

高等学校规划教材

土建工程测量

刘祖文 编著

中国建筑工程工业出版社



高等学校规划教材

土 建 工 程 测 量

刘祖文 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

土建工程测量/刘祖文编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2009

高等学校规划教材

ISBN 978-7-112-11205-0

I. 土… II. 刘… III. 建筑测量-高等学校-教材

IV. TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 151642 号

本书根据土建类各专业的工程测量教学要求与实际需要编写而成。全书共 12 章, 第 1 章为绪论, 第 2~4 章分别为高差测量、角度测量和直线测量, 简要介绍了电子水准仪、电子经纬仪和全站仪等现代数字测量仪器, 第 5 章为测量误差基本知识, 第 6 章为小地区控制测量, 第 7 章介绍了 GPS 及其在测量中的应用, 第 8、9 章介绍了大比例尺地形图的基本知识、测绘方法以及在规划、设计、管理中的应用, 第 10~12 章介绍了土建工程的勘测与施工测量。

本书可作为资源环境与城乡规划管理、城市规划、土木工程、给水排水工程、道路桥梁与渡河工程、环境工程、建筑环境与设备工程、交通运输、交通工程、工程管理、城市管理和各类线路工程专业本科生的技术基础课程教材, 也可作为上述专业的科研人员、工程技术与管理人员参考。

* * *

责任编辑: 陈 桦

责任设计: 崔兰萍

责任校对: 兰曼利 王雪竹

高等学校规划教材

土 建 工 程 测 量

刘祖文 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

世界知识印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 15 字数: 365 千字

2009 年 9 月第一版 2009 年 9 月第一次印刷

定价: 25.00 元

ISBN 978-7-112-11205-0

(18432)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

随着国家经济的持续增长和社会发展的实际需要,土建工程的规模越来越大、规格越来越高、结构也越来越复杂。昔日,民用建筑以火柴盒式砖砌结构为主体,国道、省道多为依地形而蜿蜒起伏的两车道道路。如今,十几层、几十层的框架结构的高楼大厦随处可见,跨越河江湖海、穿越崇山峻岭的数万千米的高速公路网,成为了国家交通、运输的大动脉。同时,伴随着科学技术的发展和土建工程的需要,工程勘测与施工下中使用的测量仪器与测绘成果的形式,也发生了很大变化。除常规光学类型、获取模拟数据的水准仪、经纬仪外,电子水准仪、全站仪、GPS接收机等现代测量与定位设备,已在常规工程、特别是大型工程中得到了广泛应用。数字地图、数字地面模型等是工程设计与施工人员的主要应用成果。

为了适应现代土建工程测量教学需要,作者综合土建类多个专业指导委员会制定的工程测量教学大纲要求,参考曾经主编的《测量学》框架体系和大量相关教科书,结合多年的教学与工程实践经验编写完成本教材。教材内容以具有土建工程特点的工程测量基本理论为基础,融入了现代测绘仪器、技术与方法。

按照模块化的教学模式,全书分为三个部分。第1~7章为测量基础部分,主要介绍了测量学的基本概念与基础知识,高差、角度、距离等观测要素的测量原理、所用仪器、观测方法和各种误差,控制测量和GPS定位测量的方法。第8、9两章为地形图部分,主要介绍了地形图的基本知识、在规划设计中的应用,以及地形图的传统与现代测绘方法。第10~12章为土建工程的勘测与施工测量,主要介绍了建筑工程施工测量、道路勘测与施工测量、各种管线施工测量等。

本教材可作为资源环境与城乡规划管理、城市规划、土木工程、给水排水工程、道路桥梁与渡河工程、环境工程、建筑环境与设备工程、交通运输、交通工程、工程管理、城市管理和各类线路工程专业本科生的技术基础课程教材,也可供上述专业的科研人员、工程技术与管理人员参考。

冯亚明参与第3章编写,苏新洲、邹勇、张瑞芳、张萍、马绿坪等对编写大纲或初稿内容提出了许多宝贵意见,韩威提供有关资料,借此一并致谢!

书中难免存在各种错误,谨请读者指正。有何建议与要求,请通过电子邮箱 liuzw66@163.com 联系。

华中科技大学 刘祖文

2009年5月30日

目 录

第1章 绪论	1
1.1 测量学概述	1
1.2 测绘基准线和基准面	3
1.3 地面点位的确定	7
1.4 测量工作概述	10
思考题与习题	12
第2章 水准测量	13
2.1 水准测量原理	13
2.2 水准仪及其使用	14
2.3 水准测量与成果计算	19
2.4 水准测量误差及其注意事项	26
2.5 精密水准仪与电子水准仪	28
思考题与习题	31
第3章 角度测量	33
3.1 角度测量原理	33
3.2 普通经纬仪及其使用	34
3.3 水平角观测	40
3.4 竖直角观测	44
3.5 角度测量误差及其注意事项	48
3.6 DJ2型光学经纬仪及其读数方法	51
思考题与习题	51
第4章 直线测量	53
4.1 钢尺量距	53
4.2 电磁波测距	58
4.3 视距测量	62
4.4 直线定向	64
思考题与习题	67
第5章 测量误差基本知识	69
5.1 测量误差	69
5.2 评定观测值精度的指标	73
5.3 误差传播定律及其应用	75
5.4 最或然值及其精度评定	79
思考题与习题	85

第6章 小地区控制测量	87
6.1 控制测量概述	87
6.2 导线测量	91
6.3 交会法定点	101
6.4 三、四等水准测量	105
6.5 三角高程测量	107
思考题与习题	109
第7章 卫星定位测量	111
7.1 卫星导航定位系统概述	111
7.2 GPS 构成	112
7.3 GPS 信号	116
7.4 定位原理与误差	118
7.5 定位方法与定位测量	122
思考题与习题	128
第8章 地形图及其应用	130
8.1 地形图常识	130
8.2 地形符号	134
8.3 地形图应用的基本内容	138
8.4 地形图在规划设计中的应用	142
8.5 地形图在平整土地中的应用	144
思考题与习题	146
第9章 大比例尺地形图测绘	148
9.1 测图基本过程	148
9.2 地物与地貌测绘	154
9.3 大平板仪测图与野外数字测图	157
9.4 航空摄影测量成图	162
思考题与习题	165
第10章 测设的基本工作	166
10.1 测设工作概述	166
10.2 测设的基本工作	167
10.3 点的平面位置测设	170
10.4 坡度线测设与高程传递	174
思考题与习题	176
第11章 建筑施工测量	178
11.1 建筑施工控制测量	178
11.2 建筑轴线与高程测量	183
11.3 建筑施工详细测量	188
11.4 建筑物的变形观测	192
11.5 建筑竣工测量	197

思考题与习题	197
第 12 章 线路勘测与施工测量	198
12.1 线路中线测量	198
12.2 曲线测设	203
12.3 纵横断面测量	214
12.4 管线施工测量	220
思考题与习题	224
附录 仪器常规项目的检验与校正	226
参考文献	231

第1章 绪论

1.1 测量学概述

测量学是研究如何确定点的空间位置,测绘地球表面的自然形态与人工设施的几何分布图形和确定地球形状与大小的科学。

1.1.1 传统测量学科

测量学有着悠久的历史,古代测绘技术起源于水利和农业。随着人类对地球形状的逐步认识与深化,社会发展要求精确确定地面要素的几何位置,测绘成果应用范围愈来愈广,逐渐形成了许多分支学科,主要包括大地测量学、普通测量学、摄影测量学、工程测量学和地图制图学等。土建工程测量包含有普通测量学与工程测量学的部分内容,主要研究与土建工程相关的测量理论、技术与方法。

大地测量学 研究在广大地面上建立国家大地控制网,测定地球(大地水准面)形状、(地球椭球体)大小和地球重力场的理论、技术和方法的学科,其范围包括大区域、国家乃至整个地球,必须考虑地球曲率对点的几何位置与形状的影响。

普通测量学 研究地球表面小范围测绘工作的基本理论、技术、方法和应用的学科,是测量学的基础。在小范围区域进行测量时,一般不考虑地球曲率的影响。主要研究内容包括图根控制网的建立,地形图测绘和一般工程的施工测量。

摄影测量学 通过对摄影像片和辐射能的各种图像记录进行处理、量测、判译和研究,测得物体的形状、大小和位置的模拟或数字成果的学科。根据获得相片和影像信息方式不同,摄影测量学分为水下摄影测量学、地面摄影测量学、航空摄影测量学和航天摄影测量学。

工程测量学 研究各项工程在规划设计、施工建设和运行管理阶段所进行的各种测量工作的学科。其内容按服务对象包括工业测量、铁路公路测量、桥梁测量、隧道与地下工程测量、水利工程测量、输电线路与输油管道测量和城市建设测量等。

地图制图学 研究地图及其制作的理论、工艺和应用的学科。传统地图制图学由地图学总论、地图投影、地图整饰和地图印制等部分组成。

1.1.2 现代测绘科技及其发展

随着电子技术、计算机技术、通信技术、人造卫星技术的发展,传统测量学科分支相互渗透、高度交叉与融合,正在形成地球空间信息学科。

传统纸质二维地形图发展为计算机描述的二维或三维数字地形图。地面观测仪器由机械、光学型发展为光电一体化型,模拟手工白纸测图发展为全自动数字

化测图。小范围、长周期发展为大范围、短周期甚至实时、动态获取地面信息。数据获取方式由地面观测、航空摄影测量扩展到航天遥感的对地观测。

数字高程模型 (Digital Elevation Model-DEM)、数字正射影像图 (Digital Orthophoto Map-DOM)、数字栅格图形 (Digital Raster Graphs-DRG) 和数字线划矢量图形 (Digital Line Graphs-DLG), 即 4D (DEM、DOM、DRG、DLG) 产品, 广泛应用于国民经济各个领域, 是国家空间信息基础设施的基础数据。

以高速运行人造卫星的瞬时位置作为已知起算数据, 采用空间距离后方交会方法确定空间点位的全球定位系统 (Global Positioning System-GPS), 以人造卫星作为观测平台进行对地观测, 获取地面大范围实时高分辨率影像数据的遥感 (Remote Sensing-RS) 和对空间信息进行动态处理、查询、空间分析和决策的地理信息系统 (Geographic Information System-GIS), 简称 3S (即 GPS、GIS、RS)。3S 技术及其集成, 代表了测绘科技的现代发展水平。它们不仅促进测绘科技产生了革命性变化, 成为许多学科研究不可缺少的基础研究工具, 决策、管理和工程建设的重要手段, 而且对人们的日常生活正在产生重要的影响。

国际上已出现欧盟的伽利略、俄罗斯的 GLONASS、美国的 GPS 以及我国的北斗等卫星导航定位系统并存的局面。多系统的存在将打破技术垄断, 改善定位服务的技术水准, 降低用户的成本投入。

数字地球、数字国家、数字区域和数字城市等不同层面的建设, 是国家发展信息产业和进行国际竞争的重要战略决策。空间信息技术是其核心支撑技术, 测绘技术在空间数据采集、处理以及应用等方面将发挥十分重要的作用。

1.1.3 应用

测绘的目的与成果主要有两个方面: 一是获取空间点的位置, 包括获取点的坐标, 点与点之间的高差、角度、距离等关系数据, 确定点的位置; 二是获取空间信息的分布现状, 包括绘制地形图和建立地理信息系统。测绘成果在社会政治、经济、军事、乃至人们的生活, 都有着广泛的应用。

古代测绘最早用于丈量土地, 军事和确定方位。地形图是古代测绘的象征, 主要用于行军和出行。我国目前见于记载的最早的古地图是西周初年的洛邑城址附近的地形图。现在可见到的最早的古地图是长沙马王堆出土的公元前 168 年的古长沙地图和驻军图, 图中有山脉、河流、居民地、道路和军事要素。苏州的南宋石刻《平江图》是我国现存最完整的古代城市规划图。

现代测绘技术既涵盖传统测绘技术, 也包含现代空间信息技术, 其作用已经渗透到人类活动的各个行业与领域。通过地面测量、航空航天测绘、卫星对地观测以及属性数据采集而绘制的地形图和建立的地理信息系统, 属于基础空间信息资料, 是国家经济建设、国防建设和社会发展的基础资料。人口及其密度的分布状况、矿产、石油的勘探与储量, 工业、农业产品的分布等等, 通常绘制成不同用途的地图, 它们是国家宏观经济规划、管理和决策的基础数据。船舶、车辆、飞行器的导航、空间目标的定位越来越依赖全球定位系统。现代军事中, 沙漠中行军、导弹精确命中目标, 军队部署与调遣乃至战争的胜负, 空间信息技术起着至关重要的作用。城市各种突发事件的处理、人们的日常旅行等, 都将越来越多

地利用空间信息技术。

在城市规划、土木工程和市政工程建设方面,测绘既是先行工作、基础工作,也要贯穿整个工程建设的始终,包括勘察、设计、实施和管理。城市规划、交通工程、交通运输需要利用地形图或地理信息系统进行规划设计方案选择、优化和进行科学的城市、交通管理。道路工程、管线工程的选线,土方工程量的估算,施工、竣工后的维护与管理,建筑工程、桥梁工程的施工、变形监测等,始终需要测量工作。

利用遥感影像数据,可以直接观察到地面各种地物形状、地貌形态和车辆等交通状态的丰富信息,可实时监测洪水淹没区域及其变化、可监测城市违规建筑与项目的施工。利用地理信息系统,可以全面了解地下输电、通信、燃气、供热、给排水等管线的分布状况及其相互关系。

1.2 测绘基准线和基准面

1.2.1 地球自然表面

地球的自然表面,是高低起伏的不规则曲面。从局部观察,有高山、丘陵、平原、深谷、盆地、江河与海洋等,世界最高峰珠穆朗玛峰高 8844.43m,最深的马里亚纳海沟深 11022m。从整体考虑,科学研究已经证明,地球表面有约 71% 的面积为海洋,约 29% 的面积为陆地,地球是一个近似于被海水面包围的、形如梨状的椭球体。

1.2.2 水准面与大地水准面

在地球惯性系统内,物体受到的地球引力和惯性离心力的合力,称为重力。地面任意一点都会受到重力的影响,人们把重力的方向线,即悬挂重物时自由下垂的直线,称为铅垂线,如图 1-1。铅垂线是测量工作所依据的线。由于地球引力与物体所在位置的地球内部物质及其密度有关,惯性离心力与物体所在的球面位置 and 高度有关,严格来讲,对于不同位置和高度 的地面点,其重力的大小和方向并不一样,导致不同点的铅垂线既不相平行,也不是所有铅垂线都相交于同一点,如地球球心。

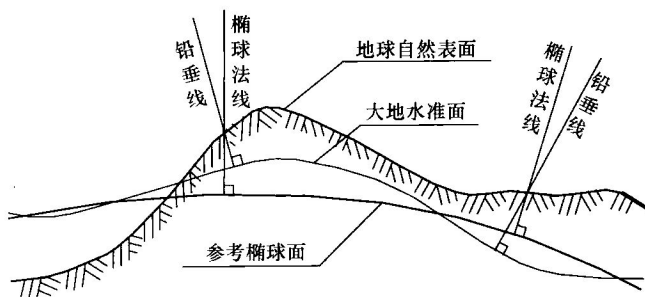


图 1-1 地球自然表面与大地水准面关系

水在静止时的表面称为水准面。水准面随高度不同有无数个,任意一点的铅垂线与该点的水准面相互垂直,如果将水准面无限延伸,该水准面将是一个封闭的曲面。水准面是测量工作所依据的面。水准面的切平面称为水平面。

静止的海水面是一个十分重要的水准面。与处于流体静平衡状态的海水面重合,并向岛屿、大陆内部延伸的封闭曲面称为大地水准面。由于波浪、水流、潮

汐、大气压变化引起扰动等因素的影响,人们无法获得处于流体静平衡状态的海水面的确切位置,通常是在海边设立验潮站,按规定时间间隔对海水面的高度进行持续观测、取其观测值的平均位值作为平均海水面位置,并在测量中使用平均海水面作为大地水准面。大地水准面是测量工作的基准面。地球自然表面与大地水准面的关系如图 1-1 所示。大地水准面所包围的形体,称为大地体,大地体代表了地球的基本形体。

1.2.3 投影面

表示地面要素的空间位置,测绘科学中通常选择一种投影面,将地面点投影到投影面上得到一个投影点,由地面点到投影面或某基准面的距离(一个参数)和投影点在投影面上的位置(两个参数)共三个参数来描述。根据不同地区与不同的使用用途,投影面有许多种。对于普通测量而言,常用的投影面有三种:参考椭球面、高斯投影面、水平面。第一种为球面,后两种为平面。

1) 参考椭球面

前已叙及,各铅垂线的方向具有不规则性,而水准面具有处处与铅垂线保持垂直的特性,由此,大地水准面实际上是一个有微小起伏的不规则曲面。如果将地面要素投影到这个不规则的曲面上,将很难进行测量数据处理。为了实际工作方便,人们通常选定一个与整个国家或局部区域大地水准面拟合最好、与地球(大地体)形状最接近,并且可用数学公式表达的规则曲面代替大地水准面作为投影面,这个规则曲面称为参考椭球面,亦称旋转椭球面。

地面要素沿球面法线方向投影到参考椭球面上后,可以通过球面坐标系描述地面要素的位置及其相互关系。

如图 1-2,参考椭球面是由长半径为 a ,扁率为 α 的椭圆绕其短轴旋转后进行定位而形成的椭球面,其中, $\alpha = (a-b)/a$, b 为椭球短半径。短轴与参考椭球面有两个交点,位于南半球的交点称为南极,用 S 表示,北半球的交点称为北极,用 N 表示。参考椭球面与大地水准面的关系如图 1-3 所示。

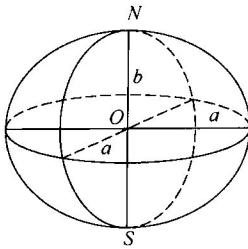


图 1-2 参考椭球

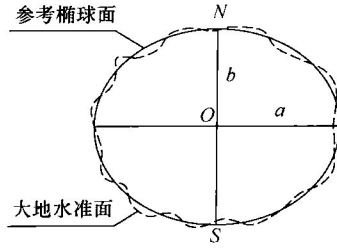


图 1-3 参考椭球面与大地水准面的关系

不同的国家或地区,参考椭球的长半径 a 和扁率 α 有所不同。与全球大地水准面拟合最好的参考椭球面称为地球椭球面。参考椭球面和地球椭球面是测量计算的基准面。由于地球椭球扁率很小,在测区面积较小或测量精度要求不高时,为了计算方便,可用半径为 6371km 的圆球代替地球椭球。

2) 高斯投影面

地面要素投影到参考椭球面上,可以准确表示地面要素的实际位置及其相对

关系。由于参考椭球面是不可展曲面，不便于观测数据处理和实际成果应用，如，人们不可能携带一个球状地图外出旅行或者在球状地图上进行规划设计，因此，需建立参考椭球面上的点与可展投影面上的点之间的一一对应关系，将沿法线投影到参考椭球面上的要素再按一定规则投影到平面上。

按一定数学法则，把参考椭球面上的点、线投影到平面上的方法，称为地图投影。地图投影分为许多种类，按投影面形状分为方位投影、圆柱投影、圆锥投影；按投影变形性质分为等角投影、等距投影、等面积投影。据不完全统计，根据投影区域的地理位置和用图的目的不同，全世界现有 250 多种投影方法。我国基本比例尺地形图除 1:100 万小比例尺地形图采用属正轴等面积锥面投影系统的 Lambert 或 Albers 外，其余小比例尺和所有中、大比例尺地形图均采用高斯-克吕格投影（简称高斯投影）。下面介绍高斯投影的原理和分带方法。

高斯投影属于等角横切椭圆柱投影。如图 1-4 (a)，设想将一个椭圆柱面套在参考椭球面外，并与某子午线（经线）相切，高斯投影中称该子午线为中央子午线。按中央子午线和赤道线投影后成为相互垂直的直线，中央子午线保持长度不变，无角度变形等约束条件，将参考椭球面上中央子午线两侧一定范围内的点投影到椭圆柱上，再将椭圆柱面沿过南北极的圆柱母线剪开展平，即得图 1-4 (b) 所示高斯投影平面。

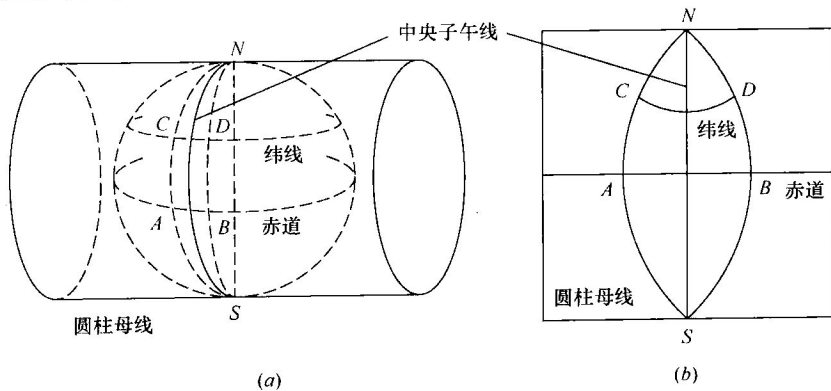


图 1-4 高斯投影

图 1-4 (a) 中，A、B 位于赤道线上，C、D 位于同一纬线上，A、C 和 B、D 分别位于两条不同的经线上，A、B、C、D 四点及其所在的经、纬线，投影成图 1-4 (b) 所示图形。由图中可以看出，除赤道外的纬线投影后成为曲线；当中央子午线投影前后保持长度不变时，椭球面上与中央子午线等长的其他子午线也投影成曲线，其长度均发生变形，且离中央子午线越远，长度变形越大。为了控制长度变形，通常采用分带投影，即将地球椭球面按一定经差（两相邻经线经度之差）划分为若干互不重叠的投影带，各带分别投影。带宽越大，其边缘的误差越大。根据对投影精度的要求不同，带宽主要分为 6° 、 3° 等几种。图 1-5 为 6° 带和 3° 带分带图形。上半部为 6° 带，各行数据以此为中央子午线经度 L_0 、带号 N 和分界子午线经度；下半部为 3° 带，其数据为 3° 带带号。

6° 带自 0° 子午线起，按经差 6° 间隔自西向东分为 60 带，其带号以此为 1, 2,

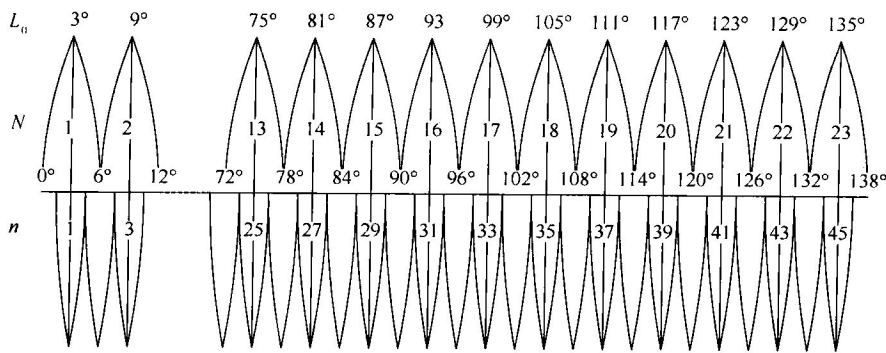


图 1-5 高斯投影带

…60。设某带带号为 N ，中央子午线经度为 L_0 ，则有

$$L_0 = 6 \cdot N - 3 \tag{1-1}$$

3°带以 6°带为基础进行分带，且中央子午线与 6°带的中央子午线或分带子午线重合，自 1.5°子午线起按经差 3°间隔自西向东分为 120 带，其带号以此为 1, 2, …120。见图1-5。设某带带号为 n ，中央子午线经度为 L_0 ，则有

$$L_0 = 3 \cdot n \tag{1-2}$$

对不同带分别进行高斯投影，可以获得不同投影带的高斯投影平面。

3) 水平面

投影平面除了高斯投影平面外，在小范围内也可不考虑地球曲率影响，将地面要素沿铅垂线方向直接投影到测区的某一水平面上，即用水平面作为投影平面。

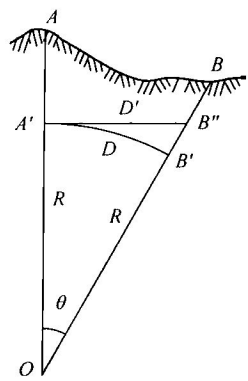


图 1-6 水平面代替椭球面的影响

由水平面代替参考椭球面可避免高斯投影的烦琐计算，但对水平位置受到影响，则代替范围有一定的限度。

如图 1-6，地面点 A 沿铅垂线方向投影到椭球面上得投影点 A' ，过 A' 作一水平面，该水平面垂直于 A 点铅垂线。将地面点 B 沿铅垂线方向分别投影到过 A' 的椭球面和水平面上得投影点 B' 和 B'' 。地面直线 AB 投影到水平面上的直线长度 D' 与投影到椭球面上的球面弧长 D 之差 ΔD ，即为用水平面代替椭球面作为投影面的影响。设椭球平均半径为 R ，过 A 、 B 两地面点的铅垂线相交且交角为 θ ，则

$$\Delta D = D' - D = R \tan \theta - R \theta = R (\tan \theta - \theta)$$

小范围内的 θ 较小，将 $\tan \theta$ 用三角级数公式展开后取前两项，与 $\theta = D/R$ 一并带入上式得

$$\Delta D = R \left[\left(\theta + \frac{1}{3} \theta^3 \right) - \theta \right] = \frac{D^3}{3R^2} \tag{1-3}$$

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \tag{1-4}$$

对于不同精度要求，利用式 (1-3) 和式 (1-4)，可计算确定用水平面代替参考椭球面的范围。将 $R=6371\text{km}$ 和不同 D 值代入式 (1-3) 和式 (1-4) 中，可得，

$D=10\text{km}$ 时，相对误差为： $\Delta D/D=1/1217700$ ；

$D=20\text{km}$ 时, 相对误差为: $\Delta D/D=1/304400$ 。

一般认为, 在半径为 10km 的圆形区域内, 可以用水平面代替椭球面作为投影面, 其产生的影响约为 $1:1200000$, 可以忽略不计。

1.3 地面点位的确定

确定地面点的位置是测量工作的基本任务。数学中用三维直角坐标系中的 (x, y, z) 坐标三个参数来描述点的空间位置。测量中用地面点沿铅垂线 (或沿参考椭球面法线) 到指定基准面的距离和地面点在指定投影面上的两个坐标描述点的空间位置。

1.3.1 地面点的高程

地面点的高程, 一般指地面点沿铅垂线方向至基准面的距离。根据高程基准面不同分为绝对高程和假定高程。

1) 绝对高程

地面点到大地水准面的铅垂距离称为绝对高程, 亦称海拔, 用 H 表示。如图 1-7, 地面 A 、 B 两点的绝对高程分别为 H_A 、 H_B 。

由于作为高程基准面的大地水准面实际上使用的是平均海水面, 而不同验潮站以及同一验潮站不同时间所求得平均海水面之间存在差异, 因而, 对于同一地面点, 平均海水面高度不同存在不同的高程。为解决全国高程系统的统一问题, 我国于 1954 年 10 月在青岛观象山建成国家水准原点, 并利用 1950 年至 1956 年青岛大港验潮站的验潮资料, 建立了“1956 年黄海高程系”, 测算出国家大地水准原点高程为 72.289m 。1987

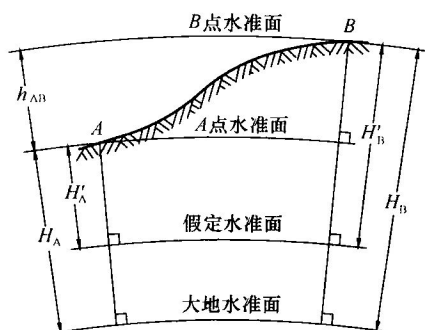


图 1-7 绝对高程和假定高程

年 9 月, 启用“1985 年国家高程基准”, 重新测算出国家大地水准原点高程为 72.260m 。

2) 假定高程

地面点到假定水准面的铅垂距离称为假定高程, 亦称相对高程, 用 H' 表示。如图 1-7, 地面 A 、 B 两点的假定高程分别为 H'_A 、 H'_B 。

在测区及其附近尚无国家统一系统高程点且引测困难, 或出于测绘成果的数据安全原因时, 可使用假定高程。在不需要使用国家统一高程系统的一些工程建设中, 出于计算和数据处理方便, 经常使用假定高程。

3) 高差

同一高程系统中任意两点高程之差称为高差, 用 h 表示。图 1-4 中 A 、 B 两点的高差为

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A$$

由上式可以看出, 两点之间的高差, 与高程基准面的选择无关。高差 h_{AB} 下标

的位置代表了高差的方向。

若 $h_{AB} > 0$, 则 B 点高于 A 点

$h_{AB} < 0$, B 点低于 A 点

$h_{AB} = 0$, B 点与 A 点同高

且 $h_{AB} = -h_{BA}$ (1-5)

1.3.2 地面点在投影面上的位置

地面点在投影面上的位置由两个坐标参数表示, 投影面可以是椭球面或平面。

1) 球面大地坐标

在椭球面上表示地面点位置的坐标称为地理坐标。地理坐标按其依据的基本线、基本面以及获得坐标的方法不同, 主要有大地坐标和天文坐标, 此处仅介绍工程建设中主要使用的大地坐标。

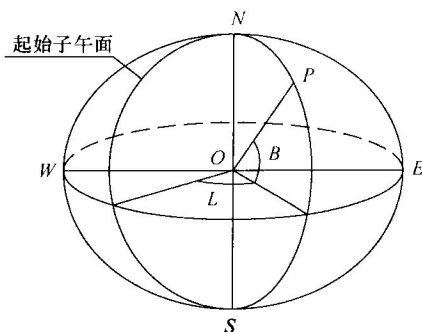


图 1-8 球面大地坐标系

如图 1-8, 设 N 、 S 为参考椭球旋转轴与参考椭球面的交点, 其中 N 和 S 分别为参考椭球的北极和南极。包含空间点 P 的参考椭球面法线和参考椭球旋转轴 NS 的平面称为大地子午面, 一般采用通过或平行于原英国格林尼治天文台的大地子午面作为起始子午面。大地子午面与参考椭球面的交线

称为大地子午线, 亦称大地子午圈。通过参考椭球中心且与参考椭球旋转轴垂直的平面称为赤道面, 赤道面与参考椭球面的交线称为赤道。与赤道面平行的面与参考椭球面的交线称为平行圈, 亦称纬圈。

大地坐标是指以参考椭球面为基准面的坐标, 用大地经度和大地纬度表示。过 P 点的大地子午面与起始子午面之间的夹角称为大地经度, 简称经度, 用 L 表示。大地经度从起始子午面开始, 向东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经, 向西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。我国位于地球东半球, 各点经度均为东经。过 P 点的参考椭球面法线与赤道面的夹角称为大地纬度, 用 B 表示, 大地纬度从赤道面开始, 向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬, 向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬。我国位于地球北半球, 各点纬度均为北纬。

点的大地坐标一般是根据大地坐标系中大地原点的大地坐标和大地测量所获得的数据推算求得。其中, 大地坐标系指的是以参考椭球面为基准面, 用以表示地面点位置的参照系。大地原点指的是国家水平控制网中推算大地坐标的起算点。由于所选参考椭球和大地原点及其定位参数不同, 同一地面点在不同大地坐标系中的大地坐标存在差异。建国后, 我国曾经使用的全国统一大地坐标系是“1954 年北京坐标系”。对应的椭球参数为前苏联的克拉索夫斯基椭球参数, 其长半径 $a = 6378245\text{m}$, 扁率 $\alpha = 1/298.3$, 大地原点位于前苏联普尔科沃。该大地坐标系实际上是前苏联 1942 年大地坐标系在中国的延伸, 对于我国东部地区测量成果产生较大误差。为使全国各地大地水准面与参考椭球面拟合最好, 保证定位精度, 我国新建, 并正在使用的全国统一大地坐标系为“1980 年国家大地坐标系”, 对应椭球参数为国际大地测量与地球物理联合会 1975 年推荐的参数, 其长半径 $a =$

6378140m, 扁率 $\alpha=1/298.257$, 大地原点位于陕西省泾阳县永乐镇。

由于参考椭球的扁率很小, 在测区范围不大时, 可以把参考椭球当作圆球看待, 其平均半径为 6371km。

2) 平面坐标

(1) 高斯平面坐标 由高斯投影约束条件可知, 各带的中央子午线与赤道投影后分别成为直线且相互垂直。在各个投影带的高斯投影平面上, 以投影后的中央子午线为 x (纵) 坐标轴, 赤道为 y (横) 坐标轴, x 和 y 坐标轴的交点为坐标原点构成的平面直角坐标系, 称为高斯平面直角坐标系。

在高斯平面直角坐标系中, 纵坐标 x 以赤道为零起算, 赤道以北为正, 以南为负, 横坐标 y 以中央子午线为零起算, 向东为正, 向西为负。我国领土全部位于赤道以北, 其 x 均为正, 而 y 则有正有负。如图 1-9 (a), 设 A、B 为高斯平面直角坐标系的两点, 其横坐标 y 分别为:

$$y_A = +136765.486\text{m}$$

$$y_B = -125688.728\text{m}$$

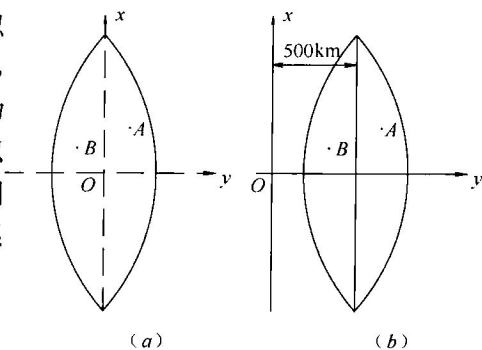


图 1-9 高斯平面坐标系

为了避免出现负值, 将纵坐标轴和坐标原点向西平移 500km, 则每点的横坐标 y 均为正值。如图 1-9 (b), A、B 两点在纵坐标轴和坐标原点平移后的横坐标 y 分别为:

$$y_A = 500000 + 136765.486 = 636765.486\text{m}$$

$$y_B = 500000 - 125688.728 = 374311.272\text{m}$$

由于高斯投影采用分带投影, 每一带都有相应的高斯平面直角坐标系, 位于不同投影带中的不同两点, 可能具有完全相同的坐标。为了点位坐标的唯一性, 规定在横坐标前加注带号。例如 B 点位于 3° 带第 38 带, 则 B 点横坐标值为: $y_B = 38374311.272\text{m}$ 。

我国境内经度范围西起 72° 东至 135° , 共有 6° 带 12 带, 其带号以此为 13 带~23 带, 3° 带 22 带, 其带号以此为 24 带~45 带, 6° 带与 3° 带带号不发生重叠。

(2) 独立平面坐标 在指定投影平面上, 任选相互垂直的两条直线作为纵、横坐标轴, 两坐标轴交点作为坐标原点所构成的平面直角坐标系, 称为独立平面坐标系。根据投影面不同主要有两种类型。

①采用高斯投影的等角横切圆柱投影原理获得的平面作为投影平面, 按高斯平面坐标系的相同方法和规定建立平面坐标系。所不同的是中央子午线不是高斯投影中规定的子午线, 而是根据需要选用的地方子午线。这种独立平面坐标系, 对位于高斯投影带边缘或跨越两个高斯投影带的局部地区、城市等, 通过平移中央子午线使测区位于中央子午线附近, 可以控制高斯投影中离中央子午线愈远, 投影误差愈大的影响, 减少或消除跨带时的坐标换算。

②采用测区中央的某一水平面作为投影面建立平面坐标系。坐标原点一般设

在测区西南角, 保证测区各点纵横坐标均为正值。在这种独立平面坐标系中, 地面点直接沿铅垂线方向投影到水平面上, 计算简单。避免了将地面点先投影到参考椭球面上, 再将参考椭球面上的点通过高斯投影方法投影到平面上的复杂计算过程。

上节内容已经说明, 用水平面代替椭球面是有限度的。因此, 这种独立平面坐标系只适用于较小的区域。

(3) 测量平面坐标与数学平面坐标的区别

测量平面坐标与数学平面坐标的区别在于坐标轴的位置互换, 象限顺序相反。数学坐标系横轴为 x 轴, 纵轴为 y 轴, 象限顺序依逆时针方向排列; 而测量标系纵轴为 x 轴, 横轴为 y 轴, 象限顺序依顺时针方向排列。数学坐标系的三角函数同样适用于测量坐标系。

3) 空间点在三维直角坐标系中的坐标

如图 1-10, 空间直角坐标系的定义是: 原点 O 与地球质心重合, Z 轴指向地球北极点 (地球自转轴与地球表面在北半球的交点), X 轴指向格林尼治平均 (零) 子午面与地球赤道的交点, Y 轴垂直于 XOZ 平面构成右手法则。

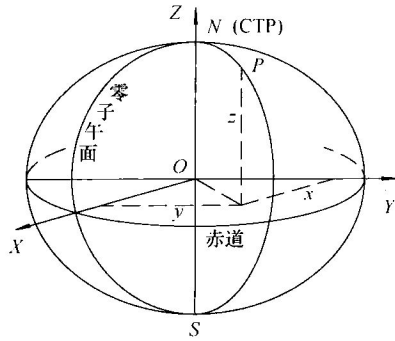


图 1-10 空间直角坐标系

科学研究发现, 地球自转轴相对于地球体的位置并非固定不变, 地球北极点在地球表面的位置是随时间变化的。地球北极点的移动将使地球空间直角坐标的坐标轴指向发生变化, 地面点的空间直角坐标具有不确定性。为了解决这一问题, 美国国防部研究确定了目前正在全球定位系统中使用的空间直角坐标系-WGS-84 (World Geodetic System, 1984)。该坐标系的原点 O 与地球质心重合, Z 轴指向 BIH1984.0 (BIH: 国际时间局, 法语 Bureau International de l'Heure 的简称) 定义的协议地球极点 CTP (Conventional Terrestrial Pole), X 轴指向 BIH1984.0 定义的零子午面与 CTP 对应地球赤道的交点, Y 轴垂直于 XOZ 平面构成右手法则。WGS-84 坐标系对应的地球椭球的两个最常用的几何常数为:

长半径 $a=6378137\text{m}$
扁率 $\alpha=1/298.257223563$

由于美国 GPS 的广泛应用, WGS-84 系统便成为公认的世界坐标系。我国“1954 年北京坐标系”和“1980 年国家大地坐标系”的空间直角坐标与 WGS-84 空间直角坐标的相互转换, 详见有关参考文献。

1.4 测量工作概述

1.4.1 测量基本任务

测量基本任务概括起来包括测定和测设两个方面。