基于 DCS 机理的机场供油自动化系统的设计与实现

张大华 裘丽华 王宗学 陈远富

(北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院, 北京 100083) (北京民航中天科技有限责任公司, 北京 100088)

摘 要: 为提高国内民用机场供油系统的自动化水平, 采用 DCS(Distributed Control System)的原理和方法设计并实现机场供油自动化系统. 根据 DCS 的"分散控制, 集中管理"的思想, 系统在结构上划分为 3 级: 现场设备级、直接控制级和监控管理级. 概述了每一级的功能、硬件配置和软件的组成及开发. 本方案已被成功地应用于多个机场供油自动化系统的建设. 实际运行表明, 系统稳定可靠, 自动化程度高.

关 键 词: 机场; 储油; 自动化; 加油系统; 分布式控制系统

中图分类号: TP 278

文献标识码: A 文 章 编 号: 1001-5965(2003)08-0659-04

Design and realization of airport refueling automatic system based on DCS

Zhang Dahua Qiu Lihua Wang Zongxue

(School of Automation Science and Electrical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Chen Yuanfu

(Beijing Sinosky Technology Company Limited, Beijing 100088, China)

Abstract: In order to enhance the automatic level of civil airport refueling system, the principle and method of DCS (distributed control system) was applied to design and realize airport refueling automatic systems. According to the principle of "distributed control and centralized management", the system structure was divided into 3 layers: field equipments layer, direct control layer, and supervisory control and management layer. The main functions, the configuration of hardware, and the development of software, of each layer were summarized. The scheme has been successfully used in several airport refueling automatic systems. The practice indicates that these systems are steady, reliable, and have high automatic level.

Key words: airports; oil storage; automation; fuel loading system; distributed control system

机场供油系统是保证机场正常运行的关键配套系统之一. 随着民航事业的不断发展, 客流量和货运量的逐年增加, 国内民用机场的规模越来越大, 原有的简单控制和仪表监视方式已很难适应现在的需求, 于是纷纷进行自动化改造, 或进行以提高自动化程度为重要内容的扩建或新建. 目前, DCS(Distributed Control System)以其诸多优点而被广泛应用于石化、电力、建材、冶金、制药等行业, 取得了良好的经济和社会效益[1,2]. 为此, 将 DCS 的原理和方法引入到机场供油自动化系统建设中, 使其成为了一个综合的监控管理系统, 将这一行业的自动化水平提高到了一个新高度[3].

1 工艺简介

机场供油系统是一个具有自身特点的行业, 应归属于工业控制领域流体输送控制的范畴. 它一般主要由储油罐、输送管网、输送装置、过滤装置等部分构成. 这些工艺设施在不同系统中可能存在很大差异. 在国内机场中, 储油罐部分一般由若干个 2000~10000m^3 的锥底拱顶圆柱金属罐组成, 每个罐必须具备相应的测量装置, 如液位、温度、压力等. 输送管网一般分为进油部分、罐间倒油部分和机坪供油部分, 每部分都有流量、压力、温度等参数的测量和相应的阀门控制. 输送装置

收稿日期: 2002-06-17

作者简介: 张大华(1973-), 男, 北京人, 博士生, zhangdh@sinosky.com.

一般是由多台并联的离心泵组成. 过滤装置主要由进油过滤器和供油过滤器组成.

根据国内机场现在的规模, 其供油系统的I/O点数一般在200~ 2000之间, 系统整体上的控制较为复杂, 但只有一个用于调节机坪加油管网航煤压力的连续闭环控制回路. 按DCS的标准来衡量, 机场供油自动化系统属于中小型系统.

2 系统的基本结构和功能

在当前生产自动化的实际应用中, 设计者可以按DCS的模式, 根据需求选择合适的产品构建自己的DCS, 也可以成套应用某一DCS产品. 前者优势在于配置灵活、费用低, 但开发工作量大; 后者工作量小, 但费用高, 配置的灵活性也有限. 本系统选择了前一种方式. 根据DCS的"分散控制, 集中管理"这一中心思想并结合机场供油系统自身的运行管理方式, 系统在硬件结构上分3级——现场设备级、直接控制级和监控管理级[4].

2.1 现场设备级

2.1.1 测量仪表

1) 压力测量. 在压力类仪表中, 系统至少需要表压型和差压型两种, 有的还配绝压表(用于测泵入口压力). 系统中的各类压力测量点一般有几十个. 这些物理量主要用于系统的控制、监视和设备的工况检测及报警.

系统都选用Rosemount公司的1151或3051系列压力表, 它们精度高、稳定性好且可附加HART通信协议, 是性能优良的智能化仪表.

2) 液位测量. 储油罐的液位测量主要用于计量、检漏、报警以及换罐控制. 要同时满足这些要求, 液位计必须具备高精度和高可靠性.

系统选用荷兰Enraf公司的854ATG和瑞典Sabb公司的RTG2900或RTG3900系列液位计. 854ATG是由精密步进电机控制的伺服型液位计. RTG2900/3900系列液位计是靠测量微波的发射波与反射波的相位差来计算液位的雷达液位计. 这两种液位计虽然测量原理不同, 但都具有±1mm的精度, 其MTBF超过10年.

3) 温度测量. 系统中的温度测量用于计量、监视、报警等功能, 一般分两类, 一类是储油罐内的温度测量, 另一类是管线特殊工位点或某些设备(如泵轴)的温度测量.

前者用随液位计相配的多点平均温度计测量, 它能均布地测出不同液位处的温度, 从而获得液体的平均温度; 罐内液体的平均温度对于罐的温度变形修正计算和计算液体的标准体积、标准密度和质量都是必须的. 后者一般用Pt100热电阻温度传感器和相应的变送器来实现.

4) 流量测量. 系统的输送介质是航空煤油, 流量的测量可选用涡轮流量计或超声波流量计. 系统选用美国Smith公司和Rosemount公司的涡轮流量计和超声波流量计, 它们都具有量程大、精度高、稳定性好等特点, 且提供可组态的本地显示表头和具有脉冲输出或4~ 20mA输出的变送器. 尤其Smith公司的涡轮流量计可提供ID2000智能变送器, 控制系统可通过Modbus协议与之通信, 对其设置分段的K因子系数等参数, 提高其测量和计量的精度, 并从中直接获得流量、批量累积量、总累积量以及各种诊断报警信息.

2.1.2 执行装置

1) 阀门控制. 电动开关阀主要用于改变系统的工艺流程状态. 由于规模和工艺方法上的不同, 机场供油自动化系统中电动开关阀配置数量的差异很大, 有的只有十几个, 有的却可上百个.

电动阀的阀门和电动执行器一般选自不同的制造商. 系统选用Rotork公司的智能电动执行器, 它支持总线控制, 这对电动阀较多的系统是十分有利的, 可节省大量的电缆和I/O模块, 简化了设计, 节约了经费. 例如, Rotork公司的智能电动执行器若用传统的I/O控制, 每个执行器需要一根22芯的电缆和配置近20个I/O模块才能对阀门进行各种控制, 并获得各种状态和报警信息; 若用总线控制方式, 则只需要将所有执行器连在一根与控制系统相连的2芯或4芯总线电缆上就可以了, 全部信息都通过总线传输, 省去了相应的I/O模块. 系统根据工艺设计一般要配置1~ 2个电动调节阀, 用于通过回流方式调节机坪管网压力. 调节阀所用的执行器除要求使用模拟信号连续控制阀位外, 其它方面与开关阀的执行器没有区别.

2) 离心泵控制. 系统中离心泵的控制是必须且相对较复杂的. 系统中一般用数台离心泵并联, 以满足变化的加油量需求. 离心泵通过其驱动电机来控制. 根据设计要求, 对电机的控制可以采用接触器直接启动(简称"直投")、通过软启动器实现软启动和使用变频器实现启动并进行转速调节3种方式. 合理的控制方式一般是这样的: 若系统的压力调节采用回流调节方式, 则泵在功率较大时宜用软启动器控制, 功率较小时可用直投; 若系统的压力调节采用泵转速调节方式, 则并联的泵中必须至少有一台采用变频器控制, 其它则可以

用软启动器或直投控制.

在已建成的系统中, 压力调节都采用泵转速调节的方式, 变频器能控制任意一台同功率的并联泵. 除变频器调节泵外, 其它泵大功率的用软启动器控制, 小功率的用直投控制, 它们启动后都恒速运行. 所有的泵都能实现本地控制、远程自动/手动控制及切换, 通过变频器/软启动器或热保护装置实现电机的过载保护.

2.2　直接控制级

系统直接控制级完成实时数据采集、数据处理和系统工艺过程的实时控制. 这一级在硬件上由控制器、I/O 模块以及总线设备接口单元或操作维护站组成. 控制器是系统实时控制软件的载体. 直接控制级可脱离监控管理级独立运行, 从而提高了整个系统的可靠性.

机场供油自动化系统属于中小规模的 DCS, 直接控制级一般由 1~ 2 个现场控制站构成, 出于提高系统可靠性的考虑, 还可配置冗余控制站(如首都国际机场供油自动化系统直接控制级采用了 2 个控制器, 且每个控制器采用双机热备方式).

对这一级的硬件选择有很多方案. 在已建成的系统中, 主要采用了两种方案. 一种是用美国 Opto22 公司的智能 I/O 模块及其控制器构成, 另一种用 Modicon 公司的 PLC 构成. 这两种系列化的产品不仅在硬件上性能可靠、选配灵活, 而且提供的开发软件功能强大、直观易学.

系统直接控制级用 Opto22 公司的两代产品来构成, 一代是 Mistic 200 系列(也称 G4 系列), 另一代是 SNAP 系列. Mistic 200 系列主要由 I/O 模块、智能 I/O 模板(称为 Brick, 有模拟型和数字型两类) 和控制器构成. 智能 I/O 模板可通过两种方式与控制器连接. 一种是用 2 线 RS485 将所有 Brick 连到控制器的串口; 另一种是用带状电缆将所有 Brick 连到控制器的并口. 控制器可通过 2 线 RS485 或 Arcnet 令牌环网接到监控管理级计算机系统. SNAP 系列的 I/O 模块是多通道的, 对应的智能 I/O 模板称为 Brain board. Brain board 不分模拟或数字类, 即数字和模拟 I/O 模块可插装在同一 Brain board 上. Brain board 既可用 2 线 RS485 连到控制器上, 又可用 10M 或 100M 的以太网接口连到控制器上. SNAP 系列的控制器通过串口或以太网接到监控管理级计算机系统.

选用 Mistic 200 时, 用 RS485 将所有 Brick 连到控制器上, 用 Arcnet 令牌环网将控制器接到监控管理级计算机系统; 选用 SNAP 时, 用 RS485 将所有 Brain board 连到控制器上, 用以太网将控制器接到监控管理级计算机系统.

Modicon 公司的 PLC 有多种系列, 系统选用 Quantum 系列. Quantum 系列的一个 PLC 站由安装在底板上的电源模块、CPU 模块、各类 I/O 模块和可能需要的通信模块组成.

系统的具体选择为: 电源模块 140 CPS 124 00, CPU 模块 140 CPU 434 12, AI 模块 140 ACI 040 00(16 通道), AO 模块 140 AC0 020 00(4 通道), DI 模块 140 DDI 353 00(32 通道), DO 模块 140 DDO 353 00(32 通道), PI 模块 140 EHC 105 00(5 通道). CPU 模块通过 Modbus plus 令牌环网与监控管理级计算机系统通信.

2.3　监控管理级

监控管理级是系统与操作人员的交互界面, 实现系统的监视、操作、调度和管理功能, 体现了 DCS 的"集中管理"的思想. 这一级在硬件上是由多台工控机组成的以太局域网, 并配有监视器(可一机多屏)、大屏幕投影、打印机、键盘、鼠标、光盘刻录机等设备. 为提高系统的可靠性, 监控管理级采用完全的双网冗余设计.

两台操作员站一台用作储油监控管理站, 另一台用作供油监控管理站. 为扩大监控范围、方便操作, 每台操作员站配置双监视器. 操作员站运行的应用程序完全相同, 只是日常显示的主界面有所区别. 具体的讲, 这两个站完成的主要功能: ①显示各生产工艺流程, 比如"收油"、"倒罐"、"供油"等; ②工艺参数显示, 比如油罐液位、油品温度、管线压力、管线流量等; ③设备工作参数显示, 比如阀门的开关状态、变频器的工作频率等; ④对设备和各工艺流程进行操作和控制, 比如开/关阀门、发送收油起泵命令等; ⑤任务调度, 比如油罐的使用安排、加油泵的使用安排等; ⑥声(语音) 光报警, 系统可直接用人的语音指示出报警变量的名称及限度, 比如"2 号罐液位高报警"; ⑦生成各种报表, 比如收油作业报表、泵使用记录报表等; ⑧对系统的重要变量生成趋势图; ⑨设置系统参数和状态, 如值班人姓名、某油罐的航煤是否合格、系统压力控制采用变频调节还是回流调节等; ⑩设置系统访问权限, 操作员、工程师和管理人员具有不同的登陆密码, 拥有不同的系统操作权限.

I/O 服务器负责与直接控制级交换数据, 配置监视器后, 也可用作操作员站.

系统的某些管理功能在网络服务器上完成. 它通过 ODBC 从其它各站获得管理所需数据并写

进关系型数据库,形成各种记录报表(如值班人员记录表)和统计报表(如日加油量统计报表),以便打印、存档、查询和统计分析. 同时,系统可通过此服务器连接到企业的 Intranet,如有必要还可连接到 Internet,实现远程监视、操作和维护.

3 系统软件

3.1 实时控制软件

实时控制软件运行于系统直接控制级的控制器上,实现实时数据采集、数据处理和系统工艺过程的实时控制. 一般用与硬件配套的开发软件来进行开发.

Opto22 公司为其 Mistic 200 和 SNAP 产品提供了开发软件 Factoryfloor. Factoryfloor 主要由 4 部分组成,其中,用于开发下装于控制器的实时控制软件的组件是 OptoControl. OptoControl 采用"流程图+ 命令填写"方式编写程序. 程序可由若干个"流程"(chart)组成,各个流程并行执行.

Modicon 公司的用于 Quantum 系列 PLC 的开发软件是 Concept. 在 Concept 中,下装于一个 PLC 站 CPU 的实时控制程序称为一个 Project. 一个 Project 可由若干个程序段构成. 程序段在每个执行周期内按给定的顺序执行. 每个程序段都可用 5 种程序编写方式:功能块图(FBD)、顺序功能控制图(SFC)、梯形图(LD)、指令序列(IL)、结构化文本(ST)中之一来编写. 这 5 种编程方式灵活选用可方便地实现程序段所要求的功能.

3.2 监控软件

监控软件运行在系统监控管理级的操作员站和 I/O 服务器上,主要完成系统的监视、操作和调度等功能.

在已建成的系统中先后使用了 Paragon, Intouch 等著名工业组态软件开发系统的监控应用软件. 这些开发平台虽然风格各异、各有所长,具体开发过程也不尽相同,但都能开发出运行稳定可靠、完全满足系统监控要求的应用软件. 应用软件的开发主要由以下 5 部分构成:①通信驱动部分. 监控管理级的原始信息都来自直接控制级的实时数据,因此,监控管理级必须提供与直接控制级进行通信的手段. 所有的工业组态软件都具有强大的系统集成能力,提供了几乎所有主流工控产品的通信协议或驱动程序,可将它们有机的集成在一起. 因此通过简单的对通信协议和通信变量的组态就可完成这部分内容;②人机界面部分. 这需要根据具体的工艺过程和相关的监视、操作内容来进行设计. 利用工业组态软件可方便地开发出性能可靠、画面精美、操作友好、功能完善的人机界面;③必要的信息处理程序. 这些程序用来实现信息转换、操作互锁、事件/报警、语音提示等功能;④与数据库的连接. 工业组态软件大都带有自己的数据库,要编辑生成符合中国习惯的报表比较困难. 但所有的工业组态软件都具有开放式结构,提供了与第 3 方应用程序进行交互,与通用数据库进行连接的能力. 比如,通过 ODBC,可方便的与第 3 方数据库(如 Microsoft Access, SQL Server 等)进行连接,从而可用第 3 方数据库更方便地实现各种数据管理功能;⑤网络通信部分. 工业组态软件具有强大的网络运行能力,用它可开发出支持网络运行方式的监控应用程序.

3.3 管理软件

管理软件运行在网络服务器上,其核心是一个关系型数据库,具体的管理操作体现在对数据库的访问上.

4 结 论

所述方案被成功应用于北京首都国际机场、上海浦东国际机场、新疆乌鲁木齐国际机场等多个机场的供油自动化系统建设. 实际运行表明,系统稳定可靠、自动化程度高,深得用户好评.

参考文献 (**References**)

[1] 王常力,廖道文. 集散型控制系统的设计与应用[M]. 北京:清华大学出版社,1993
Wang Changli, Liao Daowen. Design and application of distributed control system [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1993(in Chinese)

[2] 王常力, 罗 安. 集散型控制系统选型与应用[M]. 北京:清华大学出版社,1993
Wang Changli, Luo An. Type selection and application of distributed control system [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1993(in Chinese)

[3] 陈远富. 首都机场供油自动化系统技术开发研究与工程实现[D]. 北京:北京航空航天大学自动控制系,1999
Chen YuanFu. Technology development research and engineering realization for the capital airport supply oil automation system [D]. Beijing: Dept. of Automatic Control, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 1999(in Chinese)

[4] 张大华,陈远富,裘丽华,等. 应用组态软件开发机场供油 SCADA 系统应用软件[J]. 测控技术,2002, 21(1):51~53
Zhang Dahua, Chen Yuanfu, Qiu Lihua, *et al*. How to design an application program of airport oil supply SCADA system with configuration software [J]. Measurement & Control Technology, 2002, 21(1): 51~53(in Chinese)