

文章编号:1006-2106(2010)11-0032-06

基于自由测站的高速铁路 CPⅢ 高程 控制网建网方法研究*

付建斌^{1**} 刘成龙² 卢建康³ 何波² 杨雪峰²

(1. 铁道部建设管理司, 北京 100844; 2. 西南交通大学, 成都 610031;
3. 中国中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要:研究目的:针对高速铁路轨道控制网 CPⅢ 高程网的建网测量,本文分析了 CPⅢ 高程网的技术要求及其德国建网方法和中国已有建网方法的技术特点,并根据 CPⅢ 平面网自由测站测量的原理,探讨利用 CPⅢ 平面网自由测站观测值构建 CPⅢ 三角高程网的可行性。

研究结论:通过引进中间法三角高程测量技术构建 CPⅢ 三角高程网,并比对高精度三角高程网测量的前提条件,认为 CPⅢ 三角高程网是可行的;通过对其实际精度指标的大量比较和统计分析,认为可以达到二等水准测量和 CPⅢ 高程网的精度要求,因此是 CPⅢ 高程网建网测量的一种全新方法。

关键词:自由测站;CPⅢ;高程网;高速铁路;建网测量;三角高程

中图分类号:212.24 **文献标识码:**A

Study on the CPⅢ Vertical Control Network Establishing Method of High-speed Railway Based on Free-station

FU Jian-bin¹, LIU Cheng-long², LU Jian-kang³, HE Bo², YANG xue-feng²

(1. Construction Management Department of MOR, Beijing 100844, China; 2. Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031, China; 3. China Railway Eryuan Engineering Group Co. Ltd, Chengdu, Sichuan 610031, China)

Abstract: Research purposes: Aiming at the measurement for establishment of high-speed railway track control network CPⅢ vertical control network, the paper not only analyzes the technical requirements of CPⅢ vertical control network but also the technical features of methods from Germany and China for establishment of vertical control network, and based on the principle of free-station in CPⅢ plane control network, the feasibility of building CPⅢ trigonometric leveling net work by the observational values of free-station in CPⅢ plane control network is discussed.

Research conclusions: Through the introduction of the middle method of total station, CPⅢ trigonometric leveling network is established and compared to the prerequisite for high precision trigonometric leveling, it is considered to be feasible. At the same time, comparison and statistical analysis among actual accuracy index of large mounts of CPⅢ trigonometric leveling network data are done, proving that the method proposed in the paper can meet the accuracy requirements for the second order leveling and CPⅢ vertical control network, so it is a new method in establishing CPⅢ vertical control network.

Key words: free-station; CPⅢ; vertical control network; high-speed railway; measurement for establishment of control network; trigonometric leveling

* 收稿日期:2010-10-20

基金项目:基于自由测站的高速铁路 CPⅢ 高程网建网测量及其标准的研究,铁建科学(2009)-16

** 作者简介:付建斌,1976 年出生,男,工程师。

CPⅢ控制网^[1]也叫轨道控制网,它是高速铁路无砟轨道铺设施工和运营维护的基准,是沿铁路线路布设的三维控制网,分为 CPⅢ平面和高程控制网(简称 CPⅢ平面网和 CPⅢ高程网),一般在线下工程施工完成后布设和施测。CPⅢ控制网的主要特点是:控制点数量众多,沿线路方向每 60 m 左右布设一对,点对的横向间距约为 10~20 m^[2];精度要求极高,CPⅢ平面网要求相邻点位相对中误差 $\leq \pm 1\text{mm}$ ^[6],CPⅢ高程网要求相邻点高差中误差 $\leq \pm 0.5\text{mm}$;CPⅢ平面网的构网和观测方法特殊,其平面网图如图 1 所示,是一个边角交会控制网^[7],采用全站仪自由测站的方法进行观测,观测值是自由测站到 CPⅢ点的水平方向、斜距和天顶距观测值;没有对中误差,由于采用自由测站观测,故没有仪器对中误差,由于采用特殊的 CPⅢ测量标志,故也没有目标对中误差。由于 CPⅢ控制网是三维控制网,所以 CPⅢ高程网的测量是 CPⅢ控制网建网测量工作的重要组成部分。

目前 CPⅢ高程网的建网测量,主要采用电子水准仪按照德国推荐的方法进行测量。该方法要求在每个测站测量后视 CPⅢ点读数和前视 CPⅢ点读数基础

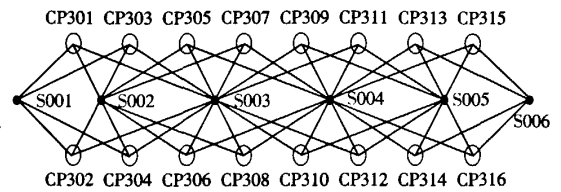


图 1 CPⅢ网形及平面网观测方法示意图

●测站点 ○CPⅢ控制点(下同)

上,观测其它 CPⅢ点的读数,类似于我国铁路勘测阶段纵、横断面测量中曾经采用的中视法,因此有文章称德国 CPⅢ高程网的测量方法为德国中视法^[3]。除此之外,我国在消化吸收德国高速铁路测量方法的基础上,也提出了适合我国国情的 CPⅢ高程网测量方法。该方法的测量过程如图 2 所示,它是根据每相邻两对 CPⅢ点构成一个闭合四边形的特点,采用电子水准仪测量每个四边形内各边的高差,依此类推一直把所有四边形的高差全部观测直至结束。由于该方法形成的四边形闭合环均为规则的矩形,因此有文章称此方法为中国矩形法^[3],它是我国《高速铁路工程测量规范》推荐采用的 CPⅢ高程网的测量方法之一^[4]。

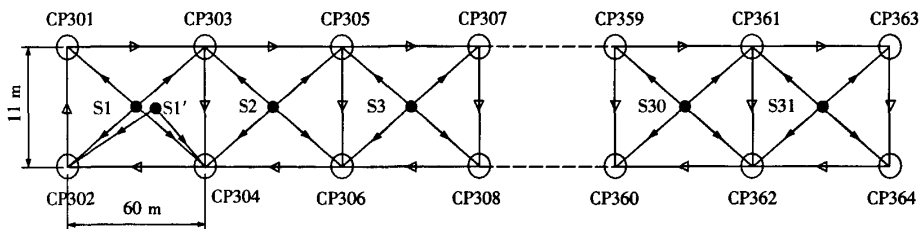


图 2 矩形法 CPⅢ高程网测量过程示意图

上述两种 CPⅢ高程网建网测量都是采用电子水准仪,按照传统的高差测量的方法进行测量,只是高差测量的顺序和构成的水准路线不同,综合比较两者测量的合理性和测量效率,应该是中国矩形法比德国中视法好。上述两种方法是否为 CPⅢ高程网测量的最好方法? CPⅢ高程网建网测量是否还有其它方法?本文对此进行了研究,并将研究成果撰写成文供大家交流,以推动我国高速铁路工程测量技术的发展。

1 提高三角高程测量精度的前提条件

所谓三角高程测量,就是利用全站仪测量地面两点间的斜距和天顶距,并量取仪器高和目标高,再计算两点间高差的一种高程测量方法。大量的研究和成功的经验表明,依靠当今的技术和测量设备,只要三角高程测量具备下列前提条件,是能够达到一、二等高程测量的精度,这些前提条件主要有:

第一,采用现代化、高精度的智能型全站仪进行三角高程测量。这类全站仪测角和测距精度高,可在程序的控制下进行多测回的自动观测,且多次重复照准的一致性和精度均较好。

第三,要努力做到测站点到目标点或目标点到目标点的三角高差测量和计算时,不量仪器高和目标高。

第三,采用中间法三角高程测量,以消除地球曲率和大气折光的影响。所谓中间法三角高程测量,就是在两目标间灵活选择测站位置,相邻两目标点无需通视,测站无需对中和量取仪器高,保持测站到前、后目标点间的距离相等,测量两目标点间的高差。这种高差测量方法,可有效地消除地球曲率和大气折光对三角高差测量精度的影响^[8]。

第四,要采用盘左和盘右全测回竖直角测量的方法,以消除竖盘指标差的影响。

第五,要选择大气稳定、垂直折光影响小的时段进

行竖直角测量,如在阴天和夜间进行测量。

第六,高差要构成闭合图形,而且要有较多的多余观测数,以形成高差闭合差检核条件,从而保证三角高差测量的精度和可靠性。

第七,测站到目标点的距离应该小于300 m,在全站仪的最佳测程内,可保证竖直角和高差测量的精度。

2 基于自由测站的 CPⅢ 高程网建网方法的可行性分析

根据 CPⅢ 平面网的基础知识和特点可知,由 CPⅢ 平面网中的自由测站到目标点的斜距和天顶距观测值,可以按照三角高程测量的原理,计算出自由测站点到 CPⅢ 目标点的高差,由各自由测站到各 CPⅢ 点的这些高差,可以组成类似于图 1 所示的 CPⅢ 三角高程网。还可以用自由测站到各 CPⅢ 点的高差,计算 CPⅢ 点间的高差,再组成 CPⅢ 三角高程网。采用上述方法形成的 CPⅢ 三角高程网,能否达到 CPⅢ 高程网所要求的精度等级呢?可以按照下面的方法,首先对其进行定性分析,再对其进行定量分析,从而确定基于自由测站观测值的 CPⅢ 高程网建网方法能否可行。

基于自由测站观测值的 CPⅢ 高程网建网方法能否可行的定性分析,可以采用讨论 CPⅢ 三角高程网能否满足上面所总结的“提高三角高程测量精度的前提条件”的方法进行。

首先,CPⅢ 平面网自由测站的外业观测仪器,采用的是方向观测精度不低于 $\pm 1''$ 、测距精度不低于 $\pm (1 \text{ mm} + 2 \times 10^{-6} D)$, D 为测量的距离)的高精度智能型全站仪。这种全站仪不但距离和角度测量的精度高,而且可自动照准、测量和计算,因而最大程度地削弱了人工照准、肉眼读数、数据记录计算等人为误差和错误的影响。

其次,目前我国的 CPⅢ 自由测站观测的时段,大多选择在没有日照影响的夜间或阴天进行观测,因而日照和垂直折光对三角高差测量精度的影响可降低到最小;从测程上分析,根据上图 1 可知,自由测站到 CPⅢ 点的距离分别为 30 m、90 m 和 150 m 左右,自由测站到最远 CPⅢ 点的距离不大于 180 m,这种短距离测量为保证三角高差的精度打下了良好的基础;另外,目前 CPⅢ 平面网的外业观测,是根据全站仪的标称精度分别进行两测回(0.5"级全站仪)或三测回(1"级全站仪)的盘左和盘右观测,因而自由测站的观测值已较好地消除了竖盘指标差的影响,从而提高竖直角测量的精度。

接着,由图 1 可知:根据自由测站到各 CPⅢ 点间直接测量的高差,可以间接地计算出各 CPⅢ 点间的高差。而由此得到的 CPⅢ 点间的间接高差,相对于自由

测站而言,类似于中间法三角高程测量,因而由自由测站到各 CPⅢ 点间的直接测量高差计算得到的 CPⅢ 点间的间接高差中,已很好的消除了地球曲率和大气折光的影响。

还有,根据 CPⅢ 平面网的测量方法和 CPⅢ 测量标志的特点,可以知道自由测站点到各 CPⅢ 目标点间的三角高差中,已经不需要量测仪器高度和目标高度,因而也就没有量测仪器和目标高度误差对高差精度的影响问题了。

最后,根据图 1 还可以看出每个 CPⅢ 点都被连续三个自由测站的三个方向和距离交会,因而每两 CPⅢ 点间的高差,可分别从三个测站的观测值中计算出两个或三个重复的高差观测值,因此这样得到的 CPⅢ 三角高程网中,高差观测值比较充裕,多余观测数较多,容易构网,容易形成闭合差检核条件和进行粗差探测,亦即可靠性比较高,从而为保证 CPⅢ 三角高程网的精度和质量打下了良好的基础。

综上所述,由 CPⅢ 平面网自由测站观测值计算得到的 CPⅢ 三角高程网,从各个方面而言,都能够满足“提高三角高程测量精度的前提条件”的要求,因此对其定性分析后认为:CPⅢ 三角高程网应该能够满足 CPⅢ 高程网的测量条件和精度要求,也就是基于自由测站观测值的 CPⅢ 高程网建网测量应该是可行的。但是否确实可行,还应该对其进行定量分析。

3 CPⅢ 三角高程网构网方案研究

下面将分别根据单向三角高程以及中间法三角高程获取高差观测值的测量原理出发,对 CPⅢ 三角高程网的构网方案进行深入细致的研究。上已述及,由于基于自由测站的 CPⅢ 平面网具有比较多的多余观测值,因此根据自由测站观测值的 CPⅢ 三角高程网也有较多的构网方案,限于篇幅,下面有针对性地提出了两种 CPⅢ 三角高程网的建网方案。

3.1 方案一

方案一就是根据单向三角高程测量原理,利用 CPⅢ 平面网中的自由测站到各 CPⅢ 点的斜距和天顶距观测值,直接计算自由测站到各 CPⅢ 点的高差,并根据这些高差构建 CPⅢ 三角高程网。方案一单个自由测站观测的三角高差最多有 12 个,该方案单个自由测站观测的三角高差情况,如图 3 所示;方案一多个自由测站构成的 CPⅢ 三角高程网图形,如图 1 所示。

上述 CPⅢ 三角高程网构网方案,实质上是属于单向三角高程的三角高程网。而单向三角高程测量存在较多误差源和不利因素,虽然可对单向三角高差进行球差、气差改正,但由于大气折光系数难以准确确定,

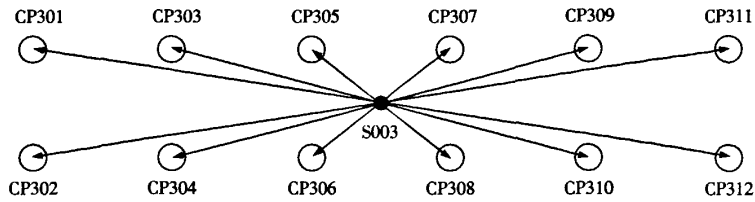


图 3 方案一单个测站形成的 CPⅢ三角高程网网形示意图

因此很难完全消除地球曲率与大气折光的影响。经过分析计算,方案一的 CPⅢ三角高程网的主要精度指标,包括闭合环的闭合差、每公里高差中数的全中误差和偶然中误差以及验后高差的中误差,根本无法达到精密水准测量的精度要求,因此方案一不能满足 CPⅢ高程网的精度要求。

3.2 方案二

根据上面的讨论可知,中间法三角高程对提高三角高程测量精度而言具有重要促进作用,为此在方案一的基础上,按照中间法三角高程的测量原理,构建 CPⅢ三角高程网的方案二。方案二的思路是利用测站到各 CPⅢ点间的直接三角高差,进一步计算出相邻两 CPⅢ点间的间接高差,然后再组成 CPⅢ三角高程网。方案二根据一个自由测站的观测值,计算的相邻 CPⅢ点间的间接高差最多有 16 个,该方案单个自由测站形成的三角高差情况,如图 4 所示;方案二多个自由测站形成的 CPⅢ三角高程网图形,如图 5 所示。

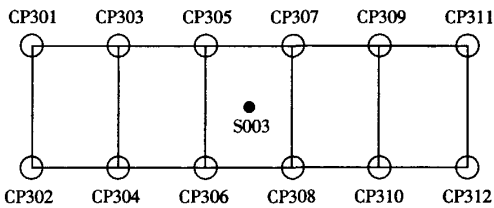


图 4 方案二单个测站形成的 CPⅢ三角高程网网形示意图

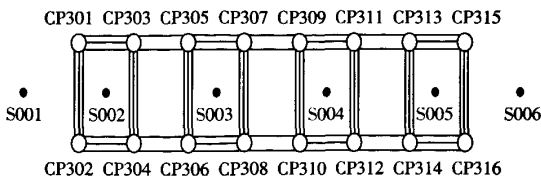


图 5 方案二多个测站形成的 CPⅢ三角高程网网形示意图

从图 5 可以看出,由于每个 CPⅢ点都有三个自由测站对其进行观测,因此用测站到 CPⅢ点间的直接三角高差,计算得到的相邻两 CPⅢ点间的间接高差,存在多余的间接高差,即每两个相邻 CPⅢ点间均有两个或三个间接高差观测值。方案二采用中间法三角高

程测量原理,用测站到 CPⅢ点间的直接高差,进一步计算出相邻两 CPⅢ点间的间接高差,该方法类似于 GPS 网基线的差分处理,其实质是用于减弱或消除地球曲率与大气折光对三角高差的影响,从而有效地提高了 CPⅢ三角高程网的精度。

4 CPⅢ三角高程网实际精度的比较和统计分析

CPⅢ三角高程网能否取代 CPⅢ水准网,并作为 CPⅢ高程网建网测量的一种全新方法,需要对其进行进一步的比较和验证。进一步比较和验证的思路,是对方案二 CPⅢ三角高程网的实际精度进行定量分析,也就是对大量 CPⅢ高程网的水准测量成果和对应的三角高程成果进行比较和统计分析。比较和统计分析的内容主要有:相邻 CPⅢ点间水准高差与对应三角高差的比较,CPⅢ点水准高程与对应三角高程的比较,CPⅢ三角高程网每公里高差全中误差、偶然中误差及其验后高差中误差的统计分析。

需要说明的是,本文引用的 CPⅢ平面和高程网数据,全部来自中铁二院工程集团有限责任公司、铁道第三勘察设计院集团有限公司、中铁第四勘察设计院集团有限公司和西南交通大学在国内多条高速铁路施工现场的实测数据。

4.1 相邻 CPⅢ点间水准高差与对应三角高差的比较与统计分析

所收集到的 CPⅢ高程网的水准高差,总共有 16 987 段。用本文方案二计算的三角高差,与相应的 CPⅢ水准网高差的差异情况,按步长为 0.4 mm 进行区间统计,统计的区间为 (-3 mm, 3 mm),统计的内容主要包括高差较差落入某一区间的个数、落入某一区间的百分比等情况。

总共 16987 段 CPⅢ三角高程网高差与相应的 CPⅢ水准网高差的差异情况,如表 1 所示。

从表 1 可以看出:16987 段高差较差落入 (-0.8 mm, 0.8 mm) 区间的个数有 15 161 个,百分比为 89.25%;16987 段高差较差落入 (-2 mm, 2 mm) 区间的个数有 16 907 个,百分比高达 99.53%,这充分说

明 CPⅢ三角高程网高差与 CPⅢ水准网高差差异较小。可见,方案二的 CPⅢ三角高程网高差,与相应 CP

Ⅲ水准网高差,差异非常的小,这一比较和统计分析,说明 CPⅢ三角高程网完全能够取代 CPⅢ水准网。

表1 三角高程网与相应的 CPⅢ水准网高差的差异情况统计表

高差较差区间/mm	0.0~0.4	0.4~0.8	0.8~1.2	1.2~1.6	1.6~2.0	2.0~2.4	2.4~3.0
高差数	10 684	4 477	1231	385	130	44	36
百分比/%	62.89	26.35	7.25	2.27	0.77	0.26	0.22
高差累加数	10 684	15 161	16 392	16 777	16 907	16 951	16 987
累加数百分比/%	62.89	89.25	96.50	98.76	99.53	99.79	100.00

4.2 CPⅢ点三角高程与对应水准高程的比较与统计分析

所收集到的 CPⅢ 高程网的水准高程,总共有 10 858 个。用本文方案二计算的三角高程,与相应的 CPⅢ水准高程的差异情况,按步长为 1.0 mm 进行区

间统计,统计的区间为(-5 mm,5 mm),统计的内容主要包括高程较差落入某一区间的个数和落入某一区间的百分比等情况。

总共 10 858 个 CPⅢ点三角高程与相应的水准高程的差异情况,如表 2 所示。

表2 CPⅢ点三角高程与相应的水准高程的差异情况统计表

高程较差区间/mm	0.0~1.0	1.0~2.0	2.0~3.0	3.0~4.0	4.0~5.0
CPⅢ点数	8 536	1 895	361	53	13
百分比/%	78.61	17.46	3.32	0.49	0.12
CPⅢ点累加数	8 536	10 431	10 792	10 845	10 858
累加数百分比/%	78.61	96.07	99.40	99.88	100.00

从表 2 可以看出:10 858 个高程较差落入(-1 mm, 1 mm) 区间的个数有 8 536 个,百分比为 78.61%; 10 858 个高程较差落入(-2 mm,2 mm) 区间的个数有 10 431 个,百分比为 96.07%; 10 858 个高程较差落入(-3 mm,3 mm) 区间的个数有 10 792 个,百分比为 99.40%;这说明 10 858 个 CPⅢ三角高程与其水准高程差异也绝大部分小于 ±3 mm,大于 ±3 mm 百分比仅为 0.60%。本项比较和分析结果表明:方案二的 CPⅢ三角高程网高程与 CPⅢ水准网高程相差都比较小,99.40% 以上的差异小于 ±3 mm,因此从概率的角度说明 CPⅢ三角高程网与 CPⅢ水准网的高程没有显著的差异,CPⅢ三角高程网可以代替 CPⅢ水准网。

4.3 CPⅢ三角高程网验后高差中误差大小的统计分析

文献[4]规定:CPⅢ高程网相邻点高差中误差应 ≤ ±0.5 mm。那么 CPⅢ三角高程网的此项精度指标能否满足文献[4]的规定呢?本文对收集到的 3 344 段 CPⅢ三角高程网验后高差中误差的大小进行了统计分析。此项精度指标的统计步长为 0.16 mm,统计的区间为(-0.8 mm,0.8 mm),统计的内容主要包括高差中误差落入某一区间的个数和落入某一区间的百分比等情况。

总共 3344 段 CPⅢ三角高程网验后高差中误差大小的分布情况,如表 3 所示。

表3 CPⅢ三角高程网验后高差中误差大小的分布情况统计表

高差中误差分布区间/mm	0.00~0.16	0.16~0.32	0.32~0.48	0.48~0.64	0.64~0.80
高差数	2 872	298	106	38	30
百分比/%	85.88	8.91	3.17	1.14	0.90
高差累加数	2 872	3 170	3 276	3 314	3 344
累加数百分比/%	85.88	94.80	97.97	99.10	100.00

从表 3 可以看出:所统计的 3 344 个验后高差中误差中,落入(-0.48 mm,0.48 mm) 区间的个数有 3 276 个,百分比为 97.97%;这说明 3 344 个验后高差中误差绝大部分小于 ±0.5 mm 的限差^[4]要求,大于 ±0.5 mm 的百分比不到 2.03%,符合误差分布的规律。本项统计分析结果表明:方案二的 CPⅢ三角高程网验后高差中误差都比较小,97.97% 以上的值小于

±0.5 mm,从概率的角度说明 CPⅢ三角高程网验后高差中误差的值能够满足 CPⅢ高程网的要求,因此 CPⅢ三角高程网可以代替 CPⅢ水准网。

4.4 CPⅢ三角高程网每公里高差全中误差和偶然中误差大小的统计分析

为了说明 CPⅢ三角高程网的精度能够达到二等水准测量的精度等级,还应该统计衡量高程控制网的两个

主要精度指标,即每公里高差全中误差和偶然中误差的值能否分别达到 $\leq \pm 2.0 \text{ mm/km}$ 和 $\leq \pm 1.0 \text{ mm/km}$ 的限差^[5]要求。为此随机抽取了 12 个区段约 50 km 的

CPⅢ平面网的自由测站观测值,按照方案二的方法计算了这 12 段 CPⅢ三角高程网的每公里高差全中误差和偶然中误差,统计结果如表 4 所示。

表 4 CPⅢ三角高程网每公里高差全中误差和偶然中误差大小情况统计表

CPⅢ区段编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
全中误差/(mm/km)	0.41	0.41	0.01	0.02	0.29	0.31	0.32	0.38	0.31	0.33	0.35	0.30
偶然中误差/(mm/km)	0.45	0.52	0.77	0.93	0.51	0.37	0.37	0.51	0.77	0.55	0.48	0.49

从表 4 可以看出:所统计的 12 个区段 CPⅢ三角高程网的每公里高差全中误差和偶然中误差,全部能够满足二等水准测量的精度要求,因此 CPⅢ三角高程网能够达到二等水准测量的精度等级,可以代替 CPⅢ水准网。

以上 CPⅢ三角高程网的实际精度定量统计结果,充分表明:按方案二构建的 CPⅢ三角高程网,其各项精度指标可以达到二等水准测量的精度等级,能够满足 CPⅢ高程网的精度要求。

5 主要结论

(1) 本文首次提出的基于自由测站观测值的 CPⅢ三角高程网建网测量方法,经过与大量水准测量成果的比较和统计分析,证明其精度可以达到二等水准测量的要求,完全可以取代 CPⅢ水准网,是一种 CPⅢ高程网建网测量的全新方法。

(2) 由于有了基于 CPⅢ平面网自由测站观测值的 CPⅢ三角高程网,可以不再进行单独的 CPⅢ高程外业测量,因此减少了 CPⅢ高程网水准测量的外业工作,这对提高工效、降低 CPⅢ网建网测量的成本,具有重要的意义。

(3) 利用 CPⅢ平面网自由测站观测值构建 CPⅢ三角高程网的技术,在国内外属首创,在高速铁路测量领域是一项具有自主知识产权的创新技术,我国第一部《高速铁路工程测量规范》,已经采用了本文的研究成果。

(4) 本课题已通过铁道部建设司的评审。基于 CPⅢ平面网自由测站观测值的 CPⅢ三角高程网,可减少 CPⅢ高程网测量外业工作,提高建网工效,经济效益显著。该项具有自主知识产权的创新技术成果,可作为“高速铁路工程测量规范”编制依据。

参考文献:

[1] 铁建设[2006]189号,客运专线无砟轨道铁路工程测量暂行规定[S].
Railway Construction [2006] No. 189, Interim Provisions for Engineering Survey of Passenger-special

Ballastless Railway[S].

- [2] 刘成龙,杨友涛,徐小左. 高速铁路 CPⅢ 交会网必要测量精度的仿真计算[J]. 西南交通大学学报,2008(6): 718-723.
Liu Chenglong, Yang Youtao, Xu Xiaozuo. Simulated Determination of Accuracy Requirement for Control Points III Intersection Networks in High-speed Railway [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2008 (6): 718-723.
- [3] 倪先桃. 无砟轨道 CPⅢ 高程控制网测量与数据处理方法研究[D]. 成都:西南交通大学, 2009.
Ni Xiantao. The Study on Vertical Network Survey and Data-processing Method of Ballastless Track Base-Piles CP III [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2009.
- [4] TB 10601—2009, 高速铁路工程测量规范[S].
TB 10601—2009, Code for Engineering Survey of High Speed Railway [S].
- [5] GB/T 12897—2006, 国家一、二等水准测量规范[S].
GB/T 12897—2006, Specifications for the First and Second Order Leveling [S].
- [6] 程昂,刘成龙,徐小左. CPⅢ平面网必要点位精度的研究[J]. 铁道工程学报,2009(1): 44-45.
Cheng Ang, Liu Chenglong, Xu Xiaozuo. Research on the Positional Accuracy Required for CP III Network [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2009(1): 44-45.
- [7] 徐小左,刘成龙,杨友涛. 无砟轨道精调中 CPⅢ网点稳定性检测方法的研究[J]. 铁道工程学报,2008(9): 21-22.
Xu Xiaozuo, Liu Chenglong, Yang Youtao. Research on the Detection Method of CP III Points Stability in Fine Adjustment of Ballastless Track [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2008(9): 21-22.
- [8] 武汉大学测绘学院-测量平差学科组. 误差理论与测量平差基础[M]. 武汉:武汉大学出版社, 2003.
Subject Group of Surveying Adjustment, School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University. Theory of Errors and Basis of Surveying Adjustment [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2003.

作者: [付建斌](#), [刘成龙](#), [卢建康](#), [何波](#), [杨雪峰](#), [FU Jian-bin](#), [LIU Cheng-long](#), [LU Jian-kang](#), [HE Bo](#), [YANG xue-feng](#)

作者单位: [付建斌, FU Jian-bin\(铁道部建设管理司, 北京, 100844\)](#), [刘成龙, 何波, 杨雪峰, LIU Cheng-long, HE Bo, YANG xue-feng\(西南交通大学, 成都, 610031\)](#), [卢建康, LU Jian-kang\(中国中铁二院工程集团有限责任公司, 成都, 610031\)](#)

刊名: [铁道工程学报](#) **ISTIC** **PKU**

英文刊名: [JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)

年, 卷(期): 2010(11)

被引用次数: 5次

参考文献(8条)

1. 铁建设[2006]189号, 客运专线无砟轨道铁路工程测量暂行规定
2. 刘成龙;杨友涛;徐小左 [高速铁路CPⅢ交会网必要测量精度的仿真计算](#)[期刊论文]-[西南交通大学学报](#) 2008(06)
3. 倪先桃 [无砟轨道CPⅢ高程控制网测量与数据处理方法研究](#) 2009
4. TB 10601-2009, 高速铁路工程测量规范
5. GB/T 12897-2006, 国家一、二等水准测量规范
6. 程昂;刘成龙;徐小左 [CPⅢ平面网必要点位精度的研究](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2009(01)
7. 徐小左;刘成龙;杨友涛 [无砟轨道精调中CPⅢ网点稳定性检测方法的研究](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2008(09)
8. [武汉大学测绘学院-测量平差学科组](#) [误差理论与测量平差基础](#) 2003

本文读者也读过(10条)

1. [赵梦杰](#), [刘成龙](#), [王化光](#), [黄志伟](#), [ZHAO Meng-jie](#), [LIU Cheng-long](#), [WANG Hua-guang](#), [HUANG Zhi-wei](#) [CPⅢ平面网半盘位观测的可行性研究与分析](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#)2011(1)
2. [张绪丰](#), [刘成龙](#), [陈澍](#), [郑子天](#), [ZHANG Xu-feng](#), [LIU Cheng-long](#), [CHEN Shu](#), [ZHENG Zi-tian](#) [2C互差对CPⅢ平面网精度影响的仿真计算与分析](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#)2011(1)
3. [吴明友](#), [Wu Mingyou](#) [客运专线无砟轨道铁路工程测量和铺设条件评估关键技术](#)[期刊论文]-[中国铁路](#)2006(10)
4. [王建红](#), [Wang Jianhong](#) [高速铁路轨道测量控制网区段搭接的探讨](#)[期刊论文]-[铁道勘察](#)2010, 36(6)
5. [方筠](#), [张俊生](#), [Fang Yun](#), [Zhang Junsheng](#) [郑西客运专线无砟轨道铺设施工测量技术](#)[期刊论文]-[石家庄铁道学院学报](#)2010, 23(1)
6. [李劲](#), [Li Jin](#) [高速铁路CPⅢ控制网置平处理结果分析](#)[期刊论文]-[价值工程](#)2010, 29(25)
7. [李明领](#), [Li Mingling](#) [高速铁路无砟轨道CPⅢ控制网建立与精度控制](#)[期刊论文]-[铁道标准设计](#)2010(1)
8. [徐小左](#), [XU Xiao-zuo](#) [高铁CPⅢ复测高程和相邻点高差较差限差的确定](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#)2010(10)
9. [王长进](#), [WANG Chang-jin](#) [高速铁路精测网建设有关问题的探讨](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#)2007(z1)
10. [张彪](#), [石德斌](#), [Zhang Biao](#), [Shi Debin](#) [高速铁路轨道控制网\(CPⅢ\)高程网建立方法探讨](#)[期刊论文]-[铁道勘察](#) 2011, 37(1)

引证文献(5条)

1. [孟峰](#), [马全明](#), [陈大勇](#), [李响](#), [高超](#) [CPⅢ控制网测量技术在城市轨道交通中的应用研究](#)[期刊论文]-[测绘通报](#) 2013(1)
2. [龚循强](#), [李威俊](#), [周秀芳](#) [自由测站法在高速铁路CPⅢ平面网测量中的应用](#)[期刊论文]-[测绘工程](#) 2013(6)
3. [龚率](#), [刘成龙](#), [何永军](#), [杨雪峰](#), [袁恒](#) [高铁轨道基准网三角高程网构网及数据处理方法研究](#)[期刊论文]-[铁道建筑](#) 2012(6)

4. [杨友涛, 孔延花](#) [高速铁路轨道基准网数据采集程序研究与开发](#) [期刊论文]-[铁道标准设计](#) 2011(8)
5. [刘成龙, 杨雪峰, 卢建康, 何波](#) [高速铁路CPIII三角高程网构网与平差计算方法](#) [期刊论文]-[西南交通大学学报](#) 2011(3)

引用本文格式：[付建斌, 刘成龙, 卢建康, 何波, 杨雪峰](#). [FU Jian-bin, LIU Cheng-long, LU Jian-kang, HE Bo, YANG xue-feng](#) [基于自由测站的高速铁路CPIII高程控制网建网方法研究](#) [期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2010(11)