

● 机械设计丛书

机械结构设计

吴宗泽 主编

● 机械工业出版社

机械设计丛书

机械结构设计

吴宗泽 主编



机械工业出版社

本书是中国机械工程学会机械设计学会机械设计丛书编辑委员会组织编写的机械设计丛书之一，是专为机械设计人员编写的。

本书全面、系统地介绍了机械结构设计的主要问题。为了使设计的机械具有一定的功能，设计师应按照某些选定的原理，考虑运动、强度、耐磨性、精度、工艺性等多方面的问题，设计出最佳结构。本书力图按上述体系总结出设计中应遵循的规律和方法，并提供一些实用资料。书中还介绍一些较实用的参考书籍或资料，供需要深入学习的读者参考。

本书还可供其他有关技术人员、技术革新者和管理人员参考。也可供大专院校的本科生、研究生作为教材或参考书。

机械设计丛书
机械结构设计
吴宗志 编

责任编辑：夏曼苹
封面设计：方 斌

机械工业出版社（北京阜成门外百万庄南里一号）
(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)
重庆印制第一厂印刷
新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 850×1168 1/32·印张 8 1/6·字数 210 千字
1988年 4月 北京第一版·1988年 4月 北京第一次印刷
印数 00,001—10,100 ·定价：2.70元

ISBN 7-111-00409-4/TH·71

编辑委员会

主任委员 陈 湖

副主任委员 周延佑 傅梦遛 郭可谦 徐家宗

委员(姓氏笔划序) 江 斌 任光华 刘存智 刘恒愉

何国伟 陈立周 吴宗译 辛一行 周勤芝

林东初 郑效忠 徐 灏 高庆荣 夏曼苹

黄致甲 曾 英

专业编审组

1. 机械设计理论方法专业编审组

组 长 周延佑

组 员 陈立周 曾 英 傅家骥 刘光宁 万耀青

2. 机械结构强度专业编审组

组 长 傅梦遛

组 员 刘存智 高镇同 丁奎元 周辛庚 张如一

3. 机械零部件设计专业编审组

组 长 郭可谦

组 员 吴宗译 林东初 舒森茂 余梦生 姜 勇

(其他专业编审组暂缺)

编者的话

当前，国民经济各部门都迫切需要质量好、效率高、消耗低、价格便宜的先进的机械产品。而机械设计工作是决定机械产品质量、水平和经济效益的重要环节。一个机械产品的设计水平如果不高，即使制造得再好，也是一个落后的产品。所以，必须加紧提高机械设计水平。

近三十年来，世界上科学技术的发展速度很快，机械设计工作也出现了崭新的局面。由于广泛运用了各学科和各技术领域里的新成就，尤其是采用了电子计算机技术，在机械设计领域里，新原理、新方法、新技术与新结构不断涌现，从而，大大提高了设计水平和速度。特别是对于结构复杂、使用条件要求高的产品，改变了因设计难度大而不能设计或设计的质量低、周期长的状况，于是，许多大型、高精密度、高参数的质量高、效率高、消耗低和可靠耐用的各种机械产品，竞相出现。丰富了市场，并不断更新，以满足用户日益增长的需求。

在我国，随着国民经济的迅速发展，新产品的开发和老设备的技术改造工作日益增多，对机械设计工作的要求越来越高，机械设计人员迫切需要运用新的科学技术知识进行设计工作，但苦于缺乏学习和参考的资料。近几年来，一些进行产品研究、设计和教学的同志，一方面结合我国经验进行创新设计，一方面消化国外引进技术，获得了可喜成果。这些成果也需要总结推广。因此，中国机械工程学会机械设计学会机械设计丛书编辑委员会组织编写了这套机械设计丛书，以飨读者。

这套丛书编写的指导思想是：内容先进、实用。着重介绍新理论、新方法、新技术和新结构；对于传统的设计计算方法，要做总结提高工作。书中注意贯串整机设计思路。要求阐明本专题的基本原理，避免深奥的数学，着重介绍物理概念及设计要点，

给出实用的设计方法和计算公式、步骤、实际效果及经国内试验的数据、图表和实例。叙述深入浅出，分析透彻，使具有微积分数学知识的大中专程度的设计人员读得懂、用得上。用较少时间得到较大收获。

由于机械设计涉及面广，本丛书题目的选定，原则上是根据上述指导思想成熟一个定一个，不追求系统和全面。因此，全套丛书编写及出版时间将比较长，将采取分批出版的方式陆续出版。第一批13本将在近两年内出齐。它们是：《价值分析在产品中的应用》、《可靠性设计》、《电阻应变测量》、《光弹性应力分析》、《防断裂设计》、《抗疲劳设计》、《振动特性计算》、《轴的设计》、《现代带传动设计》、《联轴器》、《机械零件可靠性设计》、《机械结构设计》和《耐磨损设计》。

尽管我们朝上述设想作了许多努力，但因缺乏经验，并受水平限制，一定还存在一些缺点和不足之处，欢迎读者提出批评改进意见。

机械设计丛书编辑委员会

前 言

机械设计人员大多对机械结构设计很感兴趣，但对它的规律却研究和总结不够，因此国内很少有系统介绍这方面知识的著作。

结构设计在机械设计中占有很重要的地位，这是因为：

1. 机械设计的成果都是以一定的结构形式表现出来的。按照所设计的结构进行加工、装配、做成成品，以满足使用要求。

2. 机械设计中，各种计算都要以一定的结构为基础。机械设计公式都只适用于某种特定的机构或结构。如果不事先选定某种结构，机械设计计算便无法进行。

3. 在设计中，结构设计是个很活跃的因素，正确地选择或设计结构，常可以显著地提高设计质量。

本书力求收集和归纳机械结构设计的基本原则和常用方法，以便读者掌握和运用。为了说明这些原则举出了一些实例，并收入了一些实用的数据。最后一章举出了几种典型零件的结构设计实例。因篇幅关系，有不少内容在本书中只作了简单介绍，书后列有“主要参考文献”目录，可供深入学习者参考。

参加编写本书的人员有：于德潜(第二章)，冯中璧、卢颂峰、周宜(第六章)和吴宗泽(其余各章)。并由吴宗泽担任主编。

在本书编写过程中，经本丛书编委会有关编委及机械零部件设计专业编审组成员共同开会讨论，对初稿提出了许多宝贵意见并给予了很大帮助。担任主审的林东初工程师仔细地审阅了全书，提出了修改意见并提供了资料，谨在此表示衷心的感谢。

我们恳切地希望读者指出本书中的不妥之处。

目 录

第一章	机械结构设计概论	1
第一节	机械结构设计的基本条件和要求	1
第二节	机械零件的自由度分析	3
第三节	机械结构方案设计的技巧	13
第四节	结构方案的选择和评价	24
第二章	提高强度、刚度和延长寿命的结构设计	34
第一节	提高静应力下的强度	34
第二节	提高疲劳强度	49
第三节	提高接触强度	65
第四节	提高刚度	73
第五节	提高耐磨性	84
第三章	提高精度的结构设计	92
第一节	概述	92
第二节	阿贝(Abbe)原则	94
第三节	补偿原理	95
第四节	误差缩小和放大原理(速比原理)	100
第五节	均化原理	103
第六节	误差配置原理	106
第七节	选用适当的材料	107
第四章	零部件结构工艺性	109
第一节	概述	109
第二节	铸件的工艺性	110
第三节	铆焊件的工艺性	115
第四节	锻件的工艺性	119
第五节	工程塑料零件的工艺性	121
第六节	机械加工件的工艺性	121
第七节	机械零件修配的工艺性	128
第五章	机械结构设计的其他问题	130
第一节	安全问题	130

第二节	机械结构设计考虑人的因素	133
第三节	减小机械噪声	140
第四节	减轻腐蚀的结构	144
第六章	结构设计实例	149
第一节	减速器的结构设计	149
第二节	滚动轴承的结构设计	163
第三节	滑动轴承的结构设计	200
第四节	导轨设计	218
第五节	大件设计	229
第六节	联接件设计	240
参考文献	248

第一章 机械结构设计概论

第一节 机械结构设计的基本条件和要求

设计师都是依据一定的基本条件进行机械结构设计以满足一定要求的。这些基本条件和要求在方案设计阶段就应该是清楚的。但是如果方案不是由从事结构设计的人拟定的，或者虽由结构设计者负责拟定，而对有些基本条件尚不清楚，则在进行结构设计时，必须仔细了解下列几方面的基本要求和条件：

一、机械系统的功能要求

1. 设计的机械系统应具有的功能及其各主要部分(如部件)应具有的分功能，总体和各部分的性能参数(如生产率、压力、速度等)。

2. 输入或输出的能量、材料或信号的具体要求，如机床的精度、信号的信噪比、破碎块料的大小和形状、负荷的大小及其变化情况。

3. 对机械系统本身的具体要求，如机械本身的尺寸和重量的限制、寿命要求等。

二、使用条件

1. 环境影响 环境中的尘埃和砂石、海水、湿度、温度、气候(雨、雪、风、暴风等)、辐射、腐蚀性介质、电场、磁场等。

2. 物质条件 动力、燃料、原材料、润滑剂及各种辅料的供应情况。

3. 使用者的技术水平 操作者的技术水平和熟练程度，保养、维护和修理的情况及技术水平等。

4. 使用者的经济条件 购置费、维护费用、材料及各项开支费用及使用本机械系统的经济效果。

5. 安全的条件 人身和健康的安全要求，噪声和污染(排

污)的允许界限,机械碎片的保安要求。

6. 使用者的特殊情况 如某些国家、地区对不同颜色的好恶等。

三、工艺条件

1. 工艺和设备水平。

2. 标准化、系列化的情况。

3. 当前生产批量和远景发展趋势。

为了使机械产品在市场上具有更大的竞争能力,设计者要考虑的条件愈来愈多、愈细,使产品质量不断提高,以满足使用者的需要,并更适合不同使用者的不同要求。此外,设计者还为改善机器外型作了很多工作,按工艺美术造型的原则进行设计。有的设计师还考虑了设备“回收”问题,即机械设备用过以后很容易拆散回炉作为再生产的原材料。

根据上述条件进行机械结构设计时,设计者还要对各部分结构提出补充的要求条件,例如设计起重机,用户的要求主要是起重量、起重高度、工作范围、起重速度等,至于各构件的安全系数则由设计者按规范确定。又如家用电风扇,用户除其他要求外,还提出噪声小这一综合的要求,至于如何减少噪声,各旋转件的精度要求和动平衡精度则应由设计者考虑。

设计者在全面了解和掌握上述各基本条件和要求的基础上,还应注意分析所设计的机械的主要要求。对以能量转换为主的机械如动力机械、发电设备等,其主要性能指标是热效率(即消耗的能量能转化成可用能的百分比)。对于加工机械的主要性能指标是生产率,主要要求是能有节奏地可靠地工作、自动化程度。对金属切削机床的主要性能指标是生产率、加工精度、加工范围。对于以信号转换为主的仪器,主要性能指标是灵敏度、精度和稳定性。对于以材料转换为主的各种离心机、筛选机和过滤器的主要性能指标是生产效率和分离出物料的纯净程度。

最后,结构设计是机械设计的第三个阶段,因此在这一阶段开始以前,必须充分了解前面两个阶段(即产品计划阶段和方案

设计阶段)所考虑的设计意图和全部结论,这样才能充分发挥结构设计人员的智慧和创造性,把结构设计作为在前两个阶段创造性工作的基础上进一步创造的过程。这样还可以保证各部分结构之间的互相配合,以取得总体结构的最佳方案。必要时可能需修改以至推翻前两个阶段的结论。

第二节 机械零件的自由度分析

自由度分析是机械零件结构设计中的一个重要方法,它与“机械原理”课程中讲的机构自由度有联系,但是有很大的不同。

一、机械零件的自由度 一个机械零件在空间有六个自由度,即沿 X 、 Y 、 Z 三个轴的轴向移动和绕 X 、 Y 、 Z 三个轴的转动,如图1-1 a)所示。这六个自由度可以用简图1-1 b)表示,三根空心坐标轴表示移动方向,未涂黑者表示可沿该方向移动,全部涂黑者表示沿该方向不能移动,一半涂黑者表示沿该方向可向一边移动,不能向另一边移动(参看图1-2)。坐标轴端部的圆圈表示是否可以绕该轴自由转动,也用是否涂黑表示。

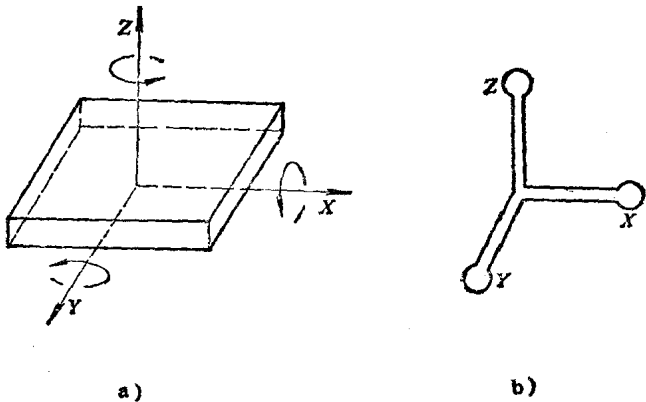
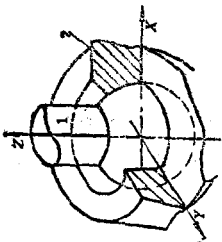
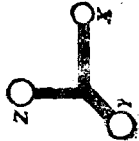
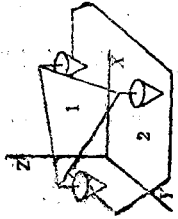
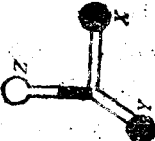
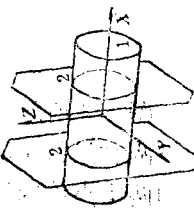



图1-1 机械零件的自由度

假设互相接触的零件都是刚体,在它们的接触部位是沿点、线或面接触,两零件之间的作用力沿法线方向,则常见的两零件之间的联接形式及其对自由度的约束如表1-1所示。

表 1-1 两零件的连接形式和自由度(举例) (36)

代号	联接形式简图	联接情况	零件1自由度简图	简 况	说 明
1		一点联接		零件1与零件2在一点相切, 零件1有: 2+0.5个移动自由度 3个转动自由度	
2		线联接		零件1与零件2沿一条直线接触, 零件1有: 2+0.5个移动自由度 2个转动自由度	
3		环形线联接		零件1与零件2沿一个环形线接触, 零件1有: 1个移动自由度 3个转动自由度	

4		球面联接	<p>零件1与零件2有一个球形表面联接, 零件1有: 3个转动自由度</p> 
5		三点支承联接	<p>零件1与零件2有三个点接触, 零件1有: 2+0.5个移动自由度 1个转动自由度</p> 
6		双面联接	<p>零件1与零件2有二个环形线相接触, 零件1有 1个移动自由度 1个转动自由度</p> 

二、自由度分析在支承件设计中的应用

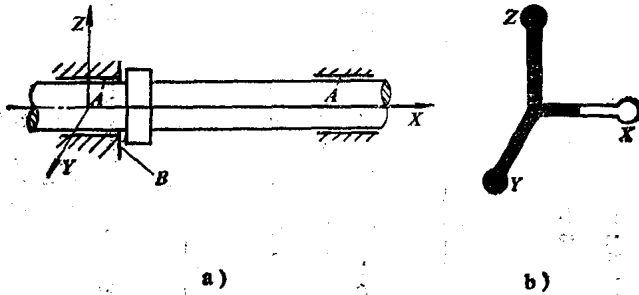


图1-2 轴的自由度(一)

图1-2 a)中，两个轴承支持着一根轴，轴上有一轴肩，此轴只有一个绕 X 轴转动的自由度，沿 X 轴方向不能向左动，能向右动，因此其自由度简图如图1-2 b)所示。此结构如需设法消除沿 X 轴向右移动的可能性，可以另加一轴肩来解决(图1-3)。支承面 A 相当于表1-1的结构6，支承面 B 相当于该表中的结构1。

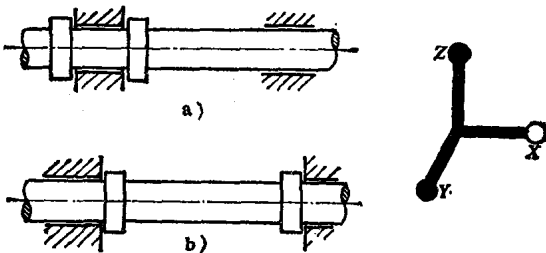


图1-3 轴的自由度(二)

图1-3所示两种结构可直接作为滑动轴承支承的轴系结构，也是两种最常用的滚动轴承支承的轴系——一端固定一端游动轴系和两支点单向固定轴系^[20]的基本结构。

图1-4为立轴支承的结构原理图。支承面 A 可以视为三个支承点，相当表1-1的结构5，支承面 B 相当表1-1的结构3。这两个结构综合在一起，轴只有一个绕 Z 轴转动的自由度。沿 Z 轴方向

向上移动的自由度可利用辅助的固定装置或回转部分的重量来消除。此处 B 为一环形支承面，沿 Z 轴方向不必很长，但适当地加大 A 面直径，有利于提高此轴系支承的回转精度。

图1-5为另一种立轴支承结构，相当于表1-1中结构1、6两种

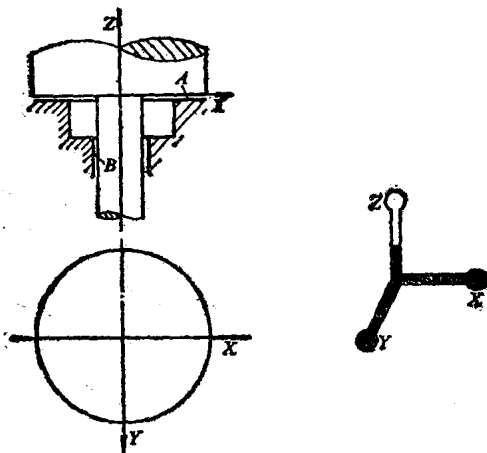


图1-4 立轴的支承结构（一）

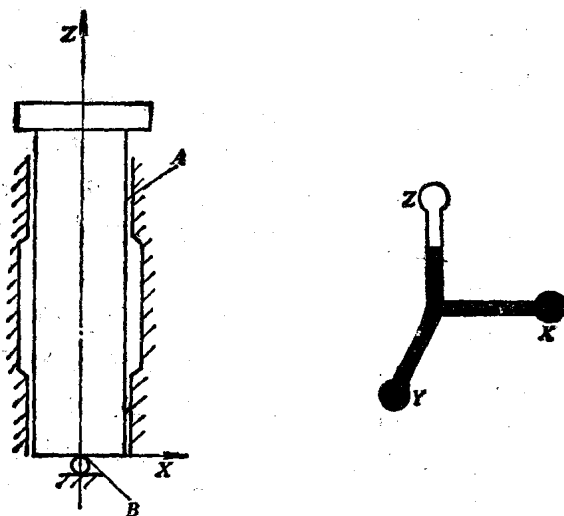


图1-5 立轴的支承结构（二）

结构的组合。与图1-4相比，图1-5结构的轴向尺寸较大而径向尺寸较小。

图1-6所示的导轨，a)图为其工作原理，1、3、5三个点相当于表1-1的第5种结构，2、4相当于表1-1的第2种结构。因此工

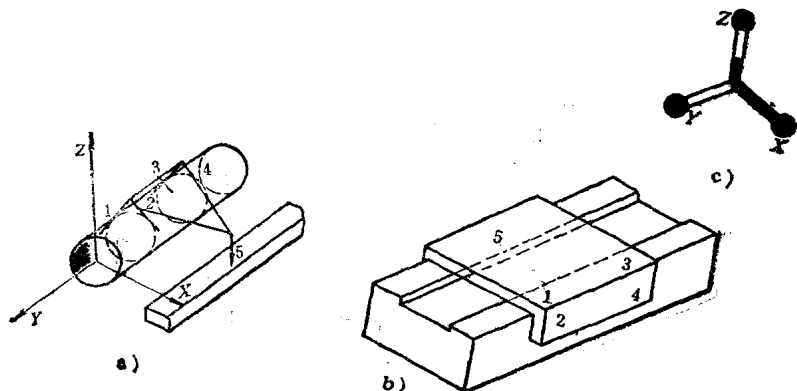


图1-6 导轨支承的自由度

作台只有一个沿 Y 轴方向移动的自由度，沿 Z 轴向上移动的自由度可利用辅助的固定装置或回转部分的重量消除。

三、自由度分析在联接件设计中的应用

联接的含义是指把一个零件 A 与另一个零件 B （或基座）固结在一起，使之没有相对运动。如图1-7零件 A 有六个自由度，把零件 A 固定在零件 B 上，可理解为采取必要的约束，全部消除 A 的六个自由度。

被联接件的接合面形状常见的有两种：一种是平面(图1-7a)，如用螺钉、铆钉、焊接等方式联接的，大部分属于这一种，另一种是圆柱面接合面(图1-7b)，如通过键、销、过盈配合等方式联接的，大部分属于这一种，轴和轮毂的联接即是。

接合面在联接中起着重要作用，可以消除零件的一部分自由度。平面接合面如表1-1的第5种结构，可以消除三个自由度(注