

机场路高架声屏障病害分析及加固

高晓明

(华昕设计集团有限公司, 江苏 无锡 214072)

摘要: 随着我国高速公路和城市高架路的快速发展, 交通噪声污染问题日益严重, 如何降低噪声污染已成为亟待解决的问题之一。近年来, 作为高架路降噪设施的声屏障应用越来越广泛, 其不仅具备良好的景观效果, 且优越的降噪性能也得到了很多工程实践的检验。但随着时间的推移和极端天气的频发, 声屏障也出现了不少病害, 以无锡机场路高架桥声屏障为例, 分析其病害原因, 并结合结构复核计算提出相应加固措施及优化建议。

关键词: 声屏障; 结构计算; 加固

中图分类号: U443.7

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)07-0153-04

Disease Analysis and Reinforcement of Sound Barrier on Airport Road Viaduct

GAO Xiaoming

(Huaxin Design Group Co., Ltd., Wuxi 214072, China)

Abstract: With the rapid development of expressways and urban elevated roads in China, the problem of traffic noise pollution is becoming increasingly serious. How to reduce the noise pollution has become one of the urgent problems to be solved. In recent years, the application of sound barriers as noise reduction facilities for elevated roads has become widespread. Not only do they have the good landscape effects, but also the superior noise reduction performance has been tested by many engineering practices. But as time goes by and extreme weather occurs frequently, many diseases have also appeared in the sound barrier. Taking the sound barrier of Wuxi Airport Road Viaduct as an example, the causes of diseases are analyzed. And combined with the structural recheck and calculation, the corresponding reinforcement measures and optimization suggestions are proposed.

Keywords: sound barrier; structure calculation; reinforcement

0 引言

20世纪90年代以来, 我国高速公路和城市高架路快速发展, 交通噪声对路边居民、文教、商务区的影响日趋严重, 要求治理交通噪声污染的呼声越来越强烈。交通噪声的治理可综合采用安装声屏障、应用低噪声路面、种植绿化带、加强交通治理等手段来实现, 而其中安装声屏障是治理高架噪声最常用手段之一。20世纪90年代初建设的贵阳—黄果树高级公路, 贵州工学院路段声屏障是我国建设的第一条公路声屏障^[1], 全长790 m, 高3.5 m。近年来, 随着我国经济快速、可持续发展、保护生态环境力度的不断加强以及设计中以人为本的设计理念,

在道路高架中声屏障的应用越来越广泛, 但随之也出现了不少病害。

1 工程概况

无锡机场路高架桥高架于2008年建成通车, 主体结构主要为预应力混凝土连续箱梁, 两侧护栏为组合式钢筋混凝土防撞护栏。防撞护栏上共设置有4段声屏障, 总长约2.446 km。声屏障每单元(立柱与立柱间)框架尺寸为3 m×3 m, 立柱通过紧固螺栓固定于防撞护栏上, 上、下部结构为铝穿孔式吸声屏, 中间部分为透明玻璃屏体, 玻璃尺寸为3 m×1.8 m。为避免屏体坠落引起安全事故, 声屏障每一单元水平设置三组(上、中、下)屏体安全钢索。

2017年11月24日凌晨, 因强对流天气, 机场路高架声屏障遭受严重损坏, 累计造成该路段17档声屏障的透明屏体破裂, 3档声屏障上部金属屏体折弯

收稿日期: 2024-11-21

作者简介: 高晓明(1982—), 男, 学士, 高级工程师, 从事桥梁设计工作。

破损(见图1),1根声屏障的立柱的地脚板严重变形(见图2)。



图1 声屏障屏体破坏



图2 声屏障立柱底板变形

声屏障下部吸声屏体面板及背板均采用了彩钢板,因面板经过冲孔等加工,随着时间的推移,全线声屏障下部吸声屏体普遍锈蚀,大部分锈蚀已很严重,出现锈穿、脱落(见图3、图4)。



图3 声屏障屏体局部锈断



图4 声屏障屏体锈蚀

2 现状声屏障受力复核

根据病害情况,结合规范理论对现有声屏障进

行受力复核。

2.1 声屏障立柱结构验算

根据《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015),按重现期为100 a的基本风压值计算单根立柱所受的风荷载。

$$F_{wh} = k_0 k_1 k_3 \omega_d A_{wh}$$

$$\omega_d = \gamma V_d^2 / 2g$$

$$V_d = k_2 k_5 V_{10}$$

$$\gamma = 0.012 017 e^{-0.000 1Z}$$

式中: k_0 为设计风速重现期换算系数,取1.0; k_1 为风载阻力系数,因 $1 < B/H = 25.5 / (1.8 + 0.8 + 3) = 4.6 < 8$, $k_1 = 1.64$; k_3 为地形、地理条件系数,取1.0; ω_d 为设计基准风压, kN/m^2 ; A_{wh} 为横向迎风面积, m^2 ; γ 为空气重力密度, kN/m^3 ; Z 为距地面或水面的高度, m 。

本地区属于C类地区,离地高度为10 m。

查得: $k_2 = 0.86$; $k_5 = 1.7$; $V_{10} = 28.6 \text{ m/s}$;

计算得: $V_d = 41.8 \text{ m/s}$; $\omega_d = 1.069 \text{ kN/m}^2$;

$$F_{wh} = 1 \times 1.64 \times 1 \times 1.069 \times 3 \times 3 = 15.78 \text{ kN}。$$

2.1.1 立柱强度验算

立柱底部弯矩: $M = F_{wh} \times H/2 = 15.78 \times 1.5 = 23.67 \text{ kN} \cdot \text{m}$;

声屏障单元自重: $G = 3.12 \text{ kN}$;

玻璃容重 25.6 kN/m^3 ;离心玻璃棉容重 0.48 kN/m^3 ;
1 mm厚铝板容重 2.85 kg/m^2 ;钢容重 78.5 kN/m^3 ;钢立柱为轴心压弯构件, $I_x = 847 \text{ cm}^4$, $W_x = 135.5 \text{ cm}^3$ 。

参照《声屏障结构技术标准》(GB/T 51335—2018)要求,分别按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行计算。

(1) 承载能力极限状态

单元自重效应分项系数 $\gamma_G = 1.2$,风载效应分项系数 $\gamma_Q = 1.4$ 。

最大压应力 $= \gamma_Q M / W_x + \gamma_G N / A = 1.4 \times 23 670 / 0.000 135 5 + 1.2 \times 3 120 / 0.002 945 5 = 245.83 \text{ MPa} > 215 \text{ MPa}$,不满足要求。

最大拉应力 $= \gamma_Q M / W_x - \gamma_G N / A = 1.4 \times 23 670 / 0.000 135 5 - 1.2 \times 3 120 / 0.002 945 5 = 243.29 \text{ MPa} > 215 \text{ MPa}$,不满足要求。

最大剪应力 $= \gamma_Q F_{wh} / A = 1.4 \times 15 780 / 0.002 945 5 = 7.50 \text{ MPa} < 125 \text{ MPa}$,满足要求。

(2) 正常使用极限状态

单元自重效应分项系数 $\gamma_G = 1.0$,风载效应分项系数 $\gamma_Q = 1.0$ 。

最大压应力 $= \gamma_Q M / W_x + \gamma_G N / A = 1.0 \times 23 670 / 0.000 135 5 + 1.0 \times 3 120 / 0.002 945 5 = 175.75 \text{ MPa} < 215 \text{ MPa}$,满足

要求。

最大拉应力 $=\gamma_Q M/W_x - \gamma_G N/A = 1.0 \times 23\,670/0.000\,135\,5 - 1.0 \times 3\,120/0.002\,945\,5 = 173.63\text{ MPa} < 215\text{ MPa}$, 满足要求。

最大剪应力 $=\gamma_Q F_{wh}/A = 1.0 \times 15\,780/0.002\,945\,5 = 5.36\text{ MPa} < 125\text{ MPa}$, 满足要求。

2.1.2 立柱变形验算

根据 $F_{wh} = 23.67\text{ kN}$, 根据梁的相关挠度计算公式, 立柱顶点水平位移 $y = Fa^2(31-a)/(6EI) = 0.024\,95\text{ m}$; 参考《声屏障结构技术标准》(GB/T 51335—2018) 5.3.3 条, 在风荷载设计标准作用下, 立柱顶点水平位移小于 $H/200 = 0.015\text{ m}$ (H 为立柱高度), 不满足要求。

2.2 声屏障玻璃屏体结构验算

2.2.1 玻璃屏体强度验算

按照《声屏障结构技术标准》(GB/T 51335—2018) 表 5.4.7 查得, 夹层玻璃设计总厚 10.76 mm , 在风荷载标准值 1.069 kN/m^2 , 设计面积为 $1.8 \times 3 = 5.4\text{ m}^2 <$ 四边支承夹层玻璃最大许用面积 6.24 m^2 , 满足要求。

2.2.2 玻璃屏体及窗框变形验算

玻璃屏长 3 m , 宽 1.8 m , 两边固结, 外包铝合金窗框, 屏体承受 1.069 kN/m^2 水平向风荷载。采用 MIDAS 建立模型如图 5 所示。

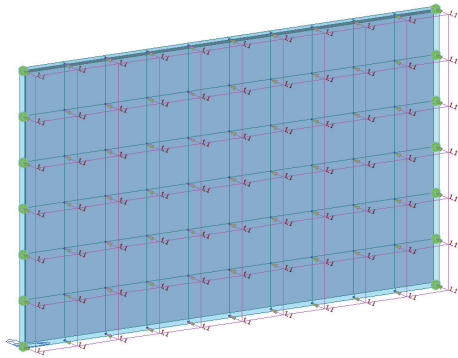


图 5 声屏障玻璃屏跨中位移计算模型(单位: kN/m²)

经计算, 玻璃屏体跨中位移为 17.299 mm (见图 6), 参考按《声屏障结构技术标准》(GB/T 51335—2018) 5.3.3 条, 玻璃屏跨中位移小于 $L/100 = 30\text{ mm}$ (L 为屏体长度), 满足要求。

同时, 计算得窗框跨中位移为 18.157 mm , 窗框跨中位移小于 $L/100 = 30\text{ mm}$, 满足要求。

2.3 声屏障与防撞墙的连接验算

2.3.1 螺栓强度验算

螺栓采用 5.6 级 M20 螺栓: $f_t^b = 210\text{ MPa}$; $f_v^b = 190\text{ MPa}$;

单个螺栓的受剪承载力设计值为: $N_v^b = n_v \pi d f_v^b / 4 =$

$1 \times 3.14 \times 202 \times 190 / 4 = 59.66\text{ kN}$;

单个螺栓的抗拉承载力设计值为: $N_t^b = \pi d_e^2 f_t^b / 4 = 3.14 \times 17.654\,5^2 \times 210 / 4 = 51.38\text{ kN}$;

每个螺栓的剪力 $N_v = 9.89/4 = 2.47\text{ kN} < N_v^b$, 剪力满足要求。

弯矩产生的拉力由全部螺栓承担: $N_t = M_{y1} / \sum y_i^2 = 14\,840 \times 0.11 / (2 \times 2 \times 0.11^2) = 30.66\text{ kN} > N_t^b$, 拉力不满足要求。

螺栓在剪力、拉力共同作用下:

$$\sqrt{\left(\frac{N_v}{N_v^b}\right)^2 + \left(\frac{N_t}{N_t^b}\right)^2} = 1.049 > 1, \text{ 不满足要求。}$$

2.3.2 法兰板强度验算

立柱底板尺寸为 $200\text{ mm} \times 300\text{ mm} \times 12\text{ mm}$, 立柱为 $3\,000\text{ mm} \times 125\text{ mm} \times 125\text{ mm} \times 6.5\text{ mm} \times 9\text{ mm}$ H 型钢, 承受 $23.67\text{ kN} \cdot \text{m}$ 大小的弯矩, 底板用螺栓固定, 采用 MIDAS 建立模型(见图 7)。

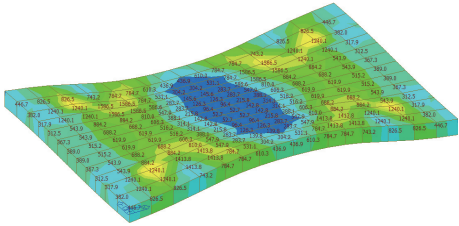


图 7 声屏障立柱底板应力与变形效应(单位: MPa)

经计算忽略集中应力的情况下, 底板应力在 500 MPa 以上, 远大于容许应力 $[f] = 215\text{ MPa}$, 底板强度不满足要求。计算的结果与实际法兰板的破坏方式高度吻合。

3 验算结果分析

以上验算结果表明:

- (1) 立柱的强度和刚度验算不满足规范要求;
- (2) 玻璃屏体的强度验算满足规范要求, 玻璃屏体及窗框的刚度验算满足规范要求;
- (3) 螺栓的剪力验算满足规范要求, 拉力验算不满足规范要求;
- (4) 法兰板强度验算不满足要求, 法兰板最小厚度须达到 25 mm 。

4 病害原因分析

(1) 机场路高架声屏障设计每单元(立柱与立柱间) 框架尺寸为 $3\text{ m} \times 3\text{ m}$, 屏体较大, 局部构件较为薄弱; 同时因强对流天气的叠加影响, 导致病害发生。

(2) 由于声屏障下部吸声屏体内填充的吸声棉

缺少排水设施,引起金属屏体长期受潮,致使声屏障下部锈蚀严重。

5 处置措施

(1)建议将立柱间距由3 m调整为2 m。

(2)更换立柱底部法兰板,法兰板最小厚度须达到25 mm。

(3)更换立柱底板固定螺栓为M22螺栓。立柱底板可采用顶部螺栓锚固或侧面骑马钢板对拉螺栓进行锚固。

(4)对损害较为严重的部件进行更换。

6 结 语

声屏障原管养单位无锡市政设施管理处对病害较为严重的区段先期进行了大修,大修总共分三段,分别为机场路高架LD115—LD109段、LD134—LD126段、LD240—248段,三段合计340 m。具体的维修方案为:拆除原屏体,更换新屏体,更换后立柱间距调整为2 m,玻璃屏体面积尺寸及吸声屏体尺寸均调整为2 m×1 m,立柱与骑马钢板用2根M22对拉螺栓在侧面进行锚固,见图8。按此布置并参照本文第2章节进行计算,均能满足受力要求。

目前,机场路高架声屏障已由无锡市新吴区城市综合执法局接管。2024年9月14日,经极端台风“贝碧嘉”洗礼,机场路声屏障运行完好,未出现大的病害。

声屏障是城市高架桥上较为常见的防噪声设施,其病害的发生不仅影响其降噪效果,且一旦发生



图8 声屏障改造前后对比

屏体破裂、倾覆等病害,对高架桥下的交通参与者也将产生重大影响,设计、施工及养护各方均需要引起足够的重视。

参考文献:

- [1] 霍焕. 环境评估研究 35 年[EB/OL]. (2023-11-13) [2025-01-20]. http://www.360doc.com/content/23/1113/20/1103825936_1103825936.shtml.
- [2] 朱慈勉,张伟平. 结构力学[M]. 北京:高等教育出版社,2016.
- [3] 孙训方,方孝淑,关来泰. 材料力学[M]. 北京:高等教育出版社,2019.
- [4] GB 50017—2017, 钢结构设计标准[S].
- [5] JTG D62—2015, 公路桥涵设计通用规范[S].
- [6] GB/T51335—2018, 声屏障结构技术标准[S].
- [7] T/CCTAS 72—2023, 声屏障工程结构技术规范[S].
- [8] JTG T 3360-01—2018, 公路桥梁抗风设计规范[S].
- [9] GB 50009—2012, 建筑结构荷载规范[S].
- [10] GB 15763.2—2005, 建筑用安全玻璃 第2部分:钢化玻璃[S].
- [11] GB 15763.3—2009, 建筑用安全玻璃 第3部分:夹层玻璃[S].
- [12] GB/T11263—2017, 热轧H型钢和剖分T型钢[S].
- [13] CJJ/T 239—2016, 城市桥梁结构加固技术规程[S].
- [14] JGJ 145—2013, 混凝土结构后锚固技术规程[S].
- [15] GB 50205—2020, 钢结构工程施工质量验收标准[S].

(上接第135页)

参考文献:

- [1] 上海市市政工程设计研究总院. 桥梁设计工程师手册[M]. 北京:人民交通出版社,2007.
- [2] JTG/T 2231-01—2020, 公路桥梁抗震设计规范[S].
- [3] 孙福申,吕东冶,汪荣麒. 梁桥墩台的温度力和制动力分配[J]. 吉

林交通科技,2011(1):43-45.

- [4] JTG 3362—2018, 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [5] 梁雄,周建庭,刘承,等. 连续梁桥桥墩顺桥向计算长度系数研究[J]. 公路交通科技,2013,30(7):82-88.