

文章编号: 1674—8247(2018)03—0067—04

高速铁路无砟轨道线路精调整理技术研究及应用

曹德志

(中铁一局集团新运工程有限公司, 陕西 咸阳 712000)

摘要:受施工阶段各种因素影响,高速铁路无砟道床施工后,轨道几何尺寸难以一次达标,需要通过钢轨扣件系统对轨道反复精调后,方可达到验收标准。然而,不同的精调作业方法会导致精调作业遍数及扣件更换数量的不同,影响精调效率。本文阐述了不同类型无砟轨道结构扣件系统的轨道线路精调原理、施工技术要求、作业技术标准、质量控制,并结合京沪、哈大、京石、西宝、郑徐等高速铁路联调联试前无砟轨道线路精调施工实践,研究开发了轨道高效精调施工方法及技术标准,可为类似工程及高速铁路养护维修提供参考。

关键词:高速铁路; 无砟轨道; 精调原理; 精调技术

中图分类号: U213.2 **文献标志码:** A

Research and Application of Fine Adjustment Technology for Ballastless Track of High-speed Railway

CAO Dezhi

(China Railway First Group Co., Ltd., Xianyang 712000, China)

Abstract: Due to influence of various factors in the construction stage, after the construction of the high-speed railway ballastless track bed, the geometrical size of the track is difficult to reach the standard once, the track needs to be repeatedly tuned to meet the acceptance standard by using rail fastening system. However, the different fine adjustment methods will lead to different number of fine adjustment operations and the fasteners replacement, and affect the fine adjustment efficiency. The paper elaborates the principle of fine adjustment, the construction technology requirement, the operation technical standard and the quality control of the track line of different types of ballastless track structure fastening system, combined with Beijing-Shanghai, Haerbin-Dalian, Xi'an-Baoji, Zhengzhou-Xuzhou and other high-speed railway ballastless track line fine adjustment construction practice before the test.

Key words: high-speed railway; ballastless track; fine regulation principle; fine regulation technology

受施工各个环节影响,无砟道床施工完成后,轨道几何状态均难以达到验收标准,需对线路轨道进行反复精调,才能逐步达到高速铁路静态和动态验收标准。轨道的精调质量对高速列车运行的安全性和舒适性起着决定性作用,必须在施工阶段将轨道几何状态精调至最佳,实现轨道在平面的“顺畅”和高程位置的“平

和”,保证直线平直,曲线圆顺,过渡顺畅,以满足高速铁路列车运行时的稳定、平顺和舒适。研制高效的轨道精调施工技术,是高速铁路无砟轨道施工中需解决的关键技术。目前,各施工单位轨道精调方法有些差异,部分方法存在效率低、扣件更换多、浪费严重等问题^[1]。无砟轨道施工后影响线路平顺性问题如表1所

收稿日期: 2017-07-31

作者简介: 曹德志(1979-),男,高级工程师,国家注册一级建造师。

引文格式: 曹德志. 高速铁路无砟轨道线路精调整理技术研究及应用[J]. 高速铁路技术, 2018, 9(3): 67-70.

CAO Dezhi. Research and Application of Fine Adjustment Technology for Ballastless Track of High-speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(3): 67-70.

示^[2]。

表1 无砟轨道铺轨后影响线路平顺性问题

不良问题类型	形成原因	造成的后果		
		安全性	平稳舒适性	设备
高低	轨面掉块、塌坍、焊接接头平直度超标	促进脱轨	垂向加速度大	寿命
水平	一股钢轨抬高、两股钢轨下沉量不一致、暗坑、空吊、超高顺坡不良等	促进脱轨	侧滚加速度大	寿命
轨向	直线不平直、曲线不圆顺(正矢不良)、轨距递减不顺、硬弯、钢轨不均磨、扣件扣压力不足、不均匀弹性挤开等	引发爬轨脱轨	横向加速度大	状态
轨距	轨距超限、轨距递减不顺、方向不良、肥边、硬弯、不均匀侧磨、扣件爬离、扣件扣压力不足等	引发落下脱轨	-	-
三角坑	空吊、暗坑、超高顺坡不良	引发悬浮脱轨	侧滚加速度大	寿命
垂直加速度	高低不平顺、波浪磨耗、低扣、掉块、多种病害叠加、病害变化率、病害分布等	引发落下脱轨	-	寿命
横向加速度	轨向不平顺、正矢不良、轨距递减不顺、钢轨交替不均匀磨耗、逆向往复合不平顺(如水平、方向)、多种病害叠加、病害变化率、病害分布、欠超高、过超高等	引发悬浮脱轨	-	寿命
土建差异沉降	受地质、线路周边环境、取水导致地下水位变化、桥梁混凝土收缩徐变等影像,线路出现差异沉降,导致轨道高低、水平等出现不平顺	促进脱轨	垂向加速度大	寿命

细调整,轨距及轨向通过更换轨距块或移动铁垫板实现,高低和水平通过更换调高垫板实现。

高速铁路无砟轨道常用扣件高程及横向最大调整量如表2^[3-5]所示。

表2 高速铁路无砟轨道常用扣件高程及横向最大调整量(mm)

序号	扣件类型	高低调整量	横向调整
1	WJ-7 型扣件	-4 ~ +26	±6
2	WJ-8 型扣件	-4 ~ +26	±5
3	SFC 型扣件	-2 ~ +30	±6
4	Vossloh300 型扣件	-4 ~ +56	±8

精调技术创新思路:

(1)基于轨道调整量数据模拟分析原理,借助办公软件编制计算机程序绘制线路精调数据总体折线图与轨道精调专用软件处理结果综合对比相结合的方法,进行轨道精调数据模拟分析,使数据模拟分析更快捷,精调方案更优化。

(2)经过现场大量实践,受轨底坡影响,高低调整会影响横向调整数据,故改变传统施工中“先轨向、后轨距”、“先高低、后水平”的作业原则,提出“先高低、后水平”,“先轨向、后轨距”的精调原则,可大大减少精调工作量。

(3)改变现行标准中高低和轨向基准轨分别为不同钢轨的方法^[4],确定一根钢轨既作为高低的基准轨,又作为轨向的基准轨。首先把基准轨高低及轨向调整到位后,再依据基准轨通过水平、轨距调整另一股钢轨,这样减少扣件反复拆装次数,减少对轨道反复扰动,提高精调工效和质量。

对轨向不良的线路区段,现场精调时,以内业分析时确定的轨向基准轨作为精调的轨向和高低的基准轨。对高低不良的线路区段,以内业分析时确定的高低基准轨作为现场精调的高低和轨向的基准轨。先将基准轨高低和轨向调整至标准范围,然后再根据轨距/轨距变化率和水平/扭曲调整另一股钢轨。

(4)通过对质量验收标准与现场作业标准的对比分析及施工实践经验总结,制定出内业数据模拟分析各级控制标准及现场作业控制标准,方便精调施工管理。

2 精调技术要点

2.1 线路轨道检查

采集轨道几何数据前,按表3^[6]对轨道状态进行检查,并整改存在问题。

2.2 调整件备存

根据先导段精调施工总结的经验或相对轨道几何

1 精调原理

高速铁路无砟轨道精调施工方法主要由于轨道采用的扣件类型不同而有所不同。国内高速铁路无砟轨道采用的扣件从类型上分为承轨面有挡肩的弹性分开式和承轨面无挡肩的弹性分开式扣件两大类,主要有WJ-7型、WJ-8型、SFC型和Vossloh300型四种类型的扣件系统,其中Vossloh300型扣件和WJ-8型扣件为弹性不分开式扣件,WJ-7型扣件和SFC型扣件为弹性分开式扣件。

无砟轨道精调原理为:轨道铺设无缝线路,进行应力放散锁定后方可进行精调整理作业,分为静态和动态调整两个阶段,这两个阶段均是采用钢轨扣件系统对轨道几何尺寸进行调整。在调整前,首先复测CPⅢ轨道控制网,评估合格后,依据复测后的轨道控制网,采用轨道几何状态测量仪采集轨道原始数据,对采集的数据进行分次处理后,确定精调方案,备齐扣件调整件,现场对轨道超标处更换相应的钢轨调整件,进行精

表3 轨道静态调整前检查项目

序号	检查项目		标准	检查方法
1	钢轨		无污染、无掉块、无擦伤、无低塌及硬弯等缺陷,重点是道床板接缝、梁缝、伸缩缝、临平交道口等处所	目视及仪器检测
2	扣配件	扣件	无缺少、无损坏、无松动、无污染,扭力矩达到设计标准,弹条中部前端下颚与轨距块间隙 $\leq 0.5\text{ mm}$,轨底外侧边缘与轨距块间隙 $\leq 0.3\text{ mm}$,轨枕挡肩与轨距块间隙 $\leq 0.3\text{ mm}$	目测、塞尺及扭力矩扳手
		垫板	安装正确,无缺少、无损坏、无偏斜、无污染、无空吊(间隙 $\leq 0.3\text{ mm}$)	
3	焊缝		主要测量焊缝平顺性,顶面 $0\sim +0.2\text{ mm}$,工作边 $0\sim -0.2\text{ mm}$,圆弧面 $0\sim -0.2\text{ mm}$	1 m平直尺和塞尺
4	道床/轨道板		道床整洁,扣件及承轨槽内无杂物,无混凝土残渣,道床与支承层或底座之间无离缝	目测、钢板尺或塞尺量
5	锁定轨温		锁定轨温符合设计及验标要求,数据真实、准确,应力放散均匀	查资料,必要时测位移

状态测量仪快速测量结果,结合现场实际调整件的用量情况,针对不同轨道精调扣件的型号、规格等,估算调整件的用量,并根据经验,按线路扣件总数量一定的百分率提前备存部分调整件。对弹性分开式扣件,方向或轨距的调整通过移动铁垫板实现,不需要调整件,只需备存高低或水平的调整件即可。

2.3 轨道几何状态测量仪检测轨道状态

静态检测是无砟轨道静态调整的首要工作,直接影响精调方案的可操作性及效率。依据的CPⅢ轨道控制网复测数据处理原则为:当复测结果在限差以内时,应使用原测数据;超限时,应确认是否是原测结果有错,如果有错,则采用复测成果。采用轨道几何状态测量仪对轨道逐个扣件节点连续测量。采用绝对小车测量前,也可采用相对小车进行快速测量,掌握标段整体轨道精调情况,也有部分单位直接采用相对小车进行轨道数据采集,这种做法的前提是轨道中线及高程在误差允许范围内,否则虽然轨道精调相对数据达标,但不容易发现中线和高程偏差,可能会给以后的运营带来困扰。建议第一遍采集数据依据CPⅢ轨道控制网用绝对小车采集,掌握中线及高程偏差情况,如果在允许范围内,给出精调方案,后续采集可采用相对小车,提高测量效率。最后精调到位后,再依据CPⅢ轨道控制网采用绝对小车采集最终轨道数据,作为竣工验收的依据。

2.4 测量数据模拟分析及调整量计算

2.4.1 分析原则

将采集的数据导入 excel 表格,通过编辑程序,生

成总体波形图,在调整量最少的情况下,以“削峰填谷”的方式大致标出期望的线路走向,确定总体调整方案。总体方案确定后,采用专用数据分析软件,再局部模拟试算,人工反复调整线形,确定最优调整方案后,出具需要调整的扣件节点的调整量,形成调整量表。

2.4.2 精调控制指标

静态精调标准应执行现行质量验收标准,现场为了便于管理,可制定现场作业标准,原则上高于验收标准如表4所示^[7-8]。

表4 精调现场作业标准与验收标准对照表

序号	项目	验收标准	作业标准	备注
1	轨距	$\pm 1\text{ mm}$	$0\sim 1\text{ mm}$	相对于标准轨距1 435 mm
		1/1 500	1/3 000	变化率
2	轨向	2 mm	0.5 mm	弦长10 m
		2 mm / 测点间距 8a(m)	1.5 mm	基线长48a(m)
		10 mm / 测点间距 240a(m)	5 mm	基线长480a(m)
3	高低	2 mm	1 mm	弦长10 m
		2 mm / 测点间距 8a(m)	1.5 mm	基线长48a(m)
		10 mm / 测点间距 240a(m)	5 mm	基线长480a(m)
4	水平	2 mm	1 mm	不包含曲线、缓和曲线上的超高值
5	扭曲(三角坑或水平变化率)	2 mm	1 mm	基长3 m 包含缓和曲线上由于超高顺坡所造成的扭曲量
6	正矢	-	0.5 mm/2.5 m	弦长20 m
7	与设计高程偏差	10 mm	5 mm	站台处的轨面高程不应低于设计值
8	与设计中线偏差	10 mm	5 mm	

精调分析软件中输入的精调作业标准以高速铁路验收标准和建设单位相关要求为依据进行定义,为了数据分析方便,根据实践经验自行规定了Ⅰ、Ⅱ级标准经验值。为便于精调内业数据处理,其中Ⅰ级为作业标准,指标严于验收标准,一般由建设单位统一制定,超限时显示为黄色,Ⅱ级比作业标准稍低,超限时显示为红色,需要调整,体现了精调的一个优先级别。

2.4.3 精调数据模拟分析

通过DTS软件生成 excel 表,借助 excel 办公软件,开发专用程序,生成平面及高程折线图,通过比照折线图,采用专用精调软件进行调轨。其方法为,将测量原始数据“. csv”格式文件导入DTS软件,然后通过该软件将精调数据转换为 excel 数据表,依据原始高程和平面位置数据绘制高程、平面折线图。绘制原则:以

板号为水平轴,偏差数据为竖轴(数据轴);数据轴主刻度单位为1 mm;每一电脑屏幕显示12~14块板。大区段超限数据折线图示例如图1所示。

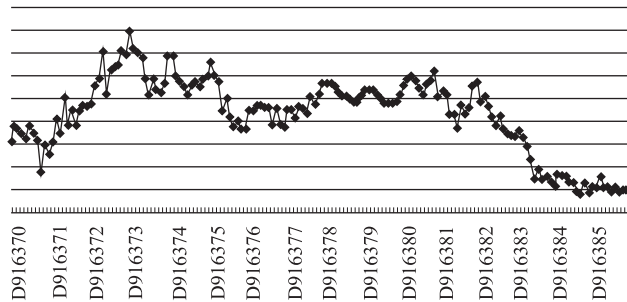


图1 大区段超限数据折线图示意

对测量数据有效性进行分析:①要看搭接位置是否超限;②数据是否离散;③是否有大区段超限数据;④对数据保存留底,对数据的重叠点及重叠段处理。对有疑问数据的可靠性进行现场复核,或再次采集,两次数据对比,确保数据真实可靠,确实存在此类情况,再做调整方案。

2.4.4 调整方案

若测量数据真实有效,依据 excel 折线图(高程、平面)整体变化趋势确定轨道走向,先整体长波调整,再局部细化;基准轨调整完成后,兼顾超高、轨距对非基准轨进行调整。制定方案时,要先保证基准轨平顺、再用非基准轨调整轨距和水平。如果大范围内非基准轨平顺,轨距超出限差,可以考虑通过调整基准轨来保证轨距和线路的平顺性都符合规范的要求。

2.5 现场调整技术

现场作业基准轨与内业数据分析不同,统一以其中一根钢轨作为高低和轨向的基准轨。“-”表示向左调、“+”表示向右调。根据实践经验,一般第一次精调或高程调整量较大时,以内轨(测量时的高程基准轨)作为现场作业基准轨,这是因为高程调整时需要起道落道,更换扣件比平面困难,通常调整1块板高程的时间可以调整3块板的轨向,相对用时要长,所以在第一次精调时首先保证高程基准轨的平顺,大大减小了第二次精调时高程调整量,提高了工效。

根据调整方案,对基准轨进行高低、轨向调整量标注,高低调整量标注于钢轨顶面、轨向调整量标注于相应承轨台上。现场按照“先高低,后水平;先方向,后轨距”的原则进行精调施工。每个作业面为提高工作效率宜分为两个调整小组,一组高程,一组轨向,间隔30~60 m距离。

精调完基准轨后,再次测量轨距和水平,标注于第一次标注的下方,和第一次测量值比较,确定基准轨是

否调整到位;确认基准轨调整到位后,开始更换非基准轨扣件,再次测量轨距和水平,标注于第二次测量值下方,将该数据与前两次数据比较,确定非基准轨是否调整到位。

更换扣件时,每次拆除扣件不得超过5个承轨台(防止胀轨),并且在更换扣件区段两端各松开1~2个扣件(只是松开,不拆除),确保扣件更换能达到预期目的和平滑过渡。

2.6 质量检验

现场调整作业完毕,应组织进行轨道几何尺寸的复测。根据精调记录形成最终的“轨道精调量记录表”,经相关质量部门检查确认。复测数据不满足精度要求的地段,要查找问题,分析原因,并重新进行精调,直至满足验收标准要求。

3 技术上应注意的问题

(1)轨距尺与轨道几何状态测量仪之间的误差因素,采取轨距尺每天定期校检与随时校检的措施,保证轨距尺的数据统一性,轨道几何状态测量仪采用每次上道组装后必须与轨距尺进行校检的措施。

(2)曲线头尾各200 m线路纳入曲线单元管理,道岔前后各200 m线路纳入道岔单元管理。测量小车测量时,曲线或道岔单元应一次完成测量、分析,在确保单元内平顺性前提下,注意单元与前后线路顺接良好、一致。

(3)先整体后局部的思路,可首先基于整体以70 m为基本长度^[9],大致标出期望的线路走势或起伏状态,原则上以靠近设计线位为首选,先整体上分析区间调整量,再局部精调。在保证调整后的线形向设计线形靠拢的前提下,调整相对不平顺,在大区间范围内“削峰填谷”,力争恢复轨道的位置。

(4)在缓直、直缓点处不得出现反超高;相邻精调作业单元之间重叠区的模拟调整方案应保持一致。

(5)根据确定的整改方案将轨道仔细整治到位。一般轨道检测出的Ⅲ、Ⅳ级超限和动力学指标不良必须当天立即整治,Ⅱ级超限在2~3 d内整治完毕,Ⅰ级超限可有计划的逐步整治,此时可采用轨道几何状态测量仪采集数据,并结合观察轮对在钢轨顶面形成的“光带”、目视观察轨向,以及弦线检查等传统轨道测量方式综合确定轨道精调方案,确保精调一次到位。

4 应用实例

该精调方法在京沪、哈大、京石、西宝、郑徐等高速铁路无砟轨道精调施工中得到应用和不断完善。通过

(下转第98页)

[2] 路文. 五年来铁路科技取得哪些成果[J]. 铁道知识, 2003, 24(2):46.
LU Wen. What Achievements have been Made in Railway Science and Technology over the Past Five Years[J]. Railway Knowledge, 2003, 24(2):46.

[3] 赵庆国. 高速铁路产业发展政策研究[D]. 南昌:江西财经大学, 2013.
ZHAO Qingguo. Research on the Development Policy of High-speed Railway Industry[D]. Nanchang: Jiangxi University of Finance and Economics, 2013.

[4] 国发[2015]28号, 中国制造2025[S].
Guo Fa [2015] No. 28, Circular of the State Council on the Issuance of Made in China 2025[S].

[5] 国发[2016]74号, “十三五”节能减排综合工作方案[S].
Guo Fa [2016] No. 74, Comprehensive Work Plan for Energy Saving and Emission Reduction in the Thirteenth Five-Year Plan[S].

[6] 发改基础[2016]1536号, 中长期铁路网规划[S].
Fa Gai Ji Chu [2016] No. 1536, Medium and Long Term Railway

Network Planning[S].

[7] 交政法发[2013]323号, 加快推进绿色循环低碳交通运输发展指导意见[S].
Jiao Zheng Fa Fa [2013] No. 323, Guiding Opinions on Accelerating the Development of Green Cycle and Low Carbon Transport[S].

[8] 国发[2015]50号, 促进大数据发展行动纲要[S].
Guo Fa [2015] No. 50, Action to Promote the Development of Large Data[S].

[9] 国发[2016]67号, “十三五”国家战略性新兴产业发展规划[S].
Guo Fa [2016] No. 67, The Thirteenth Five-Year Plan for the Development of National Strategic Emerging Industries[S].

[10] 王成, 史天运. 区块链技术综述及铁路应用展望[J]. 中国铁路, 2017, 34(9):91-98.
WANG Cheng, SHI Tianyun. Technical Review of Block Chain and Prospects of Its Application on Railway[J]. Chinese Railways, 2017, 34(9):91-98.

(编辑: 刘会娟 白雪)

(上接第70页)

研究开发配套的数据模拟处理软件, 采用科学的数据模拟分析调整方法, 在波形趋势平顺的前提下, 削峰填谷, 消除超限处所, 形成调整方案。现场总结出一根钢轨既作为高低的基准轨, 又作为轨向的基准轨的精调方法, 规范现场作业标准和作业流程, 达到现场精调作业的高效率, 该方法已纳入现行《高速铁路轨道工程施工技术规程》中。采用该技术, 减少了轨道反复调试, 提高了精调工效和质量, 确保了线路按期、安全开通运营, 对同类施工及线路养护维修具有较强的指导、借鉴作用。

参考文献:

[1] 白杨军. 弹性分开式扣件线路精调施工技术研究[J]. 铁道工程学报, 2013, 30(11):45-50.
BAI Yangjun. Research on Precise Adjustment Techniques on Line with Elastic Split Fastenings[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2013, 30(11):45-50.

[2] 铁运[2012]83号, 高速铁路无砟轨道线路维修规则(试行)[S].
Tie Yun[2012]No. 83, Rules for Maintenance of Ballastless Track of High-speed Railway[S].

[3] 工管技[2009]77号, 客运专线铁路扣件系统安装技术手册[S].
Gong Guan Ji [2009] No. 77, Technical Manual for Installation of

Railway Fastener System for Passenger Dedicated Railway[S].

[4] TB/T 3395.4-2015 高速铁路扣件 第四部分:WJ-7型扣件[S].
TB/T 3395.4-2015 Fastening Systems for High-speed Railway Part4: WJ-7 Fastening System[S].

[5] TB/T 3395.5-2015 高速铁路扣件 第五部分:WJ-8型扣件[S].
TB/T 3395.5-2015 Fastening Systems for High-speed Railway Part5: WJ-8 Fastening System[S].

[6] Q/CR 9605-2017 高速铁路轨道工程施工技术规程[S].
Q/CR 9605-2017 Technical Specification for Construction of High-speed Railway Track Engineering[S].

[7] TB 10754-2010 高速铁路轨道工程施工质量验收标准[S].
TB 10754-2010 Standard for Constructional Quality Acceptance of High-speed Railway Track Engineering[S].

[8] 安国栋. 高速铁路无砟轨道技术标准与质量控制[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2009.
AN Guodong. Technical Standard and Quality Control of High-speed Railway Ballastless Track [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2009.

[9] 王亚周. 武广客运专线雷达2000型双块式无砟轨道粗调、精调施工技术[J]. 高速铁路技术, 2012, 3(3):69-73.
WANG Yazhou. Rough and Precision Adjustment for Radar 2000 Bi-block Sleeper Ballastless Track on Wuhan-Guangzhou PDL[J]. High Speed Railway Technology, 2012, 3(3):69-73.

(编辑: 车晓娟 苏玲梅)