

# 自由设站控制网在城市轨道交通中的运用

张利勇

(呼和浩特市城市轨道交通建设管理有限责任公司, 内蒙古 呼和浩特 010010)

**摘要:**基于呼和浩特市城市轨道交通工程 1 号线项目,根据自由设站控制网测量技术特点,将该技术应用于车站联系测量、地下导线控制网的建立、CPⅢ网的建立。对其测量精度进行分析,验证了自由设站控制网在新的测量模式下应用的可靠性。同时通过对自由设站控制网的城市轨道交通建设其他测量过程中延伸应用进行分析,阐述了自由设站控制网在轨道交通全过程中的应用,实现一网多用是可行的。

**关键词:**自由设站控制网;联系测量;导线控制网;CPⅢ网;测量精度

**中图分类号:**U239.5 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-0373(2021)01-0115-05

## 0 引言

近年来,我国城市轨道交通建设迅猛发展,未来一段时间内,城市轨道交通仍将进行大规模的建设和规划<sup>[1]</sup>。随着地铁设计时速的提高,人们对乘坐舒适性、运营维护高效性的要求日益提高,掌握地铁线路运行状态和持久保持轨道结构的高稳定性、平顺性,确保地铁列车安全、平稳运行,已成为地铁建设和运营的一个十分重要的研究课题,建立地铁轨道精密工程控制网是解决这一问题的有力探索。CPⅢ技术是我国高铁的成熟技术,是线上精密轨道施工、精密维修养护和监测、检测的基准和重要科学依据。将CPⅢ技术引入城市轨道交通建设和运营管理中,经历了轨道基础控制网和自由设站控制网 2 个过程。目前自由设站控制网普遍是在隧道贯通后进行建网,主要应用于轨道施工、轨道几何状态检测、运营维护测量,未能充分发挥自由设站控制网的作用,涵盖轨道交通施工、运营全过程。将自由设站控制网应用在轨道交通施工、运营全过程的工程极少,未见有相关报道。通过呼和浩特市城市轨道交通工程 1 号线项目,介绍自由设站控制网在轨道交通土建施工期间的合理应用,验证自由设站控制网在轨道交通全过程应用的可行性。

## 1 工程概况

呼和浩特市城市轨道交通 1 号线一期工程线路呈东西向布置,正线全长 21.9 km(不含出入线长度),全线共设 20 座车站,地下站 16 座,高架站 3 座,地面站 1 座,平均站间距 1.19 km。所有地下车站在施工过程中,联系测量均采用两井定向的方法将平面坐标和高程传递到车站底板控制点上。隧道贯通后,以车站底板上联系测量的成果为基准点,进行了隧道控制点恢复测量,在此基础上建立 CPⅢ控制网,为后期铺轨工程及运营维护提供测量基准<sup>[2]</sup>。其 CPⅢ建网模式为地面控制网(线路网)—地下控制网(联系测量、地下导线网)—自由设站控制网的方式,控制网采用分级布设,其中自由设站控制网处于第三级,其测量精度会有所下降,同时由于分级过程比较多,所有测量过程中平面坐标和高程都是分开进行测量,测量工作量比较大,导致测量效率偏低。以呼和浩特市城市轨道交通 1 号线一期工程内蒙古展览馆站—内蒙古博物院站—市政府站左线 3 站 2 区间为例,介绍该区段采用自由设站控制网替代地下控制网(联系测量、地下导线网),直接在地面控制网(线路网)的基础上建立隧道里的自由设站控制网,在确保测量精度

收稿日期:2020-07-06 责任编辑:车轩玉 DOI:10.13319/j.cnki.sjztdxxb.20200104

作者简介:张利勇(1977—),男,高级工程师,研究方向轨道交通工程。E-mail:370699431@qq.com

©1994-2021, China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

张利勇.自由设站控制网在城市轨道交通中的运用[J].石家庄铁道大学学报(自然科学版),2021,34(1):115-119.

的前提下,提高了测量工作效率,实现了一网多用。

## 2 自由设站控制网的应用

### 2.1 自由设站控制网技术要求

自由设站控制网以“自由测站、后方交会”的方式进行联测,每一测站间视距通视情况而定,一般不超过 120 m,使用的仪器为徕卡 TS15A1 / R400 全站仪,可进行自动观测,仪器精度满足规范要求,具体布点及观测要求如下:

(1)控制点测量组件采用精加工元器件(采用数控机床),由不锈钢材料制作。轨道基础控制点标志重复安装误差和互换安装误差 X、Y、Z 3 方向分别小于 0.4 mm、0.4 mm、0.2 mm,控制点组件、埋设均符合规范要求。

(2)自由设站控制网平面采用自由测站边角交会的方法测量,一般情况下,每个 CPⅢ 控制点有 3 个方向交会,自由测站到 CPⅢ 点的最远观测距离不大于 120 m,每个自由测站观测 4 对控制点,测站间重复观测 3 对控制点,如图 1 所示。

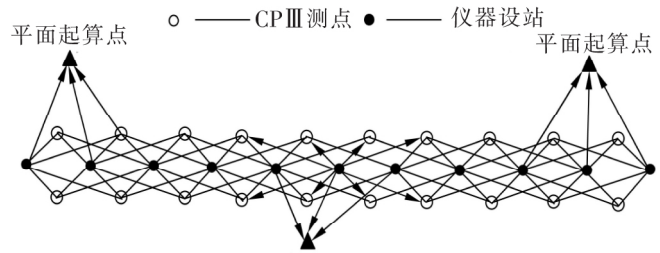


图 1 自由设站控制网平面图

(3)平面测量水平方向采用边角交会观测法进行观测,距离观测采用多测回距离观测法,均按照文献[3]相关要求执行。

(4)CPⅢ 平面网按照 3 站 2 区间作为 1 个区段,分段测量的区段长度大于 2 km,每隔 1 000 m 左右联测 1 个既有的高等级线路控制点。实际测量过程中以车站里采用自由设站方式传递到车站底板的控制点作为既有线路控制点。

(5)高程采用三角高程测量方法,自由测设站三角高程测量与平面控制测量合并进行,主要技术要求执行文献[3]的相关要求。

### 2.2 自由设站控制网替代施工阶段的联系测量和地下导线控制网

目前城市轨道交通联系测量和地下控制网普遍为平面和高程分开测量,平面联系测量通常采用一井定向、两井定向、导线直接快速法,高程传递通常采用悬挂钢尺法、电磁波测距三角高程法。地下控制网测量分平面控制测量和高程控制测量,常采用精密导线测量和几何水准测量,测量内容多、程序复杂,未能实现平面、高程控制一体化,同时联系测量和地下控制网分开进行。此次试验的内蒙古展览馆站—内蒙古博物院站—市政府站左线 3 站 2 区间采用自由设站控制网替代施工阶段的联系测量和地下控制网。充分利用自由设站控制网的优势:充分利用强制对中的优势,自由设站,无需对中,减少对中误差<sup>[4]</sup>;增加边角观测,增强观测数据的可靠性,增强网形强度,适当提高了控制点的相对点位精度<sup>[4]</sup>,实现平面坐标、高程控制一体化,减少测量工作量<sup>[5]</sup>,见图 2。

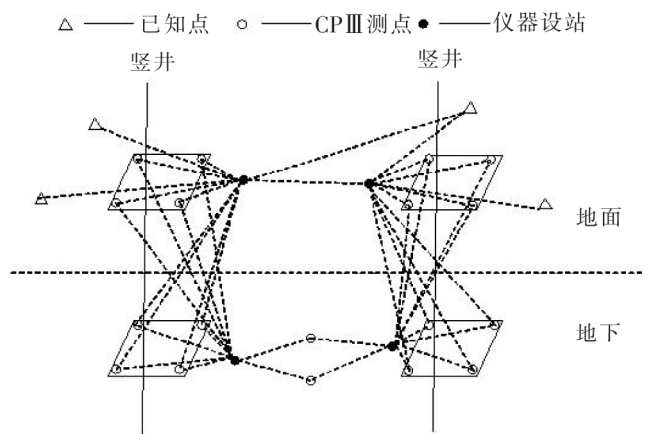


图 2 自由设站控制网坐标和高程同步传递(代替联系测量)

本次 3 站 2 区间内蒙古展览馆站、内蒙古博物院站、市政府站 3 个车站的联系测量均以车站附近的线路控制点或者精密导线点为基准,采用自由设站、后方交会测量方法将基准点三维坐标传递到各车站底板控制点上。当俯仰角大于 40°,且不能一站直接传递三维坐标时,在车站站厅层或竖井壁上成组布设强

制对中的三维控制点作为三维坐标传递过渡点,形成任意设站控制网测量线路,将地面线路控制网的坐标和高程传递到车站地下控制点,再将其与区间自由设站控制网联测,从而达到联系测量与区间自由设站控制网一次完成,省去了传统的两井定向、地下控制点恢复测量等测量过程。实际测量过程中,外业仅用了 2 d,完成了 3 站 2 区间隧道自由设站控制网的建立,包括从地面到地下的坐标、高程传递,地下隧道自由设站控制网的测量。相对于传统的三级布网模式,大大提高了测量效率。

### 2.3 数据处理及精度分析

对自由设站控制网外业数据 100% 检查无误后,按照文献[3]要求分别进行自由平差和约束平差。内蒙古展览馆站—内蒙古博物院站—市政府站左线区间自由平差精度满足规范要求。约束平差时,以各车站地面线路控制网点为基准点,对 3 站 2 区间自由设站控制网进行平差,平差精度统计见表 1 和表 2。

表 1 CPⅢ 平面网约束平差精度统计

统计项目	与起算点联测		任意设站控制网联测		方向观测 中误差/(")	距离观测 中误差/ mm	点位中 误差/ mm	相邻点相 对点位中 误差/mm
	方向改 正数/(")	距离改 正数/mm	方向改 正数/(")	距离改 正数/mm				
限差	±4	±4	±3	±2	±1.8	±1	±3	±1
实际值(最大)	-2.11	-2.32	-1.5	-1.13	1.24	0.83	1.10	0.87
结论	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格

表 2 CPⅢ 高程网平差精度统计

统计项目	每千米水准测量 偶然中误差 $\Delta M$	附和线路或 环线闭合差	高差改正 数/mm	高程中 误差/mm	相邻点高 差中误差/mm
限差	2.0	$\pm 8 \sqrt{L}$	±1	±2	±1
实际值(最大)	1.2	均满足	-0.83	0.82	0.76
结论	合格	合格	合格	合格	合格

从内蒙古展览馆站—内蒙古博物院站—市政府站区间左线 CPⅢ 平差精度统计结果可知:各项精度指标均满足规范要求,且精度比较高。其中平面点位中误差和相邻点间中误差、高程中误差、相邻点高差中误差都在 ±1 mm 左右,部分点甚至更高,相对于传统的导线测量、水准测量方法的平差精度均显著提高。这将大大提高工程项目建设的各项精度指标<sup>[6]</sup>,特别是对轨道的平顺性,地铁列车行驶过程中的舒适度也会得到明显提高。

自由设站控制网相对于传统的导线、水准测量具有更高的精度指标,比如:自由设站控制网固定约束平差后,相邻点相对点位中误差为 ±1 mm,而精密导线平差后相邻点相对点位中误差为 ±8 mm,能更好地控制测量成果的精度。

### 2.4 自由设站控制网的应用延伸

相对于传统的导线、水准控制网,自由设站控制网在提高测量精度的同时,实现了平面、高程一体化,同步进行平面测量和高程测量,大大提高了测量工作效率。目前城市轨道交通中自由设站控制网广泛应用于铺轨工程和后期运营维护,其应用效果已得到实践的认可。在建设期的车站施工、隧道施工、隧道贯通后的调线调坡等过程中的应用仍是工程建设者不断探索的领域。通过本案例的成功验证,自由设站控制网作为一种更加优越的测量方法,完全可以在地铁建设期的更多施工过程中加以应用,从而提高测量效率。

(1) 车站施工过程中,可以以线路控制网点作为基准点,采用自由设站的测量方法进行主体结构的放样,放样过程中平面、高程测量同时进行,放样测量效率更高。同时当车站基坑开挖到底部进行底板结构施工时,要进行联系测量,完全可以采用自由设站的方式将地面坐标和高程同时传递到车站底板控制点上,避免了平面坐标和高程单独进行测量造成的工效浪费,测量精度也能得到有效的保证。

(2)自由设站控制网用于盾构施工,目前盾构隧道施工测量以车站联系测量为基准,隧道平面控制测量大多采用支导线或者双支导线测量方法,由于支导线的精度与其导线长度密切相关,支导线长度越长,其末端的点位精度就越低,高程采用传统的水准测量方法,与平面坐标测量同样也是分开进行的,测量效率不高。盾构掘进过程中,测量控制网同样可以用自由设站控制网来代替支导线,其施工测量控制网如图 3 所示。

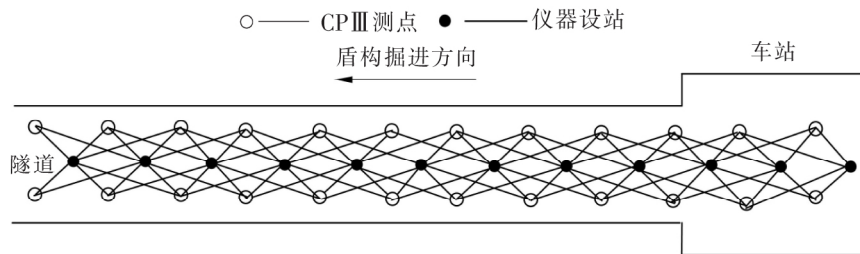


图 3 自由设站控制网替代施工阶段的地下控制网

盾构施工过程中,控制网从隧道两侧同时向前延伸,采用自由设站控制网测量方法,由于其测量控制点重复观测数比较多,边角关系也更加丰富,因而能大大增强网形强度,同时提高控制点的相对点位精度,整个网形相对于支导线延伸更加稳定,测量精度也会更高,还能实现平面、高程测量同步进行,无需单独进行导线测量和水准测量。

(3)自由设站控制网用于调线调坡的断面测量,传统的断面测量都是在隧道贯通后,先进行隧道控制点恢复测量,然后再以恢复的控制点为基准,进行断面测量。如果盾构掘进过程中就采用自由设站控制网的方式进行测量,在隧道贯通后,只需将隧道的自由设站控制网与贯通车站的控制点进行联测,平差后的控制网可以直接作为断面测量的基准点,由于自由设站控制网的控制点更加密集,对于断面测量来说就更加方便。同时也可以作为后期铺轨工程的 CP III 网,做到一网多用,完全省去了隧道贯通后的控制点恢复测量,提高了测量效率。

由此可见,自由设站控制网除了目前被广泛应用于铺轨工程、运营维护过程外,建设期的车站施工、隧道施工、贯通后的断面测量等施工过程中同样可以加以应用。施工测量过程中充分利用好自由设站控制网测量技术,实现平面网和高程网测量同步进行,在整个工程建设期和运营维护过程中能大大减少测量工作量,提高测量效率。同时,可以实现一个自由设站控制网覆盖施工、运营全过程,做到一网多用,创造出更大的经济效益。

### 3 结语

(1)自由设站控制网在测量过程中仪器自由设站,消除了仪器设站对中误差;同时采用的后方交会方式观测,增加多余观测值,增强控制网网形强度,成果精度更加可靠;相邻点间相对精度更高,能有效提高线路的平顺性。

(2)自由设站控制网可将平面、高程控制测量一体化,大大提高了测量效率,同时也减少了人员及仪器设备的投入,具有较高的经济效益。

(3)自由设站控制网可以贯穿于整个施工建设和运营全过程,点位稳固性好,可长期稳定保存,使测量工序得到了优化、精度得到了提高,测量效率更高,起到一网多用的作用,必将在地铁测量中开创新的篇章。

### 参 考 文 献

- [1]张要. 组合交路条件下城市轨道交通列车停站方案优化研究[J]. 石家庄铁道大学学报(自然科学版), 2017, 30(3): 99-105.
- [2]张旭. 高铁 CP III 技术在地铁铺轨工程中的应用及分析[J]. 工程建设与设计, 2017(15): 123-127.
- [3]秦长利, 马全明. GB/T 50308—2017 城市轨道交通工程测量规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
- [4]马海志. 城市轨道交通工程地下高精度平面控制网的建立[J]. 测绘通报, 2012(5): 1-6.

- [5]王继亮. CPⅢ控制网自由测站三角高程测量技术在城市轨道交通工程中的应用[J]. 城市建筑, 2015(36): 104-104.  
[6]张慧慧. 测量平差基础[M]. 2版. 武汉:武汉理工大学出版社, 2017.

## Application and Discussion of Free Station Control Network in Urban Rail Transit

Zhang Liyong

(Hohhot Urban Rail Transit Construction Management Co. Ltd., Hohhot 010010, China)

**Abstract:** Based on Hohhot City Rail Transit Line 1 project, free station control network measurement technology was applied to the station to contact measurement, the establishment of underground traverse control network, the establishment of the CPⅢ net according its characteristic. The measurement accuracy was analyzed and the reliability of the free station control network in the new measurement mode was verified. At the same time, through the analysis of the extended application in other surveying process of urban rail transit construction with free station control network, this paper expounded the application of free station control network in the whole process of rail transit, and it was feasible to realize the multi-purpose of one network.

**Key words:** free station control network; contact measurement; wire control network; CPⅢ network; accuracy of measurement

~~~~~  
(上接第 114 页)

## Architecture Design of Intelligent Operation Platform Based on Autonomous Decentralized System

Liu Shibing, Zhang Chenhui

(School of Electrical and Automation Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** The paper aimed at the problems such as the difficulty in integration of urban rail transit intelligent operation and maintenance management information system and difficulty in later maintenance. At the system integration level, a platform design solution based on the theory of autonomous decentralized system was built an intelligent operation and maintenance platform with a data-driven mechanism as the core; at the software system architecture level, a layered architecture design was proposed, and the software architecture was divided into four layers realizing functional design at all levels to achieve the “high cohesion and low coupling” characteristics of software systems. At the business level, the platform based on the business logic process of circular can realize control between basic data and business data implements automatic updating of equipment history, automatic generation of equipment differential maintenance plans, and automatic matching of approximate plans for equipment failures. Taking the intelligent operation and maintenance platform project of China Railway Electrification Bureau as the research object, the three levels were combined to realize the online scalability, online maintainability, intelligence of the intelligent operation and maintenance platform.

**Key words:** autonomous decentralized system; data-driven; intelligent operation and maintenance; layer architecture; control