

造价低廉的圆柱形空间吸声体的设计与应用

周兆驹

蔡彪

(山东建筑工程学院 济南 250014) (华东交通大学)

1994 年 12 月 15 日收到

摘要 本文通过对空间吸声体的造价分析,介绍了所设计的以镀锌电焊网为骨架的一种圆柱形空间吸声体。这种空间吸声体结构简单、造价低廉,比常规做法节省资金约 50%。将这种吸声体用于济南铁路体育馆的声学改造工程,收到了良好效果。

关键词 空间吸声体, 造价, 骨架

The design and application of low-cost cylindrical suspension absorber

Zhou Zhaoju

(Shandong Architectural and Civil Engineering Institute Jinan 250014)

Cai Biao

(Jiaotong University of Eastern China)

Abstract This paper analyses the cost of suspension absorbers and describes a kind of cylindric one which we designd and whose skeleton is made up of zinc-plated welded wire netting. This suspension absorber is simple in structure, convenient in construction and low in cost, which is decreased by 50%, It is used to improve the room acoustics of Tielu Gymnasium in Jinan with good results.

Key words suspension absorber, cost, skeleton

1 引言

我国是一个发展中国家,资金矛盾相当突出,因此造价常成了工程设计的主要因素,我们在济南铁路体育馆声学改造工程设计中首先遇到的便是经济问题。

济南铁路体育馆初始设计为一座练习馆,后在建造中升级为一座现代化体育馆。体育馆比赛大厅容积为 21440 m^3 ,拥有 1266 座,平均每座容积达 12.9 m^3 ,为国内同类体育馆 2 倍以上^[1],500 Hz 时空场混响时间长达 4.81 s,比赛时大厅内嘈杂一片。体育馆选用了性能优良的美国电声设备,但仍无法听清语

言。在这种情况下,体育馆不得不考虑对大厅的建声进行改造。体育馆竣工不足半年,拖欠工程款尚未还清,再投资进行声学改造犹如雪上加霜,虽经努力但可供使用的资金只有 5 万元,因此整个设计只能在此限度内进行。

经过声学测试,判定该体育馆的主要声学问题是混响时间过长。控制混响时间的最经济手段是在大厅内悬挂空间吸声体。根据我们对以往工程的核算及市场调查,照展开面积算,按常规设计的空间吸声体每平方米造价在 100 元左右,加上吊装费等约为 120 元,据此推算,本体育馆声学改造至少需 12 万元,是投资所不允许的。因此,改变常规结

构做法,设计出一种造价特别低廉的空间吸声体成了工程关键。

通过精打细算和反复试验,我们设计出了以镀锌电焊网为骨架的圆柱形空间吸声体。这种吸声体不仅材料低廉,而且由于结构简单,节省了施工费用,造价比常规做法节省50%左右,整个工程仅耗资4.9万元,未突破预算。竣工后的鉴定表明,声学改造目标也已实现,且吸声体装饰效果良好,受到有关方面赞扬。

2 吸声体的结构设计

空间吸声体可做成不同形状,如上海黄浦体育馆用的空间吸声体为“十”形,亚运村大学生体育馆用的是五角形十二面体,光彩体育馆用的是斗形,此外还有平板形、锥形、腰鼓形等。但无论形状如何,吸声体基本结构包括三部分:(1)多孔吸声材料;(2)骨架;

(3)护面与饰面材料。因此要节省吸声体整体造价,结构的每一部分均应节省。

多孔吸声材料种类很多,但适用于空间吸声体的材料并不多。从施工方便,确保声学性能、防火等方面考虑,常使用的材料为玻璃棉、岩棉、泡沫塑料。在玻璃棉产品中,离心玻璃棉毡由于无碴球、不刺痒皮肤、吸湿率小、稳定性好等优点而被优先选用。在泡沫塑料制品中,阻燃型聚氨脂泡沫塑料由于吸声性能好、防火性能好等优点而被优先选用。

表1为这三种材料价格与吸声性能比较。由表可见,它们的吸声性能相近,而阻燃型聚氨脂泡沫塑料的价格却贵得多,故不予选用。岩棉毡价格虽比离心玻璃棉便宜一些,但施工时有刺痒皮肤等缺点,且容重太大,故亦不予选用。这样就确定了使用上海平板玻璃厂生产的离心玻璃棉作吸声材料。

上海产离心玻璃棉制品中有一种是套管

表 1 三种吸声材料价格与吸声系数表

材料名称	容重 kg/m³	厚度 cm	价格 元/m²	吸声系数					
				125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 Hz	4 Hz
离心玻璃棉毡	24	5	21.80	0.20	0.35	0.75	0.97	0.90	0.90
岩棉毡	175	5	19.25	0.18	0.44	0.75	0.82	0.87	0.84
阻燃聚氨脂泡沫塑料	30	4	44.64	0.15	0.40	0.50	0.86	0.97	0.92

,它已自成型为空间吸声体,不必用骨架,且有较好声学性能^[2],但其价格太高,如Φ400套管,每米108元,从经济考虑,不能选用,所以仍选用离心玻璃棉毡加骨架的结构。

骨架的作用是支撑空间吸声体成型,通常使用木龙骨或轻钢龙骨。为了节省资金,厂家一般并不购买商品轻钢龙骨,而是将钢板截成条,用机器折弯成“L”形作龙骨。尽管这样,龙骨的造价在空间吸声体总造价中仍占有较高比例。以1m宽,2m长,0.08m厚平板状空间吸声体为例,龙骨架占总造价48%,表2列出了这种吸声体的造价明细。当这种平板状空间吸声体尺寸加大至2m宽、3m长时,为了保证悬挂时不致变形,轻钢龙骨的截应用声学

表 2 某平板状空间吸声体造价明细

材料名称	单位	数量	金额 (元)	占总造价 百分比
离心玻璃棉	kg	3.84	64	30.6%
骨架	L形轻钢龙骨	m	22.90	48.3%
	加工制作费		32	
玻璃丝布	m²	5.2	4	1.9%
面板	塑料薄板	m²	16	9.6%
	穿孔加工费		4	
自攻螺丝、油漆			8	3.8%
吸声体装配人工费			12	5.7%
总 造 价			209	100%

面尺寸要加大,龙骨架在总造价中的比例将升至56%。由上分析可见,选择合适的吸声体形状,控制其尺寸,确定合适的骨架材料是降低空间吸声体造价的主要途径。

经过反复比较,选用了圆柱形空间吸声体,这一方面是由于柱形空间吸声体有较高吸声系数^[2],另一方面是由于圆柱形空间吸声体易于成型。在吸声体的直径选择方面,根据参考资料^[2]的介绍,加大直径可以提高低频吸声系数,但直径太大,吸声体刚度变差,需要较为坚挺的骨架,制作费用加大。经过试验,吸声体直径选用390 mm,并用17号镀锌电焊网作骨架。这种镀锌电焊网,网孔尺寸为1(25.4 mm)见方,每卷长30.48 m,制作时截取每段长1.245 m,卷成 Φ 390圆筒,并将剪断处铁丝相互勾连成型,不必焊接。按侧面积计算,每平方米骨架仅为8.58元,较之轻钢龙骨节省得多。上海产的离心玻璃棉毡宽度为1.22 m,恰可卷成直径略小于390 mm的圆筒置于骨架内侧,故施工十分方便。

吸声体罩面材料选用色彩鲜艳、透声性能好、价格低廉的尼龙丝布,每平方米合6.12元。制作时先将尼龙丝布做成口袋状,然后套在骨架上,再将上口边缝在骨架上。为了美观,加缝异色腰环带一道。

整个吸声体外形与结构如图1所示。每个吸声体造价44.1元,按侧面展开面积计算,每平方米合39.5元。

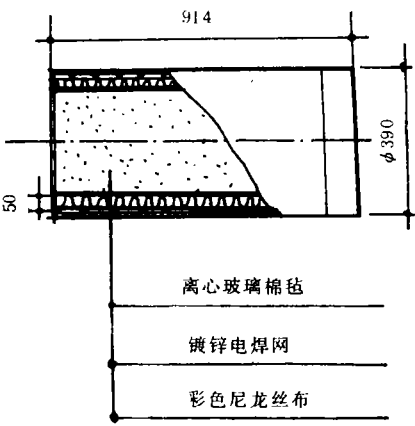


图1 吸声体外形与结构

3 吸声体布置及声学效果

吸声体用8号铁丝勾挂于网架上弦杆下,为防止对灯光及扬声器的遮挡,吸声体位于灯具平面及扬声器以上并均布于网架空间,如图2所示。制作的1050个吸声体有红、黄、兰三色、成片布置,以与座椅色彩相映。

竣工后,用B&K4418、4224、2230等仪器进行了声学测定,结果如下:

(1)混响时间

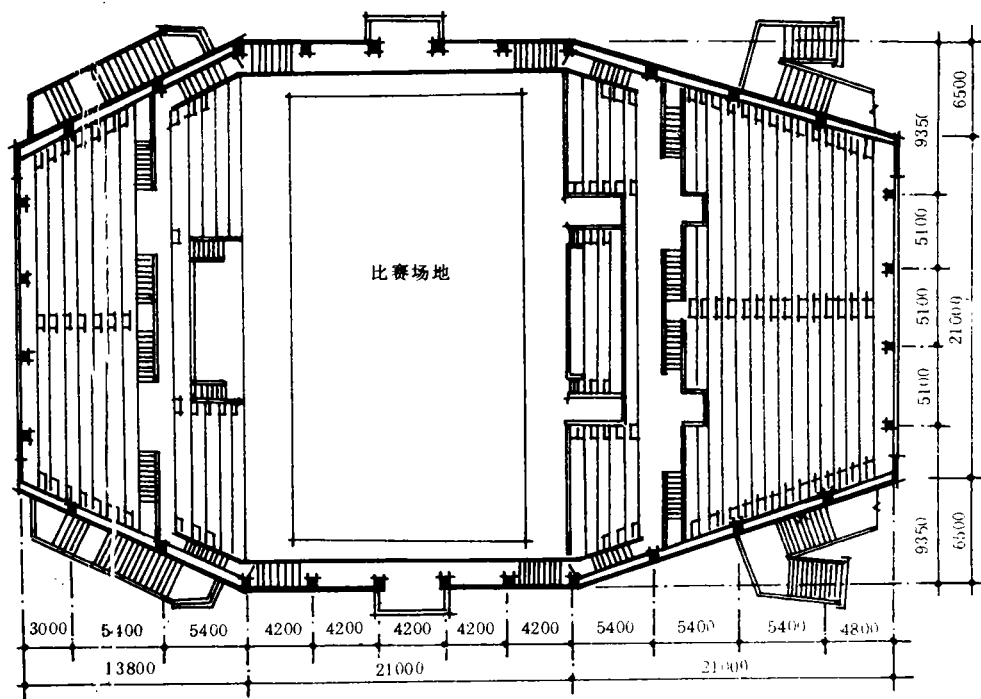
混响时间如表3所示,基本达到了设计目标。经有关声学专家监听及观众反映,体育比赛和集会时声音清晰,播放乐曲音质饱满,声

表3 济南铁路体育馆空场混响时间 (s)

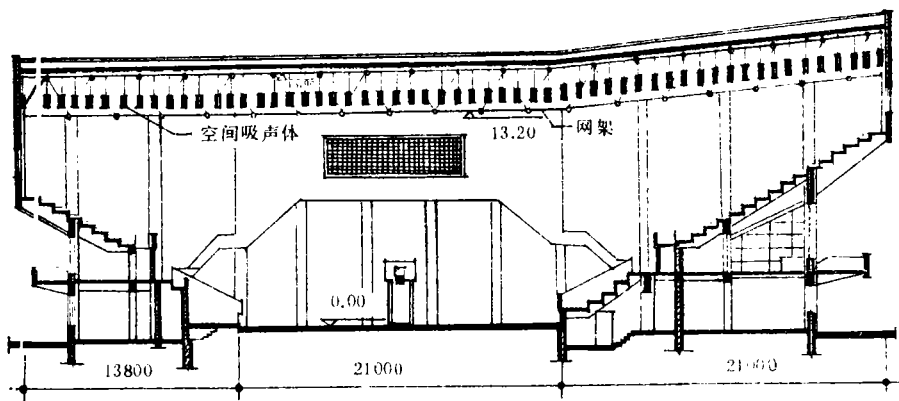
项目	$\frac{1}{3}$ 倍频带中心频率(Hz)																
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 K	1.25	1.6	2 K	2.5	3.15	4 K
改造前 实测值	5.05	5.02	4.42	4.51	4.55	4.82	4.93	4.81	4.87	4.95	4.89	4.83	4.61	4.31	3.92	3.47	2.93
设计值	2.90			2.60			2.40			2.40			2.20			2.00	
改造后 实测值	3.29	2.94	2.82	2.76	2.50	2.38	2.24	2.33	2.33	2.32	2.45	2.43	2.42	2.29	2.21	1.99	1.74

学效果已有根本性改善。

(2) 声场均匀度



(a)



(b)

图2 济南铁路体育馆平、剖面

(a) 平面图 (b) 剖面图

用体育馆的电声系统作声源的测定结果如表4所示。测定结果表明,挂吸声体后,声场仍比较均匀。

1/3倍频带中心频率(Hz)	500	2000	4000
挂吸声体前	±1.0	±0.8	±1.2
挂吸声体后	±2.0	±2.0	±2.2

参考文献

- [1] 项端祈, 陈金京, 王峰等. 应用声学, 1990, 9(2): 5--10.
- [2] 钟祥璋, 刘伯伦. 应用声学, 1992, 11(2): 24--27.