



普通高等教育规划教材

MEIKUANG CELIANGXUE

# 煤矿测量学

郭玉社 燕志明 主 编  
陈 杰 郝志峰 副主编



化学工业出版社

普通高等教育规划教材

# 煤矿测量学

郭玉社 燕志明 主 编  
陈 杰 郝志峰 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

全书共十二章，主要内容包括测绘基本知识和生产矿井测量两部分。第一～四章简要介绍测绘学基本理论、基本知识、常用测绘仪器的构造及使用方法；第五章介绍大比例尺地形图的基本知识及其在煤矿建设和生产中应用；第六～十章重点介绍矿井联系测量、井下控制测量、巷道施工测量、贯通测量以及验收测量；第十一章介绍了矿图的种类、投影知识及生产矿井必备的几种矿图的内容和应用。第十二章介绍煤矿开采损失与保护。

本书主要供应用型本科采矿工程专业、土木工程（地下工程方向）专业学生使用，也可作为高职高专采煤专业教材和煤矿安全技术管理人员的培训教材和参考书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

煤矿测量学/郭玉社, 燕志明主编. —北京: 化学工业出版社, 2015. 2

普通高等教育规划教材  
ISBN 978-7-122-22734-8

I. ①煤… II. ①郭…②燕… III. ①矿山测量-高等学校-教材 IV. ①TD17

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 007089 号

---

责任编辑: 张双进  
责任校对: 边涛

文字编辑: 孙凤英  
装帧设计: 王晓宇

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装订: 三河市市新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 14 1/2 字数 357 千字 2015 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 33.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

本书根据采矿工程专业人才培养方案及教学大纲编写。针对现代煤矿建设、生产的特点，系统、简要地介绍基本理论、基本知识，注重学生的专业技术应用能力的培养。编写中，力求系统完整、文字表述流畅，内容切合现代化煤矿安全生产的实际，跟踪测绘新设备、新技术、新方法在煤矿安全生产技术管理中的应用。

本书编写分工：山西大同大学郭玉社编写第一、八、十一章，陈杰编写第四、五章，梁洁编写第十二章；内蒙古科技大学燕志明编写第六、七、九章；吕梁学院郝志峰编写第二、三章，赵志云编写第十章。本书由郭玉社、燕志明共同担任主编，郭玉社统稿，陈杰担任部分插图的设计和绘制。山东科技大学郑文华教授审阅全书，并提出了宝贵的修改意见，为此编者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，难免存在不妥之处，敬请使用本教材的教师和读者批评指正。

编者

2015年1月

# 目 录

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
一、测绘科学的分类	1
二、煤矿测量学研究内容及作用	2
三、本课程的主要任务	3
第二节 地面点位置的确定	3
一、地球的形状和大小	3
二、确定地面点位置的方法	4
三、用水平面代替水准面的限度	8
本章小结	9
习题	9
第二章 水准测量	10
第一节 水准测量原理	10
第二节 水准测量的仪器和工具	11
一、水准仪的构造	11
二、水准尺和尺垫	16
第三节 水准仪的使用	17
一、微倾式水准仪的使用	17
二、自动安平水准仪的使用	18
三、电子水准仪的使用	18
第四节 水准测量的方法	19
一、水准点和水准路线	19
二、水准测量	21
第五节 水准测量数据处理	24
一、附和水准路线	24
二、闭合水准路线	26
三、支水准路线	26
本章小结	26
习题	27
第三章 角度测量	28
第一节 角度测量原理	28
一、水平角测量原理	28
二、竖直角测量原理	28
第二节 角度测量仪器及其使用	29
一、经纬仪的构造	29
二、经纬仪的使用方法	33
第三节 水平角观测	35

一、测回法 .....	35
二、角度测量注意事项 .....	37
第四节 竖直角测量方法 .....	37
一、竖直角构造 .....	37
二、竖直角计算公式 .....	37
三、竖盘指标差 .....	39
四、竖直角观测 .....	40
本章小结 .....	40
习题 .....	40
第四章 距离测量与直线定向 .....	42
第一节 钢尺量距 .....	42
一、量距的方法 .....	42
二、钢尺量距注意事项 .....	47
第二节 视距测量 .....	47
一、视距测量的原理 .....	47
二、视距测量注意事项 .....	50
第三节 光电测距 .....	50
一、光电测距原理 .....	50
二、光电测距方法及注意事项 .....	51
第四节 直线定向 .....	53
一、标准方向 .....	53
二、直线方向的表示方法 .....	54
三、坐标方位角的特性 .....	55
四、方位角的推算 .....	56
五、用罗盘仪测定磁方位角 .....	56
本章小结 .....	58
习题 .....	58
第五章 测量误差的基本知识 .....	60
第一节 测量误差的来源与分类 .....	60
一、测量误差的来源 .....	60
二、测量误差的分类及性质 .....	61
第二节 评定精度的标准 .....	63
一、中误差(标准差) .....	63
二、允许误差 .....	66
三、相对误差 .....	66
第三节 误差传播定律 .....	66
一、和差函数 .....	66
二、倍数函数 .....	67
三、线性函数 .....	68
四、一般函数 .....	69
本章小结 .....	70
习题 .....	70

<b>第六章 矿区控制测量</b> .....	71
<b>第一节 控制测量概述</b> .....	71
一、国家平面控制测量 .....	71
二、国家高程控制测量 .....	72
三、矿区平面控制网的布设 .....	72
四、矿区水准网的布设 .....	75
<b>第二节 导线测量</b> .....	76
一、导线的形式 .....	76
二、导线测量的外业工作 .....	76
三、导线测量内业工作 .....	77
四、导线测量粗差查找 .....	82
<b>第三节 高程控制测量</b> .....	83
一、技术要求 .....	83
二、四等水准测量实施 .....	84
三、三角高程测量（测距仪、全站仪） .....	86
<b>第四节 用全球定位系统进行控制测量</b> .....	88
一、全球定位系统概述 .....	88
二、GPS 测量的实施 .....	92
三、GPS 定位系统进行矿区控制测量实例 .....	95
本章小结 .....	97
习题 .....	98
<b>第七章 地形图的基本知识</b> .....	100
<b>第一节 地形图的比例尺</b> .....	100
一、比例尺的表示方法 .....	100
二、比例尺精度 .....	101
<b>第二节 地形图的分幅与编号</b> .....	102
一、梯形分幅与编号 .....	102
二、矩形分幅与编号 .....	103
<b>第三节 地物及地貌表示方法</b> .....	104
一、地物的表示方法 .....	104
二、地貌的表示方法 .....	105
<b>第四节 地形图测绘</b> .....	109
一、测图前的准备工作 .....	109
二、传统测图方法测图 .....	111
三、数字测图方法测图 .....	117
<b>第五节 地形图的识读</b> .....	133
一、地形图图廓外注记 .....	133
二、坐标系统和高程系统 .....	135
三、地形图式和等高线 .....	135
<b>第六节 地形图的应用</b> .....	135
一、在图上求坐标、距离及角度 .....	135
二、确定地面点的高程和斜坡的坡度 .....	136

三、根据规定坡度在地形图上设计最短路线·····	137
四、绘制某方向的断面图·····	138
五、填挖边界线的确定·····	138
六、确定汇水面积·····	139
本章小结·····	140
习题·····	140
<b>第八章 矿井联系测量</b> ·····	<b>141</b>
第一节 概述·····	141
第二节 近井点与井口高程基点·····	141
一、近井点与井口高程基点的布设·····	141
二、测定方法·····	142
第三节 平面联系测量·····	142
一、一井定向·····	142
二、两井定向·····	144
三、陀螺经纬仪定向·····	146
第四节 高程联系测量·····	147
一、钢丝导入标高·····	148
二、光电测距仪导入标高·····	148
本章小结·····	149
习题·····	149
<b>第九章 井下控制测量</b> ·····	<b>150</b>
第一节 井下平面控制测量·····	150
一、概述·····	150
二、井下导线测量作业·····	151
第二节 井下高程测量·····	153
一、概述·····	153
二、井下水准测量·····	154
三、井下三角高程测量·····	155
本章小结·····	156
习题·····	156
<b>第十章 矿井施工测量</b> ·····	<b>157</b>
第一节 井筒施工测量·····	157
一、井口位置及十字中线标定（井筒中心和十字中线标定）·····	157
二、立井施工测量·····	158
第二节 巷道中线的标定·····	161
一、直线巷道中线的标定·····	161
二、巷道偏中线的标定·····	164
三、曲线巷道中线的标定·····	164
第三节 巷道腰线的标定·····	168
一、水平巷道腰线的标定·····	168
二、倾斜巷道腰线的标定·····	169
三、平巷与斜巷连接处腰线的标定·····	171



第四节  激光指向	172
一、激光指向仪简介	172
二、激光指向仪的安装、使用和维护	172
本章小结	173
习题	173
<b>第十一章  矿图的识读与应用</b>	175
第一节  概述	175
一、矿图的种类	175
二、矿图的分幅与编号	176
三、矿图图例符号	176
第二节  标高投影	178
一、点的标高投影	179
二、直线的标高投影	179
三、平面的标高投影	182
四、空间直线与平面的相互位置	183
第三节  采掘工程平面图	186
一、采掘工程平面图的内容	186
二、采掘工程图的识读方法	186
三、采掘工程平面图的应用	187
第四节  煤层底板等高线及储量计算图	190
一、煤层底板等高线及储量计算图的主要内容	191
二、煤层底板等高线及储量计算图的识读	191
三、煤层底板等高线及储量计算图的应用	191
第五节  龙软地测空间管理信息系统简介	193
一、龙软 GIS 地理信息系统基础平台	193
二、地测空间管理信息系统	195
本章小结	204
习题	204
<b>第十二章  开采损失与保护</b>	205
第一节  开采移动的基本概念	205
一、岩层移动和破坏形式	205
二、地表移动与破坏	208
三、地表移动盆地分析	213
四、地表移动及变形对建筑物的破坏	216
第二节  保护煤柱的留设	217
一、保护煤柱留设的意义	217
二、保护煤柱留设原理	218
三、保护煤柱留设所用参数	218
四、保护煤柱留设方法	219
本章小结	222
习题	222
<b>参考文献</b>	223

# 第一章 绪 论

## 第一节 概 述

测绘学 (geomatics) 是一门古老而又具有时代特征的科学。随着人类的进步、经济的发展和科技水平的提高,测绘科学的理论、技术、方法及其学科内涵也随之不断地发生变化。人类进入 21 世纪以来,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正在步入数字化、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、管理和利用的科学技术。

### 一、测绘科学的分类

现代测绘科学技术的服务对象和范围越来越广泛,已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。目前测绘学可分成下面几门学科。

大地测量学 (geodesy) 它是研究地球的形状、大小和重力场,测定地面点的几何位置和地球整体和局部运动的理论和技术的学科。其基本任务是建立和维护全球和区域大地测量系统和大地测量参考框架,为地理信息系统、数字地球、数字中国和数字区域提供物理和几何的基础平台。20 世纪 80 年代以来,随着空间技术、计算机技术和信息技术的飞跃发展,大地测量学按照其研究的内容又可分为实用大地测量学、椭球面大地测量学、物理大地测量学和卫星大地测量学。

(1) 摄影测量学 (photogrammetry) 它是研究利用摄影或遥感的手段获取目标物的影像数据,从中提取几何的或物理的信息,并用图形、图像和数字形式表达测绘成果的学科。根据与目标物的关系和获取影像的方法不同,摄影测量学又可分为航空摄影学、航天摄影学、航空航天摄影测量学、地面摄影测量学等。

(2) 海洋测绘学 (marine surveying) 它是研究以海洋水体和海底为对象所进行的测量和海图编制理论和技术的学科。主要包括海道测量、海洋大地测量、海底地形测量、海洋专题测量以及航海图、海底地形图、各种海洋专题图和海洋图集的编制。

(3) 地图制图学 (mapping) 它是研究模拟地图和数字地图的基础理论、地图设计、地图编制和复制的技术方法及其应用的学科。它的任务是按一定的数学原理,利用已有的测量成果或经过处理的信息 (数字与图像),研究如何编制、印刷和出版各种地图。

(4) 工程测量学 (engineering surveying) 它是研究工程建设和自然资源开发各个阶段所进行的测量工作的理论和技术的科学,是测绘学在国民经济和国防建设中的直接应用。它的主要任务有两点:一是确定现实世界中被测对象上任意一点在某一坐标系中用二维或三维坐标来描述的位置,二是将设计的或具体的物体根据已知数据安置在现实空间中的相应位置。前者称为测量,后者称为放样或测设。工程测量学是以某一工程作为研究对象,所以又分为矿山、土木工程、线路工程、水利、国防等工程测量。

测绘科学是以上各门学科的总称,上述各门学科既自成体系,又密切联系,既分工明

确，又相互配合、互为所用。

随着科学技术的发展，测绘科学在国民经济建设和国防建设中的作用日益增大，目前，在地质勘探、矿业开发、工业与民用建筑、交通运输、桥梁隧道、农田水利、城市规划、地震预测预报、国土开发、灾情监视与调查、空间技术以及现代战争中，从战略部署到指挥各兵种、军种联合作战及洲际导弹的发射等，无不需测绘工作保障与配合。测绘工作在各项建设事业中，都得到广泛的应用。

## 二、煤矿测量学研究内容及作用

煤矿测量学是研究煤矿在建设和生产过程所进行的测量工作的理论、方法和技术的学科。它是根据煤矿建设和生产的需要，集地形测量和工程测量有关内容为一体，因此它属于工程测量学的范畴。其研究的对象是煤矿建设和生产的安全生产和技术管理，从这个意义上讲，煤矿测量又是采矿科学的重要组成部分，是采矿工程学的一个重要分支。它是以测量、计算和绘图（包括纸质和数字形式）为手段，研究处理煤炭开发过程中的各种空间几何问题，为煤矿建设生产和技术管理提供图纸、资料。

煤矿测量是煤炭开采过程中不可或缺的一项重要的基础性工作，在煤矿的资源勘查、设计、建设、生产各个阶段直至煤矿报废，都需要进行测量工作。

煤矿测量的任务包括以下几项：

- ① 建立井田控制测量系统，测绘大比例尺地形图；
- ② 煤矿建设和生产中的地面及井巷工程施工测量；
- ③ 建立井下控制测量系统，测绘各种矿山测量图及矿山专用图；
- ④ 对煤炭资源利用及生产情况进行检查和监督；
- ⑤ 观测和研究由于开采所引起的地表及岩层破坏的规律，组织开展“三下”（建筑物下、铁路下、水体下）采矿和煤柱留设的实施方案；
- ⑥ 进行矿区土地复垦和环境综合治理研究。

煤矿测量的数据和矿图是生产矿井进行采区技术设计、矿井生产、储量管理、矿井安全管理、矿产资源开发对环境影响评估的基础性依据，为矿山地理信息系统（mine GIS）提供了基础框架。煤矿测量有如下作用。

第一，在安全生产方面起保障、指导作用。充分利用各种矿山测量图，为安全生产、矿井防治水提供基础保障资料；同时根据开采所引起的地表及岩层破坏的规律，预测煤层开采后引起的岩层及地表移动及破坏的范围，以避免建筑物的破坏和人身安全事故的发生。

第二，在均衡生产中起保证作用。及时测绘、提供反映生产状况的各种图纸资料，准确掌握各种资源储量的变动情况、“三量”（开拓煤量、准备煤量、回采煤量）关系，保证矿井生产均衡、高效。

第三，在充分开采地下煤炭及矿物资源和采掘工程质量方面起监督作用。煤矿测量人员应依据有关法律法规，经常检查各种已经完成的采掘工程质量，监督充分合理采出有用的矿物和煤炭资源，减少浪费。

煤矿测量工作按其性质可分为外业和内业两部分。外业工作是指在地面或井下用各种测绘仪器和工具在现场直接采集的各点间的距离，包括水平距离、倾斜距离和垂直距离（高差），量测直线之间的夹角，包括水平角、竖直角；内业是指在室内对外业采集、量测的原始数据进行分析、整理、计算处理以数据或图像的形式显示和管理，为采区设计、矿井安全生产、技术管理服务，指导矿井安全生产。

矿井测量必须遵循测量工作的原则，即“由整体到局部、先控制后碎部、高级控制低级”“步步工作有检核”。

### 三、本课程的主要任务

① 学习普通测绘仪器的使用方法，熟悉地形图在矿井安全生产中应用。学习矿图绘制原理、内容、矿图的识读和应用。

② 学习矿井测量的基本内容，将矿井生产中的各种设计工程，按照其几何关系，用测量仪器、工具测设到地面或井下，指导矿井安全生产。

煤矿测量学是开采工程专业基础课程。本课程的目的是通过课堂教学、课间实验和相应的教学实习，了解测绘学科的基本知识、测绘科学的新技术新方法；熟悉常用测绘仪器的使用 and 操作方法、煤矿测量的基本内容和方法；了解矿图的绘制原理，熟悉矿图的内容和基本要求，掌握矿图和测绘资料在煤矿安全生产和技术管理中的应用方法。为将来从事煤矿安全生产和技术管理，利用测绘资料解决和协调矿井开拓、采区准备、综采工作面等安全生产问题打下坚实的基础。

## 第二节 地面点位置的确定

测量工作的实质就是确定地面点的空间位置，确定地面点位置首先要了解地球的形状和大小，并且要知道地面点在地球表面上的表示方法。

### 一、地球的形状和大小

地球的表面是极不规则的，其表面有海洋岛屿、江河湖泊、平原盆地、高山丘陵，陆地最高山峰珠穆朗玛峰高出海洋面 8844.43m，海洋最深处马里亚纳海沟达 11022m，相对高差近 20km。尽管有这样大的高低起伏，但与地球平均半径 6371km 相比起来是微不足道的。同时，就整个地球表面而言，海洋面积约占 71%，陆地仅占 29%。因此，假想由静止的海水面延伸穿过陆地与岛屿形成的闭合曲面与地球的总形体拟合，这个曲面称为水准面。在地球重力场中水准面处处与重力方向正交，重力方向线称为铅垂线，是测量工作的基准线。由于受潮汐影响，海水水面时高时低动态地变化，因此水准面有无穷多个，通常把通过平均海水面的水准面称为大地水准面。大地水准面是测量工作的基准面。大地水准面所包裹的地球形状称为大地体，大地体就代表了地球的真实形状和大小。

由于地球内部质量分布的不均匀性，使得铅垂线方向发生不规则变化，处处与重力方向正交的大地水准面也就不是一个规则的数学面，而是一个表面有微小起伏的复杂曲面。在这个面上无法进行测量工作的计算，于是人们选择了一个与大地体的形状和大小较为接近的、经过测量理论研究和实践证明的旋转椭球体来代替大地体，如图 1-1 所示，并

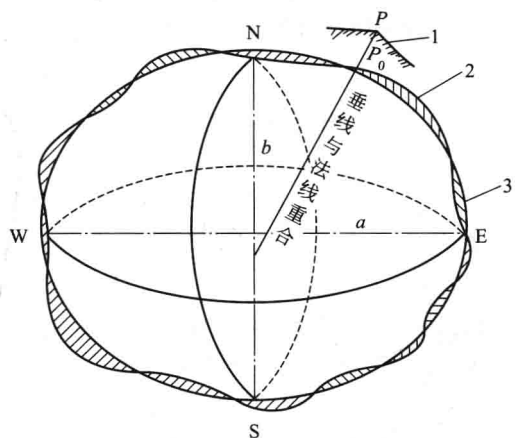


图 1-1 地球表面与大地水准面及参考椭球体相互关系示意图

1—地球表面；2—大地水准面；3—参考椭球体

通过定位使旋转椭球体与大地体的相对关系固定下来，这个旋转椭球体称为参考椭球体。参考椭球体的表面是一个可以用数学公式表达的规则曲面，它是测量计算和投影制图的基准面。

参考椭球体的形状和大小，通常用其长半轴  $a$ ，短半轴  $b$  和扁率  $\alpha$  描述，只要知道其中两个元素，即可确定椭球体的形状和大小。

我国 1954 年北京坐标系采用前苏联的克拉索夫斯基椭球体元素，我国 1980 年西安坐标系采用国际大地测量与地球物理协会 (IUGG) 推荐的 IUGG—75 椭球元素，其值为

$$\text{长半轴 } a = 6378140\text{m}$$

$$\text{扁率 } \alpha = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{298.257} \quad (1-1)$$

1980 年西安坐标系曾命名为 1980 年国家大地坐标系，大地原点设在陕西省西安市泾阳县永乐镇，地球椭球的短轴平行于地球球心指向 1968.0 地极原点 (JYD) 的方向。

$$\text{长半轴 } a = 6378137\text{m}$$

$$\text{短半轴 } b = 6356752.3141\text{m}$$

$$\text{扁率 } \alpha = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{298.257222} \quad (1-2)$$

由于参考椭球体的扁率很小，在普通测量中又近似地把大地体视为圆球体，其半径采用与参考椭球体等体积的圆半径，其值为

$$R = \frac{1}{3}(a + a + b) = 6371\text{km} \quad (1-3)$$

当测区范围较小时，可以直接把测区的球面作为平面，即将水准面作为水平面。

## 二、确定地面点位置的方法

地面点的位置是由该点在椭球面上的位置 (地理坐标) 或投影在水平面上的平面位置 (平面坐标) 及该点到大地水准面的铅垂距离 (高程) 来表示的。

### (一) 地面点的坐标

#### 1. 地理坐标

地理坐标是用经度和纬度表示地面点的位置。如图 1-2 所示， $O$  为地心， $PP'$  为地球旋转轴，简称地轴，通过地轴的平面称为子午面 (如图 1-2 中的平面  $PMP'$ )，子午面与地球表

面的交线称为子午线 (经线)。过地心  $O$  垂直于地轴的平面称为赤道面 (图 1-2 中  $QMM_0Q'$ )，赤道面与地球表面的交线称为赤道。确定地面点的地理坐标，以赤道面和通过英国格林尼治天文台的子午面 (起始子午面，亦称首子午面) 作为基准面。

地面上任意一点的经度，即为通过该点的子午面与首子午面的夹角。以首子午线为基准，向东  $0^\circ \sim 180^\circ$  为东经，向西从  $0^\circ \sim 180^\circ$  为西经。经度相同的点的连线称为经线。

地面上任意一点的纬度，即通过该点的铅垂线与赤道面的夹角。以赤道为基准，向北从  $0^\circ \sim 90^\circ$  为北纬，向南从  $0^\circ \sim 90^\circ$  为南纬。纬度相同的点的连线称

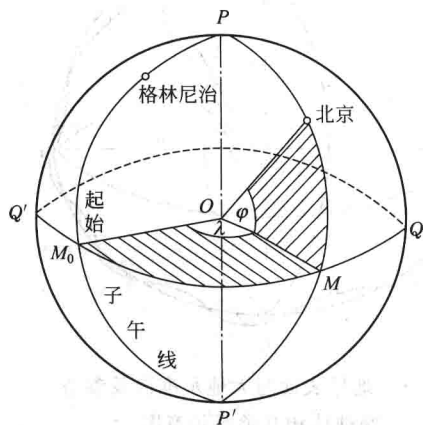


图 1-2 地理坐标示意图

为纬线。

以法线为依据，以参考椭球面为基准面的地理坐标称为大地地理坐标，分别用  $L$ 、 $B$  表示；以铅垂线为依据，以大地水准面为基准面的地理坐标称为天文地理坐标，分别用  $\lambda$ 、 $\psi$  表示。天文地理坐标是用天文测量的方法直接测定的；而大地地理坐标是用根据起始的大地原点的坐标推算的。大地原点的天文地理坐标和大地地理坐标是一致的。

## 2. 高斯平面直角坐标

地理坐标是球面坐标，只能表示地面点在球面上的位置，观测、计算、绘图较为复杂，不能直接用于测绘大比例尺地形图和矿图。因此，必须将地面点的地理坐标转换成平面直角坐标。椭球面上的点的坐标不能直接转换成平面坐标，只有通过投影的方法才能将椭球面上的点、线或者图形投影到平面。这种变换会产生变形，即投影变形，包括长度变形、面积变形和角度变形。

投影的方法很多，归纳起来可分为三大类，即等角投影、等面积投影和任意投影。我国采用高斯-克吕格投影的方法，习惯简称为高斯投影，它是一种等角投影。这种建立在高斯投影面上的直角坐标系称为高斯平面直角坐标系。

高斯投影过程可简述如下：圆柱面与地球椭球在某一子午圈上相切，该子午圈称为中央子午线，又称轴子午线，它也是圆柱面与地球投影后的平面直角坐标系的纵轴（一般定义为  $x$  轴），如图 1-3(a) 所示。将中央子午线东西两侧地球椭球面上的图形按一定的数学法则投影到圆柱面上，然后将圆柱面沿着通过南北两极的母线切开展平，即得到高斯投影的平面图形，如图 1-3(b) 所示。

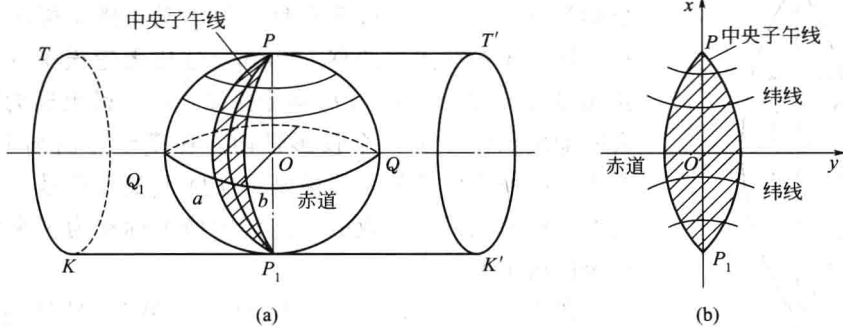


图 1-3 高斯投影示意图

高斯投影前后所有角度保持不变，故高斯投影亦称为等角投影或正形投影。在投影后的高斯平面上，中央子午线投影为直线与赤道垂直且长度保持不变，其余子午线的投影为对称于中央子午线的弧线，而且距中央子午线越远长度变形越大。为了将长度变形控制在允许的范围之内，一般采用分带投影的方法，以经度差  $6^\circ$  或  $3^\circ$  来限定投影带的宽度，简称  $6^\circ$  带或  $3^\circ$  带，如图 1-4 所示。

$6^\circ$  带是从起始子午线开始，自西向东每隔  $6^\circ$  划分一带。整个地球划分为 60 个带，用数字 1~60 顺序编号。 $6^\circ$  带中央子午线的经度依次为  $3^\circ$ 、 $9^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $\dots$ 、 $357^\circ$ ，亦可按下式计算

$$\lambda_6 = 6^\circ N - 3^\circ \quad (1-4)$$

式中  $\lambda_6$ —— $6^\circ$  带中央子午线的经度；

$N$ —— $6^\circ$  带的带号。

$3^\circ$  带是从东经  $1.5^\circ$  子午线开始，自西向东每隔  $3^\circ$  划分为一带，整个地球划分为 120 个投

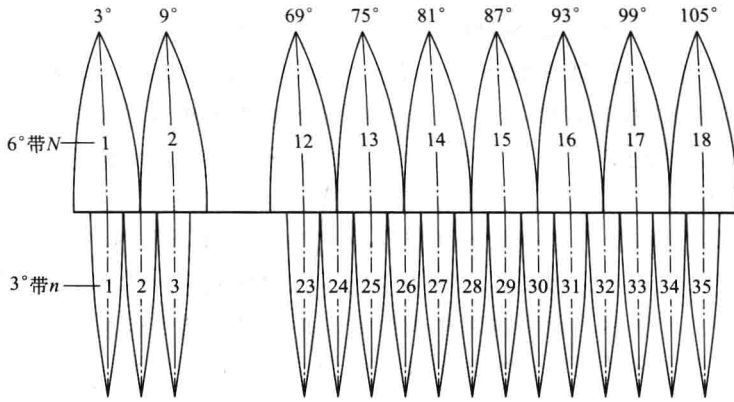


图 1-4 投影带示意图

影带，用数字顺序编号。3°带的中央子午线的经度依次为 3°, 6°, 9°, ..., 360°, 可用下式计算

$$\lambda_3 = 3^\circ N' \tag{1-5}$$

式中  $\lambda_3$ ——3°带中央子午线的经度；  
 $N'$ ——3°带的带号。

将每个投影带沿边界切开，展成平面，以中央子午线为纵轴向北为正，向南为负；赤道

为横轴向东为正，向西为负，两轴的交点为坐标原点，就组成了高斯平面直角坐标系，如图 1-5 所示。我国位于北半球， $x$  坐标为正号， $y$  坐标有正有负。为了避免横坐标出现负值通常将每带的坐标原点向西移 500km，这样无论横坐标的自然值是正还是负，加上 500km 后均能保证每点的横坐标为正值。为了表明地面点位于哪一个投影带内，在横坐标前加上投影带号，因此，高斯平面直角系的横坐标实际上是由带号、500km 以及自然坐标值三部分组成的。这样的横坐标称为国家统一坐标系横坐标通用值。

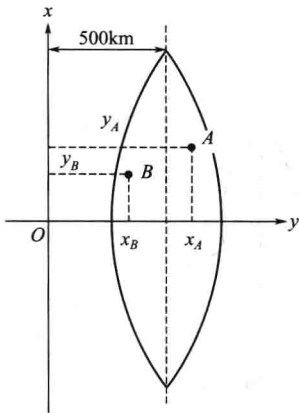


图 1-5 高斯平面坐标系

在图 1-5 中，设  $A$ 、 $B$  两点位于第 20 号投影带内  $y_A = 3868.5\text{m}$ ,  $y_B = -6482.3\text{m}$ , 加上 500km 后  $y_A = 500000 + 3868.5 = 503868.5\text{m}$ ,  $y_B = 500000 - 6482.3 = 493517.7\text{m}$ , 加上带号，则其横坐标的通用值为  $y_A = 20503868.5\text{m}$ ,  $y_B = 20493517.7\text{m}$ 。

由横坐标通用值可以看出，若小数点前第六位数小于 5，则表示该点位于中央子午线西侧，其横坐标自然值取负；反之，位于东侧，自然值取正。在我国领域内，6°带在 13~23 号带之间，而 3°带在 25~45 号带之间，没有重叠带号，因此，根据横坐标通用值就可以判定投影带是 6°带还是 3°带。

由于矿井建设、生产工程，对投影变形的限制很严，要求变形小于 0.025m/km，即投影误差应不超过 1/40000，所以工程测量的中央子午线一般定在市区或矿区的中央，它们不一定是 3°带或 6°带的中央子午线，而有可能是任意中央子午线。大中城市或大型矿区的坐标系统一般是高斯正投影任意带平面直角坐标系，且与国家坐标系进行了联测，可以进行坐标转换。

### 3. 独立平面直角坐标系

在边远地带,当矿区范围较小且暂与国家坐标系无法联测时,可以把该地区的球面直接当作平面,将地面点直接投影到水平面上,用平面直角坐标表示点平面位置。

煤矿测量使用的直角坐标系与数学上的坐标系基本相似,但纵坐标轴为  $x$  轴,正向朝北,横坐标轴为  $y$  轴,正向朝东。象限按顺时针方向编号,对直线方向的表示从坐标纵轴 ( $x$  轴) 的北端开始,顺时针度量至待定向的直线,与数学上的顺序恰好相反。采用这样的表示方法,是为了直接采用数学上的公式进行坐标计算,而不必另行建立数学模型。为了使坐标不出现负值,一般把坐标原点选择在测区的西南角,如图 1-6 所示。

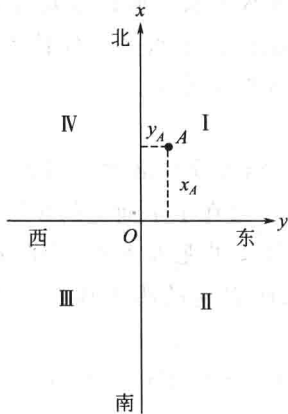


图 1-6 独立平面直角坐标系

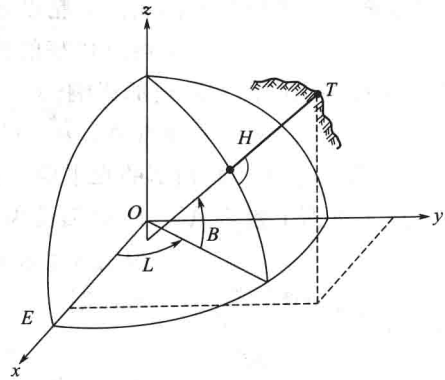


图 1-7 三维空间直角坐标系

### 4. 空间直角坐标系

空间直角坐标系的定义是:原点  $O$  与地球质心重合,  $z$  轴指向地球北极,  $x$  轴格林尼治子午面与地球赤道的交点  $E$ ,  $y$  轴与垂直与  $xOz$  平面构成右手坐标系,如图 1-7 所示。目前 GPS 卫星定位系统已在测量中得到广泛应用,而 GPS 卫星定位在地心空间直角坐标系 (WGS84) 中表示地面点的空间位置。自 2008 年 7 月 1 日起,中国全面启用 2000 国家大地坐标系。2000 国家大地坐标系是全球地心坐标系在我国的具体体现,其原点为包括海洋和大气的整个地球的质量中心。 $z$  轴指向 BIH1984.0 定义的协议极地方向 (BIH, 国际时间局),  $x$  轴指向 BIH1984.0 定义的零子午面与协议赤道的交点,  $y$  轴按右手坐标系确定。

#### (二) 地面点的高程

##### 1. 绝对高程

地面点沿铅垂线方向到大地水准面的距离称为该点的绝对高程,亦称海拔,简称高程。用  $H$  表示。如图 1-8 所示,地面点  $A$ 、 $B$  的绝对高程分别为  $H_A$ 、 $H_B$ 。 $A$ 、 $B$  两点的高差

$$h_{AB} = H_A - H_B \quad (1-6)$$

即地面两点间的高差等于两点的高程之差。

目前,我国采用 1985 年国家高程基准,它是将与黄海平均海面相吻合的大地水准面作为全国高程系统的基准面,在该基准面上绝对高程为零。国家水准原点 (青岛原点) 的高程为 72.260m。

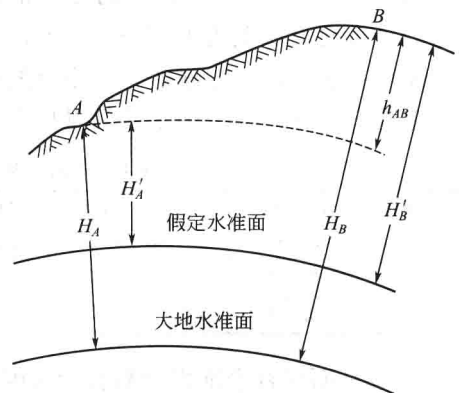


图 1-8 绝对、相对高程



2. 假定高程

地面点沿铅垂线方向到任意假定水准面的距离称为该点的假定高程，也称为相对高程。如图 1-8 所示，地面点 A、B 的假定高程分别为  $H'_A$ ， $H'_B$ 。

由图 1-8 可看出，A、B 两点的高差

$$h_{AB} = H_A - H_B = H'_A - H'_B \quad (1-7)$$

在测量工作中，一般只采用绝对高程，只有在偏僻地区没有已知的绝对高程点可以引测时，才采用假定高程。

三、用水平面代替水准面的限度

如前所述，当测区的范围较小时，可以把该地区球面看成水平面。那么多大范围能用水平面代替水准面，并能满足测图用图的精度要求呢？这就必须讨论用水平面代替水准面时，对距离、高程测量的影响，明确可以代替的范围和必要时应加的改正数。

1. 水平面代替水准面对距离的影响

如图 1-9 所示，设地面上两点 A、B，沿铅垂线方向投影到大地水准面上得到 A'、B'，如果用过 A' 点与大地水准面相切的水平面代替大地水准面，B 点在水平面上的投影 B'，A、B 两点在大地水准面上投影 A'、B' 的弧长为 S，投影到水平面上的距离为 t，则两者之差即为用水平面代替大地水准面所引起的距离误差，用  $\Delta S$  表示，则

$$\Delta S = t - S = R \tan \theta - R \theta = R(\tan \theta - \theta)$$

式中 R——地球曲率半径 6371km；

$\theta$ ——S 对应的圆心角，弧度。

将  $\tan \theta$  用级数展开并取前两项，得

$$\Delta S = \frac{1}{3} R \theta^3$$

因为

$$\theta = \frac{S}{R}$$

所以

$$\Delta S = \frac{S^3}{3R^2} \quad (1-8)$$

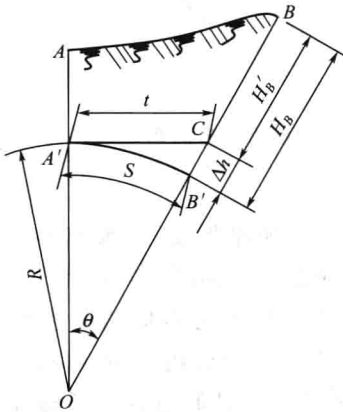


图 1-9 水平面代替水准面

将 R 和不同的 S 代入式(1-8)，计算出的  $\Delta S$  和  $\Delta S/S$  见表 1-1 所列。从表 1-1 可以看出，当距离为 10km 时，产生的距离相对误差为  $1/(120 \times 10^4)$ ，而目前测量工作中精密距离测量的最小允许误差为  $1/(100 \times 10^4)$ 。因此，可以得出结论，半径在 10km 范围之内，可用水平面代替水准面，地球曲率对距离的影响可以忽略不计。对于矿山工程而言，测量工作精度要求较低，其工作范围半径可以扩大到 20km，甚至更大些。

表 1-1 用水平面代替水准面对距离和高程的影响

距离 S	距离误差 $\Delta S/\text{mm}$	距离相对误差 $\Delta S/S$	高程误差 $\Delta h/\text{mm}$	距离 S	距离误差 $\Delta S/\text{mm}$	距离相对误差 $\Delta S/S$	高程误差 $\Delta h/\text{mm}$
500m	0.004	$1/(25000 \times 10^4)$	38.8	10km	8.2	$1/(120 \times 10^4)$	7850.0
1km	0.008	$1/(12500 \times 10^4)$	78.5	20km	128.3	$1/(19.5 \times 10^4)$	49050.0

2. 水平面代替水准面对高程的影响

如图 1-9 所示，地面点的绝对高程为 H，当用水平面代替水准面时，B 点的高程为