

机械工程
手册

机 械 工 程 手 册

第 4 卷 机 械 设 计 (一)

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会



机 械 工 业 出 版 社

本卷为机械设计部分的第一卷，是机械设计中的基础部分。主要介绍机构选型与运动设计，机械结构强度，金属材料强度，机械振动，摩擦、磨损与润滑五个方面，为有关技术人员提供了机械设计所必需的基础理论与技术资料。

机 械 工 程 手 册

第 4 卷 机 械 设 计 (一)

机械工程手册 编辑委员会 编
电机工程手册

*

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)

国防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 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 54 · 插页 2 · 字数 1638 千字
1982 年 11 月北京第一版 · 1982 年 11 月北京第一次印刷
印数 00,001—27,000 · 定价 6.70 元

*

统一书号: 15033 · 4675

封面设计 王 伦

编辑委员会

主任委员：沈 鸿

副主任委员：周建南 汪道涵 张 维 史洪志

委员(按姓氏笔划为序)：叶 铮 孙 琪 许力以 张 影
张大奇 陈文全 陈元直 寿尔康 金实藩 施泽均 俞宗瑞
陶亨咸 翁迪民 章洪深 曹维廉 程 光

《机械工程手册》特约编辑

(按姓氏笔划为序)

丁 淳 马恒昌 万定国 王万钧 王补宣 支少炎 史绍熙 匡 襄
朱广颐 朱景梓 刘庆和 刘晋春 孙珍宝 余 俊 李 策 李 嶽
李兴贵 李庆春 李华敏 陈力展 陈士梁 杜庆华 张作梅 张明之
张国良 张德庆 张鼎丞 杨绍侃 闵学熊 邱宣怀 吴敬业 沈增祚
孟少农 孟宪源 郑林庆 林宗棠 范景春 金福长 祝大年 胡茂弘
陶 炜 陶正耀 陶鼎文 徐 灏 高文彬 郭可谦 郭芷荣 凌业勤
袁裕生 曹 泛 黄明慎 程干亨 舒光冀 蔡习传 薛景瑄

《机械工程手册》编辑及编辑组负责人

(按姓氏笔划为序)

王力中 王光大 王兴垣 王自新 王树勋 王崇云 王德维 冯子珮
叶克明 刘 镇 刘向亭 朱亚冠 许绍高 曲彩云 任赞黄 陈 湖
陈文全 陈元直 陈庚文 陈国威 张 端 张大奇 张劲华 张继铨
张斌如 陆元章 杨谷芬 余果慈 李荫成 李增佐 吴恕三 吴曾评
郑秉衡 施泽均 姚洪朴 钱寿福 徐佳瑞 黄克孚 崔克明 康振章
曹敬曾 谢 健 栗 滋 韩云岑 韩丙告 韩宗贵 蒋聚培 蔡德洪

序

期望已久的《机械工程手册》和《电机工程手册》终于分卷合订成册,正式出版了。这是对我国机电工程科学技术领域的一个贡献。两部手册的编写队伍,由国内有专长、有经验的学者、专家所组成。这两部手册扼要地总结了我国机电工程各主要方面的科学技术成就,同时也吸收了一些国外的成熟经验。聚沙成塔,集腋成裘。名为手册,实则巨著。

读书不易,写书颇难,写工具书更难,写综合性工具书可谓难中之难。为了编好两部“立足全局,勾划概貌,反映共性,突出重点”,而又全面的、完整的、彼此协调的手册,同志们做了很大努力,从无到有,诸事草创,困难重重,艰辛备尝。恰似唐朝韩愈所说的:“贪多务得,细大不捐。焚膏油以继晷,恒兀兀以穷年。”值此合订本出版之际,我谨向各主编单位、各编写单位和印刷出版单位,向数以千计的全体编审同志,向遍及全国的为两部手册提供资料和其他方便条件的单位和同志们,表示衷心的感谢。

两部手册的第一版,现在完成了。对编写者来说,已经有了成果。而对阅读手册的工厂、学校、院所、机关同志们来说,还只是两朵鲜花。在成千上万人的应用中使鲜花结成果实——发展机电工程科学技术事业,为现代化建设服务——才是更丰硕的成果。这才是我们的目的。

一般说来,工具书分两种类型:一种是综合性的,一种是专业性的。综合性的工具书从广度来说是较为全面的,从深度来说是不足的;而专业性的工具书则反之。二者各有所长,相辅相成。我们这两部手

册是综合性的工具书, 主要供从事技术工作的各类人员查阅使用。对于搞专业性技术工作的人员来说, 还可从中猎取相邻专业和其他有关专业的知识, 帮助他们从专业分工的局限性中开拓思路, 从科学技术各个环节的相互联系上, 综合地、全面地研究和解决技术问题。也唯有以渊博的科学技术知识作为基础, 才能不断创新。在编写这两部手册时, 考虑到专业手册还比较少, 而且一时又出不了那么多, 因此在内容的深度上也予以顾及, 以适当满足专业工作的需要。所以, 它的篇幅已经超过一般常见的综合性手册了。实践是检验真理的唯一标准。我们将严肃认真地听取广大读者的反映和意见, 作为评价和改进两部手册的主要依据。国外这类工具书已经有了几十年、甚至百余年的历史, 而我们则刚刚开始。现在是从无到有, 将来是精益求精。让我们在新的长征途中, 戮力同心, 再接再厉, 去完成时代赋予我们的光荣使命。

机械工程手册
电机工程手册

编辑委员会主任委员 沈 鸿

一九八二年 北京

编 辑 说 明

一、《机械工程手册》、《电机工程手册》的分卷合订工作是在试用本的基础上进行的。试用本的编写工作始于一九七三年,一九七七年以后陆续出版发行,一九八一年出齐。这次分卷合订主要做了三方面工作:一是在技术内容上做了订正;二是尽可能用已颁布的新标准取代老标准;三是按卷编制了索引。

二、《机械工程手册》包括基础理论、机械工程材料、机械设计、机械制造工艺、机械制造过程的机械化与自动化、机械产品等六个部分,共七十九篇,二千余万字,分为十四卷。《电机工程手册》包括基础理论、电工材料、电力系统与电源、电机、输变电设备、工业电气设备、仪器仪表与自动化等七个部分,共五十篇,一千余万字,分为九卷。

三、参加这两部手册编写工作的,有全国许多地区和部门的工厂、科研设计院所、高等院校,近五百个单位,作者两千余人。提供资料和参加审定稿件的单位和人员,更为广泛。各篇在编写、协调、审查、定稿等环节中,既注意发挥学者、专家的骨干作用,又注意集中群众的智慧和力量。

四、这两部手册因系初版,囿于条件,所采用的名词、术语、符号、代号以及单位制,尚有不尽统一之处。此外,内容上也有重复、遗漏、甚至错误的地方;在设计、印刷、装帧等方面也还存在一些问题。我们将通过手册的不断修订再版,逐步改进。

五、手册合订本的署名,采用单位和个人相结合的方式。各篇的主编单位、编写单位和主编、编写人均按篇署名,置于相应篇的前面。编写人的署名以其编写的章号为序。特约编辑以姓氏笔划为序,集中署于卷首。编辑(包括总编辑、副总编辑)及编辑组负责人亦按姓氏笔划为序,署于卷首。

另外,参加两部手册编写、审查、组织、协调的单位和同志还很多,恕不一一署名。

机 械 工 程 手 册
电 机 工 程 手 册 编辑委员会编辑组

目 录

序

编辑说明

第 18 篇 机构选型与运动设计

常用符号

第 1 章 机构的基本概念及分析方法

- 1 机构、零件、构件、运动副18-1
- 2 机构运动简图及机动示意图18-2
- 3 平面运动的瞬心、静瞬心线及
动瞬心线18-2
 - 3.1 相对瞬心和绝对瞬心18-2
 - 3.2 三心定理、应用三心定理求瞬心18-3
 - 3.3 瞬心线18-3
- 4 机构自由度18-4
 - 4.1 基本概念18-4
 - 4.2 决定机构自由度的方法18-4
- 5 转动副自锁的条件18-6
- 6 机构的运动分析18-7
 - 6.1 确定机构的位置和点的轨迹18-7
 - 6.2 瞬心法求速度18-7
 - 6.3 矢量图解法求速度和加速度18-8
- 7 机构的力分析18-10
 - 7.1 矢量图解法18-10
 - 7.2 杠杆法18-11
 - 7.3 极力法18-11
- 8 转化力、转化力矩和转化质量、
转化转动惯量18-12

第 2 章 匀速转动机构选型

- 1 定传动比平行轴匀速转动机构18-14
- 2 定传动比不平行轴匀速转动机构18-18
- 3 可调传动比匀速转动机构18-19

第 3 章 非匀速转动机构选型

- 1 非圆齿轮机构18-21
- 2 双曲柄机构18-21

- 3 曲柄导杆机构18-22
- 4 组合机构18-24
- 5 空间机构18-24

第 4 章 往复运动机构选型

- 1 有任意往复运动特性的凸轮机构18-25
- 2 有急回特性的机构18-27
- 3 有行程增大、可调及减冲特性的
机构18-29
- 4 有增力特性的机构18-33

第 5 章 换向、单向、超越（止动） 机构选型

- 1 换向机构18-34
- 2 单向机构18-37
- 3 超越机构18-39

第 6 章 间歇运动机构选型

- 1 间歇转动机构18-40
- 2 间歇摆动机构18-45
- 3 间歇移动机构18-46
- 4 有瞬时停顿的间歇转动机构18-48
- 5 有瞬时停顿的间歇摆动机构18-49

第 7 章 实现预期轨迹的机构选型

- 1 利用连杆轨迹的直线段作直线
运动的机构18-49
- 2 利用机构上某点轨迹作成绘图仪器和
多边形轴（孔）加工的机构18-51
- 3 利用轨迹段上
具有的预期运动规律以完成工艺
动作的机构18-53

VII 目 录

第8章 自动停车、过载保险、 联锁、定位及夹紧机构选例

- 1 自动停车机构18-57
- 2 过载保险装置18-59
- 3 联锁装置18-61
- 4 定位及夹紧机构18-63

第9章 微动增力、误差补偿、 相角调整及数学运算等差动机构选例

- 1 微动增力机构18-66
- 2 误差补偿机构18-67
- 3 相角调整机构18-68
- 4 数学运算机构18-69
- 5 力的均衡、差速、变速及实现
任意轨迹机构18-71

第10章 平面连杆机构运动设计

- 1 四杆机构的基本型式18-72
- 2 连杆机构的设计方法18-76
- 3 按照给定的运动规律设计
连杆机构18-76
 - 3.1 几何法18-76
 - 3.2 分析(代数)法18-83
 - 3.3 实验法18-87
- 4 按照给定轨迹设计四杆机构18-88
 - 4.1 实验法18-89
 - 4.2 几何法18-89
 - 4.3 分析法18-91
 - 4.4 实现同一轨迹的相当机构18-92

第11章 摆动油缸机构运动设计

- 1 摆动油缸机构的型式和特点18-93
- 2 摆动油缸机构位置参数的计算18-94
- 3 摆动油缸机构运动参数和动力
参数的计算18-95
- 4 摆动油缸机构基本参数的选择18-95
- 5 对中式摆动油缸机构的运动设计18-96
 - 5.1 已知摇杆的摆角 ϕ_{12} 及初始角 ϕ_1 , 确

定摇杆和油缸相对长度 σ 和 ρ 18-96

- 5.2 已知摇杆摆角 ϕ_{12} , 油缸初始长度 L_1 ,
活塞行程 $H_{12} = L_2 - L_1$, 确定摇杆
长度 r 及初始位置角 ϕ_1 18-96
- 5.3 已知摇杆的摆角 ϕ_{12} 、许用传动角 $[\gamma]$
和 λ 值, 用图解法设计摆动油缸机
构18-97
- 5.4 已知摇杆三个转角为 ϕ_{12} 、 ϕ_{13} 、 ϕ_{14} 和
相应的活塞行程 H_{12} 、 H_{13} 、 H_{14} ,
用图解法设计摆动油缸机构18-97

第12章 斜面机构的运动设计

- 1 基本型式和特性指标18-98
- 2 斜面机构的 i_v 、 ε 和 η 18-98
- 3 斜面机构的参数选择18-99

第13章 瞬心线机构和包络线 机构运动设计

- 1 瞬心线机构的三个运动条件18-100
- 2 瞬心线机构设计18-100
 - 2.1 分析法设计瞬心线机构18-100
 - 2.2 图解法设计瞬心线机构18-106
- 3 互包络线机构的三个运动条件18-107
 - 3.1 互包络线机构的发生线和包络线、
滑动速度和压力角18-107
 - 3.2 互包络线机构的三个运动条件18-108
- 4 互包络线机构设计18-109
 - 4.1 分析法设计互包络线机构18-109
 - 4.2 图解法设计互包络线机构18-111

第14章 凸轮机构运动设计

- 1 凸轮机构的类型和主要特点18-112
 - 1.1 平面凸轮机构18-112
 - 1.2 空间凸轮机构18-113
- 2 只满足从动件升程始、末位置的
盘形凸轮经验设计18-116
- 3 从动件的压力角 α 18-117
 - 3.1 从动件升程时的自锁条件及其临界
压力角 α_c 18-117
 - 3.2 提高临界压力角 α_c 的措施18-118

3.3 从动件回程时的自锁问题	18-118
3.4 许用压力角 $[\alpha]$	18-118
4 凸轮的最小尺寸	18-118
4.1 轴向滚子移动从动件圆柱凸轮的 最小尺寸	18-118
4.2 对心尖端(或滚子)移动盘形凸轮的 最小尺寸	18-119
4.3 图解法求尖端(或滚子)移动和摆 动盘形凸轮的最小尺寸	18-120
5 从动件的位移曲线	18-125
5.1 常用的位移曲线	18-125
5.2 有特殊要求的位移曲线	18-125
6 位移曲线的拼接	18-127
6.1 拼接目的	18-127
6.2 拼接原则	18-127
6.3 拼接举例	18-127
7 盘形凸轮节线及廓线的曲率半 径 ρ 及 ρ_c 和滚子半径 R_r	18-129
7.1 ρ 、 ρ_c 及 R_r 与切割过深、运动 失真的关系	18-129
7.2 R_r 和根圆半径 R_c 的推荐尺寸	18-129
7.3 曲率半径的求法	18-129
8 从动件按一定位移曲线运动的 凸轮设计	18-130
8.1 轴向滚子移动圆柱凸轮	18-130
8.2 滚子摆动圆柱凸轮	18-130
8.3 对心尖端(或滚子)移动盘形凸轮	18-131
8.4 偏置尖端移动盘形凸轮	18-131
8.5 尖端摆动盘形凸轮	18-131
8.6 (直角)平底移动盘形凸轮	18-132
8.7 平底摆动盘形凸轮	18-133
8.8 大半径球面移动从动件的凸轮廓 线	18-135
9 凸轮节线方程式及加工凸轮廓线时 刀具中心位置的计算公式	18-135
9.1 凸轮节线方程式及刀具中心位置 G的计算公式	18-135
9.2 计算对心尖端移动盘形凸轮节线 用的升距比	18-135
10 高速凸轮的特点	18-139

第15章 棘轮机构、槽轮机构和 不完全齿轮机构运动设计

1 棘轮机构运动设计	18-140
1.1 基本结构型式	18-140
1.2 齿式棘轮机构参数的选择	18-141
1.3 摩擦式棘轮机构参数的选择	18-143
2 槽轮机构的运动设计	18-144
2.1 槽轮机构的基本型式、几何尺寸 和运动关系	18-144
2.2 槽轮机构的动力性能	18-144
2.3 槽轮机构主要参数选择	18-145
3 外接不完全齿轮机构的运动设计	18-147
3.1 不完全齿轮机构的基本型式和运 动特点	18-147
3.2 外接不完全齿轮机构的设计	18-147

第16章 组合机构运动设计

1 联动凸轮组合机构	18-150
1.1 应用实例	18-150
1.2 设计举例	18-151
2 齿轮-凸轮组合机构	18-152
2.1 应用实例	18-152
2.2 设计举例	18-152
3 凸轮-连杆组合机构	18-153
3.1 应用实例	18-153
3.2 设计举例	18-153
4 齿轮-连杆组合机构	18-154
4.1 应用齿轮-连杆组合机构来实现预 期运动规律问题	18-154
4.2 应用齿轮-连杆组合机构的连杆曲 线来实现预期运动轨迹问题	18-155

第17章 空间连杆机构运动设计

1 用图解法分析空间四杆机构的 位置	18-157
1.1 第一种情况:主动件与从动件的 运动平面垂直	18-157
1.2 第二种情况:主动件与从动件的 运动平面不垂直	18-157
1.3 机构的极限位置、死点及机构的	

X 目 录

曲柄存在条件	18-158
2 几种常用空间连杆机构的	
位置公式	18-158
2.1 空间四杆机构主、从动件位置的	
关系式	18-158
2.2 空间四杆机构位置的一般关系式	18-159
2.3 空间五杆机构的位置分析及	
举例	18-161
3 用四阶矩阵法分析一般空间连杆	
机构的位置	18-162
3.1 基本原理	18-162
3.2 空间座标系的变换及其矩阵乘子	18-163
3.3 座标系的选择	18-164
3.4 机构位置分析的一般步骤	18-165
4 空间连杆机构的设计要点	18-165

第18章 机构传动精度

1	误差的基本概念	18-166
1.1	机构传动误差	18-166
1.2	机器零件、构件的原始误差	18-166
1.3	机构位置误差的一般关系式	18-166

2	基本机构原始位置误差的分析	18-168
2.1	连杆机构原始位置误差的分析—— 机构原始位置误差分析的基本 原理和方法	18-168
2.2	凸轮机构的原始位置误差	18-169
2.3	齿轮机构的原始位置误差	18-169
3	机械传动系统位置误差的分析	18-170
3.1	一个自由度机构传动系统的位置 误差分析	18-170
3.2	多自由度机构位置误差的分析	18-170
3.3	封闭式传动机构位置误差的分析	18-170
4	设计时提高机构传动精度的一般 原则和方法	18-172
5	按给定的精度要求制定公差的 几种方法	18-172
5.1	原始误差等效作用法	18-173
5.2	简易法	18-173
5.3	误差补偿法	18-173
6	例	18-174
附录:	升距比详表	18-176
参考文献		18-178

第 19 篇 机械结构强度

常用符号

概 述

第 1 章 机械结构的力学模型

1	机械结构力学模型的建立	19-2
2	机械结构力学模型举例	19-4
2.1	水轮机主轴法兰应力分析	19-4
2.2	大型汽轮机转子应力分析	19-5
2.3	钢丝缠绕式压力机架应力分析	19-6
2.4	含裂纹构件的力学分析	19-6
3	建立力学模型常用的几个原理 和概念	19-7
3.1	叠加原理	19-7
3.2	局部静力等效力系与局部作用 原理	19-7
3.3	关于唯一性原理的说明	19-8
3.4	对称与反对称性的利用	19-8

第2章 弹性与塑性分析公式

1	应力	19-9
1.1	一点的应力状态	19-9
1.2	应力偏量	19-10
1.3	有关应力参量表	19-10
2	应变	19-11
2.1	小变形应变	19-11
2.2	应变协调方程	19-12
2.3	应变偏量	19-12
2.4	小变形应变参量表	19-13
2.5	有限变形	19-13
3	应力应变关系	19-13
3.1	各向同性线弹性材料的应力应变关系	19-13
3.2	弹性应力应变关系的能量概念	19-15
3.3	塑性条件和屈服面	19-15

3.4 塑性应力应变关系	19-16
4 弹性理论的基本方程和边界条件	
(空间问题)	19-17
4.1 弹性理论的基本方程	19-17
4.2 其它常用坐标系内的平衡方程和	
几何方程	19-17
4.3 边界条件	19-18
4.4 按应力求解问题——力法	19-19
4.5 按位移求解问题——位移法	19-19
5 平面问题的基本方程和边界	
条件	19-19
5.1 平面应力问题	19-19
5.2 平面应变问题	19-20
5.3 平面问题的基本方程	19-20
5.4 边界条件	19-20
5.5 平面问题基本方程及应力函数的	
极坐标表达式	19-21
6 二维、三维问题常用应力应变	
公式	19-21
7 等直杆扭转应力应变公式	19-25
8 弹塑性理论基本方程和边界条件	
的矩阵表达	19-26
8.1 符号说明	19-26
8.2 矢量、弹性矩阵、运算矩阵	19-26
8.3 弹性理论基本方程的矩阵表达	19-27
8.4 塑性应力应变关系的矩阵表达	19-28
8.5 边界条件	19-29

第3章 弹性薄板、薄壳、薄壁杆件计算公式

1 薄板	19-29
1.1 平板弯曲的基本方程	19-30
1.2 圆板的弯曲计算公式	19-31
1.3 矩形板的弯曲计算公式	19-40
1.4 杂形板的弯曲计算公式	19-44
1.5 板件计算举例	19-45
2 薄壳	19-46
2.1 薄壳的薄膜力计算公式	19-47
2.2 圆柱壳的计算	19-49
2.3 旋转壳弯曲的基本方程	19-55
2.4 组合壳状结构的计算公式	19-57

3 薄壁杆件	19-58
3.1 薄壁杆件自由扭转	19-58
3.2 薄壁杆件约束扭转	19-59

第4章 能量方法

1 能量法中常见的力学概念	19-66
1.1 广义位移 广义力 自由度	19-66
1.2 功 余功	19-66
1.3 应变能 应变余能	19-67
1.4 功与能的关系 保守系统	19-67
1.5 几何许可位移 虚位移 虚功	19-68
1.6 平衡许可力 虚力 虚余功	19-68
2 虚位移原理	19-68
2.1 虚位移原理	19-68
2.2 最小总势能原理	19-69
2.3 卡氏第一定理	19-70
2.4 单位位移法	19-70
2.5 虚位移原理和最小总势能原理的	
矩阵表达式	19-70
3 虚力原理	19-70
3.1 虚力原理	19-70
3.2 最小总余能原理	19-70
3.3 卡氏第二定理	19-71
3.4 单位载荷法	19-71
4 虚位移原理和虚力原理对应表	19-72
5 互等定理	19-72
5.1 功的互等定理	19-72
5.2 位移互等定理	19-72
5.3 反力互等定理	19-72
5.4 反力与位移互等定理	19-73
6 等效关系 静力几何逆步关系	19-73
6.1 刚体的静力等效和功等效一致	19-73
6.2 变形体的功等效力	19-73
6.3 静力几何逆步关系	19-73

第5章 机械构架分析方法

1 静定、超静定构架及其几何	
稳定性	19-74
1.1 静定和超静定构架	19-74
1.2 构架的几何稳定性	19-75
2 构架分析的力法	19-76

目 录

2.1	力法的基本原理和基本方程	19-76
2.2	起重机吊环的内力计算	19-76
2.3	输汽管道的内力计算	19-77
2.4	力法基本方程的矩阵表达式	19-78
3	构架分析的位移法	19-78
3.1	位移法的基本原理和基本方程	19-78
3.2	简例	19-87
3.3	位移法基本方程的矩阵表达式	19-82
4	构架矩阵分析——直接刚度法	19-82
5	杆元刚度矩阵	19-83
5.1	杆元刚度矩阵的建立	19-83
5.2	杆元的刚度矩阵	19-83
6	载荷移置	19-86
6.1	等效节点载荷的计算公式	19-86
6.2	常用等效节点载荷 (表 19-5-6、 19-5-7)	19-86
7	座标变换	19-87
7.1	座标变换矩阵	19-87
7.2	杆元刚度矩阵的座标变换式	19-88
7.3	载荷的座标变换式	19-88
7.4	举例——自由等直杆元刚度矩阵 的座标变换	19-88
8	构架总刚度矩阵	19-89
8.1	总刚度矩阵的形成	19-89
8.2	总刚度矩阵的性质	19-89
9	边界 (约束) 条件的处理	19-90
10	内力的确定	19-90
11	算例——锅炉炉侧构架内力计算	19-90

第6章 有限元法

1	位移法基本原理	19-94
1.1	单元形态 形函数(N)	19-94
1.2	单元应变和应力表达式	19-94
1.3	单元刚度矩阵	19-94
1.4	单元节点外力——等效节点载荷	19-95
1.5	总刚度矩阵	19-95
1.6	节点平衡方程	19-95
1.7	边界条件的应用和应力计算	19-96
2	平面问题计算实例	19-96
2.1	常应变三角形单元的形函数	19-97
2.2	应力、应变表达式	19-97

2.3	单元刚度矩阵	19-97
2.4	输入信息	19-98
2.5	总刚度矩阵的形成	19-99
2.6	节点外力列阵	19-101
2.7	位移边界条件	19-101
2.8	计算结果	19-101
2.9	平面有限元分析的公式 (表 19-6-3)	19-101
2.10	平面问题工程实例计算	19-101
3	轴对称问题	19-104
3.1	基本公式	19-104
3.2	轴对称问题计算实例	19-105
4	接触问题	19-105
4.1	接触区已知的光滑接触	19-105
4.2	一般性接触问题	19-107
5	形函数简要说明	19-107
5.1	拉氏多项式的形函数	19-107
5.2	几种较简单单元的形函数 (表 19-6-5)	19-108
6	几种较复杂的元	19-109
6.1	平板元	19-109
6.2	等参元	19-110
6.3	三维元	19-110
6.4	壳元	19-111
7	几个专门问题简介	19-111
7.1	凝缩	19-111
7.2	子结构技术	19-111
7.3	局部座标变换处理	19-112
8	有关计算特点的说明	19-112

第7章 结构稳定性分析 及临界载荷表

1	结构平衡稳定性 中性平衡 临界载荷	19-113
2	结构平衡稳定性分析	19-114
3	结构稳定平衡和失稳特点	19-114
3.1	平衡路径 平衡分枝点	19-114
3.2	丧失原来平衡形式——失稳形态 之一	19-115
3.3	丧失结构承载能力——失稳形态 之二	19-115

- 3.4 跳跃——失稳形态之三19-115
- 3.5 结构不完善性的影响19-116
- 4 结构临界载荷表19-117

第8章 机械结构的断裂力学分析

- 1 线弹性断裂力学19-125
- 1.1 裂纹对构件强度的影响19-125
- 1.2 裂纹尖端变形的三种基本类型19-125
- 1.3 应力强度因子19-125
- 1.4 断裂判据和断裂韧性19-126
- 1.5 裂纹尖端的塑性区尺寸和 K_{Ic} 的
塑性修正19-126
- 1.6 应变能释放率 (亦称推动裂纹扩
展力) G 的概念19-127
- 1.7 应力强度因子和应变能释放率的
关系19-127
- 1.8 复合型断裂判据19-128
- 2 弹塑性断裂力学19-128
- 2.1 裂纹尖端张开位移 (COD) 的概念和
判据19-128
- 2.2 J 积分19-129
- 3 压力容器的断裂力学分析19-130
- 3.1 压力容器的脆断分析19-130
- 3.2 含裂纹压力容器的鼓胀效应19-130
- 3.3 用 δ 判据估算含裂纹压力容器的
开裂压力19-131
- 3.4 全面屈服条件下的 δ 判据19-131
- 4 轴类零件的断裂力学分析19-132
- 4.1 断裂判据的选择19-132
- 4.2 轴的应力计算19-132
- 4.3 缺陷及其模型19-132
- 4.4 K_I 表达式的选取19-133
- 4.5 K_{Ic} 的选取19-133
- 4.6 安全系数19-133
- 4.7 应用举例19-133
- 5 应力强度因子 K 的表达式19-134

第9章 接触应力

- 1 弹性接触应力和变形19-138
- 1.1 基本假定19-138
- 1.2 符号说明19-138

- 1.3 计算公式与实例19-139
- 2 接触表面下的最大切应力19-143
- 2.1 最大切应力 τ_1 19-143
- 2.2 平行于接触表面的最大切应力 τ_0 19-143
- 3 刚性压头接触问题19-143
- 4 应用举例19-143

第10章 应力集中系数

- 1 应力集中系数的概念和计算19-146
- 2 带沟槽的机械零件的应力集中
系数图表19-147
- 3 带台肩圆角的机械零件的应力
集中系数图表19-149
- 4 开孔的机械零件的应力集中系
数图表19-150
- 5 常用几种机械零件的应力集中
系数19-153
- 6 应用举例19-155
- 7 降低应力集中系数19-156

第11章 结构疲劳强度

- 1 疲劳计算19-157
- 1.1 无限寿命设计19-157
- 1.2 安全寿命设计19-159
- 1.3 低周疲劳 (低循环疲劳)19-163
- 2 疲劳试验19-164
- 2.1 机件疲劳试验19-164
- 2.2 模拟疲劳试验19-165
- 2.3 整机 (或结构) 疲劳试验19-166
- 3 断裂力学在疲劳设计中的应用19-166
- 3.1 疲劳裂纹扩展速率 da/dN 19-166
- 3.2 疲劳裂纹扩展寿命的估算19-168
- 3.3 损伤容限设计19-169

第12章 模型试验

- 1 模型相似条件19-172
- 1.1 相似理论19-172
- 1.2 用量纲分析确定相似判据19-173
- 1.3 根据物理方程确定相似判据19-174
- 1.4 静弹性结构模型试验的相似条件19-174

XIV 目 录

1.5 变态相似问题	19-175
2 模型材料和模型制造	19-175
2.1 模型材料的性能要求	19-176
2.2 常用几种非金属模型材料的主要性能	19-176
2.3 模型制造	19-176
3 模型加载	19-176
3.1 模型加载原则	19-176
3.2 模型加载大小的确定	19-177
4 模型测试与模型试验	19-177
4.1 重型液压机活动横梁模型试验	19-177
4.2 万匹马力船用柴油机A字架的模型分析	19-178
4.3 铣床床身动刚度模型试验	19-179

第13章 电阻应变片测量技术

1 电阻应变片	19-180
1.1 电阻应变片的种类、结构和特点	19-180
1.2 电阻应变片的工作特性	19-180
1.3 各类应变片的选用	19-182
2 测量电路和仪器	19-182
2.1 测量电路	19-182
2.2 电阻应变仪	19-183
2.3 记录器	19-185
3 应变测量技术	19-185
3.1 静态应变测量	19-185
3.2 动态应变测量	19-189
3.3 高、低温下的应变测量	19-191
3.4 高压液下应变测量	19-193
3.5 旋转件的应变测量	19-194
3.6 应变的无线电遥测	19-196
4 电阻应变片式传感器	19-197

第14章 光弹性法

1 光弹性原理和平面光弹性的应用	19-201
1.1 等差线和等倾线	19-201
1.2 光弹性仪	19-202
1.3 条纹级数的测定	19-203
1.4 应力分离方法	19-204
1.5 应用举例	19-205

2 光弹性材料和模型	19-206
2.1 光弹性材料性能	19-206
2.2 环氧树脂光弹性材料及其配方	19-207
2.3 光弹性模型的设计和制造	19-207
3 三维光弹性问题	19-208
3.1 冻结切片法	19-208
3.2 表面应力测量	19-209
3.3 三维切应力差法	19-209
3.4 应用举例	19-210
4 其它光弹性试验方法	19-210
4.1 全息干涉法	19-211
4.2 散射光法	19-212
4.3 贴片法	19-213
4.4 热光弹性法	19-214
4.5 动光弹性法	19-214

第15章 典型构件强度计算

——压力容器

1 压力容器应力分类	19-215
1.1 一次应力	19-215
1.2 二次应力	19-215
1.3 峰值应力	19-215
2 薄壁容器	19-216
2.1 筒壳、球壳的静应力	19-216
2.2 筒壳、球壳的温度应力	19-216
2.3 筒壳、球壳的外压稳定	19-217
2.4 封头	19-218
2.5 封头边缘应力	19-218
2.6 开孔及其补强	19-219
3 厚壁容器	19-221
3.1 筒体、球体的静应力	19-221
3.2 筒体、球体的温度应力	19-221
3.3 屈服压力和爆破压力	19-223
3.4 组合容器	19-224

第16章 典型构件强度分析

——旋转圆盘

1 等厚度旋转圆盘	19-226
1.1 等厚度旋转圆盘的离心应力	19-226
1.2 等厚度旋转圆盘的温度应力	19-227
2 双曲线旋转圆盘	19-229

- 2.1 双曲线旋转圆盘的离心应力19-229
- 2.2 双曲线旋转圆盘的溫度应力19-230
- 3 等强度旋转圆盘19-230
- 4 任意型线的旋转圆盘19-231
- 5 旋转圆盘的自增强19-231
- 6 旋转圆盘的空间轴对称问题
(有限元法)19-232
- 7 圆盘飞裂试验19-233
- 8 旋转圆盘的静强度校核19-234

第17章 典型构件强度分析

——曲轴、连杆

- 1 曲轴19-234
 - 1.1 曲轴结构及其破坏型式19-234
 - 1.2 曲轴应力集中系数(或称形状系
数)的计算19-235
 - 1.3 曲轴的受力分析和内力计算19-237
 - 1.4 曲轴的强度校核19-240
- 2 连杆19-241
 - 2.1 连杆强度计算19-241
 - 2.2 连杆的疲劳破坏及疲劳强度校核19-247

第18章 安全系数和许用应力

- 1 机件的失效19-249
 - 1.1 静应力下机件的失效19-249
 - 1.2 变应力下机件的失效19-249
- 2 室温静应力下的安全系数和
强度判据19-250
 - 2.1 室温静应力下机件的安全系数19-250
 - 2.2 极限设计中的安全系数19-250
 - 2.3 考虑缺陷影响的安全系数19-251
 - 2.4 承受动载荷机件的安全系数19-252
- 3 高温静应力下的安全系数和
强度判据19-252
- 4 变应力下的安全系数和强度
判据19-253
 - 4.1 承受单向正应力或切应力机件的
安全系数19-253
 - 4.2 同时承受弯应力和扭应力机件的
安全系数19-253
 - 4.3 承受变幅应力机件的安全系数19-253
 - 4.4 含裂纹机件的安全系数19-253
- 5 可靠性设计的安全系数19-253
- 6 提高机件的安全度19-254
- 参考文献19-256

第20篇 金属材料强度

常用符号

第1章 概 述

- 1 材料强度在机械设计、制造中的
作用20-1
- 2 材料强度与机械零件强度的
关系20-2
- 3 对于常见材料强度指标的认识20-2

第2章 静 强 度

- 1 材料的静强度指标及其影响
因素20-3
 - 1.1 金属材料在静载荷作用下的三个
基本阶段20-3
 - 1.2 静拉伸试验的主要指标及

影响因素20-3

- 1.3 材料的真实应力应变曲线20-7
- 1.4 金属的高温短时拉伸性能20-8
- 2 静载荷下材料的缺口敏感度20-8
 - 2.1 静载缺口敏感度的定义20-8
 - 2.2 缺口处应力分布的特点20-8
 - 2.3 缺口拉伸试验20-9
 - 2.4 缺口偏斜拉伸试验20-9
- 3 静载荷下的尺寸效应20-9
 - 3.1 尺寸效应的含义20-9
 - 3.2 静载下尺寸效应的表现20-9
 - 3.3 尺寸效应的解释20-10

第3章 断 裂 韧 性

- 1 平面应变断裂韧性 K_{Ic} 及其影响
因素20-11

XVI 目 录

1.1	基本概念	20-11
1.2	冶金因素对断裂韧性的影响	20-12
1.3	热处理制度对断裂韧性的影响	20-13
1.4	使用和试验条件对断裂韧性的影响	20-15
1.5	断裂韧性与材料基本机械性能 指标的关系	20-17
2	腐蚀介质作用下的断裂韧性指标	20-18
2.1	基本概念	20-18
2.2	应力腐蚀界限强度因子 K_{Isc}	20-18
2.3	应力腐蚀裂纹亚临界扩展速率 da/dt	20-19
2.4	影响因素	20-20
2.5	材料的 K_{Isc} 和 K_{Ic} 与 σ_s 的关系	20-21
3	大范围屈服下材料的断裂韧性	20-21
3.1	裂纹尖端张开位移的临界值 δ_c	20-21
3.2	J 积分的临界值 J_{Ic}	20-22
4	断裂韧性的应用	20-24
4.1	为选材、制定热处理和其他加工 工艺提供依据	20-24
4.2	提高安全设计的可靠性	20-24
4.3	为评价产品质量,制订判废标准 提供依据	20-24

第4章 冲击抗力

1	材料的冲击韧性	20-25
1.1	摆锤冲击弯曲试验	20-25
1.2	系列冲击试验及冷脆转变温度	20-26
1.3	影响冲击韧性和冷脆转变温度的 因素	20-27
1.4	冲击试验的应用	20-30
2	材料的多次冲击抗力	20-31
2.1	多次冲击的基本概念	20-31
2.2	多次冲击抗力的规律	20-31
2.3	影响多次冲击抗力的因素	20-33
2.4	多次冲击抗力规律的应用	20-35

第5章 疲劳强度

1	疲劳(高周疲劳)	20-36
1.1	疲劳破坏的特征	20-36
1.2	疲劳抗力指标	20-37
1.3	疲劳裂纹的萌生和扩展	20-38
1.4	影响材料疲劳强度的因素	20-42

1.5	提高材料与机件疲劳强度的途径	20-46
1.6	疲劳数据的处理	20-49
2	低周疲劳与热疲劳	20-51
2.1	低周疲劳	20-51
2.2	热疲劳	20-53
2.3	影响低周疲劳和热疲劳的主要因素	20-54
3	腐蚀疲劳	20-56
3.1	腐蚀疲劳破坏及机理	20-56
3.2	影响腐蚀疲劳的主要因素	20-56
3.3	提高腐蚀疲劳强度的措施	20-57
4	接触疲劳	20-59
4.1	接触疲劳的类型和特征	20-59
4.2	接触疲劳的试验方法及数据处理	20-61
4.3	影响接触疲劳强度的因素	20-63

第6章 高温强度

1	蠕变的基本概念	20-68
1.1	蠕变现象	20-68
1.2	蠕变的实验规律	20-69
1.3	蠕变变形机制	20-69
2	蠕变极限与持久强度	20-70
2.1	蠕变极限与持久强度的意义	20-70
2.2	持久塑性	20-70
2.3	蠕变强度与持久强度在设计中的 应用	20-70
3	蠕变与持久强度的数据处理方法	20-71
3.1	等温线外推法	20-71
3.2	时间温度参数法	20-71
3.3	最少约束法	20-72
3.4	应用外推方法中的一些问题及偏差	20-72
4	影响蠕变和持久强度的主要因素	20-72
4.1	工艺因素的影响	20-72
4.2	试验因素的影响	20-73
5	材料的持久缺口敏感性	20-74
5.1	持久缺口敏感性的评定方法	20-74
5.2	影响持久缺口敏感性的因素	20-74
6	应力松弛	20-75
6.1	应力松弛实例	20-75
6.2	应力松弛曲线	20-75
6.3	应力松弛试验方法	20-76
7	高温疲劳	20-77