

GPS 技术在无锡市轨道交通工程中的应用

秦政国, 陶利

(无锡市测绘院有限责任公司, 江苏 无锡 214031)

摘要 本文介绍 GPS 技术在无锡市地铁一、二号线的控制测量中的应用, 具体阐述了 GPS 控制网布设过程包括精度设计、选点埋石以及观测方法等, 对控制网的数据处理结果进行统计并对复测成果进行了分析, 针对 GPS 技术在城市地铁控制测量中的应用总结了几点经验。

关键词 GPS 城市轨道交通 地铁 控制测量

中图分类号: P228.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-4097(2011)05-0034-03

1 工程概述

2008年4月, 国务院批准同意启动第二批城市快速轨道交通建设规划审批工作, 无锡市进入近期审批工作城市名单, 同年11月国家正式立项批准无锡市城市快速轨道交通项目。

无锡市轨道交通线网由5条线组成, 近期建设一、二号线, 测区范围为北纬 $31^{\circ}27' \sim 31^{\circ}41'$, 东经 $120^{\circ}13' \sim 120^{\circ}25'$, 工程线路呈“十”形, 一号线南北走向, 南至雪浪山, 北至堰桥公园, 全长30 km, 沿途设有26个站点; 二号线贯通西东, 东至吼山, 西至青龙山, 全长25 km, 沿途设22个站点。无锡市轨道交通一、二号线平面控制网分级布设, 首级网采用GPS技术布设, 全网共布设GPS控制点58个(包含6个城市控制点), 分布于线路起点、终点、车站及车场附近, 点间平均间距约2.1 km, 控制网于2008年11月建成。

2 GPS 控制网技术设计

2.1 GPS 控制网精度设计

《城市轨道交通工程测量规范》中对GPS控制网精度及相关指标有明确要求, 主要技术指标如表1所示。

表1 GPS 控制网主要技术指标

平均边长 (km)	最弱点的点位中误差(mm)	相邻点的相对点位中误差(mm)	最弱点的相对中误差
2	±12	±10	1/100000

由于城市轨道交通的特殊性, 控制点间距短, 平均边长只有2—3 km, 规格相当于城市四等, 但是精度指标要求却略高于传统的三等网, 为保证点位的精度满足要求, 结合无锡市城市控制网以后的建设情况, 决定对无锡市轨道交通一、二号线GPS控

制网按C级网的观测精度进行观测, 对6个城市控制点按B级网的观测精度进行观测。

2.2 GPS 控制点的选点与埋石

为便于施工, 控制点均沿轨道线走向布设, 大部分控制点选在建筑物楼顶, 与地面联测方便, 共选线路控制点52个, 每个车站旁至少设有一个控制点, 点间至少有两个方向通视, 两条线路交汇处控制点相对密集, 同时, 在测区范围内及周边区域选择了6个城市原有控制点组成骨干网。全网首次观测由201条基线, 控制网图如图1所示。

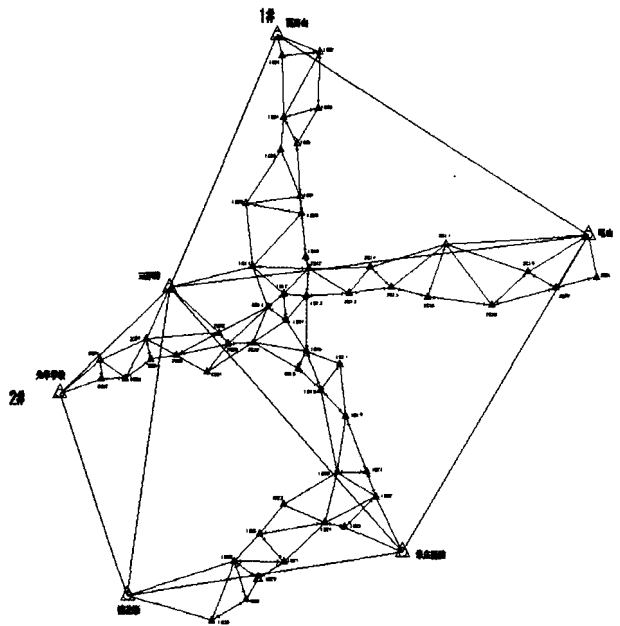


图1 无锡市轨道交通一、二号线工程GPS控制网示意图

为保证控制点的稳定性, 减少对中误差使用强制对中观测墩, 地面点观测墩是用钢筋扎好框架结构后现场以碎石混凝土浇筑, 建筑物上的观测墩采用三角钢架, 角钢底角采用直径8 mm长5 cm的膨胀螺丝固定于承重墙面, 然后用混凝土将钢架角与楼顶结合处浇固。

2.3 GPS 控制网的施测

GPS 控制网采用 6 台 Trimble 5700 GPS 接收机进行观测,仪器标称精度为 $5\text{ mm}+1 \times 10^{-6} \times d$ 。控制点同步观测两个时段,6 个城市骨干网点每个时段 8 小时,线路控制点每个时段 60 分钟,观测技术指标如表 2 所示。

表 2 GPS 控制网观测技术指标

接收机标称精度	卫星高度角($^{\circ}$)	数据采集间隔(s)	重复设站数	闭合环或符合线路的边数	同步观测接收机台数
$5\text{ mm}+1 \times 10^{-6} \times d$	15	10	>2	≤ 6	6

3 GPS 控制网的数据处理

3.1 基线向量的解算

基线向量的解算采用美国 Trimble 公司的 TGO1.63 进行,解算前对数据进行预处理,对观测质量不好的数据进行剔除,解算后对不理想的解算成果进行干预,或改变卫星高度角,或对观测值残差比较大的时段进行删除、或选取不同的参考卫星等进行重新解算。对解算结果进行重复基线、同步环与异步环闭合差检验与统计分析,主要精度如表 3~表 5 所示。

表 3 重复基线较差分布情况

较差分布区间(ppm)	0.0~2.0	2.0~4.0	4.0~6.0	6.0~8.0	最大值
重复基线条数	28	18	7	4	7.4
百分比	49.1%	31.6%	12.3%	7%	

表 4 同步环闭合差分布情况

闭合差分布区间(ppm)	0.0~1.0	1.0~2.0	2.0~	最大值
同步环个数	329	15	0	1.5
百分比	95.6%	4.4%	0%	

表 5 异步环闭合差分布情况

闭合差分布区间(ppm)	0.0~1.0	1.0~2.0	2.0~	最大值
异步环个数	147	20	5	2.7
百分比	85.4%	11.6%	3%	

3.2 GPS 控制网的平差

三维无约束平差的目的主要有三个方面:一是进行粗差分析,以发现观测量中的粗差并消除其影响;二是调整观测量的协方差分量因子,使其与实际精度相匹配;三是对整体网的内部精度进行检验和评估。可以通过基线向量三个分量的改正数的大小,最弱点的点位中误差,最弱边的相对精度以

及验后单位权中误差来衡量基线解算值质量。

GPS 控制网平差计算采用武汉大学测绘学院的 CosaGPS 软件,平差以“吼山”作为固定点,在 WGS84 系下单点定位坐标,为了获得未知点平差后相一致的点位误差,对整网进行了整体平差,最弱点 1G30 点位中误差 0.94 cm,最弱边 1G10-2G12 长 501.378 m,边长相对中误差 1/583000,所有基线向量的改正数分布情况如表 6 所示。

表 6 无约束平差基线向量改正值分布情况

改正数区间(cm)	0.0~1.0	1.0~2.0	2.0~2.7	最大值
$V_{\Delta x}$	232	26	0	1.68
$V_{\Delta y}$	217	32	9	2.65
$V_{\Delta z}$	230	28	0	1.78

从表中可以看出基线向量的改正数均小于 0.03 m,结合无约束平差结果的精度信息,说明 GPS 网外业观测和基线处理结果很好,整网具有较高的内部符合精度。

无锡轨道交通工程独立坐标系下的平差为了不破坏 GPS 网的高精度,按规范要求对 GPS 控制网按独立网原则进行平差数据处理,为了兼顾与无锡城市坐标系的最大兼容性,采用了在无锡城市坐标系下的独立坐标系,固定一个基准点和一条边的方位角来进行平差。为了避免控制点的等级差别给控制网带来系统性误差,在进行整网平差前进行了起算控制点兼容性分析,通过不同组合分析,选取了平差成果与城市控制点原坐标最接近且平差后单位权中误差最小的一组,即以国家一等三角点“三茅峰”作为起算点,“三茅峰”至省 C 级网点“吼山”的方向作为起算方向进行平差。平差后最弱点 1G30 点位中误差 0.34 cm;最弱边 1G10-2G12,边长 501.290 m,边长相对中误差 1/423000。

3.3 GPS 控制网检核测量

为了检核本控制网的可靠性,对该平面控制网进行了外业检测,运用 Leica TCA2003 全站仪,其测角标称精度为 0.5",测距标称精度为 $1\text{ mm}+1\text{ ppm}$ 。共检测了 4 条边长,检测结果如表 7 所示。

表 7 基线向检测精度统计表

基线	实际长度(m)	检测长度(m)	较差(mm)	相对精度
1G03-1G02	2365.7610	2365.7644	3.4	1/690000
1G27-1G28	2172.4540	2172.4551	1.1	1/1970000
2G05-2G03	1400.4920	1400.4906	-1.4	1/1000000
2G18-2G16	2794.4650	2794.4680	3.0	1/930000

从两者比较结果可以看出,GPS 观测边精度良

好,能够满足高精度施工控制网的要求。

4 控制网的复测

2009年3月控制网成果通过了专家的评审验收,并向委托单位提交了成果。同年五月地铁一号线工程开始启动,为保证施工顺利进行,我公司按照原布网的精度要求对一号线以及二号线靠近沪高铁无锡东站的控制点进行了复测。共复测GPS控制点36个,复测后新成果与原成果较差统计见表8。

表8 复测成果与原成果较差统计表

坐标较差区间(mm)	0~10	10~20	最大值	平均值
点数	34	2	14.2	5.7

复测网成果与原测网成果进行比较分析的指标主要看两期GPS网的二维约束平差坐标是否有显著的差异。根据《城市轨道交通工程测量规范》规定,GPS控制网最弱点点位中误差 $m_p \leq 12$ mm的要求,GPS控制网两期点位较差的允许值应为:

$$\delta p = 2\sqrt{2}m_p = 34 \text{ mm}$$

点位较差根据网的两期二维平面坐标按下式计算

$$d_p = \sqrt{(x_p^2 - x_p^1)^2 + (y_p^2 - y_p^1)^2} = \sqrt{dx_p^2 + dy_p^2}$$

故两期网点坐标之差应满足下式的要求: $d_p \leq \delta p = 34 \text{ mm}$

通过复测成果与原成果的比较,点位坐标较差最大为14.2 mm,小于允许值34 mm,说明原测网的点位稳定可靠,原测成果可以用于施工。

5 结束语

GPS技术以其独特优势在精密控制测量方面得到越来越广泛的应用,由于城市轨道交通控制网的特殊性,下列因素值得在实际工作中重视:

(1) GPS观测数据质量的好坏与观测条件有

很大关系,沿线大部分为市区,高层建筑物选点时应尽量避免遮挡,避开大功率信号源,由于已有的城市高等级控制点一般位于山顶,多路径效应比较严重,测量前宜对观测条件进行改善,与线路控制点联测时适当增加观测时间。对于在选点埋石时有些沿线单位不配合,要争取市政府相关部门的支持。

(2) 控制点宜建立强制对中观测墩,既较好保证点位稳定性,又减少对中误差对成果的影响,建筑物上的观测墩应尽量减小重量,做得美观且能与建筑物浑然一体。

(3) 选择合理的起算点至关重要,起始数据对控制网成果精度有非常大的影响,约束平差时兼容性不好的起算点会引起GPS网变形,严重损害整网的精度。采用工程独立坐标系时应考虑与现有城市坐标系的关系。

(4) 为了便于与其他工程联合施工,除提供轨道工程独立坐标系下的平面坐标成果外,还应提供多种坐标系下的成果,包括1954年北京坐标系、1980西安坐标系、城市坐标系下的成果,并建立相互转换关系。

(5) 为确保控制成果的可靠性,根据规范的要求和工程建设区域的实际按一定的频率对控制网进行复测。

参考文献

- 1 中华人民共和国建设部 GB50308-2008 城市轨道交通工程测量规范[S].北京:中国计划出版社,2008.
- 2 秦长利.城市轨道交通工程测量[M].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- 3 中华人民共和国建设部 CJJ 8-99,城市测量规范[S],北京:中国建筑工业出版社,1999.
- 4 国家质量技术监督局 GB/T18314-2001 全球定位系统(GPS)测量规范[S],北京:中国标准出版社,2001.
- 5 杨敬东,等.成都市地铁一号线控制网的布设,四川测绘,2006,29(1):7,43-45.

The Application of GPS Technology in Wuxi Urban Rail Transit Engineering

QIN Zheng-guo, TAO Li

(Wuxi Surveying and Mapping Institute Co., Ltd., Wuxi Jiangsu 2140013, China)

Abstract This paper introduces the application of GPS technology in control surveying of No. 1 and 2 subway line in Wuxi, describes the process of establishing GPS control network, including the accuracy design, reconnaissance, building point mark, observation methods and etc, analysis the results of data processing and repeated survey of control Network, summarizes a little of experience about using GPS technology in the urban metro control surveying.

Key words GPS; urban rail transit; metro; control surveying