

多功能剧院音乐反射罩的设计与应用

余 斌

(华东建筑设计研究院有限公司章奎生声学设计研究所, 上海 200070)

摘要: 当剧院兼用大型交响乐、室内乐或合唱音乐演出时, 舞台上必须增设音乐反射罩, 既有助于将乐队演奏声送至听众席和平衡乐队演出, 也可改善观众厅内的音质。音乐反射罩是多功能剧院舞台工艺的重要设施之一。主要介绍音乐反射罩的六个工程应用实例, 并对增设乐罩前后观众厅的实测结果作分析总结。对比舞台上增设乐罩前后观众厅音质参量混响时间、早期衰变时间、明晰度和声场力度的变化, 发现舞台增设乐罩后, 显著降低了舞台空间和观众厅空间的耦合作用, 两者形成一个整体使观众厅有效声学容积增大。由于乐罩对低频声能的吸收, 低频混响时间不但没有提升, 反而略有下降。单就混响时间的频率特性而言, 增设乐罩的多功能剧院与专业音乐厅仍存在较大的差距。增设乐罩后, 观众厅内明晰度降低, 而声场力度得到了较大的提升。

关键词: 多功能剧院; 音乐反射罩; 混响时间; 声场力度

中图分类号: TB533

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2014)-03-0250-05

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2014.03.013

Design and application of acoustic reflecting shell for modern multi-functional theatre

YU Bin

(Zhangkuisheng Acoustical Design & Research Studio, East China Architectural Design & Research Institute Co., LTD, Shanghai 200070, China)

Abstract: An acoustical reflecting shell must be installed on stage, when a symphony, chamber music or choral music performs in theatre. Acoustical reflecting shell is one of the most important facilities for multi-functional theatre. It helps to reflect sound to audience area, improve sound quality of auditoriums and interaction between the band members. This paper mainly describes the application examples and acoustical measurement results. The acoustical reflecting shell on stage significantly reduced the coupling effect between stage space and audience hall, thereby increased the reverberation time of audience hall except that of the low frequency part. A multi-purpose theatre with a reflecting shell on its stage fails to make a sound quality as good as that in a concert hall. By installing a cover on the stage, the clarity of audience hall decreases, while the sound strength is greatly improved.

Key words: multi-functional theatre; acoustic reflecting shell; reverberation time; sound strength

0 引言

剧院与音乐厅空间的最大区别在于音乐厅的空间是完整的单一空间, 乐队演奏时所处的乐台与观众厅同属一个空间; 而剧院的舞台和观众厅分属两个相耦合的空间, 为使两空间的混响时间接近, 要求舞台内墙面做吸声处理, 大量的声能逸散到舞台空间并被墙面布景吸收而得不到有效利用^[1,2]。为了在剧院中构造类似于专业音乐厅的空间形式和声场条件, 以便适合交响乐、室内乐或合唱等演出, 通常均在舞台上设置可移动、便于装拆的舞台音乐反射罩^[1]。

舞台音乐反射罩, 简称乐罩, 主要用于自然声演唱(奏)音乐时改善观众厅的音质效果, 是交响乐、室内乐和合唱等演出时的声学功能设备, 现已成为新建或改建的兼顾自然声演出的多功能剧院所必备的设施。本文对乐罩改善观众厅各项声学指标情况进行了详细的梳理总结和分析。

1 乐罩的预期声学功能

乐罩是在多功能剧院里进行自然声演出时必不可少的舞台设施, 乐罩对剧场观众厅的音质有重要影响, 同时也对舞台演奏区音质的改善产生重要的作用。

乐罩的声反射和声扩散设计得当, 可以改善乐队乐师之间及指挥、演员和乐队之间的相互听闻, 有利于伴奏、演唱的协调及合奏与协奏的同步, 使

收稿日期: 2013-11-16; 修回日期: 2014-01-24

作者简介: 余斌(1985—), 男, 江西上饶人, 硕士, 研究方向为剧院音质设计和噪声治理。

通讯作者: 余斌, E-mail: yohinsan@163.com

演奏者正确地掌握力度和速度，达到演奏的平衡和融合。

乐罩的声学作用主要表现在对观众厅内音质的改善，不仅罩内包络空间融合为观众厅的延续部分，还为观众区前部增加了早期反射声，并消除了舞台与观众厅之间通过台口耦合引起的声能衰减缺陷^[3]。

2 乐罩的工程应用实例

专一用途剧院投资规模大，利用率低，维护管理费用高，而多功能剧院可以一厅多用，经济效益好，是未来演艺建筑建设的主要发展方向。

本节主要介绍多个多功能剧院增设乐罩前后的实测音质参量对比结果，包括混响时间 RT (单位: s)，早期衰变时间 EDT (单位: s)，音乐明晰度 C_{80} (单位: dB)，以及声场力度 G (单位: dB)。在厅堂音质设计中最重要音质参量是混响时间，被公认为是概念明确、与主观感受密切相关的客观参量。

2.1 北京保利大剧院乐罩

北京保利大剧院为 1500 座的多功能剧院，可接待大型歌剧、交响乐、芭蕾舞、音乐剧等各种类型的演出。北京保利大剧院乐罩内景如图 1 所示。

乐罩采用封闭的组合形式，顶板和后板采用电动悬吊方式，侧板采用可移动的单元拼接而成。前高 9 m，后高 5.5 m，前宽 18 m，后宽 11 m，进深 11.5 m。可供大型交响乐团和各类室内乐演出。



图 1 北京保利大剧院乐罩内景
Fig.1 Acoustic reflecting cover of Beijing Poly Theatre

由图 2 可见，增设乐罩后，中高频混响时间增加约 0.4 s，中频空场混响时间平均值达到 1.75 s，能够满足大型交响乐演奏的混响要求；低频混响时间没有提升，反而在 125 Hz 倍频程有所下降，低音比小于 1。中高频早期衰变时间提升约 0.4 s，低频部分提升约 0.1~0.3 s，早期衰变时间接近混响时间，表明增设乐罩后声能衰减特性得到改善，舞台口的耦合作用减弱。音乐明晰度降低 4~5 dB， $C_{80}(3)$ 约 -1.6 dB，在音乐类演出对明晰度的建议范围内。增设乐罩后，声场力度在全频带有 1.5~3.5 dB 的提升，

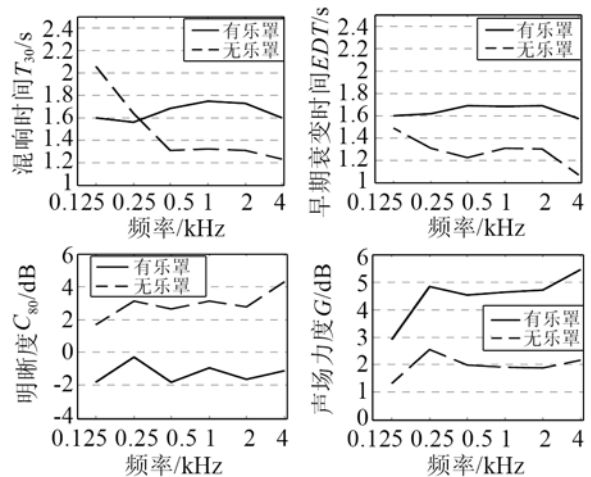


图 2 北京保利大剧院增设乐罩前后音质参量对比
Fig.2 Acoustical parameters with or without acoustic reflecting cover for Beijing Poly Theatre

G_{mid} 为 4.6 dB，适宜演奏交响乐和室内乐。

2.2 无锡大剧院乐罩

无锡大剧院为 1680 座的大型多功能现代化剧院。无锡大剧院乐罩内舞台面积约 118 m²，可以满足四管制乐队加 100 人合唱团的演出要求。乐罩面板构造为铝蜂窝板，表面贴竹板，共约 20 mm 厚。

声学设计要求面板的面密度不小于 15~20 kg/m²；顶板前后倾角 15~20°；侧边板数控制在 4~5 块，以便装卸；侧边板和后挡板宜留适当大小的缝，让后部打击乐的声能发散一部分。无锡大剧院乐罩的平、剖面图见图 3，侧板、后板和顶板均做有折线形的扩散造型。

图 4 为无锡大剧院增设乐罩前后音质参量对比。增设乐罩后，中高频和低频 250 Hz 倍频程混响时间增加 0.2~0.3 s，中频空场混响时间平均值达到 1.9 s，能够满足大型交响乐演奏对混响时间的要求；低频 125 Hz 倍频程有约 0.5 s 的下降，低音比小于 1。中高频早期衰变时间提升约 0.2~0.3 s，低频部分有 0.09~0.15 s 的提升，在全频段接近混响时间，舞台口的耦合作用减弱。音乐明晰度有大约 3 dB 的降低， $C_{80}(3)$ 约为 -0.6 dB。

2.3 恩施州文化艺术中心大剧院乐罩

恩施州文化艺术中心大剧院乐罩面板为铝蜂窝板，表面贴不粘胶，厚共约 20 mm，轻钢龙骨做支撑。图 5 为恩施州文化艺术中心大剧院乐罩内景和背面支撑结构图。侧板和后板为折线造型，顶板为弧形造型。

增设乐罩前后的音质参量对比见图 6。由图 6 可知：中高频混响时间显著增大，提升约 0.2 s；低频混响时间几乎无变化。早期衰变时间提升至与混

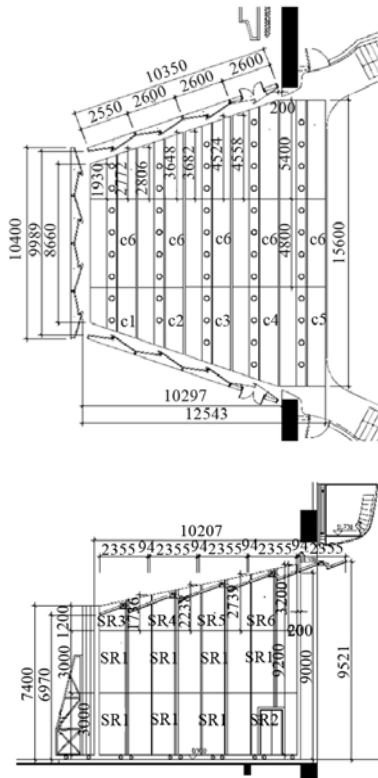


图3 无锡大剧院平、剖面图

Fig.3 Plane and sectional drawings of acoustic reflecting cover for Wuxi Grant Theatre

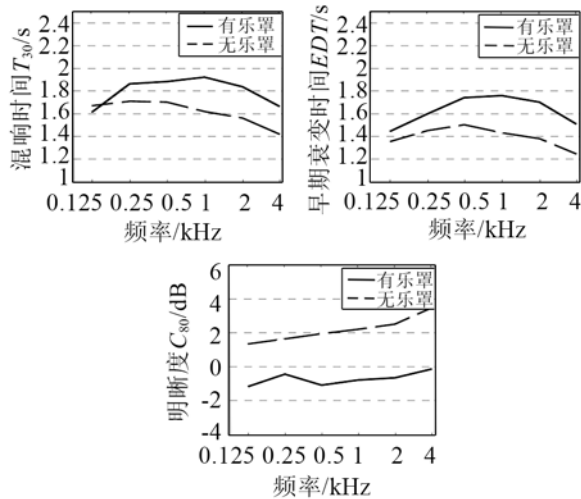


图4 无锡大剧院增设乐罩前后音质参量对比

Fig.4 Acoustical parameters with or without acoustic reflecting cover for Wuxi Grant Theatre

响时间接近,在全频带提高约 0.3 s。音乐明晰度降低约 3 dB, $C_{80}(3)$ 约为 -0.1 dB, 在建议范围内。中高频和 250 Hz 倍频程的声场力度增加约 2 dB, 而低频 125 Hz 倍频程的声场力度没有变化。

2.4 上海文化广场大剧院乐罩

上海文化广场大剧院为 2010 座的大型多功能剧院。乐罩由一套顶片、两套侧片和一套后片构

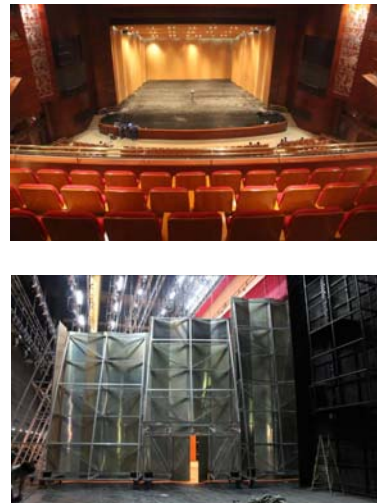


图5 恩施州文化艺术中心大剧院乐罩内景和背面支撑结构

Fig.5 Acoustic reflecting cover of Enshi Cultural Center Theater

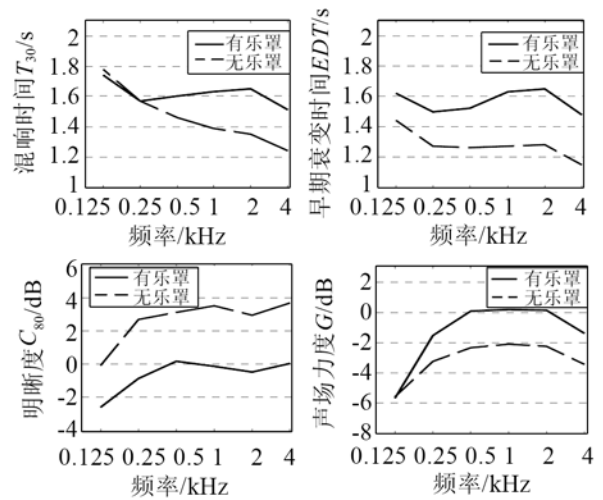


图6 恩施州文化艺术中心大剧院增设乐罩前后音质参量对比

Fig.6 Acoustical parameters with or without acoustic reflecting cover for Enshi Cultural Center Theater

成;乐罩内各个单元内表面装修材质为 20 mm 厚的铝蜂窝板,用抽芯铆钉牢固地附着于单元结构钢架上,铆钉间距不大于 300 mm。乐罩可容纳三管满编交响乐团的演出和四排合唱团的位置。后片底部采用单面穿孔蜂窝板材料,以吸收部分打击乐的声能。乐罩内景和背面支撑结构见图 7,侧板、后板和顶板均为外凸的弧形造型。

增设乐罩前后音质参量对比如图 8 所示。由图 8 可知,增设乐罩后,中高频混响时间增加 0.2~0.6 s,中频空场混响时间平均值达到 1.75 s;低频 125 Hz 和 250 Hz 倍频程混响时间几乎没有提升,低音比小于 1。早期衰变时间在全频带提升 0.2~0.6 s,与混响时间的取值和频率特性趋近。音乐明晰度在全频带降低约 3 dB, $C_{80}(3)$ 降低至 -0.26 dB,在设计范围内。声场力度在全频带增加约 1 dB, G_{mid} 增大至 0.2 dB。

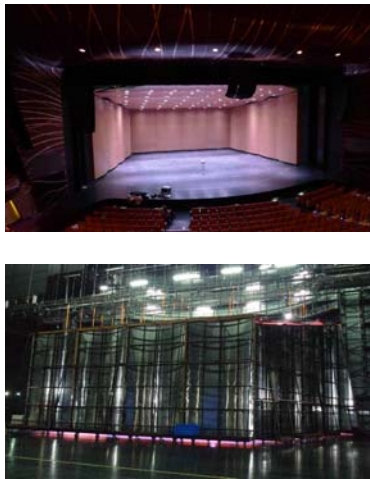


图 7 上海文化广场大剧院乐罩内景和背面支撑结构
Fig.7 Acoustic reflecting cover of Shanghai Culture Square Theatre

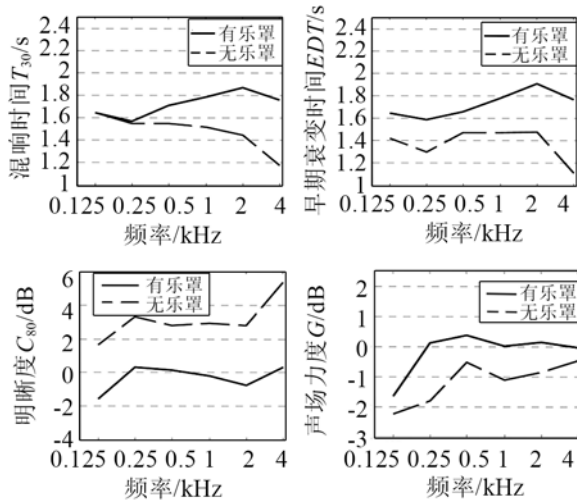


图 8 上海文化广场大剧院增设乐罩前后音质参量对比
Fig.8 Acoustical parameters with or without acoustic reflecting cover for Shanghai Culture Square Theatre

2.5 上海大剧院乐罩

上海大剧院为国内第一个 1760 座的大型多功能现代化剧院，1998 年建成时曾有一个端室式可伸缩气垫移动式大乐罩，后因重量大，气垫失效后改为木质板分离式乐罩使用至今。因 2013 年上海大剧院要进行大修，章奎生声学所再次对观众厅进行了有无乐罩条件下的建声测量，吸声帘幕全部收起，确保测量时观众厅的混响时间最长。

由图 9 可知，增设乐罩后，中高频混响时间有 0.2~0.3 s 的提升，低频 250 Hz 倍频程的混响时间无明显变化，而低频 125 Hz 倍频程的混响时间有约 0.3 s 的下降，这表明乐罩对低频声能的吸收较多。中高频音乐明晰度降低 4 dB 左右，低频音乐明晰度降低约 2 dB， $C_{80}(3)$ 约为 0.2 dB。声场力度提升约 1 dB， G_{mid} 提升至约 0.5 dB。

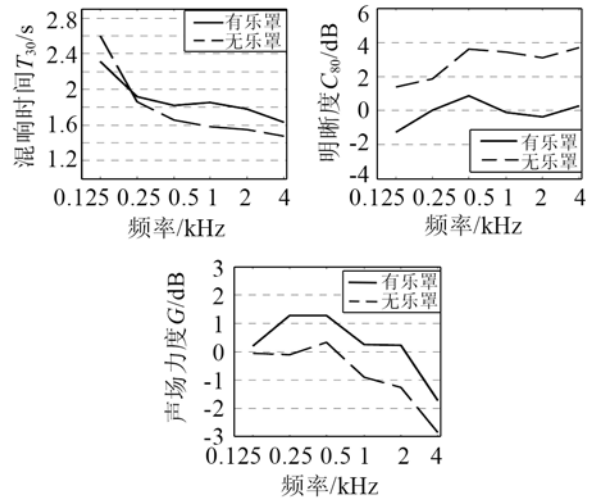


图 9 上海大剧院增设乐罩前后音质参量对比
Fig.9 Acoustical parameters with or without acoustic reflecting cover for Shanghai Grant Theatre

2.6 东莞玉兰大剧院乐罩

东莞玉兰大剧院为 1600 座的多功能现代化剧院，舞台上可增设分离式乐罩，以满足演奏大型交响乐的要求。增设乐罩前后音质参量对比见图 10。

由图 10 可知，增设乐罩后，中高频混响时间有 0.1~0.2 s 的提升，低频 250 Hz 倍频程的混响时间无明显变化，而低频 125 Hz 倍频程的混响时间有约 0.2 s 的下降。早期衰变时间在全频段约降低 0.2 dB。音乐明晰度降低 2 dB 左右， $C_{80}(3)$ 约为 0.7 dB。声场力度提升约 1 dB， G_{mid} 提升至 0.5 dB。

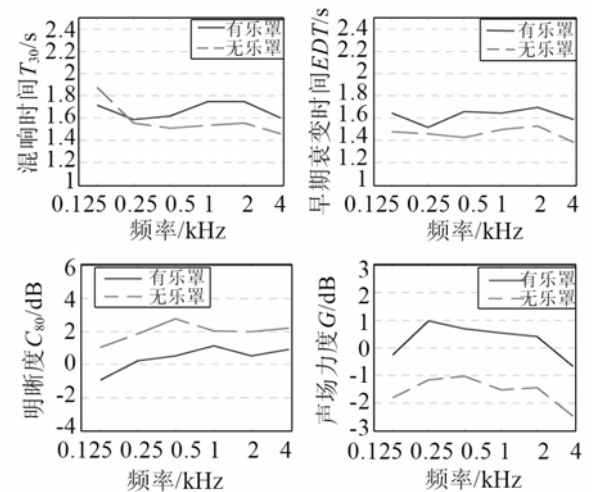


图 10 东莞玉兰大剧院增设乐罩前后音质参量对比
Fig.10 Acoustical parameters with or without acoustic reflecting cover for Dongguan Yulan Theatre

3 结论

综合 6 个增设乐罩前后多功能剧院观众厅的实测结果，分析可得以下几点结论：

(1) 舞台增设乐罩后,显著降低了舞台空间和观众厅空间的耦合作用,两者形成一个整体使观众厅有效声学容积增大,导致厅内中高频混响时间可普遍增加 0.2 s 以上。

(2) 由于舞台荷载有限和便于装卸,乐罩面密度较低(一般声学最低要求为 $15\sim 20\text{ kg/m}^2$),面板共振导致低频声能的过量吸收,使低频混响不但没有提升,反而略有下降。单就混响时间的频率特性而言,增设乐罩的多功能剧院与专业音乐厅仍然存在较大的差距。声学建议龙骨支撑要贴紧面层,尽可能增加接触点的数量,有条件时可增加面板的面密度并加阻尼层。

(3) 增设乐罩后,舞台口的耦合作用减弱,早期衰变时间更加接近混响时间,且在全频带均有提升。增设乐罩后,明晰度 C_{80} 显著降低,声音感觉更加丰满,适合音乐类节目的演出。增设乐罩后,观众厅内声场力度得到较大的提升,更适宜纯自然

声条件下的演出。

致谢:本文从构思到撰写的整个过程都得到了章奎生教授的亲自指导,深表感激和荣幸。本文中的所有现场实测数据均是章奎生声学设计研究所全体同事的辛勤劳动成果,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 吴硕贤. 音乐罩的声学效果与设计[J]. 南方建筑, 1998(4): 71-73.
WU Shuoxian. Acoustic effects and design of music cover[J]. South Architecture, 1998(4): 71-73.
- [2] 王峥, 项端祈. 建筑声学材料与结构——设计和应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006: 127-170.
WANG Zheng, XIANG Duanqi. Building Acoustics Materials and Structures-Design and Application[M]. Beijing: China Machine Press, 2006: 127-170.
- [3] 张三明. 剧场舞台声反射罩极其设计[J]. 演艺设备与科技, 2005(3): 17-21.
ZHANG Sanming. Acoustical reflecting cover and its design[J]. Entertainment Equipment and Technology, 2005(3): 17-21.