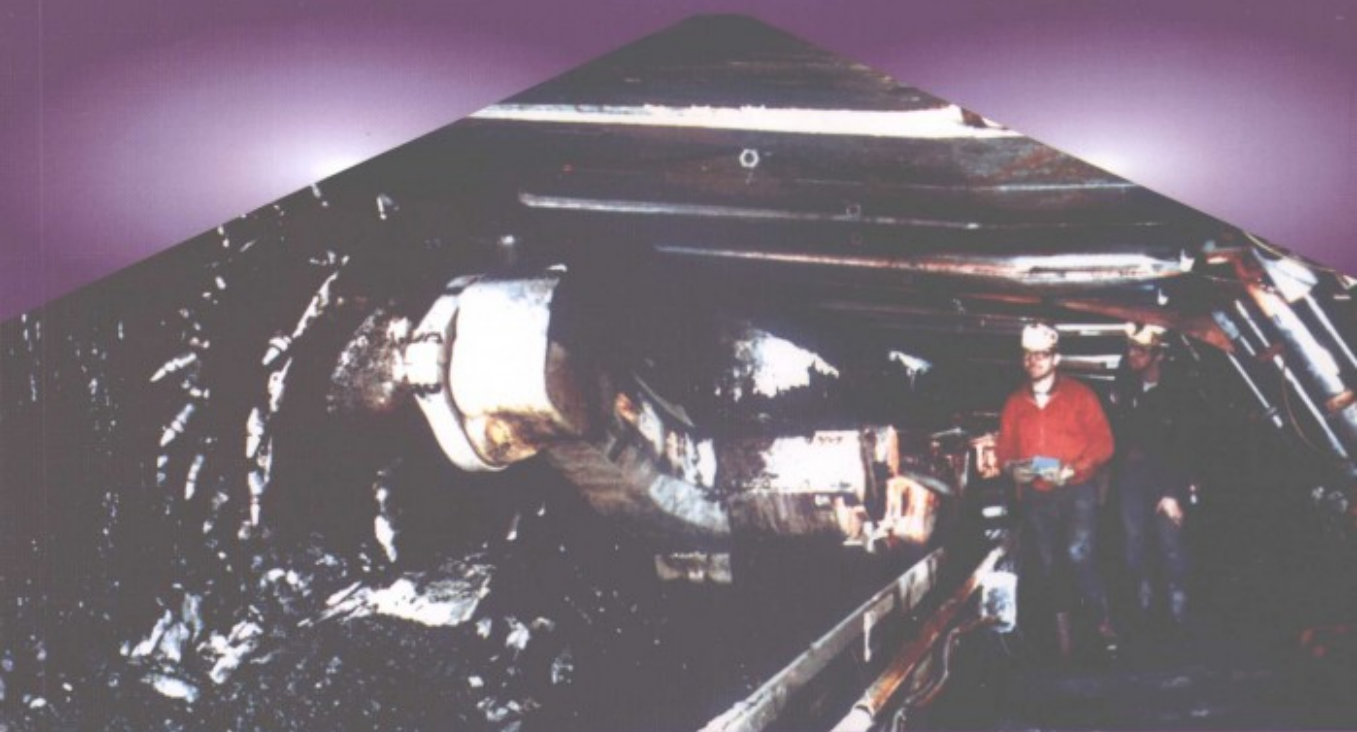




高职高专“十一五”规划教材
综合机械化采煤系列

矿井 测量与矿图

郭玉社 主编
杨喜春 主审



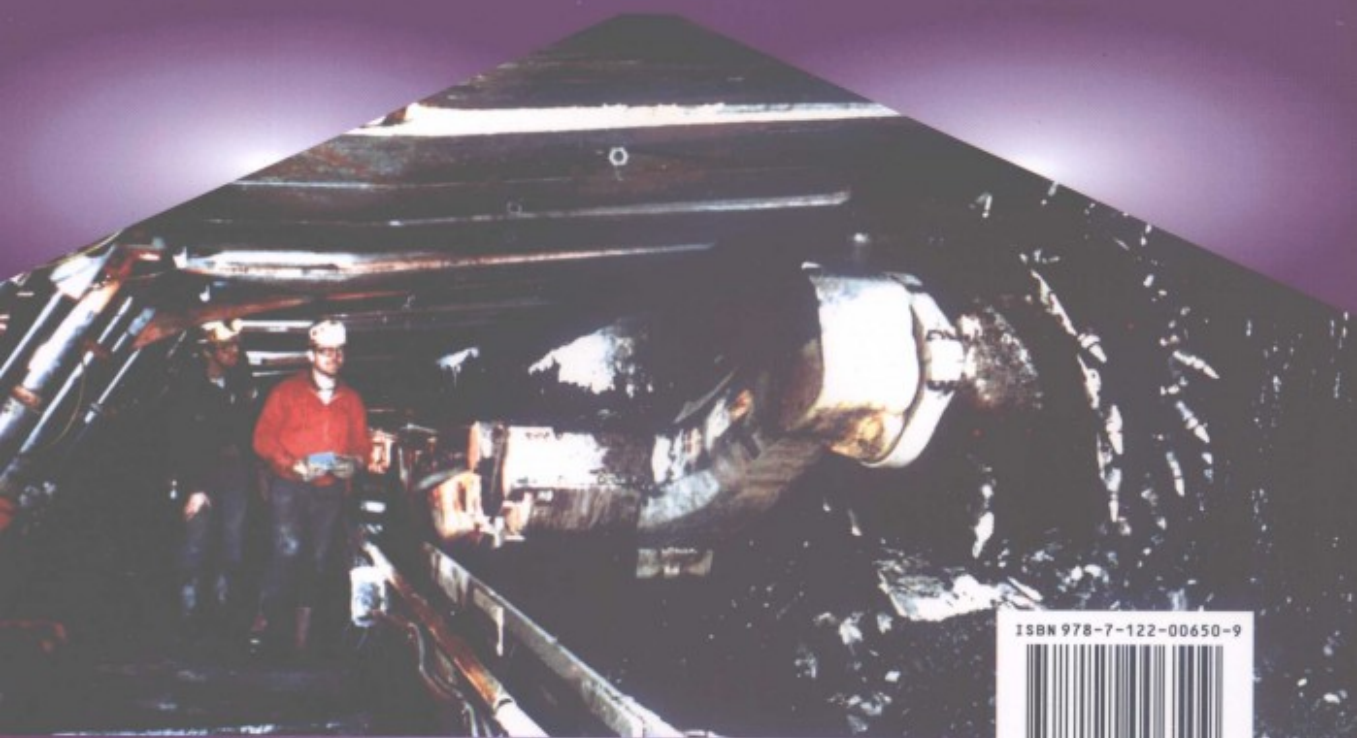
化学工业出版社

综合机械化采煤系列教材



高职高专“十一五”规划教材
综合机械化采煤系列

矿山工程力学
矿井通风与安全
煤矿实用地质
矿井测量与矿图
煤矿机械化开采
煤矿综合机械化采掘设备
矿井供电技术
综采电气控制
机械化采煤矿山压力测控技术
综采工作面生产组织与管理



ISBN 978-7-122-00650-9



9 787122 006509 >

销售分类建议：采矿工程/综合机械化采煤

定价：18.00元

本书是《煤矿安全规程》（2002版）中关于井下作业安全规定的主要部分，共分十章，主要内容包括：井下作业安全的基本要求；井下作业安全的管理；井下作业安全的技术措施；井下作业安全的教育；井下作业安全的检查；井下作业安全的事故处理；井下作业安全的法律责任；井下作业安全的相关标准；井下作业安全的相关法规；井下作业安全的相关文献。

高职高专“十一五”规划教材 综合机械化采煤系列

矿井测量与矿图

- [1] 宁津生, 等. 测量学. 北京: 地质出版社, 2004.
- [2] 周忠谟, 易杰军, 周琪. 第二版. 测量学原理与应用. 北京: 测绘出版社, 1995.
- [3] 周忠谟, 易杰军, 周琪. 第二版. 测量学原理与应用. 北京: 测绘出版社, 1995.
- [4] 王德明, 等. 测量学. 北京: 教育科学出版社, 2003.
- [5] 张国良. 矿山测量学. 北京: 地质出版社, 2001.
- [6] 林文介, 等. 郭玉社 主编. 大学出版社, 2003.
- [7] 孔祥荣, 杨世清. 杨喜春 主审. 煤炭工业出版社, 1995.
- [8] 测绘学名词(第二版). 北京: 科学出版社, 2002.
- [9] 测绘基本标准. GB/T 14911—94.
- [10] GB/T 7929—1995. 1:500, 1:1000, 1:2000 地形图图式.
- [11] GB/T 18314—2001. 全球定位系统(GPS)测量规范.
- [12] 煤矿测量规程. 中华人民共和国能源部. 北京: 煤炭工业出版社.
- [13] 煤矿地质测量图例. 中华人民共和国能源部. 北京: 煤炭工业出版社.
- [14] 中国统配煤矿总公司. 煤矿地质测量图技术管理规定. 北京: 煤炭工业出版社, 1992.

ISBN 978-7-132-00620-9
I. 矿... 郭... 杨...
II. 郭... 杨...
III. 郭... 杨...
IV. 郭... 杨...
V. 郭... 杨...

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第086025号

责任编辑: 张双燕
封面设计: 宋 琳

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: 化学工业出版社印刷厂
印 张: 10.5
字 数: 307千字
2007年8月第1版第1次印刷

购书热线: 010-64918888 (传真) 010-64918889
邮 购: 010-64918889



化学工业出版社

· 北 京 ·

定价: 18.00元

定价: 18.00元

全书共十一章, 主要内容包括测绘基本知识和生产矿井测量两部分。第一~第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~第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。

本书是高职高专综合机械化采煤专业的系列教材, 也可作为煤矿安全技术管理人员培训教材和参考书。

林慧敏 “十一五” 普通高等教育
煤炭类 采煤专业 教材

矿井测量与矿图

主编 林慧敏

审主 秦喜祚

图书在版编目 (CIP) 数据

矿井测量与矿图/郭玉社主编. —北京: 化学工业出版社, 2007.7

高职高专“十一五”规划教材

综合机械化采煤系列

ISBN 978-7-122-00650-9

I. 矿… II. 郭… III. ①生产矿井测量-高等学校: 技术学院-教材②矿山-工程制图-高等学校: 技术学院-教材 IV. TD175 TD171

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 096055 号

责任编辑: 张双进

责任校对: 宋 玮

装帧设计: 韩 飞

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 装: 化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 10 3/4 字数 267 千字 2007 年 8 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: 18.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书根据高职高专采煤技术（综合机械化采煤方向）专业培养目标及教学大纲编写。针对现代煤矿生产的特点和采煤技术发展的趋势，在系统、简要地介绍基本理论、基本知识基础上，重点解决“怎么做”的问题，重点突出学生的专业技术应用能力的培养。编写中，力求系统完整、重点突出、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，认真贯彻现行的国家标准和规程规范。

本书由山西大同大学郭玉社任主编，并编写第一、六、七、八、九、十、十一章；吕梁高等专科学校王胜枝任副主编，编写第四、五章；郝志峰编写第二、三章。

杨喜春副教授审阅全书，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，敬请各院校师生和其他读者批评指正。

编 者

2007年5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、矿井测量的学科地位	2
三、本课程的主要任务	2
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
第三节 直线定向	9
一、标准方向	9
二、直线方向的表示方法	10
三、正反坐标方位角	11
四、方位角的推算	12
第四节 测量误差的基本概念	12
一、测量误差的分类	13
二、算术平均值	14
三、评定精度的标准	15
习题与思考题	18
第二章 水准测量	19
第一节 水准测量原理	19
第二节 水准测量的仪器和工具	20
一、水准仪的构造	20
二、水准尺和尺垫	25
第三节 水准仪的使用	26
一、微倾式水准仪的使用	26
二、自动安平水准仪的使用	27
三、电子水准仪的使用	28
第四节 水准测量的方法	29
一、水准点和水准路线	29
二、水准测量	30

第五节 水准测量数据处理	32
一、附和水准路线	33
二、闭合水准路线	34
三、支水准路线	35
习题与思考题	35
第三章 角度测量	37
第一节 角度测量原理	37
一、水平角测量原理	37
二、竖直角测量原理	37
第二节 角度测量仪器及其使用	38
一、经纬仪的构造	38
二、经纬仪的使用方法	41
第三节 水平角观测	44
一、测回法	45
二、角度测量注意事项	46
第四节 竖直角的测量方法	46
一、竖直度盘构造	46
二、竖直角计算公式	47
三、竖盘指标差	48
四、竖直角观测	49
习题与思考题	50
第四章 距离测量	51
第一节 钢尺量距	51
一、量距的工具	51
二、直线定线	51
三、一般量距方法	52
四、精密量距方法	53
五、钢尺量距注意事项	55
第二节 视距测量	56
一、视线水平时的视距测量公式	56
二、视线倾斜时的视距测量公式	57
三、视距测量的施测	58
四、视距测量注意事项	58
第三节 光电测距	58
一、光电测距原理	58
二、光电测距仪测距	59
三、全站仪测距	61
四、光电测距仪及全站仪测距的注意事项	62
习题与思考题	62

第五章 地形图的基本知识	64
第一节 比例尺	64
一、比例尺	64
二、比例尺精度	65
第二节 地形图的分幅与编号	65
一、梯形分幅和编号	65
二、矩形分幅与编号	66
第三节 地物及地貌的表示方法	67
一、地物的表示方法	67
二、地貌的表示方法	68
第四节 地形图的识读与应用	72
一、地形图的识读	72
二、地形图的基本应用	73
三、地形图在煤矿规划建设生产中的应用	79
习题与思考题	79
第六章 近井控制测量与联系测量	81
第一节 概述	81
第二节 近井控制测量	81
一、定向基点布设	82
二、测定方法	82
第三节 平面联系测量	85
一、一井定向	86
二、两井定向	88
三、陀螺经纬仪定向	89
第四节 高程联系测量	91
一、钢丝导入标高	91
二、光电测距仪导入标高	92
习题与思考题	92
第七章 井下控制测量	93
第一节 井下导线测量	93
一、概述	93
二、对矿用经纬仪的要求	94
三、井下经纬仪导线测量外业	95
四、井下经纬仪导线测量内业	96
第二节 井下高程测量	103
一、概述	103
二、井下水准测量	104
三、井下三角高程测量	105
习题与思考题	106

第八章 巷道掘进测量	107
第一节 概述.....	107
第二节 直线巷道中线的标定.....	107
一、直线巷道中线的初步标定.....	107
二、直线巷道中线的精确标定.....	108
三、巷道中线的延长与使用.....	109
四、巷道偏中线的标定.....	110
第三节 曲线巷道中线的标定.....	110
一、经纬仪钢尺标定.....	111
二、全站仪标定.....	112
三、用图解法确定边距.....	113
第四节 巷道腰线的标定.....	114
一、水平巷道腰线的标定.....	114
二、倾斜巷道腰线的标定.....	115
三、平巷与斜巷连接处腰线的标定.....	118
第五节 激光指向.....	119
一、激光指向仪的构造简介.....	119
二、激光指向仪的安装、使用和维护.....	120
习题与思考题.....	121
第九章 贯通测量	122
第一节 概述.....	122
第二节 贯通测量工作和几何要素的计算.....	123
一、各种巷道类型的测量工作.....	123
二、贯通几何要素的计算.....	125
第三节 贯通测量实例.....	128
习题与思考题.....	130
第十章 验收测量	131
第一节 巷道验收测量.....	131
一、巷道进尺验收测量.....	131
二、巷道水平截面验收测量.....	132
三、巷道纵断面验收测量.....	133
四、巷道横断面验收测量.....	135
第二节 回采工作面验收测量.....	137
一、回采工作面验收测量.....	137
二、工作面当期回采量的计算.....	138
三、其他采煤方法工作面的验收测量.....	139
习题与思考题.....	139
第十一章 矿图的识读与应用	140

第一节 概述	140
一、矿图的种类	140
二、矿图的分幅与编号	141
三、矿图图例符号	141
第二节 投影知识	143
一、标高投影	143
二、轴测投影	150
第三节 采掘工程平面图	153
一、采掘工程平面图的内容	153
二、采掘工程图的识读方法	154
三、采掘工程平面图的应用	154
第四节 主要巷道平面图	158
一、主要巷道平面图主要内容	158
二、主要巷道平面图的识读	158
三、主要巷道平面图的主要用途	158
第五节 井上下对照图	159
一、井上下对照图的内容和识读	159
二、井上下对照图的用途	160
第六节 煤层底板等高线及储量计算图	160
一、煤层底板等高线及储量计算图的主要内容	160
二、煤层底板等高线及储量计算图的识读	160
三、煤层底板等高线及储量计算图的应用	161
习题与思考题	162
参考文献	163
附录	
附录一 常用地质符号	
附录二 常用工程符号	
附录三 常用测量符号	
附录四 常用水文符号	
附录五 常用通风符号	
附录六 常用运输符号	
附录七 常用动力符号	
附录八 常用其他符号	
附录九 常用地质符号	
附录十 常用工程符号	
附录十一 常用测量符号	
附录十二 常用水文符号	
附录十三 常用通风符号	
附录十四 常用运输符号	
附录十五 常用动力符号	
附录十六 常用其他符号	
附录十七 常用地质符号	
附录十八 常用工程符号	
附录十九 常用测量符号	
附录二十 常用水文符号	
附录二十一 常用通风符号	
附录二十二 常用运输符号	
附录二十三 常用动力符号	
附录二十四 常用其他符号	
附录二十五 常用地质符号	
附录二十六 常用工程符号	
附录二十七 常用测量符号	
附录二十八 常用水文符号	
附录二十九 常用通风符号	
附录三十 常用运输符号	
附录三十一 常用动力符号	
附录三十二 常用其他符号	
附录三十三 常用地质符号	
附录三十四 常用工程符号	
附录三十五 常用测量符号	
附录三十六 常用水文符号	
附录三十七 常用通风符号	
附录三十八 常用运输符号	
附录三十九 常用动力符号	
附录四十 常用其他符号	
附录四十一 常用地质符号	
附录四十二 常用工程符号	
附录四十三 常用测量符号	
附录四十四 常用水文符号	
附录四十五 常用通风符号	
附录四十六 常用运输符号	
附录四十七 常用动力符号	
附录四十八 常用其他符号	
附录四十九 常用地质符号	
附录五十 常用工程符号	
附录五十一 常用测量符号	
附录五十二 常用水文符号	
附录五十三 常用通风符号	
附录五十四 常用运输符号	
附录五十五 常用动力符号	
附录五十六 常用其他符号	
附录五十七 常用地质符号	
附录五十八 常用工程符号	
附录五十九 常用测量符号	
附录六十 常用水文符号	
附录六十一 常用通风符号	
附录六十二 常用运输符号	
附录六十三 常用动力符号	
附录六十四 常用其他符号	
附录六十五 常用地质符号	
附录六十六 常用工程符号	
附录六十七 常用测量符号	
附录六十八 常用水文符号	
附录六十九 常用通风符号	
附录七十 常用运输符号	
附录七十一 常用动力符号	
附录七十二 常用其他符号	
附录七十三 常用地质符号	
附录七十四 常用工程符号	
附录七十五 常用测量符号	
附录七十六 常用水文符号	
附录七十七 常用通风符号	
附录七十八 常用运输符号	
附录七十九 常用动力符号	
附录八十 常用其他符号	
附录八十一 常用地质符号	
附录八十二 常用工程符号	
附录八十三 常用测量符号	
附录八十四 常用水文符号	
附录八十五 常用通风符号	
附录八十六 常用运输符号	
附录八十七 常用动力符号	
附录八十八 常用其他符号	
附录八十九 常用地质符号	
附录九十 常用工程符号	
附录九十一 常用测量符号	
附录九十二 常用水文符号	
附录九十三 常用通风符号	
附录九十四 常用运输符号	
附录九十五 常用动力符号	
附录九十六 常用其他符号	
附录九十七 常用地质符号	
附录九十八 常用工程符号	
附录九十九 常用测量符号	
附录一百 常用水文符号	

第一章 绪 论

第一节 概 述

一、测绘科学的分类

测绘学 (Geomatics) 是一门古老而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 全球定位系统、RS 遥感系统、GIS 地理信息系统) 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。

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。目前测绘学可分为下面几门学科。

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。

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。

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。

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。

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学科。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、军中联合作战及洲际导弹的发射等,无不需要测绘工作的保障与配合。由此可见,测绘工作在各项建设事业中,都得到了广泛的应用。

二、矿井测量的学科地位

矿山建设和生产时期的测量工作称为矿山测量(Mine Surveying)。它是根据矿山开发的需要,集地形测量和矿山工程测量的有关内容于一体,因此它属于测绘学的范畴。矿井测量与矿图是矿山测量的一个分支,其研究的对象是生产矿井的安全生产和技术管理,从这个意义上讲,矿井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,研究处理矿藏开发过程中的各种空间几何问题,为矿井安全生产和技术管理提供图纸、资料,指导采矿生产中的各项工程正确进行。

矿井测量所依据的基本理论、使用的仪器和一般方法与地面相同,但由于测量环境与对象不同于地面,因而矿井测量又有自身的特点。

① 测量环境不同。井下潮湿、黑暗、空气透视度低;空间狭小设备多,车辆与人员来往频繁,给测量工作带来极大困难,往往需要采用特殊的仪器或方法。

② 测量对象不同。矿井测量的对象是井下各种巷道、硐室和采掘工作面等工程,这些对象的空间位置随时间变化,为了将其及时、准确、完整地反映在矿图上,矿井测量就必须贯穿于工程的始终。

③ 井下矿图的精度不均匀。由于井下测量中误差积累较快,离起始边越远,其精度越差。

④ 考虑精度的出发点不同。生产矿井测量应以满足采矿工程要求为原则,选用测量仪器和测量方法。

矿井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”。

矿井测量是现代矿井安全生产中的一项重要技术基础工作,矿井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。

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,掌握矿图的识读和应用。

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。

矿井测量与矿图是高职高专采煤技术(综合机械化采煤方向)的专业基础课程。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,了解测绘科学的基本知识、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、矿井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深达 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。在测绘学中,任何一个自由静止的水面均称为水准面。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的变化,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。

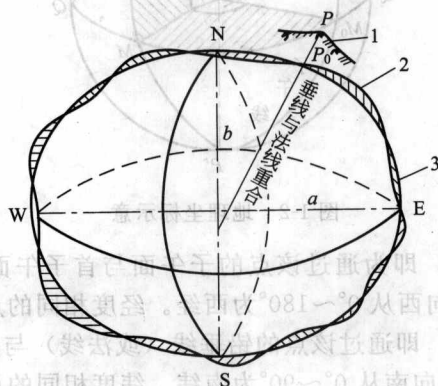


图 1-1 地球表面与大地水准面及参考椭球体相互关系示意

1—地球表面; 2—大地水准面; 3—参考椭球体

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 α 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。

中国 1954 年北京坐标系采用前苏联的克拉索夫斯基椭球体元素，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

长半轴 $a=6378140\text{m}$

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

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。

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

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

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。

1. 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 $QMQ'MO$)，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。

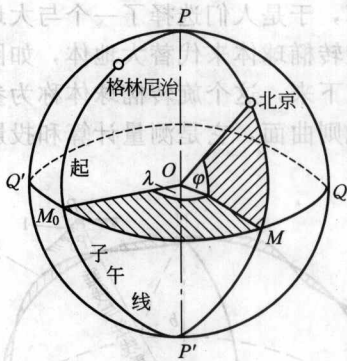


图 1-2 地理坐标示意

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 (或法线) 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 λ 、 φ

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。这种变换要产生变形，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。根据中华人民共和国大地测量法规定，中国采用高斯-克吕格正影投影的方法，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系统称为高斯平面直角坐标系。

高斯投影过程可简述如下：椭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，它也是椭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一定范围内的图形按一定的数学法则投影到椭圆柱面上，然后将椭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。

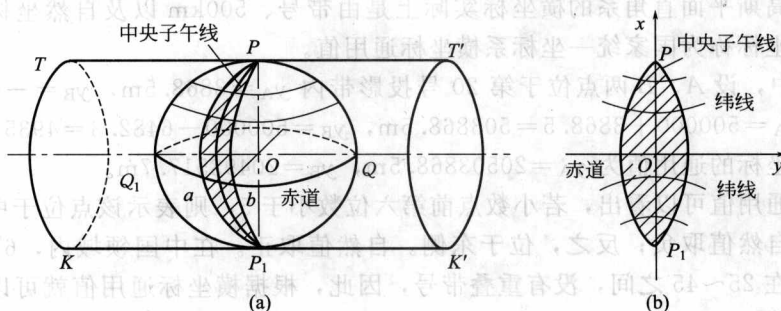


图 1-3 高斯投影示意

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，以经差 6° 或 3° 来限定投影带的宽度，简称 6° 带或 3° 带，如图 1-4 所示。

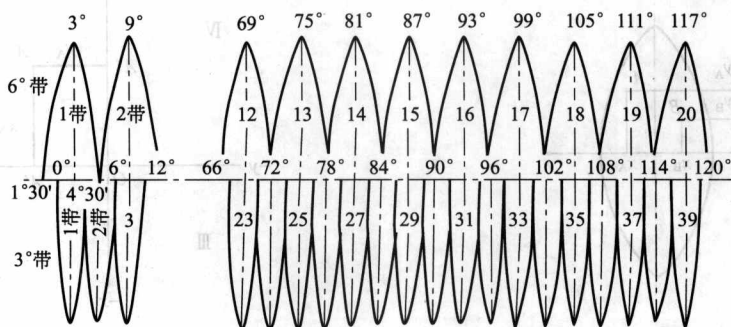


图 1-4 投影带示意

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

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

式中 λ_6 —— 6°带中央子午线的经度；
 N —— 6°带的带号。

3°带是从东经 1.5°子午线开始，自西向东每隔 3°划分为一带，整个地球划分为 120 个投影带，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

式(1-2) $\lambda_3 = 3^\circ N'$

式中 λ_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。中国位于北半球， 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。这样的横坐标称为国家统一坐标系横坐标通用值。

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。在中国领域内，6°带在 13~23 之间，而 3°带在 25~45 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。

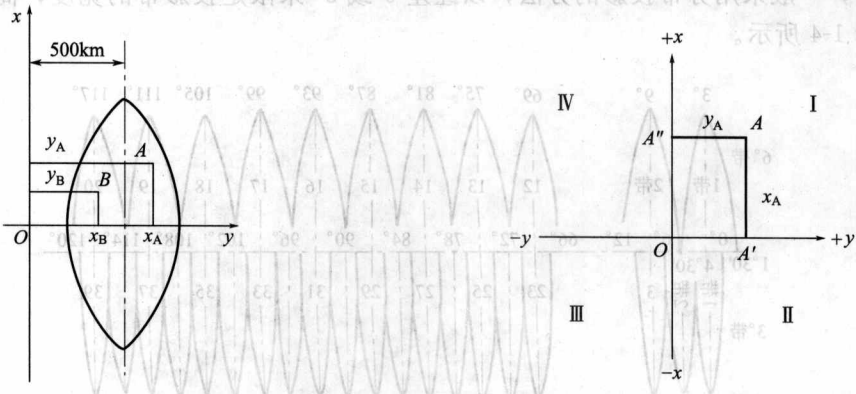


图 1-5 高斯平面坐标系

图 1-6 独立平面直角坐标系

(3) 独立平面直角坐标 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。

矿山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。

(4) 地心空间直角坐标系 目前 GPS 卫星定位系统已在矿井地面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。其定义是: 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 轴垂直于平面 XOZ 构成右手坐标系, 如图 1-7 所示。

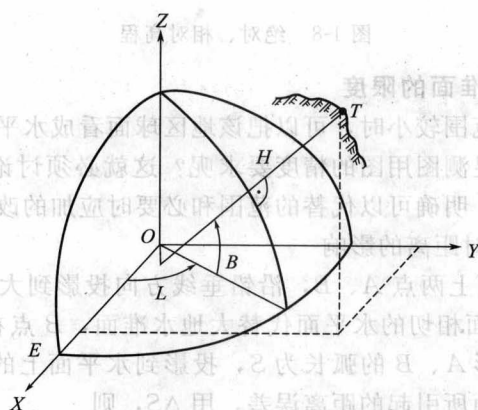


图 1-7 三维空间直角坐标系

在工程测量中, 应用全站仪、三维扫描仪等, 还可建立以测站为原点的空间直角坐标系, 称为站心坐标系。

2. 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

$$h_{AB} = H_A - H_B \quad (1-3)$$

即地面两点间的高差等于两点的高程之差。

目前, 中国采用 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。

(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

$$h_{AB} = H_A - H_B = H'_A - H'_B \quad (1-4)$$

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。