引文格式:李阳腾龙.高速铁路轨道精测精调及其平顺性优化研究[J].测绘学报,2018,47(11):1562. DOI:10.11947/j.AGCS.2018.20170722.

LI Yangtenglong.Study on Track Precise Inspection and Adjustment as Well as Its Regularity Optimization for High-speed Railways[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica,2018,47(11):1562. DOI:10.11947/j.AGCS.2018.20170722.

高速铁路轨道精测精调及其平顺性优化研究

李阳腾龙[1,2]

1. 成都理工大学地球科学学院,四川 成都 610059; 2. 西南交通大学地球科学与环境工程学院,四川 成都 611756

Study on Track Precise Inspection and Adjustment as Well as Its Regularity Optimization for High-speed Railways

LI Yangtenglong[1,2]

1. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Faculty of Geosciences and Environmental Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China

随着无砟轨道的大量使用,列车运行时速提高,运载量增加,轻小型、智能型多传感器轨道检测设备已替代传统手工检测方式,成为高速铁路轨道施工和运营维护中轨道静态检测不可或缺的计量工具,特别是具有高精度静态三维离散测量模式的轨道几何参数检测技术和设备,已被广泛地应用于轨道平顺状态的检测和调整。但是,无论是国外引进还是国内生产的轨道检测设备,其配套使用的数据处理模型和方法尚未完全公开。为确保并提高上道计量工具检测的精确度,需建立标准轨道检验场进行检验分析。为保障轨道检验场中检测方法的精确度,参考离散测量模式中具有毫米级精度"停—走"方式的坐标测量检测技术,必须得到高精度轨道点基础数据(如坐标高程),并由此获取轨道外部几何参数(横、垂向偏差),再检测轨道中、长波不平顺。精确的轨道静态检测成果是指导轨道精调的重要依据。只有在精密检测成果的基础上,优化轨道调整模型和算法,才能最终实现轨道几何状态的高平顺性。为此,论文主要研究内容及结果如下:

(1) 对于采用极坐标测量原理的轨道测量模式中检测点仅采用测站平差的处理方式,提出了中线桩和轨距传感器多源数据融合修正方法。该方法相对于仅作测站平差的结果,精度得到明显提高;针对多测站轨道点测量数据搭接处理方法的不足,根据无砟轨道分段测量模式特点,提出了顾及重叠区和非重叠区轨道点测量误差特性的高速铁路轨道分段测量数据平顺连接(RPSMD)方法。通过标准轨道检验场检验,证实 RPSMD 方法更合理考虑了非重叠区轨道点的调整,调整后轨道点精度显著提高,且提高幅度为现有轨道几何状态测量仪等采用的数据处理方法的 2.68 倍。

(2) 研究了轨道中长波不平顺检测和调整的关键参数(横、垂向偏差)快速高精度求解算法。根据高速铁路轨道检测点密、量大、精度要求高等特点,研究了不同原理表述实测与设计点条件关系下的线型区间模型异同性,建立了完整线型模型求解任意点偏差和里程的距离函数算法(DFA)及法切线垂直算法(NPTA),给出不同积分区间等分数 M 值的纵向偏差算法(LDACS)。验证了 DFA 和 NPTA 计算圆曲线段结果等价;讨论了 DFA、NPTA 及不同 M 值的 LDACS 的特性、相互间的精度和效率差异。试验结果表明,DFA、NPTA 和 LDACS($M\geqslant 5$)计算精度和效率均能够满足无砟轨道施工和运营维护要求,且能应用于轨道精密检测和静态检测设备中。

(3) 研究了矢距差法模型、与之等价的偏差模型、演化的简易模型之间的关联性与异同性。实测数据试验显示按某进口轨道检测设备的方案调整轨道,中、长波平顺指标超限率达 18.9%。针对简易模型与偏差模型之间的差异,以及矢距差法模型计算结果随机、受端点位置影响的结构特点,研究能对任意位置轨向、高低进行全面检测并可直接参与轨道调整的质量控制严密算法,提出高密度四点偏差约束的轨向高低控制模型(高四模型)。实测结果表明,高四模型不仅能够使任意位置中长波轨向高低满足检验要求,而且能获得最优扣件调整量。

(4) 长钢轨应力放散锁定后的精调是确保无砟轨道几何形位高平顺性的必要阶段。为解决现有轨道模拟调整中受技术人员水平、主观因素影响和调整原则等因素所导致的自动化程度低(即反复重调方案)、方案质量参差不齐、调整量大、非基准轨不平顺较基准轨低等问题,研究了多约束条件的轨道自动化精调模型及优化算法。提出利用 L1 范数最优原则进行双轨精调的优化算法(OADTFA),建立顾及基准弦端点偏差的平顺性约束模型,增加非基准轨轨向、高低约束,采用逐点移动最长基准弦分组调整和端点固定约束策略,由单纯形法求解实测数据的优化调整量。实测结果表明,OADTFA 可实现钢轨自动化精调,确保双轨任意处几何形位高平顺性,自动给出最优左右轨调整量。

(5) 针对实际轨道扣件剩余可调范围不准确,可能面临调整量超出扣件可调范围的困境,提出建立"扣件类型—调整量—剩余可调量"(FAR)轨调体系,并增加轨道扣件(剩余)可调量约束与相邻点偏差较差约束。实测结果表明,FAR 轨调体系采用扣件(剩余)可调量约束参与轨道平顺性控制,解决了调整方案受扣件限制难以实现的缺陷;相邻点偏差较差约束可有效弥补扣件可调量约束引起的轨道短波不平顺,进一步提高调整后轨道的平顺性。

中图分类号:P258 **文献标识码**:D

文章编号:1001-1595(2018)11-1562-01

基金项目:长江学者和创新团队发展计划(IRT13092)

收稿日期:2017-12-26

作者简介:李阳腾龙(1988—),男,2017 年 6 月毕业于西南交通大学,获工学博士学位(指导教师:岑敏仪教授),研究方向为铁道精密工程测量。

Author: LI Yangtenglong (1988—), male, received his doctoral degree from Southwest Jiaotong University on June 2017, majors in precise engineering survey in railway.

E-mail: yangtenglongli@163.com