



面向 21 世纪 课程教材
Textbook Series for 21st Century

图学应用教程

(机械类、近机类专业适用)

陆国栋 张树有 谭建荣 施岳定 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

图学应用教程

(机械类、近机类专业适用)

陆国栋 张树有 谭建荣 施岳定 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内容提要

本书是教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果,是面向 21 世纪课程教材,也是国家工科基础课程浙江大学工程制图教学基地的系列教材之一。

为适应新世纪人才培养的新要求,浙江大学工程制图教学基地提出并构建了“公共平台与综合提高相结合”的工程图学新课程体系,该课程体系获得 2001 年度国家级教学成果二等奖,其公共平台教材——谭建荣等编《图学基础教程》获 2000 年度中国高校科技进步科技教材一等奖。

本书即是公共平台基础上的综合提高教材,在知识、素质、能力综合培养中,突出能力培养。主要包括:画法几何问题分析与求解方法、计算机编程绘图与编程应用、形体表达与构思、尺寸标注及其计算机处理、零件设计绘图、装配设计绘图及 CAD、软件产品信息表达简介等。

本书习题置于书末,与一般机械制图习题集相比习题数量明显减少,增加了习题的综合性、复杂性、设计性和连续性,旨在突出教师的指导作用,强化学生的主体地位。

本书可供高等学校本专科机械类、近机类专业在先修公共平台教材后使用,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

图学应用教程/陆国栋等主编. —北京:高等教育出版社, 2002

本科机械类、近机类教材

ISBN 7-04-010681-7

I. 图… II. 陆… III. 工程制图—高等学校—教材 IV. TB23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 024933 号

图学应用教程(机械类、近机类专业适用)

陆国栋 张树有 谭建荣 施岳定 主编

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市东城区沙滩后街 55 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100009	网 址	http://www.hep.edu.cn
传 真	010-64014048		http://www.hep.com.cn
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷	中国青年出版社印刷厂		
开 本	850×1168 1/16	版 次	2002 年 8 月第 1 版
印 张	18	印 次	2002 年 8 月第 1 次印刷
字 数	430 000	定 价	25.40 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

前 言

自从 1996 年 11 月原国家教委批准建设国家工科基础课程浙江大学工程制图教学基地以来,我们一直在考虑和探索新的工程制图课程体系。目前,工程制图课程体系总体框架是公共平台与综合提高模式相结合,即:

第一学期不分专业类别的基础性公共图学平台课程,着重素质培养,包含了画法几何、投影基础、零件图装配图、计算机绘图、其他图形表达方法、CAD 基础等内容,学时为 70 左右;

第二学期针对机械类、近机类专业的综合提高课程,着重能力培养,主要是在第一学期基础上的综合、拓展、加深和提高,具体表现在深化工程制图多种绘图能力培养的内涵、拓展工程制图与设计相结合的外延,有利于从“以教师为中心”向“以学生为中心”的根本转变,学时为 50 左右。

对于非机类学生,只需学习第一阶段公共平台课程,采用《图学基础教程》教材;对于机械类、近机类学生,需要继续进入综合提高的第二阶段,采用《图学应用教程》教材。

公共平台与综合提高模式相结合的课程体系,在 2000 年教育部组织的教学基地中期检查中得到充分肯定,其他基础课程教学基地也可见到类似的平台建设,该课程体系获得 2001 年度国家级教学成果二等奖,其公共平台教材——《图学基础教程》获 2000 年度中国高校科技进步科技教材一等奖。国内不少同行已经或正在准备实施这一做法,如南京理工大学、安徽工业大学、宁波大学、浙江海洋学院等。

《图学应用教程》主要内容与特色可归纳为如下几点:

(1) 公共平台的画法几何部分以介绍点、线、面、体的特殊位置为主,综合提高阶段通过轨迹逆推法、辅助平面法、辅助球面法、投影变换法等分析问题、解决问题方法进行组织,拓展难度和深度,既与公共平台衔接,又有综合提高;

(2) 公共平台主要介绍交互绘图和交互参数化绘图,综合提高阶段不介绍编程绘图和计算机图形学有关算法,而是介绍标准件通用件的编程检索、交互绘图环境建立、有形产品和无形产品全生命周期概念等三个方面,并配以习题要求完成简单设计、计算、检索实例,编程实现一个交互绘图环境等;

(3) 公共平台主要介绍常用表达方法,综合提高阶段主要是表达方法的综合应用,介绍形体构思和看图思维,为结构设计作先期铺垫;

(4) 尺寸标注散见于公共平台各处,综合提高部分将零件图尺寸标注、装配图尺寸标注、计算机尺寸标注处理、尺寸标注 CAI 融合在一起,着重介绍尺寸合理标注问题,并给出有关尺寸标注思考等习题;

(5) 零件图部分将表达方法进一步作了综合,并从形体分析法提升到结构功能对应分析,通过实例分析并进一步配以减速器箱体结构功能分析过程的作业,将视图与尺寸、二维图样与三维轴测图、结构与功能以及三种绘图手段有机结合起来;

(6) 装配图部分引入产品设计全过程的概念, 将零件图、装配图与机构简图、结构简图联系起来, 以弥补工程制图与机械设计之间的空隙, 习题中要求通过计算机拼画装配图、画出千斤顶的机构简图与结构简图草图等。

综合提高模式提供了若干可操作的能力培养手段, 尤其是在习题设计方面, 减少习题数量, 加强习题的综合性、复杂性、设计性和连续性, 富有特色, 并与教材合为一册。

使用过程中, 建议教师根据实际情况对有关内容作一定的调整, 充分发挥教师的主导作用。

本书课程体系的形成得益于多方面的有利条件。首先, 得益于教育部的高瞻远瞩, 营造了工科基础课程教学基地建设的良好外部环境; 其次, 得益于教育部工科制图课程教学指导委员会的具体指导; 再次, 得益于浙江大学工程制图教学基地教学科研相互促进的良好氛围; 同时还得益于制图界同行在工程制图教学改革方面所作的许多有益探索以及对我们工作的大力支持。本书部分图例和内容取自书后所列参考文献, 专此致谢!

本书由陆国栋、张树有、谭建荣、施岳定主编。晏群参与了第2章的部分编写工作, 方志梅参与了第四章的编写工作, 张燕参与了第七章的部分编写工作, 柳铭参与了习题集的部分工作。冯毅雄、李基拓、马辉、徐雷、温星等做了大量的文字录入、排版、绘图等具体工作。承蒙西北工业大学刘荣光教授、北京理工大学董国耀教授、重庆大学何玉林教授仔细审阅, 提出许多建设性修改意见, 教育部工科制图课程教学指导委员会各位委员也提出了许多有益的建议, 在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限, 加之时间紧迫和教学改革的复杂性、探索性, 一定存在不少错误和缺点, 恳请广大同仁和读者不吝指教。

编者

2002年春于求是园

目 录

第 1 章	绪论	1
1.1	引言	1
1.2	工程制图课程重新定位的研究、探索与实践	2
1.3	本书内容安排	5
1.4	本书教学建议	6
第 2 章	画法几何问题分析与求解方法	7
2.1	概述	7
2.2	轨迹法和逆推法	10
2.3	辅助平面法	20
2.4	辅助球面法	34
2.5	投影变换法	37
第 3 章	计算机编程绘图与编程应用	47
3.1	编程绘图	47
3.2	编程建立交互绘图环境	51
第 4 章	形体表达与构思	57
4.1	形体结构表达基本方法	57
4.2	零件表面交线表达	79
4.3	形体构思基础	84
4.4	看图思维基础	87
第 5 章	尺寸标注及其计算机处理	105
5.1	零件图尺寸标注的完整性	105
5.2	零件图尺寸标注的合理性	108
5.3	装配图尺寸标注	114
5.4	尺寸标注的计算机处理	116
5.5	尺寸标注 CAI	122
第 6 章	零件设计绘图	128
6.1	概述	128
6.2	各类零件图设计特点	129
6.3	零件表达方案选择	141
6.4	零件图上的技术要求	156
6.5	零件图的阅读与绘制	168
第 7 章	装配设计绘图及 CAD	174

7.1 概述	174
7.2 产品设计过程	176
7.3 装配图设计步骤	189
7.4 部件测绘	195
7.5 读装配图及拆画零件图	205
7.6 拼画装配图	215
7.7 装配图 CAD	223
第 8 章 软件产品信息表达简介	229
8.1 工程产品与软件产品的关系	229
8.2 软件制作工程化	232
附一 习题集	237
附二 编程建立交互绘图环境源程序清单	262
参考文献	278

第 1 章 绪 论

1.1 引 言

我们已经迈入 21 世纪,新世纪充满机遇,更充满挑战,担负培养高级人才使命的高等教育必须寻求迎接挑战的对策。中国现代高等教育从模仿西方开始,解放以后以学习前苏联为主,改革开放以来更多地借鉴欧美成功经验,到 20 世纪 90 年代以来重在探索建设有中国特色高等教育之路,百年沧桑的经历告诉我们,教育改革与发展是一个永恒的主题。

工程图学如何迎接 21 世纪的挑战?工程制图课程如何改革?这是每一位图学教育工作者必须思考的问题。

工程制图课程必须从人才培养模式出发,从新的人才培养模式对基础课重新定位的高度,充分认识工程制图在人才培养中的重要作用;不断深化工程制图课程的内涵、拓展工程制图课程的外延,广泛汲取国内同行和相关课程的改革成果,充分借鉴国外发展的成功经验,从而建立工程制图课程的新体系;从以教学为主向教学科研相结合转变,从以教师为中心向以学生为中心转变,在新教材编写方面不懈努力、不断尝试,并通过教学方法、教学手段和考试方法改革落实于教学过程中。

1.1.1 面向 21 世纪的中国特色人才培养模式

21 世纪的中国高等学校应当培养什么样的人?有识之士认为可以归纳为两点:第一,21 世纪高校培养的人才既要有“知识”,又要有“能力”,更要有使知识和能力得以充分发挥作用的“素质”,这三者应有机地融合在一个人身上;第二,21 世纪中国高等学校培养的人才应当具备基础扎实、知识面宽、能力强、素质高等特点。“基础”包括基本理论知识、基本能力和基本素质;“知识”包括科学文化知识、本专业的基础与专业知识、相邻学科知识;“能力”主要包括获取知识的能力、运用知识的能力及创新能力;“素质”主要包括思想道德素质、文化素质、业务素质、身体和心理素质,其中思想道德素质是根本,文化素质是基础。

如何培养具有上述特点的人?归纳起来,主要有两个方面:第一个方面是在人才培养过程中,要树立拓宽专业口径、增强学生适应性的观念;要树立加强素质教育,融知识、能力、素质教育为一体的观念;要树立学生是教学活动的主体,加强培养创新能力的观念;要改变教学就是用一个模子“塑造”所有学生,树立因材施教、鼓励学生个性发展的观念;要树立教学与科研、生产结合是培养学生根本途径的观念等等。第二个方面是在教学的全局性工作中,要树立质量意识,视教育质量为生命,把提高教育质量作为教学工作永恒的主题;要更新质量观念,用新的人

才观念指导教学工作；要建立健全的质量保证体系，使教学工作始终处于良性循环的状态之中。

1.1.2 新的人才培养模式对基础课的重新定位

人才培养模式需要各门课程的整合、协同、优化，通过课堂教学、实验教学、毕业设计、课外活动等各环节的相互作用才能得到贯彻。具体到课程而言，主要就是教给学生什么和怎样教的问题。新的人才培养模式对基础课的重新定位主要表现在以下三个方面：

(1) 从依附性转向相对独立性

基础课只是为专业课服务的依附性思想需要改变。基础课在新时期人才培养中具有相对的独立性，它将成为科学素质培养的主渠道、基础理论和基本知识培养的重要环节、学习能力培养的基本环节、创新能力培养的温床。随着教育事业的发展，许多人士认为大学教学是一种基础性的、普及性的通材教育，而不是专业性的教育，对于相当一部分大学学生来说，本科学历不是他们的最终学历，许多偏于专业的问题通过研究生教学或通过生产实践可以迎刃而解。

正是由于科学技术的飞速发展，专业更新快，而基础相对稳定，即高等教育的基础化趋势，赋予了基础课更为艰巨和重要的任务。

(2) 从被动性转向相对主动性

从“社会需求→专业→基础课”的被动模式，到“基础课→专业(起桥梁作用)→面向社会”的相对主动模式，基础课有了更大的主动权，可以从基础课自身特点出发，从知识、素质、能力综合培养的总要求出发，摒弃过时内容，引入创新体系，构筑宽广的基础课平台。另一方面，本科阶段基础课的比重将不断加大，教育部的宏观目标即本科阶段基础课要占到课程的90%左右，在形式上达到这一目标已经很不容易，而如何使得基础课“宽口径、厚基础、大容量、新内容”，在培养学生知识、素质、能力中真正起到主导作用，基础课的相对主动性则显得更加重要。

我们认为关键是一支高水平的师资队伍，其突破口是科研，起示范作用的应该是国家人才培养基地和基础课程基地。

(3) 从单一性转向相对多样性

对教师，从单纯教学或以教学为主向教学和科研结合的方向发展；

对学生，从知识掌握或以知识掌握为主到知识、素质、能力的综合培养；

在教学方法方面，从“满堂灌”到“启发式”再进展到“以学生为中心”，教学方法是本质，教学方法比教学手段更重要，手段是为方法服务的；

在教学内容方面，由单门系统性向多门整合性方向发展；

在教学主体方面，真正体现学生的主体地位和教师的主导地位。

基础课必须走出相对封闭的传统教学空间，融入相对开放的教学科研结合、多种媒体结合、多门课程结合的综合培养教学空间，从而形成较为完整的知识平台、素质空间和能力阶梯。

1.2 工程制图课程重新定位的研究、探索与实践

工程制图是一门量大面广的工科基础课程，又属于技术基础课范畴，同时许多理科专业甚至

文科专业也开设了本门课程,在培养本科生的过程中起到了重要作用。然而,工程制图在课程体系、教学内容、教学方法等诸多方面均难以适应 21 世纪人才培养的需要,工程制图教学改革必要性已经成为大家的共识,关键是探索教学改革的可行性。工程制图作为基础课同样需要实现由依附性向相对独立性、由被动性向相对主动性、由单一性向相对多样性的转变,具体体现在如下三个方面:

1) 打破单纯教学的模式

这方面主要是教师的问题,教师是关键。局限于教学,可能很难真正搞好教学,特别是教学改革工作,教学的源头在科研。

从科研与教学的关系来看,只有教师站在学科前沿,具有较多的理论成果、较丰富的实践经验并将其渗透到教学过程中,同时跳出单纯教学,立足于科研的高度,指导学生不断探索创新,才能有高质量的教学,实现知识、素质、能力综合培养,从而培养出大量优秀人才。

工程图学作为一门量大面广的基础课,与数学、物理、化学等基础课相比较,具有形象思维强的特点,是培养图形表达能力的主要课程,但也有一些不利因素:

(1) 其他课程往往以一级学科为支撑背景,学科基础雄厚,都招收大量的本科生、研究生;

(2) 工程图学现为二级学科下属的学科,没有自己的本科生,研究生规模也不大;

(3) 工程图学投入学科研究的人还不多,许多人只从事本科教学。

因此,必须打破单纯教学的模式,通过工程图学学科的发展真正提高工程制图课程的地位,实现工程制图课程的重新定位。

2) 突破传统制图的范畴

这方面主要是课程体系问题,课程体系是灵魂。局限于制图,可能很难真正教好制图,特别是设计概念的建立、创新能力的培养、综合素质的提高。

突破传统制图范畴可以从以下三个方面入手:

(1) 工程制图新体系的建立

计算机作为 20 世纪伟大的发明,计算机技术的不断进步,特别是计算机图形处理技术的发展,为工程图学的改革和发展提供了重要的基本条件。计算机绘图已经以多种模式引入到制图课程中,如添加式、分离式、结合式、改造式等等,但从总体上看,这些教学模式还没有从根本上触及工程制图课程体系。

我们认为工程制图新体系主要表现在如下几点:向建立设计概念的方向延伸,并与机械产品全生命周期相联系,如图 1-1 左上角部分;加强计算机图形处理的实践性,包括标准件常用件编程检索、编程建立交互绘图环境,通过工程产品与软件产品的对应加深对两者的理解,如图 1-1 右下角部分;强化结构功能分析、设计构思、尺寸处理、分析问题和解决问题的综合性,这部分也可在图 1-1 找到相关对应,并通过相应作业予以落实。点画线框内表示一般情况下制图课程的覆盖范围。

具体操作上又分为第一学期的公共基础平台,第二学期的面向机械类、近机类专业的综合提高模式,并通过相关内容的综合集成予以贯彻。具体表现在:

① 教材与习题的集成;

② 以分析问题解决问题为主线的集成;

③ 以计算机为主线的集成;

- ④ 以构思表达为主线的集成;
- ⑤ 以尺寸为主线的集成;
- ⑥ 形体分析与结构功能分析的集成;
- ⑦ 以设计为主线的集成。

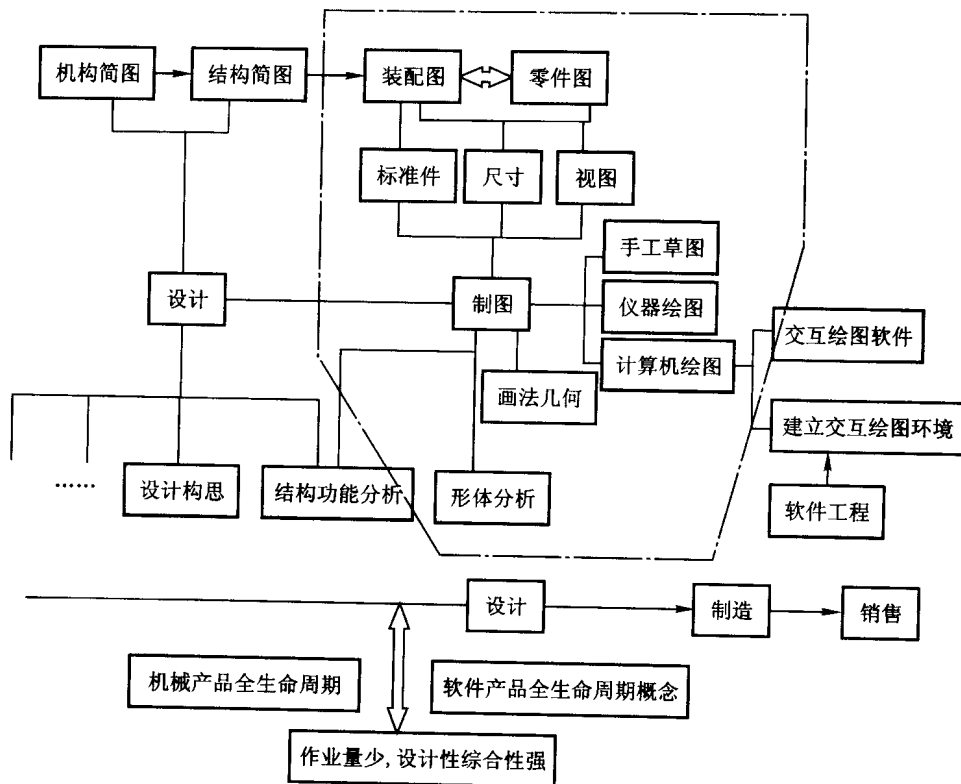


图 1-1 工程制图新课程体系示意图

(2) 深化工程制图课程的内涵

在学时大量减少、创新能力培养的迫切要求和计算机应用不断普及的情况下, 过分强调仪器绘图要求可能是一个误区, 但走向另一极端只要求计算机绘图可能是另一个误区。因为计算机绘图毕竟只是一种绘图手段, 它不应该也不可能取代传统工程制图的内容, 因此应该注意三个方面绘图能力的综合培养, 包括手工草图能力、仪器绘图能力和计算机绘图能力。这三方面的比例关系有待探索, 各级各类学校也有很大区别, 但降低仪器绘图要求, 在加强计算机绘图的同时必须强调草图能力, 这一提法具有普遍意义。

为了强化计算机图形处理能力的培养, 通过编程建立交互绘图环境是一个较为有效的措施。既避免了编程绘图的低水平, 又避免了计算机图形算法介绍的学时限制和相对脱节, 提高了图形处理的实用性和可操作性。

(3) 拓展工程制图的外延

从设计方面看, 制图只是设计思想的一种表达手段。要真正掌握制图, 必须引入设计概念, 反之, 掌握制图工具、提高图形想象能力又将促进设计水平和能力的提高。因此有

必要突破传统制图的范畴,向设计方向拓展,即从手工草图、仪器绘图、计算机绘图三种绘图能力培养拓展为手工绘图及设计、构形分析及设计、计算机绘图及设计能力的培养,从而向创新性的构形能力培养方向发展,并通过机构简图、结构简图与装配图、零件图的联系,加深对设计概念的理解。

作为工程制图外延拓展的另一个重要方面是关于工程素质、工程概念的培养,可以通过引入产品设计过程和软件产品信息表达予以实施。

3) 教学中心的根本转变

这一方面主要是学生的问题,从“以教师为中心”转变为“以学生为中心”,学生是根本。局限于教师,很难发挥学生的作用,教学失去了其根本的目的。

以教师为中心,就教师而言是一种沉重的负担,就学生而言只有沉重的压力;以学生为中心,对教师是一种解放,教师可以更好地起到指导作用,便于投身到更富有创造力的工作中去,对学生将不仅仅是压力,更多的是兴趣、动力和能力的培养。这一转变的具体实施必须借助于一套可操作性强的教材。教材是教学改革成果的具体表现,又是进一步指导改革的可操作性文件。

工程制图教学改革研究的论文很多,提出了不少新思路,但要贯彻到教学中,则必须落实到教材上。《图学基础教程》和《图学应用教程》构筑了一个新体系,一定存在许多问题和偏颇之处,姑且作为抛砖引玉,作为教学研究与教学实践相结合的一次尝试,欢迎广大同行及读者提出宝贵意见。

1.3 本书内容安排

本书在《图学基础教程》先期知识基础上展开,客观上提供了深化、拓展、融合、交叉、综合、提高的可能性。在总的体系安排上,既考虑与传统体系一定的兼容性,又考虑课程体系的发展趋势,既考虑在《图学基础教程》基础上的综合和提高,又考虑本教材内部体系的相对完整性。

加强教材内容体系与习题内容体系的呼应,增加习题综合性、复杂性、设计性和连续性,大大减少习题数量,改变习题形式,突出教师的指导作用,强化学生的主体地位。

各章主要内容安排如下:

第2章关于画法几何问题的分析与求解方法,对于机械类学生而言,只能解决特殊位置画法几何问题是不够的,为不显重复且又有综合提高,按照分析问题解决问题为主线进行组织。

第3章关于编程绘图及应用,将编程与标准件及常用件画法、设计信息检索融合在一起,目的在于更好地掌握标准件及常用件有关内容;计算机图形学有关算法如直线生成、裁剪、图形变换、填色等,一方面与工程制图相对脱节,另一方面由于学时问题和先期知识问题,本书不予介绍,本书只介绍编程建立交互绘图环境。

第4章介绍形体表达、形体构思和看图思维,既有表达方法的综合加深,又有相关内容的拓展。

第5章介绍尺寸标注,将零件图尺寸标注、装配图尺寸标注、计算机尺寸标注处理、尺寸标注CAI融合在一起。

第6章介绍零件图,将形体分析方法提高到结构功能分析,介绍零件分类表达特点、零件表

达方案选择,将零件图与装配图联系起来,将零件图绘制与结构功能分析结合起来。

第7章介绍装配图,引入产品设计全过程的概念,将零件图、装配图与机构简图、结构简图联系起来,以弥补工程制图与机械设计之间的间隙。

第8章从有形的工程产品信息表达拓展到无形的软件产品信息表达,以适应进一步发展的需要。

1.4 本书教学建议

(1) 建议总学时为40到70,其中约 $1/3$ 为上机时间,希望课外再匹配若干上机时间。除第1章、第8章外,每章约安排5学时讲课。

(2) 由于习题数量大为减少,建议教师将原来用于批改作业的时间用以指导学生学习,课堂上尽量少讲,但要讲出特色,鼓励学生自学,通过综合性练习掌握知识、提高素质、培养能力。

(3) 希望每位同学发挥学习的主动性、积极性和创造性,大胆提出各种新的思路,可以与高年级同学或者其他高校同学交流,参阅各种参考资料,从而更好更快地成才。

第2章 画法几何问题分析与求解方法

本章提要：本章以较少的学时数保证画法几何应有的难度和深度。《图学基础教程》按传统的点、直线、平面、立体为序进行纵向组织，并以特殊位置情况为主；本书以分析问题、解决问题的方法为主线进行横向组织，并拓展难度和深度，从而形成纵横交错的知识网络，既有衔接又有综合和提高。

2.1 概 述

2.1.1 相互关系分析

画法几何主要研究几何元素之间以及几何元素与投影面之间的关系，几何元素有四种，即点、直线、平面和立体，几何元素之间的关系、几何元素与投影面之间的关系均在三面投影体系中讨论。

1) 几何元素之间的关系

根据组合公式，在点、线、面、体四个元素中任取两个的组合数为10，即几何元素两两之间的关系有十种：

- (1) 点与点：上下、左右、前后的六个方位关系；重影点；两点完全重合。
- (2) 点与线：点在线上并分线为定比，且点、线符合投影规律；点在线外。
- (3) 点与面：点在面上，则点必位于面内的线上；点在外面。
- (4) 点与体：点在体上，则点必位于立体表面上；点在体内(不讨论皮球一类中空体)；点在体外。
- (5) 线与线：线与线平行或相交为共面直线；线与线交叉为异面直线(空间情况)。
- (6) 线与面：线与面平行；线与面相交；线与面垂直相交为相交的特例。
- (7) 线与体：线与体相交(称贯穿)；线与体相离。
- (8) 面与面：面与面平行；面与面相交；面与面垂直相交为相交的特例。
- (9) 面与体：面与体相交(称截交,需求出面与立体表面的公有线)；面与体相离。
- (10) 体与体：体与体相交(称相贯,需求出两个立体表面的公有线)；体与体相离。

从另一个角度来看，几何元素之间的关系可以通过相交为主线加以贯穿，如线线相交、线面相交、线体相交的交点，面面相交、面体相交、体体相交的交线，相交的基本特征是几何元素之间的公有性。

2) 几何元素与三面投影体系的关系

几何元素与投影体系(三面投影体系)的关系可以罗列如下:

- (1) 点与投影体系: 点在一般空间位置; 点在投影面上; 点在投影轴上; 点位于原点。
- (2) 线与投影体系: 投影面的平行线、垂直线、一般位置线。
- (3) 面与投影体系: 投影面的平行面、垂直面、一般位置面。
- (4) 体与投影体系: 立体的主要表面为投影面的平行面, 主要轴线为投影面的垂直线。

2.1.2 分析与求解方法

本书将画法几何分析与求解方法分为五类: 点、线、面基本作图题的求解方法, 点、线、面综合作图题的求解方法——轨迹法和逆推法, 辅助平面法, 辅助球面法, 投影变换法。下面先作一简单分析与归纳。

1. 点、线、面基本作图题的求解方法

基本作图题一般是单纯的平行、相交、垂直作图题, 它们要求满足的条件比较单一, 作图过程也比较简单。按问题性质可以分为三类, 即平行问题、相交问题、垂直问题。

基本作图题的解题方法比较简单, 但解题时应注意以下几点:

- 1) 熟悉平行、相交、垂直的有关几何定理及交点、交线的性质和基本求法, 它们是解题的依据。
- 2) 对问题中各几何元素的相对位置进行空间分析, 对各几何元素与投影面之间的相对位置进行投影分析, 如果几何元素与投影面处于特殊位置, 则应充分利用其特殊的投影特性, 如积聚性、反映实长、反映直角等, 以简化作图。
- 3) 有些问题的作图步骤可能有若干个, 如往往包含求一般位置的直线与平面的交点等, 但这些步骤是固定的, 主要是作图时要细心, 避免出错。

《图学基础教程》中的例4-15求一般位置直线与一般位置平面的交点、例4-16过点作平面的垂线即属于基本作图题, 例4-17过点作直线平行已知平面且与已知直线相交则属点、线、面综合作图题。点、线、面基本作图题由于在《图学基础教程》中有较多介绍, 本书不再过多涉及。

2. 点、线、面综合作图题的求解方法

点、线、面综合作图题就是在解题过程中需综合运用点、线、面之间相对位置的概念和基本作图方法求解的综合题, 一般要求满足的条件和基本作图方法在两个以上, 空间关系和作图过程也比较复杂。如按题目的性质来分, 点、线、面综合作图题可分为四类:

- 1) 相对关系题;
- 2) 距离题;
- 3) 角度题;
- 4) 综合题。

求解点、线、面综合作图题时经常用“轨迹法”, 有时也用“逆推法”。

所谓“轨迹法”就是先根据已知条件和题目要求进行空间分析, 分别作出满足题目各个要求的轨迹, 然后求出这些轨迹间的交点或交线, 即得所求解答, 可见, 求交是一个基本解题工具。

“逆推法”则是先假设最后解答已经作出，然后应用有关的几何定理进行空间分析和逻辑推理，找出最后解答和已知条件之间的几何联系，并由此得到解题的方法和步骤。

《图学基础教程》中主要介绍了具有特殊位置的垂直问题，为了便于进一步讨论问题，这里对一般位置的垂直问题加以分析与介绍。

1) 直线与平面垂直

垂直的几何定理：若一直线分别垂直于定平面上的一对相交直线，则该直线垂直于定平面。

为便于解题，取这一对相交直线为平面上的一对投影面平行线，根据直角投影原理，得到直线与平面垂直时垂线的投影特性，如图 2-1 所示：

垂线 MN 的正面投影 $m'n'$ 垂直于平面上正平线 CII 的正面投影 $C'2'$ ；

垂线 MN 的水平投影 mn 垂直于平面上水平线 AI 的水平投影 $a1$ ；

同理，垂线的侧面投影垂直于平面上侧平线的侧面投影。

2) 平面与平面垂直

垂直的几何定理：

(1) 若一平面通过另一平面的垂线，则两平面相互垂直，如图 2-2；

(2) 若两平面垂直，则由第一平面向第二平面所作的垂线必在第一平面内，如图 2-3。图 2-3a 为两平面垂直，图 2-3b 所示为两平面不垂直。

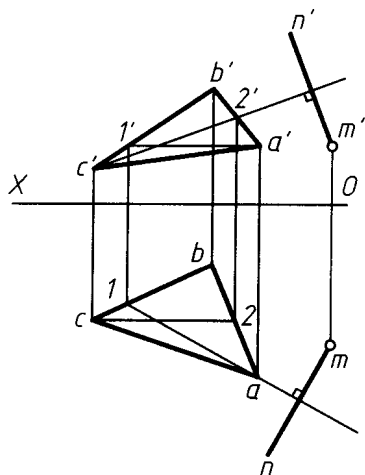


图 2-1 直线与平面垂直

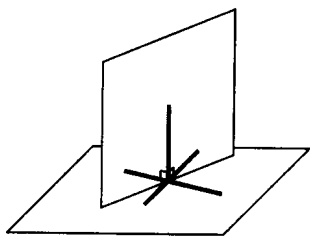
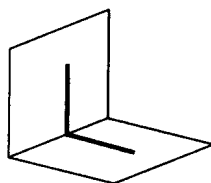
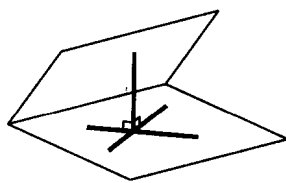


图 2-2 平面与平面垂直



(a) 垂直



(b) 不垂直

图 2-3 平面与平面垂直关系

3. 辅助平面法、辅助球面法和投影变换法

辅助平面法和辅助球面法都是通过辅助面将复杂问题转化为直接可解的简单问题。辅助平面法应用较广，几乎贯穿画法几何始终；辅助球面法则主要应用于立体与立体求交，实际上，除了采用辅助球面，还可以采用辅助柱面、辅助锥面等其他曲面，本书只介绍辅助球面法。

投影变换法是一种相对统一的解析方法，它通过投影面的变换，保持几何元素之间的关系不变，而改变几何元素与投影面之间的相对位置，将复杂问题转化为直接可解的简单问题。若通过几何元素变化从而改变几何元素与投影面之间的相对位置，则称为旋转变换法，本书不作介绍。

2.2 轨迹法和逆推法

常用的空间轨迹如下:

1) 关于点

- (1) 与点定距离的点的轨迹——圆球面。
- (2) 与两点等距离的点的轨迹——两点连线的中垂面。
- (3) 与不在一直线上的三点等距离的点的轨迹——任意两点连线的中垂面的交线。

2) 关于直线

- (1) 与直线定距离的点及与直线平行且定距离的直线的轨迹——圆柱面。
- (2) 与线段两端点的连线成等夹角或两端连线相等的点的轨迹——线段的中垂面。
- (3) 过直线外一点与直线相交的直线的轨迹——点与已知直线所决定的平面。
- (4) 过直线上一点与直线相交成定夹角的直线的轨迹——两个同顶、同轴且对称的圆锥面。
- (5) 与平行两直线等距离的点的轨迹——两直线间公垂线的中垂面。
- (6) 与相交两直线等距离的点的轨迹——通过角平分线且垂直角平面的两个相互垂直的平面。
- (7) 过点与直线垂直的直线的轨迹——过点与已知直线垂直的平面。

3) 关于平面

- (1) 与平面定距离的点及定距离的直线的轨迹——已知平面两侧与已知平面等距的两个平行平面。
- (2) 与两平行平面等距离的点及等距离的直线的轨迹——两平面间公垂线的中垂面。
- (3) 过点与平面成定夹角的直线的轨迹——两个同顶、同轴且对称的圆锥面。
- (4) 与相交两平面等距离的点的轨迹——两个相互垂直的角平分面。

求解点、线、面综合作图题时,要特别注意以下几点:

(1) 必须对题目中各几何元素进行投影分析,如果几何元素相对投影面处于特殊位置,应充分利用其特殊的投影特性,以简化作图。

(2) 点、线、面综合作图题都有若干个作图步骤,而每一个作图步骤通常就是一个基本作图题,所以熟练掌握各种基本作图题的作法是求解点、线、面综合作图题的重要基础。

(3) 同一个题目,由于思路不同,可能有不同的解题方法,应多作分析比较,选用最简便的方法求解。

1. 相对关系题

相对关系题通常采用分别满足条件法,亦可用轨迹法或逆推法分析、求解。

例 2-1 过点 M 作一平面垂直于 $\triangle ABC$, 且平行于直线 DE (图 2-4a)。

解:

1) 分析: 过点 M 所作的平面可由一对相交直线决定,只要使这一对相交直线分别成为平面 $\triangle ABC$ 的垂线和直线 DE 的平行线即可。

2) 作图: 作图过程见图 2-4b, 请读者自习。图中, $m'n' \perp c'l'$, $mn \perp a_2$, $mk // de$, $m'k'$