

新疆似大地水准面成果的精度验证

陈合忠

(新疆维吾尔自治区第一测绘院, 新疆 昌吉 831100)

摘要: 简述了影响似大地水准面精度的因素, 阐述了对新疆似大地水准面精度进行验证的方式与方法, 笔者采用了先进的计算方法, 选取了大量的实践数据对该水准面的精度进行了较为全面的验证, 得出了精度较为准确的验证结果, 并提出了成果应用建议。

关键词: GPS; GPS/水准; 大地水准面精化; 精度验证

中图分类号: P228.4 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-5867(2012)01-0093-02

The Precision Testing of Quasi-geoid in Xinjiang

CHEN He-zhong

(The First Surveying and Mapping Institute of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Changji 831100, China)

Abstract: This paper demonstrates the factors which influence the quasi-geoid and discusses the methods to test the precision of quasi-geoid in Xinjiang. The author uses advanced computational methods and selects a large number of practical data, which produces the more comprehensive verification for the quasi-geoid and presents applicable suggestions based on the results.

Key words: GPS; GPS/leveling; quasi-geoid; precision test and verification

0 引言

区域似大地水准面是综合利用 GPS 水准资料、重力资料、地形资料、重力场模型等资料, 通过相应的算法确立的似大地水准面, 用以实现通过 GPS 测量来代替低等级水准测量的目的。新疆似大地水准面是在新疆完成的分辨率较高、精度较好的 GPS/水准网的基础上, 充分利用各种重力资料、地形资料和国内外先进的地球重力场模型, 采用国内外先进的(似)大地水准面确定理论与方法, 建立起整个区域的精度大大优于 CQG 2000 的似大地水准面。对该成果的检核, 直接影响到该成果的应用效果。

1 影响区域大地水准面精化成果的精度

区域大地水准面精化精度除受采用的理论、技术、方法影响外, 以下四个方面的基础数据对其有重要影响。

- 1) GPS/水准点的分辨率与精度;
- 2) 加密重力点的分辨率与精度;
- 3) 地类和数字高程模型的分辨率与精度;
- 4) 参考重力场模型的分辨率与精度。

2 新疆似大地水准面成果的检核

为客观评价新疆似大地水准面成果的精度, 需要对似大地水准面成果分别进行内部检核与外符合精度检核。

2.1 内部检核

内部检核是通过采用似大地水准面成果, 将参与似大地水准面计算的 GPS 点的大地高转换为正常高, 与高等级水准观测所得的正常高进行比较, 对似大地水准面精化成果的内符合精度进行检测, 以评价似大地水准面的内符合精度。

为了检核重力似大地水准面的精度, 选取了新疆境内的国家 A/B 级网 GPS 水准与其进行了独立比较, 剔除粗差后的 65 个点与 EGM 96 和 EIGEN 03C 模型作为参考重力场的重力似大地水准面比较结果见表 1, EGM 96, EIGEN 03C 为参考重力场结果的标准差分别是 ± 0.115 m 和 ± 0.159 m。

通过对建立项目时施测的 GPS 水准与重力似大地水准面的比较, 计算并列出了重力似大地水准面与 197 个 GPS 水准独立比较。

收稿日期: 2011-08-15

作者简介: 陈合忠(1971-), 男, 新疆石河子人, 高级工程师, 主要从事测绘工程的技术设计、质量检查等工作。

表 1 国家 A/B 级网 GPS 水准与重力似大地水准面高残差统计(单位: m)

Tab. 1 Residual statistics of national A/B GPS leveling and gravity - based quasi - geoid(unit: meter)

点数	参考模型	最大值	最小值	平均值	均方根	标准差
65	EGM 96	0.017	-0.556	-0.160	±0.197	±0.115
		0.177	-0.396	0.000	±0.115	±0.115
65	EIGEN 03C	0.188	-0.5545	-0.206	±0.260	±0.159
		0.394	-0.339	0.000	±0.159	±0.159

表 2 给出了参与计算的 197 个 GPS 水准与重力似大地水准面比较的统计结果,从表 2 可知,197 个 GPS 水准成果其标准差为 ± 0.153 m,最大值和最小值分别为 0.385 m, -0.337 m。

表 2 GPS 水准与重力似大地水准面高的比较(单位: m)

Tab. 2 Comparison between GPS leveling and gravity - based quasi - geoid(unit: meter)

点数	最大值	最小值	平均值	均方根	标准差
197	0.385	-0.337	0.000	±0.153	±0.153

利用新疆似大地水准面成果计算高程与水准高程比较,结果见表 3。

表 3 GPS 水准与 GPS 似大地水准面高残差统计(单位: m)

Tab. 3 Residual statistics of GPS leveling and GPS quasi - geoid(unit: meter)

点数	最大值	最小值	平均值	均方根	标准差
197	0.359	-0.303	-0.001	±0.113	±0.113

2.2 外符合精度检核

外符合精度检核即利用 GPS 和似大地水准面成果所计算的水准高与已知(或通过水准联测)的水准高进行比较,用于评定似大地水准面成果的外符合精度。外符合精度检核一般采用在水准点上 GPS 检核或在观测 GPS 点上联测水准的方式进行检核。

为对新疆似大地水准面成果进行较为全面的检核,同时又考虑到新疆整个区域较大,笔者在全疆范围内按 200 ~ 400 km 的距离均匀选取了历年来完成的多个 1:10 000 基础测绘测区的 C 级基础控制网数据,进行了重新平差、验算,以用于外部检核。具体的选网与计算按如下步骤进行:

1) 采用新疆周边的 IGS 站作为起算点,分别求解各 GPS 控制网的 2000 国家大地坐标系成果,起算基准与参与精化所采用的基准相一致。

2) 每个 1:10 000 基础测绘控制网均匀选取了 3 个以上、采用高精度双频 GPS 观测、时间较长的 GPS 点作为优先求解的控制点。

3) 下载每个 GPS 控制网计算所需的精密星历,利用 GAMIT 解算控制点与周边 IGS 站的联测基线,并将该基线与原控制网的基线文件一并导入网平差软件进行平差计算,以求得每个控制网的 2000 国家大地坐标系成果。

4) 将 2000 国家大地坐标系成果代入新疆似大地水准面成果求解正常高。

每个 GPS 控制网建立时联测的水准高程与似大地水准面成果求解的正常高差值比较见表 4。

表 4 水准联测正常高与似大地水准面成果求解的正常高的比较(单位: m)

Tab. 4 Comparison of normal height between leveling conjunction and quasi - geoid(unit: meter)

序号	测区地点	点数	最小值	最大值	均方根
1	阿勒泰市 - 布尔津县	55	-0.138	+0.54	0.134 06
2	乌鲁木齐市	67	-0.419	+0.227	0.1557 02
3	昌吉市 - 五家渠市	30	-0.256	+0.403	0.1453 63
4	乌苏市 - 奎屯市	38	-0.135	+0.05	0.070 367
5	阿克苏 - 阿拉尔市	61	-0.187	+0.282	0.094 902
6	轮台县	26	-0.158	+0.357	0.126 769
7	喀什市 - 阿图什市	80	-0.099	+0.459	0.194 61
8	将军庙区域	116	+0.223	+0.432	0.315 48
9	裕民县	17	+0.002	+0.326	0.171 304
10	和田市 - 墨玉县	46	-0.185	+0.285	0.15 361
11	尼勒克 - 特克斯测区	87	-0.312	+0.514	0.149 741
12	巴里坤县	101	-0.163	+0.341	0.081 796

从以上外符合精度检核可以看出:

1) 部分区域的个别 GPS 点水准高程与新疆似大地水准面成果计算高程差异较大,经 GPS 数据分析发现这些点观测数据质量相对较差。

2) 部分区域与新疆似大地水准面成果存在系统性误差,如喀什 - 阿图什、裕民测区、将军庙区域等几个区域,这可能与重力异常的偏差而产生的误差分布不均有关。

3) 从验证的精度分布对比在建立新疆似大地水准面时所施测的基础控制网可以看出,精化时所施测的 GPS/水准点分布密集的区域,检核精度均较好,而 GPS/水准点分布较稀少的区域,精度就相对较差。

3 检核结论

通过内符合精度检核与外符合精度检核,我们可以看出,新疆似大地水准面成果精度可靠,完全可以满足中小比例尺地形图高程控制网建设的需要,应用前景广阔。

当然,因新疆似大地水准面精化联测的 GPS/水准点分布不均匀,其模型精度存在差别。相对点位分布较为

(下转第 97 页)

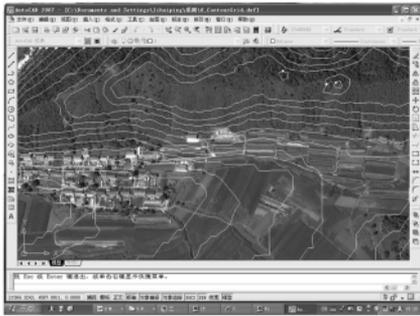


图 5 系统生成的地形图

Fig. 5 Topographical map generated by the system

土方平衡计算,利用系统的 DEM 数据对不同标高的基准面进行土方平衡的概略计算,力争做到铲方和填方的自平衡,减少残土外运和购土内运。

2 应用实例分析

首先我们用一个已完工的 500 kV 线路进行试验。用开发的系统功能自动生成线路平断面图,用道亨排塔软件进行自动排位,定位后自动反馈到系统中进行 3 维立体显示。我们将系统功能自动生成的线路平断面图与实测的平断面图进行比较,高程误差为 1~3 m,最大可以达到 7~8 m。原因分析如下:

1) 电网地理信息系统平台原始精度

地理信息系统平台原始遥感数据来源于国土资源部第二次全国土地资源普查的摄影测量结果。航空摄影于 2007~2008 年完成,采用德国 Z/I 公司 DMC 数字航空摄影机,镜头焦距 $f=120$ mm 系列,飞行高度 6 000 m,摄影比例尺 1:50 000,摄影中附加 IMU 惯性制导系统进行空间摄站定位。野外 GPS 控制点布设密度航向 30 条基线,旁向 2 条基线。成图精度按 1:10 000 地形图精度控制,高程中误差 3 m 左右。

2) 3 维数字影像模型的生成

系统功能自动生成线路平断面图来源于地理信息系统平台的 DEM 数字模型。DEM 数字模型是根据航空摄影成果、IMU 惯性制导系统定位数据、野外 GPS 控制成

果、内业摄影测量工作站解析空中三角测量数据建立的数字模型运用数字相关理论自动生成的。数字相关理论是根据同名影像积分运算值最大化来实现的,也就是“看到哪里,测到哪里”,如果地面有树木等植被,无法直接观测到地面,那么 DEM 的点阵就是树顶的高程。在植被密集的地方,通常树木高度可达到 8~10 m,所以断面误差达到 8 m 就不足为奇了。

综上所述,由于受到地理信息系统平台原始精度和 3 维数字影像模型的生成机制的共同影响,系统自动生成线路平断面图的高程误差在 3~8 m 之间,无法满足线路施工图设计的精度需要。故本系统在电网设计中的应用可以用于科研和初步设计阶段,或进行线路优化选线和工程量估算。同样,在变电站设计方面,本系统可以用于变电站选址及站址地形评估。

3 结束语

从 2010 年 2 月 18 日起辽宁电力勘测设计院正式在送电线路前期科研中应用该系统。截至目前,采用该系统进行线路优化选线的工程已有 14 大项,34 小项,线路长度 680 km,其中 500 kV 线路 77 km,220 kV 线路 603 km,并在 13 个变电站设计中进行辅助选址。这是大尺度、高精度虚拟 3 维技术在电网建设方面的首次应用,它的应用大幅度地提高了工程设计深度和精度,为工程清单报价提供重要依据,使选所、选线更加科学合理,从而节省了工程投资。同时,还减少大量的野外踏勘工作,缩短了设计周期,提高了设计质量,起到了促进辽宁智能电网建设服务的作用。

参考文献:

- [1] 唐陇军,邱家驹. 基于 3 维地理信息系统的输电线路管理系统[J]. 电网技术,2009(10):43-47.
- [2] 吴健. 基于 GIS 的输电线路管理系统开发与应用[J]. 浙江电力,2006(2):62-65.
- [3] 李晓骏,邱家驹. 基于三维 GIS 技术的输电线路地理信息系统的设计与实现[J]. 电力系统及其自动化,2003,15(1):5-9.

[编辑:宋丽茹]

(上接第 94 页)

密集的地区,精度较高;点位分布较为稀疏的地区,精度较低;部分地区还存在着一定的系统差,无法满足大比例尺基础测绘的需要。

4 成果应用建议

为更好地使用该成果,应注意如下几点:

1) 在选择 GPS 观测点位时,应注意卫星分布、外围电磁环境及多路径效应等情况,特别注意 GPS 天线高的量取与改化,利用最优化的观测时间以获得最优的观测数据。

2) 考虑到似大地水准面的趋势性,在选择 GPS 观测点位时应注意不应选在地形突变处,以防止因地形突变、空间重力异常变化十分急剧,而致使成果的精度下降。

3) 在使用过程中,应进行小部分外部检核工作,如发现计算成果存在一定的系统误差,可考虑相应的措施进行处理。

4) 对于 GPS 平差计算,应尽量选择起算基准与参与精化的 GPS 成果一致的 CGCS 2000 控制点作为起算点,数据处理尽可能采用高精度的 GPS 软件和精密处理方

(下转第 100 页)

间基础地理数据和测绘服务。

测绘生产自动化就是通过 GPS 技术、全野外数字化测图技术、全数字航空航天遥感技术等测绘新技术,实现从地理信息获取、处理到服务的测绘生产全过程的数字化及快速化。应建立地理信息数据采集自动化、数据处理智能化、生产管理及办公自动化、测绘服务网络化为特征的测绘生产体系,包括地理信息的数据采集及更新实现自动化,数据处理及分析智能化,数据管理及更新实现实时化和动态化,生产管理和指挥调度自动化,成果应用和服务实现网络化和社会化。

测绘产品信息化包括测绘技术应用服务的信息化和测绘成果的信息化,主要表现在测绘产品的精度更高、信息量更丰富、现势性更强、形式更多样化及标准化、应用真正社会化,主要内容包括产品形式的数字化、社会化,空间数据的信息化,数据应用的可视化、网络化等。

测绘服务网络化、社会化就是面向全社会提供形式多样的信息化测绘产品,用户可以通过网络检索、浏览和访问所需的地理信息,享受地理信息服务。

4.3 积极开展测绘应用技术的研究

积极开展 GPS, RS, GIS, INS, 全野外数字化测图, 激光成像雷达, 数字摄影测量以及计算机技术、网络通信技术的集成研究, 从而实现全天候、一体化的空间数据准确、实时、动态采集和处理。大力开展模式识别和人工智能方法进行空间信息自动提取的研究, 实现数据处理智能化; 开展利用虚拟现实技术进行动态 3 维景观的虚拟现实研究, 实现空间数据的可视化。

认真研究并完善信息化测绘生产流程、指挥调度、质量控制等, 开发基于网络环境的信息化测绘生产管理系统, 制定与信息化测绘生产相适应的管理运行机制和管理标准, 建立健全自动化生产管理的各项规章制度, 坚持将“质量/环境/职业健康安全”国际管理标准与日常管理相结合, 逐步建立以国际管理标准为基础、市场需求为导向的信息化测绘生产管理体系。

积极开展空间数据库管理系统以及空间数据自动生成实用系统的研究, 进一步加强“4D”测绘产品以及 3 维景观再现的开发与应用, 深入开展空间地理数据再生产

的研究与应用, 逐步形成以城市空间控制基准、基础地理信息、遥感影像信息、市政管网信息、地球物理信息以及工程测量信息为基础的信息化测绘产品体系。

进一步拓展测绘服务领域, 增强服务意识, 不断提高服务水平, 建立以城市建设为重点、面向全社会的测绘服务客户网络, 逐步形成以市场信息牵引、快速生产、数据准确、信息反馈渠道顺畅、服务及时、服务周到为主要内容的信息化测绘服务体系。

积极开展地理信息化标准工作的研究, 加快地理信息标准体系建设, 完善地理信息采集标准、数据库建设标准、数据格式及转换标准、交换共享与应用服务标准、数据安全与保密标准以及相关技术规范, 研究制定地理信息提供、安全保障、信息共享、社会化应用以及知识产权保护等相关政策和法规。

5 结束语

数字城市建设是一个庞大而又长期的系统工程, 现代测绘技术的发展使测绘成为数字城市建设的主力军, 在数字城市建设中起到十分重要的、关键的作用。因此, 测绘部门应认真研究数字城市建设的相关技术和内容, 提出相应的对策, 充分发挥测绘产业的优势, 为数字城市建设提供准确的城市空间基础地理信息数据, 为加速数字城市建设作出积极的贡献和不懈的努力。

参考文献:

- [1] 承继成, 李琦, 林琿. 数字城市: 理论、方法与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [2] 测绘发展战略研究项目组. 中国测绘事业发展战略研究报告 [M]. 北京: 测绘出版社, 2005.
- [3] 王丹. 从数字城市空间信息应用看信息化测绘的服务特征 [J]. 测绘通报, 2008(5): 17-20.
- [4] 李德仁, 邵振峰. 信息化测绘的本质是服务 [J]. 测绘通报, 2008(5): 1-4.
- [5] 宁津生, 杨凯. 从数字化测绘到信息化测绘的测绘学科新进展 [J]. 测绘科学, 2007, 32(3): 5-11.

[编辑: 宋丽茹]

(上接第 97 页)

法, 避免结果出现系统性差异。

5 结束语

根据内符合精度检核与外符合精度检核结果可以看出, 新疆似大地水准面成果精度可靠, 完全达到了设计的要求。新疆高精度似大地水准面的建立, 极大地改进了传统高程测量作业模式, 并已在自治区 2011 年的 1:10 000 基础测绘中发挥了重大作用, 使费用高、难度大、周期长的传统高精度水准测量的工作量大大减少。

参考文献:

- [1] 党亚民, 秘金钟, 成英燕. 全球导航卫星系统原理与应用

[M]. 北京: 测绘出版社, 2007.

- [2] 李征航, 张小红. 卫星导航定位技术及高精度数据处理方法 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2009.
- [3] 李建成. 我国现代高程测定关键技术若干问题的研究及进展 [J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2007, 32(11): 980-987.
- [4] 李建成, 陈俊勇, 宁津生, 等. 地球重力场逼近理论与中国 2000 似大地水准面的确定 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2004.

[编辑: 宋丽茹]