

基于 ControlNet 网络的空分控制系统

罗珊¹, 王时胜¹, 方勇²

(1.南昌大学 信息工程学院, 江西 南昌 330031; 2.浙江杭州中策公司, 浙江 杭州 310018)

摘要:以杭州某气体工程公司 10 000 Nm³/h 空分项目为背景, 简要介绍了其工艺流程及产量指标, 并在分析 ControlNet 总线技术特点的基础上, 重点介绍了空分控制系统的系统硬件和软件设计。整套系统具有很高的可靠性, 且应用灵活。

关键词:ControlNet; 空分; 防喘振控制; 分子筛顺序控制

中图分类号: P273.5

文献标识码: A

The research of air separation control system based on ControlNet

LUO Shan, Wang Shi Sheng, FANG Yong

(1.School of Information Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China;

2.Hangzhou Zhongce Rubber Ltd.Co., Hangzhou 310018, China)

Abstract: This paper is based on a 10 000 Nm³/h air separation project of a gas engineering company in Hangzhou. It has introduced the air separation process and output indicators briefly. Based on the analysis of the technology characteristics of ControlNet, it introduces the hardware and software design of the system. The entire system has high reliability and flexible application.

Key words: ControlNet; air separation; anti-surge control; moleculesieve sequence control

随着世界工业化进程的不断推进, 冶金、化工、造船、机械等传统工业领域规模的日益庞大及对氧、氮、氩等气体的需求日益增加, 空分技术也在不断地发展, 现在已步入大型全低压流程的阶段, 能耗不断降低。然而一套先进的空分装置, 除了要有先进的工艺流程、先进的设备制造、先进的装置安装水平及严格的质量管理外, 一套可靠先进的过程控制是必不可少的。本文以杭州某气体工程公司 10 000 Nm³/h 空分项目为背景, 在分析 ControlNet 总线技术特点的基础上, 重点探讨了基于 ControlNet 总线技术的空分控制系统的设计与实现。

1 空分工艺流程及产量指标

1.1 工艺流程

该 10 000 Nm³/h 空分项目采用低温精馏法, 即先将空气通过压缩、膨胀降温直至空气液化, 再利用氧、氮沸点不同的特性将空气分离。其工艺流程采用内压缩流程, 过程为: 原料气经空气过滤器去除灰尘和机械杂质, 经原料空气压缩机加压到 0.56 MPa (A), 在空气冷却器和冷冻机内冷却后, 进入吸附器, 吸附掉水分、CO₂、碳氢化合物 (CmHn) 等杂质。洁净的气体经循环压缩机后, 进入分馏塔的下塔底部进行精馏。在下塔底部得到富氧, 上部得到

气氮, 在主冷凝蒸发器与液氧进行换热, 气氮被冷凝, 而液氧蒸发。在过冷器中过冷后经节流阀节流, 进入低压塔参与精馏分离。在低压塔的塔顶可得纯液氮和气氮产品, 塔底可得纯液氧, 液氧在主冷凝蒸发器内蒸发, 得到气氧产品; 从低压塔中部抽出一股氩馏分, 进粗氩 I、II 塔进行氧、氩分离; 粗氩在精氩塔内进行氮、氩分离, 得到精氩^[1-2]。

1.2 产量指标

10 000 Nm³/h 空分项目采用 KDONAr-4600Y/930Y/145Y 型空分装置来制氧气、氮气和氩气, 其期望达到的产量指标如表 1 所示。

表 1 产量指标

产品名称	产量(Nm ³ /h)	纯度	温度 (K)	压力(BarG)
液氧	4 600	≥99.6% O ₂	~ 94(Note d)	1.0
液氮	930	≤5 ppm O ₂	~ 78	2.5
液氩	155	≥99.999% Ar	~ 91	0.5
氮气	9 200	≤5 ppm O ₂	~ 309	0.05

《微型机与应用》2009 年第 20 期

欢迎网上投稿 www.pcachina.com 39

网络与通信 Network and Communication

2 ControlNet 总线

ControlNet 网络是由美国罗克韦尔自动化公司于 1995 年推出的一种新的面向控制层的实时性现场总线网络。1997 年 7 月由罗克韦尔等 22 家企业发起成立了 ControlNet 国际化组织, 该组织主要负责向全世界推广 ControlNet 网络技术。

2.1 ControlNet 技术特点

ControlNet 的技术特点可总结如下:

(1) 在单根电缆线上支持 2 种信息传输, 一种是对时间有严格苛求的信息, 另一种是对时间无苛求的信息如程序上/下载等;

(2) 采取新的通信技术模式, 以生产者/消费者通信模式取代了传统的源/目的通信模式。支持点对点通信, 而且允许同一时间向多个设备通信;

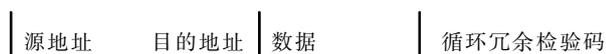
(3) 可使用同轴电缆, 长度可达 6 km, 可寻址节点最多达 99 个, 两节点间最长距离达 1 km;

(4) 安装简单, 扩展方便^[9]。

2.2 ControlNet 网络的通信模式

ControlNet 是基于开放网络技术的一种新发明的解决方案——生产者/消费者模式。该模式允许网络上的所有节点同时存取同一个源数据, 数据一旦产生, 便与客户的数量无关, 从而使网络系统通信效率更高。生产者客户模式还采用多信道广播式信息发送方式, 各个节点客户可以在同一时间接收到生产者所发送的数据, 节点之间接收信息精确同步, 网络上可以连接更多的设备而无需增加网络的通信量。ControlNet 网络支持主从通信、多主通信、对等通信或这些通信的任意混合形式, 通信形式可以组态选择, 应用更灵活。对等通信或多主通信的采用, 可以提高网络的可靠性, 改进网络的性能。

生产者/消费者模式与传统的“源/目的”通信模式相比, 前者采用多信道广播式, 网络所有节点同步化, 网络效率高; 后者采用应答式, 如果要向多个设备传递信息, 则需要对这些设备分别进行“呼”、“应”通信, 即使是同一个信息, 也需要制造多个信息包, 这样, 增加了网络的通信量, 网络响应速度受限制, 容易发生信息瓶颈问题, 难以满足更复杂的、高速的、对时间苛求的实时控制要求。对于网络管理与连接设备(节点)通信的基本技术, 需要一种称为清除名单方法 (Clean-Slate approach)。生产者/消费者模式与传统的“源/目的”多设备通信模式的数据包结构简图如图 1 所示^[9]。



(a) 源/目的地通信模式的数据包结构



(b) 生产者/消费者通信模式的数据包结构

图 1 2 种模式多设备通信的数据包结构简图

3 系统设计

根据工艺要求, 10 000 Nm³/h 空分装置自动控制系统的主要任务是监视和控制空分过程中各环节的温度、压力、液位、流量等参数, 完成各大型设备的启/停连锁, 以保证产品的产量和质量, 其主要控制功能包括: (1) 压缩机防喘振控制、压缩机轴振动、轴位移、油压、油位等监视、报警和连锁控制; (2) 分子筛吸附器切换系统的顺序逻辑控制; (3) 压缩机、透平膨胀机、泵的启动、停止及切换操作; (4) 温度、压力及流量等参数的自动调节; (5) 产品氧气、氮气、氩气纯度控制及碳氢化合物等杂质含量分析; (6) 安全连锁控制^[9]。

3.1 系统硬件设计

系统硬件设计必须根据工艺流程和控制对象而定, 应充分考虑被控对象的工艺要求、设备状况、控制功能以及系统 I/O 点数等, 并据此设计先进的控制系统。

(1) 输入输出信号的类型和点数

模拟量输入: 154 点, 包括温度、压力、流量、差压、液位、纯度、功率、转速信号等;

模拟量输出: 48 点, 控制各调节阀开度;

开关量输入: 74 点, 包括各大型设备运行/停止信号、现场设备故障报警信号、现场参数报警信号、现场阀门开/关状态信号等;

开关量输出: 48 点, 包括对各阀门和一些现场设备的控制。

(2) 系统结构组成

本空分系统采用以操作员工作站为上位机, 可编程控制器为下位机, 利用 ControlNet 网络进行数据交换的控制方案。PLC 采用美国 ROCKWELL 公司的 ControlLogix 系列产品, 主要配置有: 1756 - L61、1757 - SRM、1756 - PAR2、1756 - CNBR、1756 - ENBT、1756 - N2、1756 - PSCA2、1756 - IF16、1756 - IB32、1756 - OB32、1756 - IR6I、1756 - IT6I、1756 - OF8 及第三方通信模块 1756 - Modbus 等。这些设备构成了双冗余控制站和远程 I/O 站。上位机通过交换机与 PLC 处理器通信, 远程框架通过冗余的 ControlNet 连接到控制器框架, 同时远程框架采用了冗余电源配置。整套系统具有很高的可靠性, 满足了空分系统对 PLC 控制部分需要长期无故障运行的要求。上位机工作于 Windows 环境下, 使用 RSView SE 工业控制组态软件开发人机界面, 实现了实时动态显示、数据的自动采集处理、故障报警、实时及历史报表的打印等功能。

(3) 系统的冗余设计

为了提高系统的可靠性, 系统采用了控制站冗余、电源冗余和网络冗余。

① 控制站冗余

2 个互为冗余的控制站配置必须完全相同, 冗余功能是依靠双槽冗余模块 1757 - SRM 实现的。当主控制器失效时, 从控制器在 100 ms 内接替主控制器, 主从控制器的

网络与通信 Network and Communication

同步对用户来说是完全透明的,冗余模块之间通过 1757-SRC1 连接起来。

② 电源冗余

远程框架采用了冗余电源配置,每个 I/O 远程机架都配置了互为冗余的 2 个 1756-PAR2 电源模板,它们同时给相应机架供电,当任意一块电源模板发生故障,另一块仍保持供电,因此可以确保 I/O 机架供电不间断。

③ 网络冗余

系统采用冗余的 ControlNet 网络,1756-CNBR 是 ControlNet 通信模块,它有 2 个冗余的网络通道,使控制信息实现冗余,通过 BNC 连接器与 ControlNet 总线相连。当一路网络发生故障时,另一路能继续工作,不会影响系统的正常运行^[6]。

3.2 系统软件设计

空分系统中,PLC 软件的设计是一项十分复杂的工作,它要求设计人员既要有程序设计的基础,又要有自动控制的知识,还要有一定的现场实践经验。软件设计部分包括组态编程软件和监控软件。

3.2.1 软件平台

本文使用的罗克韦尔软件主要包括:(1)上位监控组态软件 RSView SE,用于人机界面设计、信息层及底层设备间的数据交互;(2)通信组态软件 RSLinx,用于配置通信适配器;(3)逻辑编程软件 RSLogix 5000,对可编程控制器进行编程。

3.2.2 操作员站操作画面设计

操作员站操作画面设计包括:(1)画面显示,显示系统主菜单、工艺流程参数和运行工况、运行方式、阀门状态、设备状况、故障状态、实时和历史趋势等;(2)系统运行操作,分子筛纯化器吸附/再生周期的自动切换或单步执行,大型单体设备(如空压机、透平膨胀机、水泵等)的启/停控制;(3)报警功能,显示故障区域流程图,设备故障时其图形变色或闪烁,并发出声音报警。

3.2.3 过程站软件设计

10 000 Nm³/h 空分控制系统软件编程的重要内容就是编制过程站的控制程序。其中分子筛顺序逻辑控制和透平膨胀机防喘振控制是主要部分,下面主要对这 2 个环节进行阐述。

(1) 分子筛顺序逻辑控制

分子筛吸附器是 2 只卧装
《微型机与应用》2009 年第 20 期

的圆柱形容容器,每只容器中均充有分子筛吸附剂。2 只分子筛吸附器 MS1201、MS1202 交替工作,即当一只吸附器运行在吸附工作状态时,另一只则运行在再生状态。处在吸附工作状态的吸附器,通过已冷却的原料空气,当空气通过分子筛时,空气中的水分、CO₂ 和碳氢化合物被分子筛吸附,使空气得到净化。经过一段时间的吸附,分子筛需要进行再生,使分子筛吸附剂析出水分及 CO₂ 等,经过再生的吸附器又可以投入吸附工作,2 只吸附器交替工作^[7]。

① 分子筛吸附器再生过程

分子筛吸附器是空分设备的重要设备之一,确保分子筛吸附器安全可靠运行是很重要的,为此必须按照再生过程进行再生工作,一般分子筛吸附器的再生过程如图 2 所示。整个再生过程必须严格按照规定的控制程序和时间、压力、压差等条件,在前一步动作完成之后,根据有关阀门的开关状态来进行。



图 2 分子筛吸附器的再生过程

② 分子筛吸附器自动控制程序

2 只分子筛吸附器相互交替工作,如图 3 所示,当 MS1201 处于吸附工作状态时,另一只吸附器 MS1202 则处于再生状态。各阀门的程序切换由 PLC 系统中的程序控制。

分子筛吸附器自动控制程序图是按照工艺要求编制

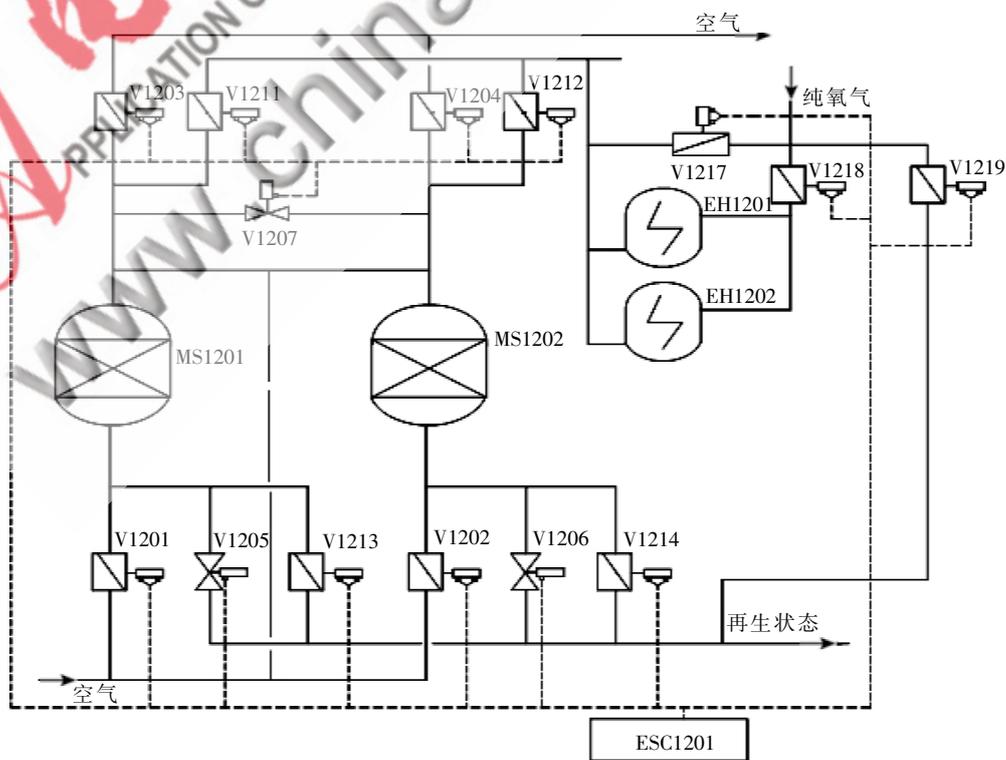


图 3 纯化系统流程图

网络与通信 Network and Communication

的,如图4所示。图中粗黑线的长短不代表时间长短,控制系统每一步的时间长短由机内计时器控制(如卸压、加热、吹冷、充压)。

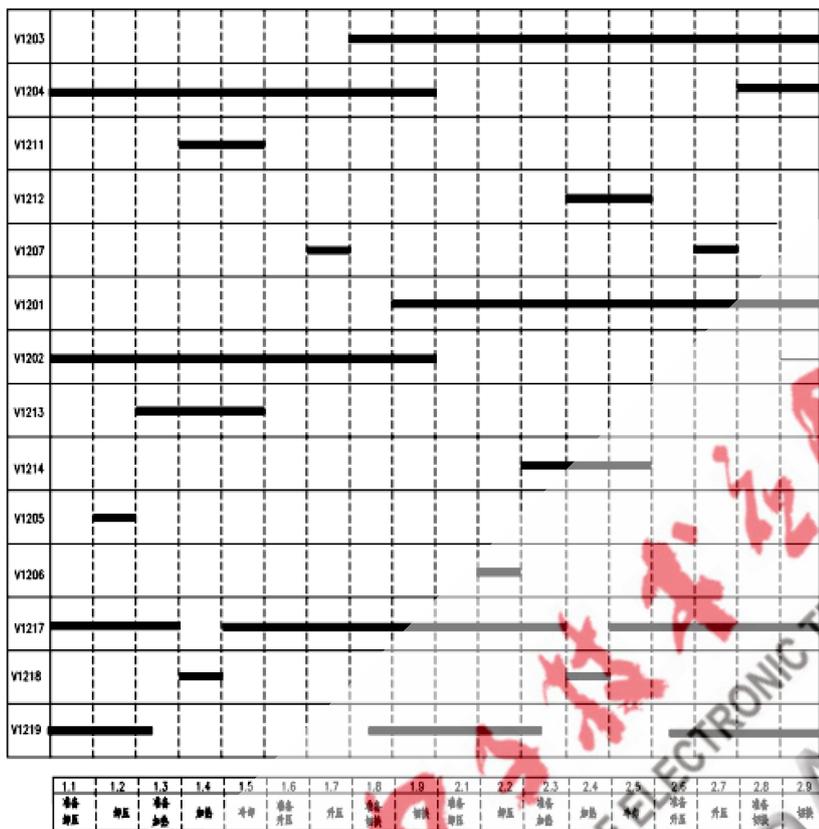


图4 分子筛吸附器自动控制程序图

(2)压缩机防喘振控制

喘振是压缩机性能反常的一种不稳定的状态。防喘振控制是压缩机整个控制系统中最为重要的核心部分,必须实现全自动控制^[8]。

①防喘振的原理

流量与压力不匹配,压力过高而对应流量过小就会引起设备喘振。在10 000 Nm³/h空分装置中,当流经增压压缩机的流量小于一个最小值时:基于某一压比,会造成部

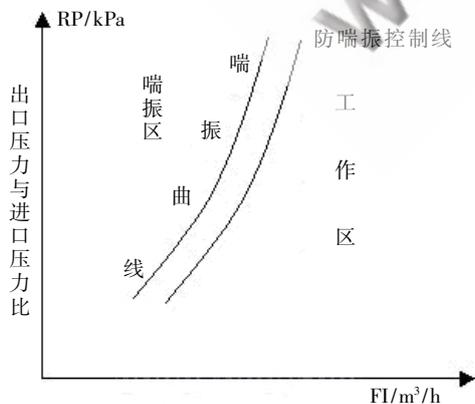


图5 压缩机喘振曲线

分或全部气体回流,机器轴承所承受的应力会变大,温度升高,这种现象称为“喘振”,喘振会对设备造成损坏,甚至造成重大事故。对应压缩机设备有着相应的正常工作参数和极限工作参数,根据这些可以绘制喘振曲线,防喘振原理就是在设备动态运行中通过控制使设备运行状态避开喘振曲线。喘振曲线如图5所示。

②防喘振控制的实现

为保障生产的安全进行,防止设备损坏,增压压缩系统设有防喘振保护,通过调节入口导叶和旁通阀开度来调节压缩机的进口流量和压比。

由图5可知,当增压端的流量进入到喘振区时,压缩机自动进入防喘振保护控制,此时旁通阀调节器自动调节旁通阀的开度,使其完全打开。为了防止增压端的流量突然达到喘振流量而损坏设备,绘制了一条和喘振曲线相平行的防喘振控制线,当流量达到控制线时,调节器自动调节旁通阀的开度,降低设备发生喘振的几率。

入口导叶和旁通阀的控制均采用手/自动调节方式和就地/远程控制方式,通过串级回路实现手/自动调节,并进行了阀位跟踪,为系统的运行提供可靠的保证。

空分系统是一个对安全性、可靠性要求很高的系统,针对这些性能要求,本文利用ControlNet总线构成系统的硬件结构,通过ControlNet总线网络、现场控制单元与上位机构成一个结构简单、应用灵活的工业控制网络,可根据实际要求进行扩充^[9-11]。ControlNet作为一种新型的面向控制层的实时性现场总线网络,由于它具有如前所述的独特优势,相信这种总线在近期将成为市场上的主流总线之一。

参考文献

- [1] 汪邦辉,吴盛虎,伍宇华.新钢25 000m³空分装置控制系统的设计[J].冶金自动化.2006年增刊(S1).
- [2] 夏鸿雁.马钢30 000 m³/h内压缩全提取空分设备的设计[J].深冷技术.2006(2):35-38.
- [3] 谢凌广.基于生产者/消费者模式的ControlNet网络技术[J].电工技术杂志,2001 (12):13-16.
- [4] 陈虹,李锦磊,基于ControlNet总线的冷站控制系统分析与设计[J].低压电器,2007(11):28-31.
- [5] 孙东辉,赵秀芬,李国洪. ControlNet在自动监控系统中的应用[J].微计算机信息,2008,24(19):37-39.
- [6] 迟君平.Controllogix PLC冗余系统在汽轮机发电中的应用[J].计算机控制、监测与管理,2006(8):74-77.
- [7] 董振宁.空分控制系统的设计与实现[D].上海交通大学硕士论文,2008.05.

(下转第46页)

《微型机与应用》2009年第20期