

测量学

CELIANGXUE

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本書系北京矿业学院、中南矿冶学院、东北工学院三校测量教研组根据新修訂的教学大纲为矿山測量专业編寫的教材。

本書共分十六章。前十四章專門論述大比例尺地形測量和矿区铁路专用綫測設和土方計算；第十五章論述气压高程測量；第十六章为矿区路綫測量。內容結合我国生产实际，并作必要的理論闡述。

本書可作为矿业学院矿山測量专业教材，也可供煤矿学校矿山測量专业及矿山測量工作人員参考。

1501

測 量 学

北京矿业学院 中南矿冶学院 东北工学院 合編

*

煤炭工业出版社出版(社址：北京东长安街煤炭工业部)

北京市書刊出版业營業許可証出字第 084 号

煤炭工业出版社印刷厂排印 新华書店发行

*

开本 787×1092 公厘 $\frac{1}{16}$ 印张 $17\frac{3}{8}$ 字數 392,000

1960 年 6 月北京第 1 版 1960 年 6 月北京第 1 次印刷

統一書号：15035·1123 印数：0,001—6,500 册 定价：2.00 元

前 言

自从1958年以来，由于贯彻执行了党的教育与生产劳动相结合的方针，不仅使广大师生的思想得到了深刻的改造，也使高等学校的教学业务发生了重大的变革，理论和实际的结合大大地加强了。生产劳动列入了教育计划，生产实践与理论教学密切地结合起来了，活生生的生产知识丰富了教学内容。这些伟大的变革迫切需要对教材进行根本地改造。在这种形势下，1958年底，学校党委领导了我们师生大编教材。经过一年试用以后，于1959年10月，在党的领导下，再一次由北京矿业学院、中南矿冶学院和东北工学院三院协作重新编写，胜利地完成了这本教材。

这本教材是依据1959年底修订的矿山测量专业测量学教学大纲（教学时数为120—130学时）编写的。在本书的编写方面，我们尽力反映了党的总路线和我国测绘专业大跃进的伟大成就；在内容上力求结合我国生产实际，反映矿山测量专业的要求，并介绍国内外测绘科学技术最新成就；同时在总结交流各校教学经验的基础上，安排了新的科学系统性，循序渐进，照顾到了各门课程之间的分工和衔接，充实了大量醒目的图表。

在本书的编写过程中曾得到了各生产单位和北京矿业学院同学的大力帮助，我们特向他们表示衷心地感谢。

由于我们的业务水平所限以及编写时间较为短促，书中错误之处尚或难免，希望各方面提出宝贵意见，给予指正，以便改进。来函请寄北京矿业学院普通测量教研组。

编 者

1960年元月

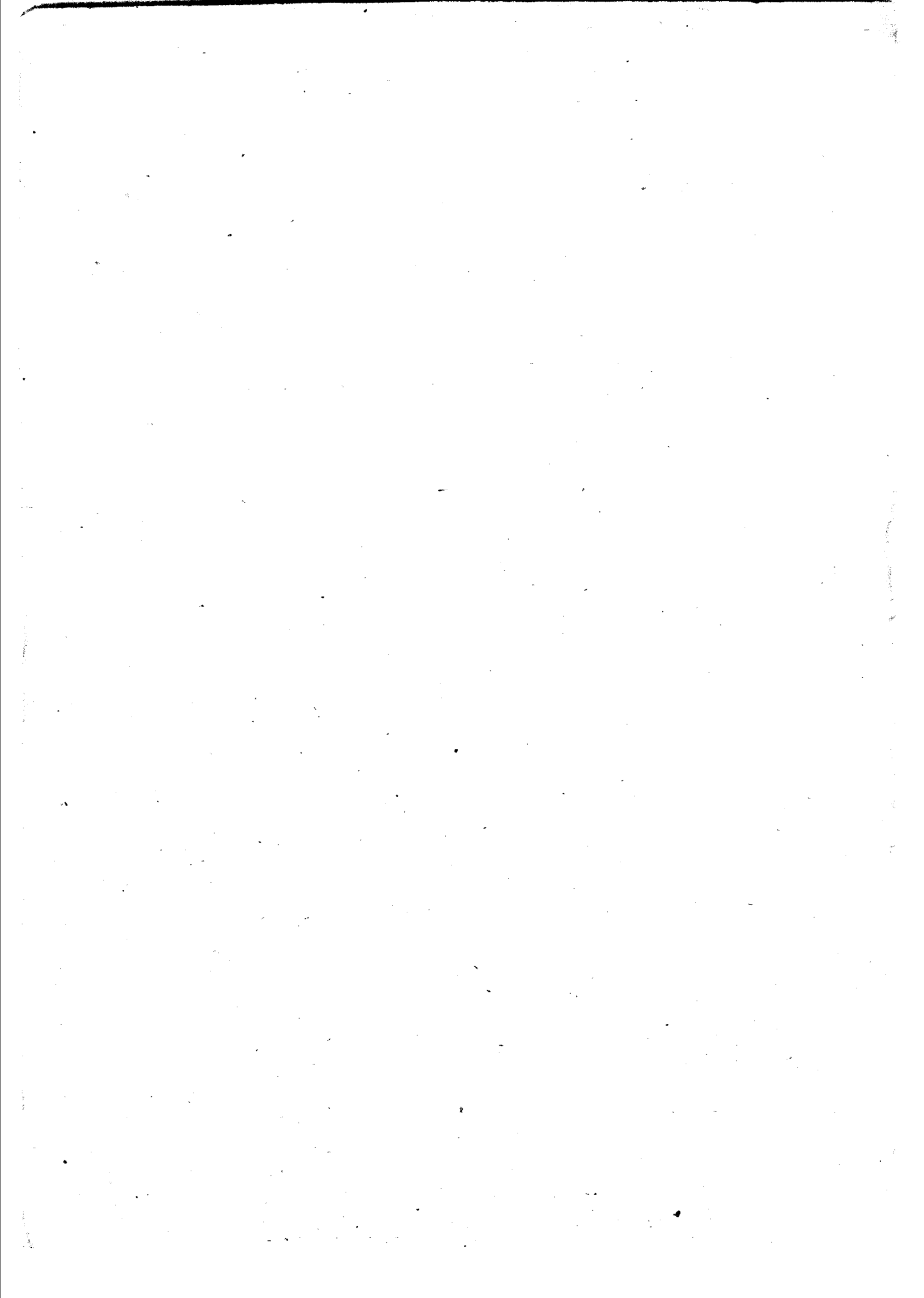
目 錄

第一章 緒論	7
§ 1-1. 測量學的任务	7
§ 1-2. 測量學在社会主义建設中的意义	7
§ 1-3. 測量學在采矿工程中的作用	8
§ 1-4. 測量學发展簡史	9
§ 1-5. 測量上常用的单位	11
§ 1-6. 地球的形狀和大小	12
§ 1-7. 地面点位置的确定、地理坐标和高程	13
§ 1-8. 球面可作为平面的范围	14
§ 1-9. 平面图和地图、地物图和地形图	16
§ 1-10. 比例尺及其精度	16
§ 1-11. 測量工作概念	17
第二章 直綫丈量	18
§ 2-1. 地面上点的标志和直綫定綫	18
§ 2-2. 直綫丈量的工具	20
§ 2-3. 鋼尺的檢定和鋼尺长度不正确的改正	21
§ 2-4. 直綫丈量	22
§ 2-5. 鋼尺丈量的誤差	27
§ 2-6. 直綫丈量的精度及注意事項	29
第三章 直綫定向及罗盘仪	29
§ 3-1. 直綫定向的意义	29
§ 3-2. 子午綫收敛角	30
§ 3-3. 方位角、象限角及其相互間的关系	31
§ 3-4. 坐标方位角(方向角)	34
§ 3-5. 罗盘仪及其使用	34
第四章 經緯仪及角度測量	36
§ 4-1. 角度測量原理	36
§ 4-2. 游标經緯仪	36
§ 4-3. 度盘和游标	37
§ 4-4. 望遠鏡	40
§ 4-5. 水准器	44
§ 4-6. 光学經緯仪	46
§ 4-7. 經緯仪对中、整平与瞄准	49
§ 4-8. 經緯仪測量水平角	50
§ 4-9. 經緯仪測量豎直角	53
§ 4-10. 經緯仪应当滿足的条件	58
§ 4-11. 經緯仪的檢驗和校正	59
§ 4-12. 經緯仪測角的精度	63
§ 4-13. 經緯仪的保养	64

第五章 地物图的測繪	65
§ 5-1. 概述	65
§ 5-2. 經緯仪导綫的布設	65
§ 5-3. 經緯仪导綫的施測	66
§ 5-4. 經緯仪閉合导綫計算	68
§ 5-5. 經緯仪附合导綫計算	74
§ 5-6. 寻找导綫測量錯誤的方法	76
§ 5-7. 地物測量	77
§ 5-8. 地物图的繪制	79
第六章 測量誤差概述	82
§ 6-1. 測量誤差的概念	82
§ 6-2. 測量誤差的种类	82
§ 6-3. 偶然誤差的性質	83
§ 6-4. 算术平均值原理	84
§ 6-5. 衡量精度的标准	85
§ 6-6. 最或是誤差及其特性	86
§ 6-7. 算术平均值的中誤差	87
§ 6-8. 极限誤差及相对誤差	87
第七章 高程測量	88
§ 7-1. 概述	88
§ 7-2. 水准測量的原理	89
§ 7-3. 地球曲率和大氣折光的影响	92
§ 7-4. 水准仪	93
§ 7-5. 水准尺及尺垫	96
§ 7-6. 定鏡水准仪的檢驗和校正	98
§ 7-7. 水准測量的實施方法	100
§ 7-8. 四等水准路綫的布設	102
§ 7-9. 四等水准的观测	103
§ 7-10. 四等水准測量記錄及檢核	104
§ 7-11. 水准測量的誤差	106
§ 7-12. 越過河谷的水准測量	108
§ 7-13. 水准測量內業計算	109
§ 7-14. 三角高程測量	111
第八章 地形及等高綫	114
§ 8-1. 概述	114
§ 8-2. 地物符号	116
§ 8-3. 地貌要素	118
§ 8-4. 地貌符号	121
§ 8-5. 等高綫及其特性	124
§ 8-6. 等高距	127
§ 8-7. 用等高綫表示各种地貌	128
第九章 視距測量	133
§ 9-1. 概述	133
§ 9-2. 装絲視距仪的原理	134
§ 9-3. 視距常数的測定	138

§ 9-4. 視距計算的輔助工具	141
§ 9-5. 視距導綫測量	144
§ 9-6. 碎部測量	146
§ 9-7. 地形圖的繪制	152
§ 9-8. 其他型式的視距儀	155
第十章 平板儀測量	164
§ 10-1. 概述	164
§ 10-2. 平板儀及其附件	165
§ 10-3. 平板儀的安置	168
§ 10-4. 前方交会和側方交会	170
§ 10-5. 后方交会(三點題)	172
§ 10-6. 平板儀的檢驗和校正	176
§ 10-7. 圖解三角網測量	179
§ 10-8. 平板儀導綫測量	181
§ 10-9. 平板儀碎部測量	182
§ 10-10. 小平板的構造及使用方法	182
§ 10-11. 幾種地形測量方法的比較	185
第十一章 地形圖及其應用	186
§ 11-1. 概述	186
§ 11-2. 地圖及平面圖的分幅編號	186
§ 11-3. 高斯-克呂格坐標	192
§ 11-4. 圖示比例尺	196
§ 11-5. 地形圖讀法	199
§ 11-6. 地形圖的應用	203
第十二章 小三角測量	208
§ 12-1. 一般概念	208
§ 12-2. 小三角形測量的外業	209
§ 12-3. 小三角鎖的近似平差	213
§ 12-4. 中心多邊形的近似平差	215
§ 12-5. 綫形鎖的平差計算	217
第十三章 經緯儀交会定點	221
§ 13-1. 概述	221
§ 13-2. 前方交会	221
§ 13-3. 后方交会	226
§ 13-4. 側方交会	234
第十四章 大比例尺地形測量	235
§ 14-1. 概述	235
§ 14-2. 全國性控制網的概念	235
§ 14-3. 解析圖根網	237
§ 14-4. 圖根點高程的測定	239
§ 14-5. 測圖前的準備	241
§ 14-6. 測站點	243
§ 14-7. 1:5000, 1:2000, 1:1000比例尺地形測圖	244
§ 14-8. 1:500比例尺地形測圖	244
§ 14-9. 地形圖的整飾、拼接、檢查與驗收	246

第十五章 气压高程测量及草测	248
§ 15-1. 气压高程测量原理	248
§ 15-2. 气压高程测量的仪器及施测方法	249
§ 15-3. 草测	250
第十六章 路线测量及土方计算	254
§ 16-1. 概述	254
§ 16-2. 地面定线及里程桩的设置	255
§ 16-3. 圆曲线元素的计算及曲线主点的测设	257
§ 16-4. 圆曲线的详细测设	258
§ 16-5. 遇障碍物时曲线测设法	262
§ 16-6. 路线水准测量	263
§ 16-7. 纵断面图的绘制	266
§ 16-8. 横断面水准测量钉边桩	267
§ 16-9. 面积计算	269
§ 16-10. 定极求积仪的构造及使用方法	271
§ 16-11. 定极求积仪的原理	273
§ 16-12. 土方计算	276



第一章 緒 論

§ 1-1. 測量學的任务

測量學的任务，一方面是測定地球表面某一地区的形状和大小并繪制成圖，以供各項工程建設和國防上应用，另一方面是測定整個地球形状和大小，并提供地壳的升降、大陆的变迁、海岸的变动等科学研究所需要的数据。

測量學和其它科学一样，是由人們发展生产的需要产生的。随着文化的不断发展，測量學在人类生活中的作用就愈来愈大，任务也日益繁重了。現今測量學所牽涉的問題相当广泛，现择其中最主要的几門学科分述如下：

(1) 大地測量學 它是以整个地球的形状和大小与广大地区的地面作为研究对象的。由于所研究的地面，范围很广，無論在計算及繪圖过程中都必須考虑地球表面的曲率，否則会产生不能允許的誤差。

(2) 地形測量學 它是以小范围的地面为研究对象的，最終目的是繪制地形圖。由于所研究的地面范围較小，無論在測量、計算以及繪圖过程中，均可假定該地面为平面，不必考虑該部份地球表面的曲率。'因为它所产生的誤差是很微小的，可以忽略不計，这样就可以使測量和計算工作大大簡化。

(3) 摄影測量學 它是以研究获得地面象片和将地面象片改制成各种比例尺的地形圖为对象。摄影測量學包括航空摄影測量學和地面摄影測量學。它的目的和地形測量一样，只是采用的方法不同。

(4) 工程測量學 这是一門新兴的学科，它是为了各种工矿企业、农田水利和城市等項建設，結合各种工程建設特点而研究的測量學。

(5) 制圖學 它是研究地圖編制和复制方法的学科。

測量學与其它科学的联系也是很密切的。一切以地球为研究或工作对象的学科，如地球物理学、地質学、土壤学、地理学，以及一切工程建設，如采矿工程等，都必需由測量學供給它們必需的資料。此外，測量學也須以許多其它科学为基础，如数学、物理学、电子学、光学和摄影学等。

以上是整個測量學領域所研究的范围。而本書的内容主要包括地形測量學和一小部分工程測量學問題。

§ 1-2. 測量學在社会主义建設中的意义

計划生产是社会主义建設的特点，为了編制五年計划，必須对我国資源进行一系列的調查和勘测工作，其中有地質普查和精查、荒地勘测以及水利、土壤、林业等調查工作。調查工作完毕后，就可以根据获得的資料，制定各种規划，例如矿区开采規划、河

流綜合利用規劃等等。在进行上述一系列工作时，都必须应用地形图，因此，地形图是开发资源和制定各种规划的重要文件，而这些地形图就是测量的成果。

此外，在社会主义建設中，必須兴办各种大小不同的工程，任何工程从初步考虑开始，就需要以地形图作为根据。把图紙上的設計轉移到实地上去，也要由測量来实现。例如在建造武汉长江大桥时，先要測量大桥附近地形图，然后在图上設計大桥位置，設計完成后还要用測量的方法到实地上去放样，在标定桥墩位置时还要用精密的測量方法，否則无法架設桥梁。因此，可以說任何工程沒有測量工作配合是很难进行的。測量工作也是各項工作的尖兵，如測量速度迟緩，会影响設計工作的开展，从而会延緩施工的日期。測量发生錯誤，还会造成工程事故。从这里也可以看到測量工作在社会主义建設中占据何等的重要地位。

測量学在国防建設上也具有极为重要的意义。在作战时，地形图就是指揮員的眼睛。根据地形图可以研究地形情况和敌我形势，以便制定作战計劃。其他如指揮軍艦的航行，指揮长射程大炮射击隱蔽目标等，也都需要有測量知識。目前帝国主义还存在，特别是美帝国主义还侵占我国的領土台湾，威胁着我国安全，因此，加速測繪事业的发展以巩固我国国防，保卫世界和平，也是很重要的任务。

§ 1-3. 測量学在采矿工程中的作用

在采矿工程中，測量工作起着特別重要的作用。矿区开发的各个时期，都需要进行很多的測量工作。矿区的开发一般要經過三个时期：（1）調查研究时期；（2）基本建設时期和（3）生产时期。各个时期的測量工作任务如下（表1）：

表 1

矿区开采过程	測量工作的主要任务
調查研究时期	測繪矿区地形图，測定矿层的位置、形状、大小、厚度和計算儲量作为設計的资料
基本建設时期	根据地形图进行設計，并将設計施工詳图上的建筑物和设备的位置（如井筒、絞車房、巷道位置等）測設于地面或井下
生产时期	指示工作面进展和巷道掘进的位置和方向，指示出应留矿柱的大小等

从上述情况可以明显地看出，測量工作在采矿工程中占据何等重要的地位。

在采矿工程中不仅随时需要測量工作，并且随时需要測量人員小心翼翼地工作进行，否則不仅会造成国家財產的损失，延緩了工程的进展，并且会发生人身事故。例如，在解放前四川某矿，由于一个測量人員粗枝大叶，把地形图上原为1:1000的比例尺，誤写成1:2000，設計人員根据此图設計，使开采的长度增加了一倍，結果采进了老塘区，几乎造成水淹矿井的事故。解放前类似这种事故是很多的。解放后，这种情况已經根本改觀，但仍然由于个别測量人員不負責任，或者由于技術人員水平不足，造成不少损失。例如几年前山东某矿进行貫通測量时，由于由两端所給的方向有錯誤，結果在

相向掘进后碰不上头，造成很大损失。再如在大同某矿，因为絞車的位置标定有錯誤，和井架的位置，配合不起来，只得另想办法解决这一个问题。苏联矿山测量专家来我国講学时，曾举了两个极为生动的例子来说明测量工作对采矿人員的安全也有着极大的关系。1985年5月10日伊里奇矿发生了老塘涌水淹沒矿井的事故，虽然采矿人員是全部救出来了，但整个矿井报废了。經过检查，其原因是由于旧测量人員不負責任，未将老塘位置画在矿山测量图上的緣故。另外一个例子刚巧相反，說明了由于测量人員發揮了高度負責精神，援救了若干矿工生命的事例。烏拉尔南部密阿斯矿山某一个土法开采金矿的矿內塌了一个井筒，当时还有几个人留在矿井內，无法逃到地面，而在处理善后时，发现井筒不可能很快修复，于是困在矿內的人已有死亡的危险，当时該矿的矿山测量工作者，就建議要向矿工所在工作面打一个大型鑽眼，以营救这些蒙难者，經过测量及計算后，很快地打通了鑽眼，他們从鑽眼中获得了新鮮空气，食物及被褥，并接設了电话，在井下住了七昼夜后，井筒才修好。經受了生命危险的矿工們对該矿的测量工作者深切感激的心情是难以言語形容的。

解放前测量工作在采矿工程中这种重要地位是不被重視的。主要原因是帝国主义及官僚資本主义反动派为了掠夺我国資源，从不考虑，也不可能考虑整体规划，以致造成开采系統非常紊亂，浪費了大量資源，并經常发生工程事故。解放后，党和政府对于测量工作非常重視。近年来，在学习苏联先进經驗的基础上，我国矿山测量技术水平有了很大提高，为保护和正确地开采国家資源作出了很大的貢獻。

§ 1-4. 測量学发展簡史

(一)

測量科学和其它科学一样，是由于实际生产的需要及在人类創造性的劳动中发展起来的。早在紀元前4000多年，埃及已开始用最简单的測量方法丈量尼罗河附近的土地。其后經希腊人整理，开始把这方面的知識引导到科学的道路上来。因此，可以說測量学最初起源于紀元前2000年。当初称为几何学，实际上这时的几何学包括純粹数学方面的理論以及測量方面的知識，測量方面的知識只用来解决土地划分方面的問題。后来随着文化和技术的发展，測量学在人类生活中的作用就日益增加了，測量学的任务也日益扩展了。在紀元前一二百年和紀元后若干年代中，由于社会生产的发展，希腊有不少科学家已把測量学应用到天文方面，并且已經能用天文測量的方法初步測定地球的大小了。但是，当时所用的仪器和方法，还是非常簡單而原始的。直到1611年发明了望遠鏡之后，測量的方法和速度才有較大的改进。到第一次世界大战后，又采用了航空摄影測量方法。近年来又創造了各式各样的精密仪器，并已开始应用雷达、光速、及微波等測量距离。目前已处在原子时代，由于尖端科学的发展，必将促使測量学获得更大的发展。

在談到測量学的发展时，不能不談到苏联在測量学方面的卓越貢獻。在伟大的十月社会主义革命勝利后，苏維埃政府頒布了列宁亲自簽署的指令，設立了总的測量领导机构，統一了所有的基本測量工作，大量培养了人才，出版了一般的和專門的測量刊物，

在很短時間內迅速地提高了測量技術水平。之後，隨著其它科學的發展，蘇聯測量科學也得到了飛躍的發展，並已獲得了輝煌的成就。例如，大地測量方面，蘇聯已求得了目前最精確的地球橢圓體的各种元素。在地形測量方面，於1930年已開始大力採用航空攝影測量方法，並進行了大量科學研究工作，不僅迅速地完成了國家測圖的任務，並試制成功了不少高效率的儀器。近年來，在測量方面又採用了尖端技術，如光速測距、微波測距、電子計算技術、雷達航空測量等，使蘇聯測繪科學技術發展到了更高的階段。人造衛星的上天不僅給人類开辟了宇宙航行的道路，對人類作出了極其偉大的貢獻，同時，在人造衛星上可進一步測定地球形狀和大小，為測繪科學提出了新的研究課題。四十多年來，在蘇聯黨和政府的培養和關懷下，出現了不少具有國際水平的偉大測量學家如克拉索夫斯基、德洛貝雪夫等。他們對於測量都有很大貢獻。無疑，目前蘇聯測量科學已達到世界最先進的水平，任何資本主義國家都望塵莫及，這裡也充分說明了社會主義制度的無比優越性。

(二)

我國測量事業的發展有着悠久的歷史，不論過去和現在，我國勞動人民在測量學方面都有着不少寶貴的貢獻。遠在2000多年以前，秦代李冰父子已把測量技術應用到四川省都江堰工程上了，這是歷史上著名的偉大工程。漢代張衡製造了渾天儀，進行天文測量。晉代裴秀總結了前人制圖方法，擬定了匯編小比例尺地圖的工作規範，稱為“制圖六體”，他是世界上最早的制圖學家。在紀元前四世紀時，我國已有人利用磁石制成指南工具，後經改良，到十一世紀指南針的應用已很普遍，在1180年左右才經阿拉伯人傳入歐洲。唐代張遂進行了世界上第一次子午弧測量。元代郭守敬擬定了測量全國各地緯度的計劃，測定了緯度27點。三千多年來，我國人民曾在測量學方面有过不少貢獻，但由於長期受到封建統治，測量學不可能獲得應有的發展。解放前，由於軍閥及國民黨的反動統治，測量事業也不可能有所成就。但與此同時，偉大的中國共產黨所領導的軍隊，在物質條件極端困難的情況下，為了保證革命戰爭的需要，積極地發展測繪事業，為解放後迅速發展測繪事業奠定了良好的基礎。

中華人民共和國成立後，在黨的正確領導和蘇聯無私的幫助下，我國測繪事業和其它事業一樣，獲得了突飛猛進的發展。建國十年來我國所做的測量工作已遠遠超過了解放前一百多年的總和。全國測繪隊伍已從解放前數千人增長到現有的數萬人。為了培養後備力量，全國除設立了兩個測繪學院以外，還有不少院校也在大力培養測繪人才，例如，全國有四個高等學校和不少中等技術學校設立了礦山測量專業，而過去這種人才是很缺乏的。目前在校學習人數已達9600餘人。在儀器製造方面，目前不僅已能製造各種普通儀器，並且已試制成功若干達到國際水平的精密儀器。如地形一號經緯儀、高精度經緯儀、多倍投影儀、光速測距儀、電子印象機等。其中有的已正式投入生產。1956年正式成立了國家測繪總局，組織和領導了全國的測繪工作，逐步統一了全國各種主要的測量規範、細則和圖式。此外，為了大力開展測繪科學研究工作，除已制定了十二年測量科研規劃外，還成立了中國科學院測繪研究所、國家測繪總局測繪科學研究所和總參

謀部測繪局軍事測繪科學研究所等研究機關。目前，他們正在對尖端科學技術，如雷達航空測量、精密物理量距、電子計算技術等進行研究。這些工作在保證我國測繪事業的迅速發展方面有着重大意義。

十年來，在礦山測量方面也取得了極大的成就，除培養了大批專門的礦山測量人才和出版了各種專門書籍以外，煤炭工業部和冶金工業部還設立了統一的領導機構，陸續制訂了各種礦山測量規程，基本上統一了各礦的測量控制系統，加強了礦物儲量的管理工作。過去貫通測量曾有不少缺點錯誤，現在不但錯誤大大減少，而且出現了不少的優異成果。測量方面的科學研究工作也正蓬勃地發展起來。例如，對岩層移動規律性的研究工作正在進行。十年來礦山測量工作對保護國家資源，保證採礦工作的安全和高效率生產起了很大的作用。

在1958年大躍進形勢下，全國測繪工作者和全國人民一樣，都破除了迷信，解放了思想，不斷創造了測量高效率的紀錄，取得了極大的成就。例如在大地測量和航空攝影測量方面，這一年來的成績大大超過了以往幾年的成績。特別要指出的是，上述試制成功而且已達到國際水平的精密儀器就是大躍進的產物。在農田水利建設高潮中，農民發揮了無窮的智慧，創造了各式各樣的土儀器。單是湖北省襄陽專區農民所創造的土水準儀就有十四種之多，這就保證了工程的迅速進行，這是土洋並舉的方針在測量工作方面的勝利。我國煤炭工業部和冶金工業部的測量工作者，為了使測量工作趕上工程建設的需要，同樣發揮了沖天革命干劲，不僅在改良儀器和改進測量繪圖方法方面有了不少發明創造，並且以苦干、實干、巧干的精神不斷地創造了高效率的測量紀錄。目前，他們提出的口號是，“控制光電化，測量機械化，制圖自動化”。他們正滿懷信心地向着測量高效率的目標奮鬥。1958年大躍進的成績，有力地粉碎了右傾機會主義分子向總路線所進行的惡毒進攻。目前全國測繪工作者在黨的八屆八中全會的號召下，和全國人民一道正高舉着總路線、大躍進、人民公社的紅旗，為迅速建成偉大的社會主義祖國奮勇前進。

§ 1-5. 測量上常用的單位

根據1959年6月23日國務院公布的統一我國計量制度的命令，我國計量單位一律採用公制。測量上常用的單位有長度、角度和面積三種：

(一) 長度單位：我國現在規定長度單位為米。

1 米(m) = 10 分米(dm) = 100 厘米(cm) = 1000 毫米(mm)，1 公里 = 1000 米(m)，
1 米 = 3 市尺，1 公里 = 2 市里。

(二) 角度單位：

測量上所用的角度單位為六十進位制，有些國家採用 100 進位制。此外，在計算過程中還常用到弧度單位。

(1) 60 進位制：圓周 = 360°(度)，1° = 60'(分)，1' = 60''(秒)。

(2) 100 進位制：圓周 = 400g(新度)，1g = 100°(新分)，1° = 100°c(新秒)。

(3) 弧度：與半徑等長的弧長所對的圓心角稱為一弧度，一般以符號 ρ 表示之。

$$\rho^{\circ} = \frac{180}{\pi} = 57^{\circ}.3, \rho' = \frac{180}{\pi} \times 60 = 3438', \rho'' = \frac{180}{\pi} \times 60 \times 60 = 206265''.$$

(三)面积单位: 面积单位有平方米、公亩、公顷和平方公里, 而我国的旧制面积单位为市亩。

1 公亩 = 100 平方米 = 0.15 市亩,

1 公顷 = 100 公亩 = 10000 平方米,

1 平方公里 = 100 公顷 = 10000 公亩 = 1,000,000 平方米,

1 市亩 = 60 方丈 = 6000 平方市尺 = $\frac{2000}{3}$ 平方米。

§ 1-6. 地球的形状和大小

地球表面不是平整的球面, 而是有着高山、平原、海洋、深谷等起伏, 但这些起伏对地球来说是微小的。此外, 地球上海洋面积占整个地球表面的71%, 而大陆仅占29%, 因而地球的总形可以认为是被静止海水面所包围的表面平整的球体。

静止的水面所形成的曲面有一个特点, 就是过这个曲面上的任何一点所作的铅垂线 (和重力方向一致的线), 在该点与曲面正交。凡是满足这个条件的面, 就称为水准面。由此可知, 这样的水准面有无穷多个。与水准面相切于一点的平面称为水平面, 水平面内任何方向的直线称为水平线, 如图 1-1 所示。

把水准面无限扩张起来, 就可以形成一个闭合曲面, 在无限多个闭合水准面中, 有一个通过静止的平均海洋面的水准面, 称为大地水准面。

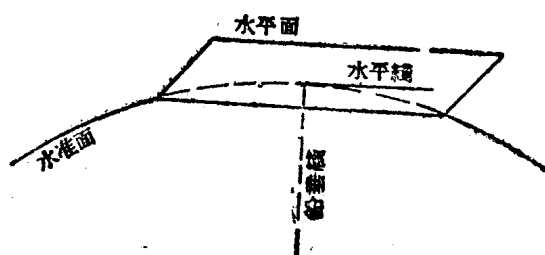


图 1-1

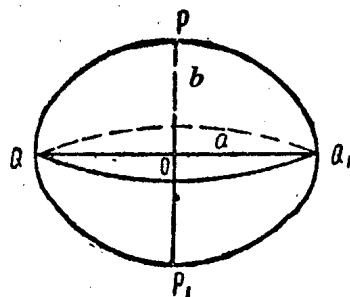


图 1-2

用大地水准面代表地球的总形本来是恰当的, 但由于地球内部质量分布不均, 使铅垂线的方向变动没有一定的几何规则, 因而使大地水准面成为一个极复杂的曲面, 实际上无法求得。因此, 为了计算和绘图便利起见, 目前我们采用接近于大地水准面的几何面来代表地球的形状, 这个面称为旋转椭圆面或称为地球椭圆面, 它的形状和大小可由长半轴 a 和短半轴 b (图 1-2) 或由一个半轴 a 及扁率 α 来决定, a 、 b 、 α 称为地球椭圆体元素:

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

现将各国测量学家观测推算的成果择其主要的列表如下(表2):

表 2

推算者	年 代	长半径 a (m)	短半径 b (m)	扁率 $\alpha = \frac{a-b}{a}$
德兰布尔 (法国)	1800	6,375,653	6,356,564	1:334.0
白 塞 尔 (德国)	1841	6,377,397	6,356,079	1:299.2
克 拉 克 (英国)	1880	6,378,249	6,356,515	1:293.5
海 福 特 (美国)	1909	6,378,388	6,356,912	1:297.0
克拉索夫斯基 (苏联)	1940	6,378,245	6,356,863	1:298.3

表2中所列的成果,以在苏联测量学家克拉索夫斯基领导下所推算的最为准确,因为该成果是经过广泛的收集了世界各国大地测量资料,工作了将近十年之久才获得的。苏联在1946年正式采用这个新元素。我国从1929年到解放时采用美国海福特所推算的元素,现在已经证明该元素中的长短半径都过大,并不适用。因此,我国从1949年后也正式采用了克拉索夫斯基推算的元素。以后随着我国测绘事业的发展,必须根据我国广大国土上收集的資料,最后推算出更适合于我国应用的地球椭圆柱体元素。

由于长短半径只相差约1/300,在一般测量工作中,我们可以认为地球是一个圆球,它的半径为6371公里。

§ 1-7. 地面点位置的确定、地理坐标和高程

(一)地理坐标

地面上一点的位置,在球面上通常是用经纬度表示的,某点的经纬度称为该点的地理坐标。

如图1-3, PP_1 为地球旋转轴,称为地轴,通过地心与地轴垂直的平面 EKQ 称为赤道平面。赤道平面和地球表面的交线称为赤道。

当地球旋转时,地球表面每一点所描出的圆周称为纬圈。赤道是最大的纬圈。通过地轴和地球上任意一点 L 的平面 PLP_1 称为过 L 点的真子午面,过 L 点的真子午面和地球表面的交线称为过 L 点的真子午线或经线。通过英国格林威治天文台某点的真子午面称为首子午面,世界各国公認它为计算经度的起点。

过 L 点的真子午面和首子午面所夹的二面角称为 L 点的经度,通常用 λ 表示之,在首子午面之东者称为东经,在西者称为西经,最大各到 180° 。

经过 L 点的铅垂线和赤道平面的夹角称为 L

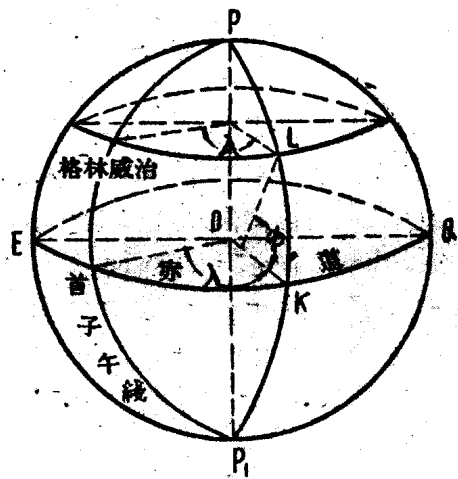


图 1-3

点的緯度，通常以 Φ 表示之。由于地球是椭圆体，所以地面点的鉛垂綫不一定經過地球中心。緯度从赤道向北或向南計算，分別称为北緯或南緯，最大各到 90° 。

在小范围測区内，由于可以把地球表面当作平面看待，在这种情况下，地面上各点的位置可以用平面直角坐标表示，这将在第五章及第十一章中叙述。

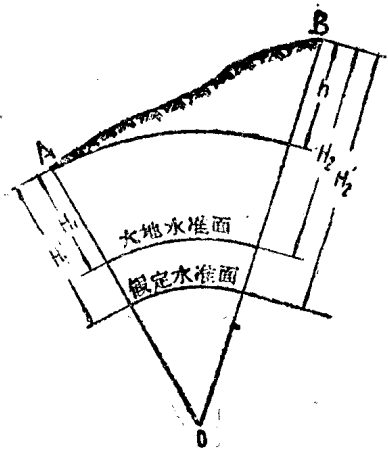


图 1-4

(二) 高程

为了完全确定地面一点的位置，除了地理坐标外，还須測定該点的高程，所以高程也称为点的第三坐标。从一点至大地水准面的豎直距离称为該点的絕對高程（或称海拔，也称标高）。两点間的高程差称为高差。如图 1-4 中， H_1, H_2 为 A、B 两点的絕對高程， h 为 A、B 两点的高差，則：

$$h = H_2 - H_1.$$

有时一点的高程可以从任意假定的水准面算起，

这个水准面称为假定水准面。从一点到假定水准面的鉛垂距离称为該点的假定高程，如图中 H_1', H_2' 为 A、B 点的假定高程，利用假定高程同样也可計算两点的真正高差。在实际工作中，假定高程也經常用到。

§ 1-8. 球面可作为平面的范围

地球表面是弯曲的球面，在球面上进行測量，并将測量所得球面上各点空間位置用投影方法繪到平面的圖紙上，則無論計算和繪圖都比較复杂。但由于地球半径很大，如果測量区域較小，就可将这个地区的球面作为平面看待。这样可以使計算和測繪工作大大簡化。用平面代替球面总是有誤差的，并且測区愈大，誤差也愈大，但如果这种誤差沒有超过測量和繪圖的誤差时，那是可以被允許的。現在我們从下列三方面来研究用平面代替球面后所产生的影响，由此可以了解在多么大范围内，球面可作为平面看待。

(1) 距离影响 如图 1-5，設 A、B 为球面上任意两点，A、B 間球面距离为 S ，弧长 AB 所对中心角为 θ ，球面半径为 R 。現通过切点 A 作一平面，和 OB 的延長綫相交于 B' 点，在平面上 AB' 間距离为 t 。如果将切于 A 点的平面代替球面，即以相应的切綫 AB' 代替圓弧 AB，則将会产生距离誤差，由圖可知：距离誤差 $\Delta S = t - S = R \operatorname{tg} \theta - R \theta = R (\operatorname{tg} \theta - \theta)$ (θ 以弧度表示)。

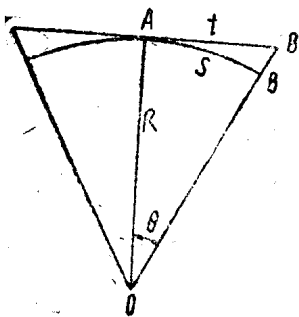


图 1-5

将 $\operatorname{tg} \theta$ 展开为級数式 并只取其首两项則 $\operatorname{tg} \theta = \theta + \frac{1}{3} \theta^3,$

或

$$\operatorname{tg} \theta - \theta = \frac{1}{3} \theta^3.$$

又因

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

故

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

如以地球半径 $R=6371$ 公里代入上式可得下表(表 3):

表 3

距离 s (公里)	距离误差 Δs (厘米)	相对误差 $= \frac{\Delta s}{s}$
10	0.82	1 : 1,220,000
25	12.83	1 : 200,000
100	8.21	1 : 12,000

由上表可知,当距离为10公里时,以平面代替球面所产生的误差为距离的 $\frac{1}{1,220,000}$ 。

这样小的误差,没有超过目前世界最精密距离丈量所产生的误差,因此可以得出这样一个结论:即使在~~进行最精密的距离丈量时~~,在以半径为10公里的圆面积内,球面可以作为平面看待。在精度较低的距离丈量中,则圆面积的半径可达25公里。

(2)水平角度影响 由球面三角学知道,如把同一空间多边形投影到球面上和平面上,则在球面上的多边形的内角和要比平面上多边形的内角和大一个球面角超,因此当球面作为平面看待时,又会产生水平角度误差。球面角超 ε 可用下式计算:

$$\varepsilon'' = \frac{P}{R^2} \times 206265'', \quad (1-3)$$

式中 P ——球面多边形面积;

R ——地球半径。

当

$$P=10 \text{ 平方公里时, } \varepsilon''=0''.05;$$

$$P=100 \text{ 平方公里时, } \varepsilon''=0''.51.$$

从这里可知,当面积不大于100平方公里时,只有在进行最精密的测量时,才考虑以球面作为平面所产生的影响,一般可忽略不计。

(3)高程影响 如图 1-5,由于 A 、 B 两点是在同一水准面上,其高程应相等。如以水平面代替水准面,则 B 点移到了 B' 点。由此产生高程误差 BB' 。现以 q 代表 BB' ,可从下式求得:

$$(R+q)^2 = R^2 + t^2,$$

即

$$2R \cdot q + q^2 = t^2,$$

$$q = \frac{t^2}{2R+q}.$$

由于上式分母中 q 和地球直径比较起来极为微小,可以忽略不计,又为了计算方便