

dqi 10 3969/j.issn 1001-358X 2009 06 010

浅谈 2000 国家大地坐标系

龙文星, 胡 川

(四川建筑职业技术学院交通工程系, 四川 德阳 618000)

摘要: 2008 年 7 月 1 日正式启用 2000 国家大地坐标系 (文中简称 2000 坐标系) 标志着我国已由参心坐标系走入地心坐标时代。2000 坐标系是我国大地测量工作者几十年辛勤劳动的成果。文中通过研究相关的文献, 对 2000 坐标系的相关知识进行了学习总结。在分析国内外地心坐标系建设概况基础上全面研究分析 2000 坐标系。

关键词: 大地测量; 2000 坐标系; 坐标系

中图分类号: P22 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-358X(2009)06-0033-03

随着我国经济的稳步发展, 已有的坐标基准越来越不能满足建设的需要, 同时随着我国空间技术的高速发展, 原有参心坐标系体现不了卫星等航天器的实际飞行状况。因为航天器绕地心旋转, 不管是轨道监测还是计算都需要地心坐标系, 而目前采用的是参心坐标系。各方面都迫切需要中国建立新的地心坐标系。在这样的背景下, 国家组织相关科研单位对大地坐标系建设理论进行研究并进行实践, 取得了重大成果。2008 年 7 月 1 日正式启用 2000 国家大地坐标系 (China Geodetic Coordinate System, CGCS2000)。作者收集相关的资料对 2000 大地坐标系进行研究, 此文是对 CGCS2000 的研究学习成果总结。

1 国内外大地坐标系建设概况

1.1 国际主要大地坐标系

随着全球定位系统等空间大地测量技术的不断发展和完善, 世界各国都在更新和完善各自的大地坐标系和它相应的坐标框架^[1]。

新建的地心坐标系主要有: 北美坐标系、WGS84 坐标系、南美洲坐标系、欧洲坐标系以及亚洲一些国家新建坐标系等等^[2], 在这主要介绍邻近国家建立的坐标系。

俄罗斯在 1942 年建立了统一的大地坐标系 (K-42), 而后军方在 1988 年实施新的统一地心坐标系 (K-90); 1995 年民用方面改用 (K-95 新系统, 参考椭球为克拉索夫斯基椭球。

日本从 2000 年 4 月开始采用新的大地基准 JGD2000^[3], 取代了具有百年历史的东京大地基准。

JGD2000 采用国际地面参考系统 (IIRS) 的定义, 历元定为 1997. 0。大地测量基本常数采用众所周知的《大地参考系统 1980》(GRS80) 所给定的值。维持 JGD2000 的大地坐标框架是由 1 200 个 GPS 连续运行站 (GEONET 协同 64 000 个一等、二等、三等经典大地点综合构成^[1]。

蒙古也建立了新的国家坐标系——MON-REF97^[2], 取代原来的蒙古国家二维平面坐标系, 一种类似于 B54 坐标系统。此坐标框架利用 GPS 技术建立, 因此其坐标系统框架和 WGS84 一致。

韩国于 1998 年推出地心坐标系统 (KGD2000); 框架: IIRF97 历元: 2000. 0

马来西亚也采用了 2000 历元的国家三维地心大地坐标系统——NGRF2000^[3]。其相应的坐标框架 NGRF2000 的骨干是由分布于全国的数十个 GPS 永久性连续运行站 (MASS) 所构成, 与 IIRF97 一致, 历元为 2000. 0 解算 MASS 各站坐标值的同时解算它们相应的年均位移量。NGRF2000 的第二部分是马来西亚的 GPS 大地网 (PGGN), 共 238 个点, 将该网拼接到 MASS 以使马来西亚三维地心坐标框架点的分布和密度实用、合理, 以最终建成马来西亚国家新的三维地心大地坐标系统^[1]。

1.2 我国大地坐标系发展

新中国成立后我国采用的第一个坐标系是 B54 采用三角锁联测的方法将起始坐标从前苏联的大地基点传递过来, 经各局部外业逐步测量并分别平差后而得到的全国三角点的平差结果。其属于地固参心坐标系, 椭球参数采用的是克拉索夫斯基椭球体。其长半轴 $a=6378245$ m, 扁率 $f=1/298.3$ 。

由于 B54坐标系是采用的前苏联的测量结果,这样的参考椭球与我国实际情况不符值较大,所以 B54坐标系的精度比较的低。随着我国测绘技术的进步,以及建设的需要,上世纪 70年代建立了西安 80国家坐标系。西安 80坐标系是在 1954坐标系的基础上对天文网进行整体平差后建立的。椭球采用的是国际大地测量与地球物理联合会 1975年推荐的椭球参数。椭球面同似大地水准面在我国境内最为密和。在建立西安 80坐标系后建立了新 54北京坐标系。新 54北京坐标系是将西安 80坐标系平差成果整体转换为克拉索夫斯基椭球的坐标值,并将西安坐标系原点空间平移。新北京 54坐标系综合西安 80和北京 54建立起来,采用多点定位。在我国境内椭球与大地水准面不是最佳的密合,原点与西安 80重合但是起算数据不同。因为新 54是 80的整体转换结果所以新 54和北京 54之间在全国范围内没有统一的转换参数,只能进行局部的转换^[4]。

1.3 我国现有坐标系的主要问题^{[2], [5-7]}

在 2000坐标系统没有问世前,全国使用的大地坐标框架是用经典大地测量技术测定的全国天文大地网,所以点位精度比较低,并且还只能提供 2维坐标。造成其定位结果与现在卫星定位成果差距比较大,卫星定位精度更高并提供三维坐标。由于椭球不能与我国地球表面每个部分都严格的重合,造成不同地区的定位精度出现差异。北京 54还存在基准意义不明确的问题,并且不能够使椭球局部密合,西安 80可以。正是有如此多的坐标系,使得我国在坐标系的使用上不统一,出现混乱的局面,迫切需要新的地心坐标系统。

2 2000国家大地坐标系

2.1 2000中国大地坐标框架及其特点^{[2], [8]}

1988年, IUGG和 IAU创建了 IERS 到 2004年, IERS已发布了 IIRF 10个版本,开始是 IIRF88一直到 IIRF2000。IIRF94是框架定义的分水岭,之前框架原点由所选择的 SLR站的平均值来定义,之后的框架采用某些 SLR和 GPS解算的权平均值来定义。比例尺和定向同样采用不同参数处理形式。国际地球参考系统 2000 (IIRS2000)^[1]和国际地球参考框架 2000 (IIRF2000)的确定都是基于国际科学组织的决议和决定。在 IIRS2000和 IIRF2000中,所采用的长度、质量和时间单位按国际单位系统

标准 (SI 1998), 分别表示为米 (m)、千克 (kg)和秒 (s)。时间的天文单位是天 (d), 它包含 86400个 SI的秒。第 24次 IAU在 2000年举行的大会的有关决议, 澄清和扩展了由 IERS所采用的一些参考系的某些概念, 还引入了应用于参考系之间转换程序的一些重要修订, 也是 IIRS2000和 IIRF2000与 IERS以前的地球系统和框架的主要差别。

CGCS2000采用的是 IIRF97历元 2000.0。它共由三个层次组成, 第一层由连续运行的 IGS和永久跟踪站组成其基本框架, 由 28个点组成的跟踪站得到的数据经过处理可以是点的精度达到毫米级。第二层就是 2000国家 GPS大地控制网, 2500多个点非均匀分布在我国国土上, 其精度是厘米级。第三层就是全国天文大地网, 大约有 5万个点, 其经纬度误差精度为分米级, 大地高精度比经纬度差。

2000中国大地坐标框架的主要特点表现在三个方面: 首先坐标系的建立周期长, 2000国家大地控制网——空间大地网用了 12年时间建立完成, 而国家天文大地控制网经历了 70多年。第二个特点是数据量大, 2000国家 GPS控制网有 2500多个点, 由这些点构成了 4600多条基线; 而天文大地网有近 5万个点, 未知参数达到了 20多万个, 通过 30万条的观测信息来进行计算, 要处理的点和数据量都非常庞大。第三个特点是覆盖范围广, 覆盖全国内陆地区和部分沿海岛屿。

2.2 CGCS2000定义及其基本参数^{[4], [6], [9-11]}

我国采用的三维地心坐标系统 CGCS2000的定义应和迄今为止比较符合客观实际的国际通用地面参考系 (IIRS)的定义在原则上保持一致。框架定义必须满足如下四项基本原则: ①坐标系原点为包括海洋和大气在内的整个地球质量的质心; ②坐标系的尺度为在相对论意义下的局部地球框架的尺度; ③ Z轴从原点指向 BIH1984.0定义的协议地球极, X轴从原点指向格林尼治平均子午面与赤道的交点, Y轴与 X轴和 Z轴构成右手坐标系; ④由于极移的影响, 在确定不同时期的实际地球旋转轴相对于 BIH1984.0的指向时, 要确保地壳不会产生残余的全球性旋转。

其基本参数为: 长半轴 $a = 6378137$ m; 扁率 $f = 1/298.257222101$; 地心引力常数 $GM = 3.986004418 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$; 自转角速度 $\omega = 7.292115 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$ 。系统没有考虑潮汐改正, 主要原因是国际参考框架

没有引入, 所以结合实际我国不采用潮汐改正更符合实际。

3 CGCS2000 建设的主要成果及其意义^{[2], [4], [10-11]}

3.1 CGCS2000 建设的主要成果

(1) 我国首次独立自主使用当前精度最高的野外绝对重力仪 FG5 测定我国的重力基准。重力基准点的分布基本均匀、合理、覆盖范围大, 特别是在我国绝对重力空白区的西北和东北首次布设了绝对重力点, 并联测了香港、澳门以及南海等地区, 使我国的重力基准点有效地控制了全网, 不仅使 2000 国家重力基本网的覆盖面更广泛, 而且确保了 2000 国家重力基本网的可靠性与高精度。

(2) 全网的平差精度比 1985 高, 覆盖范围更大。就国家基本重力网而言就由 1985 的 57 个增加到 2000 的 259 个, 基准点由 6 个增加到 21 个。

(3) 定义了与国际 ITRF 一致的地心坐标系: 地心位于包括海洋和大气的地球质心。这样的坐标系更适用于空间技术的应用, 更能推动导航的发展, 是更适合军事运用的一种坐标系。最适合代大地测量手段的需要。

(4) 实现了三个层次的高精度的地心坐标框架, 由天文大地网到国家 GPS 基本控制网。

(5) 采用 GPS 技术, 加强了地面天文大地网的现势性, 挖掘天文大地网的潜能, 节约人力物力。

(6) 因为采用了先进的平差方法, 早在 1933 年我国即开始地面大地网的建设, 已建成国家一等网、二等网、三等网等——这是我国大地测量极其宝贵的数据资源。联合平差工程是在 2000 国家 GPS 网的基础上进行的一项大型、复杂的大地测量数据处理工程, 分为两个阶段, 一期工程始于 1991 年, 二期工程始于 1999 年; 历时 13 年, 参加数据处理的有 100 多人。经过 2 期处理后控制了地面网的系统误差和异常误差的影响。

(7) 系统建立了大地测量数据库, 构建了一整套大地测量生产软件。将天文观测, 边角观测, 空间观测, 重力测量等数据通过数据库进行管理, 为后续的大地测量建设提供了基础。

3.2 启用 CGCS2000 的意义

我国于 1954 年建立了第一代国家大地坐标系——1954 年北京坐标系, 之后在 1954 年北京坐标系的基础上, 于 1980 年建立了第二代国家大地坐标

系统——1980 西安坐标系, 同时各大中城市也相继在第一、二代国家大地坐标系下, 建立了各自的相对独立或独立的的城市坐标系统, 为国民经济和社会发展提供了基础的测绘保障。但随着测绘技术的进步、国民经济建设、国防建设、社会发展和科学研究等诸多领域对国家大地坐标系提出了新的要求, 迫切需要建立原点位于地球质量中心的地心坐标系统作为国家大地坐标系。同时由于各种原因, 在许多领域存在两种坐标系统并存的现象, 造成了测绘基准的混乱, 影响测绘工作。

采用地心坐标系统, 有利于应用现代卫星定位技术对大地坐标框架进行维护和快速更新, 有利于提高测绘成果的精度, 有利于地理信息要素的快速采集与更新, 可快速测定高精度的大地控制点的三维坐标, 可大大提高测绘工作效率和基础保障能力。

CGCS2000 在我省的启用是我省测绘工作中的重要工作, 标志着我省大地测量工作进入了一个新时期, 将为我省经济社会发展提供快捷、可靠的测绘基础保障, 促进我省测绘事业发展。省各级测绘行政主管部门和相关部门要充分认识启用 CGCS2000 的重要意义, 积极主动地推动本项工作的开展。

4 结 语

CGCS2000 是随时代孕育而生的产物, 是我国测绘工作者几十年辛勤劳作付出的结果。CGCS 建立使得全国统一的坐标连测成为可能, 台湾地区建成了高精度 GPS 网点 700 多个, 可直接加入, 无需转换; 香港、澳门特别行政区建成了高精度 GPS 网点 100 多个; “中国陆地构造观测网络”还将建成 250 个 GPS 连续运行站; 国内多个城市已经建成 GPS 永久跟踪站; 后续空间大地测量观测可直接融入新的地心坐标系统, 加强地心坐标的精度; 而且有利于中国自主导航卫星系统的发展。在我国将启动海岛礁测绘工程后, 2000 坐标框架将得到加强。

2000 启用后, 彻底解决多坐标系共同使用的混乱问题, 减少多种常用坐标系成果表的制作, 减少成图工作量和经费; 可避免不必要的坐标系转换, 减少不必要的精度损失, 同时也减少工作量, 提高快速反应能力; 便于实施卫星定位、卫星摄影、卫星导航; 便于远程武器轨道设计等。

2000 也存在很多的不足, 各省市独立建成的 GPS 永久跟踪站未加入 2000 中国大地 (下转第 73 页)

ang/publication/ytparticlefile02.Pdf

- [3] 胡士强, 敬忠良. 粒子滤波算法综述 [J]. 控制与决策, 2005 20(4): 361—365.
- [4] 胡洪涛, 敬忠良, 李安平. 非高斯条件下基于粒子滤波的目标跟踪 [J]. 上海交通大学学报, 2004 38(12): 1996—1999.
- [5] 江宝安, 卢焕章. 粒子滤波器及其在目标跟踪中的应用 [J]. 雷达科学与技术, 2003 1(3): 170—174.
- [6] A Doucet, A Freitas, N Gordon. Sequential Monte Carlo Methods in Practice [M]. New York: Springer, 2001.
- [7] D Geman, B Jedynak. An active testing model for tracking roads in satellite images [J]. IEEE Trans Pattern Anal Machine Intell 1996 18 1—14.
- [8] F Tupin, H Math, J Mangin, et al. Detection of linear features in sar images: Application to road network extraction [EB/OL]. <http://citeseer.ist.psu.edu/tupin98detection.html>

- [9] 肖志强. SAR 图像中道路网络提取及 GIS 空间数据更新方法研究 [D]. 湖南: 中南大学, 2004.
- [10] 孙洪等译. 合成孔径雷达图像处理 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005 157—176.
- [11] Guangzhen Cao, Ya-Qin Jin. Urban Road Network Extraction from Spaceborne SAR Images [J]. Progress In Electromagnetics Research Symposium China Hangzhou 2005.
- [12] A Karariz, H Sahli, V Pizurica and et al. A Model-Based Approach to the Automatic Extraction of Linear Features from Airborne Images [J]. IEEE Trans Geosci Remote Sensing 2001 39 2073 - 2079.

作者简介: 张仲春 (1962—) 男, 安徽淮北人, 本科, 现就职于淮北矿业集团勘探工程有限责任公司, 主要从事测绘工作。

(收稿日期: 2009—09—01)

(上接第 35 页)

测量坐标框架, 不仅造成浪费, 也造成混乱; 没有 GIS 数据处理中心。虽然建立 2000 坐标取得很大的进步, 但是大地测量方面的成果是很不足, 还需要努力。我国高程基准仍然薄弱, 应加快进行全国范围的高精度水准测量; 我国重力覆盖更弱, 还存在大量重力空白区; 地壳形变监测和研究还需要加强, 四维坐标系的建立和维持还有相当大的差距^[2]。

参考文献:

- [1] 陈俊勇. 与动态地球和信息时代相应的中国现代大地基准 [J]. 大地测量与地球动力学, 2008(8).
- [2] 杨元喜. 2000 中国大地测量坐标框架建设及应用 [R]. 西安测绘研究所, 2000.
- [3] Majid Kadir et al. Establishment of new geocentric reference frame for Malaysia [J]. Proceeding of IAG Scientific Assembly [C]. Budapest Hungary 2001.
- [4] 程鹏飞等. 2000 国家大地坐标系系统实用宝典 [M]. 北京: 测绘出版社, 2008.
- [5] 陈俊勇. 国际地球参考框架 2000 (IIRF2000) 的定义及其参数 [J]. 武汉大学学报 (信息科学版), 2005 30 (9): 753—756 761.
- [6] 陈俊勇. 中国现代大地基准——中国大地坐标系 2000 (CGCS2000) 及其框架 [J]. 测绘学报, 2008 37 (3): 269—271.

- [7] 王敏, 张祖胜, 许明元等. 2000 国家 GPS 大地控制网的数据处理和精度评估 [J]. 地球物理学报, 2005 48(4): 817—823.
- [8] 曾安敏. 基于拟合推估的 1980 西安坐标系到 2000 国家坐标系的变换 [J]. 大地测量与地球动力学, 2008 28 (5): 125—128.
- [9] 陈俊勇. IERS 地球参考系统、大地测量常数及其实现 [J]. 大地测量与地球动力学, 2005 25(3): 1—6.
- [10] 陈俊勇, 郭春喜, 杨元喜等. 2000 国家大地控制网的构建和它的技术进步 [C]. 2007 年现代空间定位技术应用研讨交流会议论文集汇编, 2007.
- [11] 陈俊勇, 杨元喜, 王敏等. 2000 国家大地控制网的构建和它的技术进步 [J]. 测绘学报, 2007 36(1): 1—8.
- [12] YunHong-Sic and Cho J. Establishment of the Korean GPS fiducial network referred to IIRF97 [A]. Proceeding of IAG Scientific Assembly [C]. Budapest Hungary 2001.

作者简介: 龙文星 (1981—) 男, 四川三台人, 工程师, 主要从事测绘工程实践教学、应用研究。

(收稿日期: 2009—05—26)

ENGLISH ABSTRACTS OF MAIN ARTICLES IN THIS ISSUE

Analysis of Mining Deformation Features of Railway Bridges and Culverts in Wutongzhuang Coal Mine—— It is a difficult problem to protect railway bridge and culvert for the mining under railway. According to the design of mining under railway in Wutongzhuang coal mine of Fengfeng mining area, the paper analyzes the deformation features of bridges and culverts which are influenced by surface subsidence, inclination, horizontal movement and horizontal deformation caused by mining. Furthermore, the paper predicts the deformation of every bridge and culvert resulted from mining in the second and third working area. Through the analysis of the influence of bridges and culverts, the corresponding protection measures has been provided in the present study which are used to guide the safe implementation of mining under railway. (Liu Cunyu et al.)

Analysis of Basic Features of Ground Movement and Deformation of Fully Mechanized Working Face in 11—2 Coal Seam in Guojiao Coal Mine—— Based on the introduction to the overview of the first expiring face subsidence observation station in Guojiao Coal Mine, the present paper introduces the basic parameters of the surface movement and deformation obtained from the measured data in detail and summarizes the basic law and the periods of the surface movement and deformation. These analyses provide references for the mining under similar geological and mining conditions. (Yu Xuexiang et al.)

Trial Approximation Method on Inner Side Line Coordinate Calculation of Broadened Road—— According to the fact that there is no formula on computing inner side line coordinate when centerline and side line of the broadened road are shown with spiral line, the paper puts forward trial approximation method which is rigorous in theory and useful in practice. This method can solve actual engineering problems such as accurate calculation of inner side line coordinate and checking measure. (Gao Pinghe et al.)

Method of Highway Side Line and Cross Sections Measure with Steel Tape—— The present paper discusses the method of measuring highway side line and cross sections which, as an additional method, provides a reference for engineering surveying. (Yan Zhiming et al.)

Study on CGCS2000—— The official opening of CGCS2000 (the 2000 National China Geodetic Coordinate System) on July 1, 2008, marks a new era of geocentric coordinates from reference-ellipsoid-centric coordinate system. CGCS2000 is a great achievement of decades of hard work by geodetic surveyors. Based on the relative study the author summarizes the information about CGCS2000. Furthermore, the paper makes a comprehensive analysis of it on the basis of the overview of geocentric coordinate system both at home and abroad. (Long Wenxing et al.)

Application of a Novel Grey Model to Traffic Flow Prediction at Non-detector Intersection—— There are three stages of the traffic flow, that is the past, the present and the future. The future traffic flow is the extremely important technical indicators in the road traffic and transporting plan. Also it is the indispensable foundation conditions to determine road section, structural forms and standards. GM(1,1) model is commonly used to do the traffic flow prediction and the results are appropriate. However, when the original sequence shows strong volatility, the forecast accuracy will be poor. The present paper modifies GM(1,1) model based on the usage of first-order differential equations method of curve fitting and shows the volatility of the data series about the consequences can be re-

duced by the usage of trigonometric polynomial function. Combined with the trail-error method and least-squares algorithm, all the parameters can be calculated. And the experimental analysis shows that the results of this method is more accurate than those of conventional GM(1,1) model. (Ma Jian)

Study on Handling and Application of the Data through Three Dimension Laser Scanning System—— Three dimension laser scanning system, as a massive information gathering and non-contact method with high accuracy, has been widely used both at home and abroad. How to use and handle those data also becomes a hot issue. The paper addresses the problems by handling the data in Cyclone, AutoCAD and MicroStation through the following aspects: Petro-pipeline modeling, accurate surveying of forecast, accurate modeling of building and reverse engineering. (Qian Jianguo et al.)

Reflection on the Construction of Surveying and Mapping Engineering Major with the focus of Mine Surveying under Digital Mine Background—— Digital mine has been covered in China's mining industry, which brings a serious and urgent issue to the construction of Surveying and Mapping Engineering that focuses on the major of mining surveying in mining universities. Based on the comprehensive analysis of the digital mining and its features, the present paper points out the its impact on the majors of mining surveying and puts forward pertinent measures for reference. (Zhao Xijiang)

Discussion on How to Improve the Teaching Quality of Engineering Survey—— As an important professional basic course, major of engineering surveying possesses more students and covers wide professional fields. The teaching quality of this major affects the follow-up professional courses. And the employment opportunities and working capacity of the graduates will also be influenced. The present paper demonstrates some opinions to the point of improving the teaching quality about engineering surveying from the following three aspects: teacher, students and practical teaching. (Zhao Weicheng et al.)

Research on Height System Transformation of the GPS Datum Network in Guojiao Coal Mine—— According to the height anomaly of the level point points, the paper analyzes height anomaly curve and establishes the mathematic model on the basis of the multi-curve function for the height anomaly curve. Based on the introduction to the overviews of the data processing and accuracy assessing for GPS plan datum network and the third order level height datum network in Guojiao Coal Mine, And therefore, the height system transformation is achieved. All the results show that the selective mathematic model fits for the whole surveying area and that the transformed GPS level meets the accuracy requirement of the third order level. (Chen Shaojie et al.)

Synthetic Study on Deformation Monitoring Method of Buildings—— With the development of modern surveying technology and computer application, a wide variety of theories and approaches have provided more technical supports and research methods for deformation analysis and prediction. From the perspective of deformation monitoring method, error detection and data exploratory analysis modeling, the paper presents an overview of the application of deformation monitoring technology, analyzes the characteristics to apply modern surveying technology to the deformation monitoring of the buildings and then introduces the latest methods of exploratory analysis modeling. (Wang Shijie et al.)