

民用建筑电气设计规范详解手册 1

——设备工程自动化与智能化

全书编委会 李天恩 赵义堂 胡敦惠
张汉武 李兴林 潘砚海
本册主编 赵义堂

中国建筑工业出版社

民用建筑电气设计规范详解手册 1

——设备工程自动化与智能化

全书编委会 李天恩 赵义堂 胡敦惠
张汉武 李兴林 潘砚海
本册主编 赵义堂

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

本书是针对《民用建筑电气设计规范》(JGJ/T16-92)(以下简称《规范》)的相应章节编写而成。为便于读者更好地理解和使用《规范》,在章节安排上与《规范》有明确的对应关系。本册主要包括智能建筑、检测仪表与执行器、空调自控、锅炉自控、冷库自控、给水排水系统自控、公共设施的计算机控制、建筑物自动化系统(BAS)、公共建筑计算机管理、结构化布线系统(SCS)等内容,实用性强,是深入理解和灵活运用《规范》的得力工具。可供电气专业与相关专业的设计、科研、教学等人员参考。

民用建筑电气设计规范详解手册 1

——设备工程自动化与智能化

全书编委会 李天恩 赵义堂 胡敦惠
张汉武 李兴林 潘砚海

本册主编 赵义堂

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京市顺义县板桥印刷厂印刷

*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:26¼ 字数:639千字

1997年2月第一版 1997年2月第一次印刷

印数:1—3,600册 定价:37.00元

ISBN7-112-02927-9

TU·2234(8042)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可本社退换

(邮政编码 100037)

目 录

1 智能建筑	1	五、空调系统机房面积估算	91
一、智能	1	六、空调系统与设备	91
二、智能建筑	1	3.2 调节器特性	97
三、有关智能建筑的一些浅识	2	一、双位调节器特性	97
四、建筑设备(设施)及其控制技术的发展	4	二、三位调节器特性	98
五、公用建筑的计算机经营管理与办公自动化(OA)	4	三、比例调节器特性	99
六、传统布线方式的改变——结构化布线系统(SCS)的兴起	4	四、积分调节器特性	99
2 检测仪表与执行器	5	五、比例积分调节器特性	99
2.1 检测与控制仪表	5	六、比例微分调节器特性	100
一、概述	5	七、比例积分微分(PID)调节器特性	100
二、温度检测仪表	7	3.3 空调控制系统的组成	101
三、压力检测仪表	20	一、空气调节工艺流程	101
四、流量检测仪表	31	二、空调控制系统组成	103
五、液位检测仪表	39	三、对各参量调节系统分析	105
六、成分分析仪表	41	3.4 空调用制冷装置的自动保护	110
七、执行机构	43	一、压力保护	110
2.2 仪表的电源与气源	47	二、温度保护	115
一、仪表的电源	47	三、冷却水套断水保护	117
二、仪表的气源	49	四、压缩机电动机的保护	117
2.3 仪表盘与仪表室	55	4 锅炉房热工测量与自动控制	118
一、仪表盘	55	4.1 概述	118
二、仪表室	65	4.2 热水锅炉的热工参数检测	118
2.4 仪表管、线的敷设	68	一、热网与热水锅炉	118
一、仪表电缆、电线的选用及敷设	68	二、常用的检测参数	119
二、仪表测量管路的选择与敷设	76	4.3 蒸汽锅炉的热工参数检测	119
3 空调自动控制	84	一、汽包水位检测	119
3.1 空调系统工艺过程	84	二、蒸汽压力、温度与流量的测量	120
一、焓湿图	84	三、过热器出口蒸汽温度、压力检测	121
二、空调房间的室内空气计算参数	85	4.4 热力除氧器热工参数检测	121
三、空调房间的冷、热负荷	88	4.5 锅炉工艺参数越限报警与保护	121
四、空调房间送风量的确定	91	一、蒸汽锅炉压力报警与保护	121
		二、蒸汽锅炉汽包水位报警与保护	122
		三、热水锅炉工艺参数越限报警与保护	122

四、过热器的工艺参数越限报警与保护···	122	元件及选用	169
五、燃油与燃气锅炉的报警与保护·····	122	一、主供电回路电气元件及选用·····	169
4.6 锅炉自动调节	123	二、控制回路电气元件·····	171
一、蒸汽锅炉汽包水位调节·····	124	6.3 单台水泵的运行控制	172
二、燃烧控制·····	127	一、一台水泵三水位控制装置电路·····	172
4.7 热网回水总管补给水量的自动		二、各元件符号、名称	174
调节	131	三、工作原理·····	174
4.8 锅炉辅机的控制	131	6.4 两台给水泵(一用一备)	
一、各辅机的控制与显示·····	131	运行控制	174
二、各辅机的电气连锁·····	132	6.5 排水泵(一用一备)运行	
三、热力除氧器控制·····	132	控制	176
四、锅炉程序控制·····	133	6.6 三台给水泵(两用一备)	
4.9 设计实例	133	运行控制	178
一、例 1. KZL4-13 型 4t 快装锅炉的		6.7 变水量控制方式	179
自动控制·····	133	一、出口水池水位控制·····	179
二、例 2. 6~10t/h 锅炉控制	136	二、流量恒定控制·····	182
三、例 3. 20t 工业锅炉生产自动控制	140	三、保持水泵出口压力恒定控制·····	182
4.10 结语	142	四、管网末端压力恒定控制·····	182
5 冷库自动控制	148	6.8 变频调速恒压供水	183
5.1 概述	148	7 公用设施的计算机控制	186
5.2 制冷系统安全保护	148	7.1 概述	186
一、压缩机的安全保护装置·····	148	一、操作指导控制系统·····	186
二、冷凝器的故障报警·····	150	二、直接数字控制系统·····	187
三、氨泵安全保护·····	150	三、顺控系统·····	187
四、压力容器安全泄压·····	150	四、分布式控制系统·····	188
五、液位报警装置·····	151	7.2 支持系统导论	191
六、设备运行监视·····	151	一、基本功能·····	191
5.3 小型冷库、冷藏间室温自动		二、硬件配置·····	192
调节装置	152	三、软件·····	198
一、高温冷藏间温度自动控制·····	152	四、微机供电·····	206
二、低温冷藏间的温度自动控制·····	153	五、接地·····	209
5.4 冷库温度遥测	154	六、机房设计·····	212
5.5 冷风机除霜的自动控制	155	七、线路敷设·····	215
5.6 压缩机能量自动调节·····	156	7.3 应用举例	216
一、采用能量调节装置的目的·····	156	一、锅炉微机控制系统·····	216
二、能量调节装置的组成·····	156	二、空调微机控制系统·····	220
三、能量调节方法·····	158	三、制冷微机控制系统·····	222
5.7 设计实例	160	四、给水排水微机控制系统·····	226
5.8 结束语	168	8 建筑物自动化系统(BAS)	231
6 给水、排水自动控制	169	8.1 概述与一般原则问题	231
6.1 概述	169	一、建筑物自动化系统(BAS)的含义	
6.2 给水、排水电气控制系统主要		和整体功能·····	231

二、BAS 的形成与发展	231	五、设计者在软件规划与设计中的 作用	313
三、本章内容的界定	232	8.6 信号传输与数据通信	317
四、设置 BA 系统的可行性论证	232	一、数据通信基础	317
五、可行性论证的综合依据	234	二、BA 系统的信号传输方式	322
六、组建系统的一般原则和应提供的 保证	234	三、通信体系结构	324
8.2 系统的服务功能与网络结构 ..	239	四、通信的传输介质	332
一、控制对象系统的确定	239	五、BA 系统的访问控制方法	335
二、控制对象系统的应用实例	246	8.7 电源	336
三、安全系统在 BAS 规划与设计中的 处理	258	一、BA 系统的负荷级别	336
四、监控点属性的划分	263	二、负荷容量	337
五、系统的网络结构	264	三、电源设备	337
六、若干典型产品的系统构成(网络结构) 简介	266	四、配电方式	339
七、若干问题的说明与探讨	282	8.8 线路敷设	339
8.3 监控总表的编制	285	一、天棚内配线	340
一、系统规划与设计的内容及监控 总表的地位	285	二、房间内配线	340
二、对纳入 BAS 的控制对象系统的 选择与确定	285	三、地面上配线	340
三、监控总表的编制	292	四、地板内配线	341
8.4 BA 系统的硬件及其组态	300	8.9 监控中心	342
一、BA 系统硬件的整体概念	300	9 公用建筑计算机经营管理	344
二、中央站硬件及其组态	300	9.1 设计原则	344
三、监控中心的组态梯次	301	一、与经济建设相关的信息系统	344
四、专设终端与远方终端	301	二、经营管理用计算机系统的构成	345
五、独立控制系统与 BAS 中央站的 信息交互	302	三、选用集中式计算机系统	348
六、有关中央站的几个细节问题	303	四、选择计算机网络系统	348
七、关于分站型式的说明	303	五、计算机系统的工作环境的要求	356
八、分站的设置	304	六、大、中及小型计算机用房	357
九、分站 I/O 点的数量和类别及分站的 数量和型式	304	七、主机室的位置选择	358
十、拓扑结构和分站数量与型式的 关系	304	八、计算机设备布置原则	358
8.5 BA 系统软件设置的基本 要点	305	九、计算机系统的供电	358
一、系统设计应十分重视软件的选项与 设置	305	十、工作环境照明要求	358
二、BA 系统的软件分类	306	十一、计算机通信	359
三、中央软件	306	十二、计算机系统接地	360
四、分站软件	311	十三、线路敷设	360
		9.2 宾馆、饭店经营管理系统	361
		一、宾馆、饭店计算机经营管理 系统的业务范围	361
		二、需要计算机工作的部位	361
		三、计算机系统的选型原则	361
		四、计算机接口的选配	363
		五、可靠供电的重要性	363
		六、安全使用计算机	363
		七、应用软件	363

9.3 图档馆检索系统	363	9.8 办公自动化系统	372
一、图书馆用计算机业务范围	364	一、现代办公的特点	372
二、需要配置计算机工作的主要部位	364	二、办公自动化系统的组建要求	373
三、计算机系统的选型	364	三、通信与远程会议系统	373
四、接口选择	365	四、电子数据交换系统	375
五、供电质量	365	五、工程工作站与多媒体技术	377
六、工作环境	365	六、计算机网络	378
七、机房位置	365	七、标志识别系统	379
八、不间断电源的应用	365	八、楼宇设备自动化管理系统	380
九、响应时间	365	10 结构化布线系统(SCS)	382
十、图档馆计算机应用软件	365	10.1 SCS 的必要性及经济分析	382
9.4 商业经营管理系统	366	一、SCS 的组成	382
一、工作范围	366	二、SCS 的必要性	382
二、计算机选型	366	三、SCS 的经济分析	383
三、选配接口	367	四、SCS 与传统配线的对应关系	384
四、与收款机联机要求	367	10.2 SCS 的类型及网络结构	385
五、响应时间的确定	367	一、SCS 的类型	385
六、供电要求	367	二、SCS 的网络结构	386
七、机房选址要求	367	三、SCS 与数据网络	386
八、应用软件	367	四、SCS 的总体规划原则	393
9.5 停车场计费管理系统	368	10.3 工作区子系统设计原则	394
一、小型停车场	368	一、工作区子系统	394
二、大型停车场	368	二、适配器的分类和配接关系	394
三、辅助设备的接口	368	三、工作区子系统的配接范围	395
四、供电	368	10.4 水平子系统设计原则	395
五、传感器设置	368	一、信息插座(I/O)	395
六、应用软件	368	二、I/O 的确定	397
9.6 银行经营管理系统	368	三、非屏蔽双绞线(UTP)	397
一、银行业务分类	369	四、与建筑物自动化设施的配接	397
二、配置计算机的部门	369	10.5 管理子系统	399
三、机型设备	369	一、管理子系统的作用	399
四、接口类型	370	二、单点管理	399
五、主机室与媒体保管室的建筑要求	370	三、双点管理	399
六、双机系统的布置	370	四、管理子系统的接线间典型	
七、其他若干要求	370	接线关系	400
八、银行计算机系统应用软件	370	五、应用部件举例	400
9.7 铁路旅客站、航空港售票		10.6 干线子系统的设计原则	402
管理系统	371	一、干线子系统的组成	402
一、设置终端的部位	371	二、干线子系统的规划	402
二、机型选择	371	三、铜缆接合方式	402
三、接口选择	371	四、缆线选择	404
四、供电质量	371	10.7 设备间子系统的设计原则	404
五、应用软件	372	一、设备间的位置确定	404

二、设备间的环境条件要求.....	404	四、AT&T 的光缆组网方式及布置	
10.8 建筑群子系统.....	405	要求.....	408
10.9 光纤在 SCS 中应用	405	五、光纤连接器件.....	409
一、关于光纤的基础知识.....	405	10.10 SCS 应用实例	410
二、光纤的类型与传输特性.....	407	一、工程应用实例.....	410
三、AT&T 的光缆类型	407	二、质量保证协议的重要性.....	410

1 智能建筑

近年来，在建筑行业中，出现了一个新概念——智能建筑。如何理解和认识它，直接影响到营造一个智能建筑的规划。

一、智能

对于智能，最直观的定义就是在任意给定的环境与目标条件下，正确制定策略并产生行动来实现目标的能力。

人的活动，特别是人的智能活动是一切智能系统的原型，任何有关智能的理论都是从人的活动中抽象、提炼出来的；而人的活动不仅是个体行为，也是社会行为，个体的能力是有限的，每个民族都有其古老的谚语告诫人们要团结合作。这样就又出现了社会智能的概念，所谓社会智能，就是人类群体在实现共同目的的过程中分工与协作的能力。

智能是一种能力，社会智能也是一种能力。这种能力是一种正确决策和实施的能力；也可以按社会智能的定义概括为相互协作、相互协调、互为补充的能力。但不可忽视的一点是从社会智能这一智能原型出发，一个卓越的领导者根据每个人的特长，安排其所胜任的工作是至关重要的，虽然每个人并非尽善尽美，却能合力完成复杂工作。这个特点也将明显地反映在智能建筑中。

二、智能建筑

近年来，电子设备（尤其是计算机技术及网络技术）和通信技术的发展，以及高度信息化社会的到来，对建筑物内的信息系统设置起了很大的推动作用，以至出现了新概念建筑，即智能建筑。

1980年首先在美国提出了这一概念，继而日本的建筑界意识到智能建筑时代的到来，于1985年11月设立了智能建筑专业委员会，着手对智能建筑的概念、功能、规划、设计与施工各个方面进行研究，1986年10月出版了《智能建筑》一书，虽然只是一般的知识介绍，但是却提高了建筑电气工程界乃至整个建筑界对智能建筑的注意力，而智能建筑专业委员会的工作仍在有组织有计划地继续与深入。美国的研究工作也在不断的开展，一是表现在美国智能大楼研究中心的系统工作；二是表现在各国的具有实力和影响的大公司或是单独开发或是相互联手协作；提供相关设备且以惊人的速度实现产品的更新换代，从各方面为智能建筑提供高性能的产品。同时，它们也都按着各自的理解和民族习惯为智能建筑下定义，确定范围。

1. 美国智能建筑中心把智能建筑定义为：通过对建筑物的四个基本要素，即结构、系统、服务、管理以及他们之间内在相互联系的最优化考虑，来提供一个投资合理的，但又拥有高效率、舒适、温馨、便利的环境。

2. 日本电设工业协会智能建筑协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内的电力、空调、照明、防灾、防盗、运输设备等，实现建筑物自动化、远程通信和办公自动化有效运行，这三种功能结合起来的建筑，就是智能建筑（如

图 1-1 所示)。

3. 智能建筑应营造的环境的定义：营造一种高品质的生活环境和高效率的工作环境的建筑就是智能建筑，这也是见之于文献的一种定义。在已介绍过的两种定义中也都包括有这种含义。环境方面的要求可以分为以下的六个方面（如图 1-2 所示）：

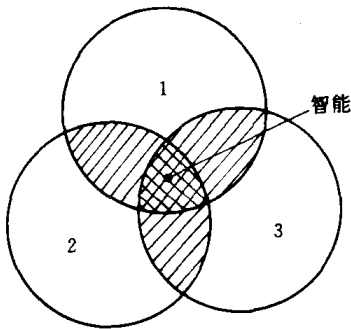


图 1-1 智能建筑的功能示意

1—建筑物自动化功能；2—远程通信功能；3—办公自动化功能

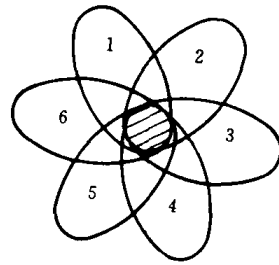


图 1-2 智能建筑办公环境

1) 舒适性：使人们在智能建筑中生活和工作（包括公共区域），无论是心理上，还是生理上均感到舒适。为此，空调、照明、消声、绿化、自然光及其它环境条件应达到较佳和最佳条件。

2) 高效性：提高办公业务、通信、决策方面的工作效率；提高节省人力、时间、空间、资源、能量、费用以及建筑物所属设备系统使用管理方面的效率。

3) 方便性：除了办公机器使用方便外，还应具有高效的信息服务功能。

4) 适应性：对办公组织机构的变更、办公方法和程序的变更以及设备更新等适应性要好，对服务设施的变更要稳妥迅速，对办公设备、办公机器、网络功能变化和更新换代时的适应过程中，不妨碍原有系统的使用。

5) 安全性：除了要保证生命、财产、建筑物安全外，还要防止信息网信息的泄漏和被干扰，特别是防止信息、数据被破坏，防止被删除和篡改以及系统非法或不正确使用。

6) 可靠性：努力尽早发现系统的故障，尽快排除故障，力求故障的影响和波及面减至最小程度和最小范围。

4. 智能建筑应具有的功能方面的定义：从功能角度分析，目前智能建筑被列为应具备的功能包括：

1) 具有高度的信息处理功能。

2) 信息通信不仅局限于建筑物内，而且与外部的信息通信系统有构成网络的可能

3) 所有的信息通信处理功能，应随技术进步和社会需要而发展，为未来的设备和配线预留空间，具有充分的适应性和可扩性。

4) 要将电力、空调、防灾、防盗、运输设备等构成综合系统，同时要实现统一控制，包括将来新添的控制项目和目前还被禁止统一控制的项目。

5) 实现以建筑物最佳控制为中心的过程自动控制，同时还要通过管理系统实现设备管理自动化。

三、有关智能建筑的一些浅识

1. 智能建筑是一个动态的概念。图 1-1 和图 1-2 所示的智能建筑系统构成，并不是一

个定式，它将随着电气、电信等跨领域研究成果的涌现和应用而发展。

在国家信息方面，利用电视教育（ITV）系统，使得远距离完成电视会议与其它个人计算机通信成为现实。有关各种信息交换的办公自动化，近年来普及甚快，在一般的办公室内计算机应用已相当普及。几年前还是一种设想，早已成为现实，计算机信息交换系统已在许多领域用于数字交换网，企业内部通信系统、数据网等（详见第9章）。并逐渐向综合通信网发展。

美国在1993年提出共建信息高速公路的设想，这又使智能建筑有了新的追求方向。所以在智能建筑的诸多定义中，有一种看来既十分浪漫又十分模糊的定义，那就是“所谓‘智能建筑’就是具有聪明头脑的建筑”。人的头脑可以越来越聪明，建筑物的‘头脑’当然也可随着技术的发展，越来越聪明，显然这也是动态的。

2. 按图1-1和图1-2考虑，对智能建筑有若干功能要求（如三个自动化功能：六个环境功能）。但是，着眼点不同，会引起功能考虑的差异。例如，一个地处自然气候条件十分怡人的建筑物，可能就无需考虑空调系统，继而也就可能不再需要建筑物自动化系统（BAS），这样的情况在国内外均不乏实例。

顺便提一下，有些人把智能建筑定义为3A [办公自动化（OA）、通信自动化（CA）、建筑物自动化（BA）] 建筑，还有什么5A建筑，甚至7A建筑，就是智能建筑，恐怕有失准确，因为这样就否定了智能建筑是可以有功能差异的。这也是一个动态的概念。

3. 智能建筑应是以建筑物为整体，把各个分别作为独立系统进行安设的系统用LAN（局域网）等信息通信系统构成的综合系统，或者说是集成系统。或如本章开头所述，智能建筑的智能应符合社会智能的概念。且不论一些行政上的规定合理与否，从集成（或综合）的角度考虑，有一个卓越的领导者（综合监控中心）也是必要的。

4. 智能建筑不应失去人的主观能动性。在建造智能建筑的时候，会有各种系统被集成在一起，具有能适应信息化社会发展和控制技术发展以及管理模式改进的硬件装备，具有能有效使用硬设备的系统，保留由于各种自动化而常常失去的人的主观能动性是重要的一环，任何有生命力的系统都应为发挥人的主观能动性提供充分条件，更具体地说就是应提供更友好的人机界面，使人们能为创造和改进环境的舒适性充分发挥作用，这是相对更理想的智能建筑。这是又一层次的动态概念。

5. 智能建筑各系统的接口应实行标准化：设置计算机、数字交换机，用LAN等信息通信网将各个终端和各种设施连接起来，共享所积累的数据资源，传送和处理信息，有了计算机、电视电话、公用设施的控制系統、安全控制系统的标准化接口，把分散独立的系统，综合集成为一体就有了前提条件，各系统间互相进行信息交换，各种系统的功能有机结合就有了可能，当然，最终还是为了建造成理想的智能建筑。

6. 理想化的智能建筑并不一定要一次到位、同期建成。前面曾三次提到动态，这里实际是施工进度上的动态概念。旧有建筑物的改造和新建筑为达到合理的智能化目标而确定的必要系统往往不一定要一次建成，这主要有如下的两种原因：

- 1) 对于方案的成熟性需要有足够的时间作决策性的考察与论证。
- 2) 需要根据资金的到位情况合理规划其使用进度。

一般地说，分期建造不仅是可能的，甚至不会影响内部的结构和美观。

四、建筑设备（设施）及其控制技术的发展

如前所述，建筑物自动化系统（BAS）就一般概念而言，被认为是智能建筑的一个重要系统，就单体建筑（或建筑群）当公用设施极其繁多，为方便管理，节约能源，BAS 极有可能被选定为该建筑智能化的系统之一。

随着技术进步和人们对工作与生活环境品质要求不断提高，建筑设备系统日益复杂和庞大。早在 BAS 产生之前，人们便以当时可实现的技术水平来实行自动控制，包括：

1. 空调系统自控；
2. 锅炉自控；
3. 冷库自控；
4. 给水排水系统自控。

此外还有照明、供配电及电梯、扶梯运输系统等自控。

建筑设备虽有增多，如第 8 章所述，但基本的、主要的建筑设备变化不多（详见 3.2 节），但控制与管理手段变化很大，从仪表自控，进而发展到计算机控制〔如《民用建筑电气设计规范》（JGJ/T-16-92）（以下简称《规范》）的第 23 章所述〕，到目前对一些复杂系统实现了网络化的集散控制（见《规范》的第 26 章）。这就是所谓的建筑物自动化系统（BAS）。

但是必须强调指出：BAS 的出现并非完全取代所谓的仪表检测与控制；而是在原有的基础上发展为计算机控制和集散控制（见第 2 至第 7 章）。

五、公用建筑的计算机经营管理与办公自动化（OA）

公用建筑包括宾馆、饭店、银行、商业、图档馆、航空港、铁路旅客站、停车场等已经一改过去传统办公模式进入到计算机经营管理阶段。除此之外，一般行政办公部门，已进入到以 LAN 方式形成网络的阶段，正如第 9 章所述，“办公自动化系统（也称 OA 系统）也是综合了多学科的成果才得以存在的。它的发展已经得到了计算机、通信、文字处理、数值计算、逻辑判断、声音识别、图像识别、图形识别、优化管理等学科的支持，并且在丰富软件支持下，正在日益渗入各个应用领域”。作为智能建筑的一个重要组成部分，《规范》的第 26 章已作了有关设计的规定，本书的第 9 章，也将就此展开叙述。

从系统集成观点看，BA 的信息是构成 OA 系统的一部分。

六、传统布线方式的改变——结构化布线系统（SCS）的兴起

作为智能建筑的神经网络系统，结构化布线系统（SCS）已经出现了取代传统布线方式之势，这部分内容在《规范》中虽然并未纳入，但考虑到应用普及很快，又是智能建筑中系统集成的载体之一，本书的第 10 章，还是作了较系统的介绍。

2 检测仪表与执行器

本章对《规范》第 23.1、23.2、23.3、23.4 节内容展开阐述。供使用《规范》时参考。

2.1 检测与控制仪表

在建筑设施的自动控制中,检测被控系统的物理参数是整个控制系统中最关键的环节,它直接决定被控参数的品质指标。

建筑设施过程控制系统检测包括温度、湿度、压力、流量及液位等参数的测量、转换及可靠性分析等。

一、概述

对建筑中保障使用人员舒适性设施的工艺过程监察与控制,首先要对各个相应物理量进行数据采集与分析,即称为测量。

测量就是将测得值与同一物理量标准值(单位)去比较,得到值就是标准值倍数。所以整个过程应包括调零、对比、示差、调平衡及读数 5 个过程。被测量与标准量直接比较的情况是不多的,故而都要变换为易于比较的中间量,这个过程就是转换,通常将它转换为电信号,比较和控制都较方便,所以说,变换是测量的核心。变换元件是以某一物理定律为基础的,它完成特定的转换任务,多个变换元件的有机组合可以构成变换器及测量仪表,后者将被测量一直变换到量测者能直接接受为止。

在各种物理量测中,当利用专门仪表或测量系统量测被测量时,由于仪表的性能,测量系统组成以及客观条件限制使得测量值与真值并不一致,这种差异称之为误差。因为真值就是定义值,永远是不可知的,它只能是在人们规定条件下,用某一精度的仪器测得值来代替它,这个值通常叫实际值。测量误差都是以测量值与实际值相比较的差异来定义的。在实际系统分析中,主要分析系统误差,随机误差和粗大误差。

系统误差是指在同一条件下,多次测量同一物理量,其绝对误差值恒定不变或在不同条件下测量时,误差按某一规律变化。即它是一种规律性误差。多半是由仪器使用方式、调零机构、人为读取习惯等因素引起的,如果掌握了它的规律,是易于消除或减少的。

随机误差也称偶然误差,是在相同条件下多次量测同一量时,误差绝对值时大时小,且符号随机变化。这种误差多半是随机干扰所造成的,虽然单个随机误差无规律性,但就统计规律而言,它是零均值正态分布的,它们之间可以互相抵消,在实际量测中可以通过数据处理而消除。

粗大误差是明显歪曲测量结果的误差,亦称过失误差,完全是由量测者粗心大意而造成的,虽然无规律可循,但完全可以通过主观努力加以克服。

在实际测量中,应根据系统被控精度及可靠性,按工艺要求和使用环境综合考虑选择检测仪表。

过程控制仪表和其它仪表一样，在保证可靠工作的前提下，有如下一些衡量其性能优劣的基本指标：

1. 精确度：任何仪表都有一定的误差。因此使用仪表时必须先知道该仪表的精确程度，以便估计测量结果与真实值的差距，即估计测量值的误差大小。

模拟式仪表的精确度一般不宜用绝对误差（测量值与真实值的差）和相对误差（绝对误差与该点的真实值之比）来表示，因为前者不能体现对不同量程仪表的合理要求。后者很容易引起任何仪表都不可能相信的误解。例如对一只满量程为 100mA 读数的电流表，在测量零电流时，由于机械摩擦，指针并不为零，而得到 0.2mA 的读数若按上述相对误差的算法，那么该点的相对误差即为无穷大，似乎这个仪表是完全不能使用的；但在工程人员看来，这样的测量误差是很容易理解的，根本不值得大惊小怪，它可能还是一只比较精密的仪表。

模拟式仪表的合理精确度，应该以测量范围中最大的绝对误差和该仪表的测量范围之比来衡量，这种比值称为相对（于满量程的）百分误差。例如某温度计的刻度由 -50°C 到 $+150^{\circ}\text{C}$ ，即其测量范围为 200°C ，若在这个测量范围内，最大测量误差不超过 3°C ，则其相对百分误差 δ 为

$$\delta = \frac{3}{150+50} = 1.5\% \quad (2-1)$$

仪表工业规定，去掉式 (2-1) 中相对百分误差的“%”，称为仪表的精确度。它划分成若干等级，如 0.1 级、0.2 级、0.5 级、1.0 级、1.5 级、2.5 级等。上述温度计的精确度即为 1.5 级。

仪表的误差还根据使用条件分为基本误差和附加误差两种。基本误差是指仪表在正常工作条件下的最大相对百分误差。若仪表不在规定的正常条件下工作，例如因周围温度、电源电压等偏高或偏低而引起的额外误差，称为附加误差。仪表的精确度等级都是根据其基本误差确定的。

2. 灵敏度、灵敏限：

1) 灵敏度表示测量仪表对被测参数变化的敏感程度。常以仪表输出，例如指示装置的直线位移或角位移与引起此位移的被测量参数变化量之比表示，即

$$\text{灵敏度} = \frac{\Delta a}{\Delta X} \quad (2-2)$$

式中 Δa ——仪表指示装置的直线位移或角位移；

ΔX ——被测参数的变化值。

仪表的灵敏度可用增加放大系统的放大倍数来提高。但是，需要指出，单纯提高仪表的灵敏度并不一定能提高仪表的精确度。例如把一个电流表的指针接得很长，虽然可把直线位移的灵敏度提高，但其读数的精确度并不一定提高。相反，可能由于平衡状况变坏而精确度反而下降。为了防止这种虚假灵敏，常规定仪表读数标尺的分格值，不能大于仪表允许误差的绝对值。

2) 仪表的灵敏限是指仪表能感受并发生动作的输入量的最小值。

3. 变差：在外界条件不变的情况下，使用同一仪表对被测参量进行反复测量（正行程和反行程）时，所产生的最大差值与测量范围之比称变差。造成变差的原因很多，例如传

动机构间存在的间隙和摩擦力、弹性元件的弹性滞后等。在设计和制造仪表时，必须尽量减小变差的数值。一个仪表的变差越小，其输出的重复性和稳定性越好。仪表除静态误差外，在输入量随时间变化时，由于仪表内部的惯性和滞后，还存在动态误差。对控制用仪表而言，因为它工作在调节系统的闭环之中，其动态特性不仅影响自身的输出，还直接影响整个调节系统的调节质量。例如在一个调节系统中，若检测仪表的惯性比调节对象的惯性还大，那么不仅系统的调节速度被减慢，而且在过渡过程中检测仪表不能及时反映真实的情况；被调量可能存在很大的冲击的波动，但检测仪表的指示却很平稳，这种虚假的现象会给生产造成严重的损失。因此在研制和选用工业自动化仪表时，必须对其动态特性予以充分的重视，根据需要尽量设法减小仪表的惯性和滞后，使之能快速和准确地响应输入量的变化。

二、温度检测仪表

1. 热电偶：热电偶的原理见图 2-1，当两种不同的导体或半导体连接成闭合回路时，若两个接点温度不同，回路中就会出现热电动势，并产生电流。

从物理上看，这一热电动势主要是由接触电势组成。当两种不同导体 A 、 B 接触时，由于两边的自由电子密度不同，在交界面上产生电子的相互扩散。若 A 中自由电子密度大于 B 中的密度，那么在开始接触的瞬间，从 A 向 B 扩散的电子数目将比 B 向 A 扩散的多，因而使 A 失去较多电子而带正电荷，相反 B 带负电荷。致使在 A 、 B 接触处产生电场，以阻碍电子进一步在 B 中的积累，最后达到平衡。平衡时，在 A 、 B 两导体间的电位差称为接触电动势，其数值决定于两种材料的种类和接触点的温度。

图 2-1 表示的热电偶回路中，在温度不同的两个接点上，分别存在两个数值不同的接触电势 $e_{AB}(T)$ 及 $e_{AB}(T_0)$ ，回路中的总电势为

$$E(T, T_0) = e_{AB}(T) - e_{AB}(T_0) \quad (2-3)$$

式中 e_{AB} ——表示由 A 到 B 的电势。

对一定的热电偶材料，若将一端温度 T_0 维持恒定（这接点称为自由端或冷端），而将另一端插在需要测温的地方，则热电势 E 为测温端温度 T （这接点又称为工作端或热端）的单值函数，用电表或仪器测定此电势的数值，便可确定被测温度 T 。

有实际使用热电偶测温时，总要在热电偶回路中插入测量仪表和使用各种导线进行连接，也就是总要在热电偶回路中插入其它种类的导体。插入另一种导体是否影响热电势的数值。图 2-2 中，除热电偶两种材料 A 、 B 外又插入第三种导体 C 组成闭合回路，设 A 、 B 的接触点温度为 T ， A 、 C 和 B 、 C 两处接触点的温度为 T_0 ，则回路中总电势为

$$E = e_{AB}(T) + e_{BC}(T_0) + e_{CA}(T_0) \quad (2-4)$$

若各接点温度都相同，即 $T = T_0$ ，则由热力学第二定律可推断，此时总电势 E 必为零。

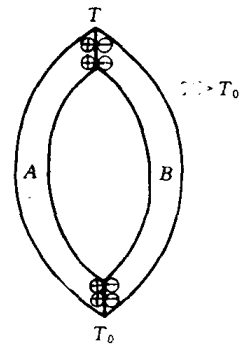


图 2-1 热电偶的原理

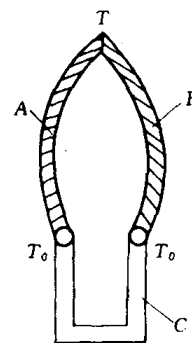


图 2-2 热电偶回路中插入第三种导体的情形

因为如果有电势 E 存在, 将必有电流流动, 使回路中某一部份加热。在没有外界做功的条件下, 这种热量自动由温度低处流向高处的现象是不可能发生的。

因此可写出:

$$e_{AB}(T_0) + e_{BC}(T_0) + e_{CA}(T_0) = 0 \quad (2-5)$$

所以

$$e_{BC}(T_0) + e_{CA}(T_0) = -e_{AB}(T_0) \quad (2-6)$$

代入式 (2-4) 得

$$E = e_{AB}(T) - e_{AB}(T_0) \quad (2-7)$$

这仍然是式 (2-3) 的结果。由此可知, 只要接入第三种导体的两个连接点温度相等, 它的接入对回路电势毫无影响。这一结论在使用上有着重要的意义。据此, 我们可放心地在回路中插入各种仪表和导线进行测量。

热电偶的材料原则上说, 随便两种不同的导体焊在一起, 都会出现热电势。但这并不是所有热电偶都具有实用价值, 能被大量采用的材料必须在测温范围内具有稳定的化学与物理性质, 热电势要大, 且与温度接近线性关系。

常用热电偶

表 2-1

热电偶名称及分度号	热电偶丝成分	测量上限 (°C)		灵敏度 (平均值) $\mu\text{V}/\text{C}$	特点	补偿导线材料
		长期工作	短期工作			
铂铑 30-铂铑 6 LL-2	正极铂 70%, 铑 30% 负极铂 94%, 铑 6%	1600	1800	10	精度高, 性能稳定, 价贵, 宜在氧化及中性气氛中使用	
铂铑 10-铂 LB-3	正极铂 90%, 铑 10% 负极铂 100%	1300	1600	10	同上	铜-钨镍合金 (钨 99.4%, 镍 0.6%)
镍铬-镍硅 Eu-2	正极镍 89%, 铬 10% 锰硅少量, 负极镍 94%, 硅 3%, 锰钴少量	1000	1300	40	线性好, 性能稳定, 宜在氧化及中性气氛中使用, 价格便宜, 镍硅丝较脆	铜-康铜
镍铬-镍铝 Eu-2	正极同镍铬-镍硅, 负极镍 94%, 铝硅锰 5%	1000	1300	40	性能与镍铬-镍硅相近, 但稳定性不如前者, 故渐被前者替代	铜-康铜
镍铬-考铜 EA-2	正极同镍铬-镍硅, 负极铜 56%, 镍 44%	600	800	80	热电势最大, 价格便宜, 适用于还原性及中性气氛	
铜-康铜	正极铜, 负极康铜 (铜 60%, 镍 40%)	350	450	50	最便宜, 但铜易氧化, 常用来测量 $-100 \sim +100^\circ\text{C}$ 间温度	

表 2-1 列出了我国目前常用的标准化热电偶的材料和特性。

表 2-1 中, 铂及其合金属于贵金属, 其组成的热电偶价格很贵。它的优点是热电势非常稳定, 故主要用作标准热电偶及测量 1100°C 以上的高温。在表中的普通金属热电偶中, 镍铬—镍硅的电势温度关系线性度最好, 镍铬—考铜的灵敏度最高, 铜—康铜的价格最便宜。除表 2-1 中所列出的常用热电偶外, 我国还能生产许多新型热电偶, 如可用来测 2300°C 的钨铼超高温热电偶, 以及测 -270°C 的金铁—镍铬低温热电偶等。

热电偶测温的误差, 在低温段大约为 2.5~5°C, 高温段相对误差大约为 0.4%~1%。例如铂铑 10—铂热电偶在 0~600°C 间的允许误差为 ±2.4°C, 温度高于 600°C 时允许误差为 ±0.4%×T (°C)。使用热电偶时必须十分注意其适用条件, 在有害的气氛环境下, 热电偶特性会急剧变化, 产生很大的测量误差。

为了延长热电偶的使用寿命, 常在热偶丝外面套上金属或石英、陶瓷等制成的保护套管, 以隔离有害气体和物质对热电偶的损害。但加套管后, 热电偶测温的滞后加大。根据结构的不同, 一般热电偶的时间常数约为 1.5min 到 4min。特殊结构的小惯性热电偶的时间常数约为几秒钟, 快速薄膜热电偶的时间常数则为毫秒级。

由于热电偶的热电势大小不仅与测量端温度有关, 还决定于自由端 (冷端) 的温度。所以使用热电偶时, 常需保持冷端温度恒定, 例如将冷端置于冰瓶内, 由冰水混合物保证 0°C 的稳定温度。在工业测量仪表中通常在电路中引入一个随冷端温度变化的附加电势, 自动补偿冷端温度的变化, 以保证测量精度。考虑到冷端恒温器或电势补偿装置常离测量点较远, 在使用较贵的热电偶时, 如果全用热偶丝从测量点引至恒温器, 代价将太高。为了节约, 工业上选用在较低温度下 (100°C 以下) 与所用热电偶的热电特性相近的廉价金属, 作为热偶丝在低温区的替代品, 称为补偿导线。其接法如图 2-3 所示。这样热偶丝只要引至温度 100°C 以下的地方, 其余的长度, 可用廉价的补偿导线来延伸。例如贵金属铂铑—铂热电偶, 可用铜 (正极) 和铜镍合金 (负极) 作补偿线, 将冷端延伸到离测点较远的地方。工业上, 各种补偿导线有规定的显著颜色可供辨认。使用时要注意正负极性不能接错。

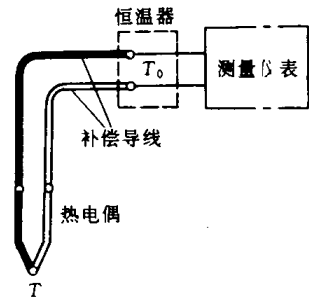


图 2-3 补偿导线的使用

2. 热电阻: 测量低于 150°C 的温度时, 由于热电偶的电势较小, 常使用金属电阻感温元件 (简称热电阻) 测量温度。热电阻不象热电偶那样需要冷端温度补偿。测量温度也比较高, 在 -200~+500°C 的温度范围内, 获得极为广泛的应用。

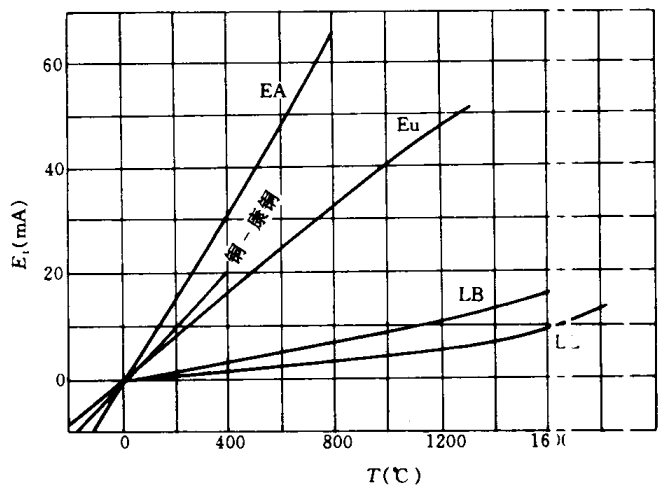


图 2-4 几种常用热电偶的特性 (冷端温度为 0°C)

热电阻测温仪表是根据金属导体的电阻随温度变化的特性进行测温的。例如铂的电阻