

● 高等学校教材



李纪仁 石端伟 程志毅

机械

设计

上

武汉水利电力大学出版社

850
71-1112-47
1-17-4
1

高等学校教材

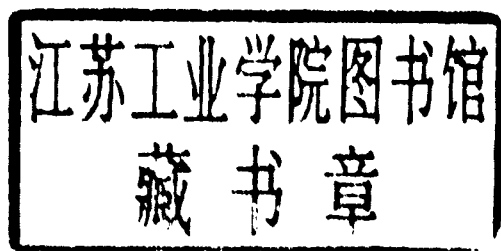
机 械 设 计

上 册

主 编：李纪仁

副主编：石端伟

陈志毅



武汉水利电力大学出版社

·武汉·

(鄂) 新登字 15 号

图书在版编目 (CIP) 数据

机械设计 / 李纪仁主编. — 武汉: 武汉水利电力大学出版社, 1998.12
ISBN 7-81063-035-0

I. 机… II. 李… III. 机械设计-高等学校-教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 40661 号

机械设计 (上册)

责任编辑: 谢文涛 封面设计: 涂 驰

武汉水利电力大学出版社出版发行

(武汉市武昌东湖南路 8 号, 邮编: 430072)

湖北省仙桃市新华印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 21.75 字数: 529 千字
1999 年 8 月第 1 版 1999 年 8 月第 1 次印刷 印数: 0 001 — 1 500 册
ISBN 7-81063-035-0/TH·2 总定价: 42.00 元 (上、下册)

前 言

《机械原理》、《机械设计》是全国各高校机械类专业的必修课，为数不多的学校在该类专业中另开设了《机械系统设计》课程，该课程亦为必修课。上述“三门课程”的基本内容都是研究机械设计的有关理论及其知识，其主要的教学目的和要求之一是培养学生的机械设计能力。因此，这“三门课程”有非常紧密的联系，联系的纽带就是“机器”。既然如此，将互相间有内在联系的“三门课程”的内容和教学要求统一在“整机”的设计中就是顺理成章的事情了。

在上述思想指导下，我们对“三门课程”进行了改革，形成了一门新的《机械设计》课程。“三门课程”的改革是全面的、系统的，它包括理论教学、大作业、课程设计、实验和课程教学中的计算机应用等。本书是为适应这一改革的理论教学而编写的。为了适应本课程其他教学环节，即大作业、课程设计、课程实验和课程教学中的计算机应用等的改革，被列入与本教材相配套的教材中。

在编写本书时，注重的几个问题是：

1. 教材的内容依据了原国家教委 1995 年颁发的《机械原理》、《机械设计》和全国“机械设计及制造”专业教学指导委员会 1988 年 3 月制定的《机械系统设计》这些课程的教学基本要求。

2. 从“整机”和组成机器的几大系统设计观点出发，除研究机械设计的有关理论、机械零部件的设计外，同时加强和充实了“整机”设计的有关内容。

3. 力求将“三门课程”的内容有机地融合在一起，而不是“三门课程”内容拼凑在一起的机械混合物。

4. 处理好“少而精”和内容充实之间的关系。

5. 尽可能采用最新的有关标准、规范和新的设计计算方法，反映学科的新成就。

本书可作为机械类专业《机械原理》、《机械设计》课程或上述“三门课程”的教材，或供有关专业师生和工程技术人员参考。

参加本书编写的有李纪仁教授（绪论，第一、十、十八、十九、二十章）；石端伟副教授（第二、三、四、十五、二十一、二十二章）；程志毅副教授（第五、六、七、十二、十三、十四、十六、十七章）；袁泽虎副教授（第八、九、

十一章)。由李纪仁教授任主编，石端伟、程志毅副教授任副主编。

本书由华中理工大学博士生导师余俊教授主审，他对书稿提出了许多宝贵意见，在此向他深表感谢。

虽然我们对“三门课程”的体系和内容等的改革迈出了第一步，应当说是可喜的。但改革的难度是不言而喻的，加之我们的水平有限，本教材的体系、内容等诸多方面难免存在不妥乃至错误，殷切期望同行和广大读者批评指正。

编 者

1998年6月

绪 论

第一节 机器的组成及基本要素

一 机器的组成

机器的种类繁多, 功能各异, 结构形式千差万别, 但究其组成而言, 它们又具有共性。现以一例说明。

图 0-1 (a) 所示为一种专用的卷扬起升机械——闸门启闭机的结构简图, 它主要用于

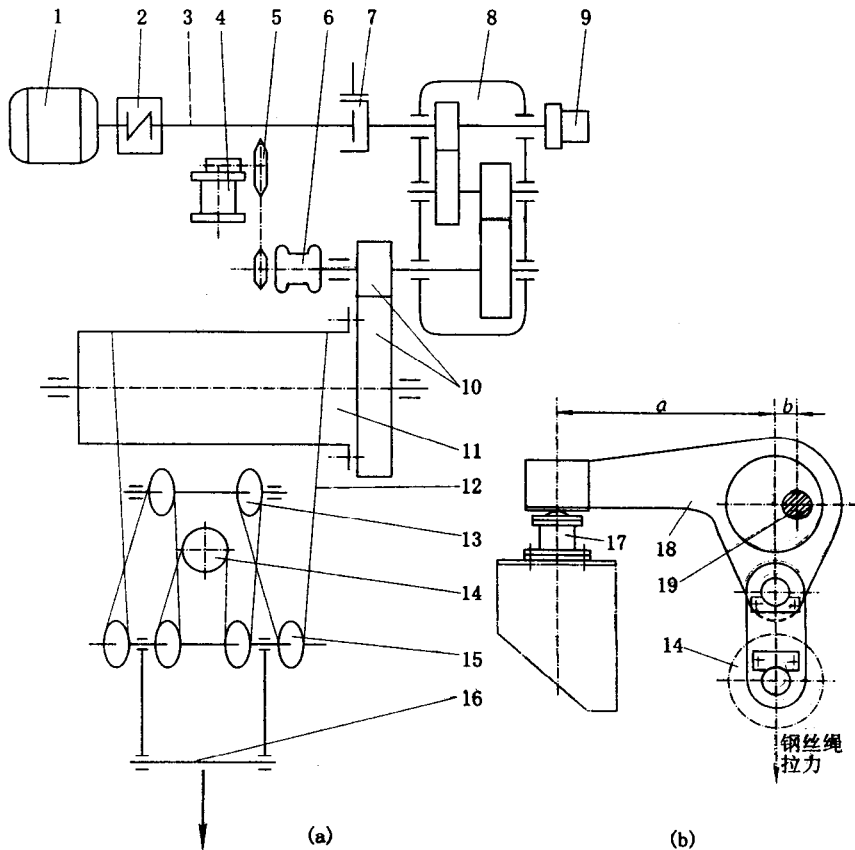


图0-1 QPK型闸门启闭机

- (a) 启闭机结构简图 (b) 负荷指示装置
- 1—电动机; 2—联轴器; 3—轴; 4—主令控制器; 5—链传动
6—发送器; 7—制动器; 8—减速器; 9—调速器; 10—开式齿轮
11—卷筒; 12—钢丝绳; 13—定滑轮; 14—平衡滑轮; 15—动滑轮
16—销轴; 17—传感器; 18—角杠杆; 19—销轴。

水电厂压力钢管进水口闸门的开启和快速关闭。其工作过程如下：电动机 1 将动力经联轴器 2、轴 3、带制动轮的联轴器 7、减速器 8 和开式齿轮 10，传给卷筒 11，再通过绕在卷筒上的钢丝绳和滑轮组，使联于销轴 16 上的闸门被提升或放下（改变电动机转向，卷筒转向改变，使钢丝绳绕入或绕出卷筒），以开启或关闭压力钢管进水口。为了使闸门停止在某一高度位置，在制动器中弹簧力的作用下，制动器的制动瓦块将装在减速器高速轴上的制动轮抱紧，使制动轮的摩擦面上产生足够大的摩擦力（矩），以阻止闸门等在自重力的作用下自动下降。

当快速关闭闸门时，制动器打开，电动机不通电；闸门等在重力作用下快速下降；同时，利用装于减速器高速轴右端的离心调速器 9 防止闸门自由下落，使其匀速且快速下降。主令控制器 4、链传动 5 和发送器 6 等组成启闭机的高度指示装置，它的功能是：指示闸门的升降高度；此外，当闸门达到全开或全关位置时，发出信号给电气控制装置，使机器停止运行。图 0-1 (b) 为启闭机的负荷指示装置，它由压力传感器 17、角杠杆 18、销轴 19 和电子称（装于控制柜上，图中未表示）等组成。在绕在平衡滑轮 14 上的钢丝绳的拉力作用下，角杠杆 18 绕销轴 19 转动，通过杠杆比的分配，传感器顶部承受一定的压力，传感器发出信号给电子称，电子称仪表上就有与实际负荷相对应的读数，并由记录装置记录下来；此外，若负荷超过规定值，电子称发出信号，自动切断电动机电源，防止机件损坏。

由上述可知，减速器、开式齿轮等是启闭机的传动系统，将电动机的运动和动力传给卷筒。滑轮组的作用除了省力减速外，它与卷筒等一起是启闭机的执行部分，完成开启或关闭闸门的功能。调速器、高度指示装置、负荷指示装置等（还有图中未标出的电气控制系统）组成启闭机的控制系统，保证启闭机按预定要求和安全可靠地工作。通过对启闭机的组成及各组成部分的功能分析，可将机器的组成用图 0-2 表示。即机器由原动机、传动系统、执行部分、操纵控制系统、辅助装置五部分组成，其中原动机、传动系统、执行部分是机器最基本的组成部分。

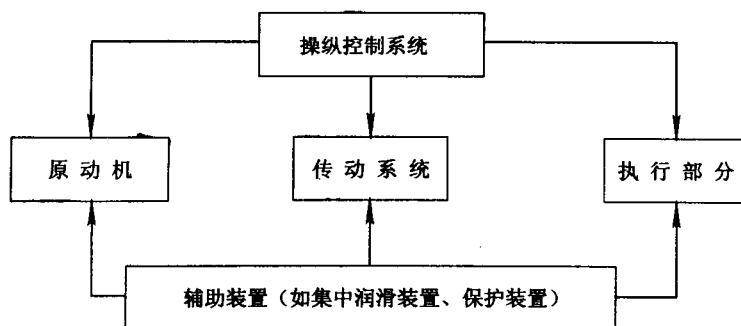


图0-2 机器的组成

原动机是机器完成预定功能的动力源。大多数机器以电动机、柴油机、汽油机为原动机，其中以各种类型的电动机应用最多。

传动系统的作用是改变原动机的运动和动力参数。如启闭机的传动系统将电动机的高转速降至卷筒所需的低转速，小转矩变为大转矩；有时传动系统还改变运动形式，如将旋转运动变为往复直线运动或直线运动等。

执行部分用来完成机器的预定功能。有的机器只有一个执行部分,如启闭机只有开启或关闭闸门的功能。有的机器将其总功能分解成几个分功能,相应地有几个执行部分。如桥式起重机的起升机构,执行将重物提升或放下的功能;小车运行机构执行横向运送重物的功能;大车运行机构执行纵向运送重物的功能。

操纵控制系统用以控制机器各部分协调动作并准确可靠地完成机器的预定功能。操纵控制系统采用机械、电气、液压、气动和电子等方式,也可综合运用上述几种方式。微电子、信息技术与机械相结合,形成所谓机-电一体化产品,是当前机械产品的一种发展趋势。这种机电一体化产品使机械产品发生了质的变化。它具有自动检测、自动数据处理、自动显示、自动诊断和调节、自动控制 and 自动保护等功能,使人机关系发生了根本的变化。

辅助装置是保证机器正常和安全可靠地工作所必需的,如润滑装置、过载保护装置、照明设备等;有些机器为了便于维护或检修,设有扶梯走道;为了搬运,设有吊钩等。

二 零件、机构、机器等名词概念

由启闭机的结构可看出,齿轮、卷筒、轴、滑轮、链轮等,是一些在机器中不可再分割的元件,这些元件称为零件。零件是组成机器的最基本要素。在各类机器中普遍使用的零件称为通用零件,如齿轮、链轮、轴、螺栓等;只在某些专门机器中才使用的零件称为专用零件,如卷筒、滑轮等主要用于启闭机和起重机一类机器中,又如内燃机的活塞、汽轮机的叶片等,仅用于内燃机、汽轮机中。

如图 0-1 (a) 中的大齿轮和卷筒,为了便于制造,一般将它们分别制作,然后用若干个螺栓、螺母等将它们联成一体,工作时两者之间无相对运动。这种由若干个零件组成,各零件之间无相对运动的组合体,称为构件。

所谓机构是由若干个零件(或构件)所组成,用以传递运动和动力,各零件(构件)之间具有确定的相对运动的组合体。如启闭机中一对开式齿轮及其轴、轴承、机架等,组成齿轮机构。

机器除了机构的特征外,另一重要特征是它可代替或减轻人们的劳动以完成有益的机械功或转换能量。因此,机器可定义为:执行机械运动的装置,用来变换或传递能量、物料与信息。

机械是机器和机构的总称。

第二节 本课程研究的内容和任务

一 本课程研究的内容

机械设计的对象是机器。因此,本课程的内容是从“整机”设计观点出发,研究机械设计的有关理论,如机械零件的强度、机械系统的运动方程和过渡过程分析、机械系统的稳定运行条件等;研究机械中常用机构和通用零部件的工作原理、结构和设计计算方法,如连杆机构、凸轮机构、联接零件、机械传动零件、轴系零件等;研究机器及其组成的几大系统的设计基本原则、理论和方法,如人机工程学、工业造型设计、机器的方案设计与评价、机器的动力装置、机器的传动系统设计、机架设计等。

二 本课程的任务

机械设计课程教学的基本任务是培养学生的机械设计能力。对于机械类专业来说，是一门主要课程。为了培养学生的机械设计能力，除了本课程的理论教学外，还安排有课程设计等教学环节。

具体地说，本课程的教学任务是：

1. 学习并掌握机器设计的有关理论和基本知识；
2. 掌握机械中常用机构、通用零部件和组成机器的几大系统的设计计算办法，具有机械结构设计的基本知识和能力；
3. 具有运用有关标准、规范和技术资料的能力；
4. 树立正确的设计思想，了解国家当前的有关技术经济政策；
5. 获得机械实验技术基本能力的培养；
6. 具有关于机械设备的正确使用和维护的基本知识，对常用机械设备的某些故障能作出分析并作相应的处理。

第一章 机械零部件设计概论

在绪论中已述及，机械零件是组成机器的最基本要素，掌握机械零件及其部件的设计与计算是整机设计的基础。因此，本章将介绍机械零件设计与计算的一些共同性问题。此外，还将介绍机械设计的一些基本知识。

第一节 对机械零件的要求及其失效形式与计算准则

一、机械零件应满足的要求

(1) 强度

零件在工作时，既不能发生任何形式的破坏，也不能产生超过容许限度的残余变形，这是保证机器正常运转和安全工作所必需的。

(2) 刚度

零件在工作时所产生的弹性变形不应超过允许的限度。为了提高零件的刚度，可采取增大零件的剖面尺寸或增大剖面的惯性矩；缩短支承间的跨距或采用多支点轴等方法。

(3) 一定的寿命

影响零件寿命的主要因素是材料的疲劳、有相对运动的零件接触表面的磨损和腐蚀等。

大部分机械零件在变应力下工作并产生疲劳破坏。零件（或材料）发生疲劳破坏与变应力的性质有关外，还与应力循环次数（即寿命）有关。所以在机械零件的设计中，有按无限寿命和有限寿命设计的问题。

(4) 合理的经济性

零件的经济性以生产成本表示。而生产成本主要由材料的成本和加工费用两方面决定。降低零件成本的主要措施有：合理地选择材料；零件有良好的结构工艺性；采用标准化的零部件；以组合结构代替整体结构等。

(5) 良好的结构工艺性

(6) 规定的可靠性

零件在规定的条件下、规定的时间内应能完成规定的功能（详见第十八章第二节）。

二、机械零件的失效形式与计算准则

机械零件由于某种原因不能正常工作，称为失效。在不发生失效的条件下，零件所能安全工作的限度，称为工作能力。通常此限度是对载荷而言，所以习惯上又称为承载能力。机械零件的设计计算所依据的准则，主要是零件的失效形式。

机械零件的失效形式主要有：

1. 断裂

机械零件的断裂失效有两种情况。一种是零件在受拉、压、弯、扭、剪等单一载荷或

复合载荷作用下, 某一危险截面上的应力超过零件材料的强度极限而发生的断裂。另一种是在循环变应力作用下, 当应力超过某一值, 应力循环达一定次数时, 零件危险截面产生疲劳断裂 (或失效)。疲劳断裂是大多数机械零件的主要失效形式。

2. 过量的残余变形

如果作用在零件某一截面上的应力超过了材料的屈服极限, 则零件将产生残余变形。变形造成零件尺寸或形状的改变, 破坏零件或部件之间相互位置或配合关系, 使机器不能正常工作。

零件的断裂和过量的残余变形属于机械零件的强度问题。机械零件的强度计算准则是零件危险截面中的应力不超过许用应力, 即

$$\sigma_c \leq [\sigma] = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{S} \quad \text{或} \quad S_c \geq [S] \quad (1-1)$$

式中 σ_c ——零件危险截面的工作应力;

$[\sigma]$ ——许用应力;

σ_{lim} ——机械零件或材料的极限应力, 它是根据材料性质与应力种类而采用的材料的机械性能极限值 (详见第三节);

S ——设计时选取的安全系数;

S_c ——计算安全系数;

$[S]$ ——许用安全系数。

在强度计算中引入安全系数, 主要是考虑以下不确定因素:

(1) 应力计算时载荷值不精确, 或应力计算的力学模型与实际情况之间有差异。

(2) 材料的不均匀性导致材料机械性能的离散性。即使是同一批材料, 同样的工艺方法加工成同样的试件, 所得到的材料机械性能也是不完全相同的。材料的强度极限、屈服极限等一般呈正态分布。设计手册或其他资料所给的数据, 一般是材料机械性能的平均值。

同样, 机械零件毛坯制取的方法和机械加工工艺方法对材料的机械性能也有很大影响, 而设计时很难精确考虑它们的影响。

(3) 零件的重要性不同。零件的重要性大致可分以下几种情况: (a) 零件破坏引起人身事故, 如飞机起落架的受力零件, 起重机的承重零件; (b) 零件的破坏引起严重的设备事故, 需要大量的工时和很大费用才能修复, 如减速器中轮齿的折断可能使其他轮齿相继折断; (c) 零件的破坏虽不致引起严重事故, 但使机器生产中断并需停工修理。

安全系数定得正确与否对零件的尺寸和重量有很大影响。安全系数定得过大, 导致零件 (或构件) 结构尺寸和重量大; 定得过小, 又不够安全。

通过长期的生产实践, 各个机械部门都制定有适合本部门的安全系数或许用应力的推荐值。本书将结合各种零件的设计计算分别加以介绍。如无具体资料可遵循时, 可根据上述影响安全系数的因素, 参考表 1-1 选取。

3. 刚度

刚度是零件受载时, 抵抗弹性变形的能力。在很多情况下, 零件的尺寸是根据刚度要求确定的。刚度计算准则是限定弹性变形量, 即

$$y \leq [y], \quad \varphi \leq [\varphi], \quad \theta \leq [\theta] \quad (1-2)$$

式中 y ——零件的变形量 (伸长或挠度等);

表 1-1

安全系数的推荐值

应力性质	材 料 性 质			极限应力	安 全 系 数	说 明
静应力	塑 性 材 料	$\frac{\sigma_s}{\sigma_b}$	0.45~0.55	σ_s	1.2~1.5	载荷和应力计算不 十分准确，安全系 数应加大 20%~50%
			0.55~0.70		1.4~1.8	
			0.70~0.90		1.7~2.2	
	铸 件		1.6~2.5			
	脆 性 材 料			σ_b	3~4	计算不很准确 时，安全系数 加大 50%~100%
变应力	塑性材料（常用）或脆性材料			σ_r	1.3~1.7	
					1.7~2.5	计算不很准确，材 料不很均匀时

φ ——挠曲角;

θ ——偏转角。

许用变形量 $[\gamma]$ 、许用挠曲角 $[\varphi]$ 、许用偏转角 $[\theta]$ 根据零件的工作要求确定。它们的具体数值可参见表 14-11 或机械设计手册中查得。

因为各类钢材的弹性模量 E 或 G 相差很小, 所以采用高强度钢代替低强度钢 (如合金钢代替碳钢), 对提高零件刚度无多大效果。提高零件刚度的有效措施是设计合理的零件形状, 增大它的惯性矩和剖面模量; 或在必要时, 增加尺寸; 或缩短支承的间距等。

4. 磨损

在机械相对运动的摩擦表面中, 物质不断损失的现象称为磨损。零件抗磨损的能力, 称为耐磨性。除非运动的摩擦表面为一层润滑剂所隔开而不直接接触, 否则磨损总是难免的。

磨损会影响机器的效率; 降低工作的可靠性; 降低机器的工作精度。据统计, 约有 80% 的零件因磨损而报废。但在某些情况下可利用磨损作为手段 (如研磨和跑合) 来提高零件和机器的质量, 这类磨损是有益的。

一个零件的磨损过程大致可分为三个阶段, 如图 1-1 所示。

(1) 跑合磨损阶段 由于零件加工后的表面都具有一定的粗糙度, 在运转初期, 摩擦表面的真实接触

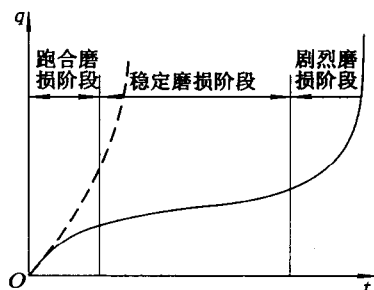


图1-1 磨损曲线

面积较小,单位面积上的实际载荷较大,因此磨损较快,而且在不断变化。但随着跑合的进行,如果摩擦副配对材料及加工工艺选择恰当,润滑良好,载荷适中,则由于真实接触面积不断增大,磨损速度在达到某一定值后,即进入稳定磨损阶段。

(2) 稳定磨损阶段 在此阶段内,零件的磨损速度缓慢而稳定,磨损率保持为常数。此阶段对应的时间就是零件的磨损寿命。

(3) 剧烈磨损阶段 经过稳定磨损阶段,摩擦副表面的磨损量达到一定值后,摩擦副间隙增大,运动精度下降,润滑状态恶化,温度升高,磨损速度急剧增大,促使零件迅速失效。

由图 1-1 可知,在设计和使用机器时,应力求缩短跑合阶段,延长稳定磨损阶段。在跑合磨损阶段,载荷应逐渐增加。若初始压力过大,速度过高,润滑不良时,则跑合期很短,并立即进入剧烈磨损阶段,如图 1-1 中虚线所示。跑合后应更换润滑剂。在稳定磨损阶段,应及时检查、润滑、调整、维修,延长零件的使用寿命。

磨损产生的原因是相当复杂的,有物理、化学、机械等多方面因素。目前机械零件的磨损计算是一种条件性计算,其计算准则是:

限制摩擦表面中的压强 P ,即

$$p \leq [p] \quad (\text{MPa}) \quad (1-3)$$

相对运动速度较高时,摩擦引起发热,破坏摩擦表面的润滑,故还应考虑摩擦面单位时间单位接触面积的发热量 fpv 。在摩擦系数一定的情况下,可用下式作为限制摩擦表面发热量的条件:

$$pv \leq [pv] \quad (1-4)$$

式中 v ——两摩擦表面相对滑动速度。

5. 表面疲劳点蚀(疲劳磨损)

若两零件为点或线接触,受载后由于变形其接触处为一小面积,通常此面积甚小而表层产生的局部应力却很大,这种应力称为接触应力,零件的强度相应地称为接触强度。如齿轮的两轮齿、滚动轴承的内外圈与滚动体等工作时,其表面产生接触应力,而且接触应力是随时间作周期性变化的。在变应力重复作用下,首先在表面产生约 $20 \mu\text{m}$ 深的初始疲劳裂纹,然后裂纹扩展。润滑油被挤进裂纹中将产生高压,使裂纹加快扩展,最终使表层金属呈小片状剥落下来,在零件表面形成一个个小坑,这种现象称为疲劳点蚀。零件表面发生疲劳点蚀,减小了接触面积,因而降低承载能力;损坏零件的光滑表面,引起振动和噪声。

由弹性力学的分析可知,两个轴线平行的圆柱体相互接触并受压时(图 1-2),接触区中线处的接触应力最大,其值根据赫兹(H·Hertz)公式求得

$$\sigma_{\text{H}} = \sqrt{\frac{F_{\text{H}}}{\pi b} \cdot \frac{\frac{1}{\rho_1} \pm \frac{1}{\rho_2}}{\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}}} \quad (1-5)$$

对于钢和铸铁,可取泊松比 $\mu_1 = \mu_2 = 0.3$,

则

$$\sigma_H = 0.418 \sqrt{\frac{F_n E}{b \rho}} \quad (1-6)$$

式中 b —— 接触线长度;

F_n —— 作用在圆柱体上的载荷;

ρ —— 综合曲率半径, $\rho = \frac{\rho_1 \rho_2}{\rho_1 \pm \rho_2}$, ρ_1 、 ρ_2

分别为两圆柱体接触点的曲率半径, 正号用于外接触, 负号用于内接触 [图 1-2 (a)、(b)];

E —— 综合弹性模量, $E = \frac{2E_1 E_2}{E_1 + E_2}$, E_1 、 E_2 分别为两圆柱体材料的弹性模量。

接触疲劳强度的计算准则为

$$\sigma_H \leq [\sigma_H] = \frac{\sigma_{H \lim}}{S_H} \quad (1-7)$$

式中 $\sigma_{H \lim}$ —— 由实验测得的材料接触疲劳极限;

S_H —— 接触疲劳安全系数。

$\sigma_{H \lim}$ 、 S_H 将结合有关零件的接触强度计算时介绍。

6. 胶合

胶合是两个作相对运动的表面在高压而又缺少润滑的工作条件下, 使两个表面温升过大而形成局部金属熔接粘合。胶合导致其中较软的金属表面撕裂成一道道表面沟纹。

机械零件除上述主要失效形式之外, 还有稳定性、轴在高速转动时的振动、非正常工作条件引起的失效 (如液体摩擦滑动轴承, 润滑油膜被破坏、靠摩擦力工作的零件, 因摩擦力不够而打滑) 等。

常用机械零 (部) 件的主要失效形式列于表 1-2。

表 1-2 常用机械零部件的主要失效形式

零、部件	螺 栓	平键、花键及其联接	轴	滑动轴承的轴瓦	滚动轴承
失效形式	塑性变形、过载断裂、疲劳断裂、剪断 (横向载荷受剪时)	挤压破坏或磨损	过载断裂、疲劳断裂、塑性变形、刚度不够、共振	磨损、胶合	疲劳点蚀, 塑性变形
零、部件	带及其传动	链传动中的链	齿轮轮齿	蜗轮轮齿	滑动、螺旋、螺母
失效形式	带的疲劳断裂和磨损、传动打滑	疲劳断裂、磨损、胶合、多次冲击破断、过载拉断	疲劳折断、过载折断、磨损、点蚀、胶合、塑性变形	疲劳折断、过载折断、磨损、胶合	螺杆的稳定性、拉伸或压缩破坏螺母牙的剪切和挤压; 螺旋副的磨损

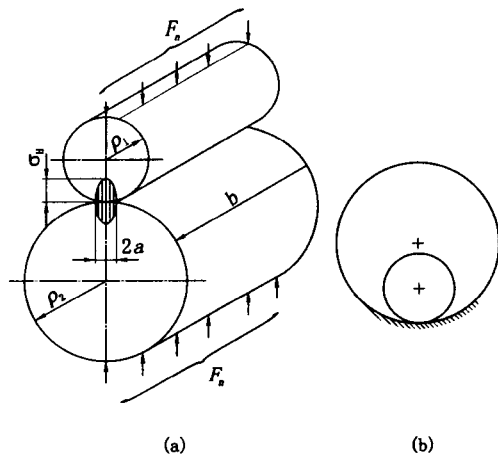


图1-2 接触应力计算简图

(a) 外接触; (b) 内接触

第二节 机器的载荷及零件的应力特性

机器在工作时,都要承受各种外力或力矩的作用,这些力或力矩在工程上称之为载荷。在机械设计中需要研究载荷,因载荷是:

- (1) 计算机械零部件的强度、刚度、稳定性、磨损等的基本条件;
- (2) 确定机器原动机功率的依据;
- (3) 影响机械运动和动力性能的重要因素。

一、机械设计中载荷的分类

1. 按照力对机械运动的影响分

(1) 驱动力 驱使机械产生运动的力,如原动机的原动力。驱动力的特征是该力与其作用点速度方向相同或成锐角。

(2) 抵抗力 阻止机械产生运动的力,如生产阻力、摩擦力等。抵抗力的特征是该力与其作用点速度方向相反或成钝角。

2. 按作用形式分

(1) 直接作用载荷 载荷以力或力矩形式直接作用在机器上,如生产阻力、惯性力、风力等。

(2) 间接作用载荷 以变形的形式间接作用在机器上,如温度升高使构件膨胀而产生的力等。

3. 按载荷产生的来源分

(1) 工作载荷 机器的工作阻力,如起重机的吊重、金属切削阻力、破碎机的破碎阻力等。工作载荷是机器最主要的载荷。

(2) 摩擦力 机器运转时各运动副中产生摩擦力,摩擦力是一种抵抗力。有些机器的工作载荷主要是摩擦力,如起重机运行机构的运行阻力。

(3) 动力载荷 动力载荷包括惯性载荷、振动载荷和冲击载荷。当机器或机器的某机构运动速度的大小或方向发生变化时(如机器启动、制动时)将产生惯性载荷;如其速度的大小或方向发生急剧变化,力的作用时间很短,则为冲击载荷。一般来说,机器是由金属构件和零部件组成的弹性系统,当作用于机器上的载荷骤变时,将使系统产生弹性振动,振动使载荷增加。

(4) 自重载荷 机器的自重载荷是指由执行机构、传动系统、电气设备、金属结构等的重量产生的载荷。

(5) 风载荷 具有一定质量和速度的气流被结构物表面阻挡时,空气对结构物产生静压力。

除上述载荷外,还有水力载荷、温度载荷等。

4. 按载荷的大小和方向随时间变化否分

(1) 静载荷 静载荷是载荷的大小和方向不随时间而变或变化较小,而且载荷是缓慢加在机器或零件上,以致使系统不会产生振动的载荷。

(2) 变载荷 载荷的大小和方向随时间发生变化的载荷。前述的动载荷属于变载荷, 不过通常所说的变载荷是指机器在正常运转过程中, 载荷的大小和方向不断变化的载荷。

由于载荷的大小和方向随时间变化情况的不同, 变载荷又可分为周期性变化的变载荷 [图 1-3 (a)] 和非周期性变化的载荷, 如图 1-3 (b) 所示的随机载荷。

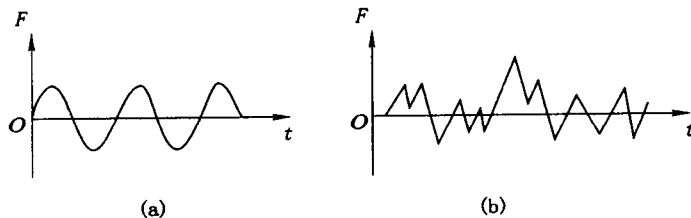


图1-3 变载荷

5. 从机械零件强度计算的出发点, 载荷可分为:

(1) 名义载荷 根据原动机的额定功率或机器在稳定和理想工作条件下的工作阻力, 按照牛顿力学的方法求出的作用在零件上的载荷。

(2) 计算载荷 机器在工作时, 受到原动机的动力参数不稳定、工作阻力变化和机器工作时的振动、冲击等影响的载荷。例如, 电动机与内燃机相比, 电动机的动力参数要稳定得多, 火电厂常用的离心式水泵、通风机比粉碎煤的球磨机、风扇磨的载荷要平稳得多等。我们把进行机械零件强度等计算时, 考虑上述因素的载荷值, 称为计算载荷。

计算载荷 P_c 与名义载荷 P 之间的关系为

$$P_c = K_A P \quad (1-8)$$

式中 K_A ——载荷系数, 有时称为工作情况系数, 它的数值一般根据使用经验决定, 它的具体值将结合有关零件设计时介绍。

必须指出: 计算载荷是一个取定后就不变的量, 它与作用在零件上随机变化的实际载荷是不同的。实际载荷与计算载荷之间的差异对机械零件强度的影响, 在安全系数中考虑。

(3) 当量载荷 当量载荷又称为等效载荷。设有一个载荷, 用这个载荷代替零件所承受的载荷, 就其给定的机械零件工作能力准则 (如强度、耐磨性等) 而言, 它们是等效的, 这个假设的载荷称为实际载荷的当量载荷。

二、强度计算中载荷的选取及组合

前已述及, 载荷的种类很多, 但是各种载荷不一定同时作用在机器上或机器的某个构件上。设计时若按最坏的工作条件和最大应力的方法去计算机器的零部件, 将导致机器的自重和成本的增加, 不经济。从机器零部件的失效来看, 在机器的使用过程中, 有时出现一次某种尖峰载荷, 机器中的零部件就可能破坏, 而与载荷作用的次数无关。可是, 机械零部件的疲劳失效, 不仅与载荷的大小有关, 还与载荷作用次数有关, 因此, 对机器作各种计算时, 要针对不同情况, 选取不同载荷并作相应的组合。

1. 疲劳强度计算载荷

当计算零部件或结构的疲劳强度、磨损或发热时, 只需考虑正常工作状态下的载荷。这种载荷不仅要计算载荷的大小, 还要计算它们的作用次数, 如齿轮的强度、带传动的计

算载荷一般都是取正常工作状态下的生产阻力作为其计算载荷。如果在不同的时间内载荷的大小是变化的,不应按载荷的最大值计算,而应取其当量载荷。

2. 强度计算载荷

它是机器正常工作状态下可能产生的最大载荷组合。这种载荷用来计算零部件或金属结构的静强度、稳定性以及机器的整体稳定性。如户外工作的起重机,在计算金属结构强度时,要考虑工作载荷和风载荷;又如在选择机器电动机的功率时,除了要考虑正常工作状态的生产阻力外,还要考虑机械系统的惯性阻力。为了防止机械零部件产生静强度破坏,常采取一些安全措施限制其最大载荷,如采用安全联轴器、液压传动中的溢流阀、电气过载保护等,计算时,应考虑。

3. 验算载荷

这种载荷是指机器在非正常工作状态下可能出现的最大载荷,如起重机运转时全速碰撞产生的载荷。这种情况虽极少出现,但对于有些机械,设计时仍应考虑。

三、机械的工作载荷的确定方法

在设计机械时,一般需预先给定载荷,它是机械设计的基本条件。工作载荷主要是根据机器的功能来确定。有些情况下,工作载荷是机器的主要性能参数,且已经标准化了,如起重机的起重量、冲压机的冲压力等。因此,类似于这种情况,在确定机器工作载荷时,如无特殊需要,可参照有关标准。

确定机器的工作载荷通常有三种方法,即类比法、计算法和实测法。对于一些较复杂难以确定的载荷,也可把上述几种方法结合起来使用。

1. 类比法

类比法就是参照同类或相近的机器,根据经验或简单的计算确定所设计机械的载荷。应用类比法常采用相似原理进行推断,其中常用的有几何尺寸类比和动力类比。

几何尺寸类比时需首先确定表征机器性能的几何尺寸,并根据现有同类机器的尺寸与载荷之间关系,由下式确定机器的载荷。

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{f(L_1)}{f(L_2)} \quad (1-9)$$

式中 F_1 、 L_1 ——所要设计机械的载荷、尺寸;

F_2 、 L_2 ——现有机器的载荷、尺寸;

$f(L)$ ——该类机械的尺寸 L 和载荷 F 间的关系。

动力类比是选择一种同类的机械,调查其实际使用的功率、转矩等,用类比的方法确定所要设计机械的功率、转矩等。

2. 计算法

计算法是根据机械的功能要求和结构特点,利用力学原理、经验公式或图表等通过计算确定机械的载荷。如图 1-4 所示为起重机的起升机构的双联滑轮组(有两根绳同时绕入卷筒)作用在卷筒上的扭矩

$$T = \frac{GD}{2m\eta_z} \quad (1-10)$$

式中 G ——提升重物的重量;

D ——卷筒的名义直径;