

建筑声学与噪声控制

技术资料选编

华东地区建筑设计标准化办公室

建筑声学与噪声控制技术资料选编

本选编内容选自1981年3月华东地区建筑声学与噪声控制技术交流会交流资料。上海工业建筑设计院声学组协助编辑出版工作，特此致谢。

华东地区建筑设计标准化办公室

一九八一年十月

建筑声学与噪声控制技术资料选编

上海工业建筑设计院声学组 编辑

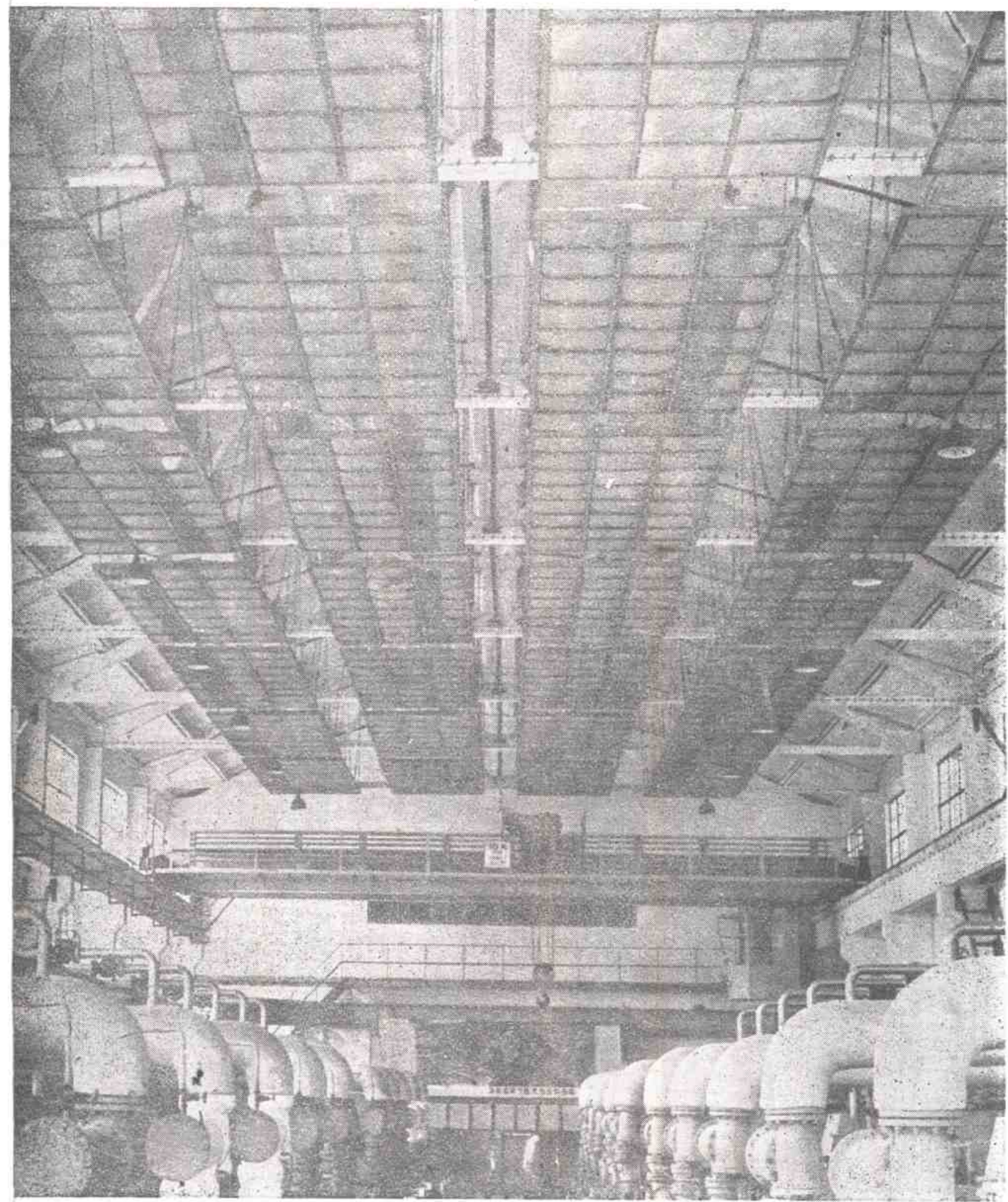
*

华东地区建筑设计标准化办公室 出版
(上海汉口路一五一号)

浙江省浦江县印刷厂 印刷

*

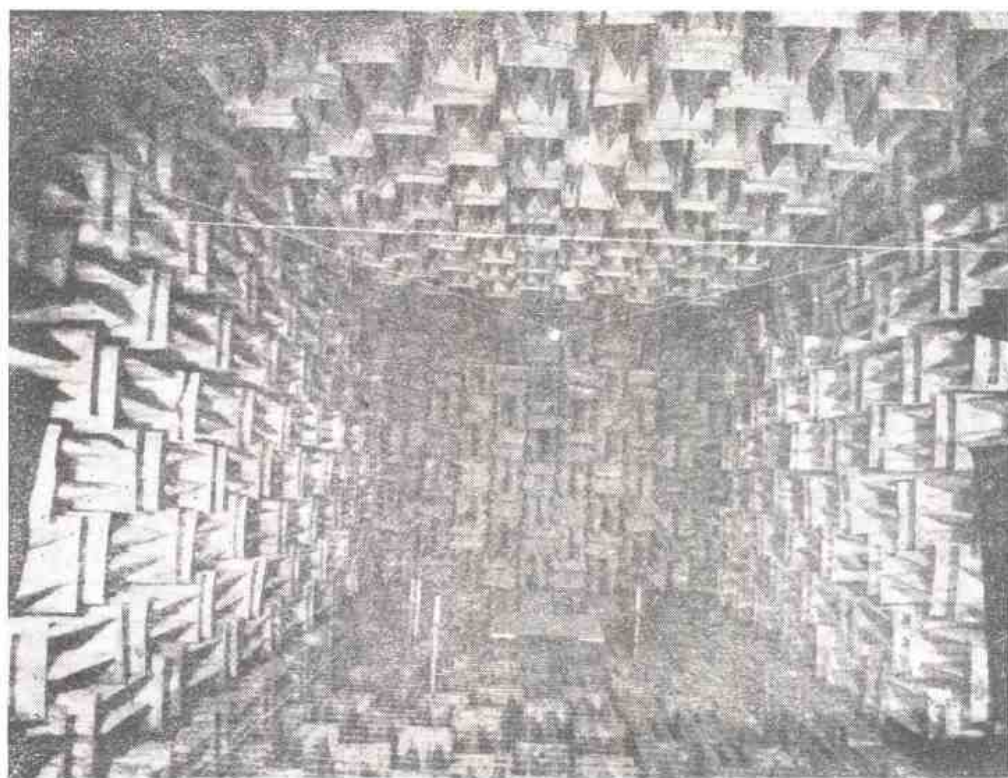
字数300000 印数1~5000 定价2.00元



上海石化总厂腈纶厂冷冻站浮云式空间吸声板平顶



苏州饭店友谊会堂侧墙扩散体



中国唱片消声室

目 录

厅堂音质发展概况

同济大学声学研究室 王季卿..... (1)

河南省人民会堂的声学设计

同济大学声学研究室 王季卿 钟祥瑞..... (6)

上海体育馆声学设计

上海市民用建筑设计院 徐之江等..... (15)

南京五台山体育馆建筑声学设计与分析

南京工学院建筑系 甘 桢等..... (22)

崇明县广播站声学设计

上海市民用建筑设计院 刘呈莺..... (27)

强吸声新型录音棚的声学设计和调试

上海市民用建筑设计院 徐之江..... (35)

同济大学新建声学实验室设计

同济大学声学研究室 王季卿..... (44)

中国唱片厂消声室声学设计与试验总结

上海工业建筑设计院 章奎生..... (50)

测听室建筑声学设计

合肥工业大学 邓 焱..... (58)

高层旅游旅馆建筑中的噪声控制

北京市建筑设计院研究所 项端祁..... (66)

隔声构件与住宅隔声

中国建筑科学研究院建筑物理研究所 吴大胜..... (78)

提高轻板隔墙隔声性能的实验研究

同济大学声学研究室 王季卿..... (85)

近年来上海所建住宅的隔声实况

上海市民用建筑设计院 朱茂林..... (96)

工业噪声控制概述

中国建筑科学研究院建筑物理研究所 张敬凯.....(100)

浮云式空间吸声板声学性能的实验研究

上海工业建筑设计院 章奎生.....(106)

垂直悬挂空间吸声板降低大面积车间噪声的设计与应用

上海工业建筑设计院 章奎生.....(114)

节流降压小孔喷注复合消声器的试验研究

上海工业建筑设计院 顾身信等.....(123)

高压风机消声器系列《F型阻抗复合式消声器》设计试验报告

上海工业建筑设计院 顾身信等.....(130)

有源消声器综述

南京大学声学研究所 孙广荣等.....(142)

几种橡胶隔振器的隔振性能的分析

上海市民用建筑设计院 徐之江.....(147)

新型隔振材料——WJ橡胶隔振垫

上海市民用建筑设计院 徐之江.....(153)

声屏障控制车间内部噪声的研究与应用

上海市机电设计院 蒋智元.....(158)

机械通风冷却塔噪声及其防治

上海化工设计院 梁其和.....(164)

园锯机噪声控制研究

六机部第九设计研究院 刘利民等.....(176)

苏州市环境噪声分布现状的普查

苏州市环境保护局 章荣发等.....(186)

汽车喇叭声学性能对改善城市交通噪声的研究

同济大学声学研究室“城市噪声控制”小组.....(194)

工业声控制实例(照片).....(200)

◀ 产品介绍 ▶

厅堂音质发展概述

同济大学声学研究室 王季卿

我国正处在经济调整阶段,大型厅堂的建造不会很多,似乎研究厅堂音质有点不合时宜。但是从过去多年工作经验来看,每当一项重要厅堂工程上马时,又极为仓促,感到没有科学研究储备,于是一些老大难问题在施工图催逼之下无法进行深入考虑,更不用说突破了。再说,国内建筑界,包括层层审批的领导部门及领导人,重形式轻内容的倾向非常严重,受老框框思想的束缚也相当严重。就声学技术而言,对于音质方面的基础研究开展很少,尤其是适合国情方面的经验总结做得很不够,也是阻碍大厅音质设计推向前进的一个主要原因。所以我想目前来探讨一些厅堂音质设计问题,不失是一个机会。本文介绍侧重于国外情况,限于印刷条件,有些结合图片介绍的内容只能从略。

一、简单的历史回顾

厅堂音质和经济发展关系密切,大规模建设促使文化中心的建造精益求精。国外对音乐厅的声学设计尤其比较苛求,它不允许使用扩声系统,而容纳人数则往往接近3000。国外家用高传真电声设备很普遍,如果音乐厅用了扩声设备,人们尽可以在家享受唱片和录音带,或者收听收音机,何必化了很大代价去音乐厅呢?

人们总是怀念那些早期建造(甚至是上世纪末的)的音乐厅,认为新建的音质很少超过老的,他们从总结和剖析老音乐厅中得到不少启发,但是新时代的建筑又不允许完全模仿,有时就会出问题。

以1962年纽约新建的*Philharmonic Hall*

音乐厅来说,设计者是国际上非常著名而有经验的声学家,在设计之初还调查了国际上音质良好的四十个著名大厅,也总结出了若干条音质设计指标或措施,开幕前成立了专家组(包括著名指挥)进行音质调试。但是使用不到半年,公众对此厅音质不佳提出了强烈不满。认为低音严重不足,正向反射声太强而无“环绕感”,有些地方还出现回声干扰等等。于是重新聘请专家修改,前后改了三次,耗资不少,并没有收效,甚至更坏。这一事件的发生,引起了声学界极大注意,也推动了研究工作。直至1975年第四次改建时,不得不除结构外,全部拆掉重造,化费五百余万美元。建成后,把大厅名称也改为*Avery Fisher Hall*了。

有关*Philharmonic*大厅的音质问题,我们于1966年初写过一份资料⁽¹⁾,这里就不详谈了。但是由此而引起的一系列音质评价问题,有的已经澄清,有的尚待探索。

专用音乐厅的建造终究是少数,象日本这样国家迄今也还没有。大量的厅堂属于多功能、多用途,这就提出可变混响时间和舞台反射罩等一系列措施。从机械装置来说,这本来没有什么困难。前者则由于电子人工混响的发展,不仅使混响时间可变幅度增大,而且调节也方便得多。

近十年来国内也建造了一批影剧院(大多是2000人以下),在大厅体型上比较注意声线的反射图案,尤其在台口和侧墙部份的处理比过去有进步,例如大片平的台口平顶和台口侧墙使反射声能照顾前排听众,跌落式包厢和曲折侧墙的出现有助于侧向早期反射

声,也增加了厅内漫射程度。挑台的设计也尽量避免过深过低的缺点。大厅的体积与混响时间均经过考虑,滥用吸声材料的现象已较为少见。扩声系统的布置与建筑设计的配合逐渐走上正规,也就是说不再把扩声留在大厅建造以后去搞了。但还有一些问题解决得不够好,或者实践得不够。例如台口灯光地位受光源限制而无灵活余地,使这部份平顶及侧墙处理无法发挥。侧墙和平顶也往往限于一、二种样式的搬弄。看来声学处理的某些基本原则未为设计人所掌握,因而只能流于形式上的抄袭。有些反射面的处理也未能从三度空间的几何作图来考虑,它们的实效就不明显。乐池的设置,也是长期来认为不可不设,但用处不大的“包袱”。自从79年国内第一台升降乐池在郑州河南人民会堂按装以后,大家才认识到它的优越性,也破除一些认为复杂而费钱的想法。但是作为表演区的使用经验还很少,它的声学效果还有待总结。对扩声系统也存在两种倾向,一种是追求过高指标和复杂设备,另一种是以为有了扩声设备,就不注意建声设计。在扬声器布局方面受建筑装修限制也较多,开口尺寸过小的弊病普遍存在。

二、音质评价

(一)衰减评价标准

大家所熟悉的混响时间就是描述声场衰减过程的一个重要指标。就以混响时间来说,实测值往往比计算值为短。过去在计算公式上虽作过不少修正,但是从根本上来说,一个吸声处理很少的大厅中,有一个强的观众吸声面集中在地面,而经典的赛宾公式只适用于充分散射的声场,它完全不顾房间形状和吸声材料分布何处,只是考虑整个房间表面取算术平均的平均吸声系数 α 的效果。近年有人^[2]从理论上分析了只有一面墙作吸声处(正如有观众的大厅)时的衰减过

程,并通过计算和模型试验,发现吸声材料的位置及房间形状是有影响的,至于如何在大厅设计上作出正确计算还有待解决。

另一个问题是如何评价非指数式衰减的混响时间。过去强调大厅的衰减如果是非指数式的就表明音质不佳。而现代化的测试技术能够更仔细地观察到许多音质并不差的大厅的衰减往往是非指数式的,尤其在满场条件。于是有人提出取开始160毫秒内的混响曲线斜率来度量,或者取开始下降15分贝(有人建议10分贝)的早期衰减时间 EDT 来评价,它们与主观混响时间很是符合。这种直读式的混响时间计也已有商品供应。可是 EDT 的最佳值是多少,迄今还不清楚,所以实用中还未用来代替 T_{60} 的指标。

(二)能量评价标准

单凭混响时间一个指标来评价大厅音质是不够的,这在五十年代讨论很热烈。自从哈斯效应提出以后,人们对早期反射声能的重要作用很是注意。根据早期/混响声能之比与主观评价的关系,提出了声学比、明晰度 *Deutlichkeit* 和回声度 e 等等指标,它们有相似的含义,所不同者是所取的积分时间和混响声能相互关系的定义问题。以明晰度 D 为例,它的定义是

$$D = \frac{E_{\text{早}}}{E_{\text{混}}} = \frac{\int_0^{t_1} [g(t)]^2 dt}{\int_0^{\infty} [g(t)]^2 dt} \times 100\%$$

($t_1 \approx 50$ 毫秒)。

明晰度与语言清晰度关系见图1。

有人认为 t_1 不能一刀切,应按延迟时间作渐变考虑,即在 t_1 时间内取不同加权函数 $a(t)$,于是

$$E_{\text{早}} = \int_0^{t_1} a(t) [g(t)]^2 dt$$

而且 t_1 可计算到95毫秒。

有人把早期反射声与亲切感联系起来,并把它看作是大厅音质各项指标中有举足轻

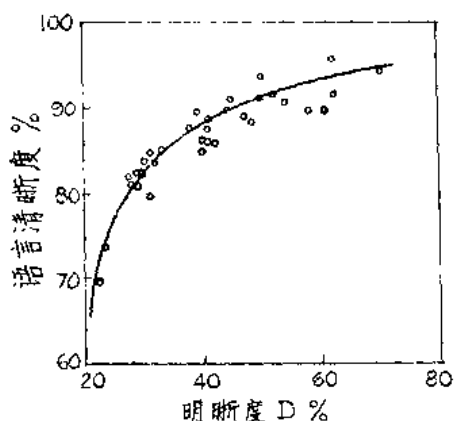


图1 明晰度D与语言清晰度的关系

重的地位^[3]。它的评价指标是初始时间延迟间隔,如果控制在20毫秒以内效果最佳,超过70毫秒则亲切感就完全丧失。

根据这一原理而发展起来的浮云反射板,曾风靡一时。在一个大型厅堂中,既可以藉此产生早期反射声,又因为它们是多空的平顶,部份声能透过反射板使混响需要的大空间并未因此缩小。这样设计的许多大厅也确实获得了良好音质评价,例如美国Tanglewood音乐棚,Clowes会堂,加拿大La Grande Salle艺术宫等等。不幸的是纽约Philharmonic音乐厅的悲剧也出在这些浮云反射板上。有人就批评这种做法一无是处,原设计者则找出种种理由来辩护^[1]。如在1979年全国第二届声学会议的开幕式上特邀报告中原设计者还提到这问题^[4]。看来早期反射声固然重要,但如果太强而且仅仅来自正面,就好比菜中的某种调味品放太多,会破坏平衡。至于放多少为好,既有具体对象(使用目的及节目内容),也有其它因素要考虑,下面再谈。

(三) 方向性评价标准

五十年代初在探讨音质第二参量时,有人曾提出方向性扩散,那是指从各方向传来声能是否均匀的度量。它多半用于评价播音室的音质,因为那里对扩散很重要。至于它与

主观评价之间关系一直很难确定。

我们这里谈的是另一个问题,即评价早期反射声时还与它们的方向有关。上面提到的Philharmonic音乐厅的主要音质缺陷之一,乃是缺乏侧向早期反射声,听起来没有“环绕感”。这种声学上的“空间感受”问题在最近十五年内吸引了不少声学研究工作者的兴趣,并提出了各式各样的名称。例如“空旷感”,“空间感”,“立体感”,“环绕感”,“视在声源宽度”等等(英文中有用, *Sensation of space, spaciousness, spatial responsiveness, spatial impression, ambience, apparent source width, stereo effect, subjective diffusion* 等许多不同名称。)我们这里暂叫它“立体感”(国内也有人称它为“空旷感”)。它和混响感组合成为房间感。但两者是不相同的,因为不论有无混响,立体感还是可以存在的。

有关这方面的指标也很多,这里举两个例子。

1. 空间响应 *Room Response (R.R.)*

$$R.R. = \frac{\text{侧向声能}(25-80)ms}{\text{总声能}(0-80)ms} + \frac{\text{总声能}(80-160)ms}{\text{总声能}(0-80)ms}$$

2. 侧向效率 *Lateral Efficiency (L.E.)*

$$L.E. = \frac{\text{侧向声能}(25-80)ms}{\text{总声能}(0-80)ms} \%$$

分母中总声能包括了直达声。这个指标可用一只8字形和无向传声器很快作出大致测定。分子和分母的声能分别测出后即得出L.E.。

这种主观空间感受的评价属于心理声学方面的成果。现已查明,人耳对同一水平面内反射声的灵敏度是随入射角而变的,在45°附近的灵敏度几乎比正向0°要高出10分贝以上(见图2)。双耳的相干作用是产生“立体感”的主要原因。Barron曾在这方面做过系统的研究,包括乐队声音受侧向反

射声中高低频的掩蔽情况、反射声到达方向的效果以及积分时间、空间感 (Spatial Impression, S.I.) 的定量估计, 漫射对听阈的影响等等。他还测量单个来自侧向的反射声的回声可听阈, 和很短延迟反射声时会出现声象移位的声级。图3归纳了加入单个侧向反射声后的效果。

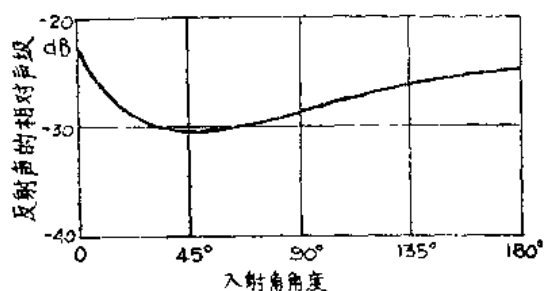


图2 50毫秒延迟反射声的绝对觉察阈 (相对于直接声信号, 55分贝的语言声) 与水平方向入射角的关系 (直接声信号来自正面)

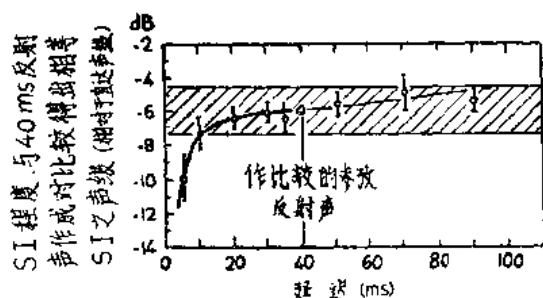


图3 单个侧向反射声 ($\alpha = 40^\circ$) 在不同延迟时间和声级(音乐)下的主观效果

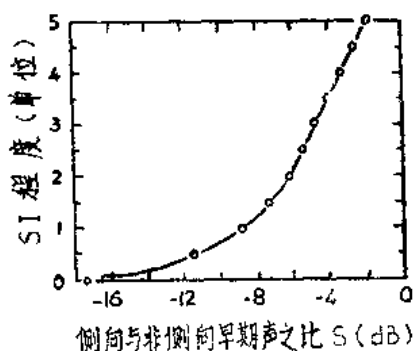


图4 用一对反射声作比较得出反射声延迟时间与空间感(SI)程度之关系。(图中表示了平均值和对平均值95%的置信限度)。

对设计者来说重要的是所有超过10毫秒的延迟声都产生出恒定的“空间感”, 它取决于侧向声能与非侧向声能 (包括直达声) 的声级差 (见图5)。

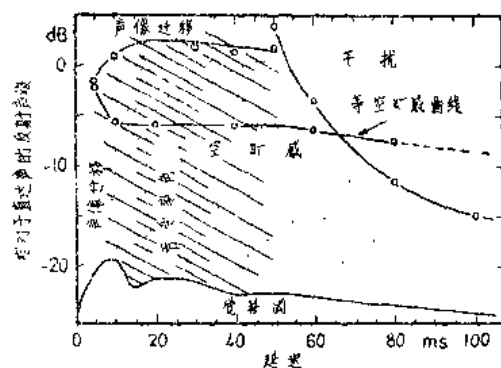


图5 侧向和非侧向早期声之比 S (分贝) 与空间感 SI 程度之间的关系。

还有人认为音乐厅中声音的温暖感 (即低音响应) 也与侧向反射声听得程度有关, 并与乐队声音中环绕感联系在一起。

新西兰在七十年代新建的两个大音乐厅 (Christchurch Town Hall, 2650 座, 72 年落成; Wellington Town Hall, 2500 座, 正在施工) 正是强调了侧向反射声而设计的, 在建筑上也给人很深的印象 (见图6)。

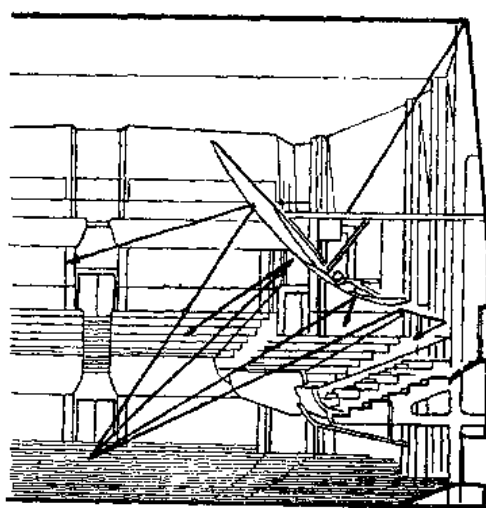


图6 惠灵顿 (Wellington Town Hall) 音乐厅剖面

图6 新西兰惠灵顿 (Wellington Town) Hall 音乐厅剖面 (正在施工中)

这里再回过头来讲一下漫射问题。大厅需要一定漫射效果是很早就注意到了的,问题是迄今还难以定量地进行设计。作为壁面上的漫射体,通常是通过凸曲的弧形体、不规则形状的几何体或浮雕之类装饰。最近有人提出有周期性踏步和格栅外形的表面,即所谓按二次剩余序列布置的表面会使入射声衍射而产生漫射⁽⁵⁾。设计恰当可在 2π 的立体角范围内起到漫射,而且是宽频带的,其有效带宽可由设计决定。平顶采用这种形式以后,可将来自平顶的正向反射改变为射向侧墙,然后成为侧向反射声到达听众。这就改变了过去认为平顶是对听众席作直接反射的最佳表面的看法。

研究结果还表明强的早期反射声需要有漫射的效果,否则这些来自侧面的反射声与直达声相比,如果太强和太早了,就会引起方位感上的错觉(声象移位)和染色现象。从这个角度讲有时还要防止这些反射面上的镜面反射,即要求有一定的漫射效果。当然还有许多现象可谈⁽⁶⁾,这里从略了。

总之,这方面的进展肯定会对建筑设计带来新的面貌。

三、实际工程设计中的一些问题

(一) 多功能大厅的最佳混响时间选择

按可能性分析,可有下列四种选择。

- 1). 按主要用途为主,其它不太合适;
- 2). 取音乐和语言之折衷,但都不理想;
- 3). 按短混响时间用途考虑,需要时以人工混响为辅助,设备和操作复杂,也有经济问题;
- 4). 采用可变体积、可变吸声来调节。

这是一个不易简单地回答的问题,因为同样一个多功能大厅因时因地而应作不同考虑。对于中等规模的大厅来说(不只是容座,也包括投资数目),倾向于混响时间不要太短,而扩声系统的布局和选型可以弥补语言清晰度方面可能出现之问题。

依我看来,中国音乐的最佳混响时间可以比外国的短些,而汉语清晰度又容忍比西方语言的较长混响时间。一座1500人左右的影剧院,如果选用1.2~1.3秒的混响时间大致可以满足一般音乐表演,对于语言和电影则可利用加强扬声器的指向性来解决。

(二) 音乐厅音质指标的普遍适用性。

国外在谈到音质时往往较多地探讨音乐厅设计,一是音乐厅对音质有苛求,二是国外交响乐队演出较普遍。所以不能用这些指标来作为我们设计标准。就以国外来说,也有人对于多功能大厅的特点作了调查分析,与常见的音乐厅指标相比,(见下表;两者之侧重点根本不同。这好比酒席和家常菜不能用同一要求来衡量,当然更不能说家常菜就没有烹饪技术可谈,色香味可以一点不考虑了。六十年代我们在上海搞了影剧场音质调查,就是想了解多功能大厅方面的主观反应,可惜十年动乱工作中断,迄今无法恢复。

Beraneek提出音乐评分方法(1962年)。

初始时间间隔(早期反射声)占总分40%

(强调浮云式反射板作用)

混响时间 " 30%

响度 " 16%

Long对多功能大厅之调查结果(1980年)。

喜爱声音的力度 占调查者47%

明晰清楚 " 28%

(强调体积小些,有强的侧向反射声)

(三) 建声和电声的关系

本来这是两个应该很好结合的专业。但是近廿年来用自然声演出的情况几乎绝迹,加上电声设备有较大发展,一些大剧团均自带设备,自管扩声。似乎演出的音质好坏全是电声问题了。国际文化交流活动的增加,出国访问的表演家及管理扩声同志都反应国外大厅的建声设计搞得好,他们可以进口外

(下接7页)

河南省人民会堂的声学设计

同济大学声学研究室 王季卿 钟祥瑞

郑州市河南人民会堂是一座容纳三千人的多功能厅堂。观众厅后墙面至台口线长41.5米(楼下31.5米),宽40米,平均高度约15米。室内净空间的体积为19000米³左右。楼厅容纳1426座,楼下池座容纳1626座。平均每座所占体积约6.3米³。本厅的使用要求是以会议和电影为主,兼作文艺演出。舞台设

施则完全按正规剧院要求配备,如化妆室、景片电动吊杆、幻灯槽和乐池等一应俱全。舞台深24米,台口高10.5米(自舞台地面算起),台口宽20米。另有假台口供缩小台框之用。

建筑平面、剖面和平顶布置见图1、2和3。

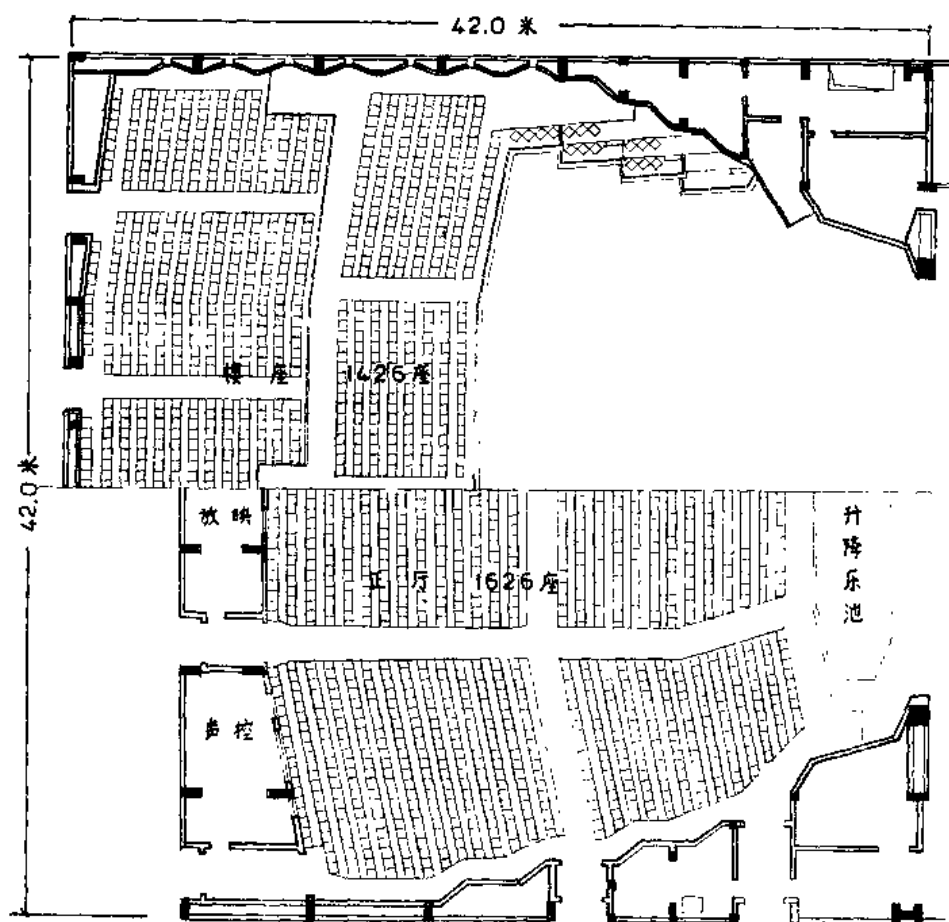


图1 大厅平面图。

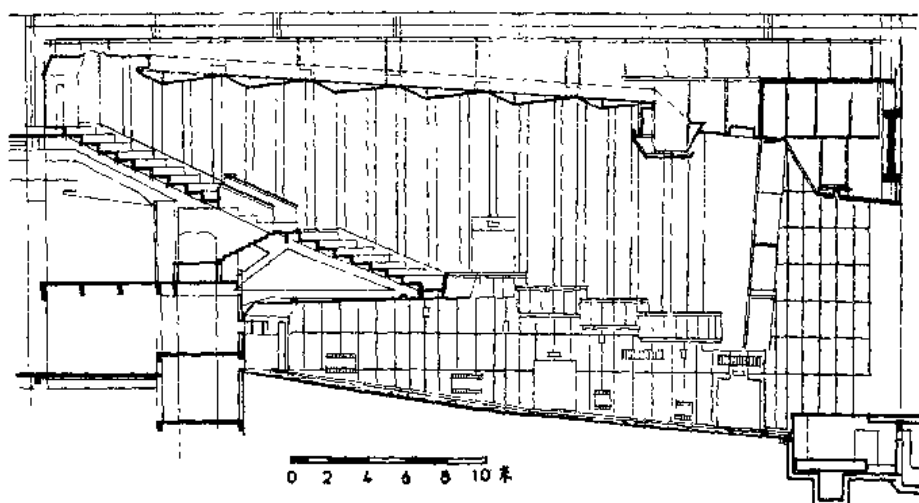


图2 大厅剖面图

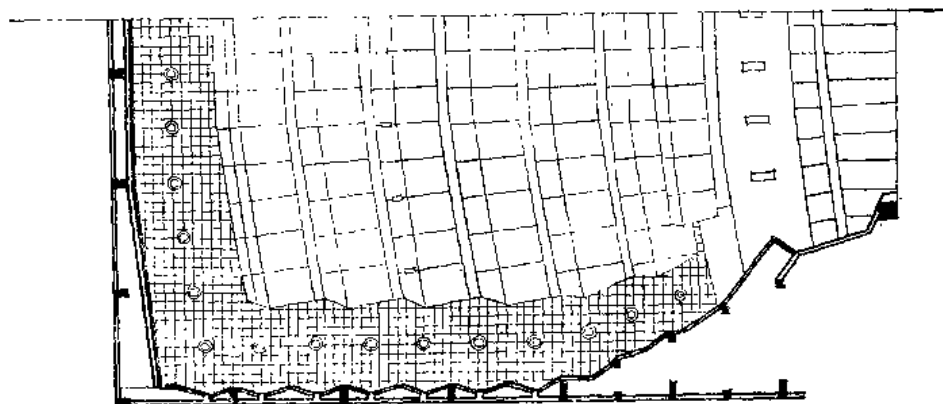


图3 大厅平顶布置图

(上接5页)

国的电声设备(事实上也进口了一些),但是无法搬一个大厅来啊!所以还是那些同志首先呼吁大厅的建声不能忽视。

就拿观众厅的设备噪声来说,它的干扰是无法用电声来弥补的。目前观众噪声普遍较高这一事实,促使扩声系统加大音量来压过它。有一种强调音乐气势的倾向,似乎开得响气势就壮。其实一个小小的乐队怎么也创造不出百人交乐队的气势来的。

电声设计是一个专门问题,这里只是谈一二点个人感想而已。

参考文献

(为了节省篇幅,这里只列出少数几篇有中文介绍的文章)。

1. 王季卿,戴复东:大型厅堂中透空的悬吊平顶反射板的声学性能及其实用价值。同济大学科技情报站 F66009, 1966年2月
2. R. Gerlach等:马尔科夫链类型的混响过程。中文摘录见声学学报1981年2月, 125—127页。
3. L. L. Beranek:音乐的音质评价名词。译文见声学译丛第10号,建筑声学(室内声学和响度计量专辑) 22—26页。上海市科技翻译馆出版。
4. L. L. Beranek:音乐厅声学,声学学报 1979年11月, 251—259页。
5. M. R. Schroeder:双耳差异度和音乐厅的最佳天花板:更多的横向声扩散。中文摘录见声学学报 1979年11月317—319页。
6. 国外音乐厅声学设计中的一些新设想(王季卿综合)。声学学报1981年3月123—125页。

一、混响时间

本厅以开会及放映电影为主，兼作演出，亦以地方戏曲和音乐舞蹈等节目居多。这里选取中频（500—1000赫）的合适混响时间为1.4秒，对125赫低频约为中频之1.5倍，约2.1秒左右。

为了满足上述混响时间指标，厅内吸声处理大部份布置在平顶四周（见图3）。它们是硬质穿孔纤维板（穿孔率 $p=10.6\%$ ），后放4厘米矿渣棉，用玻璃丝布袋装后铺放在上，后面是屋架层的大空间。楼座后端布置了矿渣棉吸声材料，外复玻璃丝布及木栅作防护及饰面。

实测的空满场混响时间见图4所示。基本符合设计要求。实际使用效果，对会议和电影也是满意的。

为了考虑照顾某些音乐演出时，要求能有更长的混响时间，本厅的扩声系统包括人

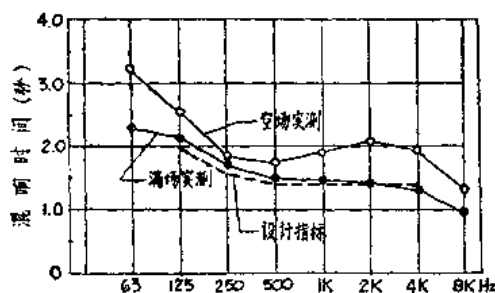


图4 大厅混响时间

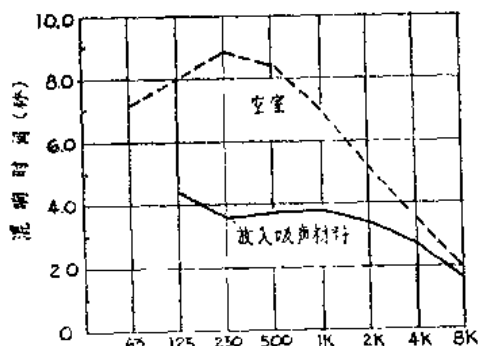


图5 人工混响室的混响时间

工混响室的特殊措施。利用大厅周围一间200米²的附属用房作为混响室，它的混响时间在中频几乎有7~8秒之长，见图5。由于工地施工紧张，尚未能装置完毕。经初步吸声处理后，使混响时间大致调节在4秒左右（中频500—1000赫），见图5。在接通大厅扩声系统后，大厅的混响时间可有1秒左右的提高。图6所示为空场时实测结果。

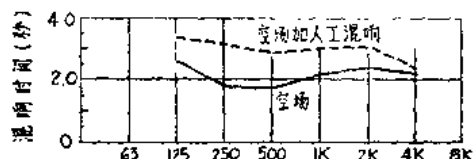


图6 大厅内加入人工混响后所达到的效果

二、大厅的界面和体型设计

本厅在界面和体型方面主要作了如下考虑：

1. 台口 台口平顶结合扬声器布置，做成一个深达4.2米的大平顶伸出台口，并向上略作倾斜（约8°）以避免与台面形成颤动回声。台口侧墙也同样做成略带展斜形状，角度控制在10°左右。这样可使池座前排也能获得一定的早期反射声。台口扬声器也同时移出，可减少声反馈。

面光下的平顶和侧面包厢的栏板也都做成倾斜，使之对前座起有效反射作用。

2. 乐池 从本厅的实际使用情况来看，乐池的使用率是很低的，但又不能不设。对于许多不用乐池的演出活动来说，乐池地面既不能起反射作用，又使观众与舞台的距离拉远了。因此对多功能大厅的理想办法是设计升降乐池。当它升至大厅地面平时，可增加观众座位；升至舞台面时，可使演出区向外伸入大厅，对于本来向舞台上或后部散逸之声能，可充分地射向厅内。如果在音乐演出时，再设舞台反射罩或屏风之类

的反射措施,效果会更好。

本厅的升降乐池基本上能满足上述使用要求,在国内还是首次使用*。不过舞台反射罩尚未完成。

3. 侧墙和平顶 采取了常用的三角形柱条式扩散体型式。对平顶来说,它的排列还由声线作图来决定。这些墙面均是硬面以利反射。

4. 后墙 楼下由于挑台遮挡,所以后墙引起回声的机会不多。加以挑台下区域的声音容易“发闷”,所以这部份后墙做成倾斜型式,使之对后座起一定的反射作用,而不加吸声处理。

楼上后墙离台口有41.5米之远,很容易造成对前座之回声,故这部份做了吸声处理。靠近平顶部份则略作向下倾斜,使之对后座起反射作用。

5. 挑台下部座席 由于大厅容纳座位数关系,挑台下空间的设计是比较深的,高和深之比为1:2,达到一般要求的极限。加上台口较高,台口扬声器对末两排照顾不了,这是个缺陷,只能在扩声系统中采取特殊措施来弥补。

为了验证大厅各处所接收到的反射声情况,我们利用了脉冲声(用火花发生器发出短脉冲声)和示波器来进行观察。通常将声源放在大幕线之内3米的中心位置处。本厅的乐池可以升起作为表演区,所以我们还测量了声源在大幕线之外3米时的情况。

从各处接收到的反射声图案来看,有些座位上还是得不到早期(50毫秒之内)的强反射声,这原是大厅尺寸过大所造成的。当声源移至台口之外时,对某些座席有了改善,但也有一些座席(如7排1座)在120毫秒时反而出现强的反射声。由于本次测量时间仓促,舞台布幕等设施也尚未安装,所以目下难以分析。以后打算在声源附近不同方向处分别加以遮挡,尤其对舞台后墙的反射必须消除的情况下,仔细分析这些反射图

案,才能得出一些符合实际的结论。

当然,实用中还有来自台口上方扬声器系统的声音,因而实际效果中必然要包括在内。

在这样大的厅内,对某些表演(如大型交响乐队或器乐独奏)还是有可能用自然声演出,这就非常需要一个设计良好的舞台反射罩,即使一个反射围屏也会有很大帮助,是增进早期反射声的重要手段。

三 扩声系统设计

在考虑本扩声系统设计时,除了要解决一般大厅中存在的声学问题外,还要解决3000人大型厅堂中的一些特殊声学问题,有下列几个方面:

1. 本厅以开会和电影为主,因而清晰度是主要的要求。演出也是需要兼顾的,由于受经济条件和国内设备的限制,指标就不可能要求太高,(例如展宽高频和功率裕量等)适当照顾大厅的所有各种用途。

2. 为了兼顾演出,考虑在扩声系统中利用人工混响来改变大厅的混响时间。这里采用了较为简单的混响室办法和环绕式扬声器系统。

3. 主扬声器通常布置在台口上方,但容易使池座前排听众有明显的头顶感,尤其在以放录音代替乐队作为伴奏时,这种头顶感将使人感到很不舒服。

4. 台口上方布置扬声器往往对台口传声器产生较大的声反馈,尤其是低频部份。因此目前有不少设计是把低音扬声器放到台口以外8~10米的面光槽后背处,但它与台口的中高音扬声器分离太远,声音听来会有分离的感觉,对池座前排尤甚。因此如何在减少声反馈的前提下,把低音扬声器尽量靠近中高音声源。

5. 目前不少新建会场剧院为了控制声源的指向性而采用了声柱。但为了增加低音

* 升降乐池采用液压装置,升降方便,结构简单,由郑州工程机械厂负责设计和加工。

另设250—300赫以下低通的低音箱，又因常用声柱在高频的频响和指向性不能满足要求，往往不得不再加装高音号筒。这样就形成较为复杂的三分频扬声器系统。这时声柱实际所用频段非常有限，而它的高度尺寸却较大（由指向性要求所决定，通常在1.5~2.0米以上），使布置地位和建筑装修受到限制。

有鉴于此，本厅考虑采用较为简单的二分频系统，直接用低音箱和中高频号筒组合。

6. 大厅楼座后墙至台口的水平距离有41.5米，又因台框较高，使后座与台口扬声器之间受到面光槽的遮挡。挑台下座席虽离台口仅31.5米，但由于挑台较深和台口太高，后座也受到一定的遮挡。为了弥补楼上和楼下后座主扬声器的直达声（主要是中高频）不足，考虑采用有延迟装置的辅助扬声器。

7. 操作人员要求在能直接听到厅内音质效果的情况下进行操作控制。

扬声器的选择和布置

大会堂的扬声器系统如图7所示。图8为扬声器在大厅内的布置示意图。

1. 主扬声器组 在大厅台口上方中央，布置了两只40瓦YXZ40—1型木号筒式低音箱和7只20瓦中高频号筒（YGT20—101型），分频点在450赫。7只中高频号筒的分布情况是：3只（1A）照管楼下前排，中轴对准8排观众席，射距14.5米；四只照管后排，其中两只（1B）对准楼下25排，射距24.5米，另两只（1C）对准楼上19排，射距32.5米。

2. 延迟扬声器组 楼上和楼下最后3—4排听众席因受建筑遮挡，主要妨碍了中高音的传输，故在后座加设了延迟扬声器组。利用录音机边录边放的办法，根据录放磁头的间距及带速来控制延迟时间。这是一种最原始而简单办法。延迟系统在国内大厅扩声工程中还是首次使用。根据带速不同可作60毫秒和120毫秒两种延迟，这里采用120毫秒。

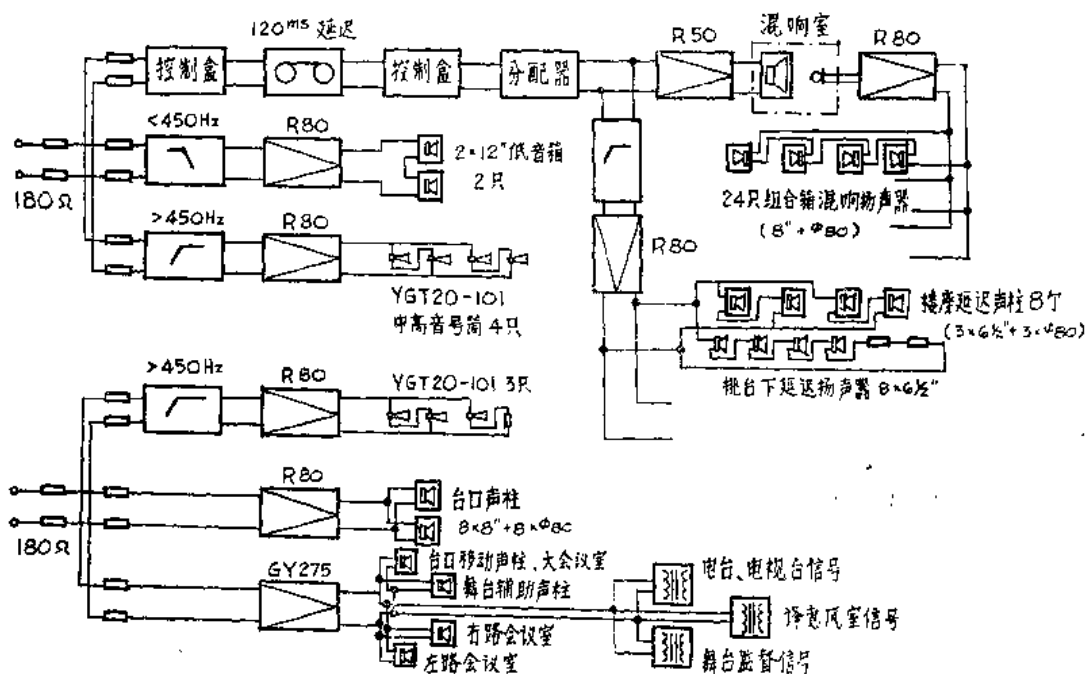


图7 大厅扩音系统图