

# 第一章 概 论

## 1.1 智能建筑的概念

### 1.1.1 兴 起

近些年来 电子技术 尤其是计算机技术 和网络通信技术的发展 使社会各领域逐步实现了信息化。通过在建筑物内部应用信息技术，使古老的建筑技术和现代高科技相结合，从而出现了“智能建筑”。(Intelligent Building, IB)。智能建筑也称为智能大厦，它是采用计算机技术对建筑物内的设备进行自动控制、对信息资源进行管理和对用户提供服务等一种新型建筑。20世纪80年代末，这种建筑在世界发达国家应运而生并得到迅速发展。这种自动化管理和信息传输方式的变革，使工作效率提高数十倍乃至几百倍。目前在欧美，智能建筑已很普遍，在亚洲发展中国家，智能建筑的发展也很快。在我国，经济的高速发展和国民经济信息化的要求促进了智能建筑的兴起和蓬勃发展，一些规模较大设施齐全的建筑已经按智能建筑的要求建成。20世纪我国就已经将智能化建筑技术开发应用列入“21世纪议程优先项目计划”，这对智能建筑和建筑业的发展将产生重大深远的影响。

### 1.1.2 智能建筑的定义

关于智能建筑的概念，我们可以从智能及智能建筑两个方面来理解。

#### 1. 智能

智能是指机器或动物具有类似于人对外部环境的感应和经过思维作出判断及反应的能力。广义的说法是指对信息的感受和处理、传递的能力。

#### 2. 智能建筑

智能建筑的基本含义是：

1)美国智能建筑研究中心 ( American Intelligent Building Institute, AIBI)把智能建筑定义为：通过对建筑物的结构、系统、服务和管理 4个基本要素以及它们之间的内在联系的最优化组合 提供一个投资合理 又具有高效、舒适、便利的环境。

2)欧洲智能建筑集团 (The European Intelligent Building Group)把智能建筑定义为：使用户发挥最高效率，同时以最低维护成本，最有效地管理自身资源的建筑。智能建筑应提供反应快速、效率高和支持力较强的环境，使用户能达到迅速实现其业务的目的。

3)日本电机工业协会智能建筑分会把智能建筑定义为：它综合计算机、信息通信等方面的最先进技术 使建筑物内的电力、空调、照明、防灾、防盗、运输等设备协调工作 实现建筑物自动化、通信自动化、办公自动化 并将这 3种功能结合起来的建筑。

4)国际智能工程学会把智能建筑的定义为：在一座建筑中设计了可提供响应的功能以及适应用户对建筑物的用途、信息技术要求变动时的灵活性。智能建筑应该是安全、舒适、系统

综合、有效利用投资、节能和具备很强的使用功能，以满足用户实现高效率的需要。

### 1.1.3 智能建筑的现状与发展

由于经济水平、文化需求差距很大，美国、日本等当今世界经济大国已经开始综合智能城市构想的建设。而发达国家中，如瑞士、瑞典等，因崇尚自由生活，追求舒适安全，所以虽然拥有经济实力，但人们只求住在智能住宅中，满足于自动保安及高度视听享受。至于发展中国家的人民，温饱尚未解决，更不用说追求智能住宅的享受了。虽然各国智能建筑的发展现状有所不同，但其发展趋势是一样的，只是发展先后而已。

从 1986 年起，就有一些外企集团准备在北京、上海、深圳等地兴建智能建筑，开始几年由于各种条件尚不具备，只停留在规划阶段。随着我国改革开放和经济建设的迅速发展，国际经贸交往的快速增加和电子工业、通信系统的发展，为在我国兴建智能建筑创造了有利条件。特别是在经济发展较快的沿海大中城市，如北京、上海、深圳、大连海口等地，一幢幢具有不同水平的智能建筑相继建成。

目前一批智能建筑，如北京中国国际贸易中心、京广中心、北京燕莎中心、上海金贸大厦、上海证券交易所、上海花园饭店、上海博物馆、华亭宾馆、静安希尔顿酒店、虹桥宾馆、新锦江大酒店、上海建国宾馆、上海国际贵都大饭店、福州正大广场、武汉金宫大厦、武汉中南商业广场、深圳帝王大厦、深圳发展大厦、深圳商业中心、珠海机场、广东国际大厦、浙江日报大楼等相继建成。正在规划或建造的还有北京恒集中心、森贸大厦、上海兰生大厦、上海金钟广场、上海金玉兰广场、上海银都商厦、浙江国际贸易大厦、浙江国际金融大厦等。

在众多的酒店建筑和商务楼中，广东国际大厦堪称我国首座具备“智能”特点的商务建筑。它配备了以计算机为核心的现代化多功能硬件装备，是一座集金融、信贷、信托、商业和旅游为一体的多功能、智慧型的超高层建筑。智能建筑的功能将朝着多样化方向发展。

智能建筑由于用途、规模不同，所需要的功能系统也不同，因而有必要区分各类智能建筑。

### 1.1.4 各类智能建筑的功能

智能建筑按用途、功能的不同，可分为智能办公建筑、智能医疗建筑、智能学校建筑、智能住宅、智能旅游建筑等。

#### 1. 智能办公建筑

它分为专用办公建筑和出租办公建筑。专用办公建筑是指政府办公楼、公司办公楼、企业办公楼、金融楼、商业楼。出租办公楼建筑是指业主租给各种公司办公用的大楼。它主要提供完善的办公自动化服务、各种通信服务设施，并保证有良好的环境。

#### 2. 智能医疗建筑

它主要装备有完善的计算机设备和通信网络。综合医疗信息系统可用于医疗咨询、远程诊断、病历管理、药品管理等。

#### 3. 智能学校建筑

下面仅以日本为例来分析智能型校园的发展前景。1992 年在北京召开的亚洲国家和地区第二次教育设施国际讨论会上，日本代表提出：“智能校园是建设 21 世纪校园的必由之路”的观点，并将智能建筑校园概括为以下 3 方面：

- 1) 赋予智能校园信息交流的功能，这些功能可在教育、科研与管理方面被利用。
- 2) 校园既是舒适的教育场所，同时也是宽敞的社会活动场所。

3) 学校的设施有多种用途，能频繁、高效率地被利用。

从日本近年来新制定的高等学校校园规划中出现的向智能型校园发展的动向，可看出智能校园的几个特征：

1) 为了在教学中普遍使用计算机，在校园建筑的设计中几乎都要考虑适应计算机运行的要求。

2) 具有强有力的确保安全的设施、设备及保安系统，以保证教学、科学研究工作的可靠性、稳定性。

3) 注重提供各种宽敞、舒适的公共空间，以满足师生自由交流信息、知识、思想的环境需要，以便最大限度开发学生的智慧。

4) 除完善的通信网络外，要求建筑之间联系方便。建筑物的设计多采用集中式布局，建筑群也多采用成组成团的形式，使其联络更通畅。

5) 个体建筑结构系统及房间分隔更通用化，建筑设施能满足教学、科研需求、并采用通用性设施，如对讲系统、消防系统及监控系统设备等。

实现智能型校园，必将使高等学校在培养科技人才及开发社会智能方面做出更多的贡献。我国也在加紧这方面的研究，并取得了一定成果，许多所大学已建成较完备的网络体系。

#### 4. 智能型住宅

社会与经济的高速发展，使人类的生活方式发生了很大的变化，住宅也在不断改进之中。住宅发展大致有以下几个趋势：

- 1) 具有高度的安全性，如防火、防爆、安全防犯设施等；
- 2) 具有舒适的生活环境，如冷水、热水供应，空调等；
- 3) 具有足够的通信设施，如电话、图文传真、计算机等；
- 4) 具有完备的信息设备，如电缆电视、卫星电视、图文电视、双向电视等；
- 5) 要求设备与家用电器实现自动化、遥控化。

这些社会的要求刺激了工业技术发展，使得许多适应上述要求的产品纷纷面世。美国的“智能塑料屋”就是典型的例子。这种房屋通过电脑系统对室内照明、室温、水温自动调节，使卧室的塑料玻璃改变颜色。另外，位于东京西部的一座智能住宅，可由电脑系统根据天气、湿度、湿度、风力等情况自动调节窗户的开关，以保持房间的最佳状态。如天气不好，刮风下雨，窗户马上关上，空调即开始工作；看电视时若电话铃响，则电视机音量自动关小。又如晚间音响设备音量过大，房间的窗子也会自动关闭，以免影响他人等。智能住宅的功能自然远不止这些，一般认为具备下列 4 种功能的住宅为智能住宅：

- 1) 安全防卫自动化系统；
- 2) 身体保健自动化系统；
- 3) 烹调自动化系统；
- 4) 文化、娱乐、信息自动化系统。

家庭总线在美国也称之为消费电子总线（CEBUS）。它的技术标准是美国电子工业协会在 1988 年制定的，1992 年正式发布，目前正运用在智能住宅中。

家庭活动自动化是指家务、管理、文化生活和通信自动化。所谓家务是指家电设施、保安设施、能源管理等；管理是指家庭购买、经济管理、家务工作及医疗健康管理；文化生活是指利用计算机进行学习、娱乐、文艺创作等；通信是指利用通信网络和外界联络以及咨询服务等。

我国正在对智能住宅进行研究，现在已经进入部分家庭使用。广州已建成我国第一个智

能住宅小区，它以综合布线系统为基础，计算机网络为媒介，结合通信系统和办公自动化系统，实现住宅管理自动化。它的重点在提高家庭教育和住宅安全水平。

## 5. 智能旅游建筑

随着旅游业务的国际化，要求旅游建筑设施高档、多功能，服务质量高，提高效率，增加安全性。智能旅游建筑要求设置多种提高其舒适、安全、信息服务工作效率等设施。在智能建筑的基础上将发展智能建筑群，进一步实现智能化城市。

# 1.2 智能建筑的组成及功能

智能建筑和一般建筑不同，除了有一般的电力供应、给排水、空气调节、采暖通风等设施外，还应具有较好的信息处理及自动控制能力。

现代智能建筑主要由 3 大系统所组成：建筑物自动化系统（Building Automation System, BAS）；办公自动化系统（Office Automation System, OAS）；通信系统（Telecommunication System, TCS）。这 3 个系统中又包含各自的子系统。应该注意，这几个系统是一个综合性的整体，而不是像过去那样分散的、没有联系的系统。

## 1.2.1 建筑物自动化系统

建筑物自动化系统（BAS）又称楼宇自动化控制系统或建筑自动化系统。它采用现代传感技术、计算机技术和通信技术对建筑物内所有机电设施进行自动控制。这些机电设施包括变配电、给水、排水、空气调节、采暖、通风、运输、火警、保安等系统设备。用计算机对设施实行全自动的综合监控管理，其中包括空调自动化管理、出入口管理、卡识别系统、防盗保安系统、火灾报警系统，以及各种设备控制与监视系统等。对现代化建筑来说，这些都是必要的配置。建筑物自动化系统一般包括如下几个方面：

### 1. 环境控制管理子系统

它主要包括：暖通空调控制系统、给排水控制系统、运输设备控制系统及电气控制系统。其中：

- 1) 暖通空调（HVAC）控制系统主要包括各种冷热源机组、空调机组、新风机组等的控制。
- 2) 给排水控制系统主要包括水泵、水箱水位等的控制报警。
- 3) 运输设备控制系统主要包括电梯、自动扶梯的控制。
- 4) 电气控制系统主要包括变配电设备、自备发电机、直流电源、照明、动力设备等的控制。

### 2. 防灾与保安子系统

它主要有火灾报警与消防系统用于火灾监测报警、定位、隔离、通风、排烟、灭火等联动控制；保安系统电视监视、出入口控制、身份识别、防盗防抢、保安巡逻监控。其他还有结构及地震监视与报警、煤气泄漏报警、水灾报警等系统。其中：

1) 火灾报警及消防控制系统（FAS）。它主要包括自动消防和火灾报警、防排烟系统。系统在建筑物内部装有感烟探测器、感温探测器及模拟显示盘，并监视电源线路负荷电流的设备。当电流超负荷时可自动报警并关闭部分电源；当发生火灾时，能自动喷洒水或其他灭火液体、气体。防排烟系统能排除火灾时产生的烟雾，并防止其蔓延。该系统还可实现结构及地震监视与报警、煤气泄漏报警、水灾报警。

2) 保安系统（SCS）。它包括闭路电视（CCTV）监控、电子出入口控制、身份识别、防盗防抢、

保安巡逻。

为了完成这一目标，需要在建筑物内建立一个综合的计算机网络系统。这个系统应能将建筑物内的设备自控系统、通信系统、办公自动化系统，以及智能卡系统和多媒体计算机系统，综合为一体化的综合计算机管理系统。该系统应能对建筑物内部设施进行全面管理监视和控制。建筑物自动化系统一般采用分散控制、集中监控与管理，其关键是传感技术与控制技术。

### 1.2.2 通信自动化系统

通信自动化系统 (TSC)的功能有语音通信、数据通信、图形图像通信。

通信自动化系统包括以程控用户交换机 (PABX)为核心 以多功能电话、传真、各类终端为主要设备的通信网以及楼内局域网、工作站、高速主干通信网等。这些设备 (包括软件)应用信息技术构成智能大厦信息通信的“中枢神经”。通信系统主要提供大楼内外的一切语音和数据通信。也就是说，既要保证楼内语音、数据和图像的传输，又要与楼外远程数据通信网，包括公用电话网 (PSTN)、用户电报网、传真网分组交换网 (X.25)、数字数据网 (DDN)、卫星通信网 (VSAT) 无线通信网以及因特网 (Internet) 等相通 以利互通信息、共享资源。

通信自动化系统主要有下列系统：

#### 1. 有线话音通信系统

它包括以程控交换机及模块局为核心的电话、集团电话系统，以及远端虚拟交换机。最重要的有线话音通信系统就是程控用户交换机，它可组成内部和外部通信系统。目前用户交换机已经发展为数字式交换机，它的内部积外部线路的数目是很重要的指标。

目前主要由话路系统、中央处理系统和输入输出系统所组成的数字服务程控用户交换机应用日益广泛。与机械式或电子模拟式交换机相比：它具有体积小、可靠性高、耗电小、抗干扰能力强、适应能力强等优点。

它还有一系列特殊服务功能，如分机可与主机相连，使主机可访问数字程控用户交换机的信息；当受话人不在时自动告诉发话人留言；自动分配 (ACD) 功能，可使当受话人繁忙时将电话分配给其他人，这适合于查询业务；自动计费系统，可自动记录发话、受话的时间；有声应答系统，可自动应答各种查询，并可通过计算机自动查询某些数据及进行情报检索。数字程控用户交换机一般备有直流电源，可供市电停电时用。

#### 2. 无线通信系统

它主要包括公共移动电话、专用集群移动电话、无绳电话系统、无线寻呼系统等。

其完成的业务有：

##### 1) 语音增值业务和信息服务业务

它主要有语音信箱、语音自动应答信息服务电话等。应用语音识别系统通过电话也可实现对建筑自动化系统的控制。

##### 2) 非语音业务

它主要有分组交换数据业务 (X2.5)、数字数据 (DDN) 业务、帧中继 (FR)、电子数据交换 (EDI) 传真 (FAX) 及传真存储转发、数据库检索、电子函件、自动电话银行服务，远程会议电视、可视电话等功能。可视电话，使通话双方相互可见。电子函件是用微型计算机或通过电话交换机及电话线路连成网络 (LAN、WAN) 传送的。现代通信技术的发展使得传真机已非常普遍。数字式电话交换机的控制器实际上就是微型计算机及数字开关。

### 3 数据 / 语音综合通信

现代通信技术是具有综合业务数字网 ( ISDN ) 功能的通信网络技术, 它能在一个通信网上同时实现语音、数据及文本的通信。在一个建筑物内, 可通过一体化技术的综合布线系统实现上述功能。它分为窄带综合业务数字网 ( N - ISDN ) 和宽带综合业务数字网 ( B - ISDN ) 等。

#### 3. 广播通信系统

用于广播的通信系统有:

##### 1) 广播电视系统

它主要有卫星电视、有线电视 ( CATV )、视频点播 ( VOD )、高清晰度电视 ( HDTV ) 等。广播电视系统的接收, 一般是在屋顶设立多个频道天线及卫星电视接收天线, 经过放大后传送到各接收点, 也可接入有线电视系统。

共用天线电视接收系统 ( MATV ) 的设备有甚高频天线 ( VHF )、超高频 ( UHF ) 天线、卫星广播天线、天线放大器、频道放大器、卫星接收机、调制器、分配器、分支器、线路放大器、录放像机、摄像机等。

##### 2 广播音响系统

它主要包括公共业务广播和事故广播 ( PA )、背景音乐、同声传译等。公共广播 ( PA ) 系统一般分为:

(1) 业务性广播。它用于办公楼、商业楼、教育楼、车站码头、机场。

(2) 服务性广播。它用于旅馆等公众活动场所。

(3) 事故广播。它用于发生火灾等突发事件, 引导人们撤离现场。

现代建筑一般在走廊、门厅、餐厅、花园等公共场所设有扬声器或扬声器箱。广播音响系统的设备有天线、广播接收机、录放机、激光放音机、音频放大机、功率放大机、监听器、话筒、呼叫器、线路分配器、备用电源等。主要设备一般设置在广播控制室。广播设备也可共用, 平时用来作广播及播放背景音乐, 发生火灾时用作事故广播。

先进的通信系统既可传输语音、数据, 还可传输图像等多媒体信息。不同功能用途的大楼, 对通信的要求有所不同, 应根据应用需求, 配备相应的应用系统。

### 1.2.3 办公自动化系统

办公自动化是智能建筑基本功能之一。办公自动化系统 ( OAS ) 提供的主要功能有文字处理、模式识别、图形处理、图像处理、情报检索、统计分析、决策支持、计算机辅助设计、印刷排版、文档管理、电子账务、电子函件、电子数据交换、来访接待、电子黑板、会议电视、同声传译等。另外, 先进的办公自动化系统还可以提供辅助决策功能, 提供从低级到高级逐步建立的为领导办公服务的决策支持系统。

办公自动化系统能提供物业管理、酒店管理、商业经营管理、图书档案管理、金融管理、交通票务管理、停车场计费管理、商业咨询、购物引导等方面的综合服务。

办公自动化系统主要由计算机系统组成, 是一个综合性系统, 可分成以下几部分:

#### 1. 局域网系统

办公局域网是用于数据通信和交换的系统, 该网络平台提供用户所需的带宽、协议和管理控制要求。

#### 2. 公用网络设备

它包括智能集中器、路由器、终端与网络端接设备 (如调制解调器、远程访问服务器)。

### 3. 办公设备

它包括服务器、传真机、复印机、扫描仪、印刷机、图文终端、计算机工作站、文字处理机、主计算机、打印机、绘图机等。

### 4. 共享软件和数据库

它包括文字处理、模式识别、图形处理、图像处理、情报检索、统计分析、决策支持、计算机辅助设计、印刷排版、语言翻译。

### 5. 公共办公系统

它包括远程会议系统、标志识别系统、同声翻译系统。

### 6. 应用系统

它包括办公、计划、财务、人事、情报、技术、物资等管理系统。办公自动化系统应该有对计算机终端、打印机、复印机、传真机等办公设备的管理功能。

## 1.2.4 计算机网络

要实现 BAS、TCS 和 OAS 的功能，计算机局域网 (LAN) 是智能建筑基础设施中的重要组成部分。在智能建筑中使用 LAN 的好处是：

- (1) 可在智能建筑各信息终端和信息源之间互相传送信息。
- (2) 由于通信设施的所有者是智能建筑所有者或第三方，所以每个租用者的费用较低。
- (3) 可以在此基础上开发出更高级的信息系统应用软件。

## 1.2.5 智能建筑的布线系统

智能建筑内有许多竖井、管道用于安放各种设备的电缆及电线，供电话、计算机用。在常规的布线系统中，用户交换机通常使用双绞线 (TP)；主机和终端用同轴电缆；微机网络用同轴电缆或双绞线。这种布线系统有许多缺点，如设计复杂、施工困难、工程造价高、完工后管理困难，不便于系统改造，不能适应办公发展的需要。

结构化综合布线系统 (SCS) 具有解决常规布线系统存在的问题的有效方法，结构化布线可以支持电话、计算机、建筑物自动控制等系统。目前结构化布线系统是遵循有关标准设计的，因而它是一种符合工业标准的布线系统。它可以连接各个设备，可以支持多个厂家的语言和数据通信设备。结构化电缆通过方便灵活的跳线，便于用户移动、增加及变更线路。结构化综合布线是一种模块化设计，易于扩充和重新分配。建筑物综合布线系统可连接所有电话、电子交换机、电传机，图像、影像设备。它也提供与其他计算机网络的连接。该系统作为建筑物单一化通信线路采用星形结构方式，由室外连接电缆或光缆子系统、垂直干线子系统、水平干线子系统、工作站区子系统、设备子系统、配线管理子系统等 6 个独立的子系统组成，各个子系统都是独立的，结构灵活。目前它提供的传输介质主要有模光纤和非屏蔽双绞线 2 种。

结构化综合布线系统的设计标准有商业建筑配线标准和常规通信标准等，可以支持多种厂家。据估算，每幢建筑物的计算机及其相关设备投入至少在 2000 ~ 5000 万元不等。我国目前正在设计的高楼中如果有 1/3 大楼建立不同程度的智能化系统就有几百亿元的买方市场。近几年来，结构化综合布线系统在国内的营业额逐年翻番，市场很大。可以预料，智能化建筑在我国会有一个大发展，前景美好。

## 思考题

1. 智能建筑的基本含义是什么？
2. 各类智能建筑的功能如何？
3. 智能建筑由哪几部分组成，各部分的功能如何？

## 第二章 智能建筑的环境

### 2.1 智能建筑的声环境

#### 2.1.1 室内声学基本量

声音是在气体、液体或固体等弹性介质中以波动形式传播的机械振动。它使空气压力发生微小变化，传入耳中，令鼓膜产生振动并将其传送到听觉神经而产生感觉。这种空气压力微小变化的振动幅度叫做振幅，声音强度以此来表示。

人类可感觉到的声音强度范围是  $2 \times 10^{-5} \sim 100\text{Pa}$ 。声强可定义为单位时间通过垂直于声音传播方向上单位面积的平均声能通量，符号是  $I$ ，可按下式确定：

$$I = \frac{P^2}{\rho_c} \quad (2-1)$$

式中： $I$ ——声强

声压的均方根值 (Pa)；

$\rho_c$ ——介质的声阻抗率，又称空气特性阻抗。在空气中  $\rho_c$  值大约是  $12\text{Pa}\cdot\text{s}/\text{m}$ 。

单位时间内声源所辐射的声能量称为声功率。在自由声场中，电声源发出球面波，因此距声源  $r$  米的球面上声强为：

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

式中： $I$ ——声强 ( $\text{W}/\text{m}^2$ )；

$W$ ——声源声功率 (W)。

式 (2-2)并未考虑空气对声能的吸收，而仅从球面波波阵扩大所引起的声几何衰减来定义的。

在空气中，基准声强规定为  $10^{-12}\text{W}/\text{m}^2$ ，它相应于人对 1000 Hz 声音的可听（闻域）声强。则声强即可表示为：

$$L_I = 10\lg \frac{I}{I_0} \quad (2-3)$$

式中： $L_I$ ——声强级 (dB)；

$I_0$ ——基准声强  $10^{-12}\text{W}/\text{m}^2$ 。

为计算方便，通常采用对数标度，以分贝为单位评价声压值范围。声压级是 10 倍的声压与基准声压平方比的对数值：

$$L_P = 10\lg \frac{P^2}{P_0^2} = 20\lg \frac{P}{P_0} \quad (2-4)$$

式中： $L_P$ ——声压级 (dB)；

$P_0$ ——基准声压。对于空气声,  $P_0 = 2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ 。

在自由声场中  $L_p = L_1$ 。

声源的声功率是单位时间内声源辐射的总声能, 单位是 W。类似地, 可将其表示为:

$$L_w = 10 \lg \frac{W}{W_0} \quad (2-5)$$

式中:  $L_w$ ——声功率级 (dB);

$W_0$ ——基准声功率, 规定为  $10^{-12} \text{W}$ 。

几个声源如相同, 叠加后总声压级为:

$$L = L_1 + 10 \lg n \quad (2-6)$$

式中:  $L_1$ ——一个声源单独作用时的声压级;

$n$ ——声源数目。

声级为  $L_1$  及  $L_2$  ( $L_1 > L_2$ ) 的两个声源共同作用时的叠加声级为:

$$L = L_1 + \Delta L \quad (2-7)$$

式中:  $\Delta L$ ——与声压级有关的修正值, 按表 2-1 选用 (dB)。

## 2.1.2 听觉特性

### 1. 最小和最大可听声压

人可接受声压变化范围很大, 在中频范围, 最小可听极限大致相当于声压级 0dB, 而声压级在 120dB 左右, 人就会感到不舒服; 130dB 左右会引起耳内发痒; 达到 140dB 耳内会有痛感, 再升高可引起耳内出血 甚至失聪。

### 2. 最小声压可辨阈

对于频率在 50 ~ 1000Hz 间的纯音 人耳可鉴别超过 50dB 声压级的 1dB 声压级变化。

### 3. 哈斯效应与回声感

两个发出同样声音的声源, 由于二者延迟时间不同而造成人耳判断声音方向产生的误差。只有延迟时间超过 50ms, 第二声源才被听到。人耳的这一特性称之为哈斯效应。因此, 在人耳听到一个直达声后, 若存在一个延时长于 50ms, 有足够强度的反射声, 就会感觉到这个回声。这种回声通常引起听觉干扰, 应加以避免。

### 4. 听觉定位

人耳判断声源方向相当准确, 但判断其远近度准确性较差。人对听觉的定位还受视觉影响, 只要声响位置偏离视觉声源位置不大, 感觉上视听还是一致的。

### 5. 人耳的频率响应曲线和等响曲线

一般来讲 人耳对 2000 ~ 4000Hz 的声音最敏感。对相同声压级而频率不同的声音, 听起来是不一样的。

### 6. 掩蔽效应

由于另一个声音的存在而使人耳听觉灵敏度降低的现象称为掩蔽效应。声音被听到的听阈需提高的分贝数称为掩蔽量, 提高后的听阈称为掩蔽阈。一个声音对另一个声音掩蔽量的大小, 主要取决于两声音的频率和声级差。一般而言, 低调的声音相当大时会对高调声音产生较显著的屏蔽作用。掩蔽与被掩蔽声音的频率越接近, 掩蔽作用越大。室内声学中, 往往避免有用声信号被掩蔽, 但有时也可利用背景噪声。

### 7. 人耳的音高、音色感觉

音高又称音调，是人耳对声音调子高低的主观感觉。决定它的客观物理量是声音的频率，频率增加一倍，音调则提高了一个“八度音”。而音色主要是由声音频谱所决定。

### 8. 听觉疲劳和听力损失

人在高声强环境下停留一段时间，会出现听阈提高的现象，即听力下降。回到安静环境中，听力会慢慢恢复。这种暂时性听阈提高现象，称为听觉疲劳。若听阈提高是不可恢复的，则称为听力损失。国际标准化组织建议以 85~90dBA 的等效声级作为不致产生永久性听力损失的噪声级上限。

## 2.1.3 声环境的评价标准

### 1. 音质物理指标与主观评价的关系

现在声学界趋于比较一致的看法是，良好的音质感受应具备如下条件：混响感（丰满度）和清晰度有适当平衡，具有适当的响度；有一定空间感，具有良好的音色，即底、中、高音适度平衡，不畸变，不失真。

### 2. 室内的声环境标准与规范

它包括 5 个方面指标：

(1)室内允许噪声级：根据人的听觉特性以及噪声对语言的掩蔽特性，限制不同频率的噪声在不同的声压级水平上，以满足室内噪声要求。

(2)语言干扰级：语言声能集中在 500~1000Hz 频率范围内，但高频为主的辅音对语言清晰度也非常重要，国际上以 500、1000、2000、4000Hz 4 个倍频带的背景噪声声压级的平均值定义为语言干扰级。

(3)保护听力的噪声允许标准：我国制定的“工业企业卫生标准”，规定日工作 8h 室内允许等效声级  $L_{\text{aeq}}$  对新建企业为 85dBA，老企业为 90dBA。工时减半，允许噪声标准提高 3dB，但最高不超过 115dB。

(4)允许标准：通常住宅开窗时，如室内无附加声源，其噪声可比室外衰减 10dB 左右。我国 1993 年颁布的《城市区域环境噪声标准及其测量方法》(GB 3096—93) 规定了保障城市居民生活环境质量的噪声标准值，见表 2-1。

城市区域环境噪声标准表 2-1

类别	昼间(dBA)	夜间(dBA)	类别	昼间(dBA)	夜间(dBA)
疗养院、高级别墅区、高级宾馆区	50	40	居住、商业、工业混杂区	60	50
			工业区	65	65
居住、文教区	55	45	交通干线两侧	70	55

### 2.1.4 建筑材料及结构的吸声与隔声

在室内声环境设计中，吸声材料和吸声结构用途广泛，主要用于控制房间混响时间，使房间音质良好，消除回声、颤动回声、声聚焦等声学缺陷，室内吸声降噪，管道消声。

吸声材料和吸声结构的种类很多，根据吸声机理，可将其分为多孔型两大类：吸声材料和共振型吸声结构，二者还可以派生出其他吸声材料和吸声结构。

多孔型吸声材料是工程中应用最普遍的吸声材料。它具有大量内外连通的微小空隙和气泡，当声波入射时，引起空隙内空气振动，在空气的粘滞力和空气与孔壁的摩擦热传导作用下，

相当一部分声能转化为热能而被吸收。多孔吸声材料一般对中、高频音吸声能力大。当多孔吸声材料吸湿受潮时，内部部分孔隙被水充满，会导致吸声能力下降。纤维材料如玻璃棉、岩棉等颗粒材料如膨胀岩、陶粒等都属多孔性吸声材料。

共振吸声结构的吸声机理是在入射声波频率与系统固有频率相等时，系统内的空气柱本身或空气柱与其他构件发生剧烈共振，将声能转化为热能而消声。如穿孔板结构、薄板与薄膜吸声结构等都属于共振吸声结构。

此外还有其他吸声结构：空间吸声体、帘幕、洞口、人体和家具等。在选用吸声材料时应综合考虑其吸声性能、应用环境特点、耐久性、力学强度、化学性质和尺寸稳定性、装饰效果以及是否便于施工。

### 2.1.5 理想的室内声环境的设计

理想的室内声环境应满足如下几个方面的要求：

- (1)无令人讨厌的噪声；
- (2)无回声等音响障碍；
- (3)满足室内需要的音响效果，即话音清楚，乐声优美；
- (4)声音有足够的响度。

智能建筑因其自身的特点，要求室内声环境设计采取相应的措施，满足各自的要求。对于室外噪声（主要是指靠近交通主干道的建筑物的噪声）可考虑采用隔断声源的方法，如构筑隔声墙、堤坝式墙及堤坝式墙+隔声墙等遮挡建筑来防治。

室内噪声主要来自针式打印机、风机、空调风机等设备。由于现在打印设备的改进，如使用喷墨、激光打印机，打印设备产生的噪声已经很小了，而风机、空调风机的噪声影响更为突出。风机、空调风机的噪声属低频段，可用背景音乐掩蔽掉，而打印机噪声可采用能移动的隔声屏进行遮挡。对于室内噪声还可采用隔声挡板减少直接噪声及加强室内壁面材料的吸声等措施来防治。

此外，积极地利用环境音乐也可收到较理想的效果，它可使人从生理上、心理上产生良性作用，使其具有安稳感和放松感，带来精神上的活力。

### 2.1.6 室内音响设备

音响设备已成为建筑中满足其使用功能要求不可缺少的一部分。它也要求建筑设计为其创造一个适宜的声学环境，提供必要的安装使用空间。

一般建筑中音响设备系统可分为以下几类：

- (1)广播通信系统。它包括有线广播、灾害报警、避灾诱导系统以及有线和无线电话等。用途是远距离通信。
- (2)扩声系统。其功用是将语言、音乐等信号通过传声拾音、放大再由扬声器发声。
- (3)重放系统。其功用是将录制在磁带、电影胶片、激光唱片上的声信号还原、放大再由扬声器发声。
- (4)音质主控系统。由传声器拾音，声处理设备加工（如延时、加混响）放大器放大再由扬声器在所需位置和方向发声，以弥补建筑声学的不足。

还应尽量使各种音响设备按照其评价指标及标准安装、运作。在设计中可采用吸声、扩散等处理手段来改善室内音质条件、降低室内噪声。

## 2.2 智能建筑的视环境

### 2.2.1 光与基本光度单位

从纯粹的物理意义上讲,光是电磁波,是辐射能量的一种形式。但多数情况下,人们所说的“光”、“亮”指的人眼所感受到那一小段可见光谱辐射能,波长是 380~780 nm(1nm = 10<sup>-9</sup> m)。其他诸如红外线、无线电波、紫外线、X射线不能被人眼所感受,因此就不属于“光”的范畴。然而,在可见光部分,各光谱段作用于人眼效果也是强弱不同的。可见,光这种客观存在的能量还与人们的主观感觉有密切联系。

在光环境设计中需要用一些物理量来描述环境质量要求。这些物理量以光通量为基础,形成一个光度量体系。其中最基本的有光通量、发光强度、亮度及照度等。

#### 1. 光通量

辐射体以电磁波形式向周围辐射能量,单位时间内辐射的能量称为辐射功率  $\Phi_e$ ,单位是瓦(W)。在所有的波长范围内只有可见光部分才引起视觉,并且人眼对各波长光敏感度也不同,所以我们在辐射通量中有视感觉的那部分称为光通量,记作  $\Phi$  单位是流明(lm)用下式表示:

$$\Phi = K_m \int_{380}^{780} V(\lambda) \Phi_{e\lambda} d\lambda \quad (2-8)$$

式中: $\Phi_{e\lambda}$ ——波长为  $\lambda$  的单色辐射通量(W);

$V(\lambda)$ ——相对光谱光效率;

$K_m$ ——最大光谱光视效能,对名视觉而言,在  $\lambda = 555\text{nm}$  处 值为 683lm/W。

#### 2. 发光强度

光源在某一方向单位立体角内所发出的光通量,也就是光通量的空间密度,称为光源在该方向的发光强度,符号为  $I$ 。若光源在某一方向的小立体角  $d\Omega$  内发出的光通量为  $d\Phi$  则该方向发光强度  $I$  即为:

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

取平均值则:  $I = \Phi/\Omega$  式中单位:  $\Phi$  为 lm,  $\Omega$  为球面度(sr),  $I$  为坎德拉(cd)。例如 40W 的白炽灯在其正下方有 30cd 的发光强度。

#### 3. 照度

光源落在单位被照面上的光通量叫做照度。它是用来衡量被照射程度的一个基本光度量 即被照面的光通密度 用符号  $E$  来表示。设被照面积微元  $dS$  上接收到的光通量为  $d\Phi$  则该处照度为:

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \quad (2-10)$$

取平均值:  $E = \Phi/S$  式中光通量单位是 lm 面积单位是 m<sup>2</sup> 照度单位是勒克斯(lx)。

例如 40W 白炽灯下 1m 处照度为 30lx。晴天室外处中午阳光下照度可达 80000~120000lx。

#### 4. 亮度

在所有光度量中，亮度是唯一能描述眼睛直接感受的量。这是因为在照明及采光标准中，是以照度来衡量设计优劣，但就整个视觉过程而言，眼睛不能直接感受照射到物体上的照度。亮度定义为：发光体在视线单位面积上的发光强度，可表示为：

$$L_{\alpha} = \frac{dI_{\alpha}}{dS \cos \alpha} \quad (2-11)$$

取平均值， $L_{\alpha} = \frac{I_{\alpha}}{S \cos \alpha}$ 。

式中  $\alpha$  指物体表面的法线与光线之间夹角。

亮度的国际单位是坎德拉 / 平方米 ( $\text{cd}/\text{m}^2$ )。以下列举一些常见物体亮度值：荧光灯管约为  $(0.1 \sim 0.6) \times 10^4 \text{cd}/\text{m}^2$  白炽灯约为  $0.15 \times 10^4 \text{cd}/\text{m}^2$  烛光约为  $0.5 \text{cd}/\text{m}^2$ 。

### 2.2.2 人眼的视觉特性

人眼的构造决定了人的视觉特性。人眼的感光细胞位于视网膜的外侧，分为锥状细胞和杆状细胞两种。锥状细胞分布在视网膜的中心附近，在明视觉状态下（约  $1.0 \text{cd}/\text{m}^2$  以上的亮度水平），锥状细胞对光色刺激发挥作用。此时，人眼具有颜色的感觉，可区分出红、橙、黄、绿、青、蓝、紫等颜色，并且对外界亮度变化的适应能力强。在暗视觉状态下（约  $0.01 \text{cd}/\text{m}^2$  以下的亮度水平），杆状细胞发挥作用。这时，人眼几乎不能识别物体，且对外界亮度变化适应能力低。人眼视觉特性制约物体的清晰程度即视度。此外，还有如下因素影响视度。

(1)亮度：人们能看见的最低亮度（最低亮度阈）约为  $10^{-5} \pi \text{cd}/\text{m}^2$ 。当亮度超过  $16 \pi \text{cd}/\text{m}^2$  时，会损害视力，所以设计中要适度调节亮度。

(2)尺寸：这里是指相对尺寸。大而近的物体，视角大，看得清楚，反之则视度下降。

(3)亮度对比：它是指视野内视觉对象和背景之间亮度差异。提高亮度对比可改善视度。

(4)识别时间与面积：在一定条件下，识别时间与亮度间遵循邦森—罗斯科定律 亮度  $\times$  时间 = 常数，是说对象呈现时间越短，越需高亮度引起视觉；类似地，对象的识别面积与亮度之间遵循科里定律：亮度  $\times$  面积 = 常数。

(5)适应：外界光环境亮度变化时，人眼需调节入射光亮度，改变视网膜感光度，该变化过程称为适应。由明到暗的适应需  $10 \sim 35 \text{min}$ ，视网膜感光能达最大；由暗到明的明适应仅需  $1 \text{min}$  左右。设计中应据环境，在变化区段设置必要的过渡空间，使人眼有足够的适应时间。

(6)眩光：在视野中出现亮度极高的物体或过大的亮度对比，可引起人眼不适、视力下降，这种现象称为眩光。眩光是影响光质量的重要因素，对视觉有危害性，在视环境中，除个别情况外，眩光是应加以限制的。

### 2.2.3 创造理想的视环境

首先，建筑物的视环境要满足保护视觉机能的要求。在智能建筑办公楼中，大量使用文字处理机和电脑等办公自动化设备，而办公自动化设备极易使眼睛疲劳，所以就需创造一个柔和、健康的视环境。例如，采取措施防止透窗的日光在显示屏上反光，避免室内电照明引起的显示屏眩光等。一般智能办公楼业务空间宜采用间接照明。

其次，应尽量使视环境能令办公人员或居住者“从心理上感到满意”。需要从避免强光，保证亮度 照明有层次 3 方面考虑。

最后，制造气氛也是视环境重要任务之一。根据空间的使用目的，以灯光等设置烘托出特

定氛围。如在饭店中以白炽灯代替荧光灯，给周围透下温暖的光，给人以平静、愉快的感觉。另外，室内氛围虽受装饰材料和家具的影响，但墙壁和地板受到光照而产生的效果也不容忽视。

#### 2.2.4 室内装饰材料的光学特性

光在传播过程中遇到介质时，其入射光通量一部分被反射，另一部分被透射，其各部分所占比例分别称为反光系数  $\rho$ 、吸收系数  $\alpha$  和透光系数  $\tau$ 。做好室内采光和照明设计，必须了解各种材料对光的反射透射及吸收特性，同时还要了解光线经过这些材料的反射、透射后在空间上有什么规律。

材料表面的光洁度和其内部结构决定了反射后光线的空间分布。反射有两种基本形式：定向反射和扩散反射，而许多实际材料表面的光反射大多是二者的组合。定向反射遵循定向反射定律，入射光线、反射光线与反射面法线在同一平面上，入射角等于反射角。其反射后亮度  $L_\rho$  和发光强度  $I_\rho$  由下式表示：

$$L_\rho = L \times \rho \quad (2-12)$$

$$I_\rho = I \times \rho \quad (2-13)$$

式中： $L$ ——光源亮度；

$I$ ——光源发光强度；

$\rho$ ——材料反光系数。

利用定向反射材料的特性可将这种材料放在适当位置，以便在所需的地方得到反光，或可避免光源在视线内出现。例如在布置灯具时，既需在工作面上获得最佳照度，同时又不能让光源反射到人眼而形成眩光，这时就要利用反射定律布置光滑表面。

扩散反射材料可以使反射光线分散到比入射光线更大的立体角内。根据其扩散程度不同，又可分为均匀扩散反射材料和定向扩散反射材料。前者包括石膏、氧化镁和大部分粗糙、无光泽的建筑材料，如粉刷、砖墙等。这类材料表面发光强度遵循朗勃余弦定律：

$$I_\theta = I_0 \cos\theta \quad (2-14)$$

式中： $I_\theta$ ——材料表面法线方向发光强度；

$\theta$ ——法线与某一反射方向的夹角。

均匀扩散反射材料表面亮度是均匀的，则有：

$$L = \frac{E\rho}{\pi} \quad (2-15)$$

式中： $L$ ——亮度 ( $\text{cd}/\text{m}^2$ )；

$E$ ——照度 ( $\text{lx}$ )；

$\rho$ ——材料反光系数。

这类反射材料可提供一个比较均匀的光环境。定向扩散材料是定向反射和完全扩散反射两种形式的组合。它的反射光线在定向反射方向有最大亮度，其附近范围内，也有一定亮度，但离开这个区域就没有反射光线了。定向扩散反射材料有油漆表面、较粗糙的金属表面等。

与上述情况类似，根据透射后光线在空间的分布情况，透光材料也可分为两大类：定向透光材料和扩散透光材料。

光线射到光滑的透明材料上，会发生定向透射，若材料两表面平行，则透过材料光线的方向和入射方向一致，亮度  $L_z$  和光强  $I_\rho$  都减弱为：

$$L_{\tau} = L \times \tau \quad (2-16)$$

$$I_{\tau} = I \times \tau \quad (2-17)$$

如果玻璃内部质量不好，则光线在两表面折射方向不一致，透射光线也将偏离原方向，这会使光源形象歪曲，模糊不清。利用这种特制成的刻花玻璃，可使一侧景物不被另一侧看到，同时又不会过分影响光线透射，而保持室内采光效果。

半透明材料可使入射光线发生扩散透射，即透射光线所占立体角比入射光线有所扩大。根据扩散程度，扩散透射可分为均匀扩散透射和定向扩散透射两种。均匀透射材料包括乳白玻璃、半透明塑料等。它们常用于灯罩及发光天棚的透光，可以降低光源亮度，以减少对眼睛的强烈刺激，并且还可使透过的光线均匀分布。透过这类材料的亮度、发光强度分布都类似于均匀扩散反射，计算时只需将  $\rho$  换为  $\tau$  即可。定向扩散透射材料有定向和扩散两种特性，如磨砂玻璃，透过它可看到光源大致情况，但轮廓不清。

### 2.2.5 室内光环境的设计

室内光环境的设计包括天然光环境与人工光环境两部分的处理。

天然光环境设计不仅要满足使用功能的需要，还要进一步创造出天然光的艺术环境，它应与建筑方案的设计结合进行。设计之前，首先要了解设计对象的采光要求，以及建筑方案给天然光环境提供的条件，诸如房间使用功能、视觉工作特点、被看物体的精度要求、使用者的心理因素、室内装修风格等。对这些的了解是形成设计方案的基础。其次，根据当地自然情况和采光的要求，确定采光口的大小、位置、形式、材料和构造，从而保证室内光环境的空间及表面效果。还应进行天然光的控制和调节，以避免眩光，防止过热等。当天然光不足时，还要补充以人工照明。最后一个环节是经济分析，它包括计算采光设备的投资、维护费用，比较和修改初选方案，以及最终确定一个在光环境质量及经济节能诸方面均令人满意，又能与建筑造型、室内装饰及周围环境相协调的方案。

天然光通过采光口到达室内，不仅带来满足视觉工作要求的照度，而且创造出各种各样的空间效果，包括光的方向性效果、立体感效果和空间开敞性效果等。

光的方向性与光的远近、强弱相结合，可增强室内空间可见度，强化或弱化光暗对比，强化或弱化物体的立体感。在室内光环境中，采光口的位置和朝向对光的方向性具有决定性的作用。这种方向性效果对建筑功能、室内表面、人物形象以及人们心理反应均有重要影响。

当物体表面受平行光斜向照射，总有一部分表面受光，一部分表面不受光，还有由浅至深的过渡，这种明暗变化就产生了立体感。一般而言，斜向照射比正向照射更易产生立体感，曲面比平面更能表现出明暗变化。这种明暗变化还与表面状况有关，越平整光滑的材料表面就越易产生立体感。

人们在室内由眼睛判断空间宽敞与否的感觉，称为室内空间的开敞感。好的开敞感使室内光环境具有开朗、明快的特点。它主要取决于窗的大小、室内的容积和室内照度 3 个因素，其中以室内容积为主要因素。例如家具布置得疏密得当，照度合理，窗口大小适宜，就会获得令人满意的开敞感。

天然光环境设计是室内设计中的重要组成部分，室内良好的表面、色彩、造型及装饰效果，都要通过饰面材料的光学特性、质感、色彩以及采光口对光线的控制表现出来。但是，建筑物内部的天然光受到时间和场合的限制，所以要通过人工照明来补充。

人工照明除了能在室内造就一个满足人们视觉工作的光亮环境外，还能满足美观和艺术

的要求。这二者可以进行有机组合，根据建筑功能不同，两者的比例应有所不同。工厂、学校等工作场所，要多从功能来考虑，休息、娱乐场所，则主要强调艺术效果。

人工光环境设计的主要内容：

(1)分析对象：了解其使用功能、视觉工作性质、延续时间、使用人的情况、可能使用年限以及其他特殊要求。

(2)设计因素：它包括建筑因素、环境因素和管理因素。

(3)设计标准：它包括照明的数量和质量两个方面。

(4)设计方案：它包括合理的照明方式、设备、照明布局及照明装置的细部设计。

(5)照明计算：它是指确定方案后，求出所需光源功率，或按预定功率核算照度。

(6)经济比较：它是指对光源和照明方案的全面经济核算，判定其经济合理性。

(7)设计评价：它是指通过计算和制作模型等手段评定设计方案是否达到要求，以便决定修改与否。

在处理室内环境照明艺术效果时，必须充分估计到光的表现力。应结合实际条件，对光的造型、光的构图、光的分布及表面材料的质感、色彩、装饰构件等因素的相互影响和协调做出分析规划，以便形成一个舒适愉悦的光环境。

## 2.3 智能建筑的热环境

### 2.3.1 人与室内热环境

一个空间具有什么样的热环境，要依据该空间的用途而定，我们主要讨论以人为对象的舒适热环境。热舒适是人们正常工作、生活的保证。人们在室内感到舒适的必要条件是人体的热量收支平衡，即：

$$\Delta q = q_m \pm q_c \pm q_r - q_e - q_w = 0 \quad (2-18)$$

式中： $\Delta q$ ——人体得失热量 (W)；

$q_m$ ——人体新陈代谢过程中的产热量 (W)；

$q_c$ ——人体与周围空气的对流换热量 (W)；

$q_r$ ——人体与周围空气的辐射热量 (W)；

$q_e$ ——人体蒸发散热量 (W)；

$q_w$ ——人体做功消耗的热量 (W)。

由此可见，许多不同的组合都可以使人体保持热平衡，但并非  $\Delta q = 0$  就会使人感到舒适，因为人体具有热调节的生理机能。环境过冷，可通过皮肤毛细血管收缩，减少血液流量，使皮肤温度下降，而减少散热量；当环境过热，皮肤血管扩张，血流量增多，皮肤温度升高，甚至大量出汗，以增加散热量，争取热平衡。但在调节过程中，当人体的皮肤温度和汗液蒸发率超过了生理所允许的范围时，就会使人体感到难以忍受。

人的冷热感觉对室内的环境因素依赖性很大。这些因素有：空气温度、湿度、气流速度及壁面温度等。

#### 1. 室内空气温度

温度是分子动能的宏观度量。为了度量温度高低，用温标作为标尺。国际单位制 (SI) 规