



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机械设计精品课程立体化教材

机械设计学习指导

于惠力 潘承怡 冯新敏 向敬忠 编著



科学出版社
www.sciencep.com

内 容 简 介

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
机械设计精品课程立体化教材

机械设计学习指导

于惠力 潘承怡 冯新敏 向敬忠 编著

ISBN 978-7-03-020380-9
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
机械设计精品课程立体化教材
中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第003541号

责任编辑：张敬忠、张敬忠、张敬忠
封面设计：张敬忠、张敬忠、张敬忠

科学出版社

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100011

http://www.sciencep.com

（北京）机械工业出版社

各新华书店均有代售

2008年1月第1版

16开

787mm×1092mm

科学出版社

（北京）机械工业出版社

内 容 简 介

本书是为了配合“机械设计”和“机械设计基础”课程的教学而编写的一本实用的教学辅导资料,涵盖了机械设计的全部章节。主要内容包括两部分:第一部分是内容提要、典型例题解析和习题,其中还包含部分设计作业的详解及工作图示例,可代替大作业指导书。第二部分是试题及参考答案:包括模拟试题、统考试题及研究生试题,所有的试题都附有详细的参考答案。本书将学习指导、例题、习题和大作业指导书合为一体,简明扼要,使用方便。

本书可供高等工科院校开设“机械设计”及“机械设计基础”课程的专业师生使用,也可供机械工程技术人员及报考硕士研究生的同学学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计学习指导 / 于惠力等编著. —北京:科学出版社,2008
普通高等教育“十一五”国家级规划教材, 机械设计精品课程立体化教材
ISBN 978-7-03-020380-9

I. 机… II. 于… III. 机械设计—高等学校—教学参考—资料
IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 003241 号

责任编辑:孙明星 段博原 / 责任校对:刘亚琦*

责任印制:张克忠 / 封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

化学工业出版社印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 1 月第 一 版 开本:B5 (720×1000)

2008 年 1 月第一次印刷 印张:17

印数:1—4 000 字数:333 000

定价:23.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(化工))

前 言

本书是为了使学生进一步深入理解和掌握机械设计教材的内容、提高计算技能及运用基本理论解决设计实践而编写的,可与目前出版的各版本的“机械设计”、“机械设计基础”教材配套使用,也可单独使用。

本书根据“机械设计”课程教学基本要求的精神,结合编者多年来的教学改革成果——“框图教学法”,将其部分内容融入书中,即将主要零件的设计框图编入相应的章节。本书的内容结构如下:

一、内容提要:明确地提出了机械设计各章节的主要内容、重点、难点及学习要求,一些主要章节还以框图形式进行了概括总结。

二、典型例题解析:各章都有足够数量的各种类型的例题,力求在基本理论的运用、设计思路等方面给学生以更多的启示,部分例题对解题方法及设计结果进行了讨论,目的在于让学生更深入地掌握各章节的主要内容,弄清基本概念,学会解题思路。书中有部分大作业的设计及工作图示例,可代替大作业指导书,还有按渐开线圆柱齿轮精度标准“关于齿厚极限偏差”的计算及示例。

三、习题:包括思考题、计算题及设计性大作业题目,目的在于提高学生运用基本理论分析、解决实际问题的能力,教师也可以从中布置作业题。

四、部分考题汇编:本书第二部分编入了近年来各种层次的考题及答案,这些考题都是难得的教学资料,内容十分丰富,覆盖面很广,使学生进一步了解机械设计课程的基本要求,开阔眼界,熟悉各种题型,进一步深入掌握教材内容,达到教学基本要求,或为报考硕士研究生作必要的准备。

本书采用新颁布的国家标准及法定计量单位。

深切地希望本书能对学生学习机械设计课程有所帮助。

由于编者水平所限,加之时间仓促,经验不足,书中错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2007年6月

28	.....	.....
78	.....	.....
78	.....	.....
28	.....	.....
19	.....	.....

目 录

前言

第一部分 内容提要、典型例题解析和习题

第1章 绪论	.....	1
1.1 内容提要	.....	1
1.2 典型例题解析	.....	3
习题	.....	4
第2章 螺纹连接	.....	5
2.1 内容提要	.....	5
2.2 典型例题解析	.....	7
习题	.....	32
第3章 带传动	.....	40
3.1 内容提要	.....	40
3.2 典型例题解析	.....	45
习题	.....	47
第4章 链传动	.....	50
4.1 内容提要	.....	50
4.2 典型例题解析	.....	51
习题	.....	54
第5章 齿轮传动	.....	56
5.1 内容提要	.....	56
5.2 典型例题解析	.....	62
习题	.....	68
第6章 蜗杆传动	.....	72
6.1 内容提要	.....	72
6.2 典型例题解析	.....	74
习题	.....	78
第7章 轴	.....	82
7.1 内容提要	.....	82
7.2 典型例题解析	.....	83

习题	85
第 8 章 滑动轴承	87
8.1 内容提要	87
8.2 典型例题解析	88
习题	94
第 9 章 滚动轴承	97
9.1 内容提要	97
9.2 典型例题解析	100
习题	109
第 10 章 联轴器、离合器和制动器	115
10.1 内容提要	115
10.2 典型例题解析	116
习题	117
第 11 章 弹簧	119
11.1 内容提要	119
11.2 典型例题解析	119
习题	120
第二部分 试题及参考答案	
第 1 章 模拟试题	122
1.1 模拟试题 I	122
1.2 模拟试题 II	124
1.3 模拟试题 III	128
1.4 模拟试题 IV	131
1.5 模拟试题 V	134
1.6 模拟试题 VI	138
1.7 模拟试题 VII	142
1.8 模拟试题 VIII	145
1.9 模拟试题 IX	150
第 2 章 试题选录	155
2.1 原机械工业部部属院校机械设计抽样统考试题	155
2.2 远程教育题 I	157
2.3 远程教育题 II	159
2.4 远程教育题 III	161
2.5 远程教育题 IV	163

2.6 本科生《机械设计》试题 I	166
2.7 本科生《机械设计》试题 II	169
第3章 部分研究生试题	172
3.1 研究生试题 I	172
3.2 研究生试题 II	175
3.3 研究生试题 III	179
3.4 研究生试题 IV	182
3.5 研究生试题 V	188
3.6 研究生试题 VI	189
3.7 研究生试题 VII	192
3.8 研究生试题 VIII	195
3.9 研究生试题 IX	198
参考答案	201
1.1 模拟试题 I	201
1.2 模拟试题 II	203
1.3 模拟试题 III	206
1.4 模拟试题 IV	208
1.5 模拟试题 V	210
1.6 模拟试题 VI	212
1.7 模拟试题 VII	214
1.8 模拟试题 VIII	217
1.9 模拟试题 IX	219
2.1 原机械工业部部属院校机械设计抽样统考试题	224
2.2 远程教育题 I	226
2.3 远程教育题 II	227
2.4 远程教育题 III	228
2.5 远程教育题 IV	229
2.6 本科生《机械设计》试题 I	230
2.7 本科生《机械设计》试题 II	234
3.1 研究生试题 I	237
3.2 研究生试题 II	241
3.3 研究生试题 III	244
3.4 研究生试题 IV	246
3.5 研究生试题 V	250
3.6 研究生试题 VI	251

第一部分 内容提要、典型例题解析和习题

第1章 绪论

1.1 内容提要

1. 机器

1) 机器的组成

由原动机、传动装置和工作机组成。

2) 机器与机构的关系

3) 机器对发展国民经济的重要作用

2. 本课程研究的对象

1) 机器与机械零部件的关系

2) 机械零部件的分类

通用零部件

专用零部件

3) 本课程的研究对象

研究在普通条件下工作的一般参数的通用机械零部件的设计理论和设计方法。

3. 本课程的性质和任务

1) 本课程的性质

本课程是一门以一般通用零部件的设计为核心, 论述其基本设计理论与方法的设计性技术基础课。

2) 本课程的任务

本课程(包括它的全部教学环节)的主要任务是培养学生具备以下几方面能力:

(1) 掌握机械设计所必需的基本知识、基本理论和基本技能, 解决通用零部件的设计问题。

(2) 能够独立进行传动装置的设计, 具备一定的设计能力。此项可通过设计性

大作业和课程设计两个教学环节来完成。

(3) 熟悉国家标准、手册、规范等,并正确运用。

(4) 树立正确的设计思想,勇于创新、探索和求实精神。

4. 如何学习本课程

本课程具有“三性”、“四多”的特点,“三性”是指综合性、设计性、实践性;“四多”是指公式多、概念多、图表多、系数多。学习本课程时应抓住以下几点:

(1) “抓实质”:即抓住各个零件的设计思路。部分零部件的设计框图详见主教材(于惠力等,2007. 机械设计,北京:科学出版社,下同)有关章节。

(2) “理论联系实际”:是指理论计算出来的设计结果必须与实际相联系,即必须考虑加工的可能性、结构的合理性和经济性等具体问题,切忌纯理论观点。

(3) “试算法”:由于工程实际设计中经常有许多未知数,不可能通过一步求解得出结论,常需要反复试算,才能得出最后设计结果,所以设计时反对纯数学推导式的一气呵成的做法。

5. 机械零件设计的一般步骤

- 1) 选择零件的材料
- 2) 建立零件的受力模型
- 3) 选择零件的类型与结构
- 4) 理论计算

(1) 设计计算:由作用到零件上的力求零件的几何尺寸,即根据零件的主要失效形式确定零件的设计依据和公式,以求得零件的主要参数。

(2) 校核计算:由零件的几何尺寸求零件的工作能力。

5) 零件的结构设计

设计出零件的全部结构形式及具体几何尺寸。

6) 绘制零件的工作图并编写计算说明书

上述设计步骤并非一成不变,有时需要交替进行。

6. 机械零件的主要失效形式及设计准则

1) 主要失效形式

机械零件因某种原因不能正常工作称失效。常见的失效形式有:

(1) 断裂:由于零件的变应力超过其材料的疲劳极限,或由于突然过载引起静应力超过强度极限造成的整体破坏。

(2) 塑性变形:由于静应力超过屈服极限引起的过大的变形量。

(3) 点蚀:高副零件表层的变接触应力超过疲劳强度极限,引起表面麻点状剥

蚀损伤。

(4) 胶合: 由于瞬时温度过高, 引起两相对运动零件的表面焊后撕伤。

(5) 磨损: 两相对运动零件的表面, 由于相对滑动和压力, 或由于硬颗粒的犁削而使摩擦表面的物质不断损失的现象称磨损。

(6) 压溃: 由于两零件互压表面挤压应力超过挤压强度极限, 可引起过大的变形量或破坏。

2) 设计准则

机械零件工作能力的计算或设计所依据的原则, 一般称计算或设计准则。常用计算准则有:

(1) 强度准则: 强度是零件抵抗表面失效、整体断裂及塑性变形的能力, 强度计算是保证零件工作能力的最基本的计算, 强度准则是使零件所受应力不得超过许用应力。

(2) 刚度准则: 刚度是零件受载时抵抗弹性变形的能力, 刚度准则是零件的弹性变形量不得超过许用变形量。

(3) 耐磨性准则: 零件抵抗磨损的能力称耐磨性, 计算准则是使零件的磨损量不得超过许用磨损量, 通常表现为限制相对运动表面压强或相对滑动速度。

(4) 振动稳定性准则: 零件动态稳定而不发生振动, 常表现为限制零件的振幅、振动频率或通过调整零件的自然频率来保证。

(5) 热平衡准则: 机械零件的温升过高会引起润滑油黏度下降, 从而使润滑失效, 零件之间会加大磨损; 如果零件表面的温度升高到金属材料的熔点, 则金属表面会产生瞬时焊接现象, 即产生胶合, 导致机械零件的失效。胶合失效难以准确计算, 而且计算复杂, 为了防止胶合失效, 通常用限制温升的简化方法进行计算。

(6) 可靠性准则: 可靠性用可靠度来度量, 可靠度是指产品在规定的条件下, 在规定的时间内, 连续工作(即不发生失效)的概率。

1.2 典型例题解析

例 1.1 说明机器、机构和机械三者的联系及区别。

解: 机器的特征是:

(1) 是人为的实物组合体。

(2) 组成机器的各部分之间有确定的相对运动。

(3) 用来代替或减轻人的劳动去做有用功或转换能量、处理信息。

机构具有机器的前两个特征, 从结构和运动观点来看, 机器与机构并无区别。例如, 内燃机是由活塞、连杆、曲轴和汽缸体组成一个曲柄滑块机构, 将活塞的往复运动转变为曲轴的连续转动。但是机构却没有机器的第三个特点——做有用功或

转换能量、处理信息等,因此只能称机构,而不能称机器。可见机器是由机构组成的。

机械是指机器及机构的总称。

例 1.2 简述机械设计的主要工作阶段。

解: 机械设计的主要工作阶段一般包括:

(1) 计划阶段:进行市场调研,了解市场需求,论证可行性。如果可行,作出产品开发计划,完成可行性研究报告以及设计任务书。

(2) 原理方案设计阶段:进行功能分析,寻求可行原理,确定原理方案,如有多种方案,进行优化选择,从而评价决策,完成最佳原理方案图。

(3) 技术设计阶段:首先进行结构方案设计(包括参数的初步设计、初定材料、精度等);接着进行结构设计(包括粗布局和大致构形等),对多种可行结构方案进行优化及评价决策,得出初步结构,设计草图;然后进行总体设计(确定总体布局、构形设计、决定尺寸);同时还需进行人机工程设计和外观造型设计。对多种总体设计可行方案,进行优化及评价决策,确定总装配图。

(4) 施工设计阶段:包括产品部件设计、产品零件设计及编制各种技术文件。完成部件装配图、拆成零件工作图及完成各种技术文档。

(5) 试制试验阶段:先进行样机制造并评价考核工艺性,进行进一步改进,再进行小批量生产,然后试销,如果销路好就进行批量投产。投产后再进行调查,根据使用情况再按(3)、(4)、(5)进行改进。

例 1.3 一台机器由 n 个机械零件串联组成,提高该机器可靠度可考虑哪些方面?

解: 对于串联系统,整个机器可靠度等于组成机器的各零件可靠度的乘积,要想提高整个机器的可靠度,首先应该提高每个零件的可靠度,即采用高可靠度的零件;其次,尽量将组成机器的零件作成等可靠度,因为整个机器的可靠度要低于组成机器的可靠度最差的零件的可靠度;另外对高可靠性要求的系统可采用备用系统,并注意维护和保养。

习 题

1.1 机器的基本组成要素有哪些?

1.2 什么是通用零部件,什么是专用零部件?试各举三个实例。

1.3 本课程的性质和任务是什么?

1.4 机械零件常见的失效形式有哪些?简单分析失效原因。

1.5 机械零件常用的设计准则有哪些?

1.6 简述机械零件设计的一般步骤。

第2章 螺纹连接

2.1 内容提要

本章是本课程的重点章节之一,应主要掌握下列内容:

1. 螺纹连接的类型

螺纹连接的主要类型有螺栓连接、螺钉连接、双头螺柱连接和紧定螺钉连接。应掌握各种连接类型的应用场合,并熟悉常用的标准连接件(如螺栓、螺母、垫片等)的有关国家标准。

2. 螺纹连接的拧紧和防松

大多数螺栓要在装配时拧紧,称紧连接。拧紧螺栓时螺栓受的轴向拉力称预紧力 F' , F' 的大小要适当,过小不能满足使用要求(如汽缸漏气),过大则可能使螺栓过载拉断。因此重要的螺栓连接,不宜使用小于 M10~M14 的螺栓。

防松问题主要应掌握防松的原理及方法。三角形螺纹恒能自锁,但在受冲击振动时,或温度变化较大时,连接仍可能松动。因此,为了使连接可靠,设计时必须考虑防松的措施。螺纹连接防松方法按防松原理可分为摩擦防松、机械防松和永久止动三种方法。尤其对前两种防松方法在设计中用得较多,应通过实例来分析防松原理。

3. 螺栓组连接的受力分析

螺栓组连接的受力分析是本章的重点内容,受力分析的目的在于求出一组螺栓中受力最大的螺栓所受的力,从而为强度计算提供依据。分析方法可归纳如下:

(1) 将外载荷移到螺栓组的几何形心,视其是轴向载荷 F_Q 、横向载荷 F_R 、扭矩 T 和翻倒力矩 M 这四种情况,或是上述四种情况中某几种受力情况的组合。

(2) 求出一组螺栓中受力最大的螺栓在上述各载荷作用下所受的力,如为单一载荷作用(如轴向力 F_Q 、横向力 F_R 、扭矩 T 或翻倒力矩 M),可分别按主教材上推导的受力公式进行计算(见主教材式(2.6)~式(2.13))。但千万要注意:当一组螺栓受扭矩 T 作用时,对于每一个螺栓本身来说,仍受与其回转半径相垂直的横向力作用,此横向力(指外载荷,并不等于螺栓受剪)的大小可利用一组螺栓受扭矩 T 作用时,螺栓受的剪切力来计算(主教材中式(2.11)),因为二者的推导过程相同,此时求出的横向力仍为外载荷,螺栓不一定受剪,也可能受拉(当采用受拉螺栓

时),此时横向力被接缝面之间的摩擦力平衡。

如螺栓受组合载荷作用,可先按单一的基本情况求出每个螺栓的受力,然后再由力的叠加原理(注意为矢量和),求出螺栓实际受力,进而找出一组螺栓中受力最大的螺栓所受的力。例如,一组螺栓受外载荷为扭矩 T 及横向力 F_R 作用时,则对于每个单个的螺栓本身受的力是由 T 产生的横向力 F_{s1} (方向与回转半径垂直)和由横向力 F_R 产生的横向力 F_{s2} (方向与 F_R 相同),而螺栓受的总的力为 $F_{s1} + F_{s2}$ 。如设计成受剪螺栓,此合力由螺栓光杆部分的剪切面来承受;如设计成受拉螺栓,则此横向力由接缝面之间的摩擦力去承受,摩擦力的大小为 $\mu_s F' m z$,从而求出每个螺栓所必须的最小预紧力 F' 。

注意:在进行螺栓组受力分析时,一定要区别开外载荷与螺栓本身的受力方向,两者可能一致,也可能不一致。例如:当外载荷为横向力时,螺栓不一定受横向力。

4. 单个螺栓连接的强度计算

强度计算是本章的重点内容,应很好地掌握,并应大量做习题。

尽管作用于一组螺栓的外力有上述四种情况(轴向力 F_Q 、横向力 F_R 、扭矩 T 及翻倒力矩 M),但对于单个螺栓本身的受力只有两种情况:受拉或受剪。因此单个螺栓的强度计算只分为受拉螺栓及受剪螺栓两种情况。应重点掌握受拉螺栓中的紧连接螺栓的强度计算,包括下列两种情况:

1) 只受预紧力 F'

例如:外载荷为横向力 F_R 或扭矩 T ,而采用受拉螺栓连接的情况属于此类。其强度条件为

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

此公式要牢记,可理解为螺栓被拧紧时既受拉,又受扭,采用第四强度理论,拉扭合成的结果相当于纯拉伸的 1.3 倍。应深刻理解 1.3 的物理意义,绝非安全系数、可靠系数等,计算时绝对不能丢掉。

2) 既受预紧力 F' ,又受工作载荷 F

例如:外载荷为轴向载荷 F 或翻倒力矩 M ,而采用了受拉螺栓的情况属于此类。其强度条件为

$$\frac{1.3F_0}{\pi d_1^2/4} \leq [\sigma]$$

此外的 F_0 为螺栓的总拉力,可由下列二式求得

$$F_0 = F'' + F$$

$$F_0 = F' + \frac{c_1}{c_1 + c_2} F$$

式中, F'' 为残余预紧力, $\frac{c_1}{c_1+c_2}$ 为螺栓的相对刚度(或相对刚度系数); F 为工作载荷(由轴向力 F_Q 或由翻倒力矩 M 引起的)。考虑到工作后有个别螺栓松动后又补充拧紧, 因此螺栓又在总拉力(轴向力) F_0 下受扭, 拉扭合成的结果相当于纯拉伸的 1.3 倍, 因此公式中又出现了一个 1.3, 注意与上面公式中的 1.3 的区别。

3) 变载荷下的计算准则

如螺栓受变载荷作用, 除按上述公式进行设计或校核满足静强度外, 尚需验算螺栓的应力幅, 即 $\sigma_a \leq [\sigma_a]$, 详细内容可参考主教材。

5. 提高螺栓连接强度的措施

应重点掌握螺栓和被连接件的刚度对应力幅的影响, 应力幅的强度公式为

$$\sigma_a = \frac{c_1}{c_1 + c_2} \cdot \frac{2F}{\pi d_1^2} \leq [\sigma]_a$$

在一定的工作载荷 F 作用下, 螺栓的相对刚度系数 $\frac{c_1}{c_1+c_2}$ 越小, 则应力幅 σ_a 也越小。因此, 降低螺栓刚度 c_1 或增大被连接件刚度 c_2 , 都能使应力幅 σ_a 减小。从主教材图 2.21 也可清楚地看出: 在螺栓总拉力 F_0 保持不变的条件下, 降低螺栓刚度 c_1 或增大被连接件刚度 c_2 , 都能达到减小应力幅 σ_a 的目的。主教材上介绍了其余几种提高螺栓连接强度的措施, 可作一般性了解。

本章螺栓连接的受力分析及强度计算公式总结见表 2.1。

2.2 典型例题解析

例 2.1 轴承托架紧固到钢立柱上, 托架材料为铸铁, 螺栓材料级别为 6.8 级。载荷 $Q=6\text{kN}$, 尺寸如图 2.1。试设计此螺栓连接, 螺栓数目 $Z=4$ 。

解: 题目要求设计此螺栓组连接, 因此应当满足连接正常工作的条件。即螺栓不被拉断(此题选用普通螺栓连接); 底板不滑动; 板上边缘不离缝; 支架下端不压溃。

关键在于第一条, 此螺栓属既受预紧力 F' , 又受工作载荷 F 的作用, 因此应当根据强度公式 $\frac{1.3F_0}{\pi d_1^2/4} \leq [\sigma]$ 去设计 d_1 。计算如下:

1) 螺栓组受力分析

将载荷 Q 分解为水平分力 Q_X 及垂直分力 Q_Y (见图 2.1), 即

$$Q_X = Q \cdot \sin \alpha = 6 \times 10^3 \times \sin 30^\circ = 3000\text{N}$$

$$Q_Y = Q \cdot \cos \alpha = 6 \times 10^3 \times \cos 30^\circ = 5196\text{N}$$

表 2.1 螺栓连接的受力分析及强度计算

受拉螺栓				受剪螺栓	
紧螺栓连接				强度条件	
螺栓只受预紧力		螺栓受预紧力和工作载荷		强度条件	
强度条件		强度条件		强度条件	
$\frac{4F}{\pi d_1^2} \leq [\sigma]$		$\frac{4 \times 1.3F'}{\pi d_1^2} \leq [\sigma]$		$F_R \leq d h [\sigma]$ $\frac{4F_s}{\pi d^2 m} \leq [\tau]$	
螺栓只受外载荷 F (拉伸载荷)		螺栓只受外载荷 F (拉伸载荷)		强度条件	
$F' = \frac{K_1 F_R}{\mu_s \cdot m \cdot Z}$		$F' = \frac{K_1 T}{\mu_s \sum_{i=1}^z r_i}$		$F_0 = F' + F''$ 其中 $F = \frac{F_s}{Z}$ 应保证工作时连接的紧密性, 对残余预紧力 F'' 必须加以控制	
$F' = \frac{K_1 F_R}{\mu_s \cdot m \cdot Z}$		$F' = \frac{K_1 T}{\mu_s \sum_{i=1}^z r_i}$		$F_0 = F' + \frac{c_1}{c_1 + c_2} F$ 式中 F 代入 $F_{\max}$ $F_{\max} = \frac{M l_{\max}}{2 \sum_{i=1}^{n/2} l_i^2}$ F' 应使左边不出现缝隙 $p_{\min} > 0$, 应使右边不致压溃 $p_{\max} \leq [p]$	

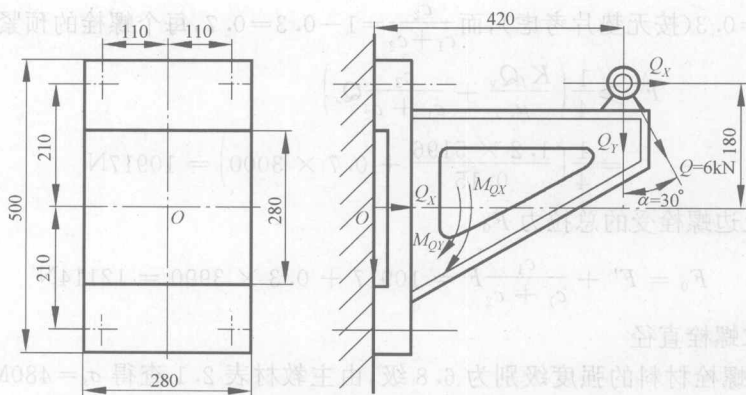


图 2.1 轴承托架尺寸图

将 Q_X 及 Q_Y 移至螺栓组接缝面的几何形心 O 点, 得一轴向力 Q_X 、横向力 Q_Y 、翻倒力矩 M_{QX} 、 M_{QY} 。

$$\begin{aligned} M &= M_{QX} + M_{QY} = Q_Y \times 420 + Q_X \times 180 \\ &= 5196 \times 420 + 3000 \times 180 \\ &= 2722320 (\text{N} \cdot \text{mm}) \end{aligned}$$

此螺栓的受力属于既受横向力(Q_Y)、又受轴向力(预紧力和工作载荷)的紧连接螺栓, 而工作载荷由两部分组成:

由轴向力 Q_X 引起的工作拉力

$$F_1 = Q_X/4 = 3000/4 = 750 \text{N}$$

由翻倒力矩引起的工作拉力

$$F_2 = \frac{ML_{\max}}{\sum_{i=1}^4 L_i^2} = \frac{2722320 \times 210}{4 \times 210^2} = 3240 \text{N}$$

总工作拉力 $F = F_1 + F_2 = 750 + 3240 = 3990 \text{N}$

2) 求每个螺栓的预紧力 F'

根据底板不下滑的条件, 即横向力 Q_Y 与底板的摩擦力平衡, 求得

$$4F'' \cdot \mu_s \geq K_f Q_Y (F'' \text{ 为残余预紧力})$$

由公式 $F'' = F' - \frac{c_2}{c_1 + c_2} F_1 = F' - \frac{c_2}{c_1 + c_2} \cdot \frac{Q_X}{4}$ (此处的工作载荷用 F_1 而不用总工作拉力 F , 是因翻倒力矩对摩擦力无影响, 在 M 作用下, 底板下部的压力虽然增大, 但上部的压力却以同样程度减小)。

将 F'' 代入上式, 得

$$\left(4F' - \frac{c_2}{c_1 + c_2} Q_X \right) \mu_s \geq K_f Q_Y$$