

机 械 设 计

主 编 李靖华 王进戈 唐良宝

重庆大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械设计/李靖华等主编. —重庆:重庆大学出版社,
ISBN 7-5624-2489-6

I. 机... II. 李... 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(2001)第 064146 号

机 械 设 计

李靖华 王进戈 唐良宝 主编

责任编辑:彭 宁 秦 梅 版式设计:秦 梅

责任校对:何建云 责任印制:张永洋

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A区)内

邮编:400044

电话:(023)65102378 65105781

传真:(023)65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:22.25 字数:555 千

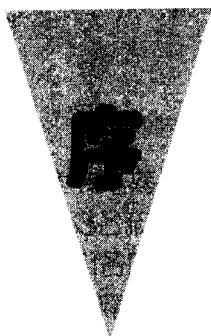
2002 年 6 月第 1 版 2002 年 6 月第 1 次印刷

印数:1—4000

ISBN 7-5624-2489-6/TH·92 定价:26.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有 翻印必究



当今世界,科学技术突飞猛进,知识经济已见端倪,综合国力的竞争日趋激烈。国力的竞争,归根结底是科技与人才的竞争。邓小平同志早已明确指出:科技是现代化的关键,而教育是基础。毫无疑问,高等教育是科技发展的基础,是高级专门人才培养的摇篮。我国高等教育在振兴中华、科教兴国的伟大事业中担负着极其艰巨的任务。

为了适应社会主义现代化建设的需要,在 1993 年党中央、国务院颁布《中国教育改革和发展纲要》以后,原国家教委全面启动和实施《高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划》,有组织、有计划地在全国推进教学改革工程。其主要内容是:改革教育体制、教育思想和教育观念;拓宽专业口径,调整专业目录,制定新的人才培养方案;改革课程体系、教学内容、教学方法和教学手段;实现课程结构和教学内容的整合与优化,编写、出版一批高水平、高质量的教材。

地处巴山蜀水的重庆大学,是驰名中外的我国重要高等学府。重庆大学出版社是一个重要的大学出版社,工作出色,一贯重视教材建设,从 90 年代初期开始实施“立足西部,面向全国”的战略决策,针对当时国内专科教材匮乏的情况,组织西部地区近 20 所院校编写、出版机械类、电类专科系列教材,以后又推出计算机、建筑、会计类专科系列教材,得到原国家教委的肯定与支持。在 1998 年教育部颁布《普通高等学校本科专业目

录》之后,重庆大学出版社立即组织西部地区高校的数十名教学专家反复领会教学改革精神,认真学习全国的教育改革成果,充分交流各校的教学改革经验,制定机械设计制造及其自动化专业的教学计划和各门课程的教学大纲,并组织编写、出版机械类本科系列教材。为了确保教材的质量,重庆大学出版社采取了以下措施:

- 发挥教育理论与教育思想的指导作用,将教学改革思想和教学改革成果融入教材的编写之中。

- 根据人才培养计划中对学生知识和能力的要求,对课程体系和教学内容进行整合,不过分强调每门课程的系统性、完整性,重在实现系列教材的整体优化。

- 明确各门课程在专业培养方案中的地位 and 作用,理顺相关课程之间的关系。

- 精选教学内容,控制教学学时数,重视对学生自主学习能力、分析解决工程实际问题能力和创新能力的培养。

- 增强 CAD、CAM 的内容,提高教材的先进性;尽可能运用 CAI 等现代化教学手段,提高传授知识的效率。

- 实行专家审稿制度,聘请学术水平高、事业心强、长期活跃在教学改革第一线的专家审稿,重点审查书稿的学术质量和是否具有特色。

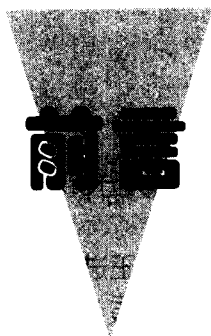
这套教材的编写符合教学改革的精神,遵循教学规律和人才培养规律,具有明显的特色。与出版单科教材相比,有计划地将教材成套推出,实现了整体优化。这富有远见。

经过几年的艰苦努力,这套机械类本科教材已陆续问世了。它反映了西部高校多年来教学改革与教学研究的成果,它的出版必将为繁荣我国高等学校的教材建设作出积极的贡献,特别是在西部大开发的战略行动中,起着十分重要的作用。

高等学校的教学改革和教材建设是一项长期而艰巨的工作,任重道远,不可能一蹴而就。我希望这套教材能够得到读者的关注与帮助,并希望通过教学实践与读者不吝指教,逐版加以修订,使之更加完善,在高等教育改革的百花园中奇花怒放!我深深为之祝愿。

中国科学院院士 杨叔子

2000 年 4 月 28 日



本书是根据原国家教育委员会颁发的“机械设计课程教学基本要求”,并参考各高校近年来在“面向 21 世纪高等工程教育改革”中关于机械设计课程的讨论意见编写的。

在教材体系方面,本书以“传动”为主线来组织内容,即在绪论中,从机器的组成提出传动的概念之后,首先介绍各类传动件,然后介绍轴系件、联接件和其他零件,最后开辟一章“机器的传动系统”。这样编写能较清晰地揭示零件与零件、零件与机器之间的联系,从而增强教材的系统性,并适当拓宽教学的总体针对性。

在内容取舍方面,由于课程学时减少,本书在保证课程基本知识、基本理论和基本内容的前提下,适当精简了零件失效的描述,以及一些次要的数学推导等内容。与此同时,出于教学改革中各门课程整合的需要,本书增加“极限与配合”一节。为了反映零件设计的工程背景,充实了“标准和标准化”一节的内容。

借鉴西方国家的同类教材,本书将齿轮啮合原理的基本内容纳入第 7 章,将螺旋副的受力分析纳入第 6 章,将制动器纳入第 12 章,从而加强了有关各章内容的完整性。与本书配套出版的《机械原理》,其内容也作了相应的调整。当然,这种尝试并不妨碍有关院校在教学中酌情取舍。

本书中比较大型的例题,均同时列出两种设计方案,以供分析和比较。各章均附思考题和习题。

全书共 15 章,其中第 1、2 章由李靖华编写;第 7、8 章由王进戈、秦小屿编写;第 9、11 章由唐良宝编写;第 6、13 章由袁爱霞编写;第 4、5 章由范恒彦编写;第 12、14 章由刘松编写;第 3、10 章由李俊编写;第 15 章由李靖华、秦小屿编写。由李靖华、王进戈、唐良宝任主编。

由于编者学识水平有限,本书误漏之处在所难免,恳切期望专家和读者批评指正。

编者

2001 年 10 月



1 绪 论	1
1.1 机械设计在经济建设和科技发展中的作用	1
1.2 机器的组成	1
1.3 机械的零部件	3
1.4 本课程的性质、内容和学习方法	3
2 机械设计概论	5
2.1 机械设计的基本要求和一般程序	5
2.2 机械零件的工作能力和计算准则	7
2.3 机械零件的疲劳强度	9
2.4 机械零件的接触强度	16
2.5 机械零件设计的一般步骤	17
2.6 机械零件材料选择的依据	17
2.7 标准和标准化	20
2.8 极限与配合	24
2.9 表面粗糙度	28
2.10 现代设计方法简介	28

3 摩擦、磨损及润滑概述	35
3.1 概述	35
3.2 摩擦	35
3.3 磨损	37
3.4 润滑	39
3.5 摩擦学研究的现状与发展趋势	46
4 带传动	49
4.1 概述	49
4.2 带和带轮	51
4.3 带传动的几何计算	55
4.4 带传动的工作原理和运动特性	56
4.5 V 带传动的设计计算	59
4.6 带传动的张紧装置	66
4.7 其他带传动简介	68
5 链传动	74
5.1 概述	74
5.2 链传动的运动特征	79
5.3 链传动的受力分析	81
5.4 滚子链传动的设计计算	82
5.5 链传动的布置、张紧和润滑	86
6 螺旋传动	91
6.1 螺旋副的受力分析、效率和自锁	91
6.2 螺旋传动的类型和应用	94
6.3 滑动螺旋传动的设计计算	94
6.4 滚动螺旋传动简介	98
6.5 静压螺旋传动简介	99
7 齿轮传动	101
7.1 概述	101
7.2 渐开线齿廓齿轮传动	103
7.3 齿轮的失效形式	109
7.4 齿轮的材料及热处理	110
7.5 齿轮传动的计算准则和设计方法	112
7.6 直齿圆柱齿轮传动的载荷计算	113

7.7 直齿圆柱齿轮传动的强度计算	117
7.8 齿轮传动主要参数的选择	128
7.9 齿轮传动的精度及其选择	129
7.10 斜齿圆柱齿轮的形成原理	133
7.11 斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	134
7.12 直齿圆锥齿轮的形成原理	140
7.13 直齿圆锥齿轮传动的强度计算	141
7.14 齿轮传动的润滑	145
7.15 齿轮的结构	147
7.16 圆弧齿圆柱齿轮传动简介	149
8 蜗杆传动	152
8.1 概述	152
8.2 圆柱蜗杆传动的基本参数和几何尺寸	158
8.3 蜗杆传动的失效形式和材料选择	165
8.4 蜗杆传动的受力分析	167
8.5 蜗杆传动的强度计算	168
8.6 蜗杆轴的挠度计算	171
8.7 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	172
8.8 蜗杆和蜗轮的结构	177
8.9 环面蜗杆传动	179
8.10 蜗杆传动的现状及发展方向	180
9 轴及轴毂联接	184
9.1 概述	184
9.2 轴的材料	186
9.3 轴的结构设计	188
9.4 轴的强度计算	193
9.5 轴的刚度计算简介	202
9.6 轴的振动稳定性计算简介	203
9.7 轴毂联接	204
附录	211
10 滑动轴承	214
10.1 概述	214
10.2 滑动轴承的结构形式	215

10.3	轴瓦的材料和结构	218
10.4	滑动轴承的润滑	222
10.5	非液体润滑滑动轴承的设计计算	225
10.6	液体动压润滑径向轴承的设计计算	227
10.7	其他滑动轴承简介	238
11	滚动轴承	241
11.1	概述	241
11.2	滚动轴承的主要类型及其选择	242
11.3	滚动轴承的代号	245
11.4	滚动轴承的受力分析、失效形式和计算准则	246
11.5	滚动轴承的动载荷和寿命计算	248
11.6	滚动轴承的静载荷计算	256
11.7	滚动轴承的组合结构设计	259
11.8	滚动轴承的润滑与密封	264
12	联轴器、离合器及制动器	269
12.1	概述	269
12.2	联轴器	269
12.3	离合器	275
12.4	制动器	278
13	螺纹联接及销联接	281
13.1	螺纹联接的主要类型	281
13.2	螺纹联接的拧紧和防松	284
13.3	单个螺栓联接的受力分析和强度计算	286
13.4	螺栓组联接的受力分析	292
13.5	提高螺纹联接强度的措施	296
13.6	销联接	302
14	弹 簧	305
14.1	概述	305
14.2	圆柱螺旋弹簧的结构、材料和许用应力	306
14.3	圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的设计计算	310
14.4	圆柱螺旋扭转弹簧	318
14.5	其他类型弹簧简介	319

15 机器的传动系统	321
15.1 概述	321
15.2 选择传动类型的基本依据	324
15.3 常用机械传动的特点、性能和选择原则	325
15.4 减速器	327
15.5 变速器	335
15.6 车床的传动系统	338
主要参考文献	342

1

绪 论

1.1 机械设计在经济建设和科技发展中的作用

机械工业担负着为国民经济各部门提供各种性能先进、价格低廉、使用安全、造型美观的技术装备的任务。在科研成果转化为商品的过程中,离不开实验、测量、生产设备的应用。在国家现代化的进程中,机械工业起着主导和决定性的作用。

设计是产品开发的第一步,又贯穿于整个开发过程的始终。英、美等工业发达国家认为,设计是工业的生命,是一本万利的事。机械工业经历了 200 多年的漫长历史,当前,世界各国的机械厂家林立,国内外机械产品的市场竞争十分激烈,社会对现代机器的要求日益苛刻,这就需要进行创新设计,不断开发有竞争力的新产品。我国的机械工业拥有雄厚的设备资源,但许多设备逐渐“老化”,这就需要开展改进性设计,对设备的某些环节进行技术改造,以达到提高性能、节约能源、改善环境、提高生产率的目的。设计失误给产品带来的缺陷是先天性的,事后难以弥补。统计表明,机械产品的质量事故约有 50% 是设计不当引起的,产品成本的 70% 是在设计阶段决定的。因此,无论是创新设计还是改进性设计,都是机械产品能否达到预期的技术指标和经济指标的关键。只有提高设计的总体水平,才能促使我国的机械工业焕发生机,与国民经济其他部门得到协调的发展,加速我国的社会主义现代化建设。

1.2 机器的组成

人类为了满足生产和生活的需要,设计和制造了各式各样的机器。机器尽管类型繁多、功能各异,但其组成均有共同之处。下面举一个简单机械的例子,阐述机器的基本组成。

图 1.1(a)、(b) 为一矿石球磨机的外形图和机动示意图,电动机通过一级圆柱齿轮减速器和一对开式齿轮传动,驱动由一对滑动轴承支承的球磨机滚筒旋转,矿石在筒体内被一定数量的钢(铁)球粉碎。

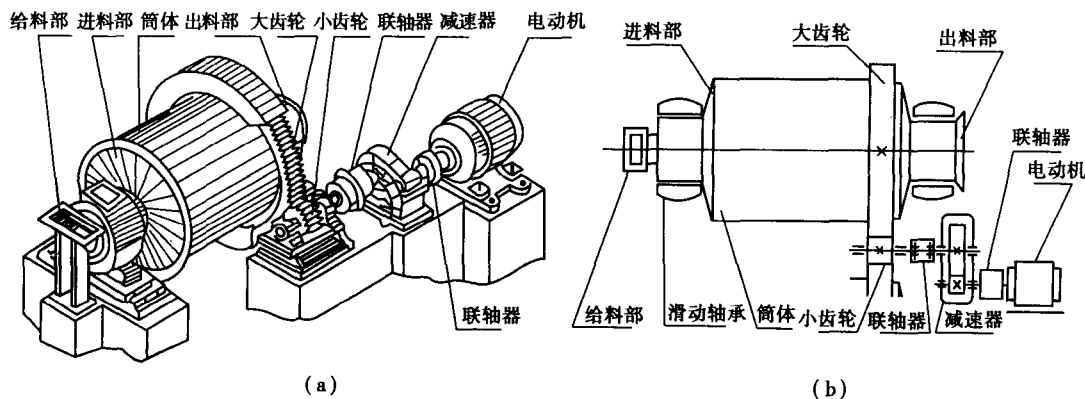


图 1.1 矿石球磨机的外形图和机动示意图

由此可见,机器通常有三个基本组成部分:

原动机部分——是驱动机器的动力源,本例为电机;

执行部分——是完成预定功能的组成部分,本例为滚筒;

传动部分——是将原动机的运动形式、运动及动力参数转变为执行部分所需的运动形式、运动和动力参数的组成部分。本例为齿轮减速器和开式齿轮传动,其作用是减速。

现代机器中使用的原动机以各式各样的电动机和热力机为主。传动部分多数使用机械传动系统,有时也可使用液压或电力传动系统。但是,机械传动系统仍是绝大多数机器不可缺少的重要组成部分。执行部分则随机器需要实现的功能而千变万化,即使同一用途的机器,也可能具有迥然不同的执行部分。执行部分的选择和设计,在很大程度上决定了机器的总体结构。

机器只有以上三个基本部分,使用起来就会遇到很大的困难和不便。所以机器除了这三个部分外,还会不同程度地增加其他部分,例如控制系统和辅助系统等。

至此,我们可以用图 1.2 来概括说明一部机器完整的组成。

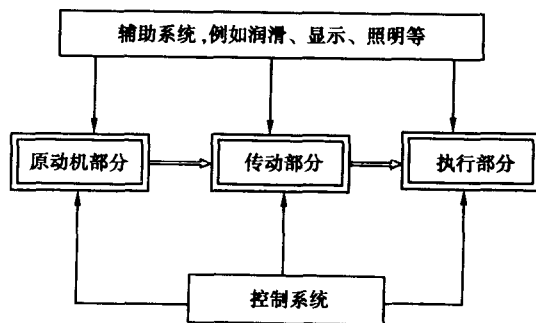


图 1.2 机器的组成

1.3 机械的零部件

无论分解哪一部机器,它总是由一些机构组成;每个机构又是由许多零件组成。所以,机器的基本组成要素就是机械零件。

概括地说,机械零件可分为两大类:一类是在各种机器中经常都能用到的零件,叫做通用零件,如螺钉、齿轮、链轮等;另一类则是在特定类型的机器中才能用到的零件,叫做专用零件,如涡轮机的叶片、飞机的螺旋桨、往复式活塞内燃机的曲轴等。另外,还常把由一组协同工作的零件所组成的独立制造或独立装配的组合作叫做部件,如减速器、离合器等。

应该明确,对于一部机器这个总体来说,一切零件都是它的局部,它们必须受到全局的制约。因而它们在机器中,或按确定的位置相互联接,或按给定的规律作相对运动,共同为完成机器的功能而发挥各自的作用。所以任何机器的性能,都是建立在它的主要零件的性能或某些关键部件的综合性能的基础之上的。由此可知,要想设计出一部很好的机器,必须很好地设计或选择它的零件;而每个零件的设计或选择,又是和整部机器的要求分不开的。所以本书除简要论述机械及零件设计的基本理论、要求及一般方法外,将分章讨论各种通用零件的设计原理或选用方法。但是它们决不是各自孤立的,而是互相关联,互相影响,共同为设计完整的机器服务的。所以必须牢记,如果不从机器的全局出发,任何一个零件都是不可能正确地设计或选择出来的。

1.4 本课程的性质、内容和学习方法

本课程是以一般通用零件的设计为核心内容,以培养学生设计一般机械的能力为基本目标的技术基础课程。

前已述及,机械传动系统是绝大多数机器的重要组成部分。本书以传动系统为主线来组织各章内容,即在简要介绍关于整部机器设计的基本知识(设计概论、摩擦磨损及润滑)之后,分章介绍各类传动件(带传动、链传动、螺旋传动、齿轮传动和蜗杆传动),然后介绍轴系件(轴、滑动轴承、滚动轴承、联轴器、离合器及制动器)和联接件(螺纹联接及销联接;键联接附入“轴”一章中)及弹簧,最后归结到机器的传动系统。

本课程的主要任务是:通过理论学习、作业、课程设计和实验等环节,使学生逐步树立正确的设计思想;掌握通用机械零件的设计原理、方法和机械设计的一般规律;具有设计机械传动装置和一般机械的能力;具有运用标准、规范、手册、图册和查阅有关技术资料的能力;并对机械设计的新发展有所了解。

本课程是一门技术基础课,在工科教学计划中具有承前启后的作用。从本课程开始,学生将从单科性的理论课程的学习逐步转向综合性的工程性课程的学习,只有及时转变学习观念,调整思维方式,改进学习方法,才能学好本课程。以下针对学习方法提出一些建议:

本课程作为一门技术基础课,兼有理论性和工程性的特点,涉及多方面的内容,要把主要精力放在设计的基本原理、基本方法和基本技能的掌握和应用上;

将数学、力学公式用于零件设计时,经常需要作必要的假设和简化,还要加入若干经验的因素(如引入各种修正系数等)。这正是理论联系实际的过程,从中可以学到分析问题和解决问题的方法。对众多的零件设计公式要特别注意它们的前提和应用范围,不强求对公式的推导和记忆;

设计是一个综合问题,涉及材料、制造、成本、安全等多种因素。一个机械零件的设计,离不开机器这个总体,以及与之协同工作的其他零件。要学会统筹兼顾,培养和提高综合设计能力;

工程设计的方案不是惟一的,往往有多种方案可供选择,要注意培养和提高分析、比较和判断的能力,能从多种方案中选出最佳方案;

机械零件设计一般包括确定主要参数和结构设计两个基本内容。对初学者来说,后者是一个难点。零件的结构千差万别,目前还难于归纳出共同的规律。但必须给予充分的重视,通过学习本课程和后继课程,逐步提高结构设计能力。

2

机械设计概论

2.1 机械设计的基本要求和一般程序

2.1.1 机器设计的基本要求

首先要能胜任对机器提出的功能要求(或工作职能)。在此前提下,同时满足使用方便、安全可靠、经济合理、外形美观等各项要求,并希望能做到体积小、重量轻、能耗少、效率高。

在使用方面,机器应能在给定的工作期限内具有高的工作可靠性,并能始终正常工作(定期维修和更换易损件除外)。联系人和机器间的各个环节应做到:操纵轻便省力;操纵机构的部位适合人体的生理条件,操作安全,万一失误应有联锁装置或保险装置;维修方便等。

在经济方面,应做到机器使用费用、产品制造成本等多种因素的综合衡量,选出能获得最大经济效益的最佳设计方案。功能多、适用范围广、自动化程度高的机器,价格虽然贵一些,但产品成本(包括设备、材料、生产费用)可能反而降低。

机器外观造型要比例协调、大方,给人以时代感、美感和安全感。色彩要和产品功能相适应。例如,消防、起重机械要用鲜艳醒目颜色,给人以紧迫、预警感;医疗、食品机械要用浅色,给人以卫生、安静感;军用器械要用保护色,给人以安全感;冰箱、风扇等要用冷色,给人以清凉感,等等。

噪声也是一种环境污染。限制噪声分贝数已成为评定机器质量的主要指标之一。机器噪声最好在 70 ~ 80dB 以下。每天工作 8 小时的机器,噪声不得高于 90 ~ 95dB。大于 95dB 的机器,操作时必须戴耳塞。大于 105dB 的机器,必须采取降低噪声的措施。齿轮传动、链传动、滚动轴承、牙嵌离合器、液压系统、电动机等都是机器中常见的噪声源。为了降低噪声,首先要分析产生噪声的原因,然后从设计、工艺、材料等方面着手,采取各种降低噪声的措施。环境对

机器噪声的限制日益苛刻,故低噪声设计日见重要。

对不同用途的机器,还可能提出一些其他要求,如巨型机器有起重、运输的要求,生产食品的机器有清洁卫生的要求等。

2.1.2 机械设计的一般程序及设计人员的素质要求

机械设计是机械产品开发全过程的第一步。设计人员经过调查、构思、分析和计算,并充分考虑制造、使用、维修和营销等多方面的因素,将产品的总体结构和全部细节,通过图纸、技术文件和(或)计算机软件,具体和确切地描述出来,使之成为制造工作的全面和惟一的依据。

各种机器用途不同,要求各异,故其设计步骤不尽一致。总的说来,机械设计经历以下的程序。

(1) 确定设计任务

本阶段又称初步设计,要分析和确定所设计机器的用途、性能和其他主要经济技术指标,包括参数范围、工作条件、生产批量、成本指标等,这些都是开展设计最原始的依据。

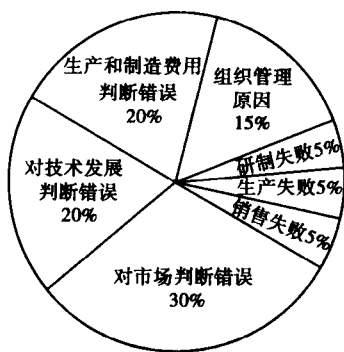


图 2.1 一个统计结果

在现代社会中,机械产品市场的竞争十分激烈,设计人员应该树立营销观念。即做到“产销对路”、“以销定产”。为此,要特别注重市场需求的调查和预测,防止“闭门造车”。在此基础上确定新产品的开发计划。图 2.1 是国外的一个统计结果,它分析了若干种新产品开发失败的原因,从反面说明了计划阶段的重要性。

(2) 总体设计

机器的总体设计就是按照简单、合理、经济的原则,拟定出一种能实现机器性能要求的总体方案。其主要内容包括:根据机器的要求进行功能设计,研究和确定机器执行部分的方案,并分析计算其运动和阻力;选择原动机;拟

定原动机和执行部分之间的传动部分(系统);绘制整机的运动简图,并作初步的运动和动力计算。对于运动链较长的传动系统,还要确定各级传动的传动比和各轴的转速和扭矩。总体设计要考虑到机器的操作、安装、维修和外廓尺寸等要求,合理安排各部件的相对位置。有时还要对机器的某些关键环节进行模拟试验。

应当指出,当前机械市场的商品十分丰富,人们有广泛的选择余地,即使是用途相同的产品,也往往呈现出不同的功能结构。例如,洗衣机有立式的和卧式的;自行车有单速的和多速的;千斤顶有机械的和液压的;剪板机有上切式和下切式;内燃机有往复活塞式和旋转活塞式,等等。设计人员应该具有创新意识,探索新方案,开发新产品,力争自己设计的产品在众多相同或相近的商品中具有新意,体现特色,达到“同中求异”。

(3) 技术设计

按照机器的总体设计方案,通过必要的工作能力计算,或与同类相近机器的类比,确定组成整机的各零部件的主要参数和结构尺寸。经初审后,绘制总装配图、部件装配图、零件图以及各种系统图(传动系统图、润滑系统图、电路系统图和液压系统图等),并编制设计说明书和各种技术文件。