

文章编号: 1674—8247(2021)01—0054—06
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2021.01.012

半径 250 m 曲线无缝线路稳定性分析及加强措施

张大超

(中国铁路北京局集团有限公司, 北京 100038)

摘 要:本文通过分析不同工况对半径 250 m 曲线无缝线路临界轨温的影响,合理确定半径 250m 曲线作业轨温范围及稳定性影响因素。结合现场养护维修过程中遇到的问题和设备整修方法,从钢轨选用及修理、轨枕选用、道床修理等方面提出半径 250 m 曲线稳定性控制措施。

关键词:半径 250 m; 曲线; 稳定性; 作业轨温; 控制措施

中图分类号:U213.9 **文献标志码:**A

Analysis and Reinforcement Measures for Stability of CWR with a Radius of 250 m

ZHANG Dachao

(China Railway Beijing Group Co., Ltd., Beijing 100038, China)

Abstract: This paper analyzes the influence of different working conditions on the critical rail temperature of CWR with a radius of 250 m, and reasonably determines the operating rail temperature range and the influencing factors of the stability of the curve with a radius of 250 m. In light of the problems and equipment renovation methods encountered during the field maintenance and repair, the stability control measures of curves with a radius of 250 m are put forward from the aspects of rail selection and repair, sleeper selection, and roadbed repair.

Key words: radius of 250 m; curve; stability; operating rail temperature; control measure

受到我国铁路对铺设无缝线路允许条件的限制,2014 年以前半径 250 m 的曲线地段均采用普通有缝线路,接头病害和晃车问题严重,轨道几何尺寸变化大,曲线线型难以保持,养护维修成本高且影响行车安全。2014—2016 年,河北承德地区开展了半径 250 m 曲线地段铺设无缝线路的综合研究并成功铺设^[1]。

因国内首次在半径 250 m 曲线地段铺设无缝线路,在养护维修方面还存在一些技术难点^[2]。《普速铁路线路修理规则》^[3]中没有明确半径 250 m 曲线无缝线路作业的轨温要求,且铺设后大机捣固作业、人工拨道、更换轨枕等作业都将使道床阻力降低,影响轨道

的稳定性。为减少对轨道稳定性的影响,保障铺设后可开展正常的维修作业,确定半径 250 m 曲线无缝线路容许作业轨温范围十分必要。此外,曲线半径越小,温度力作用下轨道的“径向呼吸”越大,钢轨内部应力越大,因此如何通过科学的养护维修方式和合理的加强轨道结构控制钢轨的横移,提升半径 250 m 曲线无缝线路的稳定性也成为亟需解决的问题。

本文针对上述问题,研究分析了不同参数对半径 250 m 曲线无缝线路稳定性的影响,提出了无缝线路容许作业轨温范围和轨道加强措施,为国内小半径曲线无缝线路铺设和养护维修提供一定的借鉴。

收稿日期:2020-10-19

作者简介:张大超(1984-),男,高级工程师。

引文格式:张大超.半径 250 m 曲线无缝线路稳定性分析及加强措施[J].高速铁路技术,2021,12(1):54-59.

ZHANG Dachao. Analysis and Reinforcement Measures for Stability of CWR with a Radius of 250 m[J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(1):54-59.

1 线路概况

京承铁路地处山区,线路最大坡度为 19.3‰,正线有 10 条半径 250 m 的曲线,曲线长 4.333 km。历史最高、最低轨温分别为 61.5 ℃、-23.3 ℃,最大轨温差 84.8 ℃。半径 250 m 曲线无缝线路上股钢轨采用 60 kg/m U78CrV 钢轨,下股钢轨采用 60 kg/m U75V 钢轨,轨枕采用Ⅲ型混凝土枕(按 1 667 根/km 铺设),道床采用Ⅰ级道砟,曲线段砟肩宽度 500 mm、砟肩堆

高 150 mm,道床边坡坡度 1:1.75。

2 半径 250 m 曲线无缝线路稳定性分析

正常道床阻力下,在轨温变化 30 ℃ 时,半径 250 m 曲线无缝线路钢轨的横向变形如图 1 所示。从图 1 可以看出,轨道随轨温变化存在明显的“径向呼吸”情况。

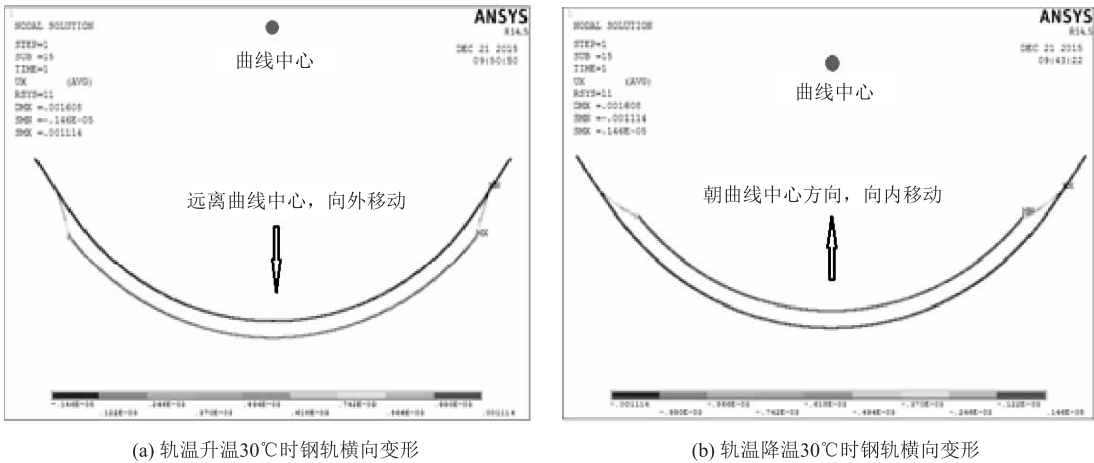


图 1 轨温升温 30 ℃、降温 30 ℃ 时钢轨横向变形图

2.1 初始不平顺对小半径曲线无缝线路的影响

轨道初始不平顺是影响无缝线路稳定性最直接的因素^[4]。建立曲线半径 250 m、300 m 的曲线轨道模型,如图 2 所示。在其它参数条件保持不变的情况下,选取①初始弯曲波长 4 m,初始弯曲矢度分别为 2 mm、4 mm、6 mm、8 mm、10 mm、12 mm;②初始弯曲矢度为 6mm,初始弯曲波长分别为 4 m、6 m、8 m、10 m、12 m、16 m、20 m 进行温度臆曲轨道失稳过程分析。轨温升高 30 ℃ 时,以半径 300 m 的轨道位移量为基准点计算,不同初始弯曲状态下钢轨的最大横向位移,结果如表 1、表 2 所示。施加不同初始不平顺时的线路变形如图 3 所示。

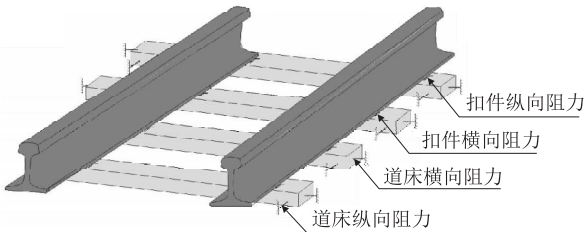


图 2 半径 250 m、300 m 的曲线轨道模型图

时,线路最大横向位移随着不平顺矢度的增大而增大,但线路横向位移变化率保持不变。初始不平顺矢度保持不变时,线路最大横向位移随着不平顺波长增大而减小,同时线路横向位移的变化率也逐渐减小。

表 1 轨温升高 30 ℃ 时不同初始矢度的线路最大横向位移表

线路不平顺矢度 /mm	半径 250 m 线路 /mm	半径 300 m 线路 /mm	相差百分比 /%
2	2.57	2.01	28
4	2.90	2.31	26
6	3.24	2.62	24
8	3.61	2.94	23
10	4.01	3.28	22
12	4.43	3.63	22

表 2 轨温升高 30 ℃ 时不同初始波长的线路最大横向位移表

线路不平顺波长 /m	半径 250 m 线路 /mm	半径 300 m 线路 /mm	相差百分比 /%
4	3.24	2.62	24
6	2.97	2.36	26
8	2.73	2.13	28
10	2.56	1.98	29
12	2.46	1.89	30
16	2.36	1.80	31

从表 1、表 2 可以看出,初始不平顺波长保持不变

在轨温升高 30 ℃ 时,半径 300 m 与半径 250 m 的

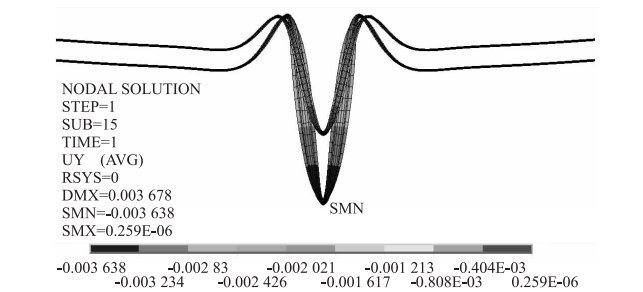


图 3 半径 250 m 线路轨温升高 30 ℃ 时的变形图

曲线线路最大横向位移差值随着矢度的增加而逐渐减小,随着波长的增加逐渐增大。当初始不平顺波长不变时,最大横向位移与不平顺矢度成正比,与不平顺波长成反比,而且半径 250 m 线路较半径 300 线路更容易失稳。

2.2 道床横向阻力对小半径曲线无缝线路的影响

道床横向阻力对轨道横移量起着决定性作用。小半径曲线受结构因素影响,在列车作用下,几何状态变化较大,养护维修作业频繁,导致道床横向阻力下降明显^[5-6]。线路维修作业前后道床横向阻力的变化情况如表 3 所示。

表 3 维修作业前后道床横向阻力表

作业项目	作业前	扒砟	捣固	回填	夯拍	逆向拔道 10 mm
道床横向阻力/(kN/根)	8.48	7.52	5.44	6.0	6.4	2.48
百分比/%	100	89	64	71	75	29

线路中修、大机清筛、更换轨枕等作业都会扰动道床,导致道床阻力大幅下降,道床破底清筛前后道床横向阻力的变化如表 4 所示。

表 4 破底清筛前后道床横向阻力表

破底清筛作业情况	清筛前	起道 1 遍 捣固 2 遍	当天取消 慢行后	作业后 2 d
道床横向阻力/(kN/根)	8.66	2.56	3.26	4.05
百分比/%	100	30	36	47

为确定半径 250 m 曲线无缝线路的合理作业轨温范围,对半径 250 m、300 m、400 m 和 800 m 4 种曲线无缝线路进行受力与变形分析,分别以更换轨枕、大机作业、人工起道、拨道作业 4 种情况为例对曲线无缝线路的稳定性进行分析,研究确定半径 250 m 曲线无缝线路的作业轨温范围。

2.2.1 更换轨枕作业

TG/GW 102-2019《普速铁路线路修理规则》中规定连续更换 2 根轨枕作业的在允许轨温范围为: -20 ℃ ~ -10 ℃ 和 +10 ℃ ~ +20 ℃。4 种半径曲线

无缝线路连续更换 2 根轨枕时钢轨最大横向位移随温升变化情况如图 4 所示。

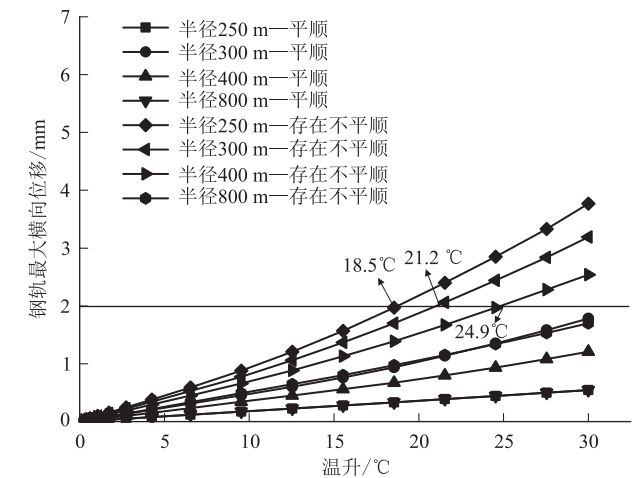


图 4 换枕时钢轨最大横向位移随温升变化曲线图

从图 4 中可以看出,升温 30 ℃ 时,在线路平顺性良好的情况下,更换轨枕处的钢轨最大横向位移量小于 2 mm;当线路存在不平顺时,半径 400 m、300 m、250 m 曲线的钢轨横向位移分别达到了 2.5 mm、3.2 mm 和 3.8 mm,临界温升分别为 18.5 ℃、21.2 ℃ 和 24.9 ℃。

取安全系数 $K = 1.3$ 时,半径 250 m、400 m 曲线临界温升分别为 14.2 ℃ 和 19.1 ℃,半径 250 m 曲线与 TG/GW 102-2019《普速铁路线路修理规则》中明确规定的半径 400 m 曲线无缝线路作业轨温范围 (-10 ℃ ~ 10 ℃) 相差 4.9 ℃。

2.2.2 大机维修作业

大机维修作业时,道床阻力下降,钢轨横向位移 2 mm 时,作业后实测道床横向阻力约为线路未作业时的 41.0%,等效道床阻力约为线路未作业时的 39.1%。大机维修作业后,钢轨最大横向位移随温升变化如图 5 所示。

由图 5 可以看出,大机维修作业后,轨道平顺性良好的情况下,钢轨最大横向位移达到的失稳限界值 2 mm,半径 250 m 与半径 300 m 曲线无缝线路临界温升为 20.7 ℃ 和 24.5 ℃。当轨道存在不平顺时,半径 250 m、300 m 和 400 m 曲线无缝线路临界温升分别为 15.4 ℃、17.6 ℃、和 21.6 ℃。轨道存在不平顺时,取安全系数 $K = 1.3$,半径 250 m 曲线无缝线路与 TG/GW 102-2019《普速铁路线路修理规则》中明确规定的半径 400 m 曲线无缝线路作业轨温相差 4.8 ℃。大机维修作业下曲线无缝线路允许温升如表 5

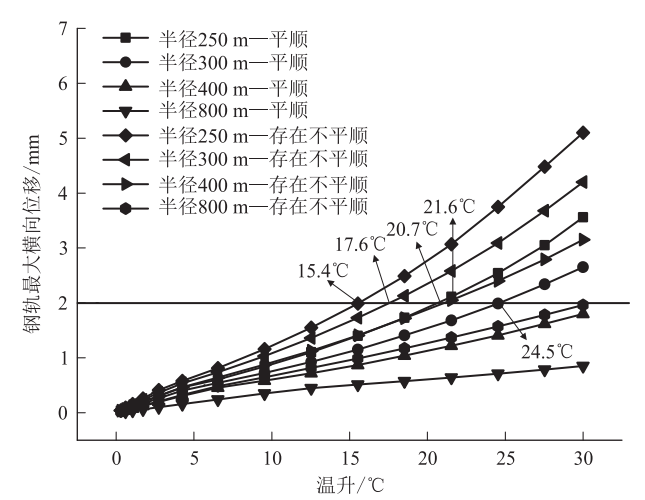


图 5 大机维修作业后钢轨最大横向位移随温升变化曲线图

所示。

半径	平顺	存在不平顺
	允许温升/℃	
$R = 250\text{ m}$	15.9	11.8
$R = 300\text{ m}$	18.8	13.5
$R = 400\text{ m}$	—	16.6
$R = 800\text{ m}$	—	—

2.2.3 小型起道机起道作业

道床阻力试验表明,小型起道机起道作业后钢轨横向位移达到 2 mm 时,道床横向阻力约为未作业时的 66.2%,等效道床阻力约为未作业时的 63.5%。全面起道作业后钢轨最大横向位移随温升变化如图 6 所示。

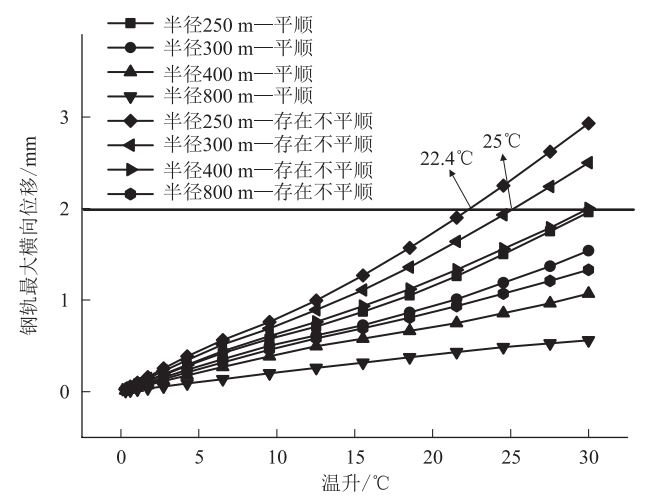


图 6 起道作业后钢轨最大横向位移随温升变化曲线图

从图 6 可以看出,轨温升高 30 ℃ 时,轨道平顺性良好的情况下,4 种半径曲线无缝线路钢轨最大横向位移均小于 2 mm。当轨道存在不平顺时,半径 250 m

和半径 300 m 的线路在温升 22.4 ℃ 和 25 ℃ 时达到了失稳限界值 2 mm。

当安全系数取 $K = 1.3$ 时,半径 250 m 和 300 m 曲线无缝线路临界温升分别为 17.2 ℃、18.8 ℃,两者相差 1.6 ℃。

因此,半径 250 m 曲线无缝线路现场作业轨温范围参照 TG/GW 102 - 2019《普速铁路线路修理规则》第 4.8.6 条“半径 400 m 曲线无缝线路作业轨温范围相差 5 ℃”的要求进行控制。

3 半径 250 m 曲线无缝线路稳定性控制措施

在轨温变化一定的情况下,无缝线路的稳定性主要受轨道结构强度、道床阻力及线路平顺性等因素影响。提升轨道强度、增加道床阻力,同时合理开展养护维修确保线路状态优良是维系小半径曲线状态稳定的主要手段。

3.1 更换十字头轨枕

十字头轨枕是在Ⅲ型钢筋混凝土轨枕截面处增加了“十字头”,通过增加轨枕横向面积和轨枕底部道床承压面积,提升道床横向阻力,减少道床压应力。十字头轨枕铺设间距为 568 mm,两轨枕间净距曲线下股约为 260 mm,曲线上股约为 270 mm。

铺设十字头轨枕后道床纵横向阻力如图 7、图 8 所示。

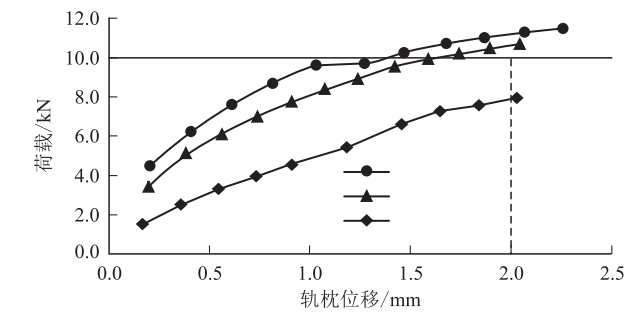


图 7 十字头轨枕道床横向阻力测试曲线图

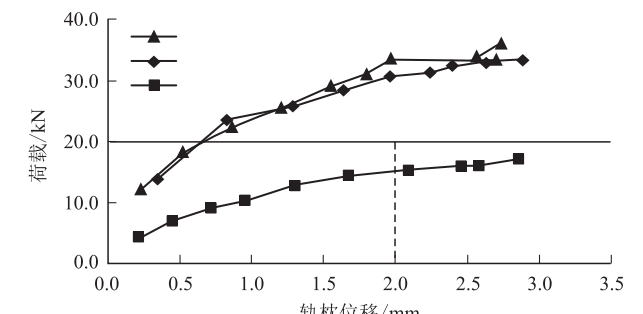


图 8 十字头轨枕道床纵向阻力测试曲线图

从阻力测试结果可以看出,原Ⅲ型轨枕道床横向阻力为 5.43 kN/枕,更换为十字头轨枕后,经大机捣固道床横向阻力为 9.92 kN/枕;原Ⅲ型轨枕道床纵向阻力为 15.49 kN/枕,更换为十字头轨枕,且经大机捣固后道床纵向阻力为 26.02 kN/枕。结果表明,道床横、纵向阻力均有所增加,有利于小半径地段无缝线路的稳定性。

3.2 铺设小半径曲线专用枕和高弹胶垫

(1)ⅢX 型轨枕较Ⅲ型枕主要区别在于轨枕挡肩角度由 120° 调整为 110° ;优化了承轨槽及挡肩设计,承轨槽深度由 25 mm 增加至 35 mm;轨距中心线距离由 1 817 mm 增加至 1 834 mm,断面如图 9 所示。通过增加轨枕体积实现轨道结构强度增强和道床阻力提升。

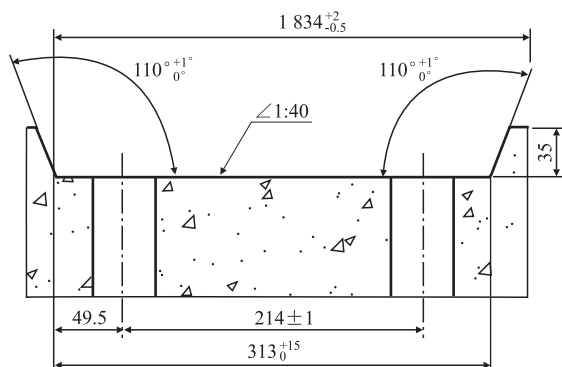


图9 ⅢX 型轨枕断面图(mm)

(2)胶垫的弹性直接影响轨底坡变化及钢轨受力状态。可优先选用热塑体耐磨高弹胶垫,并在运营过程中结合运量,针对胶垫状态每半年组织 1 次专项鉴定,明确曲线地段胶垫更换周期。

3.3 增设轨道加强设备

(1)设置地锚拉杆

设置地锚拉杆可有效地控制轨道横向移动,研究及试验表明地锚拉杆在缓和曲线段按 5 m 间距、圆曲线段按 10 m 间距设置效果最优。

(2)加密轨距杆

按照《普速铁路线路修理规则》标准要求,轨撑每 25 m 设置 14 根,轨距杆由每 25 m 设置 10 根加密至 14 根。

(3)更换弹性轨撑

为防止钢轨外移,在曲线外侧安装弹性轨撑保证轨道稳定性。

3.4 增加道床断面尺寸

增加道床断面尺寸是提升道床横向阻力最有效的

手段之一,为保证半径 250 m 曲线无缝线路的稳定性,将砟肩宽度由 450 mm 增加至 500 mm,现场验证取得了显著效果。

3.5 和谐轮轨关系

(1)优化钢轨类型

应结合运量、线路等级及机车类型等因素合理选用钢轨类型,半径 250 m 曲线应优先采用铺设 100 m 定尺、U78CrV 钢轨,为优化轨距角部位受力状态,曲线地段钢轨优先选用 60N 廓形轨。

(2)优化钢轨轮廓,持续开展钢轨周期性修理

因半径 250 m 曲线不满足大机打磨列车作业条件,应每年定期组织小机打磨,消除波磨,有效控制动态抖车问题。

(3)优化轨底坡,消除集中受力

将半径 250 m 曲线段的胶垫更换为楔形胶垫,同时优化设置轨底坡,可有效缓解曲线上股侧磨、轨距角处鱼鳞纹病害问题。

(4)加强观测,合理制定放散方案。

对线路几何状态不好的试验段进行了无缝线路应力放散,消除应力衰减带来的胀轨隐患。

(5)坚持车载干式润滑涂覆。

车载干式润滑涂覆可延长钢轨使用寿命,减缓小半径曲线钢轨的磨耗。

3.6 道床周期性修理

(1)道床脏污板结、翻浆冒泥会造成轨道基础弹性不良,加大列车通过时对轨道的冲击,最终导致几何状态恶化、连接配件损坏,形成恶性循环。因此,半径 250 m 曲线无缝线路铺设前应先更换优质道砟,保证道床弹性。

(2)大机清筛周期

应综合考虑通过总重和曲线半径的影响,合理调整大机清筛周期为 2~3 a。同时结合路基土质以及含水量,大机清筛期间增加 1 次边坡清筛以改善排水,保持道床清洁和良好的弹性。结合现场实际情况曲线下股水平高 3~5 mm,保持大机作业后曲线整体状态稳定。

4 效果分析

轨道加强和科学开展养护维修是控制半径 250 m 曲线无缝线路稳定性的主要手段,现已取得显著效果。选取 K 144.119~K 144.628 试验段进行动态数据对比分析结果如表 6 所示。从表 6 可以看出,设备质量得到了有效提升。

表 6 K 144.119 ~ K1 44.628 TQI 均值对比表

里程/km	日期	轨向		高低		水平	轨距	三角坑	TQI
		左	右	左	右				数值
144.119 ~ 144.628	2016.12(铺设初期)	3.27	3.30	1.73	1.89	3.15	3.00	2.74	19.07
	2019.09(使用至今)	3.13	3.18	1.73	1.59	2.48	1.95	2.22	16.28
差值	-	-0.15	-0.13	0.00	-0.30	-0.67	-1.05	-0.52	-2.80

5 结论与展望

针对半径 250 m 曲线无缝线路铺设面临的问题,本文研究分析了不同参数对半径 250 m 曲线无缝线路稳定性的影响,提出了无缝线路容许作业轨温范围和轨道加强措施,主要研究结论如下:

(1)轨道平顺性可影响半径 250 m 曲线无缝线路稳定性。初始不平顺波长一定时,最大横向位移与不平顺矢度成正比,与不平顺波长成反比。

(2)半径 250 m 曲线无缝线路现场作业轨温可参照半径 400 m 曲线无缝线路作业轨温范围相差 5 ℃ 执行。

(3)无缝线路应力放散和轨距精调,可消除大轨距及轨距变化率不良病害问题。合理的轨道加强、科学的养护维修和管理是设备质量得以保持的主要因素。

今后应结合运营过程中存在的问题及难点,不断完善半径 250 m 曲线无缝线路各类维修作业标准,进一步为国内小半径曲线无缝线路铺设和养护维修提供有效数据支撑。

参考文献:

[1] 北京铁路局. 半径 250m 曲线半径铺设无缝线路综合技术研究

[R]. 北京:北京铁路局,2016.

China Railway Beijing Group Co., Ltd. Study on Comprehensive Technology of Laying CWR with Curve Radius of 250 m[R]. Beijing: China Railway Beijing Group Co., Ltd.,2016.

[2] TB 10015 -2012 铁路无缝线路设计规范[S].

TB 10015 -2012 Code for Design of Railway Continuous Welded Rail [S].

[3] TG/GW 102 -2019 普速铁路线路修理规则[S].

TG/GW 102 -2019 Maintenance Rules for General-speed Railway Track[S].

[4] 徐春山. 山区 R = 250m 小半径曲线铺设无缝线路研究[D]. 南昌:华东交通大学,2006.

XU Chunshan. The Research of Paving The Minor Radius CWR (R = 250m) in the Moutainous Area [D]. Nanchang:East china Jiaotong University,2006.

[5] 高联军. 山区小半径曲线无缝线路的养护[J]. 铁道建筑, 2004, 44(8):79 - 80.

GAO Lianjun. Maintenance of Continuous Welded Rail (CWR) on Curve Section with Minimal Radius in Mountain Area[J]. Railway Engineering, 2004, 44(8):79 - 80.

[6] 单旭, 吴亚平, 张江峰. 动载效应对小半径无缝轨道横向位移影响分析[J]. 兰州交通大学学报, 2008,(1): 35 - 37.

SHAN Xu, WU Yaping, ZHANG Jiangfeng. Dynamic Effects on the Lateral Displacement of Continuous Welded Curve Rail with Minor Radius[J]. Journal of Lanzhou Jiaotong University, 2008(1): 35 - 37.