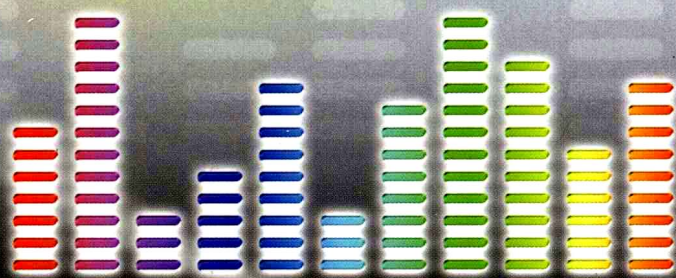




数字声频 多声道环绕声 技术

王 鑫 唐舒岩 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

中国传媒大学亚洲传媒基金研究项目

数字声频多声道环绕声技术

王 鑫 唐舒岩 编著

人 民 邮 电 出 版 社
北 京

图书在版编目(CIP)数据

数字声频多声道环绕声技术 / 王鑫, 唐舒岩编著. —北京:
人民邮电出版社, 2008.11
ISBN 978-7-115-17619-6

I. 数… II. ①王… ②唐… III. 多声道录音—语音数
据处理 IV. TN912.12 TN912.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 018076 号

内 容 提 要

本书从环绕声技术的理论基础出发, 按照环绕声节目制作流程, 详细介绍了环绕声节目的前期拾音、编解码技术、重放格式、控制室设计及上下变换等多方面的内容, 并对环绕声拾音及各种制式的特点和关系作了重点介绍。

本书内容翔实, 实用性强, 可作为本、专科院校录音专业以及相关专业的教材, 同时也是从事录音工作的相关人员不可多得的参考用书。

数字声频多声道环绕声技术

-
- ◆ 编 著 王 鑫 唐舒岩
责任编辑 张兆晋
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京鸿佳印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 15
字数: 374 千字 2008 年 11 月第 1 版
印数: 1—4 000 册 2008 年 11 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-17619-6/TN

定价: 32.00 元

读者服务热线: (010)67120142 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

序

当终于看到两位年轻作者通过电子邮件发给我的本书定稿时，我由衷地感到高兴和欣慰——我们这个团队多年来的研究成果终于可以呈现给广大的热心读者了。这些年来我们一直在跟踪国内外相关课题的研究动向，邀请国内外的著名学者和录音师来学校开办录音大师班论坛，走出国门与国外的同行进行研讨和交流，同时我们自己也在孜孜不倦地开展科研工作。本书的部分章节就源自两位主要作者的硕士研究生毕业论文，有些章节则是研究团队中其他成员的学术研究成果。鉴于本书的结构，我们的部分实验性研究成果还不能体现在本书中，确实有些遗憾。

北京广播学院（现中国传媒大学）录音学院（现影视艺术学院录音系）在国内很早就开展了关于数字声频多声道环绕声技术的研究。我系的李大康教授在国内首次进行了音乐厅内的多声道环绕声录音实践及其研究工作，我们指导的硕士研究生刘晓飞、王鑫、吴帆、佟欣和唐舒岩等分别完成了多声道环绕声监听控制室设计、虚拟环绕声技术、环绕声节目的主观评价、多声道与双声道格式变换，以及环绕声重放系统定位理论等方面的研究工作；胡泽等多位年轻教师在数字声频的编码方面也开展了大量的研究工作。涓涓细流汇成河，我们感到无比的欣慰。

这些年来我国的多声道环绕声技术的发展十分迅速，不论是基础理论研究，还是实践工作都十分引人注目。相当多的家庭已经安装了能够重放多声道环绕声节目的声音重放系统，人们可以方便地欣赏到多声道环绕声节目。

2008 年是非常不平凡的一年，我国成功举办了第 29 届夏季奥林匹克运动会。这届运动会首次对全部竞赛项目以高清晰度形式进行拍摄、传输和播出，为此 BOB（北京奥林匹克转播机构）首次在 IBC（国际广播中心）搭建了数字声频多声道环绕声的监听控制室，为全世界观众奉献出了完美的视听盛宴。

关于声音的传输、拾取、记录和重放方法的研究从来就没有停止过。从爱迪生的留声机到当今的多声道环绕声技术，人们走过了一个多世纪的艰难历程。我们应该庆幸生活在这样一个科技飞速发展的时代，相信随着科技的发展和人们生活水平的不断提高，人们一定会欣赏到更加真实、美妙的声音。

朱 伟
2008 年 9 月

前 言

随着录音技术、数字信号处理技术的发展,声音的重放形式已逐渐从单声道过渡到双声道立体声,直到现在的数字多声道环绕声。在环绕声时代,无论是声音的拾取还是后期制作都发生了很大变化。目前世界上共有几十种环绕声拾音制式,但它们大多是从实践中得来,缺少声学理论分析。各种各样的环绕声重放系统均由不同的机构开发,多样的环绕声编解码系统将大数据量的环绕声节目进行压缩存储在光盘等介质上,为了能够制作环绕声节目,录音棚的声学设计和监听设备的选购也要根据环绕声节目的特点重新进行考虑。总之,数字多声道环绕声的出现,对声频领域的各个方面都提出了新要求。

数字多声道环绕声技术目前还是一个较新的研究课题,这方面的技术理论书籍在国内尚不多见。虽然很多声频工作者已经尝试进行了环绕声节目的录音与制作,但是由于没有真正理解多声道环绕声所要表现的深刻内涵,加之对现有的环绕声拾音制式理解不够透彻,从而导致录制出的声音表现不够理想。另外,由于不清楚环绕声对于制作设备的更高需求,致使很多设备的功能没有充分发挥出来,甚至混淆了多种编解码技术,出现了环绕声节目不兼容等问题。

“数字声频多声道环绕声技术”是中国传媒大学亚洲传媒基金研究项目,该项目由录音系朱伟教授任负责人,录音系的相关教师和研究生参与完成,本书即为该项目的最终研究成果。本书由朱伟负责主编,并对全书的结构和论述形式进行总体把握,由录音系的音频技术专业在读博士生王鑫和人民教育出版社唐舒岩主笔完成。在此特别感谢胡泽老师对本书第4章写作的支持。考虑到全书的严谨性和科学性,我们并没有将一些尚未形成定论的研究成果放到本书中。为了方便读者阅读,本书还系统介绍了与环绕声相关的一些背景知识,为广大读者提供环绕声相关理论和实践指导。

本书共分8章,从环绕声的前期录制到后期制作、编解码、上下变换等多个方面进行阐述。第1章概述了环绕声在不同应用领域的历史发展;第2章介绍了与环绕声相关的声学知识;从第3章至第7章按照环绕声节目制作的流程,分别介绍了环绕声节目的拾音、编解码技术、重放格式和控制室设计等内容;第8章针对环绕声与立体声节目交换的问题,阐述了环绕声节目的上下变换技术。

本书作者是在相关科研的基础上,结合中国传媒大学有关学院开设的“环绕声技术”课程教案编写完成的。由于我们对此课题的研究刚刚展开,具体问题的研究尚不够深入,书中难免有错失之处,还请各位专家和广大读者指正。

编 者

2008年7月于中国传媒大学

目 录

第 1 章 环绕声的历史发展	1
1.1 引言	1
1.2 电影环绕声的历史发展	2
1.2.1 电影环绕声的出现	2
1.2.2 数字环绕声时代	4
1.2.3 数字环绕声格式的扩展	5
1.3 音乐环绕声的历史发展	6
1.3.1 环绕声概念的引入	7
1.3.2 “短命”的 4 声道环绕声系统	7
1.3.3 多声道的音乐环绕声系统	7
1.4 多声道格式概览	8
1.5 多声道环绕声系统的优势	13
第 2 章 空间听觉模型与心理声学	14
2.1 空间听觉模型	14
2.2 心理声学	16
2.2.1 人耳对声源的定位	16
2.2.2 人耳对距离与深度的感知	23
2.2.3 人耳对声源宽度的感知	23
2.2.4 环绕感和空间感	25
第 3 章 音乐多声道环绕声拾音技术	28
3.1 音乐环绕声节目制作的理念	28
3.2 多声道传声器矩阵系统的构建理念	28
3.3 多声道传声器矩阵系统中的前方三声道拾音系统	31
3.3.1 音乐环绕声系统的前向三声道监听系统	31
3.3.2 音乐环绕声中前方三声道系统的重放定位理念	32
3.3.3 三声道扬声器重放系统的特点	33
3.3.4 三声道传声器拾音系统	39
3.4 多声道传声器拾音系统中的环境信号拾取系统	82
3.4.1 音乐环绕声系统的环境信号监听系统	83
3.4.2 环境信号重放系统的特点及要求	83
3.4.3 环境信号传声器拾音系统	84
第 4 章 环绕声编解码技术	111
4.1 压缩编码的必要性	111

4.2 感知编码	111
4.2.1 感知编码的理论基础	112
4.2.2 MPEG-2 Layer I、II、III 声频编码感知编码的理论基础	113
4.2.3 杜比 AC-3	117
4.2.4 MPEG-2 AAC 声频编码	123
4.2.5 相干声学编码	126
4.3 无损编码	129
4.3.1 MLP 无损编码	130
4.3.2 DSD 及 DST 无损编码	135
第 5 章 环绕声重放系统	141
5.1 环绕声重放系统原理	141
5.2 四声道环绕声格式	142
5.3 5.1 (3/2/1) 环绕声格式	143
5.3.1 5.1 环绕声格式构成	143
5.3.2 5.1 环绕声格式的声像定位分析	145
5.4 其他环绕声格式	148
5.5 常见的环绕声重放系统	149
5.5.1 杜比专业逻辑环绕声系统	149
5.5.2 杜比数字环绕声系统	151
5.5.3 DTS 环绕声系统	152
5.5.4 SDDS 环绕声系统	152
5.5.5 DVD Audio	153
5.5.6 SACD	154
5.5.7 高清时代的环绕声格式	155
第 6 章 虚拟环绕声系统	164
6.1 虚拟环绕声系统分类	164
6.1.1 听觉传输立体声系统	164
6.1.2 “3D” 准环绕声系统	165
6.1.3 多通路环绕声的虚拟重发系统	165
6.2 虚拟处理技术	167
6.3 虚拟环绕声系统的稳定性	171
6.3.1 头部跟踪自适应法	171
6.3.2 多分辨率频谱合成法	172
6.3.3 最佳扬声器摆位法	181
第 7 章 环绕声录制监听环境	184
7.1 环绕声录制监听环境的影响因素	184
7.2 控制室声学环境	187
7.2.1 控制室的基本参数	187
7.2.2 控制室吸声的声学处理	190

7.2.3 控制室隔声、隔振的声学处理	191
7.2.4 声扩散	191
7.2.5 共振	191
7.3 扬声器的设置与摆放	192
7.3.1 ITU-R BS.775-1 的标准	192
7.3.2 监听扬声器的选择	193
7.3.3 扬声器摆位设置	193
7.3.4 监听距离	197
7.3.5 扬声器摆位校正	199
7.3.6 低音效果声道和低频管理系统	200
7.4 系统的检测与校准	202
7.4.1 常用的检测信号	203
7.4.2 主扬声器监听电平校准	204
7.4.3 LFE 声道监听电平校准	208
7.4.4 系统的延时校准	209
7.5 环绕声录音棚设计实例	210
7.5.1 声学处理	211
7.5.2 电声系统	212
7.5.3 系统的调试和试运行	212
第 8 章 多声道格式与双声道格式的转换	215
8.1 上变换算法	215
8.1.1 前方三声道的产生	215
8.1.2 环境声生成技术	223
8.2 下变换算法	224
8.2.1 线性变换方法	225
8.2.2 虚拟声处理技术	227
参考文献	229

第 1 章 环绕声的历史发展

1.1 引言

近年来,随着高密度记录媒体、家庭影院、多媒体计算机、数字信号处理等技术的发展,各种数字视听系统层出不穷,极大地提高了人们对视听效果的感受。而人类对于声音重放质量的要求也总是随着科技水平的提高而不断增长,这其中最显著的变化,就体现在重放系统声道数量的增加上。

人类的听觉是一种对多种信息的综合性反应。除了最基本的声音要素,如响度、音调和音色以外,还包括反映声音空间特性的因素,比如声源的方向、声源的远近、声场的大小、声场的色彩等。人耳对声音空间特性的感受主要由“双耳效应”决定:声源在双耳产生的时间差和强度差是人能够对声源位置进行定位的主要原因。另外,耳郭对声波的衍射所引起的梳状滤波器效应,以及人头转动所引起的时间差和强度差的改变,也会对声源定位产生重要作用。除直达声外,各种反射声也会到达人耳,其在时间和空间上的分布会使听者产生对周围环境一种综合的整体印象,这包括空间感、包围感和温暖感等。而声音重放系统声道数的不断增长,也就是为了能够将这些信息尽可能多的予以体现。

自 1877 年爱迪生发明留声机之后的几十年中,人们普遍使用的声音重放系统是单声道系统,即只使用一只或几只扬声器来重放由一只传声器记录的声音信号。这种重放系统只能表现声音的响度、音调和音色,并在一定程度上体现声源的远近和声场的色彩,而对于声源的定位几乎无能为力。

随着电子录音和扬声器的不断发展,人们对完美声音的追求也在不断提升。为了改善单声道声音重放系统在声源定位方面的缺陷,人们开始探索用 2 个或 3 个声道来记录声音信息,并通过 2 只或 3 只扬声器进行重放。众所周知,双声道立体声的出现是为了真实地再现原声场的声音及其空间信息,使人们在聆听时有身临其境的听觉感受。这种双声道立体声系统能够利用“双耳效应”来产生“听觉幻象”,达到对前方声源横向、纵向的定位,并能够比较明显的表现声音空间特性。但是双声道立体声系统只能提供有限的前方声场,即提供二维空间的分辨能力,并不能还原 360° 的空间信息。

尽管如此,相比于单声道系统而言,双声道或 3 声道立体声系统的进步是巨大的。早在 19 世纪末,人们就开始对这种系统的特性进行探索。1881 年,有人曾经在巴黎用普通电话线传送双声道立体声节目;1920 年,英国哥伦比亚唱片公司进行了 3 声道唱片的录制实验;1925 年,柏林广播电台用 2 个中波台试播立体声广播;1932 年,美国贝尔实验室利用高带宽的电话线在华盛顿和费城音乐学院之间传送 3 声道交响乐;1937 年,立体声电影问世。人们在实践中发现,与双声道立体声相比,3 声道立体声对于音乐重放的质量的提升并没有很大的优势,而且即使是使用 3 声道记录的信号,重放的时候也可以仅使用 2 只扬声器(将中间声道平均分配给左右声道)。因此,在家庭声音重放系统中,双声道立体声逐步成为主流。

到了 1943 年,德国柏林帝国广播电台利用磁带录音机进了立体声音乐录音,这一技术标志着立体声录制和重放进入实用阶段。1957 年,英国和美国生产出了第一批商用立体声唱片。自此,立体声技术得以广泛应用,并在此后的近半个世纪中使视听艺术的创作得到空前的发展。

与此同时,从 20 世纪 50 年代起,人们开始了环绕声系统的研究工作,并首先在电影行业取得巨大成功,然后启发人们将该技术转向家庭和纯音乐领域。应该说环绕声系统比立体声系统取得的最重要的进步是对声音空间特性全方位的再现,它不仅为听众重现了前方声场,对后方声场的声音也进行了真实还原。因此随着环绕声技术的不断发展,它越来越成为关注的焦点。

由于应用领域的不同,环绕声系统是沿着电影和音乐两条脉络进行发展的,下面分别来进行系统梳理。

1.2 电影环绕声的历史发展

电影环绕声系统也被称作伴随图像的环绕声系统,主要目的是带给听音者一种视听结合的效果。对于这一类系统,由于听音者的注意力集中在前方,因此对于前方声像的清晰度和稳定度要求较高,而侧向及后方的扬声器只重发环境声即可,以起到辅助和衬托作用。

1.2.1 电影环绕声的出现

环绕声首先在电影行业普及,继而逐渐转向家庭和纯音乐领域。回顾电影环绕声的发展,我们先从音乐动画影片《幻想曲》谈起。1940 年 11 月 13 日,美国迪斯尼公司公映《幻想曲》,首次采用了多声道录音和多声道重放技术。影片中大部分的音乐在费城音乐学院内录制完成,采用 8 轨光学声迹录音机,其中 6 条光声迹用于录制管弦乐,1 条光声迹用于单声道混录,另外 1 条光声迹用于远距离的室内效果录制。而声音重放系统是在电影传统的中置声道外增加了左、右声道,构成了 3 声道系统。此外,除了包含这 3 个声道的光声迹,在光声迹胶片上还有第 4 条控制光声迹,能以 20dB 的增益给出声级切换。放映时,含有 4 轨光学声迹的胶片与电影画面胶片同步运行。但是因为整个放映系统非常复杂,重量达到 7 吨,因此极大地限制了这项技术的应用范围。由于第二次世界大战的影响,这套昂贵的系统没有推行开。虽然该影片的重放系统还没有出现环绕声道,但是这种制作理念为环绕声的出现起到极大地推动作用。

1953 年,华纳兄弟影业公司在《幻想曲》的基础上推出《名人蜡像馆》,将声音推广到环绕声系统。放映时画面需要 2 台放映机同步平行放映,前方 3 个声道的声音用磁性胶片予以记录,放映中与影片同步运行。一台放映机影片上 1 条光声迹记录环绕声声道,另一台放映机影片上的 1 条光声迹记录备份的单声道混合信号。这是电影院中最早出现的 LCRS 方式声音配置。然而该系统的声道仍需记录在其他胶片上与影片同步进行。

电影工作者一直在不断提高电影图像和声音的质量。传统的光学声迹之所以被全球广泛采用,是因为它具有经济、简单和可靠等特性。声迹和画面通过感光的方法同时印制在胶片上,如果仔细应用能够长久保持良好的还音质量。但是由于光学胶片本身物理特性的限制,使得模拟电影声音的信噪比和频率响应无法达到满意的水平。因此在 20 世纪 50 年代,电影院曾推出了一种新的在胶片上印好画面再涂上磁条,然后将声音实时记录在磁条上的技术。

在影院中，影片在装有还音磁头的放映机上还音。这种磁性声迹使得电影声音质量大大提升，可获得优于光学声迹的保真度。而且该系统可以将声音和画面记录在同一胶片上，大大降低了重放系统的复杂性。当时所采用的主要有两种系统，一种是4声道35mm的西尼玛斯科普（CinemaScope）系统，另一种是6声道70mm的陶德宽银幕（Todd-AO）系统。

如图1-1和图1-2所示，西尼玛斯科普系统采用4路磁性声迹。它沿用了LCRS 4声道重放方式，而S声道和我们现在定义的环绕声道不同，称之为效果声道更准确，多用于重放偶然出现的戏剧性声音，例如在宗教性的场面中天堂的声音。陶德宽银幕系统采用6路磁性声迹，构成5路前方声道和1路环绕声道的声音系统，如图1-3所示。

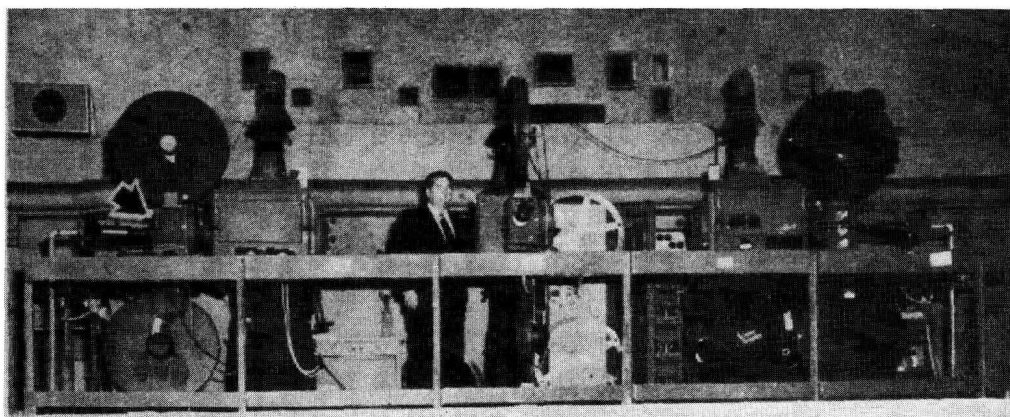


图 1-1 庞大的西尼玛斯科普放映系统

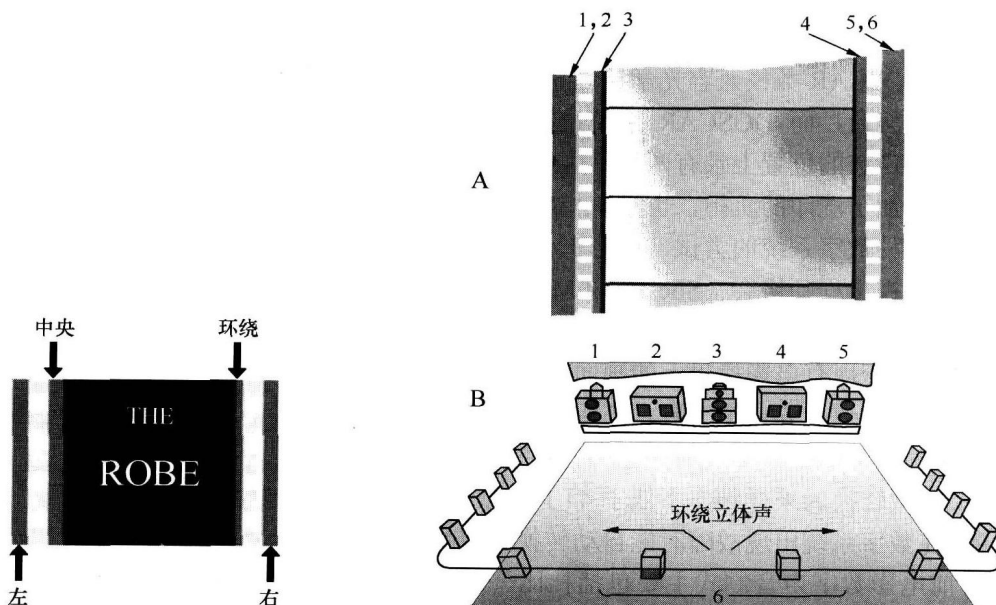


图 1-2 西尼玛斯科普系统的 4 声道磁性声迹

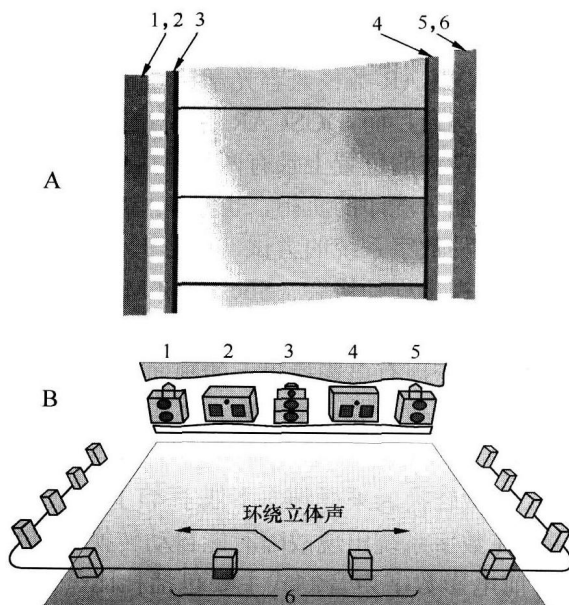


图 1-3 陶德宽银幕系统的 6 声道磁性声迹

在 20 世纪 50 年代，磁性声迹得到了比较广泛的应用，但与光学声迹拷贝相比，其发行拷贝成本高，磁性条不够耐磨，还音设备维护费用高，因此导致磁性声迹拷贝数量和能够进行磁性还音的影院数量急剧下降，这样磁性声音变成了一小部分首轮放映“巨片”的影院所保留的声音制式，而大多数观众观看电影听到的声音都是保真度较低的单声道光学发行拷贝

的声音。加之电视行业的巨大冲击，电影行业进入低谷。

杜比 (Dolby) 公司在提升电影声音质量方面起到关键性作用。随着电子技术的发展，在 20 世纪 70 年代，杜比公司开发的杜比 A 降噪系统开始应用到电影胶片光学声迹上。噪声的降低使得立体声光学声迹成为现实。在 1976 年，杜比公司开始了基于在 2 声迹中记录 4 声道的立体声矩阵编解码系统，称为杜比光学立体声系统。该系统使用 4-2-4 逻辑编解码技术，设置为银幕后 3 个扬声器 (L、C、R)，观众席周围为一组扬声器 (S)。将 L、C、R 和 S 这 4 路信号编为 Lt、Rt 两路信号，再经过杜比 A 型降噪器编码后记录在立体声光学声迹上。在重放时先将信号经过杜比 A 型降噪器解码后在使用专门的解码器将 4 个声道还原。著名导演乔治·卢卡斯在《星球大战》中采用了该系统，此后该系统逐渐在美国电影行业得到广泛应用，并推广到全世界。

在 20 世纪 80 年代末，杜比公司又将在录音行业取得成功的杜比 SR (频谱录音) 降噪系统应用到杜比立体声中，使得该系统技术指标有了很大提高，例如信噪比可达 60dB，基本达到了模拟声频技术在电影光学声迹应用的极限。

1.2.2 数字环绕声时代

单声道的环绕声只能实现单一的声像，显然满足不了观众的需求。人们需要更多的声道，更大的动态范围和更宽的频率响应，而数字化的发展无疑满足了人们的要求，解决了模拟技术中难以克服的难题，突破了存储容量的极限，大大提高了声道间的分离度。

早在 20 世纪 80 年代末，加拿大、美国和德国首先开始了电影数字声迹的开发，包括加拿大国家电影局和巴林格 (Barringer) 研究所共同研制的 35mm DOS 电影数字光学声迹系统，美国柯达公司与 ORC 公司共同研制的 CDS 数字光学声迹系统，原民主德国的德发电影制片厂研制的 DOSCAR 数模兼容光学声迹系统。DOS 和 CDS 系统都因与模拟系统的不兼容而逐渐退出历史舞台，而 DOSCAR 系统虽然能够兼容模拟系统，但是它的环绕声仍为单声道，而且在原有声迹的位置上录有两种不同类型的声迹，正中间为数字声迹，两侧为矩阵编码声迹，极大增加了洗印的负担，也没有相应的影片问世。

经过各种数字系统的尝试，电影工作者对于电影数字声音制式的要求越来越明确，结合美国电影电视工程师协会 (Society of Motion Picture and Television Engineers, SMPTE) 声音委员会对改进电影声音质量进行的调查，这些要求主要包括：

- ① 不改变现有电影拷贝上的画面尺寸和位置；
- ② 重放声道以 6 声道为宜，包括 3 个全频带前方声道，2 个全频带环绕声道和 1 个低音效果声道；
- ③ 模数转换的采样频率不低于 44.1 kHz，声音质量达到或接近 CD 水平；
- ④ 在数字系统出现故障时能自动转换到模拟光学声迹。

目前电影数字声音制式主要包括杜比公司的 SR.D 系统、环球公司的 DTS 和美国索尼公司的 SDDS 系统，如图 1-4 所示。SR.D 系统由杜比公司于 1991 年在美国东部电影展 (ShowEast) 上推出，并在 1992 年 6 月首次应用于影片《蝙蝠侠归来》。该系统将数字声迹和模拟声迹印在同一个电影拷贝上，它的模拟声迹是 Dolby SR 光学声迹，仍在原来的位置，而将左、中、右、左环绕、右环绕和低音效果声道编码压缩后的数码流印在 35mm 发行拷贝光学声迹一边的齿孔之间。DTS 系统是美国环球公司于 1993 年在电影《侏罗纪公园》推出的数字声音制式。该制式采用双系统重放，在电影胶片的图像和光学声迹之间加印了一

道专用时间码，放映时用此时间码去引导单独的 CD-ROM 系统进行 6 个声道的还音，同时也保留了模拟的 Dolby SR 光学声迹。SDDS 系统是美国索尼电影制片公司于 1993 年末推出的 8 路数字声音制式。该系统与 SR.D 基本相同，数、模两种声迹均印在同一拷贝上，7.1 的数字声道分别为左、中、右、左中、右中、左环绕、右环绕和低音效果声道，增强了前方声源的定位。该系统将 8 路数字信号分为两组进行编码后记录在两侧片孔外的边缘上，此外每一边缘都彼此记录另一组信号的混合信号，以备一边出问题，另一个边仍能还原出 7.1 路数字信号。



图 1-4 Dolby SR.D、DTS 和 SDDS 系统数字、模拟声迹位置

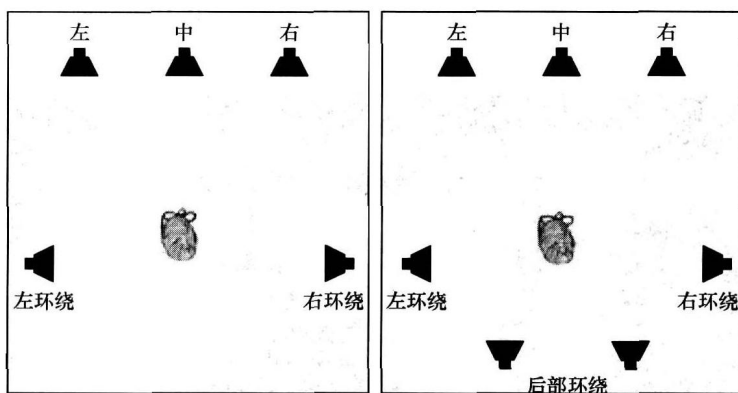
环绕声技术在电影行业取得了巨大成功之后，人们逐渐将该技术转向家庭领域，出现了多种多样的家庭影院系统，例如 Dolby Digital（杜比数字）和 DTS 家庭影院系统。随着各种光盘记录载体不断的扩容，人们在家中能获得越来越高保真的视听享受了。

1.2.3 数字环绕声格式的扩展

从现阶段来看，电影院仍以 5.1 路数字环绕声制式为主要重放格式，但是未来数字影院技术的发展将带来更多声道、更高质量的电影声音，真正达到“全息立体声”的效果。2003 年 4 月，SMPTE 下属的数字影院工作组 DC28.10 声频小组出台了《SMPTE 428.3M 协议》，提出了 20 声道环绕声系统。这 20 个声道包括：银幕后面的左声道、中声道、右声道、左中声道、右中声道、两个低音效果声道、左宽声道、右宽声道、左环绕声道、左环定位声道、左后环绕声道、中后环绕声道、右后环绕声道、右环定位声道、右环绕声道、银幕垂直左声道、银幕垂直中声道、银幕垂直右声道、顶部中心环绕声道。由此可以看出，该系统中前方的 5 个声道可以增强前方声源的精确定位，中环绕声道改善了后方定位的连续性和包围感，顶部声道的设置让重放系统由平面再现扩展到空间再现，增加了垂直方向定位。

随着家庭影院不断的发展，新的环绕声系统不断推陈出新。从 3 声道的 Dolby Surround（杜比环绕声）、4 声道的 Dolby Pro Logic（杜比定向逻辑），到 6 声道的 Dolby Digital 和 DTS 5.1 系统，使得多声道环绕声系统日益完善。但是，随着人们对声像定位和临场感等要求的提

高,更多声道的环绕声格式出现了。杜比公司在 Dolby Digital 基础之上推出了 Dolby Digital Surround EX 系统,而 DTS 公司也在 DTS 之上推出 DTS EX 系统,都将系统扩展成为 7 声道系统,增加了中环绕声道。该声道可以增加对一些影片中特殊音效的再现,例如来自后方的声像向前穿越推进,此时的连续移动感和声像定位能力会更为完美、逼真。图 1-5 为 Dolby Digital 和 Dolby Digital Surround EX 系统示意图。



(a) Dolby Digital 5.1

(b) Dolby Digital Surround EX

图 1-5 Dolby Digital 和 Dolby Digital Surround EX 系统

随着高清晰度电视时代即将到来,以及新型的 BD 和 HD DVD 光盘的问世,又会出现什么新型的数字环绕声格式呢?各大公司都为在高清晰度电视领域争得一席之地而努力研发自己的新型环绕声系统。杜比公司就在 2004 年的东京国际录音师协会(Audio Engineering Society, AES)大会上,首次展示了全新的 Dolby Digital Plus (杜比数字+)系统,随后还推出了 Dolby True HD 系统,这两个系统都是为高清光盘格式的发展而设计的多声道音频格式。而 DTS 公司也不甘示弱,推出了 DTS HD 系统。纵观这几种新型的系统,它们共同的特点是提供了更高的音质,更多的声道,进一步提升了观众的视听享受。此外随着传输数据量的增大,不再使用 S/PDIF 或者光纤作为传输接口,而采用 HDMI 或 IEEE 1394 作为传输接口。图 1-6 为 Dolby Digital Plus 和 DTS HD 的系统标志。



(a) Dolby Digital Plus 标志



(b) DTS HD 标志

图 1-6 Dolby Digital Plus 和 DTS HD 的系统标志

1.3 音乐环绕声的历史发展

音乐环绕声系统主要用于单纯的声音重放,其主要目的是要将音乐厅的听觉效果尽可能不失真的传递给听众。因此这种系统与电影环绕声系统存在较大差别,对这类系统而言,前方、侧向和后方的声像定位都十分重要,而侧向反射声对于空间感建立至关重要,要给予特别关注。

1.3.1 环绕声概念的引入

在 20 世纪 50 年代中期引入了立体声录音,随即出现了立体声重放系统,可以说 20 世纪 60 年代是立体声的黄金时期。在那个时候,唱片公司或声频生产厂商的辞典中尚未存在“环绕声”一词。

但是在研究领域,研究人员已经有了利用音乐厅的室内音响信息来建立现实立体声效果的想法,并展开了相关的实验。例如凯斯、斯坦恩克和瓦格纳提出的“环绕声”系统是在听音者背后放置两个或多个扬声器以重现声场效果,非常类似于今天的环绕声。然而由于技术和设备的限制,这些实验研究并没有在市场上推广开来。

在 20 世纪 60 年代中期,多轨磁带录音机的诞生引入了多声道录音方式。录音师可以使用多个声道录制,从最初的 3 路,逐渐发展到 24 路,使独立录制环境信息成为可能,这也为环绕声系统在音乐领域的推广起到至关重要作用。

1.3.2 “短命”的 4 声道环绕声系统

从 20 世纪 60 年代后期到 20 世纪 70 年代中期,随着 4 声道音乐带的面世,4 声道环绕声系统逐渐占据了市场。当时 4 声道系统的扬声器摆放存在多种形式:基于哈夫勒法的 4 声道系统设置为听音者前面正中央 1 路,左、右两侧各 1 路,背后 1 路;由 JVC 公司推出的 4-0 系统中 4 路信号均由位于前方的 4 只扬声器重放;而由 Vanguard 公司联合 AR 公司推出的 4 声道系统是 2-2 放音系统,前方两路,后方两路,形成矩形排列,该系统也是最为大家所熟悉的,如图 1-7 所示。

在初始阶段,4 声道节目只能通过 4 声道音乐带重放,而真正的普及必须在当时已经是主体的 LP 记录媒体上进行录放。而 LP 本身只有两路,如果要重放 4 声道信号,需要引入新的技术。总体来看主要包括 4-2-4 的矩阵方式和 4-4-4 的离散方式。这些新技术的引入,使得 4 声道系统得到广泛的推广,几乎所有的声频产品制造商都开发着他们自己的格式,以不同的名称投向市场。

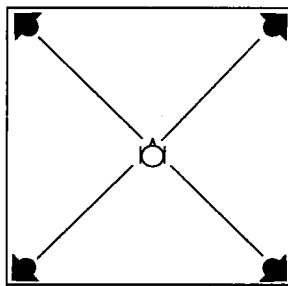


图 1-7 正方形 4 声道环绕声的扬声器摆位

然而这种繁荣的市场扩展并没有持续太久,在 20 世纪 70 年代末 4 声道环绕声系统以失败而告终。通过对该系统的分析,其失败的原因主要包括以下几个方面:

① 由于市场上存在多种格式,且不同格式之间不兼容,限制了用户的选购范围;各个厂家为了商业扩展而引发了“格式战争”,过分的炒作使用户感到模糊而得不到所必需的合适的知识。由于不恰当的应用 4 声道系统导致听音效果不良,使用户失望。

② 针对普及最广的 2-2 方式 4 声道系统而言,对听音位置要求非常严格,必须位于 4 只扬声器中心的位置上,稍微偏离一点就会导致声音效果变差;该系统信息传输能力有限,还将所有方向信息等同处理,反而导致重要信息丢失。

1.3.3 多声道的音乐环绕声系统

在 20 世纪 80 年代,由于 4 声道系统的失败以及 CD 唱片的兴起,音乐领域内几乎没有对环绕声展开积极的工作。随着 CD 的快速普及,音乐和录音产业迅速增长。在 CD 唱片发

展到成熟阶段，一些厂家开始考虑在 CD 唱片上存储环绕声录音的节目。1997 年在美国发布了以 DTS 编码的 5.1 声道环绕声 CD，这种光盘被称为 DTS-CD。DTS-CD 可采用 4 声道、5 声道或 5.1 声道多种形式。

1996 年，世界上第一个数字视频光盘媒体 DVD 问世，新媒体的出现极大的推动了环绕声声频的发展。从 1995 年末以来，国际上展开了新的用于音乐重发的环绕声系统的研究，并提出了利用 DVD 光盘的所有容量来记录未压缩或经过无损压缩的多通路环绕声信号，即 DVD-Audio。从 DVD 工业协会 1999 年 2 月批准的 DVD-Audio 1.0 版标准草案来看，DVD-Audio 可以记录 74min，最高可达 96kHz 采样率，24bit 量化，6 个全频带通路的线性 PCM 或无损压缩的声频信号。

在 DVD-Audio 发展的同时，索尼和飞利浦公司发展了另一种高密度多通路环绕声信号记录方式 Supper Audio CD (SACD)。它采用独特的双层结构，即在 CD 层下 0.6mm 处加上一层容量为 4.7GB 的 HD 层，分别用不同的光头读取。CD 层的记录格式与标准 CD 兼容，HD 层的数据则分为 3 个部分：内侧为双声道立体声信号区；中间为多声道环绕声信号区，最多可记录 6 条声道；最外侧为附加数据区，可记录文字、图形等信号。SACD 采用 DSD 码流和高达 2.8224MHz 的采样率。

伴随着更大容量的 BD 和 HD DVD 光盘的问世，相信将来会有更高技术指标和更多声道的纯音乐环绕声系统出现。

1.4 多声道格式概览

如今随着环绕声技术不断发展，多声道格式多种多样，能够支持多声道格式的媒体也越来越多。表 1-1 总结了在不同的应用领域，由不同的组织制定的多声道格式的规格；表 1-2～表 1-6 按照不同的应用领域，分别列出了常用多声道格式的详细技术规格。

表 1-1 多声道重放格式和制定组织

应 用 领 域	多声道格式制定者	编 码 方 式	注 释	制 定 组 织
电 影	SMPTE	Doldy Digital、DTS、SDDS	<<	SMPTE、ISO
DVD-Video	杜比实验室、DTS	Doldy Digital、DTS	<<	DVD 论坛 WG1
DVD-Audio	DVD 论坛 WG4	LPCM、PPCM	=	DVD 论坛 WG4
SACD	索尼、飞利浦	DST (DSD 码流)	=	索尼、飞利浦
数 字 广 播	ARIB	MPEG-2 AAC*1	<	ISO、IEC
	杜比实验室	Doldy Digital *2	—	—
	DTS	DTS *3	—	—
	管理部门	MPEG-2*4	<	ISO、IEC
	其他矩阵编码方法，例如 Dolby Pro Logic II			
游 戏	杜比实验室、DTS	杜比实验室、DTS	<<	硬件制造商

注：“<<”表示虽然标准组织制定了录音标准，但实际采用的录音标准和重放标准都由其他组织提供。

“<”表示由标准组织制定的录音标准已经被广泛采用，但是重放标准由实际的应用部门考虑。

“=”表示标准组织直接制定录音标准和重放标准，并已经得到广泛应用。

*1：用于日本；*2：用于欧洲、美国和韩国；*3：用于欧洲；*4：用于欧洲。

表 1-2

用于电影的多声道格式

应 用 领 域	电 影		
方法	3-1 矩阵编码		
名称	Dolby Stereo	DTS Stereo	
制定者/组织	杜比实验室	DTS	
矩阵编码	4-2 矩阵编码	←	
压缩算法	-	-	
录音记录标准	L,C,R: 全频带 S: 100~7000Hz	← ←	
重放标准 (扬声器、功放)	电平: $L=C=R=S(LS+RS)$	←	
	L,C,R: 全频带 S: 100~7000Hz	← ←	
方法	5.1 声道		
名称	Dolby Digital	DTS	SDDS
制定者/组织	杜比实验室	DTS	Sony
矩阵编码	-	-	-
压缩算法	Dolby AC-3	APT-X100	ATRAC
录音记录标准	L,C,R,LS,RS: 全频带 LFE: <120Hz	L,C,R: 全频带 LS,RS: 80~2000Hz* LFE: <80Hz *LS&RS 声道中低于 80Hz 的信号在编码过程 中混合到 LFE 声道中	L,C,R,LS,RS: 全频带 LFE < 120Hz (SMPTE 标准)*在理论上也可采 用全频带信号
重放标准 (扬声器、功放)	Level: $L=C=R$ LS=RS=-3dB LFE=+10dB 带内增益	← ←	← ←
	L,C,R,LS,RS: 全频带 LFE: 20~120Hz	L,C,R: 全频带 LS,RS: 80~2000Hz LFE: 20~80Hz	L,C,R: 全频带 LFE: 20~120Hz
注释			通常采用 7.1 声道, 在 5.1 声道的基础上增加 LC (位于 L 与 C 之间) 和 RC (位于 R 与 C 之 间) 声道
方法	6.1 声道矩阵		
名称	Dolby Digital Surround EX	DTS-ES 矩阵	
制定者/组织	杜比实验室	DTS	
矩阵编码	LS,RS: 3-2 矩阵编码	LS,RS: 3-2 矩阵编码	
压缩算法	Dolby AC-3	APT-X100	