



工程控制测量

GONGCHENG KONGZHI
CELIANG
SHIYONG SHOUCHE

实用手册

杨长银◎编著



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

013047907

TB22-62
05

工程控制测量实用手册

编著 杨长银



西南交通大学出版社
· 成都 ·



TB22-62
05

内容提要

由于过去常用的三角测量已经被淘汰,所以本书主要介绍目前在工程控制测量中比较常用的 GPS 测量、导线测量、水准测量和测距高程导线测量,涉及与工程控制测量有关的基本知识、作业流程及作业方法、平差计算方法、成果资料提交的内容及格式。

本书可供工程控制测量专业的工程技术人员参考,也可供测绘院校的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程控制测量实用手册 / 杨长银编著. —成都:
西南交通大学出版社, 2013.4
ISBN 978-7-5643-2266-3

I. ①工... II. ①杨... III. ①工程测量—控制测量—技术手册 IV. ①TB22-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 056250 号

工程控制测量实用手册

编著 杨长银

*

责任编辑 杨勇

特邀编辑 姜锡伟

封面设计 墨创文化

西南交通大学出版社出版发行

成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川煤田地质制图印刷厂印刷

*

成品尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 14.25

字数: 356 千字

2013 年 4 月第 1 版 2013 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-2266-3

定价: 38.00 元

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本书中的资料提交格式来源于四川省煤田测绘工程院近两年来所作的工程控制测量项目。书中提及的 GPS 验算项数据搜索软件由四川省煤田测绘工程院童宏毅和毛承逆编制。书中提及的导线测量、水准测量及测距高程导线的平差数据准备 Excel 模块由四川省煤田测绘工程院龙良胜编制。

本书是多年来四川省煤田测绘工程院在工程控制测量中的经验积累。本书在编辑过程中得到了四川省煤田测绘工程院的大力支持,在此我向他们表示衷心的感谢。

由于编著者水平有限,不足之处在所难免,诚恳希望读者批评指正。

杨长银

2013 年 4 月

目 录

第一章 测量学的基本知识	(1)
第一节 测绘工作的任务及其分类	(1)
第二节 地球的形状和大小	(2)
第三节 工程测量的主要内容	(2)
第二章 测量坐标系统	(3)
第一节 坐标系统	(3)
第二节 我国常用的坐标系统	(6)
第三节 地方独立坐标系的建立方法	(8)
第四节 坐标变换	(11)
第三章 目前常用的测量仪器简介	(15)
第一节 常用全站仪的精度指标	(15)
第二节 常用 GPS 接收机的精度指标	(15)
第三节 常用水准仪的精度指标	(16)
第四章 测量仪器的检验	(17)
第一节 全站仪的鉴定	(17)
第二节 GPS 接收机的鉴定	(17)
第三节 水准仪的检验	(17)
第五章 GPS 控制测量	(46)
第一节 GPS 网的布设	(46)
第二节 GPS 点的选点与埋石	(49)
第三节 GPS 点的观测与记录	(51)
第四节 GPS 点观测数据的处理	(55)
第五节 GPS 控制测量验算资料的整理方法	(62)
第六节 GPS 控制测量应提交的资料及其资料整理格式	(64)
第七节 关于 GPS 测量边长精度规定的讨论	(65)
第八节 关于 GPS 测量各检验项的限差计算公式	(65)

第六章 导线测量	(69)
第一节 导线点的布设	(69)
第二节 导线点的选点与埋石	(69)
第三节 导线点的观测与记录	(72)
第四节 导线网的验算	(72)
第五节 导线网的平差计算	(73)
第六节 有关导线测量的计算公式	(73)
第七节 导线测量 Excel 模块的使用说明	(74)
第八节 导线测量应提交的资料及其资料整理格式	(75)
第七章 水准测量	(77)
第一节 水准网的布设	(77)
第二节 水准点的选点与埋石	(77)
第三节 水准观测与记录	(80)
第四节 PC - E500 水准观测记录程序使用说明	(89)
第五节 水准测量成果的验算	(97)
第六节 有关水准测量的计算公式	(98)
第七节 水准成果的重测与取舍	(99)
第八节 跨河水准测量	(99)
第九节 水准网平差计算	(100)
第十节 三、四等水准网平差数据准备 Excel 模块的使用说明	(100)
第十一节 二等水准网平差数据准备 Excel 模块的使用说明	(101)
第十二节 水准测量应提交的资料及其资料整理格式	(103)
第八章 测距高程导线测量	(104)
第一节 适用范围	(104)
第二节 测距高程导线的布设	(104)
第三节 测距高程导线的选点与埋石	(104)
第四节 观测方法和观测记录	(104)
第五节 测距高程导线的验算	(105)
第六节 测距高程导线成果的重测与取舍	(105)
第七节 测距高程导线的平差计算	(106)
第八节 测距高程导线测量 Excel 模块的使用说明	(106)
第九节 测距高程导线测量应提交的资料及其资料整理格式	(108)

附录一	GPS 点点之记提交格式	(109)
附录二	TOPCON 软件的 GPS 网平差计算资料提交格式	(114)
附录三	南方软件的 GPS 网平差计算资料提交格式	(124)
附录四	中海达软件的 GPS 网平差计算资料提交格式	(133)
附录五	一级导线点点之记提交格式	(142)
附录六	一级导线观测记录手簿提交格式	(148)
附录七	一级导线平差计算资料提交格式	(153)
附录八	水准仪检验资料提交格式	(162)
附录九	水准点点之记资料提交格式	(173)
附录十	水准观测记录手簿(光学水准仪)资料提交格式	(178)
附录十一	水准观测记录手簿(数字水准仪)资料提交格式	(185)
附录十二	三、四等水准网平差计算资料提交格式	(192)
附录十三	二等水准网平差计算资料提交格式	(200)
附录十四	测距高程导线观测记录手簿提交格式	(208)
附录十五	测距高程导线平差计算资料提交格式	(213)
参考文献	(220)

第一章 测量学的基本知识

第一节 测绘工作的任务及其分类

测绘科学研究的对象主要是地球的形状、大小和地球表面上各种物体的几何形状及其空间位置,目的是为人们了解自然和改造自然服务。

一、测绘科学按学科分类

1. 地形测量学

它研究的只是地球自然表面上的一个小区域,由于地球半径很大,就可以把这块球面当作平面看待而不考虑其曲率。研究这类小区域地表面各类物体的几何形状及其空间位置的测绘科学,属于地形测量学的范畴。地形测量学研究的内容可以用文字和数字记录下来,也可用图表示。

2. 大地测量学

凡研究的对象是地表上一个较大的区域甚至整个地球时,就必须考虑地球的曲率。这种以研究广大地区为对象的测绘科学属于大地测量学的范畴。这门学科的基本任务是建立国家大地控制网,测定地球的形状、大小和研究地球重力场的理论、技术和方法。大地控制网是为研究地球有关的各种科学服务的,并且是施测地形图的重要依据。近年来,由于人造地球卫星的发射及遥感技术的发展,常规的大地测量(三角测量)已被卫星大地测量(GPS 测量)所取代。

3. 摄影测量学

利用摄影像片来研究地表形状和大小的测绘科学,统称摄影测量学。因获得像片的方法不同,摄影测量学又可分为:地面摄影测量学、航空摄影测量学、卫星摄影测量学。

4. 工程测量学

凡城市建设、厂矿建设、水利水电建设、道路建设、农村规划等在勘察设计、施工放样、竣工验收和工程保养等方面的测绘工作,统称工程测量学。这门学科的主要任务有三方面:一是把地面上的情况描绘到图纸上;二是把图纸上设计的建筑物桩定到地面上;三是为建筑物施工过程中和竣工后所产生的各种变化而进行的变形观测。

5. 制图学

利用测量所得的资料,研究如何投影编绘成地图,以及地图制作的理论、工艺技术和应用等方面的测绘科学属于制图学的范畴。

二、测绘科学按专业分类

在办理测绘资质证书时,国家测绘局又把测绘科学分为如下专业:

- (1)大地测量专业。
- (2)测绘航空摄影专业。
- (3)摄影测量与遥感专业。

- (4) 工程测量专业。
- (5) 地籍测绘专业。
- (6) 房产测绘专业。
- (7) 行政区域界线测绘专业。
- (8) 地理信息系统工程专业。
- (9) 地图编制专业。
- (10) 海洋测绘专业。

第二节 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,而地球自然表面是不规则的。我国西藏与尼泊尔交界处的珠穆朗玛峰高达 8 844.43 m(2005 年 10 月 9 日国家测绘局公布),而在太平洋西部的马里亚纳海沟深达 11 022 m。但这样的高低起伏相对于地球庞大的体积来说还是可忽略不计,而把地球看作球状。通过长期的测绘工作和科学调查,我们了解到地球表面上的海洋面积约占地球表面积的 71%,陆地面积约占地球表面积的 29%。人们把地球总的形状看作是被海水包围的球体,也就是设想地球表面有一个静止的海水面向陆地延伸,从而形成了一个封闭的曲面,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,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。

经过几个世纪的实践,人们逐渐认识到地球的形状近似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椭球体。

地球虽然是一个椭球体,但是它是一个不规则的椭球体,无法进行数学计算。为此,我们必须选择一个形状和大小与大地体很相近的椭球,才能将观测成果化算到椭球面上。这个椭球体就是我们常说的参考椭球体。

这个参考椭球体与大地原点的大地体相切,且切点位于大地原点的铅垂线方向上;参考椭球体还要满足在全国范围内高程异常值的平方和为最小。确定参考椭球体的工作称为参考椭球体的定位。

第三节 工程测量的主要内容

一、工程控制测量

工程测量的主要目的是测绘工程需要的各种比例尺的地形图。要测绘地形图必须要有一定密度的测量控制点,测定这些控制点的平面坐标和高程是控制测量的目的。传统的三角测量已经被淘汰,目前,平面控制测量主要采用 GPS 和测距导线的方法,高程控制测量主要采用水准测量和测距高程导线的方法。

二、地形图测绘

传统的平板仪测图已基本被淘汰,目前,地形测图采用全站仪采集地物点和地形点的平面坐标和高程数据,然后使用绘图软件(如南方 CASS7.0 绘图软件)编绘成图。

第二章 测量坐标系

第一节 坐标系

一、大地坐标系

用大地经度 L 、大地纬度 B 和高程 H (海拔高) 表示地球上某点位置的坐标系称为大地坐标系, 如图 2-1 所示。通过椭球旋转轴 (短轴) 的平面称为子午面, 而其中通过格林尼治天文台的子午面称为起始子午面。子午面与椭球面的交线称为子午圈, 也称子午线。通过椭球中心且与椭球旋转轴正交的平面称为赤道面, 它与椭球面相截所得的曲线称为赤道。其他与椭球旋转轴正交但不通过球心的平面与椭球面相截所得的曲线称为平行圈或纬圈。所谓某点的大地经度, 就是通过该点的子午面与起始子午面的夹角, 用 L 表示; 大地纬度就是该点的法线与赤道面的交角, 用 B 表示。大地经度从起始子午面向东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经, 从起始子午面向西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。大地纬度由赤道面向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬, 由赤道面向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬。

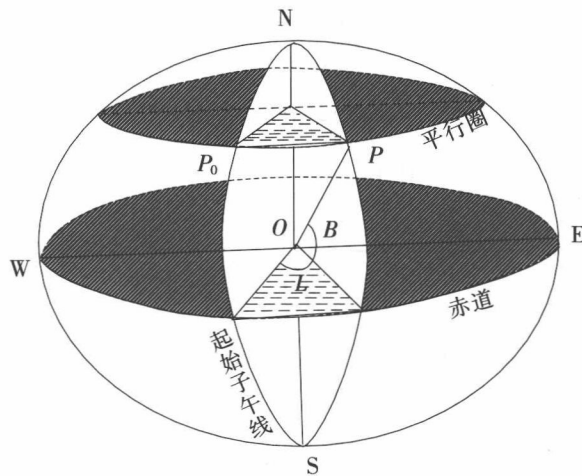


图 2-1 大地坐标系

二、平面直角坐标系

在小区域 (如 100 km^2) 内进行测量工作时, 由于采用大地坐标来表示地面点的位置不方便, 所以通常采用平面直角坐标系。测量工作中所用的平面直角坐标系与解析几何中的平面直角坐标系基本相同; 只是测量工作中的平面直角坐标系以 X 轴为纵轴, 一般用它表示南北方向, 以 Y 轴为横轴, 表示东西方向。这是由于在测量上, 平面直角坐标系中的坐标方位角, 是以北方为准按顺时针方向到某条边的夹角; 而在解析几何中, 平面直角坐标系的方向角则是以横轴 (X 轴) 为准按逆时针方向到某条边的夹角。所以把解析几何中平面直角坐标系的 X 轴与 Y

轴纵横互换后,全部三角函数公式都同样能在测量计算中应用。

三、高斯 - 克吕格坐标系

如果测区范围太大(如在全国范围内),就不能把地球的很大一块地表面当作平面看待,必须采用适当的投影方法来解决这个问题。投影方法有多种,如高斯 - 克吕格投影、兰勃脱正形投影、阿尔伯特等面积投影等。我国采用高斯 - 克吕格投影。

高斯 - 克吕格投影的方法是:设想把一个平面卷成一个横圆柱,把它套在圆球外面,使横圆柱的轴心通过圆球的中心,让圆球面上的一根子午线与横圆柱相切,即这条子午线与横圆柱重合。通常称这条子午线为“中央子午线”或“轴子午线”,如图 2-2 所示。

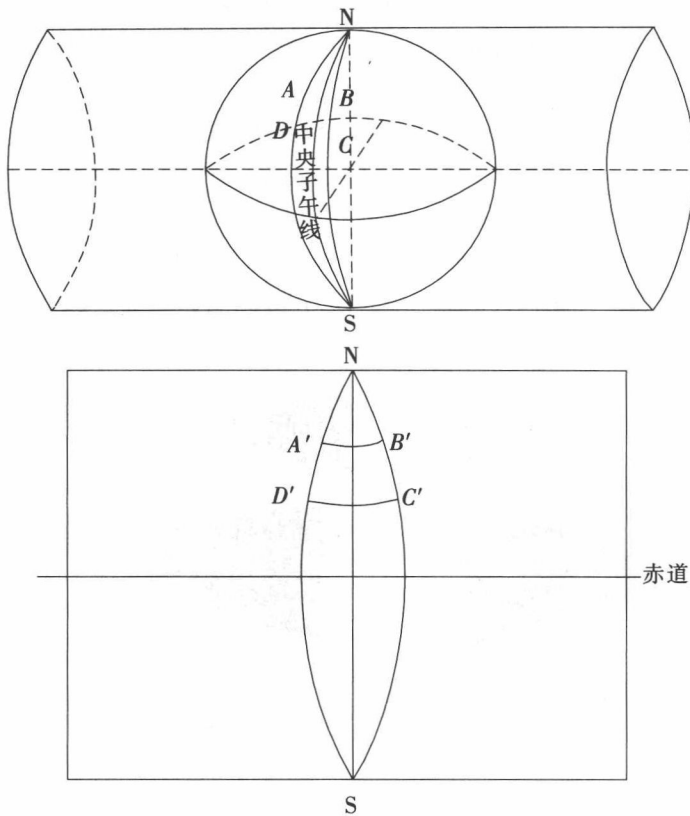


图 2-2 中央子午线

这种投影方法把地球分成若干范围不大的带进行投影,带的宽度一般分为经差 6° 、 3° 和 1.5° 等几种,简称为 6° 带、 3° 带和 1.5° 带。

6° 带从 0° 子午线算起,以经度每差 6° 为一带。每带中间的一条子午线,就是这带的中央子午线,也就是高斯坐标系统 6° 带的 X 轴; Y 轴为赤道线。例如: 6° 带第 18 带坐标的中央子午线为 105° 。

3° 带从 $1^\circ 30'$ 子午线算起,以经度每差 3° 为一带。每带中间的一条子午线,就是这带的中央子午线,也就是高斯坐标系统 3° 带的 X 轴; Y 轴为赤道线。例如: 3° 带第 35 带坐标的中央子午线为 105° 。

6°带和3°带的分带情况如图2-3所示。

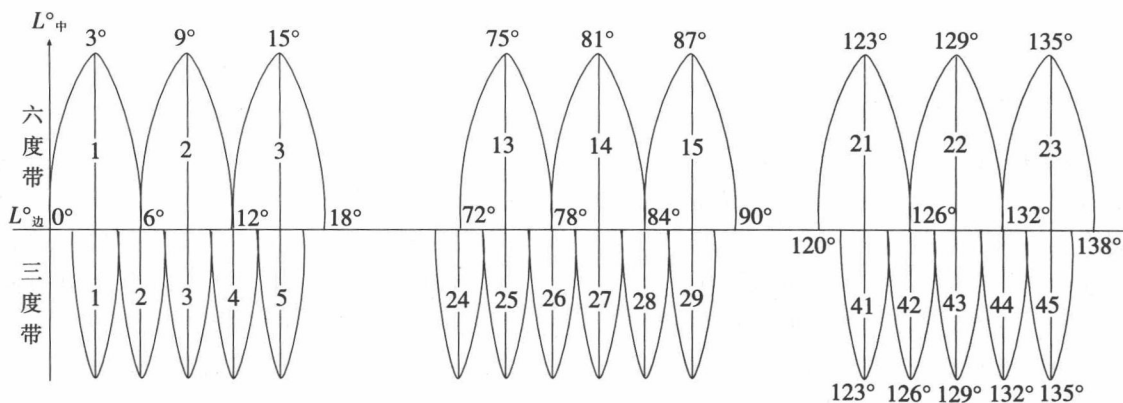


图 2-3 6°带和3°带的分带情况

一般高斯-克吕格坐标系的 Y 坐标表示方法是在 Y 坐标前冠以带号, 设带号为 a 。那么已知高斯-克吕格坐标系的带号, 求中央子午线的公式:

对于6°带, 中央子午线为 $6a - 3$; 对于3°带, 中央子午线为 $3a$ 。

已知大地经度 L , 求所在高斯-克吕格坐标系中央子午线的公式:

对于6°带, 中央子午线为 $6\text{round}((L+3)/6, 0) - 3$;

对于3°带, 中央子午线为 $3\text{round}(L/3, 0)$ 。

四、空间直角坐标系

这种坐标系的原点设在椭球的中心 O , 坐标轴用 X 、 Y 、 Z 三轴表示, 也称地心坐标系。目前, GPS 测量中的 WGS-84 坐标系就是空间直角坐标系, 如图2-4所示。

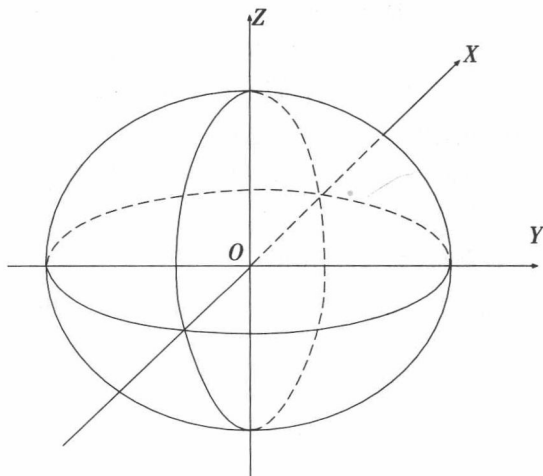


图 2-4 空间直角坐标系

第二节 我国常用的坐标系

一、1954 北京坐标系

1949 年以前,我国曾经建立过南京坐标系,但由于大地测量工作没有大规模展开,所以这个坐标系未被广泛使用。新中国成立后,大地测量工作在全国展开,急需一个坐标系统。于是测绘界将我国东北呼玛、吉拉林、东宁三个基线网与苏联大地网相连,从而将苏联 1942 年坐标系延伸到北京,并以北京地区某大地点的坐标作为我国大地测量的起算数据,定名为 1954 北京坐标系。它实际上是苏联 1942 年坐标系,其坐标原点不在北京,而是在苏联的普尔科沃。

1954 北京坐标系采用克拉索夫斯基椭球,其长半轴 $a = 6\,378\,245\text{ m}$, 椭球扁率 $f = 1/298.3$ 。

1954 北京坐标系的缺点:由于它是从苏联 1942 年坐标系引测到我国的,所以其参考椭球面与我国的大地水准面吻合不好。在我国经济发达的东部地区的大地水准面差距(即高程异常)达 $+68\text{ m}$,大地水准面差距为零的地区在新疆。

二、1980 西安坐标系

在 1978 年全国天文大地网平差时,为了克服 1954 北京坐标系的缺点,国家测绘局和总参测绘局决定建立新的大地坐标系,定名为 1980 年国家大地坐标系,也就是我们常说的 1980 西安坐标系。它的大地原点在陕西省泾阳县永乐店北洪流村。

1980 年国家大地坐标系的椭球参数采用 1975 年 IUGG 第十六届大会推荐的一组数据,其长半轴 $a = 6\,378\,140\text{ m}$, 椭球扁率 $f = 1/298.257$ 。

在 1980 年国家大地坐标系中,全国范围内的大地水准面差距基本上在 20 m 以内。

三、2000 国家大地坐标系

为适应我国北斗卫星定位系统的需要,我国于 2010 年又发布了 2000 国家大地坐标系。2000 国家大地坐标系的定义包括坐标系的原点、三个坐标轴的指向、尺度以及地球椭球的 4 个基本参数。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;其 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, X 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下的尺度。2000 国家大地坐标系采用的地球椭球,其长半轴 $a = 6\,378\,137\text{ m}$, 椭球扁率 $f = 1/298.257\,222\,101$ 。

四、世界大地坐标系 WGS - 84

目前,GPS 测量采用的是世界大地坐标系 WGS - 84,其地球椭球长半轴 $a = 6\,378\,137\text{ m}$, 椭球扁率 $f = 1/298.257\,223\,563$ 。

五、地方独立坐标系

我们常用的高斯坐标是高斯平面上的直角坐标。而我们在地面上测量的边长是不同高程

面上的边长,它要经过化算到大地水准面、再化算到高斯平面的过程,才能得到高斯平面的边长。那么,我们由高斯坐标反算的边长必然和地面上测量的边长不相符。这就是测量上通常称的投影长度变形。在一个城市或大型工矿区进行测量工作,量边是经常的事。为减少边长投影的麻烦,又要使在地面上测量的水平距离与由高斯坐标反算的边长基本相等,即投影长度变形值不大于 2.5 cm/km,还要和国家坐标系相联系,就需要选择一种能够满足上述条件的坐标系。这种坐标系的边长投影面,一般为一个城市或大型工矿区的平均海拔高程面,其具有适当的中央子午线。这种坐标系就称为地方独立坐标系,建立地方独立坐标系必须经过省级以上测绘主管部门批准。

六、高程基准

(一)有关高程基准的基本概念

1. 大地高

地面上一点沿过该点的参考椭球面的法线方向到参考椭球面的距离称为大地高。

2. 正高

地面上一点沿过该点的重力线方向到大地水准面的距离称为正高。

3. 正常高

地面上一点沿过该点的正常重力线方向到似大地水准面的距离称为正常高。

4. 大地水准面差距

参考椭球面至大地水准面的距离称为大地水准面差距。

5. 高程异常

似大地水准面至大地水准面的距离称为高程异常。

(二)高程基准

1. 1956 年黄海高程基准

1956 年黄海高程基准的起算面是大地水准面;水准原点设在青岛市观象山,其原点高程为 72.289 m;高程系统为正常高系统。

2. 1985 国家高程基准

1985 国家高程基准的起算面是大地水准面;水准原点设在青岛市观象山,其原点高程为 72.260 4 m;高程系统为正常高系统。

七、参考椭球的基本几何参数(表 2.1)

表 2.1 参考椭球的基本几何参数

坐标系 参数名称	1954 北京坐标系	WGS-84 大地坐标系	1980 西安坐标系	2000 国家 大地坐标系
长半径 $a(m)$	6 378 245	6 378 137	6 378 140	6 378 137
短半径 $b(m)$	6 356 863.018 8	6 356 752.314 2	6 356 755.288 2	6 356 752.314 14
扁率 f	1/298.3	1/298.257 223 563	1/298.257	1/298.257 222 101
第一偏心率平方 e^2	0.006 693 421 622 966	0.006 694 379 990 13	0.006 694 384 999 59	0.006 694 380 022 90
第二偏心率平方 e'^2	0.006 738 525 414 683	0.006 739 496 742 227	0.006 739 501 819 47	0.006 739 496 775 48

第三节 地方独立坐标系的建立方法

一、建立地方独立坐标系的原则

- (1) 一个城市或一个地区只应建立一个城市独立坐标系。
- (2) 要与国家坐标系相联系。
- (3) 长度变形值不得大于 2.5 cm/km。
- (4) 要得到省级以上测绘主管部门的批准。

二、建立地方独立坐标系的方法

(一) 了解建立地方(城市)独立坐标系范围的情况

了解建立地方(城市)独立坐标系的经、纬度范围;了解测区内的最高海拔、最低海拔、平均海拔和主要建筑群的海拔;收集测区范围内国家高等级控制点;根据测区面积大小确定建立地方(城市)独立坐标系所作控制网的等级;并根据国家高等级控制点的坐标系统确定地方(城市)独立坐标系与国家坐标系相联系的坐标系统。

例如:××市要建立城市坐标系的范围介于东经 104°23'26"至 105°01'43",北纬 29°06'56"至 29°28'17"之间,覆盖面积约 2 445 km²。这个区域的海拔:主城区以西大约在 280~450 m,主城区以东大约在 250~400 m,主要建筑群海拔在 350 m 左右。×××测绘局收集到 5 个 B 级 GPS 点,坐标系统为 1980 西安坐标系,所以确定二等 GPS 控制网为建立××市城市坐标系的基本控制网,并与 1980 西安坐标系相联系。

(二) 地方(城市)独立坐标系中央子午线和投影高程面的确定

由测距边水平距离 D 归算到任意高程面 h_m 的边长 S'_0 按式(2.1)计算:

$$S'_0 = D \left(1 - \frac{H_m - h_m}{R_n} \right) \quad (2.1)$$

再由 S'_0 归算到高斯平面的边长 S_0 按式(2.2)计算:

$$S_0 = S'_0 \left(1 + \frac{y_m^2}{2R_m^2} \right) \quad (2.2)$$

式中 H_m ——测距边高出大地水准面的平均高程;

R_n ——测距边方向参考椭球面法截弧的曲率半径;

y_m ——测距边两端点近似横坐标的平均值;

R_m ——测距边中点的平均曲率半径。

要使水平距离 D 与高斯平面的边长 S_0 大致相等,应使

$$\frac{H_m - h_m}{R_n} = \frac{y_m^2}{2R_m^2}$$

另外,规范规定长度变形值不得大于 2.5 cm/km,那么应有

$$\left(-\frac{H_m - h_m}{R_n} + \frac{y_m^2}{2R_m^2} \right) \times 1000 \leq 0.025$$

用测区中部平均曲率半径 R 代替 R_m 、 R_n 得

$$\left(-\frac{H_m - h_m}{R} + \frac{J_m^2}{2R^2}\right) \times 1\,000 \leq 0.025 \quad (2.3)$$

R 可由式(2.4)计算:

$$R = \frac{a \sqrt{1 - e^2}}{1 - e^2 \sin^2 B} \quad (2.4)$$

式(2.3)就是确定地方(城市)独立坐标系中央子午线和投影高程面高程的关系式,它既要考虑平均高程,又要考虑中央子午线离测区中央的远近。

例如:××市二等 GPS 控制区中部的纬度为 $29^\circ 17' 36.5''$,按式(2.4)计算的 $R = 6\,366\,959\text{ m}$ 。测区的平均海拔为 400 m ,主要建筑群海拔在 350 m 左右。

测区东部的经度为 105° ,刚好是 3° 带第35带的中央子午线。若仍取 105° 作为××市城市坐标系的中央子午线,则高程投影面一般取测区平均高程面的高程,如这里我们取 300 m 。现计算东部、中部、西部各高程面的变形差,如表2.2所列。

表 2.2 变形差计算

高程 (m)	球面 改正数	西端		中部		东端	
		高斯改正数	变形差	高斯改正数	变形差	高斯改正数	变形差
250	0.007 9	0.043 4	0.051 3	0.009 9	0.017 7	0.000 1	0.007 9
300	0.000 0	0.043 4	0.043 4	0.009 9	0.009 9	0.000 1	0.000 1
350	-0.007 9	0.043 4	0.035 5	0.009 9	0.002 0	0.000 1	-0.007 8
380	-0.012 6	0.043 4	0.030 8	0.009 9	-0.002 7	0.000 1	-0.012 5
400	-0.015 7	0.043 4	0.027 7	0.009 9	-0.005 9	0.000 1	-0.015 6
420	-0.018 8	0.043 4	0.024 6	0.009 9	-0.009 0	0.000 1	-0.018 8
450	-0.023 6	0.043 4	0.019 8	0.009 9	-0.013 7	0.000 1	-0.023 5

从表2.2可以看出,测区西部420 m以下的地区不能满足 2.5 cm/km 的要求。

另外,我们可以考虑取测区中部的子午线作为中央子午线。测区中部的经度为 $104^\circ 42' 34.5''$,这个经度附近有一个1:1万的地形图分幅线,即 $104^\circ 45' 0.0''$ 。我们可以把 $104^\circ 45' 0.0''$ 作为××市城市坐标系的中央子午线,仍以 300 m 作为投影高程面。现计算东部、中部、西部各高程面的变形差,如表2.3所列。

表 2.3 变形差计算

高程 (m)	球面 改正数	西端		中部		东端	
		高斯改正数	变形差	高斯改正数	变形差	高斯改正数	变形差
250	0.007 9	0.015 1	0.022 9	0.000 2	0.008 0	0.009 1	0.016 9
300	0.000 0	0.015 1	0.015 1	0.000 2	0.000 2	0.009 1	0.009 1
350	-0.007 9	0.015 1	0.007 2	0.000 2	-0.007 7	0.009 1	0.001 2
380	-0.012 6	0.015 1	0.002 5	0.000 2	-0.012 4	0.009 1	-0.003 5
400	-0.015 7	0.015 1	-0.000 6	0.000 2	-0.015 5	0.009 1	-0.006 6
420	-0.018 8	0.015 1	-0.003 8	0.000 2	-0.018 7	0.009 1	-0.009 8
450	-0.023 6	0.015 1	-0.008 5	0.000 2	-0.023 4	0.009 1	-0.014 5

从表 2.3 可以看出,整个测区及所有高程面都能满足边长变形差不大于 2.5 cm/km 的要求。

所以我们取 104°45′ 作为××市城市坐标系的中央子午线,取投影面高程为 300 m,是较为合理的。

(三) 地方(城市)独立坐标系与国家坐标系的联系

在作城市独立坐标系控制网时,要联测一定数量的国家高等级控制点作为起算点,以便和国家坐标系建立联系。

在城市独立坐标系控制网平差计算前,若国家高等级控制点坐标系的中央子午线与城市独立坐标系的中央子午线不一致,应首先通过坐标换带计算,将国家高等级控制点坐标换算成与城市独立坐标系的中央子午线一致的坐标;然后将国家高等级控制点的坐标改算到城市独立坐标系的投影高程面上。

例如:××市城市独立坐标系二等 GPS 控制网,联测了 II 乐内 40 基、II 乐内 25、陡岩和康湾 4 个国家高等级控制点。这些点的坐标是 1980 西安坐标系的坐标,中央子午线为 105°。而××市城市独立坐标系的中央子午线为 104°45′,投影高程面为 300 m,坐标原点设在经度 104°45′、纬度 29°20′ 处。

首先,我们利用“南方平差易 2005”软件的坐标换带功能,将 II 乐内 40 基、II 乐内 25、陡岩、康湾和坐标原点的中央子午线为 105°的坐标,转换成中央子午线为 104°45′的坐标。其转换成果如表 2.4 所列。

表 2.4 转 换 成 果

点名	中央子午线为 105°		中央子午线为 104°45′	
	X	Y	X	Y
陡岩	3 232 352.956	466 678.032	3 232 307.888	490 988.989
康湾	3 230 215.370	490 517.987	3 230 221.064	514 833.308
II 乐内 40 基	3 265 998.157	493 044.130	3 266 009.255	517 282.923
II 乐内 25	3 260 913.144	448 285.608	3 260 828.172	472 535.887
原点	3 246 242.961	475 718.786	3 246 217.010	500 000.000

然后,按式(2.5)将中央子午线为 104°45′的坐标改算成城市独立坐标系投影高程面的坐标。

$$\left. \begin{aligned} X_p &= X_n + \frac{h_m}{R_n}(X_n - X_0) \\ Y_p &= Y_n + \frac{h_m}{R_n}(Y_n - Y_0) \\ R_n &= R_m - R_m \frac{e'^2}{2} \cos^2 B \cos 2A \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

式中 X_p 、 Y_p ——城市坐标系的坐标;
 X_0 、 Y_0 ——城市坐标系的原点坐标;
 X_n 、 Y_n ——国家控制点的坐标;
 B ——该边中点的纬度;
 R_m ——纬度为 B 时的平均曲率半径;