

21世纪

自学·复习·考研系列丛书

机械设计 试题精选与答题技巧

● 机械工程系列

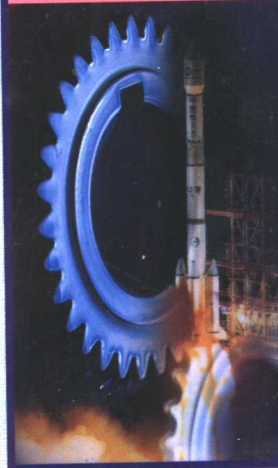
JIXIE SHEJI SHITI

JINGXUAN YU DATI JIQIAO

姜洪源 主编

哈尔滨工业大学出版社

突出重点
明确思路
提高能力



21 世纪自学·复习·考研系列丛书

机械工程系列

机械设计试题精选与答题技巧

姜洪源 主编

哈尔滨工业大学出版社
哈尔滨

内 容 提 要

本书是为高等学校机械类各专业本科生课程复习和考研编写的学习应试指导书。

本书每一章内容包括:必备知识与考试要点、典型范例与答题技巧、精选习题与实战演练、精选习题答案四部分内容。附录中还给出了哈尔滨工业大学和其它重点院校近年来的研究生入学考试试题。

本书主要是针对陈铁鸣等主编的《机械设计》(哈尔滨工业大学出版社 2003 年 8 月修订版)教材内容编写的,并涵盖了国内同类教材的重点内容。

本书既可作为高等学校机械类各专业本科生考研的辅导教材,也可作为高等学校机械类各专业本、专科学生课程复习的参考教材,还可供有关教师参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计试题精选与答题技巧/姜洪源主编. —哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社, 2003. 12

ISBN 7 - 5603 - 1946 - 7

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 099484 号

出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区教化街 21 号 邮编 150006
传 真 0451 - 86414749
印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂
开 本 787 × 1092 1/16 印张 13.5 字数 324 千字
版 次 2003 年 12 月第 1 版 2003 年 12 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 7 - 5603 - 1946 - 7/TH·117
印 数 1 ~ 4 000
定 价 20.00 元

前 言

目前,“考研热”持续升温,这体现了时代的需求、社会的进步和广大莘莘学子的热切愿望,而研究生入学考试则是通向研究生之路的第一关。现在国内高等学校机械类各专业及部分力学、管理类等专业研究生入学考试科目,除全国统一命题的外语、数学和政治三门基础课外,都将“机械设计”或“机械设计基础”课程列为必考的科目之一。为了帮助广大考生进行有效的复习备考,以便在较短的时间内掌握课程的内容,提高分析问题、解决问题的能力,掌握解题的方法和技巧,我们在总结近 10 年来哈尔滨工业大学和有关重点院校考研命题及考研辅导经验的基础上,特编写了本书。

本书的每一章包括:必备知识与考试要点、典型范例与答题技巧、精选习题与实战演练、精选习题答案四部分内容。在必备知识与考试要点中,对考生应掌握的基本知识、基本理论和基本方法,进行了总结性、规律性的分析和一般性指导;在典型范例与答题技巧中,通过示范解题给考生以解题思路和技巧;在精选习题与实战演练中,按填空题、是非题、单项选择题、简答题、计算题、结构题和综合题等多种题型,给出了多道考题供考生练习,以检查自己的备考复习情况。书后还给出了哈尔滨工业大学和其它重点院校近几年的研究生入学考试试题。

本书既可作为报考硕士研究生人员的考前复习辅导教材,还可作为本、专科学生学习“机械设计”及“机械设计基础”课程的参考教材,也可供有关教师参考。

参加本书编写工作的有:翟文杰(第一章)、王连明(第二章)、陈铁鸣(第三章)、姜洪源(第四章)、王瑜(第五章)、宋宝玉(第六章)、荣涵锐(第七章)、张鹏顺(第八章),张锋、王洪祥为部分试题做了解答。全书由姜洪源担任主编,由陈铁鸣、王连明审阅。本书编写过程中,承蒙哈尔滨工业大学机械设计系许多教师的支持和帮助,谨表示衷心的感谢。

因编写此类书尚属首次,加之作者水平和时间所限,疏漏之处在所难免,恳望广大读者给予批评指正。

编 者

2003 年 8 月

目 录

第一章 机械零件设计概论

- 1.1 必备知识与考试要点 (1)
- 1.2 典型范例与答题技巧 (2)
- 1.3 精选习题与实战演练 (4)

第二章 螺纹连接(含螺旋传动)

- 2.1 必备知识与考试要点 (7)
- 2.2 典型范例与答题技巧 (10)
- 2.3 精选习题与实战演练 (25)
- 2.4 精选习题答案 (34)

第三章 挠性件传动

- 3.1 必要知识与考试要点 (42)
- 3.2 典型范例与答题技巧 (46)
- 3.3 精选习题与实战演练 (51)
- 3.4 精选习题答案 (56)

第四章 齿轮传动

- 4.1 必备知识与考试要点 (64)
- 4.2 典型范例与答题技巧 (71)
- 4.3 精选习题与实战演练 (78)
- 4.4 精选习题答案 (86)

第五章 蜗杆传动

- 5.1 必备知识与考试要点 (98)
- 5.2 典型范例与答题技巧 (99)
- 5.3 精选习题与实战演练 (108)
- 5.4 精选习题答案 (111)

第六章 轴及轴毂连接

- 6.1 必备知识与考试要点 (113)
- 6.2 典型范例与答题技巧 (116)
- 6.3 精选习题与实战演练 (120)
- 6.4 精选习题答案 (125)

第七章 滚动轴承

7.1 必备知识与考试要点	(129)
7.2 典型范例与答题技巧	(133)
7.3 精选习题与实战演练	(137)
7.4 精选习题答案	(144)

第八章 滑动轴承

8.1 必备知识与考试要点	(153)
8.2 典型范例与答题技巧	(154)
8.3 精选习题与实战演练	(159)
8.4 精选习题答案	(160)

附录

哈尔滨工业大学 1999 年硕士研究生入学考试试题	(164)
哈尔滨工业大学 2000 年硕士研究生入学考试试题	(167)
国防科技大学 2000 年硕士研究生入学考试试题	(171)
原吉林工业大学 2000 年硕士研究生入学考试试题	(174)
东南大学 2000 年硕士研究生入学考试试题	(176)
哈尔滨工业大学 2001 年硕士研究生入学考试试题	(177)
大连理工大学 2001 年硕士研究生入学考试试题	(180)
国防科技大学 2001 年硕士研究生入学考试试题	(185)
北京理工大学 2001 年硕士研究生入学考试试题	(188)
北京航空航天大学 2001 年硕士研究生入学考试试题	(191)
华中科技大学 2001 年硕士研究生入学考试试题	(194)
哈尔滨工业大学 2002 年硕士研究生入学考试试题	(196)
国防科技大学 2002 年硕士研究生入学考试试题	(199)
中南大学 2002 年硕士研究生入学考试试题	(201)
哈尔滨工业大学 2003 年硕士研究生入学考试试题	(204)

参考文献	(208)
------------	-------

第一章 机械零件设计概论

1.1 必备知识与考试要点

1.1.1 主要内容

- (1) 机械零件常见失效形式和强度判定准则。
- (2) 应力的种类及许用应力、安全系数的确定方法。
- (3) 机械零件接触强度、摩擦磨损、公差配合、表面粗糙度和工艺性等基本知识,了解机械零件工艺性及标准化的意义。
- (4) 机械制造中常用材料的性能及选用方法。

1.1.2 重点与难点

1. 机械设计(又称机械零件)的主要任务

- (1) 学习运用基本理论和基本知识解决一般零件设计问题。
- (2) 掌握通用机械零件的结构特点和工作原理,掌握零部件的选用或设计计算方法,掌握结构设计和维护知识,具有分析机械零件失效原因和提出改进措施的能力。
- (3) 学会运用手册、标准和规范等有关资料,具有设计通用机械零件和简单传动装置的能力。

2. 机械零件的分析内容及步骤

- (1) 工作原理。
- (2) 失效形式。
- (3) 常用材料。
- (4) 承载能力计算。
- (5) 参数选择。
- (6) 结构设计。

3. 本章的重点内容

重点是机械零件的失效形式及强度判定原则、应力的种类及极限应力的确定和安全系数的选取等。难点是确定变应力下零件的许用应力,以及合理选择制造机械零件的材料、公差配合及表面粗糙度。

- (1) 判别机械零件的危险截面是否安全的基本依据是

$$\text{工作应力} \leq \text{许用应力} = \frac{\text{材料的极限应力}}{\text{许用安全系数}}$$

材料的极限应力是根据工作应力的类型来选择的。工作应力是静应力时,脆性材料

的极限应力为强度极限,塑性材料的极限应力为屈服极限。工作应力是变应力时,极限应力为材料的疲劳极限。上式也可用于机械零件的表面强度计算,如工作应力为接触应力时,极限应力为接触疲劳极限。

(2) 零件的应力类型与零件所受载荷的类型不是一回事,不可混淆。应特别注意,有些静载荷作用下的零件却产生变应力。例如,受径向力的回转轴的弯曲应力,轴承内外圈滚道表面的接触应力等等。

(3) 疲劳曲线是研究材料疲劳强度的基本曲线,该曲线分有限寿命区和无限寿命区。在有限寿命区,随着循环次数 N 的减小,疲劳极限增大。若 $N < 10^3$ (或 10^4),疲劳极限接近或超过屈服极限时,疲劳曲线就不适用了,此时应按静强度来处理。在无限寿命区,疲劳极限为常数,与循环次数无关。有限寿命区和无限寿命区的分界点处的循环次数为循环基数 N_0 ,其值与材料的品种、强度等因素有关。因此,疲劳曲线方程式仅适用于 $N = 10^3$ (或 10^4) $\sim N_0$ 的范围。

(4) 摩擦、磨损和润滑统称为摩擦学,它是研究相对运动表面摩擦行为的一门科学。相互接触的两表面有相对运动或运动趋势时产生摩擦现象。磨损是摩擦所造成的后果,也是机械零件最常见的失效形式之一。润滑则是减小摩擦和降低磨损的主要技术措施。

本章内容为机械零件设计中的一些共性问题,初学时容易感到抽象,抓不住重点,不知道如何应用,在以后各章节的学习中,若注意复习本章的有关内容,可加深理解,提高学习效果。

1.2 典型范例与答题技巧

【例 1.1】 什么是零件的标准化?标准化的意义是什么?下列标准代号各代表什么意义?

GB GB/T JB YB ISO

【解】 设计机械时,必须考虑标准化问题。

我们对零件尺寸、结构要求、材料性能、检验方法、设计方法、制图规范等都制订了标准,各种机械中有相当多的零件以及加工刀具、量具是相同的,应予标准化。把一部分部件(如汽车发动机)通用化,并把产品(水泵、载重汽车)由小到大按一定规律组成系列,以减少产品型号数目。以上标准化工作又称三化,即零件标准化、部件通用化、产品系列化。

标准化的意义是:

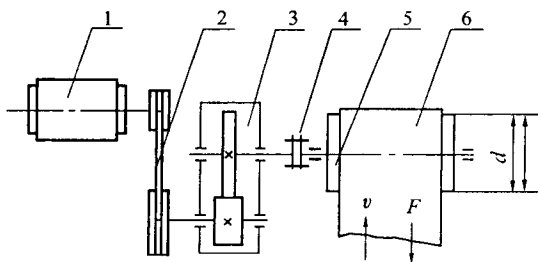
- (1) 减轻设计工作量,减少设计中的差错,把主要精力用在关键部件设计工作上。
- (2) 标准化后,同型号零件加工数量大大增加,有利于采用先进工艺进行大规模生产或组织专业化生产,减少材料消耗,降低成本,提高产品质量。
- (3) 缩短产品试制周期,加速新产品开发。
- (4) 便于维修。

GB——国家标准;GB/T——国家标准的推荐性标准;JB——机械行业标准;YB——黑色冶金行业标准;ISO——国际标准化组织标准。

【例 1.2】按运动和动力传递的路线对机械各部分功用进行分析,机械可由哪几个基本部分组成?试举例说明。

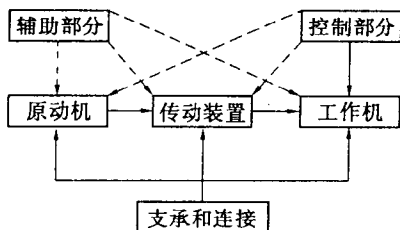
【解】从功能上分析,机械由原动机、传动装置、工作机等基本部分组成,如例图 1.1 所示的带式输送机,电动机为原动机,输出运动和动力,带传动和齿轮减速器为传动装置,负责把电动机的运动和动力经变换后传送给带式输送机——工作机。

随着机械功能的增多,现在机械还应包括控制部分、辅助部分及支承和连接部分,各部分关系如例图 1.2 所示。



例图 1.1 带式输送机

1—电动机;2—V带传动;3—齿轮传动;4—联轴器;
5—卷筒;6—输送带



例图 1.2

【例 1.3】—受拉伸杆直径 $d = 17 \text{ mm}$, 长度 $l = 1\,000 \text{ mm}$, 拉伸载荷为 $F = 30\,000 \text{ N}$ 。已知:45 钢的 $\sigma_s = 355 \text{ MPa}$, $\sigma_B = 600 \text{ MPa}$; ZG270-500 的 $\sigma_s = 280 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_B = 500 \text{ MPa}$; HT300 的 $\sigma_B = 300 \text{ MPa}$ 。试分别判断用三种材料制成拉杆的强度。

【解】杆的受拉应力为 $\sigma = 3\,000 / (8.5^2 \pi) \text{ MPa} = 132.17 \text{ MPa}$ 。

(1) 45 钢是塑性较好的塑性材料,应取屈服极限为极限应力,安全系数为 $S = 1.5 \sim 2.5$, 由此可得, $[\sigma] = 142 \sim 236.67 \text{ MPa}$, 即 $\sigma < [\sigma]$, 可用。

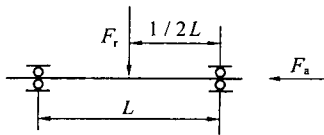
(2) ZG35 为塑性较差的塑性材料,极限应力也为屈服极限,安全系数为 $1.5 \sim 2.5$, 可求得 $[\sigma] = 112 \sim 187 \text{ N/mm}^2$, 可知 $\sigma < 187 \text{ N/mm}^2$, $\sigma > 112 \text{ N/mm}^2$, 此时视具体情况而定。

(3) HT300 为脆性材料,极限应力为强度极限,安全系数为 $3 \sim 4$, 可求得 $[\sigma] = 75 \sim 100 \text{ N/mm}^2$; 即 $\sigma > [\sigma]$, 强度不够,不可用。

【例 1.4】已知某钢材在无限寿命区的对称循环的疲劳极限 $\sigma_{-1} = 260 \text{ MPa}$, 若此钢材的循环基数 $N_0 = 5 \times 10^5$, 指数 $m = 9$, 试求循环次数为 30 000 时的有限寿命疲劳极限。

【解】 $\sigma_{-1(30\,000)} = \sigma_{-1} \sqrt[9]{\frac{N_0}{N}} = 355.41 \text{ MPa}$

【例 1.5】如例图 1.3 所示,作用在转轴上的轴向力 $F_a = 2\,000 \text{ N}$, 径向力 $F_r = 6\,000 \text{ N}$, 两支点间距 $L = 300 \text{ mm}$, 轴为等截面轴, 直径 $d = 45 \text{ mm}$ 。求轴的危险截面上的应力 $\sigma_{\max}$ 、 $\sigma_{\min}$ 、 σ_m 、 σ_a 及 r 值, 并画图表示。



例图 1.3

【解】 轴的中间截面弯矩最大,是危险截面。

$$\text{弯矩} \quad M_{\max} = \frac{F_r}{2} \times \frac{l}{2} = 3\,000 \times 150 = 4.5 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\text{抗弯截面系数} \quad W = \pi d^3 / 32 = 8\,946.2 \text{ mm}^3$$

$$\text{弯曲应力} \quad \sigma_b = \frac{M_{\max}}{W} = 50.25 \text{ MPa}$$

$$\text{轴向载荷产生的压应力} \quad \sigma = 4 F_a / (\pi d^2) = 4 \times 2\,000 / (\pi \times 45^2) = 1.26 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_b - \sigma = 49 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\min} = -\sigma_b - \sigma = -51.5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min}) / 2 = -1.25 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / 2 = 50.25 \text{ MPa}$$

$$r = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} = -1.05$$

(图略)

1.3 精选习题与实战演练

一、填空

【题 1.1】 计算载荷 P_c 、名义载荷 P 和载荷系数 K 的关系式为_____,强度计算时应用_____。

【题 1.2】 稳定循环变应力的三种基本形式是_____、_____和_____循环变应力。

【题 1.3】 当一零件受脉动循环变应力时,则其平均应力是其最大应力的_____。

【题 1.4】 高副元件表面接触产生的应力是_____应力。

【题 1.5】 零件的疲劳强度与_____、_____和_____等因素有关。

【题 1.6】 工作中,两零件接触表面因温度升高而粘结,并发生材料转移,这种现象称为_____磨损。

【题 1.7】 随着表面粗糙度的增加,零件的实际接触面积_____。

【题 1.8】 若使机械零件具有良好工艺性,除要求合理选择毛坯和结构简单合理外,还应规定适当的_____及_____。

【题 1.9】 在静强度条件下,塑性材料的极限应力是_____,而脆性材料的极限应力是_____。在脉动循环变应力作用下,塑性材料的极限应力为_____。

【题 1.10】 综合分析_____、_____和_____三方面因素来进行安全系数计算。

【题 1.11】 影响疲劳极限的主要因素有_____、_____、_____。

【题 1.12】 当载荷重复作用时,零件表层金属呈片状剥落,表面形成小坑,这种现象为_____磨损。

二、选择题

- 【题 1.13】 在应力变化中,如果周期、应力幅和平均应力有一个不同,则称为____。
- A. 稳定变应力 B. 非稳定变应力
C. 非对称循环变应力 D. 脉动循环应力
- 【题 1.14】 循环特性 $r = -1$ 的变应力是____应力。
- A. 对称循环变 B. 脉动循环变
C. 非对称循环变 D. 静
- 【题 1.15】 在静拉伸应力作用下,塑性材料的极限应力为____。
- A. σ_B B. σ_s
C. σ_0 D. σ_{-1}
- 【题 1.16】 在循环变应力作用下,影响疲劳强度的主要因素是____。
- A. $\sigma_{\max}$ B. $\sigma_{\text{平均}}$
C. $\sigma_{\min}$ D. σ_a
- 【题 1.17】 零件表面粗糙度增加,其疲劳强度____。
- A. 降低 B. 提高
C. 不定 D. 不变
- 【题 1.18】 某零件受稳定的对称循环变应力,其塑性材料有限寿命 N 的疲劳极限应力 σ_{-1N} ,是通过____求得的。
- A. 疲劳曲线图 B. 极限应力
C. 曼耐尔假说

三、判断题

- 【题 1.19】 在静应力作用下选安全系数时,脆性材料的安全系数应比塑性材料的安全系数大一些。()
- 【题 1.20】 由于变应力作用下疲劳极限应力较小,选取安全系数时应比静应力时大得多。()
- 【题 1.21】 塑性材料在变应力作用下的主要失效形式是疲劳破坏。()
- 【题 1.22】 合金结构钢有良好机械性能,设计零件时应优先选用。()
- 【题 1.23】 由于钢材的热处理方法对其弹性模量影响甚小,采用热处理方法来提高零件的刚度并无实效。()
- 【题 1.24】 凡零件只要受静载荷,则都产生静应力。()
- 【题 1.25】 设计计算零件的工作安全系数 S ,必须大于许用的最小安全系数 $S_{\min}$,即 $S > S_{\min}$,则零件工作才安全。()
- 【题 1.26】 一般材料的疲劳极限 σ_{-1} 是在 N_0 和可靠性 $R = 0.9$ 下实验得到的。()
- 【题 1.27】 只有静载荷产生静强度破坏,只有变载荷产生疲劳破坏。()
- 【题 1.28】 机械零件的剖面形状一定,若剖面的绝对尺寸增大,则其材料的疲劳极

限将增大。()

【题 1.29】 当零件尺寸由刚度条件决定时,为了提高零件刚度,应选用高强度合金钢制造。()

四、重点思考题

【题 1.30】 什么叫静载荷、变载荷?什么叫名义载荷、计算载荷?计算机械零件强度时,使用名义载荷还是计算载荷?

【题 1.31】 什么叫静应力、变应力和稳定循环变应力?试举出三个零件,它们在工作中分别产生脉动循环变应力、对称循环变应力和非对称循环变应力。

【题 1.32】 表示变应力的基本参数有哪些?它们之间的关系式是什么?

【题 1.33】 什么叫极限应力、许用应力?许用应力和极限应力有何不同?试述选用安全系数的原则和方法。

【题 1.34】 什么是疲劳极限?当 $N > N_0$ 时, σ_{-1N} 为何?影响零件疲劳极限的因素有哪些?在疲劳强度计算时,如何考虑这些因素的影响?

【题 1.35】 什么是承载能力?机械零件的主要失效形式有哪些?防止机械零件发生失效的设计准则有哪些?

【题 1.36】 设计机械零件应满足哪些基本要求?设计机械零件时应从哪几方面考虑其结构工艺性?

【题 1.37】 机械设计中零件材料选用的一般原则是什么?指出下列符号各代表什么材料?

35 Q235 65Mn ZG310 - 570 20CrMnTi HT200 QT600 - 2

【题 1.38】 摩擦有哪几种类型?

【题 1.39】 边界摩擦、混合摩擦及液体摩擦各有什么特点?实现液体摩擦有几种方法?

【题 1.40】 什么是磨损?按机理不同,磨损主要有哪几种形式?零件磨损过程分哪几个阶段?应注意什么问题?

【题 1.41】 常用润滑剂有哪几类?

【题 1.42】 润滑剂粘度的意义是什么?粘度单位有哪几种?动力粘度和运动粘度如何换算?粘度和温度、压力有何关系?

【题 1.43】 润滑油和润滑脂的主要性能指标有哪些?

第二章 螺纹连接(含螺旋传动)

2.1 必备知识与考试要点

2.1.1 主要内容

1. 螺纹的基本知识

螺纹的基本参数,常用螺纹的种类、特性(主要指牙根强度、效率与自锁)及其应用。

2. 螺纹连接的基本知识

(1) 螺纹连接的基本类型、结构特点及其应用场合。

(2) 螺纹连接件的类型、结构特点、应用场合、常用材料及强度级别。

(3) 螺纹连接的预紧与防松。

3. 螺栓组连接设计的基本内容、基本理论和基本方法

(1) 螺栓组连接的结构设计原则,包括:确定接合面的形状、连接结构类型及防松方法、螺栓数目及其在接合面上的布置、提高螺栓连接强度的结构措施等。

(2) 螺栓组连接的受力分析,包括:

① 螺栓组连接受力分析的目的及其简化假设条件。

② 螺栓组连接四种典型受力状态(轴向力、横向力、旋转力矩和倾覆力矩)下的受力分析。

③ 螺栓组连接复杂受力状态下的受力分析。

(3) 单个螺栓连接的强度计算理论与方法。

① 螺栓连接的主要失效形式和设计计算准则。

② 受拉螺栓连接的强度计算理论与方法,特别要记住:受预紧力和轴向工作载荷的紧螺栓连接的受力-变形图、螺栓所受总拉力的确定及紧螺栓连接强度计算公式中系数1.3的物理意义。

③ 受剪螺栓连接的强度计算理论与方法。

④ 螺栓连接的许用应力 $[\sigma]$ 、 $[\tau]$ 和 $[\sigma]_p$ 的确定。

4. 提高螺栓连接强度的措施

改善螺纹牙上载荷分布不均匀现象的装置,减小螺栓受力、降低影响螺栓疲劳强度的应力幅度和应力集中,避免螺栓受附加弯曲应力作用的结构等措施。

5. 滑动螺旋传动的设计

滑动螺旋传动的主要失效形式、设计准则及常用设计或校核计算公式等。

2.1.2 重点与难点

从考研辅导角度出发,根据近几年各校考题内容范围,本章的重点内容主要有:

1. 螺纹的基本知识

螺纹的基本参数,常用螺纹的牙型、特性及其应用,螺纹副的受力分析,影响螺纹副效率和自锁性的主要参数。

2. 螺纹连接的基本知识

螺纹连接的类型、特点、应用,防松的原理,防松装置。

3. 螺栓组连接的受力分析

复杂受力状态下的受力分析。

4. 单个螺栓连接的强度计算

紧螺栓连接的强度计算。

5. 螺栓组连接的综合计算

(1) 校核螺栓组连接螺栓的强度。

(2) 设计螺栓组连接螺栓所需的直径尺寸。

(3) 确定螺栓组连接所能承受的最大载荷。

本章的难点主要有:

1. 螺纹连接的结构设计与表达

这个问题成为本章的难点,绝不是因为它有高深的理论使学生难以理解,而在于很多学生不重视它,一旦考题中有这方面的内容就显得束手无策,既不会选择连接类型,也不能正确地绘制出其连接结构图,或找不出连接结构图中的错误。因此对于考生来说,必须把这部分内容当成重点和难点来对待,要多看实物,多看连接结构图,多问为什么,多练习绘制。

2. 复杂受力状态下的螺栓组连接受力分析

由于复杂受力状态下的螺栓组连接,其螺栓受力既可能是预紧力或轴向工作载荷,也可能是预紧力和轴向工作载荷,也可能是横向载荷。而这既与螺栓组连接的受力情况有关,又与螺栓连接的类型有关。许多学生遇到此类问题时,不知如何着手解题,或者考虑问题不全面,得不出正确答案。对于这类问题,首先要把外载荷转移到接合面螺栓组的形心上,并利用静力分析方法将复杂的受力状态简化成四种简单受力状态,即轴向载荷、横向载荷、旋转力矩和倾覆力矩,然后根据螺栓组连接的受力情况和螺栓连接的类型,确定单个螺栓连接的受力。当螺栓组连接受横向载荷或旋转力矩,或横向载荷与旋转力矩联合作用时,对于普通螺栓连接,则需要确定的是螺栓所受的预紧力,而对于铰制孔用螺栓连接,则需要确定的是螺栓所受的横向载荷;当螺栓组连接受轴向载荷或倾覆力矩,或轴向载荷与倾覆力矩联合作用时(这时只能采用普通螺栓连接),则需要确定的是螺栓所受的轴向工作载荷。应该注意,当螺栓组连接既受横向载荷或旋转力矩,或横向载荷与旋转力矩联合作用,又受轴向载荷作用时,在确定螺栓所需受的预紧力时,一定要考虑轴向载荷的影响,因为此时接合面间的压紧力不再是预紧力,而是剩余预紧力了。只要分别计算出螺栓组连接在这些简单受力状态下每个螺栓的工作载荷,然后将同类工作载荷矢量叠加,便可

得到每个螺栓的总的工作载荷——预紧力或轴向工作载荷。若螺栓组连接中各个螺栓既受预紧力作用,又受轴向工作载荷作用,则最后要求出受力最大时螺栓所受的总拉力。

3. 受倾覆力矩作用的螺栓组连接受力分析

对这种受力状态进行受力分析时,首先要了解假设条件,如图 2.1 所示,认为机座底板是刚体,而地基与螺栓为弹性体,受倾覆力矩 M 作用机座欲倾覆时,底板不变形,接合面仍然为一平面,底板有绕对称轴 $O-O$ 倾覆的趋势,使对称轴一侧的螺栓被拉紧,而对称轴另一侧的螺栓被放松,但其接合面间压力则增加。根据受 M 作用后对称轴线两侧接合面间变形对称的条件,以底板为分离体,可以判定对称轴一侧被拉紧的螺栓对底板的作用和对称轴另一侧地基对底板的支反力作用是相等的,因此可以把地基对底板的支反力(分布载荷)简化为数个集中力作用于螺栓所在位置,然后根据静力平衡条件和螺栓变形协调条件,求出受力最大时螺栓所受的轴向工作载荷。

要注意,对于受倾覆力矩作用的螺栓组连接进行受力分析和强度计算时,一定要考虑受压最大处不被压溃,而受压最小处不出现缝隙或保持某个压力的要求。

4. 受预紧力和轴向工作载荷作用时,单个紧螺栓连接的螺栓总拉力的确定

关键是转变解题思维方式,要由解静定问题转到解静不定问题上来。要从分析螺栓及被连接件的受力-变形关系入手,充分理解变形协调条件,深入掌握螺栓与被连接件的受力-变形关系图(图 2.2),从而得出以下几个重要结论:

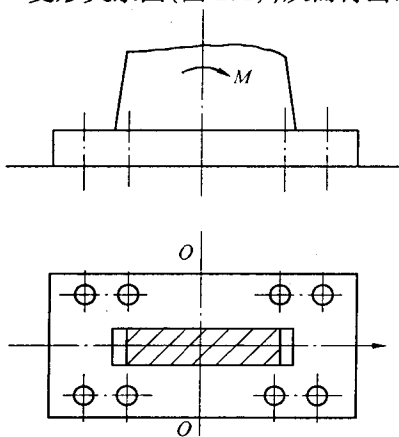


图 2.1

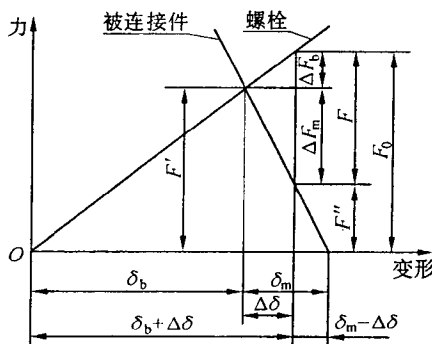


图 2.2 螺栓连接受力-变形图

(1) 螺栓所受的总拉力 F_0 不等于螺栓的预紧力 F' 和轴向工作载荷 F 之和,即 $F_0 \neq F' + F$ 。

(2) 轴向工作载荷 F 的一部分 ΔF_b 用以使螺栓进一步伸长,而另一部分 ΔF_m 则用以恢复被连接件的部分压缩变形。因此:

① 螺栓所受的总拉力 F_0 等于螺栓的预紧力 F' 和轴向工作载荷的一部分 ΔF_b 之和,即 $F_0 = F' + \Delta F_b$ 。

② 接合面间剩余预紧力 F'' 等于预紧力 F' 减去轴向工作载荷的另一部分 ΔF_m ,即 $F'' = F' - \Delta F_m$ 。为保证连接的刚度、紧密性, F'' 应大于或等于某一数值,因此确定 F' 与

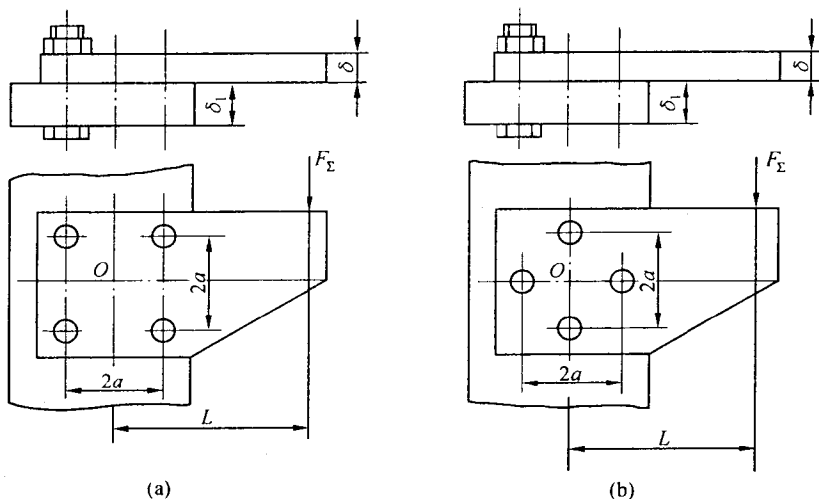
F 时要充分考虑连接对 F'' 的要求。

③ 螺栓所受的总拉力 F_0 等于剩余预紧力 F'' 和螺栓的轴向工作载荷 F 之和, 即 $F_0 = F'' + F$ 。

(3) 使螺栓进一步伸长的 ΔF_b 大小与螺栓刚度 C_b 及被连接件刚度 C_m 有关, $\Delta F_b = \frac{C_b}{C_b + C_m} F$, 显然 C_b 愈小, C_m 愈大, 则 ΔF_b 愈小, 反之亦然。在螺栓组连接设计中采用细长螺栓就是为了减小 C_b , 在接合面间不加垫片或采用刚性大的垫片就是为了增大 C_m , 从而减小 ΔF_b 。

2.2 典型范例与答题技巧

【例 2.1】 厚度 $\delta = 12$ mm 的钢板用 4 个螺栓固连在厚度 $\delta_1 = 30$ mm 的铸铁支架上, 螺栓的布置有例图 2.1(a)、(b) 所示的两种方案。



例图 2.1

已知螺栓材料为 Q235, $[\sigma] = 95$ MPa, $[\tau] = 96$ MPa, 钢板 $[\sigma]_p = 320$ MPa, 铸铁 $[\sigma]_{p1} = 180$ MPa, 接合面间摩擦系数 $f = 0.15$, 可靠性系数 $K_s = 1.2$, 载荷 $F_\Sigma = 12\,000$ N, 尺寸 $l = 400$ mm, $a = 100$ mm。

(1) 试比较哪种螺栓布置方案合理?

(2) 按照螺栓布置合理方案, 分别确定采用普通螺栓连接和铰制孔用螺栓连接时的螺栓直径。

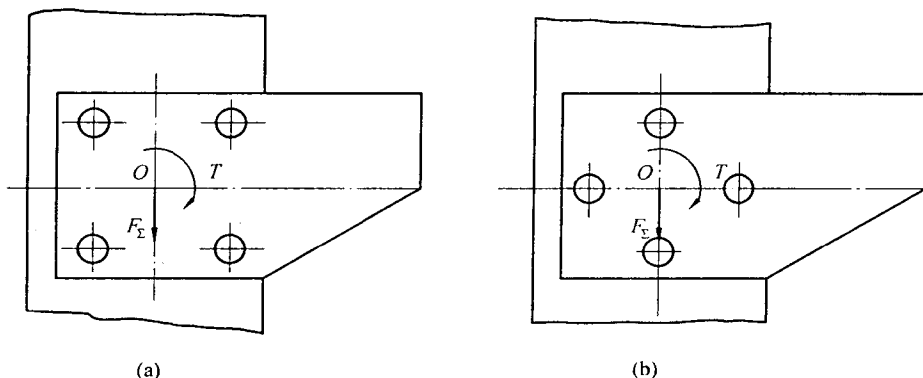
【分析】 本题是螺栓组连接受横向载荷和旋转力矩共同作用的典型例子。解题时首先要将作用于钢板上的外载荷 F_Σ 向螺栓组连接的接合面形心简化, 得出该螺栓组连接受横向载荷 F_Σ 和旋转力矩 T 两种简单载荷作用的结论。然后将这两种简单载荷分配给各个螺栓, 找出受力最大的螺栓, 并把该螺栓承受的横向载荷用矢量叠加原理求出合成载荷。在外载荷与螺栓数目一定的条件下, 不同的螺栓布置方案, 受力最大的螺栓所承受的载荷是不同的, 显然使受力最大的螺栓承受较小的载荷是比较合理的螺栓布置方案。若螺栓组采用铰制孔用螺栓连接, 则靠螺栓光杆部分受剪切和配合面间受挤压来传递横向载荷, 其

设计准则是保证螺栓的剪切强度和连接的挤压强度,可按相应的强度条件式,计算受力最大螺栓危险剖面的直径。若螺栓组采用普通螺栓连接,则靠拧紧螺母使被连接件接合面间产生足够的摩擦力来传递横向载荷,因此设计时,应先按受力最大螺栓承受的横向载荷求出螺栓所需的预紧力,然后用只受预紧力作用的紧螺栓连接受拉强度条件式计算螺栓危险剖面直径 d_1 ,最后根据 d_1 查标准,选取螺栓直径,并根据被连接件厚度、螺母及垫圈厚度确定螺栓的标准长度。

【解】

1. 螺栓组连接受力分析

(1) 将载荷 F_Σ 向螺栓组连接的接合面形心点 O 简化,得一横向载荷 $F_\Sigma = 12\,000\text{ N}$ 和一旋转力矩 $T = F_\Sigma \cdot l = 12\,000 \times 0.4 = 4\,800\text{ N} \cdot \text{m}$,如例图 2.2 所示。

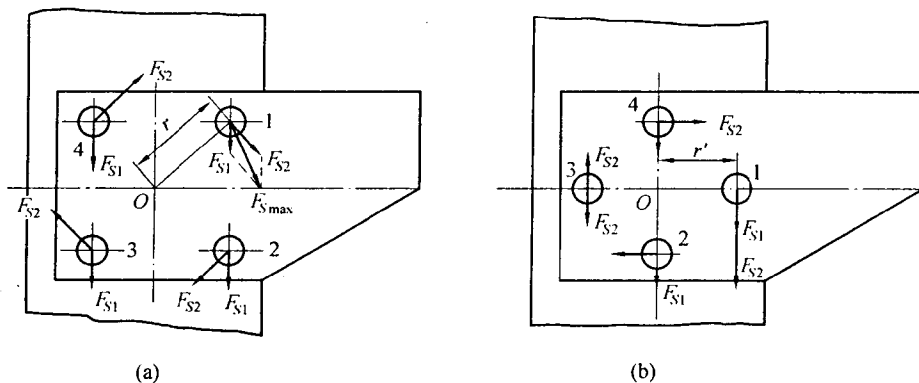


例图 2.2

(2) 确定各个螺栓所受的横向载荷。在横向力 F_Σ 作用下,各个螺栓所受的横向载荷 F_{S1} 大小相同,方向同 F_Σ 。

$$F_{S1} = \frac{F_\Sigma}{4} = \frac{12\,000}{4} = 3\,000\text{ N}$$

而在旋转力矩 T 作用下,由于各个螺栓中心至形心点 O 的距离相等,所以各个螺栓所受的横向载荷 F_{S2} 大小也相同,但方向各垂直于螺栓中心与形心 O 的连线(例图 2.3)。



例图 2.3