

画法几何

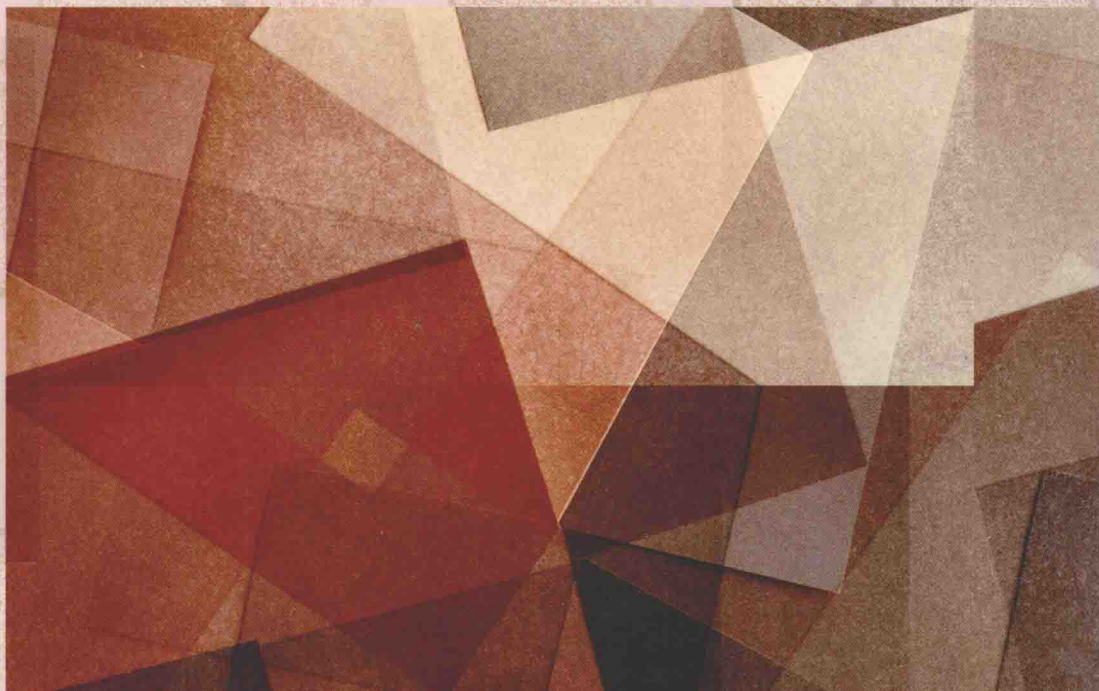
(第三版)

■ 谢步瀛 刘政 董冰 顾生其 主编



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

土木工程系列丛书



土木工程系列丛书

画法几何

(第三版)

谢步瀛 刘 政 董 冰 顾生其 主编



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书共 13 章,内容主要有:概论,点,直线,平面,直线与平面、平面与平面,投影变换,平面立体,平面立体相交,曲线,曲面和曲面立体,曲面立体相交,轴测投影,正多面体和空间结构。其中,第 13 章正多面体和空间结构是为配合研究性学习提供的素材。

本书可作为高等学校本科土建类专业的教材,也可供成人继续教育的同类专业选用。

图书在版编目(CIP)数据

画法几何/谢步瀛等主编.—3 版.—上海: 同济大学出版社, 2016.9
ISBN 978-7-5608-6515-7

I. ①画… II. ①谢… III. ①画法几何—高等学校—教材 IV. ①O185.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 208766 号

画法几何(第三版)

谢步瀛 刘 政 董 冰 顾生其 主编

责任编辑 马继兰 责任校对 徐春莲 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 常熟市大宏印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 13.25

字 数 331 000

版 次 2016 年 9 月第 3 版 2016 年 9 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-6515-7

定 价 30.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

第三版前言

本书增加了教学经验丰富的第一线教师参与修订,为教材的可持续发展打下了坚实的基础。本次修订,改正了一些第二版中存在的错误,同时将原第 6 章与第 7 章次序对调,即原第 6 章平面立体改为第 7 章,第 7 章投影变换改为第 6 章。

参加本书修订的有:谢步瀛(第 1 章、第 13 章)、董冰(第 2 章—第 6 章)、刘政(第 9 章—第 11 章),顾生其(第 7 章、第 8 章、第 12 章)。

热忱欢迎读者对本书批评指正。

编者

2016 年 7 月

第二版前言

本书根据教育部工程图学教学指导委员会最新修订的《工程图学课程教学基本要求》的精神,在第一版的基础上修订而成。本版保留了第一版的一些主要特色,同时,做了以下内容的增删修订。

1. 所有文字作了删简,插图作了修整。
2. 投影变换一章的插图作了重新设计。
3. 直线主要采用两端点标注的方式,减少了单字母标注方式。
4. 立体的投影增加了示意图。
5. 删除了标高投影的内容。
6. 增加了正多面体和半正多面体的展开图。

参加本书修订的有:谢步瀛(第1章、第13章)、董冰(第2章—7章)、刘政(第8章—12章)。

热忱欢迎读者对本书批评指正。

编者

2009年9月

第一版前言

画法几何这门课要求学生通过理解和想象来表达并绘制几何形体。这是有志于成为工程技术人员的学习者,从一开始就必须掌握的基础和技能。画法几何课程是工程图学理论的基础,相对于其他一些课程,画法几何是一门比较传统的“古老”的学科。然而,画法几何所具有的“传统”“古老”的特点,并不说明画法几何课程的教学就应该采用古老的、传统的方法。恰恰相反,不论是借鉴许多长期从事画法几何学科教学的教师经验,还是参照近现代发展起来的教學方法论和学习心理学等科学理论,我们有充分的理由认为、认真地探索并切实可行地改进画法几何课程的教学方法是很有必要的。

画法几何是一门理论性很强的专业基础课程。同时,画法几何还具有与工程实践密切联系的特点。也就是说,人们在工作和生活中遇到的各种各样的事物,往往都可以成为画法几何学习过程中理论联系实际的对象。为了培养学生在学习本课程时理论联系实际的习惯和能力,我们认为,在教学过程中应该指导学生学会这种思维方法。也就是说,在教师的指导下,学生能主动地获取知识,应用知识和解决问题。

本教材结合科学研究和工程技术的实际,选择了一些有意义的几何形体作为研究和练习的对象,并有条理地编排了与之相关的平面几何、立体几何和解析几何的知识内容。希望这种通过与平面、立体、解析几何知识的密切结合来学习画法几何基本原理的方法,能够成为画法几何课程改革创新的一次成功的尝试。

本教材为学生的研究性学习提供了很多对象和素材。特别是,“多面体和空间结构”一章作为一个独立部分,从平面几何、立体几何、解析几何以及投影原理等角度讨论多面体和空间结构的性质,给学生留下了大量想象空间和发挥空间,学生可以从中选择课题,制作模型,编制程序,撰写论文。

本书提供了一些讨论题和思考题供教师和学生参考。教师在采用本教材授课时,可以多提出问题,以引导学生讨论;最好是能启发和鼓励學生多提问题,提出更实际的问题。学生积极地提出问题,讨论问题,解决问题,就是向研究性学习迈进了一大步。

为了帮助学生理论联系实际,使得画法几何理论与工程技术和生活实践密切地结合起来,本教材编排了一些源于实际应用的例题和习题。我们认为,是否有能力设计出合适的应用题,可以作为判断学生学习效果的重要指标。因此,应该鼓励学生设计出应用题。例如,可以给出某些条件,在作业和考试中安排应用题的设计任务,然后根据题目的质量评分。问题讨论是本课程的重要内容。每章后留有思考题,与本书配套使用的《画法几何习题集》将相继出版。

本书作为高等学校本科土木类各专业的教材,也可供其他类型学校,如职工大学、函授大学等有关专业选用,也可供有关专业的技术人员作为参考书。

参加本书编写的有:谢步瀛(第1章、第13章)、董冰(第2章—7章)、刘政(第8章—12章)。全书由谢步瀛主编。

热忱欢迎读者对本书批评指正。

编者

2002年6月

目 录

第三版前言

第二版前言

第一版前言

1 概论	(1)
1.1 画法几何的任务	(1)
1.2 投影	(2)
1.2.1 投影法	(2)
1.2.2 投影的种类	(3)
1.2.3 平行投影的性质	(3)
1.3 工程图种类	(3)
1.3.1 透视图	(4)
1.3.2 轴测图	(4)
1.3.3 正投影图	(4)
1.4 画法几何发展简述	(4)
2 点	(6)
2.1 点的投影	(6)
2.1.1 点的单面投影	(6)
2.1.2 点的两面投影	(6)
2.1.3 点的三面投影	(7)
2.1.4 点的投影特性	(8)
2.1.5 特殊位置的点	(9)
2.1.6 坐标	(10)
2.1.7 轴测图	(10)
2.2 两点的投影	(10)
2.2.1 两点的相对位置	(10)
2.2.2 有轴投影图和无轴投影图	(11)
2.2.3 重影点及其可见性	(12)
复习思考题	(13)
3 直线	(14)
3.1 直线的投影	(14)
3.1.1 直线的投影性质	(14)
3.1.2 直线的投影图	(15)
3.2 直线对投影面的相对位置	(15)
3.2.1 一般位置直线	(16)

3.2.2	投影面平行线	(17)
3.2.3	投影面垂直线	(18)
3.3	直线上的点	(18)
3.3.1	直线上点的投影	(18)
3.3.2	直线上各线段之比	(20)
3.3.3	直线的迹点	(20)
3.4	两直线的相对位置	(21)
3.4.1	平行两直线	(21)
3.4.2	相交两直线	(22)
3.4.3	交叉两直线	(25)
3.4.4	垂直两直线	(26)
	复习思考题	(28)
4	平面	(29)
4.1	平面的表达	(29)
4.1.1	平面的投影性质	(29)
4.1.2	迹线表示的平面	(30)
4.2	平面上的点和直线	(31)
4.2.1	平面上的点	(31)
4.2.2	平面上的直线	(31)
4.2.3	迹线平面上直线	(32)
4.3	平面对投影面的相对位置	(33)
4.3.1	一般位置平面	(33)
4.3.2	投影面垂直面	(35)
4.3.3	投影面平行面	(36)
	复习思考题	(37)
5	直线与平面、平面与平面	(39)
5.1	平行	(39)
5.1.1	直线与平面平行	(39)
5.1.2	平面与平面平行	(40)
5.2	垂直	(40)
5.2.1	直线与平面垂直	(41)
5.2.2	平面与平面垂直	(43)
5.3	相交	(44)
5.3.1	直线与特殊位置平面相交——平面有积聚投影	(44)
5.3.2	投影面垂直线与一般位置平面相交——直线有积聚投影	(45)
5.3.3	两个特殊位置平面相交——两平面有同名的积聚投影	(46)
5.3.4	一般位置平面和特殊位置平面相交——一平面有积聚投影	(46)
5.3.5	直线与一般位置平面相交——直线和平面均无积聚投影	(46)
5.3.6	两个一般位置平面相交——两平面均无积聚投影	(47)

5.4 点、直线和平面的图解方法	(50)
5.4.1 图解问题	(50)
5.4.2 一般位置情况下距离问题解法	(52)
5.4.3 一般位置情况下角度问题解法	(53)
5.4.4 图解问题的轨迹解法	(56)
复习思考题	(58)
6 投影变换	(59)
6.1 投影变换的目的和方法	(59)
6.1.1 投影变换的目的	(59)
6.1.2 投影变换的方法	(59)
6.2 辅助投影面法	(60)
6.2.1 基本条件	(60)
6.2.2 点的辅助投影——辅助投影的基本作图法	(60)
6.2.3 直线和平面投影变换的典型情况	(62)
6.2.4 应用举例	(65)
6.3 旋转法	(69)
6.3.1 绕投影面垂直轴的旋转法	(70)
6.3.2 绕投影面平行轴旋转法	(75)
复习思考题	(77)
7 平面立体	(78)
7.1 平面立体的投影	(78)
7.1.1 棱柱和棱锥	(78)
7.1.2 平面立体的投影性质	(81)
7.1.3 平面立体表面上点和直线	(82)
7.2 平面立体的表面展开	(84)
复习思考题	(85)
8 平面立体相交	(86)
8.1 平面与平面立体相交	(86)
8.1.1 平面立体的截交线	(86)
8.1.2 截交线作法举例	(87)
8.2 直线与平面立体相交	(90)
8.2.1 直线与平面立体表面的贯穿点	(90)
8.2.2 平面立体的贯穿点	(91)
8.3 两平面立体相交	(93)
8.3.1 两平面立体的相贯线	(93)
8.3.2 相贯线作法举例	(94)
8.4 坡顶屋面的投影	(97)
8.4.1 水平投影为矩形的屋面	(98)
8.4.2 水平投影具有转角的屋面	(98)

8.4.3 尖顶屋面	(100)
8.5 平面立体组成的工程形体	(102)
复习思考题	(104)
9 曲线	(105)
9.1 曲线的一般知识	(105)
9.1.1 曲线的形成和分类	(105)
9.1.2 曲线的投影	(106)
9.1.3 曲线的投影图	(106)
9.2 圆周的投影	(107)
9.2.1 特殊方向圆周的投影	(107)
9.2.2 倾斜方向圆周的投影	(107)
9.3 圆柱螺旋线	(109)
9.3.1 圆柱螺旋线的形成和分类	(109)
9.3.2 圆柱螺旋线的投影图	(110)
9.3.3 圆柱螺旋线的展开图	(110)
复习思考题	(111)
10 曲面和曲面立体	(112)
10.1 曲面的一般知识	(112)
10.1.1 曲面的形成和分类	(112)
10.1.2 曲面的投影	(113)
10.1.3 曲面立体的投影	(113)
10.2 可展曲面	(113)
10.2.1 柱面	(114)
10.2.2 锥面	(116)
10.3 扭面	(120)
10.3.1 扭面的形成及基本性质	(120)
10.3.2 单叶双曲面	(120)
10.3.3 翘平面	(121)
10.3.4 锥状面	(122)
10.3.5 柱状面	(124)
10.4 旋转面	(124)
10.4.1 旋转面的形成和基本性质	(124)
10.4.2 球面	(125)
10.4.3 环面	(127)
10.5 螺旋面	(127)
10.5.1 螺旋面的形成和分类	(127)
10.5.2 螺旋楼梯画法	(128)
10.6 不可展曲面的近似展开	(129)
复习思考题	(132)

11 曲面立体相交·····	(134)
11.1 平面与曲面立体相交·····	(134)
11.1.1 圆柱的截断·····	(135)
11.1.2 圆锥的截断·····	(138)
11.1.3 圆球的截断·····	(142)
11.1.4 一般形状旋转面的截断·····	(143)
11.2 直线与曲面立体的相交·····	(143)
11.3 平面立体与曲面立体相交·····	(146)
11.3.1 平面立体与曲面立体的相贯线·····	(146)
11.3.2 相贯线作法举例·····	(147)
11.4 两曲面立体相交·····	(149)
11.4.1 两曲面立体的相贯线·····	(149)
11.4.2 相贯线作法举例·····	(149)
11.4.3 特殊情况的相贯线·····	(151)
11.5 曲面立体组成的建筑形体·····	(155)
复习思考题·····	(156)
12 轴测投影·····	(158)
12.1 轴测投影的基本知识·····	(158)
12.1.1 轴测投影的形成·····	(158)
12.1.2 轴间角和轴向变形系数·····	(159)
12.1.3 平行两直线的平行投影特性·····	(160)
12.1.4 轴测投影的分类·····	(160)
12.2 轴测投影的画法·····	(163)
12.2.1 平面立体·····	(163)
12.2.2 曲线·····	(165)
12.2.3 曲面立体·····	(167)
12.2.4 工程形体·····	(167)
12.3 轴测投影的类型选择·····	(172)
12.3.1 轴测轴方向的变更·····	(172)
12.3.2 轴测投影种类选择·····	(172)
复习思考题·····	(175)
13 正多面体和空间结构·····	(176)
13.1 正多面体·····	(177)
13.1.1 正多面体的定义·····	(177)
13.1.2 正多面体顶点的坐标·····	(178)
13.1.3 正多面体的作法·····	(179)
13.1.4 正多面体表面的展开·····	(180)
13.2 半正多面体·····	(180)
13.2.1 截割顶角生成的半正多面体·····	(181)

13.2.2	截割顶角和截割棱边生成的半正多面体·····	(183)
13.2.3	旋转表面生成的半正多面体·····	(184)
13.2.4	等棱长多面体·····	(185)
13.2.5	半正多面体表面的展开·····	(186)
13.3	平面和空间的均分·····	(187)
13.3.1	平面的均分·····	(187)
13.3.2	空间的均分·····	(187)
13.4	空间结构·····	(189)
13.4.1	空间结构的特点·····	(190)
13.4.2	平面网架结构·····	(190)
13.4.3	空间网架结构·····	(192)
13.5	节点的投影·····	(194)
13.5.1	焊接空心球节点·····	(195)
13.5.2	螺栓球节点·····	(195)
13.5.3	铸钢节点·····	(196)
	复习思考题·····	(196)
	参考文献 ·····	(198)

1 概 论

1.1 画法几何的任务

在日常生活中,可以看到各种各样的形体,例如,上海东方明珠电视塔是若干圆柱、圆球、圆锥的组合物体,如图1-1所示。因为,当研究空间物体在平面上如何用图形来表达时,由于空间物体的形状、大小和相互位置等各不相同,不便以个别物体来逐一研究。并且为了使得研究时易于正确、深刻和完全以及所得结论能广泛地应用于所有物体,因此,采用几何学中将空间物体综合和概括成抽象的点、线、面、体等几何形体的方法,图1-1(b)是上海东方明珠电视塔的抽象模型,先研究这些几何形体在平面上如何用图形来表达的方法(即下述的投影方法)以及如何通过作图来解决它们的几何问题,这就形成了画法几何这门学科。

画法几何是研究在二维平面上图示空间几何形体和图解空间几何问题的理论和方法的学科。主要研究空间几何元素(点、线、面)及其相对位置在平面上的表示方法;研究在平面上用几何作图的方法来解决空间几何问题。

用图解法解决空间几何问题,在生产中是一种重要手段。例如,土木工程中,估算施工现场的土石方作业和工程量。图解法与计算法相比,由于仪器工具的限制,在精度上有一定的局限性,但在一定精度要求范围内,比计算法来得简便迅速。

在学习图示法和图解法的过程中,能培养和发展空间想象力和空间构思能力。因此,锻炼和提高这方面的能力,也是学习画法几何的任务之一。

画法几何与工程制图有密切关系。画法几何为工程制图中用图形表达机件和有关图解法提供了基本原理和基本方法。本着理论联系实际的原则,在学习中应该注意画法几何与工程制图的联系和配合。

20世纪50年代以来,计算机绘图和图形显示技术不断发展,人工绘制工程图样必将愈来愈多地由计算机所取代。但在对空间几何问题的计算机描述中,仍将以画法几何的某些方法作为算法的基础之一,而画法几何亦将为适应计算机化的需要而有所更新和改革。这也是当今学习和研究画法几何时需考虑的一个方面。

高等工业学校工程专业的学生,不论在以后专业的学习、课程设计和生产实习中,以及毕业后在工作岗位上,都必须具有有关的知识和制图能力。因此,所有高等工科学校的各

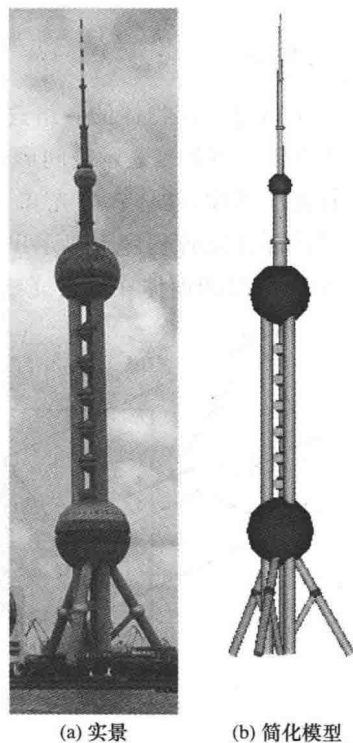


图 1-1 上海东方明珠电视塔

工程专业的教学计划里,都把画法几何列为必修的基础技术课,以培养学生图示空间几何形体和工程上物体的能力,以及解决几何问题的能力。

在学习本课程过程中,还要培养和发展空间想象能力、逻辑思维能力和动手能力,培养耐心细致的工作作风和认真负责的工作态度,并且,在以后有关课程的学习和生产实践中,结合专业内容和生产实际来巩固和提高。

1.2 投影

1.2.1 投影法

投影是通过空间物体的一组选定的直线与一个选定的面交得的图形。

在平面上用图形来表示空间形体时,首先要解决如何把空间形体的形象表示到平面上去。

在日常生活中,物体在灯光和日光照射下,会在地面、墙面或其他物体表面上产生影子。这种影子常能在某种程度上显示出物体的形状和大小,并随光线照射方向等的不同而变化。图 1-2(a)为空间四面体在平行光线照射下在平面上形成影子的情况。

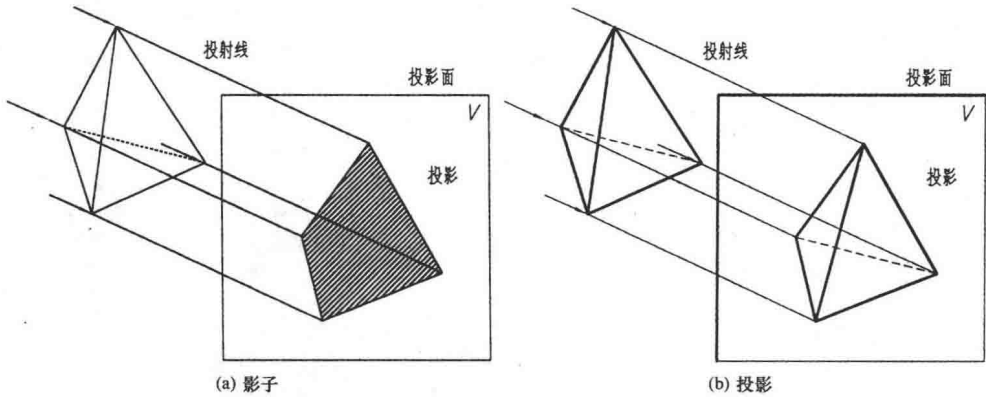


图 1-2 影子和投影

在工程上,人们就把上述的自然现象加以抽象来得到空间形体的图形,如图 1-2(b)所示。这时,我们规定:影子落在一个平面上,并且光线可以穿过物体,使得所产生的“影子”不像真实影子那样黑色一片,而能在“影子”范围内由线条来显示物体的完整形象;此外,对光线方向也作了某些选择,使其能产生合适的“影子”形状。这种应用通过空间物体的一组选定直线,在一个选定的面上形成的图形,即为物体在该面上的投影,投影所在的面,称为投影面,本书的投影面均为平面;形成投影的直线,称为投射线;这种应用投射线在投影面上得到投影的过程称为投射,这种方法称为投影法。

1.2.2 投影的种类

按照投射线相互之间关系和对投影面的方向不同,投影分:投射线从一点出发的投影,称为中心投影,如图 1-3 所示,该点 S 称为投影中心;投射线互相平行

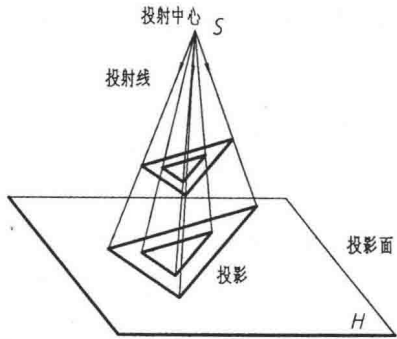


图 1-3 中心投影

的投影,称为平行投影,如图 1-4 所示。在平行投影中,投射线与投影面斜交时的投影,称为斜投影,如图 1-4(a)所示,投射线与投影面正交(垂直)时的投影,称为正投影,如图 1-4(b)所示。

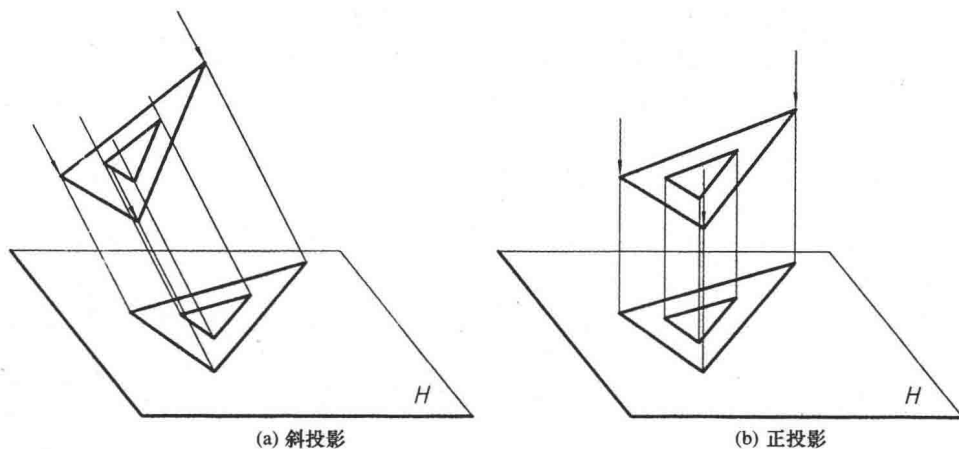


图 1-4 平行投影

1.2.3 平行投影的性质

平行投影有以下性质:

- (1) 平行两直线的投影仍互相平行(图 1-5),如果 $AB \parallel CD$,则 $ab \parallel cd$ 。
- (2) 属于直线的点,其投影属于直线的投影(图 1-6)。如果 $G \in EF$ 则 $g \in ef$ 。
- (3) 点分线段的比值,投影后保持不变(图 1-6),即 $EG : GF = eg : gf$ 。

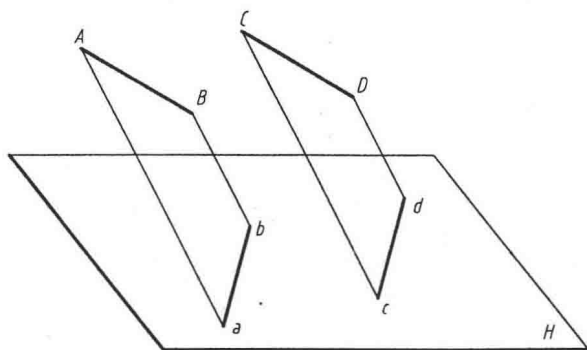


图 1-5 平行直线的投影

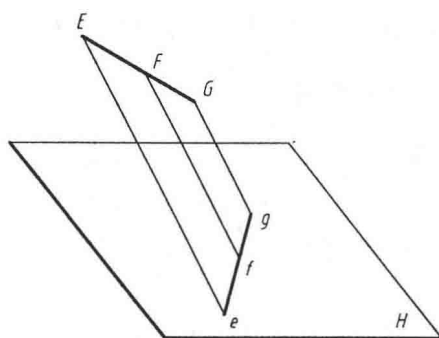


图 1-6 线段与投影之比

1.3 工程图种类

按投影方法分,工程图中最常用的有下列三种:透视图、轴测图和正投影图。

1.3.1 透视图

透视图是用中心投影法将物体投射在单一投影面上所得到的图形。

图 1-7 为一座房屋的透视图。这种图有较强的立体感和真实感,但不能反映物体的真实形状和大小,且作图较繁,一般仅用作表示建筑物等的表现图。

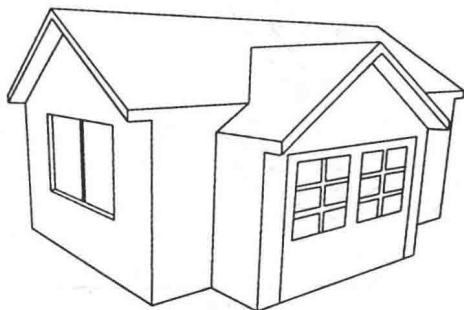


图 1-7 房屋的透视图

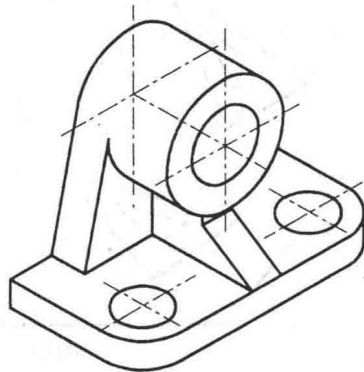


图 1-8 机件的轴测图

1.3.2 轴测图

轴测图是将物体连同其参考直角坐标系,沿不平行于任一坐标面的方向,用平行投影法将其投射在单一投影面上所得到的图形。

图 1-8 为一个机件的轴测图。这种图也有立体感,有的并能反映物体上某些方向的形状和大小,但不能反映整个物体的真实形状。与透视图相比,作图较简单。常用作各种工程上的辅助性图,详细内容参见本书第 5.10 节。

1.3.3 正投影图

正投影图是一个物体在一组投影面上的正投影。

图 1-9 为一个机件的正投影图。这时,每个投影能反映物体在某个方向的实际形状和大小,是主要的工程图。图中除了投影以外,还要根据国家标准注以尺寸和各种符号。

1.4 画法几何发展简述

我国是一个历史悠久的国家,创造了大量灿烂文化,在工程图方面也有不少成就。

在现存的大量汉代的画像砖和画像石上的图画,包含有透视图、轴测图和正投影图等形状的房屋、桥、车辆等形状的图形。又如现存的河北平山县战国时中山王墓中的一件铜制的建筑规划的平面图(940mm×480mm),比例为 1/500,有文字标明尺寸。还有现存的宋平江图(平江即今苏州)石刻(2020mm×1360mm),是宋绍定三年(1229 年)重建时石刻,为一幅城市规划图。

著作有:刊于宋崇宁四年(1106 年)李明仲的《营造法式》,是一本建筑格式的书籍,共三

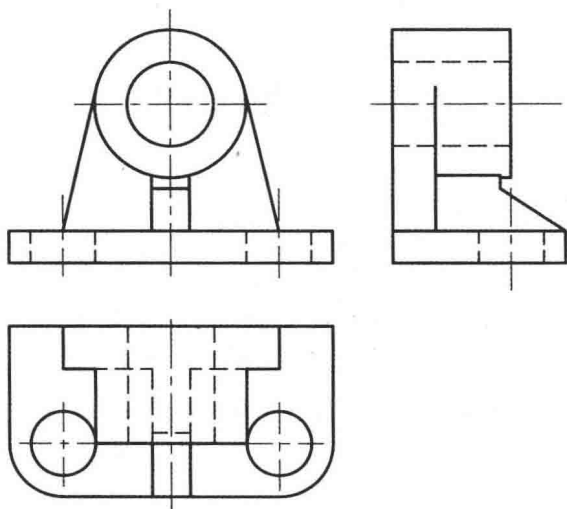


图 1-9 机件的正投影图

十六卷,有大量房屋图。宋苏颂(1020—1101 年)所著《新仪象法要》,有天文仪器的立体装配图以及零件的单面投影图等。此外,元王桢著的《农书》(1313 年)、明宋应星著的《天工开物》(1637 年)等,都附有很多图样。

作图理论方面,如南北朝宋炳《山水画序》有:“张素绡以远映,则昆阆之形,可围于方寸之间”,其论述与现代透视投影原理类似。

仪器工具方面,如现存的汉武氏祠石像上有伏羲拿矩、女娲拿规的象,规、矩相似于现今的圆规和角尺。

比例方面,在汉代《周髀算经》中有:“以丈为尺,以尺为寸,以寸为分”的画图比例。如上述中山墓中石刻,应用了 $1/500$ 的比例。

由上所述,可见我国的工程图学已有很长历史,在此不一一列举。

国际上,特别是法国科学家加斯帕·蒙日(Gaspard Monge,1746—1818 年)于 1795 年发表了多面投影法的著作——《画法几何》(我国有译本,1984 年廖先庚译),画法几何形成了一门独立的学科,奠定了图示和图解的理论基础。

开始时,图是徒手绘就的。后来,逐渐应用尺和仪器来手工绘制。近二三十年来,由于计算机技术和理论的发展,现在,大量的工程图已应用计算机绘图技术来绘制,使得工程图进入一个崭新的时代,也为画法几何提供了新的发展空间。