

塞尔维亚有轨电车轨道系统设计技术研究

王九州¹ 李 鑫² 张志成¹ 韩林凯¹ 李正中³

(1. 天津市市政工程设计研究总院有限公司, 300392, 天津; 2. 中国电建市政建设集团有限公司, 300384, 天津;

3. 天津市交通科学研究院, 300060, 天津//第一作者, 高级工程师)

摘 要 目的: 为了促进我国有轨电车线路设计技术的持续进步, 应长期关注和深入研究欧洲不同城市有轨电车线路在车辆、轨道及其他系统上的关键设计技术。方法: 基于我国参与的塞尔维亚“贝尔格莱德市新萨瓦河大桥项目”咨询工作, 对欧洲(塞尔维亚采用欧洲标准)和我国涉及有轨电车轨道专业的标准进行了对比, 研读了项目的设计文件图纸和计算书, 并结合实地调研、与塞尔维亚设计人员的走访交流等工作, 从标准体系、钢轨选型、温度力计算及轨道结构等4个方面总结了我国与欧洲在有轨电车轨道设计标准和理念上的异同。结果及结论: 我国和欧洲的有轨电车轨道专业方面标准条款的差异不大, 但具体设计中仍有很多与我国应用的技术路线有很多不同之处, 应对欧洲标准进行更为深入的研究。与欧洲标准相比, 我国标准比较完整, 许多计算参数可直接使用, 设计效率更高, 控制标准也更高。

关键词 有轨电车; 轨道结构; 欧洲技术标准

中图分类号 U231+1:U482.1

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.07.019

Research on Tram Track System Design Technology in Serbia

WANG Jiuzhou, LI Xin, ZHANG Zhicheng, HAN Linkai, LI Zhengzhong

Abstract Objective: To promote the continuous progress of tram line design technology in China, long-term attention and in-depth research on the key design technologies of tram lines in vehicles, tracks, and other systems in different European cities should be given. Method: Based on the consultancy work of the 'New Sava River Bridge Project in Belgrade' with Chinese enterprises participation, a comparison is made between European (Serbia adopts European standards) and Chinese standards related to tram track discipline. The design documents, drawings, and calculation sheets of the project are studied, and combined with on-site investigation, visits and exchanges with Serbian designers, from four aspects of standard system, rail selection, temperature force calculation and track structure, the differences and similarities in the design standards and concepts of tram tracks between China and Europe are

summarized. Result & Conclusion: There is not much difference in the standard terms of tram track between China and Europe, but there are still many specific design differences in comparison with the technical routes applied in China. Therefore, more in-depth research should be carried out on European standards. By comparison, Chinese standards are relatively complete, with many calculation parameters to use directly, having higher design efficiency as well as higher level of control standards.

Key words tram; track structure; European technical standard

First-author's address Tianjin Municipal Engineering Design & Research Institute, 300392, Tianjin, China

1 研究背景

贝尔格莱德是塞尔维亚共和国的首都, 也是该国的政治、经济和文化中心。贝尔格莱德市共有有轨电车线路12条, 线网总长度为132 km。图1为塞尔维亚某线有轨电车外观图, 有轨电车线路均采用1 000 mm轨距, 通过直流600 V架空接触网供电。贝尔格莱德有轨电车线网的第1条线路于1892年建成, 其余线路大多在20世纪初建成。目前该有轨电车线网虽仍正常运转, 但面临着路面年久失修、设备老旧及运行间隔较长等问题。



图1 塞尔维亚贝尔格莱德市某线有轨电车外观图

Fig. 1 Appearance picture of a tram in Belgrade, Serbia

2020 年,中国电建市政建设集团有限公司建了“贝尔格莱德市新萨瓦河大桥项目”,该项目包括现有旧桥整体移除、在旧桥原址新建 1 座钢桥及重接引道等。旧桥于 1941 年由德国人修建,桥面为双向两车道,车道中间嵌入了槽型钢轨,供有轨电车 11 号线和 12 号线使用,因此桥梁路面上机动车和有轨电车混行(见图 2)。



图 2 贝尔格莱德市萨瓦河旧桥实景图
Fig. 2 Picture of the old Sava River Bridge in Belgrade

新建桥梁将拓宽为双向四车道,中间两车道作为城市有轨电车专用车道。新桥建成后,将有效改善贝尔格莱德的交通状况,缓解交通压力。该项目由塞尔维亚方(以下简称“塞方”)设计单位按欧洲标准进行设计,我国的咨询审查方(以下简称“我方”)作为该项目的咨询单位,负责对该项目各阶段的全专业设计方案进行咨询审查,笔者负责其中的轨道专业审查工作。本工程设计程序主要分初步设计、建筑许可和施工图设计 3 个阶段,轨道专业送审资料主要包括图纸和计算书。本文主要对该项目的轨道专业设计与我国有轨电车轨道常见设计方法的不同之处进行对比分析。

2 我国与欧洲在有轨电车轨道专业标准体系上的对比

我国的有轨电车轨道专业标准体系比较完善,且大多为工程项目类规范,如 CJJ/T 295—2019《城市有轨电车工程设计标准》^[1]和 TB 10082—2017《铁路轨道设计规范》^[2]等,便于从业人员使用和交流。塞尔维亚主要执行欧洲标准,而欧洲标准实际上是由德国、法国和英国等国既有的规范继承而来,轨道专业涉及到的规范和标准比较分散,开始实施日期的跨度也较大,缺少协调的项目规范,这导致设计过程中需要查阅和自行计算的项目较多,对设计人员的要求较高。由于篇幅所限,表 1 中列举了我国与欧洲在有轨电车轨道专业上涉及的代

表性标准,供读者直观对比。

表 1 我国与欧洲的有轨电车轨道专业标准对比列表
Tab.1 Comparison of tram track profession standards between China and Europe

标准 发布地	标准名称	标准编号
中国	《城市有轨电车工程设计标准》	CJJ/T 295—2019
	《有轨电车试运营基本条件》	JT/T 1091—2016
	《城市有轨电车用槽型钢轨》	YB/T 4653—2018
	《铁路轨道设计规范》	TB 10082—2017
	《铁路无缝线路设计规范》	TB 10015—2012
欧洲	《结构设计基础》	SPRS EN:1990
	《无缝轨道系统》	SR/S EN 16432-1:2017
	《铁路应用-特殊轨道-槽型钢轨相关构造》	EN 14811:2019
	《噪声排放标准》	EN 15461:2011
	《环境电阻、防辐射要求》	EN 50122-2:2010

3 轨道专业关键技术指标标准对比

3.1 钢轨硬度标准对比

欧洲槽型钢轨的种类共有 18 种。我国的槽型钢轨尺寸也是采用引进的欧洲标准,目前实际工程中主要采用 59R2 和 60R1 两种类型。欧洲槽型钢轨的制造水平目前仍高于我国,尤其是其表面处理技术十分先进,钢轨硬度和防锈性能上也更为优良。

塞方设计单位的送审文件^[3-4]中,选用的钢轨型号及规格为:“60R1 槽型钢轨,牌号 S800,抗拉强度 $>770\text{ N/mm}^2$,布氏硬度为 220~260 HB”。我方经过检算后,认为该取值较低,若按我国标准,则无法通过轨道强度计算。经过对欧洲标准(以下简称“欧标”)^[5]和我国槽型钢轨标准^[6]的对比,发现欧标将钢轨强度分为 5 档,我国仅分为 2 档,如表 2 所示。

我方与塞方设计单位进行了沟通,向其介绍我国的标准及计算过程,建议提高钢轨的强度要求标准。对方接受并采纳了我方的意见,并在随后的设计文件和计算书中,钢轨等级按 R290GHT 级标准进行设计。

3.2 温度应力计算取值对比

根据我国的 TB 10015—2012《铁路无缝线路设计规范》^[7],无缝线路钢轨最大温度拉应力 σ_t 的计算公式为:

表 2 我国和欧洲的槽型钢轨强度标准对比表

Tab.2 Comparison of grooved rail strength standards between China and Europe

标准 发布地	标准的编号及名称	标准对钢轨等级及硬度的要求	
		钢轨等级	布式加权 硬度/HBW
中国	YB/T 4653—2018 《城市有轨电 车用槽型钢轨》	U75V(热轧钢轨)	280~320
		U75V(热处理钢轨)	340~400
		R200	200~240
欧洲	EN 14811: 2019 《铁路应用-特殊 轨道-槽型钢轨 相关构造》	R220G1	220~260
		R260	260~300
		R290GHT	290~330
		R340GHT	340~390

$$\sigma_t = E\alpha\Delta T_{d,max} \tag{1}$$

$$\Delta T_{d,max} \approx (T_{max} - T_{min})/2 \tag{2}$$

式中：

- E ——钢轨钢弹性模量,取 2.1×10^5 MPa;
- α ——钢轨钢线膨胀系数,取 $1.18 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$;
- $\Delta T_{d,max}$ ——最大降温幅度;
- T_{max} ——最高轨道温度(以下简称“轨温”);
- T_{min} ——最低轨温。

欧洲与我国对 σ_t 的计算公式一致。但我国标准对 T_{max} 、 T_{min} 的取值要求为:“最高轨温取最高气温加 20℃,最低轨温与最低气温相同。”这是因为在夏季,由于太阳辐射热的作用,轨温通常比当地最高气温高出 10~20℃,而冬季气温较低,轨温与气温大致相同。这是根据我国铁路行业长期观测和实践的经验总结。而塞方只是在计算过程中将最高气温和最低气温四舍五入取整到整十位。

根据塞方设计单位送审文件,贝尔格莱德的统计数据表明:当地的最高气温为 45℃,最低气温为 -21℃。同样的公式下,两种不同取值方法导致我方的计算结果比塞方的计算结果大 22%,设计锁定轨温取值随之比塞方轨温取值高 5~10℃。为此,我方向塞方设计单位提出了此项疑问。对方的回复是:贝尔格莱德市几十年以来一直采用这种计算方法进行有轨电车轨道的设计,没有任何因采用上述温度取值方法而产生不良后果或损坏的报告。经双方交流后,我方认可了塞方依照当地实际经验进行取值的做法。

3.3 轨道结构对比

我国典型的具有独立路权的有轨电车轨道线

路如图 3 所示,其结构主要由轨枕块、扣件及防迷流橡胶外包裹层组成(见图 4),采用吊轨法施工,并在所有组件安装排列好后浇筑道床。这种设计与施工方案与地铁轨道系统类似,便于施工和后期养护。但在有轨电车荷载低、通过量小、免维护要求更高的情况下,是否需要采用该方案(该方案过于复杂),国内外业界各方见解不一。



图 3 我国具有独立路权的有轨电车轨道线路实景图

Fig. 3 Picture of tram track route with independent right of way in China

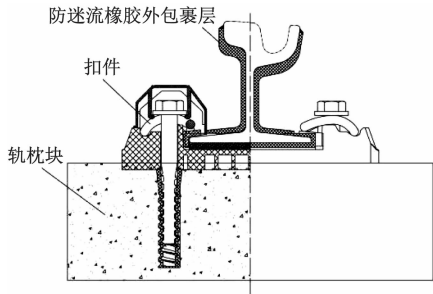


图 4 我国具有独立路权的有轨电车轨道线路轨道结构图

Fig. 4 Track structure diagram of tram route with independent right of way in China

本项目中,塞方设计单位采用了潘德路公司的 QTrack 系统,该系统的核心是由 2 块嵌入式橡胶板将槽型钢轨完全包裹,其轨道结构如图 5 所示。

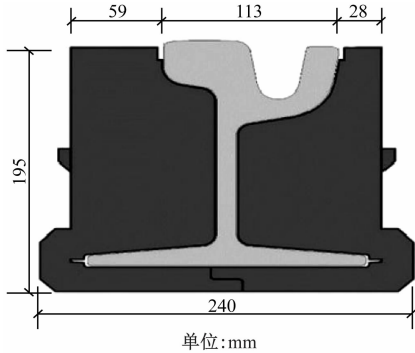


图 5 本项目轨道结构图

Fig. 5 Track structure diagram of this project

该方案相当于将轨枕块、扣件和防迷流层进行

整合,然后也是采用吊轨法施工,将橡胶板与下部道床浇筑在一起,其轨道线路实景如图 6 所示。该方案便于快速施工,但不利于后期钢轨取出,在有轨电车线路基本不需要换轨和欧洲钢轨质量较高的前提下,该方案比较适用。



图 6 本项目独立路权段轨道线路实景图

Fig. 6 Picture of track route section with independent right of way in this project

4 结语

有轨电车在欧洲的应用很普遍,本项目涉及的有轨电车项目来自塞尔维亚贝尔格莱德市,阐述的内容也仅为该市有轨电车线网中轨道专业部分关键的技术问题。欧洲不同城市有轨电车线路车辆及轨道系统的选型都不尽相同,且与我国应用的技术路线有很多不同之处,值得长期关注和深入研究,以促进我国有轨电车线路设计技术的持续进步。

我国和欧洲的有轨电车标准体系基本一致,轨道设计方面的标准条款差异不大。但欧洲标准来源于多个国家,且发布时间有所不同,虽然计算原理较为科学,但比较散乱。相较而言,我国标准比较完整,许多计算参数可以直接使用,提高了设计效率和控制标准。因此,中国标准有在塞尔维亚及欧洲其他国家使用推广的潜力。

参考文献

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市有轨电车工程设计

标准: CJJ/T 295—2019[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.

Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Standard for design of city tram engineering: CJJ/T 295—2019[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2019.

[2] 国家铁路局. 铁路轨道设计规范: TB 10082—2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.

National Railway Administration of the People's Republic of China. Code for design of railway track: TB 10082—2017[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2017.

[3] 新萨瓦河大桥项目设计联合体. 塞尔维亚新萨瓦河大桥项目初步设计文件[R]. 天津: 中国电建市政建设集团有限公司, 2021.

Design Consortium of the New Sava River Bridge Project. Preliminary design document of new bridge over the Sava River on the location of the Old Sava Bridge in Belgrade[R]. Tianjin: STECOL COPORATION, 2021.

[4] 新萨瓦河大桥项目设计联合体. 塞尔维亚新萨瓦河大桥项目建筑许可阶段文件[R]. 天津: 中国电建市政建设集团有限公司, 2022.

Design Consortium of the New Sava River Bridge Project. Documents of construction permit phase of new bridge over the Sava River on the location of the Old Sava Bridge in Belgrade[R]. Tianjin: STECOL COPORATION, 2022.

[5] Deutsche Institut für Normung (DIN). Railway applications-track-special purpose rail-grooved rails and associated construction profiles: DIN EN 14811: 2019[S]. Berlin: DIN, 2019.

[6] 中华人民共和国工业和信息化部. 城市有轨电车用槽型钢轨: YB/T 4653—2018[S/OL]. [2022-08-10]. <https://std.samr.gov.cn/hb/search/stdHBDetailed?id=8B1827F14FC3BB19E-05397BE0A0AB44A>.

Ministry of Industry and Information of the People's Republic of China. Grooved rail for tramways: YB/T 4653—2018[S/OL]. [2022-08-10]. <https://std.samr.gov.cn/hb/search/stdHBDetailed?id=8B1827F14FC3BB19E05397BE0A0AB44A>.

[7] 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.

Ministry of Railways of the People's Republic of China. Code for design of railway continuous welded rail: TB 10015—2012[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2013.

(收稿日期: 2022-12-15)

欢迎访问《城市轨道交通研究》网站

www.umt1998.tongji.edu.cn