

常用大地坐标系的分析比较

许家琨

(92899 部队, 浙江 宁波 315200)

摘要: 综述了测绘工作中常用的几类大地坐标系的建立方法, 全面介绍了我国参心坐标系、地心坐标系和世界地心坐标系的发展及其现状。

关键词: 大地测量; 大地坐标系; 参心坐标系; 地心坐标系

中图分类号: P226⁺.3 文献标识码: B 文章编号: 1671-3044(2005)06-0071-04

1 引言

目前, 国内测绘工作主要涉及三类常用的大地坐标系, 即参心坐标系、地心坐标系和地方独立坐标系。参心坐标系是我国基本测图和常规大地测量的基础。天文大地网整体平差后, 我国形成了三种参心坐标系, 即: 1954 北京坐标系(局部平差结果)、1980 西安坐标系和新 1954 北京坐标系(整体平差换算值)。这三种参心坐标系都在应用, 预计今后还将并存一段时间。

地心坐标系是为满足远程武器和航空航天技术发展需要而建立的一种大地坐标系。从 20 世纪 70 年代起, 我国先后建立和引进了四种地心坐标系, 分别是: 1978 地心坐标系(DX-1)、1988 地心坐标系(DX-2)、1984 世界大地坐标系(WGS84)和国际地球参考系(IIRS)。前两种地心坐标系只在少数部门使用, 后两种地心坐标系已广泛用于 GPS 测量。

2 参心坐标系

2.1 参心坐标系的建立

参心坐标系的最大特点是它与参考椭球的中心有密切的关系。参心坐标系又可分为参心大地坐标系和参心空间大地直角坐标系。“参心”意指参考椭球的中心。由于参考椭球的中心一般和地球质心不一致, 因而参心坐标系又称非地心坐标系、局部坐标系或相对坐标系。

建立一个参心大地坐标系, 包括以下几个方面的内容:

- (1) 确定椭球的形状和大小;
- (2) 确定椭球的中心位置;

(3) 确定以椭球中心为原点的空间直角坐标系坐标轴的指向;

(4) 确定大地原点。

建立参心大地坐标系时, 要求椭球的短轴与地球某一历元的地轴平行, 起始大地子午面与起始天文子午面平行。

2.2 我国的参心坐标系

2.2.1 1954 北京坐标系

1954 北京坐标系是由前苏联 1942 年普尔科沃坐标系传递而来的。当时总参测绘局在有关方面的建议与支持下, 先将我国的一等锁与前苏联远东一等锁相联, 然后以联接处呼玛、吉拉林、东宁基线网扩大边端的苏联 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地区一等锁, 这样将传来的坐标系定名为 1954 北京坐标系。

1954 北京坐标系采用克拉索夫斯基椭球参数: 长半轴: $a=6\,378\,245\text{m}$ 、扁率: $f=1\,298.3$ 可进一步求出: 短半轴: $b=6\,356\,863.018\,77\text{m}$ 。

严格来说, 有 1954 北京坐标系和新 1954 北京坐标系两种。这两种坐标系有两个明显的区别: 其一是坐标系统坐标轴的定向明确; 其二是整体平差转换值结果。

对高斯平面坐标来说, 两者坐标差值在全国约 80% 地区在 5m 以内, 超过 5m 的主要集中在东北地区, 其中大于 10m 又仅在少数边沿地区, 最大达 12.9m 。这个差值一般并没有超过以往资用坐标与平差坐标之差的范围。因此, 反映在 1:5 万及更小比例尺的地形图上, 绝大部分不超过 0.1mm 。

2.2.2 1980 国家大地坐标系

1980 国家大地坐标系(GDZ80)也叫 1980 西安

收稿日期: 2005-05-10

作者简介: 许家琨(1956-)男, 山东莒县人, 高级工程师, 主要从事海道测量、海洋工程和 GPS 大地控制测量应用与研究。

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

大地坐标系。由于 1954 北京坐标系只是普尔科沃坐标系的延伸,存在着许多缺点和问题,因而在 1980 年 4 月在西安召开的《全国天文大地网平差会议》上,参加会议的专家、学者就建立我国新的大地坐标系统作了充分的讨论和研究,认为 1954 北京坐标系存在着椭球参数不够精确,参考椭球与我国大地水准面拟合不好等缺点,因此必须建立我国新的大地坐标系。会议上确立了建立我国新大地坐标系的五个原则:

(1) 全国天文大地网整体平差要在新坐标系的参考椭球面上进行,命名该坐标系为 1980 国家大地坐标系。

(2) 1980 国家大地坐标系的大地原点设在我国中部,具体地点为陕西省泾阳县永乐镇。

(3) 采用国际大地测量和地球物理联合会 1975 年推荐的地球椭球参数,并依次参数推算地球扁率,赤道正常重力值和正常重力公式的各项系数。

(4) 1980 国家大地坐标系的椭球短轴平行于由地球质心指向地极 JYD1968.0 方向,大地起始子午线应平行于格林尼治平均天文台的子午面。

(5) 椭球定位参数以我国范围内高程异常平方和等于最小为条件求得。

1980 国家大地坐标系的主要特点:属参心大地坐标系;采用多点定位;定向明确;大地原点在我国中部地区,推算坐标的精度比较均匀;大地点高程以 1956 年青岛验潮站求得的黄海平均海面为基准。

3 地心坐标系

3.1 地心坐标系建立

地心坐标系是以地球质心为坐标原点的坐标系。地心坐标系又分为地心空间大地直角坐标系和地心大地坐标系。地心空间大地直角坐标系又可分为地心空间大地平直角坐标系和地心空间瞬时直角坐标系。其最明显的特征是坐标系的原点位于地球的质心。

地心大地坐标系与某一地球椭球元素有关,一般要求是一个和全球大地水准面最为密合的椭球。全球密合椭球的中心一般可认为与地球的质心重合。所以地心大地坐标系的一个明显特征是该坐标系所对应的与地球最密合的椭球的中心位于地球质心,其短轴一般指向国际协议原点(CD)。

建立地心坐标系是近四十年来引起人们广泛注意的一个新课题,它是随着卫星空间大地测量的发展而发展的。对于测绘地形图来说,地心坐标系并不十分必要,因为参考椭球和测区范围内的大地水准面最为密合,按参心坐标系成图使用比较方便,但

从全球范围来讲,却有十分重要的意义。

建立地心坐标系的方法很多。一般分为直接法和间接法两大类。所谓直接法,就是通过一定的观测资料,直接求得点的地心坐标的方法,如天文重力法和卫星大地测量动力法等。所谓间接法,就是通过一定的资料,求得地心坐标系和参心坐标系之间所设某种数学模型的转换参数,按转换参数求参心坐标,进而间接求得各点地心坐标的方法,如应用全球天文大地水准面差距法等。

建立地心大地坐标系的方法:

(1) 应用全球大地水准面建立地心坐标系;

(2) 应用天文大地水准面与重力大地水准面高差建立地心坐标系;

(3) 应用天文大地和天文重力资料建立地心坐标系;

(4) 应用卫星测量资料建立地心坐标系。

建立地心坐标系最理想的方法是采用空间大地测量,利用卫星进行洲际和国际间的大地联测,并综合地面天文、大地和重力资料,建立高精度的地心坐标系。

3.2 世界地心坐标系

3.2.1 1972 年世界大地坐标系(WGS72)

WGS72 坐标系由 WGS72 EGM(1972 年世界大地坐标系地球重力场模型)和 WGS72 跟踪站坐标组成。自 1978 年 2 月美国发射第一颗 GPS 卫星以来,分别由美国海军水面武器中心、美国国防部制图局测定的广播星历基准和精密星历基准均采用 WGS72 坐标系。1987 年元月, GPS 卫星发送的广播星历基准和精密星历基准开始采用 WGS84 坐标系。即 1978 年 2 月~1987 年元月用 GPS 接收机接收的是 WGS72 坐标系的坐标,1987 年元月以后用 GPS 接收的是 WGS84 坐标系的坐标。

3.2.2 1984 世界大地坐标系(WGS84)

WGS84 坐标系是一个协议地球坐标系,它的原点是地球的质心,Z 轴指向国际时间局 1984 年定义的协议地球极点方向,X 轴指向国际时间局 1984 年定义的零度子午面和协议地球极赤道的交点,Y 轴和 Z 轴、X 轴构成右手坐标系。WGS84 坐标系是地心地面坐标系,它是修正美国海军导航星系统参考系 NSWC9Z-2 的原点和尺度变化,并旋转其零度子午面与国际时间局定义的零度子午面相一致而得到的。

3.2.3 国际地球参考系(IIRS)

国际地球参考系(IIRS)是一种协议地球参考系统,它的定义为(IERS Conventions, 1996):地心为包括海洋和大气的整个地球的质量中心;长度为 m (SI)是在广义相对论框架下的定义;坐标轴的定义

向与国际时间局 BH1984.0历元的定义一致;是在国际地球参考框架(IIRF)由国际地球自转服务局(ERS)根据一定要求,建立地面观测台站进行空间大地测量,并根据协议地球参考系的定义,采用一组国际推荐的模型和常数系统,对观测数据进行处理,解算出各观测台站在某一历元的台站坐标及速度场。由此建立的这个协议的地球参考框架,就是协议地球参考系的具体实现。

我国GPS大地控制网采用IIRF坐标参考系。国家A级(30个点)、B级(800个点)GPS大地控制网的全部数据置于IIRF坐标参考系中进行处理。动态定义的IIRF坐标框架,顾及了地壳运动和极移等地球动力学诸因素,它是高精度大地控制网所必须依附的坐标体系,同时,采用这一体系也便于继续和全球其他各种大地、天文以及地球物理数据拼接。

我国海洋测量大地控制网由285个国家B级GPS点组成,主要集中在沿岸200km的带宽内,包括多普勒点、水准点、形变点、海岛点和验潮站点等,其中海岛点21个。

获得地心坐标系的方法主要有三类:天文重力法、空间大地测量法和坐标系统转换法。在我国,目前求得地心坐标系(如1978地心坐标系、1988地心坐标系)坐标主要手段仍是坐标系统转换法,即借助转换参数把我国的大地坐标系(如1954北京坐标系、1980国家大地坐标系(均指整体平差值))转换为地心坐标系。

3.3 我国的地心坐标系

3.3.1 1978地心坐标系(DX78地心坐标系)

1978年11月,中国科学院、七机部、国家测绘总局、国防科委、总参测绘局等单位在北京召开了地心坐标研究成果鉴定会议。会议决定取五种方案的权中数作为1954北京坐标系与地心坐标系的转换参数的最后结果,这组地心坐标转换参数(三个坐标分量)定名为《DX-1》,DX-1表示地心坐标一期工程获得的转换参数,所建立的地心坐标系为1978地心坐标系(DX78)。

1978年我国利用五种方法得到《DX-1》三个平移参数(ΔX ΔY ΔZ)DX-1,DX-1表示1954北京坐标中心在DX78中的三个坐标量。

3.3.2 1988地心坐标系(DX88地心坐标系)

从1979~1985年,国家多个部门在开展大地测量方面做了大量的工作,如1980年协作完成了全国37个点的多普勒网,1980~1982年布测了卫星动力测地(WDC)网,1985年完成了定位解算等,从而获得了全国相当一部分较高精度的地心坐标。与此同

时,完成了天文大地网整体平差,得到了约5万个点精密的大地坐标,采用天文重力水准法求得较高精度的全国地区的高程异常。在此基础上,深入地分析了国际上各种地心坐标系和参考系的区别和联系,研究了不同坐标系的各数学模型等。于1988年完成了求取《DX-2》的计算和审核工作,决定了1954北京坐标系、1980国家大地坐标系换算为1988地心坐标系的转换参数《DX-2》。

1988地心坐标系原点为地球质量中心(地心),Z轴指向BH1968系统的CD(国际协议原点),X轴指向BH1968系统的经度零点。长度单位为国际标准m。

《DX-2》转换参数是按3种方法、4个结果建立的。三种方法是:

- (1)用MX-1502多普勒接收机测定NNSS法(全国37点多普勒网);
- (2)卫星动力测地法(WDC 7个点网);
- (3)全球天文大地水准面差距法(均转换至1980年国家坐标系(GDZ80)大地水准面为准)。

《DX-2》由7个参数组成。以布尔莎七参数公式为基本数学模型。平移(3个)、旋转(3个)和尺度(1个)参数分别推算。

《DX-2》的两套转换参数是《DX-2》₅₄和《DX-2》₈₀,分别用以将BJZ54和GDZ80坐标转换至1988年地心坐标系(DX88)。

应该指出的是,DX88和现在的NNSS及GPS采用的WGS84坐标尚存在一定的差异。

4 地方独立坐标系

在城市测量和工程测量中,若直接在国家坐标系中建立控制网,有时会使地面长度的投影变形较大,难以满足实际或工程上的需要。为此,往往需要建立地方独立坐标系。在常规测量中,这种地方独立坐标系一般只是一种高斯平面坐标系,也可以说是一种不同于国家坐标系的参心坐标系。

4.1 地方独立坐标系的建立

建立地方独立坐标系,就是要确立坐标系的一些有关的元素,并根据这些元素和地面观测值求得各点在该坐标系中的坐标值。

4.1.1 坐标系的中央子午线

确定地方独立坐标系的中央子午线一般有三种情况:①尽量取国家坐标系三度带的中央子午线作为它的中央子午线;②当测区离三度带中央子午线较远时,应取过测区中心的经线或取过某个起算点的经线作为中央子午线;③若已有的地方独立坐标

系没有明确给定中央子午线,则应该根据实际情况进行分析,找出该地方独立坐标系的中央子午线。

4.1.2 起算点坐标

一般有以下几种情况:①以某些在国家坐标系中的坐标为起算点坐标,如果中央子午线不同,可以通过换带计算求得。如:浙江温州市独立坐标系等;②直接以某些点在国家坐标系中的坐标为任意带独立坐标系中的起算点坐标;如:浙江舟山市独立坐标系等;③将起算点坐标取为某个特定值。例如取为: $x_k = 0$ $y_k = 0$ 如:宁波市独立坐标系, $x_k = XX00000$ $y_k = X00000$

4.1.3 坐标方位角

(1)以两个点在国家坐标系中的坐标方位角为起始方位角;当采用任意带时,一般是先将这两个点的坐标通过换带计算求得它们的任意带的坐标值,然后反算得到起算方位角;

(2)测定两点的天文方位角作起算方位角;

(3)以两个点在国家坐标系中的坐标方位角作为任意带独立坐标系的起算方位角;

(4)对于某些特殊的工程控制网,要求根据实际需要设定起算方位角;例如:大桥控制网,一般设定桥轴线方向的坐标方位角为 0

前两种旋转角较小,后两种则有较大的旋转角。

4.1.4 投影面正常高

(1)当测区的平均高程较小时,通常仍取参考椭球面作为独立坐标系的投影面;

(2)当测区的平均高程较大时,应取测区平均高程面作为独立坐标系的投影面;

(3)在用常规方法建立控制网和独立坐标系时,常常将基线长度投影到两端点的平均高程面上,实际上,基线两端点的平均高程面就是独立坐标系的投影面;

(4)有时为了消除偏离中央子午线的长度变形,采用一个抵偿面作为投影面,若测区偏离中央子午线较大,抵偿面的高程可能为负值。

4.1.5 测区平均高程异常

当取正常高 H_{y_0} 的高程面作为投影面时,该投影面的大地高为: $H = H_{y_0} + \zeta$, 其中 ζ 是测区的平均高程异常。为此,在建立地方独立坐标系时,应给出测区的平均高程异常 ζ 。

4.1.6 参考椭球体

一般可认为地方独立坐标系所对应的参考椭球体与国家坐标系的参考椭球体(设为 E_0)相同,但当某一高程面或抵偿面为其投影面时,可以认为独立坐标系将 E_0 作某种改变,使改变后的参考椭球面位于椭球面上,改变后的参考椭球为地方椭球或局部椭球。

5 结束语

由于历史和技术等多方面的原因,在我国当前的测绘生产作业中,存在着 1954 北京坐标系、1980 国家大地坐标系、新 1954 北京坐标系(整体平差转换值)、地方局部坐标系、WGS 84 世界地心坐标系和 IIRF 国际参考框架坐标系等多种坐标系并存使用的局面,我们只有了解和掌握各种坐标系的定义及其建立方法,才能根据不同的生产要求,灵活地选择合适的坐标系,正确地进行不同坐标系之间的相互转换和计算。

参考文献:

- [1] 朱华统. 大地坐标系统的建立[M]. 北京: 测绘出版社, 1986
- [2] 刘大杰, 白征东, 施一民, 等. 大地坐标转换与 GPS 控制网平差计算及软件系统[M]. 上海: 同济大学出版社, 1997.
- [3] 施 闯. 大规模高精度 GPS 网平差与分析理论及其应用[M]. 北京: 测绘出版社, 2002
- [4] 彭光宇, 赵明才. 海洋测量定位与计算[M]. 北京: 测绘出版社, 1993
- [5] 杨启和. 地图投影变换原理与方法[M]. 北京: 解放军出版社, 1990
- [6] 高成发. GPS 测量[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.

Analysis and Comparison on General Geodetic Coordinate Systems

XU Jia-kun

(92899 Troops Ningbo Zhejiang 315200)

Abstract: This paper summarizes several kinds of generating methods for geodetic coordinate system in daily surveying work. It gives a whole view of the development and status of geocentric coordinate system, ellipse-centered coordinate system and world geodetic system in China.

Key words: geodetic surveying; geodetic coordinate system; ellipse-centered coordinate system; geocentric coordinate system