

# 中、小型观众厅音质设计的工程方法(II)

曹孝振

(建设部建筑设计院)

1983年5月3日收到

关于中、小型观众厅音质设计的工程方法,作者在前文(I)中,就引言、音质设计的前提条件、合理的体积、尺度的选择几个问题作了介绍. 本文将对音质设计中的体型和吸声处理问题,作一介绍,以资设计中参考.

## 一、体 型

### 1. 顶棚斜角( $\beta$ )

观众厅地坪的坡度越大,对于视觉和直达声都有利,但是反射于舞台口处顶棚的一次反射声向声源方向移动的距离也越大,假如要求在20ms内的一次反射声到达池座前区,台口处顶棚须要有较长的距离,这样往往会受到面光灯槽的阻碍,假如该处顶棚具有一定的斜度( $\beta$ ),反射声就能往后移动.

假定声源位于观众厅的端部中心,顶棚的斜角为 $\beta$ ,反射于该顶棚的一次反射声到达观众厅地面某一接收点处,它的相对于直达声的延迟时间( $\Delta t_\beta$ )为:

$$\Delta t_\beta = 3 \left[ \frac{\sqrt{[2(H_\beta - h_s) \cos \beta]^2 + l^2 + h_s^2 + 2[2(H_\beta - h_s) \cos \beta](l + h_s) \sin(\theta + \beta) + d^2}}{2[2(H_\beta - h_s) \cos \beta](l + h_s) \sin(\theta + \beta) + d^2} - \sqrt{l^2 + h_s^2 + d^2} \right] \quad (\text{ms}) \quad (1)$$

式中: $H_\beta$ 是观众厅端部的高度(m); $\beta$ 是顶棚的斜角; $\theta = h_s/l$ ;其它符号同前述. 图1a-c是接收点位于中轴线上的延迟时间( $\Delta t_\beta$ ).

图1a-c表明:(1)反射于顶棚的一次反射声,它到达观众席的距离( $l$ )与顶棚的高度( $H_\beta$ )和角度( $\beta$ )有关,例如在 $l = 20\text{m}$ 处,延迟时间

$\Delta t_{02} = 20\text{ms}$ ,顶棚高度( $H_\beta$ )与角度( $\beta$ )的关系以及 $l = 10\text{m}$ 处的对应的延迟时间( $\Delta t_{10}$ )可见表1. (2)舞台口处顶棚的斜度一般只须要延长到面光灯槽处即可,最多也只要延长到观众厅长度的1/3处就足够了,因为这一部分的一次反射声已能满足反射到池座前区或后区的需要. 反射到其余顶棚表面的是多次反射声,属于混响声. 假如为了响度需要,也可以把这部分顶棚做成向舞台方向倾斜,增加对观众厅的反射,同时也减小了体积,这种处理在无楼座的观众厅中是可取的.

表1  $H_\beta$ 、 $\beta$ 和 $\Delta t_{10}$ 的关系

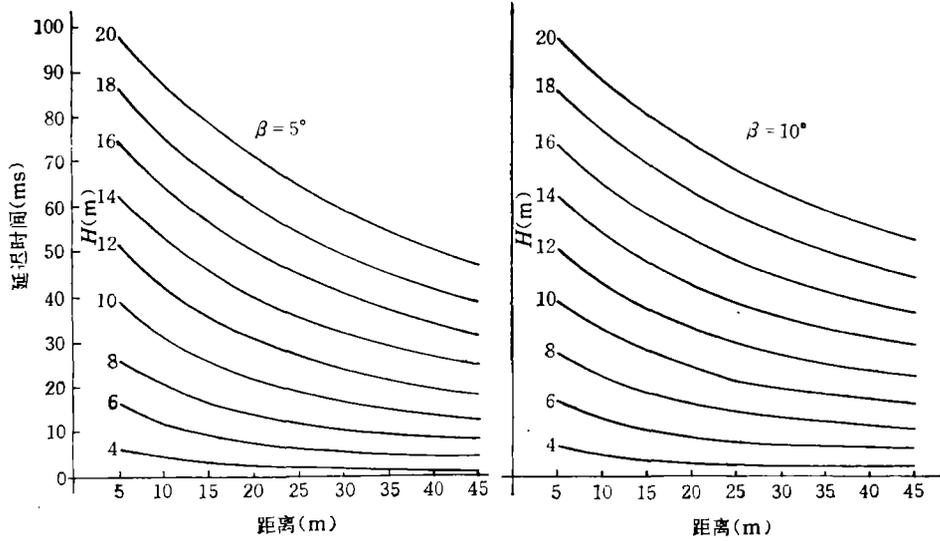
$\beta$	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°
$H_\beta(\text{m})$	10	9.5	9	8.5	8.5	8	7.9
$\Delta t_{10}(\text{ms})$	30	28	27	26	25	24	23

### 2. 侧墙的斜角( $\alpha$ )

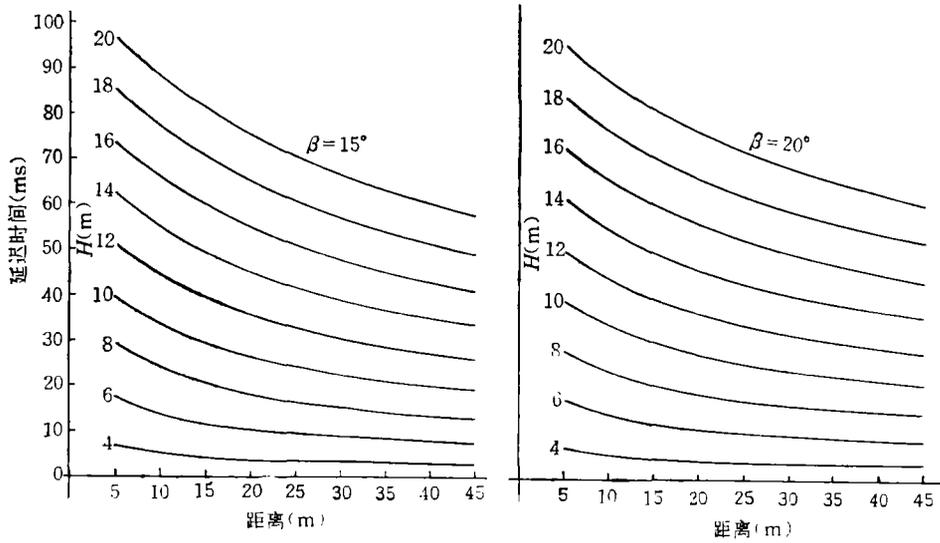
侧墙的斜角( $\alpha$ )的作用同顶棚的斜角( $\beta$ )一样,它可以使反射声向后移. 假设声源位于观众厅端部中心,侧墙的斜角为 $\alpha$ ,反射于侧墙的一次反射声到达观众厅地面某接收点处,它的相对于直达声的延迟时间( $\Delta t_\alpha$ )为:

$$\Delta t_\alpha = 3 \left[ \frac{\sqrt{(B_\alpha \cos \alpha)^2 + l^2 + h_s^2 + l \cdot B_\alpha \sin 2\alpha + d^2}}{2[2(H_\beta - h_s) \cos \beta](l + h_s) \sin(\theta + \beta) + d^2} - \sqrt{l^2 + h_s^2 + d^2} \right] \quad (\text{ms}) \quad (2)$$

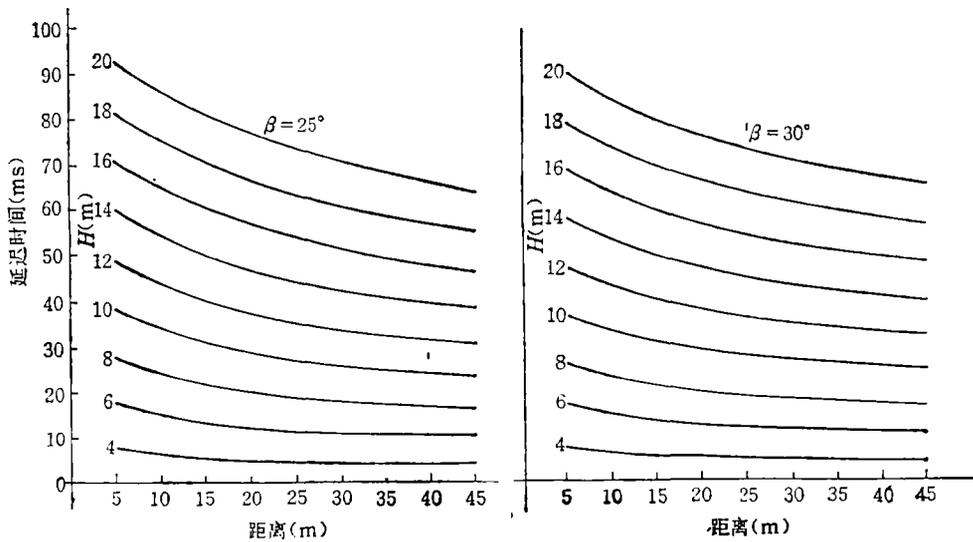
式中 $B_\alpha$ 是观众厅端部的宽度(m),一般最大约为20(m),因舞台口的宽度为10—18(m); $\alpha$ 是侧墙的斜角;其它符号同前述. 图2是接收点位于中轴线上的延迟时间( $\Delta t_\alpha$ ).



(a)



(b)



(c)

图 1(a)、(b)、(c)

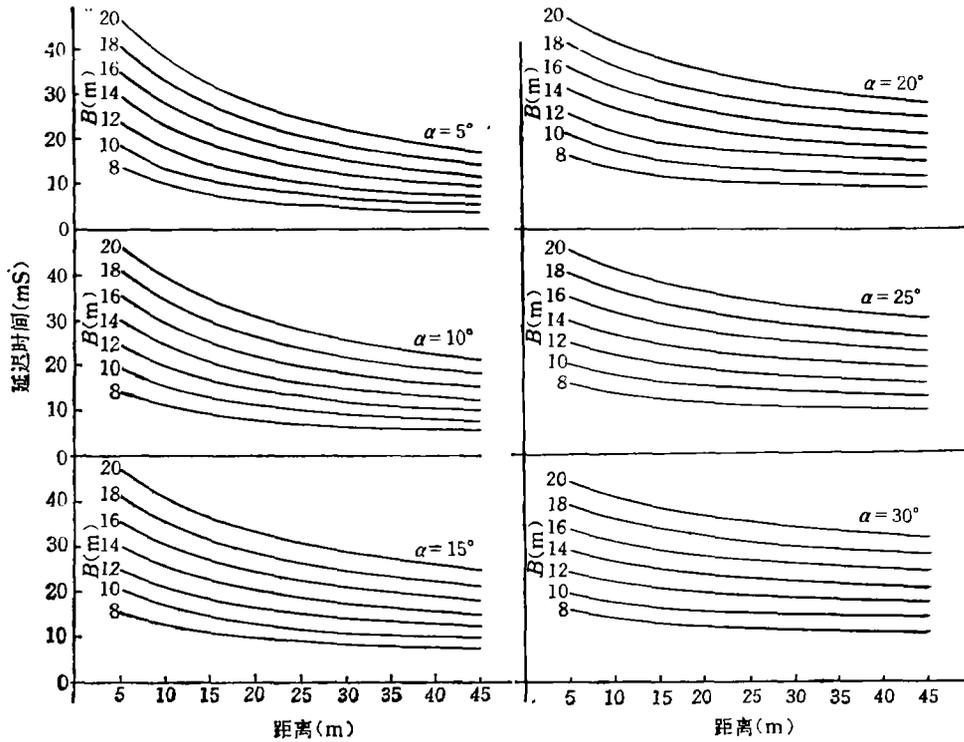


图 2

图 2 表明: (1)端墙宽度 ( $B_a$ ) 和侧墙斜角 ( $\alpha$ ) 与反射于侧墙而到达观众席的距离为 10(m) 和 20m 处的延迟时间  $\Delta t_{10}$ 、 $\Delta t_{20}$  的关系可见表 2 所示。表 2 中的黑框所示的情况是在此斜角 ( $\alpha$ ) 下, 该处已经接收不到所示的延迟时间的反射声, 因为在这种情况下, 反射点已经不在侧墙

表 2  $B_a = 20\text{m}$ ,  $\alpha$  与  $\Delta t_{10}$  和  $\Delta t_{20}$  的关系

$\alpha$	$0^\circ$	$5^\circ$	$10^\circ$	$15^\circ$	$20^\circ$	$25^\circ$	$30^\circ$
$\Delta t_{10}(\text{ms})$	36	38	40	42	42	42	42
$\Delta t_{20}(\text{ms})$	25	28	31	34	36	37	37

上, 而是落在侧墙向端墙处的延长线上成为一个虚的反射点。(2) 离舞台口的 5—6m 范围内, 两侧墙之间的距离宜 20m 左右, 其斜角  $\alpha$  不宜大于  $15^\circ$ 。自舞台口起的观众厅全长的 1/3 的范围以外, 观众厅的宽度可以扩大到 30m 或再大一些, 因为这部分表面所反射的是多次反射声, 属于混响声。这样的观众厅的平面就成为钟形的。例如杭州剧场 (图 3) 和美国加州某多功能剧场 (图 4) 的处理就是这样考虑的,

应用声学

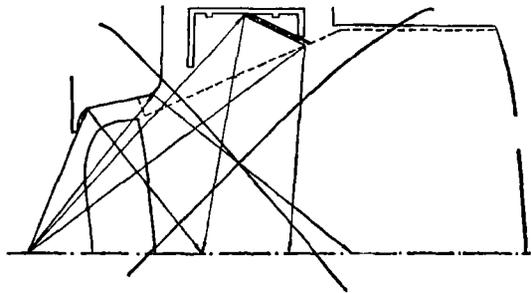


图 3 杭州剧场平面图

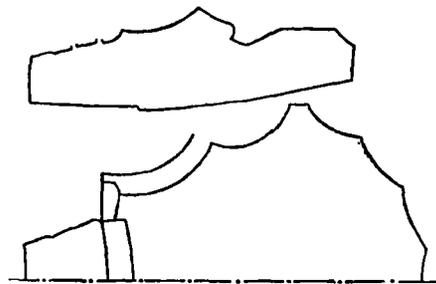


图 4 美国加利福尼亚州某剧场

因为无论中、大型的观众厅, 其舞台口的宽度相差并不大的, 一般也不会超过 20(m) 的, 因此也

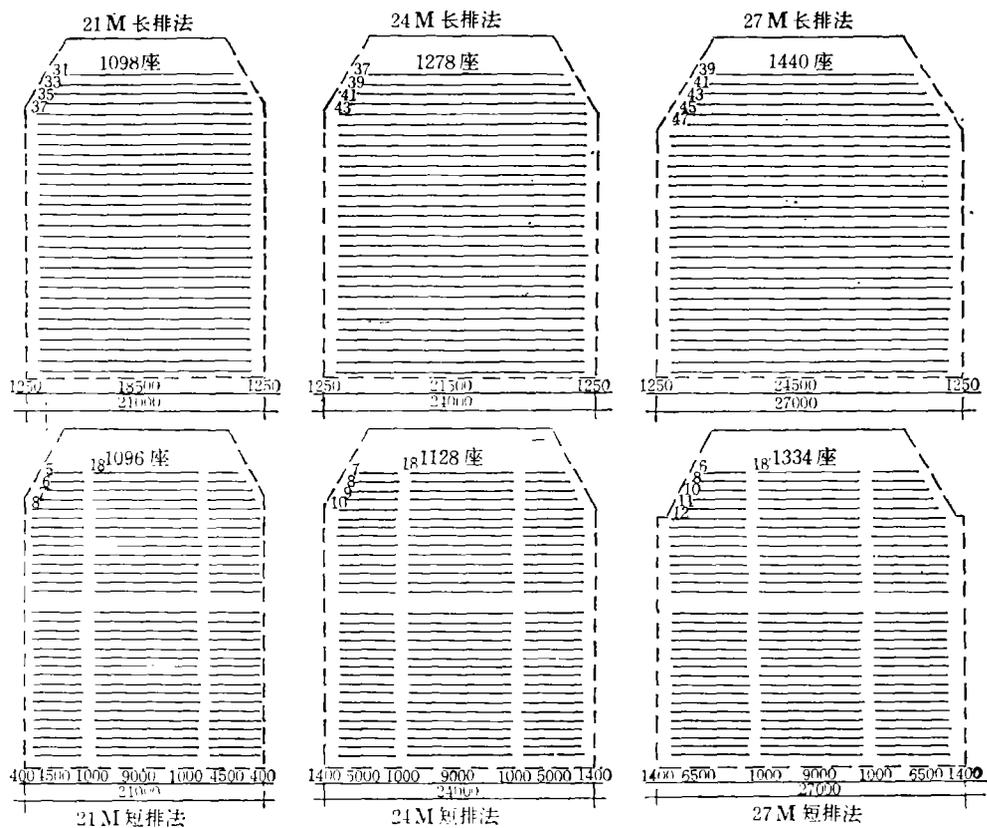


图 5

可以利用图(1)进行对大型观众厅的设计。

以上关于观众厅音质讨论的结果和综合地考虑安全疏散、视线即合理的水平夹角等功能要求,对于容量为 1000—1400 座合理安排座位的平面图可见图 5 所示。

### 3. 其它

(1) 后墙 观众厅地坪升值较低或有楼座时,由声源辐射的声音沿着侧墙“爬行”到达后墙,再经顶棚或挑台下的顶棚反射到池座的前区或后区如图 6 所示,产生 120—150ms 的、较强的反射声,它的音质是不利的。为此可将观众厅的后墙两边做成斜角、变成六角或八角形的观众厅平面,使“爬行”的声音反射到对面的侧墙上部,变成多次反射声。但是观众厅平面不宜正六边形或正八角形的,因为它们都具有圆形平面的特点。另外,也可以在后墙上挑出放映室,来改变“爬行”的方向,并且使之加强后座的直达声如图 5 中虚线所示,这种做法可以

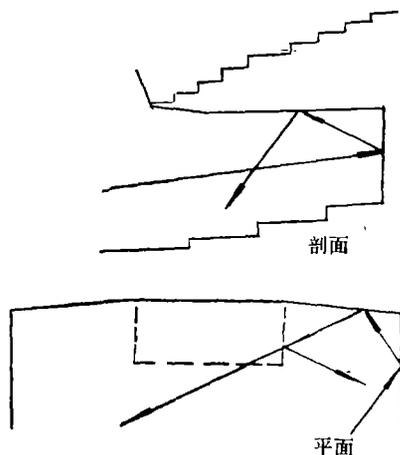


图 6

避免观众厅具有大片平整的或内凹弧形的后墙,这种后墙很容易产生反射到池座前区或舞台上的反射声,它的延迟时间较长,声能较强,往往会形成回声。在升值( $c$ )大的散座型的观

众厅中,这种“爬行”的反射声会被后座的观众所遮挡,到达不了后墙,使后座获得了较强的纵侧墙来的反射声,加强了直达声。(2)耳、面光槽 耳光槽对前次反射声的遮挡很显著,假如改为挑台的形式(图7)可以使大部分前次反射声到达后区或楼座;其栏板斜向舞台并下倾,还可以使池座前区得到上前方的反射来的一次反射声,这对音质很有利,同时耳光的灯具可以灵活地配置,适应不同距离和角度的需要,这对具有伸出式舞台的观众厅尤为重要。

面光灯投射到舞台的大幕中心点处的投射

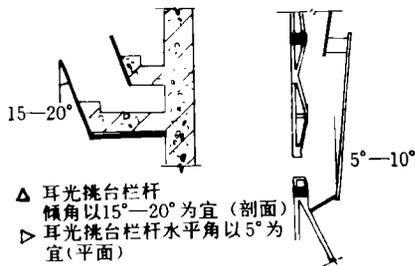


图 7

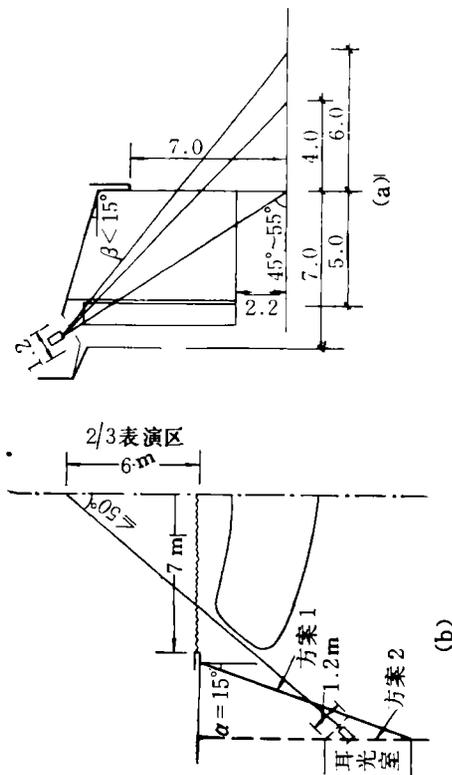


图 8

光轴与舞台面的夹角以  $45^{\circ}$ — $55^{\circ}$  为好,已建成的不少观众厅的面光位置往往太陡,甚致因此而不能使用,并且也影响了舞台口与面光灯槽之间的顶棚斜度太大,因此不能给予池座前区一次反射声。“二七”剧场的面光灯槽距台口为  $6.5\text{m}$ ,比一般观众厅的长(通常为  $4.5\text{m}$  左右),面光轴与舞台面的夹角为  $52^{\circ}$ ,使用效果很好,并且能给予池座前区一次反射声,取得较好的音质效果。建议舞台口部的处理如图8所示。(3)乐池和台唇 乐池设计的重要问题是要清晰地、不失真地把音乐声送到观众席,乐池栏干做成空的有利于声能的辐射;乐队与演唱者之间应取得恰当地平衡,演员必须能清晰地、均匀地听到乐队的声音,以便能调整自己的嗓音;乐队队员之间应能彼此听到,并也能听到乐队的指挥,而指挥则不能扰乱观众的视线。乐池内不应有不愉快的长延迟反射声,这在太宽的乐池中是会产生;乐池的宽度不应大于纵向长度的4倍。乐池的内表面应能辐射声能;乐池的地坪应是木板的,最好是能调节的,纽约大都会剧场的乐池可分三部分,各自可以升降以适应不同的要求;或者做或台阶形的(图9-9),因有空腔能使大提琴、倍大提琴有一定的共鸣;打击乐器处应是贴实地面的,以免声级过高,能与其它乐器取得平衡。乐池尺寸可参见图10所示。

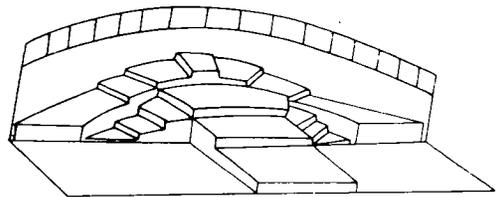


图 9

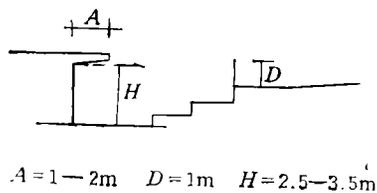


图 10

京戏(地方戏)的传统表演区常常是在台唇上,很多老式剧场是没有乐池的,台唇伸入观众厅内,如上海劳动剧场(原天蟾舞台)的台唇离大幕线为4.5m,成为实际的表演区,效果很好.我国传统剧场的舞台是伸入观众厅的,三面朝向观众,如北京长安剧场,音质很好;这种伸出式的舞台对音质有利,增强亲切感,同时也发展了表演艺术.

## 二、吸声处理

观众厅的尺度和体积以及体型确定后,就应按照所选择的混响时间进行吸声处理以达到良好的音质的.观众厅内的混响时间与地坪坡度大小有关,观众厅的高度不变,坡度大,体积变小,观众厅的 $V/S_T$ 值随之减小,所以观众

厅内的混响时间也就变短了.假如观众厅内的各墙面是水泥粉刷,顶棚是硬质纤维板,板条或钢丝网抹灰等,座位是木质的,在满场情况下,混响时间为1.2—1.4s,则观众厅内的平均吸声系数为0.16—0.18.这种坡度大的散座型观众厅,当容量多时,可以选择略长些的混响时间,这样观众厅就可以不必附加吸声材料了.

为了保证强的前次反射声,希望在从舞台口起,厅长的1/2和宽的1/2范围内的顶棚是板条或钢丝网抹灰或是厚的硬质纤维板;假如采用五合板,应在板后加一层血腻子,再贴一层玻璃布以增加阻尼.这样可以防止低频吸收过多.具体地在中、小型观众厅中的吸声处理可参见表3和图11,所用材料的平均吸声系数( $\bar{\alpha}$ )约为0.4,如木丝板为5cm厚超细玻璃棉(外包玻璃布,其外罩钢板网或木条等网格).有

表3 不同混响时间的吸声处理  
a. 散座形式(总升起为4m以上)

$T$ (s)	$H$ (m)	加吸声材料的范围	$H$ (m)	加吸声材料的范围
1.2	8	顶棚的三边各加2米宽	9	顶棚的后半部
1.3	8	不用加吸声材料	9	顶棚的后1/3,侧墙顶部1米高
1.4	8	不用加吸声材料	9	顶棚的后1/3.

b. 一般形式(总升起为2.4m左右)

$T$ (s)	$H$ (m)	加吸声材料的范围	$H$ (m)	加吸声材料的范围
1.2	8	顶棚的2/3、后墙、侧墙顶部1米高	9	顶棚的2/3、后墙、侧墙顶部3米高
1.3	8	顶棚的2/3、后墙	9	顶棚的2/3、后墙、侧墙顶部2米高
1.4	8	顶棚的2/3	9	顶棚的2/3、后墙、侧墙顶部1米高

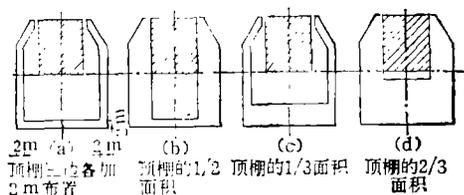


图 11

楼座时,其吸声处理可以参照表3中所示的顶棚高( $H$ )为9m的散座形式的吸声处理情况.

以上所述的音质设计方法,基本上也适用

于演电影的观众厅中.因为音乐在电影中的地位日趋重要;短混响的观众厅中的还音效果通过实践证明是“干涩”的,尽管录音棚中的混响时间是很长的,只是感到直达声是轰轰然;同时还容易使听众疲劳.表明录音的效果并不等于还音的效果.研究说明,略长的混响时间(1.2—1.4s)的前次反射声所构成的“空间感”,对于演电影的观众厅来说也是很重要的.所以“影”和“剧”的观众厅的音质设计,其原则一般是一致的.