

函授大学教材



测量学

河海大学 陈兰金 编



测 量 学

河海大学 陈兰金 编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书共分四篇。前三篇主要介绍测量的基本知识和基本工作、测量仪器的操作以及大比例尺地形图的测绘及应用等。最后一篇介绍了工程建设阶段的测量工作，供不同专业选用。

本书根据函授特点，各章有学习方法指导、自我检查题、习题与小结。内容实用、文字通俗，附有大量插图和实例，利于自学。本书还适当介绍了新技术的发展，以拓宽学生的知识面。

本书为建筑、水利水电及交通港航等专业的高等学校函授教材，也可作为职工大学教材，还可供有关的工程技术人员参考。

前 言

本教材是根据测量学函授教学大纲的要求编写的。本书介绍了测量工作的基本知识，包括基本理论、基本方法和基本技能，也概略地介绍了几种工程建设中的测量工作。考虑到不同专业教学计划中学时数的差别，本教材除讲授测量的基本工作外，还注意拓宽学生的知识面，开阔学生的眼界。

本教材是由河海大学函授部组织编写的。在编写过程中，得到有关勘测单位、函授辅导站以及工程测量教研室的大力协助，提出了许多宝贵意见，最后由张慕良、包树英教授进行审定，在此一并致谢。对于教材中存在的缺点和错误，恳请读者批评指正。

编 者

一九八八年十一月于河海大学

目 录

前 言	
绪 论	1

第一篇 测量学的一般概念

第一章 测量工作概述	3
学习方法指导	3
第一节 测量学的发展概况	3
第二节 测量学的任务及其在国民经济建设中的作用	4
第三节 地球的形状和大小	6
第四节 地球曲率对水平距离和高差测量精度的影响	7
第五节 平面图、地形图、地图和影象地图	9
第六节 图的比例尺及其精度	11
第七节 地面点的坐标和点与点之间的关系	13
第八节 地形图的分幅和编号	17
第九节 测量工作的组织原则	21
第十节 测量规范的介绍	23
第十一节 数值的近似计算和规则	24
本章小结	26
自我检查题	27
习题一	27

第二篇 测量工作的基本内容及误差理论

第二章 距离测量及直线定向	28
学习方法指导	28
第一节 钢尺量距	28
*第二节 光电测距仪简介	37
第三节 直线定向	41
本章小结	45
自我检查题	45
习题二	46
第三章 高程测量	47
学习方法指导	47
第一节 水准测量原理	47
第二节 水准仪及其使用	48

第三节 水准测量	53
第四节 水准仪的检验与校正	60
第五节 水准测量的误差来源和消除方法	65
*第六节 自动安平水准仪	68
本章小结	69
自我检查题	69
习题三	70
第四章 水平角和竖直角测量	71
学习方法指导	71
第一节 水平角测量原理	71
第二节 经纬仪及其使用	72
第三节 水平角观测方法	77
第四节 竖直角观测	81
第五节 经纬仪的检验与校正	86
第六节 角度测量的误差分析	90
本章小结	93
自我检查题	94
习题四	94
第五章 观测误差理论	96
学习方法指导	96
第一节 观测误差	96
第二节 研究误差理论的目的	99
第三节 观测值的算术平均值	100
第四节 精度评定的标准	100
第五节 观测值函数的中误差	102
第六节 等精度观测值的中误差	109
第七节 误差传播定律在测量中应用	110
*第八节 不等精度观测值的中误差	114
本章小结	117
自我检查题	118
习题五	118
第一次测验作业	119

第三篇 地形测绘

第六章 测量控制网的外业工作和数据处理	121
学习方法指导	121
第一节 平面和高程控制测量	121
第二节 导线测量	123
第三节 交会定点测量	134
*第四节 小三角测量	139

第五节 四等水准测量	143
第六节 过河(海)水准测量	147
第七节 三角高程测量	152
本章小结	155
自我检查题	156
习题六	157
第七章 碎部测量	158
学习方法指导	158
第一节 测图前的准备工作	158
第二节 地形图注记以及地物、地貌的表示方法	161
第三节 视距测量	167
第四节 地形测图的方法	170
第五节 图的拼接、检查和清绘	178
本章小结	180
自我检查题	181
习题七	181
第二次测验作业	183
第八章 地形图的阅读和应用	185
学习方法指导	185
第一节 地形图的阅读	185
第二节 如何选用地形图	187
第三节 地形图应用的基本内容	189
第四节 地形图在工程规划设计中的应用	194
第五节 面积计算	200
本章小结	205
自我检查题	205
习题八	205

第四篇 施 工 测 量

第九章 施工测量的基本工作	207
学习方法指导	207
第一节 概述	207
第二节 放样的基本工作	208
第三节 点位放样的基本方法	212
*第四节 圆曲线放样	215
本章小结	221
自我检查题	221
习题九	221
*第十章 工业与民用建筑施工测量	223
学习方法指导	223

第一节 建筑场地施工控制测量	223
第二节 民用建筑物的施工测量	227
第三节 工业厂房的施工测量	229
第四节 烟囱的施工测量	234
第五节 管道工程施工测量	235
第六节 竣工总平面图的绘制	239
本章小结	240
自我检查题	240
习题十	241
第十一章 渠道测量	242
学习方法指导	242
第一节 渠道的选线及中线测量	242
第二节 渠道纵断面水准测量	244
第三节 渠道横断面测量	246
第四节 渠道纵横断面图的绘制	247
第五节 渠道的土石方计算	248
第六节 渠道的施工放样	250
本章小结	251
自我检查题	251
习题十一	251
第十二章 土坝、水闸的施工测量	253
学习方法指导	253
第一节 土坝施工测量	253
第二节 水闸的施工测量	257
本章小结	260
自我检查题	260
*第十三章 航道与港口测量	261
学习方法指导	261
第一节 水下地形测绘	261
第二节 港口施工控制网及施工基线的布设	265
第三节 高桩码头的施工测量	266
本章小结	271
自我检查题	272
习题十三	272
附录	273
习题答案	273
实验内容	275

绪 论

一、一般学习方法指导

测量学是一门理论与实际紧密相联系的应用技术科学。对于高等学校函授生来说主要是靠自学，自学时有些内容，例如测量仪器，不通过实际操作是不容易掌握的。为解决这一矛盾，一方面函授生可以请所在单位的测量技术人员结合仪器进行辅导，另一方面在面授时通过实践掌握基本知识。如有条件，函授生应在本单位争取参加一些实际的测量操作。

学习过程中，最好能根据教学周历制订一个自学的计划。严格按照计划进行自学，加强与学校、函授站的联系，树立正确的学习观点，认真学习，持之以恒。

测量学的函授教学环节有自学、习题、测验作业、面授、实验和考试等环节。现分别简叙如下。

1. 自学

这是一个主要的环节。要逐章逐节地仔细阅读教材。对于一些基本概念、基本方法（包括计算），要切实弄懂它，掌握它，有些概念较抽象，要反复看几遍，有的内容要通过看例题才能理解。为了便于记忆和加深理解，建议在阅读第一遍后作摘要性的笔记。做笔记就是用文字表达自己思想的语言，能帮助理解与记忆。对以后复习也是有利的。要着重记下定义，解决问题的思路，相互间的联系和问题的结论等。对个别不懂的地方，先做记号，只要它不影响对后面问题的阅读，就暂时搁起来接下去阅读，等学完全章、通过思考，分析，总结，回过头来再看这些问题，如果还没有解决，这时可写信给教师要求解答，或者借助仪器、模型帮助理解。另外在笔记本上应适当地留出空白，作为复习或看参考书时补充或修正用。

每学完一章以后，应根据教材中的自我检查题认真复习思考，回忆一下本章的主要内容，询问自己那一节提出了什么问题？用什么方法来解决？这个方法的根据是什么？推导公式的思路是什么？藉以检查自己掌握的程度，答案不必寄出，如有疑问，同样可提出请教师解答。

2. 习题

做习题是为了巩固和加深所学的理论，学生必须在阅读完每章教材和作过自我检查题的基础上做习题。做习题前要对教材中所举的例题能彻底理解。习题是考查学生成绩的依据之一，做完后要妥为保存，分批寄函授站批改。特别要指出，应在理解的基础上独立完成作业，切忌抄袭。

做习题时除认真复习外，解题时还应搞清题意，已知什么？求解什么？计算要准确，要学会运用心算，要学会辅助用表，取用有效数字要适当。

作业要力求整洁、清楚，制图应正确清晰、字体端正、工整。

3. 测验作业

测验作业是检验学生对本课程该阶段内容是否掌握的重要依据。本课程共有 2 次测验

作业。因此学生应独立完成后按时寄教师批改。做测验作业以前应将本阶段的内容再系统地复习一下，必要时再看一下所做的习题，特别是自己过去做错的地方。

对不合要求的作业，经教师指导和启发后退还重做，重做后再寄给教师批改。

4. 面授

本课程的面授主要讲解一些基本概念和一些重点、难点的内容，以及一些问题的思路，面授时配合测量仪器和具体操作，可帮助学生理解教材中的内容。面授前务请先预习一下本教材中有关的内容，否则将影响参加面授的效果。

面授分两次。第一次面授放在本课程开始前，时间为3天（20学时），内容是教材的第一、第二篇。这样做的目的是使同学在讲授和认识仪器相结合的过程中，加深对测量基本概念的了解，为今后很好地进行自学打下基础。第二次面授放在本课程结束时，时间为6天（40学时），实际上是一个总结，提供了加深理解的机会，同时内容着重于第三篇。第四篇根据各专业选用，结合复习和进行考试。

5. 考试

通过自学，完成全部习题、测验作业、面授和实验各个教学环节以后方可参加考试。考试是考核学生学习成绩的必要教学环节，一般安排在学期结束时进行。通过考试可使课程内容得到系统全面的复习，集中温课时间，采用个别答疑为主，集体答疑为辅的原则。本课程除采用笔试的方式外，教师也可考核学生对仪器的操作，记录和计算能力。

6. 实验

测量实验是检验理论，巩固和充实所学的知识，培养独立工作能力的必要环节。为了解决实验时的仪器设备，实验课多数安排在两次面授时进行。

二、学习本课程的基本要求

本课程是建筑专业、水利工程专业和其它有关专业的技术基础课，通过学习达到下列几个要求。

1) 了解测量学在建筑及水利工程各个阶段的任务，明确测量是工程人员应具备的一项基本技能。

2) 掌握测量工作的基本概念和基本的仪器操作。

3) 了解小区域大比例尺地形图测绘工作。

4) 熟悉并能够使用地形图。

5) 具有一般的施工放样能力，但不要求全面掌握各工程建设阶段的测量工作。在上述学习的基础上，如果工作中确有所需要，可以进一步补充新的知识。

6) 测量工作是一门实践性很强的技术课，它是为工程建设在实地收集资料，作为规划设计的依据。测量工作所观测的数据是第一手资料，因此在测量中要将所观测的数据记录到各种相应的手簿中去，进行计算，所以要求记录时，手簿格式统一，字体端正，不允许用橡皮拭擦或涂改数字。记错时从左下方到右上方打一斜线，然后在上面写上正确数字。计算时要正确运用有效数字。

另外，本教材中加*号的章节为加宽加深的内容，不作为通读内容，可根据学生的情况和单位的要求进行选读。

第一篇 测量学的一般概念

第一章 测量工作概述

学习方法指导

本章中所述的知识为学习本课必备的基础知识。通过本章的学习, 使我们对测量学有概括性的了解, 起到拓宽学生有关测量的知识面和开阔眼界的作用, 以便更好地从事工程的设计、施工与运营管理工作。正因为本章内容所涉及的面较广, 所以有部分内容需待学习了后继有关章节后才能进一步加深理解。

对第一节内容可通读一遍。第二节要求弄清工程测量在工程建设的各个阶段中的作用及其任务。要求对第三、八、十、十一等节涉及到的许多新概念有一般的了解, 其中有的内容为学习以后章节打下基础, 要求大家掌握, 有的内容在以后有关章节及面授时老师还要作必要的讲解。第四、五、六、七、九节应弄清概念, 掌握方法并学会应用。

第一节 测量学的发展概况

测绘科学与其它科学一样, 是人类与自然界斗争的经验结晶。远溯到上古时代, 古埃及由于尼罗河泛滥后, 需要重新划分土地的边界, 需要进行土地测量。古代希腊人很早就掌握了土地测量的方法, “测量学”按希腊文的含意即“土地划分”。

在中国, 公元前21世纪夏禹治水时, 就应用过简单的工具进行测量。公元前7世纪前后, 春秋时期的管仲在其所著《管子》一书中, 就收集了我国早期的地图27幅。到公元前5世纪至3世纪的战国时期, 我们的祖先利用磁石制成了世界上最早的定向(指南)工具“司南”, 秦朝李冰父子修建的四川都江堰水利工程, 更是世界水利史上灿烂的明珠, 没有相当水平的测量工作, 是不可能完成这项宏伟工程的。1973年, 在长沙马王堆汉墓出土了3幅地图, 这三幅图均在帛上, 一幅是地形图, 一幅是驻军图, 另一幅是城邑图, 距今已有两千一百多年的历史, 比过去认为世界上最早的罗马帝国时代《地理学》一书中出现的地图还早三百多年, 是迄今为止已发现的世界最早的地图。马王堆出土的地图, 是以实测为基础绘制的地图。它有一定的比例尺(地形图比例尺约为十八万分之一, 驻军图则为八万分之一到十万分之一左右), 有统一的图例和醒目的地貌表示方法, 地图以红、黑、蓝三色绘制, 也可以说是世界上最早的“彩绘地图”。

公元前350年左右(战国时代), 我国甘德和石申合编了世界第一个星表, 即《甘石星表》。东汉张衡(78~139年)创造了水运浑象仪或称天球仪, 把天象正确地表示出来; 他又制造了候风地动仪, 这是世界上第一架地震仪。他还著有《浑天仪图注》和《灵宪》

等书，总结了当时的“浑天说”。3~4世纪魏晋时期的刘徽著《海岛算经》，论述了有关测量和计算海岛距离及高度的方法。4世纪后秦姜岌发现大气折光现象，并给予正确的解说。西晋的裴秀（224~271年）编绘了“禹贡地域图”和“地形方丈图”，前者是世界上最早的历史图集，后者为我国全国大地图。唐代贾耽根据“制图六体”的理论曾编制了“海内华夷图”。宋代有人参考原图制成“华夷图”和“禹迹图”刻在石碑上，现尚保存在西安碑林。李吉甫编制的“元和郡县志”，是世界上最完善的全国性古地图之一。公元11世纪，宋代沈括曾使用水平尺、罗盘进行地形测量，并绘制了“天下州县图”，是当时最好的全国地图。公元18世纪初，清代康熙年间进行了大规模的大地测量工作，并在此基础上进行了全国范围的地形测量，最后制成“皇舆全览图”，是世界上完成全国地形图最早的国家之一。此后，由于清王朝统治者的腐朽，特别是鸦片战争之后，我国沦为半封建、半殖民地的国家，生产力的发展受到阻碍，科学技术，包括测绘科学没有得到应有的发展。

新中国成立以后，测绘科学得到了逐步发展。解放初期，国家把兴修水利事业放在相当重要的位置，治理淮河、黄河、海河等水利工程中，动员了大量的人力、物力、取得了伟大的成就。而测量工作则贯穿于水利工程的规划、设计、施工和管理的各个阶段。

随着近代科学技术的发展，如电子学、激光技术、精密机械工艺、航天技术以及电子计算机的应用，使测量工作由手工操作逐步向电子化、自动化、数字化方向发展。60年代电磁波测距技术的问世，使量距工作发生了显著的变革。目前，已制成不同用途的高精度电磁波测距仪，广泛地应用于各种目的的测量工作。在水准测量方面，除了自动安平水准仪外，目前又出现了激光水准仪，用来测量地面上两点之间的高差。在工程上，还研制了一种激光水平仪，这种仪器能形成一个参考平面，以每秒10转的速度在水平面方向上旋转，可以同时获得几个点的高程，大大加快了工作速度，提高了工效。1968年国外已开始生产一种新型经纬仪，即全站型信息经纬仪，它与测距装置和数据处理终端配合，可按所测成果直接计算出待定点的坐标和高程，不需读数与记录，大大地提高了作业效率。

自从人造地球卫星发射成功后，1966年开始进行人卫大地测量。这种新技术不受气候影响，可全天候观测，速度快，精度也日益提高。特别是全球定位系统（GPS）在民用方面的应用，根据地面建立的地面接收站来接受卫星发射的信号以确定地面点的坐标，这种方法完全不同于传统的，即建立地面控制测量的方法，免去了造标和地面点间必须通视等困难。摄影测量技术除利用飞机拍摄照片来制作地形图外，还可通过人造卫星来拍摄地面的照片，对陆地、深山、荒漠及海洋都能进行有效的勘测。近景摄影测量在变形观测的应用中也得到了发展。

第二节 测量学的任务及其在国民经济建设中的作用

测量学是研究如何测定地面点的平面位置和高程，将地球表面的地形及其他信息测绘成图的技术科学。人们运用测量技术，还可以确定地球的形状和大小。随着生产力的发展，由于国防和国民经济的需要，测量学已逐步成为一门完整的有许多分支的科学。

近半世纪来,由于工程实践项目的规模不断地扩大,工程建设的内容也日益复杂,因此对测量工作的要求也愈来愈精确。于是,在测绘科学的领域里又形成了“工程测量”这门科学。

建筑及水利工程测量是工程测量的重要组成部分。建筑及水利工程大体上可分三个阶段,即规划设计阶段,建筑施工阶段与经营管理阶段,现将各阶段的测量工作概述如下。

一、规划设计阶段的测量工作

每项工程建设都必须按照自然条件和预期目的进行规划设计,在这个阶段中的测量工作,主要是提供各种比例尺的地形图与地形数字资料。规划设计各阶段所需图的比例尺大致为1:5000至1:1000,个别局部地区,有时还需1:500甚至更大比例尺。

二、工程建设施工阶段和竣工阶段的测量工作

每项工程建设的设计,经过讨论、审查和批准之后,进入施工阶段。

施工测量的传统设备为经纬仪、水准仪和钢尺。目前已开始用电磁波测距仪,激光铅垂仪及准直仪等设备。在施工中,为了检查工程质量,校准建筑物位置和设计工程量,需要经常进行各种测量工作。近年来,地面立体摄影测量在施工中的应用渐渐广泛,如葛洲坝二江水闸闸墩的平整度就是采用这种方法,湖南凤滩水电站在工程投入运营之前,还用同步地面摄影测量进行大坝水力学原型观测,以验证设计和模型试验的正确性。地面立体摄影测量,还可用于对不规则物体的外部形状测量,如对古佛像(四川的乐山大佛)外形的测绘和对高层建筑物的变形观测等。

在施工完毕后,还有竣工测量,不仅为工程验收提供了依据,也为以后工程管理提供必要的资料。

三、运营管理阶段的测量工作

在工程建筑物运营期间,为了监视其安全和稳定情况,了解其设计是否合理,验证设计理论是否正确,需要定期地对其位移、沉陷、倾斜以及摆动等进行观测。根据工程和地貌情况设置变形观测控制网和各种变形观测设备,进行外部和内部变形监测。对测量人员主要是外部变形监测,一般用经纬仪交会法或视准线法测量平面位移,用水准仪测量垂直位移。

由上可见,工程建设的各个阶段均需要进行测量工作。因此,建筑及水利工程测量的任务有如下几个方面:

一、测图

为规划设计阶段及竣工阶段提供地形图,也就是将地面上的地物和地貌位置反映到图纸上去。在规划阶段供设计人员使用,竣工后为今后管理提供依据。

二、放样

也称施工放样,即将图纸上设计好的各种工程建筑物,按设计要求测设到地面上去,用各种标志表示出来作为施工的依据。

三、变形观测

在运营及使用管理过程中,监视工程建筑物的变形以确保工程的安全。

在本教材里,根据教学大纲的要求,我们将着重介绍测量工作的基本概念,基本仪器和一些基本方法。结合规划设计阶段、施工阶段的测量工作进行讨论。变形观测时的测量工作则主要由专业人员进行测量。

第三节 地球的形状和大小

测量工作是在地球的自然表面上进行的,而地球自然表面是极不平坦和不规则的,它有陆地、海洋、高山和平原。通过长期的测绘工作和科学调查,了解到地球表面上的海洋面积约占71%,陆地面积约占29%。我国西藏与尼泊尔交界处的珠穆朗玛峰高达8843.13m,在太平洋西部的马里亚纳海沟深达11022m,约相差20km,这样的高低起伏,相对于地球庞大的体积来说,还是很小的,人们把地球总的形状看作是被海水包围的球体,也就是设想有一个静止的海水面,向陆地延伸而形成一个封闭的曲面,这个静止的海水面称为水准面。海水有潮汐,时高时低,所以水准面有无数个,而其中通过平均海水面的一个称为大地水准面,它所包围的形体称为大地体。

水准面的特性是它处处与铅垂线相垂直。由于地球是不停地旋转着,因此地球上每个点都有一个离心力;另一方面,地球本身具有巨大的质量,对地球上每一点又有一个吸引力,使地面上的物体不致自由离开。所以,地球上每一点都受着离心力与地球吸引力这两个力的作用。如图1-1所示,图中O点为地面上任意一点,地球对它的引力为 OF ,这点受到的离心力为 OP ,点上所受两种力的合力为 OG ,称为重力,重力的作用线 OG 又称铅垂线。

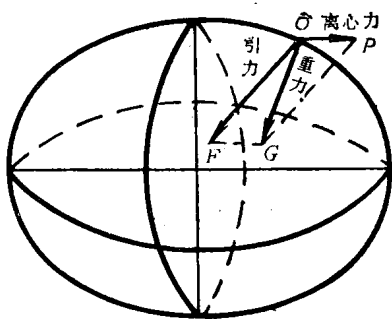


图 1-1 重力作用线

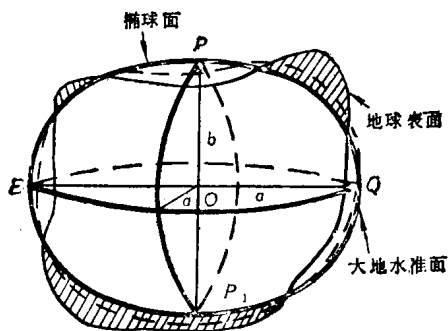


图 1-2 地球的形状和大小

铅垂线与水准面是测量工作所依据的线和面,以后会经常用到。因为水准面很多,实际作为基准的面应该选用大地水准面。但由于铅垂线的方向取决于地球的吸引力,吸引力的大小又与地球内部的质量有关,而地球内部的质量分布又不均匀,引起地面上各点的铅垂线方向产生不规则的变化,因而大地水准面实际上是一个有起伏的不规则的曲面。如果把地表面的形状投影到这个不规则的曲面上,将无法进行测量的计算工作,所以计算工作必须在一个规则的曲面上进行。这个规则曲面的形状要很接近大地水准面,在测量工作中就是用这样一个规则的曲面代替大地水准面作为测量计算的基准面,并在这个曲面上建立大地坐标系。经过几个世纪的实践,人们逐渐认识到地球的形状近于一个两极略扁的椭球,即一个椭圆绕它的短轴旋转而成的形体,如图1-2所示。这个椭球体形状和大小与大地体相近,这个形体叫作参考椭球体,简称椭球体。椭球面有其数学表达式,所以采用椭球面

作为测量计算的基准面是合适的。我国的大地原点设在陕西省泾阳县永乐镇，由此建立新的统一坐标系定名为“1980年国家大地坐标系”。现在通过卫星大地测量，进一步发现地球的南北两极是不对称的，北极较参考椭球稍许凸出约18.9m，南极较参考椭球稍许凹进约25.8m的梨形椭球体。

从图1-2中可见，旋转椭球体是由椭圆 PQP_1E 绕短轴 PP_1 旋转而成，其形状和大小是由它的长半径 a 和短半径 b 所决定的；也可以由长(或短)半径和扁率 $\alpha = \frac{a-b}{a}$ 来决定。半径 a 、 b 及扁率 α 叫作椭球体的元素。

根据1979年国际大地测量和地球物理协会决议，建议采用下列地球体元素：

$$a = 6378137\text{m}$$

$$b = 6356752\text{m}$$

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

目前我国正利用人造卫星的观测成果及全国大地测量资料计算适应我国实际的参考椭球体元素。

由于地球旋转椭球体的扁率很小，因此在地形测量的范围内可把地球作为圆球看待，其半径为

$$R = \frac{1}{3}(a+a+b) = 6371009\text{m}$$

依公里计其近似值为6371km。

第四节 地球曲率对水平距离和高差测量精度的影响

上节已述，在地形测量学范围内是将大地水准面近似地当成圆球看待的。将地面点投影到圆球面上，然后再投影描绘到平面的图纸上，这是很复杂的。在实际的测量工作中，在测区面积不大的情况下，往往以水平面直接代替水准面，就是把较小一部分地球表面上的点投影到水平面上并确定其位置，使计算和绘图工作大为简化。但是，在多大范围内才允许用平面投影代替球面投影呢？

一、地球曲率对水平距离测量精度的影响

以下假定大地水准面为一个球面。图1-3中设 FAE 为水准面， AB 为其上的一段圆弧，设长度为 D ，所对圆心角为 θ ，地球半径为 R 。另自 A 点作切线 AC ，设长为 t ，如将切于 A 点的水平面代替水准面，即以相应的线段 AC 代替圆弧 AB ，则在距离方面将产生误差 $4D$ ，由图得

$$4D = AC - \widehat{AB} = t - D$$

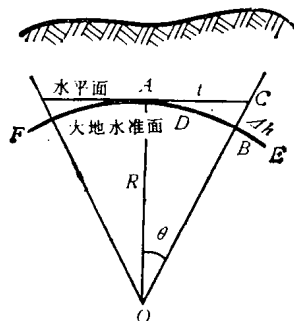


图 1-3 水平面与水准面的关系

其中 $AC=t=R\operatorname{tg}\theta$, $\widehat{AB}=D=R\theta$ 。

将 $\operatorname{tg}\theta$ 展开成级数, 即 $\operatorname{tg}\theta=\theta+\frac{1}{3}\theta^3+\frac{2}{15}\theta^5+\dots$

因 θ 值一般很小, 故可略去五次方以上的各项, 并以 $\theta=\frac{D}{R}$ 代入 $\Delta D=R(\operatorname{tg}\theta-\theta)$ 中则得

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

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

当取 $R=6371\text{km}$, 以不同的 D 值代入上式时, 可得到相应的 ΔD 值和 $\frac{\Delta D}{D}$ 值, 见表1-1。

表 1-1

距 离 (km)	距 离 误 差 ΔD (cm)	距 离 相 对 误 差 $\frac{\Delta D}{D}$	高 程 误 差 Δh (cm)
0.1	0.0000008	1/1250000 万	0.08
1	0.00082	1/12500 万	7.8
10	0.82	1/120 万	780
50	102.68	1/5 万	19623

由上表可知, 当水平距离为10km时, 以水平面代替水准面所产生的相对误差为 $\frac{1}{1200000}$, 小于现在最精密距离丈量的允许相对误差 $\frac{1}{1000000}$ 。因而可以得出这样的结论: 在半径为10km的圆面积内进行水平距离的测量工作时, 可以不必考虑地球曲率。

二、地球曲率对高差测量精度的影响

地面点到大地水准面的铅垂距离, 称为该点的绝对高程(即海拔), 从而知道, 高程的起算面是大地水准面。若以水平面代替水准面去进行高程测量时, 必然含有因地球曲率而产生的高程误差影响。如图1-3所示, A 、 B 两点在同一水准面上, 其高程相等。如以水平面代替水准面, 则 B 点移到 C 点, 因而产生了高程误差 BC , 以 Δh 表示, 由于地球的半径 R 很大, 而距离 D 较小, 即 θ 角较小, 所以 Δh 值可用弦切角 $\frac{\theta}{2}$ 所对的弧长表示, 即

$$\Delta h=\frac{\theta}{2}D$$

若将 $\theta=\frac{D}{R}$ 代入上式, 则

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

取 $R=6371\text{km}$ 和用不同的 D 值代入上式, 算得相应的 Δh 值列于表1-1中。从表中可见, 当距离为1km时, 在高程方面引起的误差约为7.8cm, 而水利工程中, 高程测量的精度在一般情况下1km内不允许超过1~2cm, 所以其影响是很大的。因而地球曲率的影响

对高差而言，即使在很短的距离内进行高程测量时也必须考虑此项影响。

第五节 平面图、地形图、地图和影象地图

测量学研究的对象是地球表面，而地球自然表面的形状是极其复杂的，但总的可分为地物和地貌两大类。地物又分为两类：一类是自然地物，如河流、湖泊、森林、草地和独立岩石等；另一类是经过人类物质生产活动改造了的人工地物，如房屋、高压输电线、铁路、公路、水渠和桥梁等。地貌是指地球表面高低起伏，凹凸不平的自然形态，如山、盆地、山脊、山谷和鞍部等。

测量的成果之一是以图的形式表示，图的种类分平面图、地形图、地图和影象地图等。

一、平面图

将地面上各种地物的轮廓线沿铅垂方向投影到水平面上，然后按一定比例缩小而绘成的图就是平面图，如图1-4所示。其特点是：平面图和实际地物的平面位置是相似形的关系，所以在平面图上的角度就是实地水平面上的角度，而图上各段长度和实地相应的水平长度成一定的比例。

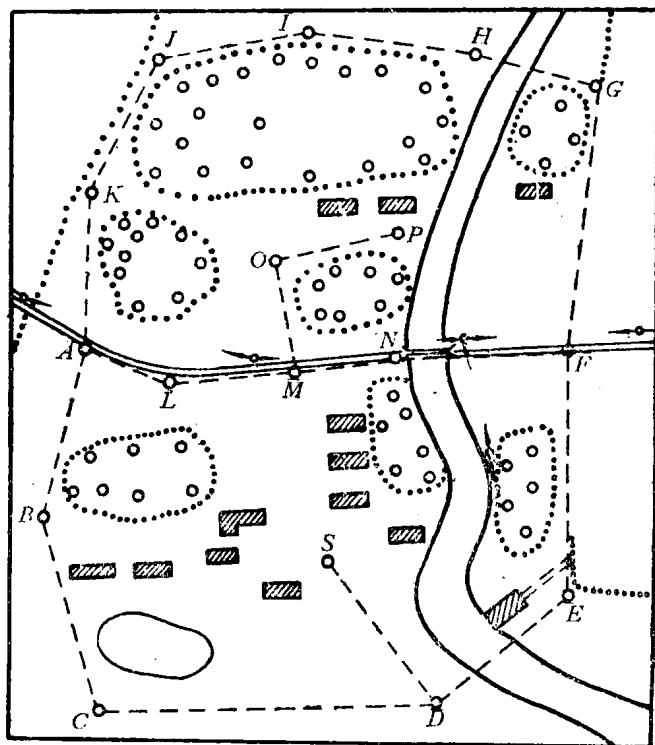


图 1-4 平面图

二、地形图

平面图只能表示地面上地物的平面位置，而不能看出地面的高低，为了能全面地表示