



垂直悬挂空间吸声板降低大面积车间噪声的设计与应用

章 奎 生

(上海工业建筑设计院)

前 言

近年来,我们开展了“空间吸声板的声学性能及其工程应用”的专题研究。在实验室研究取得初步成果的基础上,1979年四季度,又协同上钢二厂进行了七车间制绳工段的噪声治理工程,首次设计应用了垂直悬挂式空间吸声板,以降低大面积车间的噪声。1980年3月吸声板吊装完毕并投入使用。经实测和主观评价表明,车间内噪声有了明显的降低,达到并超过了设计所预期的效果。

一、空间吸声板的降噪原理及设计原则

六十年代以来,国外常见有空间吸声板或吸声体的应用^[1,2]。随着我国环境科学与建筑声学技术的不断发展,近年来在噪声控制领域中开始研究并应用此种分散悬挂(水平或垂直悬挂均可)空间吸声板的处理方法。

空间吸声板的最大特点是具有双面吸声作用,致使其吸声效率大大提高,其中以中高频吸声效率提高更为显著。因此就能以数量不多的空间吸声板达到与通常整片吸声平顶相当的降噪效果,这对节省材料,减少投资,方便施工等显然是很有意义的。对于各类车间,尤其是大面积多声源的厂房均有一定的实用价值。

为了了解空间吸声板的声学特性,探索有关的降噪规律,寻求合理的设计参数,我们进行了大量的实验研究,主要得到以下几点

可供设计参考的原则:

1. 对于一定材料的空间吸声板,其面积比(即吸声板面积与车间平面面积之比)和悬挂高度是决定其吸声效率的两个主要因素。试验证明,当空间吸声板的面积比值为25%左右时,其吸声效率最高,吸声系数达到最大值。

2. 由于吸声降噪量不仅取决于吸声系数的大小,而且还与吸声材料面积有直接关系(非线性关系),故在工程吸声降噪设计中,空间吸声板的面积比取30~40%即可基本达到正片吸声平顶的降噪效果。

3. 当空间吸声板离顶分散悬挂时,其吸声系数显著提高,中高频平均吸声系数可提高40~50%之多,在工程设计应用中,通常应使空间吸声板的离顶悬空高度控制在厂房净空高度的1/7~1/5左右为宜。

4. 在面积比相同条件下,垂直悬挂空间吸声板的降噪效果与水平悬挂空间吸声板(即浮云式空间吸声板)大体相同,而且其最佳面积比值也为25%左右,这就为空间吸声板设计布置的灵活性提供了有利条件。

5. 试验表明,设计应用空间吸声板的实际降噪效果大致为4~10分贝。由声学原理可知,若噪声降低3分贝,相当于声能减少一半;若噪声降低10分贝,则相当于声能减少90%,而噪声响度降低50%。如能同时辅以隔声、消声等综合治理措施,就可获得更好的降噪效果。

二、上钢二厂制绳车间垂直悬挂空间吸声板的设计

制绳车间是上钢二厂一个主要的大面积成品车间, 厂房建筑较为陈旧, 平面尺寸为 126 米长, 24 米宽, 平均高度为 9.5 米, 车间总面积 3000 平方米, 车间内共配置 24 台捻股机和制绳机。

制绳机运转噪声由机械传动噪声和空气动力噪声两部分组成。前者主要是由于机架、传动轴、齿轮及挡板等部件的振动、摩擦和碰撞所产生, 是制绳机的主要噪声来源; 而后者是由机管和机蕊高速旋转时所产生的, 此外还有电机的风扇噪声和电磁噪声也有一定影响。据测定, 当单台机组运转时, 机组侧向 1 米点的平均 A 声级可达 95~98 分贝, 而噪声频谱特性则呈明显的中频性, 即噪声能量主要分布在 250~2 K 赫人耳的主要听觉频段。因此当车间内大部分机器开启时, 车间内噪声震耳欲聋、令人难受, 通讯交谈非常困难, 严重影响工人身体健康。客观测量表明, 车间内平均噪声高达 94.6 分贝 (A) (车间内 14 个测点平均值), 与我国工厂噪声标准 90 分贝 (A) 相比, 超过了 4.6 分贝 (A), 车间西端大门外的噪声级也高达 86.5 分贝 (A)。大大超过重工业工厂内厂区环境噪声的要求^[1]。

由于该车间原有土建结构条件较差, 屋架设计安全系数较少, 加上厂房使用年久, 担心增挂空间吸声板后荷载有问题。经与工厂

多次研究后, 决定采用垂直悬挂空间吸声板, 这样既解决了吸声板的自身刚度问题, 而且不用金属或木筋框架, 减轻了空间吸声板的重量及费用。实际采用的空间吸声板是用 10 厘米厚超细玻璃棉缝毡, 中部衬填一层再生布, 外包塑料窗纱以锦纶线缝制而成。共分四种长度规格, 平均单块面积约 2 平方米, 重约 8 公斤。设计空间吸声板的总面积比为 40%, 相当于车间平顶面积的 1/3, 其中 22% 的吸声板悬挂于顶部弓形屋架间, 并与屋架下弦吊挂平齐; 而 18% 的吸声板悬挂于两侧墙。总共吊挂 530 块, 总面积为 1210 平方米。(见图 1)

三、垂直悬挂空间吸声板降噪效果的计算

通常, 在一个普通声场内, 离声源一定距离点的声压级值可由下式计算:

$$L_P = L_w + 10 \lg \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \quad (\text{分贝}) \quad (1)$$

$$\text{式中: 房间常数 } R = \frac{S\bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}}$$

若室内作吸声处理前后的平均吸声系数分别为 α_0 和 α_1 , 则在远场区域的最大吸声降噪量为^[4]:

$$\Delta L_{\max} = 10 \lg \frac{\bar{\alpha}_1}{\bar{\alpha}_0} + 10 \lg \frac{1 - \bar{\alpha}_0}{1 - \bar{\alpha}_1} \quad (\text{分贝}) \quad (2)$$

而平均降噪量则为:

$$\overline{\Delta L} = 10 \lg \frac{\bar{\alpha}_1}{\bar{\alpha}_0} \quad (\text{分贝}) \quad (3)$$

根据以上计算方法, 我们按未挂吸声板、单挂顶部吸声板及侧墙也挂吸声板等三种条

表 1 制绳车间吸声降噪效果计算结果

条 件	平均吸声系数 $\bar{\alpha}$	房间常数 $R(\text{m}^2)$	混响时间 $T_{60}(\text{秒})$	平均降噪量 $\overline{\Delta L}(\text{dB})$	最大降噪量 $\Delta L_{\max}(\text{dB})$
未挂吸声板	0.09	850	5.40	—	—
单挂顶部吸声板	0.29	3539	1.77	5.1	6.2
顶、墙均挂吸声板	0.34	4442	1.52	5.8	7.2

件对平均吸声系数($\bar{\alpha}$)、房间常数(R)、混响时间(T_{60})及噪声降低量(ΔL)分别作了计算,得到如表 1 所示的结果。

四、垂直悬挂空间吸声板实测降噪效果及分析

1. 车间内平均噪声降低效果的分析

车间内平均噪声是在正常生产条件下,由 14 个测点实测结果平均所得。测定工作是在治理前,单挂顶部吸声板后及顶、墙均挂吸声板后进行的。噪声测量仪器均为

丹麦 B & K 2209 + 1613 型精密声级计套件,整机灵敏度及滤波器特性曲线均经定标校准合格。实测主要结果见表 2,图 2 和图 3。结果可见,车间内平均 A 声级降低达 9.4 分贝,总噪声响度降低达 48%,证明其降噪效果是显著的,而吸声降噪的频率特性以中高频为好,如能按原要求将侧墙吸声板挂离墙壁 0.5 米,则根据 1/4 波长处为吸声峰值的原理^[5],还可改善 125 赫频段的降噪效果。目前车间内的平均噪声不但达到我国工业企业噪声卫生标准对老厂房 ≤ 90 分贝(A)

表 2 空间吸声板悬挂前后实测车间平均噪声结果

测 定 条 件	倍频程中心频率(赫)								A 声级 (分贝)	总响度 (宋)
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
未挂吸声板 L_{P0}	81.7	83.5	90.5	93.4	92.1	83.9	77.1	68.5	94.6	78.9
单挂顶部 L_{P1}	79.5	79.8	82.7	85	84.9	77.9	60.4	60.3	87.3	48.5
顶、墙均挂 L_{P2}	78.2	78.7	80.9	82.4	81.8	75	67.9	59	85.2	40.9
ΔL_{P1}	2.2	3.7	7.8	8.4	7.2	6.0	7.7	8.2	7.3	39%
ΔL_{P2}	3.5	4.8	9.6	11	10.3	8.9	9.2	9.5	9.4	48%

的要求,噪声特性曲线也均低于 N-85 号噪声评价数曲线,而且已基本达到新建、扩建厂房 ≤ 85 分贝(A)的标准。

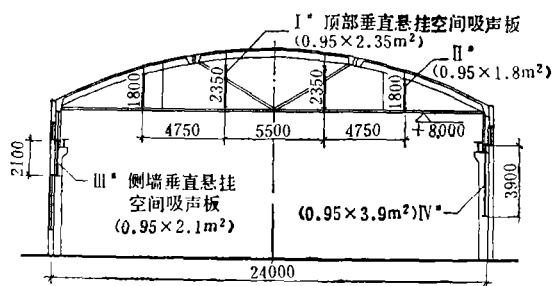


图 1 上钢二厂制绳车间空间吸声板吊挂位置图

2. 操作值班位置及车间外环境的降噪效果

在制绳车间内,工人操作值班位置点的声级基本上相当于该工人所暴露的噪声环

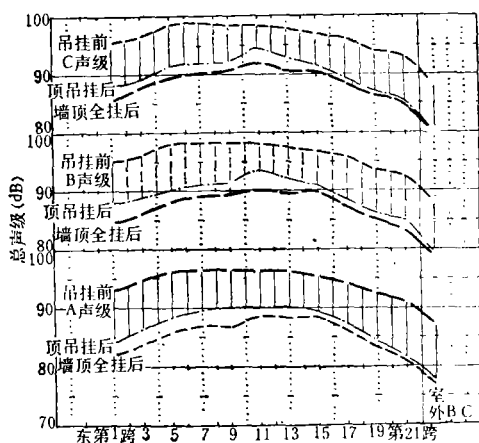


图 2 上钢二厂制绳车间垂直悬挂空间吸声板实测总声级降低效果

境。我国工厂噪声卫生标准就是以工人操作位置的耳部噪声水平为前提的。上钢二厂制绳车间垂直悬挂空间吸声板吊挂后,各机组操作位置的 A 声级也有明显改善,降低量大

多在 6~8 分贝(A) 左右。目前除个别点外,各操作位置 A 声级已全部达到 90 分贝(A) 的允许标准,部分位置还达到 85 分贝(A) 的标准。吸声板吊挂后,车间噪声变得沉闷,不再有刺耳钻脑的感觉,稍许提高嗓音即可进行一般交谈,工人们普遍反映噪声变低了。

另外,当车间内经吸声降噪治理后,对车间外环境噪声也得到相应的改善。车间西大门外的 A 声级已由原来的 86.5 分贝降低到 77 分贝,接近了厂区环境噪声允许标准。

3. 车间长轴方向的声场衰减特性

在工业建筑噪声控制技术中,评价一个厂房吸声降噪治理效果通常可有三种方法:

(1) 噪声测量法: 实测车间内所选定的各测点在治理前后的总声级值及其噪声频谱,其差值即为降噪效果,相当于插入损失。此法简单易行,能直接反映实际降噪效果,但也受测点位置的影响,因此必须合理选择测点。制绳车间的测量主要采用了此种方法,得

到了客观实际的结果。

(2) 混响测量法: 即实测治理前后车间内的平均混响时间,然后由下式求得平均降噪量。

$$\Delta L = 10 \lg \frac{\bar{T}_1}{\bar{T}_2} \text{ (分贝)} \quad (4)$$

由于混响时间概念建立在室内声场充分扩散的条件下,通常当平顶作吸声处理后,车间内声场很不易扩散,这就导致与实际的差异。若车间形状狭长或扁平,就不能使用混响测量法。

(3) 声场衰减测量法^[5]: 利用声场中噪声离声源距离的增加而衰减的特性,进行相对比较测量,以获得降噪效果。从自由声场中存在着距离平方反比定律得知,测点离声源距离增加一倍,噪声衰减 6 分贝。而在普通声场中由于受混响声的影响,噪声衰减特性就会低于反平方定律,而决定于房间常数 R 值。当室内增加吸声处理后, R 值增大,声场衰减

表 3 上钢二厂制绳车间长轴方向相对声压级计算表

总声场相对声压级值*			混响声场相对声压级值			吸声降噪量	
			未挂板 $R_0 = 850$	单挂顶部 $R_1 = 3539$	顶墙全挂 $R_2 = 4442$	(dB)	
			-23.3(dB)	-29.5(dB)	-30.5(dB)	ΔL_1	ΔL_2
直达声场相对声压级	$r = 1$	-8	-8	-8	-8	0	0
	2	-14	-13.5	-14	-14	0.5	0.5
	3	-17.5	-16.5	-17.5	-17.5	1.0	1.0
	6	-23.5	-20.5	-22.5	-22.7	2.0	2.2
	10	-28	-22	-25.7	-26.1	3.7	4.1
	15	-31.5	-22.6	-27.3	-28	4.7	5.4
	20	-34	-23	-28.2	-29	5.2	6.0
	40	-40	-23	-29.2	-30	6.2	7.0
	80	-46	-23.3	-29.5	-30.5	6.2	7.2
	100	-48	-23.3	-29.5	-30.5	6.2	7.2

* 取 $Q = 2$

就会相应加快一些。表 3 和图 3 为根据制绳车间悬挂吸声板前后的房间常数,按式 (1) 求算车间长轴方向不同距离处的相对声压级

值的结果。

由表 3 可见,测点距离较近时,直达声占主要地位,随着离声源距离的增大,混响声比

例随之增大,通常将直达声与混响声作用相等的距离称为混响半径或临界距离^[4],即得:

$$r_c = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{QR}{\pi}} = 0.14 \sqrt{QR} \text{ (米)} \quad (5)$$

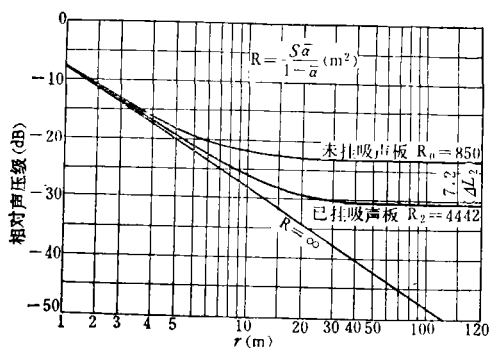


图 3 车间长轴方向不同距离点的相对声压级计算曲线

由上式求得制绳车间三种测定条件的混响半径分别为: 5.8 米、11.9 米和 13.3 米。在现场测量中,取车间长轴方向作了声场衰减实测,并以单开 12* 制绳机为声源,测得结果也与表 3 基本接近。

4. 降噪效果的主观评价

上钢二厂制绳工段的噪声问题由来已久,工人们迫切要求采取有效措施降低噪声,以改善劳动环境。由于垂直悬挂空间吸声板降低大面积车间噪声在国内还是第一次尝试,有些同志对这种治理措施缺乏信心,担心化了投资得不到效果。而当空间吸声板吊装完毕后,普遍认为降噪效果显著。

结 语

通过应用垂直悬挂空间吸声板降低大面积车间噪声的实践,表明这种吸声降噪新技术首先可显著节省材料,比常规整片满铺式吸声平顶可节省 60%,而且不用钢材、木材和水泥,材料来源充足。其次,采用无骨架、垂直悬挂方式,大大减轻重量,为老厂房吸声降噪治理提供了有利的条件。加上吸声材料用量减少,投资也相应节省,以制绳车间为例,共花费 3.6 万元,其中 85% 为材料费,15% 为加工安装费,按车间面积折合 12 元/平方米。垂直悬挂空间吸声板制作简单,施工方便,还可发展成定型标准产品,便于推广应用。若能在设计中注意采光、通风及美观等因素,与建筑设计密切配合,则可取得更臻完善的效果。

参 考 文 献

- [1] Beranek, L. L., *Noise Reduction*, p. 595—598. New York, (1960).
- [2] Liquorish, A. B. (etc.), *Handbook of Noise and Vibration Control*, London, (1979).
- [3] 陈绎勤, 关于我国环境噪声标准的建议, 环境科学, 1, 1, 71—74(1980).
- [4] Czarnecki, S., *Noise Control Aspects Inside Industrial Hall*, Inter-Noise p. 183—190 (1975).
- [5] 子安胜著,高履泰译,建筑吸声材料, p. 17—33, 中国建筑工业出版社, (1975).

水中痕量三价砷和五价砷的测定

姜 永 清

(中国科学院西北水土保持研究所)

一、仪器和试剂

1. 仪器 72 型分光光度计 (1 厘米比色槽), 自动过滤装置, 砷化氢发生装置。

2. 试剂 全部用分析纯试剂, 用无离子

水配制。

(1) 砷标准溶液 $As(III)$ 储备液用一级纯 As_2O_3 配制, 含 $As(III)$ 量为 100 微克/毫升; $As(V)$ 储备液用 $Na_2AsH_4O_4 \cdot 7H_2O$ 配制, 含 $As(V)$ 量为 100 微克/毫升。