

全国高等农业院校试用教材

测 量 学

西南农学院主编

土 化 专 业 用

农 业 出 版 社

全国高等农业院校试用教材

测 量 学

西南农学院主编

土 化 专 业 用

农 业 出 版 社

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

全国高等农业院校试用教材

测 量 学

西南农学院主编

农业出版社出版 (北京朝内大街130号)

新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1092毫米16开本 15.5印张 1插页 349千字

1981年7月第1版 1981年7月北京第1次印刷

印数 1—5,500册

统一书号 13144·227 定价 1.70元

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编写大纲，由西南农学院、福建农学院等九所院校测量教研组集体编写。

本教材在系统讲述有关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。同时，适当介绍当前本学科在国内外的进展情况和先进技术。因此，本书附录部分编入了遥感技术、激光在测量中的应用、钟山 DS—102 型台式测地计算机的使用、微型电子计算机整理地形控制测量内业计算等的简要介绍和说明，使学生对先进测量仪器和电子计算技术有一些初步知识，书末还附有汉英测绘名词对照表，以便学生阅读有关英语书刊。

教材初稿完成后于一九七八年八月在福建农学院召开教材审稿会议，除九所院校参加编写人员外，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、新疆八一农学院等九所兄弟院校代表对初稿进行审查修改，最后由西南农学院和福建农学院修改定稿。

在定稿过程中对于如何反映国内外测量学的先进水平，提高教材质量，我们曾经多次讨论，反复修改，但由于水平所限，缺点和错误定属难免，希望同志们批评指正，以便进一步修改。

本教材在制订大纲和编写过程中，考虑农学院其它专业的需要，故将有关资料编入，以便其它专业采用。

全国土化专业《测量学》教材编写组

1979年6月

目 录

绪论.....	1
---------	---

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	5
§ 1—1 地球形状和大小的概念	5
§ 1—2 地面点位置的确定	9
§ 1—3 比例尺	11
§ 1—4 平面图、地形图、地图和断面图	14
§ 1—5 地形测量工作概念	15
§ 1—6 测量上常用的计量单位	16
§ 1—7 地形图图式	17
第二章 直线丈量和定向	19
§ 2—1 直线定线	19
§ 2—2 直线丈量的工具	20
§ 2—3 直线丈量的方法	21
§ 2—4 直线丈量的精度和注意事项	25
§ 2—5 直线定向的概念	26
§ 2—6 方位角和象限角	26
§ 2—7 罗盘仪	29
§ 2—8 罗盘仪测定磁方位角	30
§ 2—9 使用罗盘仪应注意事项	31
第三章 水准仪及水准测量	32
§ 3—1 高程测量的概念	32
§ 3—2 水准测量原理	32
§ 3—3 水准仪的构造	33
§ 3—4 水准尺和尺垫	37
§ 3—5 水准测量的实施方法	38
§ 3—6 水准测量闭合差及其分配	40
§ 3—7 水准测量的误差及消除方法	42
§ 3—8 水准仪的检验和校正	43
第四章 经纬仪及水平角观测	45
§ 4—1 水平角观测原理	45
§ 4—2 经纬仪的构造	46

§ 4—3 水平角观测	50
§ 4—4 经纬仪的检验和校正	53
§ 4—5 水平角观测误差及消除方法	55
第五章 视距测量	57
§ 5—1 概述	57
§ 5—2 视距测量原理	57
§ 5—3 竖直角及竖盘	60
§ 5—4 视距常数的测定	63
§ 5—5 视距测量的方法	64
第六章 平板仪测量	70
§ 6—1 平板仪测量原理	70
§ 6—2 平板仪的构造	71
§ 6—3 平板仪的安置	73
§ 6—4 平板仪的施测方法	74
§ 6—5 平板仪的检验与校正	76
第二篇 大比例尺地形测量	
第七章 平面控制测量	78
§ 7—1 概述	78
§ 7—2 经纬仪导线测量	79
§ 7—3 小三角测量	90
§ 7—4 图解三角网	114
第八章 高程控制测量	117
§ 8—1 概述	117
§ 8—2 图根水准测量	117
§ 8—3 三角高程测量	118
§ 8—4 四等水准测量概述	120
第九章 碎部测量	125
§ 9—1 概述	125
§ 9—2 测图前的准备工作	125
§ 9—3 用等高线表示地形的的方法	127
§ 9—4 等高线的特性及种类	129
§ 9—5 一个测站的碎部测量工作	130
§ 9—6 等高线的勾绘	133
§ 9—7 地形图的拼接、整饰与检查	135
§ 9—8 图的复制	137
第十章 草测	139
§ 10—1 草测的意义及用途	139
§ 10—2 草测的仪器和工具	139

§ 10—3 测定距离的方法	140
§ 10—4 测定高差的方法	141
§ 10—5 测定水平角的方法	142
§ 10—6 草测的作业方法	143
§ 10—7 草图的整饰	144

第三篇 地形图及航摄像片在土化专业中的应用

第十一章 地形图的阅读和应用	145
§ 11—1 概说	145
§ 11—2 地形图的分幅和编号	145
§ 11—3 地形图的阅读	151
§ 11—4 地形图的应用	153
§ 11—5 面积计算	161
第十二章 航摄像片的判读和应用	165
§ 12—1 概述	165
§ 12—2 航摄像片的基本概念	166
§ 12—3 航摄像片的判读与调绘	174
§ 12—4 航摄像片在土壤调查制图中的应用	183
第十三章 土壤调查中的测绘工作	185
§ 13—1 概述	185
§ 13—2 土壤调查前的测绘准备工作	185
§ 13—3 土壤调查中地形图的应用	191
§ 13—4 土壤图的测绘	193

第四篇 农田基本建设中的测量工作

第十四章 渠道及道路测量	196
§ 14—1 概述	196
§ 14—2 渠道的踏勘与选线	196
§ 14—3 渠道中线测量	197
§ 14—4 纵横断面测量	200
§ 14—5 纵横断面图的绘制	204
§ 14—6 纵横断面设计	206
§ 14—7 土方量的计算	209
§ 14—8 渠道放样	209
§ 14—9 比降法测量渠道	211
§ 14—10 道路测量的特点	212
第十五章 土地平整测量	213
§ 15—1 概述	213
§ 15—2 测量方法	213

§ 15—3 计算设计高程	214
§ 15—4 求施工高度	215
§ 15—5 求零点位置	216
§ 15—6 计算挖填土方量	217
§ 15—7 水田平整测量	219
第十六章 坡土改梯田测量	222
§ 16—1 概述	222
§ 16—2 全面规划综合治理	222
§ 16—3 梯田结构	223
§ 16—4 梯田测量	224
§ 16—5 梯田设计	227
附录 汉英测绘名词对照表	233

绪 论

一、测量学的意义和任务

测量学是一门量地的应用科学。它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。它包含的范围较广，大体可分为四类：

（一）当研究的对象是一个小区域，也就是将地球表面视为平面，而不考虑地球曲率影响的测量科学，称为普通测量学或平面测量学。

（二）当研究的对象是地球表面上一个大区域或者是地球整个形状和大小，而必须考虑地球曲率影响的测量科学，称为大地测量学。

（三）以摄影所获得的像片作为测量的基础，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。地球表面上的地形和地物像片是可从空中或地面上拍摄的。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。

（四）为某种工程建设项目专门服务的测量学科，称为工程测量学，如公路测量、矿山测量、水利工程测量等。

普通测量学的基本任务有两项：一是在小区域内进行测量，用各种图式，按一定的比例绘制成地形图或其他图纸，为工农业生产和国防建设的规划，设计提供技术资料，这项工作简称测图。二是将已设计完毕的各种工程建筑物，用测量方法标定于地面上作为施工的依据，此项工作简称放样。故测量学可说是为人们了解自然和改造自然服务的一门科学。

本课程是属于普通测量学的范畴。

二、测量学的发展简史

研究测量学的发展历史，可以看出测量学的发展是与人类历史发展过程中的政治、经济和科学文化的发展有着密切的关系。根据历史的记载，测量技术在公元前四千年埃及即已开始应用，因为当时由于埃及的尼罗河洪水常常泛滥，河流两岸农田的界址常被淹没，洪水过后又要重新划定土地边界，因而需要应用测量学方面的理论和实际技术，从而初步建立了测量学的理论基础。此后随着天文学、代数学、三角学的发展，又促进了测量学的不断提高。

公元前六世纪，希腊人毕达哥拉斯提出了地球是圆球形的学说。至于圆球半径的大小，在公元前三世纪才由希腊天文学家埃拉托色尼初步确定。

1492年哥伦布发现美洲新大陆时,他证实了地球是个球形,从而解决了地球形状问题的争论。至1683年法国人卡西尼进一步证明地球不是一个圆球体,而是一个两极略扁的椭球体。在1792—1798年间,米申和德兰柏尔测量的结果,产生了国际长度单位——米,规定一米等于通过巴黎的子午圈象限弧长的一千万分之一。

在十八世纪初开始用水准高程测量方法。到二十世纪初欧洲各国已有精确的地形图,在第一次世界大战期间,为了解决军事用图,开始应用航空摄影测量,战后航测逐步应用于一般测量工作。在第二次世界大战后,由于电子学、光学、计算技术、遥感技术等新的科学技术飞跃发展,不断引进到测绘科技领域中来,因而使测绘科技突飞猛进向前发展。现在无论光电、激光、微波、雷达、红外等测距仪器,由于半导体、集成电路、电子计算机等大量应用,电磁波测距已向微型发展,自动化程度也逐渐提高,测量仪器具备了高效率、轻便、自动、全能等优点。近年来人造地球卫星的发射成功,卫星像片已被广泛使用,又为测量学开辟了新的科学领域。目前测量学正处在技术大革新和技术大革命的新时代。

我们伟大的祖国是世界上的文化古国。我国古代科学家在测绘学的历史上有着光辉的成就,作出了卓越贡献,在世界科学发展史上享有崇高的声誉。早在4200年前我国著名的夏禹治水就创造了“准、绳、规、矩”等测量工具。公元前四世纪就有人利用磁石制成了世界上最早的指南工具,称为“司南”。管仲著有《管子》一书,内有地图27幅,书中还叙述有地图的作用。秦朝李冰父子已将测量技术应用到四川省都江堰的水利分洪工程上。都江堰已有两千多年的悠久历史。

在公元前168年下葬的马王堆坟,经发掘出有地形图、驻军图和城邑图,图幅 96×96 厘米,位于东经 $111^{\circ}11' - 112^{\circ}30'$,北纬 $23^{\circ} - 26^{\circ}$,地跨现今湖南、广东、广西地界,比例为1:17万,河流详细,准确而生动。此图较国外有历史记载的地形图早一千多年。

汉朝张衡发明了浑天仪,用以进行天文观测。张衡绘制的“灵宪图”是世界上最早的星图,图中指出常明恒星有124颗,定名的星有320颗,其他可见的星有2500颗。

公元前三世纪裴秀科学地总结了前人的制图方法,并汇编小比例尺地图的工作规范,称为“制图六体”,无疑这是世界史上最早的制图规范。

唐开元年间(公元八世纪初叶)的天文学家张遂在观测星宿经纬度时,发现恒星本身的位置也在不断移动,这是天文学上的“恒星自行”现象,这个发现比英国人哈雷要早一千多年。

公元724年唐太史监南宫说:根据前人的建议在河南一带平地上,用水准绳墨测量距离,直接丈量长达300公里的子午弧长,并测定开封等四个地点的纬度,结果测出纬距每度之长为351里80步。这是全世界第一次子午线测量,他比阿尔曼孟在美索不达米亚的子午线测量早90年之久。

宋朝沈括(公元1075年)制作河北地形立体模型,绘制“天下州县图”,并在他的“梦溪笔谈”里记载有磁偏角的现象,这是地磁学上的重大发现,对校正地图方位有重大的意义。这个发现比哥伦布第一次横渡大西洋时,才发现磁偏角要早400多年。

元朝郭守敬（公元1231—1316年）发起了测量全国纬度的伟大计划，并测定了纬度27点。明朝以后继续进行经纬度的测量工作。

以上所举的部分例子，可以说明我国古代科学家在测绘史上的历史荣誉，是值得引以自豪的。

在国民党反动派统治时期，我国的社会处于半封建、半殖民地的境地，广大人民在三座大山的压迫下，生活在水深火热之中，根本谈不上国家建设。由于国民党政治上的腐败，使得科学和经济都十分落后，测绘科学和其他科学一样，也得不到应有的发展。

新中国成立后，由于党和政府对测绘事业的正确领导和重视，依靠广大测绘工作者，发扬艰苦奋斗的革命精神，使得我国测绘事业进入一个崭新的发展阶段。全国各经济建设部门均已建立了专业队伍；1956年成立了国家测绘总局，不但组织和领导全国的测绘事业，还统一和制定全国各种测量规范；同年又成立了测绘学院，培养了大批高级测绘科学技术人才；大力开展测绘科学研究工作，促进了测绘事业的更快发展。为了满足测绘事业发展的需要，不仅国内大批生产了水准仪和光学经纬仪，还制造了近代的光电测距仪、激光水准仪、测绘专用电子计算机等先进仪器。此外我国航空摄影测量也得到迅速发展，制成各种比例的航测地形图，以满足工农业生产和国防建设的需要。

三、测量学在社会主义建设中的作用

祖国社会主义经济建设是规模宏大的事业，它的内容十分广泛。如果对国家资源的分布没有相当的了解，就很难制订出合理的方案，在制订社会主义经济建设方案之前，必须进行一系列的调查和勘测工作，如地质调查、土壤普查、荒地勘测、水利及林业调查等工作，都是保证今后建设事业顺利推行的主要措施。在进行普查和勘测工作中，必须有一套完整的全国基本地形图，否则不但给调查工作带来困难，同时也将使许多计划无从拟订。因为每个计划的拟订都是经过反复研究，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，很多数据是从地形图上得来的。因此，地形图的可靠与否就将直接影响到方案的合理性。现以黄河的综合开发来说明这个问题。黄河的综合开发是伟大祖国社会主义建设中改造自然的宏伟事业之一，这个计划的实现，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“关于根治黄河水害和开发黄河水利的综合规划报告”中可以体会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，就必须有准确的地形图作为依据，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，就对黄河进行了勘测，测绘了85000多平方公里的地形图，在这个基础上才有可能进行黄河综合开发的规划工作，这说明了地形图或地图对社会主义建设的重要性。在配合治理黄河、淮河、海河和长江流域规划，在建设南京、武汉和重庆三

座长江大桥中，以及修筑成渝、成昆、宝成铁路等各项工程建设中，广大测绘工作者均作出了重大贡献。因而人们常将测量工作比喻为社会主义建设的尖兵，而将所测绘的地形图比喻为工程师和统帅部的眼睛。

测量学在土壤农化专业中，为农田水利学、土壤调查和规划课打基础。学习测量学在今后工作中，不仅能测绘小区域的地形图，并能担任渠道及道路的勘测、土地平整、改田改土和土壤普查中的测绘工作，以及航摄像片的判读和应用等技术。随着我国农业现代化的发展，以改土治水为中心，实行山、水、田、林、路综合治理，建设旱涝保丰收的基本农田工程越来越多，在这改造自然、重新安排山河面貌的宏伟蓝图中，测量工作要为它们提供可靠的勘测资料。

四、测量工作的基本要求和学习方法

在测量工作中，我们要求树立为人民极端负责的精神，坚持做到测、算工作处处有校核，不符合规范的成果，要查明原因返工重测，以保证精度。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一步工作，甚至影响整个测量成果，造成返工浪费现象。所以错误在测量观测和记录中是绝对不允许有的。

测量工作多在野外进行，工作条件较差，常常白天进行外业观测，晚间还须进行内业计算，工作比较辛苦，因此要求具有不怕劳累和艰苦奋斗的革命精神。

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，又比较贵重，如对仪器有损坏或遗失，不但造成国家财产的浪费，还将影响工作的进度。因此，要求学生从思想上像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，它的特点是实践性较强，除了听课及参考有关书籍外，主要是通过完成实验来掌握知识和技术。所以学习方法必须是理论紧密联系实际，通过亲身的实践，牢固地掌握理论和技术。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甚解的学习方法，都是错误的。普通测量学的内容多是具体的技术，很多篇幅都是讲述各种仪器的构造、使用和施测方法，这些都属于技术性的知识。如果学习不重视实践，则对仪器操作不熟悉，观测的精度达不到要求，成果、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，观测成果达到要求精度，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

测量工作是研究或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。在陆地最高的山峰是我国的珠穆朗玛峰，高出海平面8848.13米，在海洋最深的海底约为11000米，这些起伏变化和地球的概略半径6370公里相比是极其微小的，可以略而不计。

地球表面上，海洋的面积约占71%，而大陆面积仅占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，假想其延伸并通过大陆和岛屿后所围成的形体，作为整个地球的形状，这个静止的海水面称为水准面。水准面有一个特点，就是通过这曲面上任何一点所作的铅垂线（即重力方向）与水准面相垂直，凡是满足这个条件的面就称为水准面。因此，这样的水准面就有无限之多。若将水准面无限扩张起来，包围整个地球而形成一个闭合曲面，在这无限多个闭合水准面中，以通过平均海水面的一个称为大地水准面。

用大地水准面代表地球的外形本来是恰当的，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，有不规则的起伏，目前还没有数学的公式能够表示。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。

大地水准面和地球的椭球面是相互交错的，如图1—1所示。有的地方，大地水准面在地球椭球体面的上面；有的地方又在它的下面，但差数一般不超过 ± 150 米。

地球椭球体是一个沿着赤道稍稍膨大和南北两极略为扁平的旋转椭球体，如图1—2。它的形状和大小通常用两个半径，即长半径 a 又名赤道半径和短半径 b 又名极半径来表示，或者由赤道半径和扁率来决定，

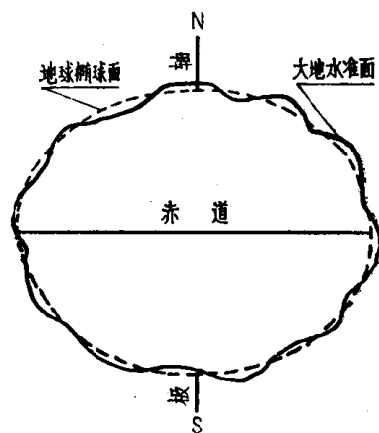


图1—1 大地水准面和地球椭球面

扁率E是以赤道半径和极半径之差数除以赤道半径所得之商数，称为地球椭球体的扁率，它们之间的关系表达如下式：

$$\text{扁率 } E = \frac{a-b}{a}$$

上述的赤道半径，极半径和扁率，称为地球椭球体的元素。

数世纪来，许多学者曾分别推算出地球椭球体的大小数值，表1—1所列数据系最著名的推算成果。

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。由于长短半径相差不到20公里，因此，在一般地形测量中是把地球的形状近似地当作圆球看待，它的平均半径为6370公里。

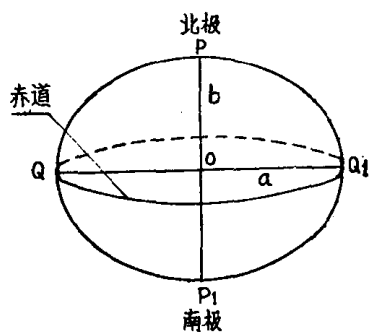


图1—2 地球椭圆柱体

表1—1 地球椭圆柱体元素

推算者	国家	发表年代	赤道半径(a)	极半径(b)	扁率(E)
白塞尔 Bessel	德国	1841	6377397	6356079	1:299.2
克拉克 Clarke	英国	1880	6378249	6356515	1:293.5
海福特 Hayford	美国	1910	6378388	6356912	1:297.0
克拉索夫斯基 Красовский	苏联	1940	6378245	6356863	1:298.3

地球表面是弯曲的球面，如果测区范围较小，则可将球面当作平面看待，但是，在什么范围内才容许将球面当为平面看待呢？这是应研究的问题，现在从三方面来讨论它的影响。

一、地球曲率对水平距离的影响

在图1—3中， $\widehat{AB}$ 为一段圆弧，是大地水准面。设长度为S，其所对的圆心角为 α ，地球平均半径为R，此时从A点作切线 $\overline{AC}$ ，设长度为L，如果将切于A点的水平面代替 $\widehat{AB}$ 弧线长，则距离上将产生误差 ΔL ，由该图得：

$$\widehat{AB} = R\alpha; \quad \overline{AC} = R \cdot \operatorname{tg} \alpha;$$

$$\Delta L = \overline{AC} - \widehat{AB} = L - S = R \cdot (\operatorname{tg} \alpha - \alpha)$$

将 $\operatorname{tg} \alpha$ 用级数展开为：

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

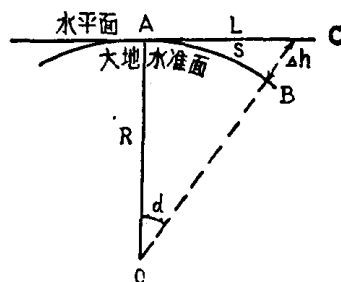


图1—3 地球曲率对水平距离的影响

根据三角函数的级数公式, 因 α 值一般很小, 故可略去五次方以上各项, 仅取其前三项得: $L - S = \Delta L = R \left\{ \left(\alpha + \frac{1}{3} \alpha^3 \right) - \alpha \right\} = \frac{R}{3} \alpha^3$

但 $\alpha = \frac{S}{R}$, 代入上式得:

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

根据此公式, 可以计算出在各种不同的切线长度下, 其切线与弧线长度之差数, 如表 1—2 所示。当切线长为 10 公里时, 与地面弧线之差仅有 0.82 厘米, 相对误差为 1:1200000, 影响是不大的。因此, 在半径为 10 公里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, 假如精度要求较低时, 还可将测量范围的半径放宽到 20 公里。

表 1—2 切线与弧线之差数

切 线 长 L (公里)	切线与弧线之差 ΔL	相 对 误 差 $\frac{\Delta L}{L}$
10	0.82 厘米	1:1200000
20	6.60 厘米	1:305000
50	1.00 米	1:48000
100	8.20 米	1:12000

二、地球曲率对高程的影响

从图 1—3 可知, 若将地球面上的 B 点作为水平面上的 C 点, 则产生的高程误差为:

$$\Delta h = OC - OB;$$

$$\because OC = R \cdot \sec \alpha, \quad OB = R,$$

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

将 $\sec \alpha$ 用级数展开为:

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

只取级数中的前二项得:

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

因 $\alpha = \frac{S}{R}$, 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。从表中可以看出, 在 100

米水平距离时，高程误差将近 1 毫米；当 10 公里水平距离时，高程误差达到 7.85 厘米。由公式 (1-2) 说明了，因地球曲率而产生的高程误差，是随着距离的平方而增加的，很快就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 地球曲率而产生的高差误差

L	Δh	L	Δh
100 米	0.07 厘米	10 公里	7.85 米
1 公里	7.85 厘米	20 公里	33.40 米
5 公里	1.96 米	50 公里	196.20 米

三、地球曲率对水平角度的影响

在图 1-4 中，设球面上有 ABC 大三角形，其边线不是直线而是地球椭球体上的弧线，称为球面三角形。按照球面三角学的定理，球面三角形内角之和不等于 180° ，而是要加球面角超的数值，即

$$\Sigma\beta = 180^\circ + \epsilon''$$

有关球面角超的计算公式为：

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

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，球面角超的大小随着球面三角形的面积而定。

按照上式计算球面角超列入表 1-4。从表中说明在 100 平方公里范围内的控制测量，

表 1-4 地球曲率而产生水平角误差

S (km ²)	ϵ''	S (km ²)	ϵ''
10	0.05	1600	8.13
100	0.51	2500	12.71
400	2.03	5000	25.40
900	4.57	10000	50.80

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，则从球面三角形的每一个角里减去 $\frac{1}{3}$ 的球面角超值，然后用平面三角学的公式推算各边的长度也是可行的。

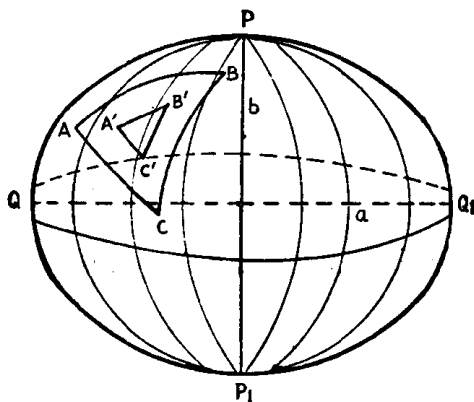


图 1-4 球面三角形

§ 1—2 地面点位置的确定

确定地面上点的位置,就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。

除此以外,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的投影位置

如果把大地水准面当为球面看待,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,或称地理坐标。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称平面坐标。

(一) 地面点的地理坐标 地面点在大地水准面的投影位置,如用经度和纬度来确定时称为地理坐标。

如将大地水准面当成一个旋转椭球体看待,则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,其中经过地球中心的一个纬圈称为赤道。赤道由 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,在赤道以北者称为北纬,如图 1—5 中,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,纬度一般用 φ 表示。

经过任意地面点和南北极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称为起始子午线,如图 1—5 中的 G,代表英国格林威治天文台所在的位置。起始子午线由 0° 起算,分向东西两侧增至 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 点的经度是指以 N 点的子午圈平面与起始子午圈平面所组成的角度即角 HON。经度一般用 λ 表示。

(二) 地面点的平面坐标 平面直角坐标是由两条相互正交的直线组成,测量上采用纵轴为 X 轴、横轴为 Y 轴,见图 1—6(a) 两轴的交点 O 称为原点,这样将平面分为四个

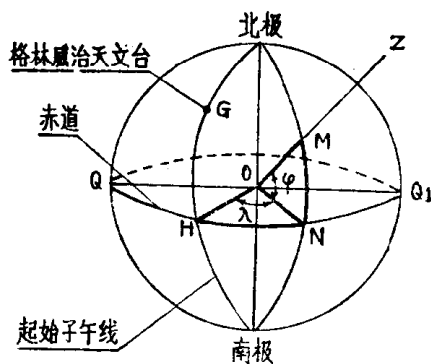


图 1—5 地理坐标

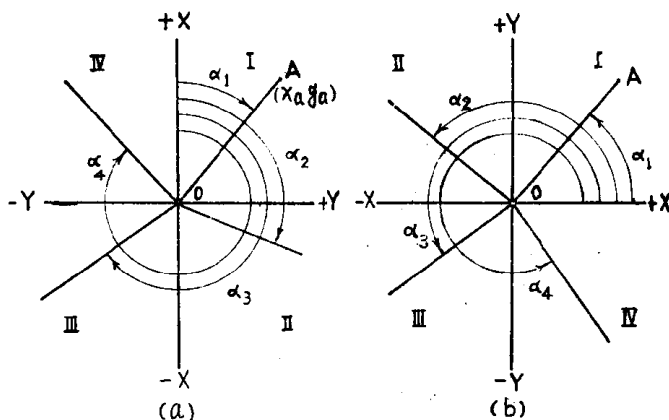


图 1—6 直角坐标