

SHIYONG GONGLU SHIGONG FANGYANG YINAN JIEXI

实用公路施工放样 疑难解析



潘 威 华学礼
夏连学

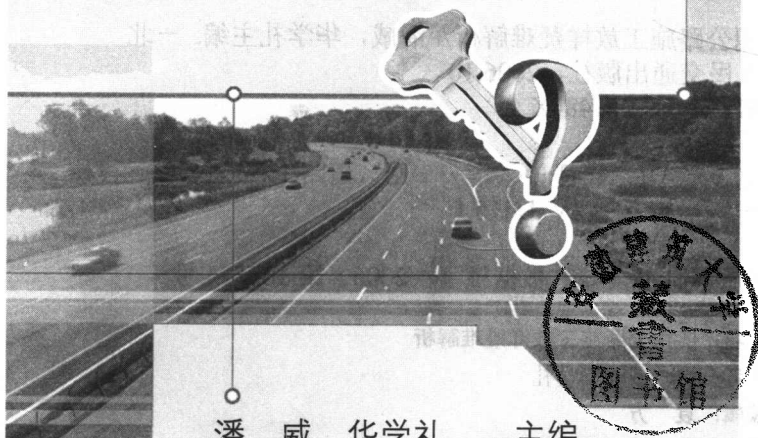
主编
主审



人民交通出版社

China Communications Press

实用公路施工放样 疑难解析



潘 威 华学礼 主编
夏连学 主审



人民交通出版社

China Communications Press

内 容 提 要

本书共分八单元,主要介绍了公路施工测量专业术语、公路施工常用测量仪器的检校、全站仪在公路施工中的应用、GPS在公路施工中的应用、公路施工放样中常见问题的处理、桥梁施工放样中常见问题的处理、隧道施工测量中常见问题的处理、在公路施工放样测量中的实用程序。

本书可作为公路工程一线施工测量技术人员职业资格考证和培训教材,也可作为相关专业技术人员和高职高专院校相关专业师生学习的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

实用公路施工放样疑难解析/潘威,华学礼主编. —北京:人民交通出版社, 2006.10
ISBN 7-114-06148-X

I .实… II .①潘…②华… III .道路工程—施工
测量—基本知识 IV .U415.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 105594 号

书 名: 实用公路施工放样疑难解析

著 作 者: 潘 威 华学礼

责任编辑: 袁 方

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 85285656, 85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京宝莲鸿图科技有限公司

开 本: 787×980 1/16

印 张: 24

字 数: 394 千

版 次: 2006 年 10 月 第 1 版

印 次: 2006 年 10 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-114-06148-X

印 数: 0001—3000 册

定 价: 38.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前言

QIANYAN

随着我国公路建设的深入发展,总结和探讨公路工程施工测量中的技术难题,对于加快公路建设的步伐,提高公路施工质量,节约建设资金具有重要的意义。为此,我们总结了在公路施工测量中所遇到的各种技术难题的解决方案,分类别汇集成册,供公路工程一线施工测量技术人员职业资格考证和相关专业大、中专毕业生就业使用,也可作为相关专业大、中专生的辅导教材。

读者在阅读本书时,可以根据在施工测量中所遇到问题的类别分章节进行查询。在编写本书时,我们力求问题解决简单化,突出实践操作,能帮助读者解决具体的实际问题,使具备一定专业知识的技术人员一看就懂,按本书所介绍的方法能切实有效地提高工作效率。

本书共分八单元,单元一公路施工测量专业术语,主要介绍在施工测量数据计算中常见术语的含义;单元二公路施工常用测量仪器的检校,主要介绍常规测量仪器在使用前,为保证测量精度要进行的常规检测;单元三全站仪在公路施工中的应用,主要介绍在全站仪的使用说明书上没有说明而在施工测量中又经常用到的使用技巧;单元四 GPS 在公路施工中的应用,主要介绍 GPS 的组成和常规使用方法;单元五公路施工放样中常见问题的处理,主要介绍路基路面施工中,平纵横放样的关键技术;单元六桥梁施工放样中常见问题的处理,主要介绍复杂桥型的施工放样方法;单元七隧道施工测量中常见问题的处理;单元八公路施工测量中的实用程序。

参加本书编写工作的有河南交通职业技术学院潘威,河南通源高速公路养护工程有限责任公司任晓东、郭海云,登封市地方公路管理所弋世卿,新密市交通局刘铁成,新安县县乡公路管理所邓利强,确山县公路管理局代卫东,商丘市豫东公路勘察设计有限公司华学礼。全书由潘威和华学礼担任主编,由河南职业技术学院教授夏连学担任主审。在本书编写过程

中，编者参考了许多教材、专著和手册，收集整理并吸收了有关科技学术论文中的主要观点，谨此表示感谢。

由于作者学识水平和实践经验有限，书中难免存在一些缺点和错误，恳请读者批评指正。

编 者

2006 年 6 月



目录

MULU

单元一 公路施工测量专业术语	1
1.大地基准	1
2.大地水准面	1
3.似大地水准面	3
4.大地球体和椭球体	3
5.参考椭球	4
6.大地坐标系	5
7.大地坐标原点	6
8.独立坐标系或地方坐标系	6
9.测量坐标系	7
10.54 国家坐标系	7
11.80 国家坐标系	8
12.WGS-84 坐标系	8
13.工程平面直角坐标系	9
14.高斯平面直角坐标系	9
15.方向角(象限角)和方位角	12
16.准确度	13
17.精度	14
18.正确度	14
19.精密度	14
20.数据精度	14
21.系统误差和偶然误差	14
22.大地高系统、正高系统、正常高系统	15
23.高程基准	17

24. 高程系	18
25. 1956 年黄海高程系	18
26. 1985 国家高程基准	19
27. 地面点的高程	19
28. 重力基准	20
28. 地球重力场	20
30. 平面直角坐标系的平移和旋转	20
31. 地图投影	21
32. 高斯-克吕格投影	27
33. 地籍测绘	29
34. 数字高程模型	29
35. 地形图的分幅和编号	29
36. 地物	32
37. 地貌	33
38. 地形	33
39. 定位精度	33
40. 坐标格网	33
41. 国家基本比例尺地图的系列和基本精度	33
42. 全球定位系统(GPS)	33
43. GPS 定位原理	34
44. GPS 系统的组成	35
45. GPS 地面监控系统	36
46. GPS 信号接收机	36
47. GPS 接收机的分类	37
48. GPS 定位采用的坐标系统	38
49. GPS 定位的时间系统	40
50. GPS 卫星星历	41
51. GPS 高程拟合	43
52. 测量平差	45
53. 工程控制测量	45
54. 小区域控制测量与控制网	47
55. RTK 技术	48
56. RTK 系统的配置	48



57. RTK 技术在工程测量中的应用	50
单元二 公路施工常用测量仪器的检校	52
1. 微倾式水准仪的检验与校正	52
2. 经纬仪的检验与校正	56
3. DS3 水准仪的 i 角误差的检验与调校	60
4. 精密水准仪的检验和校正	62
5. 全站仪的测量误差及检验	66
单元三 全站仪在公路施工中的应用	81
1. 全站仪的结构	81
2. 全站仪的测量功能及工作原理	82
3. 拓普康全站仪实施测量(以拓普康 GTS-330 为例)	84
4. 工程测量中利用全站仪实施自由设站	91
5. 全站仪仪器高的设置	93
6. EDM 三角高程测量,利用全站仪实施三角高程测量	94
7. 使用全站仪进行坐标放样(以尼康 DTM-520 为例)	101
8. 用全站仪测设公路中桩和边桩程序	104
9. 在公路施工测量坐标放样中设置全站仪的比例因子, 进行方向和距离的改化	107
10. AutoCAD 和全站仪相结合在工程测量中的应用	109
11. 在公路施工放样测量中利用拓普康数据通讯程序 T-COM V1.30 实现计算机与全站仪的数据通讯	112
单元四 GPS 在公路施工中的应用	117
1. GPS 信号接收机结构	117
2. GPS 接收机的类型	118
3. GPS 数据采集	120
4. GPS 数据处理	121
5. WGS-84 大地坐标系及其坐标变换	131
6. 动态定位数据的处理	137
7. GPS 测量的静态定位模式、快速静态定位模式、准动 态定位模式、动态定位模式	137
8. 利用 GPS 实施 RTK 测量作业	139
9. 利用 RTK 技术实施公路定测	141

10. 高程异常、现行三个坐标系的空间关系	147
11. GPS 在公路桥梁施工控制测量中的应用	149
单元五 公路施工放样中常见问题的处理	154
1. 精化区域大地水准面	154
2. 公路中桩坐标中的高斯投影	156
3. 大地基准面与椭球体的关系	158
4. 低等级公路施工中找回丢失的道路交点桩的方法	159
5. 高等级公路中线恢复测量	159
6. 高等级公路施工中测设长大组合曲线的方法	165
7. 高速公路施工测量恢复定线	169
8. 采用“拾取法”进行道路工程放样	173
9. 在公路施工中西安 80 坐标系与北京 54 坐标系转换	176
10. 公路工程放样中的坐标系转换	177
11. 不规则组合曲线元上任意点坐标的计算	178
12. 高等级公路竖曲线的精确计算	181
13. 公路施工中控制导线坐标的联测和计算	184
14. 公路边桩放样	187
15. 路基路面抄平	197
单元六 桥梁施工放样中常见问题的处理	202
1. 桥梁施工放样前施工控制网布设	202
2. 一般桥梁施工放样测量的主要内容	212
3. 桥梁施工中钻孔灌注桩的桩基、承台和台帽的放样	216
4. 对直线段上的大桥施工放样通过坐标转换, 实现不需计算直接读取墩台上任意点的坐标	220
5. 互通式立交施工测量控制测量	221
6. 互通式立交桥匝道的平面放样	224
7. 桥梁施工锥坡放样	244
8. 带缓和曲线的特大桥施工坐标的计算和放样	246
9. 预应力混凝土简支梁及现浇混凝土箱梁的施工放样	250
10. 大型桥梁双壁钢围堰施工测量	258
11. 大跨径预应力混凝土连续梁桥悬浇法施工测量放样	268
12. 特大型桥梁主梁施工测量	276

13. 大型斜拉桥(悬索桥)的施工测量	282
单元七 隧道施工测量中常见问题的处理	311
1. 隧道施工测量的工作内容及注意事项	311
2. 隧道地面控制测量	312
3. 隧道洞外、洞内联系测量	316
4. 隧道洞口掘进方向的标定	323
5. 隧道洞内控制测量	323
6. 隧道洞内中线测量	326
7. 隧道内导坑延伸测量	327
8. 隧道结构物的施工放样	329
9. 免棱镜全站仪在隧道断面测量中的应用	329
10. 盾构施工测量	332
11. 隧道竣工测量	333
单元八 在公路施工放样测量中的实用程序	334
1. 关于 CASIO 系列可编程计算器在公路施工测量中的应用	334
2. CASIO FX-4800P 计算器在导线测量中的应用	344
3. 利用 CASIO FX-4800P 计算器进行曲线任意里程中边桩坐标正反算	346
4. 使用 PC E-1500 进行任意高程网平差计算	349
5. 使用 PC E-1500 进行单一附和导线平差计算	351
6. 使用 PC E-1500 进行附和导线平差	355
7. 使用 PC E-1500 进行任意三角网平差计算	360
8. 使用 PC E-1500 进行匝道坐标计算	367
9. 使用 CASIO FX-4800P 进行超高及高程计算	370
参考文献	372

单元一 公路施工测量专业术语

1 大地基准

大地基准是建立国家大地坐标系统和推算国家大地控制网中各点大地坐标的基本依据,它包括一组大地测量参数和一组起算数据。大地测量参数主要包括作为建立大地坐标系依据的地球椭球的四个常数,即地球椭球赤道半径 R ,地心引力常数 GM ,动力形状因子(带球谐系数) J_2 (由此导出椭球扁率 f)和地球自转角速度 ω ,以及用以确定大地坐标系统和大地控制网长度基准的真空光速 c 。一组起算数据是指国家大地控制网起算点(称为大地原点)的大地经度、大地纬度、大地高程和至相邻点方向的大地方位角。

大地基准面是利用特定椭球体对特定地区地球表面的逼近,因此每个国家或地区均有各自的基准面。通常称谓的北京 54 坐标系、西安 80 坐标系实际上指的是我国的两个大地基准面。我国从 1953 年起采用前苏联克拉索夫斯基(Krassovsky)椭球体建立了我国的北京 54 坐标系。1978 年采用国际大地测量协会推荐的 1975 地球椭球体建立了我国新的大地坐标系——西安 80 坐标系。目前大地测量基本上仍以北京 54 坐标系作为参照,北京 54 与西安 80 坐标之间的转换可查阅国家测绘局公布的对照表。WGS1984 基准面采用 WGS-84 椭球体,它是一地心坐标系,即以地心作为椭球体中心,目前 GPS 测量数据多以 WGS1984 为基准。

2 大地水准面

大地水准面是由静止海水面并向大陆延伸所形成的不规则的封闭曲面,如图 1-1 所示。大地水准面与平均海水面相重合,不受潮汐、风浪及大气压变化影响,并延伸到大陆下方与重力线相垂直。它是重力等位面,即物



体沿该面运动时,重力不做功(如水在这个面上是不会流动的)。理论上,它是一个延伸到全球的静止海水面,是一个地球重力等位面,也是一个没有褶皱、无棱角的连续封闭面。由于地球质量特别是外层质量分布不均匀,使得大地水准面形状非常复杂。大地水准面是描述地球形状的一个重要物理参考面,也是海拔高程系统的起算面。大地水准面的确定是通过确定它与参考椭球面的间距——大地水准面差距(对于似大地水准面而言,则称为高程异常)来实现的。

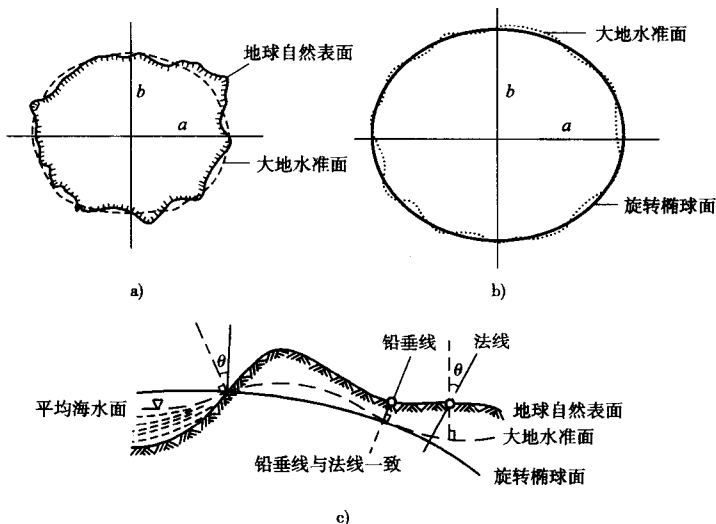


图 1-1 地球自然表面、大地水准面与旋转椭球面示意图

在目前还不能唯一地确定大地水准面的时候,各个国家和地区往往选择一个平均海水面代替它。我国现在用的“1985 国家高程基准”中,采用的是青岛验潮站的 18 年长期观测结果计算出来的平均黄海海水面,作为我国统一的高程起算基准面,也就是海拔零起始面。因此,我们平时谈到的珠穆朗玛峰的高度为 8844.43m,实际上就是珠穆朗玛峰在重力线方向上相对于青岛黄海海平面的高度,即海拔高度。

由此可知,大地水准面是一个假想曲面,其形状主要决定于地球内部的结构和外部形态。大地水准面相对于参考椭球面的偏离范围通常为 $-100 \sim +100\text{m}$ 。大地水准面和海拔高程等参数和概念在客观世界中无处不在,在国民经济建设中,特别是在公路工程建设中起着重要的作用。

大地水准面是大地测量基准之一,确定大地水准面是国家基础测绘中



的一项重要工程。它将几何大地测量与物理大地测量科学地结合起来,使人们在确定空间几何位置的同时,还能获得海拔高度和地球引力场关系等重要信息。大地水准面的形状反映了地球内部物质结构、密度和分布等信息,对海洋学、地震学、地球物理学、地质勘探、石油勘探等相关地球科学领域的研究和应用具有重要作用。

似大地水准面

似大地水准面是按地面各点正常高沿垂线向下截取相应的点,将许多这样的点连成一连续曲面,即为似大地水准面,如图 1-2 所示。似大地水准面无物理意义,与大地水准面相差甚微(在海平面上相差为 0,在平原地区相差几厘米,青藏高原相差最大达 3m),在平均海平面上, $dh = 0$, $H_{\text{正常}} = H_{\text{正高}} = 0$ 。此时似大地水准面与大地水准面重合,说明大地水准面的高程原点对似大地水准面也是适用的。

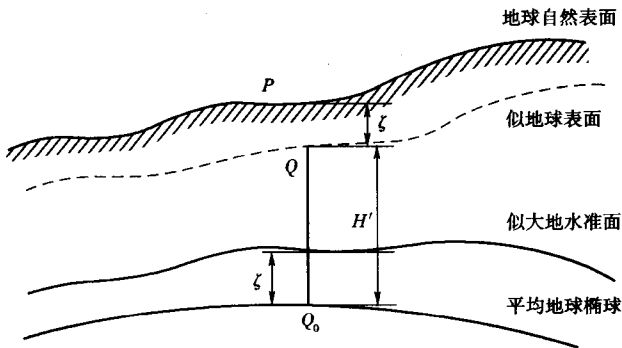


图 1-2 似大地水准面示意图

似大地水准面不是等位面,没有明确的物理意义。它是由各地面点按公式计算的正常高来定义的,这是正常高系统的缺陷,但其优点是可以精确计算,不必引入人为的假定。

大地球体和椭球体

大地水准面所包围的形体,叫大地球体。由于地球体内部质量分布的不均匀,引起重力方向的变化,导致处处和重力方向成正交的大地水准面成为一个不规则的封闭曲面。尽管大地水准面同地球表面形状十分接近,又具有明显的物理意义,但是大地水准面还不是一个简单的数学曲面,无法在



这样的面上直接进行测量和数据处理。大地水准面形状虽然十分复杂,从力学角度看,如果地球是一个旋转的均质流体,那么其平衡形状应该是一个旋转椭球体;从整体来看,起伏是微小的。它是一个很接近于绕自转轴(短轴)旋转的椭球体。于是人们进一步设想用一个合适的旋转椭球面来逼近大地水准面。要确定这一椭球,只需知道其形状参数(长半轴,扁率)和物理参数(地心引力常数 GM 和旋转角速度)即可。所以在测量和制图中就用旋转椭球来代替大地球体,这个旋转球体通常称地球椭球体,简称椭球体。

地球椭球体表面是一个规则的数学表面。椭球体的大小,通常用两个半径(长半径 a 和短半径 b),或由一个半径和扁率来决定。扁率 f 表示椭球的扁平程度。扁率的计算公式为: $f = (a - b) / a$ 。这些地球椭球体的基本元素 a 、 b 、 f 等,由于推求它的年代、使用的方法以及测定的地区不同,其结果并不一致,故地球椭球体的参数值有很多种。中国在 1952 年以前采用海福特(Hayford)椭球体,从 1953 年至 1980 年采用克拉索夫斯基椭球体。随着人造地球卫星的发射,有了更精密的测算地球形体的条件。1975 年第 16 届国际大地测量及地球物理联合会上通过国际大地测量协会第一号决议中公布的地球椭球体,称为 GRS(1975),中国自 1980 年开始采用 GRS(1975)新参考椭球体系。由于地球椭球长半径与短半径的差值很小,所以当制作小比例尺地图时,往往把它当作球体看待,这个球体的半径为 6371km。

参考椭球

大地水准面包围的地球形体比较接近真实的地球形状,但仍是一个有 100m 起伏幅度的复杂曲面,不能用简单的数学方程表示,更难以在此面上进行简单而又精密的坐标和几何计算。为此,测绘科学中常以一个接近地球整体形状的旋转椭球代替真实的地球形体,这个旋转椭球称为参考椭球。在现代大地测量中,规定参考椭球是等位椭球或水准椭球,即参考椭球与正常椭球一致。一个等位旋转椭球由四个常数定义,这四个常数分别是旋转椭球的长半轴 a ,地心引力常数 GM ,动力形状因子 J_2 ,旋转速度 ω 。考虑到便于利用 GPS 与国际兼容,我国建议采用参考椭球:长半轴 $a = 6378137\text{m}$;扁率 $f = 1:298.257222101$;地心引力常数 $GM = 3.986004418 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$;地球自转的角速度 $\omega = 7292115 \times 10^{-11} \text{ rad/s}$ 。根据这四个常数,可以得出一系列导出常数。根据地球的扁率 f ,可以求出椭球短半径 b ,从而可用数学方程表示一个已知长半径 a 和短半径 b 的椭球。



一个国家或地区为处理测量成果而采用的一种与本地区地球大小、形状最接近并具有一定参数的地球椭球,即不同的国家或地区可以采用不同椭球参数的参考椭球。

大地坐标系

地球除了绕太阳公转外,还绕着自己的轴线旋转,地球自转轴线与地球椭球体的短轴相重合,并与地面相交于两点,这两点就是地球的两极,北极和南极。垂直于地轴,并通过地心的平面叫赤道平面,赤道平面与地球表面相交的大圆圈(交线)叫赤道。平行于赤道的各个圆圈叫纬圈(纬线),显然赤道是最大的一个纬圈。通过地轴垂直于赤道面的平面叫做经面或子午圈,所有的子午圈长度彼此都相等,如图 1-3 所示。

以参考椭球面为基准面,法线为基准线,用大地经度 L 和大地纬度 B 表示地面点在参考椭球面上位置的参考系称为大地坐标系,如图 1-4 所示。

(1) 大地纬度

设椭球面上有一点 P (见图 1-4),通过 P 点作椭球面的垂线,称之为过 P 点的法线。法线与赤道面的交角,叫做 P 点的地理纬度(简称纬度),通常以字母 B 表示。纬度从赤道起算,在赤道上纬度为 0° ,纬线离赤道愈远,纬度愈大,至极点纬度为 90° 。赤道以北叫北纬,以南叫南纬。

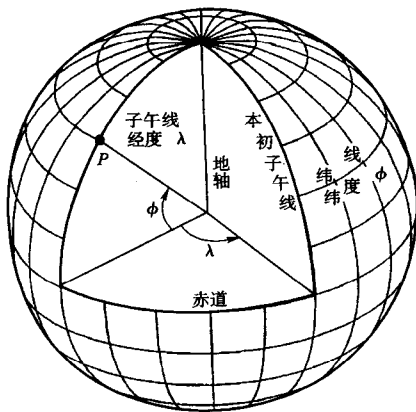


图 1-3 地球的经线和纬线

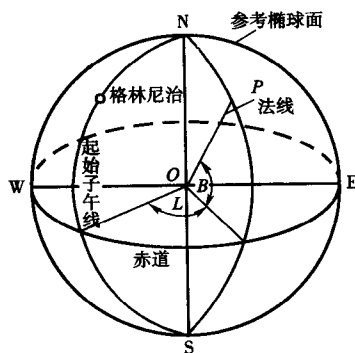


图 1-4 大地坐标系

(2) 大地经度

过 P 点的子午面与通过英国格林尼治天文台的子午面所夹的二面角,叫做 P 点的地理经度(简称经度),通常用字母 L 表示。国际规定通过英国



格林尼治天文台的子午线为本初子午线(首子午线或叫起始子午面),作为计算经度的起点,该线的经度为 0° , 向东 $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 叫东经, 向西 $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 叫西经。

地面上任一点的位置,通常用经度和纬度来决定。经线和纬线是地球椭球表面上两组正交(相交为 90°)的曲线,这两组正交的曲线构成的坐标,称为大地坐标系。地表面某两点经度值之差称为经差,某两点纬度值之差称为纬差。例如,北京在地球上的位置可由北纬 $39^{\circ}56'$ 和东经 $116^{\circ}24'$ 来确定。

大地经纬度是根据大地原点的起算数据,再按大地测量所得的数据推算而得的。我国现在采用的大地坐标系“1980 国家大地坐标系”是以陕西泾县永乐镇大地原点为起算点。

大地坐标原点

大地坐标原点也称为大地基准点。大地基准点是建立国家大地坐标系和推算大地坐标的原始点,即国家水平控制网中推算大地坐标的起标点。坐标为东经 $108^{\circ}55'$ 、北纬 $34^{\circ}32'$, 海拔高度 417.20m 。建国初期,我国使用的大地测量坐标系统是从前苏联引测过来的,其坐标原点是前苏联玻尔可夫天文台,这种状况与我国的建设和发展极不相称。为此,国家有关方面决定建立我国独立的大地坐标系统。从 1975 年开始组织人力,搜集分析了大量资料,并根据“原点”的要求,对郑州、武汉、西安、兰州等地的地形、地质、大地构造、天文、重力和大地测量等因素实地考察、综合分析,最后将我国的大地原点确定在泾阳县永乐镇石际寺村境内,该点的大地地理经纬度与天文经纬度一致。

独立坐标系或地方坐标系

根据实际工程需要,在某一局部区域任意选定原点和坐标轴的直角坐标系称为独立坐标系或地方坐标系。在我国许多城市测量与工程测量中,若直接采用国家坐标系,则可能会由于远离中央子午线,或由于测区平均高程较大,而导致长度投影变形较大,难以满足工程上或实用上的精度要求。另一方面,对于一些特殊的局部区域实施测量,如大桥施工测量、水利水电坝测量、滑坡变形监测等,采用国家坐标系在实用中也会很不方便。因此,基于限制变形,以及方便实用、科学的目的,在许多城市和工程测量中,常常会建立适合本地区的地方独立坐标系。



建立地方独立坐标系,实际上就是通过一些元素的确定来决定地方参考椭球与投影面。地方参考椭球一般选择与当地平均高程相对应的参考椭球,该椭球的中心、轴向和扁率与国家参考椭球相同,其椭球半径 a_1 增大为: $a_1 = a + \Delta a_1$, $\Delta a_1 = H_m + \zeta_0$ 。式中: H_m 为当地平均海拔高程, ζ_0 为该地区的平均高程异常, a 为国家参考椭球的长半轴。而在地方投影面的确定中,选取过测区中心的经线或某个起算点的经线作为独立中央子午线,以某个特定方便使用的点和方位为地方独立坐标系的起算原点和方位,并选取当地平均高程面 H_m 为投影面。

测量坐标系

所谓测量坐标系,是在工程测量过程中,由于需要不同而建立的不同坐标系。它包含两方面的内容:一是在把大地水准面上的测量成果换算到椭球体面上的计算工作中,所采用的椭球的大小不同;二是椭球体与大地水准面的相关位置不同,对同一点的地理坐标所计算的结果将有不同的值。因此,选定了一个一定大小的椭球体,并确定了它与大地水准面的相关位置,就确定了一个测量坐标系。

54 国家坐标系

54 国家坐标系是采用克拉索夫斯基椭球参数,大地原点名义上在北京,所以又称北京坐标系。1954 年我国决定采用的国家大地坐标系,实质上是原苏联普尔科沃为原点的 1942 年坐标系的延伸。

建国初期,鉴于当时的实际情况,为了迅速开展我国的测绘事业,将我国一等锁与原苏联远东一等锁相连接,然后以连接处呼玛、吉拉宁、东宁基线网扩大边端点的原苏联 1942 年普尔科沃坐标系的坐标为起算数据,平差我国东北及东部区一等锁,这样传算过来的坐标系就定名为 1954 年北京坐标系。因此,54 国家坐标系可归结为:

- ①属参心大地坐标系;
- ②采用克拉索夫斯基椭球的两个几何参数,即长半轴 $a = 6378245\text{m}$, 扁率 $f = 1:298.3$;
- ③大地原点在原苏联的普尔科沃;
- ④采用多点定位法进行椭球定位;
- ⑤高程基准为 1956 年青岛验潮站求出的黄海平均海水面;
- ⑥高程异常以原苏联 1955 年大地水准面重新平差结果为起算数据,按

