

# CORS 系统加密控制点在地铁 GPS 控制网测量中的应用

董武钟

(四川电力设计咨询有限责任公司,四川 成都 610016)

**摘要:**连续运行参考站系统(CORS)是一个或若干个固定的、连续运行的 GNSS 参考站,它将尖端科技领域的卫星定位技术和地理信息技术、通信技术、先进的软件开发技术有机地结合在一起,为用户提供全新、透明、可视、实时的测量服务。目前,在我国许多省、市都已经建立了 CORS 站,其被广泛地应用在多个领域。在城市地铁的修建过程中,市区原有平面控制点往往无法满足地铁 GPS 控制网布设的要求。文章以杭州地铁某标段作为实验对象,采用 CORS 系统加密平面控制点,同时分析加密控制点与既有控制点之间的兼容性,然后利用加密控制点进行二维约束平差,论证将 CORS 系统加密的控制点用于地铁控制网起算点的可行性。

**关键词:**CORS 系统;GPS 控制网;控制点加密

**中图分类号:**P228

**文献标志码:**A

**文章编号:**1000-582X(2014)S2-140-4

CORS 系统是指利用现代计算机、数据通信和互联网(LAN/WAN)技术组成的网络,实时地向不同类型、不同需求、不同层次的用户自动地提供经过检验的不同类型的 GNSS 观测值(载波相位和伪距)、各种改正数、状态信息以及其他有关 GNSS 服务项目的系统<sup>[1-2]</sup>。目前,全国部分省、市也已初步建成或正在建立类似的省、市级 CORS 系统。CORS 站具有观测条件好、数据连续性强、质量好和站点稳定性高的优点,因此可作为区域框架的起算依据。

本文用杭州地铁二期某标段作为实验对象,杭州地铁二期工程包括 2 号线二期、4 号线一期、5 号线工程、6 号线一期工程,总长度 108 km,共计 83 个车站、2 座车辆段、2 座停车场以及 3 座主变电站。二期工程范围广,途径地段地理环境比较复杂:一部分区段地处繁华闹市区,高楼林立,原有控制点破坏严重或者信号欠佳;另外一部分地处郊区,原有控制点没有覆盖该区域。通过以上的介绍并结合实际情况进行分析,可知原有的城市控制点分布情况无法满足首级控制网布设的要求,故将 CORS 站纳入本次首级控制网测量。

## 1 GPS 平面控制网布设

### 1.1 已有控制点资料

根据杭州地铁二期工程的线路走向和杭州市既有平面控制网的情况,结合与相邻地铁衔接要求,收集了杭州市既有国家 C 级 GPS 控制点 1 个、杭州市 CORS 基站点 6 个和其他地铁控制点 7 个。

### 1.2 控制网布设主要技术指标

轨道交通 GPS 控制网的精度指标,主要是满足《城市轨道交通工程测量规范》GB50308-2008 中首级平面控制网的技术指标规定,见表 1。

表 1 卫星定位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	最弱边的相对中误差/mm	与原有控制点的坐标较差/mm	不同线路控制网重合点坐标较差/mm
2	±12	±10	1/100 000	≤50	≤25

### 1.3 控制网布设原则

GPS 框架网以方便杭州市地铁各线路卫星定位

控制网(GPS 基本网)的联测,保证网形强度及精度为主要原则布设。点位分布能够覆盖地铁线网内的各条线路,考虑线路的交叉换乘和远景发展,布设控制点要便于联测和提高控制网的图形强度。具体布网原则如下。

1)控制网内重合 3~5 个现有城市一、二等控制点,控制点均匀分布;在不同线路交叉有联络线处或同一线路前后工程衔接处布设 2 个以上重合点,重合点坐标较差满足相关要求;

2)控制网沿线路两侧布设,控制点布设在隧道入口、竖井或车站附近,车辆段附近布设 3~5 个控制点,相邻控制点满足通视要求<sup>[4]</sup>;

3)分析杭州市总体规划和建设情况资料,使网点布设在近期以及中远期没有新建设项目的区域内,便于控制点的长期保护。

综合以上的分析,本次实验中控制网采用边

连式方法进行布设,每个控制点都有 2 条以上基线相连,全网共布设控制点 74 个。

## 2 CORS 站加密控制点与已有控制点兼容性分析

由于杭州地铁二期工程线路控制网范围广,测量周期长,如果直接使用 CORS 站的数据将加大项目的成本,故没有直接使用 CORS 站数据进行联测,而是从已经布设好的控制网中选择了 14 个控制点(其中有国家点 1 个、已建地铁控制点 2 个和新埋设控制点 11 个),在保证控制网精度的情况下采用规划局的 6 个 CORS 站加密高等级控制点成果。

对 CORS 站加密控制点中的 1 个国家点,2 个已建地铁控制点进行稳定性和兼容性分析,以验证 CORS 站加密成果与已有控制点的兼容性,结果对比见表 2。

表 2 结果对比表

序号	点名	最新坐标		既有坐标		坐标较差	
		X/m	Y/m	X/m	Y/m	$\Delta X/mm$	$\Delta Y/mm$
1	GC436	XXXXX.8870	XXXXX.2900	XXXXX.8900	XXXXX.2850	3.0	-5.0
2	DG201	XXXXX.5060	XXXXX.4470	XXXXX.5080	XXXXX.4480	2.0	1.0
3	DG71	XXXXX.4740	XXXXX.7130	XXXXX.4730	XXXXX.7290	-1.0	16.0

通过表 2 得出以下结论:既有控制点的最新坐标与既有坐标在 X 方向最大差值为 3 mm,最小差值为 1.0 mm;Y 方向最大差值为 16.0 mm,最小差值为 1.0 mm,均小于表 1 规范要求,表明加密的控制点与已有控制点相互兼容,CORS 加密的控制点成果能够满足轨道交通一等 GPS 控制网的要求,可作为地铁二期工程 GPS 控制网的起算数据。

## 3 观测实例

为了验证以上的结论,作者通过实验进行分析。本次 GPS 外业观测共投入 9 台 GPS 接收机进行观

测,外业观测的要求严格按照规范要求执行。

### 3.1 GPS 控制网基线处理

采用“Leica LGO 7.0 GPS 数据处理系统”进行基线解算,在基线解算过程中,所有基线长度中误差(在 Leica LGO 7.0 GPS 数据处理系统”为基线的平面精度)均小于  $2\sigma$ ;如基线长度中误差大于  $2\sigma$ ,该基线不保存输出。对同步环闭合差,异步环闭合差,重复基线较差进行检核。基线解算合格后,输出基线成果。

基线解算处理结束后,对异步环环闭合差和重复基线较差进行精度评定,表 3 为异步环环闭合差评定。

表 3 异步环环闭合差评定

	开始	到	结束	基线长/m	闭合差/mm	PPM	相对误差
最小	41GPS08	41GPS01	41GPS07	19 762.5430	0.17	0.01	1:>1 000 000
最大	51GPS09	51GPS05	51GPS08	9 195.6237	45.46	4.94	1/202 279

全网共有 187 个异步环,环闭合差最大值环为: 51GPS09-51GPS05-51GPS08,其基线长为 9 195.6237 m,故:

环闭合差最大值为:

$$\sigma = \sqrt{[(10 \times 10) + (2 \times 9.2/3) \times (2 \times 9.2/3)]} = 11.73 \text{ mm}$$

$$45.46 \text{ mm} < \text{限差 } 2 \times \sqrt{(3 \times 3) \times 11.73 = 70.38 \text{ mm}}$$

表 4 复测基线较差评定

	开始	结束	基线长/m	较差/mm	相对误差
最小	51GPS16	51GPS15	560.684 7	0.004 6	1: >1 000 000
最大	22GPS05	51GPS25	7 916.258 3	27.131 3	1/291 776

全网共有 564 条复测基线,复测基线较差最大值为 22GPS05—51GPS25,其基线长为 7 916.258 3 m,故  $\sigma = \sqrt{[(10 \times 10) + (2 \times 7.9) \times (2 \times 7.9)]} = 18.73$  mm,复测基线较差最大值为:27.131 3 mm < 限差  $2 \times \sqrt{2} \times 18.73 = 52.95$  mm。

异步环闭合差、复测基线较差,均符合《城市轨道交通工程测量规范》GB50308—2008 要求,说明本次 GPS 测量所构成的网形具有较好的内符合精度。

### 3.2 GPS 控制网平差计算

将处理好的基线文件导入“武汉大学的 CoasGPS

软件”进行平差计算,将收集的国家点、CORS 站加密的控制点和已建地铁的控制点均纳入作为二维平差控制点。数据处理结果如下表所示。

表 5 最弱点精度

No.	Name	MX /cm	MY /cm	MP /cm
55	51GPS36	0.29	0.31	0.42

表 6 最弱边精度

No.	FROM	TO	A/dms	MA/s	S/m	MS/cm	MS:S	ppm
64	22GPS06	22GPS07	24.564 16	1.14	323.33 95	0.15	1/212 000	4.7

分析上面 2 个表格,整网平差的结果中最弱点为 51GPS36,其点位中误差 0.42 cm < 限差 1.20 cm;最弱边为 22GPS06—22GPS07,其相对中误差 1/212 000 < 限差 1/10 000,均满足《城市轨道交通工程测量规范》GB50308—2008 中的卫星定位控制网的主要技术指标要求。

由二维平差资料分析相邻点的相对点位中误差最大的边为 51GPS35—51GPS36,其坐标分量相对中误差分别是  $mdx = 0.36$  cm 和  $mdy = 0.38$  cm,计算

相邻点的相对点位中误差为 0.52 cm < 限差 1.00 cm,满足规范要求。

### 3.3 GPS 控制网的边长检测

为确保工程一等 GPS 平面控制网的可靠性,按规定对成果进行自检查后,按《城市测量规范》二等网边长测量要求,在轨道交通工程一等 GPS 平面控制网中测定 3 条边长,对 GPS 网精度进行检验,检测情况见表 7。

表 7 工程一等 GPS 平面控制网边长外业检测精度评定

序号	检测边	Xa/m	Yb/m	S/m	检测	$\Delta S/m$	$\Delta S/S$	限差	备注
		Ya/m	Yb/m		S/m				
1	41GPS01	XXXXX.7501XXXXX.9549		460.549 6	460.552 9	0.003 3	1/139 560	1/100 000	符合要求
	-41GPS02	XXXXX.0222XXXXX.9883							
2	51GPS13	XXXXX.5254XXXXX.5169		741.393 8	741.396 4	0.002 6	1/285 151	1/100 000	符合要求
	-51GPS14	XXXXX.5416XXXXX.8158							
3	61GPS16	XXXXX.0510XXXXX.7630		686.159 9	686.164 4	0.004 5	1/152 480	1/100 000	符合要求
	-61GPS17	XXXXX.8648XXXXX.8890							

轨道交通工程一等 GPS 平面网的边长检测,精度满足《城市轨道交通工程测量规范》GB50308—2008 的要求。

## 4 结论

本文通过论述,介绍了在城市原有控制点无法

(下转第 149 页)