

Surveying
and
Mapping

测量与地图

刘 权 尹贡白 主编



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社



测量与地图

刘 权 尹贡白 主 编
范广合 周 鹏 副主编



WUHAN UNIVERSITY PRESS
武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

测量与地图/刘权,尹贡白主编. —武汉:武汉大学出版社,2012. 8
ISBN 978-7-307-09599-1

I. 测… II. ①刘… ②尹… III. ①测量学—高等学校—教材 ②地图学—高等学校—教材 IV. ①P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 036982 号

责任编辑:黄汉平 责任校对:黄添生 版式设计:韩闻锦

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:湖北金海印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:24.5 字数:593千字 插页:1

版次:2012年8月第1版 2012年8月第1次印刷

ISBN 978-7-307-09599-1/P·197 定价:48.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

针对目前全国综合性大学地学院课程体系改革中将原有的“测量学”与“地图学”两门课合并为“测量与地图学”一门课的状况,也为了适应我校不动产学院将原有“测量学”与“地图学”合并为“测量与地图”的需要,有必要编写此教材。

“测量与地图”是全国综合性大学地学院的核心课程,也是我院的重要基础课。作为我国第一个不动产学院——北京师范大学珠海分校不动产学院,现有资源环境与城乡规划管理、土地管理、城市规划、房地产经营管理四个专业,未来计划增设环境工程和社区管理专业。为了培养学生具有坚实而宽厚的基础知识、合理的科学技术基础知识结构、富有创新和实践能力的现代复合型人才,将“测量与地图”列为学院十二门基础课之一,可见其重要性。

测量学与地图学本是测绘学的两个完全不同的分支学科,本身内容博而深,如何使二者有机融合,又不致陷入过多的理论当中。去繁就简,深浅适度,轻理论阐述,重实际应用,易于学生接受和掌握是我们编写此教材的准则。目的就是在有限的学时内,了解和掌握测量与地图的基本知识、基本方法和基本技术。

本教材的编写得到北京师范大学珠海分校质量工程优秀教材专项资金的资助,参考和引用了一些专著、教材及其他相关参考书的内容,这些资料均列于参考文献中,特此对引用资料的作者表示衷心的感谢。

本书由刘权、尹贡白、范广合和周鹏编写,其中绪论、第二编部分、第三编由刘权编写。第一编和第四编由尹贡白编写。范广合编写了第二编第5章、第6章、第8章。周鹏编写了第13章第2节和第3节。艾廷华教授、宋鹰副教授和费立凡教授对第11章第5节以及王强教授对第13章第4节有很大贡献。书中的部分文字编辑和部分插图绘制由卢栋龙、于歌、田美霞、敬媛四位完成,在此表示衷心的感谢。由于编者水平所限,书中难免存在各种各样的问题,诚挚希望读者批评指正。

编 者

2012年3月于珠海

目 录

绪 论	1
0.1 测绘科学的研究对象、分类和作用	1
0.2 测绘科学的发展概况	3

第一编 地图概论

第1章 地图的基本知识	17
1.1 地图的定义及其基本特性	17
1.2 地图的构成要素	20
1.3 地图的类型	21
1.4 地图的功能	23
1.5 地图的成图过程	25
第2章 地图的数学基础	28
2.1 地球的形状及大小	28
2.2 坐标系及大地控制点	31
2.3 地图投影	34
2.4 地图比例尺	59
2.5 地图的分幅与编号	62
第3章 地图语言	73
3.1 地图符号	73
3.2 地图色彩	82
3.3 地图注记	96

第二编 普通测量

第4章 测量的基本知识	103
4.1 测量简介	103
4.2 测量系统	106
4.3 地球曲率对测量工作的影响	111
4.4 测量工作的几个基本要素	113

第 5 章 距离测量	116
5.1 钢尺量距	116
5.2 视距测量	121
5.3 电磁波测距	122
第 6 章 角度测量	128
6.1 角度测量原理	128
6.2 DJ6 光学经纬仪的结构及其度盘读数	129
6.3 经纬仪的使用	132
6.4 水平角测量方法	135
6.5 竖直角测量方法	138
6.6 电子经纬仪	141
第 7 章 高程测量	145
7.1 水准测量	145
7.2 三角高程测量	160
第 8 章 测量误差理论	164
8.1 测量误差来源	164
8.2 测量误差的分类	164
8.3 偶然误差的特性	165
8.4 衡量精度的指标	167
8.5 误差传播及观测值函数中误差	170
8.6 等精度观测值直接平差	171

第三编 地图测绘

第 9 章 测量成图	175
9.1 地形图基本知识	175
9.2 小区域控制测量	184
9.3 传统模拟测量成图	204
9.4 数字化测图概述	213
9.5 地形图数字化	248
第 10 章 地形图应用	258
10.1 地形图应用概述	258
10.2 地形图应用的基本内容	263
10.3 工程建设中的地形图应用	264
10.4 城市规划中的地形图应用	272
10.5 建筑设计中的地形图应用	275
10.6 给排水工程设计中的地形图应用	278
10.7 城乡用地分析中的地形图应用	278

10.8 道路勘测设计中的地形图应用	279
10.9 不动产测量中的应用	280

第四编 地图设计与编绘

第 11 章 普通地图的设计	287
11.1 普通地图概述	287
11.2 普通地图的内容和表示方法	288
11.3 普通地图的制图综合	302
11.4 几个主要要素的制图综合	315
11.5 地图自动综合的进展	326
11.6 普通地图的编辑设计	333
第 12 章 专题地图的设计	336
12.1 专题地图的特征、类型和发展	336
12.2 专题地图的表示方法	338
12.3 专题地图的编辑设计	349
第 13 章 地图编绘生产	362
13.1 数字地图生产工艺	362
13.2 计算机辅助地图制图	362
13.3 GIS 中的数字制图	372
13.4 地图数字化印刷	378
参 考 文 献	386

绪 论

0.1 测绘科学的研究对象、分类和作用

测量学与地图学统称为测绘学。测量学与地图学关系密切,测量是地图的数据源,是数据采集的过程,是因;地图是数据的表达利用,是果,没有精密的测量,就没有精确的地图。

0.1.1 测绘科学的研究对象

测绘学是一门有着悠久历史并正在飞速发展中的学科。传统的测绘学以地球和地球表面上的实体为研究对象,是研究对实体进行测量和绘图的科学。《中华人民共和国测绘法》将测绘描述为“对自然地理要素或者地表人工设施的形状、大小、空间位置及其属性等进行测定、采集、表述以及对获取的数据、信息、成果进行处理和提供的活动”。现代测绘学的研究范围已扩大到外层空间,随着人类对太空及地球奥秘探索的不断深化以及人类社会的进步、经济的发展和科技水平的提高,测绘学科的理论、技术、方法及其学科内涵也随之不断地发生变化。尤其是在当代,由于空间技术、计算机技术、通信技术和地理信息技术的发展,致使测绘学的理论基础、工程技术体系、研究领域和科学目标正在适应新形势的需要而发生深刻的变化。由“3S”技术(GPS, RS, GIS)支撑的测绘科学技术在信息采集、数据处理和成果应用等方面也正步入数字化、网络化、智能化、实时化和可视化的新阶段。测绘学已经成为研究对地球和其他实体的与空间分布有关的信息进行采集、量测、分析、显示、管理和利用的一门科学技术。测绘行业也逐渐成为信息行业中的一个重要组成部分,它的服务对象和范围已远远超出了传统测绘学比较狭窄的应用领域,扩大到国民经济和国防建设中与地理空间信息有关的各个领域。现代测绘学正向着当代刚刚兴起的一门新型学科——地球空间信息学(Geo-Spatial Information Science, 简称 Geomatics)跨越和融合。

0.1.2 测绘科学的任务与分类

测量学与地图学是现代测绘科学的重要组成学科。测量学主要研究地球的形状和大小,确定地球表面各种物体的形状、大小和空间位置。地图学主要研究地图理论实质与发展、地图投影方法、地图要素表示、地图概括、地图制作和地图应用的理论和技术。

随着社会生产的发展和科学技术的进步,测绘学形成了大地测量学、普通测量学、摄影测量学、工程测量学、海洋测绘学和地图制图学等分支学科。以上各个学科既自成体系,分工明确,又互相配合,紧密相连,从而构成了完整的测绘学体系。

1. 大地测量学

大地测量学是研究和测定地球的形状、大小和地球重力场以及地面点的几何位置的理论和方法,研究在地球表面大范围内建立国家大地控制网,精确测定地球形状和大小以及地球重力场的理论、技术和方法的学科。随着卫星定位技术的发展,大地测量学不仅为空间科学和军事服务,还将为研究地球的形状、大小以及地表形变和地震预报等提供可靠的资料。

2. 普通测量学

普通测量学是研究地球表面局部区域内控制测量和地形图测绘的理论和方法。局部区域是指在该区域内进行测绘时,可以不顾及地球曲率,把它当作平面处理,而不影响测图精度。

其主要研究内容有图根控制网的建立和地形图的测绘。具体工作有角测量、距离测量、高程测量、观测数据的处理和地形测图等。

3. 摄影测量与遥感学

摄影测量与遥感学是研究利用摄影机或其他传感器采集被测物体的图像信息,经过加工处理和分析,以确定被测物体的形状、大小和位置,并判断其性质的理论和方法。测绘大面积的地表形态主要用摄影测量遥感方法。摄影测量与遥感又可分为航天摄影测量、航空摄影测量、地面立体摄影测量。

4. 工程测量学

工程测量学是研究工程建设中设计、施工和管理各阶段测量工作的理论、技术和方法。它为工程建设提供精确的测量数据和大比例尺地图,保障工程选址合理,按设计施工进行有效的管理。按工作顺序和性质分为勘测设计阶段的控制测量和地形测量;施工阶段的施工测量和设备安装测量;管理阶段的变形观测和维修养护测量。按工程建设的对象分为建筑、水利、铁路、公路、桥梁、隧道、矿山、城市和国防等工程测量。

5. 海洋测绘学

海洋测绘学是以海洋水体及海底地形为对象,它是研究海洋定位,测定海洋大地水准面及平均海平面、海面及海底地形,海洋重力及磁力等自然及社会信息的地理分布,并编制成各种海图的理论与技术的学科,内容有控制测量、水深测量、海洋重力测量、卫星大地测量等。

6. 地图制图学

地图制图学是研究地图及其编制的理论和方法。根据已测得的成果成图,编制各种基本图和专业地图,完成各种地图的复制和印刷出版。

另外,测绘科学和技术是与生产结合十分密切的科学,按照测绘科学研究的内容,又可将测绘学分为基础测绘、专业测绘、军事测绘。

1. 基础测绘

基础测绘是指为国民经济和社会发展以及为国家各个部门和各项专业测绘提供基础地理信息而实施测绘的总称。基础测绘必须在全国或局部区域按国家统一规划和统一技术标准进行。

2. 专业测绘

产业部门为保证本部门业务工作所进行的具有专业内容的测绘的总称。专业测绘应采

用国家测绘技术标准或者行业测绘技术标准。

3. 军事测绘

具有军事内容或者为军队作战、训练、军事工程、战略准备等而实施的测绘的总称。

0.1.3 测绘科学的作用

测绘科学在国家经济建设、国防建设各个领域发挥着重要作用。

1. 城乡规划管理

城乡建设,规划先行,规划是龙头,地图是保障。城乡规划建设和管理必须全面了解城市和村镇面貌的动态信息,而这必须以能及时准确地提供现势性好的地形图为前提。

2. 不动产测量与管理

土地和房屋是重要的生产资料,也是重要的生活资料。不动产已经成为百姓重要的资产,价值量日益剧增,如何有效保护产权人的合法权利,必须进行产权产籍管理。不动产测量界定不动产权属、权界、位置、面积,为不动产产权人确权发证提供法律保证。不动产测量的成果包括数据集(控制点和界址点坐标等)、各种地图和各种表册。

3. 农业建设管理

在农业建设方面,如荒地开垦、沙漠治理、旱地灌溉、水土保持、防洪排涝、盐碱地改良、大规模的改造自然工程都离不开测绘。

4. 资源勘察与开发

地球蕴藏着丰富的自然资源,需要人们去开发。勘探人员在野外工作,从确定勘探地域到最后绘制地质图、地貌图、矿藏分布图等,都需要用测绘技术手段。随着测绘技术的发展,重力测量还可以直接用于资源勘探,如根据测量取得的地球重力场数据可以分析地下是否存在矿藏以及分类。

5. 工程建设

工程建设从选线、勘测设计、施工建设到运营管理都离不开测绘。无论是公路、铁路、隧道、桥梁工程,还是水库、水坝、水电站等水电工程,为了保证工程建设的顺利进行,测绘工作者必须先进行选线或选址阶段的线路测量和地形图测量,再进行中线测量、曲线放样、桥梁测量、隧道控制测量和贯通测量,建成后还要进行长期的变形观测,监测工程的安全。

6. 国防建设

地图对军事活动的作用是不言而喻的,从各兵种、军种的首脑机关决策战略方针、中级指挥员制定战役计划到基层指挥员指挥具体的战斗行动,都无法离开测绘。

测绘学科对国家建设和国民经济发展的作用非常广泛,其服务领域在不断地拓展,除了传统的工程建设三阶段的测量工作及土地资源调查外,在地震观测、海底探测、大型工业设备安装与荷载试验、采矿、医学、考古、环境、体育运动、罪证调查等,都在应用测绘学科的理论、技术和方法。

0.2 测绘科学的发展概况

测绘学是一门古老而年轻的科学,说其古老是指其具有悠久的历史;说其年轻,测绘

科学已发展形成广泛集成电子技术、计算机技术、卫星定位技术的现代测绘科学。测绘学的历史源远流长,当我们打开人类文明的历史画卷时,人类的祖先在测绘学方面所表现出来的智慧让我们惊叹,古今中外,概莫能外。

0.2.1 测量学的历史与发展

测量学的历史沿革经历了一条从简单到复杂、从手工操作到测量生产的自动化、从常规精度到精密测量的发展道路,其发展始终与生产力发展水平相同步,并且能够满足人们在建设中对测量的需要。

1. 古代实用测量的发展

生产的需要始终是推动一切科学发展的动力,测量学也不例外。它是在土地边界测定、农田整理、水利建设、军事行动等与人类社会的生产、生活有关活动的需求下逐步发展起来的。

早在公元前 27 世纪埃及大金字塔的建设,其形状与方向都很准确,说明当时已有放样的工具和方法。公元前 14 世纪,在幼发拉底河与尼罗河流域洪水泛滥,淹没了土地的界线,水退之后又需要重新划定这些界线,这也是早期的土地边界测量工作。我国早在 2000 多年前的夏商时代,为了治水就开始了实际的测量工作,对此,史学家司马迁在《史记》中对夏禹治水有这样的描述:“陆行乘车,水行乘船,泥行乘橇,山行乘犂,左准绳,右规矩,载四时,以开九州,通九道,陂九泽,度九山。”其中准是古代用的水准器;绳是丈量距离的工具,规是画圆的器具,矩则是一种可定平、测长度、高度、深度和画圆画矩形的通用测量仪器。早期的水利工程多为对河道的疏导,以利于防洪和灌溉,其主要的测量工作是确定水位和堤坝的高度。秦代李冰父子开凿的都江堰水利枢纽工程,用一个石头人来标定水位。当水位超过石头人的肩时,预示下游将受到洪水的威胁;当水位低于石头人的脚背时,预示下游将出现干旱。这种标定水位的办法如同现今的水尺,是我国水利工程测量发展的标志。北宋的科学家沈括主持进行的 840 多里水准测量,测得京师(今开封)的地面比泗州高出十九丈四尺八寸六分,达到了厘米级的精度。元代天文和水利专家郭守敬首次以海平面为基准,测量黄淮平原高低,确立“海拔”的高程含义,对测绘工作产生深远影响。

我国的地籍管理和土地测量最早出现在殷周时期,秦、汉过渡到私田制,隋唐实行均田制。从秦、汉到唐朝,人口、土地和赋税都登记在一起,并以户籍登记为主。到了明清两代,对全国土地进行了大清查,编制了鱼鳞图册,是世界最早的地籍图册。

中华民族伟大象征的万里长城修建于秦汉时期,这一规模巨大的防御工程从整体布局到修筑,都进行了详细的勘察测量和施工放样工作。

战争也促进了测绘学的发展。如中国战国时期修筑的午道、公元前 210 年秦始皇修建的“蜚山埋谷,千八百里”的直道、古罗马构筑的兵道以及公元前 218 年欧洲修建的通向意大利的“汉尼拔通道”等,都是著名的军用道路,修建中都要应用测量工具进行地形勘测、定线和隧道测量。唐代李筌指出“以水佐攻者强……先设水平测其高下,可以漂城,灌军,浸营,败将也”,说明了测量地势的高低对军事成败的作用。

2. 大地测量的发展

随着人类对生存范围认识的扩大,对地球本身认知的需求也逐步强烈,测绘工作也逐

步由粗糙向精细方向发展。人们通过对星空的观察，推测地球应是一个圆球。月食时，地球投射到月球上的影子边缘是圆弧形的事实也证明了这一点。

在实际生活中，人们认识到：假若地球是平面，远航而去的船只天际处应缩小为一点，但事实上是船体首先在人们的视线中消失，其次是桅杆，这说明地球是球形的，如图 0-1 所示。

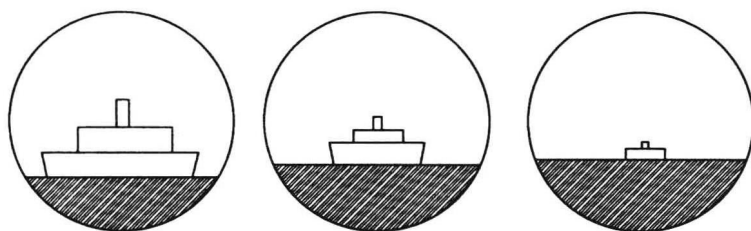


图 0-1 大海中远航的船只

公元前 6 世纪至公元前 4 世纪，米勒人阿那克西曼德（公元前 610—前 547 年）提出了地球形状的假说，认为地球是一个椭圆形。大约在公元前 250 年，居住在埃及亚历山大城的古希腊学者埃拉托色尼（公元前 276—前 195 年）获悉距此地 5000 古希腊里（约合 925km，1 古希腊里 $\approx 185\text{m}$ ）远的赛伊尼城（即现在的阿斯旺）有一口深井，每年在 6 月 21 日（夏至）这一天，阳光可以直射井底。他推测夏至这一天那里的太阳恰好在头顶上，这说明赛伊尼城一定位于北回归线上。第二年的夏至，他在亚历山大城观测到正午的光线与南地平的角度为 $82^{\circ}48'$ ，将两地的垂直线延长至地球球心，所成的垂线夹角则为 $7^{\circ}12'$ 。该夹角所对应的两地弧距也是 $7^{\circ}12'$ ，恰为整个圆周的 $1/50$ 。用 50 去乘亚历山大城至赛伊尼城的距离，可以计算出地球的周长为 250000 古希腊里（约合 46250km），如图 0-2 所示。埃拉托色尼采用的方法是正确的，但其测量和估算含有误差，故其测算的地球周长比实际数字大约长了 15%。如今人们可以采用同样的方法，通过精确测量计算地球的大小。

天文学家吉帕尔赫（公元前 160—前 125 年）创立了透视投影法，利用天文测量方法测定地面点的经度和纬度，提出将地球圆周划分为 360° 。公元 724 年，中国唐代太史监南宫说在张遂（僧人，法名一行）的指导下，在现今河南滑县附近、开封西北、扶沟和上蔡四地用日圭测太阳的阴影求纬度之外，还用测绳丈量了其间的三段距离（长约 300km），求得地球子午线一度之长相当于 351.27 唐里，这是世界上最早有记载的弧度实际测量。宋代沈括曾在 1076—1087 年间绘制《天下州县图》，他还在 1072—1074 年间创用分层筑堰法，使用水平尺、罗盘进行地形测量，并且制作了表示地形的立体模型，称为“木图”，比欧洲最早的地形模型早七百余年。元代郭守敬（1231—1316 年），在他倡议下进行了大规模的天文测量，拟定了全国纬度测量计划，共实测了 27 个点。18 世纪初，即清代初年，进行了大地测量，在这个基础上开展了全国测图工作，于 1708—1718 年间完成了《皇舆全图》。

17 世纪末，英国的牛顿和荷兰的惠更斯首次从力学的观点探讨地球的形状，提出地球是两极略扁的椭球体。1735—1741 年，法国科学院派遣测量队在南美的秘鲁和北欧的拉普兰进行弧度测量，证明了这一观点。

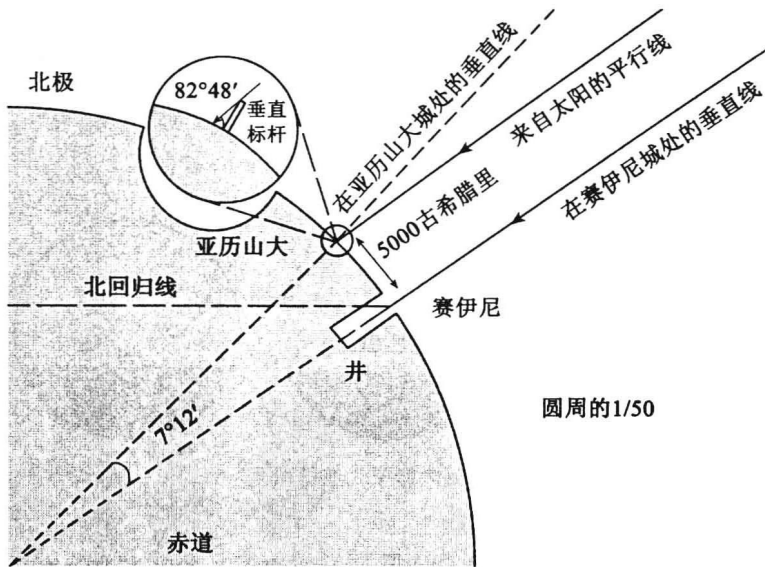


图 0-2 地球子午圆弧长测量

3. 近代测绘科学的发展

17 世纪初，望远镜开始应用于各种测量仪器，1730 年，英国的西森制成测角用的第一台经纬仪。在这一时间段内，欧洲相继发明了小平板仪、大平板仪和精确的长度杆尺、水准仪等测量工具。德国的高斯在 1794 年应用最小二乘理论推演了谷神星的轨迹，并于 1809 年在他的著作《天体运行论》中导出了最小二乘法原理，并把这一理论运用到测量平差处理中。1839 年，法国的达意尔发明了摄影术，为摄影测量开创了条件。1851—1859 年，法国陆军上校劳赛达特提出了交会摄影方法，并测绘了万森城堡图。1903 年，莱特兄弟发明飞机，使航空摄影测量有了真正的工具，随即首台航空摄影机问世。1909 年，美国的 W. 莱特 (W. Wright) 第一次从飞机上对地面拍摄像片，实现了真正的航空摄影。1915 年，德国制成第一台能自动连续对地面摄影的航摄仪，自此，航空摄影测量开始得到快速发展，从而使测图工作部分由野外转移到室内，不仅减轻了劳动强度，而且提高了生产效率。

20 世纪 40 年代，自动安平水准仪问世。1947 年，光波测距仪问世，使长期以来艰苦的测距工作发生了根本性的变革，彻底改变了测量工作中以测角换算距离的状况。20 世纪 70 年代，除了用飞机进行航空摄影测量测绘地形图外，还通过人造卫星拍摄地球的照片，监测自然现象的变化，并利用遥感技术测绘地图。由于卫星定位具有全球、全天候、快速、高精度和无需建立高标等优点，被广泛应用于大地测量、工程测量、地形测量、军事及民用的导航、定位等，开创了测绘科学技术的新时代。

0.2.2 地图学的历史与发展

地图学是一门古老的科学，有着悠久的历史，在长期的生产实践中逐渐充实和完善。研究地图学发展的历史轨迹，可以让我们更好地认识地图学发展的基本规律，理解当今地

图学的发展趋势。

1. 古代地图的起源与发展

自有人类开始，人们就在不断地对自己生活的地理环境进行探索和感知，寻找描述和分析地球表面空间事物的工具，从交通运输、农田水利、市政建设管理、疆土区域的划分及行军打仗，都离不开空间信息，地图是最有效的记录和表达方法。它的产生和发展是人类活动的实际需要。

古代巴比伦人可以称得上是世界上最早的地图绘制者。当时的巴比伦人是用木制的尖笔在粘土刻写板上绘制地图的。尖笔是一种笔尖锋利的书写工具。这样的地图最早可以追溯到公元前 2300 年。已经发现的最古老的原始地图是古巴比伦人在陶片上绘制的美索不达米亚地区的古巴比伦地图，迄今已有 4500 余年的历史，这是一块手掌大小的陶片，刻画着巴比伦时代的世界。底格里斯河和幼发拉底河发源于北方的山地，流过南方的沼泽，中央是古老的巴比伦城，如图 0-3 所示。



图 0-3 陶片上的古巴比伦地图

早在远古时期，中国人已经开始制作地图了。根据史料记载，“九鼎图”堪称为中国最早的地图。

“禹铸九鼎”是中华民族最著名的古老传说之一。据公元前 2 世纪史学家司马迁撰写的《史记》记载，公元前两千多年以前，大禹用青铜铸造了九座宝鼎，分别代表天下九州。尽管没有更多的史料核实这一传说，但是依据其他史书的记载可以确信，九鼎图出现的时间不晚于商朝末年（约公元前 11 世纪）。公元前 5 世纪成书的《左传》记载，公元前 12 世纪周武王灭商后曾将九鼎迁移到雒邑，即现今河南洛阳市一带。

刻载华夏地图的九鼎一直被视为王权的象征，许多古代帝王认为占有九鼎意味着拥有

了天下。据公元1世纪史学家班固在《汉书》中的记载,自夏、商、周直至战国时期,历代君王都视九鼎为极其贵重的神品。《史记·始皇本纪》记载,秦国从周王朝夺得九鼎之后,在一次交战中不慎将九鼎失落在河中。为了寻找九鼎,秦始皇令千人下水打捞,但没有任何结果,从此,九鼎失去了踪迹。

西周初期(公元前约1020年),周召公为修建洛邑时绘制的洛邑城址地图便是我国地图史上第一幅具有实际用途的城市建设地图。由于地图有明疆域田界的作用,所以从周朝开始,地图就被统治阶级作为封邦建国、管理土地必不可少的工具。最早《周官》就提出“地讼,以图正之”。由于地图的重要作用,掌握图籍的官吏也普遍受到人们的尊敬,连孔子见了“负版者”也要下车行礼,表示敬意。

春秋以后,分封的列国互相争斗、兼并,促进了军事地图的发展。战国(公元前640年以前)成书的《管子·地图篇》对地图的作用与利用有详细的论述:“凡主兵者,必先审知地图。纒轅之險,濫車之水,名山、通谷、經川、陵陸、丘阜之所在,芑草、林木、蒲葦之所茂,道里之遠近,城郭之大小,名邑、廢邑,困殖之地,必盡知之。地形之出入相錯者,盡藏之。然後可以行軍襲邑,舉措知先後,不失地利,此地圖之常也。”战国后期,进贡疆土地图往往有臣服或归附的意思,《战国策》记载着荆轲为刺秦王而献督亢地图,荆轲就是利用奉献燕国督亢地区之图,图谋杀害秦王,说明地图象征着国家主权和疆域土地。

1986年,考古人员从甘肃省天水市放马滩战国秦墓中出土了七幅地图。由于这七幅地图都用墨线绘在四块大小基本相同的松木板上(长26.7cm、宽18.1cm、厚1.1cm),学术界将它们统称为《放马滩木板地图》,如图0-4所示。根据同时出土的竹简纪年和随葬品,这七幅木板地图被断定为秦王政八年(公元前239年)时期的作品。《放马滩木板地图》描绘了秦国邦县地区几处地域的地理状况(现今甘肃天水一带)。按其用途,七幅木板地图可分为《政区图》、《地形图》和《林木资源图》。从这些图中,不仅能辨认出山川、河流、居民点、城邑,还可看到各地之间相距的里程数据。可见,这些地图都是基于实际测量绘制的实测图,是目前存世最早的地图。此七幅地图都以南北竖列为图式。其中一幅明显以北为上方,另外六幅虽然注释文字的书写方向不一致,但有学者认为,这六幅地图也都以北为上方。史学界对《放马滩木板地图》给予了很高的评价,认为这些图以水系作为绘图框架,不仅标有注释和符号,而且还采用了比例尺的绘图理念。这些内容反映出战国时期地图绘制技术已经达到了较高的水平。

1973年,在湖南长沙马王堆三号汉墓出土的三幅锦帛地图与放马滩地图残片大致属于同一个时代。它们都是公元前2世纪的作品,距今已有2100多年。三幅锦帛地图不仅是稀世之宝,而且具有很高的学术价值。根据图的内容,学界将它们分别命名为《地形图》、《驻军图》和《城邑图》。《地形图》和《驻军图》出土时状况良好,已被整理复原;《城邑图》却破损严重,目前仍在修复之中。

《地形图》是一幅长、宽均为96cm的正方形地图,其方位以南为上,如图0-5(a)所示。《地形图》的绘制水平很高,以统一的符号、图例表现出丰富的地理信息。图中由细到粗的渐变线,按流水方向示意出30多条河流;方框符号标注出8个县城所在的地理位置;大小不等的圆圈代表70多个乡、里级村庄;层层鱼鳞状曲线反映了峰峦起伏的地貌;水平山形线和陡崖符号显示出山脉;闭合曲线、晕线表示山脉的走向。经推算,《地

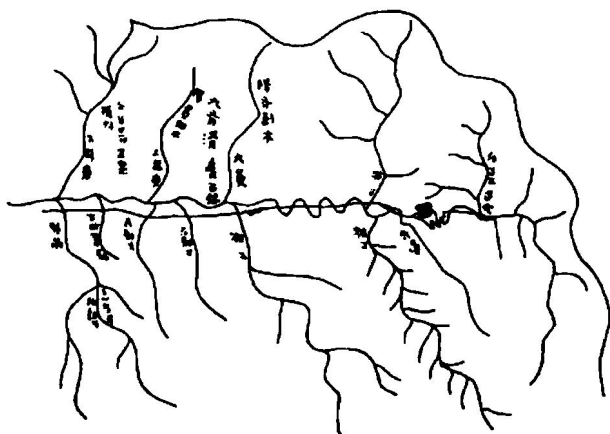


图 0-4 放马滩出土木质地图的墨线图

形图》采用了比例尺绘图法，其比例在 1/17 万到 1/19 万的范围内。和现代地图 0-5 (b) 极其相似，足见其精度。

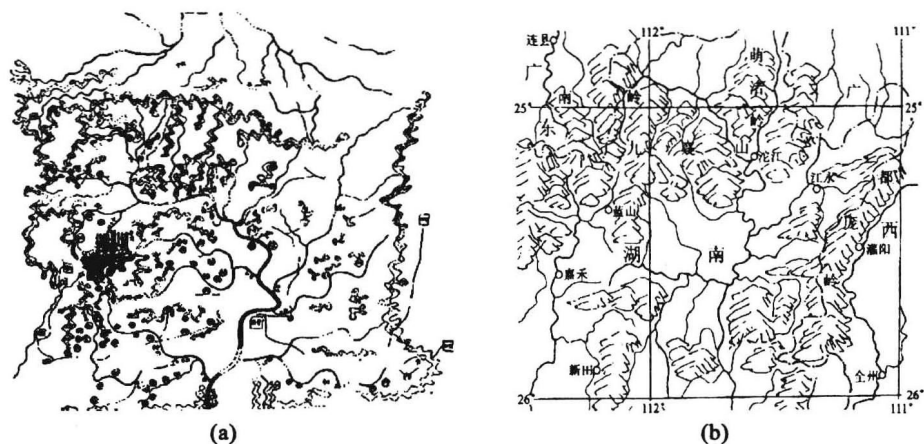


图 0-5 马王堆出土的地形图

《驻军图》长 98cm、宽 78cm，是一幅以黑、红、田青三色绘成的军事地图。图中黑色“山”字象形符号代表山脉；青色水流表示河流、湖泊；黑底套红标注出军队驻地；红色虚线示意军队行动通路；红色三角形和黑色圆圈分别表示城堡或居民点。此图运用色彩作为标记，使人看后一目了然。《城邑图》高约 40cm、宽 45cm 左右，图上绘有城垣范围、城门堡、城墙上的楼阁、城区街道、宫殿建筑等。

地图既是地理、地貌的记录，又是测量、计算和绘制等技术水平的综合反映。从上述几幅古地图可以看出，秦汉时期，中国人已经掌握了高水平的测量手段和计算方法。《放马滩木板地图》和马王堆西汉地图所绘的地域均是地形复杂、地貌变化多端的区域，把山脉、河流、湖泊等地形地貌按照几乎相同的比例画成地图，这在当时是一件高科技含量

的工作。完成这种工作不仅需要经过精确的实地测量，还必须通过数学运算将测出的距离换算成地图上的尺寸长度。特别是对于带有弧形、曲线和三角形的地形、地貌，不仅需要高水平的测量手段，还须掌握圆形和三角形的计算方法，否则无法将实际地貌按同比描绘在地图上。

传统史学观点认为，中国古代地图学始于魏晋时期。然而，《放马滩木板地图》和马王堆西汉地图却反映出早在秦汉时期中国已初步形成了自成体系的地图学。这几幅地图不仅运用了统一的标识、符号，而且还采用了比例尺绘图法。这些地图的准确性反映出两千多年以前中国古代地图学家已经将数学应用于制图。当然，从上述几幅地图也可看出，秦汉时期地图的方位并没有形成固定的格局。《放马滩木板地图》以北为上，而马王堆西汉地图却以南作为地图的上方。

在中国古代地图史中，《放马滩木板地图》和马王堆西汉地图具有特殊的意义。尤其是长沙马王堆汉墓出土的古代地图是震惊中外的发现，给中外地图制图学史增添了新的光辉灿烂的一页。它的时间之早、位置之精、内容之丰富、绘制水平及其使用价值都处于世界领先地位。

2. 古代地图学的基石

古希腊的托勒密（公元 90—168 年）和我国的裴秀（公元 224—273 年）好似两颗灿烂的明星，东西辉映。

托勒密是西方重要的天文学家、地图学家，托勒密时代相当于中国东汉后期，晚于《马王堆汉墓地图》约 300 年，他在前人科学成就的基础上完成了一部名著《地理学指南》。他的《地理学指南》除前面两卷导言之外，后面六卷包括 27 张地图和 8000 个地点的经纬度表，精确度达到了 $1/12$ 度，但经度的确定是靠推测而不是实测的，当时完全不具备这样的条件。尽管如此，托勒密还是将马里纳斯估计的亚洲长度（从石塔到中国京城距离）大大缩短了，事实证明托勒密的计算是正确的。在托勒密所画的最大地图包括 180° 经度和 80° 纬度的范围，他曾试图把子午线和纬线都画成曲线，以便把地表的曲率更精确地表现出来，但由于从边远地区得来的资料的精确度很差，实际效果并不好。

托勒密还确立地球经度为 360° 的概念，他设计了两种地图投影，一种是简单的圆锥投影，一种是球面投影。

裴秀是我国古代杰出的地图学家。裴秀担任过司空、地官，专管国家的户籍、土地、税收和地图，后任宰相，他以当时《禹贡》为依据进行了核查，绘制了 18 幅《禹贡地域图》，并将《天下大图》缩制为《方丈图》。更为重要的是，裴秀总结了前人和自己的制图经验，创立了新的制图理论“制图六体”，即分率、准望、道里、高下、方邪、迂直。“分率”即比例尺，“准望”即方位，“道里”即距离，“高下”即相对高程，“方邪”即地面坡度起伏，“迂直”即实地的高低起伏距离与平面图上距离的换算。裴秀还反复阐述了“六体”之间相互制约关系及其在制图中的重要性。他认为，绘制地图如果只有图形而没有比例尺（分率），无法进行实地和图上距离的比较和量测；如果有比例而不考虑方位（准望），那么在地图的一隅虽然可能达到足够的精度，但在地图的其他部分就一定会相差很远，有了方位而没有道路里程（道里），就不知道图上各地物的远近，居民地之间就如同山海阻隔，“不能相通”，有了“道里”而没有按“高下”、“方邪”、“迂直”来校正，那么道路的里程必然和实际的距离有差别，结果方位又会发生偏差。所以，“制图六