

# 城市轨道交通高架段线路接触轨膨胀接头安装曲线优化研究

周 韬

(重庆轨道交通设计研究院有限责任公司, 401120, 重庆//工程师)

**摘 要** 接触轨膨胀接头安装曲线是城市轨道交通工程中指导膨胀接头安装的重要依据,其合理性直接影响线路运营阶段接触轨的正常使用及维护。与地下段接触轨相比,高架段接触轨由于位于高架桥梁上,其伸缩量不仅受轨条自身温度变化的影响,还受到高架桥梁外部因素的影响。通过研究高架段接触轨的锚段伸缩情况,给出了高架段接触轨膨胀接头安装曲线的修正建议,可为工程中高架段接触轨膨胀接头的安装提供参考。

**关键词** 城市轨道交通; 高架线路; 钢铝复合接触轨; 膨胀接头; 安装曲线

**中图分类号** U231.8

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.07.016

## Research on Installation Curve Optimization of Contact Rail Expansion Joint in Urban Rail Transit Elevated Section

ZHOU Tao

**Abstract** The installation curve of contact rail expansion joint is an important document to guide the installation of expansion joint in urban rail transit engineering. Its rationality directly affects the normal use and maintenance of contact rail in the operation stage of the line. Compared to the underground contact rail system, the expansion of the elevated contact rail system is not only affected by the temperature change of the rail itself, but also by the external factors of the viaduct. Through research of the expansion and contraction condition of the anchor section of the elevated contact rail system, correction suggestions are given for the installation curve of the contact rail expansion joint in the elevated section, which can provide reference for the installation of the contact rail expansion joint in the elevated section of the project.

**Key words** urban rail transit; elevated line; steel aluminum composite contact rail; expansion joint; installation curve

**Author's address** Chongqing Rail Transit Design and Research Institute Co., Ltd., 401120, Chongqing, China

## 1 高架段线路接触轨膨胀接头安装曲线概述

作为城市轨道交通牵引供电方式之一的第三轨,多采用钢铝复合接触轨。钢铝复合接触轨一般在锚段间设置膨胀接头,来保证钢铝复合轨既可自由伸缩,又可正常向城市轨道交通车辆供电。膨胀接头可视为一个具备机械连接、电气连接、补偿供电线路伸缩的元件<sup>[1]</sup>,一般采用预留空间间隙的方案来进行补偿。膨胀接头的空间间隙需满足2个方面的要求:①车辆受流器可平滑地滑入及滑出,并可靠取流;②接触轨锚段间无应力,即空间间隙值大于锚段整体伸缩量<sup>[2]</sup>。

膨胀接头安装曲线主要体现为膨胀接头在不同轨条温度条件下预留的空间间隙值 $a$ (如图1所示),以保证线路运营后接触轨在各种工况条件下不会出现锚段间膨胀接头补偿不足的情况。

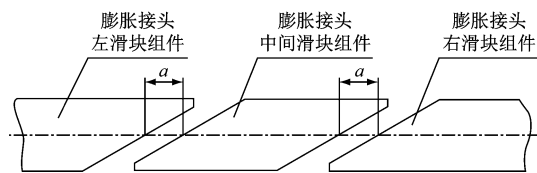
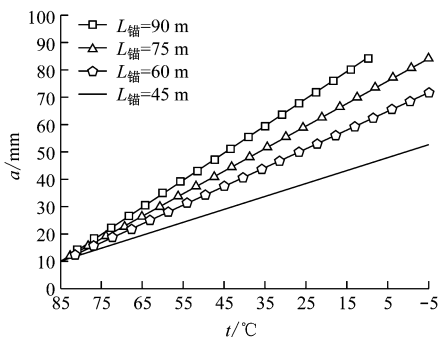


图1 接触轨膨胀接头预留空间间隙示意图

传统的接触轨膨胀接头安装曲线一般针对接触轨工程全线统一给出,只考虑接触轨本身温度升高的情况,并根据工程实际经验预留了安装余量,如图2所示。

与地下段线路相比,高架段线路接触轨的锚段伸缩量受外部土建因素的影响较大,该传统做法未考虑高架段与地下段轨道工况的区别,容易发生高架段按传统膨胀接头安装曲线安装后出现补偿不足的问题。因而,本文根据高架段的不同工况对膨胀接头安装曲线进行优化,实现高架段接触轨锚长与膨胀接头安装曲线的匹配,避免因安装曲线



注:  $L_{\text{锚}}$ ——接触轨锚段长度;  $t$ ——安装时接触轨温度。

图2 传统的接触轨膨胀接头安装曲线

的不合理引起膨胀接头无法有效补偿接触轨锚段伸缩的情况<sup>[3]</sup>。

## 2 外部因素对高架段接触轨锚段伸缩量的影响分析

与地下段的接触轨相比,高架段的接触轨由于位于高架桥梁上,其伸缩量除了与地下段一样受轨条温度变化影响外,还需考虑高架桥梁外部因素的影响。高架桥外部因素产生的接触轨锚段伸缩量根据桥梁伸缩特性可分为2部分:①桥梁受环境气温变化发生伸缩,使接触网产生锚段伸缩量  $\Delta L_t$ ;②桥梁发生徐变和干燥收缩,使接触轨产生锚段伸缩,其锚段伸缩量包含桥梁干燥收缩引起接触轨的伸缩量  $\Delta L_s$  和桥梁徐变引起的接触轨的收缩量  $\Delta L_e$ 。因此,需要对这2部分的锚段伸缩量进行研究,并根据研究结果对膨胀接头安装曲线进行修正。

### 2.1 因外部因素引起锚段伸缩的计算原理

对于多跨连续桥梁而言,由于城市轨道交通线路上列车的运行速度较高,行车密度及载重量也较大,桥梁设计时需重点考虑设置伸缩缝。而桥梁设置伸缩缝也意味着桥梁具有较大的伸缩量,在进行接触轨设计时可结合桥梁的伸缩情况,计算桥梁伸缩等外部因素对接触轨锚段伸缩量的影响。

根据对桥梁伸缩特性的研究<sup>[4]</sup>,  $\Delta L_t$  的计算式为:

$$\Delta L_t = (t_{\max} - t_{\min}) \alpha L_{\text{影}} \quad (1)$$

式中:

$t_{\max}$ ——所在地区的最高环境温度;

$t_{\min}$ ——所在地区的最低环境温度;

$\alpha$ ——桥梁混凝土的温度膨胀系数;

$L_{\text{影}}$ ——桥梁伸缩等外部因素对接触轨影响的计算长度。

根据对桥梁徐变及干燥收缩的研究<sup>[5]</sup>,  $\Delta L_s$  和  $\Delta L_e$  的计算式分别为:

$$\Delta L_s = 2 \times 10^{-4} L_{\text{影}} \beta \quad (2)$$

$$\Delta L_e = \frac{\sigma_p}{E_c} \varphi L_{\text{影}} \beta \quad (3)$$

式中:

$\beta$ ——徐变、干燥收缩的递减系数;

$\sigma_p$ ——由预应力等引起的平均轴向应力;

$E_c$ ——混凝土的弹性模量;

$\varphi$ ——混凝土的徐变系数,一般取2.0。

### 2.2 高架段锚段布置与接触轨伸缩量计算分析

由于高架连续梁一般将伸缩缝设置于桥台处,故连续梁的计算长度一般可视为连续梁伸缩缝间长度的一半。设高架桥单跨长度为  $L_{\text{桥}}$ ,其所对应的锚段中心锚结处在  $x$  轴(线路纵向)上的坐标为  $x_1$ 。结合接触轨锚段布置情况及连续梁单跨设置情况,以及实际桥梁伸缩缝设置情况(一般设在连接处),接触轨的锚段伸缩量计算存在4种情况:①  $L_{\text{桥}} > 2L_{\text{锚}}$ ;②  $L_{\text{锚}} < L_{\text{桥}} \leq 2L_{\text{锚}}$ ;③  $0.5L_{\text{锚}} < L_{\text{桥}} \leq L_{\text{锚}}$ ;④  $0.5L_{\text{桥}} \leq L_{\text{锚}}$ 。本文分别就这4种情况对接触轨的锚段伸缩量进行分析。

#### 2.2.1 情况①下因外部因素引起的锚段伸缩量

情况①下具体的接触轨锚段及桥梁布置情况如图3所示。桥梁本身对接触轨的影响主要体现在对接触轨中心锚结处支架的影响。本文将在外界因素影响条件下膨胀接头呈现出来的伸缩状态作为参照状态,将桥梁徐变及干燥后在当地最低温度时的伸缩量视为0,在此基础上计算外界因素影响所产生的伸缩量。将膨胀接头处因外部因素产生的最大伸缩量  $\Delta L_{\text{外}1}$  分为左侧的  $\Delta L_{\text{外}1, \text{左}}$  和右侧的

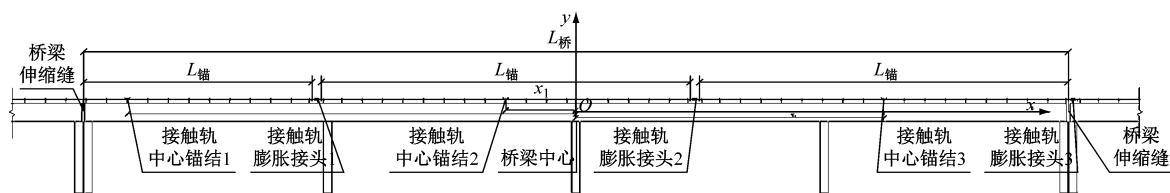


图3 情况①下接触轨锚段及桥梁的布置示意图

$\Delta L_{\text{外1,右}}$ , 其计算式分别为:

$$\Delta L_{\text{外1,左}} = 2 \times 10^{-4} \beta (x_1 + L_{\text{锚}}) + \frac{\sigma_p}{E_c} \varphi (x_1 + L_{\text{锚}}) \beta - (t_{\max} - t_{\min}) \alpha (x_1 + L_{\text{锚}}) \quad (4)$$

$$\Delta L_{\text{外1,右}} = (t_{\max} - t_{\min}) \alpha x_1 - 2 \times 10^{-4} \beta x_1 - \frac{\sigma_p}{E_c} \varphi x_1 \beta \quad (5)$$

式(4)、(5)合并相加后可得:

$$\Delta L_{\text{外1}} = 2 \times 10^{-4} \beta L_{\text{锚}} + \frac{\sigma_p}{E_c} \varphi L_{\text{锚}} \beta + (t_{\max} - t_{\min}) \alpha L_{\text{锚}} \quad (6)$$

## 2.2.2 情况②下因外部因素引起的锚段伸缩量

情况②下具体的接触轨锚段及桥梁布置如图4所示。膨胀接头处因外部因素产生的最大伸缩量  $\Delta L_{\text{外2}}$  可以分为左侧的  $\Delta L_{\text{外2,左}}$  和右侧的  $\Delta L_{\text{外2,右}}$ , 其计算式分别为:

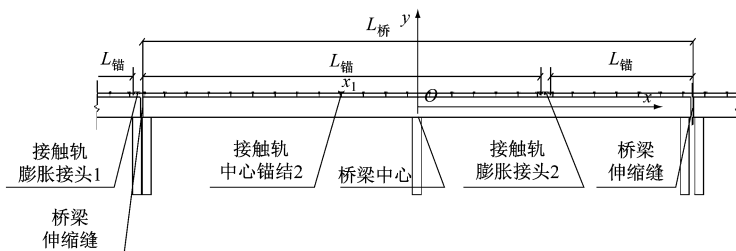


图4 情况②下接触轨锚段及桥梁的布置示意图

$$\Delta L_{\text{外2,左}} = 2 \times 10^{-4} \beta (L_{\text{桥}} - x_1 - L_{\text{锚}}) + \frac{\sigma_p}{E_c} \varphi (L_{\text{桥}} - x_1 - L_{\text{锚}}) \beta + (t_{\max} - t_{\min}) \alpha (L_{\text{桥}} - x_1 - L_{\text{锚}}) \quad (7)$$

$$\Delta L_{\text{外2,右}} = 2 \times 10^{-4} \beta x_1 + \frac{\sigma_p}{E_c} \varphi x_1 \beta + (t_{\max} - t_{\min}) \alpha x_1 \quad (8)$$

式(7)、(8)相加后可得到:

$$\Delta L_{\text{外2}} = 2 \times 10^{-4} \beta (L_{\text{桥}} - L_{\text{锚}}) + \frac{\sigma_p}{E_c} \varphi (L_{\text{桥}} - L_{\text{锚}}) \beta + (t_{\max} - t_{\min}) \alpha (L_{\text{桥}} - L_{\text{锚}}) \quad (9)$$

## 2.2.3 情况③下因外部因素引起的锚段伸缩量

情况③下具体的接触轨锚段及桥梁布置如图5所示。膨胀接头处因外部因素产生的最大伸缩量  $\Delta L_{\text{外3}}$  可以分为左侧的  $\Delta L_{\text{外3,左}}$  和右侧的  $\Delta L_{\text{外3,右}}$ 。其计算式分别为:

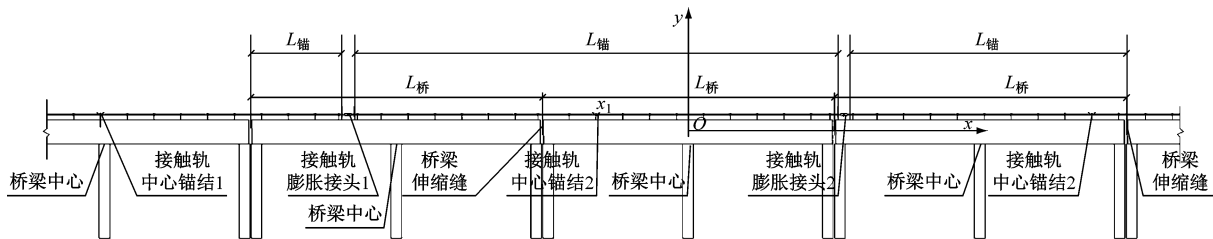


图5 情况③下接触轨锚段及桥梁的布置示意图

$$\Delta L_{\text{外3,左}} = 2 \times 10^{-4} \beta \left( 2L_{\text{桥}} - x_1 - \frac{3}{2}L_{\text{锚}} \right) + \frac{\sigma_p}{E_c} \varphi \left( 2L_{\text{桥}} - x_1 - \frac{3}{2}L_{\text{锚}} \right) \beta + (t_{\max} - t_{\min}) \alpha \left( 2L_{\text{桥}} - x_1 - \frac{3}{2}L_{\text{锚}} \right) \quad (10)$$

$$\Delta L_{\text{外3,右}} = 2 \times 10^{-4} \beta x_1 + \frac{\sigma_p}{E_c} \varphi x_1 \beta + (t_{\max} - t_{\min}) \alpha x_1 \quad (11)$$

式(10)、(11)相加后可得到:

$$\Delta L_{\text{外3}} = 2 \times 10^{-4} \beta \left( 2L_{\text{桥}} - \frac{3}{2}L_{\text{锚}} \right) + \frac{\sigma_p}{E_c} \varphi \left( 2L_{\text{桥}} - \frac{3}{2}L_{\text{锚}} \right) \beta + (t_{\max} - t_{\min}) \alpha \left( 2L_{\text{桥}} - \frac{3}{2}L_{\text{锚}} \right) \quad (12)$$

## 2.2.4 情况④下因外部因素引起的锚段伸缩量

情况④下具体的接触轨锚段及桥梁布置如图6所示。膨胀接头处因外部因素产生的最大伸缩量  $\Delta L_{\text{外4}}$  可以分为左侧的  $\Delta L_{\text{外4,左}}$  和右侧的  $\Delta L_{\text{外4,右}}$ , 其计算式分别为:

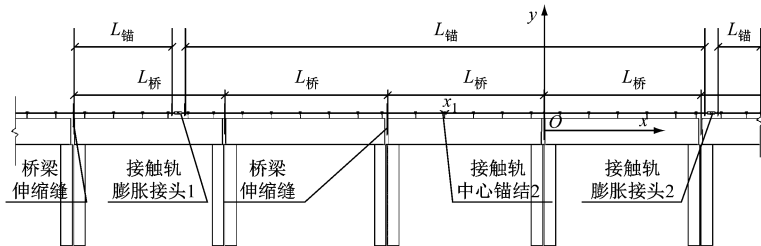


图 6 情况④下接触轨锚段及桥梁的布置示意图

$$\Delta L_{\text{外}4,\text{左}} = 2 \times 10^{-4} \beta (L_{\text{桥}} - x_1 - L_{\text{锚}}) + \frac{\sigma_p}{E_c} \varphi (L_{\text{桥}} - x_1 - L_{\text{锚}}) \beta + (t_{\max} - t_{\min}) \alpha (L_{\text{桥}} - x_1 - L_{\text{锚}}) \quad (13)$$

$$\Delta L_{\text{外}4,\text{右}} = 2 \times 10^{-4} \beta x_1 + \frac{\sigma_p}{E_c} \varphi x_1 \beta + (t_{\max} - t_{\min}) \alpha x_1 \quad (14)$$

式(13)、(14)相加后可得到:

$$\Delta L_{\text{外}4} = 2 \times 10^{-4} \beta (L_{\text{桥}} - L_{\text{锚}}) + \frac{\sigma_p}{E_c} \varphi (L_{\text{桥}} - L_{\text{锚}}) \beta + (t_{\max} - t_{\min}) \alpha (L_{\text{桥}} - L_{\text{锚}}) \quad (15)$$

2.3 接触轨因高架桥外部因素引起的锚段伸缩量

基于上文的分析,结合桥梁参数及接触轨锚段布置情况,选取  $L_{\text{锚}}$  为 45 m、60m、75 m、90 m 4 种情况,分别对每种情况下不同  $L_{\text{桥}}$  时接触轨因高架桥外部因素引起的锚段伸缩量进行计算,结果如表 1 所示。

表 1 不同 $L_{\text{桥}}$ 下接触轨因高架桥外部因素引起的锚段伸缩量					
$L_{\text{锚}}/\text{m}$	高架桥接触轨因外部因素引起的锚段伸缩量/mm				
	$L_{\text{桥}} = 20 \text{ m 时}$	$L_{\text{桥}} = 30 \text{ m 时}$	$L_{\text{桥}} = 40 \text{ m 时}$	$L_{\text{桥}} = 50 \text{ m 时}$	$L_{\text{桥}} = 60 \text{ m 时}$
45	-21.31	-6.39	10.65	4.26	12.79
60	-22.81	-17.11	-8.52	8.52	25.57
75	-31.37	-25.66	-27.70	-10.65	6.39
90	-39.92	-34.22	-28.51	-29.83	-12.79

如表 1 所示,高架桥因外部因素对接触轨锚段伸缩量与  $L_{\text{桥}}$ 、 $L_{\text{锚}}$  相关。当  $L_{\text{锚}} > 1.33 L_{\text{桥}}$  时,锚段伸缩量为负值,即可认为外部因素对接触轨锚段产生收缩影响;其他情况下外部因素对接触轨锚段产生膨胀影响。

3 高架段接触轨膨胀接头安装曲线修正

传统的接触轨膨胀接头安装曲线已考虑了接

触轨自身温度升高引起的伸缩量。因此,高架段膨胀接头安装曲线中的实际安装余量可结合高架桥因外部因素引起的锚段伸缩量,对安装曲线进行修正,以避免安装后出现补偿不足的情况。

高架段进行膨胀接头安装设置预留间隙  $a$  时需充分考虑外部因素引起锚段的伸缩量。由表 1 可知,高架段接触轨膨胀接头安装曲线的修正跟  $L_{\text{桥}}$  有关。针对不同  $L_{\text{桥}}$  下得到修正后的安装曲线如图 7 所示。

如图 7 中所示,在不同  $L_{\text{桥}}$  下,高架段接触轨膨胀接头安装曲线的修正有所不同。 $L_{\text{桥}}$  在 20 ~ 60 m 时,为保证锚段可自由伸缩,膨胀接头在 85 ℃ 时  $a$  为 5 ~ 15 mm,总体上可以认为  $L_{\text{桥}}$  每增加 10 m,在 85 ℃ 时  $a$  需增加 2 ~ 3 mm。

就高架段接触轨膨胀接头安装曲线而言,其与传统的膨胀接头安装曲线相比,接触轨锚段均存在因接触轨自身温度变化产生的伸缩影响,其安装曲线的斜率仅受锚段长度影响。

传统安装曲线在 85 ℃ 时  $a$  一般固定为 10 mm。由于高架段接触轨锚段伸缩量受到外部因素影响,当  $20 \text{ m} \leq L_{\text{桥}} \leq 60 \text{ m}$  时,修正后的高架段接触轨膨胀接头安装曲线根据  $L_{\text{桥}}$  的情况,其膨胀接头在 85 ℃ 时的  $a$  为 5 ~ 15 mm。 $a$  随  $L_{\text{桥}}$  增加呈现线性增加。

4 结论

1) 高架段接触轨膨胀接头安装曲线需综合考虑高架桥的单跨长度及锚段长度,在桥梁单跨长度不同时,不同工况下的安装曲线存在一定的差异,需综合考虑锚段长度与桥梁单跨长度的关系修正安装曲线。

2) 当桥梁单跨长度在 20 ~ 60 m 范围时,高架段接触轨膨胀接头安装曲线在 85 ℃ 时的预留间隙值与桥梁单跨长度存在一定的线性关系。

此外,本文主要从理论上分析了高架段接触轨膨胀接头安装曲线的情况,而在城市轨道交通线路

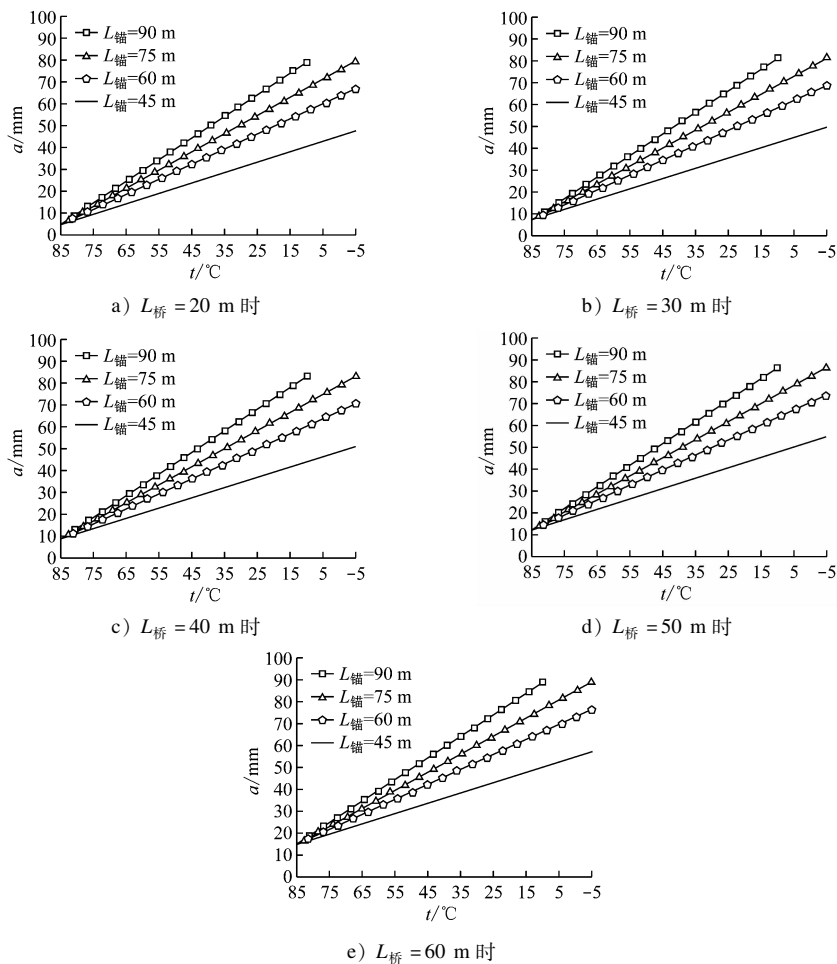


图7 不同  $L_{\text{桥}}$  下高架段接触轨膨胀接头安装曲线修正

的建设及运营过程中,还有如车辆振动冲击等其他因素的影响,且桥梁的外部因素对接触轨膨胀伸缩量的影响是一个长期的过程,应根据实测结果实时对高架段接触轨膨胀接头安装曲线进行进一步的修正,并应根据实际运营情况采用更换膨胀接头型号等多种方案,以保证高架段接触轨的正常运行。

## 参考文献

- [1] 张鹏飞. 钢铝复合接触轨 M 型膨胀接头研究与应用探讨[C] // 中国铁道学会电气化委员会. 中国铁道学会电气化委员会

2017 年年会及新技术研讨会论文集. 保定: 电气化铁道, 2017:192.

- [2] 宋文义. 钢铝复合接触轨膨胀接头的设置及计算[J]. 都市轨道交通, 2006(10):35.
- [3] 王洪川. 四号线接触轨膨胀接头补偿问题探讨[J]. 科技创新与应用, 2016(21):90.
- [4] 陈惠军. 桥梁伸缩缝设计与选型浅析[J]. 湖南交通科技, 2011(2):140.
- [5] 高沿志. 中小桥梁伸缩缝的计算及合理设置浅析[J]. 工程建设与设计, 2017(18):99.

(收稿日期:2019-07-18)

## 《城市轨道交通研究》官方网站网址变更公告

根据同济大学对所属单位官方网站管理的统一要求,从 2021 年 7 月 15 日起,《城市轨道交通研究》官方网站网址(原网址:www.umt1998.com)变更为:https://umt1998.tongji.edu.cn。给各位作者、读者带来不便,敬请谅解。

上海铁大城市轨道交通研究杂志社有限公司

2021 年 7 月 1 日