

声屏障设计及结构验算

贺超¹, 曾涛²

(1.中国市政工程西北设计研究院有限公司, 甘肃 兰州 730000; 2.中恒工程设计院有限公司, 四川 成都 610017)

摘要:随着社会经济的不断发展,城市化进程不断加快,声屏障的使用越来越多。在设计过程中,设计者往往更多地关注桥梁主体结构,而对于桥梁附属结构没有引起足够的重视。依托贵阳市某高架桥声屏障项目,简要叙述声屏障的各项设计参数,依据现行相关规范对其主要的受力结构进行验算,确保其结构强度、刚度等均满足要求,为项目的安全实施提供可靠依据。

关键词:噪声;声屏障设计;结构验算

中图分类号: U443.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)01-0109-04

0 引言

随着我国国民经济和社会生产的迅速发展、城市化进程的不断加快,城市交通也在快速发展。然而,快速发展的城市交通带来的噪音污染与日益提高的人民生活品质之间的矛盾也日趋明显。既要加快城市交通的建设,方便民众出行,同是也要为民众提供安静舒适的生活环境,隔声降噪便成为城市交通建设中重要的一环。声屏障作为一种经济而有效的降噪措施,越来越多的被应用于城市交通建设中。

1 声屏障降噪机理

声屏障是一种专门设计的立于噪声源和受声点之间的声学障板,是以吸声或隔声,或吸声和隔声混合的材料组成的一种声学装置。声波在传播过程中,遇到隔声屏障时,就会发生反射、透射和绕射三种现象,如图1所示。通常我们认为屏障能够阻止直达声的传播,并使绕射声有足够的衰减,而透射声的影响可以忽略不计。因此,隔声屏障的隔声效果一般可用减噪量表示,它反映了隔声屏障上述两种屏蔽透声的本领。在声源和接收点之间插入一个隔声屏障,设屏障无限长,声波只能从屏障上方绕射过去,而在其后形成一个声影区,就象光线被物体遮挡形成一个阴影那样。在这个声影区内,人们可以感到噪声明显地减弱了,这就是隔声屏障的减噪效果。

收稿日期: 2022-03-16

作者简介: 贺超(1989—),男,学士,工程师,从事桥梁设计工作。

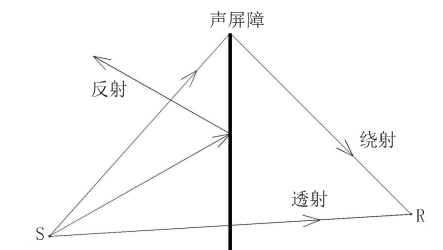


图1 声波传播路径

2 声屏障设计

2.1 总体构造

(1)声屏障高度:3 m。

(2)标准单元长度:2 m。

(3)声屏障外形:顶面采用弧形,吸声屏内、外表面均为波浪形。

(4)外观颜色:钢立柱、吸声屏表面颜色均为哑光绿色,隔声屏不透光。

2.2 吸声屏构造及技术要求

(1)一个标准单元中包含3块吸声板,高均为0.5 m,总厚均为100 mm。

(2)吸声屏面板、背板均采用1 mm厚的波浪形冷轧钢板,为保证吸音效率,在面板上设微穿孔,开孔率>23%,背板上不开孔。

(3)吸声材料采用聚酯纤维板、三聚氰胺板、发泡陶瓷、泡沫铝等,不得采用岩棉、玻璃棉等户外耐久性差、对人体有危害的材料。

(4)吸声屏性主要能指标见表1。

(5)吸声屏原则上采用厂家的成品板。

(6)吸声屏表面光洁,无伤痕、皱皮、流坠、气泡、变色和色泽不匀等缺陷。

表1 吸声屏主要性能指标表

项目	性能指标
降噪系数	≥0.5
隔声量/dB	≥25
面密度/ (kg·m ⁻²)	≤30
燃烧性能等级	满足《建筑材料及制品燃烧性能分级》(GB 8624—2012)规定的B级及以上
耐候性	经80次高温(70℃)、淋水(15℃)循环和20次加热(50℃)、冷冻(-20℃)循环后,表面无裂纹、粉化、剥落现象

(7)吸声屏应具有防腐蚀、抗冻融、抗老化、防冲击、防潮(水)、防虫、防紫外线等功能。

2.3 隔声屏构造及技术要求

(1)一个标准单元中,隔声屏宽度1.97 m,高度1.5 m。

(2)隔声屏采用15 mm厚单面磨砂加筋亚克力板材,磨砂面向内。

(3)隔声屏主要性能指标见表2。

表2 亚克力隔声屏主要性能指标表

项目	性能指标
计权隔声量/dB	≥25
密度/(kg·m ⁻³)	≤1200
拉伸强度/MPa	≥70
弯曲强度/MPa	≥90.2
拉伸弹性模量/MPa	≥3 100
弯曲弹性模量/MPa	≥3 620
简支梁缺口冲击强度/(kJ·m ⁻²)	≥17
维卡软化温度/℃	≥100
使用温度/℃	-70~70

(4)隔声屏采用铝合金框架,其主型材截面的最小实测壁厚应不小于1.4 mm。

(5)隔声屏与框架的固定应采用嵌入安装法或螺栓安装法,不应采用自攻螺钉固定。

(6)声屏障结构布置如图2所示。

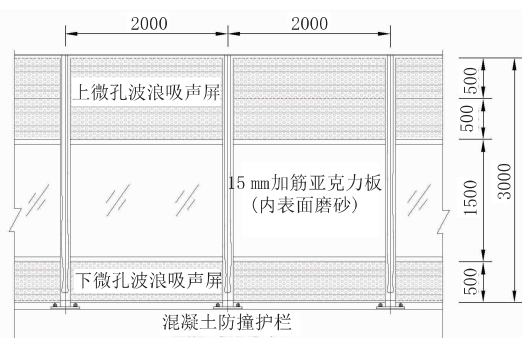


图2 声屏障立面布置图(单位:mm)

3 声屏障结构验算

3.1 荷载计算

3.1.1 结构自重

(1)立柱重

声屏障立柱采用HW125 mm×125 mm×6.5 mm×9 mmQ235B级型钢,立柱高3 m,结构自重:

$$G_{柱} = 23.8 \times 3 \times 9.8 \times 10^{-3} = 0.7 \text{ kN} \quad (1)$$

(2)吸声屏重

吸声屏面密度按照30 kg/m²计,单跨吸声屏重:

$$G_{吸} = 1.95 \times 0.5 \times 30 \times 3 \times 9.8 \times 10^{-3} = 0.86 \text{ kN} \quad (2)$$

(3)隔声屏重

隔声屏面密度按照1200 kg/m³计,单跨隔声屏重:

$$G_{隔} = 1.95 \times 1.5 \times 0.015 \times 1200 \times 9.8 \times 10^{-3} = 0.52 \text{ kN} \quad (3)$$

(4)铝合金边框重

项目采用铝合金边框规格为80 mm×80 mm×1.5 mm,边框尺寸1950 mm×1500 mm,铝合金容重按照27.7 kN/m³,单跨边框重:

$$G_{框} = (1.95 \times 1.5) \times 2 \times 3 \times 0.08 \times 4 \times 0.0015 \times 27.7 = 0.28 \text{ kN} \quad (4)$$

3.1.2 风荷载

按照现行国家标准《声屏障结构技术标准》(GB/T 51335—2018),作用在声屏障上的水平侧向风荷载按照下式计算:

$$\omega_k = \beta_{gz} \mu_{sl} \mu_z \omega_0 \quad (5)$$

式中: ω_k 为作用在声屏障上的风压,kN/m²; β_{gz} 为高度z处的阵风系数,按《声屏障结构技术标准》(GB/T 51335—2018)表5.2.7-1取值,桥位处地面粗糙度类别为C类,桥面离地高度10 m, β_{gz} 取值为2.05; μ_{sl} 为风荷载局部体型系数,根据现行国家标准《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)取值;桥梁用声屏障取1.65; μ_z 为风压高度变化系数,按《声屏障结构技术标准》(GB/T 51335—2018)表5.2.7-2取值,桥位处地面粗糙度类别为C类,桥面离地高度10 m, μ_z 取值为0.65; ω_0 为基本风压,kN/m²,按现行国家标准《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)取值,贵阳市50 a重现期基本风压为0.3 kN/m²。

按照上述取值进行计算,作用在声屏障上的风压为:

$$\omega_k = 2.05 \times 1.65 \times 0.65 \times 0.3 = 0.66 \text{ kN/m} \quad (6)$$

作用在立柱上的风荷载集度为:

$$q_{风} = L\omega_k = 2.0 \times 0.66 = 1.32 \text{ kN/m} \quad (7)$$

桥面高度处的风速验算:

根据现行国家标准《建筑结构荷载规范》(GB

50009—2012) 附录 E 可知基本风压 ω_0 与基本风速 v_0 的关系式为:

$$\omega_0 = \frac{1}{2} \rho v_0^2 \quad (8)$$

同理可得,桥面高度处作用在声屏障上的风压 ω_k 与风速 v 的关系为:

$$\omega_k = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (9)$$

式中: ρ 为空气密度,取 $1.25 \times 10^{-3} \text{ t/m}^3$ 。

由上述可知桥面高度处风速为:

$$v = \left(\frac{2\omega_k}{\rho} \right)^{0.5} = \left(\frac{2.0 \times 0.66}{1.25 \times 10^{-3}} \right)^{0.5} = 32.5 \text{ m/s} \quad (10)$$

按《声屏障结构技术标准》(GB/T 51335—2018)

5.2.9 条规定:当风荷载参与车致风压荷载效应组合时,桥面高度处风速不应大于 25 m/s。

因而当风荷载参与车致风压荷载效应组合时,其作用在声屏障上的最大风压为:

$$\omega_0 = \frac{1}{2} \rho v_0^2 = 0.5 \times 1.25 \times 10^{-3} \times 25^2 = 0.39 \text{ kN/m}^2 \quad (11)$$

作用在立柱上的风荷载集度为:

$$q_{\text{风}1} = L\omega_{k1} = 2.0 \times 0.39 = 0.78 \text{ kN/m} \quad (12)$$

3.1.3 车致风压荷载

按照现行国家标准《声屏障结构技术标准》(GB/T 51335—2018),作用在声屏障上的车致风压荷载可通过下式计算:

$$P_{1k} = \frac{1}{2} \rho V_i^2 k_1 C_{p1} \quad (13)$$

$$C_{p1} = \frac{2.5}{(Y+2.5)} + 0.02 \quad (14)$$

式中: k_1 为车辆形状系数,本桥位于市区中心,本次计算按照客车取值 $k_1 = 0.85$; ρ 为空气密度,取 $1.25 \times 10^{-3} \text{ t/m}^3$; V_i 为车辆速度, m/s, 按照道路设计速度取值为 60 km/h; C_{p1} 为车致风压系数; Y 为车辆中心线至声屏障的距离,该桥梁为双向 4 车道,车道 1 的距离 Y_1 取值为 2.7, 车道 2 的距离 Y_2 取值为 6.2。

按照上述取值进行计算,在不考虑对向行车影响的前提下,作用在声屏障上的车致风压计算如下:

$$C_{p11} = \frac{2.5}{(2.7+2.5)^2} + 0.02 = 0.11 \quad (15)$$

$$C_{p12} = \frac{2.5}{(6.2+2.5)^2} + 0.02 = 0.05 \quad (16)$$

$$P_{1k} = \frac{1}{2} \rho V_i^2 k_1 (C_{p11} + C_{p12}) = 0.5 \times 1.25 \times 10^{-3} \times \left(\frac{60 \times 1000}{3600} \right)^2 \times 0.85 \times 0.16 = 0.02 \text{ kN/m}^2 \quad (17)$$

作用在立柱上的车致风压荷载集度为:

$$q_{\text{车}1} = LP_{1k} = 2.0 \times 0.02 = 0.04 \text{ kN/m} \quad (18)$$

3.1.4 雪荷载

按照现行国家标准《声屏障结构技术标准》(GB/T 51335—2018),作用在声屏障投影面上的雪荷载标准值按照下式计算:

$$s_k = \mu_r s_0 \quad (19)$$

式中: μ_r 为声屏障顶面积雪分布系数,声屏障结构承重框架和立柱可按全跨积雪的均匀分布分布情况采用, $\mu_r = 1.0$; s_0 为基本雪压, kN/m², 基本雪压重现期应为 50 a, 据现行国家标准《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012), 贵阳市区 s_0 取值 0.2 kN/m²。

按照上述取值进行计算,作用在声屏障投影面上的雪荷载标准值:

$$s_k = 1.0 \times 0.2 = 0.2 \text{ kN/m}^2 \quad (20)$$

作用在立柱上的雪荷载(即单跨声屏障投影面上的雪荷载)为:

$$F_{\text{雪}} = 0.02 \times 0.23 \times 2.0 = 0.09 \text{ kN} \quad (21)$$

3.2 荷载组合(基本组合)

3.2.1 风荷载参与车致风压荷载组合时,立柱底缘截面荷载效应基本组合

$$M_{\text{风}} = \frac{1}{2} q_{\text{风}1} H^2 = 0.5 \times 0.78 \times 3^2 = 3.51 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (22)$$

$$M_{\text{车}} = \frac{1}{2} q_{\text{车}1} H^2 = 0.5 \times 0.04 \times 3^2 = 0.18 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (23)$$

$$M = 1.4M_{\text{风}} + M_{\text{车}} = 1.4 \times (3.51 + 0.18) = 5.17 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (24)$$

$$Q_{\text{风}} = q_{\text{风}1} H = 0.78 \times 3 = 2.34 \text{ kN} \quad (25)$$

$$Q_{\text{车}} = q_{\text{车}1} H = 0.04 \times 3 = 0.12 \text{ kN} \quad (26)$$

$$Q = 1.4Q_{\text{风}} + 1.4Q_{\text{车}} = 1.4 \times (2.34 + 0.12) = 3.44 \text{ kN} \quad (27)$$

$$N = 1.35(G_{\text{柱}} + G_{\text{吸}} + G_{\text{隔}} + G_{\text{框}}) + 0.7 \times 1.4F_{\text{雪}} = 1.35 \times (0.7 + 0.86 + 0.52 + 0.28) + 0.7 \times 1.4 \times 0.09 = 3.27 \text{ kN} \quad (28)$$

3.2.2 风荷载不参与车致风压荷载组合时,立柱底缘截面荷载效应基本组合

$$M_{\text{风}} = \frac{1}{2} q_{\text{风}} H^2 = 0.5 \times 1.32 \times 3^2 = 5.94 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (29)$$

$$M = 1.4M_{\text{风}} = 1.4 \times 5.94 = 8.32 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (30)$$

$$Q_{\text{风}} = q_{\text{风}} H = 1.32 \times 3 = 3.96 \text{ kN} \quad (31)$$

$$Q = 1.4Q_{\text{风}} = 1.4 \times 3.96 = 5.54 \text{ kN} \quad (32)$$

$$N = 1.35(G_{\text{柱}} + G_{\text{吸}} + G_{\text{隔}} + G_{\text{框}}) + 0.7 \times 1.4F_{\text{雪}} = 1.35 \times (0.7 + 0.86 + 0.52 + 0.28) + 0.7 \times 1.4 \times 0.09 = 3.27 \text{ kN} \quad (33)$$

3.3 结构验算

立柱结构受力如图 3 所示。

3.3.1 立柱强度验算

由上述 3.2.1、3.2.2 计算可知,风荷载不参与车

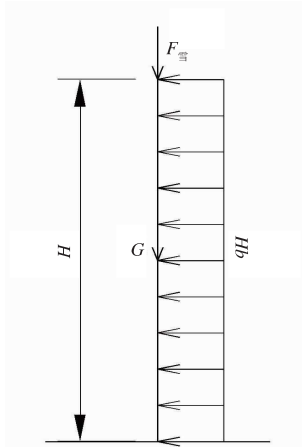


图3 受力简图

致风压荷载组合时,立柱底缘截面荷载效应基本组合较为不利,进行结构承载能力极限状态验算时应采用3.2.2的效应组合。

抗弯强度验算:

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{A_n} + \frac{N}{\gamma M_n} = \frac{3270}{3031} + \frac{8.32 \times 10^6}{1.05 \times 1.35 \times 10^5} = 59.8 \text{ MPa} \quad (34)$$

抗剪强度验算:

$$\tau = \frac{QS}{It_w} = \frac{5540 \times (1125 \times 58 + 347.75 \times 26.75)}{8.47 \times 10^6 \times 6.5} = 7.5 \text{ MPa} \quad (35)$$

$$\sigma_{\max} = 59.8 \text{ MPa} < f = 215 \text{ MPa} \quad (36)$$

$$\tau = 7.5 \text{ MPa} < f_v = 125 \text{ MPa} \quad (37)$$

由上可知,立柱强度验算满足要求。

3.3.2 立柱挠度验算

按照现行国家标准《声屏障结构技术标准》(GB/T 51335—2018),在风荷载设计标准值作用下,立柱顶点水平位移值不应大于 $H/200$ 。

$$\nu_{\text{顶}} = \frac{q_{\text{风}} H^4}{8EI} = \frac{1.32 \times 3000^4}{8 \times 2.06 \times 10^5 \times 8.47 \times 10^6} = 7.7 \text{ mm} \quad (38)$$

$$[\nu_0] = \frac{H}{200} = \frac{3000}{200} = 15 \text{ mm} \quad (39)$$

$$\nu_{\text{顶}} = 7.7 \text{ mm} < [\nu_0] = 15 \text{ mm} \quad (40)$$

由上可知,立柱挠度验算满足要求。

3.3.3 基底连接螺栓强度及锚固长度验算

声屏障立柱底通过2根直径20 mm的U形8.8级高强螺栓与混凝土防撞护栏连接,螺栓锚固长度500 mm,前后排螺栓间距100 mm。螺栓有效直径为17.65 mm。柱脚连接上钢板厚20 mm,护栏顶预埋下

钢板厚10 mm。

根据《钢结构设计标准》(GB 50017—2017)表4.4.6可知: $f_t^b=400 \text{ MPa}$, $f_c^b=405 \text{ MPa}$, $f_v^b=320 \text{ MPa}$ 。

根据《钢结构设计标准》(GB 50017—2017)第11.4.1条可知:

$$N_v^b = \frac{\pi d^6}{4} f_v^b \frac{3.14 \times 20^6}{4} \times 320 \times 10^{-3} = 100.5 \text{ kN} \quad (41)$$

$$N_c^b = d \sum t f_c^b = 20 \times 10 \times 405 \times 10^{-3} = 81 \text{ kN} \quad (42)$$

$$N_t^b = \frac{\pi N_c^2}{4} f_t^b \frac{3.14 \times 17.65^2}{4} \times 400 \times 10^{-3} = 97.8 \text{ kN} \quad (43)$$

抗剪承载力由2排4颗螺栓共同提供,抗拉承载力由后排2颗螺栓提供:

$$N_v = \frac{Q}{4} = \frac{5.54}{4} = 1.385 \text{ kN} \quad (44)$$

$$N_t = \frac{M}{2e} = \frac{8.32 \times 10^3}{2 \times 50} = 83.2 \text{ kN} \quad (45)$$

$$\sqrt{\left(\frac{N_v}{N_v^b}\right)^2 + \left(\frac{N_t}{N_t^b}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1.385}{100.5}\right)^2 + \left(\frac{83.2}{97.8}\right)^2} = 0.94 < 1 \quad (46)$$

$$N_v = 1.385 \text{ kN} < N_c^b = 81 \text{ kN} \quad (47)$$

螺栓强度验算满足要求。

根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2015)第8.3.1条可知,螺栓锚固长度:

$$l_a = \zeta_a \alpha \frac{f_y}{f_t} d_e = 0.6 \times 0.14 \times \frac{400}{1.43} \times 17.65 \text{ mm} < 500 \text{ mm} \quad (48)$$

螺栓锚固长度验算满足要求。

4 结语

通过对贵阳市某高架桥声屏障主要结构进行设计计算,其强度、刚度等均满足要求,为项目的安全实施提供可靠依据。声屏障结构计算相对简单,我们需要更多的关注声屏障的日常管理养护,注重钢结构部分的防腐,确保其耐久性,确保声屏障在使用年限内的安全。

参考文献:

- [1] GB/T 51335—2018,声屏障结构技术标准[S].
- [2] GB 50009—2012,建筑结构荷载规范[S].
- [3] GB 50017—2017,钢结构设计标准[S].
- [4] GB 50010—2010,混凝土结构设计规范[S].