



天津市高校“十五”规划教材

# 机械制图 及CAD基础

陈东祥 主编  
王金敏 刘黎 副主编

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



天津市高校“十五”规划教材

# 机械制图及 CAD 基础

主 编 陈东祥  
副主编 王金敏 刘 黎  
参 编 谢有才 王 多 刘福华  
          林孟霞  
主 审 董国耀



机械工业出版社

本书由投影基础、投影制图和机械工程图三篇组成。内容包括：画法几何（其内容的研究采用的是“形”与“数”相结合的方法）、机械制图基本标准、机件的表达方法、标准件、常用件、零件图和装配图，融入了计算机绘图（AutoCAD 2002）和计算机辅助设计（Pro/ENGINEER 2001）的内容。书后编有附录，供查阅有关标准和数据使用。

同时出版的《机械制图及 CAD 基础习题集》与本书配套使用。

本书适用于大专院校机械类和近机械类各专业（90~120学时）使用，也可作为电大、职大及其他高等职业教育用书或供有关工程技术人员参考。

### 图书在版编目（CIP）数据

机械制图及 CAD 基础/陈东祥主编. —北京：机械工业出版社，2004.7  
天津市高校“十五”规划教材  
ISBN 7-111-14705-7

I. 机… II. 陈… III. 机械制图：计算机制图-应用软件, AutoCAD  
IV. TH126

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2004）第 057489 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：刘小慧 王世刚

责任编辑：刘小慧 版式设计：冉晓华 责任校对：刘志文

封面设计：张 静 责任印制：李 妍

成都新华印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16· 32.5 印张· 803 千字

定价：45.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话（010）68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

本教材是根据原国家教委制定的“画法几何及机械制图课程教学基本要求”的精神，按照当前宽基础、强能力人才培养模式的需要，结合多年教学经验和近几年教学改革成果编写而成的。本教材的编写是以加强投影理论为根本，以设计思想为主线，以培养在工程设计中计算机应用的能力为目标。将机械制图由过去的一种技能教学转变为思维方式的引导和设计意识、创新意识的培养。以便使“机械制图”作为机械基础课程，为“课程设计”、“毕业设计”等相关的后继课程在形象思维、创新意识和 CAD 能力方面打下基础。

全书分为投影基础篇、投影制图篇和机械工程图篇三大部分，由画法几何、机械制图和 CAD 基础的内容组成。教材在立足于加强投影理论的基础上，引入了设计概念，在方法体系上，改变了以往以尺规作图为研究图学的理论基础，将计算机图形处理技术应用于机械制图，特别是将三维计算机辅助设计的内容有机地融入，使本教材成为由画法几何、机械制图、计算机绘图，现代设计思想和观念融为一体的改革创新教材。其主要特点有：

1. 加强了画法几何的基本原理，以保证表现设计思想的投影基础，压缩了借助于计算机很容易解决的图解法。特别是对画法几何的描述采用了“形”与“数”相结合的先进方法，为建立图形变换、投影变换以及各种构形和空间几何问题的数学模型提供了方法。

2. 不仅把“AutoCAD 2002”作为计算机绘图工具应用于机械制图，还将功能强大的三维 CAD 软件“Pro/ENGINEER 2001”的内容融入了机械制图，采用先进的“特征造型”技术，提高利用计算机进行辅助绘图及设计的应用水平，特别是由此在机械制图中引入由三维到二维的工程设计思想。

本教材由陈东祥任主编、王金敏、刘黎任副主编。参加编写工作的有陈东祥（第 13 章）、王金敏（第 9 章和第 12 章）、刘黎（第 1 章、第 2 章）、谢有才（绪论、第 5 章、第 7 章和第 11 章）、王多（第 6 章、第 8 章、第 10 章和附录）、刘福华（第 3 章、第 4 章）。林孟霞参加了教材中插图的计算机造型和计算机绘图的部分工作。全书由陈东祥定稿。本教材的编写和出版得到天津市高等学校“十五”规划教材项目的资助。

#### IV

衷心感谢董国耀教授对本教材进行了审阅，提出了许多宝贵意见。在教材的编写和出版过程中得到许多同志的支持和帮助，在此表示诚挚的谢意。

由于水平有限，书中的缺点错误在所难免，欢迎读者批评指正。

编 者

# 目 录

前言

绪论..... 1

## 第1篇 投影基础

<b>第1章 投影法及其应用</b> .....	4	2.7 立体的截切 .....	74
1.1 投影法及其分类 .....	4	2.8 基本立体相贯 .....	92
1.2 中心投影的投影规律 .....	5	<b>第3章 轴测图</b> .....	115
1.3 平行投影的特殊投影规律 .....	6	3.1 轴测图的基本知识 .....	115
1.4 工程上常用的投影图 .....	7	3.2 正等轴测图 .....	117
1.5 透视图简介 .....	9	3.3 斜二轴测图 .....	124
<b>第2章 点、直线、平面、基本立体的投影</b> .....	15	3.4 轴测图的剖切画法 .....	126
2.1 点 .....	15	<b>第4章 投影变换及图形变换</b> .....	129
2.2 直线 .....	20	4.1 投影变换 .....	129
2.3 两直线的相对位置 .....	30	4.2 图形变换 .....	143
2.4 平面 .....	36	<b>第5章 曲线和曲面</b> .....	155
2.5 直线与平面及两平面的相对位置 .....	45	5.1 曲线 .....	155
2.6 基本立体 .....	58	5.2 曲面 .....	161
		5.3 曲面立体表面的展开 .....	168

## 第2篇 投影制图

<b>第6章 制图基础知识及工具</b> .....	177	8.2 剖视图 .....	220
6.1 国家标准《技术制图》和《机械制图》的一般规定 .....	177	8.3 断面图 .....	230
6.2 手工绘图的工具及其用法 .....	188	8.4 局部放大图和简化画法 .....	233
6.3 几何作图 .....	190	8.5 第三角投影(第三角画法)简介 .....	238
6.4 绘图的技能 .....	196	<b>第9章 计算机绘图</b> .....	242
<b>第7章 组合体</b> .....	199	9.1 概述 .....	242
7.1 组合体及其组合方式 .....	199	9.2 AutoCAD的基本操作 .....	245
7.2 组合体三面投影的画法 .....	200	9.3 绘制图形 .....	251
7.3 读组合体三面投影的方法 .....	203	9.4 图形编辑 .....	264
7.4 组合体的尺寸标注 .....	208	9.5 图案填充 .....	280
<b>第8章 机件的表达方法</b> .....	215	9.6 文字书写 .....	282
8.1 视图 .....	215	9.7 尺寸标注 .....	286

9.8 表面粗糙度标注 .....	294	9.9 机械图绘制 .....	298
-------------------	-----	-----------------	-----

### 第3篇 机械工程图

#### 第10章 标准件与弹簧、齿轮及

轴承 .....	301
----------	-----

10.1 螺纹 .....	302
10.2 螺纹紧固件 .....	311
10.3 销 .....	318
10.4 键与花键 .....	319
10.5 滚动轴承 .....	323
10.6 弹簧 .....	327
10.7 齿轮 .....	331

#### 第11章 零件图 .....

11.1 零件图的内容 .....	341
11.2 零件结构的工艺性及尺寸注法 .....	342
11.3 零件图的视图选择 .....	345
11.4 零件图的尺寸注法 .....	348
11.5 零件图的技术要求 .....	352
11.6 读零件图 .....	365
11.7 零件的测绘 .....	368

#### 第12章 装配图 .....

12.1 概述 .....	370
---------------	-----

12.2 装配图的表达方法 .....	370
12.3 装配图的视图选择 .....	374
12.4 装配图的尺寸标注 .....	375
12.5 装配图中零件的序号和明细栏 .....	376
12.6 装配图的技术要求 .....	377
12.7 常见的合理装配结构 .....	378
12.8 装配图的画图步骤 .....	381
12.9 读装配图和由装配图画零件图 .....	382

#### 第13章 三维实体造型及其表达——

##### Pro/ENGINEER 2001

简介 .....	386
----------	-----

13.1 概述 .....	386
13.2 草绘 .....	392
13.3 零件设计——特征造型 .....	411
13.4 零件装配 .....	455
13.5 工程图制作简介 .....	463

附录 .....	484
----------	-----

参考文献 .....	509
------------	-----

# 绪 论

## 1. 本课程的性质、研究对象和任务

“机械制图及 CAD 基础”是一门研究图示、图解空间几何问题、绘制与阅读机械工程图样及 CAD 技术的课程。

工程上为了表示机器、设备的形状、大小、规格和材料等内容，通常需要将物体按一定的投影方法和技术标准表示在图纸上，这称之为图样。设计人员通过它表达自己的设计思想，制造人员根据它进行产品的加工制造，使用人员利用它进行合理使用。因此，图样被喻为“工程界的语言”。它是设计、制造、使用机器过程中的一项主要技术资料，是进行技术交流的有力工具。所以，必须熟练地掌握这门学科所介绍的基本理论、基本知识和基本技能。

目前，随着计算机技术的迅速发展，CAD 技术在各工程领域中得到广泛的应用，成为技术人员进行绘图、设计、指导生产等工作的有力工具。本课程将为掌握 CAD 技术打下一个重要基础。

本课程的研究对象是：

### (1) 在平面上表示空间形体的图示法

将物体进行投影，并把它的形状、大小表达在图纸上的方法称为图示法。图示法为绘制和阅读机械图提供了理论基础。

### (2) 空间几何问题的图解法

在图纸上，按投影规律通过几何作图来解决空间几何问题（如定位、度量、轨迹）的方法称为图解法。

### (3) 绘制和阅读机械图样的方法

### (4) 计算机绘制工程图及三维实体造型技术

学习本门课程的主要目的就是培养学生具有绘图、读图和图解空间几何问题的能力；培养学生的空间想象能力以及分析问题与解决问题的能力；培养学生计算机绘图能力。

## 2. 本课程的学习方法

为了帮助学生学好本课程，根据课程特点，提出下列学习方法，供学习中参考。

1) 本课程是一门实践性很强的技术基础课。在学习中除了掌握理论知识外，还必须密切联系实际；在具体作图时，更应注意如何运用这些理论。只有通过一定数量的画图、读图练习，反复实践，才能掌握本课程的基本原理和基本方法。

2) 在学习中必须经常注意空间几何关系的分析以及空间形体与其投影之间的相互联系。只有“从空间到平面，再从平面到空间”进行反复研究和思考，才能不断提高和发展空间想象能力。

3) 认真听课，及时复习，独立地完成习题和作业，在弄懂和掌握基本理论和方法的同时，注意正确使用绘图仪器以及运用恰当的绘图方法进行画图，正确处理手工绘图和计算机绘图的关系，不断提高绘图技能和绘图速度。



4) 画图时要确立对生产负责的观点, 严格遵守机械制图国家标准的有关规定, 认真细致, 一丝不苟。

### 3. 工程图学发展简史

工程图学是研究工程技术领域中有关图的理论及其应用的科学。它主要包括理论图学、应用图学、计算机图学、制图技术等内容。

#### (1) 图形技术的形成与发展

图形技术的形成与人类社会生产力的发展是紧密地联系在一起的。远古时期, 人类的祖先在漫长的共同生活、劳动中, 逐渐形成和发展了语言, 同时也利用一些简单的图形来表达自己的意图和情感, 其中也有一些简单的几何图形。这些图形一方面发展了原始的美术艺术, 另一方面用来为实际的应用服务。

当人类社会进入奴隶社会以后, 生产力较过去有了较大的发展, 图形技术逐渐向科学化迈进。伟大的科学家、哲学家亚里士多德创立了一整套归纳—演绎的科学方法体系; 数学家欧几里德写出了一本有着科学理论结构的教科书——《几何原理》, 以后制图及画法几何都以它们为基础。

随着社会的进步与科技的发展, 图的应用范围也在逐渐扩大, 天文、地理、建筑等领域的制图有了较大的进展, 托勒密在其《地理学》中已讲述了绘制地图的方法。另外, 建筑学的理论体系也发展得很快, 工程制图取得了很大进步。在公元前一世纪罗马建筑学家维特鲁威所著的《建筑》一书就应用了建筑的平面、立体、剖视等画法。

到了 14、15 世纪, 资本主义制度的日益兴盛, 资产阶级的新思想、新文化也同时创立。当时很多艺术家、科学家研究如何把三维的现实世界绘制到二维平面的图画上。为了解决这个问题, 他们用数学工具, 提出了许多透视规则, 其中最出色的是德国艺术家阿尔倍·丢勒。在他的著作里有一个新颖的几何思想, 就是考虑曲线和人形在两个或三个相互垂直的平面的正投影。

到了 17 世纪, 法国数学家笛沙格引进投射和截景等新的方法, 研究了几种不同类型的圆锥曲线, 提出了一种新的理论——射影几何理论。笛卡尔为了解决几何作图问题, 提出了平面的坐标系统, 即直角坐标系。随后又与其他人一起创立了解析几何, 并且指出他的方法可以运用到三维空间中去。他的设想是, 从曲线的每一点处作线段垂直于两个相互垂直的平面, 这些线段的端点分别在这两个平面上描出两条曲线。这实际上已提出了平行投影的概念。

中国是一个具有五千年文明史的国家, 历史上创造了大量的灿烂文化, 在图形技术方面也有很多成就。早在两千多年前, 春秋时代一部最古老的技术经典《周礼考工记》中, 就有关于画图仪器“规”、“矩”、“绳墨”、“悬”和“水”的内容。据《尚书》记载, 早在西周我国便开始使用图样。考古发现我国在两千多年前就已经有了画图仪器和正投影理论。秦、汉以后, 历代建筑宫室都有了图样。公元 1100 年前后, 北宋李诫撰写了经典著作《营造法式》。该书总结了我国两千多年中的建筑技术和成就, 书中所附的图样, 大量采用了平面图、轴测图、透视图和正投影图。所有这些表明, 我国古代在制图技术上不仅具有卓越的技术水平, 并且有较高的理论水平。

#### (2) 工程图学的形成

图形技术作为实用理论和工艺知识, 在生产实践中不断完善, 不断发展。18 世纪末,

法国著名科学家加斯帕·蒙日 (Gaspard Monge 1746 ~ 1818) 在研究和发展空间解析几何、微分几何的过程中, 整理、简化、加深、补充和扩大了已有的知识, 形成了一整套画法几何方法, 并用这种方法解决工程实际问题。于 18 世纪 1795 年出版了他的著作《画法几何学》, 这标志着图形技术由经验上升为科学。

蒙日画法几何学的主要内容是二投影面正投影法, 即把三维空间里的几何元素投射在两个正交的二维投影平面上, 并将它们展开成一平面, 得到有两个二维投影组成的正投影综合图来表达这些几何元素。蒙日在他的《画法几何学》中写道, 这门学科有两个重要的目的: 第一是在只有两个尺度的图纸上, 准确地表达了具有三个尺度才能严格确定的物体; 第二是根据准确的图形, 推导出物体的形状和物体各个组成部分的相对位置。书中系统而简明地介绍了二投影面正投影法的原理和图解空间几何问题的创见, 并在阴影、透视原理部分, 介绍了斜投影和中心投影。

从蒙日创立画法几何学至今已有 200 多年的历史。对于许多技术部门和艺术部门来说, 画法几何是一门不可缺少的基础知识。应用画法几何可以画出建筑物、机器和其他工程设备的图样, 这些图样既直观又可测量, 随时可以从图样上获得实物的尺寸, 当然也可以绘制新构思的建筑物和机器的设计图样, 按照这些图样可以进行施工或制造, 所以工程图样被称为“工程师的语言”。以蒙日投影原理为基础的工程制图, 对各国工程技术的发展起到了很大的推动作用, 直到现在, 仍然是一门十分有用的技术基础课程。

科学研究和工程实践促进了画法几何学科内容的扩展和丰富。蒙日书中萌芽状态的课题, 有的发展为专篇、专著, 有的公认为几何定理, 有的形成新分支。由于学科间的相互渗透, 画法几何学科的理论和方法被其他学科利用, 扩大了它的领域; 而其他学科提出的新课题, 也促成了本门学科的深入研究与开拓, 逐渐形成了一门理论基础深厚、应用范围广泛、内容丰富的学科——工程图学。

### (3) 现代工程图学

20 世纪 40 年代中期第一台电子计算机问世, 计算机的发展和不断完善不断推动着许多学科的发展和新兴学科的建立。工程图学也进入一个崭新阶段, 从图学理论、绘图方法等方面都产生了巨大的变化。计算机技术、信息技术、网络技术、设计和制造技术飞速发展。这一切为工程图学注入新的活力, 工程图学早已突破了传统的框架, 发展成为一门具有浓郁现代气息的学科。现代工程图学所包含的内容愈加广泛, 不少专家对工程图学内涵进行过重要的论述, 如丁宇明教授提出的工程图学学科模块结构是: 工程图学的理论基础是几何理论 (含画法几何、射影几何、微分几何等七种) 和计算机理论; 工程图学又可分为两部分: 一是工程设计制图 (专业制图及标准), 二是研究领域 (含图学理论与方法, 工业设计, 科学计算可视化, 计算机仿真、模拟, 虚拟现实, 图形、图像识别等 16 个方面)。应道宁、王尔健教授提出了“现代工程图学”, 它是传统工程图学、设计学和计算机图形学三种学科的交叉。“现代工程图学”的学科模型含图学理论与方法 (理论图学、投影理论、真实感投影理论), 产品信息建模 (特征建模、参数化设计、图形输入识别), 工程信息可视化 (工程数据可视化、生产流程的图形仿真)。

随着人类科学技术的不断发展, 工程图学仍将不断完善并广泛地应用到科学研究、工程设计、生产实践的各个领域。

# 第 1 篇 投 影 基 础

## 第 1 章 投影法及其应用

### 1.1 投影法及其分类

#### 1.1.1 投影的建立

如图 1-1 所示,  $S$  是空间一点, 作为投射中心;  $P$  是不经过  $S$  的一个平面, 作为投影平面。投射中心和投影平面一起称为投影条件。 $A$  为空间物体上的一点, 连接  $S$ 、 $A$  的直线称为投射射线, 该投射射线与  $P$  的交点  $a$  就是  $A$  的投影。

本书规定: 空间物体及其上的点都用大写字母表示, 它们的投影用相应的小写字母表示。

应该注意到, 投影的概念比物体在光线照射下产生影子的概念更加广泛。例如图 1-1 中, 若将  $S$  看成光源,  $B$ 、 $C$  两点都不在光源  $S$  与投影面  $P$  之间, 因此在光源  $S$  的照射下这两点都不会在  $P$  面上产生影子。但是, 因为它们的投射射线都与  $P$  相交, 所以这两点都有投影。 $SB$ 、 $SC$  与  $SA$  重合, 它们的投影  $b$ 、 $c$  也与  $a$  重合。按照上述的投影作法, 投影平面

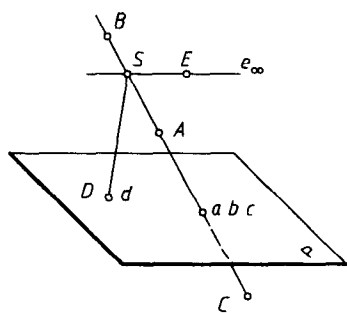


图 1-1 投影条件及空间点的投影

$P$  上的  $D$  点, 其投影  $d$  与  $D$  点本身重合。在平面  $P$  的平行线  $SE$  上的  $E$  点, 其投射射线  $SE$  与平面  $P$  在无穷远处相交, 其投影是  $SE$  上的无穷远点  $e_{\infty}$ 。另外, 规定投射中心没有投影。

由此可以看到, 由于每条投射射线与投影平面的交点只有一个, 所以在投影条件确定的前提下, 除了投射中心以外, 空间点的投影是唯一的, 即每个空间点都有一个确定的投影。然而, 因为一条投射线上除了投射中心之外的所有点的投影都重合为一点, 如图 1-1 中的  $a$ 、 $b$ 、 $c$ , 所以, 由点的投影不能确定该点的空间位置, 即空间点与其投影之间不能一一对应。

#### 1.1.2 投影法及其分类

##### 1. 投影法

投射射线通过物体向选定的面投射, 并在该面上得到图形的方法, 称为投影法。所得图形称为物体的投影。

##### 2. 投影法分类

按投射射线是汇交还是平行将投影法分为中心投影法和平行投影法。

##### (1) 中心投影法

投射射线汇交于一点的投影法, 称为中心投影法, 用中心投影法得到的投影称为中心投

影。如图 1-2 所示,  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三点的投射射线  $SA$ 、 $SB$ 、 $SC$  交汇于投射中心  $S$ , 并且分别与投影面  $P$  交于点  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 。  $a$ 、 $b$ 、 $c$  就是空间点  $A$ 、 $B$ 、 $C$  在投影面  $P$  上的中心投影。

### (2) 平行投影法

投射射线相互平行的投影法称为平行投影法, 用平行投影法得到的投影称为平行投影。平行投影是中心投影的特例, 当投影中心移到无穷远时, 所有投射射线互相平行, 中心投影成为平行投影。在平行投影法中, 投射射线的方向称为投射方向, 仍用  $S$  表示, 平行投影的投影条件是投射方向和投影平面。投射方向与投影平面不平行。如图 1-3 所示。

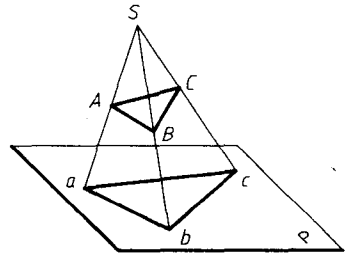


图 1-2 中心投影法

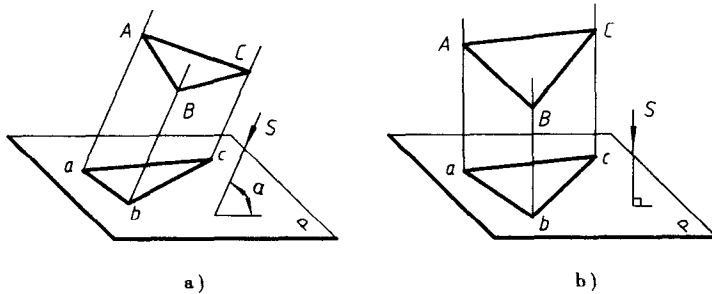


图 1-3 平行投影法

a) 斜投影法 b) 正投影法

按投影面与投射射线的相对位置不同, 平行投影法又分为斜投影法和正投影法。

斜投影法——投射射线(投射方向  $S$ ) 倾斜于投影面的平行投影法, 如图 1-3a 所示。在本书中应用于斜轴测投影。

正投影法——投射射线(投射方向  $S$ ) 垂直于投影面的平行投影法, 如图 1-3b 所示。在本书中应用于多面正投影、正轴测投影。

机械工程图样的表达通常用正投影方法, 如果不特别说明, 本教材中所称的“投影”均指正投影。

## 1.2 中心投影的投影规律

中心投影有如下几点投影规律。

1) 除了投射中心外, 空间点的投影都是点, 每个点有唯一的投影。

2) 一般位置直线的投影仍然是直线; 当直线通过投射中心时, 其投影积聚成一点, 投影的这种性质称为直线的投影积聚性。

如图 1-4 所示, 直线  $AD$  的投影仍然是直线  $ad$ 。直线  $EF$  通过投射中心  $S$ , 其投影  $e(f)$  积聚为一点。

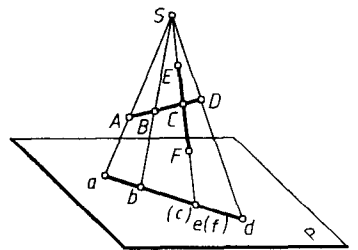


图 1-4 直线的中心投影

3) 直线上的点, 其投影在直线的投影上; 直线上四点的交叉比是中心投影的不变量。

如图 1-4 所示,  $B、C$  属于直线  $AD$ , 其投影  $b、c$  属于直线的投影  $ad$ 。

图 1-4 中  $A、B、C、D$  是直线上的四个点, 其交叉比的定义为

$$(ABCD) = \frac{(ABC)}{(ABD)} = \frac{\frac{AC}{BC}}{\frac{AD}{BD}} = \frac{AC \cdot BD}{AD \cdot BC}$$

即交叉比  $(ABCD)$  是两个简单比  $(ABC)$  和  $(ABD)$  的比。而简单比是两个有向线段的长度比, 如简单比  $(ABC)$  是  $AC$  与  $BC$  的长度比。 $a、b、c、d$  的交叉比为  $(abcd)$ , 中心投影的交叉比不变, 即

$$(ABCD) = (abcd)$$

证明从略。

4) 平面图形的中心投影称为射影对应形; 当平面图形所在的平面平行于投影面时, 其中心投影与平面图形本身相似; 当平面图形所在的平面通过投影中心时, 其投影积聚成一条直线段, 投影的这种性质称为平面图形的投影积聚性。

如图 1-5 所示,  $\triangle abc$  是  $\triangle ABE$  的射影对应形。 $\triangle ABC \parallel P$ , 则  $\triangle abc \sim \triangle ABC$ 。 $\triangle BDE$  所在平面通过  $S$  点, 其投影  $bde$  积聚为直线段。

5) 当投射中心与锥顶点重合时, 锥面的投影有积聚性。如图 1-6 所示。

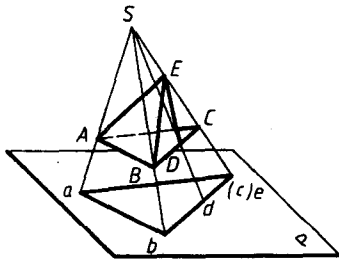


图 1-5 平面图形的中心投影

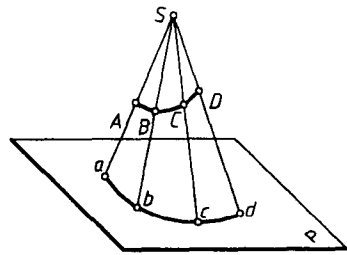


图 1-6 锥面的中心投影

### 1.3 平行投影的特殊投影规律

因为平行投影是中心投影的特例, 所以平行投影除了具有中心投影的投影规律之外, 还有其本身的一些特殊投影规律, 列举如下。

1) 一般情况下, 空间平行的二直线的投影仍然是平行的二直线; 特殊情况下, 当它们平行于投射方向时, 其投影积聚为两个点。

在图 1-7 中,  $AC \parallel MN$ , 其投影  $ac \parallel mn$ ;  $EF \parallel GH \parallel S$ , 其投影  $e(f)、g(h)$  积聚为两个点。

2) 直线上三点的简单比是平行投影的不变量。

如图 1-7 所示,  $A、B、C$  是直线上的三个点, 其简单比

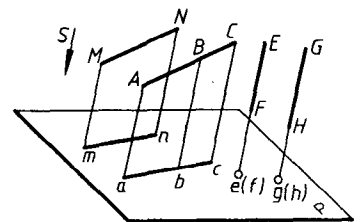


图 1-7 直线的平行投影

( $ABC$ ) 是  $AC$  与  $BC$  的长度比。其投影  $a$ 、 $b$ 、 $c$  仍在一条直线上，简单比为 ( $abc$ )，平行投影的简单比不变，即

$$(ABC) = (abc)$$

**证明** 由于是平行投影，所以投射射线  $Aa$ 、 $Bb$ 、 $Cc$  是共面的平行直线。共面的三条平行直线被两条直线所截，所得的线段成比例，即

$$\frac{AC}{BC} = \frac{ac}{bc}$$

可以写成  $(ABC) = (abc)$ 。证毕。

这条投影规律还可以更通俗地叙述为：点分直线的长度比在其平行投影上不变，即图 1-7 中  $AB:BC = ab:bc$ 。

3) 平面图形的平行投影称为仿射对应形；当平面图形所在的平面平行于投影面时，其平行投影与平面图形本身全等；当平面图形所在的平面平行于投射方向时，其投影积聚成一条直线段。

如图 1-8 所示， $\triangle bcd$  是  $\triangle BCD$  的仿射对应形。 $\triangle ABC \parallel P$ ，则  $\triangle abc \cong \triangle ABC$ 。 $\triangle BDE$  所在平面平行于投射方向  $S$ ，其投影  $bde$  积聚为直线段。

4) 当投射方向平行于柱体表面素线时，柱面的投影有积聚性。如图 1-9 所示。

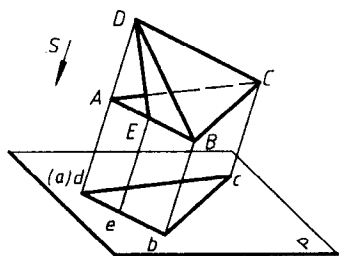


图 1-8 平行图形的平行投影

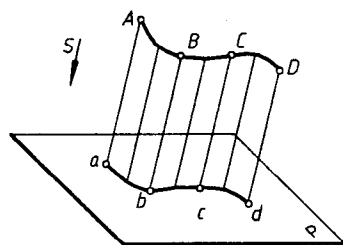


图 1-9 柱面的平行投影

## 1.4 工程上常用的投影图

### 1.4.1 投影与投影图

投影是物体在投影面上得到的投射图形；而投影图是指物体的投影经过比例变换在大小合适的图纸上绘出的图形。投影与投影图之间存在一个一定系数的比例变换。

### 1.4.2 常用的投影图

#### 1. 多面正投影图

物体在互相垂直的两个或两个以上投影面上投射得到的正投影图称为多面正投影图。将这些投影面旋转展开到同一个图面上，使该物体的各正投影图有规则地配置，相互之间形成对应关系。图 1-10 是一物体在三个互相垂直的投影面上投射而得的三面正投影图。

多面正投影能够多侧面地反映物体各个方向的实际形状和大小，其投影图度量性好，作图简便，因此应用广泛。多面正投影图的缺点是直观性差，必须通过学习才可以掌握其读图方法。

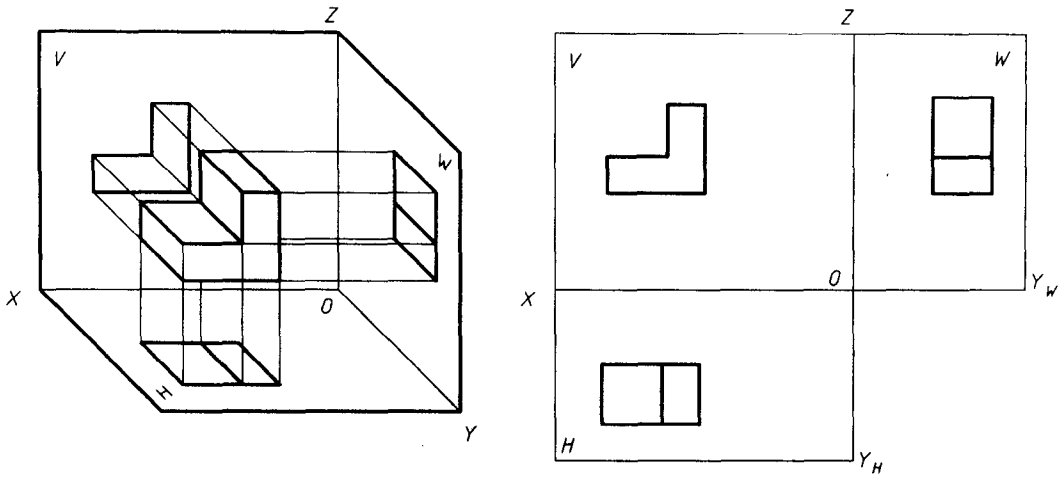


图 1-10 物体的三面正投影图

2. 轴测图

将物体连同其直角坐标系，沿不平行于任一坐标平面的方向，用平行投影法将其投射在单一投影面上所得到的投影图称为轴测投影图，又称为轴测图。图 1-11 是一物体的轴测图。

轴测图直观性较好，容易看懂，但画图较繁，度量性差，因此常作为辅助图样使用。

3. 标高投影图

在物体的水平投影上，加注某些特征面、线以及控制点的高度数值和比例的单面正投影图称为标高投影图。

图 1-12a 中，物体被平面  $H_1$ 、 $H_2$ 、 $H_3$  所截，其交线（等高线）的投影图表示在图 1-12b 中，各曲线旁附加的  $h_1$ 、 $h_2$ 、 $h_3$  表示同一曲线上各点到投影面的高度值。

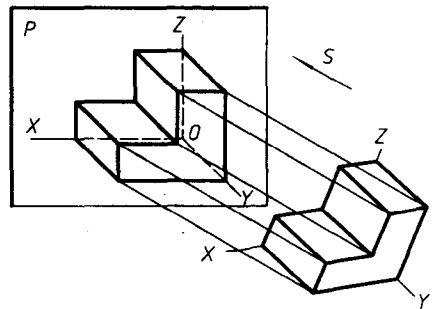


图 1-11 物体的轴测图

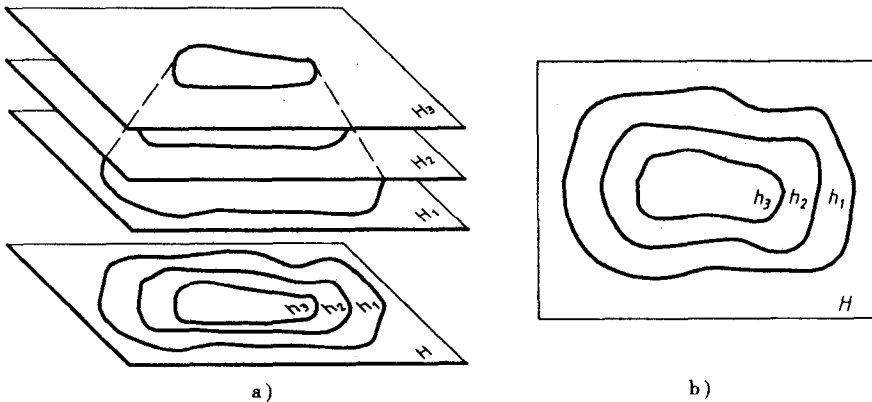


图 1-12 标高投影

标高投影图常用来表示不规则曲面，如船体、飞行器、汽车曲面及地形等。

#### 4. 透视图

用中心投影法将物体投射在单一投影面上所得到的投影称为透视投影，又称为透视图。图 1-13 是一物体的透视图。

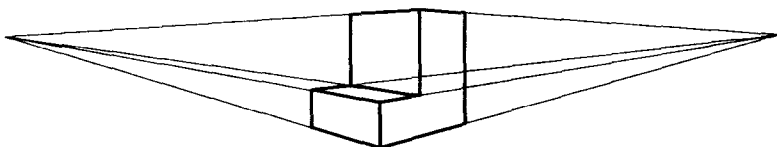


图 1-13 物体的透视图

从图 1-13 看到，在该透视图，物体上前后方向及左右方向互相平行的边变得不再平行，而是分别交于两点；原本相等的边不再相等，而是近大远小。透视图与照相机成像原理近似，接近于视觉映象，因此透视图的直观性强。但是，由于透视图的度量性差，且作图复杂，所以一般用于绘画和建筑设计。

## 1.5 透视图简介

### 1.5.1 透视投影体系及常用的名词术语

#### 1. 透视投影体系

透视投影体系如图 1-14 所示。

#### 2. 常用的名词术语

**基面  $G$** ：放置被透视物的平面，即水平投影面，相当于地面。一般以水平投影面  $H$  作为基面。

**画面  $P$** ：透视投影所在的平面。画面一般垂直于基面。

**基线**：基面与画面  $P$  的交线。在画面上用  $g-g$  表示，在基面上用  $p-p$  表示。

**视点  $S$** ：相当于人眼所在位置，也即投射中心。

**站点  $s$** ：视点  $S$  在基面上的正投影，相当于观看者的站立点。

**主点  $s'$** ：视点  $S$  在画面  $P$  上的正投影。

**视线**：视点  $S$  与所画物体各点的连线。

**主视线**：过视点  $S$  且与画面  $P$  垂直相交的视线。

**视高**：视点  $S$  到站点的距离，相当于人眼高度。

**视距**：视点  $S$  到画面  $P$  的距离。

**视平面**：过视点  $S$  所作的水平面。

**视平线  $h-h$** ：视平面与画面  $P$  的交线。画面为铅垂面时，主点  $s'$  在视平线上。

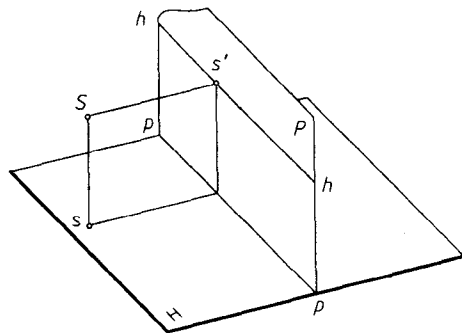


图 1-14 透视投影体系



### 1.5.2 点的透视投影

#### 1. 点的透视投影

点的透视是过该点的视线与画面的交点。如图 1-15 所示, 空间点  $A$  在画面  $P$  上的透视, 是自视点  $S$  向  $A$  引的视线  $SA$  与画面的交点  $A^0$ 。为使画面上的点  $A^0$  的对应有唯一性, 将空间点  $A$  向基面正投影得点  $a$ , 称  $a$  为点  $A$  的基点, 基点  $a$  在画面上的透视  $a^0$ , 称为点  $A$  的基透视, 由点  $A^0$  和  $a^0$  就唯一地确定了点  $A$  的空间位置。可以看出,  $A^0$  和  $a^0$  位于同一条铅垂线上, 称线段  $A^0a^0$  为点  $A$  的透视高度。尽管视线  $SA$  上的每一个点的透视都是同一个点  $A^0$ , 但是各点的基透视的位置不同, 因而各点的透视高度也就不同。在画面后方, 点离画面越近, 其透视高度就越大; 当点  $A$  在画面上时, 透视就是其本身, 透视高度等于点  $A$  的实际高度。

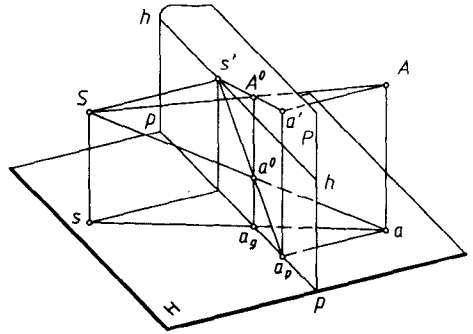


图 1-15 点的透视投影

#### 2. 点的透视投影画法

在图 1-15 中, 点  $A$  在画面  $P$  上的正投影为  $a'$ , 点  $a$  在画面  $P$  上的正投影为  $a_p$ 。将图 1-15 中的基面  $H$  和画面  $P$  拆开摊平在一张图纸上, 如图 1-16a 所示。为方便作图, 将两个平面上下对齐放置, 并去掉边框, 如图 1-16b 所示。此时, 画面  $P$  用视平线  $h-h$  和基线  $g-g$  表示,  $h-h$  和  $g-g$  互相平行。基面  $H$  用基线  $p-p$  和站点  $s$  表示。

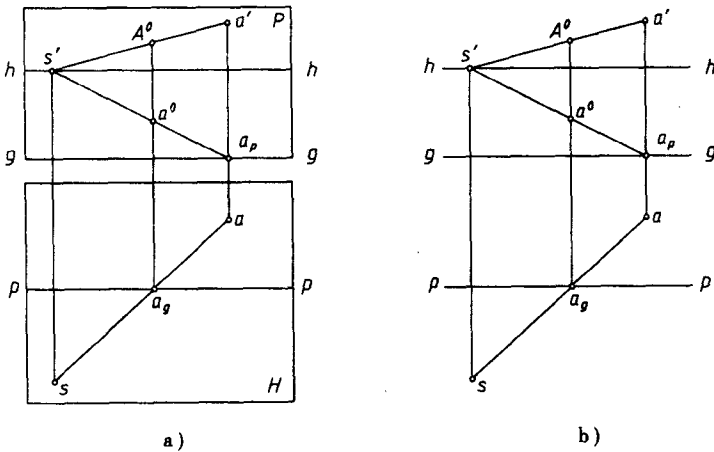


图 1-16 点的透视投影画法

点  $A$  的透视投影作图步骤如下:

- 1) 在  $H$  面上连线  $sa$ 。 $sa$  即视线  $SA$  的水平投影;
- 2) 在  $P$  面上分别连线  $s'a'$  和  $s'a_p$ , 它们分别是视线  $SA$  和  $Sa$  的正面投影;

由  $sa$  与画面迹线  $p-p$  的交点  $a_g$  向上引基线的垂线, 交  $s'a_p$  于点  $a^0$ , 得点  $A$  的基透视; 交  $s'a'$  于点  $A^0$ , 得点  $A$  的透视。

### 1.5.3 灭点

直线无穷远端点的透视投影称为灭点。图 1-17a 中, 自视点  $S$  向直线  $AB$  上离画面无穷远