

清华大学土木工程系组织编写
土木工程专业卓越工程师教育培养规划教材
中国土木工程学会教育工作委员会推荐教材

工程测量

陈秀忠 常玉奎 金荣耀 编著

清华大学出版社

工程测量

陈秀忠 常玉奎 金荣耀 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是根据《高等学校土木工程专业本科教育培养目标和培养方案及课程教学大纲》(高等学校土木工程学科专业指导委员会, 2011)要求编写的系列教材之一。全书内容由四部分构成: ①测量基础: 测量基准、高斯投影、误差理论、水准测量、经纬仪测角、钢尺量距、控制测量、经纬仪测图、施工测量基础等。②测绘新技术: 全站仪、数字水准仪、卫星定位技术、三维激光扫描技术等。③工程应用: 地形图应用、工业与民用建筑施工测量、线路工程测量、桥隧及道路工程测量等。④课程拓展: 工程测量课程实训、工程测量求职面试应对、测量计算 Excel 程序、多媒体教学课件、“多题多卷”模拟考试软件、测量模拟操作软件——可在 PC、手机(安卓 Android 系统)、苹果产品(IOS 系统)上自学习。

本书适用于土木工程类高等院校城市规划、土木工程、交通工程、道路与桥梁工程、给水排水工程等相关专业的教学, 也可作为高等教育自学及相关工程技术人员的参考书。

版权所有, 侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

工程测量/陈秀忠, 常玉奎, 金荣耀编著. --北京: 清华大学出版社, 2013

ISBN 978-7-302-32425-6

I. ①工… II. ①陈… ②常… ③金… III. ①工程测量 IV. ①TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 105242 号

责任编辑: 张占奎 洪 英

封面设计: 陈国熙

责任校对: 赵丽敏

责任印制: 沈 露

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者: 北京嘉实印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm 印 张: 17

字 数: 409 千字

版 次: 2013 年 8 月第 1 版

印 次: 2013 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 1~3000

定 价: 35.00 元

产品编号: 050819-01

前言

FOREWORD

本书是根据《高等学校土木工程专业本科教育培养目标和培养方案及课程教学大纲》(高等学校土木工程学科专业指导委员会,2011)要求编写的系列教材之一。适用于土木工程类高等院校城市规划、土木工程、交通工程、道路与桥梁工程、给水排水工程等相关专业的教学,也可作为高等教育自学及相关工程技术人员的参考书。

本书凝炼了北京市工程测量精品课程建设的经验,广泛调研工程建设单位对工程测量的需求,密切结合现代测绘技术现状,依据现行规范,保留测量经典,增加典型工程案例和测绘新技术应用,补充 CAI 教学课件。

本书内容由四部分构成:①基础部分:测量基准、高斯投影、误差理论、水准测量、经纬仪测角、钢尺量距、控制测量、经纬仪测图、施工测量基础等。②测绘新技术部分:全站仪、数字水准仪、卫星定位技术、三维激光扫描技术等。③工程应用部分:地形图应用、工业与民用建筑施工测量、线路工程测量、桥隧及道路工程测量等。④拓展部分:工程测量课程实训、工程测量求职面试应对、测量计算 Excel 程序、多媒体教学课件、“多题多卷”模拟考试软件、测量模拟操作软件——可在 PC、手机(安卓 Android 系统)、苹果产品(IOS 系统)上自学练习。

本书由北京建筑大学测绘与城市空间信息学院编写。全书共 15 章,参编人员有陈秀忠(第 1、2、5、13 章)、金荣耀(第 6、11、12、14、15 章)、常玉奎(第 3、4、7~10 章)。工程应用部分可根据专业方向选定。

全书由北京建筑大学朱光教授主审,朱光教授对本书的编写工作提出了宝贵的意见和建议,在此表示诚挚的感谢。

由于时间紧,编者水平有限,书中难免存在错误和不当之处,恳请使用本书的教师、工程技术人员与读者批评指正。如需要本书多媒体教学课件、配套教学资源,或对本书有何建议,请发邮件至 cyk1998@sina.com 与作者联系,我们将热烈欢迎并及时回复。

编 者

2013 年 7 月

目 录

CONTENTS

第 1 章 绪论	1
1.1 工程测量的作用及任务	1
1.2 地球的形状和大小	2
1.3 地球椭球及地球圆球	3
1.4 高斯投影和高斯平面直角坐标系统	4
1.5 测量常用坐标系统	7
1.6 高程系统	10
1.7 用水平面代替水准面的限度	11
1.8 测绘地形图的程序和原则	13
思考题与练习题	14
第 2 章 水准测量	16
2.1 水准测量原理	16
2.2 水准测量的仪器和工具	17
2.3 水准仪的使用	20
2.4 水准测量的方法	22
2.5 水准仪的检验与校正	27
2.6 水准测量误差与注意事项	30
2.7 自动安平水准仪	31
思考题与练习题	32
第 3 章 角度测量	33
3.1 角度测量原理	33
3.2 DJ ₆ 型光学经纬仪	34
3.3 DJ ₆ 经纬仪的读数和使用	36
3.4 水平角测量	38
3.5 竖直角测量	41

3.6 经纬仪的检验	45
3.7 水平角测量的误差分析	47
思考题与练习题	50
第4章 距离测量与直线定向	52
4.1 钢尺量距的一般方法	52
4.2 钢尺量距的精密方法	55
4.3 视距测量	58
4.4 直线定向	60
4.5 坐标正反算	63
思考题与练习题	64
第5章 电子测绘仪器原理与应用	67
5.1 电子测角原理	67
5.2 电磁波测距原理	71
5.3 全站仪及其使用	73
5.4 数字水准仪原理	80
5.5 全球卫星导航定位测量基础	81
5.6 三维激光扫描测量技术	87
思考题与练习题	91
第6章 测量误差的基本知识	92
6.1 测量误差概述	92
6.2 偶然误差的特性	94
6.3 衡量观测值精度的指标	95
6.4 误差传播定律及其应用	97
6.5 等精度独立观测值的算术平均值及精度评定	103
6.6 不等精度独立观测值的加权平均值及精度评定	106
思考题与练习题	108
第7章 控制测量	109
7.1 控制测量概述	109
7.2 导线测量的外业工作	110
7.3 导线测量的内业工作	113
7.4 卫星定位控制测量	122
7.5 三角高程测量	124
7.6 三、四等水准测量	126
思考题与练习题	129

第 8 章 大比例尺地形图测绘	132
8.1 地形图的基本知识	132
8.2 地物符号	139
8.3 地貌符号	140
8.4 测图前的准备工作	143
8.5 大比例尺地形图的测绘方法	144
8.6 大比例尺数字测图技术简介	149
思考题与练习题	154
第 9 章 大比例尺地形图的应用	155
9.1 地形图的识图	155
9.2 地形图应用的基本内容	162
9.3 在地形图上量测面积	166
9.4 地形图在平整场地中的应用	169
思考题与练习题	171
第 10 章 施工测量的基本工作	173
10.1 水平距离、水平角和高程的测设	173
10.2 平面点位的测设	176
10.3 坡度线的测设	179
思考题与练习题	180
第 11 章 工业与民用建筑的施工测量	181
11.1 概述	181
11.2 建筑场地上的控制测量	182
11.3 民用建筑施工中的测量工作	185
11.4 工业厂房施工中的测量工作	188
11.5 高层建筑施工测量	192
11.6 建筑物变形观测	194
11.7 竣工总平面图的编绘	199
思考题与练习题	199
第 12 章 线路工程测量	201
12.1 线路工程测量的任务和内容	201
12.2 道路工程初测阶段的测量工作	201
12.3 定测阶段的测量工作	203
12.4 圆曲线测设	207
12.5 有缓和曲线的圆曲线测设	211

12.6 竖曲线测设	217
思考题与练习题	219
第 13 章 桥隧及道路工程测量	221
13.1 概述	221
13.2 桥梁工程施工测量	222
13.3 隧道工程施工测量	228
13.4 道路工程施工测量	234
思考题与练习题	239
第 14 章 课程实训	240
14.1 实训 1 DS ₃ 微倾水准仪的使用	240
14.2 实训 2 普通闭合水准测量	241
14.3 实训 3 四等闭合水准测量	242
14.4 实训 4 DS ₃ 微倾式水准仪的 i 角检验	243
14.5 实训 5 DJ ₆ 经纬仪的使用	243
14.6 实训 6 测回法测量水平角	244
14.7 实训 7 竖直角测量	245
14.8 实训 8 经纬仪的检验	246
14.9 实训 9 钢尺普通量距	247
14.10 实训 10 视距测量	248
14.11 实训 11 全站仪的使用	248
14.12 实训 12 建筑物的放样	249
14.13 实训 13 圆曲线测设	250
第 15 章 本门课程求职面试可能遇到的典型问题应对	252
15.1 建筑工程测量的基本知识	252
15.2 高程、角度和距离测量	253
15.3 大比例尺地形图的测绘	255
15.4 建筑施工测量	256
附录 A 各种计算器坐标正算和反算的计算程序	258
附录 B 教学拓展资源	260
参考文献	262

绪 论

1.1 工程测量的作用及任务

1.1.1 测绘学及工程测量

测绘学是研究地球形状和大小以及确定地球表面物体的空间位置,并将这些空间位置信息进行处理、存储和管理的科学。其任务概括起来主要有三个方面:一是精确地测定地面点的位置及地球的形状和大小;二是将地球表面的形态及其他相关信息制成各种类型的成果、相片、图件和其他资料;三是进行经济建设和国防建设所需要的其他测绘工作,如土木工程测量、交通工程测量、桥梁隧道工程测量、矿山测量、城市测量、军事工程测量、水利工程测量、海洋工程测量等。

测绘被广泛用于陆地、海洋和空间的各个领域,对国土规划整治、经济和国防建设、国家管理和人民生活都有重要作用,是国家建设中的一项先行性、基础性工作。在国民经济和社会发展规划中,测绘信息是最重要的基础信息之一。

测绘学按照研究范围、研究对象及采用技术手段的不同分为:①研究地球的形状和大小,解决大范围地区的点位测定和地球重力场问题的大地测量学;②不顾及地球曲率影响,研究在地球表面局部区域内测绘地形图的理论、技术和方法的普通测量学;③研究利用摄影或遥感技术获取被测物体的信息,以确定其形状、大小和空间位置的摄影测量学;④研究工程建设在设计、施工和管理各个阶段进行测量工作的理论、技术和方法的工程测量学;⑤研究各种地图的制作理论、原理、工艺技术和应用的地图制图学。

工程测量是测绘学的一个组成部分,是普通测量学和工程测量学的理论与方法在工程建设中的具体应用,其目的是研究并解决工程建设在勘测设计、施工建造和运营管理各阶段所遇到的各种测量问题。其主要工作内容为地形图测绘、施工放样和地形图应用三个方面。

1.1.2 工程测量的作用与任务

工程测量是工程建设规划的重要依据,是工程建设勘察设计现代化的重要技术,是工程建设顺利施工的重要保证,是工程综合质量检验、房地产管理、重要土木工程设施安全监视的重要手段。

工程测量贯穿于工程建设的勘测设计、施工建造和运营管理各阶段。①勘测设计阶段需要测绘各种比例尺地形图,供规划设计使用;②施工建造阶段需要将图纸上设计好的建筑物、构造物、道路、桥梁及管线的平面位置和高程,运用测量仪器和测量方法在地面上标定出来,以便进行施工;③工程结束后,需要进行竣工测量,供日后维修和扩建用,对于大型或重要建筑物、构造物还需要定期进行变形观测,确保其安全。

空间点的位置确定是工程测量的核心。空间点位置的表示随投影方法和投影基准的不同而不同,采用地心坐标系时,空间点位置可用 X 、 Y 、 Z 三维坐标表示。工程建设的规划与设计通常是在平面上进行的,需要将地球表面上的位置投影在平面上,以满足规划与设计需求。我国工程测量选用了高斯投影方法,在高斯平面建立直角坐标系,用 X 、 Y 表示点的平面位置,另一维坐标采用高程 H 表示。

1.2 地球的形状和大小

地球的形状与大小,自古以来人类对它就很关心,对它的研究从来没有停止过。研究地球的大小和形状是通过测量工作进行的。

地球是太阳系中的一颗行星,它围绕着太阳旋转,又绕着自己的旋转轴旋转。地球的自转和公转使地球形体形成了椭球状,其赤道半径大、极半径小。地球的自然表面极其复杂,有高山、丘陵、深谷;有盆地、平原和海洋;有高于海平面 8 844.43m 的珠穆朗玛峰;有低于海平面 11 022m 的马里亚纳海沟,地形起伏很大。但是由于地球半径很大,约 6 371km,地面高低变化幅度相对于地球半径只有 $1/300$,从宏观上看,仍然可以将地球看作为圆滑椭球体。地球自然表面大部分是海洋,占地球表面积的 71%,陆地仅占 29%,所以人们设想将静止的海水面向大陆延伸形成的闭合曲面来代替地球表面。

地球上每个质点都受到地球引力的作用,由于地球的自转,每个质点又受到离心力的作用。因此地球上每个质点都受到这两个力的作用。这两个力的合力称为重力,如图 1-1 所示,重力方向线又称为铅垂线。地球表面的水面,每个水分子都会受到重力作用,当水面静止时,说明每个水分子的重力位相等。静止的水面称为水准面,水准面上处处重力位相等,所以水准面是等位面,水准面上的任何一点均与重力方向正交。水准面有无穷多个,并且互不相交,其中与静止的平均海水面相重合的闭合水准面,

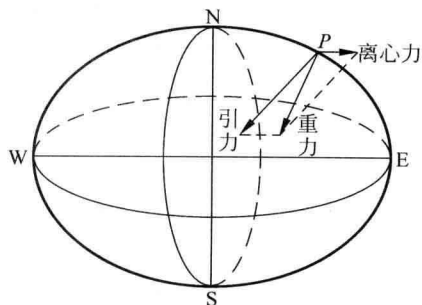


图 1-1 地球重力

称为大地水准面。大地水准面同水准面一样,也是等位面,该面上的任何一点均与重力方向正交。大地水准面所包含的形体称为大地体。

铅垂线和大地水准面是测量工作的基准线和基准面。

大地水准面与地球表面相比,可算是个光滑的曲面,如图 1-2 所示。但是由于地球表面起伏和地球内部物质分布不均匀,引起重力的大小和方向会产生不规则的变化,造成与重力方向正交的大地水准面会有微小的起伏变化。因此大地水准面是个不规则的曲面,是个物理面。它与地球内部物质构造密切相关。因此大地水准面又是研究地球重力场和地球内部构造的重要依据。

大地水准面不规则的起伏,使得大地体并不是一个规则的几何球体,其表面不是数学曲面。在这样一个非常复杂的曲面上无法进行测量数据的处理。为此需要寻找一个与大地体极为接近的数学椭球体代替大地体,由于地球形状非常接近一个旋转椭球,所以测量中选择可用数学公式严格描述的旋转椭球代替大地体,图 1-2 为地球自然表面、大地水准面和参考椭球面三个面的位置关系图。

椭球参数为 a 、 b 和 α 。 a 为长半轴, b 为短半轴, α 为扁率:

$$\alpha = \frac{a-b}{a} \quad (1-1)$$

若 $\alpha=0$,椭球则成了圆球。旋转椭球面是个数学面,在空间直角坐标系 $OXYZ$ 中,椭球标准方程为

$$\frac{X^2}{a^2} + \frac{Y^2}{a^2} + \frac{Z^2}{b^2} = 1 \quad (1-2)$$

测量中将旋转椭球面代替大地水准面作为测量计算和制图的基准面,图 1-3 为旋转椭球体。

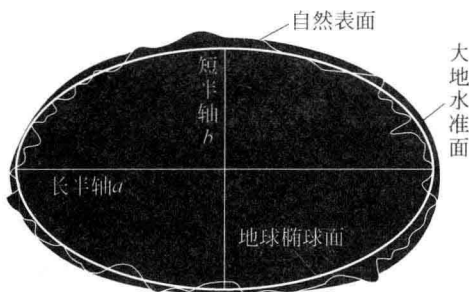


图 1-2 地球三面位置关系图

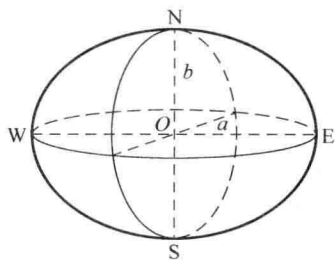


图 1-3 旋转椭球体

1.3 地球椭球及地球圆球

各国大地测量学者一直设法利用弧度测量、三角测量、天文、重力测量和地壳均衡补偿理论推求地球椭球体的大小,求定椭球元素。过去由于受到技术条件限制,只能用个别国家或局部地区的大地测量资料推求椭球体元素,因此有局限性,只能作为地球形状和大小的参考,故称为参考椭球。参考椭球确定后,还必须确定椭球与大地体的相关位置,使椭球体与大地体间达到最好扣合,这一工作称为椭球定位。最简单的是单点定位,如图 1-4 所示,在地面选择 P 点,将 P 点沿垂线投影到大地水准面 P' 点,然后使椭球在 P' 与大地体相切,这

时过 P' 的法线与过 P' 点垂线重合。椭球与大地体的关系就确定了。切点 P' 为大地原点。参考椭球与局部大地水准面密合,它是局部地区大地测量计算的基准面。卫星大地测量出现后,可以得到围绕地球运转的卫星测量资料,同时顾及地球几何及物理参数,即:

几何参数 长半径 a ;

物理参数 引力常数和地球质量乘积 GM ;

地球重力场二阶带球谐系数 J_2 ;

地球自转角速度 ω_e 。

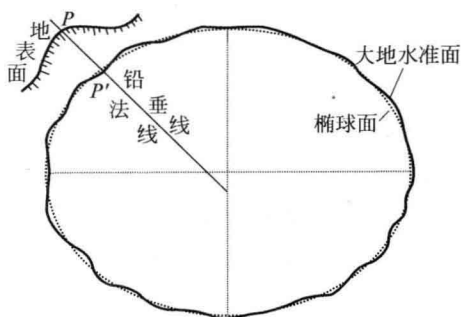


图 1-4 参考椭球体定位

就可推算出与大地体密合得最好的地球椭球,这样的椭球称为总地球椭球。总地球椭球有以下性质:

- (1) 和地球大地体体积相等,质量相等;
- (2) 椭球中心和地球质心重合;
- (3) 椭球短轴和地球地轴重合;
- (4) 椭球和全球大地水准面差距 N 的平方和最小。

当测区范围较小时($<100\text{km}^2$),可以将椭球近似看作圆球看待,圆球平均半径为

$$R = \frac{1}{3}(2a + b) \approx 6371\text{km}$$

表 1-1 为部分著名的地球椭球参数。

表 1-1 几种地球椭球参数

参数推算者	长半轴 a/m	短半轴 b/m	扁率 α	推算年代和国家
德兰布尔	6 375 653	6 356 564	1 : 334.0	1800 年,法国
白塞尔	6 377 397	6 356 079	1 : 299.2	1841 年,德国
克拉克	6 378 249	6 356 515	1 : 293.5	1880 年,英国
海福特	6 378 388	6 356 912	1 : 297.0	1909 年,美国
克拉索夫斯基	6 378 245	6 356 863	1 : 298.3	1940 年,苏联
IUGG-75	6 378 140	6 356 755.3	1 : 298.257	1979 年,国际大地测量与地球物理联合会
WGS-84	6 378 137		1 : 298.257 223 563	1984 年,美国

1.4 高斯投影和高斯平面直角坐标系统

1.4.1 高斯投影原理

小面积测图时可不考虑地球曲率的影响,直接将地面点沿铅垂线投影到水平面上,并用直角坐标系表示投影点的位置,可以不进行复杂的投影计算。但当测区范围较大,就不能将地球表面当做平面看待,把地球椭球面上的图形展绘到平面上,只有采用某种地图投影的方

法来解决。

地图投影有等角投影、等面积投影和任意投影等。等角投影又称正形投影,经过投影后,原椭球面上的微分图形与平面上的图形保持相似。

高斯(Gauss)投影是横切圆柱等角投影,最早由德国数学家高斯提出,后经德国大地测量学家克吕格完善、补充并推导出计算公式,故也称为高斯-克吕格投影。高斯投影是一种数学投影,而不是透视投影。高斯投影的条件为:①投影后没有角度变形;②中央子午线的投影是一条直线,并且是投影点的对称轴;③中央子午线的投影没有长度变形。

设想用一个圆柱横套在地球椭球体外,与地球南、北极相切,如图 1-5(a)所示,并与椭球体某一子午线相切(此子午线称为中央子午线),圆柱中心轴通过椭球体赤道面及椭球中心,将中央子午线两侧一定经度(如 3° 、 1.5°)范围内的椭球面上的点、线按正形条件投影到圆柱面上,然后将圆柱面沿着通过南、北极的母线展开成平面,即成高斯投影平面,如图 1-5(b)所示。在此平面上,中央子午线和赤道的投影都是直线,并且正交。其他子午线和纬线都是曲线。中央子午线长度不变形,离开中央子午线越远变形越大,并凹向中央子午线。各纬圈投影后凸向赤道。

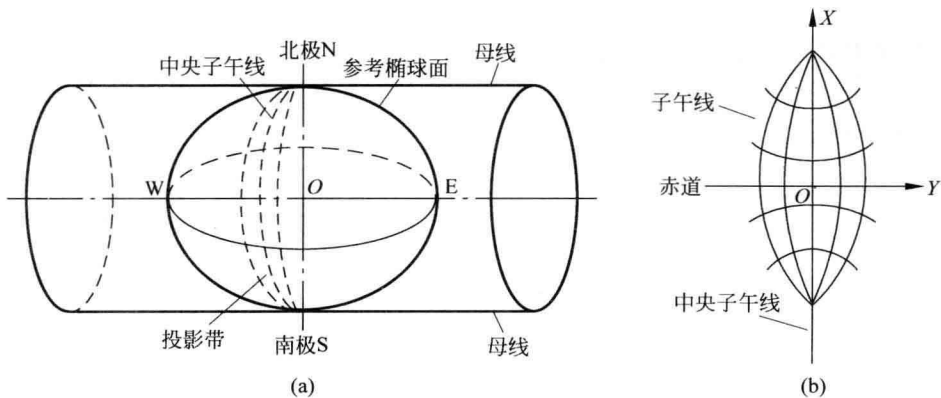


图 1-5 高斯平面直角坐标系的投影图

由图 1-5(b)可看出,距离中央子午线越远,投影变形越大。为了控制长度变形,测量中采用限制投影带宽度的方法,即将投影区域限制在中央子午线的两侧狭长地带,这种方法称为分带投影。投影带宽度根据相邻两个子午线的经差来划分,有 6° 带、 3° 带等不同分带方法。

6° 带投影的划分是从英国格林尼治子午线开始,自西向东,每隔 6° 投影一次。这样将椭球分成 60 个带,编号为 1~60 带,见图 1-6。各带中央子午线的经度 L_0° 可用公式计算

$$\text{中央子午线经度} \quad L_0^\circ = 6^\circ \cdot N - 3^\circ \quad (1-3)$$

$$6^\circ \text{ 投影带带号} \quad N = \text{int}\left(\frac{L}{6^\circ}\right) + 1 \quad (1-4)$$

式中, $\text{int}()$ 为取整函数。

3° 带划分是从东经 $1^\circ 30'$ 起,由西向东划分为 120 个带,称为 3° 带,如图 1-6 所示。

$$\text{中央子午线经度} \quad L_0^\circ = 3^\circ \cdot n \quad (1-5)$$

$$3^\circ \text{ 投影带带号} \quad n = \text{int}\left(\frac{L}{3^\circ} + 0.5\right) \quad (1-6)$$

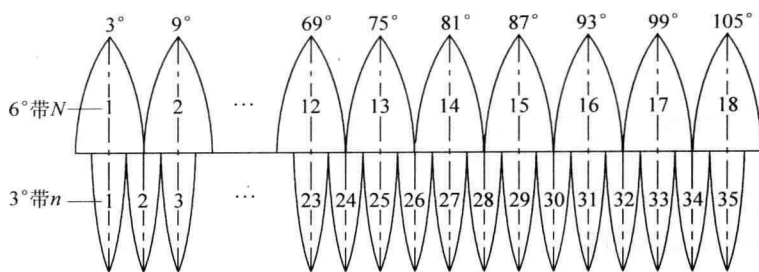


图 1-6 统一 6°带投影与统一 3°带投影高斯平面直角坐标系的关系

我国通常采用 6°带和 3°带两种分带方法。测图比例尺小于 1 : 10 000 时,一般采用 6°分带;测图比例尺大于等于 1 : 10 000 时则采用 3°分带。在工程测量中,有时也采用任意带投影,即把中央子午线放在测区中央的高斯投影。在高精度的测量中,也可采用小于 3°的分带投影。

1.4.2 高斯平面直角坐标

高斯平面直角坐标系是以赤道和中央子午线的交点作为坐标原点 O , 中央子午线方向为 X 轴, 北方向为正值。赤道投影线为 Y 轴, 东方向为正。象限按顺时针 I、II、III、IV 排列, 如图 1-7 所示。

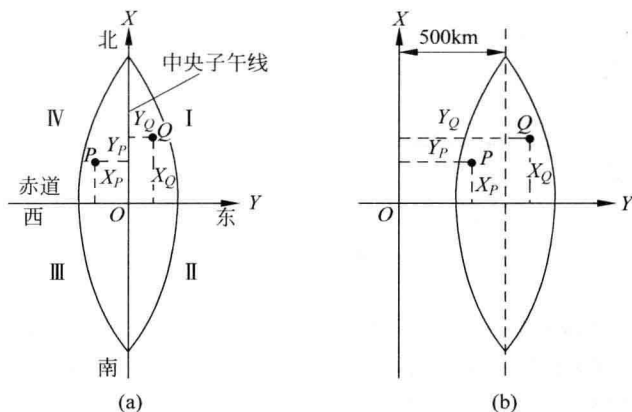


图 1-7 高斯平面直角坐标系

地面点在图 1-7(a)所示坐标系中的坐标值称为自然坐标。在同一投影带内横坐标有正值、有负值,这对坐标的计算和使用不方便。为了使 Y 值都为正,将纵坐标 X 轴西移 500km,并在 Y 坐标前面冠以带号,称为通用坐标。如在第 21 带,中央子午线以西的 P 点,在高斯平面直角坐标系中的坐标自然值为

$$X_P = 4\,429\,757.075\text{m}$$

$$Y_P = -58\,269.593\text{m}$$

而 P 点坐标的通用值为

$$X_P = 4\,429\,757.075\text{m}$$

$$Y_P = 21\,441\,730.407\text{m}$$

1.5 测量常用坐标系

1.5.1 大地坐标系

大地坐标系是以大地经度 L 、大地纬度 B 和大地高 H 表示地面点的空间位置。

大地坐标是以法线为基准线,以椭球体面为基准面。如图 1-8 所示,地面点 P 沿着法线投影到椭球面上为 P' 。 P' 与椭球短轴构成子午面和起始大地子午面,即首子午面间两面角为大地经度 L 。过 P 点的法线与赤道面的交角为大地纬度 B ,过 P 点沿法线到椭球面的距离 PP' 称为大地高,用 $H_{\text{天}}$ 表示。

大地坐标是根据大地原点坐标(原点坐标采用该点天文经纬度表示),再按大地测量所测得的数据推算而得。由于天文坐标和大地坐标选用的基准线和基准面不同,所以同一点的天文坐标与大地坐标不一样,同一点的垂线和法线也不一致,因而产生垂线偏差。

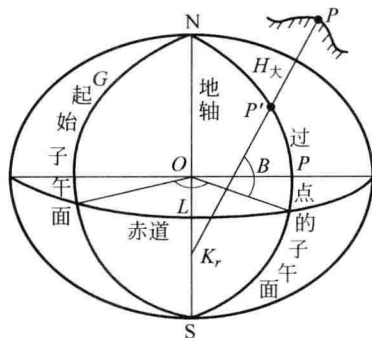


图 1-8 大地坐标

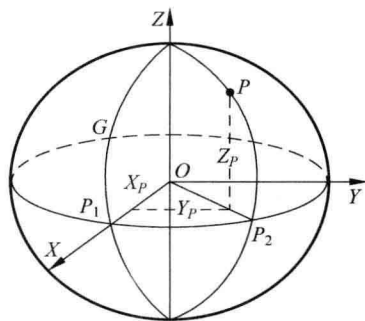


图 1-9 空间直角坐标系

1.5.2 空间直角坐标系

空间直角坐标系根据所选取的坐标原点位置的不同,可分为地心空间直角坐标系和参心空间直角坐标系,前者的坐标原点与地球质心相重合,后者的坐标原点则偏离于地心,而重合于某个国家、地区所采用的参考椭球的中心。

空间大地直角坐标系的原点 O 为椭球中心,如图 1-9 所示, Z 轴与椭球旋转轴一致,指向地球北极, X 轴与椭球赤道面和格林尼治平均子午面的交线重合, Y 轴与 XZ 平面正交,指向东方, X 、 Y 、 Z 构成右手坐标系, P 点的空间大地直角坐标用 (X, Y, Z) 表示。

参考椭球的中心一般不会与地球的质心相重合。这种原点位于地球质心附近的坐标系通常又称为地球参心坐标系,简称为参心坐标系,主要用于常规大地测量的成果处理。

1.5.3 我国目前常用坐标系

1. 1954 北京坐标系

我国建国初期采用克拉索夫斯基椭球建立的坐标系为参考坐标系。由于大地原点在苏联,利用我国东北边境呼玛、吉拉林、东宁三个基线网与苏联大地网联测后的坐标作为我国天文大地网起算数据,然后通过天文大地网坐标计算,推算出北京名义上的原点坐标,故命名为 1954 北京坐标系。建国以来,用这个坐标系进行了大量测绘工作,在我国经济建设和国防建设中发挥了重要作用。但是这个坐标系存在一些问题:①参考椭球长半轴偏大,比地球总椭球大了一百多米;②椭球基准轴定向不明确;③椭球面与我国境内大地水准面不太吻合,东部高程异常可达+68m,西部新疆地区高程异常小,有的地方为零;④点位精度不高。

2. 1980 西安坐标系

为了更好地适应经济建设、国防建设和地球科学研究的需要,克服 1954 北京坐标系的问题,充分发挥我国原有天文大地网的潜在精度,20 世纪 70 年代末,对原天文大地网重新进行平差。该坐标系选用 IUGG-75 地球椭球,大地原点选在陕西省泾阳县永乐镇,这一点上椭球面与我国境内大地水准面相切,大地水准面垂线和该点参考椭球面法线重合。平差后其全国大地水准面与椭球面差距在 $\pm 20\text{m}$ 之内,边长精度为 1/500 000。

3. 新 1954 北京坐标系

由于 1954 北京坐标系与 1980 西安坐标系的椭球参数和定位均不相同,大地控制点在两个坐标系中的坐标就存在较大差异,甚至达到百米以上。这将造成测量成果换算的不便和地形图图廓以及方格网线位置的变化。但是 1954 北京坐标系已使用多年,全国测量成果很多,换算工作量相当繁重,为了过渡,就建立了新 1954 北京坐标系。新 1954 坐标系是通过将 1980 西安坐标系的三个定位参数平移至克拉索夫斯基椭球中心,长半径与扁率仍采用原来的克拉索夫斯基椭球的几何参数,而定位与 1980 大地坐标系相同(即大地原点相同),定向也与 1980 椭球相同。因此,新 1954 坐标系的精度与 1980 坐标系的精度相同,而坐标值与旧 1954 北京坐标系的坐标值接近。

4. 2000 国家大地坐标系统(CGCS 2000)

2000 国家大地坐标系的原点为包括海洋和大气的整个地球的质量中心。2000 国家大地坐标系的 Z 轴由原点指向历元 2000.0 的地球参考极的方向,该历元的指向由国际时间局给定的历元为 1984.0 的初始指向推算,定向的时间演化保证相对于地壳不产生残余的全球旋转,Z 轴由原点指向格林尼治参考子午线与地球赤道面(历元 2000.0)的交点,Y 轴与 Z 轴、X 轴构成右手正交坐标系,采用广义相对论意义上的尺度。

2000 国家大地坐标系采用的地球椭球参数为:

长半轴	$a = 6\,378\,137\text{m}$
扁率	$\alpha = 1/298.257\,222\,101$
地心引力常数	$G_M = 3.986\,004\,418 \times 10^{14} \text{m}^3/\text{s}^2$
自转角速度	$\omega = 7.292\,115 \times 10^{-5} \text{rad/s}$

CGCS 2000 是地心坐标系。我国北斗卫星导航定位系统采用的是 2000 国家大地坐标系统。

5. WGS-84 坐标系

在卫星大地测量中,需要建立一个以地球质心为坐标原点的大地坐标系,称为地心空间直角坐标系。

地心空间直角坐标系是在大地体内建立的坐标系 $OXYZ$,它的原点与地球质心重合, Z 轴与地球自转轴重合, X 轴与地球赤道面和起始子午面的交线重合, Y 轴与 XZ 平面正交,指向东方, X 、 Y 、 Z 构成右手坐标系。地心坐标系是唯一的,因此,这一坐标系确定地面点的“绝对坐标”,它在卫星大地测量中获得广泛应用。

GPS 全球定位系统的 WGS-84 世界大地坐标系就是这种类型。该坐标系的几何定义为:坐标原点与地球质心重合, Z 轴指向国际时间局 BIH 1984.0 定义的协议地球极(CIO)方向, X 轴指向 BIH 1984.0 的零子午面和 CTP 赤道的交点, Y 轴与 Z 轴构成右手坐标系,称为 1984 年世界大地坐标系。

WGS-84 采用的椭球是国际大地测量与地球物理联合会(IUGG)1980 年第十七届大会大地测量常数的推荐值。

WGS-84 世界大地坐标系于 1985 年开始启用,GPS 卫星定位系统的广播星历和精密星历以及接收机的处理都是采用 WGS-84 世界大地坐标系的地心坐标。

6. 假定平面直角坐标系

当测区面积较小($<100\text{km}^2$)时,根据工程设计的要求,可以用测区中心点 C 的切平面来代替曲面。通过 C 点的子午线投影在切平面上,形成纵轴 X ,纵向北为正值;过 C 点垂直于 X 轴方向形成横轴 Y ,横轴向东为正,如图 1-10 所示。

为了使测区的纵、横坐标都为正值,将坐标原点移至测区西南角,形成测量平面直角坐标系 XOY 。

高斯平面直角坐标系与笛卡儿平面坐标系有以下几点不同:

(1) 高斯坐标系中纵坐标为 X ,正向指北;横轴为 Y ,正向指东。而笛卡儿坐标系中纵坐标是 Y ,横坐标为 X 。

(2) 表示直线方向的方位角定义不同。高斯坐标系是以纵坐标 X 的北端起算,顺时针到直线的角度。而笛卡儿坐标是以横轴 X 东端起算,逆时针计算。

(3) 坐标象限不同。高斯坐标以东北为第一象限,顺时针划分四个象限,笛卡儿坐标也是从东北为第一象限,逆时针划分四个象限,见图 1-11。

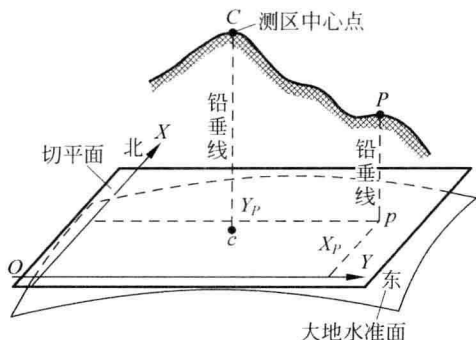


图 1-10 假定平面直角坐标系

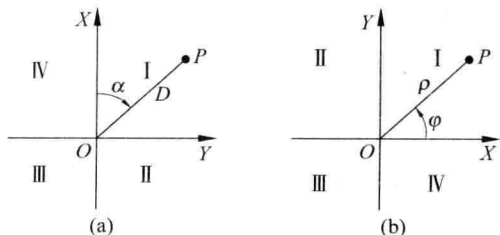


图 1-11 测量平面直角坐标系

(a) 测量坐标系; (b) 笛卡儿坐标系