积极参加下完成的,并得到机械工业出版社、机械电子工业部科技司和东北工学院等单位的大力支持,这是本手册能够在较短的时间内从组织编写到出书的有力保证,在此谨向大家表示诚挚的感谢,并衷心希望广大读者提出批评意见,使本手册在修订时能有所改进。

徐 灏

1988年11月

目 录

第 8 篇 机构及机械系统设计

第 1 章 机构的基本概念和分析方法

1 运动副	3
2 机构运动简图	4
3 机构自由度	12
3.1 平面机构自由度	12
3.2 空间机构自由度	15
3.2.1 单闭环空间机构	15
3.2.2 多闭环空间机构	15
4 平面机构的结构分析	20
4.1 高副替换成低副	20
4.2 杆组及其分类	20
4.3 平面机构级别的判定	21
5 平面机构的运动分析	23
5.1 速度瞬心的概念及其在机构速度 分析中的应用	23
5.2 机构运动分析的图解方法	24
5.2.1 图解方法所依据的原理	24
5.2.2 四杆机构运动分析的图解方法	25
5.3 机构运动分析的解析方法	27
5.3.1 I 级机构	27
5.3.2 高级机构	31
6 平面机构的动态静力分析	34
6.1 机械工作过程中所受的力	34
6.2 I 级机构的动态静力分析方法	35

第 2 章 机构选型

1 匀速转动机构	38
1.1 定传动比转动机构	38
1.1.1 摩擦传动机构	38
1.1.2 齿轮轮系传动机构	39
1.1.3 平行四杆机构	41
1.1.4 联轴器与转动导杆机构	42
1.2 可变传动比转动机构	43
1.2.1 有级变速传动机构	43

1.2.2 无级变速传动机构	44
2 非匀速转动机构	47
2.1 非圆齿轮机构	47
2.2 双曲柄四杆机构	48
2.3 转动导杆机构	49
2.4 组合机构	49
3 往复运动机构	50
3.1 曲柄摇杆往复运动机构	51
3.2 双摇杆往复运动机构	51
3.3 滑块往复移动机构	53
3.4 凸轮式往复运动机构	54
3.5 齿轮式往复运动机构	56
4 行程放大和可调行程机构	57
4.1 行程放大机构	57
4.2 可调行程机构	61
4.2.1 棘轮调节机构	61
4.2.2 偏心调节机构	62
4.2.3 螺旋调节机构	63
4.2.4 摇杆调节机构	64
5 间歇运动机构	65
5.1 间歇转动机构	65
5.1.1 棘轮间歇机构	65
5.1.2 槽轮间歇机构	66
5.1.3 凸轮间歇机构	68
5.1.4 不完全齿轮间歇转动机构	69
5.1.5 偏心轮分度定位机构	70
5.2 间歇摆动机构	71
5.2.1 单侧间歇摆动机构	71
5.2.2 双侧间歇摆动机构	71
5.2.3 中途停歇摆动机构	72
5.3 间歇移动机构	72
5.3.1 单侧间歇移动机构	72
5.3.2 双侧间歇移动机构	73
5.3.3 中途间歇移动机构	74
6 换向、单向机构	75

VI 目 录

6.1 换向机构	75	2 常用平面四杆机构的运动分析	
6.2 单向机构	78	公式	123
7 差动机构	80	3 平面连杆机构设计的基本问题	
7.1 差动螺旋机构	80	和方法	125
7.2 差动棘轮与差动齿轮机构	82	3.1 平面连杆机构设计的基本问题	125
7.3 差动连杆机构	83	3.2 平面连杆机构的设计方法	125
7.4 差动滑轮机构	84	4 导引机构的设计	125
8 实现预期轨迹的机构	84	4.1 几何法的基本原理	125
8.1 直线机构	85	4.1.1 转动极点	125
8.1.1 精确直线机构	85	4.1.2 等视角关系	126
8.1.2 近似直线机构	86	4.1.3 相对转动极点	126
8.2 特殊曲线绘制机构	88	4.2 实现连杆两个位置的平面四杆机	
8.3 机械加工非圆机构	90	构的设计	126
8.4 工艺轨迹机构	92	4.3 实现连杆三个位置的平面四杆机	
9 气、液驱动连杆机构	95	构的设计	127
10 增力及夹持机构	97	4.4 实现连杆四个位置的平面四杆机	
11 伸缩机构和装置	100	构的设计	128
12 间隙消除装置	101	4.5 定长法设计实现连杆三个位置的	
12.1 齿轮啮合间隙消除装置	101	平面四杆机构	128
12.2 螺旋间隙消除装置	102	4.6 定长法设计实现连杆四个位置的	
13 过载保险装置	105	平面四杆机构	130
14 定位联锁装置	107	5 函数机构的设计	130
15 工件移置机构	110	5.1 用几何法按输入杆与输出杆满足	
15.1 光轴类工件移置机构	112	几组对应位置设计平面四杆机构	130
15.2 螺钉、销钉类工件移置机构	112	5.1.1 满足两组对应位置的设计	130
15.3 片、块状工件移置机构	112	5.1.2 满足三组对应位置的设计	131
15.4 复杂形工件转位移置机构	113	5.2 用解析法实现两连架杆角位置的	
16 工作头机构	114	函数关系设计平面四杆机构	132
16.1 零件装配工作头机构	114	5.2.1 按两连架杆预定的对应位置	
16.2 零件检验测试装置	115	设计	132
		5.2.2 按两连架杆角位置呈连续函	
		数关系设计铰链四杆机构	133
		5.3 按从动杆的急回特性设计平面四	
		杆机构	134
		5.3.1 曲柄摇杆机构的设计	134
		5.3.2 曲柄滑块机构的设计	135
		5.3.3 导杆机构的设计	135
		5.4 按从动杆近似停歇要求设计平面	
		四杆机构	136
		5.4.1 曲柄摇杆机构的设计	136
		5.4.2 曲柄滑块机构的设计	136
		6 轨迹机构的设计	137
第3章 连杆机构设计			
1 平面四杆机构的应用和基本			
型式	118		
1.1 平面连杆机构的特点和应用	118		
1.2 铰链四杆机构的基本型式	118		
1.3 平面四杆机构的基本型式及其曲			
柄存在条件	118		
1.4 平面四杆机构的急回特性	120		
1.5 平面四杆机构的压力角与传动角	120		
1.6 平面四杆机构的运动连续性	121		
1.7 平面四杆机构应用举例	121		

6.1 按照给定轨迹设计平面四杆机构 的原理.....137	1.1 共轭曲线、瞬心线与啮合线.....151
6.2 按连杆曲线与给定曲线准确或近似 地重合来设计平面四杆机构.....137	1.2 齿廓啮合基本定律和卡姆斯(Camus) 定理.....151
6.2.1 实验法.....137	2 定速比传动的共轭曲线机构设 计151
6.2.2 解析法.....138	2.1 坐标转换.....151
6.2.3 应用连杆曲线图谱法.....139	2.2 应用包络法求共轭曲线.....152
6.3 利用连杆曲线设计输出杆近似停歇 和直线导向的平面四杆机构示例.....140	2.3 应用齿廓法线法求共轭曲线.....153
6.4 实现同一轨迹的相当机构.....142	2.4 应用卡姆斯定理求一对共轭曲线.....154
7 气液动连杆机构143	2.5 过渡曲线.....154
7.1 气液动连杆机构的特点和基本 型式.....143	2.6 共轭曲线的曲率半径及其关系.....156
7.2 气液动连杆机构位置参数的计算.....143	2.7 啮合角、压力角、滑动系数和 重合度.....157
7.3 气液动连杆机构运动参数和动力 参数的计算.....144	2.8 啮合界限点与干涉界限点.....158
7.4 气液动连杆机构基本参数的选择.....144	3 变速比传动的非圆齿轮设计159
7.5 气液动连杆机构的设计.....145	3.1 非圆齿轮瞬心线计算的一般方法.....159
7.5.1 按摇杆摆角 ϕ_{12} 及初始角 ϕ_1 设计对中式气液动连杆机构.....145	3.2 非圆齿轮设计计算和切齿计算.....160
7.5.2 按摇杆摆角 ϕ_{12} 、液压缸初始 长度 L_1 、活塞行程 $H_{12} = L_2 - L_1$ 设计对中式气液动连杆机构.....145	3.2.1 用展成法加工一对非圆齿轮的 原理.....160
7.5.3 用作图法按摇杆摆角 ϕ_{12} 、许用 传动角 $[\gamma]$ 和 λ 值设计对中式 气液动连杆机构.....145	3.2.2 瞬心线的两个条件.....160
7.5.4 用作图法按摇杆和活塞行程 四组对应位置设计气液动连杆机 构.....146	3.2.3 非圆齿轮的齿数、模数和压力 角.....160
8 空间连杆机构146	3.2.4 应用数控机床加工非圆齿轮时 的数值算法.....161
8.1 空间连杆机构的特点和应用.....146	3.3 椭圆齿轮.....161
8.2 空间四杆机构的设计.....147	3.3.1 一对全等的椭圆齿轮传动.....163
8.2.1 按主、从动杆三组对应位置 设计 RSSR 机构.....147	3.3.2 卵形齿轮传动.....164
8.2.2 按给定函数关系设计 RSSR 机构.....148	3.4 偏心圆齿轮.....167
8.2.3 按从动杆摆角和急回特性设计 RSSR 机构.....149	3.4.1 一对全等的偏心圆齿轮传动.....167
8.2.4 按主、从动杆三组对应位置 设计 RSSP 机构.....150	3.4.2 偏心圆齿轮与非圆齿轮传动.....169
第 4 章 共轭曲线机构设计	第 5 章 凸轮机构设计
1 瞬心线和共轭曲线151	1 凸轮机构及其类型172
	1.1 凸轮机构的基本类型.....173
	1.1.1 平面凸轮机构的基本类型及 特点.....173
	1.1.2 空间凸轮机构的基本类型及 特点.....174
	1.2 凸轮机构的锁合方式.....175
	2 从动件的运动规律176
	2.1 一般概念.....176
	2.1.1 从动件的运动类型.....176
	2.1.2 无因次运动参数.....177

VIII 目 录

2.1.3 运动规律的特性值及选择运动规律的原则	178
2.2 多项式运动规律	180
2.2.1 多项式的一般形式及其求解方法	180
2.2.2 典型边界条件下多项式的通用公式	180
2.3 组合运动规律	182
2.4 用数值微分法求速度和加速度	192
3 凸轮机构的压力角、凸轮的基圆半径和最小曲率半径	192
3.1 压力角	192
3.2 凸轮廓线的基圆半径	194
3.3 凸轮廓线的曲率半径	196
4 盘形凸轮廓线的设计	201
4.1 作图法	201
4.2 解析法	203
4.2.1 滚子从动件盘形凸轮	203
4.2.2 平底从动件盘形凸轮	206
5 空间凸轮的设计	206
5.1 圆柱凸轮和圆锥凸轮	206
5.2 蜗杆凸轮	208
6 高速凸轮设计简介	211
6.1 从动件对激振的位移响应	212
6.2 动力凸轮廓线设计	213
6.3 从动件的跳动	214
6.3.1 力锁合	214
6.3.2 形锁合	215

第6章 棘轮机构、槽轮机构和不完全齿轮机构

1 棘轮机构设计	217
2 槽轮机构设计	220
3 不完全齿轮机构设计	229

第7章 组合机构

1 齿轮连杆机构	236
1.1 获得近似等速往复运动的齿轮连杆机构	236
1.1.1 导杆机构通过齿轮和正弦机构联接	236
1.1.2 椭圆齿轮与正弦机构联接	237

1.2 获得大摆角的齿轮连杆机构	239
1.3 获得近似停歇运动的齿轮连杆机构	240
1.3.1 行星轮系连杆机构	240
1.3.2 齿轮曲柄摇杆机构	241
2 凸轮连杆机构	244
2.1 实现特定运动规律的凸轮连杆机构	244
2.2 实现特定运动轨迹的凸轮连杆机构	245
3 齿轮凸轮机构	248
3.1 实现特定运动规律的齿轮凸轮机构	248
3.2 实现特定运动轨迹的齿轮凸轮机构	249
4 联动凸轮机构	250

第8章 机构精确度

1 误差的基本概念	251
1.1 误差的定义	251
1.2 误差分类	251
1.3 机构精度的评定指标	251
1.4 随机误差	251
1.5 系统误差	252
2 机构误差	252
2.1 机构误差的基本概念	252
2.2 机构误差的产生原因和构件原始误差的分类	252
2.3 机构误差的一般关系式	253
3 平面连杆机构的原始位置误差分析	254
3.1 转化机构微小位移法	254
3.2 影响系数法	256
4 凸轮机构原始位置误差分析	258
5 齿轮机构原始位置误差分析	259
5.1 基本概念	259
5.2 齿轮机构原始位置误差的简化计算	259
5.3 齿轮机构空程误差的估算	260
5.3.1 空程误差的基本概念	260
5.3.2 齿轮机构空程误差的估算	260
6 机械传动系统位置误差的分析	262

6.1 机构串联系统位置误差的分析·····262	5.3 动力机和工作机的工作点·····282
6.2 机构并联系统位置误差分析·····263	5.4 工作点的稳定性·····284
6.3 机构混联系统位置误差分析·····263	5.5 起动特性对最大加速力矩的影响·····285
6.4 多自由度机构位置误差分析·····263	5.6 异步电动机与工作机的匹配·····285
6.5 封闭式传动机构位置误差分析·····264	5.7 汽车传动的力矩匹配和转速匹配·····286
7 设计时提高机构传动精度的一般 原则和方法·····265	5.8 飞轮在匹配中的作用·····287
8 按给定的精度要求制定公差的 简单方法·····266	6 机械系统的变形补偿·····287
8.1 等公差法·····266	7 机械系统的合理分流传递·····288
8.2 原始误差等效作用法·····266	8 机器工作循环图·····289
8.3 简易计算法·····266	
8.4 误差补偿法·····266	
第9章 机械系统设计	第10章 机械系统动力学分析与设计
1 基本概念·····267	1 机械系统的等效模型·····293
1.1 机械系统的组成·····267	2 等效构件的运动方程式及其求解·····294
1.2 机械系统的特性·····267	3 飞轮设计·····296
2 动力机的性能和选择·····267	3.1 飞轮转动惯量的计算·····296
3 工作机的工况·····270	3.2 飞轮的结构尺寸设计·····298
3.1 $n-T$ 特性·····270	4 刚性转子的平衡·····299
3.2 工作制度·····272	5 平面机构的平衡·····302
4 传动的类型及选择·····272	5.1 对称机构法·····302
4.1 传动的分类·····272	5.2 对重平衡法·····303
4.2 传动类型选择的依据·····274	6 考虑构件弹性的机械动力学分析·····303
4.3 各种传动的特点和应用·····275	6.1 定速比传动系统的弹性动力学分析·····304
4.4 传动类型的选择·····280	6.1.1 力学模型的建立·····304
4.4.1 选择的基本原则·····280	6.1.2 运动微分方程式及其求解·····305
4.4.2 定传动比传动的选择·····280	6.2 平面连杆机构的弹性动力学分析·····307
4.4.3 有级变速传动的选择·····280	6.2.1 节点力、节点变形和单元位移 函数·····307
4.4.4 无级变速传动的选择·····280	6.2.2 动能 E 及等效质量矩阵·····308
4.4.5 单流传动和多流传动的选择·····281	6.2.3 势能 U 及单元刚度矩阵·····308
5 动力机和工作机的匹配·····281	6.2.4 广义力的求法·····309
5.1 机械系统简图·····281	6.2.5 单元运动方程式·····310
5.2 典型机械特性曲线·····282	6.2.6 系统运动方程式·····311
	6.2.7 系统运动方程式的求解·····312
	参考文献·····312

第9篇 造型设计和人机工程

第1章 机器造型设计概述

1 造型设计定义·····3
2 造型设计的组成要素·····3
3 造型设计的特征与原则·····4

4 造型设计的工作程序与步骤·····4

第2章 造型设计的艺术表现法则

1 机器造型的比例与尺度·····6
1.1 定义·····6

X 目 录

1.2 特征	6
1.3 造型设计常用比例与特征	6
1.4 常用比例的相互转换(特征矩形的分割)	8
1.5 比例设计方法	14
2 机器形态的均衡与稳定	16
2.1 定义	16
2.2 获得均衡稳定的方法	18
3 机器形态的统一与变化	18
3.1 定义	18
3.2 造型整体统一的方法	18
3.3 造型统一中求变化的方法	22

第3章 机器形态的构成方法

1 定义	24
2 造型的形态要素及其形式心理	24
3 常用几何曲线的构成与演变	27
4 常用几何面的构成与演变	35
5 常用几何体的构成与演变	38
6 造型形态构成的基本法则	40
7 造型设计中的错视与矫正	44

第4章 机器产品的色彩设计

1 色彩性质与要素	47
2 色彩体系与表示方法	48
3 常用色彩术语	51
4 产品色彩设计的指导性原则	52
5 色彩配置的方法与效果	52
5.1 色相调和法	52
5.2 明度调和法	55
5.3 纯度调和法	56
6 色彩功能与应用	57
7 色彩的好恶	59
8 主体色的数量与配置方式	60

第5章 机器的装饰设计和面饰工艺

1 线条装饰与方法	62
2 面板(标牌)设计与工艺选择	63
3 机器涂饰的油漆涂料选择	68
4 机器外观件的面饰处理方法选择	72

第6章 机器造型的宜人性设计

1 人机工程概述	75
1.1 术语与定义	75
1.2 人机能力比较与选择	75
1.3 人的感觉通道性质与选择	76
1.4 人机关系设计的指导原则	77
2 人体尺寸数据	79
2.1 人体尺寸概念	79
2.2 成年男女人体的主要尺寸数据	79
2.3 采用人体数据百分位的建议与尺寸数值计算	88
3 人的肢体正常活动范围与空间选择	88
4 人体模板与操作姿势及空间设计	91
4.1 人体模板	91
4.2 装配、维修的操作空间尺寸	93
4.3 工作位置的平面高度与调节范围	95
4.4 操作姿态下的有利工作区域与方向	96
4.5 以身高为基准的设备与用具空间尺寸的推算图表	99
5 人的视野	101
6 人的肢体用力限度	102
6.1 成人站姿操作的用力状态与范围	102
6.2 成人坐姿操作的用力状态与范围	104
7 指示与操作装置的设计及选择	105
7.1 术语	105
7.2 指示装置的形式与排列方式选择	105
7.3 操作、调节装置形式、参数与安置空间的选择	109

第7章 工作环境设计

1 工作环境的照明设计	114
1.1 术语	114
1.2 工作环境照明的一般要求与参数选择	114
2 工作环境的小气候要求	119
3 工作环境的安全防护设计	119
3.1 术语	119
3.2 工作环境安全防护的一般要求与参数选择	120
参考文献	123

第10篇 价 值 工 程

第1章 价值工程的基本原理

1 价值工程中功能、寿命周期成本、价值的涵义	3
2 价值工程的定义与特点	3
2.1 价值工程的定义	3
2.2 价值工程的特点	3
3 提高产品价值的主要途径	4
4 价值工程的应用	4
4.1 价值工程的应用范围	4
4.2 价值工程应用的时机	4
5 价值工程的工作程序和指导原则	4
5.1 价值工程的工作程序	4
5.2 价值工程程序的结合	5
5.3 开展 VE 活动的指导原则	5

第2章 机械产品价值工程对象的选择和情报收集

1 价值工程对象的选择	6
1.1 价值工程对象的选择原则	6
1.2 价值工程对象的选择方法	6
1.2.1 经验分析法	6
1.2.2 价值测定法	7
1.2.3 百分数分析法	7
1.2.4 寿命周期分析法	7
1.2.5 成本比重分析法	8
1.2.6 强制确定法	8
1.2.7 最合适区域法	9
2 价值工程中的情报收集	10
2.1 情报内容	10
2.2 情报收集的原则	11

第3章 机械产品的功能分析

1 功能分析的涵义	12
2 功能定义	12
2.1 功能定义的涵义	12
2.2 功能定义的目的	12
2.3 功能定义的方法	12
2.4 功能定义的检查	12

3 功能整理	13
3.1 功能整理的涵义	13
3.2 功能整理的目的	13
3.3 功能分类	13
3.3.1 按功能的重要程度分类	13
3.3.2 按功能的特点分类	13
3.3.3 按用户需要分类	13
3.4 功能整理的方法	13
4 功能评价	14
4.1 功能评价的涵义	14
4.2 功能评价的目的	14
4.3 功能评价的步骤	14
4.4 功能评价的方法	15
4.4.1 功能现实成本的估算	15
4.4.2 功能最低成本的估算	15
4.4.3 功能价值的计算	17
4.4.4 功能或功能区目标成本的确定	18

第4章 机械产品设计方案创造和评价

1 方案的创造	19
1.1 方案创造的过程	19
1.2 方案创造的原则	19
1.3 方案创造的方法	19
1.3.1 自由讨论法	19
1.3.2 哥顿法	19
1.3.3 检核表法	20
1.3.4 输入输出法	21
1.3.5 方案组合法	22
1.3.6 缺点列举法	22
1.3.7 仿生学法	22
1.4 方案创造的工作方法	22
1.4.1 方案创造的思考	22
1.4.2 方案的图形化	23
1.4.3 方案的具体化与筛选	23
1.4.4 方案的检查	23
2 方案的评价	24
2.1 方案的概略评价	24
2.1.1 概略评价的内容	24
2.1.2 概略评价的方法	24
2.1.3 概略评价的注意事项	24

目 录

2.2 方案的具体化调查	24	4 功能评价	34
2.2.1 方案的具体化	24	4.1 分析确定功能的现实成本	34
2.2.2 方案的调查	24	4.2 确定功能评价价值	34
2.3 方案的详细评价	24	5 方案的创造	36
2.3.1 技术可行性评价	24	6 方案的评价	37
2.3.2 经济合理性评价	25	6.1 技术评价	37
2.3.3 方案的社会评价	26	6.2 经济评价	37
2.3.4 方案的综合评价	26	6.3 社会评价	38
3 提案的实施与最终成果的评价	31	7 方案的试验验证	38
3.1 提案的审批与实施	31	8 VE 成果评价	38
3.1.1 提案表的编制	31	8.1 技术评价	38
3.1.2 提案的审批	31	8.2 经济效果	38
3.1.3 提案的实施与跟踪	31	例 2 价值工程在 J0810 机油滤清器上的 应用	38
3.2 提案的最终成果评价	32	1 VE 对象的选择	38
3.2.1 提案的企业技术经济效果评价	32	1.1 VE 产品的选择	38
3.2.2 提案的社会效果评价	32	1.2 确定 VE 工作范围	38
3.3 价值工程的组织	32	2 情报收集	39
3.3.1 组织形式	32	3 功能定义	41
3.3.2 价值工程的人才结构	32	4 功能整理	41
3.4 开展价值工程的基础工作	33	5 功能评价	42
第 5 章 价值工程应用实例		5.1 功能现实成本的测算	42
例 1 价值工程在 Z 28-100 型滚丝机 上的应用	34	5.2 功能评价价值的确定	42
1 VE 对象的选择	34	5.3 计算成本降低幅度	43
1.1 VE 产品的选择	34	6 方案创造和概略评价	43
1.2 VE 零件的选择	34	7 方案的具体化和详细评价	44
2 情报的收集	34	8 价值工程最终成果评价	44
3 功能定义和整理	34	参考文献	46

第11篇 疲劳强度设计

主要符号表	3	1.1 试样	19
第 1 章 概 述		1.2 试样制备	11
1 疲劳术语	5	1.2.1 取样	11
2 循环应力与循环应变	6	1.2.2 机械加工	12
2.1 循环应力	6	1.2.3 热处理	12
2.2 循环应变	6	1.2.4 测量、探伤与贮存	12
3 无限寿命设计与有限寿命设计	7	2 试验机	13
4 疲劳的分类	7	3 试验方法	18
第 2 章 疲 劳 试 验		3.1 常规疲劳试验法	18
1 试样及其制备	9	3.2 成组试验法	19
		3.3 升降法试验	20
		3.4 疲劳极限的快速试验法	21

3.4.1 泊洛脱法	22
3.4.2 洛卡脱法	23
3.4.3 全循环阶梯加载法	23

第3章 疲劳图 and 疲劳数据表

1 $S-N$ 曲线	24
2 $P-S-N$ 曲线	33
3 $P-S-N$ 曲线通用方程式中的常数 a_p 与 b_p	37
4 等寿命曲线	43
5 常用材料的疲劳极限	48
6 疲劳极限的经验公式	59

第4章 影响疲劳强度的因素

1 应力集中的影响	60
1.1 应力的集中与梯度	60
1.2 理论应力集中系数	60
1.2.1 带沟槽的板形零件的理论应力 集中系数	62
1.2.2 带沟槽的圆柱形零件的理论应 力集中系数	63
1.2.3 带台肩圆角的板形零件的理论 应力集中系数	67
1.2.4 带台肩圆角的圆柱形零件的理 论应力集中系数	68
1.2.5 开孔的机械零件的理论应力集中 系数	70
1.2.6 其他常用零件的理论应力集中 系数	73
1.3 有效应力集中系数	76
1.3.1 带台肩圆角的圆柱形零件的有 效应力集中系数	77
1.3.2 带沟槽的圆柱形零件的有效应 力集中系数	80
1.3.3 开孔的机械零件的有效应力集中 系数	82
1.3.4 其他常用零件的有效应力集中 系数	85
1.3.5 算例	88
1.4 用相对应力梯度求有效应力集中 系数	88
1.5 敏性系数的统计参数	89

2 尺寸的影响	89
3 表面状态的影响	90
3.1 加工情况	90
3.2 腐蚀情况	91
3.3 表面强化	91
4 频率影响	92
5 载荷类型的影响	92
5.1 平均应力的影响	92
5.2 应力峰值的影响	94
6 环境因素的影响	94
6.1 腐蚀环境的影响	94
6.1.1 载荷频率的影响	95
6.1.2 腐蚀方式的影响	95
6.1.3 腐蚀介质的 pH 值影响	95
6.1.4 应力集中的影响	96
6.1.5 尺寸的影响	97
6.1.6 应力状态的影响	98
6.2 温度的影响	98
6.2.1 低温的影响	98
6.2.2 高温的影响	98
6.3 受载方式的影响	98

第5章 疲劳累积损伤理论

1 基本概念	99
2 线性疲劳累积损伤理论	99
2.1 线性累积损伤理论	99
2.2 双线性累积损伤理论	100
3 其他累积损伤理论	101
3.1 科尔顿-多兰累积损伤理论	101
3.2 莱维和科津累积损伤理论	101

第6章 高周疲劳

1 概述	102
1.1 常规疲劳设计	102
1.2 安全系数	102
2 无限寿命设计	106
2.1 单向应力时无限寿命设计	106
2.1.1 计算公式	106
2.1.2 算例	107
2.2 多向应力时无限寿命设计	107
3 有限寿命设计	108
3.1 安全系数计算公式	108

3.2 寿命估算	108
3.3 算例	108

第7章 低周疲劳

1 低周疲劳的S-N曲线	110
1.1 应力-寿命(σ_e-N)曲线	110
1.2 应变-寿命(ϵ_e-N)曲线	111
2 循环应力-应变曲线	112
2.1 滞后回线	112
2.2 循环硬化与循环软化	112
2.3 循环应力-应变曲线求法	112
3 应变-寿命曲线	113
3.1 曼森-科芬方程	113
3.2 四点法求应变-寿命曲线	114
3.3 通用斜率法	115
4 低周疲劳试验	115
4.1 低周疲劳试验的试样	115
4.2 带过渡圆弧的试样应变幅度的修正	116
4.3 低周疲劳试验方法	116
5 低周疲劳的寿命估算	117

第8章 腐蚀疲劳

1 概述	118
1.1 腐蚀疲劳术语	118
1.2 腐蚀疲劳的特性	118
2 腐蚀疲劳强度	118
2.1 腐蚀疲劳极限	118
2.2 腐蚀疲劳的S-N曲线	122
2.3 影响腐蚀疲劳的因素	127
3 腐蚀疲劳试验	131
3.1 试验要求	131
3.2 试验装置	132
4 腐蚀疲劳的寿命估算	133

第9章 高温疲劳

1 高温对材料机械性能的影响	134
2 高温时材料的S-N曲线	136
3 影响高温疲劳性能的主要因素	139
3.1 材料因素	139
3.2 温度因素	139
3.3 频率因素	140

3.4 应力集中因素	141
3.5 表面状态因素	141
3.6 平均应力因素	142
4 高温疲劳试验	142
4.1 载荷谱	143
4.2 试样	145
4.3 试验设备与试验方法	145
5 高温下的疲劳强度计算	146
5.1 静态计算法	146
5.2 蠕变疲劳复合作用计算法	146

第10章 低温疲劳

1 金属在低温下的单调特性	148
2 低温下材料的疲劳数据	148
2.1 低温下材料的疲劳极限	148
2.2 低温时应力集中的影响	149
2.3 材料在低温下的S-N曲线与等寿命曲线	151
3 低温疲劳强度计算	151

第11章 热疲劳

1 热应力与热应变	152
2 热疲劳试验方法	153
2.1 定性比较法	153
2.2 定量测定法	153
2.3 热-机械疲劳试验方法	154
3 热疲劳强度与寿命估算	155
3.1 最大温度-寿命曲线	155
3.2 应变幅度-寿命曲线	156
3.3 热疲劳曲线与其他疲劳曲线比较	157
4 热疲劳强度设计中的主要问题	158

第12章 接触疲劳

1 接触应力分析	159
2 接触疲劳破坏	160
3 影响接触疲劳的因素	161
3.1 滑动速度因素	161
3.2 表面粗糙度因素	161
3.3 润滑油膜因素	162
3.4 润滑剂因素	163
3.5 接触物体材料因素	163
3.5.1 非金属夹杂物	163

3.5.2 热处理组织状态	164
3.5.3 表层与心部硬度	164
4 接触疲劳强度计算	164
5 接触疲劳试验	166
5.1 接触疲劳试验术语	166
5.2 试验机	166
5.3 试样	167

第13章 随机疲劳

1 基本概念	169
2 载荷谱	169
2.1 概述	169
2.2 雨流法	170
2.3 载荷谱编制	171
3 随机疲劳强度计算	172
3.1 程序谱的疲劳强度计算	172
3.2 概率密度函数表示连续谱的强度 计算	172

第14章 冲击疲劳

1 多次冲击强度	173
1.1 多次冲击能量-寿命 ($A-N$) 曲线	173
1.2 影响多次冲击强度的因素	173
1.2.1 材料的强度	173
1.2.2 材料的韧性	173
1.2.3 工艺与材料代用	174
2 冲击疲劳强度计算	177
3 提高多次冲击疲劳强度的措施	177

第15章 疲劳强度的现代设计

1 裂纹形成寿命估算——局部应力 应变法	178
1.1 预备知识	178
1.1.1 真实应力与真实应变	178
1.1.2 玛辛特性	178
1.1.3 材料的记忆特性	179

1.1.4 载荷顺序效应	179
1.2 局部应力-应变分析	179
1.2.1 滞后回线方程式	179
1.2.2 诺伯法	179
1.3 裂纹形成寿命估算方法	181
1.3.1 损伤计算	181
1.3.2 估算裂纹形成寿命的步骤	181
1.4 算例	181
2 裂纹扩展寿命估算	184
2.1 脆断与裂纹扩展的判别	184
2.2 疲劳裂纹扩展速度	187
2.3 疲劳裂纹扩展寿命估算方法	191
3 裂纹扩展试验	193
3.1 试样	193
3.2 裂纹扩展试验方法	193
4 损伤容限设计	194
5 算例	194
6 疲劳强度的可靠性设计	195

第16章 提高零件疲劳 强度的方法

1 合理选材	196
1.1 提高纯度	196
1.2 细化晶粒	196
1.3 最佳的热处理与组织状态	196
1.4 强度、塑性与韧性的合理配合	196
2 改进结构	197
3 表面强化	200
3.1 表面喷丸强化	200
3.2 表面辊压强化	202
3.3 内孔挤压强化	202
3.4 表面化学热处理	203
3.5 表面淬火	204
3.6 表面激光强化	204
参考文献	205

第12篇 蠕 变 设 计

第1章 概 述

1 蠕变现象	3
2 蠕变曲线	3

2.1 蠕变曲线的一般特征	3
2.2 蠕变曲线的数学表示形式	4
3 蠕变极限与持久强度	5
3.1 蠕变极限	5

XVI 目 录

3.2 持久强度	5
4 影响蠕变与持久强度的要主因素	5
4.1 化学成分的影响	6
4.2 工艺因素的影响	6
4.3 工作条件的影响	7
4.4 零件尺寸与形状的影响	8

第2章 蠕变试验

1 蠕变与持久强度试验	10
1.1 蠕变试验	10
1.2 持久强度试验	13
2 加速蠕变试验	16
2.1 直接试验法	17
2.2 间接试验法	17
2.3 应力加速法	17
2.4 温度加速法	17
3 蠕变与持久强度试验数据的外推法	18
3.1 等温线法	18
3.2 时间-温度参数法 (T·T·P)	18
3.3 最少约束法	20
3.4 外推法的评价	20

第3章 蠕变和持久强度数据

1 黑色金属材料的蠕变与持久强度数据	21
1.1 铸铁	21
1.2 铸钢	22
1.3 碳素钢	24
1.4 普通低合金钢与合金结构钢	26
1.5 耐热钢与不锈钢	30
1.6 弹簧钢	34
1.7 高温合金	36
2 有色金属材料的蠕变与持久强度数据	40
2.1 铸造铝合金	40

2.2 钛合金	40
3 其他国家金属材料的蠕变与持久强度数据	42

第4章 蠕变计算

1 蠕变设计准则	55
1.1 蠕变的许用应力 $[\sigma]_T^T$	55
1.2 持久强度的许用应力 $[\sigma]_T^T$	57
1.3 高温静应力下的安全系数	58
2 单向应力状态的蠕变计算	59
2.1 恒定温度、恒定应力情况	59
2.2 恒定温度、变动应力情况	59
2.3 恒定应力、变化温度情况	60
3 三向应力状态的蠕变计算	61
4 蠕变-疲劳交互作用下的寿命计算	62
4.1 线性累积损伤法	62
4.2 应变幅划分法	62
4.3 频率修正法	64
5 蠕变设计举例	64
5.1 透平机械叶片的蠕变计算	64
5.2 梁的弯曲蠕变计算	65
5.3 受内压厚壁圆筒的蠕变计算	67

第5章 应力松弛

1 应力松弛曲线	69
1.1 应力松弛曲线的一般特征	69
1.2 应力松弛的经验公式	69
2 应力松弛试验	70
2.1 拉伸试验法	70
2.2 环状试样试验	70
3 应力松弛与蠕变的关系	71
4 应力松弛的试验数据	73
5 应力松弛计算与举例	76
5.1 应力松弛计算	76
5.2 应力松弛计算举例	77
参考文献	77

第13篇 可靠性设计

第1章 可靠性概念、可靠性特征量和可靠性设计程序

1 可靠性的概念	3
----------	---

2 可靠性特征量	3
2.1 可靠度	3
2.2 累积失效概率	5
2.3 平均寿命	5