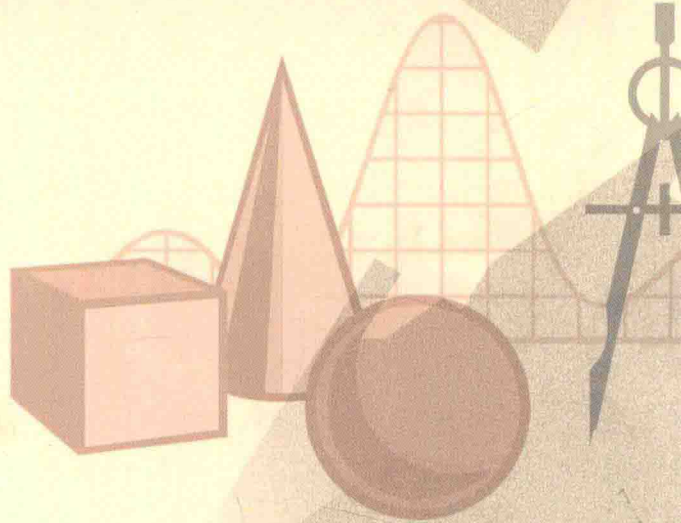


高等教育“双一流”工程图学类课程教材



工程制图

——空间想象训练

远方 编著

高等教育出版社

高等教育“双一流”工程图学类课程教材

工程制图——空间想象训练

远 方 编著

高等教育出版社·北京

内容摘要

本书以空间想象训练为主线展开工程制图基础教学内容,在保证制图基础理论完整的同时,突出了空间想象力的培养,使工程制图的学习更富有探索性、挑战性和趣味性。

本书对空间想象过程进行了深入剖析,提出了空间想象的两类划分,特别强调了工程教育中培养、发展第二类空间想象力的重要意义,并以点、线、面、体的投影表达为平台,科学地规划了一条建立空间想象思维模式,提升空间想象能力的成长道路。

为方便读者学习,书中所有例题均有三维动画模型和视频讲解。通过扫描二维码或访问相应的课程网址,读者可方便地随时调取相关资源。

与本书配套使用、远方编著的《工程制图习题集——空间想象训练》是为进行空间想象训练而特意安排的习题练习,其使用方法在书中有详尽的规划和指导,读者可在训练过程中配合使用。所有习题练习均有解答,同样可通过扫描二维码或访问课程网址参考习题答案。

本书可作为工程类各专业工程制图教学的辅助教材,指导空间想象训练,也可作为工程制图教材独立使用。

图书在版编目(CIP)数据

工程制图:空间想象训练/远方编著.--北京:
高等教育出版社,2018.8

ISBN 978-7-04-050127-8

I. ①工… II. ①远… III. ①工程制图-高等学校-
教学参考资料 IV. ①TB23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 159841 号

Gongcheng Zhitu: Kongjian Xiangxiang Xunlian

策划编辑 薛立华

责任编辑 薛立华

封面设计 王 鹏

版式设计 童 丹

插图绘制 邓 超

责任校对 刁丽丽

责任印制 赵义民

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市西城区德外大街 4 号

邮政编码 100120

印 刷 大厂益利印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 13.5

字 数 330 千字

购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>

<http://www.hepmall.com>

<http://www.hepmall.cn>

版 次 2018年 8 月第 1 版

印 次 2018年 8 月第 1 次印刷

定 价 33.80 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

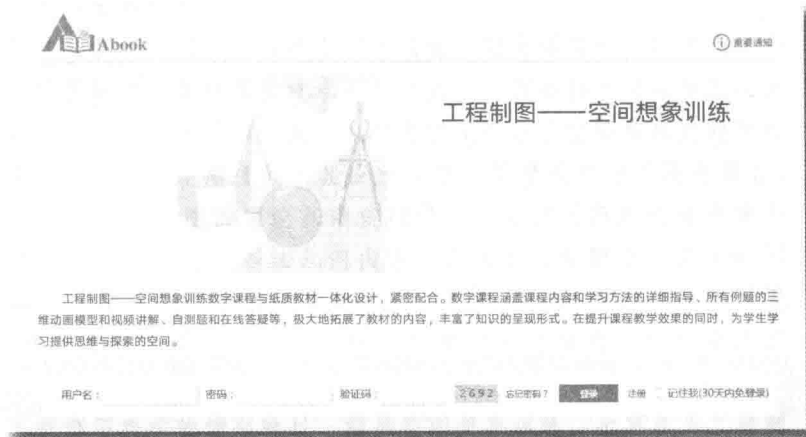
版权所有 侵权必究

物 料 号 50127-00

工程制图——

空间想象训练 远方

- 1 计算机访问<http://abook.hep.com.cn/1254691>, 或手机扫描二维码、下载并安装 Abook 应用。
- 2 注册并登录, 进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号(20 位密码, 刮开涂层可见), 或通过 Abook 应用扫描封底数字课程账号二维码, 完成课程绑定。
- 4 单击“进入课程”按钮, 开始本数字课程的学习。



课程绑定后一年为数字课程使用有效期。受硬件限制, 部分内容无法在
手机端显示, 请按提示通过计算机访问学习。

如有使用问题, 请发邮件至 abook@hep.com.cn。



扫描二维码
下载 Abook 应用

<http://abook.hep.com.cn/1254691>

前 言

工程图是记录、交流工程思想的载体,是工业产品生产、土木工程施工建造的依据,被喻为“工程界的语言”。掌握工程语言,拥有读图、绘图能力是成为合格工程技术人员的首选条件。

工程制图是一门介绍工程图读、绘理论和方法,培养空间想象力的技术基础课,也是工程技术人员从业培训的必修课。其中,空间想象力是读图、绘图的能力基础,对于学好工程制图课,乃至未来的专业发展具有举足轻重的作用。

空间想象力是一种能力,与其它能力相同,也需要专门的训练才能变得强大。画法几何是工程制图的重要组成部分,其中的图解法,在计算机技术产生之前,一直是科学研究和工程设计的重要工具,需花费大量的时间和精力去学习和掌握,这在客观上促进了空间想象力的形成与发展。随着计算机时代的到来,画法几何逐渐丧失了其应用价值,慢慢地退出了历史舞台,但也由此产生了两个不良后果,一是工程制图的理论基础被削弱,二是空间想象训练严重不足。鉴于此,本书从新的视角重新认识、梳理了画法几何内容,在保留其完整理论体系的同时,剔除了过时的图解内容,突出了空间想象力的培养与训练,形成了一种新的课程学习模式,使得画法几何内容的缩减不会对制图理论基础的支撑作用和空间想象能力的培养造成影响。

本书可作为工程类各专业工程制图教学的辅助教材,指导空间想象训练,也可作为工程制图教材独立使用。通过精心设计、编排的习题练习,本书为读者铺设了一条通向拥有高水平空间想象力的道路。

本书绪论部分深入剖析了什么是空间想象,什么样的空间想象是工程语言所需要的,以及如何学习、掌握空间想象方法,提高空间想象力水平。并在此基础上提出了空间想象的两类划分,特别强调工程教育中培养、发展第二类空间想象力的重要意义。该部分内容对后续各章的学习和训练具有重要的理论指导意义。

第1~6章主要讲授画法几何基础理论,同时培养、建立空间想象的思维模式,并通过精心编排的习题练习,逐步提升空间想象力水平。

第7章和第8章分别为组合体视图和剖视图,主要作用是通过更加综合、复杂的习题练习,促进空间想象向更高水平发展,并在实践中验证训练成果,增强空间想象的自信心。由于本书的主要任务是培养、发展空间想象力,因而与传统的制图教材相比,这两章在内容上做了较大删减,对于想全面了解有关组合体视图和剖视图内容的读者,请参阅专门的制图教材。

如果将空间想象训练过程分为空间想象力的形成、拓展和应用提高三个阶段,则第1~4章为空间想象力的形成阶段,第5章和第6章为拓展阶段、第7章和第8章为应用提高阶段。三个阶段各有侧重,层层推进,共同构成了空间想象训练的完整体系。

肢体语言可以更有效地帮助读者理解想象过程,掌握空间思维方法,为此本书为每道例题专门录制了视频讲解,通过扫描二维码,读者可随时打开相应视频,观看解题过程。此外,本

书还通过二维码提供了所有例题的三维动画模型，配套习题集也通过二维码提供了所有习题的习题解答，读者可酌情参考。

书后的附录部分整理了教学中学生经常提出的一些问题，并以问答方式逐一作答，读者可在学习中随时参阅，指导训练。

中国农业大学张彦娥教授对全书进行了认真细致的审阅，提出了很多建设性意见，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，不足和错误在所难免，欢迎广大读者提出宝贵意见。

远方

2018年3月于天津

目 录

绪论	1	第 4 章 投影变换	71
0.1 学习工程制图课程的目的	1	4.1 投影变换的作用及实现方法	71
0.2 工程制图课程的学习内容	1	4.2 点的换面投影变换	71
0.3 如何培养、发展第二类空间想象力	3	4.3 直线的换面投影变换	73
0.4 投影法与投影	5	4.4 平面的换面投影变换	77
第 1 章 投影体系与点的投影	7	4.5 换面法的应用	83
1.1 三面投影体系的建立	7	第 5 章 平面立体的投影	92
1.2 认识三面投影体系	8	5.1 平面立体的投影表达	92
1.3 三面投影体系的简化表达	11	5.2 平面立体上确定点	96
1.4 特殊位置点的投影	16	5.3 平面立体的截交线	102
1.5 重影点	23	5.4 平面立体相贯	114
1.6 二面投影体系与无轴投影体系	23	第 6 章 曲面立体的投影	120
1.7 第一角投影与第三角投影	24	6.1 曲面立体的投影表达	120
第 2 章 直线的投影	33	6.2 曲面立体上确定点	122
2.1 直线的投影表达	33	6.3 曲面立体的截交线	131
2.2 直线的分类	36	6.4 平面立体与曲面立体相贯	152
2.3 直线的迹点	39	6.5 曲面立体相贯	162
2.4 直线上确定点	41	第 7 章 组合体视图	173
2.5 直线间的相互位置关系	42	7.1 组合体	173
第 3 章 平面的投影	48	7.2 三视图	176
3.1 平面的投影表达	48	7.3 “二求三”练习	178
3.2 平面的分类	52	7.4 基本视图	189
3.3 平面上确定点	56	第 8 章 剖视图	194
3.4 直线与平面、平面与平面的相互位置关系	60	8.1 剖视图的形成	194
		8.2 半剖视图	199
		附录 常见问题问答录	202

绪 论

工程制图讲授工程图样的读、绘理论和方法，是工程技术人员的必修课程。提起这门课，常有截然不同的两种认识，有人认为这门课容易，有人却认为很难，认为难的甚至为此调整了职业发展方向，放弃了工程类专业的学习。

关于这门课的作用，同样存在着截然不同的两种认识：一部分人认为工程制图毫无价值，完全不需要学，甚至有人声称不学工程制图课程，一样可以读懂工程图样。而另一部分人则认为工程制图非常重要，并声称自身所取得的专业成就，有相当大的成分与工程制图的基础训练有关。

为什么会有如此大的分歧？还是先对工程制图课的学习目的、内容和方法做一次深度梳理，以期获得解答。

0.1 学习工程制图课程的目的

产品的生产或工程项目的实施总要有许多人合作完成。比如建造一栋房子，首先要由设计人员进行构思，想好房子的样子，然后再找施工人员依照想好的样子进行建造。然而工程形体是三维的，通常的文字语言很难将三维事物的空间形态表述清楚，因而必须借助图形进行描述。但图形是二维的，当使用二维图形表达三维形体时，需要建立一系列“规则”，以便日后根据“规则”再将二维图形还原为三维形体。这种按一定规则生成的，承载着三维形体信息的二维图形形成了工程领域特有的语言形式——工程图。

工程图是工程领域特有的，区别于通常文字语言的工程语言。通过工程图，工程信息得以记录，工程思想得以交流。工程离不开工程图，因而掌握工程图这门工程语言是每个工程技术人员必须拥有的基本技能。这也是为什么工程技术人员在从事专业工作，甚至学习专业课程之前必须学习工程制图课程的原因。

0.2 工程制图课程的学习内容

工程图是工程领域的语言，学习工程制图课程即学习这门语言的使用，具体表现在读图和绘图两个方面。

读图、绘图过程是三维形体信息与二维图形表达相互转换的过程。前文提到，这一过程依据一定的“规则”进行，显然“规则”是工程制图课程必须学习的内容。然而除了“规则”

以外，读图者还需要拥有一种能力，即能将承载着设计思想的二维图形在脑海中还原出它所表达的三维形体。也许，这种能力不太好理解，为了能更清晰地认识这种能力，先试着回答下面两个问题。

问题一：

在一张不透光的厚纸上自左向右任意写下两个英文字母，比如“A”“B”。然后翻转过来，从背后阅读，请问此时自左向右分别是什么字母（不考虑字母的反正）？

停下来想一想或实际操作一下，将结果记下。

问题二：

假设地球是一个理想的球体，且表面没有高山、海洋、沙漠等各种自然障碍，同时我们又是超人，可轻松地绕地球奔跑。如果从赤道上某一点出发，一路向东奔跑，请问能否绕地球一圈跑回来，回到出发点？

想一想，将结果记下。

回想一下刚才求解问题时的思考过程，脑海中是不是会有形象呈现。例如，对于“问题一”，眼前虽然是空白的纸背，但透过纸背可以看到自左向右反写的“B”“A”。对于“问题二”，脑海中一定会有一个球体的形象。球体有自转轴，因此有赤道，有东南西北。赤道上有入向东奔跑，因为前方总是东方，因此他一定能绕地球一圈跑回来。这种在分析问题时脑海中呈现空间形象的过程称为空间想象；能在脑海中形成，似乎直接看到、触摸到三维空间形象的能力称为空间想象力。

虽然求解这两个问题都需要空间想象，但其形象的形成过程有本质区别。

求解“问题一”时，透过纸背所看到的反写的“B”“A”，其形象实际上源于正面曾经看到过的“A”“B”。而且假如从背面不能看到反写的“B”“A”，还可以将纸翻转回来，盯着正面写好的字母，然后慢慢将纸翻转回去，同时保持脑海中字母的形象随纸一起运动，如果中途形象消失了，可从头再来，反复进行，直到能从背面看到所写的字母。这种现实生活中能直接体验的空间想象称为第一类空间想象，相应的能力称为第一类空间想象力。

第一类空间想象是人类与生俱来的一种能力，是生活必不可少的技能。实际上，在求解“问题一”时，人们一般并不需要真的在纸上写字，通过实际操作去获取答案，往往阅读题目后，凭想象就能作出判断。这是因为生活中的人们有过太多这样的经历和记忆。但对于“问题二”，情况则有所不同。由于题目中的三维环境在现实中无法找到，因此能否作出判断，完全依赖于读者是否能在脑海中构建出清晰的、与实际相符的空间环境。这种现实生活中无法直接体验的空间想象称为第二类空间想象，相应的能力称为第二类空间想象力。

第二类空间想象是建立在第一类空间想象基础上的一种空间想象，每个人都具有一定程度的这种想象能力，但由于它不是生活必需的能力，因而水平高低相差很大。例如，对于“问题二”，有些人可以在脑海中看到一个代表地球的球体，看到赤道，看到赤道上一路向东奔跑的人，从而确信他可以绕地球一圈跑回来。而有些人则不能。即使是能的那一部分人，如果问题稍加改动。例如，不是向东奔跑，而是一路向东北方向奔跑，则也很可能作不出正确判断，因为修改后的问题需要更高水平的第二类空间想象。

为了弥补普遍存在的第二类空间想象力的不足，人们常使用各种实体或虚拟模型，以及各种立体示意图作为辅助手段去认识、理解现实生活中不可见、不能见或不易见的事物或场景

(如对于“问题二”,可以在地球仪上演示人的奔跑过程),这在本质上相当于将第二类空间想象问题转化成了第一类空间想象问题来处理。这种转化在生活中经常遇到,它是知识普及、专业学习以及科学研究中经常采用的方法。那么既然可以将第二类空间想象问题转化为第一类空间想象问题来处理,为什么还需要培养、发展第二类空间想象力?

原因有三:

1. 拥有一定水平的第二类空间想象力是学习工程制图的现实需要

例如,测绘、存档是古建筑保护工作的一项重要内容。测绘时,因为看得见、摸得着,古建筑的各个立面可直接测量、绘制,但当绘制其剖面图时,因为建筑物不可能被实际剖开,因此必须依靠空间想象才能完成。由于这种想象不可能成为真实存在,所以它属于第二类空间想象。实际上,这种想象在工程图的读、绘过程中大量存在,因而学习工程制图必须要具备一定水平的第二类空间想象力。

2. 拥有一定水平的第二类空间想象力是后续专业课程的学习基础

工程对象是空间的,研究、探索工程对象的专业课程,其知识内容也必具有空间性,且大多很难在现实生活中真实展现,常需要运用第二类空间想象去认识和理解。但专业课都有其自身的知识体系和核心内容,一般不会针对空间想象作专门训练,而是要求学习者在学习前就具备这种能力。

与专业课程不同,工程制图由于其自身特点和需求恰好能在课程学习的同时兼顾第二类空间想象的培养与发展,因此培养、发展第二类空间想象力就成为工程制图教学的天然使命,且具有高度的不可替代性。

3. 第二类空间想象是创新的源泉

前文提到,在科学普及和专业学习中经常将第二类空间想象问题转化为第一类空间想象问题来处理。但应注意到,之所以能这样做是因为已经有人开创性地运用第二类空间想象构造出了反映事物本质的空间模型。例如,人们不可能直接俯视整个太阳系,因而也不可能清楚地看到地球及各行星与太阳的位置关系,认识太阳系的构成需要在地球上观测行星不规则的运动轨迹,想象、构造它们可能的运行方式。显然这一过程属于第二类空间想象,而第二类空间想象不是人们普遍具有的能力,这也是为什么地心说和日心说长期争论、无法确定的原因。当然,学说一旦确立,后人学习起来会变得相对轻松,因为第二类空间想象问题可以通过加工、处理,经由第一类空间想象去认识和理解。

社会发展离不开创新,但创新是艰难的,创新之难在于创新是在做前人从没做过的事情,发现前人从未认识的规律,这其中离不开第二类空间想象的运用。

通过分析可以看出,学习工程制图不仅要学习制图的相关“规则”,还要培养、发展第二类空间想象力。特别是对于初学者,具备一定水平的第二类空间想象力是学好工程制图的关键。

0.3 如何培养、发展第二类空间想象力

培养、发展第二类空间想象力要依据其形成、发展的成长特点,有针对性地科学地安排训练。

训练大致包括四个环节，分别是：建立空间思维模式（对应第1章训练内容），增强空间形象记忆力（对应第2章、第3章和第4章训练内容），发展空间形象推理、生成能力（对应第5章和第6章训练内容）和形成投影图的读、绘能力（对应第7章和第8章训练内容）。其中第一和第二环节为空间想象力的形成训练，主要作用是养成从空间上认识投影对象的读图习惯，建立起空间思维模式，并通过提升空间形象记忆力，形成初步的空间想象力；第三环节为空间想象力的拓展训练，主要作用是在前期训练的基础上，加强空间形象的推理、生成训练，完善空间想象力的要素构成，进一步提升空间想象力水平；第四环节为空间想象力的应用提高训练，主要作用是运用已形成的空间想象力辨识投影图所表达的空间形体，在实践中提高形体辨识和表达的准确性，验证空间想象力水平，提高自信心。四个环节具有递进关系，前者是后者的基础，后者是在前者基础上的发展、提高。训练时一定要充分认识空间想象力成长过程的这种规律性，扎实做好每一步的训练，为后续训练奠定基础。

此外，还要坚持实践性、渐进性和独立性这三个重要训练原则，它们是训练取得成功的重要保证。

1. 实践性

空间想象是一种能力，与培养、发展其它能力一样，训练是提高能力水平的唯一途径。以锻炼、发展肌肉力量为例，假如有人希望提高自己的力量水平，那么除了学习理论知识外，以哑铃或杠铃为负荷的力量训练一定必不可少，而且还需要一段时间的坚持才能看到效果。与力量训练中的哑铃、杠铃作用相同，书中的习题练习就是空间想象训练的训练负荷，只有坚持一段时间、一定数量的练习，空间想象力才会有所提高。

2. 渐进性

就像力量训练中的负重需要逐渐加大一样，空间想象训练也应遵循这样的规律。做习题练习时，不能一味选择难题挑战自己，这样不但空间想象力得不到提高，还有可能挫伤学习积极性，丧失学习自信心。需要提醒读者的是，题目的难易程度因人而异，并非完全由其在习题集中的位置顺序决定，训练时一定要体会自身的感受，依据自身的能力，合理选择难度水平（感觉困难的题目可以暂时放一放，待空间想象力有所提高后再做），循序渐进地提高空间想象力。

3. 独立性

做习题练习时，一定会遇到所谓的“难题”。遇到“难题”时，人们常会想到请教他人，经人讲解，“难题”往往会变得简单，从而给人一种感觉，觉得他人的帮助可以提高空间想象力水平。然而，这只是一种错觉，“难题”之所以难，是因为求解这一问题需要人们一般并不擅长的第二类空间想象，它是一种源于自我的感知，一旦它绕过自我，经由他人指点（或翻看答案，或查看三维模型）而获得，则这种想象就不再属于第二类空间想象。就像在力量训练时有人帮助托举负重一样，他人的讲解会大幅降低训练题目的难度，这样虽有助于解题，却无助于第二类空间想象力的形成和提高。因此，做习题练习时一定要坚持独立思考，尽量不请教他人或参考各种实物、模型、立体图等辅助材料，只有这样才能使第二类空间想象力得到充分锻炼。相反，一旦有外力介入，则习题练习就会在一定程度上丧失其作为训练负荷的使用价值。

通过深入剖析工程制图这门课程的学习目的、内容和方法，从中不难看出，关于这门课程

的难与易、有用与无用，实际上也源于两类空间想象性质的不同。如果在制图学习中有三维形体（如立体图、实体或虚拟模型，甚至现场实物）做参照，这相当于将第二类空间想象问题转化成了第一类空间想象问题，则学习起来会感觉比较容易，甚至有不需要专门学习制图就可以读懂工程图的错觉。虽然这种学习方式可以提高学习效率，在某种程度上也能满足实际需要，但同时也应注意其对空间想象培养的负面影响。

0.4 投影法与投影

工程图是工程形体的投影表达，在正式开始学习之前，先介绍一下与投影相关的一些基本知识。

设有平面 P 和平面外一点 A ，过 A 点引直线与平面 P 相交，交点称为 A 点在平面 P 上的投影，用 a 来表示，见图 1。其中，过 A 点所引的直线称为投射射线，承接 A 点投影的平面 P 称为投影面。

这种投射射线通过投影对象向投影面投射，并在投影面上得到投影的方法称为投影法。

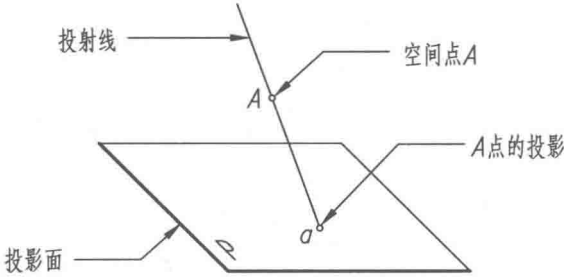


图 1

投射射线汇交于一点的投影法称为中心投影法，见图 2。投射射线相互平行的投影法称为平行投影法，见图 3。其中，投射射线与投影面相垂直的平行投影法称为正投影法，所得到的投影称为正投影，见图 3a。投射射线不与投影面相垂直的平行投影法称为斜投影法，所得到的投影称为斜投影，见图 3b。

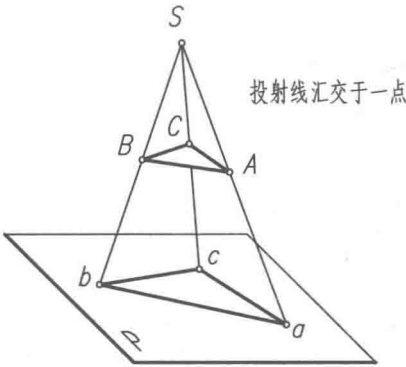


图 2

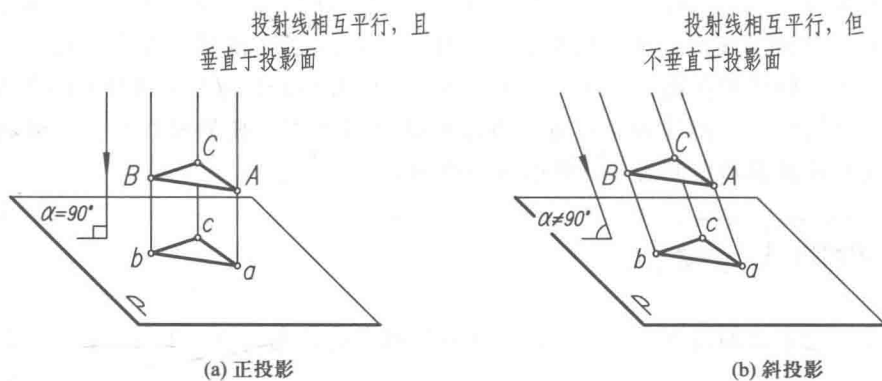


图 3

每种投影都有其应用价值，不过在后续的学习中主要使用正投影描述投影对象。因此如无特别说明，后续内容中的“投影”一词将特指正投影，“投射”一词将特指形成正投影的投射。

第 1 章 投影体系与点的投影

本章在内容上主要介绍投影体系的形成过程和点的投影表达；在训练上，引导读者初步尝试和体验如何在投影图中构建空间环境，想象投影对象的空间所在，完成空间想象训练的第一步——建立空间思维模式。

1.1 三面投影体系的建立

点的空间位置可由点在直角坐标系中的坐标来描述，见图 1-1a。从直角坐标系出发，空间点还可以用在相互垂直的三个投影面上的投影来描述。

设直角坐标系中的 XOY 平面为水平投影面，记作 H 面； XOZ 平面为正投影面，记作 V 面； YOZ 平面为侧投影面，记作 W 面。 A 点在 H 面上的投影称作 A 点的水平投影，记作 a ；在 V 面上的投影称作 A 点的正面投影，记作 a' ；在 W 面上的投影称作 A 点的侧面投影，记作 a'' ，见图 1-1b。

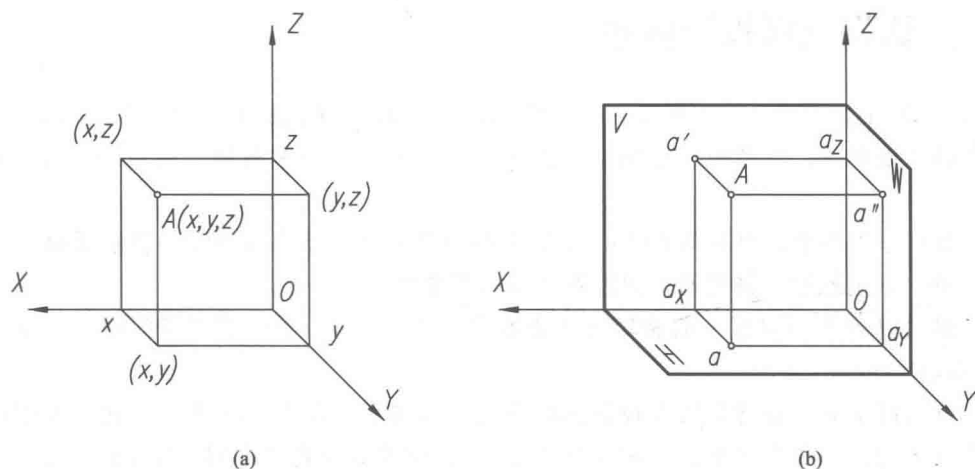


图 1-1

直角坐标系中的 X 轴、 Y 轴和 Z 轴为投影面之间的交线，又被称作投影轴。其中， X 轴为 H 面与 V 面的交线， Y 轴为 H 面与 W 面的交线， Z 轴为 V 面与 W 面的交线。

将 Y 轴一分为二，分置于 H 面和 W 面上，分别记作 Y_H 和 Y_W ，并将 H 面（连同其上的 Y_H

轴)绕X轴向下旋转, W面(连同其上的 Y_W 轴)绕Z轴向右旋转, 见图1-2a, 当H面和V面旋转至与W面处于同一平面时, 由H面、V面和W面组成的投影表达系统称作三面投影体系, 见图1-2b。点在三面投影体系中的投影称作点的三面投影。

一点的空间位置可由点的三面投影来描述。如图1-2b所示, A点的水平面投影 a 、正面投影 a' 和侧面投影 a'' 描述了A点的空间位置。

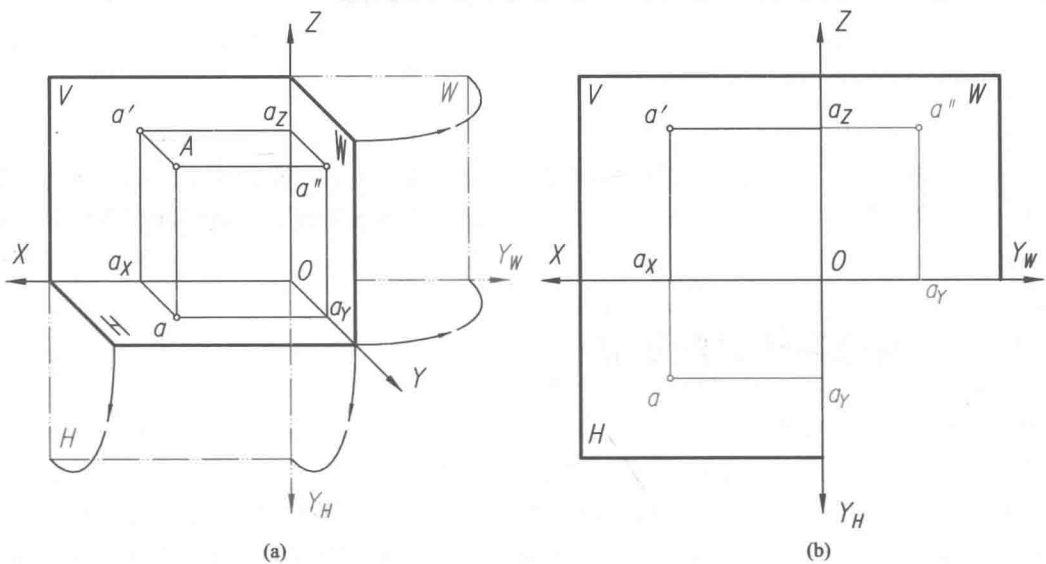


图 1-2

1.2 认识三面投影体系

在图1-2b中, 空间A点不见了, 取而代之的是它的三面投影 a 、 a' 和 a'' 。点的三面投影是空间点的二维表达, 读图时应运用空间想象, 努力从投影图中看到点的空间所在, 具体方法是:

(1) 竖直举起书本, 面对图1-2b。聚焦V面(即将纸面看作V面), 想象纸面上的H面绕X轴向外、向上旋转, 恢复其空间位置(空间形象见图1-3a);

(2) 想象H面上与H面一起旋转的A点水平投影 a , 努力看到它的空间所在(空间形象见图1-3b);

(3) 分别过 a' 和 a 作各自所在投影面的垂线, 二线交点即为空间A点。它应该在自 a' 向外且垂直于V面的一条直线上, 与 a' 的距离为 aa_x , 试着看到它(空间形象见图1-3c)。

能看到A点的空间所在吗? 实际上, 这一过程即为空间想象。需要注意的是, 图1-3为空间形象示意图, 仅用于说明想象过程, 练习一定要在图1-2b中进行。如果刚才是在图1-3中看到的空间A点, 请重新试一下, 面对图1-2b, 努力在纸面上呈现H面、 a 和A点的空间所在。如果一次做不到, 请停下来, 反复练习, 慢慢体会前面介绍的方法, 直到在纸面上能够形成空间环境, 看到空间A点。

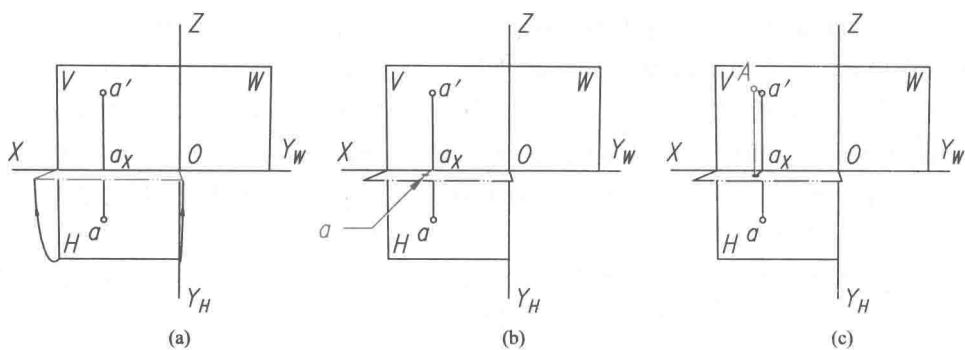


图 1-3

接下来，面对图 1-2b，试着恢复 W 面的空间位置（空间形象见图 1-4a），努力看到其上 a'' 的空间所在（空间形象见图 1-4b）。分别过 a' 和 a'' 作各自投影面的垂线，二线交点也可以确定 A 点的空间位置，试着看到它（空间形象见图 1-4c）。它应该在自 a' 向外垂直于 V 面的一条直线上，距 a' 的距离为 $a''a_z$ （注意，读图练习同样应在图 1-2b 中进行）。

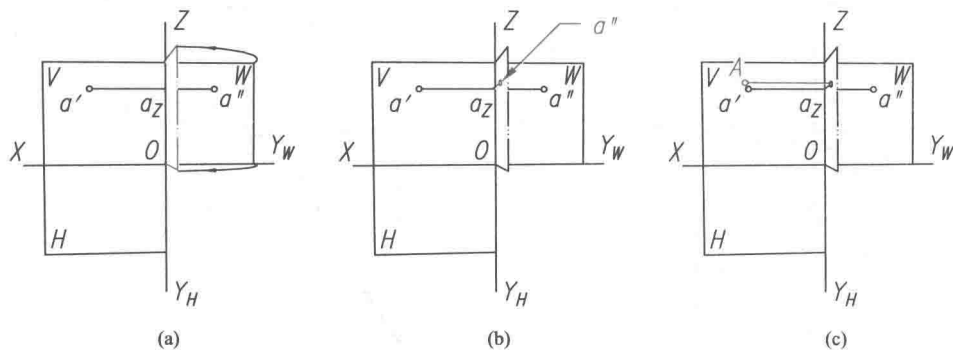


图 1-4

接下来，面对图 1-2b，试着将 H 面和 W 面的空间位置一起呈现在纸面上，努力同时看到它们的空间所在（空间形象见图 1-5a），努力看到 a 和 a'' 的空间所在（空间形象见图 1-5b）；过 a 、 a' 和 a'' 作各自投影面的垂线，努力看到三条垂线的空间所在，看到三条垂线的交点 A 的空间所在（空间形象见图 1-5c）。

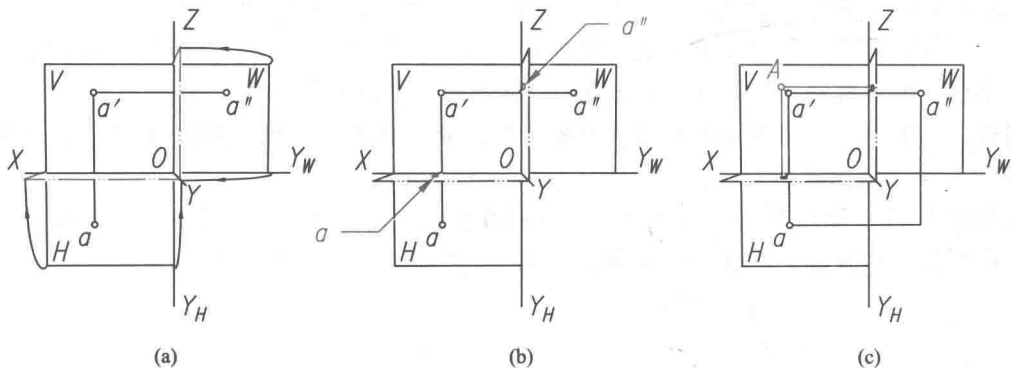


图 1-5

将点向 V 面作投射可形成点的正面投影。如果将空间的 H 面也看作投影对象，像对待点一样向 V 面作投射，则也可形成 H 面的正面投影。由于 H 面与 V 面相互垂直，因此 H 面的正面投影必为与 X 轴相重合的直线。即 X 轴除了表示 H 面与 V 面的交线以外，还可以看作空间 H 面的正面投影。相应地， Z 轴为空间 W 面的正面投影。因此，另一种构建三维环境的方法是将代表 H 面的 X 轴和 W 面的 Z 轴垂直拉出纸面，直接恢复 H 面和 W 面的空间所在。

试一试，面对图 1-2b，拉出 H 面和 W 面，努力看到它们的空间所在，同时参考纸面上 a 和 a'' 的位置，想象 a 和 a'' 的空间所在（空间形象见图 1-6a）。过 a 、 a' 和 a'' 作各自投影面的垂线，三线的交点即为空间 A 点，努力看到它的空间所在（空间形象见图 1-6b。同样，读图练习应在图 1-2b 中进行）。

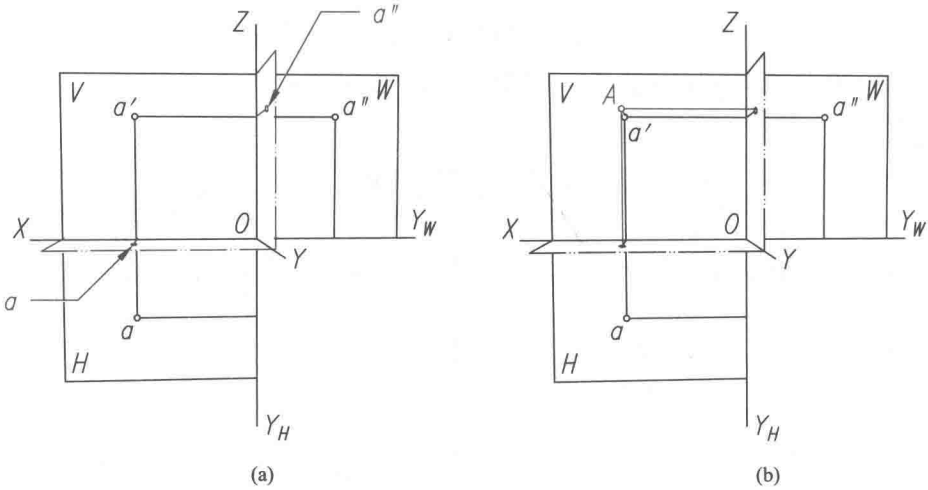


图 1-6

同理，如果将 V 面向 H 面作投射，则 X 轴还可以看作空间 V 面的水平投影，相应地， Y 轴为空间 W 面的水平投影。

俯视图 1-2b，聚焦 H 面（即将纸面看作 H 面），分别向上拉起代表 V 面和 W 面的 X 轴和 Y 轴，恢复 V 面和 W 面的空间所在，形成三维空间环境。试一试，努力看到它们，同时参考纸面上 a' 和 a'' 的位置，想象 a' 和 a'' 的空间所在（空间形象见图 1-7a）。过 a 、 a' 和 a'' 作各自投影面的垂线，努力看到三线交点，即 A 点的空间所在（空间形象见图 1-7b）。

同样，如果将 V 面和 H 面看作投影对象，并向 W 面作投射，则 Z 轴和 Y 轴可分别看作空间 V 面和 H 面的侧面投影。

面对图 1-2b，聚焦 W 面，拉出代表 V 面和 H 面的 Z 轴和 Y 轴，构建三维空间环境。试一试，争取也能看到 H 面、 V 面、 a 、 a' 和 A 点的空间所在，想象过程见图 1-8。