

市域轨道交通连续梁桥上的无缝道岔布置^{*}

文 妮

(武汉铁路职业技术学院, 430205, 武汉//副教授)

摘 要 市域轨道交通是介于高速铁路与地铁之间的轨道交通制式,其桥上无缝道岔设计不能完全按照高速铁路和地铁的相关规范。对某市域轨道交通 4×30 m 连续梁桥上单渡线道岔的无缝化布置进行了研究。根据道岔位移随道岔始端距梁缝距离的变化规律可知:当单渡线道岔始端距梁缝大于 14 m 时,在伸缩力和制动力作用下转辙机处梁轨相对位移小于 5 mm,道岔钢轨强度和道岔位移满足无缝道岔布置要求。

关键词 市域轨道交通;连续梁桥;无缝道岔

中图分类号 U231.6

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2019.06.007

Layout of Seamless Turnout on Continuous Girder Bridge of Urban Regional Rail Transit

WEN Ni

Abstract Urban regional rail transit is a traffic system between high-speed railway and subway, the design of seamless turnout on subway bridge can not completely copy the relevant specifications of high-speed railway and subway. In this paper, the seamless layout of a single crossing switch on a 4×30 m continuous beam bridge for urban regional rail transit is discussed. According to the rule of turnout displacement with the distance changing from the turnout beginning to the beam joint, it may be known that in the case of single crossing turnout when the distance is more than 14 m, the relative displacement of the beam and rail at the switch machine will be less than 5 mm under the action of telescopic force and braking force, thus the rail strength and shift of turnout could meet the requirements of seamless turnout layout.

Key words urban regional rail transit; continuous beam bridge; seamless turnout

Author's address Wuhan Railway Vocational College of Technology, 430205, Wuhan, China

市域轨道交通的设计时速一般为 $100 \sim 160$ km/h,是一种介于高速铁路和地铁之间的一种轨道交通制式,因此其轨道设计不能完全参考高速铁路

和地铁等相关规范。市域轨道交通相对地铁而言,速度较高,轮轨动力作用较大,因此其桥上道岔设计不宜采用地铁传统的“有缝+冻结接头”^[1]。跨区间无缝线路是市域轨道交通的基本技术要求之一,而桥上道岔的无缝化是实现跨区间无缝线路的关键。目前,国内对于高速铁路桥上的无缝道岔已有系统性研究,研究成果纳入了相关规范^[2]。但高速铁路桥上无缝道岔布设对桥梁和布置方式要求比较严格,其布置方式不适用于市域轨道交通。为了满足市域轨道交通桥上道岔无缝化要求,本文针对市域轨道交通高架桥上单渡线道岔无缝化开展桥梁和轨道合理布置形式研究,以供类似工程设计参考。

1 计算模型与方案

1.1 工程背景

某市域轨道交通 4×30 m 连续梁上布置 9 号道岔的单渡线,其桥上采用双块式无砟轨道,为双线道岔梁,线间距 4.2 m,位于直线段。线路设计最高速度为 120 km/h。

桥上道岔区轨下基础为桁架式长枕式整体道床,道岔采用 60 kg/m 钢轨 9 号道岔。道岔全长为 28.3 m (前后长度分别为 12.57 m 和 15.73 m),采用相离线型曲线尖轨、高锰钢整铸式辙叉及槽型护轨;其直向最大通过速度为 120 km/h,侧向通过速度为 35 km/h。

1.2 计算模型

在温度作用或列车制动作用下,桥梁与轨道将产生相对位移,在桥梁与轨道之间形成一个相互作用的力学平衡体系。由于桁架式长枕式整体道床的长枕浇筑在道床内,而道床通过预埋钢筋直接与桥面连接在一起,所以可以把高架桥上无缝道岔结构模拟成一个由梁体与轨道组成的两层结构体系,建立“轨道-桥梁-墩台”相互作用的一体化模型^[3-8](如图 1 所示)。

^{*} 全国交通运输职业教育科研项目(2017B29)

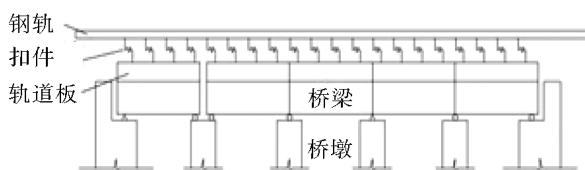


图1 无砟轨道桥上无缝道岔模型示意图

应用 ANSYS 软件建立模型进行计算分析。钢轨、轨枕和桥梁采用梁单元模拟;扣件纵向阻力采用弹簧单元模拟,作用于钢轨节点和岔枕节点上;限位器采用弹簧单元模拟,作用于钢轨节点上;固定墩采用弹簧单元模拟,作用于桥梁上。

1.3 计算参数

市域轨道交通的 4×30 m 连续梁固定支座设在中间墩上,连续梁桥墩刚度取 500 kN/cm ,相邻简支梁桥墩刚度取 250 kN/cm 。箱梁结构为等高、等宽度连续箱梁,梁高 1.8 m ,箱梁顶板全宽 10.6 m 。箱梁横截面为单箱单室斜腹板,顶板厚度 0.28 m ,腹板厚度 0.35 m ,底板厚度 0.28 m 。建模时,在连续梁左端考虑 5 孔 30 m 简支梁作为边界条件,右端的车站模拟为刚度无穷大的基础。混凝土梁的温度变

化幅度取 25°C 。

9 号单开道岔转辙器跟端设置限位器,间隙值为 7 mm ,限位器水平螺栓采用高强度螺栓及高强度螺母。道岔总长为 60 个枕跨,导曲线半径为 200.717 m ,岔枕间距取 0.6 m 。道岔直股和侧股均采用冻结接头。当地最高轨温 61.9°C ,最低轨温 -19.6°C ,设计锁定轨温取 25.0°C ,锁定轨温变动范围按 $\pm 5^\circ\text{C}$ 考虑,最大轨温变化幅度取 49.6°C 。

1.4 计算方案

参考《铁路无缝线路设计规范》中对桥上道岔布置的规定,以及城市轨道交通高架桥上道岔布置情况,本文对市域轨道交通 $4 \times 30 \text{ m}$ 连续梁上单渡线的布置情况进行计算分析,分析不同方案下桥上无缝道岔受力和变形情况,方案设定为:方案 1——道岔 1 的始端距梁缝为 2 m ;方案 2——道岔 1 的始端距梁缝为 6 m ;方案 3——道岔 1 的始端距梁缝为 10 m ;方案 4——道岔 1 的始端距梁缝为 14 m ;方案 5——道岔 1 的始端距梁缝为 18 m 。各方案的道岔布置示意图如图 2 所示。

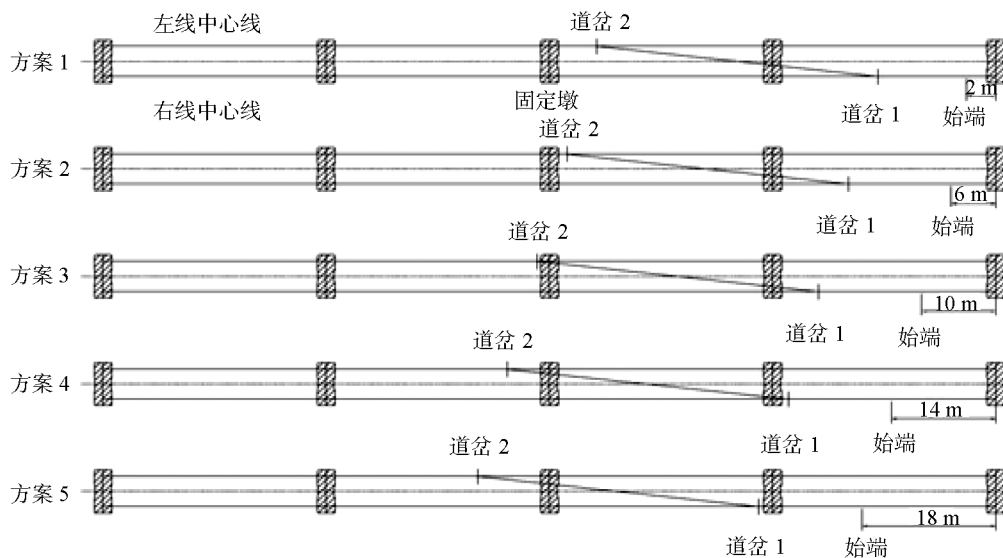


图2 桥上道岔不同布置方案示意图

2 对比计算分析

2.1 对钢轨温度力的影响

对 5 种方案进行了计算分析,对比连续梁桥上道岔不同布置方案对钢轨温度力的影响。图 3~4 分别给出了右线直基本轨、左线直基本轨的钢轨温度力。可以看出:道岔不同布置方案对右线直基本

轨伸缩附加力几乎无影响,左线直基本轨伸缩附加力受固定墩的影响略有变化。该市域轨道交通正线钢轨采用了 U75V 轨,其屈服强度为 472 MPa 。表 1 给出了各方案钢轨强度值、钢轨温度应力、动弯应力、伸缩附加力和制动^[9],可见各应力叠加后的钢轨强度小于钢轨容许应力,所以钢轨强度不是限制市域轨道交通桥上道岔无缝化的关键因素。

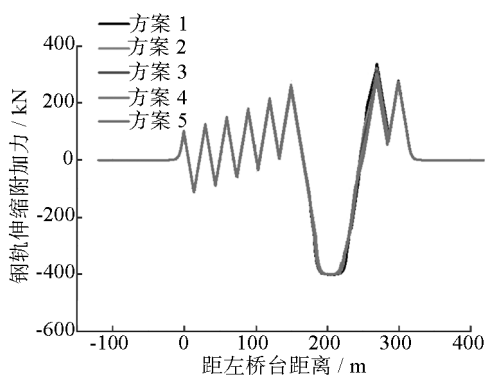


图3 桥上道岔右线直基本轨伸缩附加力

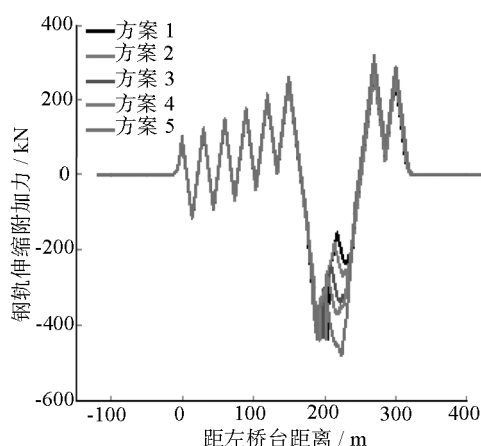


图4 桥上道岔左线直基本轨伸缩附加力

表1 桥上道岔不同方案的钢轨强度表

方案	温度应力	动弯应力	附加应力	制动应力	各应力叠加后应力	容许应力
方案1	122.9	93.9	56.1	30.9	303.8	363.1
方案2	122.9	93.9	56.5	29.5	302.8	363.1
方案3	122.9	93.9	55.8	27.9	300.5	363.1
方案4	122.9	93.9	56.9	26.8	300.5	363.1
方案5	122.9	93.9	61.9	30.9	309.6	363.1

2.2 对转辙机处梁轨相对位移的影响

图5为连续梁上道岔不同布置方案时道岔转辙机处梁轨相对位移。可以看出:随着距梁缝距离的增大,道岔转辙机处梁轨相对位移逐渐减小,变化规律近似呈线性。

市域轨道交通高架桥桥墩刚度较小,梁轨相对位移较大。参考《铁路无缝线路设计规范》中的规定:为满足道岔转换设备正常转换和锁闭,在伸缩力和制动力作用下转辙机处梁轨相对位移量不大于5 mm。表2为桥上道岔的伸缩工况和制动工况下5种布置方式转辙机处梁轨相对位移值,向右为正,向

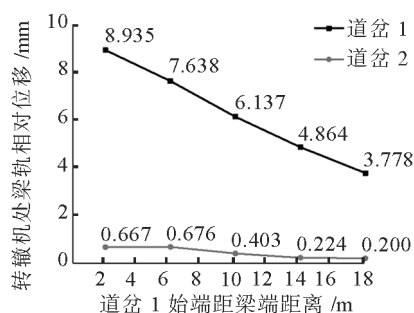


图5 桥上道岔转辙机处梁轨相对位移

左为负。可以看出:道岔1始端距离梁缝为2、6、10 m时,伸缩工况和制动工况作用下道岔1转辙机处梁轨相对位移大于5 mm;道岔1始端距离梁缝14 m和18 m时,伸缩工况和制动工况作用下道岔1转辙机处梁轨相对位移总和分别为4.975、4.185 mm,均小于5 mm。

表2 桥上道岔不同方案的转辙机处梁轨相对位移/mm

方案	道岔1		道岔2	
	伸缩工况	制动工况	伸缩工况	制动工况
方案1	8.935	-0.872	0.667	-0.134
方案2	7.638	-0.418	0.676	-0.089
方案3	6.137	-0.014	0.403	-0.047
方案4	4.864	0.111	0.224	-0.022
方案5	3.778	0.407	0.200	0.091

2.3 对道岔尖轨位移的影响

表3给出了连续梁上道岔不同布置方案时道岔尖轨相对于基本轨的位移值。可以看出:道岔尖轨相对于基本轨的位移随道岔1距梁缝距离的增大而减小。

表3 桥上道岔不同方案的尖轨相对于基本轨位移/mm

方案	道岔1		道岔2	
	直尖轨尖端	曲尖轨尖端	直尖轨尖端	曲尖轨尖端
方案1	17.001	14.512	8.392	8.231
方案2	15.770	13.202	8.194	8.043
方案3	15.044	11.796	7.511	7.485
方案4	13.951	10.937	7.320	7.279
方案5	12.849	9.822	6.777	6.777

2.4 桥墩纵向水平线刚度对道岔位移的影响

为进一步探讨市域轨道交通高架桥上道岔无缝线化的布置,针对方案4,分析了连续梁桥墩纵向水平线刚度分别为400、500、600、700、800、1 500、2 500 kN/cm时道岔1的位移情况(见表4)。可以看出:随着连续梁桥墩刚度的增大,道岔各部位相对基本轨的位移逐渐减小,但影响较小。

表4 不同桥墩刚度下道岔1各部位相对基本轨位移

桥墩刚度 / (kN/cm)	转辙机处梁轨 相对位移/mm	直尖轨相对基 本轨位移/mm	曲尖轨相对基 本轨位移/mm
400	4.894	13.976	10.950
500	4.864	13.951	10.937
600	4.832	13.927	10.915
700	4.809	13.905	10.906
800	4.784	13.892	10.894
1 500	4.543	13.829	10.708
2 500	4.487	13.782	10.663

3 结论

(1) 随着单渡线道岔始端距梁缝距离的增大,右线钢轨伸缩附加力基本不变,左线钢轨伸缩附加力受固定墩影响略有变化。

(2) 随着单渡线道岔始端距梁缝距离的增大,道岔各部位的位移值均减小,变化规律近似呈线性。

(3) 根据道岔位移随道岔始端距梁缝距离的变化规律可知:当连续梁桥上单渡线道岔始端距梁缝大于14 m时,在伸缩力和制动力作用下转辙机处梁轨相对位移小于5 mm,道岔钢轨强度和道岔位移满足无缝道岔布置要求,可供类似工程设计参考。

(4) 随着连续梁桥墩刚度的增大,道岔各部位相对基本轨的位移逐渐减小,但影响较小。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁设计规范:GB 50157—2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [2] 中华人民共和国铁道部. 铁路无缝线路设计规范:TB 10015—2012[S].北京:中国铁道出版社,2013.
- [3] 王平,刘学毅.无缝道岔计算理论与设计方法[M].成都:西南交通大学出版社,2007.
- [4] 李秋义,孙立,杨艳丽.客运专线桥上无缝道岔设计方法研究[J].铁道工程学报,2008(12):50.
- [5] 李秋义.客运专线桥上无缝道岔计算模型和计算方法研究[J].铁道标准设计,2010(2):64.
- [6] 徐桂弘,徐浩,王平,等.无砟轨道连续梁桥与道岔纵向相互作用规律的研究[J].铁道建筑,2011(5):119.
- [7] 张世杰.桥上无缝道岔交叉渡线无砟轨道影响因素分析[J].铁道工程学报,2013,(10):48.
- [8] 赵才友,王平,包进荣.连续梁桥上无缝道岔合理化布置研究[J].铁路计算机应用,2011,20(2):1.
- [9] 朱彬.列车荷载图式对桥上无缝线路纵向力的影响分析[J].铁道建筑技术,2017(12):20.

(收稿日期:2019-01-20)

(上接第28页)

- [2] HUANG Y, MA X, SU S, et al. Optimization of train operation in multiple interstations with multi-population genetic algorithm[J]. Energies, 2015, 8(12): 14311.
- [3] 宋文婷, 谭冕, 蔡文川, 等. 高速列车的节能操纵策略研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2016, (3): 423.
- [4] KE B R, CHEN M C, LIN C L. Block-layout design using MAX-MIN ant system for saving energy on mass rapid transit systems [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2009, 10(2): 226.
- [5] LI Z, WEI X, WANG H, et al. Optimizing power for train operation based on ACO[C]//Proceedings of the 2015 International Conference on Electrical and Information Technologies for Rail Transportation. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2016: 453.
- [6] LU S, HILLMANSEN S, HO T K, et al. Single-train trajectory optimization[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2013, 14(2): 743.
- [7] HAAHR J T, PISINGER D, SABBAGHIAN M. A dynamic programming approach for optimizing train speed profiles with speed restrictions and passage points[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2017, 99: 167.
- [8] 唐海川, 朱金陵, 王青元, 等. 一种可在线调整的列车正点运行节能操纵控制算法[J]. 中国铁道科学, 2013, 34(4): 89.
- [9] SERMPIS D, PAPADAKOS P, FOUSEKIS K. Tram priority at signal-controlled junctions[J]. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport, 2012, 165(2): 87.
- [10] ZHOU Y F, JIA S, MAO B, et al. An arterial signal coordination optimization model for trams based on modified AM-BAND [J]. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2016 (1181): 1.
- [11] KUBÍN J, FERKOVÁ Ž. Influence of driving style of a tram driver on the tram's energy consumption [C] //2015 International Conference on Electrical Drives and Power Electronics (EDPE). Slovakia: IEEE, 2015: 417.
- [12] 李明, 刘楠, 石俊杰. 有轨电车运行能耗影响因素及节能措施分析[J]. 机车电传动, 2017, (2): 96.
- [13] RAWICKI S. Energy saving control of tram motors taking light signalling and city disturbances into account[C] //13th International Power Electronics and Motion Control Conference. Poznan: IEEE, 2008: 1481.
- [14] RAWICKI S, NOWAK M. Energy-saving coordination of traffic of some trams driven by induction motors[J]. Poznan University of Technology Academic Journals: Electrical Engineering, 2016(85): 447.

(收稿日期:2017-10-15)