

文章编号: 1006 - 2106(2012) 02 - 0037 - 04

高速铁路 CPⅢ网区段搭接数据处理研究*

石德斌** 张彪 王元昌 李新增

(铁道第三勘察设计院集团有限公司, 天津 300251)

摘要: 研究目的: 高速铁路轨道控制网(CPⅢ)相邻区段的搭接是否合理将直接影响轨道的平顺性,影响轨道长短波检测的计算结果。本文针对国内轨道控制网CPⅢ两种主要的区段衔接方法,结合工程实际进行了研究。给出两种搭接计算的算法,对两种算法的结果进行比较,并对其优缺点进行分析对比;对搭接平差前超限情况的处理方法进行阐述,为类似工程应用提供参考。

研究结论: 在相邻两段CPⅢ网独立平差后搭接区点的坐标较差 ≤ 3 mm情况下,两种方法得到的搭接平滑结果,均可以满足轨道长短波检测的需要。从测量理论和实际应用出发,严密平差搭接的方法应该更可靠,搭接数据处理的可操作性更强,更适用于工程测量实际情况。

关键词: 轨道控制网; 区段搭接; 数据处理

中图分类号: U238 文献标识码: A

Research on Sectional Overlapping Data Processing of Track Control Network for High - speed Railway

SHI De - bin , ZHANG Biao , WANG Yuan - chang , LI Xin - zeng

(The Third Railway Survey and Design Institute Group Corporation , Tianjin 300251 , China)

Abstract: Research purposes: Whether the overlapping of the adjacent section of track control network(CPⅢ) for high - speed railway is rational or not will affect the track regularity and the computation results of checking the long and short waves of the track. Combining with the real projects , this paper researches the two main ways for the section overlapping of the track control networks in China , offers the methods for calculation of two kinds of overlapping , compares their results , analyzes their advantages and disadvantages and explains the treatment method for the condition that the discrepancy exceeds the tolerance before the overlapping adjustment for the purpose of providing the reference to the similar projects in future.

Research conclusions: Under the condition that the coordinates discrepancy of CPⅢ points in adjacent two overlapping sections are lower than 3 mm after independent adjustment , the overlapping smooth results obtained with these two methods can meet the demand of checking the long and short waves of the track. From the angles of the survey theory , practice and application , the rigorous adjustment overlapping method is more reliable , its maneuverability of the overlapping data processing is better , and it is more available for the engineering survey.

Key words: CPⅢ; section overlapping; data processing

高速动车组能够安全、平稳地持续高速运行,必须依靠轨道的高平顺性,而轨道的高平顺性是直接通过

高精度的轨道控制网来实现的。在实际工程中,轨道控制网必须要根据施组计划和结构物单元划分为若干

* 收稿日期: 2011 - 10 - 19

** 作者简介: 石德斌, 1970年出生,男,高级工程师。

个区段,这必然存在着段落间的平顺衔接问题,因此,对于轨道控制网的高精度不仅指网内相对精度以及网点的绝对位置精度,而且应该包括网段间高精度的合理平顺衔接。目前,国内主要有两种轨道控制网的区段衔接方法,一种为现行《高速铁路工程测量规范》中规定的严密平差搭接,另一种为直接坐标法的余弦函数平滑搭接。文中轨道控制网统一用CPⅢ简称。本文在理论分析的基础上,结合工程实际,对这两种方法进行研究,并提出研究结论和建议。

1 两种搭接方法的简介

1.1 严密平差搭接处理——线性回归计算

CPⅢ网根据施工需要必须分段测量,分段测量的测段长度不宜小于4 km。测段间应重复观测不少于6对CPⅢ点作为分段重叠观测区域,以便进行测段衔接。施工时,CPⅢ网两端宜分别预留6对CPⅢ点,作为后续CPⅢ控制网连接区域。测段之间衔接时,前后测段独立平差重叠点坐标差值应满足 $\leq \pm 3$ mm。满足该条件后,后一测段CPⅢ网平差,应采用本测段联测的CPⅠ、CPⅡ控制点及重叠段前一区段连续的1~3对CPⅢ点坐标进行约束平差。再次平差后,其他未约束的重叠点在两个区段分别平差后的坐标差值不宜大于1 mm(这项指标是在工程实践中总结和推广开来的,非规范要求指标)。若坐标差值大于1 mm时,应查明原因,确认无误后,未约束的重叠点坐标应采用后一区段CPⅢ网的平差结果,并在新提交成果中注明;若坐标差值小于1 mm,则采用前一区段CPⅢ网的平差结果。

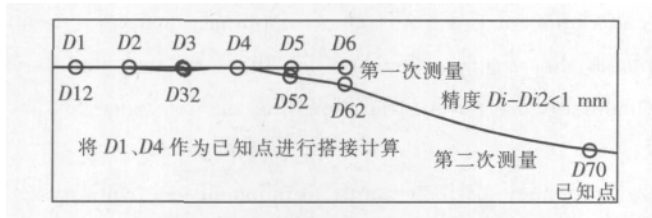


图1 严密平差搭接方法示意图

坐标换带处CPⅢ平面网计算时,应分别采用相邻两个投影带的CPⅠ、CPⅡ坐标进行约束平差,并分别提交相邻投影带两套CPⅢ平面网的坐标成果。分带投影测段之间衔接时,前后测段独立平差重叠点,通过坐标转换成相同坐标系的坐标差值应满足 $\leq \pm 3$ mm。满足该条件后,后一测段CPⅢ网平差,应采用本测段联测的CPⅠ、CPⅡ控制点及前测段所有CPⅢ点转换坐标成果进行固定约束平差。提供两套坐标的CPⅢ区段长度不应小于800 m。

1.2 直接坐标法余弦函数平滑搭接

这种方法的前提条件是,测段之间衔接时,前后测段独立平差重叠点坐标差值应满足 $\leq \pm 3$ mm。满足该条件后,对于搭接区域的点的坐标可采用余弦平滑计算方法进行处理,计算方法如图2所示。

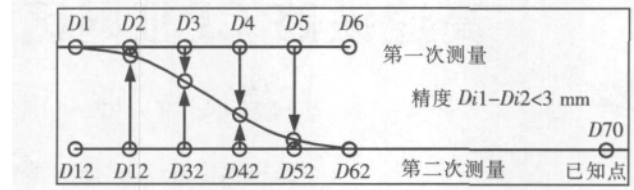


图2 余弦平滑计算方法进行搭接示意图

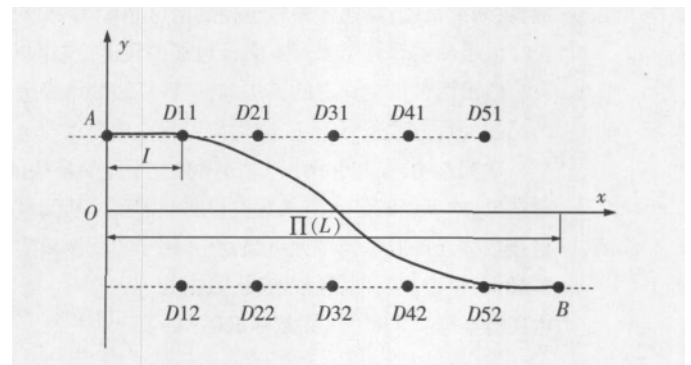


图3 CPⅢ平面余弦函数拟合示意图

如图3所示, D_{11} 、 D_{21} 、 D_{31} 、 D_{41} 、 D_{51} 为前一测站最后预留搭接的5个CPⅢ,其坐标分别为 (X_{11}, Y_{11}) ; (X_{21}, Y_{21}) 、 (X_{31}, Y_{31}) 、 (X_{41}, Y_{41}) 、 (X_{51}, Y_{51}) ; D_{12} 、 D_{22} 、 D_{32} 、 D_{42} 、 D_{52} 为当前测站搭接的5个CPⅢ,其坐标分别为 (X_{12}, Y_{12}) 、 (X_{22}, Y_{22}) 、 (X_{32}, Y_{32}) 、 (X_{42}, Y_{42}) 、 (X_{52}, Y_{52}) ; A 为前一测站被搭接的5个CPⅢ点最近的一个CPⅢ点, B 为当前测站被搭接的5个CPⅢ点最近的一个CPⅢ点, A 、 B 点间距离设为 L 。

假设各CPⅢ之间的距离相等,设为 I 。若采用余弦函数平滑处理两测站的CPⅢ搭接点,则设余弦曲线为 $y = a \cos x + t$,其中 a 为振幅, t 为余弦曲线在 y 轴方向平移量。

对两测站的搭接点采用余弦曲线加权平滑,赋予前一测站搭接点CPⅢ坐标的权为 y ,后一测站搭接点CPⅢ坐标的权为 $1 - y$ 。由于 A 、 B 为非搭接的CPⅢ点,其观测坐标在平滑处理前后不变。在 A 点时 $x = 0^\circ$ $y = 1$;在 B 点时 $x = 180^\circ$ $y = 0$,因此可以得到方程组,如式(1)所示。

$$\left. \begin{aligned} a \times \cos 0^\circ + t &= 1 \\ a \times \cos 180^\circ + t &= 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{cases} a = 0.5 \\ t = 0.5 \end{cases} \Rightarrow y = 0.5 \cos x + 0.5 \quad (1)$$

得到加权余弦函数表达式后,便能求出中间5个 CPⅢ 搭接点的权,如式(2)所示。

$$\begin{cases} y_1 = 0.5 \cos \pi I / L + 0.5 \\ y_2 = 0.5 \cos 2 \pi I / L + 0.5 \\ y_3 = 0.5 \cos 3 \pi I / L + 0.5 \\ y_4 = 0.5 \cos 4 \pi I / L + 0.5 \\ y_5 = 0.5 \cos 5 \pi I / L + 0.5 \end{cases} \quad (2)$$

由此可得到各搭接 CPⅢ 点余弦加权平滑后的唯一坐标为:

$$\begin{cases} X_i = X_{i1} \cdot y_i + X_{i2} \cdot (1 - y_i) \\ Y_i = Y_{i1} \cdot y_i + Y_{i2} \cdot (1 - y_i) \end{cases} \quad i = 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \quad (3)$$

2 两种方法的工程数据对比分析

2.1 段落计算

按照 CPⅢ网段落搭接的两个基本指标如第 1.1 节第一段所述内容,用两种方法进行实例计算。考虑第一个指标一般容易满足,这里选取了三个实际搭接区只分析第二个指标。由于保密需要,表 1~表 3 只列出差值情况。

表 1 段落一

点名	余弦平滑方法搭接成果与上一段落成果坐标差值		常规方法搭接成果与上一段落成果坐标差值	
	$\Delta X/mm$	$\Delta Y/mm$	$\Delta X/mm$	$\Delta Y/mm$
460306	0.00	0.00	0.00	0.00
460304	-0.10	0.13	0.00	0.00
460302	-0.17	0.31	0.00	0.00
459332	-0.62	0.25	-0.20	0.00
459330	-0.52	-0.10	-0.80	-0.10
459328	-1.48	0.12	0.00	-0.80
460305	0.00	0.00	0.00	0.00
460303	-0.10	0.08	0.50	0.60
460301	-0.22	0.19	-0.40	0.60
459331	-0.26	-0.11	0.00	0.00
459329	-0.51	-0.53	0.00	0.00
459327	-1.36	0.00	0.00	-0.80

表 2 段落二

点名	余弦平滑方法搭接成果与上一段落成果坐标差值		常规方法搭接成果与上一段落成果坐标差值	
	$\Delta X/mm$	$\Delta Y/mm$	$\Delta X/mm$	$\Delta Y/mm$
544312	0.00	0.00	0.00	0.00
544310	-0.10	0.03	-0.54	-0.07
544308	-0.10	0.11	0.10	0.17
544306	-0.25	0.02	-0.13	-0.01
544304	-0.50	0.19	-0.18	0.29

续表 2 段落二

点名	余弦平滑方法搭接成果与上一段落成果坐标差值		常规方法搭接成果与上一段落成果坐标差值	
	$\Delta X/mm$	$\Delta Y/mm$	$\Delta X/mm$	$\Delta Y/mm$
544302	-0.81	-0.14	-0.58	0.06
544311	0.00	0.00	0.00	0.00
544309	-0.11	0.02	-0.76	-0.15
544307	-0.11	-0.05	0.02	-0.36
544305	-0.28	-0.37	-0.13	-0.52
544303	-0.96	-0.61	-0.80	-0.54
544301	-1.50	-0.27	0.00	0.00

表 3 段落三

点名	余弦平滑方法搭接成果与上一段落成果坐标差值		常规方法搭接成果与上一段落成果坐标差值	
	$\Delta X/mm$	$\Delta Y/mm$	$\Delta X/mm$	$\Delta Y/mm$
420336	0.00	0.00	0.22	0.70
420334	0.05	0.23	0.89	0.66
420332	-0.22	0.24	-0.05	-0.01
420330	-0.18	-0.09	0.28	0.29
420328	-0.12	-0.79	0.03	-0.03
420326	-0.31	-2.54	0.55	-0.70
420335	0.00	0.00	0.23	-0.03
420333	0.10	0.21	0.02	-0.01
420331	-0.11	0.40	-0.23	0.63
420329	-0.28	-0.36	0.00	0.01
420327	-0.82	-1.11	-0.15	-0.01
420325	0.85	-2.74	0.33	-1.00

由以上 3 个段落分析可以看出,余弦平滑方法搭接成果有 6 个值超过 1 mm 的限差要求,且有 2 个值较大,而常规方法搭接计算无超限值。

2.2 余弦函数平滑法处理 CPⅢ平面搭接的优势

(1) 根据前后两相邻段独立平差结果,利用余弦函数定权平滑法获得搭接段 6 对点最终平面坐标值,省去搭接约束 2~3 对 CPⅢ点约束平差步骤,进而不必考虑搭接约束平差容易产生的角度改正数超限问题。

(2) 工程实践证明,“正常情况”下,在判断相邻两段搭接处独立平差结果较差满足 3 mm 限差时,利用平滑法获得的坐标成果与搭接约束 2~3 对 CPⅢ点获得的最终坐标成果较差在 1.5 mm 左右,其精度满足轨道基准网测量的要求。

(3) 通过余弦函数平滑法处理,使前后两个测段 CPⅢ网过渡平滑,保证了在搭界点与非搭界点之间不会产生突变,有利于保证搭界段落内轨道短波的平顺性。

2.3 余弦函数平滑法处理 CPⅢ平面搭接的劣势

(1) 对于“点位移动”和“连续梁处”两种情况,判断个别点确实存在位移时,相邻两段独立平差结果较差超过 3 mm,平滑法已不再适用。首先,该方法本身的局限性,其适用前提是相邻两段独立平差坐标较差满足 3 mm 限差要求。其次,若不考虑该限差,势必会忽略粗差影响,强制定权平滑得出位移点坐标成果与搭接平差更新后坐标成果较差值为 3 mm,对后续轨道基准网平差造成麻烦。

(2) 平滑算法是利用前后两段独立平差结果通过点间距加权处理段落搭接问题,而后搭接段落测量所获取的搭接处最新现状 CPⅢ点间的边、角关系没有直接参与计算搭接点最终坐标成果,势必会影响到轨道基准网测量、平差计算。

(3) 平滑法处理搭接问题其结果影响仅局限于搭接的 6 对 CPⅢ点,对 6 对点以外的 CPⅢ点不产生任何影响,其过渡范围仅在 6 对点之间。而搭接约束平差过渡范围较大,其他 CPⅢ点也会根据距离分摊段落搭接产生的误差,更利于提高线路的长波平顺性。

(4) 余弦函数平滑搭接对于搭接段非线性分布的两段结果将不再适用。

3 搭接平差前超限数据处理

3.1 平面搭接

对于测段之间搭接时,前后测段独立平差重叠点坐标差值不满足 $\leq \pm 3$ mm 时,有以下两种处理措施。

3.1.1 重新测量重叠区域 CPⅢ点

一般是将包含有重叠的 6 对 CPⅢ点的所有自由测站全部补测(含加密 CPII 点),再约束加密 CPII 点重新独立平差,进行重叠点坐标较差比较,满足要求,搭接平差。

3.1.2 深度搭接

这其中有两种深度搭接方案:其一,CPⅢ平面测量延伸至下一个加密 CPII 点,范围为该 CPII 点外有 3 对 CPⅢ点,再约束所有联测的加密 CPII 点重新独立平差,进行重叠点坐标较差比较,满足要求,搭接平差。其二,CPⅢ平面测量深度延伸搭接仅 2 对 CPⅢ点,将其中延伸搭接的 1 对 CPⅢ点和所有加密 CPII 点约束重新独立平差,进行重叠点坐标较差比较,满足要求,搭接平差。

3.2 水准搭接

对于测段之间搭接时,前后测段独立平差重叠点高程差值不满足 $\leq \pm 3$ mm 时,有以下两种处理措施:

(1) 重新补测 CPⅢ点与加密水准点之间高差,并与前一段 CPⅢ网中 CPⅢ点与加密水准点所联测的高

差进行比对,再对重叠的 CPⅢ环进行检测,确认无误。若判断加密水准点发生沉降,则将重叠区域一对端点 CPⅢ和其他加密水准点作为已知点独立平差,进行重叠点高程较差比较,满足要求,搭接平差。

(2) CPⅢ高程测量深度延伸搭接 600 m 左右 CPⅢ点,将其中延伸搭接的一对端点 CPⅢ点和加密水准点约束重新独立平差,进行重叠点高程较差比较,满足要求,搭接平差。

4 结论

相邻两段 CPⅢ网独立平差后搭接区点的坐标较差 ≤ 3 mm,由 CPⅢ网的刚性特征可以得出,相邻两段 CPⅢ网联测的加密网的兼容性是非常好的,其点位中误差应该优于 3 mm。

两种搭接方法虽然各有优缺点,但两种搭接方法平差后的绝对坐标差值在 1.5 mm 左右,对轨道基准网测设和平差计算基本不产生影响。两种方法得到的搭接平滑结果,均可以满足轨道长短波(10 mm/150 m, 2 mm/5 m)检测的需要。但从测量理论和实践应用出发,严密平差搭接的方法应该更可靠,搭接数据处理的可操作性更强,更适用于工程测量实际情况。

参考文献:

- [1] 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].
- [2] 刘成龙,等.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, etc. 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] 黄志伟,等.高速铁路 CPⅢ平面控制网相邻区段搭接方法研究[J].铁道科学与工程学报,2010(6):111-115. Huang zhiwei, etc. Research of Lapping Methods Between Adjacent Regions for CPIII Plane Network in High-speed Railway [J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2010(6):111-115.
- [4] 石德斌,等.高速铁路轨道控制网测量和数据处理探讨[J].铁道工程学报,2009(4):26-27. Shi Debin, etc. Exploration on Surveying and Data Processing of Control Network for Ballastless Track of High-speed Railway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2009(4):26-27.

(编辑 曹淑荣)