

CPIII 技术在高海拔轨道施工中的应用

Application of CPIII Technology in High Altitude Track Construction

王婷茹¹ 李甲宏²

Tingru Wang¹ Jiahong Li²

1. 陕西铁路工程职业技术学院

中国·陕西 渭南 714000;

2. 北京城建勘测设计研究院有限责任公司

中国·北京 100000

1. Shaanxi Railway Institute,

Weinan, Shaanxi, 714000, China;

2. Beijing City Construction Research and Design

Institute Limited,

Beijing, 100000, China

基金项目: 陕西铁路工程职业技术学院科学研究基金项目(KY2018-14)

【摘要】在高海拔地区有轨电车项目施工中,首次利用 CPIII 控制技术,有效控制了轨道铺设中的精度,对 CPIII 控制成果在轨道精调中的应用进行了验证,进而制定出合理的措施。

【Abstract】At high altitudes trams project construction for the first time, the use of CPIII control technology, effectively control precision of track laying, the CPIII control results in the application of orbital fine adjustment is verified, and then work out reasonable measures.

【关键词】高海拔;轨道施工;应用

【Keywords】high altitude; track construction; application

【DOI】10.36012/etr.v1i4.674

1 引言

高铁建设中所提出的三级测量控制网(以下简称“CPIII”)技术日益成熟,近年来,随着地铁、隧道、有轨电车等城市轨道交通的发展,CPIII 技术也被应用于城市轨道交通建设。

中国的 CPIII 技术作为高速铁路铺轨、运营及维护的重要控制,在高速铁路的施工中已经被广泛应用^[1-3]。刘永中对比城市地铁施工和高铁施工的不同,提出在地铁施工测量中建立 CPIII 控制网的适用条件^[4]。陈瑞阳和柏成林分别以北京地铁和青岛地铁线路为例,分析 CPIII 技术在城市地铁施工中的可行性^[5-6]。张克林则利用 CPIII 技术解决了上海地铁 12 号线施工中无砟轨道精度控制的问题^[7]。孟峰等在北京地铁 6 号线施工中,利用 CPIII 控制网基本方法进行城市轨道交通轨道铺设测量实验的情况,探讨了在城市轨道交通隧道内 CPIII 控制点位置确定、控制网布设、外业数据采集及数据处理的程序和方法。通过 4 种试验应用方法的分析和对比,提出一种适用于城市轨道交通的 CPIII 控制网测量方法^[8]。

随着城市轨道交通的飞速发展,建设标准要求逐步提高。轨道作为城市轨道交通的行车基础,其高质量的几何形态和

良好的平顺性是轨道交通安全运行、为乘客提供良好的乘坐舒适度、降低振动噪声对环境的影响、延长设备使用寿命,以及减少后期养护维修费用的基本保障。轨道的平顺性是轨道工程施工建设质量的关键所在。虽然人们存在误区,认为城市轨道交通时速低,没必要有那么高的精度要求。实际上,乘坐轨道交通时的舒适度和轨道平顺性有关,与速度没有太大关系。要保证乘客不晃车就要提高轨道短长波的平顺,这就要求利用精密控制方法来实现。

论文介绍了在中国青海省德令哈市城市有轨电车项目中,利用 CPIII 控制网基本方法进行轨道铺设测量,在运用轨检小车进行轨道精调过程中,确定季节性冻土区域,进一步制定合理措施。

2 工程概况

德令哈市新能源有轨电车示范线工程线路包括 T1 线一期、T1 支线和 T2 线一期(见图 1),线路总长约 14.23km,其中,复线约 3.51km,单线约 10.72km。新建跨巴音河轨道桥梁 1 座(长约 160m),拓宽改造桥梁 1 座(长约 100m),其余均为地面线。全线共设车站 20 座,均为地面站,平均站间距约

0.75km, 最大站间距即甘南站至都兰西站区间长 1.75km, 最小站间距即格尔木东站与气象局站区间长 0.4km。

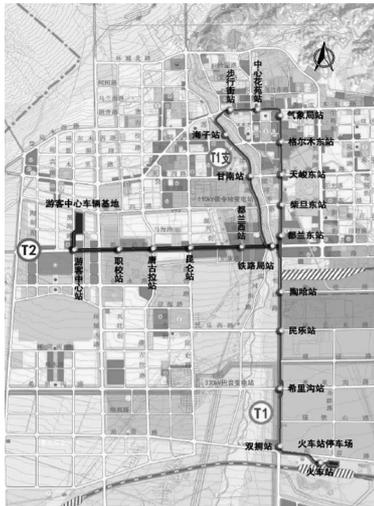


图 1 德令哈市新能源有轨电车示范线

T1 线一期: T1 线一期呈南北走向, 起于德令哈火车站, 沿双拥路—长江路—柴达木东路敷设, 止于步行街站后。线路长约 7.92km, 均为地面线。共设车站 12 座, 均为地面站, 平均站间距约 710m, 最大站间距约 1150m, 位于火车站与双拥路站区间; 最小站间距 400m, 位于格尔木东站与气象局站区间。

T1 支线: T1 支线呈南北走向, 起于 T1 线步行街站后, 向西上跨巴音河后转向南, 沿滨河西路敷设, 止于都兰路口。线路全长约 2.8km, 其中, 新建跨巴音河桥 1 座, 其余均为地面线。共设车站 2 座, 均为地面站, 站间距约 830m。

T2 线一期: T2 线一期呈东西走向, 起于黑海路口, 沿都兰西路向东接驳 T1 线。线路全长约 3.51km, 其中, 拓宽改造桥梁 1 座, 其余均为地面线。共设车站 6 座, 均为地面站, 平均站间距约 700m, 最大站间距约 1040m, 位于昆仑站与都兰西站区间; 最小站间距约 580m, 位于职校站与唐古拉站区间。

全线设车辆段和停车场各 1 座, 游客中心车辆基地位于游客中心北侧, 占地面积约 $6.78 \times 10^4 \text{m}^2$, 火车站停车场位于火车站站前广场东侧, 占地约 $3.99 \times 10^4 \text{m}^2$ 。

德令哈市新能源有轨电车示范线工程计划于 2017 年 3 月开工建设, 2018 年 4 月 28 日通车试运营。

3 CPIII控制网布设

德令哈市新能源有轨电车示范线工程精密导线控制网整体上沿线路走向布设。精密导线网共包括 60 个控制点, 其中, GPS 起算控制点 16 个, 导线点共 54 个。全网共测设导线边 137 条, 导线总长 38.9km, 平均边长为 283.632m。

3.1 CPIII控制点选取

①GPS 点选点埋设 18 个, 利用原有城市控制点 2 个, GPS 控制网测量共 24 点(包括已知点 2 个, 原有城市控制点 2 个); ②精密导线点选点埋设 54 个, 精密导线点共测量 54 个, 联测 GPS 起算点 16 个; ③轨道交通二等水准点选点埋设 62 个, 二等水准测量 62 个点, 联测起算点 2 个, 完成轨道交通二等水准测量路线总长 52.6km($2 \times 26.3 \text{km}$)。

3.2 CPIII控制点间距的确定

CPIII 控制点采取预埋方式布设, 平面和高程同点, 间隔 5~80m 设置对点, 特殊地段(小半径曲线处)可按 20~40m 设置。CPIII 控制点布设高度应大致相等, 并与设计轨道高程面相同。

本工程 CPIII 平面网采用自由测站边角交会法施测, 高程网采用精密水准往返测量的方式每隔 600~800m 联测 CPIII 控制点, 从而获得 CPIII 控制网的起算数据, 并采用自由设站三角高程法施测, 平面网与高程网测量一起进行。

CPIII 控制网的测量网形可采用如图 2 所示的构网形式, 每个 CPIII 控制点应有 4 个方向和 4 个距离的交会, 同时, 保证相邻测站间 CPIII 相邻点间高差重叠应有 7 段。

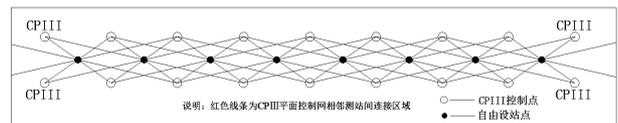


图 2 CPIII控制网构网形式

3.3 CPIII控制点标志及埋设

CPIII 控制点埋设于专用立柱上, 专用立柱为高 50cm、直径为 20cm 的圆柱型立柱, 立柱位于混凝土垫层之上, 由 4 根直径为 14mm 的螺纹钢连接混凝土垫层, 并采用锚固剂固定, 浇筑混凝土前对地面进行凿毛和湿润处理, 使专用立柱与整个混凝土垫层结合在一起, 确保立柱牢固可靠。具体如图 3 所示。



图 3 CPIII控制点埋设

CPIII 控制点为不锈钢强制对中标志, 埋设于专用立柱上, 由预埋件和连接杆两部分组成(见图 4)。其中, 基座部分为长 60mm、内径 14mm、外径 20mm 的套筒, 连接杆下部分与套筒相配合, 上部分与 leica 棱镜相配合, 间隙均小于 0.2mm。



图 4 CPIII 控制点组件

同时, CPIII 测量标志的加工和安装精度应满足表 1 的规定。

表 1 CPIII 测量标志的加工和安装精度要求

| mm | | | |
|------------|-----------|---------|---------|
| CPIII 测量标志 | 几何尺寸的加工误差 | 重复性安装误差 | 互换性安装误差 |
| 精度指标 | ±0.05 | ±0.3 | ±0.3 |

注: 1. CPIII 测量标志应满足铁建设[2008]80 号文的相关要求。

2. CPIII 测量标志重复性安装误差和互换性安装误差, 指的是 X、Y、H 三方向的误差均应小于±0.3mm。

3.4 CPIII 控制点外业观测

CPIII 控制点与沿线平面及高程控制点联测关系: ①在自由站上测量 CPIII 的同时, 将沿线的控制点进行联测, 纳入网中; ②每个 CPIII 测量组中需使用同一种棱镜(包含联测的控制点), 并做好棱镜常数等参数的设置工作。

联测沿线控制点采用的网形为: 自由设站应每 600m 左

右置镜观测沿线控制点, 应在 2 个或以上连续的自由测站上观测, 自由测站至沿线控制点距离不宜大于 300m, 如图 5 所示。

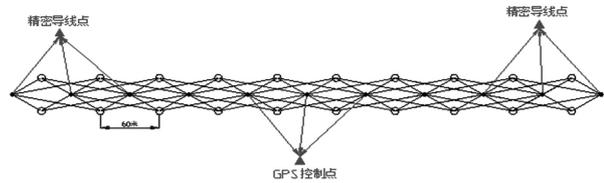


图 5 自由设站置镜观测

3.5 CPIII 控制点数据处理

数据计算、平差处理采用 TSDI_HRSADJ 平差软件, 以通过精密水准方式测得高程的 CPIII 点为起算点, 进行整体平差。平差计算时, 要对各项精度作出评定。

4 CPIII 控制成果在轨道精调中的应用与验证

利用 CPIII 控制成果, 依托全站仪及轨检小车进行轨道几何形态数据测量, 其全站仪自由设站要求利用 CPIII 控制成果进行铺轨基标测设, 自由设站精度满足城市轨道交通测量规范要求。完成自由设站后, CPIII 控制点的检测误差应满足表 2 的要求, 每一测站参与平差计算的 CPIII 控制点不应少于 6 个。

表 2 CPIII 控制点坐标不符值限差要求

| 项目 | 限差/mm |
|----|-------|
| X | ≤2 |
| Y | ≤2 |
| H | ≤2 |

在施工过程中, 选择任意段数据同时采用轨检小车和弦线的方式进行轨道轨向及高低测量, 其对比情况如表 3 所示。

表 3 同一区段轨道几何形态数据轨检小车与弦线测量成果对比表

| 里程/km | 轨枕号 | 左右轨 | 轨检小车测量值/mm | | 弦线测量值/mm | | 同一位置较差/mm | | 备注 |
|----------|-------|-----|------------|-----|----------|-----|-----------|------|-------|
| | | | 轨向 | 高低 | 轨向 | 高低 | 轨向 | 高低 | |
| 3162.891 | 0-98 | 左轨 | 0.1 | 0.4 | 0.2 | 0.6 | -0.1 | -0.2 | T2 右线 |
| 3163.5 | 0-99 | 左轨 | -1.3 | 0.7 | -1 | 0.8 | -0.3 | -0.1 | |
| 3164.142 | 0-100 | 左轨 | -0.5 | 1.1 | -0.6 | 1.4 | 0.1 | -0.3 | |
| 3164.766 | 0-101 | 左轨 | -0.8 | 1.3 | -0.6 | 1.2 | -0.2 | 0.1 | |
| 3165.405 | 0-102 | 左轨 | -1.3 | 1.3 | -1.6 | 1.6 | 0.3 | -0.3 | |
| 3166.043 | 0-103 | 左轨 | -1.2 | 1.3 | -1 | 1.6 | -0.2 | -0.3 | |
| 3166.656 | 0-104 | 左轨 | -1.6 | 1.5 | -1.4 | 1.4 | -0.2 | 0.1 | |
| 3167.294 | 0-105 | 左轨 | -0.9 | 1.9 | -0.8 | 2 | -0.1 | -0.1 | |
| 3167.891 | 0-106 | 左轨 | -0.8 | 1.7 | -0.6 | 1.8 | -0.2 | -0.1 | |
| 3168.552 | 0-107 | 左轨 | -0.4 | 1 | -0.6 | 0.8 | 0.2 | 0.2 | |
| 3169.173 | 0-108 | 左轨 | -0.7 | 0.7 | -0.4 | 0.4 | -0.3 | 0.3 | |
| 3169.791 | 0-109 | 左轨 | -0.4 | 0.2 | -0.6 | 0.2 | 0.2 | 0 | |
| 3170.42 | 0-110 | 左轨 | -0.3 | 0.1 | -0.6 | 0.2 | 0.3 | -0.1 | |
| 3171.051 | 0-111 | 左轨 | 0.6 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.2 | |

注: 本表中只列举一个比测位置的实测对比值。

以上对比数据的表现形式可从一定程度上反映 CPIII 控制成果精度良好,可用于轨道精调测量。

5 建议

德令哈市新能源有轨电车示范线工程是世界上海拔最高的有轨电车,该有轨电车现已进入试运营阶段,其影响意义深远,CPIII 技术在其施工过程中应用良好,可在其他类似城市轨道交通建设项目中进行应用。但受德令哈市恶劣的高原气候如日温差大、阳光直射严重、冬季酷寒而漫长等不良环境因素的影响,给 CPIII 控制网测量及其应用带来了一定的影响,现将相关经验及建议总结如下。

①高海拔地区往往也是高寒地区,高寒地区在经历冬季和春季时会因为气温的下降及上升地表发生冻胀和融沉现象,即地表上升与沉降。冻胀产生的主要原因是底层中的土颗粒和水份含量达到一定程度后,遇低温后表层地表会产生冻胀现象,因此,在高海拔地区,控制点特别是高程控制点点位的选择尤为重要。高程控制点点位选择应避开多水多土的绿化带或低洼区域,选择地层条件较好且干燥的区域进行高程控制点埋设及设置,在高程控制点使用时必须形成附和路线,确保起算点稳固可靠。同时,在冻融期结束后,应对已建立的 CPIII 控制网进行检核,如有必要,应及时进行复测。

②在本项目为期近 1 年的 CPIII 控制网测量及使用过程中,太阳强光直射严重、过往车辆震动、异物的不完全遮挡,多个目标棱镜在同一环境因素下均会对 CPIII 控制网测量及使用造成一定的影响,使其测量限差超限,不能满足相应工作需求,特别是高海拔地区的太阳直射严重,会严重影响测量误差超限。因此,建议选在环境因素相对稳定的夜晚进行 CPIII 控制网测量及使用,其测量质量和效率会成倍提高。

③为提高 CPIII 控制网测量与使用 CPIII 进行铺轨基标,以及轨道精调与验收测量时的精度,对其使用的棱镜作固定处理,如图 6 所示。另外,对连接杆进行编号,确保 CPIII 测量及使用一个 CPIII 控制点对应一根连接杆,减少 CPIII 预埋件与连接杆不匹配而产生的固定误差。实践证明,其实施效果良好。

④在 CPIII 控制网平差计算过程中,因部分项目限差超



图 6 CPIII 棱镜固定方式

限处理需要人工剔除部分观测值时,应从误差较大的观测值开始逐一剔除并重新平差,不能一味全部剔除。人工剔除观测值的原则应至少保证每个 CPIII 控制点有 3 个以上的自由观测测站,否则会影响控制网的整体精度。

⑤高海拔地区日温差较大,也会影响气压产生变化,因此,在进行 CPIII 控制网测量及其应用时,应时刻关注温度、气压的变化,在其变化较大时及时读取数值输入至仪器进行气象改正,以保证测量精度。

⑥在利用 CPIII 控制成果进行铺轨基标测设与轨道精调时,应定时(如每站测前、测中、测后)对已有 CPIII 控制点进行检测,以确保本测站或时间段内测量精度良好。

参考文献

- [1]Liffe.J.C.,J.V. Arthur.The snake projection:A customized grid for rail projections[Z]Survey Review,2007,39(304):90-99.
- [2]郎建平,刘千文,胡小军.CPIII控制网测量方法在武广高速铁路建设中的应用[J].铁道科学与工程学报,2010,7(2):16-19.
- [3]黄仁波.CPIII网控制测量技术在高铁轨道建设中的应用研究[J].低碳世界,2014(3):201-202.
- [4]刘永中.CPIII控制网测量技术在地铁轨道测量中的应用探讨[J].现代城市轨道交通,2014(1):95-98+109.
- [5]陈瑞阳.浅谈地铁轨道施工中 CPIII测量技术的应用[J].测绘通报,2013(S1):121-123.
- [6]柏成林.高铁 CPIII技术在地铁铺轨工程中的应用与分析[J].江西建材,2017(8):178+181.
- [7]张克林.浅谈高铁 CPIII控制网测量技术在城市轨道交通工程中的应用[J].科学之友,2013(5):45-46.
- [8]孟峰,马全明,陈大勇,等.CPIII控制网测量技术在城市轨道交通中的应用研究[J].测绘通报,2013(1):73-76.