

城市轨道交通工程CPⅢ高程控制网建网方法研究

赵 华 陆 力

中铁第六勘察设计院集团有限公司 天津 300308

摘要：自城市轨道交通工程建设以来，对施工测量技术的要求也越来越高，源于高速铁路的CPⅢ测量系统在提高铺轨测量精度和效率方面有着非常好的效果。目前，CPⅢ测量系统已应用于城市轨道交通工程铺轨测量，然而，由于城市轨道交通工程施工环境复杂，隧道横向测量空间有限，纵向曲线半径小，通视条件差，给CPⅢ高程控制网的建立带来了很多问题。本文以郑州市轨道交通8号线一期工程项目为依托，对CPⅢ控制网高程引测方法进行研究，分析地下基准点架设棱镜引测高程与CPⅢ控制网任意设站三角高程建立CPⅢ高程网的精度。结果表明，采用高程基准点直接引测或者CPⅢ控制网任意设站三角高程建立CPⅢ高程网，均能满足城市轨道交通工程铺轨施工需求，但CPⅢ控制网任意设站三角高程建立CPⅢ高程网更优。

关键词：城市轨道交通工程；CPⅢ；三角高程测量；高程网

引言：城市轨道交通轨道良好的稳定性、平顺性是车辆安全运行的基础。为了提高城市轨道交通工程铺轨精度，保证轨道线路的平顺性，改善城市轨道交通运营过程的设备磨损和噪声振动问题，保证列车运行的稳定性，城市轨道交通工程铺轨控制测量引入了CPⅢ控制网，该测量方法最早应用于高速铁路，城市轨道交通工程引入并结合工程特点进行优化。

在城市轨道交通工程施工方面，区间贯通后，以“三站两区间”为单元，进行平面和高程联测，得到的平面、高程控制点作为控制基标测设的基准点，建立铺轨施工控制网。将高速铁路CPⅢ相关技术引入城市轨道交通工程，以CPⅢ点代替控制基标，作为后续铺轨的控制点。

相较于传统的基标测量方法，CPⅢ控制网应用于城市轨道交通工程铺轨测量优势明显，直接使用CPⅢ控制网进行城市轨道交通工程轨道的铺设，在大大降低了工作量的同时，也提高了作业效率；而且CPⅢ点布设在隧道壁上，不会被破坏和遮挡，便于永久保存，可以用于后续运营期轨道的维修与保养。

目前，CPⅢ测量技术已广泛应用于国内城市轨道交通工程轨道铺设过程中，并取得了很好的效果，与传统的测量方法比较，CPⅢ技术有其测量效率高、外业操

作简便、轨道平顺性好的特点，与此同时，在一些技术方案仍有探讨优化的空间。其中，因城市轨道交通工程施工环境复杂，地下隧道多为盾构管片拼装成的圆形隧道，CPⅢ高程建网不能像高铁那样采用二等水准完成，而是全站仪三角高程进行建网。如何引测导线点高程作为CPⅢ高程网的起算基准，提高铺轨高程控制精度，成为CPⅢ技术在城市轨道交通工程有待解决的问题。

本文以郑州市轨道交通8号线一期工程项目为依托，对CPⅢ三角高程引测方法进行分析，比较高程基准点直接引测和CPⅢ控制网任意设站三角高程建立CPⅢ高程网测量精度，两种方法均能满足城市轨道交通工程铺轨施工需求，但利用CPⅢ控制网任意设站三角高程建立CPⅢ高程网更优。

1 CPⅢ三角高程网

地铁隧道CPⅢ三角高程网是在CPⅢ平面网基础上建立的，点位对称分布均匀在隧道壁上，纵向布置，平均点间距为45m。CPⅢ平面网是采用任意设站法，使用徕卡TS60全站仪自动观测CPⅢ点的水平方向、斜距和天顶距。任意设站的间距平均距离45m左右，消除仪器对中的误差，棱镜中心就是CPⅢ控制点点位，消除目标对中和棱镜两高问题。测站至少观测8个CPⅢ点，网型如图1所示。

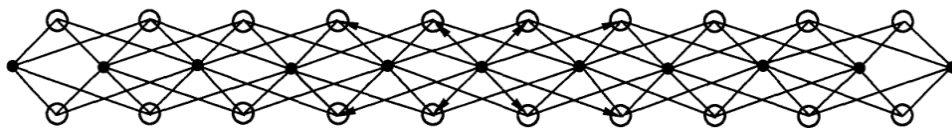


图1 CPⅢ平面网观测网形示意

作者简介：赵华，1982-，男，本科，正高级工程师，中铁第六勘察设计院集团有限公司。主要从事城市轨道交通工程测量、监测工作。电话：13826105567，邮箱：75573465@qq.com

CPⅢ控制网任意设站三角高程测量需满足表1的规定。

表1 任意设站三角高程测量技术要求

| 全站仪 标称精度 | 测回数 | 测回间 距离较差 | 测回间竖盘 指标差互差 | 测回间 竖直角互差 |
|--------------|-----|-------------|----------------|--------------|
| 1", 1mm+1ppm | 3 | 1mm | 10" | 6" |

采用上述方法进行高程平差计算时，直接将设站点与CPⅢ点间的测量高差转换为相邻CPⅢ点间的高差，如图2所示。

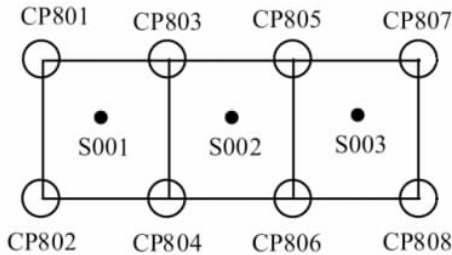


图2 CPⅢ任意站三角高程网示意图

如何进行隧道贯通后的高程基准引测是决定CPⅢ三角高程网整体精度，以及与结构施工阶段控制网耦合无误的关键。在郑州地铁8号线一期工程的10个区间CPⅢ三角高程建网中，采用两种高程引测方法，一种是在地下基准点架设棱镜，设站进行三角高程测量将高程引入CPⅢ高程网；另一种是在CPⅢ平面点附近埋设一个CPⅢ高程点。通过二等水准测量得到CPⅢ高程点，然后通过CPⅢ控制网任意设站三角高程建立CPⅢ高程网。对两种方法的测量成果进行精度分析和比较，两种方法均能满足城市轨道交通工程铺轨施工需求。

2 外业观测精度评定

采用地下基准点架设棱镜引测高程的方法进行CPⅢ

三角高程网，郑州地铁8号线部分区间共计观测357个闭合环线，63条附合路线。按二等水准测量计算，均在限差范围之内，路线长度均在1.5km左右，最大2.312km。闭合差符合二等水准测量要求，有7个超过1mm，占比1.96%。每km高差全中误差的平均值为1.29mm，最大值是2.31mm，均≤4mm。

利用CPⅢ控制网任意设站三角高程建立CPⅢ高程网方法，闭合差符合二等水准测量要求，有3个超过1mm，占比0.084%。每km高差全中误差平均值为1.01mm，最大值是1.82mm，均≤4mm，两种方法均满足精密水准要求，但利用CPⅢ控制网任意设站三角高程的方法更优。

3 平差结果精度分析

以区间贯通后的精密导线点作为起算点，对CPⅢ点间观测高差进行平差计算，可得平差改正后高差值。《城市轨道交通工程测量规范》的精度指标要求如表2所示。

表2 三角高程网平差后的精度指标

| 高差改正数 | 高差观测值的 中误差 | 高程中误差 | 平差后相邻点 高差中误差 |
|-------|---------------|-------|-----------------|
| ±1mm | ±1mm | ±2mm | ±1mm |

对郑州地铁8号线部分区间的622个CPⅢ点进行平差。采用地下基准点架设棱镜引测高程的方法，高程中误差均在2mm以内，且大部分小于±1mm，超过1mm有2个；利用CPⅢ控制网任意设站三角高程建立CPⅢ高程网方法，高程中误差均在1mm以内。

4 高程平差结果比较

为进一步验证两种方法的精度，比较两种方法的平差结果。选取郑州地铁8号线10个CPⅢ控制网测段，按上述两种方法进行外业观测和内业平差。结果比较如表3。

表3 CPⅢ自由测站三角高程测量和地下基准点架设棱镜引测高程结果比较

| 数据来源 | 总点数 | 0-0.1mm | 占比 | 0.1-0.5mm | 占比 | 0.5-1.0mm | 占比 | 1.0-2.0mm | 占比 | >2.0mm | 占比 | 最大值/mm |
|------|------|---------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|--------|-------|--------|
| 测段1 | 156 | 16 | 10.26% | 79 | 50.64% | 48 | 30.77% | 12 | 7.69% | 1 | 0.64% | 1.32 |
| 测段2 | 213 | 25 | 11.74% | 98 | 46.01% | 42 | 19.72% | 43 | 20.19% | 5 | 2.35% | 3.82 |
| 测段3 | 97 | 15 | 15.46% | 60 | 61.86% | 22 | 22.68% | 0 | 0.00% | 0 | 0.00% | 0.81 |
| 测段4 | 198 | 53 | 26.77% | 82 | 41.41% | 57 | 28.79% | 4 | 2.02% | 2 | 1.01% | -2.19 |
| 测段5 | 279 | 75 | 26.88% | 142 | 50.90% | 49 | 17.56% | 6 | 2.15% | 7 | 2.51% | 4.34 |
| 测段6 | 162 | 43 | 26.54% | 77 | 47.53% | 33 | 20.37% | 9 | 5.56% | 0 | 0.00% | 1.63 |
| 测段7 | 118 | 38 | 32.20% | 51 | 43.22% | 22 | 18.64% | 7 | 5.93% | 0 | 0.00% | -1.48 |
| 测段8 | 145 | 26 | 17.93% | 52 | 35.86% | 50 | 34.48% | 15 | 10.34% | 2 | 1.38% | 2.42 |
| 测段9 | 160 | 35 | 21.88% | 90 | 56.25% | 24 | 15.00% | 8 | 5.00% | 3 | 1.88% | -2.91 |
| 测段10 | 188 | 44 | 23.40% | 74 | 39.36% | 49 | 26.06% | 16 | 8.51% | 5 | 2.66% | -3.95 |
| 总计 | 1716 | 370 | 21.56% | 805 | 46.91% | 396 | 23.08% | 120 | 6.99% | 25 | 1.46% | 4.34 |

采用两种方法的高程差值大部分都在1mm以内，占比98.54%。

5 结束语

详细阐述CPⅢ控制网任意设站三角高程网，对比了

两种高程网建立方法,利用CPⅢ控制网任意设站三角高程建立CPⅢ高程网方法和采用地下基准点架设棱镜引测高程的方法。结果显示,两种高程网建立方法均能满足《城市轨道交通工程测量规范》对任意设站高程控制网的建立要求,用CPⅢ控制网任意设站三角高程建立CPⅢ高程网方法更优。

参考文献

[1]王鹏,刘成龙,杨希.无碴轨道CPⅢ自由设站边角交会网平差概略坐标计算方法研究[J].铁道勘察,2008(3):26-28.

[2]中华人民共和国住房和城乡建设部.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.2018.

[3]方杨.CPⅢ控制网自由测站三角高程测量数据处理与精度分析[J].铁道勘察,2015,(4)4:21-23.

[4]王子轩,张明,姚连璧.地铁CPⅢ三角高程构网方法研究[J].工程勘察,2016,44(10):52-56.

[5]曲田,李晓峰,李文雅.差分法三角高程在地铁CPⅢ测量中的应用[J].矿山测量,2019,47(06):84-86+90.