

# 建筑专业设计计算书

工程名称：涞源县冰雪运动教育基地建设项目

工程编号：H2022-170

子项名称：涞源县冰雪运动基础设施建设项目科研楼

子项编号：H2022-170JZS011

计算内容（名称）：构件隔声性能分析报告

分册编号：00 本册页数：14

应用软件名称：绿建斯维尔建筑声环境SEDU2024

版本号：SS-1.0

签字栏：

专业负责人：杨宇滨

计 算 人：李月明

校 对 人：杨宇滨

审 核 人：王冲



清华大学建筑设计研究院有限公司

2024年03月12日

目 录

1 建筑概况 ..... 1

2 评价依据 ..... 1

3 标准要求 ..... 2

4 隔声理论概述 ..... 2

    4.1 原理概要 ..... 2

    4.2 质量定律 ..... 3

    4.3 隔声量计算经验公式 ..... 4

    4.4 单值评价量 ..... 5

    4.5 频谱修正量 ..... 6

5 构件空气声隔声性能 ..... 7

    5.1 墙板的空气声隔声量 ..... 7

        5.1.1 墙板构造做法 ..... 7

        5.1.2 墙板空气声隔声性能 ..... 8

    5.2 门窗的空气声隔声量 ..... 10

6 楼板撞击声隔声性能 ..... 11

7 结论 ..... 12

## 1 建筑概况

表 1.1 项目概况

工程名称	涞源县冰雪运动教育基地建设项目 涞源县冰雪运动基础设施建设项目科研楼
建筑面积 (m <sup>2</sup> )	地上 14503.5 地下 0
建筑层数	地上 3 地下 0
建筑高度 (m)	地上 13.5
北向角度 (°)	55



图 1-1 建筑模型

## 2 评价依据

- 1) 河北省《绿色建筑评价标准》DB13(J)/T 8427-2021
- 2) 《绿色建筑评价标准》GB/T 50378-2019
- 3) 《绿色建筑评价技术细则》2019
- 4) 《民用建筑隔声设计规范》GB 50118-2010
- 5) 《建筑隔声评价标准》GB/T 50121-2005
- 6) 《建筑声学设计手册》
- 7) 《建筑隔声设计—空气声隔声技术》
- 8) 《声学手册》
- 9) 《噪声与振动控制工程手册》
- 10) 《建筑声学设计原理》
- 11) 《建筑设计资料集》(第二版) 第 2 集

### 3 标准要求

河北省《绿色建筑评价标准》DB13(J)/T 8427-2021 对建筑围护结构隔声性能提出了明确要求。

■ 控制项要求：

5.1.4 主要功能房间的室内噪声级和隔声性应符合下列规定：

- 1 室内噪声级应满足现行国家标准《民用建筑隔声设计规范》GB 50118 中的低限要求；
- 2 外墙、隔墙、楼板和门窗的隔声性能应满足现行国家标准《民用建筑隔声设计规范》GB 50118 中的低限要求。

■ 评分项要求：

5.2.7 主要功能房间的隔声性能良好，评价总分为 10 分，按下列规则分别评分并累计：

- 1 构件及相邻房间之间的空气声隔声性能达到现行国家标准《民用建筑隔声设计规范》GB 50118 中的低限标准限值和高要求标准限值的平均值，且高于低限标准限值 3dB，得 3 分；达到高要求标准限值，得 5 分；
- 2 增加楼板厚度或采用浮筑楼板、弹性面层、隔声吊顶、阻尼板等措施加强楼板撞击声隔声性能，楼板的撞击声隔声性达到现行国家标准《民用建筑隔声设计规范》GB 50118 中的低限标准限值和高要求标准限值的平均值，且低于低限标准限值 3dB，得 3 分；达到高要求标准限值，得 5 分。

### 4 隔声理论概述

声音通过围护结构的传播，按传播规律有两种途径。由此可将声音分为：

- 空气声：声源经过空气向四周传播的噪声，如室外交通噪声。
- 撞击声：两物体相互撞击产生的噪声，通过固体来传播，如楼板上行走的脚步声。

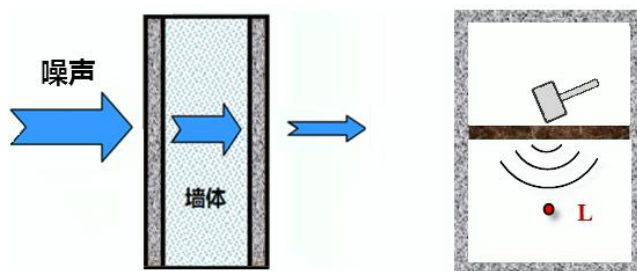


图 4-1 空气声和撞击声

#### 4.1 原理概要

声音通过围护结构的传播，按传播规律可将声音分为空气声和撞击声。墙、板、门、窗和屏障等构件作为建筑隔声材料，对于入射声波具有较强的反射，使透射声波大大减小，从而起到隔声作用。为了表示材料及构件的空气声隔声性能，常采用隔声量  $R$  这一指标来体现。

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau}$$

式中： $\tau$ —为构件的透射系数，透射声能与入射声能之比。

构件的透射系数越小，隔声量就越大，隔声性能越好。对于高声阻、刚性、匀质密实的围护结构，通常越密实的材料对应结构的隔声性能越好。单层匀质密实墙的隔声性能和入射声波的频率有关，还取决于墙体的面密度、劲度、材料的内阻尼以及墙边界条件等因素。现在的节能建筑一般采用多层复合墙板达到节能保温的效果，也可以增加墙体的隔声性能。

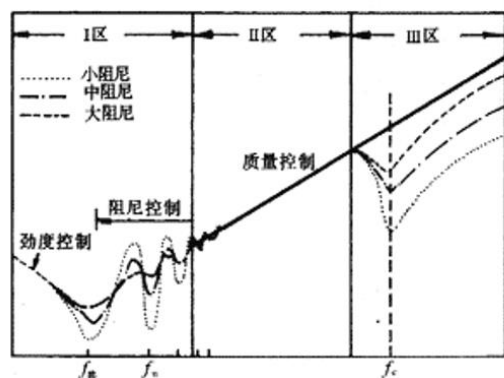


图 4-2 单层匀质墙典型隔声频率特性曲线

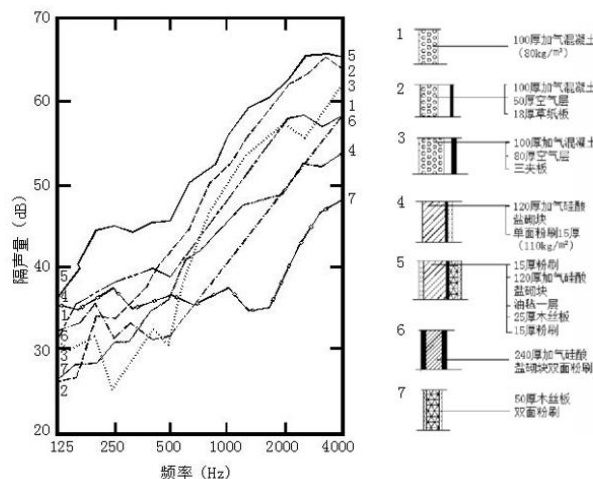


图 4-3 改善多孔材料的隔声特性实例

## 4.2 质量定律

如果把墙看成是无劲度、无阻尼的柔顺质量、且忽略墙的边界条件，则在声波垂直入射时，可从理论上得到墙的隔声量的计算式：

$$R_o = 10 \lg \left[ 1 + \left( \frac{\pi m f}{\rho_o c} \right)^2 \right]$$

式中：m——墙单位面积的质量，或称面密度，kg/m<sup>2</sup>

$\rho_o$ ——空气密度，kg/m<sup>3</sup>

c——空气中的声速，一般取 344 m/s

f——入射声波的频率，Hz

一般情况下， $\pi m f > \rho_o c$ ，即  $\pi m f / \rho_o c > 1$ ，上式便可简化为：

$$R_o = 20 \lg \left( \frac{\pi m f}{\rho_o c} \right) = 20 \lg m + 20 \lg f - 43$$

如果声波并非垂直入射，而是无规则入射时，则墙的隔声量为：

$$R = R_o - 5 = 20 \lg m + 20 \lg f - 48$$

上述公式证明，墙的单位面积质量越大，则隔声效果越好，这一规律称为“质量定律”，单位面积质量每增加一倍，隔声量可增加 6 dB。入射声波的频率每增加一倍，隔声量也可以增加 6 dB。下图表示了质量定律直线：

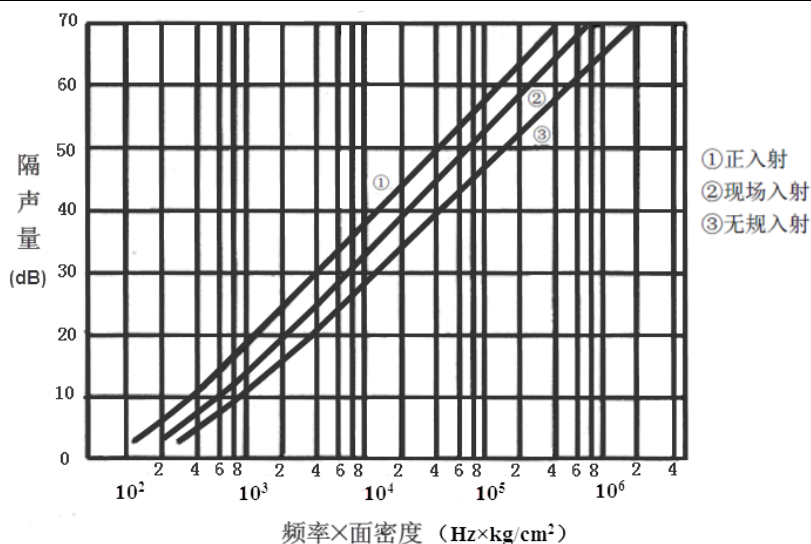


图 4-4 由质量控制的柔性板的隔声量

由于本式是建立在理论上的许多假定条件下导出的，计算值普遍比实测大，并不符合现场实际情况，所以一般隔声设计中采用经验公式进行隔声量计算。

### 4.3 隔声量计算经验公式

经验公式加进了实践的因素，即包括实验室测定、现场测定等研究成果，更接近实际。虽然不完全符合质量定律中的假定条件，但经验公式的基本变量还是质量  $m$ ，质量大小控制隔声量，所以以质量定律为基本理论的隔声量经验计公式，是理论向实践的延伸。

一般由混凝土材料组成的建筑构件空气声隔声情况可由《建筑隔声设计——空气声隔声技术》书中推荐的经验公式进行构件隔声计算分析：

$$R = 23 \lg m + 11 \lg f - 41 \quad (m \geq 200 \text{ kg/m}^2)$$

$$R = 13 \lg m + 11 \lg f - 18 \quad (m \leq 200 \text{ kg/m}^2)$$

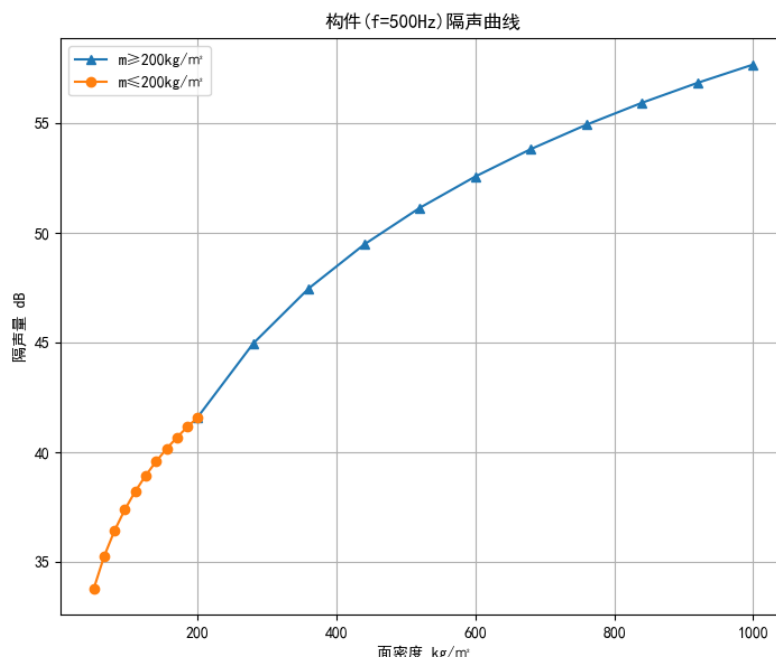


图 4-5 构件 500Hz 隔声曲线

砌体材料、保温层材料、轻钢龙骨材料等轻质材料的空气声隔声和撞击声隔声情况无法通过公式直接进行计算，一般采用与典型构造的现场检测值进行对比的形式来确定。

#### 4.4 单值评价量

单值评价量是表征建筑或建筑构件隔声性能的单值，该值综合考虑了建筑或建筑构件在规定频率范围内的隔声性能。依据《建筑隔声评价标准》GB/T 50121-2005 提供了单值评价量的计算方法。

计权隔声量是表征构件空气声隔声性能的单值评价量，满足不利偏差  $P_i$  要求的最大值即为空气声隔声计权单值评价量，精确到 1dB。

1) 可采用公式法求得：

$$\sum_{i=1}^5 P_i \leq 10.0$$

$$P_i = \begin{cases} X_w + K_i - X_i & X_w + K_i - X_i > 0 \\ 0 & X_w + K_i - X_i \leq 0 \end{cases}$$

式中：  $X_w$  —空气声隔声计权单值评价量；

$K_i$  —第  $i$  个频带的基准值；

$X_i$  —第  $i$  个频带的隔声量，精确到 0.1dB；

$i$  —频带的序号， $i=1\sim5$ ，代表 125~2000Hz 范围内的 5 个中心频率。

2) 计权规范化撞击声压级是表征构件撞击声隔声性能的单值评价量，满足不利偏差要求的最小值再减 5dB 即为撞击声隔声计权单值评价量，精确到 1dB，可采用公式法求得：

$$P_i = \begin{cases} X_t - K_t - X_w - 5 & X_t - K_t - X_w - 5 > 0 \\ 0 & X_t - K_t - X_w - 5 \leq 0 \end{cases}$$

式中：  $X_w$  — 撞击声隔声计权单值评价量；

$X_i$  — 第  $i$  个频带的撞击声压级，精确到 0.1dB。

表 4.1 各频带基准值  $K_i$

单位：dB

倍频程中心频率	125Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
空气声基准值	-16	-7	0	3	4
撞击声基准值	2	2	0	-3	-16

## 4.5 频谱修正量

频谱修正量是因隔声频谱不同以及声源空间的噪声频谱不同，所需加到空气声隔声单值评价量上的修正值。当声源空间的噪声呈粉红噪声频率特性或交通噪声频率特性时，计算得到的频谱修正量分别是粉红噪声频谱修正量或交通噪声频谱修正量。

《建筑隔声评价标准》GB/T 50121 中明确了频谱修正量  $C_j$  的算法：

$$C_j = -10 \lg \sum 10^{(L_{ij}-X_i)/10} - X_w$$

式中：  $j$  — 频谱序号， $j=1$  或  $2$ ， $1$  为计算  $C$  的频谱  $1$ ， $2$  为计算  $C_{tr}$  的频谱  $2$ ；

$X_w$  — 空气声隔声计权单值评价量；

$i$  — 100~3150Hz 的 1/3 倍频程或 125~2000Hz 的倍频程序号；

$L_{ij}$  — 第  $j$  号频谱的第  $i$  个频带的声压级；

$X_i$  — 第  $i$  个频带的隔声量，精确到 0.1dB。

频谱修正量在计算时应精确到 0.1dB，得出的结果应修约为整数。

表 4.2 计算频谱修正量的声压级频谱

单位：dB

倍频程中心频率	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
计算粉红噪声 $C$ 的频谱 1	-21	-14	-8	-5	-4
计算交通噪声 $C_{tr}$ 的频谱 2	-14	-10	-7	-4	-6



## 5 构件空气声隔声性能

### 5.1 墙板的空气声隔声量

#### 5.1.1 墙板构造做法

构件隔声性能与构造的材料和做法息息相关。构件采用的工程材料和构造做法决定了构件的面密度，而面密度直接决定了墙体的隔声性能。对于轻质隔声墙板来说，虽然面密度较低，但构造中空气层、填充的吸声材料等因素都会使得构件隔声性能大大提升。

本项目中建筑围护结构详细信息可见下表：

表 5.1 建筑围护结构构造与材料清单

构件	材料	厚度 (mm)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	面密度 (kg/m <sup>2</sup> )	总面密度 (kg/m <sup>2</sup> )
外墙(填充墙)	铝塑复合板	20	1380	28	247
	水泥砂浆	20	1800	36	
	钢丝网架复合岩棉保温板 ( $\rho=80-200$ )	80	140	11	
	加气混凝土砌块 (B07 级)	200	700	140	
	石灰砂浆	20	1600	32	
隔墙 1	石灰砂浆	20	1600	32	204
	加气混凝土砌块 (B07 级)	200	700	140	
	石灰砂浆	20	1600	32	
隔墙 2	加气混凝土砌块 (B07 级)	200	700	140	140
屋顶	碎石、卵石混凝土( $\rho=2300$ )	50	2300	115	417
	挤塑聚苯板	80	30	2	
	钢筋混凝土	120	2500	300	
楼板	水泥砂浆	30	1800	54	506
	碎石、卵石混凝土( $\rho=2100$ )	30	2100	63	
	浮石混凝土( $\rho=1300$ )(水泥焦渣)	40	1300	52	
	钢筋混凝土	130	2500	325	
	膨胀玻化微珠保温浆料	35	350	12	
挑空楼板	钢筋混凝土	120	2500	300	314
	钢丝网架复合岩棉保温板 ( $\rho=80-200$ )	100	140	14	
地面	水泥砂浆	20	1800	36	336
	钢筋混凝土	120	2500	300	

### 5.1.2 墙板空气声隔声性能

本项目墙板的各频段下空气声隔声量可以通过经验公式计算，或者直接通过构造数据库中给出的构造隔声参数选取合适的空气声隔声量。

- 符合质量定律的构件，可按面密度  $m$  计算各频率下的空气声隔声量：

$$R=23/g m+11/g f-41 \quad (m \geq 200\text{kg/m}^2)$$

$$R=13/g m+11/g f-18 \quad (m \leq 200\text{kg/m}^2)$$

式中： $m$ —构件的面密度， $\text{kg/m}^2$ ； $f$ —入射声波的频率， $\text{Hz}$ ；

- 可以选择相同或相近的构造隔声数据作为依据，如权威声学专业书籍、国家及地方图集、实验室检测数据等。对于非匀质墙体可以采用此种方法，利用参照构造的隔声数据进行隔声计算。

注：表 5.2 中【隔声量来源】指明了计算采用的方法，“根据面密度计算”或“参照”相近构造的隔声量数据。

表 5.2 墙板空气声隔声性能计算详表

单位：dB

构件	计算过程参数					
教学用房外墙	构造做法	铝塑复合板 20mm + 水泥砂浆 20mm + 钢丝网架复合岩棉保温板 ( $\rho=80-200$ ) 80mm + 加气混凝土砌块 (B07 级) 200mm + 石灰砂浆 20mm				
	参照构造	蒸压加气混凝土砌块 390x190x190 双面抹灰				
	面密度( $\text{kg/m}^2$ )	247				
	隔声量来源	《建筑隔声与吸声构造》08J931				
	倍频程频率	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
	分频隔声量	--	--	--	--	--
	不利偏差	--	--	--	--	--
	计权隔声量	47				
	频谱修正量	-2.0				
	隔声性能	45				
	限值	低限： $\geq 45$ ，高要求： $\geq 50$				
	结论	满足低限要求				
阅览室的隔墙	构造做法	石灰砂浆 20mm + 加气混凝土砌块 (B07 级) 200mm + 石灰砂浆 20mm				
	参照构造	蒸压加气混凝土砌块 390x190x190 双面抹灰				
	面密度( $\text{kg/m}^2$ )	204				
	隔声量来源	《建筑隔声与吸声构造》08J931				
	倍频程频率	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
	分频隔声量	--	--	--	--	--

	不利偏差	--	--	--	--	--
	计权隔声量	52				
	频谱修正量	-1.0				
	隔声性能	51				
	限值	低限:>50				
	结论	满足高要求				
普通教室间隔墙	构造做法	石灰砂浆 20mm + 加气混凝土砌块 (B07 级) 200mm + 石灰砂浆 20mm				
	参照构造	蒸压加气混凝土砌块 390x190x190 双面抹灰				
	面密度(kg/m <sup>2</sup> )	204				
	隔声量来源	《建筑隔声与吸声构造》08J931				
	倍频程频率	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
	分频隔声量	--	--	--	--	--
	不利偏差	--	--	--	--	--
	计权隔声量	52				
	频谱修正量	-1.0				
	隔声性能	51				
	限值	低限:>45,高要求:>50				
	结论	满足高要求				
语言教室的隔墙	构造做法	石灰砂浆 20mm + 加气混凝土砌块 (B07 级) 200mm + 石灰砂浆 20mm				
	参照构造	蒸压加气混凝土砌块 390x190x190 双面抹灰				
	面密度(kg/m <sup>2</sup> )	204				
	隔声量来源	《建筑隔声与吸声构造》08J931				
	倍频程频率	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
	分频隔声量	--	--	--	--	--
	不利偏差	--	--	--	--	--
	计权隔声量	52				
	频谱修正量	-1.0				
	隔声性能	51				
	限值	低限:>50				
	结论	满足高要求				
阅览室楼板	构造做法	水泥砂浆 30mm + 碎石、卵石混凝土( $\rho=2100$ ) 30mm + 浮石混凝土( $\rho=1300$ )(水泥焦渣) 40mm + 钢筋混凝土 130mm + 膨胀玻化微珠保温浆料 35mm				
	参照构造	--				

	面密度(kg/m <sup>2</sup> )	506				
	隔声量来源	通过经验公式计算				
	倍频程频率	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
	分频隔声量	44.3	47.6	50.9	54.2	57.5
	不利偏差	0.0	0.4	4.1	3.8	1.5
	计权隔声量	55				
	频谱修正量	-1.0				
	隔声性能	54				
	限值	低限:>50				
	结论	满足高要求				
语言教室楼板	构造做法	水泥砂浆 30mm + 碎石、卵石混凝土( $\rho=2100$ ) 30mm + 浮石混凝土( $\rho=1300$ )(水泥焦渣) 40mm + 钢筋混凝土 130mm + 膨胀玻化微珠保温浆料 35mm				
	参照构造	--				
	面密度(kg/m <sup>2</sup> )	506				
	隔声量来源	通过经验公式计算				
	倍频程频率	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
	分频隔声量	44.3	47.6	50.9	54.2	57.5
	不利偏差	0.0	0.4	4.1	3.8	1.5
	计权隔声量	55				
	频谱修正量	-1.0				
	隔声性能	54				
	限值	低限:>50				
	结论	满足高要求				

## 5.2 门窗的空气声隔声量

由于门窗隔声特性复杂, 不适宜参照匀质墙体进行公式计算各频率下隔声量, 本项目参考相关声学资料中相近构造的门窗的空气声隔声量进行计算

表 5.3 门窗空气声隔声性能计算详表

单位: dB

构件	计算过程参数	
教学用房的门	构造名称	内门
	参照构造	木门 100 厚木门

	隔声量来源	《建筑吸声材料与隔声材料》钟祥璋编著				
	倍频程频率	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
	分频隔声量	0.0	27.0	23.0	32.0	39.0
	不利偏差	8.0	0.0	1.0	0.0	0.0
	计权隔声量	24				
	频谱修正量	-4.0				
	隔声性能	20				
	限值	低限:≥20,高要求:≥25				
	结论	满足低限要求				
教学用房的其他外窗	构造名称	70 系列内平开上悬铝合金窗[5Low-E+12A+5+12A+5]				
	参照构造	夹层玻璃隔声窗 8+0.76PVB+8				
	隔声量来源	《建筑隔声与吸声构造》08J931				
	倍频程频率	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
	分频隔声量	23.0	31.0	35.0	36.0	41.0
	不利偏差	0.0	0.0	3.0	5.0	1.0
	计权隔声量	38				
	频谱修正量	-5.0				
	隔声性能	33				
	限值	低限:≥25,高要求:≥30				
	结论	满足高要求				

## 6 楼板撞击声隔声性能

物体的撞击、设备振动、卫生设备及管道使用都会产生固体噪声。根据隔声的质量定律，楼板具有一定的隔绝空气声的能力，但是由于楼板与四周墙体为刚性连接，将使振动能量沿着建筑结构传播。楼板的撞击声隔声性能要满足要求，以控制撞击声的影响。

本报告参照相近楼板构造的撞击声计权隔声量，依据《民用建筑隔声设计规范》GB 50118-2010 的要求，求得计权规范化撞击声压级来评价楼板的撞击声隔声性能。

表 6.1 楼板撞击声隔声性能

单位: dB

构件	构造参数	
阅览室与上层房间之间楼板	构造做法	水泥砂浆 30mm + 碎石、卵石混凝土( $\rho=2100$ ) 30mm + 浮石混凝土( $\rho=1300$ )(水泥焦渣) 40mm + 钢筋混凝土 130mm + 膨胀玻化微珠保温浆料 35mm

	参照构造做法	20 厚花岗石板+30 厚 1:3 干硬性水泥砂浆+120 厚钢筋混凝土楼板
	参照构造简图	见图 6.1
	数据来源	《民用建筑隔声与吸声构造》15ZJ502
	计权规范化撞击声压级	64
	标准限值	低限:<65,高要求:<55
	结论	满足低限要求

撞击声隔声构件参照构造简图:

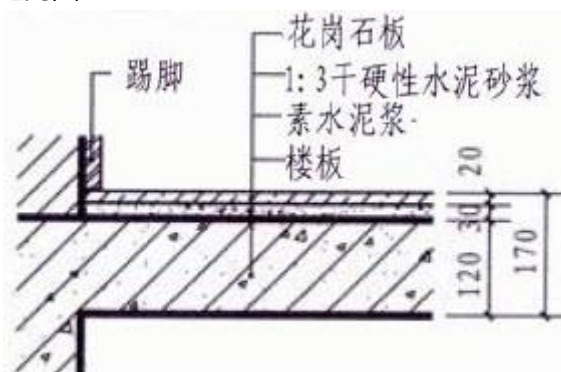


图 6.1 阅览室与上层房间之间楼板

## 7 结论

根据上述计算可知, 本项目围护结构隔声结果如下表所示:

表 7.1 构件空气声隔声性能结果统计

单位: dB

构件	单值评价量+频谱修正量	标准限值	结论
教学用房外墙	45	低限:≥45,高要求:≥50	满足低限要求
阅览室的隔墙	51	低限:>50	满足高要求
普通教室间隔墙	51	低限:>45,高要求:>50	满足高要求
语言教室的隔墙	51	低限:>50	满足高要求
阅览室楼板	54	低限:>50	满足高要求
语言教室楼板	54	低限:>50	满足高要求
教学用房的门	20	低限:≥20,高要求:≥25	满足低限要求
教学用房的其他外窗	33	低限:≥25,高要求:≥30	满足高要求

表 7.2 楼板撞击声隔声性能统计

单位: dB

构件	计权规范化撞击声压级	标准限值	结论
----	------------	------	----

阅览室与上层房间之间 楼板	64	低限:<65,高要求:<55	满足低限要求
------------------	----	----------------	--------

综上, 根据河北省《绿色建筑评价标准》DB13(J)/T 8427-2021、《绿色建筑评价标准》GB/T 50378-2019 和《民用建筑隔声设计规范》GB 50118-2010 评价要求, 可得围护结构隔声评价结果及得分情况如下表:

表 7.3 围护结构隔声性能评价结果

单位: dB

检查项	评价依据	结论	得分
空气声 隔声	控制项: 5.1.4 主要功能房间的外墙、隔墙、楼板和门窗的隔声性能应能满足现行国家标准《民用建筑隔声设计规范》GB 50118 中低限要求。	满足	--
	评分项: 5.2.7 构件及相邻房间之间的空气声隔声性能达到现行国家标准《民用建筑隔声设计规范》GB 50118 中的低限标准限值和高要求标准限值的平均值, 且高于低限标准限值 3dB, 得 3 分; 达到高要求标准限值, 得 5 分;	满足低限要求	0
撞击声 隔声	控制项: 5.1.4 主要功能房间的外墙、隔墙、楼板和门窗的隔声性能应能满足现行国家标准《民用建筑隔声设计规范》GB 50118 中低限要求。	满足	--
	评分项: 5.2.7 增加楼板厚度或采用浮筑楼板、弹性面层、隔声吊顶、阻尼板等措施加强楼板撞击声隔声性能, 楼板的撞击声隔声性达到现行国家标准《民用建筑隔声设计规范》GB 50118 中的低限标准限值和高要求标准限值的平均值, 且低于低限标准限值 3dB, 得 3 分; 达到高要求标准限值, 得 5 分。	满足低限要求	0