

# 防护工程设备自动化系统一体化集成方法研究

缪小平, 彭福胜, 耿世彬, 范良凯, 江 丰

(中国人民解放军理工大学国防工程学院, 南京 210007)

**[摘要]** 本文指出我国设备自动化系统存在的主要问题是将系统的集成作为弱电集成, 导致自动化系统和设备系统相脱节。分析了设备自动化系统集成目标、阶段划分及其评价标准。提出防护工程自动化系统与设备系统一体化集成的方法: 瞄准设备自动化系统预期目标, 在设计、施工、编程调试各个环节, 甚至产品开发阶段, 必须密切加强自动化系统与设备系统配合。

**[关键词]** 防护工程; 设备自动化; 系统集成

**[中图分类号]** TU834 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2013)05-0084-11

## 1 前言

自1984年世界上第一栋智能建筑在美国问世以来, 智能建筑已经成为当今世界建筑发展的主要方向。作为智能建筑三大支撑技术之一的建筑自动化技术(BA技术), 其核心就是利用计算机、控制、图像处理和数据通信技术(4C技术)对建筑物中的设备(电力、照明、空调、给排水和消防报警等设备)进行集中控制和管理, 对建筑物出入口和重要部位进行集中监控和报警, 为用户提供良好的工作和生活环境, 以达到舒适、安全、可靠、节能和减少管理人员的目的, 其经济效益和社会效益非常诱人。

进入21世纪, 为了适应部队信息化建设的需求, 防护工程提出了实现内部设备自动化的目标——提高工程内部环境保障的能力, 减少维护人员, 降低系统的运行能耗, 提高工程的管理水平。但是要实现这一目标并非易事, 主要原因是目前我国设备自动化系统集成的理论、技术和方法都不成熟。自20世纪90年代开始, 我国的大型公共建筑开始引入BA技术, 并且发展十分迅速, 目前已经基本普及。然而, 实践表明, 我国的设备自动化系统的效果远没有达到预期效果, 尤其承担运行节能重

任的设备自动化系统, 大都处于非常初级的阶段, 仅能实现单个机电设备的监控, 能够实现系统管理尤其是实现节能优化管理的范例微乎其微<sup>[1]</sup>。例如, 在许多实现了自动化的空调系统中, 由于可靠性不高, 管理人员不敢用其对空调系统进行集中管理; 而且部分系统经常出现不合理的“自动保护”, 致使空调系统停止运行, 而且现场管理人员难以处理, 很多建筑因此将BA系统弃用, 使系统回到手动管理的模式<sup>[2]</sup>。不仅我国如此, 在欧美国家, 也有很多智能建筑的BA系统无法达到预期的功效<sup>[3]</sup>。显然, 简单地将智能建筑的BA技术引入防护工程无法实现国防工程建设的目标。例如, 在20世纪90年代中期, 某防护工程进行了设备自动化改造, 最后因为实现功能单一, 系统可靠性差, 故障频发并且维修困难而无法推广使用<sup>[4]</sup>。因此, 为了实现防护工程内部设备自动化系统的建设目标, 必须另辟蹊径, 研究适合防护工程设备系统的集成方法和技术。

## 2 设备自动化系统集成原理分析

### 2.1 设备自动化系统的集成要素

设备自动化系统的集成就是将构成系统的各个分离的设备、系统、功能和信息等进行综合, 形成

**[收稿日期]** 2013-03-19

**[作者简介]** 缪小平(1957—), 男, 江苏靖江县人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为建筑设备自动化; E-mail: mxp57@vip.163.com

一个统一的,并且功能更加强大的系统。设备自动化系统本质上就是用分布式计算机测控技术对建筑设备系统(通风空调、给排水、供配电、照明等系统)的机电设备进行集中监控和管理,系统构成如图1所

示。由图1可以看出,设备自动化系统由机械设备、电气控制、弱电控制器、计算机网络和系统管理5个要素构成。系统集成就是将这5个要素进行整合<sup>[4]</sup>,实现对建筑设备系统的运行控制和智能管理。

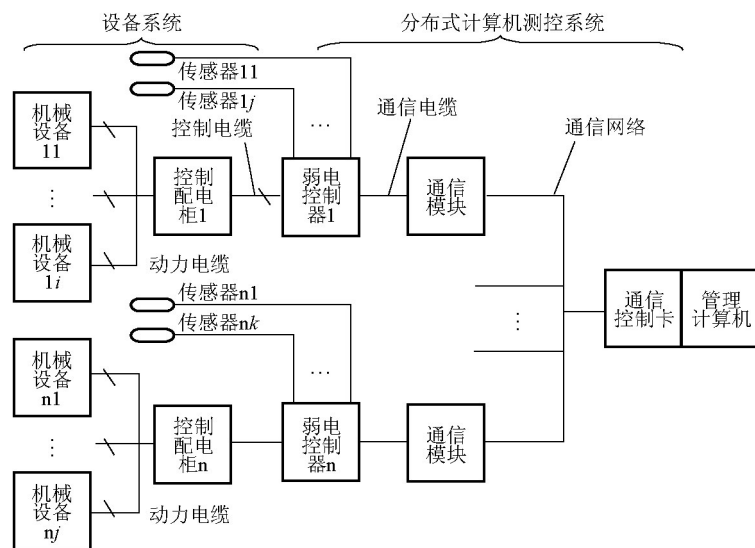


图1 监控系统控制过程原理图

Fig.1 The control process of monitoring system

在5个要素中,机械设备和电气控制构成建筑设备系统,弱电控制器、计算机网络和系统管理构成分布式计算机测控系统。因此,设备自动化系统的集成就是对上述5个要素进行整合,达到在管理计算机上实现对整个工程的内部设备进行控制和管理的目的。

## 2.2 设备自动化系统集成目标

1) 确保系统功能的实现。设备自动化系统通常主要实现以下5项功能:a. 检测工程内环境参数和设备运行的必要参数;b. 检测系统机电设备的状态,包括设备的运行状态和故障状态;c. 在管理计算机上集中控制各种机电设备的启、停(启、闭);d. 在管理计算机上实现工程常用管理功能,包括参数自动调节和机组的顺序控制等;e. 实现系统节能优化管理,即在满足建筑环境质量的前提下,使系统运行能耗最低。设备自动化系统的集成主要确保系统能够实现上述功能。

2) 确保系统运行的可靠性、可维修性和容错性。实践表明,设备自动化系统仅实现上述功能是不够的,还必须确保系统具有较高的可靠性、可维修性和容错性。其目标是确保系统少发生故障,即

使出现局部故障,也可以将其顺利切换到手动运行和现场自动模式,不影响设备系统的正常运行。如果集成时没有进行这方面的考虑,就可能在系统出现故障时连手动操作也无法完成。

3) 最大限度满足用户的使用要求。不同的用户有不同的使用特点,也有不同的管理需求,因此,设备自动化系统的集成者应和用户进行沟通,最大限度满足用户的使用要求,为用户的管理提供方便。

## 2.3 设备监控系统的集成过程及功能评价

### 2.3.1 设备自动化集成的过程

设备自动化系统的集成,是将设备自动化系统的各个组成部分,通过电气接口、通信接口、控制接口连结起来,构成一个硬件系统,在此基础上,通过软件接口,完成管理软件,构成一个完整的设备自动化系统。通常系统集成的过程分为3步:a. 技术集成,包括通信集成和现场控制集成,目标是构建一个分布式计算机测控系统;b. 信息集成,构建系统信息管理平台和数据库;c. 功能集成,在系统信息管理平台上,融入设备系统运行的各个管理功能,实现对设备系统的控制和管理。其过程如图2所示。

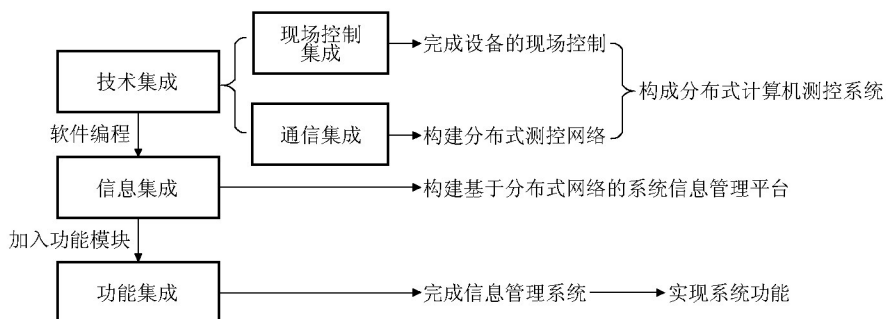


图2 设备自动化系统集成的过程

Fig.2 The integration process of facility automation system

### 2.3.2 设备自动化系统集成的功能评价

目前,业内专家对我国设备自动化系统的效果不好已经普遍认同,但是,如何解决问题,并无良方。其根本原因就是缺乏对所建成的设备自动化系统进行评价的标准,这不仅影响系统建设的质量,而且使得系统研究失去了方向。项目组根据多个已经投入使用的防护工程设备自动化系统,按其能够实现的功能将系统的集成划分为3个阶段:连通集成、功能集成和优化集成<sup>[4]</sup>。连通集成是设备自动化初级阶段的集成,通过该阶段的集成,构建分布式计算机测控系统,在功能上可以实现系统的前3项功能,即参数检测、状态检测和所有机电设备的集中遥控;功能集成是设备自动化中级阶段的集成,在实现了连通集成的基础上,可以实现工程内设备系统运行管理,设备系统的常用操作可以在管理计算机上“一键”完成;优化集成是设备自动化高级阶段的集成,在实现了功能集成的基础上,对系统的运行进行优化,在确保设备系统满足使用要求的前提下,实现系统运行能耗最低的目标。这3个阶段各自实现的功能及其相互关系如图3所示,其中初级集成是基础,没有系统可靠的连通集成,设备的功能集成和优化集成都是无法实现的。

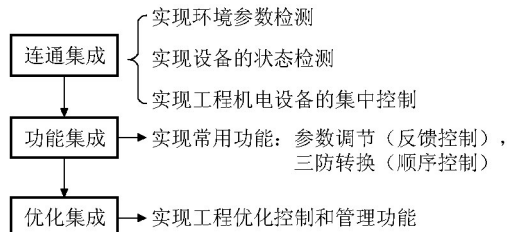


图3 设备自动化集成阶段及其实现功能示意图

Fig.3 The integration phase of facility automation system and its function

对照图3可知,目前我国绝大部分BA系统仍处于初级集成阶段,并且还有部分设备不能可靠地进行远程遥控,系统总体仍处于“只监不控”的阶段。由于连通集成的不完善,自动化程度达不到功能集成的要求,导致我国设备自动化系统只有很小比例能达到功能集成。至于能够实现优化运行的BA系统,即实现优化集成的系统,目前我国非常少,这也是我国公共建筑能耗比国外同类建筑高出很多的原因之一。

根据系统能够实现的功能,将设备自动化系统划分成连通集成、功能集成和优化集成3个阶段,一方面可为评价设备自动化系统优劣提供一种标准(当然还有管理软件人机界面良好、信息融合度好、使用方便等标准);另一方面,并且是更为重要的方面,也为BA系统的集成发展明确了方向,即要确保实现连通集成,基本实现功能集成,努力研究优化集成。

## 3 我国设备自动化系统集成存在的问题及其原因分析

与基于人工管理的设备系统相比,设备自动化系统增加了技术比较新颖的分布式计算机测控系统和建筑能源管理系统,这一部分涉及计算机测控、计算机通信和计算机管理,并且这部分内容设计、编程和调试占据了系统集成的大部分工作量。正因为如此,在我国的智能建筑领域造成了一个最大的误区,就是认为设备自动化系统的集成属于弱电集成,在1998年中华人民共和国住房和城乡建设部颁布的《建筑智能化系统工程设计和系统集成专项资质管理暂行办法》中明确规定:从事建筑智能化集成资质的技术条件是有一定数量的自控、通信、广播音响、消防、保安、卫星接收闭路电视、综合

布线、网络等专业技术人才。因此,我国设备自动化的集成无一例外的由IT公司来承担,并且设备自动化的集成研究也集中在弱电领域,包括通信集成、弱电系统的组态、编程、数据库结构设计等方面<sup>[5-11]</sup>,虽然文献[12]提到设备自动化系统的集成应注意和设备系统结合,但没有介绍具体做法。因此,仅将设备自动化系统作为弱电集成,设备人员没有深入介入其中,必然导致“自动化”与“设备系统”脱节,从而无法达到预期的效果,并会带来以下几个方面的问题。

1)强弱电接口设计不规范。电气控制是空调系统与计算机控制系统的连接环节,设备自动化系统就是现场弱电控制器(下位机)通过强电控制柜对现场设备进行监控。通常电气控制的二次线路设计应该由建筑电气工程师完成,但在实际工程中,常常是由控制配电柜的供货厂家根据电气工程师提出的要求完成的,由于设备厂家的专业水平参差不齐,提供的电气控制的二次线路也是五花八门,因此弱电设计不可能规范,一方面增加了现场编程调试的工作量,另一方面给以后的维护、维修带来很大的不便。

2)集成要素不全。对于大型设备机组,是许多设备的组合,如弱电集成人员对其构成和工作原理不能深入了解,可能导致集成的管理系统中要素不全,因而无法在管理计算机上对其进行远程遥控,如全自动调温除湿机,尽管已有通信接口,支持系统远程控制,但由于集成者没有将除湿机组的设备状态及其配套设备的状态(如冷却塔的状态及其故障等)全部集成进来,因此,操作者不敢在管理计算机上对该设备进行遥控,仍需到现场进行操作。

3)和设备系统的设计脱节。系统设计是系统集成的基础,设备自动化系统的设计必须在设备系统设计的基础上进行。设备自动化系统最终能否实现其应有的功能,很大程度上取决于设备系统设计时是否给予充分的考虑。现有体制下,一般设备设计人员抱着“多一事不如少一事”态度,通常按照以往设计经验,并没有仔细考虑和自动化的接口,以致系统的很多功能无法实现。

4)无法进行节能优化。要实现系统的优化集成,基础是需要有可靠的连通集成,其次需要有设备系统的优化管理算法。显然,在弱电集成的机制下,一方面不具备进行优化集成的基础,另一方面设备人员缺乏开展相关研究的动力。

## 4 防护工程设备自动化系统一体化集成

从上面分析可知,防护工程BA系统要达到预期的目标,唯一的途径是改变现有的系统集成方法,实现自动化和设备系统一体化集成(简称一体化集成)。从图3所示的集成阶段可知,必须首先确保系统能够可靠地实现连通集成,在此基础上实现系统的功能集成,进而进行优化集成研究。

### 4.1 连通集成研究

连通集成包括通信集成和控制集成。由于近年来,计算机通信技术的飞速发展,技术已经成熟,可以直接应用,因此无需专门研究。控制集成主要完成下位机(弱电控制器)对所辖设备的监控,被称为现场控制集成,主要实现现场的参数检测、设备状态检测和设备的运行控制。本课题组在接受防护工程设备自动化的研究任务时,面临问题包括两个方面:防护工程空气处理设备的现场集成和防护设备的现场控制集成。前者是国内缺乏满足需要的防护工程使用的空气处理设备,后者是防护设备控制的可靠性和可维修性差,控制质量得不到保证。

#### 4.1.1 空调设备机电一体化研究

##### 4.1.1.1 全自动调温除湿机

1)背景。防护工程是地下工程,围护结构的热湿特性与地面建筑存在着显著差异。在热特性方面,地下工程冬暖夏凉,其空调冷、热负荷都低于地面建筑,在维护阶段属于小余热工程;防护工程的信息系统一旦开启,热负荷非常大,在使用阶段属于大余热工程。在湿特性方面,除冬季之外,地下工程一年中大部分时间比较潮湿。小余热工程的空气处理设备是除湿机,大余热工程的空气处理设备是空调冷风机,满足防护工程热负荷变换大的空气处理设备应该是调温除湿机。

当时在防护工程普遍使用的手动调温除湿机为LCT系列除湿机,如图4所示。该系统无法自动调节除湿机出风温度,在很多场合的使用受到了限制。然而,自20世纪90年代初开始,冷水机组和恒温恒湿机组普遍实现了机电一体化,并且具有远程接口,给工程设备自动化系统的实现带来了很大的便利。但由于没有带通信接口的自动调温除湿机,所以,很多防护工程空调系统被迫选用已经实现了机电一体化的冷水机组、空调柜机或恒温恒湿机组。冷水机组和空调柜机均采用机器露点送风,显然不能满足小余热工程的除湿要求<sup>[13]</sup>,从图5可知,

该工程要求的送风状态点为S点,而采用冷水机组或者空调柜机的送风状态点为机器露点L,显然两者之间相差一个比较大的再热量 $Q_z$ ,不能满足空调送风要求;实现机电一体化的恒温恒湿机组,由于采用电加热来获得再热量 $Q_z$ ,可以满足工程的除湿要求,也便于实现远程集中监控,但恒温恒湿机组在小余热工程中使用能耗非常高,并且余热越小,要求的再热量 $Q_z$ 就越大,冷热抵消造成的能量浪费也越大,因此不适合在防护工程中使用。

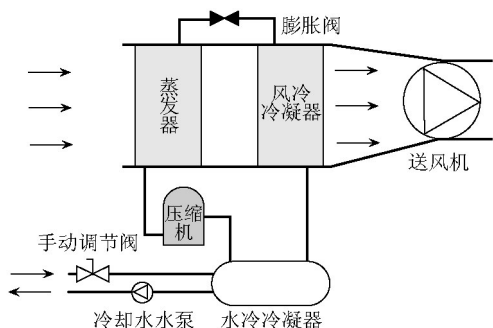


图4 LCT25手动调温除湿机系统原理图

Fig.4 The principle of LCT25 manual attemperation dehumidifier system

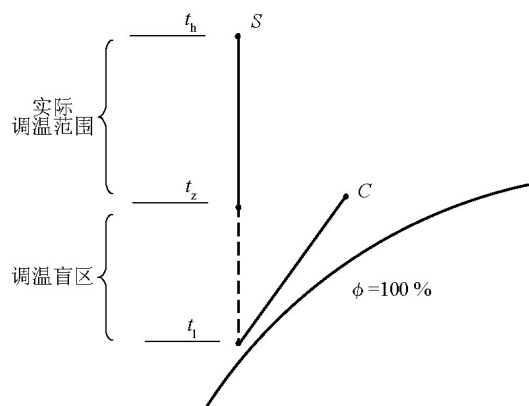


图5 调温除湿机调温盲区

Fig.5 The blind attemperation spot of attemperation dehumidifier system

因此,研制机电一体化的调温除湿机组,既为热负荷变化大的防护工程提供了适宜的空气净化设备,又为实现防护工程设备自动化完成了一项基础性的工作。

2) 全自动调温除湿机的研制。1998年,受企业委托,项目组成功研制了“全自动调温除湿机”(ZL 98242908.8),是一款机电一体化的产品,在防

护工程中得到了广泛的应用。该设备采用西门子S7-200系列的PLC作为控制器,实现了对调温除湿机运行的自动控制和管理。

LCT25调温除湿机的水冷冷凝器和风冷冷凝器是串连的,当调节阀关闭或水泵停机时,该调温除湿机出风温度最高(为 $t_h$ );当冷水机组启动,调节阀全开时,此时流经水冷冷凝器的水量达到最大值,调温除湿机的出风温度也最低(为 $t_z$ ),由于水冷冷凝器工作,使得制冷系统冷凝压力降低,导致调温除湿机的出风温度无法达到蒸发器出风温度 $t_l$ ,不可避免会出现调温盲区 $\Delta t = t_z - t_l$ ,如图5所示<sup>[4]</sup>。显然,直接对图4所示的设备进行自动控制是不能满足大余热工程的送风要求的。因此,必须在制冷系统上进行相应的改造,在风冷冷凝器上增加一个旁通制冷剂管道,在需要送冷风时,将风冷冷凝器屏蔽,使得除湿机出风温度为 $t_l$ 。图6和图7分别是全自动调温除湿机组的原理图和控制原理图。该机组需要控制的设备包括压缩机、送风机、冷却水泵、冷却塔(风机)、电磁阀1、电磁阀2、电磁阀3和电动调节阀等,需要检测的参数有除湿机出风温度、相对湿度以及各个被控设备的状态参数和设备的故障信号。这些设备中,功率比较大的如压缩机、送风机、冷却水泵、冷却塔等,需要由电器控制配电柜提供动力,由PLC对其进行启、停控制,对于功率较小的电磁阀、电动调节阀,通常由可编程控制器直接控制。调温除湿机的运行控制由PLC完成。

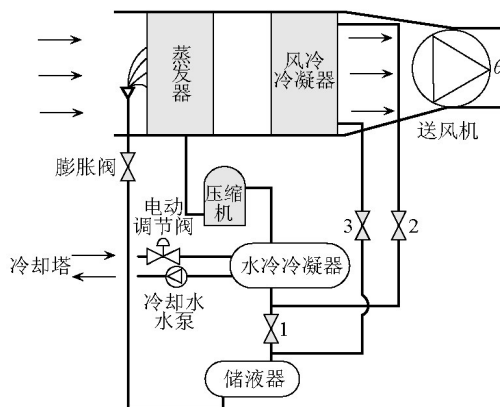


图6 全自动调温除湿机原理图

Fig.6 The principle of fully automatic attemperation dehumidifier

3) 现场管理功能集成。根据防护工程热湿负荷的特点,满足工作在使用情况下的空调需要,在

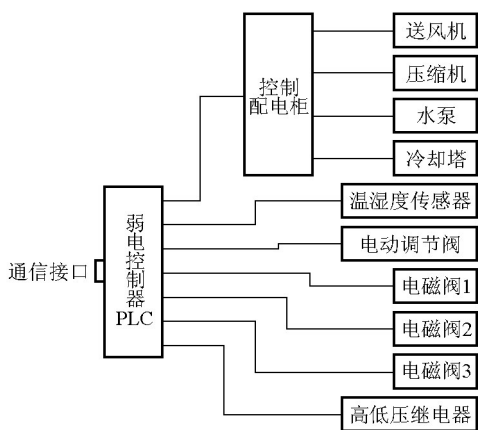


图7 全自动调温除湿机控制原理图

Fig.7 The control principle of fully automatic attemperation dehumidifier

全自动调温除湿机的管理软件中,设计了4种工作模式:升温除湿、调温除湿、空凋制冷和通风模式。选择设备的运行模式,只要在调温除湿机的控制显示面板上分别按F1、F2、F3、F4键即可。下面分别介绍4种工况的控制过程。

升温除湿(按F1实现)。主要用在平时维护阶段,此时,工程内人员很少,通信设备没有运行,工程内余热很小,这时设备的冷却水泵不启动,制冷系统的冷凝热全部由风冷冷凝器散出,调温除湿机出风温度最高,向工程内的空调房间送入干热空气,使其相对湿度降低,同时,采用位式控制,将房间内的相对湿度控制在要求的范围(60%~70%)内。

调温除湿(按F2实现)。当工程开始使用后,由于工程的围护结构的温度不断升高,导致工程内的空气温度逐渐升高,需要全自动调温除湿机进入调温除湿模式。此时,不仅要控制工程内的相对湿度,还要控制工程内的温度。具体控制过程为:在启动送风机的同时启动冷却水泵,电磁阀1关闭,电磁阀2、3打开,通过电动调节阀调节进入水冷冷凝器冷却水的流量,从而达到自动调节除湿机出风温度的目的。

空凋制冷(按F3实现)。当工程进入长期使用,工程的围护结构从加热期进入恒温期,此时工程内通信指挥设备的发热量、照明发热量和人员及新风热湿负荷全部得由空凋除湿设备来承担,这时工程内空凋主要以降温为主,需要调温除湿机必须进入空凋制冷工况,即电磁阀2、3关闭,电磁阀1打开,制冷剂不经过风冷冷凝器,调温除湿机可以实现机器露点送风,此时的送风温度为 $t_1$ 。

通风(按F4实现)。如工程外空气比较干燥,房间需要换气,调温除湿机只需要开送风机。

4)和上位机的通信。上述现场功能集成完成了设备调温除湿机的现场控制,各种操作只需在现场控制显示面板上“一键操作”便可完成。要使其纳入防护工程BA系统,将其控制器作为设备监控系统的一台下位机,就必须具有和上位机通信的功能。因此,全自动调温除湿机开发了和上位机的通信接口。

#### 4.1.1.2 其他机电一体化空气处理设备的研究

1)地下工程除湿空凋机的研究。尽管全自动调温除湿机能够在地下工程热负荷变化巨大的情况下,通过“3种模式”的设定满足它们的空凋使用要求,但是,调温除湿机是在除湿机的基础上增加水冷冷凝器来调节送风温度的,其本质还是除湿机。而除湿机是以实现除湿能力最大为目标来进行设计的,因此,其风冷冷凝器和风冷蒸发器的排数都比空凋器的小,并且单位冷量的风量也比普通空凋的小,通常调温除湿机在同样的冷量下风量要比空凋器少20%,这样在空凋房间有换气要求的防护工程中,为了满足送风量的要求,需要增加二次回风(见图8),这一方面增加了设计和施工的难度,另一方面,由于流经调温除湿机蒸发器的风量比较小,在采用空凋工况时会出现过度除湿的情况,增加了空凋能耗。

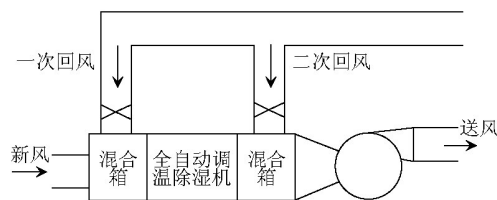


图8 调温除湿机采用二次回风的系统

Fig.8 The attemperation dehumidifier with secondary return air system

此外,考虑到防护工程由于实现了信息化,工程内的发热量比以往增加较大,尽管平时维护时仍然属于小余热工程,但维护时送风所需的再热量 $Q_z$ 将减小,这样机组设计时可减小风冷冷凝器的面积(排数),一方面可以降低设备造价,另一方面可以减小整个装置的送风阻力。地下工程的除湿空凋机于2003年通过了国家人民防空办公室组织的鉴定,并获得了国家专利(ZL 02286637.X),一方面解决了大流量、小再热量防护工程空气的处理需要,

另一方面也为防护工程的设备自动化系统完成了空调机组的现场控制集成。

2)有源蒸发冷却装置的研究。新时期的防护工程加大了信息建设的力度,导致了工程内热负荷剧增,使得工程内普遍采用的空调水库加补水的空调冷却模式出现问题,因冷却水的补水量不足使得工程内的空调系统无法长时间连续工作,严重影响了工程的使用,为了解决防护工程的冷却问题,项目组研制了有源蒸发冷却装置,并获得国家发明专利(ZL 200910213090.1)。将有源蒸发冷却装置放于工程的电站内,利用工程电站的排风可以将工程内空调水库中的冷凝热抽到工程外部,一方面解决了工程空调冷却的难题,另一方面也完成了防护工程冷却系统的现场控制集成。

#### 4.1.2 防护设备现场控制集成

##### 4.1.2.1 背景

防护设备系统是防护工程特有的设备系统,主要包括防护门、防护密闭门、进风防护设备系统、排

风防护设备系统、电站进排风防护设备系统、进水防护设备系统和排水防护设备系统。防护设备可以使工程具有防化学武器、生物武器和放射性污染渗入工程的功能,确保战时工程内人员安全。由于关系到工程安全,因此对防护设备控制的可靠性、快速性以及冗余度的要求大大高于一般建筑设备系统。防护工程的进风系统如图9所示。在接到“隔绝防护”指令后,要求该系统必须立即由“清洁式通风”转换成隔绝防护状态,将原先开启的手电动密闭阀门6、9立刻关闭,同时停止清洁式进风机的运行,这时该进风系统不从外部引进新风,同时排风系统关闭所有与外界相连的手电动密闭阀门和排风机,排水系统关闭通往外界的排水阀门并关闭排污泵,关闭工程所有通道的防护门和防护密闭门,使得工程形成一个密闭的空间,防止敌方施放的化学生物武器的进入。图9中“ $\times n$ ”表示设备有 $n$ 个输入量或是输出量,例如,阀门6对应的“ $\times 4$ ”,“ $\times 2$ ”表示需要4个数字量输入,2个数字量输出。

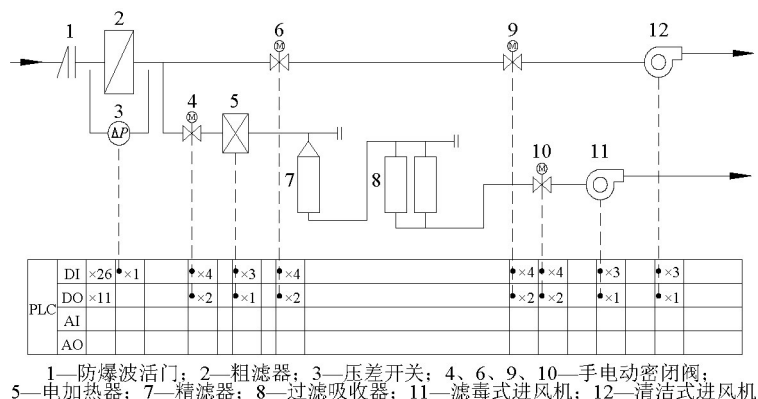


图9 防护工程进风系统原理图

Fig.9 The principle of air intake system in protective engineering

进风防护设备监控系统的控制系统如图10所示,其中,控制配电柜为手电动密闭阀门、进风机、电加热器等提供动力,并控制这些设备的启、停(启、闭),包含了电气设备控制的二次线路图。传统的进风系统的集成方法是弱电工程师根据配电控制柜的二次线路图,进行弱电控制设计。但在实际工程中,二次线路由设备供应商负责提供,设备供应商通常在设备安装前通过招标才能确定。因此,弱电工程师在设计阶段只能完成方案设计,无法进行施工图设计。

由于设备供应厂家提供的配电控制柜没有统一的标准,其控制的形式五花八门,生产质量也参

差不齐,有的还出现控制图错误。在三防控制的现场集成的实践中常出现以下3种监控模式。

1)没有现场手动和现场自动的远程I/O监控模式。有的工程的现场进风系统的配电控制柜仅给手电动密闭阀和进风机提供动力,没有电动密闭阀门和进风机的启、闭(启、停)控制功能。该系统的可靠性、可维修性和健壮性都比较差,问题在于:  
a. 没有现场手动控制,不便于现场设备的调试和维修,调试或维修现场设备时,启、停(启、闭)设备,需要到控制室的管理计算机上才能实现,既不方便,也不安全;  
b. 没有现场自动功能,该系统管理计算机一旦故障,整个系统运行将瘫痪。

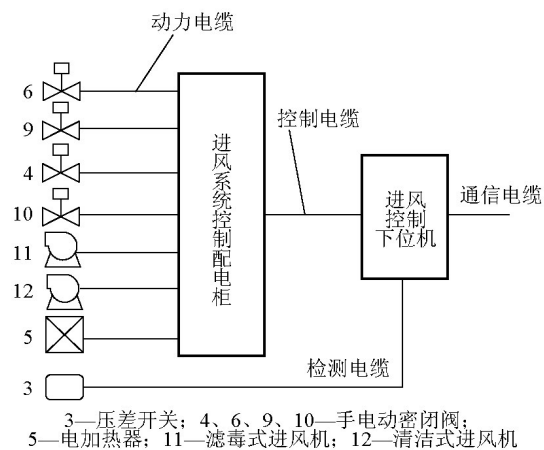


图10 三防进风控制原理图

Fig.10 The control principle of air intake system in protective engineering

2)有现场手动,没有现场自动的远程I/O 监控模式。在部分工程的三防进风系统中,配电控制柜设有手动控制按钮,具有对每台设备的现场控制功能,并通过二次线路的BA 接口可以实现设备的远程监控功能。但该系统的弱电控制器没有对设备控制进行编程,无法实现对三防设备的现场自动控制,只是完成了管理计算机对现场被控设备的远程I/O 操作。该系统当管理计算机出现故障或者通信线路出现故障后,现场操作人员只能根据要求,逐个开启或关闭相应的设备,实现三防转换控制。因此转换的速度比较慢,而且有可能出现误操作,影响工程的安全。

3)既有现场自动,又有现场手动模式。显然,这种模式现场控制,其可靠性最高,容错能力最强,并且在上位机故障或通信电缆故障时,操作人员能够在现场对所属设备进行管理。然而,要能够实现既有现场手动又有现场自动模式的现场集成,不完全取决于弱电集成者,还必须取决于电气的设计中控制配电柜的选型。因此,为了确保防护设备现场控制的可靠性、可维修性,必须对其现场控制的集成进行研究,以实现现场控制集成的产品化和标准化。

#### 4.1.2.2 防护设备强弱电一体化研究

防护设备的集成与上面介绍的空调设备机组集成不同的是,空调设备机组的设备比较集中,便于集成为机电一体化的产品,而防护设备数量众多,并且分布在工程的不同部位。因此,其现场集成重点应是弱电控制器和配电控制柜的一体化集成,即实现三防控制强弱电一体化。对弱电控制器

和配电控制合而为一,形成强弱电一体化智能控制箱。经过研究,项目组开发出工程进风智能控制柜、排风智能控制柜、电站通风智能控制柜、工程综合智能控制柜和防护(密闭)门智能控制箱,实现了所有三防设备的现场控制的产品化和标准化。

#### 4.2 系统功能集成研究

为了实现防护工程设备自动化的集成目标,前面完成的多个现场控制集成研究,解决了空调设备、防护设备现场控制集成,并可以实现部分管理功能,如全自动调温除湿机已经实现了除湿机组的升温除湿、调温除湿、空凋制冷管理功能,为上位机空调系统管理软件编程打下良好的基础。但要实现对整个内部设备系统的全局管理,使系统达到功能集成和优化集成阶段,还必须搞好全工程设备自动化系统的集成,包括系统设计、施工、编程调试等<sup>[6]</sup>。

要想搞好设备自动化的功能集成,必须在管理层次上加强自动化和设备系统的结合。这就要求在系统集成的全过程都应该有设备人员的参与,将设备系统的运行管理功能集成到管理系统中去,实现系统的功能集成。对于有节能要求的工程,需要有高水平的设备工程师进行设备系统的优化设计,并给出设备的优化节能方案,才有可能实现设备自动化系统的优化集成。

##### 4.2.1 设计阶段

1)关注设备系统的设计能否满足集成目标要求,判断其是否满足功能需求,如不能满足要求必须给出明确的修改意见。如图11所示的空调系统设计,在小型指挥通信工程中非常普遍,该系统送风机没有调速功能,各个空调区域的送风管路上没有设定电动调节风门,面对这样的系统,BA 设计只能实现除湿机和送风机的启、停控制及温湿度的控制,整个空调系统要开全开,要关全关,无法根据不同空调区域的使用情况进行调度管理,因此,该空调系统在工程局部使用时能耗极大。如果对空调系统稍加改进,如图12所示,将系统原有3台调温除湿机改为2台,其中1号调温除湿机的制冷量仅为原设计的1/3,可以满足平时通信值班区的日常空调需求,2号调温除湿机的制冷量为原设计的2/3,与1号调温除湿机并联运行满足整个工程的使用需求,也可单独运行确保会议大厅人员较多时的空调需求,采用电动截止风阀和电动调节风阀代替原空调系统中的手动风阀,并且改用变频送风机,这样,才有可能在部分区域使用时实现节能管理功能。



如仅有通信值班区工作时,控制系统仅开 1 台调温除湿机(不妨设为 1 号),将阀门 2、4、5 关闭,不向会议大厅和人员办公休息区送风,通过变频减少送风量,通过调节阀 6~8 减少新风和排风量,比起图 11 方案,大大降低了送风能耗、新风处理能耗和送风处理能耗,平时使用的节能率可以超过 70 %。

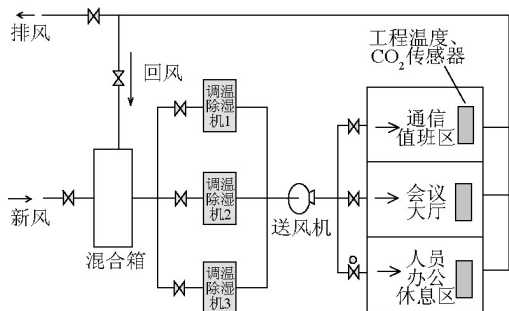
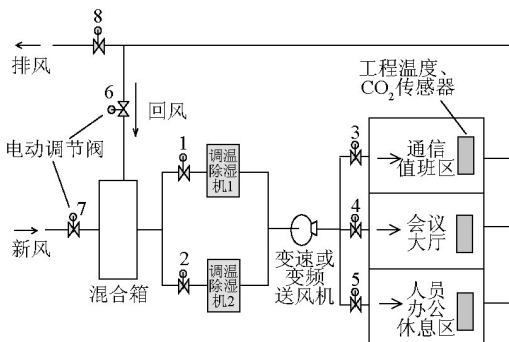


图 11 没有自动化管理的空调系统方案

Fig.11 The project of air-conditioning system without automatic management



1、2—电动截止风阀；3、4、5、6、7、8—电动调节阀

图 12 考虑自动化管理的空调系统方案

Fig.12 The project of air-conditioning system with automatic management

2)关注电气控制设计。电气控制是设备系统与计算机控制系统的连接环节,其设计关系到控制系统的可靠性和可维修性。作为设备自动化系统的集成商,应对其电气控制的二次电路进行审查把关。

3)提出设备的选型要求。目前很多设备,尤其是大型设备,如空调除湿机组、冷水机组低压电气柜等,有的已经实现了机电一体化,因此,作为设备自动化的设计人员,应明确提出这些设备的控制和通信接口的要求,以作为设备招标的技术附

件。这样将来集成时既省力又省钱,而且能确保系统的功能。

#### 4.2.2 施工阶段

1)关注设备系统电气控制柜控制内容是否符合设计要求,主要是二次回路是否正确。

2)关注电动风阀的型号是否满足使用要求,常有将要求的比例型调节风阀错选成开关型截止风阀,调节功能无法实现。

#### 4.2.3 编程调试阶段

编制系统软件时,关键要将空调系统的运行操作步骤和算法融入到管理平台中,实现维护管理的简单化和“傻瓜化”。在这一阶段需要有空调工程师的参与才能完成,如图 12 中电动调节风阀的开度数据只有通过空调调试人员的实测才能获得,编程工程师将其集成到管理系统中,实现“一键操作”。对于一些复杂情况下的空调整能优化运行,系统能耗影响因素比较多,有室外气象参数、室内热湿负荷、工程使用情况等,显然,这一综合算法需要空调专业人员经过研究才能得出。

### 4.3 系统优化集成研究

实现了系统的功能集成,工程内的日常管理操作可以“一键”完成,这样可以大大减少工程的维护人员,并降低对维护人员的培训要求。工程的日常管理包括设备启停控制(顺序控制)和参数自动调节(反馈控制),尽管这些功能对工程的节能具有一定的帮助,但距离工程的节能优化管理还具有很大的差距。节能优化管理集成的目标是在确保工程内部环境的前提下,设备系统的运行能耗最低。显然,实现这一目标必须同时具备两个条件:其一,系统的自动化程度必须达到所有相关机电设备能够实现自动控制和管理;其二,必须具有相应的设备系统的节能优化算法。实现了系统的功能集成,仅满足了第一个条件;目前 BA 系统实现优化集成最大障碍是缺少在设备系统优化算法方面的研究。目前,空调整能研究通常仅限于新风分区管理、需求通风管理、投入设备运行台数管理、设定值管理等对节能的研究,由于这些因素的强耦合关系,因此,单独进行这些研究均无法找到整个工程的设备系统运行最优方案。显然,要获得设备系统运行最优方案,需要设备专业的专家潜心研究方可获得,本项目组针对地下工程集中空调系统研究的基于送风状态的地下工程空调整能优化管理的算法<sup>[17]</sup>,是由地下工程空调人员经过多年的研究获得

的,并在地下工程的BA系统的应用中取得较好的节能效果,这也说明BA系统的集成,尤其是优化集成离不开设备人员的辛勤贡献。

## 5 结语

通过分析找到了我国BA系统效果不好的原因:将BA系统作为弱电集成,导致自动化系统和设备系统脱节,从而无法实现计算机对设备系统的有效管控;并指出要使设备自动化系统达到预期目标,唯一途径是采取自动化和设备系统一体化集成。

以防护工程BA系统的集成为对象,将一体化集成研究分成设备连通集成、功能集成和优化集成3个阶段。在连通集成阶段通过对防护工程空调设备进行机电一体化集成和对防护设备进行强弱电一体化集成,使这些设备的现场控制实现了产品化和标准化,为设备自动化系统的一体化集成打下了良好基础。在功能集成阶段,在设计、施工、编程调试每个环节,通过加强自动化和设备的合作,最终实现预期的功能目标。在优化集成阶段,为了实现BA系统节能优化管理,只有设备研究人员在设备系统优化管理策略方面取得突破,系统的节能优化运行才能取得成功。

本文采用一体化的集成方法,有效地解决BA系统普遍存在的自动化和设备系统脱节的难题,该方法已在60余个国防和人防指挥通信工程中应用,所集成的系统均达到了图3所示的功能集成阶段,工程中日常管理操作达到在管理计算机上一键完成,为系统的优化集成创造了条件。目前正在实施工程的设备系统已经开始了节能优化管理的探讨,并在集中空调系统的运行优化管理算法上取得了进展<sup>[17]</sup>。

论文所进行BA系统一体化集成研究,尽管是以防护工程为对象,但其思想、方法对于改变我国智能建筑BA系统集成普遍存在的自动化和设备系统脱节、效果不佳的状况定有很强的借鉴作用。

## 参考文献

- [1] 文桂萍. 智能建筑的节能问题及其对策[J]. 四川建筑科学研究, 2008, 34(1): 184-187.
- [2] 李曹县, 魏鸿榕. 谈BAS系统在我国现阶段应用中存在的一些问题[J]. 福州工程学院学报, 2003, 1(4): 45-47.
- [3] 王盛卫. 智能建筑与楼宇自动化[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [4] 缪小平, 彭福胜, 范良凯. 防护工程设备监控系统集成研究[J]. 防护工程, 2009(4): 58-61.
- [5] 房 晔. 关于智能建筑按需集成的探讨[J]. 低压电器, 2007(20): 1-4.
- [6] 王琪辉. 基于LonWork技术的楼宇自控系统及其集成研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2005.
- [7] 姜久超. 基于LonWork网络技术的智能楼宇自控系统[J]. 安防科技, 2007(10): 14-15.
- [8] 王双庆, 邢建春, 王 平, 等. 基于Nport串口服务器人防工程智能化设备集成[J]. 工业控制计算机, 2008, 21(8): 8-10.
- [9] 李 蔚. 智能建筑弱电系统集成方式的分析[J]. 电气应用, 2008, 27(7): 54-56.
- [10] 薛 虹. 智能楼宇信息管理系统数据集成研究[D]. 上海: 同济大学, 2007.
- [11] 张 英. 基于LonWorks技术的楼宇自控系统及其集成研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2005.
- [12] 张瑞武. 智能系统的集成及其工程实施[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [13] 缪小平, 彭福胜, 王 琴. 集中空调系统的除湿设计[J]. 暖通空调, 2004, 34(7): 73-75.
- [14] 吴茂杰, 刘凤田, 田 维. 调温除湿机调温盲区的研究[J]. 建筑热能通风空调, 2001, 20(4): 12-14.
- [15] 刘文杰, 缪小平, 丁 静, 等. 北方地区浅埋人防工程热负荷特点研究[J]. 解放军理工大学学报: 自然科学版, 2009, 10(S1): 64-68.
- [16] 缪小平, 彭福胜, 江 丰, 等. 空调自动化系统集成方法[J]. 暖通空调, 2012, 42(9): 35-37.
- [17] 缪小平, 江 丰, 隋鲁彦, 等. 基于送风状态的地下工程空调节能运行管理研究[J]. 暖通空调, 2012, 42(9): 12-17.

# Research on integration method for facility automation system in protective engineering

Miao Xiaoping, Peng Fusheng, Geng Shibin,  
Fan Liangkai, Jiang Feng

(School of National Defense Engineering, PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China)

**[Abstract]** This paper points out the main issue of our building automation system is that the system has been integrated as weak current, which leads to be incompatibility between automation system and facility. It analyses the integration objectives, phrasing and evaluation criterion of facility automation system, and proposes the integration method about automation system and facility system in protective engineering, which aimed at the function of system, enhanced the coordination between automation system and facility system in all aspects of design, construction, programming and debugging, and even the development stage of product and management strategies.

**[Key words]** protective engineering; facility automation system; system integration