



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定
全国铁道职业教育教学指导委员会规划教材
高等职业教育铁道工程技术专业“十二五”规划教材

工程测量

(第二版)

■ 尹辉增 主编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定
全国铁道职业教育教学指导委员会规划教材
高等职业教育铁道工程专业“十二五”规划教材

工程测量

(第二版)

尹辉增 主编

中国铁道出版社

2014年·北京



第二版前言

《工程测量》第一版出版后,因其“依测绘项目组织实施程序,按照项目教学方式规划编写”的独特教材体系,先进的、贴近生产实践的教学内容迅速获得了广大读者的认可,在教学和生产一线得到了广泛应用。但在使用过程中,我们也发现了本书存在的一些问题,同时也得到了部分读者宝贵的反馈意见。在此基础上,我们对教材进行了修改和完善,吐故纳新,以使先进性、科学性和新颖性得到更好的体现,并与生产一线的贴合更加紧密。

本次修订时,我们在保持第一版特色的基础上,努力更新内容,特别着力于增加教材的实践性,注重职业素质和技能的培养,从理论和观念上引导“入门”,从测绘项目的实施上定位“角色”,从技能培养训练上打造“能手”,从综合作业上崇尚“协同”。第二版除了保持第一版的特色外,主要作了以下的调整和修订。

(1)更新和修订了部分项目内容,如更新了项目4和项目5中案例部分,使两个项目的案例具有连续性,便于读者更好地理解控制测量与地形图测绘之间的联系。

(2)修订了书中线路、桥梁、隧道和建筑等方面的标识和术语,便于测绘人员与其他专业技术人员沟通,数据共享,协同作业。

(3)删除了一些过时或繁琐、冗长的叙述。随着信息化技术的发展和运用,全站仪和全球定位系统等技术应用日趋普及,本书摒弃了原来经纬仪加钢尺的测设方法,重点讲述使用全站仪和GPS的测设方法。

(4)突出职业素质培养。对测绘与测设两个工作领域,在不增加篇幅的原则下,重新梳理了测绘工作的岗前安全教育内容。

(5)强化思维能力和职业技能培养。从项目施测前需要收集哪些资料,如何编写实施方案,施测准备哪些仪器和复核哪些数据,如何实施测量并提高工作效率,项目完成提交哪些测量成果等环节,重新梳理了各项的案例,通过学习,使学生实现“入门”、“角色”、“协同”和“能手”的成长过程。

(6)本着贴近生产实际的原则,增加生产第一线的施工方法和工艺。如项目五中引入了“辐射法”和“一步测量法”等新的图根控制测量方法。

本书由尹辉增主编,在修订工作中,各章的执笔人与第一版相同。

我们衷心期望继续得到广大读者、同行专家的批评、指正。期待本教材在教育教学改革实践中更臻完善。

编者
2014年5月



第一版前言

工程测量是一门广泛应用于测绘、国土规划、土建等领域的专业技术,经过众多辛勤工作者多年的思考和沉积,逐步形成了一套完整的知识体系,相关的参考文献繁多。而随着职业技术教育应用型教学改革推进,技术能力培养理念从“一技在手”向“学技终身”转变,为工作和生活培养技能。理念的更新促使工程测量技术的培养更加突出学习者可持续、主动性学习能力的培养。本书编写时以技能培养的具体项目为划分单元,以工程测量技术服务的施工项目为对象,分析项目施工流程,把握施工各环节的测量工作内容和重点,配合其他工种协调开展工作,使学习者能够快速适应施工现场环境,旨在抛砖引玉,希望对从事工程测量技术人员有所帮助。

本书通过对“工程测量”课程高职教学现状的调研和分析,总结多年国家示范专业教育教学改革成果和课程教学经验,参考了大量资料编写而成。全书分为10个项目:项目1测量工作认识,是入门知识,讲述了测量工作的基准、测量工作实质和原则等问题;项目2测量工作准备,介绍了测量工作实施前的准备工作和职业安全教育知识;项目3测量基本技能训练,介绍了空间点位的测量方法、仪器使用等知识;项目4小区域控制测量,介绍了常用控制测量方法和现代仪器的应用知识;项目5数字化地形图测绘及应用,介绍了地形图基本知识、数字化地形图测绘方法与手段、数字化地形图应用等知识;项目6线路中线施工测量,介绍了公路和铁路等线路的中线测量方法,重点阐述了中线逐桩坐标计算知识;项目7线路路基施工测量,介绍了路基施工测量程序和方法;项目8桥涵施工测量,介绍了桥涵施工测量程序和方法;项目9地下工程施工测量,主要介绍了隧道施工测量程序和方法;项目10建筑施工测量,介绍了不同建(构)筑物施工测量程序和方法。在每个项目学习后,提供了综合项目实训作为参考,对项目学习效果进行考核。

本书由石家庄铁路职业技术学院尹辉增任主编,聂振钢、边占新、陈冉丽、周淑波任副主编。编写分工如下:尹辉增编写项目1、项目7、项目8、项目9,聂振钢编写项目2、项目10,边占新编写项目5,陈冉丽编写项目3、项目4,周淑波编写项目6。另外,田华参与了项目1的编写,李笑娜参与了项目3的编写,李立增参与了项目10的编写,山东职业学院王兴强参与了项目2的编写,包头铁道职业技术学院张莉参与了项目4的编写,郑州铁路职业技术学院刘朝英参与了项目5的编写,天津城市建设学院易正晖参与了项目7的编写,河北交通职业技术学院刘柳参与了项目8的编写,南京铁道职业技术学院魏连峰参与了项目9的编写。

本书由石家庄铁路职业技术学院李孟山教授、战启芳教授主审,在编写过程中隋修志教授等人给予了很多帮助,在此一并感谢。对本书参考文献资料的作者表示由衷地感谢。

由于编者水平有限,不妥之处恳请读者批评指正。

编者
2012年7月



目录

项目 1 测量工作认识	1
1.1 测量工作载体的认识	3
1.2 坐标系统建立	7
1.3 测量方位确定	11
1.4 高程系统确定	13
复习思考题	15
项目 2 测量工作准备	16
2.1 测量工作的原则	17
2.2 施测前的准备工作	18
2.3 岗前安全教育	20
2.4 测量误差基本知识	24
复习思考题	34
项目 3 测量基本技能训练	35
3.1 点位高程测量	36
3.2 点位平面坐标测量	51
3.3 全站仪在测量工作中的应用	74
3.4 GPS 卫星定位技术在测量工作中的应用	79
项目实训	85
项目 4 小区域控制测量	86
4.1 小区域控制测量概述	88
4.2 导线测量	91
4.3 交会测量	97
4.4 高程控制测量	100
项目实训	116
项目 5 数字化地形图测绘及应用	118
5.1 大比例尺地形图基本知识	120
5.2 大比例尺数字地形图测绘	127
5.3 数字地形图在土方量计算中的应用	148
项目实训	159
项目 6 线路中线施工测量	160
6.1 线路工程线形组成	162
6.2 控制点复测	164

6.3	坐标法线路中线测量	165
6.4	线路直线段逐桩坐标计算	166
6.5	圆曲线逐桩坐标计算	167
6.6	缓和圆曲线逐桩坐标计算	170
6.7	不等长的缓和曲线加圆曲线逐桩坐标计算	177
6.8	卵形曲线逐桩坐标计算	180
6.9	互通立交匝道中线坐标计算	183
6.10*	复化辛甫生公式及其应用	189
6.11	中线上点位的切线方位角计算	196
	项目实训	200
项目 7	线路路基施工测量	202
7.1	路基施工概述	207
7.2	线路断面测量	210
7.3	路基设计及施工资料检核	214
7.4	路基横断面施工测量	218
7.5	路基纵断面施工测量	222
7.6	路基竣工测量	225
	项目实训	225
项目 8	桥涵施工测量	227
8.1	桥梁构造与施工测量	230
8.2	桥梁平面控制网测设	235
8.3	桥梁高程控制网测设	239
8.4	桥梁控制网的复测	242
8.5	桥梁施工资料复核	242
8.6	墩台定位及轴线测设	246
8.7	桥梁施工放样及竣工测量	253
8.8	涵洞施工测量	257
8.9	计算机技术在桥梁施工中的应用	258
8.10	桥梁施工和运营期间的变形监测	267
8.11	锥体护坡测量	270
	项目实训	271
项目 9	隧道施工测量	273
9.1	隧道工程施工概述	278
9.2	隧道洞外控制测量	285
9.3	隧道进洞关系计算与联系测量	290
9.4	隧道洞内控制测量	294
9.5	隧道贯通误差估算	295
9.6	隧道施工测量	299
9.7	隧道施工监控量测	301
	项目实训	309

项目 10 建筑施工测量	311
10.1 建筑工程测量准备工作	313
10.2 建筑场地上的施工控制测量	313
10.3 民用建筑施工中的定位测量	317
10.4 高层建筑物的竖向测量和高程传递	320
10.5 工业厂房施工测量	321
10.6 建筑物的变形观测	325
10.7 竣工总平面图的编绘	330
10.8 激光在建筑施工测量中的应用	331
项目实训	334
参考文献	336

项目 1 测量工作认识



项目描述

本项目主要介绍测量工作的基准,如测量坐标系建立、高程系统建立、测量方位的确定等,旨在引导初学者认识工程测量技术工作的原则、工作程序及相关工作内容,培养学生对测量工作的兴趣。本项目结合具体施工案例,按照工程施工的不同阶段介绍测量工作的内容,使学生掌握工程测量工作的基准、空间点位的表示方法和测量前的必要准备工作。



拟实现的教学目标

1. 能力目标

- (1)能理解和应用坐标系统知识;
- (2)能理解和应用测量方位知识;
- (3)能理解和应用高程系统知识。

2. 知识目标

- (1)掌握测量工作的基准面和基准线的概念;
- (2)掌握测量坐标系统的基本知识;
- (3)掌握测量方位的确定方法;
- (4)掌握大地高系统、正高系统和正常高系统的概念。

3. 素质目标

- (1)培养学生的团队协作能力;
- (2)培养学生在在学习过程中的主动性、创新性意识;
- (3)培养学生“自主、探索、合作”的学习方式;
- (4)培养学生可持续的学习能力。



相关案例——工程测量技术在线路工程案例中的应用

工程测量技术广泛应用于建筑工程、线路工程(如铁路、公路、输电线路和输油管道等)、桥梁工程、隧道工程、矿山开发、市政建设和水利工程等项目。以线路工程为例,铁路、公路在建造之前,为了确定一条最经济合理的路线,事先必须进行线路沿线的测量工作,由测量的成果绘制带状地形图,在地形图上进行线路设计,然后将设计路线的位置标定在地面上以便进行施工。待施工结束后,还要测绘竣工图,供日后扩建、改建和维修之用,对某些重要的建筑物在建成以后需要进行变形观测,以保证建筑物安全使用。

1. 规划设计阶段的测量

规划设计阶段的测量主要是为规划、设计、开发提供相应的地形、定位等数据。该阶段的测量工作主要是测绘,即按一定的手段和方法,使用测量仪器和工具,通过测量和计算,得到一系列测量数据,或把地球表面的地形缩绘成地形图。图 1.0.1 为某线路带状地形测量。

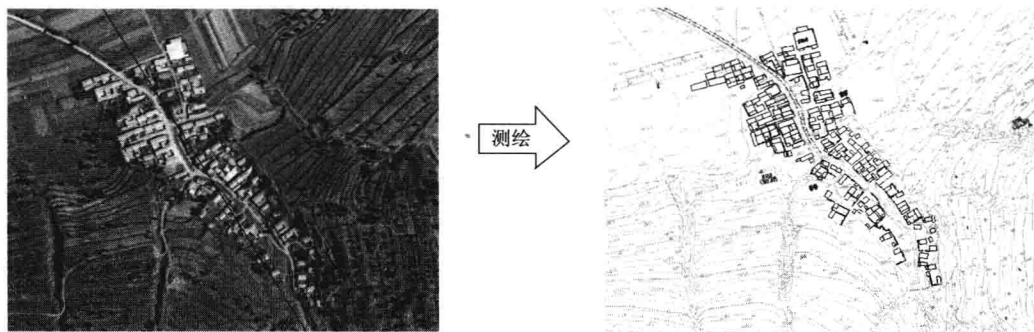


图 1.0.1 某线路带状地形测量

2. 施工阶段的测量

主要任务是按照工程设计文件要求,把图纸上规划好的建筑物或设计数据标定在地面上,作为施工和安装的依据,该阶段的测量工作称为测设或放样。图 1.0.2 为某铁路施工测量。

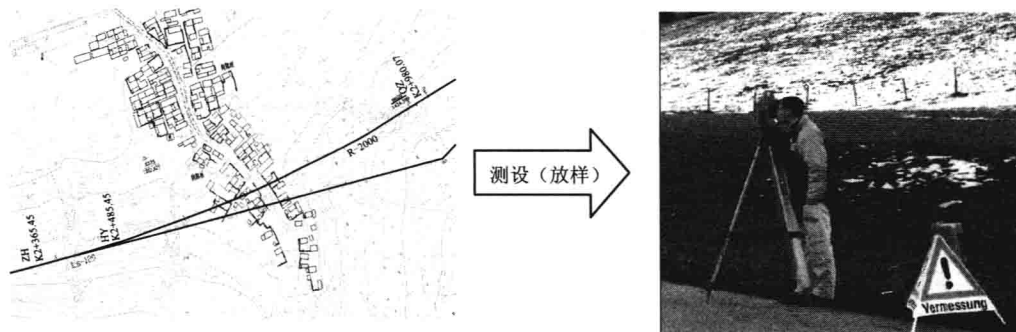


图 1.0.2 某铁路施工测量

3. 运营管理阶段的测量

工程竣工后,为监视工程的状况,保证安全,需进行周期性的重复观测,即变形观测。图 1.0.3 为某大桥的变形监测。

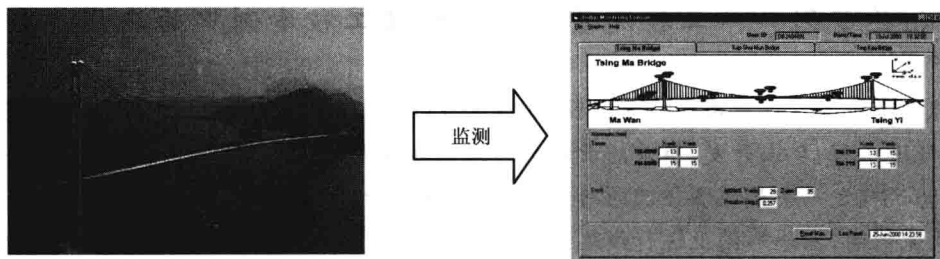


图 1.0.3 某大桥的变形监测



问题导入

1. 从事工程测量技术工作,需要关心哪些知识?
2. 测量工作的载体是什么?
3. 测量工作基准是如何确定的?
4. 在测量工作中如何表示空间点位?

1.1 测量工作载体的认识

测量工作是在地球表面上进行的,地球作为测量工作的载体,了解其形状和大小是测量数据获取、数据计算处理等工作的前提。

1.1.1 地球的自然形体

现在人们对地球的形状已有了一个明确的认识:地球并不是一个正球体,而是一个两极稍扁,赤道略鼓的不规则球体。但得到这一正确认识却经过了相当漫长的过程。

古代印度人认为,大地被四头大象驮着,站在一只巨大的海龟身上(图 1.1.1)。我国东汉时期天文学家张衡认为:浑天如鸡卵,地如卵黄,居于内。天表有水,水包地,犹如卵壳裹黄。古希腊学者亚里士多德根据月食的影像分析认为,月球被地影遮住部分的边缘是圆弧形的,所以地球是球体或近似球体。

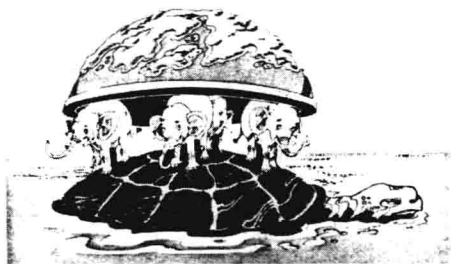


图 1.1.1 古印度认知的地球

随着生产技术的发展,人类活动范围的扩大和各种知识的积累,人们可运用几何方法、重力方法和空间技术,确定地球的形状、大小。

地球是一个不规则的几何体(图 1.1.2、图 1.1.3)。地球自然表面很不规则,有高山、丘陵、平原和海洋。其中最高的珠穆朗玛峰高出海水面达 8 844.43 m,最低的马里亚纳海沟低于海水面达 11 022 m。但是这样的高低起伏,相对于地球半径 6 371 km 来说还是很小的。因此,地球的表面是高低起伏、有微小变化的不规则的形体。

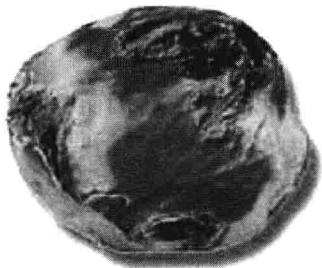


图 1.1.2 地球自然形体

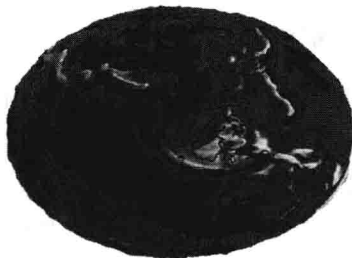


图 1.1.3 地球的影像模型

1.1.2 大地体

假想静止不动的水面延伸穿过陆地,包围整个地球,形成一个封闭的曲面,这个封闭曲面称为水准面(level surface)。

处于自由静止状态的水面称为水准面。水准面必然处处与重力方向(即铅垂线)垂直,否则水面就会流动而不能保持静止状态,所以说水准面是一个处处与重力方向(铅垂线)垂直的连续曲面。由于地球表面附近的天空或地球内部处处都存在重力作用,所以通过不同高度的点都有一个相应的水准面。因此,水准面有无数多个。

为了使测量成果具有共同的基准面,需要选择一个十分接近地球自然表面又能代表地球形状和大小的水准面作为统一的标准。地球上海洋的面积占地球总面积的 71%,所以静止的海水面是地球上最大的水准面。由此可以设想有一个静止的平均海水面,向陆地延伸而形成一个封闭的曲面,这个曲面(水准面)称为大地水准面(图 1.1.4),它所包围的形体称为大地体。大地水准面是地球的物理表面,是测量外业的基准面。

地球上任何一点都要同时受到两个力的作用,一是地球自转而产生的离心力;一是地心的引力。两者的合力就是作用于该点的重力(图 1.1.5)。重力的作用线是铅垂线。

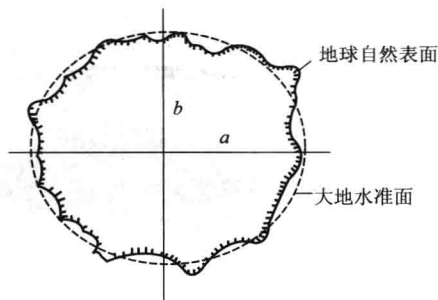


图 1.1.4 大地水准面图

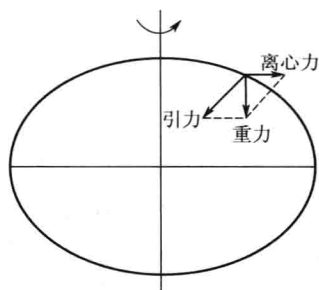


图 1.1.5 重力示意图

由于地球引力的大小与地球内部的质量有关,而地球内部的质量分布又不均匀,这就引起地面上各点的铅垂线方向呈不规则的变化,因而大地水准面实际上是一个有微小起伏的不规则曲面,人们把海水面所包围的地球形体视为地球的形状。地球是一个南北极稍扁,赤道稍长,形状近似于平均半径约为 6 371 km 的旋转椭球。

1.1.3 参考椭球体

大地水准面不是一个几何面,无法用数学公式把它精确地表达出来,因而也就不能确切知道它的形状,也就无法在这个面上进行测量成果的计算。由此看来,必须寻找一个与大地体相近,并能用数学模型表示的规则形体,作为进行测量成果计算的基准面。

长期的测量实践研究已证明,大地体与以椭圆的短轴为旋转轴的旋转椭球体极为接近,而旋转椭球体是可以用数学公式严格表示的。因此世界各国通常均以旋转椭球体代表地球的形状,称为地球椭球。如图 1.1.6 所示,地球椭球的大小和形状以长半轴 a 和短半轴 b 或扁率 α 来表示。地球椭球体表面是地球的数学表面,是球面坐标系和测量内业的基准面。地球自然表面、大地水准面与椭球体表面三者关系见图 1.1.7。

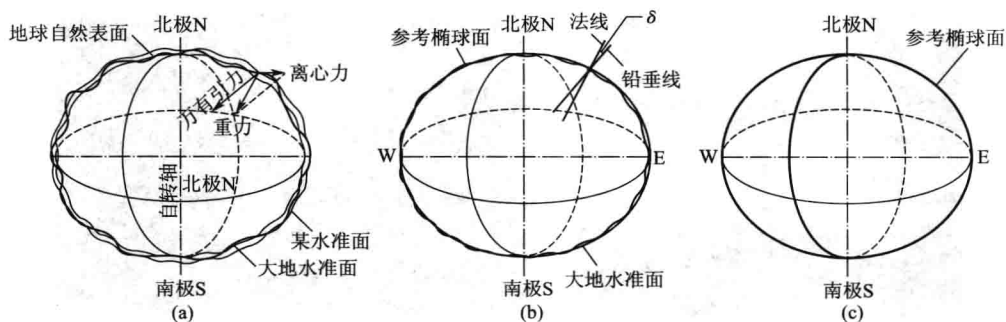


图 1.1.6 地球椭球

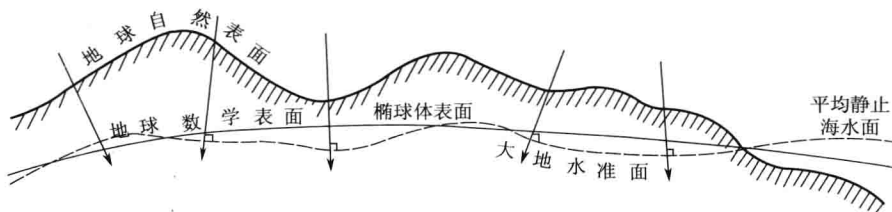


图 1.1.7 大地水准面与椭球面关系

在全球范围内与大地体最密合的椭球称为总地球椭球(图 1.1.8)。总地球椭球必须以全球范围的天文、大地测量和重力测量资料为根据才有可能确定,然而占地球面积 71% 的海洋面上的资料难以获得,所以许多国家只能根据本区域局部的测量资料推算出与本国或本区域大地水准面密切配合的地球椭球,作为测量计算的基准面,这种地球椭球称为参考椭球(图 1.1.9)。

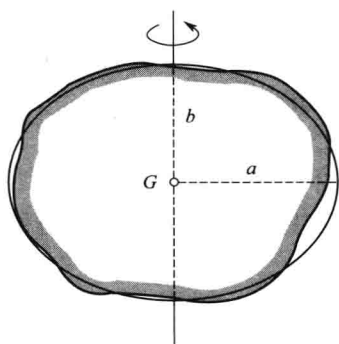


图 1.1.8 总地球椭球

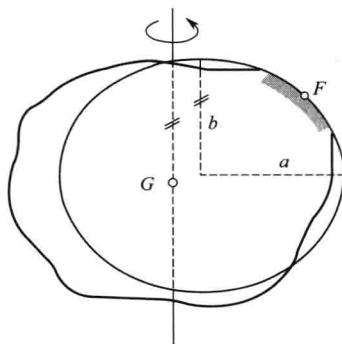


图 1.1.9 参考椭球

参考椭球确定后,即可进行椭球的定位与定向,如图 1.1.10 所示,在地面上选一点 P ,设 P 点投影到大地水准面为 P_0 点,使 P_0 上的参考椭球面与大地水准面相切,此时过 P 点的铅垂线与 P_0 点的参考椭球面法线重合,切点 P_0 称为大地原点。同时要使参考椭球短轴与地球短轴相平行(不要求重合),达到本国范围内的大地水准面与参考椭球面十分接近。

我国大地原点选在我国中部陕西省泾阳县永乐镇(图 1.1.11)。

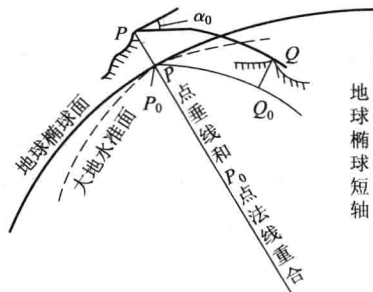


图 1.1.10 地球椭球定位



图 1.1.11 国家大地原点(陕西泾阳)

由此可见,参考椭球有许多个,而总地球椭球只有一个,参考椭球几何图形见图 1.1.12。

我国从 1949 年起采用前苏联的克拉索夫斯基椭球,

其长、短半轴及扁率为:

$$a=6\,378\,245\text{ m}$$

$$b=6\,356\,863\text{ m}$$

$$\alpha=1/298.3$$

目前我国所采用的参考椭球为 1980 年国家大地测量参考系(1975 年国际椭球),其长、短半轴及扁率为:

$$a=6\,378\,140\text{ m}$$

$$b=6\,356\,755.3\text{ m}$$

$$\alpha=1/298.257$$

当前全球定位系统(GPS)所使用的坐标系为 WGS-

84。WGS-84 椭球采用国际大地测量与地球物理联合会第 17 届大会大地测量常数推荐值:

$$a=6\,378\,137\text{ m}$$

$$b=6\,356\,752.314\,2\text{ m}$$

$$\alpha=1/298.257$$

随着科学技术的不断进步和发展,尤其是人造卫星大地测量技术的运用和提高,已有可能实现全球使用统一的总地球椭球。

1.1.4 垂线偏差和大地水准面差距

大地水准面是一个处处与其铅垂线正交的曲面,由于地球的质量分布不均匀,大地水准面不可能是一个简单的几何曲面。所以,不论用一个总椭球面与大地水准面进行配合,还是用一个参考椭球面与部分的大地水准面进行配合,都不可能使两种曲面完全重合,因而只能寻求最佳的配合,使各处的差异达到最小,但差异总是存在。标志大地水准面与地球椭球面之间差异的量为垂线偏差和大地水准面差距。所谓垂线偏差,就是地面上一点向大地水准面作一铅垂线与该点向椭球面作一法线之间的夹角。而大地水准面的差距,是指大地水准面超出椭球面的高度(图 1.1.13)。

在控制测量中,都以参考椭球面作为计算的基准面,而在实际测量时都是以大地水准面(铅垂线)为准的,为此必须把以大地水准面为准的测量结果归化到参考椭球面上,然后才能进行计算。

综上所述,地球作为测量工作的载体,大地体描述了地球的形状,参考椭球表示大地体的大小,测量外业工作的基准线是铅垂线(重力方向线),测量外业工作的基准面是大地水准面;

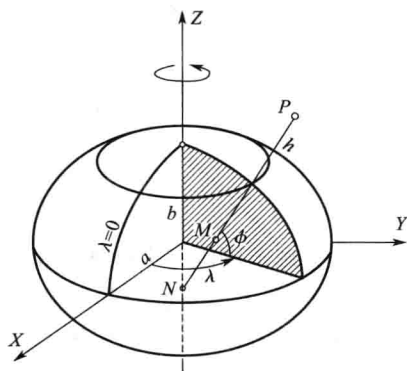


图 1.1.12 参考椭球几何图形

测量内业计算的基准线是法线,测量内业计算的基准面是参考椭球面。

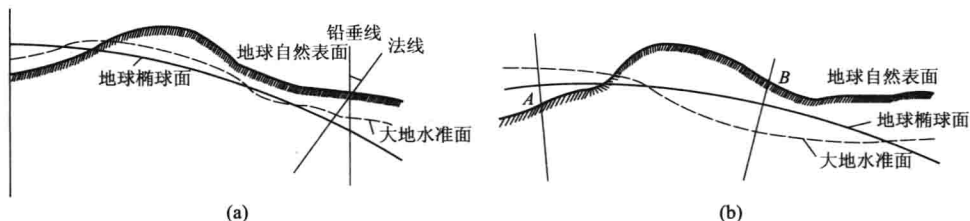


图 1.1.13 垂线偏差和大地水准面差距

1.1.5 用水平面代替水准面的限度

在普通测量中(在一定的测量精度要求和测区面积不大的情况)是将水准面近似地用平面来代替,也就是把较小一部分地球表面上的点投影到水平上来决定其位置。但是,在多大面积范围内能容许以平面投影代替球面投影的问题就必须加以讨论。

(1) 当水平距离为 10 km 时,以水平面代替水准面所产生的距离误差为距离 $1/1\,217\,700$ 。现在最精密距离丈量的容许误差为其长度的 $1/100$ 万,因此可得出结论,在半径为 10 km 的圆面积内进行长度测量时,可以不必考虑地球曲率,也就是说可以把水准面当作水平面看待,即把实际沿圆弧丈量所得距离作为水平面,其误差可忽略不计。

(2) 由球面三角学知道,同一个空间多边形在球面上投影的各内角之和,较其在平面上投影的各内角之和大一个球面角超 ϵ ,它的大小与图形面积成正比。对于面积为 100 km^2 的多边形,其 ϵ 值为 $0.51''$,由此地球曲率对水平角度的影响只有在最精密的测量中才需要考虑,一般的测量工作是不必考虑的。

综合以上两项分析表明:在面积 100 km^2 范围内,不论是进行水平距离或水平角度测量,都可以不顾及地球曲率影响;在精度要求较低的情况下,这个范围还可以相应扩大。

(3) 用水平面代替水准面产生的高差误差 Δh 的大小与距离的平方成正比,当距离为 1 km 时,地球曲率对高差的影响 $\Delta h = 8\text{ cm}$ 。因此,地球曲率的影响对高差而言,即使在很短的距离内也必须加以考虑。

1.2 坐标系统建立

测量工作的实质是确定地面点的空间位置,通常是求出该点的二维球面坐标或投影到平面上的二维平面坐标以及该点到大地水准面的铅垂距离,也就是确定地面点的坐标和高程。

地面点的坐标通常可以选用下列坐标系中的一种来确定。

1.2.1 大地坐标系

大地坐标表示地面点在旋转椭球面上的位置,用大地经度 L 和大地纬度 B 表示(图 1.2.1)。P 点的大地经度 L 就是包含 P 点的子午面和首子午面所夹的两面角;P 点的大地纬度 B 就是过 P 点的法线(与旋转椭球

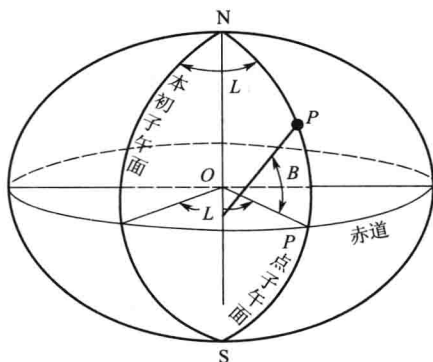


图 1.2.1 大地坐标

面垂直的线)与赤道面的交角。

1.2.2 高斯平面直角坐标系

大地坐标是球面上的坐标,直接应用于工程建设、规划、设计、施工等则很不方便,故需将球面上的元素按一定条件投影到平面上建立平面直角坐标系。地图投影学中有多种投影方法,我国采用高斯—克吕格投影,简称高斯投影。

高斯投影的方法是将地球划分成若干带,然后将每带投影到平面上(图 1.2.2)。投影带是从首子午线(通过英国格林尼治天文台的子午线)起,每经差 6° 划一带(称为六度带),自西向东将整个地球划分成经差相等的 60 个带。带号从首子午线起自西向东编,用阿拉伯数字 1、2、3、…、60 表示。位于各带中央的子午线称为各带的中央子午线。第一个六度带的中央子午线的经度为 3° ,任意带的中央子午线经度 L_0 可按下式计算:

$$L_0 = 6N - 3 \quad (1.2.1)$$

式中 N ——投影带的号数。

高斯投影属于一种正形投影,即投影后角度大小不变,长度会发生变化。其方法是设想用一个平面卷成一个空心椭圆柱,把它横着套在地球椭球外面,使圆柱的中心轴线位于赤道面内并且通过球心,使地球椭球上某 6 度带的中央子午线与圆柱面相切[图 1.2.3(a)],在椭球面上的图形与圆柱面上的图形保持等角的条件下,将整个 6 度带投影到圆柱面上。然后将圆柱沿着通过南北极的母线切开并展开成平面,便得到 6 度带在平面上的投影[图 1.2.3(b)],中央子午线经投影展开后是一条直线,其长度不变形。以此直线作为纵轴,即 x 轴;赤道经投影展开后是一条与中央子午线正交的直线,将它作为横轴,即 y 轴;两直线的交点作为原点,则组成高斯平面直角坐标系。纬圈 AB 投影在高斯平面直角坐标系内仍为曲线($A'B'$)。将投影后具有高斯平面直角坐标系的六度带一个个拼起来,便得到图 1.2.4 所示图形。

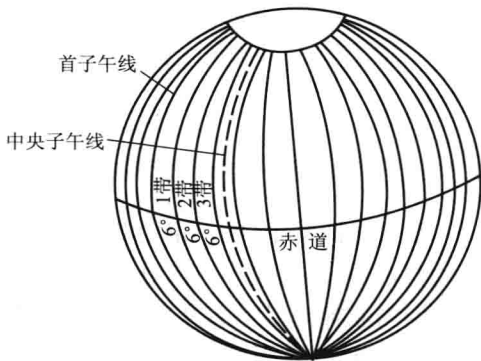


图 1.2.2 高斯投影

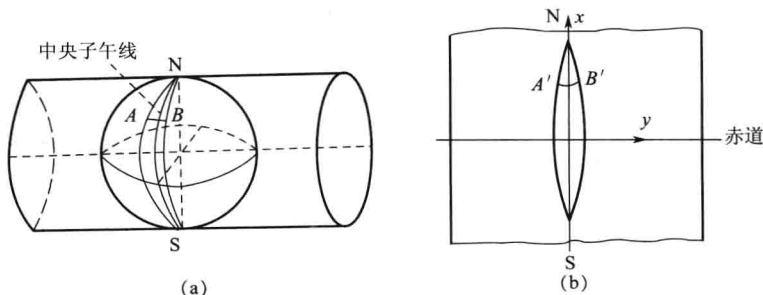


图 1.2.3 高斯平面直角坐标系的投影

我国位于北半球, x 坐标均为正值, 而 y 坐标值有正有负。如图 1.2.5(a) 所示, $y_A = +137\ 680\text{ m}$, $y_B = -274\ 240\text{ m}$ 。为避免横坐标出现负值, 故规定把坐标纵轴向西平移 500 km 。坐标纵轴西移后[图 1.2.5(b)], $y_A = 500\ 000 + 137\ 680 = 637\ 680\text{ m}$; $y_B = 500\ 000 -$

274 240=225 760 m。

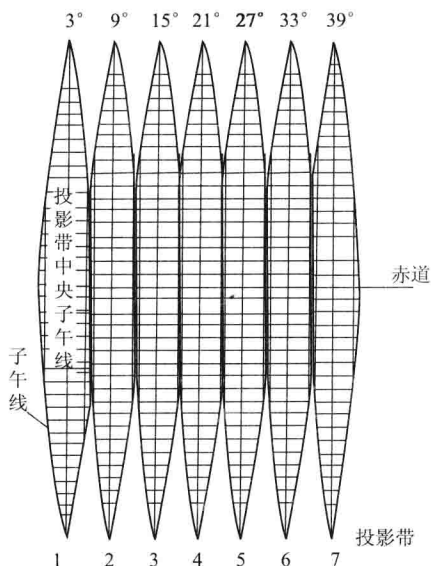


图 1.2.4 高斯投影带

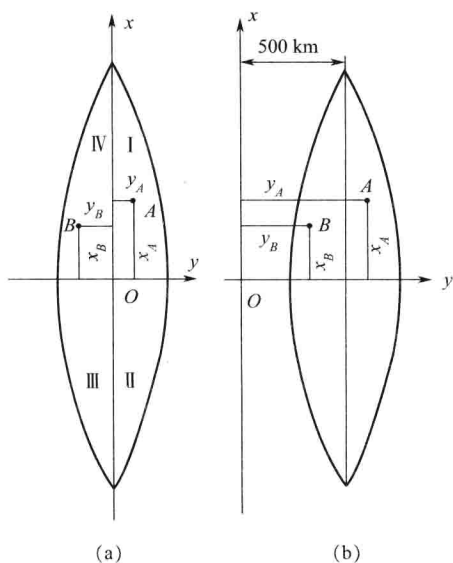


图 1.2.5 高斯平面直角坐标

为了根据横坐标能确定该点位于哪一个 6 度带内,还应在横坐标值前冠以带号。例如, A 点位于第 20 带内,则其横坐标 y_A 为 20 637 680 m。

高斯投影中,离中央子午线近的部分变形小,离中央子午线愈远变形愈大,两侧对称。当测绘项目对投影变形要求更高时,可采用三度带投影法。它是从东经 $1^{\circ}30'$ 起,每经差 3° 划分一带,将整个地球划分为 120 个带(图 1.2.6),每带中央子午线的经度 L'_0 可按下式计算:

$$L'_0 = 3n \quad (1.2.2)$$

式中 n ——三度带的号数。

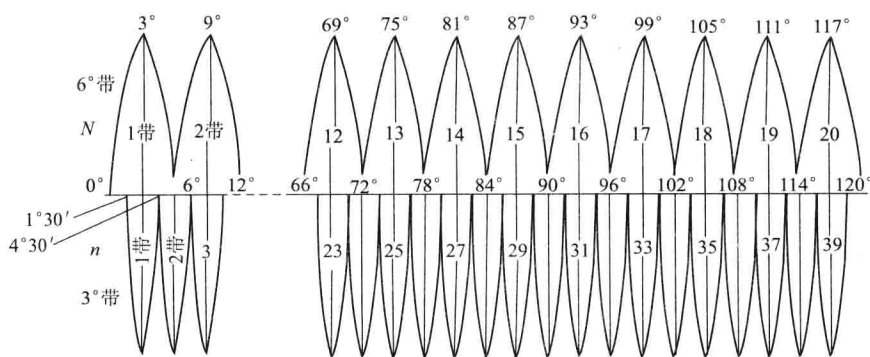


图 1.2.6 6°带与 3°带投影

1.2.3 独立平面直角坐标系

大地水准面虽是曲面,但当测量区域(如半径小于 10 km 的范围)较小时,可以用测区中心点 a 的切平面来代替曲面(图 1.2.7),地面点在投影面上的位置就可以用独立的平面直角坐标来确定。如图 1.2.8 所示,规定南北方向为纵轴,记为 x 轴,轴向北为正,向南为负;以东

西方向为横轴,记为 y 轴,轴向东为正,向西为负。地面上某点 P 的位置可用 x_P 和 y_P 来表示。坐标系中象限按顺时针方向编号, x 轴与 y 轴互换,这与数学上的规定是不同的,目的是为了定向方便,而且可以将数学中的公式直接应用到测量计算中。原点 O 一般选在测区的西南角,使测区内各点均处于第一象限,坐标均为正值,以方便测量和计算。

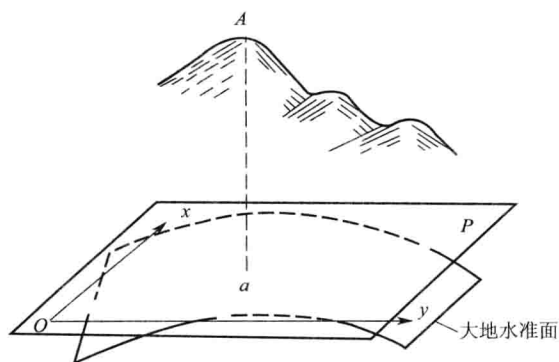


图 1.2.7 切平面代替曲面

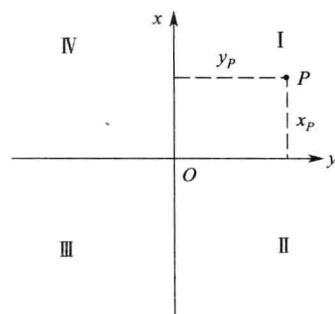


图 1.2.8 独立平面直角坐标

1.2.4 我国采用的坐标系

1. 北京 54 坐标系

北京 54 坐标系是我国目前广泛采用的大地测量坐标系。该坐标系采用的参考椭球是克拉索夫斯基椭球,该椭球并未依据当时我国的天文观测资料进行重新定位,而是由前苏联西伯利亚地区的一等锁,经我国的东北地区传算过来的,该坐标系的高程异常是以前苏联 1955 年大地水准面重新平差的结果为起算值,按我国天文水准路线推算出来的,而高程又是以 1956 年青岛验潮站的黄海平均海水面为基准。

2. 西安 80 大地坐标系

1978 年,我国决定重新对全国天文大地网施行整体平差,并且建立新的国家大地坐标系,整体平差在新大地坐标系中进行,这个坐标系统就是 1980 年西安大地坐标系。

1980 年西安大地坐标系所采用的地球椭球参数的四个几何和物理参数采用了 IAG 1975 年的推荐值,椭球的短轴平行于地球的自转轴(由地球质心指向 1968.0 JYD 地极原点方向),起始子午面平行于格林尼治平均天文子午面,椭球面同似大地水准面在我国境内符合最好。基准面采用 1985 国家高程基准。

3. WGS-84 坐标系

WGS-84 坐标系是目前 GPS 所采用的坐标系统,GPS 所发布的星历参数就是基于此坐标系统的。WGS-84 坐标系统的全称是 World Geodetic System-84(世界大地坐标系-84),它是一个地心坐标系。WGS-84 坐标系的坐标原点位于地球的质心, Z 轴指向 BIH1984.0 定义的协议地球极方向, X 轴指向 BIH1984.0 的起始子午面和赤道的交点, Y 轴与 X 轴和 Z 轴构成右手系。

4. 地方独立坐标系

为了满足工程的要求或工程施工方便,减少投影变形,应进行投影的中央子午线的变换;出于成果保密等原因,在按国家坐标系进行数据处理后,对所得的成果进行一定的平移和旋转,得出独立坐标系。例如广州坐标系,椭球参数和西安 80 坐标系相同,原点在人民