



普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套参考书

机械设计 思考题与习题解答

● 哈尔滨工业大学 张 锋 主 编



高等教育出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套参考书

机械设计思考题与习题解答

Jixie Sheji Sikaoti yu Xiti Jieda

张 锋 主 编

吴宗泽 主 审



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是宋宝玉、王黎钦主编，高等教育出版社出版的《机械设计》的配套教材。全书沿用主教材的章节顺序，给出了每章“思考题及习题”的参考答案，可帮助学生加深对课程内容的理解，了解和掌握解题方法和技巧，培养学生分析和解决实际问题的能力。

本书主要供高等学校机械类专业学生学习机械设计课程时使用，也可供其他院校师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

机械设计思考题与习题解答 / 张锋主编. —北京：
高等教育出版社，2010.3
ISBN 978-7-04-028405-8

I. ①机… II. ①张… III. ①机械设计-高等
学校-解题 IV. ①TH122-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 013031 号

策划编辑	宋 晓	责任编辑	李京平	封面设计	王 洋	责任绘图	尹 莉
版式设计	张 岚	责任校对	王 雨	责任印制	陈伟光		

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	咨询电话	400-810-0598
邮政编码	100120	网 址	http:// www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http:// www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http:// www.landaco.com
印 刷	北京七色印务有限公司		http:// www.landaco.com.cn
		畅想教育	http:// www.widedu.com
开 本	787 × 1092 1/16	版 次	2010 年 3 月第 1 版
印 张	8.25	印 次	2010 年 3 月第 1 次印刷
字 数	200 000	定 价	11.20 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 28405-00

前 言

为了实施“质量工程”建设，认真搞好精品课程的每一个环节，我们为由宋宝玉、王黎钦主编，由高等教育出版社出版的《机械设计》一书编写了这本配套教材。本书不仅给出了《机械设计》一书的思考题与习题的参考答案，而且为了开阔学生的解题思路，培养学生分析和解决实际问题的能力，在许多章节都增加了典型例题及参考答案，而且还在书后增加了两套综合测试题及参考答案。该书的使用将使学生深入掌握机械设计课程内容并提高其解题能力。为了给学生提供更多独立思考的机会，本书还补充了一些没有答案的思考题和习题。同时为了避免抄袭，建议使用宋宝玉、王黎钦主编《机械设计》一书的老师，在为学生布置习题作业时，或另外出题，或对书后习题的数据进行修改。

参加本书编写的有张锋（第一~四、十三~十五章）、敖宏瑞（第五~第八章）、郑德志（第九~十二章）和王连明（综合测试题一、二及其参考答案），全书由张锋主编。

本书由清华大学吴宗泽教授主审。本书在编写过程中得到哈尔滨工业大学机械设计教学组全体教师的大力支持，哈尔滨工业大学王连明教授在本书的编写过程中做了大量的工作，在此一并表示感谢！

由于编者水平所限，难免有欠妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2009年7月

目录

第一章 绪论.....	1
第二章 机械设计概论.....	2
第三章 螺纹连接.....	10
第四章 其他常用连接.....	23
第五章 带传动.....	28
第六章 齿轮传动.....	34
第七章 蜗杆传动.....	46
第八章 其他常用传动.....	66
第九章 轴.....	71
第十章 滚动轴承.....	76
第十一章 滑动轴承.....	83
第十二章 联轴器 离合器 制动器.....	91
第十三章 弹簧.....	97
第十四章 机架零件.....	102
第十五章 机械传动系统方案设计.....	104
综合测试题（一）.....	110
综合测试题（一）答案.....	113
综合测试题（二）.....	119
综合测试题（二）答案.....	122
参考文献.....	127

第一章

绪 论

思考题答案

1.1 分析下列机器的组成：（1）汽车；（2）车床；（3）摩托车。

答：

（1）汽车一般由① 发动机（原动机），② 变速箱等（传动装置），③ 车轮（工作机），④ 制动器、方向盘等（控制系统）等 4 个基本部分和车架、减振弹簧、座椅、车灯、后视镜、刮水器等（辅助部分）组成。

（2）车床一般由① 电动机（原动机），② 变速箱、带传动等（传动装置），③ 进给箱和主轴箱（工作机），④ 控制切削速度、进给量的控制系统等 4 个基本部分和床身、导轨、照明及润滑装置等（辅助部分）组成。

（3）摩托车一般由① 发动机（原动机），② 变速箱等（传动装置），③ 车轮（工作机），④ 换挡机构、制动器等（控制系统）4 个基本部分和车架、车灯、后视镜、润滑系统等（辅助部分）组成。

1.2 本课程的性质和任务是什么？

答：

本课程的性质是设计性的技术基础课。

本课程的任务是培养学生：

- （1）初步树立正确的设计思想。
- （2）掌握机械设计的基本知识和方法。
- （3）具有计算、绘图、查阅与运用有关技术资料的能力。
- （4）掌握本课程实验的基本知识，获得实验技能。
- （5）对机械设计的新发展有所了解。

1.3 学习本课程应注意哪些问题？

答：

学习本课程应注意的问题主要有：

- （1）要理论联系实际。
- （2）要抓住设计这条主线，掌握机械零部件的设计规律。
- （3）要培养解决工程实际问题的能力。
- （4）要及时复习先修课程的相关知识。

第二章

机械设计概论

一、思考题答案

2.1 机械设计的基本要求有哪些？通常按什么程序进行设计？

答：

机械设计的基本要求有：

- (1) 使用功能要求。就是要求所设计的机械应具有预定的使用功能。
- (2) 工艺性要求。在满足使用功能要求的前提下，应尽量简单、实用，能加工、能装配、好加工、好装配。
- (3) 经济性要求。体现在机械的设计、制造及使用的全过程中。
- (4) 其他要求。如劳动保护要求、可靠性要求。

机械设计的程序为：确定设计任务书、总体方案设计、技术设计、技术文件编制、技术审定和产品鉴定。

2.2 机械零件的主要失效形式有哪些？机械零件的设计准则有哪些？

答：

机械零件的主要失效形式有整体断裂（如齿轮的轮齿）、塑性变形（如齿轮的齿体和齿面）、过量的弹性变形（如机床主轴）、零件的表面破坏（如疲劳点蚀）、破坏正常工作条件引起的失效（如带传动的打滑）以及过度发热、振动噪声、丧失精度等。

设计机械零件时，首先应根据零件的失效形式确定其设计准则以及相应的设计计算方法。一般来讲，有以下几种准则：

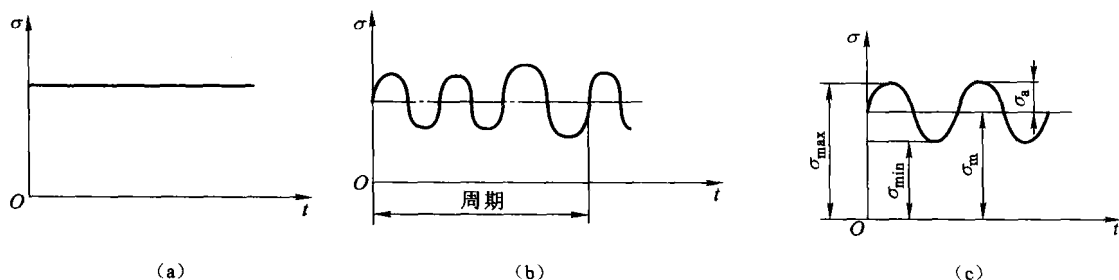
- (1) 强度准则。确保零件不发生断裂破坏或过大的塑性变形，是最基本的设计准则。
- (2) 刚度准则。确保零件不发生过大的弹性变形。
- (3) 寿命准则。保证零件在规定的使用期限内不发生疲劳失效、磨损和腐蚀是寿命准则的基本要求。
- (4) 振动稳定性准则。对易丧失稳定性的高速机械应进行振动分析和计算，以确保零件及系统的振动稳定性。
- (5) 可靠性准则。可靠性表示系统、机器或零、部件等在规定时间内能正常工作的能力。

2.3 何谓静应力与变应力？反映变应力的主要参数有哪些？它们之间的关系如何？

答：

大小和方向不随时间变化或变化缓慢的应力称为静应力，如题 2.3 解图 a 所示；大小和方

向随时间变化的应力称为变应力，如题 2.3 解图 b 所示。



题 2.3 解图

表示变应力的基本参数有 5 个，即最大应力 $\sigma_{\max}$ 、最小应力 $\sigma_{\min}$ 、平均应力 σ_m 、应力幅 σ_a （见图 2.3 解图 c）和循环特征 r 。它们之间的关系是：

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}, \quad \sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}, \quad r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$$

2.4 影响机械零件疲劳强度的主要因素有哪些？

答：

影响机械零件疲劳强度的主要因素有：① 应力集中；② 绝对尺寸；③ 表面状态。

在疲劳极限计算时常用有效应力集中系数 K_σ 或 K_f 、绝对尺寸系数 ε_σ 或 ε_f 和表面状态系数 β 来表示这些因素的影响。

2.5 选择机械零件材料的主要原则是什么？

答：

机械零件所用的材料是多种多样的，常用的材料有钢、铸铁、有色金属和非金属材料等。

选择材料的一般原则如下：

1. 载荷及应力的性质和大小

通常，受载大的零件应选用机械强度高的材料；在静应力作用下工作的零件可选用脆性材料；而在冲击、振动及变载荷作用下工作的零件则应选用塑性材料。

2. 零件的工作情况

零件的工作情况主要指零件所处的环境特点、工作温度和摩擦磨损的程度等。通常，在湿热环境下工作的零件应选用防锈和耐蚀性好的材料，如不锈钢、铜合金等。当工作温度变化很大时，一方面要考虑互相配合两零件材料的线膨胀系数不能相差过大，以免在温度变化时产生过大的热应力，或使配合松动；另一方面也要考虑材料的力学性能随温度变化而改变的情况。当零件在工作中有可能发生摩擦磨损时，要提高其表面硬度，增强其耐磨性，因此应选用适于进行表面处理的淬火钢、渗碳钢、氮化钢等材料。

3. 零件的尺寸和质量

零件的尺寸和质量与材料的品种及毛坯制造方法有关。用铸造材料毛坯时，一般不受零件的尺寸和质量的限制；而用锻造材料制造毛坯时，则需考虑锻造机械设备的生产能力，一般用于零件尺寸和质量较小的情况。此外，应该尽可能选用强度高而密度小的材料，减小零件的尺

寸和质量；而有些情况，如设计飞轮时，则应选用强度高且密度大的材料，以增大飞轮的质量。

4. 零件结构的复杂程度及材料的加工可能性

结构复杂的零件宜用铸造毛坯，选用铸造工艺性好的铸造材料，如铸铁、铸钢等；也可以用板材冲压出元件后再焊接而成，选用冲压工艺性与焊接工艺性好的材料。而结构简单的零件可用锻造毛坯，选用锻造工艺性好的材料，如锻钢等。

5. 材料的经济性

首先应该考虑材料本身的价格，在能达到使用要求的前提下，应尽量选用价格低廉的材料。

其次应该综合考虑选用材料的经济效益。对于大量生产的零件，宜选用铸造材料，采用铸造毛坯；而对于单件生产的零件，则可选用焊接材料或锻造材料，采用焊接毛坯或自由锻造毛坯；对于某些机械零件，则可采用精密的毛坯制造方法，如精铸、冲压等，这样既可提高材料的利用率，又节省了机械加工的费用，因此可获得良好的经济效益。

6. 材料的供应情况

选用材料时，还应考虑当时当地的材料供应情况，应该在满足使用要求的条件下，首先选用库存材料或当地材料、国产材料。

2.6 机械零件的结构工艺性包括哪些内容？试举例说明之。

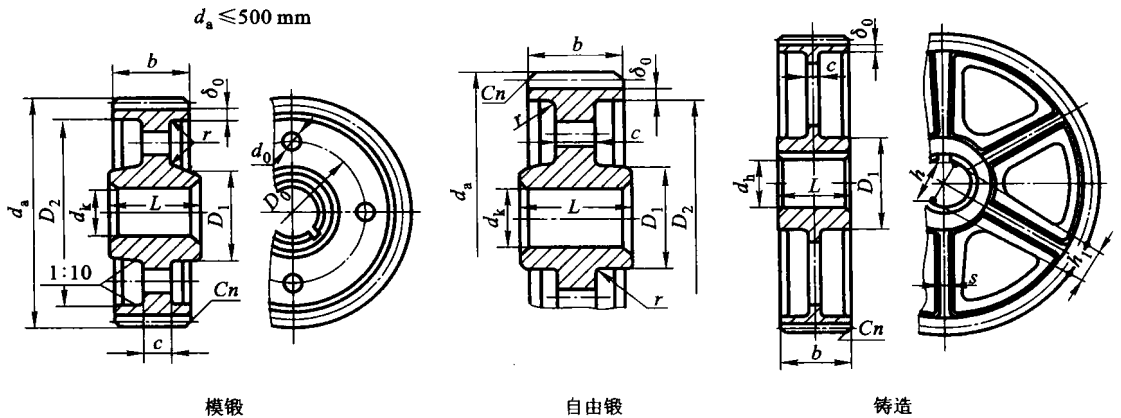
答：

机械零件的结构工艺性主要包括以下内容：

1. 零件的结构应与生产条件、批量大小及尺寸大小相适应

在大量生产及有大型生产设备的条件下，宜采用模锻毛坯；对形状复杂、尺寸大的零件，宜采用铸造毛坯。而单件或小批量生产的零件，宜用焊接毛坯或自由锻毛坯。

以齿轮为例，见图 2.6 解图 1。



题 2.6 解图 1

2. 零件造型应简单化

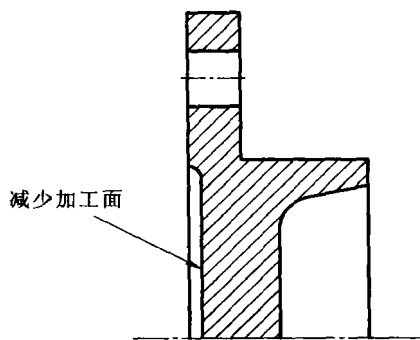
尽量采用最简单的表面（如平面、圆柱面、共轭曲面等）及其组合，同时力求减少被加工表面的数量和被加工的面积，如题 2.6 解图 2 所示。

3. 零件的结构应适合进行热处理

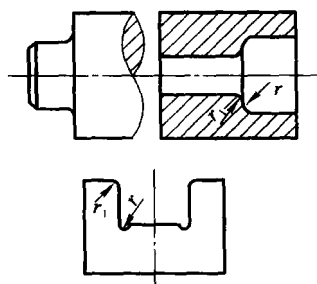
在零件结构设计时一定要考虑零件的热处理工艺性, 避免在热处理时产生裂纹及严重变形。通常应注意以下几点:

(1) 避免尖角、棱角。如题 2.6 解图 3 所示, 将尖角、棱角处理成倒圆或倒角, 可减少应力集中, 避免淬火时开裂。

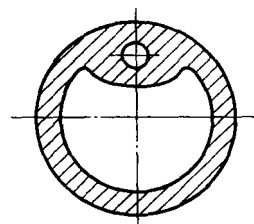
(2) 避免厚薄悬殊。如题 2.6 解图 4 所示, 加工工艺孔以减轻剖面厚薄不均匀的程度, 使淬火变形减小。



题 2.6 解图 2



题 2.6 解图 3



题 2.6 解图 4

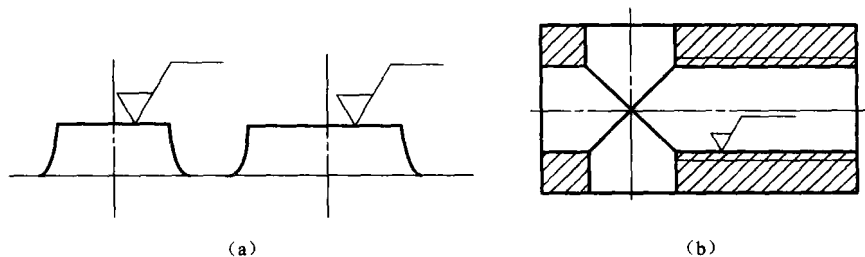
(3) 零件形状力求简单、封闭和对称。

(4) 形状特别复杂或者不同部位有不同性能要求时, 可用组合结构, 如机床铸铁床身上镶钢导轨。

(5) 提高零件的结构刚性。

4. 零件的结构应保证加工的可能性、方便性和精确性

设计出的零件结构不仅应保证能够进行加工, 而且还应保证能够很方便地加工出满足精度要求的零件。如题 2.6 解图 5a 所示, 只需一次走刀即可同时加工几个零件, 生产效率高。题 2.6 解图 5b 所示, 只需一次装卡即易保证孔的同轴度。

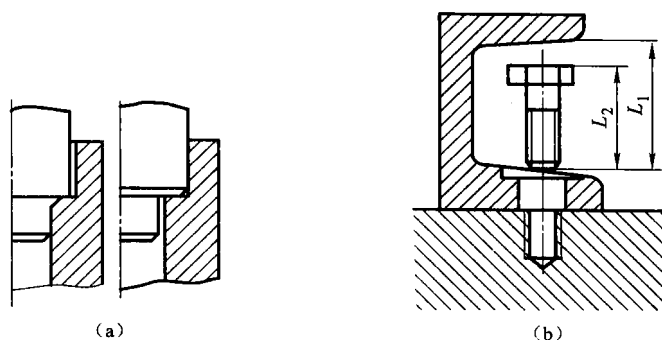


题 2.6 解图 5

5. 零件的结构应保证装拆的可能性和方便性

设计出的零件结构应保证能够方便地进行装配与拆卸。如题 2.6 解图 6 所示, 图 a 避免了两圆柱面同时接触, 既可降低非配合面的加工精度, 又便于装拆。图 b 保证了必要的安装、拆

卸紧固件的空间，便于装拆。



题 2.6 解图 6

6. 零件的结构应便于修理与维护

2.7 何谓标准化？标准化的意义是什么？

答：

据国家标准 GB/T 3935.1—1996 的规定，标准化定义为：在一定的范围内获得最佳秩序，对实际的或潜在的问题制定共同的和重复使用的规则的活动。制定、修订和贯彻标准是标准化活动的主要任务。标准化的基本特征是统一、简化。其意义在于：

- (1) 能以最先进的方法在专门化的工厂中对那些用途最广泛的零部件进行大量、集中的制造，以提高质量，降低成本。
- (2) 统一了材料和零部件的性能指标，使其能够进行比较，提高了零部件性能的可靠性。
- (3) 采用了标准结构和标准零部件，可以简化设计工作，缩短设计周期，提高设计质量。
- (4) 零件的标准化便于互换和机器的维修。

2.8 摩擦有哪几种类型？各有什么特点？

答：

按摩擦界面的润滑状态，可将摩擦分为干摩擦、边界摩擦、流体摩擦和混合摩擦。由于后三种摩擦状态是加注了润滑剂之后形成的，所以又分别称为边界润滑、流体润滑和混合润滑。不加润滑剂时，相对运动的零件表面直接接触，这样产生的摩擦称为干摩擦。

干摩擦的摩擦因数大、磨损严重，设计时应采取一定的措施尽量避免或减少干摩擦。

边界摩擦时，边界膜有较好的润滑作用，但一般润滑油的边界膜强度不高，在较大压力作用下边界膜容易破坏，而且温度增高时边界膜的强度显著降低。

流体摩擦不会发生金属表面磨损，摩擦因数小，是理想的摩擦状态。

2.9 实现液体摩擦有几种方法，各有何特点？

答：

实现流体摩擦有下列三种方法，现分述如下：

1. 流体动压润滑

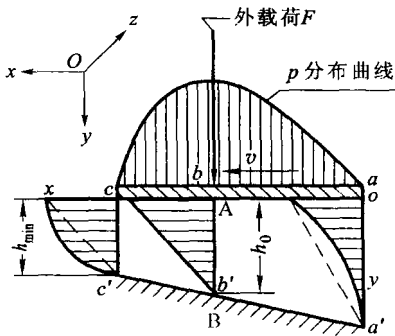
流体动压润滑的实现可用题 2.9 解图 1 所示的模型来说明。图中有互相倾斜的两块平板 A 和 B，其间充满粘性流体。B 板固定不动，当 A 板沿 x 方向运动时，就会将具有一定粘度的流

体带入楔形间隙，形成具有一定动压力的油膜，只要外部作用于 A 板上的载荷不超过油膜动压力 p 的合力，A 板就会与 B 板保持一定的距离而不接触，形成流体摩擦。

2. 弹性流体动压润滑

有些高副接触的机械零件（如齿轮、滚动轴承等）局部接触压力很高，接触区的弹性变形以及压力增高而引起的润滑油粘度的增大不容忽视。高副接触表面的弹性变形区也能形成流体润滑膜。将这种考虑了接触区弹性变形和压力接触区润滑粘度的影响的动压润滑称为弹性流体动压润滑（EHL），简称为弹流润滑。

油膜厚度的大小与接触表面尺寸、形状，接触体的材料，接触体运动速度，润滑油的粘度，粘压指数以及载荷大小等诸多因素有关。题 2.9 解图 2 为接触区弹性变形、油膜形状和压力分布曲线。

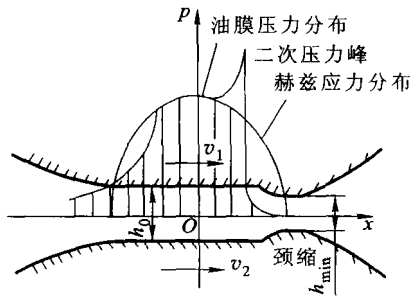


题 2.9 解图 1 流体动压润滑示意图

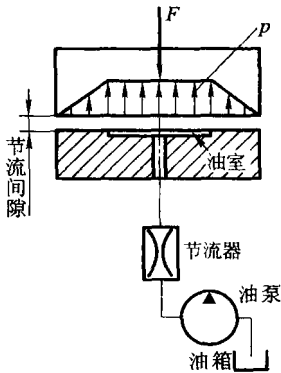
3. 流体静压润滑

流体静压润滑的模型如题 2.9 解图 3 所示。用油泵将润滑油经过节流器以所需要的压力注入被润滑表面的油室，再由油室的封油边流回油箱。油室油压力足够大时就可以和外载荷相平衡，使两表面保持一定距离，维持流体润滑状态。

流体静压力润滑是靠外界提供具有一定压力的润滑油实现的，承载能力不受两表面的相对速度和表面粗糙度等因素影响，运动精度高。在机床、发电机等设备中应用流体静压润滑已获得满意效果，但流体静压润滑需要一个较复杂的液压（气压）系统，造价和维护费用较高。



题 2.9 解图 2 弹性流体动压润滑状态图



题 2.9 解图 3 流体静压润滑原理

2.10 磨损有几种主要类型？

答：

根据磨损机理可将磨损分为粘着磨损、磨粒磨损、疲劳磨损、冲蚀磨损及腐蚀磨损等。

1. 粘着磨损

当相对运动的两表面处于混合摩擦或边界摩擦状态，载荷较大、相对运动速度较高时，边界膜可能遭到破坏，材料会从一个表面转移到另一表面或离开表面成为磨粒，这种现象称为粘

着磨损。

2. 磨粒磨损

摩擦副接触的两表面上较硬的微峰及从外界进入摩擦副间的硬质颗粒会起到“磨削”作用，使摩擦副表面材料不断损失，这种磨损称为磨粒磨损。

3. 疲劳磨损

高副接触的两表面（如齿轮、滚动轴承等）在接触应力（赫兹应力）的反复作用下，零件工作表面或表面下一定深度处会形成疲劳裂纹，随着裂纹的扩展与相互交接，会使表面层金属剥落，出现凹坑，这种磨损称为疲劳磨损，也称为疲劳点蚀或简称点蚀。

4. 冲蚀磨损

具有一定速度的硬质微粒冲击物体表面时，物体表面受到法向力及切向力作用，当硬质微粒反复作用物体表面时，就会造成表面破坏，物体表面会不断损失材料，这种磨损称为冲蚀磨损。

5. 腐蚀磨损

摩擦副受到空气中的酸或润滑油中残存的少量无机酸的水分子的化学或电化学反应，使摩擦副表面材料不断损失，这种磨损称为腐蚀磨损。

2.11 常用润滑剂有几类？

答：

润滑剂可分为液体润滑剂、气体润滑剂、固体润滑剂和半固体润滑剂四大类。

液体润滑剂常用润滑油，如有机油、矿物油和化学合成油，还有水；气体润滑剂如空气；固体润滑剂是一些固体粉末，如石墨、二硫化钼（ MoS_2 ）、聚四氟乙烯（PTFE）粉末，它们的剪切强度低、摩擦因数小；润滑脂是一种半固体润滑剂。

2.12 润滑油粘度的意义是什么？粘度单位有哪几种？影响粘度的主要因素是什么？它们是如何影响粘度的？

答：

粘度是润滑油的主要物理性能指标。它反映了润滑油在外力作用下抵抗剪切变形的能力，也是液体内摩擦力大小的标志。

粘度的表示方法有多种，常用的粘度单位有：

（1）动力粘度。流体的动力粘度 η 单位是 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ ，叫做“帕秒”，常用 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 表示。

（2）运动粘度。其单位是 m^2/s ，若用 cm^2/s ，叫做“斯”，用 St 表示。 St 的百分之一是 cSt ，叫做“厘斯”，换算关系为 $1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St} = 10^6 \text{ cSt}$ 。

（3）相对粘度。恩氏粘度是相对粘度的一种，恩氏粘度用 $^\circ\text{E}$ 表示。

影响粘度的主要因素是温度和压力，润滑油的粘度随温度上升而迅速下降，而随压力的升高而增大。

2.13 润滑油及润滑脂的主要性能指标各有哪些？

答：

润滑油的主要性能指标除了粘度外，还有以下几个性能指标：

（1）油性。用油性表示润滑油在摩擦表面上的吸附性能，油性越好的润滑油吸附能力越强，它能在金属表面上形成较为牢固的吸附膜。反之，油性差的润滑油吸附能力差。

（2）闪点和燃点。将润滑油加热，油样蒸气与空气混合并接近明火发生闪光时的油温称为

闪点；闪光时间连续达到 5s 时的油温称为燃点。机器工作温度高时，如内燃机，应选用燃点高的润滑油。

(3) 凝点。润滑油冷却到不能流动时的温度称为凝点。低温下工作的机器应选用凝点低的润滑油。

(4) 极压性。润滑油中的活性分子与摩擦表面形成耐压、减摩、抗磨的化学膜的能力称为极压性。载荷大的高副接触的摩擦副间宜选用极压性好的润滑油。

(5) 酸值。润滑油中含有有机酸，为中和 1g 润滑油中的有机酸所需的氢氧化钾的毫克数称为酸值。酸值大的润滑油对零件有腐蚀作用，选择润滑时要限制酸值。

润滑脂的性能指标主要有针入度、滴点、析油量、机械杂质、灰分、水分等。

(1) 针入度。针入度是一个标准圆锥体在规定质量 (150 g)、时间 (5 s) 和温度 (25 °C) 条件下沉入标准量杯内的润滑脂的深度 (以 0.1 mm 为单位来表示)。该值表示润滑脂的稠度，即润滑脂的软硬程度，也标志着润滑脂内阻力的大小和流动性的强弱。低速重载时选用针入度小的润滑脂。

(2) 滴点。滴点是在规定的条件下加热，当润滑脂自滴点计的小孔滴下第一个液滴时的温度。它表示润滑脂的耐热性能，是确定润滑脂最高使用温度的依据。通常润滑脂的工作温度至少应比其滴点低 20°C。工作温度高时应选用滴点高的润滑脂。

二、补充思考题

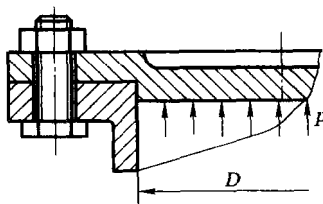
1. 举例说明准确描述稳定循环变应力至少要给出几个参数。其他参数如何表征？
2. 减少应力集中的途径有哪些？计算零件的对称循环弯曲疲劳极限时如何用 K_σ 、 ϵ_σ 和 β ？
3. 45、Q235、20CrMnTi、GCr15、T10、38CrMoAl 等材料各有什么特点？（可查手册）
4. 机床床身、汽车活塞、汽车曲轴、焊接机架材料应如何选择？
5. 请再举出一些实际例子说明机械零件的结构工艺性。
6. 各举出一实例说明干摩擦、混合摩擦、流体摩擦。
7. 边界润滑和液体润滑状态下，油膜厚度和摩擦因数的范围各为多少？油膜厚度如何测量？
8. 对每种磨损各举一实例，并各提出一种避免磨损的方法。
9. 农业机械的犁、锄等的磨损属于哪种磨损，如何提高其耐磨性？
10. 试给出 2~3 种润滑油和润滑脂的牌号、性能及其应用。

第三章

螺 纹 连 接

一、典型例题

1. 例题 3.1 图为一压力容器盖的螺栓组连接, 已知容器内径 $D=250\text{ mm}$, 内装具有一定压强的液体, 沿凸缘圆周均匀分布 12 个 M16 ($d_1=13.835\text{ mm}$) 普通螺栓, 螺栓材料的许用拉伸应力 $[\sigma]=120\text{ MPa}$, 螺栓的相对刚度 $\frac{C_B}{C_B+C_m}=0.5$, 按紧密性要求, 剩余预紧力 $F''=1.8F$, F 为螺栓的轴向工作载荷。试计算该螺栓组连接允许的容器内液体的最大压强 $p_{\max}$ 。此时螺栓的所需的预紧力 F' 为多少?



例题 3.1 图

解:

1) 计算螺栓允许的最大总拉力 F_0

$$\text{由 } \sigma = \frac{1.3F_0}{\frac{\pi d_1^2}{4}} \leq [\sigma] \text{ 得}$$

$$F_0 = \frac{[\sigma] \pi d_1^2}{4 \times 1.3} = \frac{120 \times \pi \times 13.835^2}{4 \times 1.3} \text{ N} = 13876.7 \text{ N}$$

2) 计算容器内液体的最大压强 $p_{\max}$

由 $F_0 = F'' + F$ 及 $F'' = 1.8F$ 可得

$$F_0 = 2.8F$$

所以

$$F = \frac{F_0}{2.8} = \frac{13876.7}{2.8} \text{ N} = 4955.9 \text{ N}$$

而

$$F = \frac{\frac{\pi D^2}{4} \cdot p_{\max}}{12}$$

所以

$$p_{\max} = \frac{12F}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{12 \times 4955.9}{\frac{\pi \times 250^2}{4}} \text{ MPa} = 1.21 \text{ MPa}$$

3) 计算液体压强为 $p_{\max}$ 时螺栓所需的预紧力

当液体压强为 $p_{\max}$ 时, 螺栓的总拉力为 F_0 , 轴向工作载荷为 F 。

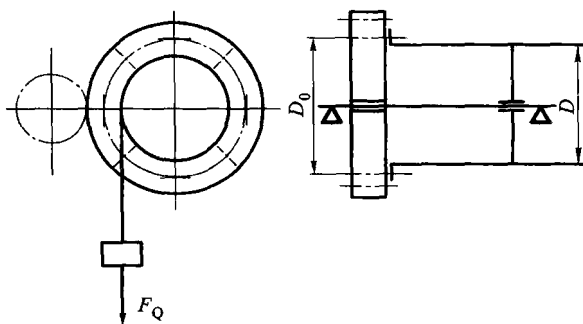
$$F_0 = F' + \frac{C_B}{C_B + C_m} F$$

得

$$F' = F_0 - \frac{C_B}{C_B + C_m} F = (13876.7 - 0.5 \times 4955.9) \text{ N} = 11398.8 \text{ N}$$

即该螺栓组连接允许的容器内液体的最大压强 $p_{\max} = 1.21 \text{ MPa}$, 此时螺栓的所需的预紧力 $F' = 11398.8 \text{ N}$ 。

2. 起重卷筒与大齿轮用 8 个普通螺栓连接在一起, 如例题 3.2 图所示。已知卷筒直径 $D=400 \text{ mm}$, 螺栓均匀分布在直径 $D_0=500 \text{ mm}$ 的圆周上, 接合面间摩擦因数 $f=0.12$, 可靠性系数 $K_f=1.2$, 起重钢索拉力 $F_Q=50\,000 \text{ N}$, 螺栓材料的许用拉伸应力 $[\sigma]=100 \text{ MPa}$, 试设计该螺栓组的螺栓直径。



例题 3.2 图

解:

本题为仅受旋转力矩作用的螺栓组连接。采用普通螺栓连接, 靠接合面间的摩擦力矩来平衡旋转力矩。

1) 计算旋转力矩 T

$$T = F_Q \cdot \frac{D}{2} = 50\,000 \times \frac{400}{2} \text{ N} \cdot \text{mm} = 10^7 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

2) 计算螺栓所需要的预紧力 F'

由 $zfF' \frac{D_0}{2} = K_f T$ 得

$$F' = \frac{2K_f T}{zfD_0}$$

式中: T ——旋转力矩, $T=10^7 \text{ N}\cdot\text{mm}$;

K_f ——可靠性系数, $K_f=1.2$;

z ——螺栓数目, $z=8$;

f ——摩擦因数, $f=0.12$;

D_0 ——螺栓分布圆周直径, $D_0=500 \text{ mm}$ 。

所以

$$F' = \frac{2 \times 1.2 \times 10^7}{8 \times 0.12 \times 500} \text{ N} = 50\,000 \text{ N}$$

3) 确定螺栓直径

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4 \times 1.3 F'}{\pi [\sigma]}}$$

式中: $[\sigma]$ ——螺栓材料的许用拉伸应力, $[\sigma]=100 \text{ MPa}$ 。

所以

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4 \times 1.3 \times 50\,000}{\pi \times 100}} \text{ mm} = 28.768 \text{ mm}$$

查 GB/T 196—2003, 取 M30($d_1=28.917 \text{ mm} > 28.768 \text{ mm}$)

二、思考题与习题及答案

3.1 螺纹连接的效率与哪些因素有关? 在设计普通螺纹连接时, 什么时候用粗牙螺纹连接? 什么时候用细牙螺纹连接?

答:

由公式 $\eta = \tan \psi / \tan(\psi + \rho')$ 可以看出, 螺纹连接的效率 η 与螺纹升角 ψ 和当量摩擦角 ρ' 有关, ψ 越大, ρ' 越小, 则 η 越大, 反之亦然。而 ψ 与螺栓头数 n 、螺距 P 和中径 d_2 有关, ρ' 与摩擦因数 f 和牙侧角 β 有关。

在设计普通螺纹连接时, 一般用粗牙螺纹。细牙螺纹常用于承受冲击、振动及变载荷或空心、薄壁零件及微调装置中。

3.2 螺栓、螺钉和双头螺柱分别用于什么场所? 如何在螺纹连接的结构设计中防止螺栓受偏心载荷?

答:

螺栓连接是用螺栓穿过被连接件的光孔后拧紧螺母来实现的, 用于连接两个都不太厚并且需要经常拆卸的零件。

螺钉连接是当被连接件之一受结构、厚度等限制, 不能在其上加工通孔, 或希望结构紧凑、或希望有光整的外露表面、或无法装拆螺母时, 可以直接在不能加工通孔的被连接件上加工螺纹孔以代替螺母, 它用于不经常拆卸的场合, 以免磨损被连接件的螺纹孔。

双头螺柱连接是在需要用螺钉连接的结构并且连接又需要经常拆卸或用螺钉无法安装时, 则需使用双头螺柱连接。

在螺纹连接的结构设计中防止螺栓受偏心载荷的方法有:

(1) 被连接件为铸件时, 应在表面加工沉头座孔或凸台。

(2) 由于结构限制, 被连接件表面与螺栓轴线不垂直时, 可采用斜垫圈。