

# SIS<sup>TM</sup>系统与声像定位技术

崔志发 电子部三所 北京 100015

## 1 声音定位技术的历史及现状

声音定位技术的研究,已有六七十年的历史。从两声道,人工头开始,其间出现多种程式,如两声道立体声,四声道立体声,波前制立体声等,但试验均不理想,在剧场中,实际上还是单声道扩声。

近年来,由于电子技术的发展,从电影还音,家庭影院音响系统,到剧院乃至多功能厅,出现了多种试验方案,但达到技术成熟的地步还很远,更谈不上实际应用。较典型的程式归纳如下。

### 1.1 两声道立体声

(1) X-Y 制拾声,高频声像预校正法。

$$U_L \approx P_L E_0 \cos(Q_s + 45^\circ)$$

$$U_R \approx P_R E_0 \cos(Q_s + 45^\circ)$$

式中  $E_0$ —传声器灵敏度

$Q_s$ —声源的方向角

$P_L, P_R$ —传声器处自由声场声压级

$U_L, U_R$ —左、右声道电功率

(2) M-S 制拾声法(和差拾声法)

$$U_M + U_S = U_L$$

$$U_M - U_S = U_R$$

(3) A-B 制拾声法(传声器分离平行放置拾声法)

(4) 模拟人头拾声法

$$U_L = A_1 A_1 U'_L F(\omega) e^{j\omega\tau_1(\omega)} + A_3 U'_R F(\omega) e^{j\omega\tau_3(\omega)}$$

$$U_R = A_1 A_3 U'_R F(\omega) e^{j\omega\tau_3(\omega)} + A_1 U'_L F(\omega) e^{j\omega\tau_1(\omega)}$$

(5) 单声道拾声法

单声道拾声,通过 PANPOT (Pannoramic Potentional) 转换成两声道。

### 1.2 多声道环绕声系统

(1) 4-2-4 短阵编码系统 (Pro Logic)。

(2) Dolby AC-3。

(3) MPEG-2 Audio。

(4) DTS (Digital Theater System) (美国),

影院数字声。

(5) SDDS (Sony Digital Dynamic Sound), 索尼动态数字声。

### 1.3 电影系统的三种制式

(1) Dolby SR-D (Spectral Recording Digital)。

SR—降噪处理器加 4-2-4 矩阵立体声 (Pro-Logic) 电影模拟声制式。

D—Dolby Digital Audio, 即 AC-3。

(2) DTS 制,美国 DTS 公司 90 年代初,以 CD-ROM 5.1 声道为载体的电影数字立体声制式。

(3) SDDS 制,是 1994 年美国 SONY 公司推出的 7.1 声道电影数字立体声制式。

### 1.4 三维空间声音系统 (3D Audio)

三维空间声音系统是在两声道录音和重放的基础上按人头定位原理,利用人头传递函数 HRTF (人头传递函数有多种),经过处理,在 L, R 声道中,得到水平空间感和纵深空间感。

(1) SRS (Sound Retrieval System) 声音恢复系统。

(2) N-22 DVS 系统,是 Spatializer 公司利用人头传递函数技术处理。

(3) Qsound 公司的 QXpander 技术。

(4) Dolby 的虚拟环绕声处理技术。

### 1.5 DDA 公司的 SIS<sup>TM</sup> 系统

SIS<sup>TM</sup> (Spatial Image System) 是一个三维空间定位、具有声像移动效果的三声道扩声系统。它是目前厅堂,剧场,多功能厅扩声工程中,具有三维空间定位,声像移动效果的最佳三声道扩声系统。

## 2 人对声源方向的判别机理

人类对声源方向判断的机理是一个非常复杂的过程,它涉及到物理学领域里的声波传播波动理论,医学领域里的人体生理解剖学理论,心理学理论,甚至涉及到人的视觉,触觉对听觉的影响。这

是一个非常复杂的多元化的过程，是一个多变量的复变函数。人类对声源方向的识别，与距离  $r$ ，方位角  $\theta$ ，俯仰角  $\theta'$ ，频率  $\omega$ ，相移角  $\Phi$  等有关。可用函数表示：

$$F_L = F(r, \theta, \theta', \Phi, \omega) = P_L(r, \theta, \theta', \Phi, \omega) / P_0(r, \theta', \omega)$$

$$F_R = F(r, \theta, \theta', \Phi, \omega) = P_R(r, \theta, \theta', \Phi, \omega) / P_0(r, \theta', \omega)$$

式中  $P_L = F_L P_0$

$$P_R = F_R P_0$$

$F_L, F_R$  —— 左、右方向的传输函数

$P_L, P_R$  —— 左、右方向的声压级函数

$P_0$  —— 参考声源的声压级

尽管人类识别声源的方向与多个变量有关，但起主要作用的因素是声音到达两耳的声级差还是时间差至今尚无定论。实验说明，声音到达两耳的声级差有主导作用，即距离差  $\Delta r$ ，其它参数不很敏感。另一个值得注意的问题是，当声音到达耳边时，人的第一反映就是声音‘前、后、左、右’的方位感，次之是‘上、下’的方位感。

### 2.1 人耳对单声源的感知

从纯物理学理论分析是比较容易的，因为，如果人的反映因素不予考虑，问题就得到极大的简化，但必须约定边界条件。现假定听音和声源之间满足以下条件：

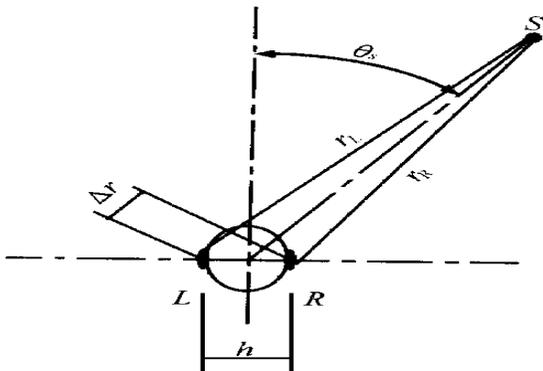


图1 点声源的定位机理

(1) 符合球面波波动理论；

(2) 头部前方是一个简振点声源S，其频率足够低，以至人体及头部对声音的传播影响可以忽略不计。

设：水平方向角为  $\theta$ ；垂直俯仰角为  $0^\circ$ ；该点声源等效中心到两耳的距离为  $r_L, R_R$ ；两耳到声源的距离差为  $\Delta r = (r_L - r_R)$ ；两耳间距为  $h$ ；

两耳处的直达声声压级为：

$$P_{DL} \approx P_{FL} = r_0 P_{P_0} / r_L e^{j(\Phi - kr_L)}$$

$$P_{DR} \approx P_{FR} = r_0 P_{P_0} / r_R e^{j(\Phi - kr_R)}$$

式中： $P_{DL}, P_{DR}$  —— 两耳处的实际声压级

$P_{FL}, P_{FR}$  —— 两耳处的自由场声压级

$r_L, r_R$  —— 声源到L, R耳间的距离

$r_0$  —— 参考距离，通常为 1m

$P_{P_0}$  —— 距声源  $r_0$  处的自由声场声压

$\omega$  —— 声波的角频率

$\rho$  —— 空气静态密度

$C_0$  —— 声波在空气中的传播声速

$k$  —— 声波的波数

$t$  —— 时间

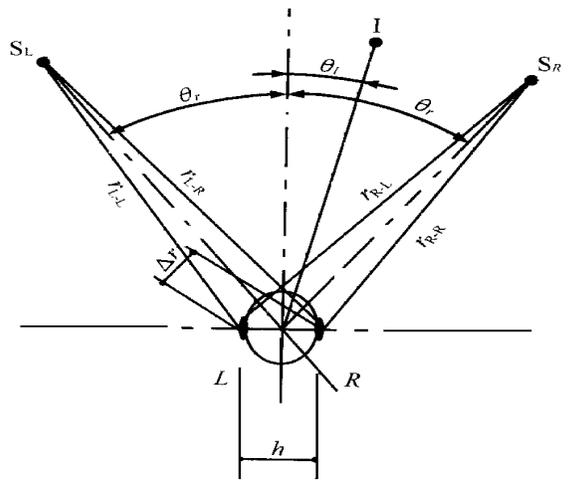


图2 双声源的定位机理

讨论：

(1)  $\theta_s = 0^\circ$ ，即声源在人头的正前方时，两耳的声压级相等，时间差为 0，两耳直达声声压级有下列关系：

$$|P_{DL} / P_{DR}| \approx |P_{FL} / P_{FR}| \approx 1$$

(2) 对低频声源，两耳的时间差依然存在，对声源方向的判断也有重要贡献。

若  $r_L (R_R) \geq h$  时

$$\Delta r = r_L - r_R \approx h \sin \theta_s$$

两耳时间差为：

$$\Delta t = \Delta \Phi / \omega \approx h \sin \theta_s / C_0$$

低频两耳相位差为：

$$\Delta \Phi \approx \omega h \sin \theta_s / C_0$$

$\Delta \Phi$  为两耳相位差

高频时的衍射效应，即人头使声波传播的衍射发生变化，高频时两耳处声压级差与低频时有别。声压级表达式为：

$$P_{DL} = D_L P_{FL}$$

$$P_{DR} = D_R P_{FR}$$

$D_L, D_R$  为两耳处的声波衍射系数

### 2.2 两声道立体声正弦定理

两声道放声系统, 给人的方向感有三种情况:

- (1) L, R 音箱信号内容相同, 强度不同;
- (2) L, R 音箱信号内容相同, 有时差;
- (3) L, R 音箱信号内容相同, 强度不同, 且有时差;

讨论第一种情况。

设输入为简谐信号, 人耳的直达声压级为:

$$P_{DL} \approx P_{FL} = P_{FL-L} + P_{FR-L} = r_0 P_{Lp0} / r_{L-L} e^{j(\varphi - kr_{L-L})} + r_0 P_{Rp0} / r_{R-L} e^{j(\varphi - kr_{R-L})}$$

$$P_{DR} \approx P_{FR} = P_{FR-R} + P_{FL-R} = r_0 P_{Rp0} / r_{R-R} e^{j(\varphi - kr_{R-R})} + r_0 P_{Lp0} / r_{L-R} e^{j(\varphi - kr_{L-R})}$$

$P_{DL}, P_{DR}$  两只音箱在两耳产生的实际合成声压级

$P_{FL}, P_{FR}$  两只音箱在两耳产生的自由场合成声压级

$r_{L-L}, r_{L-R}, r_{R-R}, r_{R-L}$  两耳 L, R 到声源的距离

$r_0$  参考距离, 通常为 1m

$P_{FL-L}, P_{FL-R}, P_{FR-R}, P_{FR-L}$  到两耳自由声场的声压级

$P_{Lp0}, P_{Rp0}$  L, R 音箱在  $r_0$  处产生的声压级两个声源完全同时, 有以下关系:

$$|P_{DL} / P_{DR}| \approx |P_{FL} / P_{FR}| \approx 1$$

同前分析得到

$$\sin \theta \approx -ku_L - u_R / u_L - u_R \sin \theta$$

$$f < 700\text{Hz}, k \approx 1$$

$$f \geq 700\text{Hz}, k \approx 2^{1/2}$$

这就是两声道信号无时差仅有强度差, 用两只音箱放声时声像规律表达式, 即立体声正弦定理。

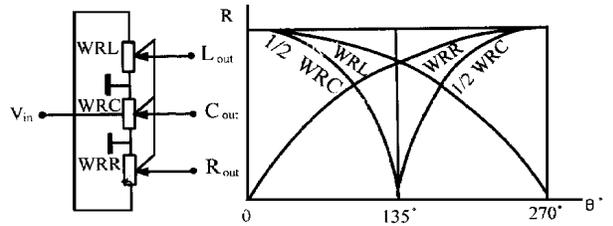
## 3 SIS<sup>TM</sup>系统的工程方法

### 3.1 SIS<sup>TM</sup>系统原理

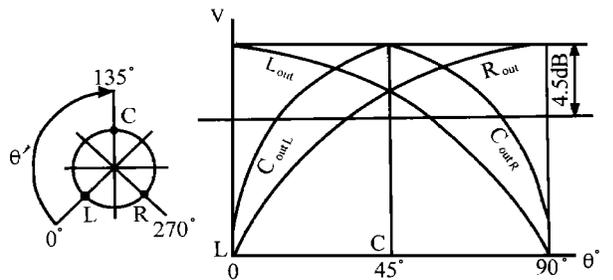
这是一个单声道输入系统或两声道输入系统, 它是通过专用电位器在电路中跨接而成, 从而得到三声道输出, 通过电位器旋转实现左, 中, 右声道

音量平衡和声像定位。与以往立体声调音台不同, 它能实现左中右声像的移动效果, 是三维空间声像效果, 在扩声和录音中已经开始使用, 并得到良好的空间听音效果, 既有左中右声像移动效果, 又有良好的声像深度感, 这一技术的使用, 特别是对剧院、多功能厅等场所的扩声质量和音响效果带来了崭新的概念和良好的效果。

声像可以在左右间移动, 也可以在左中间移动, 还可以在右中间移动, 在听众的前方, 造成声像定位、声像移动和声像环绕的效果。激活了整个声场, 大大减弱了声场的最佳区域性, 提高了声场中的左、右、前、后、中方位效果的平衡性, 基本原理如图 3 所示。



(a) 声像电位器原理 (c) 声像电位器阻值与旋转角的变化规律



(b) 声像电位器旋转角 (d) 系统声像电平图

图 3 SIS 系统

### 3.2 两声道、四声道系统的回顾

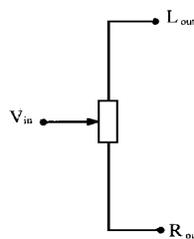


图 4 BAL 方式

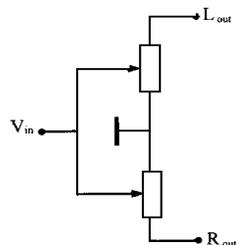


图 5 BAL 方式

这是一个单声道输入系统, 是通过跨接电位器的电路连接得到两声道输出, 通过电位器旋转实现左、右声道音量平衡和声像定位, 以往立体声调音台的产品均属于这一种, 能实现左右声像的移动效

果,它是二维平面声像效果,没有深度感,这种方式在扩音和录音中已经使用多年,工程上实现的方式很多,常用的有以下几种:

(1) BAL 方式 (BALANCE), 如图 4, 5。

(2) PAN 方式 (PAN POT), 如图 6。

两声道系统依靠听者所在的位置,感觉上改变了声像的位置,两个声源出现在左、右音箱之间。

(3) 全景方式 (DUBLE PAN POT), 如图 7。

全景立体声,通常指四声道系统,相对听者所在的位置,感觉上改变了声像的位置,具有左右前后方位感。

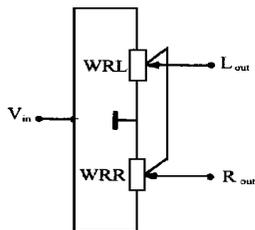


图 6 PAN 方式声像  
电位器原理

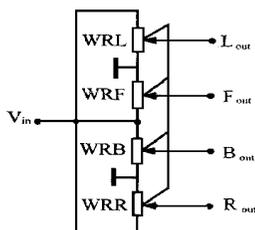


图 7 全景立体声  
声像原理图

### 3.3 SIS<sup>TM</sup>系统的工程方法

在工程应用中, SIS<sup>TM</sup>系统的安装调试调音能做到以下几点,方能充分发挥 SIS<sup>TM</sup>系统的特点,得到应有的声像移动的音响效果。

#### 3.3.1 系统的安装

(1) 音箱的安装位置

音箱的位置分左中右三个位置。左右音箱安装在舞台台口两侧,复盖全场。中间音箱置于舞台台口上方,独立复盖全场,如图 8 所示。图 8 (a) 为 SIS<sup>TM</sup>系统声场,图 8 (b) 为两声道系统声场。

(2) 音箱的配置

左右音箱配置用全频带同轴音箱,如 DML-1122A; ALTEC 9864/9894; ALTEC DTS 645/945 等,外加两只超低音箱,如 DML 2181A; ALTEC DTS 182/152 等,中置音箱用全频带号筒音箱,如 MH 640C; VI-12/15 等。

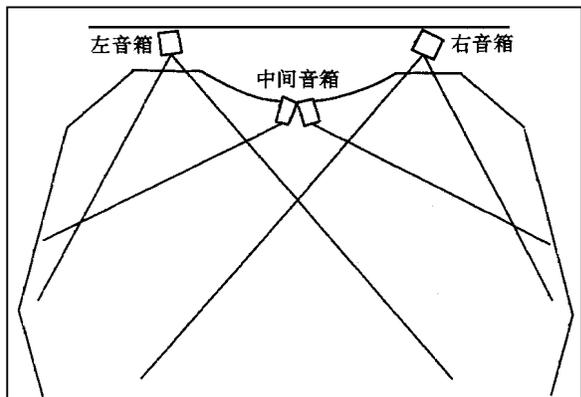
(3) 信号的馈送

左右声道以馈送音乐伴奏信号为主,如 CD 唱盘的 LR 信号,复盖全场,中置音箱以语言,演唱信号为主,独立复盖全场。

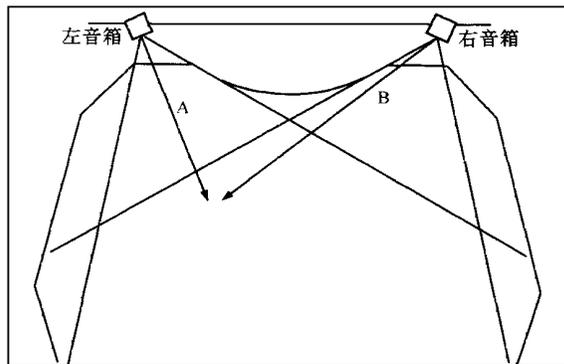
#### 3.3.2 系统的调音

例如:两声道 CD 唱盘作伴奏放音, L 声道信号送至扩声系统的 L 声道、R 声道信号送至扩声

系统的 R 声道,歌手在舞台中间用演唱传声器演唱,主持人在舞台右一中用语言传声器报幕或朗诵,另有一台钢琴在舞台左一中用乐器传声器拾音,调音设置如下:



(a) SIS<sup>TM</sup>声场覆盖图



(b) 两声道声场覆盖图

图 8 两种系统声场

(1) 音量调整

输入信号的调整。第一应突出歌手的演唱声和主持人的朗诵声,其次强调钢琴伴奏声。并注意与 CD 唱盘输出 L, R 信号的音量平衡。系统的信号输出很关键,必须处理得当。左中右三声道音量的控制要平衡,通常左右声道的音量要放在同样的位置上,以保持 CD 唱盘输出的电平差,或音量差,而中间通道比左右声道信号的相加值要高出 3~6dB,保持这个音量比率,方能得到全场声压级的均衡和声像定位,达到良好的扩声效果。

(2) 音色调整

通常 CD 唱盘输出的 LR 信号基本不用调整,扩声系统要基本保持这两个声道信号频响平直的位置,只能微调。对歌手、主持人,钢琴所用的通道要根据歌手,主持人,钢琴的条件分别润色,系统

的输出就不再做音色调整。

(3) 声源的定位

调音师在调音时, 首先要把要强调的声源, 如歌手、朗诵、独奏乐器等, 作合理的定位。

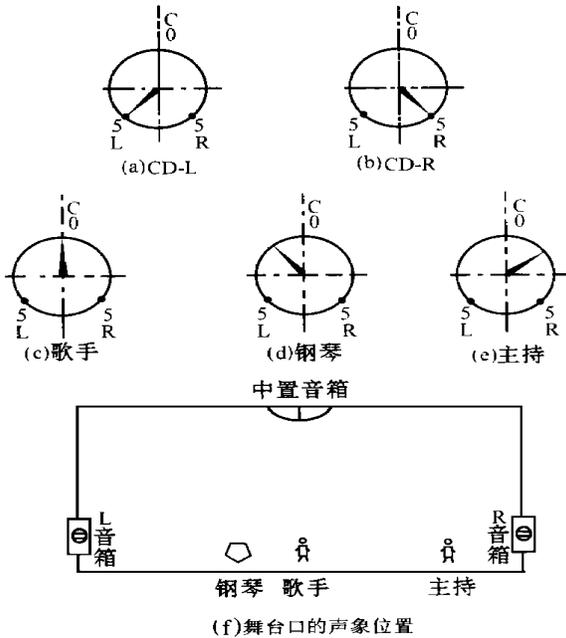


图 9 SIS 系统声像定位例图

图 9 (a) 伴奏 CD 唱盘的左声道定位于调音台第一通道 PAN 的 L-5 位置; 图 9 (b) 伴奏 CD 唱盘的右声道定位于调音台第二通道 PAN 的 R-5 位置; 图 9 (c) 歌手, 如果在舞台中间, 可定位于调音台第三通道 PAN 的 C-0 的位置; 图 9 (d) 钢琴, 在左中之间, 可定位于调音台第四通道 PAN 的 L-C 之间的 0~5 的相应位置; 图 9 (e) 主持人, 如果在右中之间, 可定位于调音台第五通道 PAN 的 R-C 之间的 0~5 的相应位置; 图 9 (f) 为各声源在舞台口的分布。

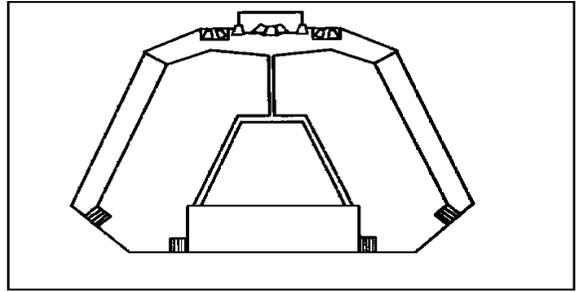
4 SIS<sup>TM</sup> 系统的工程应用范例

为方便工程设计者, 文中提供几种不同场合的声场音箱布置图及系统设备配置图, 如图 10~图 14, 仅供参考。

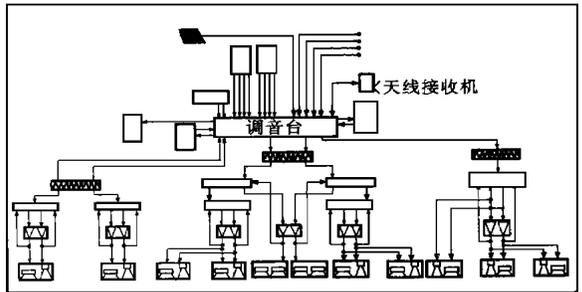
5 SIS<sup>TM</sup> 系统的听音效果

SIS<sup>TM</sup> 系统的听音效果给人们带来临场感、实况感、层次感、空间位置感等效果。有如下突出的特点:

(1) 声像具有多声源的分布感。听音者可感受到多个不同位置的声源在不同方位上的存在, 前期

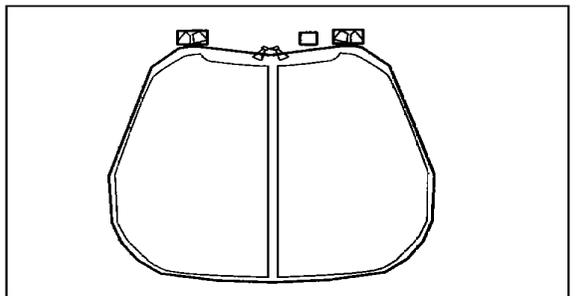


(a) 音箱布置图

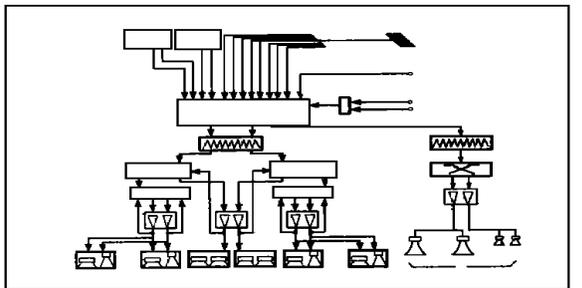


(b) 系统设备配置图

图 10 音乐厅总体布局



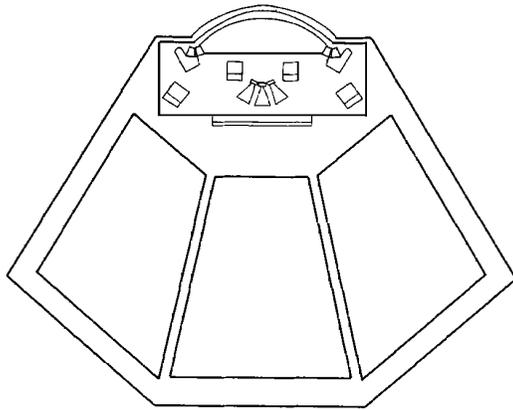
(a) 音箱布置图



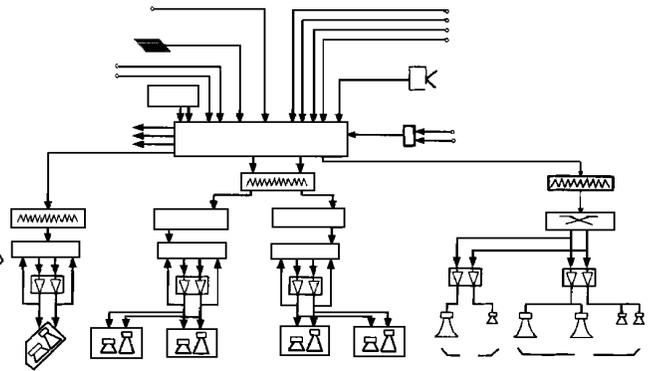
(b) 系统设备配置图

图 11 多功能厅总体布局

反射声和混响声比较接近实际情况, 增加临场感、实况感, 声场十分活跃。

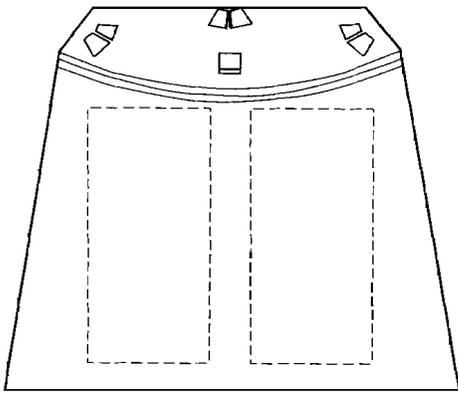


(a) 音箱布置图

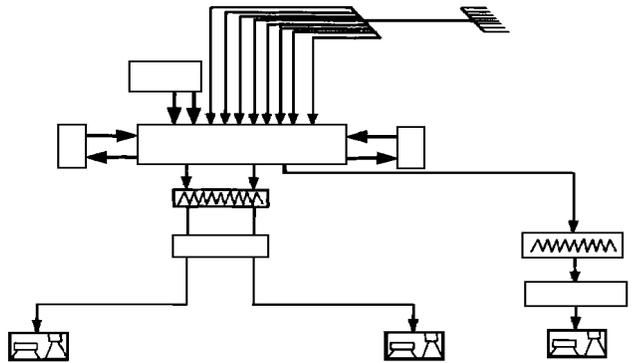


(b) 系统设备配置图

图 12 报告厅总体布局

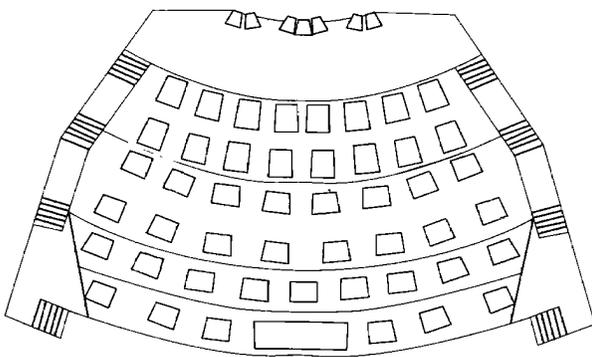


(a) 音箱布置图

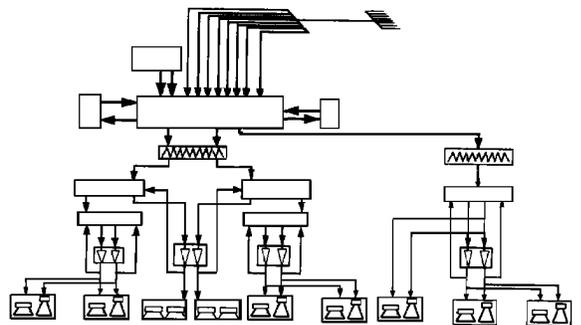


(b) 系统设备配置图

图 13 教堂总体布局



(a) 音箱布置图



(b) 系统设备配置图

图 14 迪斯科舞厅总体布局

- (2) 具有声像移动, 声像定位空间感。
- (3) 清晰度得以提高, 声音层次分明。

由于多声源的分布感, 从而减弱了声源之间的掩蔽效应, 听音者能辩明每个声源的信号内容, 使

清晰度提高。但环境要有合适的声学比, 足够的信噪比。

- (4) 多声源的声部平衡得到改善。

声像具有多声源的分布感, 给多声源的音量平

衡带来方便,为一些需要突出的声源(独唱、独奏、领唱、领颂等)创造了条件,既突出了某个声源,又平衡了整体声源,这在单声道中是难以做到的,单声道中,如果突出了某个声源,则更加重了单声道的效果,并且使声源音量失去平衡,失去了层次。

(5) 背景噪声的影响降低

与单声音相比,噪声具有多声源的分布性,单声道声源具有多声源的集中性。分散背景噪声干扰,为此降低了背景噪声的影响。

(6) 音响效果更加自然。空间声音定位由于采取信息分离组合的方法,所给出声音的独立信息比单声道多得多,有利于分散的多声源信息的恢复和重放,增加音响的自然效果。

(7) 性能价格比高

性能价格比是扩声系统优劣的重要标志。首先,效果给听众带来了全新的感受,最好的享受,听众满意;又给经营者带来了崭新的,高性能的、先进的产品,提高了扩声场所的档次,符合技术发

展动向,作到系统多年领先不落后,并会带来良好的经济效益。

感谢翁泰来先生为本文提供有益的参考资料

参考文献

- [ 1] DDA CS 8 Operation Manual · DDA EVI Audio Company
- [ 2] Soundcraft 8000 User Manual
- [ 3] ADDA advantage SIS™
- [ 4] H· Moller · Applied Acoustic · 1992, 36-3/4: 171~218
- [ 5] J· Blauert · Spatial Hearing · MIT Press Cambridge, MA, 1983
- [ 6] NELSON · IEEE Trans · Signal Process, 1992, 40-7: 1621~1632
- [ 7] Cui Zhi fa · Range of Equipments in Sound System · Beijing International Conference and Exhibition on Radio TV Cable 15-19 October 1990 Conference Record, 519~524
- [ 8] 谢兴甫· 立体声的研究· 1987
- [ 9] 管善群· 电声技术基础· 1988
- [ 10] 崔志发· 声系统及设备论文集· 电子部情报网· 北京 1993. 2

( 收稿日期 1999 01 04)