

第一章 智能建筑概论

智能建筑（Intelligent Building /IB）也称智能大厦，是指以计算机和网络为核心的信息技术向建筑行业的应用与渗透，是当代高科技与古老的建筑技术相结合的产物，它完美地体现了建筑艺术与信息技术的结合，现已成为评价综合经济国力的具体特征之一。

智能建筑的基本要素是通信系统的网络化和自动化、办公自动化和智能化、建筑自动化和建筑物业管理的自动化。智能建筑的目标是系统集成，也就是将建筑物中的综合布线、楼宇自控、计算机系统各个相关网络中所有分离设备及功能设备，有机地结合成一个既相互关联又统一协调的整体，各种硬件与软件资源被优化组合成能满足用户功能需要的完整体系，并朝着高速度、高集成度、高性能价格比的方向发展。从系统的观点而言，系统性能的优劣既反映在系统总体结构的合理性上，又反映在所采用的技术层次上和选用的设备是否具有可靠性、适用性、可维护性上，在此基础上，系统达到的目标及优化程度则成为评价系统水平的核心。

第一节 智能建筑的定义及产生背景

只有对智能建筑有了正确的理解和认识，才能规划和设计出优秀的智能建筑。

一、智能建筑的定义

目前，智能建筑还没有统一的定义，以下是关于智能建筑的一些典型的定义：

(1) 美国智能建筑研究中心（American Intelligent Building Institutes/AIBI）把智能建筑定义为：“智能建筑是通过优化其结构、系统、服务、管理四个基本要素及其相互关系来提供一个多产的和成本低廉的环境。”同时又指出：“没有固定的特性来定义智能建筑。事实上，所有的智能建筑所共有的惟一特性是其结构设计可以适于便利、降低成本的變化。”

(2) 欧洲智能建筑联盟（The European Intelligent Building Group）把智能建筑定义为：“使用户发挥最高效率，能最有效地管理本身资源的建筑，而在硬件和设备方面的寿命成本最小。”

(3) 日本电机工业协会智能建筑分会对智能建筑的定义为：“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、防火、防盗、运输设备等协调工作，实现建筑物通信和办公自动化，这三种功能结合起来的建筑，就是智能建筑。”

(4) 国际智能工程学会对智能建筑的定义为：“可提供相应的功能以及适应用户对建筑用途、信息技术要求变动的灵活性建筑。智能建筑应具有安全、舒适、节能、系统综合等很强的功能，能满足用户实现高效率的需要。”

(5) 我国对智能建筑的定义重点在于使用先进的技术对楼宇进行控制、通信和管理。

强调实现楼宇三方面自动化的功能，即建筑物自动化（ Building Automation /BA）、通信自动化（ Communication Automation /CA）、办公自动化（ Office Automation /OA）。

（6）新近有人又提出智能建筑的新定义，认为智能建筑是根据适当选择优质环境模块来设计和构造的，并通过配置适当的建筑设备，获取长期的建筑价值来满足用户的需求。他们提出智能建筑的核心是下列 8 个优质环境模块：

- 环境友好——包括健康和能量；
- 工作效率；
- 空间利用率和灵活性；
- 安全——火灾、保安与结构；
- 生命周期成本——使用和维修；
- 文化；
- 人的舒适性；
- 高科技的形象。

也有人从 4C 角度讨论智能建筑。所谓 4C 是指：现代计算机技术（ Computer）、现代控制技术（ Control）、现代通信技术（ Communication ）和现代图形显示技术（ Cathode Ray Tube /CRT）。称智能建筑是综合 4C 技术手段来实现的，而且是主流方向。

综上所述，智能建筑是运用系统的观点，对建筑物的结构、需要、服务和管理四个基本要素以及它们之间的内在的联系进行优化组合（系统集成），从而提供一个投资合理、高效、安全、方便的环境。智能建筑在物理上分为四个基本组成部分：结构——建筑环境结构；系统——智能化系统；服务——住、用户需求服务；管理——物业运行管理。这四个基本组成部分缺一不可，它们既相互关联、又相互依存，组成一个完整的智能建筑体系。

二、智能建筑的产生背景

智能建筑之所以产生并得到迅速发展，有其深刻的技术、经济、和社会背景。

1. 技术背景 20 世纪 90 年代，是信息技术飞速发展的年代。信息技术是在微电子、计算机、和现代通信技术基础上发展起来的高新技术。现今已能在 20cm（8 英寸）芯片上集成 5 亿个电子元件，其宽度仅为 0.25 ~ 0.3 μ m 微机的信息处理速度每秒已近亿次。在美国，信息产业的产值已占工业总产值的 15%，微机更新换代的速度也令人瞩目，全球出现信息革命的高潮，表现出信息技术智能化、信息网络全球化、国民经济信息化三大特点。信息革命对人类的社会、文化、日常生活乃至思维方式都产生了深远的影响。

信息技术如此迅速地发展，必然要寻找新的增长点，必然要扩大市场。智能化建筑实际上是信息技术向传统产业转移的一个结合点，也是信息产业向建筑市场扩张的桥头堡。

2. 经济背景 20 世纪的最后 20 年，是全球经济特别是东亚经济腾飞的年代。这一时期的经济发展有以下特点：首先，由于信息技术的发展，信息成为一种资源，使第三产业迅速崛起。在发达国家特别是在经济中心城市中，第三产业无论是在国民经济总产值中还是就业人口中都占有举足轻重的地位。由于第三产业在国民生产总值中所占比重日趋增加，必然需要提供能提高其劳动生产率的工作条件。而第三产业中，从事金融、贸易、保险、房地产、咨询服务、综合技术服务的人员比重逐年提高。即便是在传统产业领域中，规划、调研、开发、广告、设计、咨询等非定型业务量剧增，“白领”工作人员的比例也在增加。为这些人提供舒适、方便、高效、安全的工作场所就有了很大市场需求。

3. 社会背景 随着社会信息化，人们对工作、生活环境的要求的日益提高，既要求高效、可靠的通信服务，又要求居住方便、舒适而且节能。但现存的建筑中，各类系统共

存，又各自独立，使得弱电系统配线、维护困难，难以适应高功能的要求，各种先进设备的管理也不是人工所能应付，社会的客观需要促进了传统的建筑向智能化建筑方向发展。

第二节 智能建筑的基本构成

智能建筑和一般建筑不同的地方，是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，还应具备较好的信息处理及自动控制能力。

智能建筑基本系统主要有：楼宇自动化系统（Building Automation System/BAS）、通信自动化（Communication Automation System/CAS）和办公自动化（Office Automation System/OAS），通常人们把它们称为3A。这三者是有机结合的，是一个综合的整体，而建筑环境是智能大厦组成要素的支持平台。如图1-1所示。我国部分房地产开发商将BAS中的防火监控系统（Fire Automation System/FAS）和保安监控系统（Safety Automation System/SAS）独立出来，变为5A。

在国际上，智能建筑基本系统通常又被分解为若干个子系统，这些子系统分别是：中央计算机管理系统（Central Computer Management System/CCMS），办公自动化系统（Office Automation System/OAS），楼宇自动化系统（Building Automation System/BAS），智能卡系统（Smart Card System/SCS），保安管理系统（Security Management System/SMS），火灾报警系统（Fire Alarm System/FAS），卫星及有线电视系统（Central Antenna Television/CATV），车库管理系统（Car Parking Management System, CMS），综合布线系统（Premises Distribution System/PDS），局域网络系统（Local Area Network System/LANS）。

本节介绍几个主要基本系统及其构成。

一、建筑设备自动化系统

建筑设备通常指建筑内的水、暖、机电等设施，包括变配电、给排水、空气调节、采暖、通风、运输、火警、保安等系统设备。

建筑设备自动化系统又称楼宇自动化控制系统。它采用现代传感技术、计算机技术和通信技术对建筑内所有的机电设施进行控制管理。为了完成这一目标，需要在建筑内建立一个综合的计算机网络系统。这个系统应能将建筑内的设备自控系统、通信系统、

办公自动化系统以及智能卡系统和多媒体系统，综合为一体化的计算机管理系统，该系统应对建筑内部设施进行全面的监视和控制。建筑设备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。

建筑设备自动化系统包括环境控制管理子系统和防灾与保安子系统。

1. 环境控制管理子系统 主要包括：暖通空调控制系统，给排水系统，运输设备控制系统及电气控制系统。其中有：

(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

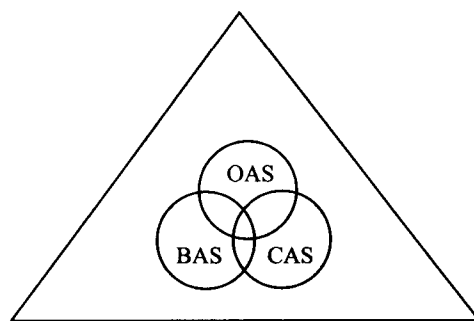


图 1-1 智能建筑系统结构图

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、自动扶梯等的控制。

(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、动力等设备的控制。

2. 防灾与保安子系统 主要有：

(1) 火灾报警与消防系统联动控制，用于火灾监测告警、定位、隔离、通风、排烟、灭火等；

(2) 保安系统包括：电视监控、出入口控制、身分识别、防盗防抢、保安巡逻监控。另外，还有其他系统，如地震监视与报警、煤气泄露报警、水灾报警等。

二、通信自动化系统

通信自动化系统的功能有语音通信、数据通信、图形图像通信。

通信自动化系统主要提供建筑内外的一切语音和数据通信，也就是说，既要保证建筑内语音、数据、图像的传输，又要与建筑外远程数据通信网，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）、无线通信网等与 Internet 相通，以利于互通信息、共享资源。通信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）应用新的信息技术构成智能建筑通信的“中枢神经”。

通信自动化系统主要有有线语音通信、无线通信、数据通信、图形图像通信等方式组成。

1. 有线语音通信 是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。最重要的有线语音通信系统就是程控交换机，它可组成内部和外部通信系统。目前用户交换机已发展为数字交换机，它的内部容量和外部中继线的数目是重要的指标。

2. 无线通信方式 主要有公共移动电话、专用集群移动电话、无绳电话系统、无线寻呼系统等，还包括卫星通信（VSAT）。

3. 数据通信业务 现代通信技术主要体现在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。在一个建筑内，可通过一体化技术的综合布线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）。

4. 广播电视系统 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。共用天线电视接收系统（MATV）的设备有高频天线（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、录像机、摄像机等。

5. 广播音响系统 主要有公共业务广播和事故广播（PA）、背景音乐、同声传译等。一般在走廊、门厅、餐厅、花园等公共场所设扬声器或扬声器箱。广播音响系统的设备有天线、广播接收机、卡带放音机、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，主要设备在广播控制室。广播设备也可共用，平时用做广播及背景音乐，发生火灾时用做事故广播。

先进的通信系统既可传输话音、数据，还可传输图像等多媒体信息。不同功能、用途的建筑，对通信要求有所不同，设计者、服务商应根据用户的实际需求，提供相应的通信应用系统。

三、办公自动化系统

办公自动化系统（OAS）是智能建筑基本功能之一。办公自动化系统提供的主要功能有：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、电子商务、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，逐步提供从低级到高级的为领导办公服务的决策支持系统。

办公自动化系统是一个综合性系统，它主要有计算机系统组成，包括以下几部分：

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 包括智能集线器、路由器、终端与网络终端设备，如调制解调器、远程访问服务器。
3. 办公设备 包括服务器、传真机、复印机、扫描仪、图文终端、计算机工作站、文字处理机、主计算机、打印机、绘图仪等。
4. 共享软件和数据库 包括文字处理、模式识别、图形处理、情报检索、统计分析、决策支持、计算机辅助设计、印刷排版、语言翻译等。
5. 公共办公系统包括远程会议系统、标志识别系统、同声传译系统。
6. 应用软件系统 包括办公、计划、财务、人事、情报、技术、物资等的管理软件系统。

四、计算机网络系统

计算机网络（LAN）是智能建筑基础设施的重要组成部分。在智能建筑中使用计算机网络可以使建筑中各信息终端和信息源之间互相传递信息，并可实现建筑设备自动化、通信自动化、办公自动化等系统的功能，做到资源共享。一般来说，一座智能建筑应有一个高速主干通信网，由此沟通建筑内计算机中心主机与楼层各个局域网的通信系统。各个楼层应设置一个或多个局域网，并与高速主干网相联。

五、智能建筑的布线系统

为了可以把通信自动化、建筑设备自动化、办公自动化等系统综合管理起来，需要有一种新的布线系统，即开放型综合布线系统。在信息意义上兼容语音信号、数据信号、控制信号、数字图像信号，甚至模拟图像信号，可连接电话、程控交换机、电传、影像、计算机等设备。

综合布线是一种开放系统，这里说的“开放”有三层含义，即能支持多家厂商的不同产品；能提供面向用户的设计方式；安装布线系统时并不要求对系统连接的有源设备本

身有深刻的了解。所以开放性的布线系统消除了非兼容布线可能带来的麻烦，如网络性能低于标准，改动布线花费昂贵，不能支持新技术发展等。

综合布线系统的设计标准主要有商业建筑配线标准和常规通信标准等，它可以支持多种厂家的产品。据估算，每幢建筑的计算机及其相关设备的投资至少在 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，就有几百亿的买方市场。近几年来，综合布线系统在国内的营业额逐年翻番，市场潜力很大。

第三节 智能建筑的发展

一、世界智能建筑的发展概况

智能建筑起源于 20 世纪 80 年代初期的美国。1984 年 1 月美国康涅狄格 (Connecticut) 州哈福德 (Hartford) 市，将一幢旧金融大厦进行改建，称之为都市大厦 (City Place Building)，可以说完成了传统建筑工程与新式信息技术相结合的尝试。改建后的大楼，主要增添了计算机、数字程控交换机等先进的办公设备以及高速通信线路等设施。大楼的客户不必购置设备便可进行语言通信、文字处理、电子邮件、市场行情查询、情报资料检索、科学计算等服务。此外大楼内的暖通、给排水、防火、防盗系统、供配电系统、电梯系统等均为计算机控制。实现了自动化管理，使客户感到更加舒适、方便和安全。1998 年，美国政府提出“信息高速公路”构想，加快了信息化的发展进程。近年来，美国新建和改建的办公楼约有 70% 为智能建筑，总数有上万座。

日本从 1985 年开始建设智能建筑，并制定了从智能设备、智能家庭到智能建筑、智能城市的发展计划，先后成立了“建设省、国家智能建筑专业委员会”和“日本智能建筑研究会”(JIBI) 等机构。1988 年，日本建立了住宅信息促进会，主要开展家庭总线系统的研究。1996 年，推出多媒体住宅样板计划，将多媒体技术引入智能住宅。

在东南亚，新加坡的智能建筑技术研究目前处于领先水平，新加坡政府为推广智能建筑，拨巨资进行专项研究，计划将新加坡建成“智能城市花园”。韩国准备将其半岛建成“智能岛”。印度于 1995 年起在加尔各答的盐湖开始建设“智能城”。

英、法、德等国也相继在 20 世纪 80 年代末和 20 世纪 90 年代初发展各具特色的智能建筑。目前，为打入我国智能建筑市场，欧洲智能建筑联盟将在北京建立世界上面积最大、技术最先进、环保节能的“智能屋”。

世界上已建成著名的智能建筑主要有美国的 IBM、AT&T、DEC、日本的 NEC、NTT、日立、住友等公司总部大厦等。

二、我国智能建筑的发展概况

20 世纪 90 年代以来，我国建筑发展迅速，智能化建筑也掀起了一个高潮。1990 年建成的北京大厦 (18 层) 可认为是我国智能化建筑的雏型，已开始采用 3A 系统，但尚不完善，三个系统没有统一控制。1993 年建成的广州国际大厦可称为首座智能化商务大厦，它具有较完善的 3A 系统及高级的国际金融信息网络，通过卫星直接接收美联社道琼斯公司的国际经济信息，并且还提供了舒适的办公和居住环境。近几年来先后建成的北京燕莎

中心、上海商城、广州世界贸易中心大厦、上海金茂大厦等都是具有一定智能功能的大型公共建筑。其中，上海金茂大厦可以说是我国智能建筑的典范。据不完全统计，截止2000年，全国共建成智能大厦2000多座。同时，还建成不少智能化园区，实现了住宅智能化。根据住宅智能化需求的可能性预测，今后十年里，具有“普及型”以上的智能住宅小区如按住宅总面积25%计算，智能化园区建筑面积约1.5亿m²。

在智能大厦和智能园区蓬勃发展的形势下，一大批智能建筑设计院所、智能建筑系统集成商、智能建筑产品供应商，像雨后春笋在全国各地陆续出现。重庆大学、石家庄铁路工程职业技术学院等一批高校相继成立了智能建筑专业，填补了我国智能建筑正规化教学的空白。我国正在成为亚洲最大的智能建筑市场。

三、我国智能建筑技术日益成熟

1986年，由国家计委会同国家科委主持制定的国家“七五”重点科技攻关项目中，已将“智能化办公大楼可行性研究”列为科技攻关课题之一。这项由中国科学院计算技术研究所完成的科研成果已于1991年通过鉴定。

1995年7月，华东建筑设计研究院受上海市建委委托率先推出上海地区“智能建筑设计标准”(DBJ-47-95)。

1996年，有关智能建筑技术与技术政策已分别列入了国家经贸委制定的《国家“九五”重大技术项目指南》和建设部《中国建筑技术政策》。

1996年2月，建设部成立了建设部智能技术开发推广中心，协助有关部门对全国智能建筑的建设进行协调、指导与管理。开发推广中心组建了全国智能建筑技术专家组，负责智能建筑工程项目评审和方案审定工作。

1997年6月，中国工程建设标准化协会发布了适用于智能建筑的《建筑与建筑群综合布线系统工程设计规范》及《建筑及建筑群综合布线系统工程施工及验收规范》(CECD72:97)。

1997年9月9日，邮电部发布了中华人民共和国通信行业标准《大楼通信综合布线系统第一部分：总规范》(YDT926.1-97)和《大楼通信综合布线系统第二部分：综合布线用电缆、光缆技术要求》(YDT926.2-97)。

为了加强对建筑智能化系统工程的设计管理、规范工程设计行为，保障建筑智能化系统工程的设计，建设部于1997年10月30日向全国发布了《建筑智能化系统工程管理暂行规定》。该文件对建筑智能化系统工程内涵、管理、内容、指导思想与评估均作了明确规定，对我国智能建筑系统工程设计管理走向有序化具有重要意义。

上海、北京、江苏、四川、河南等省市先后成立了智能建筑专业委员会，并发布各地方的关于智能建筑方面的技术政策及法规。如江苏省建委发布了《江苏省建筑智能化系统工程设计标准》(KB32/181/1998)，《江苏省建筑智能化系统工程设计管理暂行规定》，《江苏省建筑智能化系统工程设计管理资质分级标准》。

1998年3月20日，中国石油工程建设公司科技大楼工程被建设部指定为智能建筑示范工程并正式进入了设计、施工阶段。这是建设部作为智能建筑主管部门正式启动并按照国际工程项目管理模式运作的第一个国内智能建筑市场，对促进信息技术、建筑技术进步和智能建筑健康有序地发展具有重要意义。

1998年6月8日，建设部建筑智能化系统工程设计专家工作委员会成立。该工作委员会作为建设部勘察设计司的顾问、参谋和助手，协助设计司进行有关行业管理工作，以及接受委托开展一些工作，工作的目标是提高我国建筑智能化的总体水平。近期目标是整顿并加强智能建筑的市场管理和规范技术行为。

建设部在“2000年康居工程”中，将智能化社区建设作为住宅的基础设施列入规划纲要。

2002年，由建设部会同有关部门共同修订的《建筑工程施工质量验收统一标准》将建筑中弱电系统独立划分为一个分部，称为智能建筑。其中又把智能建筑划分为10个子项工程。

待条件成熟，将在专家工作委员会的基础上进一步成立全国的智能建筑协会，进行本行业的行业管理以及促进这一行业的开发推广和交流服务方面的工作，并将陆续编制发布《建筑智能化系统工程设计标准》、《建筑智能化系统工程设计资质标准》、《建筑智能化系统工程验收规范》和《建筑智能化系统工程质量评估标准》。

四、住宅小区智能化的发展

近年来，随着大量采用电子技术的家用电器面市，开始出现了住宅电子化（Home Electronics / HE）的概念；20世纪80年代中期，将家用电器、通信设备与安防防灾设备各自独立的功能合为一体，形成了住宅自动化概念。由于通信与信息技术的发展，出现了住宅中各种通信、家电、安防设备通过总线技术进行监视、控制与管理的商用系统，这在美国称为智慧屋（Wise House / WH），在欧洲称为时髦屋（Smart Home / SH）。日本建设省在推出智能建筑概念时，提出了家庭总线系统的概念（Home Bus System / HBS）。

在我国，智能化住宅虽然不能像美国、日本那样对住宅的智能化系统开发较早，但发展速度较快。20世纪90年代以后，我国的国民经济处于持续、健康、稳步的发展阶段，国民生产总值增长速度居于世界前列，家庭收入增加。随着人民生活水平日益提高，改善生活质量的社会需求不断产生，改善居住条件成为人们普遍的迫切愿望。同时，科技作为第一生产力推动着时代发生巨变，知识与高科技的发展和应用，已将我们带进了信息社会，信息化社会在改变我们生活方式与工作习惯的同时，也对传统住宅的建设标准提出了挑战。于是，在小康住宅概念的基础上，引入了建筑智能化技术，形成了智能住宅的概念。

1998年，深圳市住宅局对总建筑面积为80万m²的梅林一村小区按智能住宅小区的概念进行规划设计，上海的邮电二村初步建成了智能化住宅小区，沈阳的格林豪森等已成为智能住宅小区的典范。清华同方、沈阳西东控制技术有限公司等一批智能建筑开发商已推出了国产化的住宅小区智能化系统及其产品。

尽管我们现在还难以给智能化住宅小区做确切的定义，但无论是国外还是国内，智能化住宅都具有以下共同的功能特征：

- 住宅内部具备完善的、综合了安防防灾措施与生活服务的智能控制器。
- 住宅小区与社会逐渐具有高度的信息交互能力。
- 小区内部具备完善的安防措施，全面的公用设施监控管理和信息化的社区服务管理。

- 为小区内住户提供多媒体的多种信息服务。

住宅小区智能化建设是一项系统工程，在国内还处于探索阶段，住宅小区智能化的概念及其实现的方案也随着设备的技术进步与用户需求增长而逐步发展。但住宅小区智能化有利于提高人们的生活质量与环境，有利于人与社会的交流，有利于提高物业管理的效率与质量，是社会进步的方向。

随着智能建筑在世界各地的蓬勃发展，它正引发世界建筑业的一次新的革命，智能建筑必将成为 21 世纪建筑业的发展主流。

第二章 计算机控制基础

计算机控制技术是计算机技术和自动化技术相结合的应用技术，是构成建筑设备自动化系统的关键技术。自从 20 世纪 70 年代出现了微型计算机以来，随着电子技术的发展，计算机性能价格比不断提高，从而促进了计算机在控制系统中应用，而计算机在控制系统中的应用又极大地改善了过程控制的硬件性能，加强了过程控制的手段，同时也促进了自动控制理论的发展，使计算机控制技术更加完善和深化，从单一过程、单一对象的局部控制发展到对整个过程、整个系统的大规模复杂控制，并逐步向智能化方向发展。本章将着重介绍计算机控制系统的结构、功能和特点。

第一节 计算机控制的基本概念

1946 年世界上第一台电子计算机在美国诞生，20 世纪 50 年代中期数字计算机应用于过程控制。从此，随着计算机技术的发展，计算机被广泛地用于顺序逻辑控制、程序控制和数值控制领域。

计算机有着强大的运算能力、逻辑判断能力和大容量存贮信息的能力，用它来完成控制器输入输出运算，通过执行事先编好的控制程序便可实现，因而可灵活地完成各种复杂的控制算法，如果要改变控制规律，只需修改控制程序即可。

在计算机控制系统中，计算机输入输出的信号都是数字量，而被控对象的输入输出信号往往是连续变化的模拟量，因此，计算机的信号输入和信号输出端需要设有模拟量和数字量之间信号形式转换的模 / 数 (Analog/Digital) 转换装置。典型的计算机控制系统如图 2-1 所示。

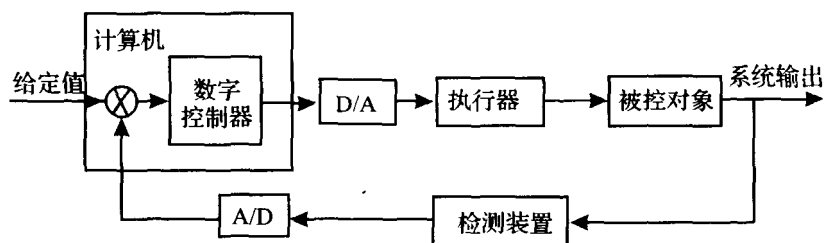


图 2-1 计算机控制原理图

在计算机控制系统中，检测装置（传感器）将系统输出量转换成电信号，再经过 A/D 转换器转换为数字量，计算机接收到输出反馈量后，将它与计算机内部的给定值相比较，计算出偏差值，然后对偏差进行算术与逻辑运算，将运算结果作为控制量输出，控制量再经过 D/A 转换器转换为模拟量，输出到执行机构调节被控参数，从而达到控制的目的。上述过程连续不断地重复执行，以使整个系统运行在给定的性能指标下。同时，也可

以对被控参数和设备本身出现的异常情况进行监督，并迅速地做出处理。

作为控制用的计算机与科学计算中心、信息处理用的计算机有着同样的硬件组成，也需要有系统软件和应用软件来支持，但它们之间也有区别，其中最突出的一个不同点是用于控制的计算机的操作具有实时性。计算机控制系统中，控制操作的实时性表现在以下几个方面：

1. 实时数据采集 被控对象当前输出的信息（如温度、压力、流量、成分、速度、转速、位移量等）随着时间变化，如果不及时采集，便会丢失，所以在输出的信息转换为电信号后，由计算机随时对电信号进行采样，并及时将转换结果存入存储器。

2. 实时决策运算 采样数据是反映被控过程状态的信息，计算机对它进行比较、分析、判断后，得出被控参数是否偏离给定值、是否达到或超过设定的阈限值，即时按预定的控制策略和控制规律进行运算，并做出控制决策。

3. 实时控制 计算机及时地将决策结果形成的控制量输出，作用于执行机构，校正被控参数。

4. 实时报警 如果被控参数超过阈限值或系统设备出现异常情况时，计算机应能及时地发出声光报警信号，并自动地或由人工进行必要的处理。

此外，要使计算机控制系统具有实时性，在计算机硬件方面应配备有实时时钟和优先级中断处理电路，在软件方面应配备完善的时钟管理、中断处理程序，实时时钟和优先级中断系统，这些是保证计算机控制系统实时性的必要条件。

计算机在计算机控制系统中的工作方式可分为在线方式和离线方式。在计算机控制系统中，如果计算机的输入输出端直接与被控对象连接起来，直接交换信息，而不通过其他中间记录介质（如磁盘、磁带等）来传递，则这种工作方式被称为在线方式或联机方式。如果计算机不直接对被控装置进行控制，而是将计算机的输出信息记录在某种记录介质上，再由操作人员以记录信息为依据，完成相应的操作，从而实现控制的目的，这种工作方式被称为离线方式或脱机方式。显然，离线方式不能实现实时控制的目的，要使系统具有实时性，就必须使计算机以在线方式工作。目前，建筑设备自动化系统（BAS）中的计算机大多是以在线方式工作。

第二节 自动控制系统的组成

一个自动控制系统由被控对象、执行机构、检测装置和控制器等完成一定任务的部件组成，如图 2-2 所示。下面着重介绍控制器、检测装置和执行器。

一、控制器

组成自动控制系统的各个部件各自都具有本身的动态和静态特性，当它们结合在一起构成一个自动控制系统时，整个系统的控制质量便取决于它们的特性、控制方案以及干扰的形式和幅值。一般来说，被控对象、执行机构、检测装置等部件一旦选定，其特性就被固定下来，成为系统中不可变的部分，所以，选择合适的控制规律、合理地选择控制器的形式及其参数，可以得到较好的控制质量。

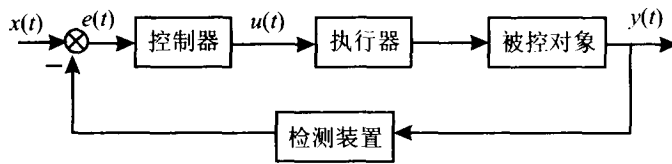


图 2-2 单回路闭环控制系统

(一) PID 控制器

自从 20 世纪 30 年代末期 PID 控制器问世以来，无论控制理论方面，还是在控制仪表、设备方面，都有很大的发展，至今，PID 控制器仍然在控制领域中得到广泛的应用。在应用计算机实现自动控制的系统中，PID 控制算法应用也是十分的广泛，尤其在建筑设备控制系统中，如 HVAC 系统（Heating, Ventilation and Air-conditioning Control System/HVAC）通常采用 PID 来实现对温度、湿度的闭环控制。

P、I、D 分别表示三种控制规律，即比例（Proportion/P）、积分（Integration/I）和微分（Differentiation/D）。这三种控制规律可以组合成比例（P）控制器，比例-积分（PI）控制器，比例-积分-微分（PID）控制器等，它们都是线性控制器，其作用是将给定值 $r(t)$ 与被控参数的实际输出 $y(t)$ 之差（即偏差） $e(t) = r(t) - y(t)$ 作为控制器的输入，控制器按偏差的比例、或比例加积分、或比例加积分加微分形成控制量，通过调节比例、积分、微分的系数，以得到期望的控制效果。

1. 比例（P）控制器 比例控制器（见图 2-3）是最简单的一种控制器，其控制规律为：

$$u(t) = K_p e(t) \quad (\quad \quad \quad \text{式 2.1})$$

式中： $u(t)$ —控制器输出；

$e(t)$ —控制器输入，一般为偏差值，即 $e(t) = r(t) - y(t)$ ；

K_p —比例系数。

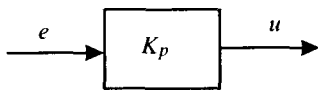


图 2-3 比例控制器

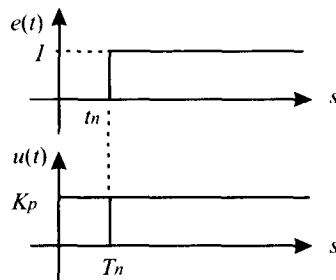


图 2-4 比例控制器阶跃响应

由上式可以看出，控制器的输出 $u(t)$ 与偏差 $e(t)$ 成正比，所以，只要偏差 $e(t)$ 一旦出现，控制器立即产生控制作用，使被控参数朝着减少偏差方向变化，具有控制及时的特点。控制作用的强弱取决于比例系数 K_p ，比例控制器阶跃响应见图 2-4。比例控制器虽然简单，快速，但是，如果仅有比例控制的控制器构成系统时，会产生静差（指静

态偏差，是控制过程稳定时给定值与被控参数测量值之差)。由(式 2.1)可知，系统稳定时，要使控制器仍维持一定的控制量输出，系统必然存在静差。加大比例系数 K ，虽然会减少静差，但 K_i 过大时，会使系统动态品质变坏，引起被控量振荡甚至导致系统不稳定。因此，在工程实践中， α_p 的大小要根据被控对象的特性来折中选择，使得系统静差小，同时又要得到较好的过程品质

2. 比例-积分 (PI) 控制器 为了消除比例控制的静差，可在比例控制的基础上加上积分控制。积分控制器的控制作用是当有输入信号存在时，其输出就会一直积累下去直到极值。在自动控制系统中只要被调参数有偏差，积分控制器就会为消除这个偏差继续调节，直到偏差为零时，调节的过渡过程才停止，因此积分控制可克服偏差。在比例控制的上加上积分控制形成比例-积分控制器(图 2-5)其控制规律为：

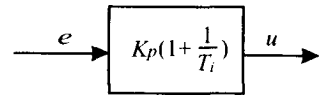


图 2-5 比例-积分 (PI) 控制器

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau \right] \quad (\text{式 2.2})$$

其中 T_i 为分时间常数。图 2-6 给出了比例-积分控制器对偏差阶跃变化的时间响应。从图中可以看出，比例-积分 (PI) 控制器对于偏差阶跃信号的响应，除了具有按比例变化的成分外，还带有累积的成分，即积分的作用成分。只要偏差 $e(t)$ 不为零，它将通过累积作用影响控制量 $u(t)$ ，以求减少偏差，直至偏差为零，控制作用不再变化，使输出停留在某一位置而不再恢复原位，因而能保持静差为零，系统达到稳定。因此，积分作用的加入可以消除系统静差，实现精确控制。

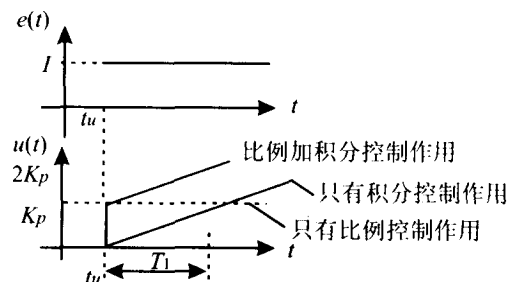


图 2-6 比例-积分控制器阶跃响应

积分时间 T_i 是比例-积分控制规律的特征参数之一。如果积分时间 T_i 大，则说明积分速度慢，积分作用弱，消除静差慢。但是，积分时间 T_i 大可以减少系统的超调量，提高稳定性；反过来，如果积分 T_i 小，则积分速度快，积分作用强，消除静差快。但积分时间过小，过渡过程振荡太剧烈，稳定性降低，动态指标下降。因而 T_i 的选择必须根据被控对象的特性来确定，如对于管道压力、流量等滞后不大的对象， T_i 可选择的小一些，对湿度等滞后较大的对象， T_i 可选择大一些。

3. 比例-积分-微分 (PID) 控制器 积分控制作用的加入，虽然可以消除静差，但是以降低系统响应速度为代价的。为了控制过程，有必要在偏差出现之前或变化的瞬间，不但对偏差做出及时的反应即比例控制过程作用，而且还要对偏差量的变化做出反应，或者说按偏差量的变化趋势进行控制，使偏差消除在萌芽的状态。为了达到这个目的，可在上述比例-积分 (PI) 控制器的基础上加入微分控制作用，组成比例-积分-微分 (PID) 控制器(图 2-7)。

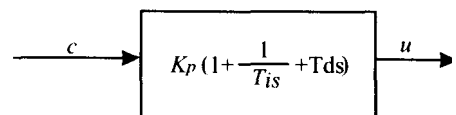


图 2-7 比例-积分-微分控制器

(PID) 控制规律为：

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (\text{式 2.3})$$

式中 T_i 为微分时间常数。理想的比例-积分-微分 (PID) 控制器对偏差的阶跃响应曲线如图 2-8 所示。它在偏差 $e(t)$ 阶跃变化的瞬间 ($t = t_0$ 处) 有一冲击瞬间响应, 这是由于附加微分作用环节而引起的。

加入微分环节后, 在控制规律中附加一个分最：

$$u(t) = K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

它与偏差的变化速度成正比, 即使偏差 $e(t)$ 很小, 但只要出现变化趋势, 该分量立即产生控制作用, 以调整系统的输出, 阻止偏差的变化。偏差 $e(t)$ 变化越快, 该分量越大, 反馈校正量就越大, 因此, 微分作用的加入, 将有助于减小超调量, 克服振荡, 使系统趋于稳定, 它加快了系统的响应速度, 缩短了调整时间, 从而改善了系统的动态性能。

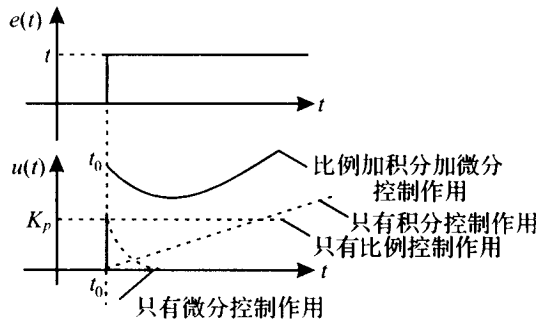


图 2-8 比例-积分-微分控制器阶跃响应

由图 2-8 可以看出, 对于比例-积分-微分 (PID) 控制器, 在阶跃信号的作用下,

首先是比例和微分作用, 使其控制作用加强, 然后再进行积分, 直到最后消除静差为止。因此, 采用 PID 控制器, 无论是静态, 还是动态, 系统的控制品质都得到了改善。

综上所述, 在 PID 控制器中, 比例控制的作用在于减小偏差, 及时有效地抑制干扰。微分控制作用主要加快系统的动作速度, 减小超调量, 克服振荡, 而积分控制作用用来消除静差。将比例、积分、微分三项作用的参数 K_p 、 T_i 、 T_d , 强度配合得当, 就可得到满意的控制效果。有关 PID 控制器参数 K_p 、 T_i 、 T_d 的整定方法, 读者可参考过程控制理论的书籍。

(二) 控制 PID 控制器算法

按偏差的比例、积分、微分 (PID) 控制是过程控制中应用最早、最广泛、最成熟的控制规律, 它对于相当多的控制对象能够得到较为满意的控制效果。由于计算机控制是基于数字计算的控制方式, 它根据采样时刻的偏差值, 按照事先编制的控制规律来计算控制量, 因此式 2.3 PID 算式, 不能直接应用于计算机控制系统, 需要进行离散化处理, 以适应于计算机数字控制的要求。计算机 PID 控制原理如图 2-9 所示。在计算机数字控制中, PID 控制规律用软件来实现, 被称为 PID 控制算法, 常用的控制算法为位置式 PID 算法和增量式 PID 算法。

假设计算机系统的采样周期为 T , 采用差分方程代替式 2.3, 则 PID 控制规律的离散化形式为：

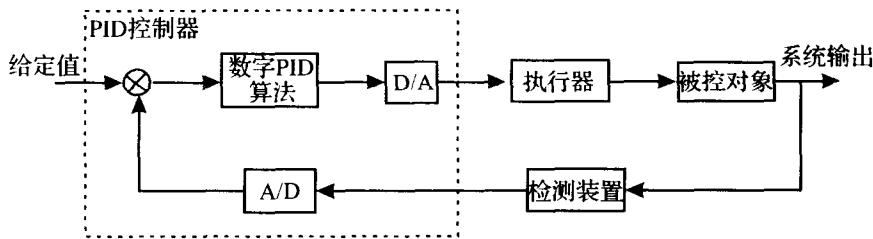


图 2-9 计算机 PID 控制原理

$$u(kT) = K_p \left\{ e(kT) + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^k e(jT) + \frac{T_d}{T} [e(kT) - e(k-1)T] \right\} \quad (\text{式 2.4})$$

令 k 代替 kT ，得下式：

$$u(k) = K_p \left\{ e(k) + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^k e(j) + \frac{T_d}{T} [e(k) - e(k-1)] \right\} \quad (\text{式 2.5})$$

式中： k —采样序号， $k=0, 1, 2, 3, \dots$ ；

$u(k)$ —第 k 采样时刻的计算机输出值；

$e(k)$ —第 k 采样时刻的偏差值；

$e(k-1)$ —第 $(k-1)$ 采样时刻的偏差值。

由于计算机输出的 $u(k)$ 直接控制执行机构（如阀门）， $u(k)$ 值和执行机构的位置（如阀门的开度）是一一对应的，所以，通常将式 2.4、式 2.5 称为位置式 PID 控制算法。

这种算法的缺点是：当前的输出 $u(k)$ 与过去的状态有关，计算机要对 $e(k)$ 进行累加运算，计算机工作量大，而且，由于计算机输出 $u(k)$ 对应的是执行机构的实际位置，如果计算机出现故障， $u(k)$ 的大幅度变化会引起执行机构位置的大幅度变化，这种情况往往是生产实践所不允许的。因而产生了增量式 PID 控制的控制算法。

当执行机构需要的不是控制量的绝对数值，而是控制量的增量时，可由式 2.5 导出增量式 PID 控制算式：

$$\begin{aligned} \Delta u(k) &= u(k) - u(k-1) \\ &= K_p \left\{ [e(k) - e(k-1)] + \frac{T}{T_i} e(k) + \frac{T_d}{T} [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \right\} \quad (\text{式 2.6}) \end{aligned}$$

采用增量式算法，计算机输出的控制量增量 $\Delta u(k)$ 对应的是本次执行机构位置（如阀门开度）增量。

$$u(k) = \sum_{j=0}^k \Delta u(j) \quad (\text{式 2.7})$$

增量式控制虽然只是算法上作了一点改进，却带来了不少优点：

(1) 由于计算机每次只输出控制增量，即对应执行机构位置的变化量，因此，机器发生故障时影响范围小；

(2) 手动-自动切换时冲击小，控制系统手动到自动切换时，可以做到无扰切换。此外，当计算机出现故障时，由于输出通道执行具有信号锁存作用，故能保持原值。

(3) 算式中不包含累加项，控制增量 $\Delta u(k)$ 的确定仅与最近几次 $e(k)$ 的采样值

有关，比较容易通过加权处理获得比较好的控制效果

因此，在实际应用中，增量式算法比位置式算法应用更为广泛

二、检测装置

检测装置即传感器，是将非电量转换为电量的器件或装置，它是检测系统和控制系统中获取信息的第一个环节，没有精确、可靠的传感器，不可能实现精确可靠的自动检测和自动控制。可见，在系统中选择合适的传感器是非常重要的。

在工业检测中，应用的传感器种类繁多，往往一种被测量可以用多种不同类型的传感器来检测，而同一种传感器也可以检测多种被测参数本节主要介绍楼宇控制系统中常用的几种传感器，如温度传感器、湿度传感器、流量传感器、压力传感器、液位传感器、光电传感器等，以及它们的工作原理

(一) 温度传感器

按照测温方式的不同，温度传感器测量方法可分为接触式和非接触式两大类。接触式传感器和被测物体直接接触，吸收被测物体能量进行测量，这种方法是目前测温的主要方法；而非接触式传感器与被测物体不直接接触，利用被测物体的热辐射来测定温度。应用接触法测温的传感器有：金属热电阻、热电阻、热敏电阻、压力测温元件、双金属测温元件等。按变换原理的不同，温度传感器可分为膨胀式、压力式、热电阻式和热敏电阻式等数种。在建筑设备自动化系统中，温度传感器主要采用膨胀式、压力式和热电阻式。按照检测对象的不同，温度传感器可分为空间温度传感器（测量室内温度）、室外温度传感器（测量室外空气温度的变化）、风道温度传感器（暖通空调系统中风道某点的温度）、表面接触温度传感器（测量管道、油罐、热交换器的温度变化）、浸没式温度传感器（测量液体温度）烟气温度传感器等。

1. 热电阻 热电阻温度传感器是利用金属或半导体材料的阻值随着湿度变化来测量湿度的。大多数金属热电阻的阻值随温度增高而增大（当温度升高 1 时，其阻值约增加 0.4% ~ 0.6%），称其具有正的温度系数；而半导体热敏电阻的阻值一般随温度升高而减少（当温度升高 1 时，其阻值约减小 3% ~ 6%），称其具有负的温度系数。

(1) 金属热电阻。铂、铜、镍等金属的电阻值随其温度的升高而增大，利用这个性质将温度变换为电阻值，这种温度的元件称为金属热电阻铂电阻的公式（0 ~ 630.74℃）为：

$$R_{\theta} = R_0 (1 + \alpha\theta + \beta\theta^2) \quad (\text{式 2.8})$$

式中： R_{θ} — θ 时的电阻值；

R_0 —0 时的电阻值；

α 、 β —电阻温度系数。

铜的电阻的公式（-50 ~ 150℃）为： $R_{\theta} = R_0 (1 + \alpha\theta)$ 。

铂电阻在氧化过程中，甚至高温条件下，它的化学和物理性能都非常稳定，因此铂电阻具有准确度高、稳定性好、性能可靠等优点，但价格较高。

铜电阻在 -50 ~ 150 范围内，其电阻值与温度之间的关系近似直线铜电阻价格便宜，但铜容易氧化。

镍电阻价格较为便宜，在系统中广泛应用。

(2) 半导体热敏电阻。半导体热敏电阻是由镍、铜、铁、锰等金属的氧化物适当地混合烧成的一种具有负温度-电阻特性的器件，其温度电阻特性关系如下：

$$R_T = R_{T_0} e^{-\beta/T} \quad (\text{式 2.9})$$

式中： R_T —温度为 T 时的电阻值， T 为绝对温度；

R_{T_0} —温度为 T_0 时的电阻值， T_0 为绝对温度；

β —温度系数。

半导体热敏电阻的温度系数大，使它比金属电阻在相同的温度变化下，具有更大的输出信号，因而灵敏度高。另外，半导体热敏电阻具有高阻值，因此，引线电阻周围的温度变化对测量的影响可以忽略。它特别适合用做空调自动控制中的测量元件。但是，半导体热敏电阻的温度特性是非线性的，在实际应用中要进行线性化。

2. 热电偶 将两种不同的导体（或半导体）分别弯成半环状，并将其两端连接起来（见图 2-10），当两端节点存在温差时，这个回路就产生了热电势。利用这个原理的测温元件称为热电偶。通过热电偶将被测物体温度变成电势，置于被测物体的一端，另一端称为冷端。常用热电偶的结构如图 2-11 所示。

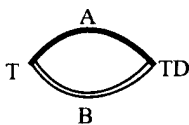


图 2-10 热电偶闭和回路

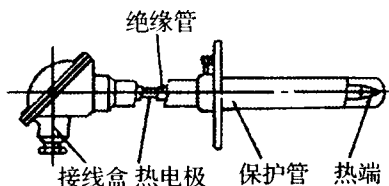


图 2-11 热电偶结构

3. 压力式温度传感器 压力式温度传感器利用温度变化时，气体、液体产生膨胀、收缩的原理，将膨胀、收缩时产生的压力传送到受压部件，而产生位移，利用温度-压力-位移来进行温度测量。这种传感器结构简单，常用比较简单的自动控制。

4. 双金属片式温度传感器 两种热膨胀系数不同的金属薄片，贴合在一起构成双金属片，由于温度变化时，两种金属的热膨胀系数不同而使双金属片产生机械形变，利用这个原理，将温度转换为位移来进行温度测量。

5. 温度变送器 由于传感器转换的信号一般较弱，而且信号的种类（电压、电流及其数值等）不一定，为了全部被控制器接受，需要将信号放大，转换为标准信号（标准电压、标准电流），这种将传感器输出信号转换成标准信号的器件即称为变送器。为了使用方便，也有集温度的传感、变送及显示（以数字显示实测温度值）于一身的一体化温度变送器。

(二) 湿度传感器

湿度传感器按原理可分为：氯化锂电阻式湿度传感器、电动干湿球湿度计、电容式湿度传感器与毛发湿度传感器等。

氯化锂电阻式湿度传感器的原理基于氯化锂的含湿量与其所在空气的相对湿度有关，