

CPIII 平面控制网数据处理方法的研究

孙立双¹,刘家良¹,佟 舟²

(1. 沈阳建筑大学交通工程学院, 辽宁 沈阳 110168; 2. 沈阳城市建设学院土木工程系, 辽宁 沈阳 110167)

摘 要 目的 为了能够精确计算 CPIII 平面控制点坐标的最优估计值并评定其精度, 提出一种 CPIII 平面控制网的数据处理方法. 方法 以各测站点为原点, 计算各测站上所有观测点坐标; 采用相邻测站同名观测点坐标计算四参数, 将相邻测站观测点坐标统一到假定坐标系下; 采用 CPI 和 CPII 已知坐标和假定坐标再次计算四参数, 计算所有观测点概略坐标; 利用间接平差的方法求得 CPIII 控制点的近似坐标, 并进行精度评定. 结果 以武广客运专线中某 8 km 平面控制网为例, 计算 84 个 CPIII 控制点间接平差后坐标, 最弱点的点位精度为 0.000 92 m, 所有 CPIII 网的点位精度达到 ± 0.001 m. 结论 该数据处理方法能够精确计算 CPIII 平面控制点坐标并评定其精度, 满足 CPIII 平面控制网数据处理要求.

关键词 数据处理; CPIII 控制网; 间接平差; 四参数转换; 精度评定

中图分类号 TU198+.2

文献标志码 A

Research on Data Processing Method of High Speed Rail CPIII Plane Control Network

SUN Lishuang¹, LIU Jialiang¹, TONG Zhou²

(1. School of Transportation Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168; 2. Department of Civil Engineering, Shenyang Urban Construction University, Shenyang, China, 110167)

Abstract: The data processing method of CPIII plane control network was proposed to calculate the coordinate optimal appraisalment of the CPIII plane control points and assess the accuracy of the control points more accurately. All observation point coordinates of each station were calculated when each station was looked as origin. The four-parameter were calculated by using connection station homologous coordinates and the connection station observation points coordinates were united to assumed coordinate system. Then the four-parameter were calculated by using the known coordinates and the assumed coordinates of CPI and CPII. The approximate coordinates of CPIII control points was obtained by using indirect adjustment and the accuracy was assessed. The 8 km linear engineering of passenger line from Wuhan to Guangzhou was looked as prototype. The results showed that 84 coordinates after indirect adjustment were obtained. The weakest point precision was 0.00092m and all CPIII network points' accuracy reached ± 0.001 m. It indicates that the

收稿日期:2016-05-25

基金项目:国家自然科学基金项目(51178277);辽宁省科学事业公益研究基金项目(2015003004)

作者简介:孙立双(1977—),男,副教授,博士,主要从事 GIS 方面研究.

CPIII plane control point coordinates can be calculated accurately and the accuracy can be assessed by using this method and the requirements of CPIII data processing can be met.

Key words: data processing; CPIII control net; indirect adjustment; four parameter conversion; accuracy evaluation

轨道控制网(CPIII)是沿铁道线路布设的控制网,它为高铁轨道的铺设和运营维护提供控制基准. 高铁 CPIII 平面控制网采用自由设站法对测站点到各控制点的水平方向值和距离进行观测. 其控制网路线长、控制点多,外业观测数据量巨大,控制点精度高,传统数据处理方法无法满足轨道平顺性的精度要求,因此精确的 CPIII 平面控制网数据处理方法对轨道施工非常重要^[1-4]. 高铁 CPIII 平面控制网的数据处理包括计算 CPIII 平面控制点和测站点的概略坐标,通过间接平差法计算观测点点位中误差,并对点位坐标进行精度评定^[5-8]. 目前已有一些 CPIII 数据处理软件被应用于我国的高速铁路建设. 例如中铁二院与西南交通大学联合研制的 CPIII DAS,适用于任何规模的平面控制网概算、平差和精度评定. 铁道第三勘察设计院与同济大学于共同研发的 TSDI_HRSADJ,具有重合点比较功能,测站平差功能和坐标转换功能. 中铁八局与西南交通大学联合研制的无砟轨道施工测量控制网处理系统(WZ-TCS)用判断矩阵和可靠性理论进行测量原始数据误差分析和质量控制. 基于此,笔者提出了一种 CPIII 平面控制网的数据处理方法,利用四参数转换计算 CPIII 控制点概略坐标,利用间接平差计算 CPIII 控制点的近似坐标,并进行精度评定. 该数据处理方法能够精确计算高铁 CPIII 平面控制点坐标并评定其精度,且满足 CPIII 平面控制网数据处理要求.

1 CPIII 平面控制点的概略坐标计算

CPIII 平面控制点的概略坐标计算主要分为 4 个步骤:①以各测站点为原点,测站点

到起始观测点为初始方向,计算各测站所有观测点坐标;②建立假定坐标系,通过相邻两个测站坐标系下的重复观测点坐标,利用四参数将其中一个测站观测点坐标转换至另一个测站的假定坐标系下;③重复步骤②,将其余所有测站观测点坐标转换至该点的假定坐标系下,得到所有点在假定坐标系下的坐标;④采用 CPI 和 CPII 点假定坐标和已知坐标,计算四参数,通过四参数计算所有观测点概略坐标. CPIII 平面控制点的概略坐标计算技术流程如图 1 所示.

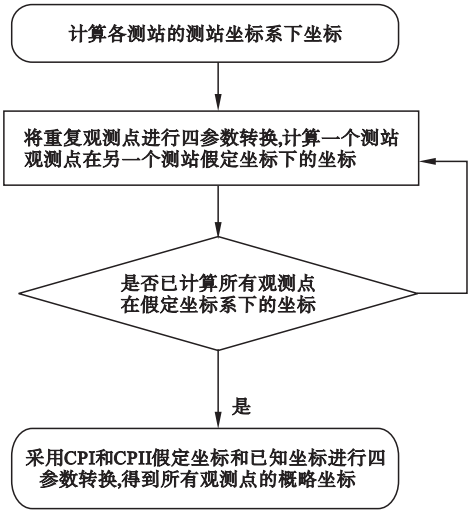


图 1 CPIII 平面控制点的概略坐标计算流程示意图

Fig. 1 Sketch map of approximate coordinates calculation technical process of CPIII plane control points

1.1 建立测站坐标系

CPIII 平面控制点的概略坐标计算示意图如图 2 所示,在测站点 A 观测了 1、3、5、7、9、11、12、10、8、6、4、2 共 12 个方向. 以自由测站点 A 为坐标原点,建立一个测站坐标系,测站上的起始方向 A-1 方位角为 $\alpha_{A1} = 0^{\circ}00'00.00''$.

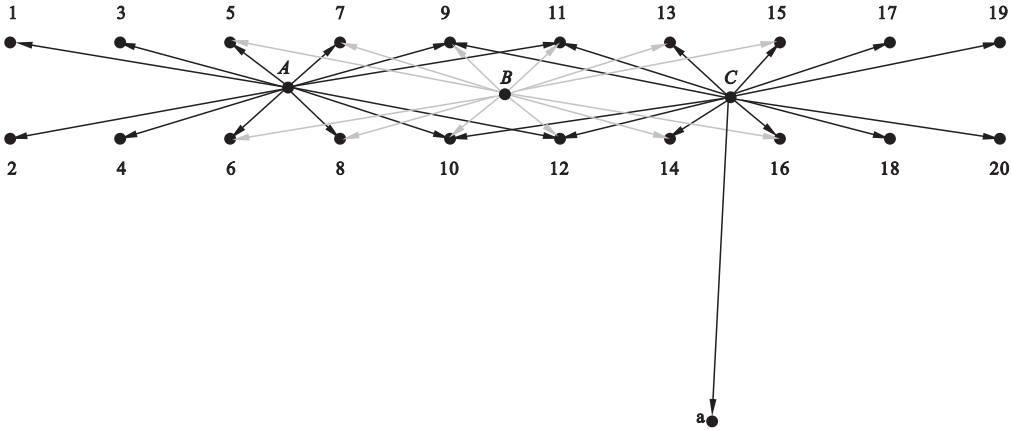


图2 CPIII 平面控制点的概略坐标计算示意图

Fig. 2 Sketch map of approximate coordinates calculation of CPIII plane control points

由式(1)计算在该测站坐标系下的各
CPIII 观测点的坐标.

$$\begin{cases} x_{Ai}=0.000+\Delta x_{Ai}=S_{Ai}\cdot\cos\alpha_i^0, \\ y_{Ai}=0.000+\Delta y_{Ai}=S_{Ai}\cdot\sin\alpha_i^0. \end{cases} \quad (1)$$

其中, i 为 CPIII 观测点的点号. 重复此
步骤建立其余测站观测点在各自测站坐标系
下的坐标.

1.2 求解四参数

在图2中, A 、 B 测站观测点 5、6、7、8、
9、10、11、12 为重复观测点,这些重复观测点
有在 A 和 B 坐标系下的两套坐标. 设有某
点在 A 坐标系中的坐标为 (x_i, y_i) , 在 B
坐标系中的坐标为 (x'_i, y'_i) , 则坐标转换方
程为

$$\begin{cases} x_i=a+x'_i c-y'_i d, \\ y_i=b+x'_i d+y'_i c. \end{cases} \quad (2)$$

a 、 b 、 c 、 d 即为所求四参数.

列出误差方程为

$$\begin{bmatrix} v_{x5} \\ v_{y5} \\ \vdots \\ v_{x12} \\ v_{y12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x'_5 & -y'_5 \\ 0 & 1 & y'_5 & x'_5 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & x'_{12} & -y'_{12} \\ 0 & 1 & y'_{12} & x'_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a^0+\hat{a} \\ b^0+\hat{b} \\ c^0+\hat{c} \\ d^0+\hat{d} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_5 \\ y_5 \\ \vdots \\ x_{12} \\ y_{12} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

$$\text{设 } V=[v_{x5} \quad v_{y5} \quad \cdots \quad v_{x12} \quad v_{y12}]^T,$$

$$B=\begin{bmatrix} 1 & 0 & x'_5 & -y'_5 \\ 0 & 1 & y'_5 & x'_5 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & x'_{12} & -y'_{12} \\ 0 & 1 & y'_{12} & x'_{12} \end{bmatrix},$$

$$X^0=[a^0 \quad b^0 \quad c^0 \quad d^0]^T,$$

$$\hat{x}=[\hat{a} \quad \hat{b} \quad \hat{c} \quad \hat{d}]^T,$$

$$L=[x_5 \quad y_5 \quad x_6 \quad y_6 \quad \cdots \quad x_{12} \quad y_{12}]^T.$$

则误差方程可写成

$$V=B\hat{x}-l, l=L-BX^0. \quad (4)$$

按照最小二乘原理,式(4)中的 \hat{x} 必须
满足 $V^T P V$ 值最小的要求,因为各点的坐标
为同精度独立观测,所以令 $P=I$. 把各点坐
标代入上述误差方程,然后按照式(5)求解
出转换参数改正数 \hat{x} .

$$\hat{x}=(B^T B)^{-1}(B^T l). \quad (5)$$

实际计算过程中可利用计算机进行迭代
求解,设四个转换参数 a 、 b 、 c 、 d 的初始值均
为 0,即 $a^0=0, b^0=0, c^0=0, d^0=0$, 然后第一
次计算出四参数改正数 \hat{x}_1 , 求出 V_1 , 再将改
正过后的 X_1^0 代入式(4)再次计算出四参数
改正数 \hat{x}_2 , 求出 V_2 , 重复上述步骤直至 V_i 与
 V_{i-1} 的差值小于所定值即可输出四参数. 求
解四参数的流程图如图3所示.

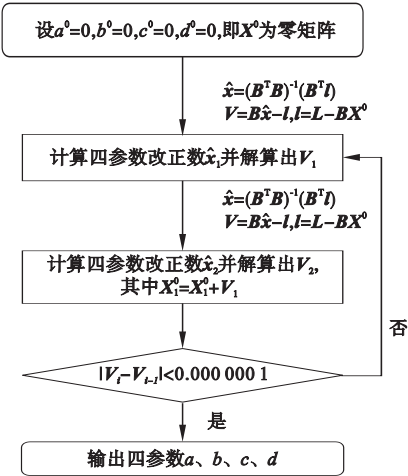


图3 求解四参数流程图

Fig. 3 Sketch map of solving four-parameter

1.3 起算测站在控制网中间的假定坐标系的建立

现以A点为原点建立一个假定坐标系,并将B测站坐标系下的所有观测点坐标利用四参数坐标转换转换到A假定坐标系下,依次重复此步骤将其余的所有测站坐标系下的点坐标全部转换到A坐标系下便完成了区段假定坐标系的建立.

计算结果显示:计算点离起算测站越远,坐标误差累积越大,近似坐标误差越大.为得到准确的近似坐标,笔者提出将起算测站定在控制网中间,然后向两边计算近似坐标的方法.具体计算方法如图4所示.

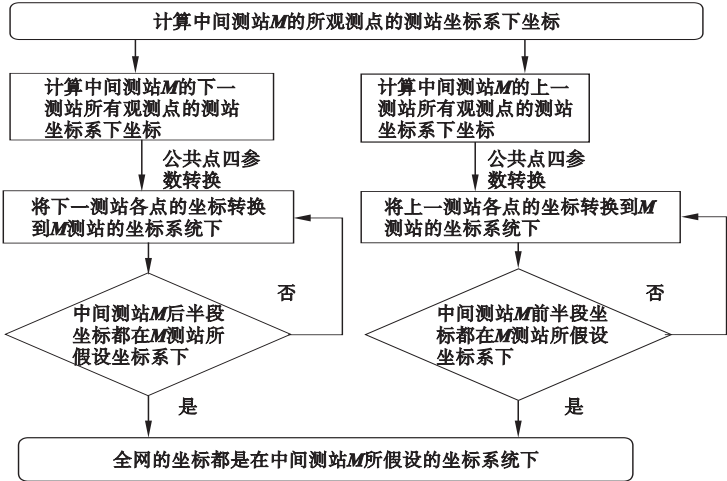


图4 起算测站在控制网中间的假定坐标系的建立流程

Fig. 4 Sketch map of assumed coordinate system technical process when starting station in intermediate control network

2 CPIII 平面控制网的间接平差

自由测站上方向、距离观测示意图如图

5 所示,假如每个区段有*i*个测站点,测站点的点号用下标*i*表示(*i*=A,B,...);每个测站点*i*上又有*j*个观测方向点,则观测方向点

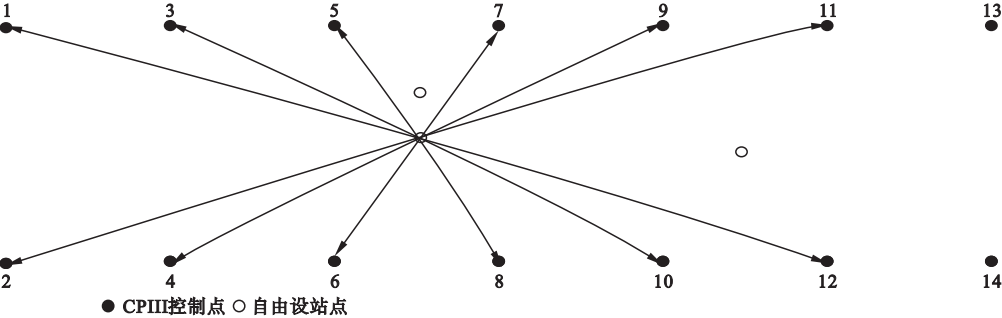


图5 自由测站上方向、距离观测示意图

Fig. 5 Sketch map of orientation and distance in a free observation

的点号用下标 j 表示 ($j=1, 2, \dots, n$).

2.1 误差方程的建立

在建立水平方向误差方程前,应先计算各测站定向角的近似值,按照式(6)进行计算:

$$w_i^0 = \frac{(T_{i1}^0 - L_{i1}) + (T_{i2}^0 - L_{i2}) + \dots + (T_{in}^0 - L_{in})}{n}. \quad (6)$$

其中, $T_{ij}^0 = \arctan \frac{Y_j^0 - Y_i^0}{X_j^0 - X_i^0}$. 设水平方向观测值为 L , 其改正数为 v_L , 某一待定点的近似

$$v_{Lij} = \rho'' \frac{X_j^0 - Y_i^0}{(S_{ij}^0)^2} \delta x_i - \rho'' \frac{X_j^0 - X_i^0}{(S_{ij}^0)^2} \delta y_i - \rho'' \frac{Y_j^0 - Y_i^0}{(S_{ij}^0)^2} \delta x_j + \rho'' \frac{X_j^0 - X_i^0}{(S_{ij}^0)^2} \delta y_j - \delta w_i - l_{ij}. \quad (8)$$

其中, $l_{ij} = T_{ij}^0 - (L_{ij} + w_{ij}^0)$, $\rho'' = 206\ 265$,

$$S_{ij}^0 = \sqrt{(X_j^0 - X_i^0)^2 + (Y_j^0 - Y_i^0)^2}.$$

$$S_{ij} + v_{s_{ij}} = \sqrt{[(X_j^0 + \delta x_j) - (X_i^0 + \delta x_i)]^2 + [(Y_j^0 + \delta y_j) - (Y_i^0 + \delta y_i)]^2}. \quad (9)$$

将上述水平距离误差方程式改写为下述的线性式:

$$v_{s_{ij}} = -\frac{X_j^0 - X_i^0}{S_{ij}^0} \delta x_i - \frac{Y_j^0 - Y_i^0}{S_{ij}^0} \delta y_i + \frac{X_j^0 - X_i^0}{S_{ij}^0} \delta x_j + \frac{Y_j^0 - Y_i^0}{S_{ij}^0} \delta y_j - (S_{ij}^0 - S_{ij}). \quad (10)$$

2.2 观测权值的确定

进行观测精度计算时,首先应利用观测仪器的标称精度对观测值进行定权^[9-14]. 定权公式如下:

$$\delta_{\text{边长}} = \sqrt{A^2 + B^2} \times S^2. \quad (11)$$

水平距离的权定为

$$P_{ij} = \frac{\sigma_L^2}{(a + b \cdot S_{ij})^2}. \quad (12)$$

式中: σ_L 为水平方向测量中误差; a 、 b 分别为距离测量的固定误差和比例误差; S_{ij} 为自由设站点 i 到 CPIII 的距离.

水平方向观测值的权可定为1,则水平

$$Q_{\hat{X}\hat{X}} = Q_{\delta\hat{X}\delta\hat{X}} = (B^T P B)^{-1} B^T P Q_{LL} [(B^T P B)^{-1} B^T P]^T = (B^T P B)^{-1}. \quad (15)$$

则 CPIII 控制点在 X 和 Y 方向上的坐标中误差及其点位误差分别为^[15-20]

$$\begin{cases} \sigma_{\hat{X}_i} = \sigma_0 \sqrt{Q_{\hat{X}\hat{X}_i}}, \\ \sigma_{\hat{Y}_i} = \sigma_0 \sqrt{Q_{\hat{Y}\hat{Y}_i}}, \\ \sigma_{P_i} = \sqrt{\sigma_{\hat{X}_i}^2 + \sigma_{\hat{Y}_i}^2}. \end{cases} \quad (16)$$

3 CPIII 数据处理方法的算例

为验证该数据处理方法的准确性,笔者

坐标为 X^0, Y^0 , 其平差改正值为 $\delta x, \delta y$, 则可建立水平方向误差方程式:

$$L_{ij} + v_{L_{ij}} + w_i = \arctan \frac{(Y_j^0 + \delta y_j) - (Y_i^0 + \delta y_i)}{(X_j^0 + \delta x_j) - (X_i^0 + \delta x_i)}. \quad (7)$$

将每个函数式按照泰勒级数在点 $X_A^0, X_B^0, \dots, X_H^0, X_1^0, X_2^0, \dots, X_{32}^0$ 处展开,并省略二次及其以上各项,得到线性形式的水平方向误差方程式为

水平距离误差方程式为

距离与水平方向观测值的权阵为

$$P = \begin{bmatrix} P_{\text{水平距离}} & 0 \\ 0 & P_{\text{水平方向}} \end{bmatrix}. \quad (13)$$

2.3 精度评定

将上述的水平距离误差方程组系数矩阵设定为 B_1 , 水平方向误差方程组系数矩阵设定为 B_2 , 二者合并得到:

$$B = \begin{bmatrix} B_1 & 0 \\ 0 & B_2 \end{bmatrix}. \quad (14)$$

根据水平距离和水平方向观测值的权阵式(13)和协因数传播律求得 CPIII 控制点以及自由设站点坐标的协因数阵为

以武广客运专线中某 8 km 平面控制网为例,选取了 9 个测量成果文件(该文件在正确完成全部自动测量后形成)和 1 个包含 13 个已知点的已知数据文件作为计算文件进行控制网的数据处理. 得到 CPIII 平面控制点的概略坐标(见表 1)和 CPIII 平面控制点的点位精度以及平差后坐标(见表 2).

由表 2 的计算结果可以看出,最弱点的点位精度为 0.000 92 m, 所有 CPIII 网的点

表 1 CPIII 平面控制点的概略坐标

Table 1 The approximate coordinate of CPIII plane control points

点号	X/m	Y/m
1257F201	4 710 040.300 02	486 350.553 80
1257307	4 710 060.327 52	486 332.147 14
1257309	4 710 102.778 30	486 305.670 01
1257P21	4 710 186.567 30	486 265.914 70
1257310	4 710 108.264 01	486 314.565 29
1257308	4 710 065.842 83	486 341.055 89
1257F202	4 710 082.406 05	486 322.114 48
1257311	4 710 145.064 59	486 279.140 23
1257313	4 710 186.738 85	486 253.022 66
1257314	4 710 192.272 24	486 262.049 48
1257312	4 710 150.637 10	486 288.013 14
1257F203	4 710 165.604 21	486 271.874 97
1257315	4 710 229.825 62	486 226.171 74
1257317	4 710 272.274 45	486 199.550 55
1257318	4 710 277.893 10	486 208.515 74
1257316	4 710 235.489 92	486 235.052 77

表 2 CPIII 平面控制点的点位精度以及平差后坐标

Table 2 The adjust accuracy and adjust result of CPIII plane control points

点号	X/m	Y/m	点位精度/m
1257F201	4 710 040.333 16	486 350.535 45	0.000 82
1257307	4 710 060.357 87	486 332.130 83	0.000 92
1257309	4 710 102.788 52	486 305.665 64	0.000 10
1257P21	4 710 186.567 30	486 265.914 70	0.000 00
1257310	4 710 108.277 25	486 314.556 46	0.000 18
1257308	4 710 065.864 59	486 341.042 75	0.000 47
1257F202	4 710 082.424 61	486 322.103 95	0.000 46
1257311	4 710 145.068 40	486 279.139 15	0.000 09
1257313	4 710 186.735 59	486 253.025 57	0.000 09
1257314	4 710 192.268 00	486 262.052 36	0.000 11
1257312	4 710 150.642 33	486 288.009 52	0.000 14
1257F203	4 710 165.604 34	486 271.875 56	0.000 01
1257315	4 710 229.818 60	486 226.176 06	0.000 18
1257317	4 710 272.269 02	486 199.553 91	0.000 14
1257318	4 710 277.882 67	486 208.522 19	0.000 27
1257316	4 710 235.484 46	486 235.055 87	0.000 14

位精度达到±0.001 m,符合《高铁工程测量规范》的要求.选取武广客运专线中某8 km平面控制网中84个CPIII控制点,使用中铁二院与西南交通大学联合研制的CPIII DAS软件和文中的数据处理方法进行坐标较差分

析,结果表明95%的控制点坐标较差值为0,两者的平差后的坐标基本一致,因此该数据处理方法正确.

4 结 论

- (1)通过四参数转换和最小二乘法计算CPIII平面控制点和测站点的概略坐标,通过间接平差法计算观测点点位中误差,结果表明该技术路线可行.
- (2)计算武广客运专线中某8 km平面控制网中84个CPIII控制点间接平差后坐标,最弱点的点位精度为0.000 92 m,所有CPIII网的点位精度达到±0.001 m.该数据处理方法能够精确计算高铁CPIII平面控制点坐标并评定其精度,精度能够满足CPIII平面控制网数据处理要求.

参考文献

[1] 李建平. CPIII 控制网精度控制及数据处理方法研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2013.
(LI Jianping. Study of CPIII control network precision control and data processing method [D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2013.)

[2] 周东卫. 高速铁路轨道控制网精密测量数据处理[J]. 测绘科学, 2013, 38(1): 118 – 121.
(ZHOU Dongwei. The data processing of high-speed railway track network control precision measurement [J]. Surveying and mapping, 2013, 38(1): 118 – 121.)

[3] ZHANG J M, HAN B M. Research on the optimization of train headway for the high speed railway network [C]. 8th IEEE International Conference on Service Systems and Service Management(ICSSSM). Tianjin: IEEE, 2011: 1 – 6.

[4] PENG Qiyuan, CHAO Wen. Dispatch coordination between high-speed and conventional rail systems[J]. Journal of southwest jiaotong university(english edition), 2011, 19(1): 19 – 21.

[5] WANG Leyang. Properties of the total least squares estimation [J]. Geodesy and geodynamics, 2012, 3(4): 39 – 46.

[6] HU Chuan, CHEN Yi. An iterative algorithm of NWTLS-EC for three dimensional-datum trans-

- formation with large rotation angle[J]. Geodesy and geodynamics, 2014, 5(4): 38–48.
- [7] 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[J]. 测绘工程, 2013, 22(6): 81–84.
(GONG Xunqiang, LI Weijun, ZHOU Xiufang. Application of free station method to CPIII network survey for high-speed railway[J]. Engineering of surveying and mapping, 2013, 22(6): 81–84.)
- [8] MAHBOUB V. On weighted total least-squares for geodetic transformations[J]. Journal of geodesy, 2012, 86(5): 359–367.
- [9] ANDREAS H, FLORENCE Y. Value creation of road infrastructure networks: a structural equation approach[J]. Journal of traffic and transportation engineering (english edition), 2016, 3(1): 28–36.
- [10] 罗远刚, 刘成龙, 杨雪峰, 等. 普速铁路新型轨道控制网平面网建网方法及精度探讨[J]. 铁道科学与工程学报, 2014, 11(1): 55–60.
(LUO Yuangang, LIU Chenglong, YANG Xuefeng, et al. A new method for establishment of ordinary-speed railway track control network and its accuracy discussion[J]. Journal of railway science and engineering, 2014, 11(1): 55–60.)
- [11] 王井利, 张春哲. 自适应卡尔曼滤波在地铁监测中的应用[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2014, 30(2): 263–265.
(WANG Jingli, ZHANG Chunzhe. Application of the adaptive kalman filter in metromonitoring data processing[J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2014, 30(2): 263–265.)
- [12] 厉东伟, 陈冉冉, 周大伟, 等. CPIII 平面标准网与加密网必要点位精度研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2015, 12(6): 1319–1322.
(LI Dongwei, CHEN Ranli, ZHOU Dawei, et al. Research on the positional accuracy required for CPIII standard and detail network[J]. Journal of railway science and engineering, 2015, 12(6): 1319–1322.)
- [13] ZHANG Jianhua, LIU Hong, WANG Shuliang. Reliability assessments of Chinese high speed railway network[C]. IEEE International Conference on Service Operations, Logistics and Informatics (SOLI). Beijing: IEEE, 2011: 413–418.
- [14] JIA You, ZHONG Zhangdui, LIN Siyu, et al. Performance analysis for selective cooperation transmission in high-speed railway[C]. International Conference on Communication Technology, 2013.
- [15] AMBRÓSIO J, POMBO J, PEREIRA M. Optimization of high-speed railway pantographs for improving pantograph-catenary contact[J]. Theoretical & applied mechanics letters, 2013, 1(3): 1–6.
- [16] 王井利, 刘玉梅, 王欣. 全站仪配合 GPS 进行自由设站法的模型及应用[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2007, 23(2): 244–246.
(WANG Jingli, LIU Yumei, WANG Xin. A study on the model of free setting station by combining total station and GPS receiver and its application[J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2007, 23(2): 244–246.)
- [17] 王新鹏. 无砟轨道 CPIII 控制测量数据处理方法研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012.
(WANG Xinpeng. Research on data processing in CPIII control points survey for ballastless track[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2012.)
- [18] 耿文燕. 无砟轨道 CPIII 控制网精算方法及数据处理研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2014.
(GENG Wenyan. Research of the CPIII controlling network algorithm and data processing on ballastless track[D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2014.)
- [19] 李毛毛. 无砟轨道 CPIII 控制网数据处理方法研究及其软件的集成[D]. 成都: 西南交通大学, 2008.
(LI Maomao. Research on data processing and soft ware integration of ballastless track base-piles CPIII[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2008.)
- [20] 刘胜, 刘成龙, 王利朋. 轨道控制网平面网复测精度指标合理性探讨[J]. 测绘工程, 2015, 24(6): 40–42.
(LIU Sheng, LIU Chenglong, WANG Lipeng. Research on the reasonable accuracy specification of remeasuring the CPIII plane control network[J]. Engineering of surveying and mapping, 2015, 24(6): 40–42.)