

机械设计 习题详解

张金海 编

天津大学出版社



机械设计习题详解

张金海 编

天津大学出版社

内 容 提 要

本书所列举习题常见于一般高等学校教材中. 书中对这些习题进行了详细的求解. 根据作者多年的教学经验, 对学生难以掌握的部分, 着重进行了分析、比较.

本书适用于本科生、专科生、函授生、电大生, 对报考研究生的学生也具有一定参考价值, 也是自学者的有力助手.

(津) 新登字

机械设计习题详解

张金海

*

天津大学出版社出版

(天津大学内)

天津大学印刷厂印刷

新华书店天津发行所发行

*

开本: 787×1092 毫米 1/32 印张: 5.125 字数: 110 千字

1994 年 5 月第一版 1994 年 5 月第一次印刷

印数: 1—1500

ISBN 7-5618-0653-1

TH·30

定价: 4.20 元

编者的话

“机械设计”(机械零件)是机械类专业必修的一门技术基础课程,同时又是实践性很强的一门课程,因此除要很好地掌握、理解其理论内容外,还必须及时地、独立地完成必要数量的设计计算题目,以进一步深化对理论内容的理解。

学习本课程的学生,在独立完成习题、设计计算题之后,迫切需要知道自己的求解是否正确、合理,以总结提高自己的理解能力。笔者基于这一情况,编写了这本《机械设计习题详解》。

本书所列举的习题,常见于一般的高等学校教材中。书中对这些习题进行了详细的求解,并根据笔者多年的教学经验,对难以掌握的部分,着重进行了分析、比较,给学生一个明确的概念:机械设计计算题的方案有时不是唯一的。

这里明确指出,本课程的所有设计计算题目,学生必须自己独立完成,绝对不可以本书作抄袭的蓝本;否则,本书不仅无益、反而有碍于学生学习,这也有悖于作者的初衷。

本书由天津大学唐蓉城教授主审。他对书稿做了仔细修改,对提高本书的质量付出很大精力,在此表示衷心感谢。

本书解题工作量很大,仓促完成,可能出现错误,恳请读者予以指正,不胜感激。

编 者

1993年11月

目 录

1	螺纹联接和螺旋传动	(1)
2	键、花键和销联接	(28)
3	带传动	(38)
4	齿轮传动	(49)
5	蜗杆传动	(75)
6	链传动	(88)
7	轴	(101)
8	滚动轴承	(122)
9	滑动轴承	(139)
10	弹 簧	(148)
	参考文献	(157)

1 螺纹联接和螺旋传动

1—1 图示为拉杆螺栓联接,左端为左旋螺纹,右端为右旋螺纹.

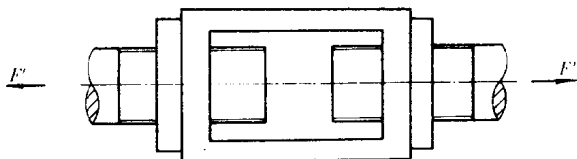


图 1—1 习题 1—1

(1) 已知两端均用普通三角螺纹,公称直径为 20mm,摩擦系数 $f=0.5$,求当拉紧力 $F'=15\text{kN}$ 时所需要的拧紧力矩?

(2) 已知螺距为 2.5mm,将螺母旋转 10 周,求拉杆被拉紧的长度?

解:1. 由机械零件手册可查得:当 $d=20\text{mm}$ 时, $d_2=18.376\text{mm}$, $P=2.5\text{mm}$, $\beta=30^\circ$.

(2) 求单侧螺栓的拧紧力矩

$$T_1 = \frac{F' d_2}{2} \operatorname{tg}(4 + \rho') \quad (T_1 \text{ 为螺纹阻力矩})$$

式中 $F'=15\text{kN}$

$$\rho' = \operatorname{arctg} f' = \operatorname{arctg} \left(\frac{f}{\cos \beta} \right) = \operatorname{arctg} \left(\frac{0.5}{\cos 30^\circ} \right) = 9.78^\circ$$

$$\psi = \arctg \frac{P}{\pi d_2} = \arctg \left(\frac{2.5}{3.14 \times 18.376} \right) = 2.48^\circ$$

$$\begin{aligned} \therefore T_1 &= \frac{15000 \times 18.376}{2} \times \lg(2.48^\circ + 9.78^\circ) \\ &= 30.32 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

(3) 所需的拧紧力矩

$$T = 2T_1 = 2 \times 30.32 \times 10^3 = 60.64 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

2. 求拉杆被拉紧的长度

$$L = 2 \times 10P = 2 \times 10 \times 2.5 = 50 \text{ mm}$$

1—2 在一螺栓联接中,要想在 M16 的螺栓上产生一 $F' = 500 \text{ kN}$ 的轴向载荷,求作用在搬手上的力为多少? 已知:搬手长度 $L = 15d$,螺母与被联接件间为环状接触面,其外径为 $D_0 = 27 \text{ mm}$,内径为 $d_0 = 17 \text{ mm}$,摩擦系数均取为 0.1.

解:1. 确定螺纹的几何参数

由机械零件手册查得,当螺纹大径 $d = 16 \text{ mm}$ 时,中径 $d_2 = 14.701 \text{ mm}$,螺距 $P = 2 \text{ mm}$, $\beta = 30^\circ$.

(1) 升角

$$\psi = \arctg \left(\frac{P}{\pi d_2} \right) = \arctg \left(\frac{2}{3.14 \times 14.701} \right) = 2.46^\circ$$

(2) 当量摩擦角

$$\rho' = \arctg \left(\frac{f}{\cos \beta} \right) = \arctg \left(\frac{0.1}{\cos 30^\circ} \right) = 6.59^\circ$$

2. 计算作用在搬手上的力

(1) 螺纹的摩擦阻力矩

$$\begin{aligned} T_1 &= F' \cdot \frac{d_2}{2} \lg(\psi + \rho') \\ &= 5000 \times \frac{14.701}{2} \lg(2.46^\circ + 6.59^\circ) = 5.88 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

(2) 环形接触面间的摩擦阻力矩

$$T_2 = \frac{1}{3} f F' \frac{D_0^3 - d_0^3}{D_0^3 - d_0^3} = \frac{1}{3} \times 0.1 \times 5000 \times \frac{27^3 - 17^3}{27^2 - 17^2}$$

$$= 5.60 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

(3) 作用在搬手上的力

$$F = \frac{T}{L} = \frac{T_1 + T_2}{15d} = \frac{(5.88 + 5.60) \times 10^3}{15 \times 16} = 47.8 \text{ N}.$$

1—3 图示某机构的拉杆端部采用粗牙普通螺纹联接。已知：拉杆所受最大载荷 $F = 15 \text{ kN}$ ，载荷很少变动，拉杆材料为 Q235 钢，强度级别为 4.6 级，试确定拉杆螺栓的直径。

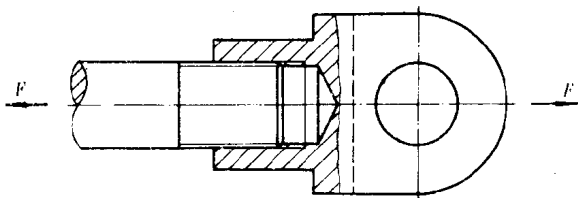


图 1—2 习题 1—3

解：从图示可以判断此联接属于松联接。

由松联接的验算公式 $\frac{F}{\pi d_1^2 / 4} \leq [\sigma]$

可以得到设计公式 $d_1 \geq \sqrt{\frac{4F}{\pi[\sigma]}}$

式中 $F = 15 \text{ kN}$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{[S]}$$

$$\sigma_s = 240 \text{ MPa}$$

$$[S] = 1.2 \sim 1.7, \text{ 取 } [S] = 1.5$$

则 $[\sigma] = \frac{240}{1.5} = 160 \text{ MPa}.$

$$\therefore d_1 \geq \sqrt{\frac{4 \times 15 \times 10^3}{3.14 \times 160}} = 10.93 \text{ mm}.$$

由机零手册选取 $d = 14 \text{ mm}$, 其 $d_1 = 11.835 \text{ mm}$.

1—4 图示用两个 M10 的螺钉固定一牵曳钩, 若螺钉材料为 Q235 钢, 装配时控制预紧力, 接合面(毛面)间的摩擦系数 $f_s = 0.3$, 求其允许的牵曳力 R .

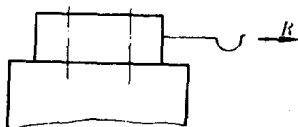


图 1—3 习题 1—4

可以得到 $F' \leq \frac{\pi d_1^2 [\sigma]}{4 \times 1.3}$

式中 $[\sigma] = \frac{\sigma_s}{[S]}$.

如果螺栓强度级别为 4.6 级, 有 $\sigma_s = 240 \text{ MPa}$. 由于装配时控制预紧力, $[S] = 1.2 \sim 1.5$, 取 $[S] = 1.5$, 则

$$[\sigma] = \frac{240}{1.5} = 160 \text{ MPa}$$

$$\therefore F' = \frac{3.14 \times 8.376^2 \times 160}{4 \times 1.3} = 6778.54 \text{ N}.$$

2. 求允许的牵曳力 R

由于此联接属于受横向载荷的螺栓组联接, 由 $F' = \frac{K_f R}{f_s n m}$

解: 由机零手册查得, 当

外径 $d = 10 \text{ mm}$ 时, $d_1 =$

8.376 mm

1. 求螺钉所受的预紧力

F'

$$\text{由公式 } \frac{1.3 F'}{\frac{\pi d_1^2}{4}} \leq [\sigma]$$

$$\text{得 } R = \frac{F' f n m}{K_f}$$

式中, n 为螺栓个数; $m=1$; 取 $K_f=1.3$ 。

$$\therefore R = \frac{6778.54 \times 0.3 \times 2 \times 1}{1.3} = 3128.56 \text{ N.}$$

1—5 图示螺栓联接中采用两个 M20 的螺栓, 其许用拉应力 $[\sigma]=200\text{MPa}$, 被联接件接合面间的摩擦系数 $f=0.2$, 可靠性系数 $K_f=1.2$, 试计算该联接允许传递的载荷 R 。

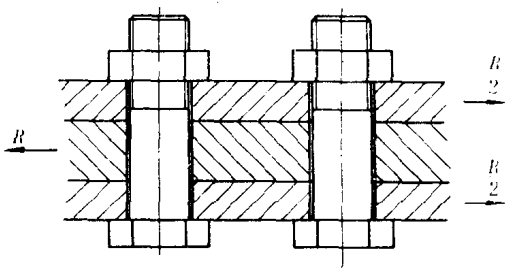


图 1—4 习题 1—5

解: 由机零手册查得, 当螺栓外径 $d=20\text{mm}$ 时, 内径 $d_1=17.294\text{mm}$ (一定要注意计算时不能用外径)。

1. 求单个螺栓所受的预紧力 F'

$$\text{由公式 } \frac{1.3F'}{\frac{\pi d_1^2}{4}} \leq [\sigma]$$

$$\text{可以得到 } F' \leq \frac{\frac{\pi d_1^2}{4} [\sigma]}{1.3} = \frac{3.14 \times 17.294^2 \times 200}{4 \times 1.3} = 36110 \text{ N.}$$

2. 求该联接允许传递的载荷 R

此联接属于受横向载荷的螺栓组联接。

由公式 $F' = \frac{K_f R}{Z f_s i}$

式中 Z 为螺栓的个数;

i 为接合面数, $i=2$.

则 $R = \frac{F' Z f_s i}{K_f} = \frac{36110 \times 2 \times 0.2 \times 2}{1.2} = 24073.33 \text{N}.$

1—6 图示夹紧联接柄承受载荷 $F_Q = 600 \text{N}$, 螺栓一个数 $Z=2$, 联接柄长度 $L=300 \text{mm}$, 轴直径 $d_b=60 \text{mm}$, 夹紧接合面摩擦系数 $f=0.15$, 试确定随意接螺栓的直径.

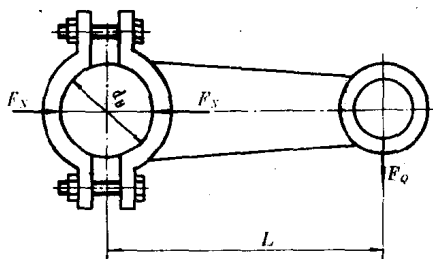


图 1—5 习题 1—6

[分析] 要想使夹紧柄紧紧地夹住轴, 就必须用夹紧柄与轴的接触表面间产生的摩擦力偶矩来平衡外力矩.

解: 求螺栓所需的预紧力 F'

设联接柄对轴的压力为 F_N , 则有

$$F_Q L = f F_N d_b$$

$$F_N = \frac{F_Q L}{f d_b} = \frac{600 \times 300}{0.15 \times 60} = 2 \times 10^4 \text{N}$$

$$F' = \frac{F_N}{2} = \frac{2 \times 10^4}{2} = 10 \text{kN}.$$

2. 确定螺栓直径

选取螺栓材料为 Q235 钢, 强度级别为 4.6 级, $\sigma_s = 240\text{MPa}$, 不控制预紧力, 许用安全系数 $[S]$ 可以用经验公式求出.

$$[S] = \frac{2200k_m}{900 - (70000 - F')^2 \times 10^{-7}}$$

式中 k_m 为材料系数, 对于碳钢 $k_m = 1$.

$$\therefore [S] = \frac{2200 \times 1}{900 - (70000 - 10000)^2 \times 10^{-7}} = 4.07$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{[S]} = \frac{240}{4.07} = 58.97\text{MPa}$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \times 1.3F'}{\pi[\sigma]}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.3 \times 10^4}{\pi \times 58.97}} = 16.75\text{mm}$$

查机零手册, 选取 M20, $d_1 = 17.294$.

控制预紧力, 许用安全系数可以参阅教材, 选取 $[S] =$

1.5.

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{[S]} = \frac{240}{1.5} = 160\text{MPa}$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \times 1.3F'}{\pi[\sigma]}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.3 \times 10^4}{3.14 \times 160}} = 10.17\text{mm}$$

查机零手册选取 M14, $d_1 = 11.835$.

由此可见, 不控制预紧力时, 所需螺栓直径要大些.

1—7 图示一圆锯直径 $D = 600\text{mm}$, 锯盘工作阻力 $F = 400\text{N}$, 用螺母将它夹紧在垫片之间. 如果垫片与锯盘间的摩擦系数 $f = 0.15$, 垫片平均直径 $D_1 = 200\text{mm}$, 求轴端螺纹的直径. (拧紧螺母后锯盘工作时, 垫片与锯盘之间产生的摩擦力矩应比工作阻力矩大 200%).

解: 1. 求螺栓所受预紧力 F'

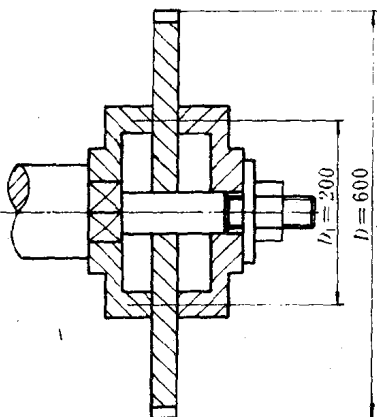


图 1-6 习题 1-7

锯盘工作时所受阻力矩

$$T_1 = F \frac{D}{2} = 400 \times \frac{600}{2} = 1.2 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

锯盘与垫片间应产生的摩擦力矩

$$T_2 = 1.2 T_1 = 1.2 \times 1.2 \times 10^5 = 1.44 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\therefore T_2 = f F' D_1$$

$$\therefore F' = \frac{T_2}{f D_1} = \frac{1.44 \times 10^5}{0.15 \times 200} = 4.8 \text{ kN}$$

2. 计算轴端螺纹直径

(1) 确定 $[\sigma]$

设螺栓材料为 45 钢, 强度级别 6.6 级, 装配时控制预紧力. $\sigma_s = 360 \text{ MPa}$, 取 $[S] = 1.5$,

则 $[\sigma] = \frac{\sigma_s}{S} = \frac{360}{1.5} = 240 \text{MPa}$.

(2) 求轴端螺纹直径

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4 \times 1.3 F'}{\pi [\sigma]}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.3 \times 4.8 \times 10^3}{3.14 \times 240}} = 5.76 \text{mm}.$$

查机零手册, 选取 M7, 知 $d_1 = 5.918$.

1—8 在汽缸盖的螺栓联接中, 已知气体压强 $P = 2 \text{MPa}$, 按工作要求剩余预紧力 $F' = 1.6F$, F 为单个螺栓受到的工作拉力, 气缸内径 $D = 300 \text{mm}$, 螺栓数目 $Z = 16$, 螺栓强度级别为 6.6 级 ($\sigma_s = 360 \text{MPa}$), 若螺栓联接的静强度安全系数 $[S] = 2.8$, 试确定螺栓的直径尺寸.

公称直径 (mm)	12	14	16	18	20	24	30
螺纹内径 (mm)	10.106	11.835	13.835	15.294	17.294	20.752	26.211

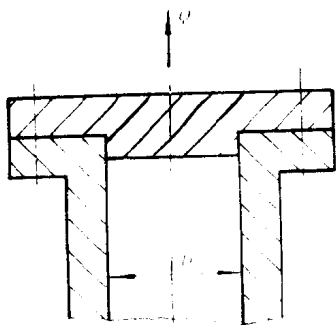


图 1—7 习题 1—8

解: 汽缸盖的螺栓联接属于受轴向载荷的螺栓组联接.

1. 求单个螺栓所受的工作载荷 F

汽缸盖所受的压力

$$Q = P \frac{\pi D^2}{4} = 2 \times \frac{3.14 \times 300^2}{4} = 141300 \text{N}$$

则 $F = \frac{Q}{2} = \frac{141300}{16} = 8831 \text{N}.$

2. 求螺栓所受的总拉力 F_0

$$F'' = 1.6F = 1.6 \times 8831 = 14129.6 \text{ N}$$

$$\therefore F_0 = F + F'' = 8831 + 14129.6 = 22960.6 \text{ N.}$$

3. 求螺栓直径 d

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{[S]} = \frac{360}{2.8} = 128.57 \text{ MPa}$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \times 1.3 F_0}{\pi [\sigma]}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.3 \times 22960.6}{3.14 \times 128.57}} = 17.20 \text{ mm}$$

查上表, 选取 M20, 得 $d_1 = 17.294 \text{ mm}$.

1—9 气缸盖螺栓联接(图 1—8), 已知气压在 $0 \sim 1.5 \text{ MPa}$ 间变化, 气缸内径 $D = 250 \text{ mm}$, 螺栓分布圆直径 $D_0 = 346 \text{ mm}$, 要求剩余预紧力 $F'' = 1.8F$, 螺栓间距 $t \leq 120 \text{ mm}$, 螺栓材料为 45 钢, 强度级别 6.8 级, 试确定螺栓数和螺栓的直径.

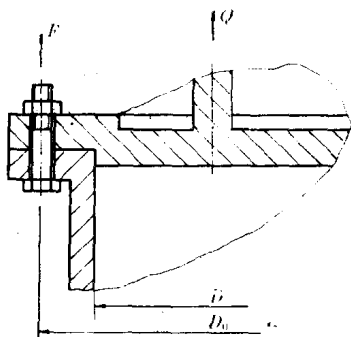


图 1—8 习题 1—9

解: 螺栓组受轴向变载荷, 应同时满足静强度和疲劳强度条件.

1. 螺栓材料强度

45 钢, 6.8 级, 查教材中有关表格, 得:

$$\sigma_B = 600 \text{MPa}, \sigma_s = 480 \text{MPa}$$

2. 螺栓数目

$$Z = \frac{\pi D_0}{t} = \frac{3.14 \times 346}{120} = 9.05$$

取 $Z = 10$

3. 螺栓轴向载荷

气缸盖所受总压力

$$Q = P \frac{\pi D^2}{4} = 1.5 \times \frac{3.14 \times 250^2}{4} = 73593.75 \text{N}$$

单个螺栓所受的工作载荷

$$F = \frac{Q}{Z} = \frac{73593.75}{10} = 7359.38 \text{N}$$

$$\text{剩余预紧力 } F'' = 1.8F = 1.8 \times 7359.38 = 13246.88 \text{N}$$

$$\text{总拉力 } F_0 = F + F'' = 7359.38 + 13246.88 = 20606.26 \text{N.}$$

4. 求螺栓直径

按装配时控制预紧力, 取 $[S] = 1.5$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{[S]} = \frac{480}{1.5} = 320 \text{MPa}$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \times 1.3 F_0}{\pi [\sigma]}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.3 \times 20606.26}{3.14 \times 320}} = 10.33 \text{mm}$$

查机零手册, 选 M14, 得 $d_1 = 11.835 \text{mm}$.

5. 校核应力幅

$$\text{许用应力幅 } [\sigma_a] = \frac{\varepsilon \sigma_{-1}}{[S]_a K_\sigma}$$

由教材查得:

$$\sigma_{-1} = 0.23(\sigma_B + \sigma_s) = 0.23(600 + 480) = 248 \text{MPa}$$

$$\varepsilon = 0.93, K_\sigma = 3.9, [S]_a = 2.5$$

$$\text{则 } [\sigma]_s = \frac{e\sigma - 1}{[S]_s K_s} = \frac{0.93 \times 248}{2.5 \times 3.9} = 23.66 \text{ MPa.}$$

设用铜皮石棉垫片, $\frac{C_1}{C_1 + C_2} = 0.8$ (见教材)

$$\sigma_s = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \cdot \frac{2F}{\pi d_1^2} = 0.8 \times \frac{2 \times 7359.38}{3.14 \times 11.835^2} = 26.78 \text{ MPa}$$

改用皮革垫, $\frac{C_1}{C_1 + C_2} = 0.7$

$$\sigma_s = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \cdot \frac{2F}{\pi d_1^2} = 0.7 \times \frac{2 \times 7359.38}{3.14 \times 11.835^2} = 23.43 \text{ MPa}$$

$\therefore \sigma_s < [\sigma_s]$, 故安全.

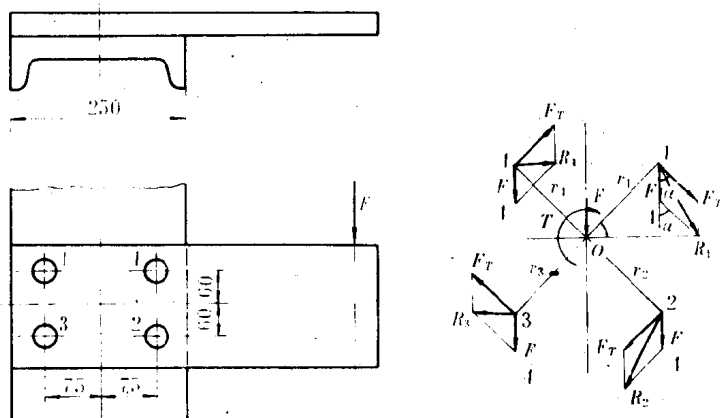


图 1—9 习题 1—10