

全国智能建筑行业培训用书

智能建筑工程技术丛书

会场系统工程

顾克明
彭妙颜
周锡韬
等编著

住房和城乡建设部科技委智能建筑推广中心
中国建筑业协会智能建筑分会
组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为《智能建筑工程技术丛书》之一,该丛书较系统、完整地介绍了智能建筑工程的设计、施工与验收技术,并以工程实用、兼顾适量的基本理论知识为根本出发点,以指导工程的设计、施工与验收,从而确保工程质量。

全书共10章,详尽地阐述会场系统工程(剧场、会议厅、影院、体育场馆、多功能厅等)有关音/视频、建筑声学及灯光系统设计的基础知识、设计内容、要求、步骤、重点以及依据的规范和调试测量验收等内容,并举出大量的工程设计实例,务求使读者能通过本书较全面地了解会场系统工程有关音/视频、建声和灯光系统的设计内容、要求和方法。

本书吸收了大量工程实例,结合了作者多年的科研成果和工作经验,适合作为会场系统工程、音频、视频、灯光、装饰与环境设计等专业的教材或参考书,也可作为从事上述专业的设计人员和工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

会场系统工程/住房和城乡建设部科技委智能建筑推广中心,中国建筑业协会智能建筑分会组编;顾克明等编著. —北京:中国电力出版社,2012.12

(智能建筑工程技术丛书)

ISBN 978-7-5123-3812-8

I. ①会… II. ①住…②中…③顾… III. ①智能建筑-系统工程 IV. ①TU855

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第287840号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2013年3月第一版 2013年3月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 27.75印张 680千字

印数0001—3000册 定价85.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

《智能建筑工程技术丛书》编委会

主 任 徐正忠

副主任 黄久松 张公忠 郭维钧 毛剑璘

祝敬国 李翠萍

委 员 (按姓氏笔划排序)

张成泉 张 宜 陈 龙 郑清明

查树衡 赵哲身 顾克明 濮容生



智能建筑工程技术丛书

序

多少世纪以来，建筑师、工程师们在继承人类建筑历史文化的同时，不断运用新的科技成果，建造了具有时代气息的，体现当代社会生产力水平丰富多彩的建筑，为人们安居乐业提供了最重要的物质保障，同时构成了地球上一道璀璨的风景线。这一切不仅是人类艺术创作的硕果，也是人类科学创造的结晶。回顾历代建筑实践，使我们越来越深刻地认识到建筑是艺术和科技的结合。这一结合的日趋完美，反映了人们对良好人居环境的不懈追求。

人们对建筑物的基本要求是防寒避暑，防止外来侵害，保护隐私，提供饮食起居空间和工作环境。在我国经济不发达的时期，增加建筑的空间尺度几乎成了人们的第一追求，这种状况一直延续了很长时间。进入 20 世纪晚期，我国社会政治经济和科学技术飞速发展，与此同时，自然而然地，人们对居住、工作环境的需求发生了质的飞跃。人们热切希望通过拓展建筑物的功能，满足不断增长的对安全性、宽裕度、舒适度、使用效率等的需要，这样“智能建筑”便应运而生。我们清醒地看到，这一追求必然和我国自然资源紧缺、人口压力巨大构成突出的矛盾。因此，树立科学发展观，最大限度地采用先进适用的科学技术开发、提高建筑功能和质量，来实现上述目标，就成为一种必然的选择。可喜的是，近 20 年来，随着各类不同用途建筑的大量建设，控制技术、计算机技术、通信技术和现代建筑技术紧密结合，建筑智能化技术逐步发展，建筑物的智能化管理也提上日程，各类建筑和居住小区智能化工程发展迅速。我们欣喜地看到，建筑智能化技术使传统的建筑发生了新的飞跃，赋予了现代建筑新的内涵，大大提升了建筑品质，不断改善甚至更新了人们的工作、生活环境，智能建筑展现了广阔的发展前景。

如前所述，我国智能建筑的发展虽然起步较晚，但已经取得了长足的进步，智能化系统在体现以人为本的精神、改善人们的工作和生活环境等方面已发挥了重要作用，在建设资源节约型、环境友好型社会的实践中作出了重要的贡献。为认真总结我国智能建筑发展十年来的理论与实践，推广智能建筑的经验，由

我国一批智能建筑专家共同编写了《智能建筑工程技术丛书》。我认为这是一项十分有益的工作，相信《丛书》的出版对促进智能建筑的快速、健康发展必将起到积极的作用。

郑一军

（建设部原副部长、中国建筑业协会会长）



智能建筑工程技术丛书

前言

20 世纪 80 年代以来,我国经济建设与科学技术高速发展,大大推进了建筑技术水平的提高。使之进入了建筑技术发展的新阶段。近十余年来,在贯彻“节约资源、保护环境”等国策下,为达到逐步改善与提高全社会的工作、生活环境,对各类建筑(含居住区)的建造,对其安全、高效、节能、环境、舒适等提出了新的要求,以使其满足建筑使用功能的需求。为此,业内广大专业技术人员与相关行业专家相结合,不断引入了现代化的控制技术、计算机技术、网络技术和通信技术,并紧密与现代建筑技术相结合,通过大量的工程应用,经过实践检验已初步形成了具有我国特色的“建筑智能化技术”,基本满足了各类建筑(含居住区)的使用需求,实现了现代化的管理。并将建筑的建造技术赋予了新的智能化技术内涵,不仅提升了建筑的科技含量和价值,而且给现代建筑也注入了新的活力。

智能建筑的发展,引起了我国政府主管部门的高度重视,1996 年 5 月,建设部科学技术委员会为引导建筑智能化技术的正确发展,及时成立了“建设部科技委智能建筑技术开发推广中心”(现更名为住房和城乡建设部科技委智能建筑推广中心),组织相关行业的专家深入工程实际共同研究、交流、协调并加以推动。多年来,在政府主管部门的指导和同行的共同努力下,智能化系统已成为建筑物的必配系统,建筑智能化技术的发展已有相当高的水平,大大提升了建筑和居住区的功能和管理水平,在降低建筑能耗、改善人们工作和生活环境等方面发挥了重要作用。在工程实践中,也锻炼出了一批经验丰富、工程能力强的专业技术队伍,智能建筑产品的国产化水平逐步提高。

为此,“住房和城乡建设部科技委智能建筑推广中心”与“中国建筑业协会智能建筑分会”共同组织国内知名建筑智能化技术专家编写了本套《智能建筑工程技术丛书》。各分册主要编写人员为:

《楼宇自动化工程》	祝敬国
《消防工程》	濮容生等
《信息网络工程》	查树衡等
《社区数字化工程》	毛剑瑛等
《综合布线工程》	张 宜
《安全防范工程》	陈 龙

《智能化供配电工程》 郑清明等

《机房工程》 张成泉等

《智能建筑控制与节能》 赵哲身

《会场系统工程》 顾克明等

本丛书较系统、完整地介绍了智能建筑工程的设计、施工与验收技术，并以工程实用型，兼顾适量的基本理论知识为根本出发点，以指导工程的设计、施工与验收，从而确保工程质量。希望各单位在使用过程中对本书提出宝贵意见，以使本丛书不断改进，日臻完善。

在此谨向为编审本丛书作出贡献的各位专家和支持这项工作的领导们深表谢意。

住房和城乡建设部科技委智能建筑推广中心
中国建筑业协会智能建筑分会

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized Chinese characters, likely representing the official approval or endorsement of the publication.



本书命名基于《会议电视会场系统工程设计规范》(GB 50635—2010)。笔者在参与该标准编制的过程中深深感到,随着时代的发展和技术进步,会议系统在智能化建设中的份额越来越大,功能全、专业性强、效果要求高的大中型会议系统越来越多,近距离的多个会议室之间往往要求做到信息互联互通,资源共享。而远程的会议系统更要求通过网络相互连接起来实时进行流畅的视频、音频、数据和流媒体的传输与信息交流。在数字处理技术飞速发展的今天,倘若沿用单一化的设计理念已经无法保证会议系统的先进性,所以,必须扩大思路,引入会场系统这个概念。即是将分散的多种会议设备形成一个整体,组成一个能满足不同功能要求的现代会场系统。

会场系统是一个复杂的系统工程,它涉及声频扩声、视频显示、灯光照明、网络传输、管理控制以及会场环境等多项专业技术。会场使用效果需依靠各专业的密切配合,如设备决定系统性能指标,环境决定最终使用效果,建声装修影响音响扩声效果,灯光照明影响图像摄取与显示的效果等。因此,需要通过科学的设计和精心的安装调试才能全面满足其功能需求,达到最佳的会场效果。

语言清晰度是会场系统的重要技术指标。《公共广播系统工程技术规范》(GB 50526—2010)首次写入扩声系统语言传输指数 STIPA,《会议电视会场系统工程设计规范》(GB 50635—2010)以及修订的《厅堂、体育馆扩声系统设计规范》(GB/T 28049—2011)等国家标准都列入了扩声系统声学特性指标中,明确规定了 STIPA 的指标值——会议类扩声系统一级 $STIPA > 0.5$, 二级 ≥ 0.5 ; 会议电视扩声系统一级 $STIPA > 0.6$, 二级 > 0.5 。《智能建筑工程质量验收规范》(GB 50339—2012)修订中也已将语言传输指数 STIPA 作为会议扩声系统检测的主控项目。因此,本书对该指标进行了较多的论述,并举出具体工程实例,说明只要以建声为基础、电声为条件,通过统筹设计、互补设计,取得语言清晰度高指标是不难的。

会场系统建设越来越趋向高清会议系统发展,当前一提到高清会议系统,首先想到的是视频部分,是说比标准清晰度更高的显示能力和显示模式。作者认为高清会议系统应包含视频与音频两部分,音频与视频同等重要。

书中对高清会议系统的要求、特点和工程设计作一些讨论。高清会议系统不只是终端设

备能力的再现，而是端到端的全过程，它包括高清源（包括音/视频）→传输路由→高清（包括音/视频）再现，从“头”到“尾”不能有任何瓶颈。还着重介绍了会议电视系统灯光对视频图像的影响，通过灯光的严谨设计保证主/分会场系统效果都良好，力求做到语言高清晰度、图像高分辨率、传输高保真度、使用高可靠性。

近年来电子技术和信息技术的飞速发展，出现了大量的新器件、新技术、新系统、新的设计理念和新的设计手段。大量的优秀会场系统如雨后春笋般出现，因此社会急需大批专业技术人员和管理人员。为了帮助有关人员更好地了解掌握会场系统工程的最新技术，指导其进行工作实践，笔者在广大设备生产和工程企业的支持下，根据长期从事教学、科研和工程实践的经验编写了此书。编写中力求理论与实践相结合。在讲述一定深度的理论知识的基础上，给出大量最新的工程实例，从一般剧场、会议厅、体育场馆到大型的会场系统工程均有详细的介绍，具有较强的实践指导意义。本书可作为会场系统工程、音频、视频、灯光、装饰与环境设计等专业的教材或参考教材，也可供从事上述专业的设计人员和工程技术人员参考。同时也适合工厂企业、机关学校、文艺团体、体育场馆、剧场、歌舞厅、会议中心、电视演播厅和电化教学等部门从事会场技术和管理工作的有关人员阅读。

本书在编写过程中得到了中国电子科技集团公司第三研究所、广州大学声像与灯光技术研究所、北京飞利信科技股份有限公司、深圳市台电实业有限公司、武汉安通科技产业发展有限公司、广州市锐丰音响科技股份有限公司、广州市河东电子有限公司、北京达尼利华科技发展有限公司、东莞三基音响科技有限公司、深圳市锐取软件技术有限公司、迪士普音响科技有限公司、北京力创昕业科技发展有限公司、EASE（中国）声学设计与咨询有限公司、天富通亮（北京）科技有限公司，以及巴可、AMX、快思聪、科视、EXTRON、VTRON、NEC、松下、SONY、快捷、ACE、马田灯光、雅江、珠江、方达、ETC、南艺、飞达、飞利浦、铁三角、森海塞尔、SHURE、CLOCK-AUDIO、TR、NTi Audio 等公司的大力支持，他们为本书提供了宝贵资料及编写意见和建议。陈建利、张利滨、穆向昕、隋春立等专家对本书做了很多审校和补充。另外，叶煜辉、陆德宝、侯移门、王齐祥、祝科、陈崇光、张启浩、舒适良、隋星、宋小威、杨汉平、陈敏、顾铨等同志为本书的出版做了大量工作，在此一并表示深切谢意。本书在编写过程中还参阅了大量的著作、刊物和网站文献，在此特向这些文献的作者表示衷心的感谢。

由于本书内容较新，且涉及面广，鉴于编者水平有限，难免存在疏漏，恳请读者批评指正。

顾克明

2013年1月



序

前言

编者的话

第一章 基础知识	1
第一节 声音的计量	1
第二节 人耳的听觉特性	7
第三节 声压级的计算	10
第四节 建筑声学基础	13
第五节 STIPA 原理介绍	25
第六节 电视技术基础知识	32
第二章 音频扩声系统设备	45
第一节 音频扩声系统的组成及分类	45
第二节 音频信号源与录放设备	46
第三节 音频放大器	50
第四节 信号处理器	52
第五节 调音台	60
第六节 传声器与扬声器	66
第三章 会议讨论发言表决系统	80
第一节 概述	80
第二节 手拉手型会议讨论系统	81
第三节 自动混音型会议讨论系统	82
第四节 数字式智能会议讨论系统	84
第五节 红外线会议讨论系统	87
第六节 同声传译系统	89
第七节 会议表决系统	90
第八节 电子投票选举系统	92
第九节 会议扩声传声器的选择	93
第十节 会议系统啸叫抑制技术	95
第十一节 会议讨论发言表决系统典型工程介绍	97

第四章 会议扩声系统集成与声场设计	106
第一节 会议扩声系统的集成.....	106
第二节 声场设计理念.....	117
第三节 音响工程设计方法.....	123
第四节 基于 STIPA 测试对声场语言清晰度的调试	130
第五章 EASE 声学计算机辅助设计	135
第一节 EASE 软件的发展	135
第二节 EASE 软件概述	135
第三节 房间模型的建立	137
第四节 EASE 声学参量预测	141
第五节 EASE 音质效果预听	147
第六节 采用 EASE 进行声学设计的要点	152
第七节 工程设计举例.....	153
第八节 软件使用中的注意事项.....	155
第九节 多功能礼堂系统工程设计介绍.....	161
第六章 图像采集、处理、传输和显示系统	177
第一节 会场音视频系统的组成.....	177
第二节 图像信号采集系统——视频信号源与记录重放设备.....	178
第三节 图像信号视频显示系统.....	181
第四节 图像信号分配、切换及处理系统.....	204
第五节 图像信号传输系统.....	207
第六节 会议电视会场系统工程设计案例.....	212
第七节 关于高清会议系统设计的讨论.....	228
第七章 灯光与幕布系统	233
第一节 光与颜色的基本概念.....	233
第二节 电光源.....	237
第三节 照明灯具.....	244
第四节 照度计算.....	259
第五节 照明供配电系统.....	268
第六节 照明控制及调光系统.....	273
第七节 会场照明系统工程设计.....	283
第八节 智能照明控制系统.....	299
第九节 会场系统的舞台幕布.....	309
第八章 集中控制管理系统	324
第一节 概述.....	324
第二节 集控系统的功能要求.....	324
第三节 集控系统的组成.....	326
第四节 集控系统工程实例.....	329
第五节 智能会务管理系统.....	333

第九章 会场系统设备配置与安装	337
第一节 扩声系统配置及安装.....	337
第二节 灯光系统配置及安装.....	339
第三节 视频系统配置及安装.....	340
第四节 会场系统建筑声学装修.....	344
第五节 会场环境装修.....	346
第六节 会场系统设计与安装案例.....	351
第十章 会场系统工程技术指标的测量与验收	358
第一节 会场系统工程的主要技术指标.....	358
第二节 会场系统工程技术指标的测量.....	368
第三节 会场系统工程的调试和验收.....	382
第四节 会场系统工程设计调试实例.....	389
附录 A GB 50606—2010《智能建筑工程施工规范》(摘录)	399
附录 B GB 50635—2010《会议电视会场系统工程设计规范》(摘录)	406
附录 C GB/T 28049—2011《厅堂、体育馆扩声系统设计规范》(摘录)	418
附录 D JGJ 57—2000《剧场建筑设计规范》(摘录)	425
参考文献.....	429



基础知识

在会场系统工程设计、调试和测量过程中大量应用了声学、光学、电学、电子学等领域的基础知识。本章介绍声学（主要是电声学和建筑声学）的基础知识，在照明系统和视频系统等应用到的其他相关学科基础知识则在各有关章节中分别讲述。

声学（acoustics）：研究声波的产生、传播、接收和效应等问题的科学。

声学的分支包括理论声学、电声学、建筑声学、音乐声学、语言声学、心理声学、水声学、噪声学、超声学、分子声学等。在会场系统工程中主要应用电声学和建筑声学的基础知识。

电声学（electroacoustic）：研究电声换能的原理、技术和应用的科学，是电子学和声学的交叉学科。包含用电子器件来产生各种频率、波形和强度的声音以及有关声音接收、放大、传输、测量、分析和记录等电声技术，并形成了实用性很强的音频工程。

建筑声学（architectural acoustics）：研究与建筑环境有关的声学问题的科学，它为音质设计服务，目的是创立符合人们听闻要求的环境。内容包含两个分支学科——室内声学（room acoustics，研究厅堂音质）和房屋声学（建筑环境噪声控制）。

第一节 声音的计量

一、声音的产生

声音（sound）来源于物体的振动（vibration），声源产生振动时，迫使其周围的空气质点往复移动，使空气中产生在大气压力上附加的交变压力，这一向外传播的压力波称为声波（sound wave）。通常把声的物理过程称为声波，而把与听觉有关的过程称为声音。

人耳能感觉到的声波频率范围约为 20Hz～20kHz；低于 20Hz 的声波称为次声（subsonic）；高于 20kHz 的声波称为超声（super sound）。

产生声波的物体称为声源（sound source），声波所及的空间范围称为声场（sound field）。

二、声波的基本参数

声音的基本参数参见图 1-1。

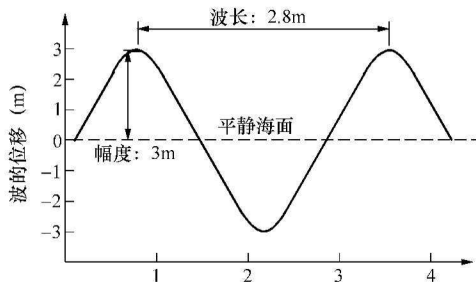


图 1-1 声波的参数

1. 振幅 (amplitude)

振动的物理量偏离平衡位置时的最大值, 符号 A , 单位米 (m)。

2. 周期 (period)

完成一次振动所经历的时间, 符号 T , 单位秒 (s)。

3. 频率 (frequency)

1s 内振动的次数, 符号 f , 单位赫兹 (Hz)。

4. 波长 (wave length)

在声波传播的途径上, 两相邻同相位质点之间的距离, 符号 λ , 单位米 (m)。

5. 声速 (speed of sound)

声波在弹性媒质中的传播速度, 符号 c , 单位 m/s。通常室温下空气中的声速约为 340m/s, 钢中的声速为 5000m/s, 松木中的声速为 3320m/s, 水中的声速为 1450m/s。

6. 声速、波长、频率、周期的关系

$$c = \lambda f \text{ 或 } c = \frac{\lambda}{T}$$

频率是周期的倒数, 即 $f = 1/T$, 如果 $f = 50\text{Hz}$, 则 $T = 0.02\text{s}$ 。

室温空气中, 频率 $f = 100\text{Hz}$ 的波长 $\lambda = 3.4\text{m}$, 频率 $f = 1\text{kHz}$ 的波长 $\lambda = 0.34\text{m}$ 。

三、声音大小的量度

(一) 分贝

分贝 (dB, deci Bel) 是电学和声学计量中一种“级” (level) 的单位, 是贝尔 (Bel) 的 1/10。

下面介绍分贝在通信和音响领域中的应用例子。

1. 分贝代表比值——相对电平

(1) 设某放大器输入功率 10W 时, 输出功率为 1000W, 即功率放大倍数 $K_p = 100$, 取对数 $K(\text{dB}) = 10\lg K_p = 10\lg 100 = 10 \times 2 = 20\text{dB}$ 。该放大器的功率增益为 20dB。

(2) 某放大器输入电压 $V_1 = 1\text{mV}$ 时, 输出电压 $V_2 = 1\text{V}$, 即电压放大倍数 $K_v = 1000$, 取对数 $K(\text{dB}) = 20\lg K_v = 20\lg 1000 = 20 \times 3 = 60\text{dB}$ 。该放大器的电压增益为 60dB。

(3) 某衰减器输入 $V_1 = 2\text{V}$ 时, 输出电压 $V_2 = 1\text{V}$, 即衰减系数为 $K_v = 0.5$, 取对数 $K(\text{dB}) = 20\lg K_v = 20\lg 0.5 = 20 \times (-0.3) = -6\text{dB}$ 。该衰减器的衰减率为 -6dB。

2. 以分贝为单位的好处

人耳的听觉符合对数特性; 取对数后可以把乘除运算简化为加减运算; 作图时 (如频响特性曲线, 见图 1-2), 取对数坐标有压缩作用。

3. 绝对电平和相对电平

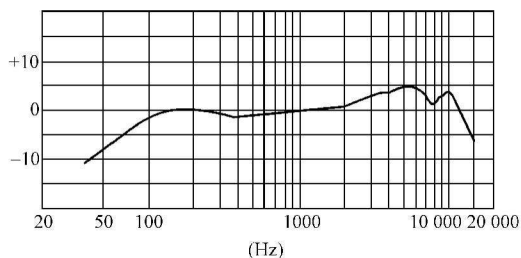


图 1-2 频响特性曲线

以分贝来表示的电压、电流或功率的相对比值, 称为相对电平。如果规定好统一的比较基准, 则相对比值可以引申为绝对数字, 即从相对电平变为绝对电平, 分贝代表绝对值——绝对电平。

通信工程中常用的是以 $P = 1\text{mW}$ 功率, 消耗在 $R = 600\Omega$ 电阻上的情况为标准, 定为

0dBm, 这时电压 $V_0=0.775\text{V}$ 。

在通信和音响技术中常见的绝对电平有 dBm、dBW、dBV 和 dBu。

dBm: 以 $P=1\text{mW}$ 功率, 消耗在 $R=600\Omega$ 电阻上的情况为标准, 以分贝表示的信号绝对电压电平, 即 0dBm 代表 0.775V ($R=600\Omega$)。

dBW: 取 1W 作基准值, 以分贝表示的绝对功率电平, 即 0dBW 代表 1W 。

dBV: 取 1V 作基准值, 以分贝表示的信号绝对电压电平, 即 0dBV 代表 1V 。

dBu: 取 0.775V 作基准值, 以分贝表示信号绝对电压电平, 即 0dBu 代表 0.775V 。

常见的绝对电平 dBu 有:

$V=0.775\text{V}=775\text{mV}$, 则 $\text{dBu}=20\lg 0.775/0.775=0\text{dBu}$ (LINE IN/OUT)

$V=1.09\text{V}$, 则 $\text{dBu}=20\lg 1.09/0.775=3\text{dBu}$

$V=1.23\text{V}$, 则 $\text{dBu}=20\lg 1.23/0.775=4\text{dBu}$ (LINE IN/OUT)

$V=1.55\text{V}$ 则 $\text{dBu}=20\lg 1.55/0.775=6\text{dBu}$ (LINE IN/OUT)

$V=2.48\text{V}$, 则 $\text{dBu}=20\lg 2.48/0.775=10\text{dBu}$ (LINE IN/OUT)

$V=7.75\text{V}$, 则 $\text{dBu}=20\lg 7.75/0.775=20\text{dBu}$

$V=77.5\text{V}$, 则 $\text{dBu}=20\lg 77.5/0.775=40\text{dBu}$

$V=0.0775\text{V}=77.5\text{mV}$, 则 $\text{dBu}=20\lg 0.0775/0.775=-20\text{dBu}$ (MIC IN)

$V=0.000775\text{V}=0.775\text{mV}$, 则 $\text{dBu}=20\lg 0.000775/0.775=-60\text{dBu}$ (MIC IN)

(二) 声功率、声强和声压

1. 声功率 (sound power)

声源在单位时间内向外辐射的声能, 单位为瓦 (W)。人讲话的声功率大致是 $10\sim 50\mu\text{W}$, 独唱或乐器独奏大致是几百至几千微瓦。声功率不应与声源其他功率混淆。例如放大器输出的电功率 (扬声器的输入功率) 为 100W , 但扬声器的效率从百分之零点几到百分之十几 (如 0.5%), 则扬声器辐射的声功率 (扬声器的输出功率) 等于 $100\times 0.005=0.5\text{W}$ 。

2. 声强 (sound intensity)

声强是衡量声波在传播过程中声音强弱的物理量。声场中某一点的声强, 即指单位时间内, 在垂直于声波传播方向的单位面积上所通过的声能, 符号为 I , 单位是瓦/米² (W/m^2), 由式 (1-1) 表示

$$I = \frac{W}{S} \quad (1-1)$$

式中 W ——声源声功率, W;

S ——声能所通过的面积, m^2 。

对平面波而言, 在无反射的自由场中, 由于在声波的传播过程中, 其声线互相平行, 波阵面大小相同, 故同一束声波通过与声源距离不同的表面时, 声强不变, 如图 1-3 所示。

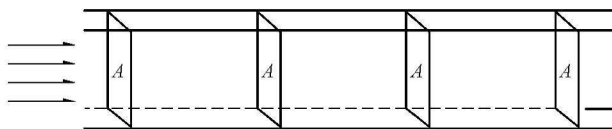


图 1-3 平面波声强与距离的关系

对于球面波而言,随着传播距离的增加,波阵面也随之扩大。在与声源相距 $r\text{m}$ 处,球面的面积为 $4\pi r^2$,则该处的声强为

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \quad (1-2)$$

由此可知,对于球面波而言,其声强与声源的声功率成正比,而与到声源的距离平方成反比,如图 1-4 所示。

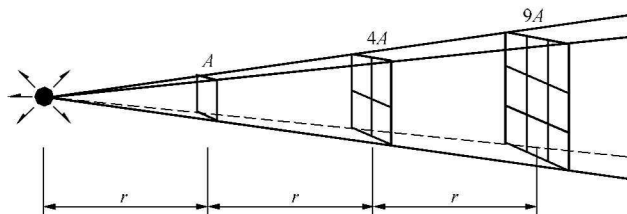


图 1-4 球面波声强与距离的关系

以上现象均未考虑声能在介质中传播时由于介质的吸收而导致的能量损耗。实际上,这种损耗是存在的。声音的频率越高,传播的距离越长,损耗就越大。

3. 声压 (sound pressure)

介质质点由于受声波作用而产生振动时所引起的大气压力的起伏,称为声压,符号 p ,单位为帕斯卡,简称为帕 (Pa)。

声压与声强有着密切的关系。在无反射、吸收的自由声场中,某点的声强与该处声压的平方成正比,而与介质的密度和声速的乘积成反比,即

$$I = \frac{p^2}{\rho_0 c} \quad (1-3)$$

式中 p ——有效声压, Pa;

ρ_0 ——介质密度, kg/m^3 , 一般空气取 $1.225\text{kg}/\text{m}^3$;

c ——介质中的声速, m/s 。

$\rho_0 c$ 又称空气的特性阻抗。

由此可知,在自由声场中,如果测得某点的声压和该点离开声源的距离,就可以算出该点的声强,并进一步用式 (1-2) 可得到声源的声功率。

(三) 声功率级、声强级与声压级

正常的人耳所能感知的声强和声压的范围是很大的。对于 1000Hz 的纯音,人耳刚能听见的闻阈声强是 $10^{-12}\text{W}/\text{m}^2$,相应的声压是 $2 \times 10^{-5}\text{Pa}$;而使人耳产生痛觉的痛阈声强是 $1\text{W}/\text{m}^2$,相应的声压是 20Pa 。可以看出,人耳可容许的声强范围相差 10^{12} 倍,即一万亿倍,其声压也相差一百万倍。因此,很难直接用声强或声压来计量。如果改用对数标度,就可以压缩这个范围。同时,人耳对声音大小的感觉也并非与声强、声压成正比,而是近似地与声强或声压的对数值成正比。所以,对声音的计量常采用对数标度,于是就引入了级的概念。在声学中,级表示一个量与同类基准量的对数。

1. 声功率级 L_w (sound power level)

声功率级是声功率与基准声功率之比的对数的 10 倍,记作 L_w ,单位是分贝 (dB),表达式为

$$L_w = 10 \lg \frac{W}{W_0} \quad (1-4)$$

式中 W ——某点的声功率, W ;

W_0 ——基准声功率, $10^{-12} W$ 。

2. 声强级 L_I (sound intensity level)

声强级是声强与基准声强之比的对数的 10 倍, 记作 L_I , 单位也是分贝 (dB), 可用式 (1-5) 表示

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad (1-5)$$

式中 I ——某点的声强, W/m^2 ;

I_0 ——基准声强, $10^{-12} W/m^2$ 。

3. 声压级 L_p (sound pressure level, SPL)

声压级是声压与基准声压之比的对数乘以 20, 记作 L_p , 单位也是分贝 (dB), 可表示为

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad (1-6)$$

式中 p ——某点的声压, Pa;

p_0 ——基准声压, $2 \times 10^{-5} Pa$ 。

p_0 是 1kHz 频率声波时人耳最低可闻阈声压, 相应的声压级为 0dB。

声功率级、声强级、声压级都是无量纲量, 是相对比较的值, 其数量大小与所规定的参考值有关。在级的分贝标度中, 压缩了人耳感觉上下限范围的数量级, 并接近人耳的感觉变化。几种不同声源的声压级见表 1-1。

研究发现, 人们对声音强弱的变化的察觉能力是有限的, 经过初步训练后人耳对声压级的分辨能力大约是 $\pm 2dB$, 另外规定 $-3dB$ 为界来确定频率响应范围等的原因是半功率点, 也就是功率为 $1/2$, 电压开二次方, 也就是 1.414 或 0.707 的关系。

4. 声波的叠加

声压级叠加时, 不能简单地进行算术相加, 而要对数运算规律进行。对于 n 个相同声压级的叠加, 其叠加后的总声压级为

$$L = L_1 + 10 \lg n \quad (1-7)$$

式中 L_1 ——一个声源单独作用时的声级, dB;

n ——声源数目。

当两个相同声源叠加, 则 $n=2$ 。而 $\lg 2=0.3$, 可见两个数值相等的声压级叠加后, 只比原来增加 3dB, 而不是增大一倍。

【例 1-1】 同一处两个扬声器单独扩声时, 在某点产生的 (直达声) 声压级均为 80dB, 则两个扬声器同时开动时, 在上述点测得的 (直达声) 声压级为多少?

解

$$L = L_1 + 10 \lg n$$

已知: $L_1=80dB$

表 1-1 几种不同声源的声压级

声源	声压级 (dB)
喷气式飞机	140
疼痛阈	120
迪士高扩声系统一级	106
音乐扩声系统一级	106
音乐语言兼用扩声系统一级	103
语言扩声系统一级	98
相距 1m 交谈	60
安静的室内	40
最低可闻阈	0