

T/EJCCCSE

团 体 标 准

T/EJCCCSE XXXX—2025

高速仿生声屏障板设计及检测技术规范

High-speed bionic sound barrier board design and inspection technology
specifications

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2025 – XX – XX 发布

2025 – XX – XX 实施

中国商业股份制企业经济联合会 发 布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 设计要求	1
5 仿真分析	2
6 技术性能	3
7 具体检测	3
8 标志、包装、运输和贮存	5

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由××××提出。

本文件由中国商业股份制企业经济联合会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

高速仿生声屏障板设计及检测技术规范

1 范围

本文件规定了高速仿生声屏障板设计及检测的术语和定义、设计要求、仿真分析、技术性能、具体检测、标志、包装、运输和贮存相关内容。

本文件适用于高速公路、铁路等交通领域使用的仿生声屏障板的设计、制造与检测。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 15227 建筑幕墙气密、水密、抗风压性能检测方法

GB/T 19678.1 使用说明书的编制构成、内容和表示方法 第1部分：通则和详细要求

GB/T 19889.3 声学 建筑和建筑构件隔声测量 第3部分：建筑构件空气声隔声的实验室测量

JT/T 646.2 公路声屏障 第2部分：总体技术要求

JT/T 646.4 公路声屏障 第4部分：声学材料技术要求及检测方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

仿生声屏障板 bio-acoustic barrier board

基于仿生学原理设计的声屏障板，用于降低交通噪声。

3.2

隔声量 sound insulation

声屏障板对声波的隔绝能力，通常以分贝（dB）表示。

3.3

吸声系数 absorption coefficient

声屏障板对声波的吸收能力，通常以无量纲数值表示。

3.4

抗风压性能 wind pressure resistance performance

声屏障板在风荷载作用下的结构稳定性，通常以帕斯卡（Pa）表示。

4 设计要求

4.1 仿生设计原则

4.1.1 仿生声屏障板的设计应基于生物声学特性，优化其结构和材料分布。

4.1.2 仿生设计宜考虑自然界中高效降噪的生物结构特征，如动物类、鸟类羽毛、植物叶片等。

4.1.3 仿生声屏障板的表面纹理和孔洞分布可参考生物结构的声学特性进行设计。

4.1.4 设计应兼顾声学性能和结构性能，不应出现因仿生设计导致结构强度不足。

4.2 声学性能要求

4.2.1 仿生声屏障板的隔声量应满足目标频段内的降噪需求，不宜低于 20 dB。

4.2.2 吸声系数在目标频率范围内宜达到 0.6 以上，噪声可有效被吸收。

4.2.3 声屏障板的声学性能应通过仿真分析和实验检测进行验证。

4.2.4 设计时，应考虑声屏障板在不同气候条件下的声学稳定性。

4.3 结构性能要求

- 4.3.1 仿生声屏障板的抗风压性能应满足 500 Pa 的设计要求，在强风环境下，其应稳定。
- 4.3.2 声屏障板的耐久性应满足 25 年的使用寿命，宜采用耐候性、耐腐蚀性材料。
- 4.3.3 声屏障板的连接部位应具有足够的强度和刚度，不应出现因振动或风荷载导致结构失效。
- 4.3.4 声屏障板的重量宜控制在合理范围内，应便于安装和维护。

4.4 材料要求

- 4.4.1 仿生声屏障板的材料应具有高强度、轻质、耐候性和耐腐蚀性。
- 4.4.2 材料的选择宜考虑其声学性能，如吸声系数和隔声量。
- 4.4.3 材料应具有良好的加工性能，仿生结构可便于精确制造。
- 4.4.4 材料可优先选择环保型材料，应具备可回收利用特性。

4.5 几何尺寸要求

- 4.5.1 仿生声屏障板的几何尺寸应根据实际安装环境确定，宜与现有声屏障系统兼容。
- 4.5.2 声屏障板的高度和宽度应满足目标区域的降噪需求，同时宜考虑美观性和协调性。
- 4.5.3 声屏障板的厚度应根据声学性能和结构性能进行优化设计，不应过度增加材料用量。

5 仿真分析

5.1 仿真工具

- 5.1.1 仿真分析应采用 Comsol Multiphysics 声学模块，仿真结果应具有准确性和可靠性。
- 5.1.2 仿真工具宜支持多物理场耦合分析，包括声学、结构力学和流体力学等。
- 5.1.3 仿真软件应具备高效的网格划分功能和计算能力，可处理复杂的仿生声屏障板模型。

5.2 仿真模型建立

- 5.2.1 仿真模型的几何尺寸应与实际设计尺寸一致，宜采用参数化建模方法以便于优化设计。
- 5.2.2 声屏障板的仿生结构特征应在模型中准确体现，如表面纹理、孔洞分布等。
- 5.2.3 材料属性应按照实际材料参数设置，包括密度、弹性模量、泊松比等。
- 5.2.4 仿真模型的边界条件应合理设置，宜考虑声场环境、入射声波角度等因素。

5.3 网格划分

- 5.3.1 网格划分应满足仿真精度要求，宜采用自适应网格技术以提高计算效率。
- 5.3.2 网格尺寸应根据声波波长和模型几何特征进行优化，网格不应过粗或过密影响计算结果。
- 5.3.3 声屏障板的表面和孔洞区域宜采用局部加密网格，声学性能应被准确评估。

5.4 物理场设置

- 5.4.1 声学模块应设置为压力声学场，宜考虑声波的传播、反射和吸收特性。
- 5.4.2 结构力学模块可结合声学模块进行耦合分析，可评估声屏障板的振动特性。
- 5.4.3 流体力学模块可用于分析风荷载对声屏障板的影响，宜考虑风速和风向的变化。

5.5 边界条件与载荷

- 5.5.1 声场边界条件应设置为无反射边界或阻抗边界，可模拟实际声场环境。
- 5.5.2 入射声波的频率范围应覆盖目标频段，宜采用宽带噪声信号进行仿真。
- 5.5.3 风荷载应按照实际环境条件设置，宜考虑不同风速和风向的组合工况。

5.6 求解设置

- 5.6.1 求解器应选择适合声学问题的频域求解器或时域求解器，宜根据具体需求确定。
- 5.6.2 求解精度应满足设计要求，宜设置合理的收敛准则和计算步长。
- 5.6.3 仿真计算可采用高性能计算平台，提高计算效率和缩短仿真时间。

5.7 仿真结果评估

- 5.7.1 仿真结果应包括声屏障板的隔声量、吸声系数等声学性能指标。
- 5.7.2 声场分布图应清晰展示声波的传播和衰减特性，宜结合云图和矢量图进行分析。
- 5.7.3 结构力学仿真结果应评估声屏障板的应力分布和变形情况。
- 5.7.4 仿真结果应与实验数据进行对比，仿真模型应验证准确性。

5.8 优化设计

- 5.8.1 仿真分析结果可用于优化声屏障板的几何尺寸、材料分布和结构设计。
- 5.8.2 优化设计应通过多次迭代仿真实现，宜采用参数化扫描和优化算法。
- 5.8.3 优化后的设计应重新进行仿真验证，可满足声学性能和结构性能要求。

5.9 仿真报告

- 5.9.1 仿真分析报告应详细记录模型设置、边界条件、求解参数和仿真结果。
- 5.9.2 报告宜包括仿真模型的几何图、网格划分图、声场分布图和结构应力图。
- 5.9.3 仿真结果宜以表格、图表形式呈现。

6 技术性能

- 6.1 仿生声屏障板应进行材料声学隔声吸声检测、力学性能检测等。非透明声屏障声学材料的计权隔声量应不小于 26 dB，透明声学材料的计权隔声量应不小于 20 dB。具有吸声性能要求的声学材料，其降噪系数应不小于 0.60。声屏障声学材料抗风压性能不应产生功能障碍，残余变形或损坏，其最大弹性挠度不应超过 $L/300$ （ L 为声学材料最大自由长度），残余变形不应超过 $L/600$ 。
- 6.2 仿生声屏障板技术要求应符合 JT/T 646.2、JT/T 646.4 的规定。

7 具体检测

7.1 声学仿真检测

7.1.1 边界条件

- 7.1.1.1 仿真测量应符合 GB/T 19889.3 的要求。
- 7.1.1.2 宜采用 Comsol 仿真软件中压力声学与固体力学模块进行隔声性能仿真测试。
- 7.1.1.3 宜建立隔声测试模型从左到右依次是入射声源空气域长度为 1000 mm、隔声测试样件、接受室空气域长度为 1400 mm、完美匹配层。通过压力声学模块的平面波辐射条件施加一个 1 Pa 的声压，测量声源室内平均声压级大小与接受室内平均声压级大小测出被测样件的隔声量。
- 7.1.1.4 仿生声屏障板边界条件设置应包含以下内容：
 - 仿生声屏障板隔声仿真边界条件设置；
 - 仿生声屏障板吸声仿真边界条件设置；
 - 仿生声屏障板隔声仿真声压级分布；
 - 仿生声屏障板吸声仿真声压级分布。

7.1.2 不同结构

- 7.1.2.1 应按 JT/T 646.4 进行测试，由 1/3 倍频程中心频率为 125 Hz~4000 Hz 的传声损失按标准方法计算得出的隔声单值评价量。
- 7.1.2.2 隔声量 R ，通过入射到受测试件上的声功率 W_1 ，与透过试件的透射声功率 W_2 之比值，取以 10 为底的对数乘以 10，见公式（1）。

$$R = 10 \lg \frac{W_1}{W_2} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

R——隔声量，单位为分贝（dB）；

W_1 ——受测试件上的声功率；

W_2 ——透过试件的透射声功率。

7.1.2.3 隔声量 R，由公式（2）求得：

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{S}{A} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

R——隔声量，单位为分贝（dB）；

L_1 ——声源室内平均声压级，单位为分贝（dB）；

L_2 ——接收室内平均声压级，单位为分贝（dB）；

S——试件面积，等于测试洞口的面积，单位为平方米（ m^2 ）；

A——接收室内吸声量，单位为平方米（ m^2 ）。

7.1.2.4 在仿真测试中，通过探针测出散射声压和总声压用来计算吸声系数。通过反射声压与入射声压的比值计算反射系数 r ，计算其各频率下吸声系数平均值，见公式（3）。

$$r = \frac{p_r}{p_t} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

r ——反射系数；

p_r ——反射声压；

p_t ——入射声压。

7.1.2.5 由反射系数 r 计算吸声系数 α ，见公式（4）。

$$\alpha = 1 - |r|^2 \dots\dots\dots (4)$$

式中：

α ——吸声系数；

r ——反射系数。

7.1.3 凸尖高度

宜选择声屏障板3 mm、5 mm、30 mm等不同凸尖高度进行声屏障板隔声量、高频隔声量、吸声系数对比。

7.1.4 总体厚度

宜选择仿生凸尖声屏障板40 mm、50 mm等不同厚度进行声屏障板隔声量、吸声系数对比。

7.1.5 全尺寸计算验证

声屏障板全尺寸仿真验证设置应包含以下内容：

- 隔声仿真边界条件设置；
- 隔声仿真声压级分布；
- 隔声量仿真对比；
- 接受室吸声仿真模型建立；
- 接受室吸声系数；
- 全尺寸声屏障板隔声量修正。

7.2 结构强度仿真检测

7.2.1 边界条件

7.2.1.1 应按 GB/T 15227 的要求测试声屏障板的结构强度，采用尺寸 2500 mm×1000 mm 的仿生声屏障板，施加 $P_1=500$ Pa、 $P_2=1.5P_1$ 、 $P_3=2.5P_1$ 的压强对测试结构强度。

7.2.1.2 建立有限元仿真模型设置应包含以下内容：

- 网格划分；
- 边界条件设置。

7.2.2 不同厚度

7.2.2.1 计算变形检测中求取受力构件的面法线挠度的方法，按公式（5）计算：

$$f_{max} = (b - b_0) - \frac{(a - a_0) + (c - c_0)}{2} \dots \dots \dots (1)$$

式中：

- f_{max} ——面法线挠度值单位为毫米（mm）；
- a_0 、 b_0 、 c_0 ——各测点在预备加压后的稳定初始读数值单位为毫米（mm）；
- a 、 b 、 c ——某级检测压力作用过程中各测点的面法线位移单位为毫米（mm）。

7.2.2.2 云图设置应包含以下内容：

- 40 mm、50 mm 等整体厚度抗风压位移云图；
- 面法线挠度柱状图；
- 40 mm、50 mm 等整体厚度抗风压应力云图；
- 应力柱状图。

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

8.1.1 每块仿生声屏障板应在显著位置设置永久性标志，标志内容包括以下信息：

- 产品名称；
- 产品型号；
- 产品规格；
- 生产日期；
- 生产批号；
- 制造商名称、商标；
- 安装方向指示（如适用）。

8.1.2 标志应清晰、耐久，宜采用雕刻、喷涂或标签粘贴等方式。

8.1.3 宜有醒目的专用警示牌，且应牢固、耐用，警示标志包括以下信息：

- 使用前应仔细阅读使用说明书；
- 安装时可能存在操作不当风险的警示。

8.1.4 使用说明书的编写应符合 GB/T 19678 的规定，说明书包括以下信息：

- 产品结构；
- 主要技术参数；
- 安装说明；
- 注意事项；
- 常见问题和排除方法。

8.2 包装

8.2.1 仿生声屏障板的包装应满足防潮、防震、防碰撞的要求，宜采用木箱、塑料薄膜或泡沫衬垫等包装材料。

8.2.2 包装材料应环保、可回收，宜避免使用一次性塑料制品。

8.2.3 每块声屏障板应单独包装，板与板之间宜使用缓冲材料隔开，避免运输过程中相互碰撞。

8.2.4 包装箱外部应标明产品名称、型号、数量、重量、尺寸及“易碎”“防潮”“向上”等警示标志。

8.2.5 包装箱内应附有产品合格证、安装说明书及检测报告。

8.3 运输

- 8.3.1 仿生声屏障板在运输过程中应固定牢固，避免因晃动或碰撞造成损坏。
- 8.3.2 运输车辆应具备防雨、防尘设施，宜采用封闭式货车或集装箱运输。
- 8.3.3 装卸时应使用专用吊装设备，避免直接拖拽或抛掷。
- 8.3.4 运输过程中应避免与腐蚀性、易燃性物品混装。
- 8.3.5 长途运输时，宜定期检查包装状态，声屏障板应完好无损。

8.4 贮存

- 8.4.1 仿生声屏障板应贮存在干燥、通风、无腐蚀性气体的环境中，避免阳光直射和雨淋。
- 8.4.2 贮存场地应平整、坚实，宜铺设垫木或托盘，避免声屏障板直接接触地面。
- 8.4.3 声屏障板应分类堆放，堆放高度不宜超过 15 层，避免因堆放过高导致变形或倒塌。
- 8.4.4 贮存期间应定期检查声屏障板的包装状态，发现破损应及时修复。
- 8.4.5 声屏障板的贮存期限不宜超过 12 个月，超过期限时应重新检测性能。

8.5 特殊环境

- 8.5.1 在高温、高湿或沿海地区贮存时，应采取额外的防潮、防腐蚀措施，如使用防潮剂或覆盖防水布。
- 8.5.2 在低温环境下运输时，应避免声屏障板因温度变化产生变形或开裂，宜采用保温运输车辆。
- 8.5.3 在风沙较大的地区贮存时，应使用防尘罩或密封包装，避免沙尘进入声屏障板内部。

8.6 信息记录

包装和运输过程中应进行信息记录，记录保存至少10年，包含以下信息：

- 包装日期；
 - 包装人员；
 - 运输车辆信息；
 - 驾驶员联系方式；
 - 运输温度、湿度等；
 - 目的地验收情况。
-