

既有桥梁伸缩缝降噪方案研究

王 煜, 文 勇

(重庆市设计院有限公司, 重庆市 400015)

摘 要: 桥梁伸缩缝噪声已经成为城市噪声污染的突出问题, 需采取切实有效的措施降低噪声对周边居民的影响。基于重庆某既有桥梁伸缩缝降噪工程, 阐述了伸缩缝噪声的产生是由于伸缩结构内的竖向振动激励和缝内空腔声模态激励的共同耦合作用, 以及车辆跳车引起的结构振动。车型、车速、缝宽和错台高度均与噪声强度存在相关性。对增设声屏障、维修现有伸缩缝和更换无缝式伸缩缝 3 种方案的降噪原理和特点进行了分析, 结合工程实际情况对方案进行了比选, 最终确定采用聚氨酯无缝式伸缩缝作为降噪方案。

关键词: 桥梁伸缩缝; 模数式伸缩缝; 声屏障; 无缝式伸缩缝; 降噪

中图分类号: U443.5

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)10-0118-05

Research on Noise Reduction Schemes for Existing Bridge Expansion Joints

WANG Yu, WEN Yong

(Chongqing Architectural Design Institute, Co., Ltd., Chongqing 400015, China)

Abstract: Noise from bridge expansion joints has become a prominent problem in urban noise pollution. It is necessary to take the effective measures to reduce the impact of such noise on surrounding residents. Based on the noise reduction project of the expansion joint of an existing bridge in Chongqing, it is expounded that the generation of noise from the expansion joint is due to the combined coupling effect of the vertical vibration excitation within the expansion structure and the cavity acoustic mode excitation within the joint, as well as the structural vibration caused by vehicle jumping. The vehicle type, vehicle speed, joint width and misalignment height are all correlated with the noise intensity. The noise reduction principles and characteristics of three schemes, namely adding sound barriers, repairing existing expansion joints and replacing seamless expansion joints, are analyzed. Combined with the practical engineering situation, the schemes are compared and selected. It is finally determined to adopt the seamless polyurethane expansion joints as the noise reduction solution.

Keywords: bridge expansion joint; modular expansion joint; sound barrier; seamless expansion joint; noise reduction

0 引 言

随着城市立体交通网络的发展, 高架桥在城市主干道路建设中得到了广泛运用。由于桥梁梁体在温差、混凝土徐变、车辆荷载等因素作用下会发生伸缩, 需在梁体分缝处设置伸缩缝, 确保结构正常运营, 行车稳定顺畅。目前城市高架桥梁主要采用模数式伸缩缝, 桥面在伸缩缝处有横缝, 车辆通过时会发出明显噪声, 对周围环境产生噪声污染, 现已成为桥梁沿线居民的热点投诉问题, 需采取切实有效的措施进行降噪。本文结合实际桥梁伸缩缝降噪工程, 阐述了桥梁伸缩缝噪声产生机制和影响因素, 对增设声屏障、维修现有伸缩缝和更换无缝式伸缩缝

3 种方案进行分析和总结, 以寻求合理可行的降噪方案。

1 工程概况

嘉华大桥南延伸段工程位于重庆市九龙坡区, 项目起于嘉陵江大桥南桥头, 终于青龙嘴立交, 道路等级为快速路, 主线为双向 8 车道, 设计时速为 80 km/h, 是市区重要的南北向交通干道, 沿线两侧分布有大量居住区。项目分三期建设, 主要由路基段和桥梁段组成, 其中二期主线桥南桥台两侧为金都香榭小区和天鹅花园小区, 桥梁边缘与邻近住宅最近水平距离 20 m, 桥面距离地面高度约 6 m。在该桥建成通车后, 周边居民多次投诉桥台处车辆噪声较大, 在夜间尤为明显。经调查发现, 车辆噪声主要在桥台伸缩缝产生(见图 1)。由于伸缩缝处路面存在缝隙, 且缝隙两侧存在高差, 车辆行驶通过时产生较大噪声,

收稿日期: 2025-08-04

作者简介: 王煜(1986—), 男, 硕士, 正高级工程师, 从事桥梁、隧道和岩土工程设计工作。

影响周围居民生活。因此,需采取措施对该处伸缩缝进行降噪治理。



图1 桥梁伸缩缝平面位置图

2 伸缩缝噪声产生原因

桥梁伸缩缝按伸缩结构可分为模数式伸缩缝、梳齿板式伸缩缝和无缝式伸缩缝^[1],该桥台处采用80型模数式伸缩缝(见图2),沿道路横向有一条通长的缝隙,缝隙两侧设有C形型钢。当车辆通过伸缩缝时,缝隙处的空气压力会发生突变而发出明显噪声,而且汽车在缝隙处会发生跳车,即出现颠簸和跳动现象,所引起的噪声大于桥面正常行驶时的噪声,对周围环境形成脉冲性的噪声干扰,而且在背景噪声较低的夜间更为明显^[2-3]。这种噪声的发生与模数式伸缩缝自身结构,以及跳车冲击引起桥梁结构震动有关。

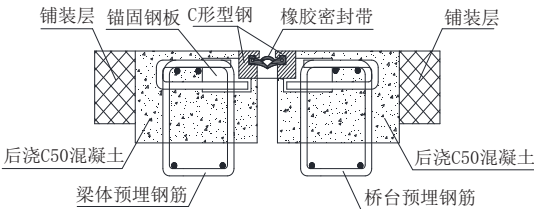


图2 桥梁既有伸缩缝大样图

在伸缩缝自身结构方面,当车辆通过时,伸缩缝结构的竖向振动激励和缝内的空腔声模态激励会发生共同耦合作用,产生较强的空腔内噪声,通过缝隙与开口向外辐射^[4]。空腔声模态激励作用对中低频段噪声影响比较大,而车辆通桥梁伸缩缝时的噪声特征频率集中在50~400 Hz^[5],正位于中低频段,因此模数式伸缩缝的空腔式结构对噪声有激发作用。在桥梁结构振动方面,车辆在伸缩缝处的跳车会对桥梁和伸缩缝结构产生强烈的冲击效应^[6],引发结构振动产生噪声,此种结构振动大于车辆通过正常桥面时的结构振动,并且车速越快,跳车冲击越强,振动越大,噪声越强^[7]。

除车速外,伸缩缝噪声强度还受到行驶车辆、缝宽、高差等因素影响。根据对不同车型行驶时的伸

缩缝噪声研究,小型客车通过伸缩缝时发出的噪声大于载重汽车和大客车。这是由于载重汽车、大型客车的轮胎直径较大,轮胎与桥面的接触面较长,车轮通过伸缩缝时更为平顺,伸缩缝处噪声量与正常路面行驶时的噪声量变化不大。而小型客车车轮直径较小,轮胎与桥面接触面,对路面缝隙变化更为敏感,且车速较快,在伸缩缝处的会发生更为明显的跳车冲击,引起更大的噪声^[5]。城市快速路的通行车辆以小型客车为主,每日车流量大,行驶车速快,因此会更频繁的产生明显噪声。

伸缩缝缝宽和错台高差与噪声强度也存在相关性。噪声随着缝宽增大而增大,而且当缝宽超过39 mm时噪声会出现非线性的陡增趋势^[8]。而目前城市快速路桥梁所采用的模数式伸缩缝宽通常均大于39 mm。此外,由于安装误差以及车辆反复冲击导致伸缩缝病害,伸缩缝空隙两侧路面会出现竖向高差,形成错台,加剧过往车辆的跳车现象,错台高度越大,跳车冲击越强,产生的噪声越大。

3 降噪方案

噪声的传播分为噪声源,传播路径和接收点3个环节。在该工程中,车辆通过模数式伸缩缝时引起空气振动和结构振动形成噪声源,向周围环境传播,而居民区则为接收点。这3个环节均可采取相应措施以实现降噪,主要包括在噪声源减少噪声,在传播路径削弱噪声,在接收点对受影响者进行保护^[9]。接收点保护措施主要为隔音降噪,例如邻近道路的房屋窗户采用双层隔音玻璃。当周边居民住户较多时,噪声影响控制范围难以准确界定,大面积更换玻璃费用较高,而更换过程对已入住居民的生活存在干扰,因此对于此类位于既有大型居民区周边的道路,更适宜在噪声源和传播路径环节进行降噪。结合城市道路常用的降噪措施以及伸缩缝噪声的产生机制,该工程可考虑增设声屏障、维修现有伸缩缝、更换无缝式伸缩缝3种方案。

3.1 增设声屏障

声屏障是在噪声源和接收点之间设置一个密实材料制成的声学障板,使噪声在传播路径上产生明显的衰减,从而减弱接收点所在区域内的噪声影响。声波传播到声屏障时,其将沿着4条路径传播:一部分未受声屏障阻碍直达接收点,形成直达声;一部分翻越声屏障绕射到接收点,形成绕射声;一部分穿透声屏障到达接收点,形成透射声;还有一部分在声屏

障的壁面产生反射,未能达到接收点。通常把能接收直达声的区域叫做声亮区,不能接收到直达声的区域称为声影区。声屏障的作用是隔离直达声,减少透射声,衰减绕射声,使声屏障后方形成“声影区”,达到降噪的目的^[10-11]。

声屏障是当前城市桥梁常见的降噪设施,主要分为半封闭式声屏障和全封闭式声屏障,半封闭式声屏障是在靠近噪声敏感区域的桥梁边缘设置竖立3~5 m高的声屏障(见图3),在外侧形成声影区,以降低噪声对周边区域的影响。该类声屏障包括直立形、弧形、折板形等,主要采用型钢作为立柱,柱间采用复合金属板吸声板、透明亚克力隔声板等实体板封挡,结构简单,对现状桥梁新增荷载少,安装快捷,施工作业对现状道路交通影响小,声影区降噪效果约4~9 dB^[11]。由于该声屏障对道路上方区域未做封闭,高于声屏障的建筑高层区域将位于声亮区,声屏障对其无降噪效果。

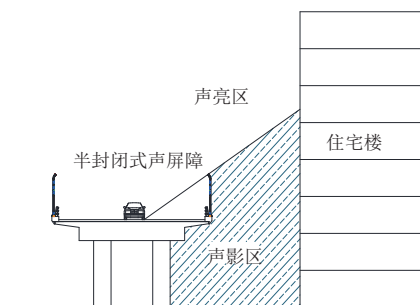


图3 半封闭式声屏障示意图

全封闭式声屏障是采用类似隧道的棚形结构将道路完全遮蔽以达到降噪效果(见图4)。该类声屏障主要由框架部分和板件部分构成。框架部分采用轻钢结构,包括立柱、纵梁、横梁、檩条等支承和传力构件;板件部分位于框架构件之间,采用复合金属板吸声板或透明亚克力隔声板等板材将道路空间完全封闭,形成类似隧道的环形封闭环境。全封闭式声屏障可将道路噪声围隔在屏障内,道路以外区域均为声影区,降噪范围和效果比半封闭式声屏障更为明显,对于邻近道路的高层建筑最大降噪效果可达20 dB^[12]。

全封闭式声屏障虽然降噪效果较好,但也存在以下缺点:声屏障结构自重大,还会对桥梁产生风荷载、雪荷载等附加作用,对桥梁结构承载力要求高;声屏障形成了类似隧道的封闭式结构,需要系统考虑通风、排水、照明、消防、交通工程等配套设施,体系设计复杂,在满足安全和使用功能的同时要尽量减少开孔和缝隙,确保隔音降噪效果;为满足道路

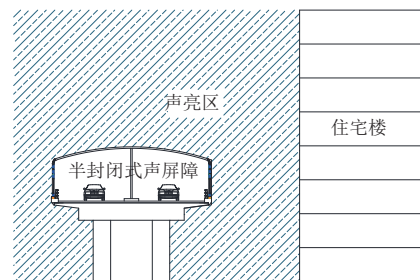


图4 全封闭式声屏障示意图

净空和设备安装要求,全封闭式声屏障总体高度大于5 m,外形体量巨大,对城市景观影响大,也影响邻近建筑物低层的采光和视野;声屏障平面范围覆盖整段桥梁,在施工时需在桥面范围内进行框架的拼装和板件的组装,特别是道路宽度在六车道及以上时需在道路中间增设立柱,施工作业对道路通行影响大,故全封闭式声屏障更适合与道路、桥梁同步建设。

在选用声屏障时,还应充分考虑建造和管养成本。在建造成本方面,半封闭式声屏障每平米建安费约1 200~1 500元(立面投影面积),而全封闭式声屏障按桥梁投影面积计,每平米建安费达3 600元,接近城市常规混凝土高架桥土建部分造价的50%^[13]。在管养方面,相较于道路设计工作年限50 a、桥梁主体结构设计工作年限100 a,声屏障板材约每10 a就需更换,日常还需定期检查和清洁框架、板材、连接件等部位,避免锈蚀破损、透光不足或漏声。因此,声屏障的全寿命周期费用较高,管养维护要求也比土建结构更细致繁琐。

3.2 维修现有伸缩缝

该方案是对存在错台情况的现有伸缩缝进行维修,增强路面平整度,减轻跳车现象,降低噪声。根据现场调查,该处伸缩缝两侧高度不一致,存在错台现象。错台是伸缩缝常见的病害形式,形成原因涉及施工与运营两方面。在施工方面,可能导致错台的原因有:伸缩缝安装时未准确控制两侧型钢标高;锚固混凝土顶面与桥面铺装层高程不一致;伸缩缝锚固钢板与梁端预埋锚固筋连接质量差,在车辆碾压下脱焊松动,伸缩缝出现移位;锚固混凝土浇筑不密实,出现开裂、破损,顶面凹凸起伏^[14]。在运营方面,伸缩缝暴露在户外环境中会受到各种恶劣自然环境的影响,同时过往车辆持续碾压和冲击伸缩缝构件,型钢在长时间的升降温、干湿交替、疲劳荷载等作用下会发生变形,出现错台,加剧跳车现象,增大车辆冲击力,由此形成恶性循环,降低伸缩缝的使

使用寿命^[15],最终导致型钢断裂、伸缩缝脱落、卡死等严重病害,在影响正常伸缩功能的同时,加剧伸缩缝噪声污染。

针对伸缩缝错台问题,可根据成因和高差的不同,采用不同的维修方法。当错台由于型钢局部变形引起、高差不大时,可对伸缩缝型钢进行打磨校正,恢复到平顺状态。当错台由于伸缩缝型钢松动或严重变形、锚固混凝土破损引起,高差已较大时,需凿除原有锚固混凝土层,检修预埋锚固钢筋,校正或更换伸缩缝型钢,复验伸缩缝的支顺度、平整度等指标,最后浇筑锚固区混凝土^[16]。该处理方案作业时无法通车,需待锚固混凝土到达一定强度后才能开放交通。故可在夜间车流量少时分幅施工,将过往车辆导改至另一幅,锚固区采用速凝钢纤维混凝土,加快凝固和强度提升。该方案造价低于声屏障,施工工期也较短,可以提升道路行车平顺性,保障结构伸缩功能,但由于维修后伸缩缝缝隙和空腔结构仍然存在,还会出现车辆跳车的现象,因此该方案降噪效果有限。

3.3 更换无缝式伸缩缝

无缝式伸缩缝是在桥梁分缝处填充具有伸缩变形能力的弹塑性材料,形成连续平整的无缝桥面,消除跳车振动冲击,提升行车舒适性,降低噪声。如图 5 所示,无缝式伸缩缝主要由钢构件和弹塑性填充体组成^[17]。填充体是在伸缩装置中能承受拉伸、压缩等变形的弹塑性材料,而钢结构对填充体起到约束和支撑的作用,并在构造方面具有与填充体相适应伸缩功能,可以促进填充体在目标方向上的伸缩,并控制其在非目标方向上的变形。

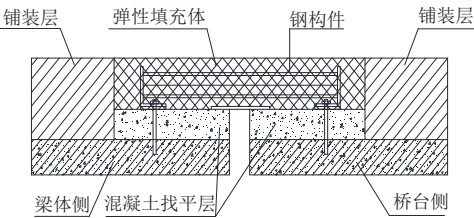


图 5 无缝式伸缩缝示意图

无缝式伸缩缝最早出现于 20 世纪 70 年代的英国^[18],随后逐步在全球各地的桥梁工程中得到运用。最初的无缝伸缩缝填充体采用改性沥青混合料,代表产品为英国 Prismo 公司的 BJ200 无缝伸缩缝,其填充体采用高分子沥青粘合剂和经筛选的石料混合而成,具有粘结性强、弹性大、韧性好的特点^[19],在国内工程中也有所运用。但该种伸缩缝最大伸缩量约 50 mm,而沥青胶结材料在紫外线照射下容易出现老

化,高温易软化,低温易脆裂,目前主要用于中小跨径桥梁和隧道工程。

随着行业的发展与材料的进步,逐步出现了采用其它填充体材料的无缝式伸缩缝,目前运用最为广泛的是聚氨酯无缝式伸缩缝。聚氨酯材料弹性模量高,抗拉强度和断裂伸长率优异,可适应 0~100 mm 的位移量,以及弯曲、扭曲等更为复杂的变形,而且抗紫外线、臭氧老化性能强,高低温环境性能稳定,耐候性与耐久性优于改性沥青材料。该型伸缩缝施工简便,拆除原有伸缩缝后可利用现状伸缩缝预留槽安装新伸缩缝,安装现场可结合道路交通导改分幅施工,工期与维修方案基本相同,造价略高于模数式伸缩缝。完工后聚氨酯材料与道路沥青铺装层形成连续体,平整无缝,行车平稳,较模数式伸缩缝可降低噪声 15 dB^[20],降噪效果明显。

4 降噪方案选择

在以上方案中,增设声屏障属于在传播路径中削弱噪声,而维修现有伸缩缝和更换无缝式伸缩缝属于在噪声源减少噪声,3 种方案均具备技术可行性,而最终实施方案的选择需要结合现状桥梁条件、受影响房屋与噪声源的相互关系、降噪效果、交通组织等多方面综合考虑。

该工程桥梁两侧住宅均为高层建筑,半封闭式声屏虽然施工安装方便,但对高楼层无降噪效果,对低楼层的视野和采光存在遮挡。全封闭式声屏障虽然能将噪声围隔在桥面范围内,实现周边全范围有效降噪,但建造和维护费用高,建设工期长,而且该处道路为双向 8 车道的城市快速路,路面宽,车流量大,全封闭声屏障的安装和维护对道路交通存在不利影响,而且高耸的声屏障景观性较差,影响两侧低楼层的视野和采光。维修伸缩缝方案施工简单快捷,而且可采用夜间分幅施工、浇筑速凝混凝土等方法减少对道路交通的不利影响,但该方案未彻底改变现有伸缩缝的桥面断缝与空腔结构,过往车辆依然会发生跳车,降噪效果有限。聚氨酯无缝式伸缩缝的伸缩量可满足该桥梁的要求,安装后路面平整无缝,行车平稳顺畅,从结构机制上消除现状伸缩缝存在的空腔激振噪声与车辆跳车引起的冲击振动噪声,降噪效果显著,同时不改变现状道路桥梁与周边环境的空间关系,对城市景观和住宅采光无影响。因此,最终选择更换聚氨酯无缝式伸缩缝作为该工程的降噪方案。

此外,伸缩缝的日常保养维护对于防治噪声同样重要,管养单位应加强对伸缩缝的日常巡查,提早发现变形、松动、错台等病害,观察病害发展趋势,及时合理地进行养护维修工作^[16],保证伸缩缝运行良好,道路行车平顺稳定,避免伸缩缝噪声的产生与加剧。

5 结 语

(1)模数式伸缩缝噪声的产生与其结构形式有关,主要源于伸缩结构的竖向振动激励和缝内空腔声模态激励,以及车辆跳车引起的结构振动。小型客车造成的伸缩缝噪声大于载重车和大型客车,车速、缝宽、错台高差与噪声强度存在正相关。

(2)降低桥梁伸缩缝噪声可以在噪声源、传播路径和接收点三个环节分别采取针对性措施,在噪声源减少噪声,在传播路径削弱噪声,在接收点对受影响者进行保护。此外,还应并加强对伸缩缝的日常保养维护。

(3)声屏障属于在传播路径削弱噪声。半封闭式声屏障降噪范围有限,全封闭式声屏障降噪效果好,但结构复杂,需系统考虑排水、通风、消防等因素,在已通车的桥梁上安装和保养会对过往交通产生不利影响。此外,声屏障建造和保养维护费用较高,会影响城市景观,遮挡邻近建筑的视野和采光,在选用时应做综合考虑。

(4)维修现有伸缩缝和更换无缝伸缩缝属于在噪声源减少噪声。维修现有伸缩缝可以消除错台高差,减少跳车冲击,但由于桥面缝隙和空腔结构依然存在,降噪效果有限。更换式无缝伸缩缝可以从根源上减少伸缩缝噪声的产生,桥面平整无缝,行车稳定顺畅,降噪效果明显,类型上可采用耐久性和适用性较好的聚氨酯伸缩缝,伸缩量可满足城市普通高架桥的需要。

参考文献:

- [1] JT/T 327—2016,公路桥梁伸缩装置通用技术条件[S].
- [2] Yasunao matsumoto, Hiroki Yamaguchi, *et al.* Experimental investigation of noise generated by modular expansion joint and its control[J]. Doboku Gakkai Ronbunshuu A, 2007 63(1): 75-92.
- [3] 石林泽,杨阳,丁勇,等.桥梁伸缩缝噪声实测与影响因素分析[J]. 环境与发展, 2017(6): 145-146; 148.
- [4] J Bohatkiewicz, M Jukowski, *et al.* Study of noise originating from selected bridge expansion joints. Technical Transactions, 2019 (7): 33-51.
- [5] 李瑞琪,宋晓东,陈素华,等.基于有限元分析的模数式伸缩缝振动噪声研究[J]. 南京航空航天大学学报, 2025(1): 186-194.
- [6] 杨阳,吕俊平,石林泽,等.汽车荷载作用下桥梁伸缩缝噪声的实测研究[J]. 上海环境科学集, 2018(1): 110-118.
- [7] 吴延平,吴冬雁,谢旭,等.车辆通过钢箱梁桥伸缩缝的振动响应及减振[J]. 噪声与振动控制, 2013(2): 95-100.
- [8] 谢旭,吴冬雁,王建峰,等.伸缩缝车辆冲击引起的钢箱梁桥振动特性[J]. 浙江大学学报(工学版), 2009(10): 1923-1930.
- [9] 郭华东,丁岩,林云.城市桥梁声屏障设计及交通噪声控制研究[J]. 西部交通科技, 2013(6): 136-139.
- [10] 袁旻恣,王彦琴,魏显威.声屏障总体设计技术研究[J]. 声学技术, 2014, 33(增刊2): 289-292.
- [11] 虞晓锋,高颖.不同形式声屏障对高架道路噪声的敏感性分析[J]. 2013, 39(20): 194-196.
- [12] 朱俊,苗超.八车道高速公路全封闭声屏障初步设计简介[J]. 工程与建设, 2017, 31(2): 186-187.
- [13] 杨志杰.全封闭声屏障对城市桥梁建设影响探讨[J]. 城市道桥与防洪, 2022(1): 95-99.
- [14] 汪钺宸.桥梁伸缩缝典型病害与防治措施[J]. 山东交通科技, 2017(3): 78-79; 82.
- [15] 秦祖品,郑妍,薛凤蕊,等.高速桥梁伸缩缝病害成因分析及快速维修技术探讨[J]. 中国公路, 2022(7): 94-95.
- [16] 朱军荣.高速公路桥梁伸缩缝维修流程分析[C]//中国公路学会高速公路运营管理分会2013年度年会暨第二十次高速公路管理工作研讨会论文集.北京:中国公路学会, 2013: 260-263.
- [17] JT/T 1039—2016,公路桥梁聚氨酯填充式伸缩装置[S].
- [18] 雷久伦.无缝伸缩超弹性体在桥梁降噪减振中的应用研究[J]. 交通节能与环保, 2024, 20(2): 181-183.
- [19] 刘韵贵.BJ200材料在G213线临合公路桥梁伸缩缝维修中的应用[J]. 内蒙古公路与运输, 2010(3): 12-14.
- [20] 刘伟,左文龙,黄圣杰.高架桥装配式聚氨酯无缝伸缩装置结构与施工技术研究[J]. 浙江交通职业技术学院学报, 2023, 24(1): 13-17.