

全国高等农业院校教材

测 量 学

(第二版)

西南农业大学主编

农 业 出 版 社

第二版前言

1985年5月遵照农牧渔业部教育司指示精神：由西南农业大学邀请华南农业大学、浙江农业大学、东北农学院测量教研组教师参加修订土化专业1981年版《测量学》教材。同年六月在浙江农业大学召开全国高等农业院校通用教材《测量学》的教学大纲和教材内容审编会议。

在审编会议中，考虑到目前全国高等农业院校新上的专业很多，其中园林绿化、土壤农化、环境保护、农业建筑、农业工程、农业经营管理、农学、果树、蔬菜、茶叶、蚕桑等专业均需开设测量学或测绘学课程。学时多者为100，少者为50，至今尚无通用教材。为了满足这个需要，现编写这本通用教材《测量学》，供上述各专业选用。

讨论教材内容时，回顾过去教学情况，总结编写土化专业《测量学》教材的经验，进行修订。讨论结果：本教材在系统讲述普通测量学基本知识和操作技术的基础上，结合我国建设现代化农业需要的测量技术，做到理论联系实践。

在定稿过程中，注意了以下几点：①测量学的科学性和系统性；②照顾各专业必须的测量知识，增加绘图技术；③简介国外先进仪器；④采纳十一所兄弟院校所提的宝贵意见，教材内容份量适当，严格控制篇幅，克服不必要的重复。根据上述四项原则，综合兼顾，写出本教材。全书共分四篇：第一篇，测量学基本知识及仪器使用；第二篇，大比例尺地形测量及绘图；第三篇，地形图及航空象片在农业中的应用；第四篇，专业选用测量，共计十七章。在附录里简介国外先进的电子经纬仪和红外测距仪。最后附有汉英测绘名词对照表，供学生阅读英文测量书刊之用。各院校采用时，可按专业的教学任务和学时数，自由选择内容，各取所需。

本书编写过程中，得到山东农业大学、南京农业大学、华南农业大学、云南农业大学、江西农业大学、四川农业大学、福建农学院、江苏农学院、沈阳农学院、安徽农学院、湖南农学院等院校测量学教研室的大力支持和关注，提出了许多宝贵意见和建议。还有西南农业大学丁光华老师担任本书的插图绘制工作。在此对他们一并致以衷心的感谢！

本教材修订工作，由于时间仓促和水平所限，疏漏之处，在所难免。欢迎读者批评指正，以便再版时改正。

主编

1986年2月

第二版修订者

主 编 马建策 (西南农业大学)

编写者 樊发生 (华南农业大学)

秦根兴 (浙江农业大学)

韦兆同 (东北农学院)

林启蒙 (西南农业大学)

第一版前言

本教材根据1977年山西太原全国土壤农化专业会议所制订的教材大纲编写的。全书共分四篇，十六章。第一篇讲述测量学基本知识及仪器使用，第二篇介绍大比例尺地形测量，第三篇叙述地形图及航摄像片在土化专业中的应用，第四篇为农田基本建设中的测量工作。

本教材在系统讲述测量学的基本知识和操作技能的基础上，力求结合我国测绘事业的蓬勃发展以及科学实际，做到理论与实践并重，适当介绍当前本学科在国内外的进展情况和先进技术。书末附有汉英测绘名词对照表，以便学生阅读有关英语书刊。

本教材由西南农学院，福建农学院，北京农业大学，华南农学院，华中农学院，东北农学院，山西农业大学，江苏农学院，浙江农业大学九所院校测量学教师组成教材编写组。由西南农学院马建策同志任主编，福建农学院潘恒楠同志任副主编。

本教材初稿完成后，于1978年8月在福建农学院召开教材审稿会，除九所院校编写人员参加外，另邀请河北农业大学、吉林农业大学、甘肃农业大学、江西共产主义劳动大学、山东农学院、西北农学院、湖南农学院、云南农学院、新疆八一农学院九所兄弟院校代表对初稿进行审查修改，在此一并致谢。最后由马建策同志、潘恒楠同志定稿。由于水平所限，书中存在不少缺点和错误，希望广大师生批评指正。

本教材在制订大纲及编写过程中，考虑到农学院其它专业的需要，编入了有关资料，可供农学系、农经系、园艺系和农水系等专业采用，也可供农业工程测量人员学习参考。

全国土化专业《测量学》教材编写组

1979年6月

第一版编审者

主 编	西南农学院	马建策	
副主编	福建农学院	潘恒楠	
编写者	北京农业大学	刘合源	丁匡衡
	华南农学院	樊发生	
	华中农学院	梁国光	
	东北农学院	韦兆同	
	山西农业大学	李道清	
	江苏农学院	尤汝善	
	浙江农业大学	秦根兴	
	西南农学院	林启蒙	

目 录

绪论.....	1
一、测量学的意义和任务.....	1
二、测量学在社会主义建设中的作用.....	1
三、测量学在现代化农业建设中的作用.....	2
四、测量工作的基本要求和学习方法.....	3

第一篇 测量学基本知识及仪器使用

第一章 测量学的基本知识.....	4
§ 1—1 地球形状和大小的概念.....	4
§ 1—2 地面点位置的确定.....	8
§ 1—3 比例尺.....	10
§ 1—4 地形测量工作概念.....	13
§ 1—5 地形图图式.....	14
§ 1—6 测量误差的基本知识.....	15
第二章 直线丈量和定向.....	20
§ 2—1 直线定线.....	20
§ 2—2 直线丈量.....	22
§ 2—3 直线丈量精度和注意事项.....	24
§ 2—4 罗盘仪.....	24
§ 2—5 方位角和象限角.....	26
第三章 水准仪及水准测量.....	28
§ 3—1 高程测量的概念.....	28
§ 3—2 水准测量原理.....	28
§ 3—3 水准仪的构造.....	29
§ 3—4 自动安平水准仪.....	32
§ 3—5 水准尺和尺垫.....	34
§ 3—6 水准测量的施测方法.....	35
§ 3—7 水准测量闭合差及其分配.....	37
§ 3—8 水准测量的误差及消除方法.....	40
§ 3—9 水准仪的检验和校正.....	41
第四章 经纬仪及其应用.....	43
§ 4—1 角度测量的概念.....	43
§ 4—2 光学经纬仪.....	43
§ 4—3 经纬仪的安置.....	47

§ 4-4 水平角观测	48
§ 4-5 竖直角观测	50
§ 4-6 视距测量	53
§ 4-7 经纬仪的检验和校正	56
第五章 平板仪及施测方法	58
§ 5-1 平板仪测量的概念	58
§ 5-2 平板仪的构造及附件	59
§ 5-3 平板仪的安置	60
§ 5-4 平板仪的施测方法	61
§ 5-5 平板仪的检验和校正	63

第二篇 大比例尺地形测量及绘图

第六章 平面控制测量	65
§ 6-1 概述	65
§ 6-2 量距闭合导线测量	65
§ 6-3 附合导线测量	72
§ 6-4 视距导线测量	75
第七章 高程控制测量	78
§ 7-1 概述	78
§ 7-2 四等水准测量	79
§ 7-3 图根水准测量	85
§ 7-4 三角高程测量	86
第八章 碎部测量	86
§ 8-1 概述	86
§ 8-2 测图前的准备工作	87
§ 8-3 用等高线表示地貌的方法	89
§ 8-4 等高线的特性和种类	91
§ 8-5 一个测站的碎部测量工作	92
§ 8-6 等高线的勾绘	95
§ 8-7 地形图的拼接、整饰与检查	97
第九章 地形绘图	98
§ 9-1 绘图材料、工具和仪器	99
§ 9-2 地形图符号的描绘	101
§ 9-3 地形图注记	103
§ 9-4 地形图清绘	105
§ 9-5 地形图的缩放和复制	107

第三篇 地形图及航空象片在农业中的应用

第十章 地形图的阅读和应用	109
§ 10-1 高斯-克吕格正形投影和直角坐标	109

§ 10—2	地形图的分幅和编号	110
§ 10—3	地形图的阅读	114
§ 10—4	地形图的应用	116
§ 10—5	面积计算	120
第十一章	航空象片在农业中的应用	123
§ 11—1	概述	123
§ 11—2	航空象片的基本知识	124
§ 11—3	航空象片的判读与调绘	134
§ 11—4	航空象片的转绘	139
§ 11—5	航空象片在农业中的应用	143
第四篇 专业选用测量		
第十二章	土壤普查中的测绘工作	146
§ 12—1	概述	146
§ 12—2	土壤普查前的测绘准备工作	146
§ 12—3	土壤普查中的基本测绘技术	147
§ 12—4	土壤图编绘的基本知识	152
§ 12—5	土地面积的量算	156
第十三章	土地平整测量	158
§ 13—1	概述	158
§ 13—2	测量方法	159
§ 13—3	计算设计高程	161
§ 13—4	求施工高度	162
§ 13—5	求零点位置	163
§ 13—6	挖填土方量的估算	163
第十四章	坡地改梯田测量	167
§ 14—1	概述	167
§ 14—2	梯田的结构及形式	168
§ 14—3	梯田设计	168
§ 14—4	计算土石方量	171
§ 14—5	梯田放样	172
第十五章	果苗定植测量	175
§ 15—1	果苗的排列形式	175
§ 15—2	定植株数计算法	175
§ 15—3	平原地区果苗定植测量	177
§ 15—4	丘陵地区果苗定植测量	179
第十六章	灌溉渠道测量	179
§ 16—1	概述	179
§ 16—2	灌溉渠道的踏勘及选线	180
§ 16—3	渠道纵横断面测量	180
§ 16—4	渠道纵横断面制图	184

§ 16—5 土石方计算	186
§ 16—6 比降法测定渠线	186
§ 16—7 渠道施工放样	187
第十七章 庭园放样测量	188
§ 17—1 概述	188
§ 17—2 放样的基本工作	189
§ 17—3 测设点位和高程的基本方法	189
§ 17—4 道路放样测量	192
§ 17—5 桥梁放样测量	194
§ 17—6 主轴线的测设	195
§ 17—7 建筑物放样	196
§ 17—8 几何图形放样	198
附录一 电子经纬仪简介	199
附录二 红外测距仪简介	201
附录三 汉英测绘名词对照表	205

绪 论

一、测量学的意义和任务

测量学是研究地球表面各个部分以及整个地球形状和大小的科学。也就是用各种测量仪器确定地球表面上各个点位的关系，并以一定的比例缩小绘制成图，这种技术称为测量，研究这种量测技术的科学称为测量学。简而言之，测量学是一门量地的应用科学。它包括的范围较广，大体可分为四类：

1. 当研究的对象是小区域，可将地球表面视为平面，不考虑地球曲率的影响的测量科学，称为普通测量学。

2. 当研究的对象是大区域或者是整个地球的形状和大小，必须考虑地球曲率的影响的测量科学，称为大地测量学。

3. 以摄影所获得的像片作为测量基础，进而确定所摄物体的形状、大小以及空间位置的测量科学，称为摄影测量学。地球表面的地形及地物像片是可以从空中或地面上拍摄得到。如果从空中摄影称为航空摄影测量学；如果从地面上摄影称为地面摄影测量学。

4. 专门为某种工程建设项目服务的测量科学称为工程测量学。如矿山测量学、铁道工程测量学、水利工程测量学等等。

普通测量学的基本任务有二：一是在小区域内进行测量，用各种图式按一定比例绘制成地形图或其它图纸，为工农业生产和国防建设的规划、设计提供技术资料，这项工作称为测图。二是将设计的各种工程建筑物，用测量方法标定于地面上，作为施工的依据称为放样。故测量学可说是为人们了解自然和改造自然服务的应用科学。

本课程属于普通测量学的范畴。

二、测量学在社会主义建设中的作用

在制订社会主义建设方案之前，必须进行一系列的调查和勘测工作。如地质普查、农业资源调查、矿山勘测、水利勘察等等，都是为保证今后建设事业顺利推行的主要措施。在进行调查和勘察工作中，必须有一套完整的全国基本地形图。否则，不仅给调查工作带来困难，同时也会使许多计划无从拟订。因为拟订每个计划都是经过反复研究，多方比较最后才得出一个较为合理的方案。在进行研究和比较时，很多数据都是从地形图上得来的。因此，地形图的可靠与否就直接影响方案的合理性。现以黄河的综合开发为例，说明这个问题。黄河综合开发是我国社会主义建设中改造自然的宏伟事业之一，本计划的实现，将使几千年给人民带来无穷灾难的害河变为为人民服务的利河。从根治黄河水害和开发黄河水

利的综合规划报告中,可以看到整个规划的内容是在河流上建筑一系列水库来控制河水,使河水不再泛滥;同时可以利用它来发电,灌溉以及发展航运事业。但是,这几方面又相互存在着一定的矛盾。因此,必须拟订不同的方案作比较,从中选择可以使彼此能够相互配合的方案。在比较时,必须有准确的地形图作依据。例如水库应设在何地,水坝应筑多高,方能以最小的淹没面积达到最大的库容,以及灌溉渠系应如何规划等等,都必须根据地形图来研究和分析。新中国成立后,对黄河进行了勘测,测绘了85,000多平方公里的地形图。在这基础上才有可能进行黄河综合开发的规划工作,这说明地形图和地图对社会主义建设的重要性。

在综合治理黄河、淮河、海河和长江流域规划中,在建设南京、武汉和重庆三座长江大桥中,在修筑全国铁道工程建设中,广大测绘工作者都作出了重大贡献。

此外,我国能源资源是非常丰富的。其中煤炭资源总储量有5万亿吨,居世界第二位;有近4亿千瓦可开发的水力资源,居世界第一位,目前已开发利用不到4%;我国有600亿吨以上的石油地质储量,急待开发。所有这些工程建设都需大量的测绘工作,因而人们常将测绘工作比喻为建设社会主义的尖兵,将所测绘的地形图比喻为工程师的眼睛,这清楚地说明测量学在社会主义建设中的重大作用。

三、测量学在现代化农业建设中的作用

农业现代化的概念可包括下列三方面的内容:①农业生产工具的现代化,②农业生产技术的现代化,③农业生产管理的现代化。

我国土地辽阔,各省农业生产不是降雨过多洪水为害,就是降雨过少发生干旱。而更多的年份是洪水和干旱在不同地区同时发生,或者在一个地区同年发生。水灾和旱灾是经常威胁我国农业生产的两大问题。

此外,我国多数地区还有水、土、肥流失现象。每降大雨或暴雨时,耕地上将出现大的地表径流,土壤侵蚀严重,而且在耕地上所流失的都是肥沃的表土层。因此,目前生产多是在瘦薄的底土层进行耕作,这对农业生产颇为不利。

为了改变农业生产条件,摆脱自然控制,必须兴修一系列农田工程,将原有耕地建成现代化农田,才能实现农业生产工具和农业生产技术的现代化。在进行农田工程之前,必须首先测绘符合规范要求的地形图,然后进行现代化农田工程的规划、设计和施工。

其次,在农业生产管理方面,也必须有精确可靠的地形图,才易于进行现代化的生产管理和土地利用规划。同时,农业上常用的农业地形图、土壤图、果树蔬菜园地图、桑园图等,最好能自己测绘,不求他人。

学习测量学在今后工作中,既能测绘小区域的地形图,也能担任排灌渠系、农村道路、改田改土和土壤普查等的测绘技术,以及航片在农业生产中的应用知识。随着我国农业现代化建设的发展,以改土治水为中心,实行山、水、田、林、路的综合治理,建设早涝保收、高产稳产的现代化农田工程越来越多。测绘科学要为它们提供可靠的勘测资料。故测

量学是建设现代化农业的“先行官”。

四、测量工作的基本要求和学习方法

测量是一项细致的工作，常常容易发生错误，如读错、记错、算错。一处发生错误即影响下步工作，甚至影响整个测量成果，造成人力、物力和时间上的浪费。因此，要求测量员应具有为人民极端负责的精神和仔细的工作作风，坚持做到测、算工作处处有校核，对不符合规范的成果，要查明原因返工重测，一点也不能马虎。

测量工作是以小组为单位进行，个人是小组成员之一，个人工作的好坏将直接影响全组的质量。因此，组员之间首先应发扬集体主义精神，团结一致，互相帮助，紧密协作，才能搞好工作。

测量工作多在野外进行，经常爬山涉水，工作条件较差，常是白天进行外业观测，晚间连续在室内计算，工作比较辛苦。因此，要求具有不怕劳累和艰苦奋斗的精神。

爱护公共财物是人民的神圣职责。测量仪器是测量人员的战斗武器，价值昂贵，特别是光电测距仪和电子计算机的价格更贵。如果对仪器有损坏或遗失，不但造成国家财产的损失，还影响工作的进度。因此，要求学生从思想上象保护眼睛一样爱护仪器，在行动上应养成正确使用仪器的良好习惯。

测量学是一门技术课。它的特点是实践性强，除了听课及参考有关书籍外，主要是通过完成实习来掌握理论和技术。那种只重视理论轻视实践，或者只要求实践的感性知识而对理论不求其解的学习方法，都是错误的。测量学的内容多是具体技术，很多篇幅都是讲述各种仪器的构造、使用和施测方法。学习这种技术知识，如果不重视实践，对仪器操作不熟悉，则观测精度达不到要求，成果和成图都是废品，造成浪费。只有懂得理论并熟练地掌握操作技术，观测精度符合规范要求，才能胜利完成本课程的学习任务。

第一篇 测量学基本知识及仪器使用

第一章 测量学的基本知识

§ 1—1 地球形状和大小的概念

测量学是研究和测定地球表面形状和大小的一门科学。为了做好这项工作，首先应了解地球形状和大小的基本概念。

地球表面是不平坦的，有高山、丘陵、平原、河川、湖泊和海洋等。在陆地上最高的山峰是我国的珠穆朗玛峰，高出海平面 8848.13m；而海洋最深的海底约有 11000m。这些起伏变化与地球的概略半径 6370km 相比是极其微小的，可以略而不计。

地球表面上，海洋的面积约占 71%，而陆地面积仅占 29%。因而地球总的形状可认为是被静止海水面所包围的球体。静止海水面就是没有潮汐，没有波浪的海水面，假想其延伸并穿过大陆和岛屿后所围成的球体，即为整个地球的形状。静止的海水面称为水准面。水准面有一特点，就是通过曲面上任何一点所作的铅垂线（即重力方向线）与水准面相垂直，凡是满足此条件的面就是水准面。因此，水准面有无限个。若将水准面无限扩张起来，包围整个地球而形成各个闭合曲面，在这无限多的闭合水准面中，以通过平均海水面者称为大地水准面。

本来用大地水准面代表地球的外形是恰当的，但因地球内部质量分布不均匀而引起铅垂线方向的变化，以致大地水准面是一个极为复杂的曲面，成为不规则的起伏，目前没有数学公式能够表示。为了测量和制图的方便起见，现在采用接近于大地水准面的几何面来表示地球总的形状，这个面称为地球椭球面。

大地水准面与地球椭球面是相互交错的，如图 1—1 所示。有的地方大地水准面高于地球椭球面，另一些地方又低于它，它们的高差一般不超过 $\pm 150\text{m}$ 。

地球椭球体是沿着赤道稍膨大而南北两极略为扁平的旋转球体。见图 1—2，它的形状和大小通常用两个半径表示，即长半径 a 和短半径 b 。也可用扁率表示球体形状，即长半径和短半径之差数除以长半径所得的商数，称为地球椭球体的扁率。它们的关系如下式：

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

上述长半径、短半径和扁率称为地球椭球体的元素。

数世纪来，许多学者曾分别测算地球椭球体的大小数值，表 1—1 所列数据是最著名的

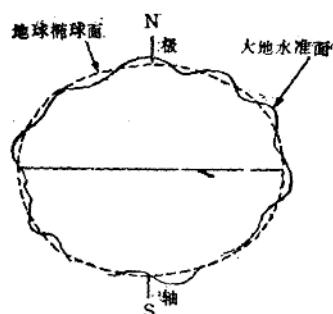


图 1-1 大地水准面和地球椭球面

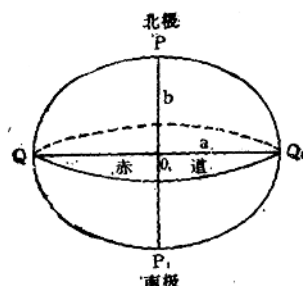


图 1-2 地球椭球体

表 1-1 地球椭球体元素

计 算 者	国 家	发表年代	长半径 a (m)	短半径 b (m)	扁率 α
克 拉 克(Clarke)	英 国	1866	6378249	6356515	1:293.5
海 福 特(Hayford)	美 国	1909	6378388	6356912	1:297.0
克拉索夫斯基(Красовский)	苏 联	1940	6378245	6356863	1:298.3
费 启 尔(Fischer)	美 国	1960	6378155	6356773	1:298.3

测算成果。我国解放前采用海福特的成果，解放后改用克拉索夫斯基的成果。由于长、短半径相差约 43km，因此，在一般地形测量中是将地球的形状近似地当作圆球看待，它的平均半径为 6370km。

地球表面是弯曲的球面。如果测区范围较小，则将球面当作平面看待。但是，在什么范围内才允许将球面视为平面呢？这是应研究的问题，现从三个方面来讨论它的影响。

一、地球曲率对水平距离的影响

见图 1-3， $\widehat{AB}$ 为一段圆弧，亦即大地水准面，设长度为 S ，其所对的圆心角为 α ，地球半径为 R 。此时从 A 点作切线 AC ，设长度为 L 。如果将切于 A 点的水平面，以相应的切线长 AC 代替弧线长 $\widehat{AB}$ ，则距离上将产生误差 Δl ，由该图得：

$$\widehat{AB} = R \cdot \alpha$$

$$\overline{AC} = R \cdot \tan \alpha$$

$$\begin{aligned} \Delta l &= \overline{AC} - \widehat{AB} = L - S \\ &= R \cdot (\tan \alpha - \alpha) \end{aligned}$$

将 $\tan \alpha$ 用级数展开：

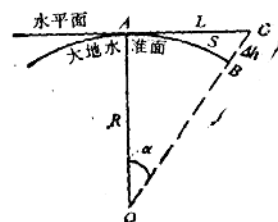


图 1-3 地球曲率对水平距离的影响

$$\operatorname{tg} \alpha = \alpha + \frac{1}{3} \alpha^3 + \frac{2}{15} \alpha^5 + \frac{17}{315} \alpha^7 + \dots$$

根据三角函数的级数公式, 因一般 α 值很小, 可以略去五次方以上各项, 仅取其前两项代入得:

$$\begin{aligned} \Delta l &= L - S = R \left[\left(\alpha + \frac{1}{3} \alpha^3 \right) - \alpha \right] \\ &= \frac{R}{3} \alpha^3 \end{aligned}$$

但 $\alpha = \frac{S}{R}$, 代入上式得:

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

根据此公式, 可计算出在切线的各种不同长度下, 其切线与弧线长度之差数, 如表 1—2 所示。当切线长为 10km 时, 与地面弧线之差仅有 0.82cm, 相对误差为 1:1200000, 其影响不大。因此, 在半径为 10km 面积内进行长度丈量时, 可以不考虑地球曲率, 即将球面当作平面看待。如果精度要求比较低时, 还可将测量范围的半径放宽到 20km。

表 1—2 切线与弧线长度之差数

切线长 L (km)	切线与弧线之差 Δl	相对误差 $\frac{\Delta l}{L}$
10	0.82cm	1:1200000
20	6.60cm	1:305000
50	1.00m	1:48000
100	8.20m	1:12000

二、地球曲率对高程的影响

从图 1—3 可知, 如将地球面上的 B 点作为水平面上的 C 点, 则产生高程误差 Δh 为,

$$\Delta h = OC - OB$$

因 $OC = R \cdot \sec \alpha$; $OB = R$

故 $\Delta h = R \cdot \sec \alpha - R = R \cdot (\sec \alpha - 1)$

将 $\sec \alpha$ 用级数展开为:

$$\sec \alpha = 1 + \frac{1}{2} \alpha^2 + \frac{5}{24} \alpha^4 + \frac{61}{720} \alpha^6 + \dots$$

取级数中的前两项代入得:

$$\Delta h = R \cdot \left(1 + \frac{1}{2}\alpha^2 - 1\right) = \frac{R}{2}\alpha^2$$

将 $\alpha = \frac{S}{R}$ 代入上式得:

$$\Delta h = \frac{R}{2} \cdot \left(\frac{S}{R}\right)^2 = \frac{S^2}{2R} \quad (1-2)$$

根据此公式计算, 得出地球曲率对高程的影响, 列入表 1—3。从表中可见, 在 100m 水平距离时, 高程误差仅 0.7mm。当 10km 水平距离时, 高程误差达到 7.85m。由公式 (1—2) 说明, 因地球曲率而产生的高程误差, 是随距离的平方而增加, 很快达到不能忽略的数值。因此, 在距离测量中也不能忽略地球曲率对高程测量误差的影响, 必须加以考虑。

表 1—3 地球曲率所产生的高程误差

L	Δh	L	Δh
100m	0.07cm	10km	7.85m
1km	7.85cm	20km	33.40m
5km	1.96m	50km	196.20m

三、地球曲率对水平角度的影响

在图 1—4 中, 设球面上有大三角形 ABC , 其边线不是直线而是地球椭球体上的弧线, 这种三角形称为球面三角形。按照球面三角定理, 球面三角形内角之和不等于 180° , 而要 180° 加上球面角超的数值 ε , 即:

$$\angle A + \angle B + \angle C = 180^\circ + \varepsilon''$$

计算球面角超的公式为:

$$\varepsilon'' = \frac{S}{R^2} \cdot \rho'' \quad (1-3)$$

式中: ε'' ——球面角超, 以秒为单位;

R ——地球平均半径;

S ——球面三角形的面积;

ρ'' ——以秒计的弧度。

此公式的推导可参阅球面三角学。球面角超的大小随球面三角形的面积而定。

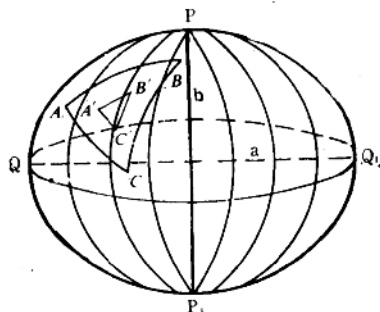


图 1—4 球面三角形

根据上式计算球面角超的数值,列入表1—4。从表中可知,在 100km^2 范围内的控制测量,其地球曲率对水平角度的影响是不考虑的。如果球面角超的数值较大时,则从球面三角形的每一角里减去 $\frac{1}{3}$ 球面角超值,然后用平面三角学的公式,即可推算各边的边长。

表 1—4 由地球曲率而产生的水平角度误差

三角形面积(km^2)	e''	三角形面积(km^2)	e''
10	0.05	1600	8.13
100	0.51	2500	12.71
400	2.03	5000	25.40
900	4.57	10000	50.80

§ 1—2 地面点位置的确定

确定地面上点的位置,必须利用投影的方法,把这些点投影到大地水准面上来研究。此外还应确定地面点沿铅垂线到大地水准面的高度。因此,研究地面点的位置,需要确定点在大地水准面上的投影位置和它到这个面的高度。

一、确定地面点在大地水准面上投影位置

如果把大地水准面视为球面看待,则地面点沿着铅垂线方向投影到大地水准面上的位置称为大地位置或称球面坐标。如果在小区域内进行测量时,将球面当作平面看待,则地面点沿着铅垂线方向投影到水平面上的位置称为平面位置或平面坐标。

(一) 地面点的球面坐标 地面点在大地水准面上的投影位置,如用经度和纬度来确定,则其坐标叫球面坐标,又称为地理坐标。

地球是一个旋转椭球体,垂直于地球旋转轴的各平面与球面的交线称为纬线或纬圈。其中垂直于地球中心的那一个纬圈称为赤道,以赤道为 0° 起算,向南北两极增加,各由 $0^\circ-90^\circ$ 止,在赤道以南者称为南纬,以北者称为北纬。如图1—5,地面点 M 的纬度是通过该点的铅垂线 MZ 与赤道平面所成的夹角,以 MN 的弧长确定之,纬度习惯上用 φ 表示。

经过任意地面点和南北极所作的平面与球面的交线称为子午线或子午圈。经国际天文学会决定:通过英国格林威治天文台的子午线为起始子午线。如图1—5中的 G ,代表英国格林威治天文台所在的位置。起始子午线为 0° 起算,分别向东西两侧各增到 180° 为止,在起始子午线以东者称为东经,以西者称为西经。图1—5中, N 点的经度是指过 N

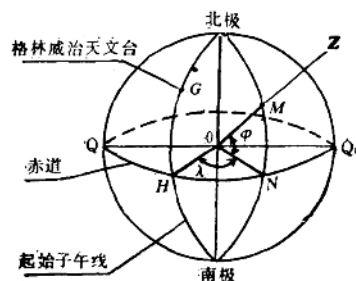


图 1—5 地理坐标