

文章编号: 1674—8247(2024)01—0013—04

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2024.01.003

竖曲线与平面缓和曲线重叠设置研究

柳世辉

(中铁第一勘察设计院集团有限公司, 西安 710043)

摘要: 城际铁路引入中心城区和地下车站时,在困难条件下无砟轨道地段允许竖曲线(变坡点)与缓和曲线重叠设置。本文对比分析了竖曲线与缓和曲线的不同位置关系对行车平稳性的影响,并总结了相应的适应性措施,对于优化竖曲线与缓和曲线重叠设置提供了一种技术解决方案。研究结果表明:(1)竖曲线与缓和曲线总体上不应重叠设置。当确需重叠设置时,应对平竖曲线匹配条件予以严格限制;(2)变坡点处设凸形或凹型竖曲线,在不同位置与平面曲线搭配形成的空间线形几何形态各不相同,对车轮与钢轨的密贴性能、列车横竖向激扰震动的影响存在差异,进而影响行车平稳性;(3)竖曲线、缓和曲线间位置关系的合理搭配,有利于改善线路条件。

关键词: 竖曲线;缓和曲线;重叠设置;行车平稳性

中图分类号: U212.31

文献标志码: A

Study on the Overlapping Arrangement of Vertical Curves and Plane Transition Curves

LIU Shihui

(China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Xi'an 710043, China)

Abstract: When an intercity railway extends into the central urban area and subterranean stations under challenging conditions, overlapping vertical curves (the gradient change point) and transition curves are permitted in ballastless track sections. This study examined and assessed the impact of the positional relation between vertical and transition curves on the riding comfort of train operation, concluded the appropriate adaptive strategies, and proposed a technical approach to refine the integrated configuration of vertical and transition curves for improved train operations. The findings suggest the following: (1) Vertical curves and transition curves should typically avoid overlapping. Where overlap is unavoidable, stringent criteria must be enforced concerning the compatibility between vertical and horizontal curves. (2) The type of vertical curve, whether a crest or sag, installed at the gradient change point has a significant impact when combined with horizontal curves, leading to different spatial geometrical arrangements. These configurations variably influence the wheel-to-rail contact efficiency and consequent lateral and vertical disturbances of the train, ultimately affecting the riding comfort. (3) Maintaining a suitable spatial relationship between vertical and transition curves is advantageous in enhancing overall track conditions.

Key words: vertical curve; transition curve; overlapping arrangement; riding comfort

直线、平面圆曲线及缓和曲线组成了铁路线路平面线形。缓和曲线不仅是直线与圆曲线间的平面

收稿日期:2023-12-01

作者简介:柳世辉(1965-),男,教授级高级工程师。

引文格式:柳世辉. 竖曲线与平面缓和曲线重叠设置研究[J]. 高速铁路技术, 2024, 15(1):13-16.

LIU Shihui. Study on the Overlapping Arrangement of Vertical Curves and Plane Transition Curves [J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(1):13-16.

连接段,也是曲线超高的顺坡段,因此缓和曲线的起终点即是超高的顺坡坡度段的起终点,也是该坡段的变坡点。由于缓和曲线在平面线形组合中的特殊性和列车通过时轨道结构受力的复杂性,一般认为缓和曲线是行车安全的薄弱地段,应尽可能保持缓和曲线地段空间线型结构单一,易于日常保养维护和量测检验,保持列车持久平稳运行。因此高速铁路、普速铁路等相关规范均规定“竖曲线(变坡点)与缓和曲线不得重叠设置”。考虑到城际铁路引入城市中心区域和枢纽时,地下车站设置和车站两端坡度设计的特殊需求以及工程经济性,城际铁路相关规范均规定“困难条件下无砟轨道地段竖曲线(变坡点)可以与缓和曲线重叠设置”。竖曲线与缓和曲线重叠设置势必引起缓和曲线空间线型的变化^[1-4]。本文对竖曲线(变坡点)与缓和曲线的相对位置关系、超高顺坡率、坡度差、竖曲线半径等影响行车安全及平稳性的主要因素进行分析研究,提出竖曲线、缓和曲线重叠设置应关注的一些关键环节,尽可能减小竖曲线、缓和曲线重叠设置的不利因素对工程的影响,研究成果可供设计者更加灵活地理解和应用规范参考。

1 现行规范规定

TB 10621 - 2014《高速铁路设计规范》^[5]、TB 10623 - 2014《城际铁路设计规范》^[6]和TB 10098 - 2017《铁路线路设计规范》^[7]均规定:“竖曲线不应设置在缓和曲线、正线道岔、钢轨伸缩调节器以及明桥面桥范围内。当路段设计速度大于 120 km/h 时,以上地段范围内不得设置变坡点。”高速铁路规范还规定:“竖曲线(或变坡点)起终点与平面曲线起终点间的最小距离不宜小于 20 m”,主要原因是竖曲线与平

面曲线重叠设置时空间线形比较复杂,增加了施工及运营维护的难度。尤其当竖曲线与缓和曲线重叠时,缓和曲线范围内内轨轨顶维持竖曲线的形状,而外轨轨顶则由于超高改变了坡度,在一定程度上改变了竖曲线和缓和曲线在立面上的形状。列车通过此段时形成横向变化和轻微的竖向不平顺点,车轮与钢轨的密贴性能减低,增加了列车横、竖向激扰震动,行车平稳性变差,安全性降低。

TB 10624 - 2020《市域(郊)铁路设计规范》^[8]和DB44/T 2360 - 2022《城际铁路设计细则》^[9]考虑到引入中心城(市)区线路一般采用地下敷设方式,线路平纵断面和车站设置难度大,均规定竖曲线与缓和曲线或超高顺坡段在有砟道床地段不得重叠;困难条件下无砟轨道地段可与缓和曲线重叠设置,但竖曲线半径不应采用困难值。规范还规定在无砟道床地段竖曲线与缓和曲线重叠时,每条钢轨的超高最大顺坡率不得大于 1.5‰。

日本铁路轨道构造标准规定,应当尽量避免缓和曲线上插入竖曲线。缓和曲线上,因为轨道面不平整造成支撑的轮重减少,车辆走行安全性降低;竖曲线上,存在的上下加速度也造成支撑的轮重减少、压曲稳定性降低。两者重叠后安全性降幅更大,所以必须避免。日本铁路竖曲线半径从舒适度的角度出发设定,上下加速度一般很小,可以认为竖曲线不影响走行安全性和舒适度。

2 竖曲线与缓和曲线重叠设置分析

2.1 竖曲线、缓和曲线位置关系分析

按常用三次抛物线型缓和曲线与直线型超高顺坡进行分析^[10-12],竖曲线和缓和曲线重叠后,变坡点处在不同位置的竖曲线、缓和曲线对应关系如表 1 所示。

表 1 竖曲线、缓和曲线位置关系表

类型	竖曲线与缓和曲线不重叠	竖曲线与缓和曲线重叠		
		变坡点在 ZH 或 HZ 点处,或在 ZH 或 HZ 点附近直线上	变坡点在 HY 或 YH 点处,或在 HY 或 YH 点附近圆曲线范围内	变坡点在缓和曲线内
几何形态				

2.2 优缺点分析

通过对竖曲线、缓和曲线重叠线路几何形态变化

分析,提出凸型、凹型竖曲线和平面缓和曲线的设置关系。

2.2.1 竖曲线与缓和曲线不重叠

(1) 外轨立面有2个间断点且与平面间断点重合,形成1个小坡段($ZH \sim YH$),代数差微小并不影响平顺性。

(2) 因超高设置图中①点自然形成微型凹型竖曲线,②点自然形成微型凸型竖曲线,这种超高顺坡点的竖曲线与正线竖曲线不叠加,并不影响轨道铺设和平顺性。

(3) 分析结论

竖曲线不与缓和曲线重叠。仅外轨超高与缓和曲线重叠合成的空间线形相对简单。宜保持轨道几何形态,行车平稳性好。

2.2.2 竖曲线与缓和曲线重叠,变坡点在 ZH 或 HZ 点处,或在 ZH 或 HZ 点附近直线上

(1) 因变坡点在 ZH 或 HZ 点处,或在 ZH 或 HZ 点附近直线上,图中外轨立面形成4个间断点和3个小坡段($SZY \sim ZH \sim SYZ \sim YH$),代数差微小对轨道铺设和平顺性影响甚微,但增加列车横竖向激扰震动,行车平稳性变差。

(2) 因超高设置图中②点自然形成微型凹型竖曲线,④点自然形成微型凸型竖曲线,②点超高顺坡点的竖曲线与正线竖曲线叠加,正线竖曲线凹型时形态一致,仅竖曲线半径有所改变,对轨道铺设和平顺性影响甚微。正线竖曲线为凸型时形态相反,对轨道铺设和平顺性影响甚大。

(3) 分析结论

竖曲线与缓和曲线重叠。为避免在 ZH 或 HZ 点处,或在 ZH 或 HZ 点附近直线上设置的正线竖曲线严重影响外轨超高形态,此处不得设置凸形竖曲线。

2.2.3 竖曲线与缓和曲线重叠,变坡点在 HY 或 YH 点处,或在 HY 或 YH 点附近圆曲线范围内

(1) 因变坡点在 HY 或 YH 点处,或在 HY 或 YH 点附近圆曲线范围内,外轨立面有4个间断点,形成3个小坡段($ZH \sim SYZ \sim YH \sim SYZ$)。代数差微小对轨道铺设和平顺性影响甚微,但增加列车横竖向激扰震动,行车平稳性变差。

(2) 因超高设置图中①点自然形成微型凹型竖曲线,③点自然形成微型凸型竖曲线,③点超高顺坡点的竖曲线与正线竖曲线叠加,正线竖曲线凸型时形态一致,仅竖曲线半径有所改变,对轨道铺设和平顺性影响甚微。正线竖曲线为凹型时形态相反,对轨道铺设和平顺性影响甚大。

(3) 分析结论

竖曲线与缓和曲线重叠。为避免在 HY 或 YH 点

处,或在 HY 或 YH 点附近圆曲线范围内设置的正线竖曲线严重影响外轨超高形态,此处不得设置凹型竖曲线。

2.2.4 竖曲线与缓和曲线重叠,变坡点在缓和曲线内

(1) 变坡点在缓和曲线内,竖曲线起终点不跨越缓和曲线起终点,外轨立面有4个间断点,形成3个小坡段($ZH \sim SYZ \sim SYZ \sim YH$)。代数差微小对轨道铺设和平顺性影响甚微,但增加列车横竖向激扰震动,行车平稳性变差。

(2) 因超高设置图中①点自然形成微型凹型竖曲线,④点自然形成微型凸型竖曲线,①、④点超高顺坡点的竖曲线与正线竖曲线不叠加,仅竖曲线半径有所改变,对轨道铺设和平顺性影响甚微。外轨坡段、坡度因平、竖曲线重叠而有所变化不易做成理论要求的形状,且也难于保持。车轮与钢轨的密贴性能降低,列车横竖向激扰震动增加。

(3) 分析结论

竖曲线与缓和曲线重叠。仅改变了超高形态(直线型变为曲线型),合成的空间线形相对简单。故特殊困难条件下,竖曲线与缓和曲线可重叠设置,但凸形竖曲线不得跨越 ZH 或 HZ 点,凹型竖曲线不得跨越 HY 或 YH 点。

3 结束语

(1) 竖曲线与缓和曲线总体上不应重叠设置。当确需重叠设置时,应对平竖曲线匹配条件予以严格限制。如线规规定:路段设计速度大于120 km/h时,缓和曲线范围内不得设置变坡点。

(2) 变坡点处设凸形还是凹型竖曲线,在不同位置与平面曲线搭配形成的空间线形几何形态各不相同,对车轮与钢轨的密贴性能、列车横竖向激扰震动的影响存在差异,进而影响行车平稳性。竖曲线、缓和曲线间位置关系的合理搭配,有利于优化竖缓曲线重叠设置线路几何形态,改善线路条件,提高行车平稳性。

(3) 在进一步的实施方式中,所述方法还包括但不限于:必要时对车轮与钢轨的密贴性能和列车运行横竖向激扰震动对行车平稳性的影响进行动力学仿真分析和试验测试,以验证设置方案的有效性。

参考文献:

- [1] 孙宗生,时瑾,申雄. 高速铁路平竖曲线重合地段线形设计参数动力学验算及取值研究[J]. 铁道标准设计,2013,57(6): 1-4.

SUN Zongsheng, SHI Jin, SHEN Xiong. Research on Dynamics Calculation and Reasonable Values of Alignment Design Parameters at Overlapping Region of Vertical Curve with Horizontal Curve on High-speed Railway [J]. Railway Standard Design, 2013, 57(6): 1-4.

[2] 孙宗生. 高速铁路平竖曲线重合地段参数设置优化研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2013.

SUN Zongsheng. Study on Optimization of Parameter Setting in Overlapping Section of Horizontal and Vertical Curves of High-speed Railway [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2013.

[3] 王岗. 基于动力仿真的客货共线铁路平竖曲线重合设置研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2018.

WANG Gang. Research on Coincidence Setting of Horizontal and Vertical Curves of Passenger and Freight Railways Based on Dynamic Simulation [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2018.

[4] 周素霞, 薛蕊. 缓和曲线线型对地铁车辆动力学参数的影响[J]. 北京交通大学学报, 2015, 39(3): 24-29.

ZHOU Suxia, XUE Rui. Influence of Transition Curves Act on Subway Wheel-rail Wear [J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2015, 39(3): 24-29.

[5] TB 10621-2014 高速铁路设计规范[S].

TB 10621-2014 Code for Design of High Speed Railway [S].

[6] TB 10623-2014 城际铁路设计规范[S].

TB 10623-2014 Code for Design of Intercity Railway [S].

[7] TB 10098-2017 铁路线路设计规范[S].

TB 10098-2017 Code for Design of Railway Line [S].

[8] TB 10624-2020 市域(郊)铁路设计规范[S].

TB 10624-2020 Code for Design of Suburban Rail [S].

[9] DB44/T 2360-2022 城际铁路设计细则[S].

DB44/T 2360-2022 Design Guidelines for Intercity Railway [S].

[10] 练松良, 陈松林, 李向国. 客运专线竖曲线与平面曲线重叠的试验验证[J]. 铁道学报, 2005, 27(2): 75-79.

LIAN Songliang, CHEN Songlin, LI Xiangguo. Experimental Verification of Overlapping Vertical Curve and Plane Curve of Passenger Dedicated Line [J]. Journal of the China Railway Society, 2005, 27(2): 75-79.

[11] 谢毅, 时瑾, 林晓龙, 等. 400 km/h 高速铁路平竖重合地段线路方案动力学评估[J]. 高速铁路技术, 2021, 12(5): 1-7.

XIE Yi, SHI Jin, LIN Xiaolong, et al. Dynamic Evaluation of Railway Alignment in Horizontal and Vertical Overlapping Section of 400 km/h High-speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(5): 1-7.

[12] 胡建平. 300~350 km/h 客运专线平竖曲线重叠设置对舒适度的影响[J]. 高速铁路技术, 2010, 1(2): 34-39, 43.

HU Jianping. Vertical and Horizontal Curve Overlap Influence on Riding Comfort [J]. High Speed Railway Technology, 2010, 1(2): 34-39, 43.

(上接第12页)

[5] 易思蓉, 杨冬营, 吴跃成. 200 km/h 中速磁浮最小竖曲线半径取值研究[J]. 高速铁路技术, 2022, 13(4): 24-29.

YI Sirong, YANG Dongying, WU Yuecheng. Study on Determining Minimum Radius of Vertical Curve for 200 km/h Medium Speed Maglev Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(4): 24-29.

[6] 招阳, 魏庆朝, 许兆义, 等. 高速磁浮线路圆曲线参数取值研究[J]. 北京交通大学学报, 2007, 31(4): 101-105.

ZHAO Yang, WEI Qingchao, XU Zhaoyi, et al. Research on Curve Parameters of High-speed Maglev Railway Route [J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2007, 31(4): 101-105.

[7] 苟智平. 高速磁浮线路平纵面设计参数的建议[J]. 交通运输工程与信息学报, 2007, 5(4): 99-104.

GOU Zhiping. Parameters of the Line Plane and Profile Design for the High-speed Maglev-train [J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2007, 5(4): 99-104.

[8] 胡立成. 高速磁浮线路最小平竖曲线半径研究[J]. 城市轨道交通研究, 2010, 13(9): 43-47.

HU Licheng. Minimum Radius of Plane and Vertical Curves for High Speed Maglev Design [J]. Urban Mass Transit, 2010, 13(9): 43-47.

[9] 谢毅, 寇峻瑜, 余浩伟. 高速磁浮最小曲线半径及缓和曲线长度研究[J]. 铁道工程学报, 2020, 37(4): 43-48.

XIE Yi, KOU Junyu, YU Haowei. Research on the Minimum Plane Curve Radius and Transition Curve Length of High-speed Maglev [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2020, 37(4): 43-48.

[10] TB 10630-2019 磁浮铁路技术标准(试行)[S].

TB 10630-2019 Standard for Technology of Maglev Railway (Trial) [S].

[11] 胡叙洪. 高速磁浮工程线路平面缓和曲线线型选择研究[J]. 铁道标准设计, 2005, 49(8): 7-9.

HU Xuhong. Study on Line Type Selection of Plane Transition Curve in High-speed Maglev Project [J]. Railway Standard Design, 2005, 49(8): 7-9.