



欠发达国家坐标系统及平面控制有关问题探讨

贾登科, 麦若绵, 朱国锋

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东广州 510230)

摘要: 结合近几年在部分欠发达国家的工程案例, 全面回顾了以往国外项目在坐标系统及平面控制测量中存在的问题, 针对性提出了在困难情况下建立平面控制网的方法及国际相关技术进展, 最后详细对相关技术环节进行了较深入的探讨, 旨在为工程设计和工程测量的技术人员提供参考和借鉴。

关键词: 投影长度变形; 平面控制测量; UTM投影; IGS; 地区性广域差分增强系统SBAS; ITRF国际地球参考框架

中图分类号: TU 195

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)07-0122-05

Coordinate system and horizontal control survey in less developed countries

JIA Deng-ke, MAI Ruo-mian, ZHU Guo-feng

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: Combining with some projects implemented in less developed countries, this paper summarizes difficulties and problems in the coordinate system and horizontal control survey implemented in other countries, proposes the method for establishing the horizontal control network and international technological advancement, and probes into relevant technology, aiming at serving as reference for the engineering design and survey.

Key words: length distortion of projection; horizontal control survey; UTM projection; IGS (international geodynamics service); SBAS (satellite based augmentation systems); ITRF (international terrestrial reference frame)

部分欠发达国家或地区, 其基础测绘大都匮乏或非常落后, 几乎无法收集到该区域任何测量控制点及其相关资料, 因此测量工作举步维艰, 同时也给设计工作带来很多不确定性。本文全面总结了在国外特殊环境下平面控制测量存在的困难和问题, 提出了解决该方法以及国际上相关的技术进展, 最后通过案例分析对相关方法进行详细的叙述和探讨, 希望能为工程设计和工程测量技术人员提供一定的参考。

1 欠发达国家平面控制测量存在的主要问题

1.1 测量标准

作业前应就所采用标准与业主取得一致。在非洲、亚洲部分欠发达国家, 几乎还没有本国的测量标准, 故大都采用BS标准; 非洲个别国家还

采用美联邦(FGCC)的控制测量标准《Standards and Specifications for Geodetic Control Networks》; 中国测量标准规范少有官方的英文版, 但目前部分国家也能接受相应的中国测量标准。

1.2 坐标系统

根据GB 50026-2007《工程测量规范》3.1.4之规定: 平面控制网的坐标系统, 应满足测区内投影长度变形不大于2.5 cm/km; 小测区或有特殊精度要求的控制网, 可采用独立坐标系统。能否收集到技术要求的坐标系统的具体参数、收集到的坐标系统是否满足规范要求、业主要求使用的坐标系统是否满足规范关于投影长度变形的要求、是否需要建立新的坐标系统等等都是重要的技术问题^[1]。

1.3 起算控制点

起算控制点是整个控制测量的基础, 在国内

收稿日期: 2013-05-02

作者简介: 贾登科(1970—), 男, 高级工程师, 主要从事港口测量及技术管理工作。

可以从多种渠道收集到各种等级的测量控制点,但对于国外欠发达国家,大部分控制点都是50年前殖民大国留下的,故大多被破坏或发生沉降位移,个别控制点的资料也因管理不当流失或因多次转抄造成与起始值严重不符。故必须对收集到的控制点资料进行检测和甄别,确认起算资料与实地控制点的符合性,同时检测控制点精度是否满足起算控制点的要求;如收集不到控制点,如何建立起算控制点及获取高精度的控制点坐标也是本文重点探讨的问题之一。

1.4 坐标转换

国外欠发达国家的坐标系统来源本来比较复杂,有的是不同时期不同殖民大国留下的,另外还有多个项目自建的独立坐标系,因此需要提供各坐标系统之间的转换关系。从实践经验来看,在项目前期的设计工作中就应考虑坐标系统之间的转换问题,否则在项目后期会比较被动,处理起来也更为复杂。

2 欠发达国家平面控制测量的方法

2.1 收集相关资料

该地区现有坐标系统(如本国国家坐标系、WGS84坐标系)相关信息,这可为坐标系统的选择和建立提供更多的参考。收集现场附近保存较好的各类控制点及相关资料。收集前期各种比例的地形图。收集业主要求的技术标准。

2.2 确定坐标系

根据1.2的要求,综合考虑现场收集控制点情况,选择合适的坐标系统或优化现有坐标系统,使之既能满足规范要求,又能满足设计的需要。而优化后的坐标系统一般取名为任意坐标系或工程坐标系。

以国际上通用的UTM投影为例,UTM投影测距边长度观测值(水平距离 S_0)投影变形值 Δs 包括两次投影变形,一是地面实测水平距离归算到参考椭球面上的投影变形 Δs_1 (高程归化),二是参考椭球面上边长归算到高斯平面的投影变形 Δs_2 (距离改化)^[2]:

$$\Delta s = \left(\frac{y_m^2}{1.999 2R_m^2} - 0.000 4 - \frac{H_m}{R_a} \right) S_0 \quad (1)$$

$$R_m = \sqrt{MN} \quad (2)$$

$$\text{如采用高斯投影: } \Delta s = \left(\frac{y_m^2}{2R_m^2} - \frac{H_m}{R_a} \right) S_0 \quad (3)$$

式中: S_0 为测距边实测边长长度(m); Y_m 为归算边两端点横坐标平均值(km); R_m 为测距边中点的平均曲率半径(km); H_m 为测距边两端相对于参考椭球面的平均大地高程(m); R_a 为归算边方向法截弧曲率半径(m); M 为子午圈曲率半径(km); N 为卯酉圈曲率半径(km)。为计算方便, R_a 在此按 R_m 近似取值, H_m 近似按现场平均高程取值。为计算方便 Y_m 取两端点为同一点,即 Y_m 为某点的横坐标值 Y 。经计算后整个测区内测距边长度投影变形均应满足规范要求,否则就应该按规范要求优化原坐标系统或建立独立坐标系^[2]。

2.3 选择高精度平面控制网起算点

选择坐标系统后,就应对收集到的控制点进行检测和甄别,如检测发现部分控制点差异较大,就应采取综合分析的方法进行筛选甄别,排除可疑的控制点,以免因起算点的精度问题影响整个平面控制网的精度。

在生产案例中,经常发现在检测后发现控制点差异较大。造成这种现象的原因比较多,有的是控制点本来精度有限,有的是收集的坐标系统参数不详或转抄有误,还有的是控制点已被“迁移”等等。因此在特殊情况下需考虑建立高精度起算控制点,主要方法有以下几种:

1) 采用全站仪配合磁北仪来确定起算控制点坐标值。

2) 利用双频GPS接收机测定一条基线,用基线计算结果来获取米级精度的起算控制点WGS84的坐标值,并采用SBAS(MASAS/WAAS/EGNOS)进行检核。

3) 采用星站差分系统来获取分米级别的WGS84的坐标值,如美国NAVCOM公司的StarFire系统、Fugro公司的OminiSTAR系统及subcea 7公司的Veripos系统。

4) 利用联测IGS跟踪站的方法获取厘米级精度WGS84的控制点成果。IGS星历采用ITRF国际地球参考框架,它是通过对框架的定向、原点、尺度和框架、时间演变基准的明确定义来实现的,同时它与WGS84坐标基准都属于现代意义上的大地测量基准。虽概念上有差别,但实际上站点的坐标

差异很小,在实际生产中可以忽略不计,因此获得了GPS控制网起算点的ITRF 坐标就相当于获得了控制网的WGS84 的坐标基准起算点,目前精密星历使用的是ITRF2008 参考框架^[3]。

目前和IGS国际地球参考框架联测数据处理方法有两个:1) 下载野外观测相对应的观测时段的跟踪站观测数据,并使用商业处理软件如:TBC、SKI- PRO等进行基线处理,但这种方法对长基线的解算非常困难。2) 利用IGS各机构的online processing服务,对GPS网点的观测数据进行在线处理,如AUSPOS(澳大利亚测量与国土信息组)、SOPAC(南太平洋应用地学委员会)和OPUS(美国国家大地测量局及美国海洋与大气管理局)。用户只需要将野外观测到的GPS 原始数据转换为RINEX 格式,同时将野外观测时GPS 接收机的天线类型和天线高上传到处理网站即可获得观测点基于ITRF2008 框架下的坐标和精度信息的数据处理报告,见图1。

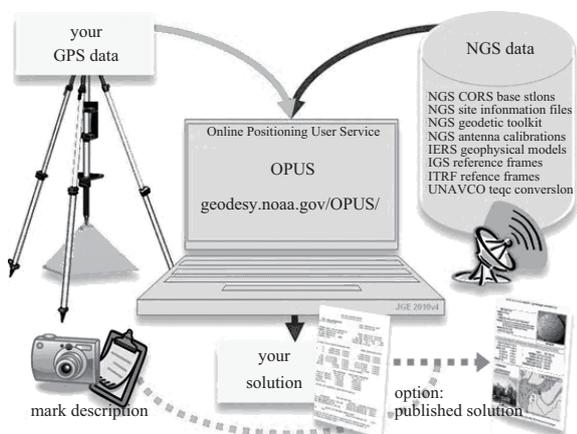


图1 IGS机构online processing服务示意图

2.4 其他

常规平面控制内外业测量工作。控制网成果检测及精度评价,并提供坐标系之间(如现坐标系、国家坐标系或WGS84坐标系)转换关系。

3 吉布提某项目案例分析及相关技术问题探讨

3.1 坐标系统的分析及优化

吉布提某项目整个测区范围呈东西走向,全长约21 km,区域内高程变化范围大致为-157~200 m。坐标系统为WGS84, UTM投影, zone 38N, 中央子午线45°,归算投影面高程为0 m。经式(1)和(2)计算,其综合变形值约为

49~64 cm/km,超过规范要求。根据需要自定义了两套坐标系,分别取名为港区坐标系及线路坐标系,中央子午线42°21',WGS84椭球,高斯投影,归算投影面高程分别为0 m及100 m^[4]。

为帮助非测量专业的设计人员对边长变形有更直观的认识,以本项目为例,取平均纬度为11°32', 中央子午线为45°, 投影面高程取海拔高程0 m, 按式(1)和(3)计算出两种投影在不同位置不同高度的情况下每公里长度投影变形值,见表1及图2。

表1 单位长度投影变形值统计

位置	与中央子午线经度差/(°)	A/ (mm·km ⁻¹)	B/ (mm·km ⁻¹)	海拔高度/ m	C/ (mm·km ⁻¹)
43°20'	-100	409	9	-800	126
43°40'	-80	262	-138	-640	101
44°0'	-60	147	-253	-480	75
44°20'	-40	65	-335	-320	50
44°40'	-20	16	-384	-160	25
45°0'	0	0	-400	0	0
45°20'	20	16	-384	160	-25
45°40'	40	65	-335	320	-50
46°0'	60	147	-253	480	-75
46°20'	80	262	-138	640	-101
46°40'	100	409	9	800	-126

注: A为高斯投影每公里长度投影变形值, B为UTM投影每公里长度投影变形值, C为高程变化引起的每公里长度投影变形值。

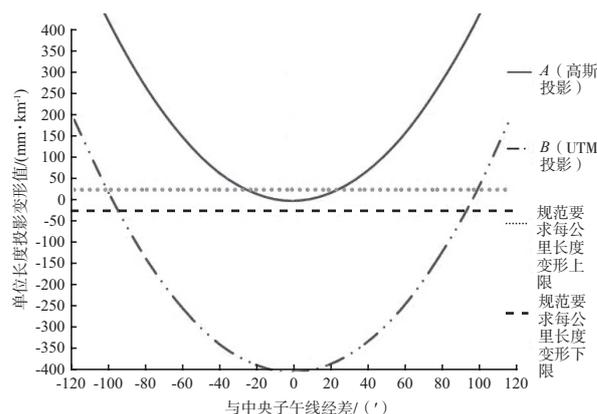


图2 长度投影变形比较

从以上图表可以得出两个结论:1) 影响长度变形的因素跟区域位置和区域高度有关;2) 长度投影变形满足规范要求的区域有限,只有落在两条点线之间的位置才满足规范要求,故只有在对应区域才可以使用该坐标系进行设计或施工,其他大部分区域均应考虑优化原坐标系或建立独立坐标系。

近年来,经常出现业主要求使用的坐标系统无法满足规范要求的情况,各单位关于坐标系统的协调和讨论也屡见不鲜,主要原因和相关影响见表3和表4。

综合建议:在项目初期就应会同业主及相关设计单位达成一致,如业主指定的坐标系统无法满足规范相关要求,就应按规范选择适合的坐标系统进行设计、施工,并同时要求提供与其它坐标系的转换方法,以满足业主对坐标系统的要求。

3.2 现有控制点分析及高精度起算控制点WGS84坐标获取

1) 已有控制点检测及甄别。

现场收集到3个控制点,资料上写清楚是WGS84坐标,UTM投影,38N。见表5。

从获取的起算资料来看,其中两个点业主已明确被破坏或移动,为此采用GPS静态测量按D级GPS控制测量的要求对上述3点进行检测,经TBC软件自由网平差后检查情况见表5。

表3 关于坐标系统相关问题原因

时期	建设规模	测量方式	与其他项目的协调	职能部门的要求
以往	建设规模小,长度变形随范围增大而增大,可变形不大不予考虑	各设计、施工单位均采用测距及光学测量,均不涉及或不考虑投影变形	大多为单一项目,不考虑与周边项目的衔接	要求简单,申报存档即可
近几年	建设规模大,范围广,问题凸显出来	GPS定位技术,必须考虑投影变形	周边项目多,需考虑城市规划及其他重点基础设施建设的协调	管理规范化, GIS系统,测绘信息库发展迅速,必须对坐标系统规范化管理

表4 选择坐标系统相关影响

方式	难易程度	工可阶段的影响	对施工的影响	对外衔接工程的影响	对项目的影响
沿用某坐标或直接指定某坐标系	简单	建议只提供经纬度大地坐标	需重新建立施工坐标,有时还需要修改前期设计图纸的坐标	必须进行控制点联测	对大区域大项目影响很大,严重时会影响构筑物的尺寸无法满足竣工验收要求,
坐标系统比选及优化	较复杂,需同时提供两套坐标或转换关系	可直接提供任意一套坐标	可直接采用优化后坐标设计施工	可进行简单的转化	均无影响

表5 起算资料检测结果

点号	业主提供		自由网平差结果		坐标差值		提供坐标边长/m	实测边长/m	边长差值/m	边长端点
	N/m	E/m	N/m	E/m	$\Delta N/m$	$\Delta E/m$				
BM0	1 275 568.600	229 846.376	1 275 569.830	229 846.910	-1.230	-0.534	828.516	828.909	-0.393	BM0-BM1
BM1	1 276 345.728	229 559.130	1 276 347.284	229 559.414	-1.556	-0.284	942.973	943.470	-0.497	BM1-BM2
BM2	1 275 471.768	229 913.236	1 275 472.911	229 913.826	-1.143	-0.590	117.672	117.775	-0.103	BM0-BM2

从表5来看,坐标差值及边长差异都比较大。首先可以明确,通过单基线解算及自由网平差得到的WGS84坐标的精度是有限的,至少是米级的精度;其次是采用相同投影其提供坐标反算边长与实测边长仍存在较大差异,按照CLARKE1880椭球参数平差计算后情况依然一样,证明业主提供的控制点确实有程度不同的损坏,因此必须采用其它手段获取测区控制点较高精度的WGS84坐标。

2) 获取测区较高精度的起算坐标的方法。

针对2.3所述的4种方法,结合本项目对相关

方法进行了比选,见表6。

在选定方法4后,先后4次对多个控制点进行了6 h的连续性观测,D22观测及计算后的结果见表7。

从表7可以看出:各服务机构的online processing计算的结果基本一致;使用不同时期的长时间观测数据计算后的坐标值与其平均坐标值的差异都比较小,按规范可考虑作为测区首级控制的起算资料;解算结果与业主提供的坐标值比较,尽管控制点都有所破坏,但相差最小的约20 cm左右,控制点保存较好的相差最小,约10 cm左右,说明绝对精度比较可靠。

表6 起算控制点坐标确定方法比选

方法	精度	设备要求及费用	难易程度及时间	是否需要与其它坐标系统进行联测	综合评价
全站仪+磁北仪	相对精度较高	设备简单、费用低	简单, 时间短	必须与国家坐标系统或WGS84坐标系统的控制点进行联测, 求取转换参数	不推荐
双频GPS+SBAS	米级精度	费用低	较简单, 时间较长	获取的WGS84精度低, 仍需求取转换参数	不推荐
星站差分系统	分米级精度	费用较高	比较复杂, 需专门设备及开通有偿服务的差分信号	获取的WGS84精度较高, 基本满足工程建设的要求, 无须求取转换关系	较好
联测IGS跟踪站	厘米级精度	目前免费	较简单, 观测时间长, 建议6 h	获取ITRF坐标精度很高, 基本接近WGS84的坐标, 满足相关规范要求	好

表7 解算结果比对

算法	日期	WGS84坐标		UTM投影(中央子午线45°)		控制点点名: D22 与平均值之差	
		B	L	N/m	E/m	$\Delta N/m$	$\Delta E/m$
AUSPOS网站解算结果	2013-02-15	11°32'34.996 18"	42°29'59.595 38"	1 277 217.377	227 310.096	-0.001	-0.003
	2013-02-24	11°32'34.996 20"	42°29'59.595 60"	1 277 217.378	227 310.102	0.000	0.004
	2013-03-02	11°32'34.995 97"	42°29'59.595 08"	1 277 217.371	227 310.087	-0.007	-0.012
	2013-04-02	11°32'34.996 49"	42°29'59.595 83"	1 277 217.387	227 310.109	0.008	0.011
	平均值			1 277 217.378	227 310.099		
OPUS网站解算结果	2013-02-15	11°32'34.996 15"	42°29'59.595 83"	1 277 217.376	227 310.109	0.004	0.004
	2013-02-24	11°32'34.996 09"	42°29'59.595 82"	1 277 217.374	227 310.109	0.003	0.003
	2013-03-02	11°32'34.995 69"	42°29'59.594 87"	1 277 217.362	227 310.080	-0.009	-0.025
	2013-04-02	11°32'34.996 09"	42°29'59.596 31"	1 277 217.374	227 310.124	0.002	0.018
	平均值			1 277 217.372	227 310.106		
2种算法较差						0.006	-0.007

3.3 与其它坐标系统转换

由于起算数据采用国际通用的WGS84坐标, 不再做其它坐标系统的转换。

3.4 成果检测

采用全站仪实测各控制点间边长对本项目控制点坐标成果进行了检测, 其边长差值均满足规范的投影长度变形要求, 见表8。

表8 边长检测比对

点名	全站仪实测距离/m	新坐标反算距离/m	差值/m
D25-D27	788.39	788.384	0.006
D25-D28	1 017.374	1 017.363	0.011
D25-D22	2 533.568	2 533.543	0.025
D16-D15	822.116	822.104	0.012

4 结语

1) 无论在工程的哪一个阶段, 按规范要求选择适合的坐标系统, 并提供所选坐标系统与该国国家坐标系或国际上较为通用的WGS84坐标的转换关系, 设计及勘测技术人员都应该正视并重视这一问题。

2) 建议对收集到的起算资料进行检测及甄别。

3) 建议在自己测定平面控制网的起算坐标时, 优先考虑使用星站差分系统及联测IGS跟踪站或采用IGS各机构的online processing服务。

4) 设计、勘测及施工工程技术人员应加强沟通协调, 尽早对坐标系统及测量控制点的相关事宜达成一致。同时建议对外来的测量成果除确认资料可靠性之外, 还应更多关注以上相关内容。

参考文献:

[1] GB 50026—2007 工程测量规范[S].
 [2] 陈健, 晁定波. 椭球大地测量学[M]. 北京: 测绘出版社, 1989.
 [3] 史子乐. 利用联测IGS跟踪站方法提高GPS控制网起算数据精度[J]. 北京测绘, 2008(3): 27-28.
 [4] 陈顺宝, 任建春, 齐月, 等. 抵偿任意带高斯投影平面坐标系选择的研究[J]. 测绘通报, 2005(7): 21-23.

(本文编辑 武亚庆)