

1931125

分类号_____密级_____

UDC _____

学 位 论 文

首钢氧气厂 30000Nm³/h 制氧机集散控制系统建立及应用

作者姓名： 唐和林

指导教师： 高立群 教授

东北大学导航制导理论与导航技术研究所

申请学位级别： 硕士 学 科 类 别： 专业学位

学科专业名称： 控制工程

论文提交日期： 2008 年 1 月 5 日 论文答辩日期： 2008 年 1 月 26 日

学位授予日期： 2008 年 3 月 25 日 答辩委员会主席： 井元伟

评 阅 人： 孙 昕 李 俊 圣 井元伟

东 北 大 学

2008 年 1 月

111591

A Thesis for the Degree of Master in Control Engineering



**Establishment and Application of The
Distributed Control System about 30000Nm³/h
Oxygen Manufacture Machine in Shougang
oxygen plant**

by Tang Helin

Supervisor : Professor Gao Liquan

Northeastern University

January 2008

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是在导师的指导下完成的。论文中取得的研究成果除加以标注和致谢的地方外，不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包括本人为获得其他学位而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示诚挚的谢意。

学位论文作者签名：唐和林

签字日期：2008.3.1

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者和指导教师完全了解东北大学有关保留、使用学位论文的规定：即学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人同意东北大学可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索、交流。

(如作者和导师同意网上交流，请在下方签名：否则视为不同意)

学位论文作者签名：唐和林 导师签名：高立群

签字日期：2008.3.1 签字日期：2008.3.1

首钢氧气厂 30000Nm³/h 制氧机集散控制系统建立及应用

摘 要

以 PC (Personal Computer)为基础的集散控制系统,是目前控制领域发展的一个重要方向。它由过程控制级、控制管理级和生产管理级组成。以通信网络为纽带,集中显示操作管理,控制相对分散,具有灵活配置、组态方便的多级计算机网络系统结构,完全能够适应生产流程长、检测控制回路多、生产控制方案复杂、安全可靠性高的要求。在现代工业生产中提高自动化控制水平和管理水平,实现最优技术经济指标、提高经济效益和社会效益等方面起着重要作用,对研究制氧生产过程中稳定、精确、可靠的自动化控制系统的运用具有重要意义。

本文在研究集散控制系统体系结构的基础上,以首钢氧气厂30000Nm³/h(三万)制氧机组控制部分改造为背景,对三万制氧机的作用、工艺过程及其自动化系统组成进行了简要介绍,分析了现设备存在的问题和缺陷,对原系统的控制结构深入剖析,论述了设备改造的现实意义和改造要求,提出新系统的解决方案,选用了横河公司CS 3000硬件设备及组态软件的第四代集散控制系统。通过理解制氧生产工艺特点,根据集散型控制系统设计思想提出制氧工程集散控制系统的设计原则,设计了符合制氧生产工艺要求的控制系统并完成了硬件系统的组装及与现场仪表的连接。为了避免和减少干扰的影响,在硬件方面还采取了大量硬件抗干扰的措施,使系统获得了较好的抗干扰效果。CS 3000系统组态软件可以灵活方便地实现对生产过程的监视、故障检测及统计报表等功能,给生产和管理带来很大方便。对生产过程中的各种控制变量,应用基本PID、串级控制等控制算法实现稳定可靠的控制,达到了工艺要求,保证了生产质量。

该系统自 2006 年 4 月实施改造后,已正常运行近 20 个月时间,系统运行稳定,可靠,完全满足了制氧生产工艺的控制要求,验证了设计方案的有效性。所做工作可为同行业兄弟企业提供参考。

关键词:集散控制系统;制氧机;控制;系统;组态软件

Establishment and Application of The Distributed Control about System 30000Nm³/h Oxygen Manufacture Machine in Shougang oxygen plant

Abstract

The Distributed Control System which is based on the PC (Personal Computer) is an important development direction in the control field at present. Being constitute of the processing control level, the control management level and the production management level, taking the communication network as the link, centralizing displayed operation management, controlling disperser relatively, owning the nimble disposition, the configuration convenience multistage computer network system structure, The Distributed Control System can definitely adapt the long production process, the multiplied examination control loops, the complex production control plan, the high security reliability request. It is playing the vital role in modern industry production in aspects as improving automation control level and management level, realizing the most superior technology economic indicator, enhancing economic efficiency and social efficiency and so on. It is significant to utilize the stably, precise, reliable automation control system in studying the oxygen manufacture production process.

Based on researching structure of the Distributed Control Systems and the background of oxygen manufacture unit control section transformation of Beijing Shougang Corporation oxygen plant 30000Nm³/h(thirty thousand),this article introduced briefly the function, the technological process and the automated system composition of thirty thousand oxygen manufacture, analyzed the question and the flaw which the present equipment exists, analyzed the original system control structure, elaborated the practical significance and the modification requirement which the equipment transforms, proposed the new system solution, selected and used the hardware of CENTUM and the forth generation system of the Distributed Control Systems of CS 3000 configuration software. Through understanding the request of producing oxygen manufacture and according to the design thought of the Distributed Control Systems, we proposed the design principle of the The Distributed Control System for producing oxygen engineering and designed the control system that suitable for the request of oxygen manufacture production craft and we also completed the installation of hardware and the connection of sensors and measuring appliances installed in scene. In order to avoiding or reducing the influence of the interference, we adopted a great deal of measure of anti-jamming in the hardware and made the system acquire good effect in anti-jamming.

CS3000 configuration software can flexibly and conveniently configure to complete the functions of the supervision to the processing of production, failure detection and statistical report form, which brought a great convenient to the production and management. Using fundamental PID and cascade control and so on to the kinds of control variables in the process of production to achieve the steady and reliable control, we reached the request of the craft and guaranteed the quality of production.

This system has operated normally for nearly twenty months since it is implemented the transformation in April, 2006. The system operating has been stable, reliable, and it can be completely suitable for the control request of the oxygen manufacture production craft, it has confirmed the design proposal efficiency. It is possible to provide the reference to the same profession brothers and enterprises for what we have done.

Keywords : Distributed Control Systems; the oxygen manufacture; control system; configuration software

目 录

独创性声明.....I

摘 要.....II

ABSTRACT..... III

第一章 绪 论..... 1

 1.1 集散控制系统概述..... 1

 1.2 DCS 发展历程..... 1

 1.3 DCS 的基本组成及特点 3

 1.3.1 DCS 的基本组成 3

 1.3.2 DCS 的特点 4

 1.4 DCS 结构体系..... 6

 1.5 本课题研究的意义及主要内容..... 7

 1.5.1 本课题研究的意义..... 7

 1.5.2 本课题研究的主要内容..... 7

第二章 制氧工艺生产过程与自动控制..... 9

 2.1 国内外制氧发展历程及特点..... 9

 2.1.1 制氧工艺概况及发展历程..... 9

 2.1.2 制氧设备新技术的一些主要特点..... 10

 2.2 制氧生产工艺简介..... 11

 2.3 制氧机 DCS 的应用 13

 2.4 首钢制氧生产工艺及控制系统概况..... 14

第三章 制氧控制系统构建..... 17

 3.1 改造前的控制系统基本情况..... 17

 3.1.1 原系统控制设备介绍..... 17

 3.1.2 原系统存在的问题..... 19

 3.2 新系统的要求..... 19

 3.3 典型控制系统介绍..... 19

 3.4 原控制系统的消化研究..... 25

 3.4.1 三万制氧机主要控制思想及其方法..... 26

 3.4.2 三万制氧机控制中的重点和难点..... 30

 3.5 新控制系统的建立..... 33

 3.5.1 新控制系统的选型..... 33

3.5.2 控制系统硬件及网络结构	35
3.5.3 控制系统软件	36
第四章 系统工程组态实现	39
4.1 组态概述	39
4.2 DCS 组态软件	39
4.3 控制系统组态	41
4.3.1 现场控制站(FCS)	41
4.3.2 人机接口操作站(HIS)	43
4.3.3 主要控制系统组态	46
第五章 控制算法的应用	51
5.1 PID 调节模块	51
5.1.1 理想 PID 调节器	51
5.1.2 基本数字 PID 控制器	52
5.1.3 改进的 PID 算法	53
5.2 串级控制系统	54
5.2.1 串级控制系统的基本原理和结构	54
5.2.2 串级控制系统分析	56
5.2.3 串级控制系统设计	62
5.2.4 串级控制系统控制器参数整定	62
第六章 系统测试及运行	65
6.1 系统性能测试	65
6.2 现场安装及调试	66
6.2.1 设备安装就位和加电测试	66
6.2.2 系统接线和现场调试	66
6.3 硬件抗干扰措施	67
6.4 安全性	69
6.5 运行情况	70
第七章 结论与展望	73
参考文献	75
致 谢	77

第一章 绪论

1.1 集散控制系统概述

DCS(Distributed Control System)意为分布式控制系统或集散控制系统,它是以微处理器为核心,采用数据通讯和图形显示技术的新型计算机控制系统。它以多台微机处理机分散在生产现场进行过程测量和控制,实现了功能和地理上的分散,避免了测量、控制高度集中带来的危险性和常规仪表控制功能单一的局限性;数据通信技术和 CRT 显示技术以及其它外部设备的应用,能够方便地集中操作、显示和报警,克服了常规仪表控制过于分散和人机联系困难的特点^[1]。该系统能够完成直接数字控制、顺序控制、批量控制、数据采集与处理、多变量解耦控制以及最优控制等功能,并包含有生产的指挥、调度和管理功能。它的实质是利用计算机技术对生产过程进行集中监视、操作、管理和现场前端分散控制相统一的新型控制技术,集“4C”技术(计算机技术 Computer、控制技术 Control、通信技术 Communication、显示技术 CRT)于一体^[2],它的出现是工业控制的一个里程碑,目前 DCS 系统已广泛应用于工业过程控制,并延伸到实验室自动化和大型研究试验以及离散制造业等领域。

现代生产管理的集中性和控制的分散性推动了 DCS 的发展。DCS 的结构是一个分布式系统,从整体逻辑结构上讲,是一个分支树结构,与工业生产过程的行政管理结构相一致。按系统结构进行垂直分解,它分为过程控制级、控制管理级和生产管理级,各级既相互独立又互相联系,每一级又可按水平分解成若干子集。从功能分散看,纵向分散意味着不同级的设备有不同的功能,如实施控制、实时监视和生产过程管理等;横向分散则意味着在同级设备有类似的功能^[3]。按照这种思想来设计集散控制系统的硬件和软件,就是贯彻既集中又分散的原则。

在现代工业生产过程自动化过程中,DCS 能够适应工业生产过程的各种需要,提高生产自动化水平和管理水平,正在为实现最优技术经济指标、提高经济效益和社会效益、提高劳动生产率,降低能源消耗和原材料消耗、改善劳动条件、保护环境卫生、提高市场竞争力等方面起着越来越重要的作用。

1.2 DCS 发展历程

从 70 年代中期,第一代 DCS 问世至今,由于它出众的优越性,被广泛地应用在石油化工、冶金、炼油、建材、纺织、制药、电子等各行各业,发展前景广阔。DCS 的发展至今经历了四个时期:1975-1980 年为初创期,1980-1985 年为成熟期,1985 年以后为扩展期,90 年代进入网络开放期^[4]。

初创期的 DCS 已具备 DCS 的三大组成部分,即分散控制装置、操作管理装置和数据通信系统,并融入 4C 技术。DCS 的通讯系统只是一种初级局部网络,全系统由一个通讯指挥器指挥,对各单元的访问方式是轮流访问方式^[5]。其产品有 Honeywell 公司的 TDC-2000 系统、Foxboro 公司的 Spectrum 系统、横河公司的 Yawpark 系统等。

进入 80 年代,随着半导体技术、显示技术、网络技术和软件技术等高新技术的发展,DCS 发展进入了成熟期。第二代 DCS 主要是系统硬件和软件技术的不断更新,在系统功能上得到扩大或增强,如控制算法扩充,常规与顺序控制、批量控制相互结合;操作、管理及监视范围的扩大,提高了综合管理信息的能力;显示屏分辨率及色彩的提高;多个微处理器技术和冗余技术的应用发展;特别在数据通信方面采用局域网络,由主从式星形网络转变为对等式的总线网络通信或环网通信,扩大了通信范围,提高了传送速率。第二代 DCS 产品有 Honeywell 公司的 TDC-3000、Taylor 公司 MOD300 及 Westinghouse 公司的 WDPF 等系统。

1987 年美国 Foxboro 公司推出 I/A Series DCS,标志着 DCS 由成熟期进入扩展期。它的主要改变是在局域网络方面,I/A Series 系统采用的宽带网和窄带网符合国际标准组织 ISO 的开放系统互联的参数模型,因此,符合开放系统的各制造厂的产品可以互连、互通信以及进行数据交换,第三方软件也可应用,改变了过去 DCS 各厂自成系统的封闭结构,DCS 由原来的仅能应用发展到不仅能应用而且能开发。第三代 DCS 是把过程控制、监督控制、管理调度有机地结合起来。主要产品有 Honeywell 公司的带有 UCN 网的 DC3000,日本横河公司的带 SV-NET 网的 CENTUM CS、CENTUM XL 等。

受信息技术(网络通信技术、计算机硬件技术、嵌入式系统技术、现场总线技术、各种组态软件技术、数据库技术等)发展的影响,以及用户对先进的控制功能与管理功能需求的增加,各 DCS 厂商纷纷提升其 DCS 的技术水平,并不断丰富其内容。以 Honeywell 公司最新推出的 Experion-PKS 过程知识系统,Emerson 公司的 PlantWeb, Foxboro 公司的 A²,横河公司的 R3PRM 工厂资源管理系统,ABB 公司的 Industrial^{IT} 系统,为第四代 DCS 出现的标志。第四代 DCS 技术上最主要的标志是:Information(信息)和 Integration(集成)。其体系结构主要分为 4 层结构:现场仪表层、控制装置单元层、工厂(车间)层和企业管理层。一般 DCS 厂商主要提供前面的三层功能,而企业管理层则需要通过提供开放的数据库接口连接第三方的管理软件平台 ERP、CRM、SCM 等^[6]。所以说当今 DCS 主要提供工厂(车间)级的所有控制和管理功能,并集成全企业的信息管理功能。

新一代 DCS 将具有鲜明的共性:全面支持企业信息化、系统构成集成化、混合控制功能兼容、硬件进一步分散化、智能化和低成本化、系统平台开放化、应用系统专业化、DCS 包含 FCS 功能并进一步分散化,同时这些特性正逐步发展并完善,从单纯的

现场设备控制向企业综合自动化管理、综合系统方向发展^[7]。第四代 DCS 的另一个显著特征就是各系统纷纷采用现有的软件技术和硬件(I/O)处理技术,采用灵活的规模配置,明显地降低了系统的成本与价格,过去国外 DCS 一般只适合于大中型的系统应用,在小型应用中成本很高,但第四代 DCS 都采用灵活的配置,不仅经济地应用于大中型系统,而且应用于小系统也很合适。

1.3 DCS 的基本组成及特点

1.3.1 DCS 的基本组成

虽然 DCS 的产品繁多,各自产品既有共性又有个性,了解共性,再分析它们各自的个性。DCS 一般是由三个基本部分组成:

(1) 分散过程控制装置

分散过程控制装置是 DCS 与工业生产过程间的界面,各种生产过程的变量通过分散控制装置转化成监视控制变量进入操作管理装置,而操作的各种信息也通过分散过程控制装置送到生产过程的各种设备输出执行机构。由于分散过程控制装置是系统与过程联系的接口,因此要求分散过程控制装置能适应恶劣的工业生产过程环境,特别是对安装在现场的一些设备还要体现控制分散的特征,将地域分散的过程装置用分散的控制来实现,将监视和控制分离,提高系统的可靠性;此外能准确反映过程参数的变化,实时性好;同时还具有较强的独立性,当与上位机通信或上位机出现故障情况下,也能正常运行。

(2) 集中操作管理装置

集中操作管理装置是操作人员与 DCS 间的界面,通过该装置使操作人员了解生产过程的运行状况,并由它发出操作指令到生产过程。对操作人员、管理人员而言,随时可以通过操作管理装置,监视和操作生产过程中的各种信息,并进行更改、修正。

集中操作管理装置是将分散过程控制装置送来的信息集中、监视和操作,同时将各种操作命令发送到各分散过程控制装置,因此该装置所处理的信息量很大;同时操作管理装置是操作人员、管理人员与系统联系的人机界面,需要有良好的易操作性;此外,为防止操作人员的误操作,要设置良好的容错措施。

(3) 通信网络系统

分散过程控制装置与操作管理装置之间的数据交换和传递是通过通信网络系统完成的。在开放型 DCS 中,对通信网络系统的要求除传输速率,误码率等外,还应具备开放性和互操作性,因此要求通信网络有统一的标准和协议,这个通信标准的框架结构就是国际标准化组织的开放系统互连参考模型。

1.3.2 DCS 的特点

DCS 自问世以来,广泛地应用在石油、化工及其他工业领域上,这主要是它有独特的优越性是常规控制仪表无法比拟的特点。主要有:

(1) 自律性强

DCS 结构上采用分级递阶的分布式形式,不管从垂直方向还是水平方向都是分级操作管理。DCS 的各个分级相互联系和制约,通过系统的协调,很好地完成工作,保证系统安全可靠地控制、操作及管理。

(2) 丰富的控制功能

DCS 不仅能实现简单的控制功能,而且能实现各种复杂的控制功能例如串级控制系统、前馈-反馈控制系统、自适应控制和多变量模型优化控制等,也可进行各种复杂运算,还可以实现各种连续的反馈控制、顺序控制、批量控制及单元监视控制操作等^[8]。

(3) 完善的人机联系和集中监视管理能力

操作人员和管理人员通过不同的接口(操作人员接口和工程师接口),由 CRT 操作站和操作键盘全面地监视、控制、管理生产装置以至整个工厂的生产情况,实现人和过程的高度“对话”。一些新型集散控制系统采用开放式的工作站如:UNIX,加强了 DCS 在图形图像处理、人工智能和软件工程、计算机辅助设计和制造等方面的功能。

(4) 先进的网络通讯技术

由于网络通讯技术的引进,保证了 DCS 的实时控制信息的传输,以及全系统的信息综合管理。

(5) 系统扩展灵活

DCS 产品各异,但是基本组成类似,均采用模块化结构,用户根据控制系统的大小和要求,可方便地扩大或缩小系统的规模或更改系统的控制机制,从而对提高系统的控制级别,或扩展系统的规模都十分灵活和方便。

(6) 安全可靠性强

采用冗余技术、容错技术及多微处理机分散控制结构,各个单元都具有自诊断、自检查和修复功能、故障报警功能,使系统的平均无故障时间 MTBF 达 4-5 万小时以上,系统的利用率达 99.9999%。

(7) 良好的性能价格比

在性能上 DCS 技术先进,功能齐全,可靠性高,适合多级递阶管理系统控制,特别是随着开放型、网络化 DCS 的产生,使得 DCS 的性能价格比有了很大的提高,经济实用,功能合理,易于操作,广泛应用于生产企业。

30 年来,工业自动化界讨论非常多的一个概念就是开放性。过去,由于通信技术的相对落后,开放性是困扰用户的一个重要问题。为了解决该问题,人们设想了多种方案,

其中包括 CIMS(Computer Integrated Manufacturing System 计算机集成制造系统)概念中的开放网络 MAP7 层网络协议平台^[9]。然而, MAP 网络协议并没有得到真正的推广应用。而当代网络技术、数据库技术、软件技术、现场总线技术的发展为开放系统提供了可能。各 DCS 厂家竞争的加剧,促进了细化分工与合作,各厂家放弃了原来自己独立开发的工作模式,变成集成与合作的开发模式,开放性逐步实现,第四代 DCS 全部支持某种程度的开放性^[10]。

开放型 DCS 与以往 DCS 比较,以规范化与实际存在的接口标准为依据,建立计算机网络及相关的通讯系统,因此开放型 DCS 除具备一般 DCS 的特点外,还有其特殊的方面^[11]。主要表现在以下几个方面:

(1) 超越传统的分散控制功能向大系统综合自动化发展

开放型 DCS 一改传统的分散控制,已成为工业生产过程自动化和全厂事务经营管理自动化的计算机集成过程生产系统(CIPS)实现的工具,利用开放性接口即 ERP(Enterprise Resource Planning)和 MES(Manufacturing Execution System)直接进行数据交换,实现了原料进厂、生产计划、开发设计、调度、管理及控制的整个生产过程自动化的网络系统。

(2) 控制功能更加完善、丰富

随着 DCS 的开放,使得第三方软件移植成为可能。将现代控制理论如神经网络算法、人工智能等应用到过程中,DCS 不再只是提供基本控制软件,还可以采用综合控制算法-更高层次的先进控制软件包(APC)^[12]。这些软件包可由制造厂家推出,也可由用户自行开发,或由软件公司提供,例如预测控制、模糊控制、多变量控制、神经网络控制等软件包。

(3) 统领全局的窗口功能

开放型 DCS 使操作人员和管理人员利用不同的接口(操作人员接口和工程师接口),由标准 PC 人机工作站通过窗口全面地监视、控制、操作、管理生产装置以至整个工厂的生产情况,并通过以太网将 DCS 系统和工厂级管理网相连,实现生产实时数据上网。新一代 DCS 广泛采用开放式工作站,将人机工程学与 DCS 操作环境相结合,使 DCS 操作更加可靠、方便,易于掌握^[13]。

(4) 全数字通信的开放型网络体系结构

先进的网络通讯技术的引进,保证了 DCS 实时控制信息的传输,以及全系统的信息综合传输和管理^[14]。随着标准化的硬件和软件构成的开放式系统建立,DCS 的原有网络体系结构产生了根本的变革,朝着开放系统发展。开放系统的主要特点是不同厂家、型号、不同操作系统的计算机可共存一个标准网络,达到产品互换、资源共享的目的。

(5) 推出现场总线的新概念

现在的开放型 DCS 不仅注意工厂的管理网络和过程控制网络，而且将全厂范围最基础的现场级仪表及装置与过程控制级和工厂管理级一起构成全数字化的数据通信系统，现场总线就是 DCS 向下开放的产物，是 DCS 向全数字化系统发展的结果。总之，现场总线的引入，必将使传统的 DCS 的输入输出结构产生基本变化，使 DCS 实现全数字化控制系统成为了现实，从此自动化系统开始进入一个崭新的数字化新时代。

(6) DCS 与可编程控制器(PLC)进一步融合

DCS 一般用于连续生产过程控制，PLC 则常用于顺序控制，但两者都是基于处理器的数字控制系统装置^[15]。在实际生产应用时，生产过程既有连续控制，也有顺序控制，因此 DCS 和 PLC 都在不断地扩展其控制功能，使得 DCS 与 PLC 的界限变得模糊，也促使它们相互融合，趋向于形成数字化、模块化、网络化的结构，开发出新的系统产品。

1.4 DCS 结构体系

DCS 采用分层结构体系，从而使分散控制和集中操作管理的特点得以充分体现。一般 DCS 按分层概念分为四个部分：现场控制级、过程控制级、过程操作管理级、全厂优化和经营管理级^[16]，参见图 1.1。

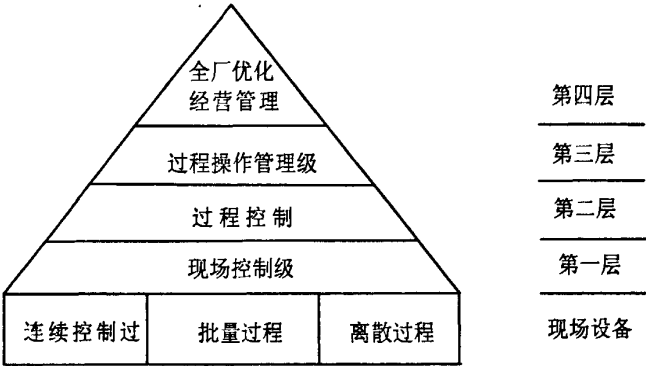


图1.1 DCS四层结构模式
Fig.1.1 DCS four-layer structure models

(1) 现场控制级

由于微处理器引入到现场变送器、传感器和执行器，产生了智能现场装置，特别是现场总线的应用，形成现场控制级。现场控制级就是通过现场总线实现对智能现场装置与控制系统的数字式、双向传输、多分支结构的通信，达到真正的分散型数字控制系统。

(2) 过程控制级

一般 DCS 采用现场过程装置(如变送器、传感器、执行器等)和 DCS 的输入/输出卡件组成的过程控制级，通过通讯网络系统将过程信息传送到下、上级，同时对现场装置进行监视和控制。

(3) 过程操作管理级

过程操作管理级以中央控制室操作站为中心，配置了打印机、硬拷贝机等外部设备，

组成人机界面站, 开放型 DCS 的过程操作管理级采用个人计算机作为人机接口站, 更具备开放化功能。

(4) 全厂优化和经营管理级

全厂优化和经营管理级是全厂自动化信息系统的最高一层, 只有大规模的 DCS 才具备这一级。它是从系统观念出发, 除了工程技术方面以外, 还从原料进厂到产品的销售, 市场和用户分析、定货、库存到产品交货, 生产计划等进行一系列的优化协调, 从而降低成本, 增加产量, 保证质量, 提高经济效益。此外还应考虑商业事务、人事组织以及其他各方面, 并与办公自动化系统相连, 实现整个系统的最优化。

1.5 本课题研究的意义及主要内容

1.5.1 本课题研究的意义

首钢氧气厂 $30000\text{Nm}^3/\text{h}$ (简称: 三万)制氧机每小时产氧量 30000Nm^3 以及其他气体产品, 是首钢大型关键的气体生产设备, 设备运行稳定与否直接影响该厂经济效益, 也关系着整个首钢公司生产的命脉。因长期运行、设备老化造成设备隐患增多, 特别是该机组控制系统经过近 20 年运行, 故障率上升, 备件供应得不到保障, 对安全稳定生产构成了极大的威胁。所以, 从设备的管理、运行的要求、经济性等方面, 对老化设备进行技术改造迫在眉睫, 如何有效解决该设备控制系统隐患, 同时又能够最大限度节约资金, 保障设备安全稳定运行将是本课题解决的重点问题。

1.5.2 本课题研究的主要内容

本论文以首钢氧气厂三万制氧机控制部分改造为背景, 全面理解三万制氧机工艺流程, 分析现设备存在的问题和缺陷, 对原系统的控制结构深入剖析, 提出新系统的解决方案。新控制系统采用日本横河电子公司(Yokogawa Electric Corporation)的 CENTUM CS3000 DCS 装置, 在 PC 机上实现 CENTUM CS3000 的所有功能, 其操作系统为 PC 机运行的 Windows 2000, 具有开放的操作环境, 符合 Foundation 现场总线协议, 代表着当今 DCS 发展的最新潮流。

本论文将依次介绍国内外制氧行业的发展历程、制氧生产工艺、控制系统的改造、系统工程组态实现、控制算法的应用及最后的系统调试和运行。其中对原控制系统的改造以及新系统的建立、控制算法的实现这些内容都将作为本文论述的重点。主要有以下内容:

(1) 理解和消化工艺流程原理, 解读原有 MICON 系统的组成及控制原理, 对典型控制系统进行分析, 研究适应制氧生产的 DCS 控制算法。

(2) 学习并掌握相关的计算机控制、网络通讯原理和实现方法。

(3) 制定合理而有效的改造方案。

(4) 对新控制系统的选型进行对比分析，确定新系统方案，完成软硬件组态、系统测试和现场调试运行，并采取了一些措施来提高系统的抗干扰能力。

(5) 结合改造工程的施工与调试，对改造过程中的具体技术问题进行分析并提出解决方案和实施办法。

第二章 制氧工艺生产过程与自动控制

2.1 国内外制氧发展历程及特点

2.1.1 制氧工艺概况及发展历程

工业制氧的方法分水电解法、化学法、空气分离法三种,其中空气分离法又分为低温法、吸附法、膜分离法几种。由于目前在大规模制取氧、氮气液产品,尤其是在制取高纯度产品方面,低温分离法具有无法取代的竞争优势,而且只有低温分离法才具有可同时生产氧、氮和其他稀有气体产品能力,故低温法在空气分离的工业应用中占据非常重要的地位。它在国内外的制氧行业中占统治地位^[17]。其原理是将空气压缩、冷却,使空气饱和和液化,利用氧、氮组分的沸点差,用精馏的方法将氧氮分离,从而获得高纯度的氧和氮,低温法实现空气分离是深冷系统与精馏系统的组合,详细可分为十大系统,即:空气压缩系统、空气净化系统、换热系统、深冷系统、精馏系统、安全防爆系统、气体压缩输送系统、加温解冻系统、仪表自控系统以及电控系统。低温法空气分离装置的主要特点:

(1) 产量大、同时生产氩气等稀有气体。目前国内最大的制氧机在宝钢,制氧能力为 $72000\text{Nm}^3/\text{h}$,国外最大的制氧机在南非,制氧能力达 $110000\text{Nm}^3/\text{h}$ 。

(2) 氧气和氮气纯度高。氧气的纯度可达 99.6% 以上,氮气纯度达 99.999%。

(3) 电单耗低,指生产每立方米氧气所消耗的电量指标。

(4) 适宜大规模生产。

深冷空分,国外 100 年,国内 50 年,从小到大,从高压到低压,经历了一代又一代的发展^[18]。世界上由德国人卡尔·林德发明的第一台深冷法制氧机诞生于 1903 年,至今已有 100 年了。世界科技与经济的发展,各行各业对氧、氮、氩的需求,促使空分设备制氧机)的发展。国外一些著名的气体公司,如德国林德公司、法国液化空气公司、美国空气制品与化学品公司、美国普莱克斯实用气体公司、英国氧气公司、俄罗斯深冷机械公司以及日本的氧气(酸素)公司等各个公司都有自己发展壮大过程,例如林德公司,创建于 1879 年,建立高压林德循环,1903 年设计制成世界上第一台工业性 10Nm^3 制氧机,1947 年开始开发全低压工艺氧设备,1968 年开发了常温下利用分子筛吸附净化空气的流程,1981 年同时生产气体和液体的带内部循环压缩膨胀流程的空分设备问世,1990 年制氩装置中的氩塔采用规整填料塔,诞生了全精馏制氩技术。20 世纪 60 年代后,制造了 $10000\sim 70000\text{Nm}^3/\text{h}$ 等多套空分设备,2002 年林德公司获得了向沙特提供一套世界上最大的低温氧、氮分离装置合同,这也是第一套突破 $100000\text{Nm}^3/\text{h}$ O_2 (即

为 3600t/d 折合 105000Nm³/h)的空分装置。再如法国液化空气公司,创建于 1902 年,建立中压克劳特循环,1910 年制成第一台中压带膨胀机的 50Nm³/h 制氧机,1957 年制取 10750Nm³/h 空分设备,在南非的 Sasol secunda,以煤转化生产合成燃料的煤延脱气公司,建有法液空提供的 66900Nm³/h 98.5%O₂ 空分设备 12 套,后又上 74000Nm³/h 空分设备 1 套。目前世界上投运最大的空分设备是 2004 年法液空在南非 Sasol 建造 3900t/d 约 113880Nm³/h 的制氧设备,法液空并在欧洲建立起世界上最大的氧、氮、氩供应网络,管路总长达 3000km。总的说来,国外空分技术发展很快,现国外大型空分设备主要技术指标:氧提取率>99%、氩提取率(膨胀空气进下塔)可达 92%~94%、能耗<0.55 kW · h/m³(包括压氧<3MPa)。

我国制氧机制造业起步于 20 世纪 50 年代初,全国只有进口的 10~200Nm³/h 小制氧机 89 套,总容量仅 3415Nm³/h。到 1953 年底,哈尔滨第一机械厂(哈氧厂前身)制成两套 30Nm³/h 制氧机,此后杭州通用机器厂(杭氧厂前身)于 1955 年底设计制成 30Nm³/h 制氧机,1956 年 1 月 3 日投产。80 年代初,我国空分行业逐步形成了“八厂二所一公司”为主体的局面。改革开放的深入,市场经济的发展,空分行业亦有变化,目前大中型空分设备主要设计制造厂家为杭氧、开空、川空。我国生产大中型空分设备始于 1958 年,大中型空分设备基本经历了六代:铜带蓄冷器型、常温分子筛吸附型、分子筛吸附加增压透平膨胀机型、规整填料加全精馏(无氢)制氩型等,直至目前在第六代外压缩流程基础上,成功开发了内压缩流程空分设备。到 2005 年末我国共生产大、中、小型空分设备 9391 余套,其中 1000Nm³/h 以上空分设备 906 套。我国制氧空分制造龙头企业杭氧股份公司已达到设计制造“60000”等级特大型内压缩空分装置,在满足国内冶金、化工等行业的应用外,还出口伊朗、塞尔维亚等国,2005 年杭氧集团销售收入达 28.8 亿元。现在,我们国产空分设备质量与技术在提高,国内外差距在缩小。虽然国外产品质量比我们高,但产品价格比国内高,从性能价格比考虑,国产设备有明显优势。总之,我国大中型空分设备已取得长足进步,当前形势喜人,前景看好。

2.1.2 制氧设备新技术的一些主要特点

(1) 提取率进一步提高

目前国内外空分设备的氧提取率可达 99%以上,氩提取率可达 92%以上。当采用规整填料、全精馏无氢制氩技术,一般情况下氧的提取率可以提高 1%~3%,氩的提取率可以提高 5%~10%,当采用膨胀空气进下塔的流程,氩的提取率可较膨胀空气进上塔常规流程的最大提取率约 83%再提高约 9%。

(2) 能耗进一步降低

国外的大型空分设备,制氧加压氧电耗能到 0.55 kW · h/m³ 以下^[19]。当上塔采用填

料塔后,能降低上塔阻力约 0.02MPa ,空压机轴功率可降低 $5\%\sim 7\%$ 。当采用带氧气增压器的空分流程,充分利用冷凝器的位能即液柱高度,使出冷箱的氧气压力达到 $0.17\sim 0.2\text{MPa}$,从而使压氧电耗可降低 $0.03\text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ 。

(3) 使空分设备更可靠、更安全、操作更简便

国外许多公司较普遍推荐内压缩流程,有关资料指出“在较高的液氧压力下,随着液氧沸腾温度的升高,烃的挥发度及溶解度也随之提高,液氧的沸腾压力在 0.3MPa 以上时,就可排除烃累积到危险浓度的可能性”。有关文献作了统计,全世界已经在使用的约 50 套内压缩流程的空分设备,迄今还没有发生过意外爆炸事故。但内压缩流程的能耗比外压缩要高 $5\%\sim 7\%$,而投资上要节约 $9\%\sim 10\%$ ^[19]。

(4) 装置更加大型化

目前国内的最大空分设备为宝钢的 $72000\text{Nm}^3/\text{h}$ 装置,世界最大的装置已在前面谈及,不再重复。

(5) 单机和单元设备的改进和完善

例如空气压缩机配用叶轮反冲洗系统,可使压缩机运转时间延长到 4~5 年。再如对氮气用量较少的用户,当空分设备的 $\text{N}_2:\text{O}_2\leq 1$ 时,可取消冷水机组。国外先进的增压透平膨胀机,膨胀端的效率可达 $88\%\sim 93\%$ (国内 $85\%\sim 88\%$),增压机的增压比可达 1.76(国内 $1.50\sim 1.58$)^[19]。

(6) 广泛采用先进的计算机自动化控制系统

目前国内外空分设备装置的运行、操作、安全保护等各个系统均采用计算机自动化控制系统,特别是广泛采用集散控制系统,提高了空分运行的效率,保障了空分设备运行的安全可靠,便于空分设备的管理维护。

2.2 制氧生产工艺简介

制氧机常规外压缩生产主要流程是从进口空气过滤器出来的流程空气被去除了尘埃和其他机械杂质后,经过多级离心空压机压缩至所需压力。进入末端冷却器,用常温水加以冷却,再通过空冷塔中的低温水进行洗涤后送至吸附器。该低温水是通过氨水塔及冷冻水机组冷却后进行使用的。从空冷塔出口出来的空气通过由两只可交替使用的充填氧化铝和分子筛纯化器除去水、二氧化碳和碳氢化合物等。净化后空气分成两股进入冷箱,一部分空气作为膨胀空气先进入增压机,增压后并经冷却后再进入板式换热器降温后进入膨胀机,膨胀空气进入上塔参加精馏,另外大部分空气直接进入板式换热器与反流气体换热回收冷量,同时,被返流气体冷却至饱和温度进入下塔。空气在下塔进行初步精馏,在下塔底部获得富氧液空,在下塔顶部获得液氧。下塔抽取的液空、液氮进入过冷器被上塔引出的气体过冷后进入上塔进一步精馏,在上塔底部获得氧气产品,顶

部获得氮气产品，氧气和氮气产品经板式换热器复热后出冷箱，作为产品送入用户的使用系统，其余的氮气作为冷源送入空冷塔，部分污氮作为分子筛的再生气体和水冷塔冷源，从上塔底部抽出液氧产品，从上塔中部抽出一定量的氩馏份进入粗氩塔，精氩塔进一步除去氩馏份中的氧氮等杂质，最后在精氩塔底部得到液氩产品。从空分塔中抽取富含氦氖组分的氮气，在低压液氮蒸发温度下进行分凝使得氮和氦氖组分初步分离，得到氦氖浓缩物。通过进一步吸附法、冷凝法或冷冻法制取高纯度的氦气和氖气。氦氖气的制取主要以空分塔中液氧、气氧或液空提取贫氮氦原料气，然后进一步浓缩成粗氦氖气，再经过多次纯化，分离制取得到高纯度的氦气和氖气。制氧空分全提取流程见图 2.1。

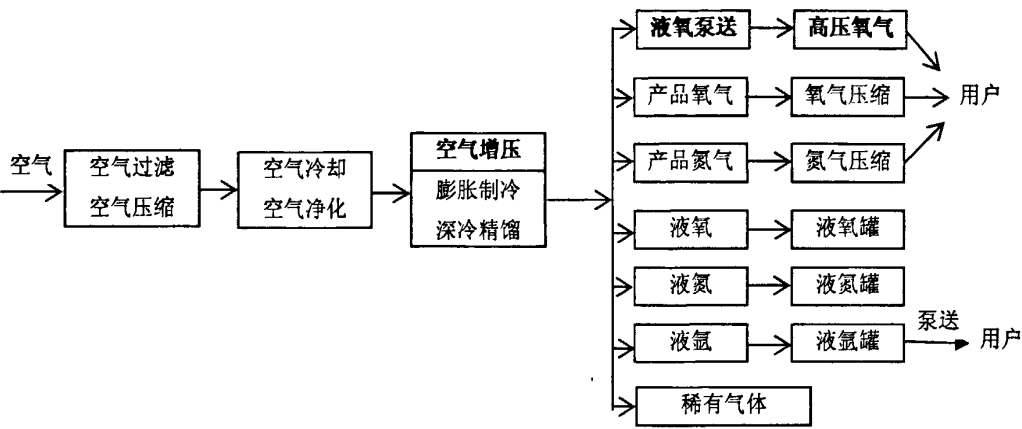


图2.1 外压缩和内压缩制氧空分全提取流程简图(粗体字表示内压缩流程)
Fig.2.1 The flow diagram of air separation all withdraws in oxygen manufacture with out-compression and in-compression (the thick typeface express the flow of in-compression)

内压缩流程主要是取消了产品氧压机，直接从空分设备生产的液氧经过液氧泵输送回空分复热后成气态氧气送往用户；同时增加了空气增压机和用于换热的高压板式换热器，内压缩空分设备流程见图 2.2。与外压缩流程相比，内压缩流程主要的技术变化在两个部分：精馏和换热。内压缩流程是新一代空分设备技术发展方向，随着空分技术的日益成熟，目前广泛应用于液体需求量大、产品终压高和容量大的大型空分设备中。

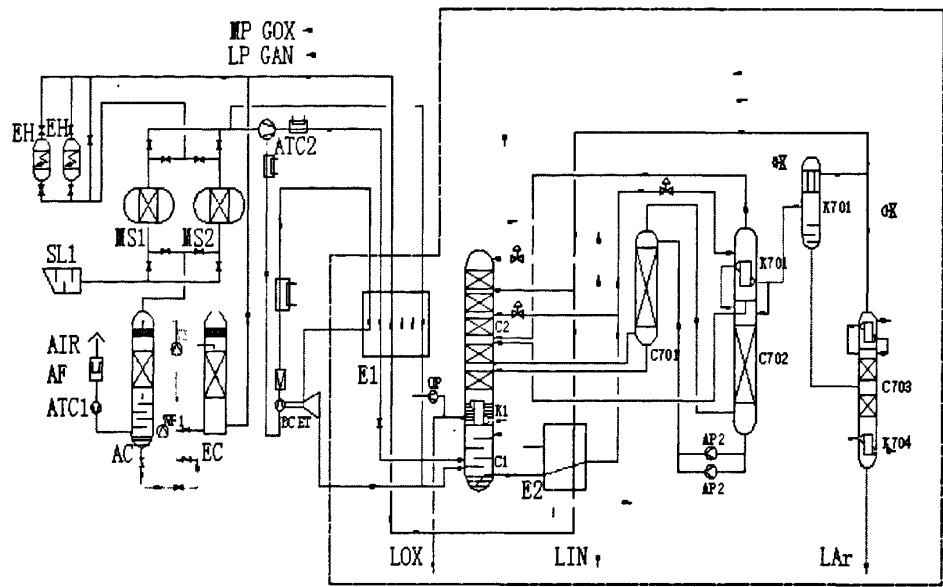


图2.2 典型内压缩空分设备流程图
Fig.2.2 The flow diagram of typical in-compression air separation equipment

2.3 制氧机 DCS 的应用

前章已阐述了 DCS 的基本设计思想是控制分散、危险分散及操作管理集中。目前 DCS 已广泛进入应用阶段，在现代制氧空分控制系统中全部采用 DCS 控制系统。这首先是它的性能优越、可靠性高，计算机技术的飞速发展和结构上的分散与集中的结合确立了它在过程控制系统中不可动摇的地位。其次是系统的成熟，经历 30 年来的发展，各系统厂商吸收了大量的应用经验和教训，使系统有能力解决过程控制中的各类问题，可以使用户放心。另外是产品的选择面广，面对集散系统的广阔前途，许多制造厂商投入大量资金，开发了不同类型的产品，并不断在技术升级换代，使用户有很大的选择余地，得到最好的经济效益。

当今一套先进的制氧机组（也称空气分离装置或空分装置），除了要有先进的工艺流程、先进的设备制造工艺、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，而要实现控制系统高可靠性，就要充分考虑空分装置各系统的特点。一套齐全的空分装置由下述系统组成：原料空气过滤器、空气压缩机、空气预冷系统、分子筛纯化系统、膨胀机组、分馏塔系统、稀有气体系统、液氧贮槽、液氮贮槽、液氩贮槽、外压缩流程氧压机(内压缩流程采用增压机加液氧泵代替)、氮压机、仪表自控系统以及电控系统等。主要产品为氧气、氮气、氩气以及稀有气体，空分装置的生产能力为 50Nm³/h 以上到目前 100000Nm³/h 左右的多种规格等级，而设备的投资费用根据装置生产能力不同相差甚大，因此，要实现空分设备的一次开车成功，以及保证设备的长期安全可靠的运行，空分装置控制系统的作用就显得至关重要。

典型空分装置的控制系统配置由就地仪表、机旁盘仪表、分析室仪表和中央控制室组成。

(1) 就地仪表。一般对非重要参数点实现就地监视。

(2) 机旁盘仪表。主要对机器等设备实现就地启动,必要的显示和操作。

(3) 分析仪系统。设置手工分析盘和在线分析盘。

(4) 中央控制室。是控制系统的核心,全面负责对整个装置实现监控。主要采用 DCS 控制系统,控制系统组成有:原料压缩机系统;预冷系统;分子筛纯化系统;分馏系统;膨胀机系统;产品送出系统;液体储存系统等构成。系统控制的主要工艺参数为温度、压力、液位和流量等。它对整个装置的设备运转、阀门的控制、装置运行的智能调节、机组的安全保护等全过程监视调节控制,并向用户提供友好的操作界面便于用户完成过程数据的实时监视和操作,根据用户的需求对所需的事件、文档等执行备份或输出操作等。而作为设计者,DCS 主要应该从技术性能、可操作性、安全可靠、经济性等方面来考虑,从品种繁多的 DCS 市场中,选择一个成熟的产品来满足工艺过程控制与管理的要求,且性能价格比较优的产品,一般都是从世界上应用最为广泛又被实践证明是可靠的 DCS 型号中选择,如日本的横河公司、美国的霍尼韦尔公司、福克斯波罗公司、费希尔—罗斯蒙特公司等。

2.4 首钢制氧生产工艺及控制系统概况

首钢氧气厂是首钢总公司下属的气体生产厂,1958 年建厂,主要生产氧气、氮气、氩气等气体,产品主要用于总公司主流程的钢铁再生产,液体产品及稀有气体产品对外销售,全年连续生产运行。该厂制氧机组装备有 50~90 年代的国内外多种型号的设备,现有制氧空分设备共 13 套($2 \times 6000 \text{Nm}^3/\text{h}$ 、 $2 \times 16000 \text{Nm}^3/\text{h}$ 、 $2 \times 6500 \text{Nm}^3/\text{h}$ 、 $3 \times 12000 \text{Nm}^3/\text{h}$ 、 $1 \times 23000 \text{Nm}^3/\text{h}$ 、 $1 \times 30000 \text{Nm}^3/\text{h}$ 、 $2 \times 35000 \text{Nm}^3/\text{h}$)及配套的公辅设施,目前在建国内最大的制氧机 $75000 \text{Nm}^3/\text{h}$ 。

随着首钢公司钢铁生产的逐年发展(至 2007 年末钢产量达 1500 万吨),转炉顶底复吹、溅渣护炉、高炉富氧等新技术的实施,气体用量大幅度提升,从建厂后相继建设了从 $3350 \text{Nm}^3/\text{h}$ 至 $35000 \text{Nm}^3/\text{h}$ 多种类型的制氧设备,几十年的建设发展也是历经了我国空分制氧的发展历程,从第一代铝带盘蓄冷器的高低压流程到第七代内压缩流程全部涵盖。由于设备规格不统一,部分设备多年运行老化成旧,给全厂的生产组织平衡、设备稳定运行、备件储备、运行成本等带来较大的影响,在建设新型空分机组后相继淘汰了老化落后能耗高的小机组。目前制氧空分设备共 13 套,小时供氧量达 20 余万 Nm^3 。同时,在这两年新机组投用后部分仍有潜能的老旧设备就有时间安排技术改造更新,多项技术改造项目相继得到了实施。其中原 1988 年投产的从德国林德冷冻机械制造股份

公司(简称：林德公司)引进三万制氧机组的改造尤为突出，该机组在 2006 年 3 月至 4 月中旬为期 30 天时间实施了从机械、电气、自动控制等多方面大规模技术改造，改造后经实际运行考验，经济效益、设备安全稳定性都大大得到提高，前一章已提到本课题的选择就是该机组的控制系统技术改造项目。

首钢氧气厂三万制氧机是 1986 年与林德公司签订设备供货合同，1988 年 8 月建成投产。主体工艺设备由林德公司供货，部分辅助设备由国内配套，全套设备采用美国 MICON SYSTEMS 公司智能自动化系统实现集散控制，该套装置采用 80 年代工艺技术，生产工艺先进，自动化程度高，运行安全可靠，其工艺流程是典型的第五代分子筛吸附、增压透平膨胀机、DCS 控制的全低压外压缩流程^[20]。主要工艺流程是原料空气经空气透平压缩机加压至 6.5 MPa (绝压)，进入预冷系统和分子筛吸附器，净化并除掉其中的 CO₂，CnHm 及水蒸汽等杂质，净化后的空气进入板式主热交换器与返流气体换热、冷却至 -172℃ 后进入下塔 T3211，经主精馏塔精馏，在上塔 T3212 顶部得到 40000Nm³/h 含氧为 10ppm 的产品氮气，从上塔底部抽出液氧，经热交换器 E3321 与另一侧的膨胀空气进行热交换，液氧被升温后送入一氮塔进一步精馏，在一氮塔顶部得到 30000Nm³/h 纯度为 99.6% 的产品氧，空分生产所需的冷量主要靠两台带增压机的透平膨胀机来提供。氩气生产是从主塔上塔第 91 块塔板抽出含氩约为 10.26% 的氩馏份 41000Nm³/h 送入精氩塔 T4111 精馏后加氢除氧，再进入精氩塔精馏提取出产量 1080Nm³/h 纯度 99.999% 的精氩，同时该机组还配套制取氮氟氮氙高纯度稀有气体和提取氧氮氩液体产品，装置主要产品指标见表 2.1。

表2.1 首钢30000Nm³/h制氧机组产品指标表
Table 2.1 The target table of Shougang 30000Nm³/h oxygen manufacture unit production

产品名称	生产量(Nm ³ /h)	纯度(%)	提取率(%)
氧 气	30000	99.6	91.0
氮 气	40000	99.999其中O ₂ <10ppm	32.2
液 氧	600	99.6	91.0
液 氮	200	99.999其中O ₂ <10ppm	32.2
液 氩	1080	99.999	72.4
氟 气/氩 气	1.67/0.48	99.999	50.0/56.6
氮 气/氙 气	0.008/0.100	99.999	57.9/62.5
加工空气量	160000		

该套装置自动化控制集成采用美国 MICON SYSTEMS 公司智能自动化系统实现集散控制。控制系统分为两大部分：一部分是以顺控为主的 ESD 设备，主要包括空压机、氧压机、氮压机、分子筛，它们的控制采用德国 HIMA 公司 H50 系列可编程安全停车

联锁 PLC 系统；另一部分就是仪控为主的设备，主要是空分系统，采用当时比较先进的 MICON P-200 回路控制器进行控制。MICON P-200 控制器和 PLC 的数据通过 ACT-200 适配器传送至 C-200 通讯器。C-200 为一主一备式，通过 ACT-200 自动诊断、自动切换的通讯器。存储在 C-200 中的数据通过两台 VDC-200 显示在各自 CRT 生产工艺画面和控制组中。现场操作员通过工业键盘上的按键发出操作命令，这些操作指令通过 VDC-200 传至 C-200 中，由 C-200 再传送到对应的 MICON P-200 控制器和 HIMA PLC 中，以完成对现场设备的实时控制。该装置工艺及控制技术水平在当时均是很先进，随着时间的推移和技术的发展，经过近 20 年的生产运行，部分设备老化，故障较多，特别是自动化控制系统和电控系统在长期运行中部分元器件老化，且制造厂商对原产品进行了升级换代，原系统器件的备件已停止供应，给连续生产带来了很大威胁，对控制系统进行改造是势在必行的。同时从该机组工艺设备现状分析，主体设备还处于较完好、工艺技术仍然较先进、运行的安全可靠性较好、能耗水平较低，且首钢生产用气量较大，新上一套大型机组投资很大且周期较长，经分析对该机组局部进行技术改造后能够达到稳定运行的效果，投资少且改造周期短等优点，综合上述特点，在综合研究分析后实施该套装置自动控制系统的改造。

第三章 制氧控制系统构建

3.1 改造前的控制系统基本情况

在第二章中已提到三万制氧机是首钢公司 1988 年投入运行的全引进项目，主体生产工艺设备及自动化控制集成由德国林德公司提供。下面简单介绍一下原系统控制设备结构及存在的问题。

3.1.1 原系统控制设备介绍

(1) 概述

三万制氧机控制系统是采用 DCS (见图 3.1)。系统的结构可分为两级：过程级和监控级。

过程级的主要设备有：MICON 过程控制站、MICON 数据采集器和 HIMA 可编程控制器(PLC)。这些设备的主要作用是采集工艺设备的状态参数和进行过程控制，包括：自动调节、顺序控制、连锁控制等。

监控级的主要设备有：MICON 通讯控制器、MICON 通讯适配器、CRT、操作键盘、监视控制器、打印机和多笔记录仪等。这些设备的主要作用是监视工艺流程，并通过键盘修改控制参数和状态，这些修改是经过过程级完成的。

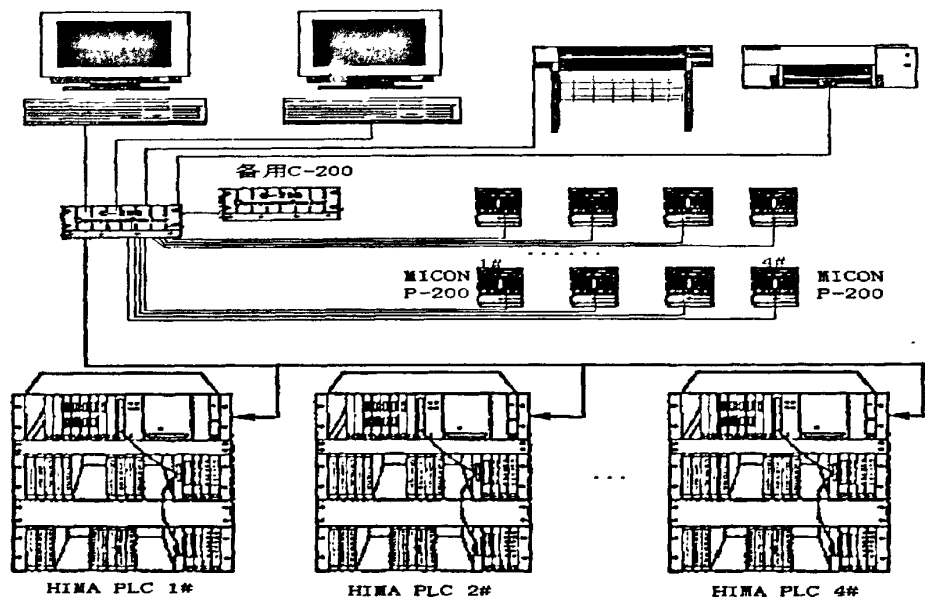


图 3.1 原 MICON 控制系统结构图
Fig.3.1 Old control system MICON structure chart
三万制氧机控制系统分为两大部分：一部分是以顺控为主的 ESD 设备，主要包括

空压机、氧压机、氮压机、分子筛，它们的控制采用德国 HIMA 公司 H50 系列可编程安全停车联锁 PLC 系统；另一部分就是仪控为主的设备，主要是空分系统，是制氧机的核心设备，控制系统最为复杂，控制器采用当时比较先进的 MICON P-200 回路控制器进行控制，共有 17 台 MICON P-200 智能控制器设备对空分系统所有模拟量点，开关量点及调节阀等装置进行监测与控制。MICON P-200 控制器和 PLC 的数据通过 ACT-200 适配器传送至 C-200 通讯器，C-200 为一主一备式，通过 ACT-200 自动诊断、自动切换的通讯器，存储在 C-200 中的数据通过两台 VDC-200 显示在各自 CRT 生产工艺画面和控制组中实现显示和监控。在对现场设备实施控制时，现场操作员通过工业键盘上的按键发出操作命令，这些操作指令通过 VDC-200 传至 C-200 中，由 C-200 再传送到对应的 MICON P-200 控制器和 HIMA PLC 中，以完成对现场设备的实时控制。各控制装置虽各自独立进行系统检测和控制，而整个三万制氧机控制系统在一个中央控制室进行集中监控，各系统控制信息的传输是通过网络连接实现通讯，这样构成了一个完整的 DCS。

(2) MICON 控制器

MICON 控制器是带有微处理器的智能控制器，它可以看成是一个 8 回路控制器，它是 MICON 控制系统的核心。它的主要技术指标如下：

- 模拟量输入(AI): 16 路，电流 4~20mA 或电压 0/1~5V 或 0.25~1V
- 模拟量输出(AO): 8 路，电流 4~20mA
- 开关量输入(DI): 16 路，内部供电
- 开关量输出(DO): 8 路，外部供电 24VDC

为保障系统的稳定运行，MICON 系统在控制器一级采用冗余设计，一个冗余的控制器在主 MICON 控制器故障时，及时将这个 MICON 的内存内容装入自己的内存，然后接替这个有故障的 MICON 工作，由于这个切换过程十分短，所以不会对过程控制产生影响。冗余的 MICON 控制器与主 MICON 控制器在结构上是完全一致的，只是它不用配端子板。为了接冗余 MICON，必须加端子板适配器，它也是带微处理器的智能设备，它的功能是用来切换 MICON 控制器和传送内存内容。适配器有两种，一种是模拟量适配器，一种是开关量适配器，在冗余系统中，这两种适配器都是不能缺少的。一台冗余的控制器可以为 8 台在线的控制作备用，任何一台故障时，它都可以代替。

MICON 控制器既作为一台独立的控制器，也与其它设备相连，组成联机系统。这种联系是通过横向和纵向通讯完成的，横向通讯是指 MICON 控制器之间的通讯，它采用 RS-232 接口，相互通讯的 MICON 控制器最多可达 8 台，这 8 台控制器之间可以交换信息，组成各种复杂系统。纵向通讯是指控制器与上级系统中的 C-200 信息通讯。总之，MICON 控制器对生产过程进行过程控制外，还具有顺序处理和批量处理等复杂控

制功能,满足制氧工艺生产的需要。

3.1.2 原系统存在的问题

首钢三万制氧设备于 1988 年投产以来,没有进行过大的设备改造与革新,设备问题与安全生产问题逐渐暴露出来,存在的主要问题包括:

(1) 控制系统运行的稳定性较差,故障频繁,给连续安全生产带来不利的影响,无法适应现代化企业的生产组织与管理。

(2) 部分控制设备已经损坏,如:VDC-200 两台中已损坏一台,上位机磁盘驱动器已损坏,备用 C-200 中已经损坏两块接口板。虽然此前对上位系统进行过改造,但未解决 MICON 控制器的运行稳定性问题。

(3) 原有控制设备生产厂家对八十年代生产的产品已经不再提供产品支持,使已经损坏的设备无法购买到备件进行更新,部分损坏的设备只能依靠公司及国内有技术优势的厂商协同维修以维持生产,但部分设备备件已无法保障。

3.2 新系统的要求

根据原系统存在的问题,要求所有的设备改造在有效解决当前设备隐患的同时,最大限度地节省设备的投资,以公司内部自我开发为主,并承担全系统的攻关改造建设工作,为节约时间、资金,集中技术力量,达到高效和成功。所以整个设备系统改造要遵循以下几个要求:

(1) 保留空压机、氧压机、氮压机、分子筛现有 4 套 HIMA PLC 系统及其附属设备。

(2) 改造范围以中心控制室内端子柜为界,端子柜、控制柜至上位系统包含通讯系统全部改造,端子柜至现场仪表的前段部分保留。

(3) 采用新的 DCS 系统替代原有 17 台 MICON 智能控制器及其附属设备系统(包括后备电源供应系统)。

(4) 新的网络通讯系统要能够实现与保留的 HIMA PLC 系统完全有效的数据通讯并不影响保留设备的安全稳定运行。

(5) 为达到原系统平稳过渡到新系统,并减少操作人员再学习理解的难度,选用新系统从控制元件的响应速度、稳定性、系统的维护、操作监控、扩展等方面要达到操作的可互换性、易用性、实用性、先进性、易维护性等要求。

3.3 典型控制系统介绍

通过对原控制系统分析,三万制氧设备有 70 余个自动调节回路和大量连锁控制系统,这说明该套设备有很高的自动化水平。下面就几个典型控制进行介绍:

(1) 精氩塔控制回路

精氩塔的作用是将已除去氧气的粗氩气进行进一步精馏,以除去其氢气和氮气。此塔可以分为三个部分:下部用于将氢气分离出来。中部用于将氮气分离出来,上部是一个冷凝器,为塔提供冷源。

该塔的控制流程图见图 3.2,一共有三个调节回路。

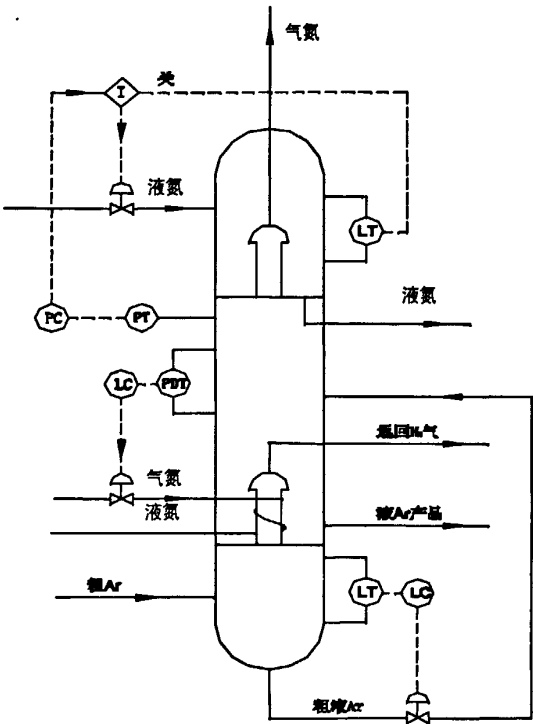


图 3.2 精氩塔控制流程图

Fig.3.2 The control flow diagram of fine argon tower.

(a) 下塔液位调节系统。这是一个简单的调节系统,它采用调节塔下部排出液体的流量来控制液位。

(b) 塔中部差压调节系统。这也是一个单回路调节。它用调节塔的蒸发器热源流量来控制中部液位的蒸发速度。

(c) 塔中部压力调节系统。精馏塔的压力是一个很重要的参数。精馏效果的好坏,很大一部取决于精馏塔的压力。这个塔采用调节冷凝器冷量流量的方法来控制增压。除此以外,当冷凝器液位过高时,则关闭冷源调节阀,所以这是一个带有连锁控制的单回路调节系统。

(2) 氧气产品控制系统

氧产品的控制包括:送入管网的氧气压力、出冷箱的氧气流量及氧压机出口氧气压力,以及氧压机安全控制,这几个参数都十分重要。控制流程图见图 3.3。

(a) 氧气压力控制系统

为了保证氧气压力的稳定和满足炼钢吹氧转炉的断续供氧工艺的需要,三万制氧设

备配有两个 400Nm³ 球罐。为了节约能源，在球罐与氧压机出口之间加一个逆止阀，并且氧气压力调节器控制两组调节阀 PV1503B、PV1503C 和 PV1503A(该两组阀并联)。

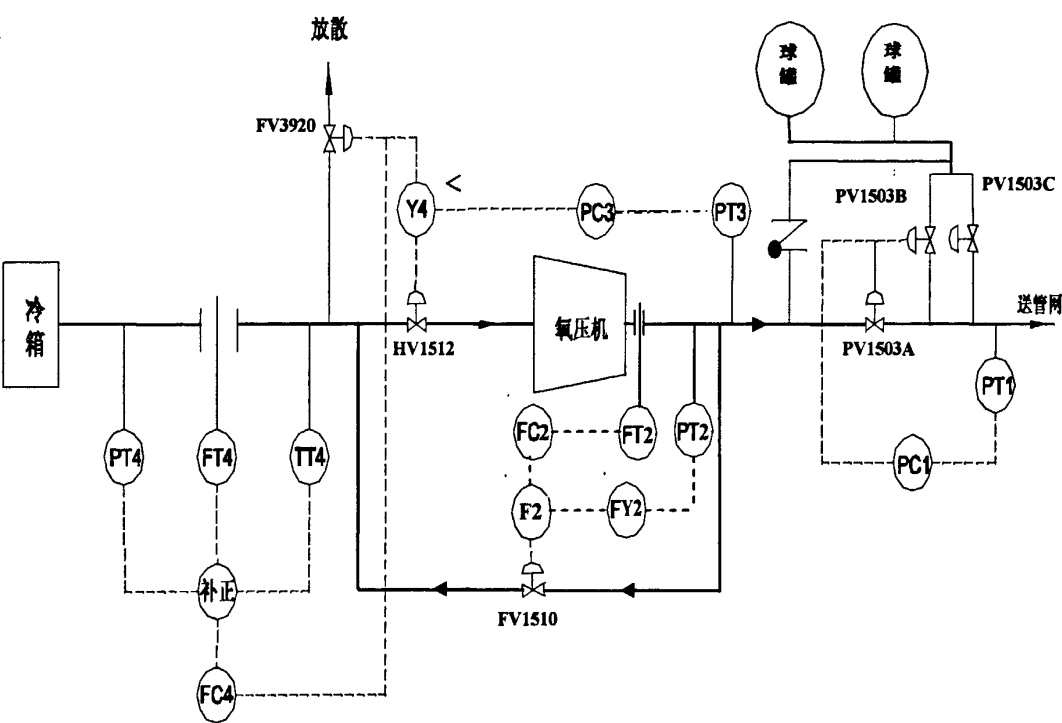


图 3.3 氧产品控制流程图

Fig.3.3 The control flow diagram of oxygen production

在一般的氧气压力调节系统中，由于没有逆止阀，氧压机出口压力与球罐压力基本相同，为节能起见，在球罐前加一逆止阀。氧压机出口压力的变化情况为：当炼钢转炉停止吹炼时，氧压机出来的氧气送入球罐，氧压机出口压力不断上升，球罐贮存的氧气增加达到氧压机出口设定的压力值。当转炉开始吹炼后，氧压机后的氧气压力(冶炼氧压设定为 1.6Mpa)直接送出，不是部分由球罐经减压阀后送管网，当用氧量小于生产量时，球罐压力虽然高于 1.6Mpa，因有逆止阀的作用不会因克服球罐压力将氧气压入球罐而迫使氧压机升压，当用氧量大于氧气生产量，球罐中贮存的氧气不断补充入管网，氧压机的出口压力也从最高峰开始慢慢下降，直到转炉停止吹炼前，下降到最低点。

在这个控制系统设计中，由于有了逆止阀和 PV1503B、PV1503C 和 PV1503A 三只调节阀的分程调节，使氧压机出口压力在吹炼时迅速降低，而达到节约能源的效果。控制过程如下：三只调节阀的启闭依据管网压力变化控制，由一个调节器实现分程调节动作，当转炉开始吹炼时，管网压力低于设定值时调节器分程设定 0%~70% 执行 PV1503A 阀开启，这时 PV1503B 阀、PV1503C 阀全关，此时由于生产的氧气小于用氧量，PV1503A 阀迅速打开，PV1503B、PV1503C 阀全关，此时球罐不能向管网补充氧气，造成氧压机出口的氧气压力近似等于管网压力；如果 PV1503A 阀全开启后管网压

力仍低于设定值，则调节器分程控制 70%~100% 执行 PV1503B 阀、PV1503C 阀逐步开启满足管网用气压力，球罐向管网补充氧气，所以在整个吹炼时间内，氧压机出口压力都是比较低的。生产压力高的氧气比生产压力低的氧气需要多消耗电能，所以这种方法可以大量节约电能。

氧气压力变化曲线见图 3.4。

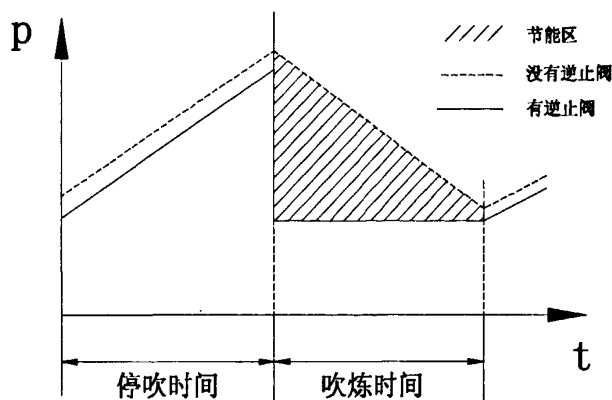


图 3.4 氧压机出口压力曲线

Fig.3.4 The curve of oxygen compressor outlet pressure

(b) 制氧空分冷箱送出氧气量调节

由于炼钢工艺的特点，氧压机的出口流量波动很大，为了保证制氧空分的生产工艺过程稳定，必须控制空分冷箱的送出氧量，保持其稳定运行。

在这个系统中，HV1512 阀和 FV3920 阀也是分程调节的。即当 HV1512 阀全开时，FV3920 阀才开始打开。当冷箱氧气流量小于设定值时，为保持空分工况运行的稳定，使 HV1512 阀不断开大，当 HV1512 阀全开时，FV3920 阀开始打开，多余的氧气被放散掉。当氧气流量大于设定值时，FV3920 阀首先关闭，完全关闭后 HV1512 阀才开始关闭，这样达到减少氧压机的抽气量，保证空分工况的稳定。

(c) 氧压机出口压力调节

为了保证氧压机的安全生产，氧压机的出口压力不能太高，完成这个任务是靠 Y₄ 选择器的选小作用来执行的。正常运行状况氧压机出口压力低于危险值，PC₃ 的信号大于 FC₄ 的信号，HV1512 受流量控制。当氧压机出口压力过高时，PC₃ 的信号减小，当小于 FC₄ 的信号时，HV1512 受氧压机出口压力控制大小，使氧压机出口压力降回到安全的数值，确保氧压机的安全运行。

(d) 氧压机安全防喘振控制系统

氧压机在正常情况下，压缩机的起振是因负荷减少压力升高，也即压缩机出口压力调节仍然不能使压缩机降回到安全值运行时，被输送的气体流量小于该工况特性曲线的喘振点流量所致。因此，为保证压缩机的安全，采取部分打开 FV1510 阀，进行回流使之适应低负荷的要求，满足压缩机的流量大于最小极限值的需要。具体控制是从压缩机

出口后取压力 PT_2 和流量 FT_2 信号经变换后输入防喘振调节器内运算比较，如果调节器的测量值恒大于给定值，而回流阀 FV1510 阀是气关阀，则输出具有最大值时，使阀关闭，此时压缩机处于正常运行状态。如果调节器的测量值恒小于给定值，则根据输出值使回流阀 FV1510 阀打开到一定大小，此时压缩机出口气体经旁路换回到压缩机入口，使压缩机的排气量增大以防止压缩机进入喘振区域，达到安全保护的目的。

(3) 空气膨胀系统中增压机防喘振控制系统

三万制氧设备中，空压机、氧压机、氮压机、增压机、粗 Ar 压缩机都有防喘振控制系统，下面再对增压机的防喘振控制系统介绍一下。

这套制氧设备采用膨胀机—增压机流程。增压机为轴流式风机，是典型的离心式压缩机设备，这类设备在一定的出口压力下，如果流量过小，将会出现反流现象，造成风机振动，设备损坏，这种现象称为喘振，所以为了保证设备安全，必须设置防喘振控制系统。

增压机的防喘振原理是当气体流量过小时，打开增压机出、入口之间的管道回路阀，将出口空气部分送回入口，增加压缩机入口气体流量，防止喘振发生。

该控制系统的功能方框图见图 3.5。

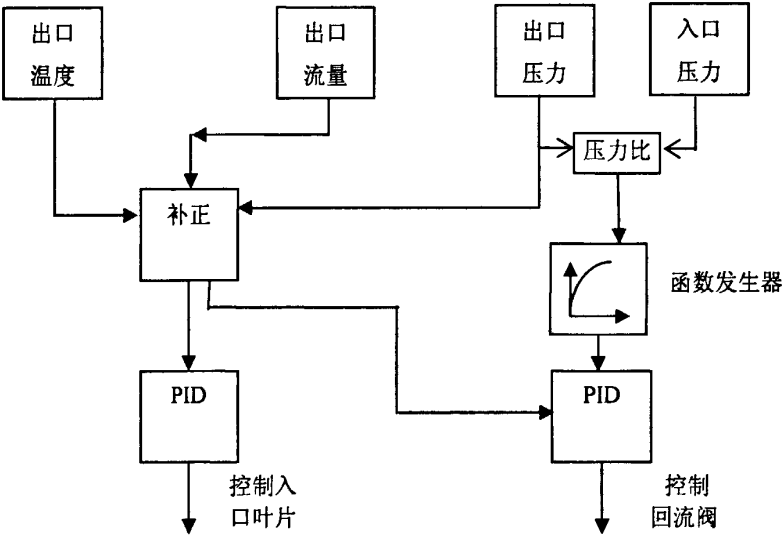


图 3.5 增压机防喘振调节框图

Fig.3.5 The adjustment diagram of booster compressor anti-surge

该控制系统的原理是：首先计算增压机的出口测量压力与入口测量压力比值，经过一个防喘控制用函数运算器，通过计算的输出值作为防喘调节器设定值，然后与出口测量的经温度压力补正后的流量实际值比较。在正常生产时，实际值始终大于设定值，回流阀关闭。一旦出现实际小于设定值时，迅速打开回路阀，以保证设备不发生喘振。另外通过增压机的流量值输入 PID 调节器控制入口叶片的开度。

(4) 负荷控制系统 (LCS)

根据用户的用氧情况，及时调整制氧机的氧气产量，减少放散量，对于节约能源具有十分重要的意义。由于制氧机生产设备多，工艺比较复杂，人工调整负荷是比较困难的，所以该系统设计了自动负荷控制系统 (LCS)。

三万制氧设备采用自动跟踪用户用量的方法调整负荷，因此，可以节约大量能源。LCS 系统的框图见图 3.6。

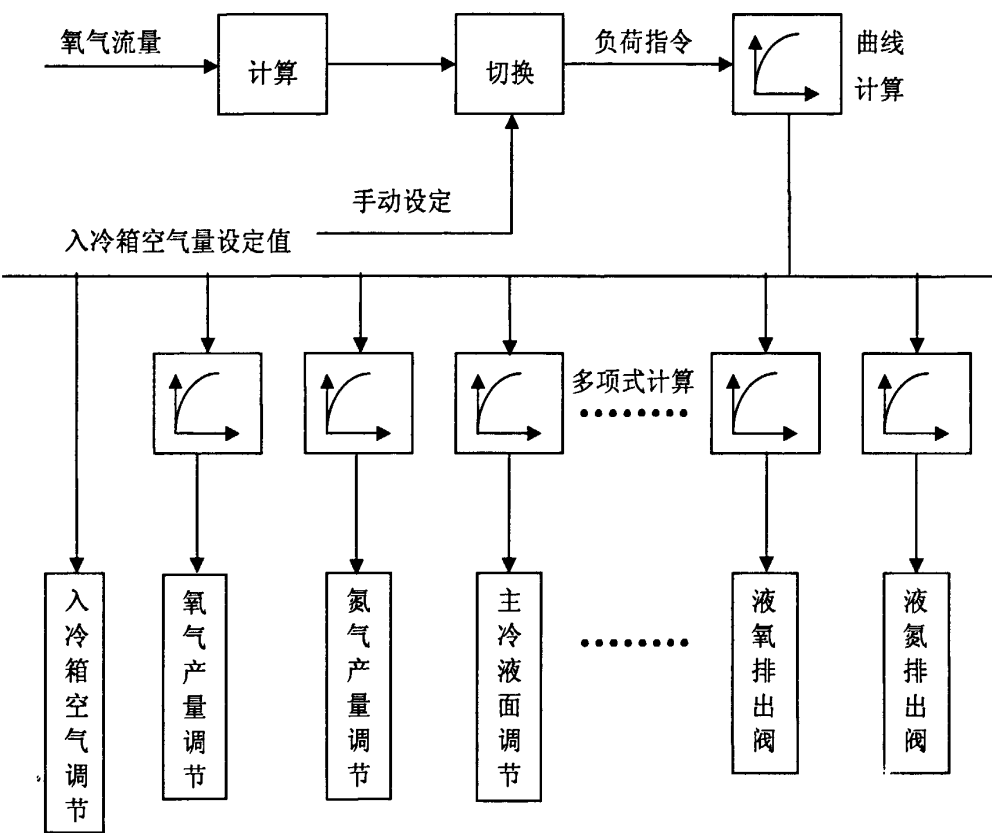


图 3.6 负荷控制系统图
Fig.3.6 The load control system diagram

这个系统的基本原理是：首先根据用户的用气情况(用氧的情况)计算出合理的氧气产量，作为负荷指令。另外这个负荷指令也可以人工设定，有一个切换开关用来决定是自动设定还是人工设定。根据负荷指令，计算机算出冷箱需要的空气量，作为入冷箱空气量调节系统的设定值，再根据这个空气设定值，计算机分别修改其它 14 个调节回路的设定值和 3 个阀门的开度，以使工艺生产过程在新负荷下保持物料和冷量的平衡，平稳而迅速地改变负荷。

这些一起改变设定值的调节系统包括：氧气产量调节、氮气产量调节、污氮产量调节、主冷液面调节、膨胀机空气流量调节等。

负荷调节系统还有下列特点：

(a) 为了操作方便，LCS 系统设有两个软开关用键盘操作程序的开关，一个用于将系统所有调节回路一起切换到串级状态直接控制阀门的切换到自动，另一个用于将全系

统解列。

(b) 为了保证工艺过程的平稳变化, 每一个系统都加了不同常数的速度限制器, 用于限制设定信号的改变速度。

(c) 系统中加了大量连锁功能, 只要有一个分系统在 LCS 系统投入的情况下, 退出系统(如人工打成手动状态), 则其它系统全部退出, 或者有一个系统出现偏差值报警, 则整体系统解列。

(d) 在 LCS 系统准备投入时, 所有原设定值与 LCS 系统的设定值的差必须小于某一个规定值, 否则 LCS 系统因有连锁功能而不能投入。在 CRT 的流量图画面上有两幅画面就是专门用于监视和操作 LCS 系统的。

从以上可以看出, 如果用常规仪表系统是不可能完成像 LCS 系统这样有大量计算和连锁功能的系统。所以, LCS 系统充分体现了计算机系统的优越性。

(5) 空气压缩机与其它设备的连锁

作为一个典型的连锁控制系统, 下面重点介绍一下空气压缩机与其它设备的联系。

空气压缩机是制氧工艺设备中的一个关键设备, 当空压机事故停机时, 整个工艺过程就会因冷箱没有原料而混乱, 为了保证其它设备的安全和便于在短时间内恢复生产, 空压机与其它设备之间必须有连锁控制。

在生产时, 如果空压机突然故障停机, 则有以下自动连锁动作:

(a) 氧压机自动停车。

(b) 氮压机自动停车。

(c) 粗 Ar 压缩机自动停车。

(d) 分子筛与冷箱之间的空气阀关闭, 防止空分冷箱内的空气倒流至空压机和分子筛内。

(e) 液氧排出阀关闭, 不再生产液氧。

(f) 液氮排出阀关闭。

(g) 分子筛系统停步, 停止分子筛进行再生和切换。

(h) 预冷系统的所有水泵停泵。

(i) 液氧泵自动投入, 通过水浴蒸汽器将液氧蒸发成气氧向管网输送。

(j) 液氮泵自动启动, 通过水浴蒸汽器将液氮蒸发成气氮向管网输送。

3.4 原控制系统的消化研究

为了确保改造成功, 必须要对原控制系统进行消化。首先从消化制氧机组工艺和原 P-200 控制程序入手, 通过阅读消化制氧工艺流程图和解读 P-200 控制程序, 全面掌握制氧机工艺控制思想, 提取各种重要监视和控制参数, 确定有效控制回路, 理清各设备

间存在的连锁关系以及各设备在保护时的安全状态等,形成新系统集成所需的 I/O 点清单、符合 IEC61131.3 标准的制氧机组工艺控制功能规格图(控制功能图)。经同原林德公司 DCS 技术专家交流,认为我们对系统控制思想的把握是正确的,所完成的新控制功能图符合该三万制氧机的生产工艺要求,这标志着我们对三万制氧机原控制系统消化解读是成功的。

3.4.1 三万制氧机主要控制思想及其方法

经对原系统解读分析,该制氧机检测控制的 I/O 点(不含未改造的 HIMA PLC 控制部分)共有 596 点,其中 AI 285 点, AO 74 点, DI 174 点, DO 63 点,控制回路 74 套。另外通过同 4 套 HIMA 通讯的数据监控点 456 点。工艺主要环节包括空气压缩、压缩空气冷却(预冷)、压缩空气净化、压缩空气膨胀(含膨胀机和增压机)、热交换、膨胀空气精馏、粗氩精馏、稀有气体精馏、氧氮产品送出、液氧氮氩产品贮存等。涉及到的主要设备有:空压机、氧压机、氮压机、透平膨胀机、粗氩压缩机、氩氦压缩机、冷冻机、液氧泵、液氮泵、换热器、空分塔、氧蒸发器、粗氩塔、精氩塔、一氮塔、二氮塔、氦氮塔、空气分子筛、氩分子筛、氩氦分子筛、氧氮调压站、液氧氮氩罐区贮槽等,需要对这些设备的启停和生产过程中的压力、流量、温度、纯度等进行监控调节。

(1) 空气压缩、预冷及净化系统的控制

由于空气压缩机的主要控制在单独一套 HIMA 系统和智能防喘控制器中完成,分子筛系统控制也在单独一套 HIMA 系统中完成,DCS 只是通过同 HIMA 的通讯完成对这些系统运行状态的监视。所以,这部分 DCS 主要涉及预冷系统的控制,具体控制回路包括:

(a) 喷淋冷却器 E2416 底部液位调节 LIC2401(单回路)

(b) 喷淋冷却器 E2416 顶部液位调节 LIC2403(单回路)

(c) 蒸发冷却器 E2417 液位调节 LIC2411(单回路)

(d) 水泵连锁控制:冷却水泵 P2466A/B 一用一备,冷冻水泵 P2467A/B 一用一备。喷淋冷却器 E2416 底部液位过高($\geq 85\%$)或者空压机停连锁停冷却水泵;当蒸发冷却器 E2417 液位过低($\leq 30\%$)或者空压机停连锁停冷冻水泵。冷却水泵停时,泵出口阀 HV2421 连锁关闭;冷冻水泵停时冷冻机 K2476 连锁停。

分子筛系统预热环节的主要控制:

(a) 再生气蒸汽加热器液位调节 LIC2631(单回路)

(b) 再生气供气压力调节 PIC2610(单回路)

(c) 压缩空气流量调节 FIC2615(单回路),流量检测进行压力补正。

(d) 空分导入阀 HV2615 的控制:空压机停时或压缩空气温度高于 70 度时连锁关闭;

可以手动开关操作。

(2) 压缩空气膨胀系统中增压机防喘控制

来自分子筛净化后的压缩空气，一部分经过增压机增压后入板式换热器 E3116 冷却再进入膨胀机膨胀,之后经过膨胀换热器 E3320 进一步冷却,最后进入精馏塔上塔 T3212 底部，进行蒸馏。

前节初步介绍了增压机在对净化压缩空气增压时要对增压机进行防喘振控制，采用的控制方式是通过固定极限流量防喘振方案(恒流控制方式)，即用增压机入口压力 PI2615 同增压机出口压力 PI3405 之比值经过一个防喘控制用函数运算器，通过计算的输出值作为吸入量 FIC3405 调节回路的设定值，增压机工作流量接近喘振极限流量时打开旁通回流阀，防止喘振的发生。控制原理如图 3.7。

膨胀空气量根据负荷变化要求，通过调整膨胀机喷嘴开度，实现调节供给空分塔的膨胀空气量。

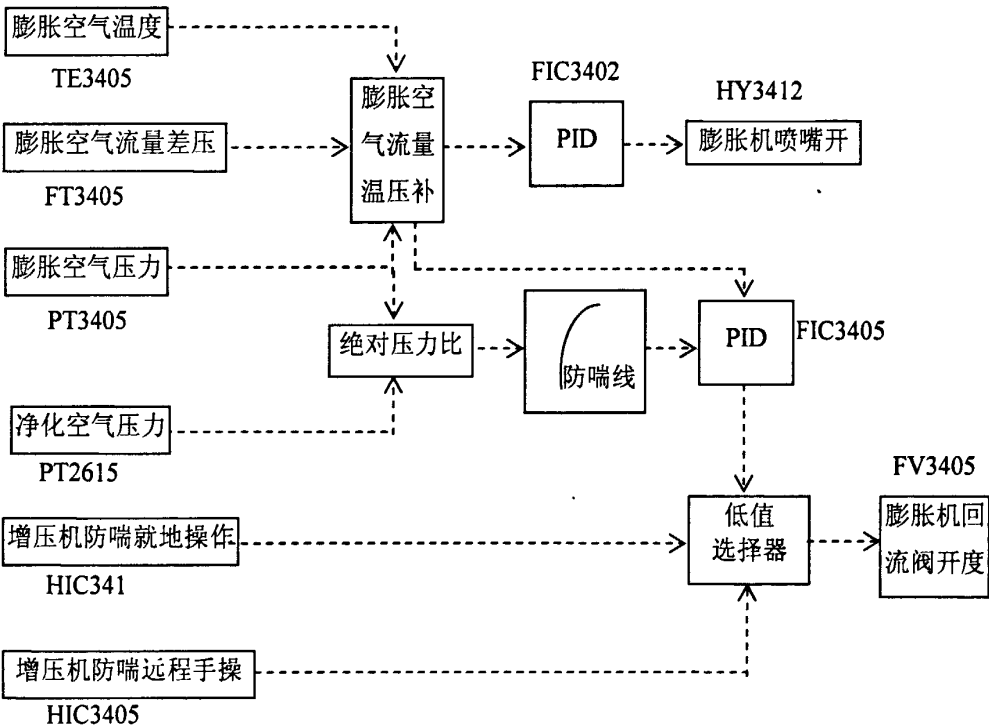


图 3.7 增压机防喘控制原理图

Fig.3.7 The schematic diagram of booster compressor anti-surge control

本套制氧机设有两台增压膨胀机组，采用一用一备的运行方式。设有转速高低、轴振、位移连锁停机保护控制。膨胀空气流量检测进行了温度压力补正。增压机入口叶片设有手动开关控制。

(3) 空分精馏控制

该部分主要设备有精馏塔上塔 T3212、下塔 T3211、主冷 E3216，氧蒸发器 T3217，膨胀换热器 E3320、过冷器 E3318A/B 等。主要控制项目：

- (a) 膨胀空气旁通量调节 FIC3210(单回路)
- (b) 氧蒸发器出口压力调节 PIC3206(单回路)
- (c) 氧蒸发器阻力调节 PDIC3282(单回路)
- (d) 氧蒸发器底部液位调节 LIC3282(单回路)
- (e) 精馏塔下主冷液位调节 LIC3211(单回路)
- (f) 精馏塔下塔液位调节 LIC3201(单回路)
- (g) 精馏塔上塔顶部压力调节 PIC3285(单回路)
- (h) 氧排液阀 HV3283 的控制, 手动控制, 当送出氧流量过低时连锁关闭
- (i) 液氮取出阀 HV3207 控制, 手动控制, 当氮气产品纯度不达标时或空压机停时连锁关闭。

(4) 氧氮产品送出控制

由氧蒸发塔 T3217 蒸发产出的氧气产品经过 E3116 换热器后再由氧压机压缩后送出; 由精馏塔上塔 T3212 精馏产出的氮气产品经过 E3318 过冷器和 E3116 换热器后再由氮压机压缩后送出。主要控制项目:

(a) 氧气产量调节 FIC3920: 氧气流量检测经温度压力补正后做为调节回路反馈, 调节输出经分程计算后分别输出给放空阀 FV3920 和氧压机入口阀 HV1512, 其中输出给 HV1512 阀的信号要同安全设定值进行中值选择, 之后作为远程手操器 HIC3920 的设定值, HIC3920 的输出再同氧压机出口压力调节 PIC1501 的输出进行低值选择, 最后输出到 HV1512。

(b) 氧气放空量调节 FIC4920: 精馏塔上塔 T3212 底部引出的氩原料气中氧含量 AIC4110 控制在 90% 的要求, 对放空氧气量进行调节, 即构成串级调节。如果氧含量 AI4110 高了, 调节阀 FV4920 开大, 反之关小。AIC4110 若能控制在 90%, 则就可以保证氧产品纯度 AI3920 达到 99.6%。

(c) 氮气产量调节 FIC3930: 氮气流量检测经温度压力补正后作为调节回路反馈, 调节输出经分程计算后分别输出给放空阀 FV3930 和氮压机入口导叶 HY1712, 其中输出给 HY1712 的信号要经过同安全设定值进行中值选择, 之后作为远程手操器 HIC3930 的设定值, HIC3930 的输出再同氮压机出口压力调节 PIC1701 的输出进行低值选择, 最后输出到 HY1712。当氮气流量低于安全连锁值 FSL3930 时, 连锁打开氮压机回流旁通阀 FV1710, 防止因流量过低造成氮压机喘振。

(d) 氮气去氮冷塔 E2417 流量调节 FIC3935(单回路)。

(5) 空压机停时的连锁保护

空压机故障或正常停机时, 空分生产用原料气缺失, 会造成系统生产平衡被迫打破, 为了整个的系统安全, 更好更快恢复生产, 需要对系统各环节进行连锁保护控制, 使各

部分设备和系统工况处在比较安全的状态下，考虑实际由于氧压机停机自保氮气压力与液氮泵自动投入具有连锁控制，空压机停机对原连锁液氧、氮泵自动投入取消改为手动。

图 3.8 中所示为连锁控制逻辑原理图。

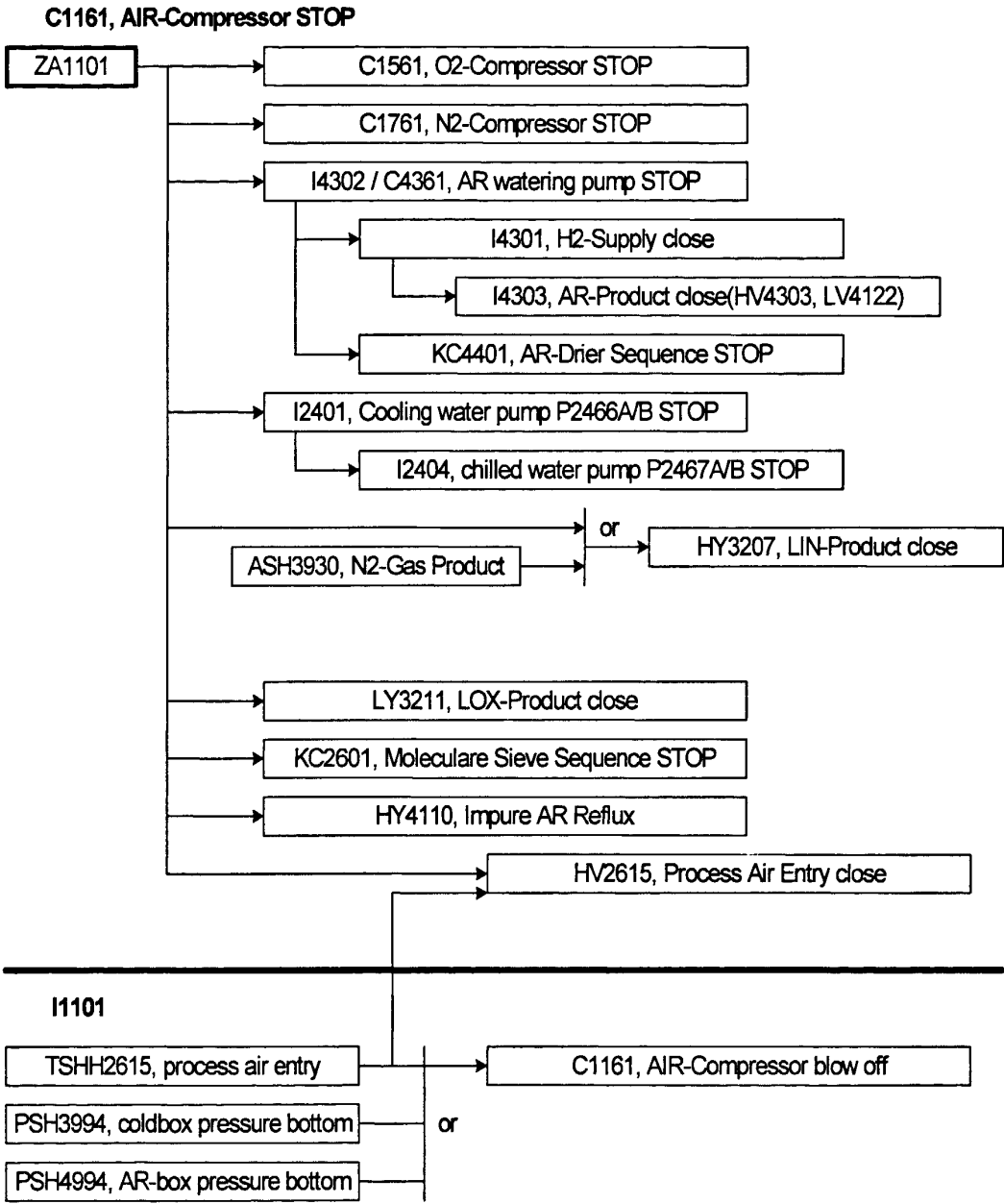


图 3.8 空气压缩机停机连锁控制原理图

Fig.3.8 The schematic diagram of air compressor off chain-control

(6) 稀有气体生产系统的控制

稀有气体生产主要包括氩生产、氮氩生产、氦氩生产等，主要控制项目有：

(a) 粗氩塔上塔液位调节 LIC4111(单回路)

(b) 粗氩塔冷凝器 E4116 去精馏塔上塔 T3212 液空流量调节 FIC4111(单回路),流量

检测要进行压力补正

(c) 精氩塔压力调节 PIC4123(单回路),当精氩塔上塔液位过高 LSH4123 时,连锁关闭 PV4123 阀

(d) 精氩塔上塔液位调节 LIC4123(单回路)。

(e) 精氩塔下塔液位调节 LIC4122(单回路)

(f) 精氩塔阻力调节 PDIC4122(单回路)

(g) 精氩塔底部液位调节 LIC4121(单回路)

(h) 粗氩压缩机入口温度调节 TIC4340(单回路)

(i) 粗氩压缩机入口流量调节 FIC4340,流量检测进行温度压力补正,调节输出经过分程计算后分别输出控制放空阀 FV4340 和回流阀 HV4340

(j) 工艺氩出分子筛后压力调节 PIC4303,调节输出经过分程计算后分别控制放空阀 PV4303 和精氩塔调节阀 HV4303

(k) 二道加氢流量调节 FIC4311(单回路)

(l) 精氩塔返回氢气压力调节 PIC4312(单回路)

(m) 一氮塔 T5111 底部液位调节 LIC5182(单回路)

(n) 二氮塔 T5112 底部液位调节 LIC5101(单回路)

(o) 二氮塔压力调节 PIC5102(单回路)

(p) 一氮塔 T5111 顶部蒸发空气量调节 FIC5182(单回路)

(q) 粗氮氩入 T5112 压力调节 PIC5923(单回路)

(r) 粗氮氩出 E5216 流量调节 FIC5216,调节输出经过分程计算后分别输出控制放空阀 FV5216 和回流阀 HV5216。

(s) 氮氩塔 T6111 底部液位调节 LIC6101(单回路)

(t) 氮氩塔 T6111 顶部冷凝器液位调节 LIC6102(单回路)

(u) 氮氩塔压力调节 PIC6101(单回路)

(v) 精馏塔下塔液氮含氧量调节 AIC3224,调节输出做为远程手动控制器 HIC6101 的串级设定,通过调整回流 T6111 液氮量实现。

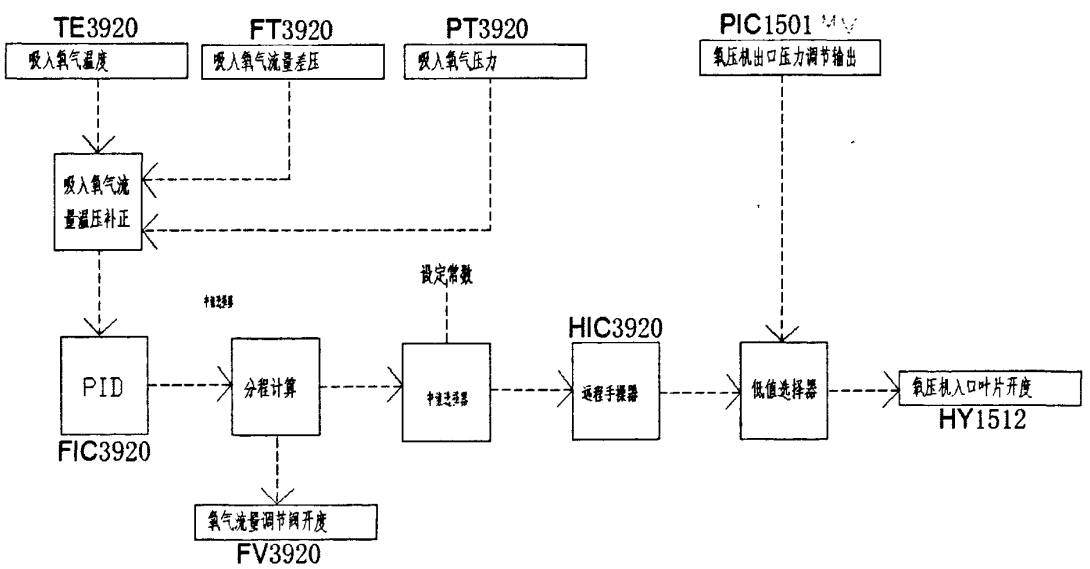
3.4.2 三万制氧机控制中的重点和难点

三万制氧机生产属于低温、高压、连续化工生产,系统存在着物料平衡、能量平衡以及安全等各种控制要求,在整个生产的监视和控制中,最重要的就是要采取合理有效的控制思想实现整个生产过程的稳定、连续、安全、优质。如增压机防喘控制、氧产品送出等分程选择性控制,氧产品纯度串级调节,空压机停机连锁控制等。前面对增压机防喘控制、氧产品纯度串级调节、空压机停机连锁控制等已经进行了详细说明,下面对分程控制和选择性分程控制给以详细说明。

三万制氧控制系统，通过灵活应用分程控制和选择性分程控制，很好地实现了空分工艺生产中的安全、稳定、连续及质量等要求。重点介绍几个控制回路：

(1) 在氧(氮)气产品送出环节采用了选择性分程控制

来自氧蒸发器、压力为 0.09MPa 的氧气产品送出时要经过氧压机压缩，使氧气在供用户使用的氧气保持在一定的压力下，进行输送。而用户用氧量是波动的，在用户用量很小时，氧压机出口压力会升高，关小氧压机入口阀可以将压力降下来，而关小氧压机入口阀，会使氧产品流量减少，在流量设定没改变的情况下，通过开大放散阀，使氧产品蒸发量保持稳定，氧压机出口压力调节器输出要同负荷变化对应的氧气送出量调节器输出进行低值选择来调节氧压机入口导叶的开度，而氧气送出量调节输出采用分程控制方式来实现(在之前已经论述过)。但是，按原设计控制思想实际运行效果不理想，满足不了运行要求，根据实际运行情况分析，提出了其分程调节范围与原设计中的分程控制范围有所改变，原设计为氧压机入口导叶 HV1512 是 0~71.4%对应 0~100%，调节器输出超过 71.4%时，放空阀 FV3920 才开始动作，对应的范围是 0~100%。而实际生产运行不能很好地稳定氧产品蒸发量，更改为在 FIC3920 输出在 0~28.6%范围内，放空阀 FV3920 是关闭的，只有当输出增加到超过 28.6%，放空阀 FV3920 才开始动作，对应范围是 0~100%；氧压机入口导叶 HV1512 是 0~71.4%对应 0~100%。如图 3.9 所示。



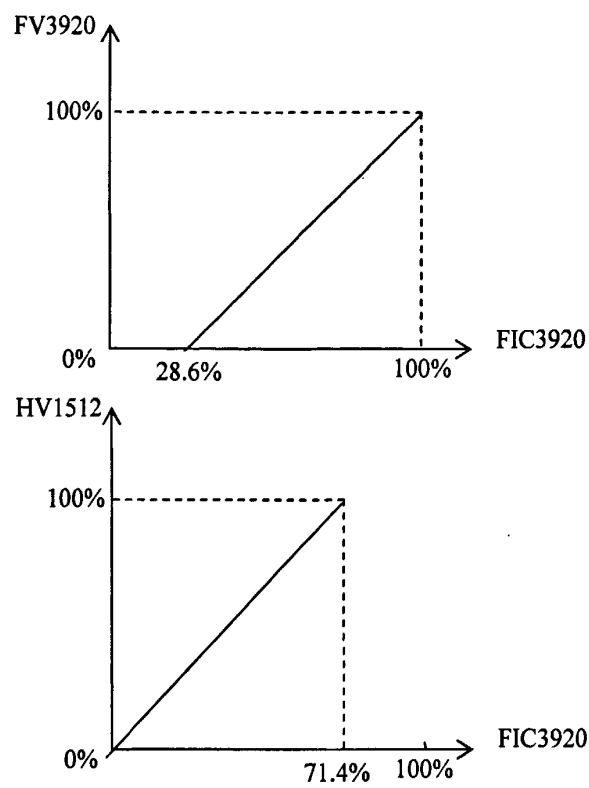


图 3.9 氧气压缩机吸入量选择性分程控制原理图

Fig.3.9 The schematic diagram of air compressor inhalation volume selective split control

氮气产品的送出环节采用了与氧气产品送出环节相同的控制方案，实现了机组安全控制和系统负荷调整自动控制的工艺要求。进入氮压机流量 FIC3930 控制输出为 0~16.67%范围内，放空阀 FV3930(气开阀)是关闭的，只有当输出增加到超过 16.67%，放空阀 FV3930 才开始动作，对应的动作范围是 0~100%；氮压机入口导叶 HV1712 是 0~83.33%对应 0~100% 。

(2) 粗氩压缩机吸入量分程控制

如图 3.10 所示，FV4340 为气开式的放空阀，HV4340 为气闭式的回流阀。根据负荷变化进行吸入量调节的调节器输出分程控制回流阀 HV4340 关闭后，再打开放空阀 FV4340，即在负荷逐步增加时，首先减少回流量，当减少到零时，回流阀全关，仍然超量，这时就会打开放空阀，通过这种分程控制方式，实现了在负荷变化时保证系统均衡安全的前提下，尽可能经济节约运行的控制思路。

类似的还有氮氩压缩机吸入量分程控制，净化后氩气压力分程控制等，但氮氩压缩机吸入量(FIC5216)分程控制 HV5216 回流阀和 FV5216 放空阀，回流阀的远程手操器 HIC5216 还带有连锁跟踪信号 I5205，I5205 是一综合连锁条件，即当粗氩压缩机停时，回流阀调节跟踪“0”，HV5216 回流阀关闭。

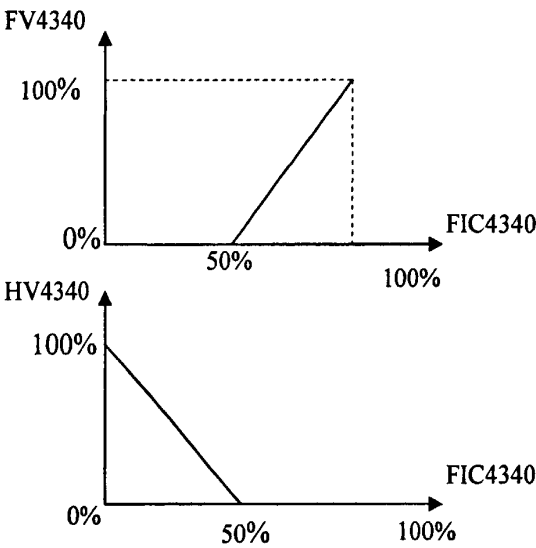
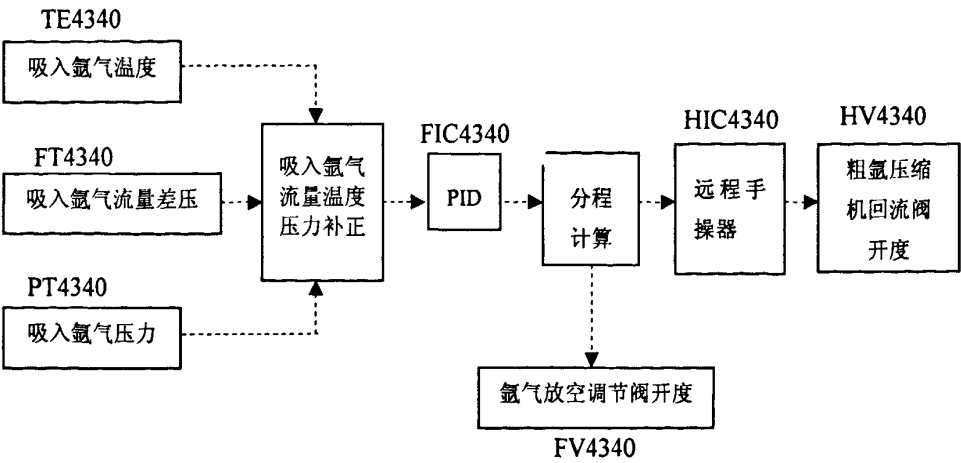


图 3.10 粗氩压缩机吸入量分程控制原理图

Fig.3.10 The schematic diagram of crude argon compressor inhalation volume split control

净化后氩气压力分程控制 PIC4303 的入氩精馏塔调节阀 HV4303 远程手操器 HIC4303 输出设有连锁跟踪 I4303，当净化氩中氧含量大于 1ppm 时、或者加氢除氧的氩气压力低于设定值、或者氩压缩机停时、或者除氧反应炉温度高出容许设定值时连锁跟踪“0”，使阀 HV4303 关闭。

3.5 新控制系统的建立

3.5.1 新控制系统的选型

根据目前国内外广泛应用于制氧机控制系统的 DCS 控制模型分析，DCS 系统是现时应用非常成熟的控制系统，各厂家在制氧机控制系统应用开发上只是微小差异，选择哪种方式需从用户的使用、性价比、可靠性、维护性等多方面对比而最终确定。该系统

主要依据从原系统的控制方式、规模分析后,采用目前应用成熟的一套 DCS 可以满足控制需求,本次改造在控制系统的选型上,我们综合了几种因素考虑,进行了可行性分析。

(1) 制氧生产属于化工生产,对控制系统的响应时间和速度要求不是主要的,主要的是 PID 运算的精度和模拟量复杂控制的功能性,所以 DCS 是首选。

(2) 在众多的 DCS 厂家中,横河公司 CS-3000 是一种性能优良,集成应用方便的 DCS,同时该系统提供多种同第三方产品进行通讯的解决方案,能够满足控制空压机、氧压机、氮压机、分子筛的 HIMA 与之进行数据交换的要求。

(3) 首钢氧气厂新投产的法液空三万五制氧机等 7 套现运行机组,其控制系统全部采用横河公司 CS-3000,方便了设备使用、操作、维护,且备件准备统一和经济,同时全部选用统一型号的产品,设备价格和服务上有一定优势。

对比以上因素,目前首钢氧气厂在用制氧机上使用的 DCS 都是采用横河公司 CS-3000 系统,从实际运行结果,该系统多重冗余设计运行非常稳定、使用维护方便、界面友好、可根据工艺的要求实现各种友好的控制监测画面、正常生产中可按需求在线修改组态、更好地服务于生产、具有良好扩展性并在国内外广泛应用等特点。综合考虑用户的实际应用状况和系统的性能,从操作、维护易用性、用户掌握熟悉更便捷、在管理以及备件的储备、设备价格较合理等方面因素对比后,最终选择采用与现有其他制氧机相同的控制系统即横河公司 CS-3000 系统。

横河公司 CS-3000(CS3000)DCS 系统具有以下几个显著特点^[21]:

(a) 监控点可以由多个操作员站(HIS)操作,每个 HIS 也可以同时操作多个监控点(可以是不同岗位的多个监控点)。

(b) CS3000 系统的处理能力非常强大,它可以处理 100,000tags(工位号)、2,500 幅画面(包括各种监控画面),每幅画面上可显示多达 400 个数据。

(c) 人机界面比较好。选用 Windows 2000/XP/NT 作为操作系统,采用 X-Windows(多画面)技术,类似一般的 PC 机。可根据工艺的要求,实现各种友好的控制监测画面。比如它可以用棒图动态显示数据的变化;采用颜色、闪烁、声音等手段提醒操作人员发生过程报警及高低级别;单点操作采用 Faceplate(面板)类似于常规仪表的柱状液晶显示,监视及操作较直观。

(d) CS3000 系统具有强大的数据处理能力,足以完成一般生产所需的数据运算、统计要求,并能对生产数据实时打印输出。

(e) 正常生产中可按需求在线修改组态,更好地服务于生产。

(f) 具有开放性、高可靠性、低功耗性、强抗干扰性和可扩展性。

(g) 虚拟测试功能:在 PC 机上建立一个虚拟的控制器,任何地方只要配备一台 PC

机,你就可以进行工程组态和测试功能,无需在实际控制站上运行,便可使用 PC 机对控制站进行模拟测试应用软件的正确性,在开车前可以模拟装置进行操作。

(h) 系统采用了智能 I/O 卡,使得 I/O 卡件品种减少,互换性增强。

3.5.2 控制系统硬件及网络结构

该控制系统硬件设计采用横河 CS3000 双重化配置:控制器冗余,电源模块冗余,通讯模块冗余,控制网络冗余,上位监控冗余。控制网络冗余采用 V-net 网络总线用于进行操作监视及信息交换的实时控制网络、ESB 总线(Extended Serial Backboard bus)用于控制站内中央主控制器 FCU 与本地 I/O 节点之间进行数据传输的双重化实时通讯总线、Ethernet 网用于操作站、工程师站及上位计算机之间信息数据的传输,数据及外设资源共享等三种控制网络系统。现场控制站(FCS)采用 CPU 冗余,ESB 冗余,电源冗余配置,设有一台操作员站(HIS)和一台操作员/工程师站(HIS/EWS),一台报警和报表打印机,一台彩色打印机用于画面和曲线打印。另外由于制氧生产过程对控制连续性要求很高,并且为了防止突然停电对生产造成的严重影响,所以系统采用双路供电系统同时还装设了不间断供电电源 UPS。

因空压机、氧压机、氮压机、分子筛控制原由 HIMA 控制,这次工程不对 HIMA 进行改造,所以要考虑 HIMA 的部分数据传送到中控室进行监控,选用了两块串口通讯模块 ALR121,共四通道完成同四台 HIMA 间 MODBUS 协议通讯。考虑到 HIMA 同 CS3000 间距离较远,在两者之间增加了四对 232/485 转换器。

本系统根据工艺要求设有 1 个控制站 FCS0101,该控制站带有 4 个 node(节点),安装于 1 个控制柜和 2 个扩展柜中;每个节点可带 8 个 Unit(卡件箱),根据实际 I/O 点配置卡件,卡件分连接型和端子型两种,连接型模件利用连接电缆(KS2 或 KS8)连接于端子柜中。三万制氧机新 DCS 系统结构示意图如图 3.11。

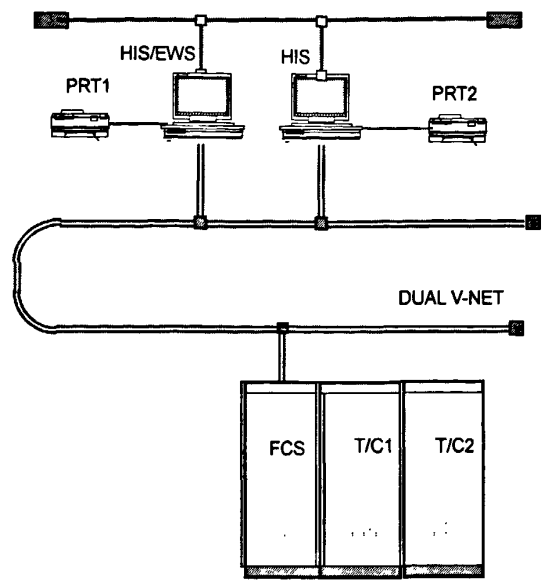


图 3.11 30000Nm³/h 空分 DCS 系统结构示意图
Fig.3.11 Schematic drawing of 30000Nm³/h air separation DCS System

3.5.3 控制系统软件

前面已提到 CS3000 系统中的操作站分为工程师站和操作员站，两者的区别主要在于 CS3000 系统软件部分不同，操作员站只具有操作监控功能，而工程师站除了有操作监控功能外，还具有系统组态功能^[22]。工程师站和操作员站的软件配置如表 3.1 所示。

表 3.1 系统主要软件配置
Table 3.1 System main software configuration

站类型	软件种类	软件名称
操作员站	操作系统	Windows 2000 SP2
	CS3000 系统软件	LHSM02 R3.06(只具有操作监控功能)
工程师站	操作系统	Windows 2000 SP2
	报表处理	Microsoft Excel 2003
	电子文档阅读	Adobe Acrobat Reader 6.0
	CS3000 系统软件	LHSM03 R3.06(具有系统组态功能)

该控制软件的特点是组态方便，功能性强，维护学习容易。下面谈一下现场控制站的软件系统。

3.5.3.1 现场控制站的软件结构

CS3000 系统的现场控制站具备各种数据点(模拟量输入、开关量输入、脉冲累计量输入)的采集，控制输出(模拟量输出、开关量输出)，自动控制(连续调节控制、顺序控制)以及网络通信功能，要实现这些功能需有一个完整的软件系统^[23]。现场控制站软件要求具有较高的可靠性和实时性，所以软件设计要求保证避免死机，并具有较高的抗干

扰能力和容错能力。现场控制站软件采用模块化设计,不用操作系统。一般分为执行代码和数据部分。执行代码部分是固化在 EPROM 中,数据部分则保留在 RAM 存储器中,系统复位或开机时,数据的初始值从网络上装入执行代码部分和随机执行部分^[24]。周期执行部分完成周期性的数据采集,转换处理,越限检查,控制算法的周期性运算等周期性的功能。现场控制站还有一些实时功能,如系统故障信号处理电源掉电、事件顺序信号处理、实时网络数据的接收等。

3.5.3.2 现场控制站的顺序控制

顺序控制是根据预定顺序逐步进行各阶段信息处理的控制方法,突出顺序或逻辑的作用。CS3000 系统利用顺序表来实现顺序控制功能,具有以下特点:

- (1) 利用顺序表来记录控制单元的顺序。
- (2) 顺序表可以按照思考的顺序来记述顺序控制的内容。
- (3) 规模的扩大和变更都很容易,顺序表可以作为顺序控制规则书来使用。
- (4) 顺控表元素模块丰富,包括各种计时器、计数器、内部开关等。
- (5) 模拟信号可以实现判断或连锁顺序等。
- (6) 可以与连续调节控制相结合,实现控制回路控制方式切换及定值的切换。
- (7) 配有根据控制顺序操作而动作的运算式以实现复杂的顺序控制功能。

工业自动化中顺序控制系统是以顺序控制为主的一类控制系统,按顺序切换的条件可分为时间顺序、逻辑顺序和条件顺序等三类^[25]。时间顺序控制系统以时间作为顺序的切换条件;逻辑顺序控制系统以逻辑先后次序作为顺序切换的条件;条件顺序控制系统以生产过程的条件为依据,当某条件满足时执行某命令和动作,该条件不满足时执行其他相关的命令或动作。顺序控制系统与连续生产过程中常规控制系统有所不同,在设计时根据顺序控制和过程特点遵循有关的原则。

(1) 紧急停车设计

顺序控制系统的紧急停车是指在顺序控制系统运行过程中,由于某些原因需要紧急停止系统的运行而设置的停车系统。顺序控制系统紧急停车是安全生产所必须的,在顺序控制系统设计时是必须考虑的。由于这类系统通常由一些过程步组成,因此根据顺序功能表图的设计思想,在每个过程步都有可能发生紧急停车的要求。为此,紧急停车的设计原则如下:

(a) 在每个过程步中都设置紧急停车的判别条件,以识别是否有紧急停车的操作要求。这表明在每个过程步的转换条件中都应设置紧急停车的信号按钮,当需紧急停车时能满足转换条件而进入紧急停车子程序。

(b) 紧急停车子程序使生产过程处于安全的操作条件:设计的紧急停车子程序与顺序控制系统停止运行的操作条件相一致。如紧急停车子程序的操作包括:关闭进气口和

出气口的控制阀，打开安全放空阀等。

(c) 对紧急停车按钮二次确认，防止误操作如对紧急停车和重要的设备运行和停止。这也是容错设计的重要内容。

(d) 为了保证安全，在一些重要的操作过程中，设计独立于 DCS 的紧急停车系统。从安全角度出发，设置独立的紧急停车系统就是设计与原顺序控制系统并行的硬件紧急停车系统。在顺序控制系统的紧急停车系统失效时，能通过该系统来停止系统的运行，防止事故的发生。

(2) 再启动系统的设计

为使顺序控制系统能在紧急停车后直接从紧急停车时的过程步重新开始执行，设计了再启动系统，它与紧急停车系统相互关联。如在反应过程中，由于某一阀门故障实施了紧急停车，但在故障排除后生产过程不应从头开始，通过再启动系统就可方便进入所需的操作状态。因此，在顺序控制系统的每个过程步设计从初始步到该步的转换条件是必要的。设计的转换条件可以是软按钮或开关，也可以用硬按钮或开关输入。在设计中考虑转换条件的正确性和合理性，如转换条件包含一些手动开关，以保证再启动系统能在手动状态进行。

(3) 连锁系统的设计

一般的连锁系统是指在连锁状态下系统达到某一条件时自动执行某一命令或动作，而在非连锁状态则不执行有关的命令或动作。如在压缩机润滑油系统油压低于设定的下限时，连锁状态能停压缩机，而非连锁状态下压缩机则不停。在顺序控制系统中的连锁系统则是指过程步的转换是自动进行还是手动进行。如当液位低到某一限值时，在连锁状态则自动进入下一个过程步，而非连锁状态则停在原过程步。因此为了使生产过程正常运行，设置了相应的连锁系统。通过与工艺技术人员共同确定连锁的条件，设计相应的连锁、非连锁开关信号和连锁、非连锁输出信号，还配有硬件的连锁系统以保证连锁的正常动作。连锁的先后次序、连锁的状态及它对顺序控制的影响等，均在操作画面上予以显示，重要的信号设有预警和报警，重要的操作有双重确认等。

第四章 系统工程组态实现

4.1 组态概述

在使用工控软件中,我们经常提到组态一词,组态英文是“Configuration”,其意义究竟是什么呢?简单的讲,组态就是用应用软件中提供的工具、方法、完成工程中某一具体任务的过程。

与硬件生产相对照,组态与组装类似。如要组装一台电脑,事先提供了各种型号的主板、机箱、电源、CPU、显示器、硬盘、光驱等,我们的工作就是用这些部件拼凑成自己需要的电脑。当然软件中的组态要比硬件的组装有更大的发挥空间,因为它一般要比硬件中的“部件”更多,而且每个“部件”都很灵活,因为软部件都有内部属性,通过改变属性可以改变其规格(如大小、性状、颜色等)。

在组态概念出现之前,要实现某一任务,都是通过编写程序(如使用 BASIC、C、FORTRAN 等)来实现的。编写程序不但工作量大、周期长,而且容易犯错误,不能保证工期。组态软件的出现,解决了这个问题。对于过去需要几个月的工作,通过组态几天就可以完成。组态软件是有专业性的,一种组态软件只能适合某种领域的应用。组态的概念最早出现在工业计算机控制中,如集散控制系统(DCS)组态,可编程控制器(PLC)梯形图组态。人机界面生成软件就叫工控组态软件。其实在其他行业也有组态的概念,人们只是不这么叫而已。如 AutoCAD、PhotoShop、办公软件 PowerPoint 都存在相似的操作,即用软件提供的工具来形成自己的作品,并以数据文件保存作品,而不是执行程序。组态形成的数据只有其制造工具或其他专用工具才能识别,但是不同之处在于,工业控制中形成的组态结果是用在实时监控的,组态工具的解释引擎,要根据这些组态结果实时运行。从表面上看,组态工具的运行程序就是执行自己特定的任务。

4.2 DCS 组态软件

过去的工业控制计算机系统的软件功能(如:实时数据库、历史数据库、数据点的生成、控制回路以及图形、报表功能的实现等)是靠软件人员通过编程实现的,工作量之大得惊人,而且这样设计出来的软件通用性极差。对于每个不同的应用对象都要重新设计或修改程序,用这种方法实现的软件功能可靠性也较低。在集散型控制系统中,有十分齐全的组态生成工具软件,这套组态软件的通用性很强,可以适应一大类的应用对象,且系统的执行代码部分固定不变为适应不同的应用对象只需改变数据实体包括图形文字、报表文件和控制回路文件等即可。这样,既大大提高了系统的成型速度,又保证了系统软件的成熟性和可靠性。横河公司 CENTUM CS3000 组态软件具有如图 4.1 所示的

组态功能。

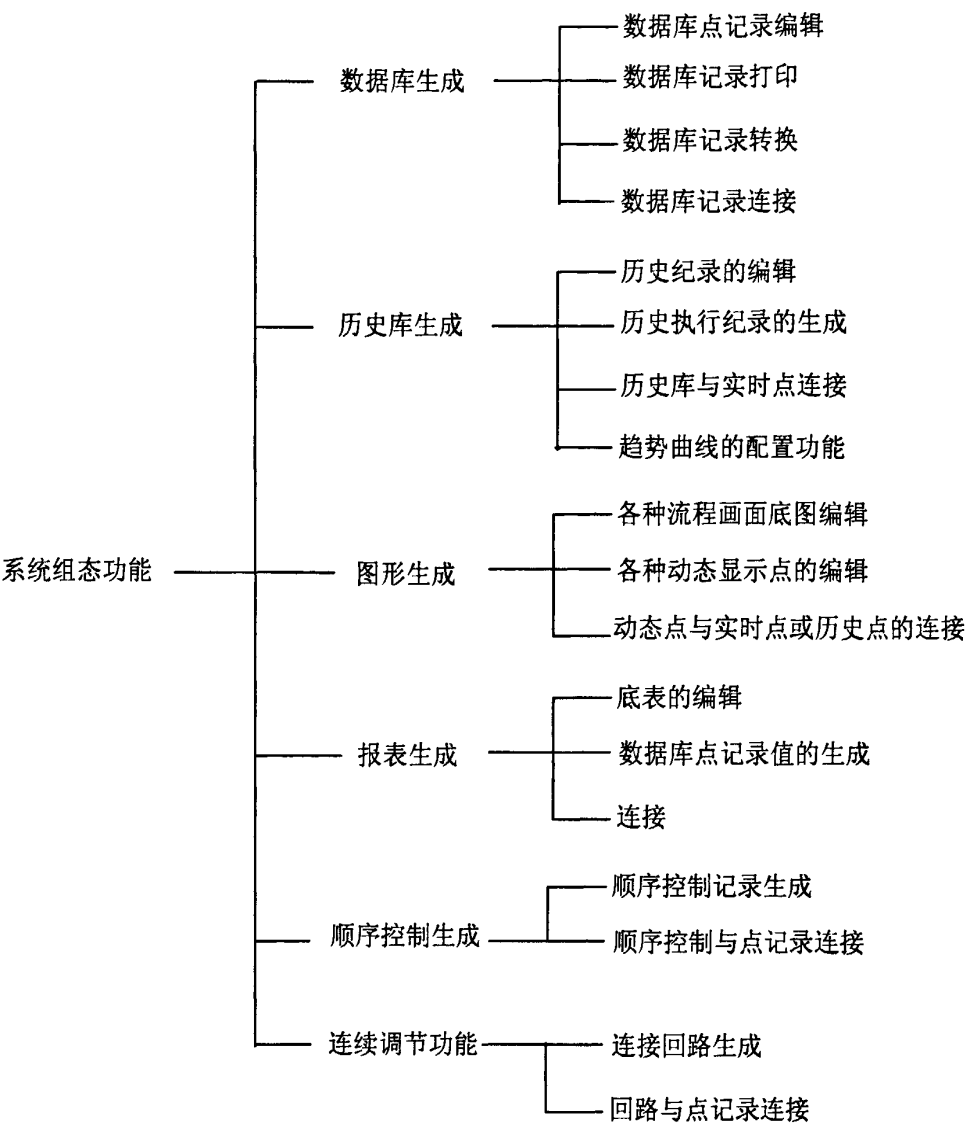


图 4.1 组态软件功能
Fig.4.1 Configuration software function

DCS 组态工作的内容包括 DCS 的系统组态; DCS 的控制组态; DCS 画面组态; DCS 维护组态^[26]。组态工作可在线也可以离线完成。

(1) DCS 系统组态

根据工程需求确定 DCS 的系统配置。DCS 的系统组态工作是为组成系统的各个装置、接插件和部件分配地址,建立相互的联系和设置标识符号。它包括硬件组态和软件组态两部分工作。软件组态是对各个部件的特性、标识、符号以及所安装的有关软件系统进行描述,建立它的数据连接关系。

(2) DCS 控制组态

DCS 的控制系统组态应用软件由制造厂商提供。DCS 的控制组态是应用组态软件

实施工程的控制方案。组态应用软件是一系列控制算法,提供各种功能模块。对控制方案的实施,由于组态人员的设想不同,所用的控制模块也不相同,因而控制效果也有较大区别,特别是控制方案比较复杂,例如:控制系统中的反馈控制和逻辑控制,模块的选择、参数整定和配置的合适程度等都会使控制质量有明显的变化。因此,为实现最佳控制,对控制组态特别重视。控制组态工作中功能模块的选用和控制方案的选用我们遵循下列原则:

- (a) 便于控制功能的扩充和修改;
- (b) 便于功能模块功能的发挥;
- (c) 尽量选用功能强的模块;
- (d) 控制方案的选择是在满足工艺需求的前提下,选择最简单的控制方案。

这里只是一个概述,下面还会单拿出一小节来讨论控制系统组态。

(3) DCS 画面组态

DCS 的画面组态主要包括过程流程图,过程控制图画面的设计、绘制、动态数据更新及动态调用。画面组态设计尽量便于操作,即设计时充分考虑了操作的方便,减少失误,使用户经过尽可能少的培训后,就能掌握图形绘制的方法,特别是在采用窗口技术的 DCS 系统中。由此,画面设计的重点是画面的构思、颜色的选择、数据显示方法等的设计。因此 DCS 画面组态的好坏直接影响操作人员的接受质量,因此必须特别重视。

过程流程图画面的设计与工艺流程有关,因为工艺流程图一般较大,所以过程流程图的设计是根据工艺流程图进行分散的,用若干个画面来代替整个工艺流程图。我们在充分了解工艺的前提下,广泛听取现场操作工人的意见,根据他们的操作习惯及工艺工程师的要求,设计制作了合理的过程流程图。

(4) DCS 维护组态

为方便掌握 DCS 的运行状态,及时发现和处理故障,对 DCS 进行维护组态。维护组态工作包括 DCS 系统运行状态显示,系统各组件或接插件的运行状态显示和系统网络运行显示等画面设计。

4.3 控制系统组态

4.3.1 现场控制站(FCS)

现场控制站(Field Control Station)简称 FCS, FCS 为 CS3000 提供过程控制功能,如反馈控制、顺序控制、批量控制及其它复杂控制等^[27]。它接受来自现场的各种信号并根据工艺设定条件和操作员站发出的指令完成对工业控制对象的过程控制,使整个生产过程被控制在最优化的状态下进行。

在上一章里我们已经介绍了现场控制站的一些软件结构和顺序控制,这里主要讲的

是它的一些组态功能。

(1) 标准控制功能

构成标准控制功能的基本元素称为功能块，每个功能块代表最小控制单元。一个控制系统可以由这些功能块自由组合。在标准控制功能中，提供各种各样的功能块，如常规控制功能块、顺序控制功能块、计算功能块等等，通过对功能块的组合可以实现各种简单的和复杂的控制功能。

(a) 功能块

一个功能块，即最小控制单元，根据来自输入端的输入信号，进行输入处理、控制运算及输出处理，然后由输出端输出操作运算的结果。这个过程是周期性进行的。

(b) 控制画面

一组由两个或更多功能块组成的控制称为控制画面，通过分组控制简化了系统的工程和维护工作，提高了系统工程和维护的效率，同样设备或过程监视也可用控制画面分组，常规和顺序控制功能块也能用一个控制画面表示。

(2) 通讯 I/O 功能

通讯 I/O 功能就是利用通讯模块与 PLC 或其他子系统的数据通讯。通讯模块安装在现场控制站的通讯 I/O 箱内，由通讯模块提供该标准控制功能。通讯时，将通讯程序下载到串口通讯模块 ALR121，ALR121 采用 RS-422/RS-485。

(3) 控制功能块类型

FCS 有各种各样的功能块，有些功能块(加法、减法等)只有单一功能，控制器、单元仪表等功能块具有多种功能，每一个功能块具有 I/O 数据、参数、方式和状态，完成独立的控制和计算处理功能。

(a) 反馈控制功能块

现场控制单元的反馈控制功能，具有以下特点：

- 能够对信号进行高精度线性化处理和高级补偿运算。
- 对全部控制点，使用上上限/下下限报警、上下限报警、偏差报警、变化率报警以及仪表异常的检测等丰富的标准报警检验功能。
- 可以利用报警动作，进行报警状态显示、报警器显示、信息打印和顺序控制功能的启动等。
- 能够简单地组成 PID 控制、比率控制、批量控制、开关控制、与信号选择单元自动选择和固定选择组合的控制、纯滞后时间补偿控制、使用超前滞后要素的前馈控制以及程序控制等高级控制回路。
- 因为具有利用常数切换开关等的切换功能和使用批量数据设定单元等的特性参数切换功能，所以能够根据过程状态和生产品种，变更控制特性。

- 控制方式的切换和控制回路的切换可以无扰动的进行。
- 容易变更回路的结合方式。
- 因为能够与顺序控制功能有机地结合，所以可实现更高级的反馈控制。

(b) 顺序控制功能块

由于前一章已经叙述了其特性，这里就不再赘述。

(c) 算术运算功能块

算术运算模块是常规控制的辅助功能块，在反馈控制内部仪表和顺序控制功能内部仪表进行各种补偿运算和算术运算时使用。在反馈控制功能中，可以进行各内部仪表的补偿运算或作为算术运算器(CALCU)使用，在顺序功能中，可以作为顺序用算术运算式使用。

算术运算式具有下列特点：

- 可以参照反馈控制内部仪表和顺序控制内部仪表的任意数据。
- 可以向反馈控制内部仪表和顺序控制内部仪表的任意数据代入数值。
- 能够使用算法语句进行条件判定。
- 利用由算法语句进行的条件判定，处理内部仪表的回路状态和报警状态。
- 具有 $\exp$ 、 $\log_{10}$ 、 $\log_e$ 、 $\sin$ 、 $\cos$ 等函数。
- 具有各种温度、压力补偿函数。

(d) 仪表面板功能块

仪表面板模块是一个人机界面，操作员通过它可以了解某一工位号的一组功能块的内容。用于常规控制的模拟面板被用来把多块控制回路集中为一个标号，而用于顺序控制的顺序面板，则被用来从人机接口站上按下按钮以显示和操作顺序过程，混合面板具有模拟和顺序的功能。

(e) 单元监督功能块

单元监督功能把过程设备组成一个单元，实现单元的操作和控制。

4.3.2 人机接口操作站(HIS)

CS3000 的人机接口站(Human Interface Station)简称 HIS，它与以前的操作站不同，它采用通用 PC 机作为人机接口站，以 Windows 2000 作为操作系统，是 HIS 具有开放的操作环境，同时将 DCS 的功能与 PC 机完美紧密的结合起来，使其不但具有操作、监视功能，同时还可以进行系统生成和维护的功能。

(1) HIS 的特点

CS3000 的人机接口操作站主要有以下几个特点：操作系统是 Windows 2000，界面友好，一般大家都比较熟悉，易学易懂；可以配置专用的操作员键盘，符合操作工的操作习惯。

作习惯；显示方式有传统的全屏方式和目前流行的多窗口显示方式，由操作人员根据自身的习惯随时切换选择；每个人机接口站都有 2,500 幅可以随意设计的窗口，如将现场的工艺装置流程作为流程图在 CRT 上显示，还可以自己设计控制组、总貌、趋势等画面；操作站还具有强有力的趋势记录功能，可以在 1s 采样实时趋势，还有长时间趋势记录；对各种窗口可以进行优化管理，而且系统为工厂提供了开放的环境；操作站不仅具有操作、监视和控制的功能，而且还可以具有系统维护功能；再有一个非常重要的特点是，这个系统是全中文的系统，所有的操作员指导信息，报警信息等都是中文，有利于普通操作员的操作，减轻了操作工的工作压力。

(2) 调用画面

画面根据它们的性质可分为三种：流程图画面(Graphic Attribute)、总貌画面(Overview Attribute)、控制组画面(Control Attribute)。它们可直接调用，也可以在画面之间关联调用，该系统共有 33 余幅画面。

(a) 流程图画面

流程图画面(如图 4.2 所示)是工厂和控制系统的图形缩影，是装置过程的全动态模拟流程图，用户可以用流程图窗口监视、操作和控制工厂的生产过程，通过流程图可以显示各种信息，可以在流程图中设置一些触摸目标、按钮等方便操作员操作。

在 DCS 中，操作人员使用最多，图形显示最形象的是流程图窗口，流程图将现场的工艺装置以图形的方式描绘出来，流程图制作的好坏以及管线的正确性，可以方便操作员的操作以及发生异常事故时作出正确的处理，流程图画面上的数据与现场控制站连接，实时显示现场的工况和各设备的状态，通过动态数据，棒状数据以及设备的变色，将现场情况展现在操作员面前，流程图每个窗口上可以定义 400 个动态数据，200 个可以作为变色闪烁的元素，每个元素可以设置 8 个条件。

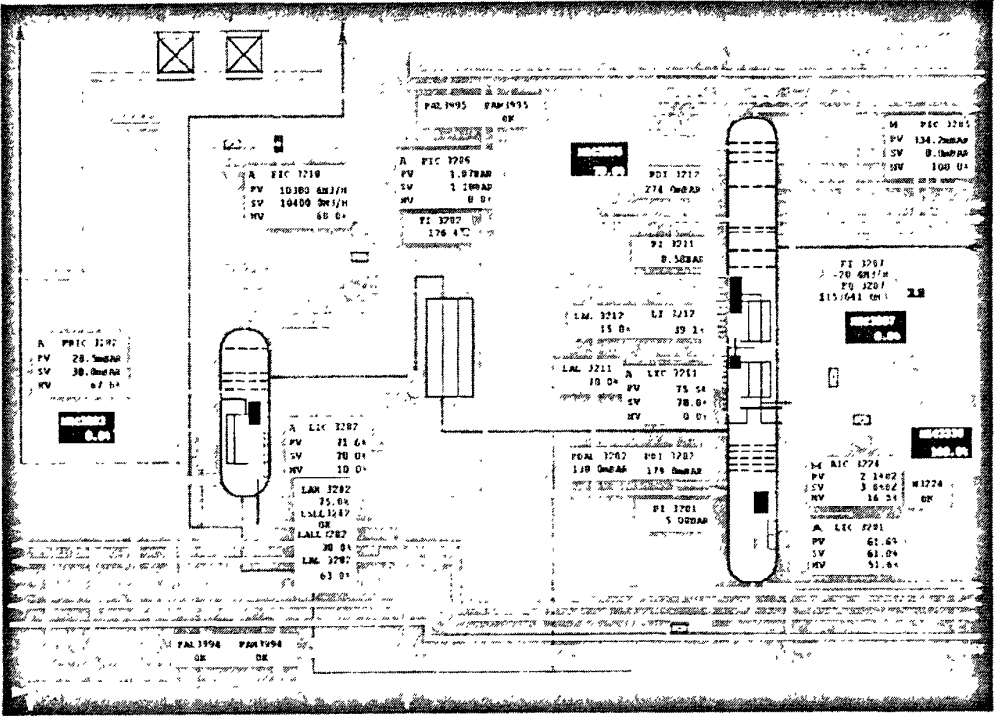


图 4.2 流程图画面
Fig.4.2 Flow chart picture

(b) 总貌画面

总貌画面(如图 4.3 所示)相当于一本书的目录，从总貌画面可以方便的转向其他画面；可以定义流程图按钮、趋势按钮、控制分组按钮等显示块，对于控制分组画面可以把 8 个仪表的报警状态通过 8 个带颜色的小方块进行显示。

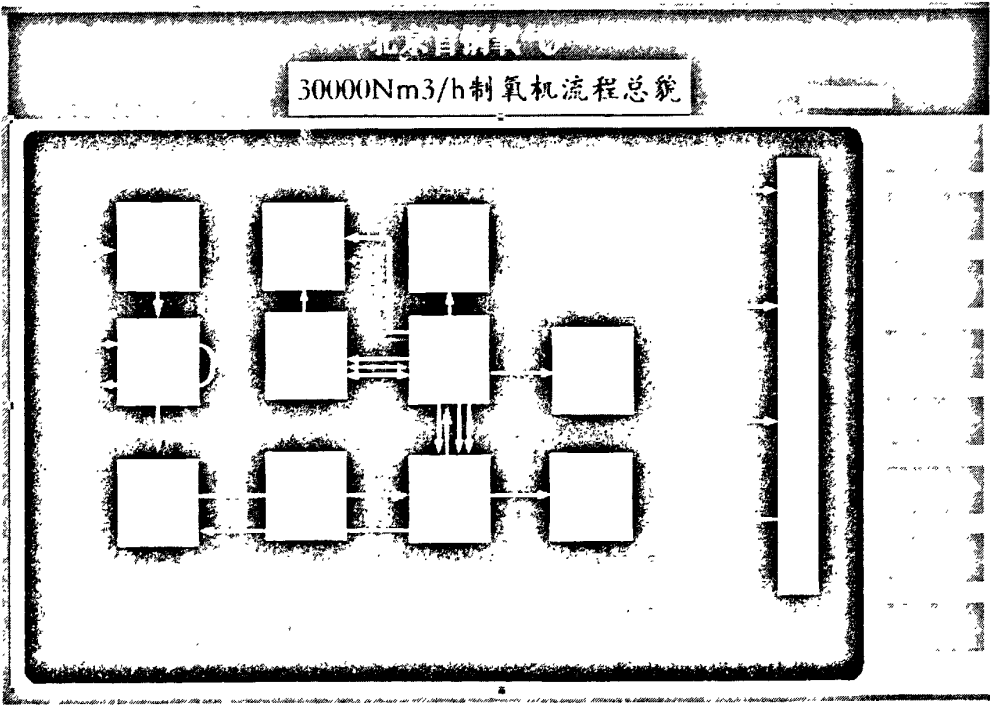


图 4.3 总貌画面
Fig.4.3 Total appearance picture

(c) 控制组画面

为了方便操作工的操作，可以把相关联的一些工位的仪表放在一起，使整个工况的情况一目了然，一幅画面内最多可以放置8个内部仪表(正常大)或16个内部仪表(1/2大)，通过控制分组画面，可以对8台仪表同时进行操作，省去了仪表调出及仪表切换时间；对于串级调节为主、副调回路放在同一分组内，便于自动的投切。仪表面板显示和常规仪表类似，唯一的区别是常规仪表用指针指示，而计算机上使用棒图显示，比常规仪表更形象生动。见图 4.4 所示。

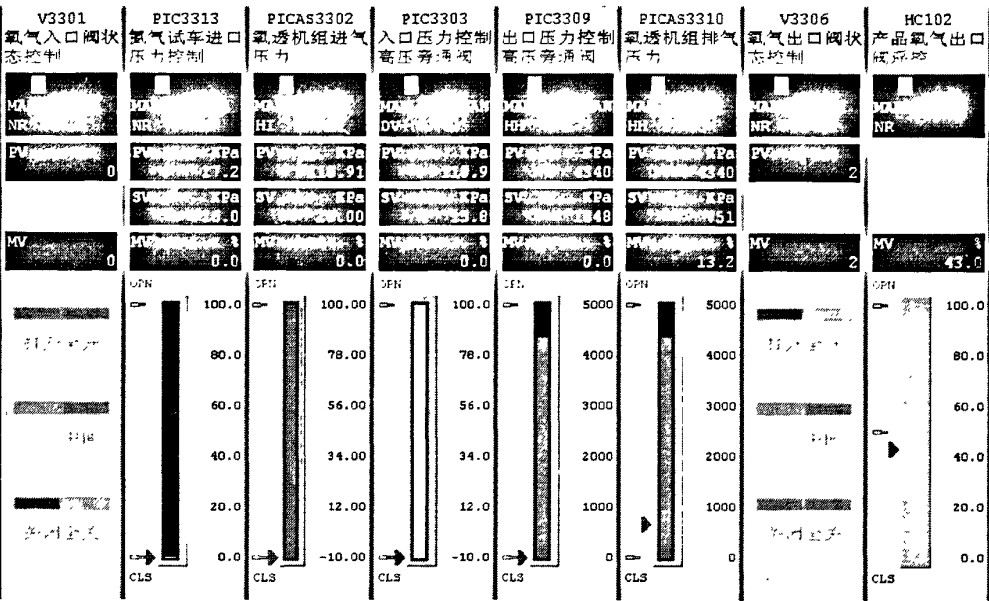


图 4.4 控制分组画面
Fig.4.4 Control grouping picture

4.3.3 主要控制系统组态

(1) 氧气吸入量分程调节控制

氧气出主换热器 E3116 温度和压力经温度压力补正后作为调节回路反馈，调节输出经分程计算后分别输出给放空阀 FV3920 和氧压机入口阀 HV1512，其中输出给 HV1512 阀的信号要同安全设定值进行中值选择，之后作为远程手操器 HIC3920 的设定值，HIC3920 的输出再同氧压机出口压力调节 PIC1501 的输出进行低值选择，最后输出到 HV1512。其组态图见图 4.5。

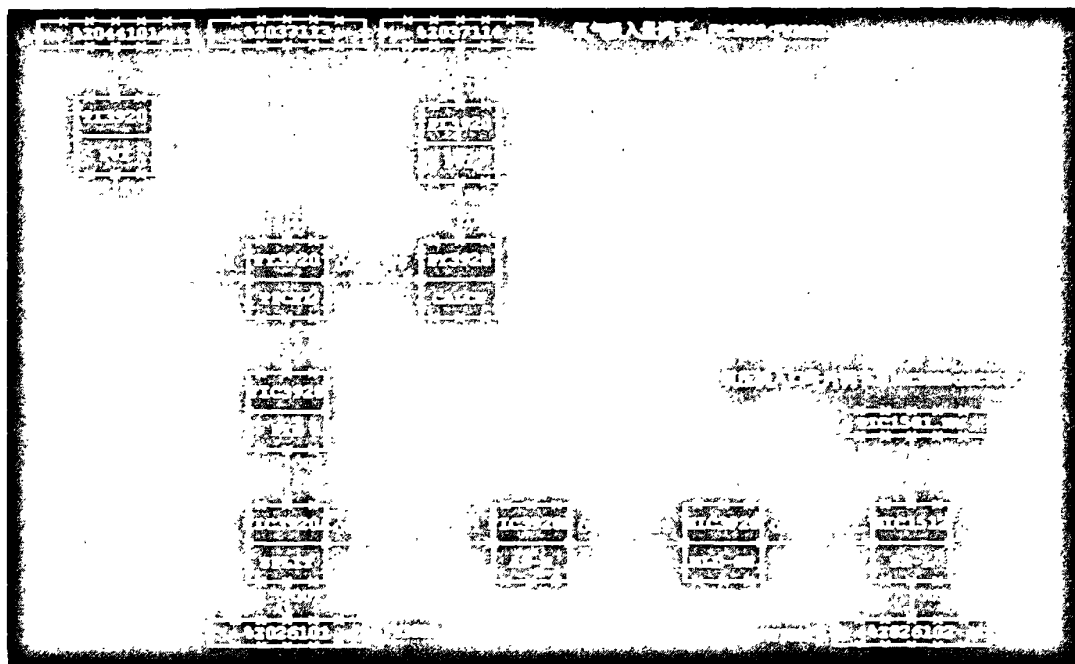


图4.5 分程调节组态图

Fig.4.5 Split adjustment configuration picture

其中%Z表示输入输出模块；IN为从现场变送器来的输入信号或其它仪表来的信号；OUT表示输出到一个控制设备或到其它仪表的SET端子；SET为从其它仪表来的设定值；PV为测量值；CPV为远程测量值；Q01为温度输入端口；Q02为压力输入端口；PVI为输入指示器，主要功能是直接指示现场信号和来自其他模块的信号；TPCFL为温压补偿模块，用来利用温度和压力对流量进行补偿运算；CALCU为通用型计算模块，通用型的算术表达式由程序组成，此处模块定义的运算式为 $CPV=RV*100RV$ 为计算出的设定值；PID为比例积分微分调节模块；SPLIT为控制信号分割单元，它能够将来自上游的控制输出信号分为两路进行输出，分别向两个控制回路进行输出。利用这个SPLIT块就可以很容易的将氧压机吸入流量FIC3920的PID调节输出分程输出到放空阀FV3920和氧压机入口阀HV1512，使这两个阀按照分程动作顺序和比例进行调整，编程人员或操作人员可以根据分程比例将参数添加到SRL1、SRL2、SRH1、SRH2(SRH1、SRL1表示输出1的高低限；SRH2、SRL2表示输出2的高低限，其中SRL1=0，SRH1=71.4，SRL2=28.6，SRH2=100)，和MV1、MV2(MV1、MV2分别表示输出1和2的操作输出值)对应的输出范围MSL1、MSH1、MSL2、MSH2(MSL1、MSH1为输出1的显示范围；MSL2、MSH2为输出2的显示范围，其中MSL1=0，MSH1=100，MSL2=0，MSH2=100)。而无需编制大量的程序代码。类似的分程调节回路还有氮压机入口流量FIC3930分程控制FV3930、HV1712，粗氩压缩机入口流量FIC4340分程控制FV4340、HV4340，氩换热器入口压力PIC4303分程控制PV4303、HV4303，氮氩压缩机入口流量FIC5216分程控制FV5216、HV5216。分程调

节示意图见图4.6(图中SSL、SSH为设定值SV的显示范围)。AS-M为自动选择器中间值选择,它除具有信号选择功能外, 还增加了AUT/MAN(自动、手动)切换及输出处理功能。MLD-SW是具有自动/手动切换开关的手动操作器。在进行MAN→AUT切换时, 具有使输出信号, 在从执行手动操作时其输出值变化成与从其它内部仪表输入的自动调节信号值一致的时间内, 按照斜坡特性进行变化的功能。同时可以对来自其它内部仪表的自动调节信号施行 $[\text{自动调节信号}] \times [\text{自动调节信号增益(CSV)}] + [\text{自动调节信号偏置(BIAS)}]$ 的运算, 并将运算结果在SV上显示。SS-L为信号选择器低选择。

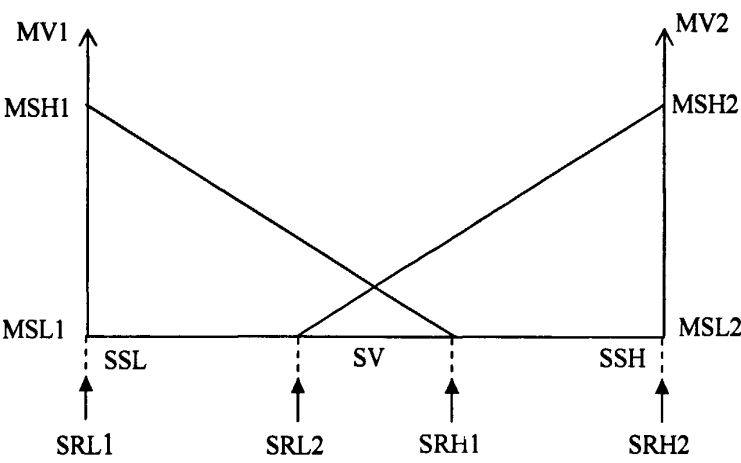


Figure Control signal

图 4.6 分程调节功能示意图
Fig.4.6 Schematic drawing of split adjustment function

(2) 增压机防喘控制

增压机后空气温度和通过表压转换为绝压的增压机后空气压力经温度压力补正后作为调节回路反馈, 调节输出分别输出给增压机回流阀 FV3405 和膨胀机喷嘴开度 HY3412, 其中输出给 FV3405 回流阀的信号首先在除法器的作用下计算增压机入口压力 PI2615 同增压机出口压力 PI3405 之比值, 再经过一个防喘控制用函数运算器, 通过计算的输出值作为空气吸入量调节 FIC3405 的设定值, 其输出值再同远程手操器传过来的操作输出值和现场控制站 HIC3415 经计算模块出来的远程测量值进行低值选择, 最后输出到 FV3405。其组态图见图 4.7。

其中 FUNC-VAR 功能模块为折线函数运算器, 这种仪表是为了使用任何不等分折线对输入信号进行函数变换的, 输入侧和输出侧均具有不等分折线特性。其功能与输入变换功能中的折线函数变换功能相同, 可以作为一个独立的内部仪表使用。这里我们设定函数线性化分段数 SECT 为 9, 只需将 XPI3405/PI2615-YFIC3405.SV 的对应关系分段输入就可以很方便的实现 PI3405/PI2615-FI3405 的防喘设定曲线, 作为 FIC3405 的设定值, 调整旁通阀, 实现防喘控制。DIV 为除法运算器, 是对一个过程信号需要进行除法

运算时使用的运算器。CA3405 通用型计算模块定义的运算式为： $CPV=RV*100+100$ ；FIC3405T 定义的运算式为： $CPV=RV$ ；HIC3415C 定义的运算式为： $CPV=100-RV$ 。

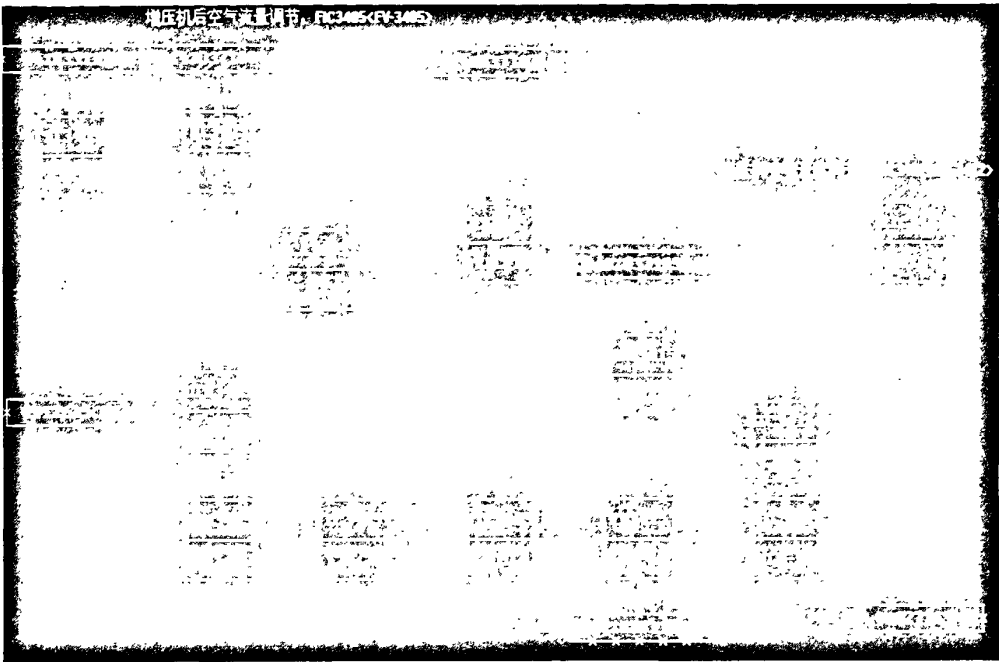


图 4.7 增压机防喘控制组态图

Fig.4.7 The configuration picture of booster compressor anti-surge control

(3) 氧气放空量串级调节控制

在制取氩气工艺中，主要是抽取精馏主塔上塔提馏段中的富氩馏分经粗氩塔、精氩塔等设备精馏分离逐步制取出高纯度的氩产品。抽取的氩馏分在主塔上塔的分布并不是固定不变的，当氧、氮纯度发生变化时，即工况稍有变动，氩在塔内的分布也相应发生变化。但氩馏分抽口的位置是固定不变的，因此，氩馏分抽口的组分也将发生变化。经验证明，氧气纯度变化 0.1%，氩馏分中含氧量就要变化 0.8%~1%，氩馏分中含氩量是随着氧纯度提高而降低。氩馏分组分的改变就直接影响进入粗氩塔的氩馏分量。在粗氩塔冷凝器冷凝量一定的情下，氩馏分中含氧越高，进入粗氩塔的氩馏分量就越多，反之就少。同时，上塔的液气比也随之变化。这样，粗氩塔的工况就不稳定，甚至不能工作。如果氩馏分含氧过高将导致粗氩产品含氧量增高，产量降低，氩提取率降低，可能引起除氧炉温度过高的危险等问题。所以氩的提取与氩原料气中氧含量，氧取出量等有关。为便于操作，对氧气放空量的调节增加了氩原料气中氧含量的串级调节自动控制。

实际控制是：对氧气放空量 FIC4920 调节是吸入氧气温度和压力经温度压力补正后作为调节回路反馈，其远程测量值分别送出给氧气出空分流量 FI4920 进行显示和氧气放空流量调节 FIC4920。精馏塔上塔 T3212 底部引出的氩原料气中氧含量 AIC4110 要求控制在 90%左右，对放空氧气量进行调节，即构成串级调节。如果氧含量 AIC4110 高了，调节阀 FV4920 开大，反之关小。在调节过程中应随时注意 AIC4110 纯度的变化，当

AIC4110 能控制在 90%，则就可以使氧产品纯度 AI3 920 达到 99.6%。其组态图见图 4.8。

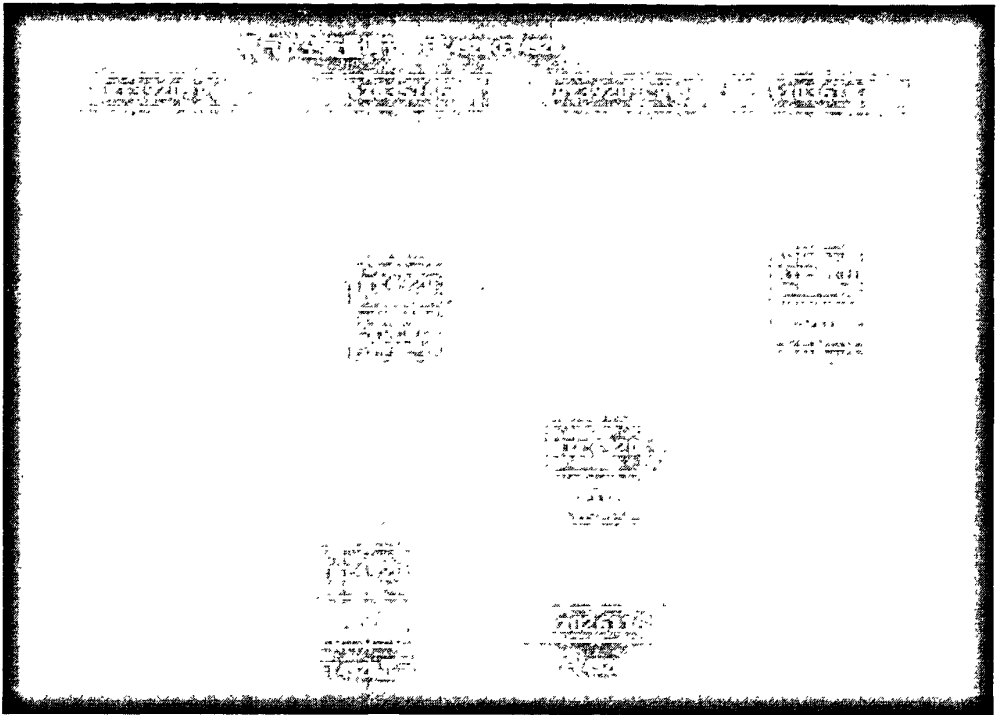


图 4.8 氧气放空流量调节组态图

Fig.4.8 The configuration picture of oxygen blows off flow control

综上所述，通过重点研究分析系统中复杂的控制调节回路，并完成关键的控制回路组态，确保了整个控制系统的稳定性。

第五章 控制算法的应用

工业生产中，对各个工艺过程的物理量都有一定的控制要求，有些工艺变量直接表征生产过程，对产品的数量和质量起着决定性的作用^[28]。连续调节控制包括各种控制算法就是对各个工艺变量根据输入给定与反馈信息的信号大小差别连续量进行调节，而且控制输出和执行机构也多为连续调节的。其中对控制算法的研究与应用尤为重要，在 DCS 系统中可以实现多种基本的控制算法，组成一个控制算法模块库^[29]。利用这些模块，通过组态实现复杂的过程控制规律。

5.1 PID 调节模块

PID 控制是连续系统中应用最多的一种控制调节规律，并且它本身可以分解为 P、PI、PD 等调节规律^[30]。据统计，工业控制的控制器中 PID 类控制器占有 90% 以上^[31]。它的结构简单，参数易于调整，并在长期应用中已积累了丰富的经验，特别是工业过程控制中，由于控制对象精确数学模型难以建立，系统参数又经常发生变化，运用现代控制理论分析综合要耗费很大的代价进行模型辨识，且往往不能得到预期的效果，而采用 PID 控制并根据经验进行在线参数整定，可得到较为满意的控制效果^[32]。随着计算机技术的发展，PID 数字控制算法可在计算机或者单片机上实现，由于软件系统的灵活性，PID 算法得到了修正完善，产生了很多改进型的 PID 控制规律。

5.1.1 理想 PID 调节器

PID 控制器先是在连续调节系统中发展起来的，对于一个简单的单回路装置系统，如图 5.1 所示。

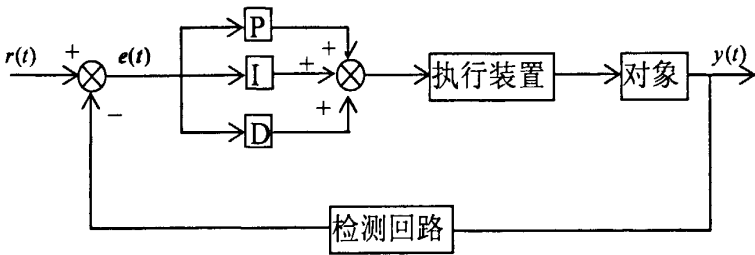


图 5.1 单回路控制系统
Fig.5.1 Single-loop control system

有：

$$e(t) = r(t) - y(t)$$

理想的 PID 控制算法为式 5.1 所示：

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (5.1)$$

式中： $r(t)$ 为控制给定量； $y(t)$ 为被控量； $e(t)$ 为给定量与被控量的差值； $u(t)$ 为调节器输出； K_p 为调节器的比例放大系数； T_I 为积分时间； T_D 为微分时间。

PID 控制器各校正环节的作用：

(1) 比例环节能够及时成比例地反映控制系统的偏差信号，偏差一旦产生，控制器立即产生控制作用，以减少偏差。当比例系数 K_p 增大时，会使执行机构动作灵敏、运行速度加快。在系统稳定的情况下，增大 K_p 值，有利于减小稳态误差，提高系统的控制精度，但不能完全消除稳态误差。随着 K_p 的增大，系统响应过程中的振荡次数会增多。当 K_p 值太大时，系统将趋于不稳定；同样，若 K_p 值太小，会降低系统的响应速度，执行元件动作缓慢。

(2) 积分环节主要用于消除静差，提高系统的无差度。积分作用的强弱取决于积分时间常数 T_I ， T_I 越小，积分作用越强，积分时间常数 T_I 太小时，系统将不稳定，振荡次数较多；但 T_I 太大时，积分作用对系统性能影响减小，不利于消除系统的稳态误差，难以获得较高的控制精度。

(3) 微分环节能反映偏差信号的变化趋势变化速率，并能在偏差信号值变得太大之前，在系统中引入一个有效的早期修正信号，从而加快系统的动作速度，减小调节时间。它可以改善系统的动态性能，提高控制精度，但微分时间常数 T_D 偏大或偏小时，都会使超调量增大，调节时间加大。只有合适时，才可以得到满意的过度过程。

5.1.2 基本数字 PID 控制器

计算机控制系统所能直接处理的是数字信号，因此 DCS 现场控制站的 PID 算法也都是数字式的^[33]。其中的积分项和微分项不能直接使用，需要进行离散化处理。设 PID 调节回路的控制周期和采样周期为 T ，则 $t = kT$ 时：

$$\int_0^t e(t) dt = T \sum_{i=0}^k e(iT) = T \sum_{i=0}^k e(i)$$

$$\frac{de(t)}{dt} = \frac{e(kt) - e[(k-1)t]}{T} = \frac{e(k) - e(k-1)}{T}$$

将以上两式带入式(5.1)中，得到离散化的 PID 表达式为：

$$u(k) = K_p \left\{ e(k) + \frac{T}{T_I} \sum_{i=0}^k e(i) + \frac{T_D}{T} [e(k) - e(k-1)] \right\} \quad (5.2)$$

或

$$u(k) = K_p e(k) + K_I \sum_{i=0}^k e(i) + K_D [e(k) - e(k-1)] \quad (5.3)$$

式中 k 为采样序号, $k = 0, 1, 2, \dots$; $u(k)$ 为第 k 次采样时刻的计算机输出值; $e(k)$ 为第 k 次采样时刻输入的偏差值; $e(k-1)$ 为第 $k-1$ 次采样时刻输入的偏差值; K_I 为积分常数, $K_I = K_p T / T_I$; K_D 为微分常数, $K_D = K_p T_D / T$ 。

式(5.2)和(5.3)是理想的数字 PID 控制器,由该式计算得出的控制输出与执行机构(如调节阀的位置开度)一一对应,此式称为位置式的 PID 控制器。但这种算法由于是全量输出,每次输出均与过去的状态有关,计算时要对 $e(k)$ 进行累加,计算机运算工作量大。而且每次计算机的 $u(k)$ 对应的是执行机构的实际位置。如果计算机出现故障,输出的大幅度变化会引起执行机构位置的大幅度不变化,这是生产中不允许的,在某些场合可能造成重大的生产事故,由此产生了增量式 PID 控制算法,得到:

$$\begin{aligned} \Delta u(k) &= u(k) - u(k-1) \\ &= K_p \left\{ e(k) + K_I \sum_{i=0}^k e(i) + K_D [e(k) - e(k-1)] \right\} \\ &\quad - K_p \left\{ e(k-1) + K_I \sum_{i=0}^{k-1} e(i) + K_D [e(k-1) - e(k-2)] \right\} \\ &= K_p [e(k) - e(k-1)] + K_I e(k) + K_D [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \end{aligned}$$

记 $\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$ 则上式可变为:

$$\Delta u(k) = K_p \Delta e(k) + K_I e(k) + K_D [\Delta e(k) - \Delta e(k-1)] \quad (5.4)$$

由上式可以看出,增量式 PID 算法与位置式 PID 算法比较,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,故系统发生故障时影响范围小,必要时可以用逻辑判断的方法去掉。执行装置手动/自动切换时冲击小,可做到无扰动切换。计算机发生故障时,由于输出通道或执行装置具有信号的锁存作用,故仍然保持原值。算式中不需要累加,编程简单,数据可以递推使用,算法实现速度快,较容易通过加权处理获得比较好的控制效果。

5.1.3 改进的 PID 算法

这里讨论一下带死区的 PID 控制算法。在实际控制应用中,为了避免有些系统的控制动作过于频繁,希望过程变量在偏离设定值不太大时,不要产生控制作用,只有当偏差值超过某个范围时再实施 PID 控制,以此消除由于系统频繁动作引起的振荡,DCS 中设计了带死区的 PID 控制算法¹。该算法的控制框图如图 5.2 所示。

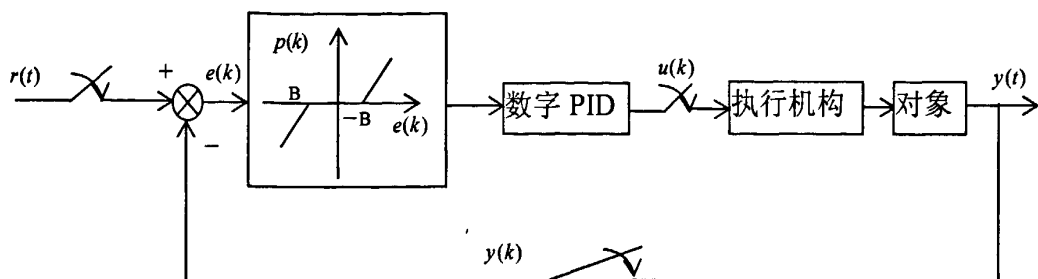


图 5.2 带死区的 PID 算法控制框图
Fig.5.2 The PID control diagram with dead-zone

死区函数表示为：

$$P(k) = \begin{cases} e(k) & e(k) \geq |B| \\ 0 & e(k) < |B| \end{cases} \quad (5.5)$$

将上式与 PID 算法结合，得出带死区的 PID 算法的计算公式如下：

$$u(k) = K_p \left\{ p(k) + \frac{T}{T_i} \sum_{i=0}^k p(i) + \frac{T_D}{T} [p(k) - p(k-1)] \right\} \quad (5.6)$$

或

$$\Delta u(k) = K_p \Delta p(k) + K_I \Delta p(k) + K_D [\Delta p(k) - \Delta p(k-1)] \quad (5.7)$$

式(5.5)中，死区 B 是一个可调的参数，具体数值可以根据实际控制对象的工程要求确定。若 B 值太小，使控制动作过于频繁，达不到稳定被控对象的目的；若 B 值太大，则系统将产生较大的滞后。

此控制系统实际上是一个非线性系统。即当 $|e(k)| < |B|$ 时，数字调节器输出为 0；当 $|e(k)| \geq |B|$ 时，数字调节器有 PID 输出。

5.2 串级控制系统

5.2.1 串级控制系统的基本原理和结构

单回路控制系统解决了工业过程生产自动化中大量的参数定值控制问题，在大多数情况下，这种简单的控制系统能满足生产工艺的要求。但是单回路控制系统仅适用于比较简单的单输出生产过程的控制，对于调节对象的动态特性决定了它很难控制的系统或调节对象的动态特性虽不复杂但是工艺对调节质量的要求很高的系统无法满足生产的要求。在单回路控制系统的基础上再增加一个控制回路，相比单回路控制系统多用一个测量变送器或调节器或执行器，两个控制器相串接，一个控制器的输出作为另一个控制器的设定值，组成串级控制系统，完成复杂或特殊的控制任务^[34]。串级控制系统其结构上比单回路系统多了一个副回路，形成两个闭环——双闭环。串级控制系统是按其结构命名的，其系统框图如图 5.3 所示。

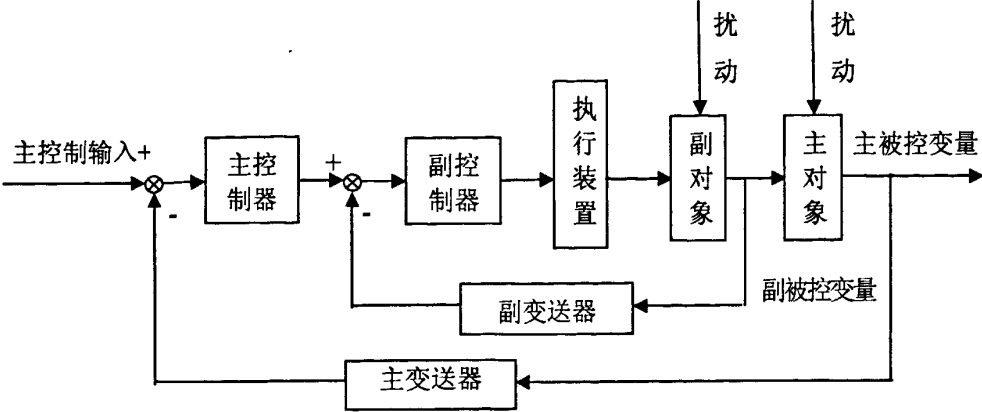


图 5.3 串级控制系统框图

Fig.5.3 The diagram of cascade control system

图中各变量及传递函数简述如下：

- 主被控变量 $Y_1(s)$ ：大多为工业过程中的重要操作系统，在串级控制系统中起主导作用的被控变量。

图中各变量及传递函数简述如下：

- 主被控变量 $Y_1(s)$ ：大多为工业过程中的重要操作系统，在串级控制系统中起主导作用的被控变量。

- 副被控变量 $Y_2(s)$ ：大多为影响主被控变量的重要参数。通常为稳定主被控变量而引入的中间辅助变量。

- 主控制器 $G_{C1}(s)$ ：在系统中起主导作用，按主被控变量和其设定值之差进行控制运算，并将其输出作为副控制器设定值的控制器，简称“主控”。

- 主对象 $G_{O1}(s)$ ：大多为工业生产过程中所要控制的、由主被控变量表征其主要特性的生产设备的过程。

- 副控制器 $G_{C2}(s)$ ：在系统中起辅助作用，按所测得的副被控量和主控量输出之差来进行控制运算，其输出直接作用于执行器的控制器，简称“副控”。

- 副对象 $G_{O2}(s)$ ：大多为工业过程控制中影响主控变量的、由副被控变量表征其特性的辅助生产设备或辅助过程。

- 主变送器 $G_{m1}(s)$ ：测量并转换主被控变量的变送器。

- 副变送器 $G_{m2}(s)$ ：测量并转换副被控变量的变送器。

- 主回路：即整节串级控制系统，共包括由主变送器、主控制器、副回路等环节、主对象所构成的闭环回路，又称为“主环”或“外环”。主回路外环是一个定值控制系统。而副回路内环则为一个随动系统。

- 副回路：处于串级控制系统内部，由副变送器、执行装置 $G_v(s)$ 、副对象所构成

的闭环回路，又称为“副环”或“内环”。副回路为一个随动系统。

用传递函数和拉氏变换表示的串级控制系统框图如图 5.4 所示。

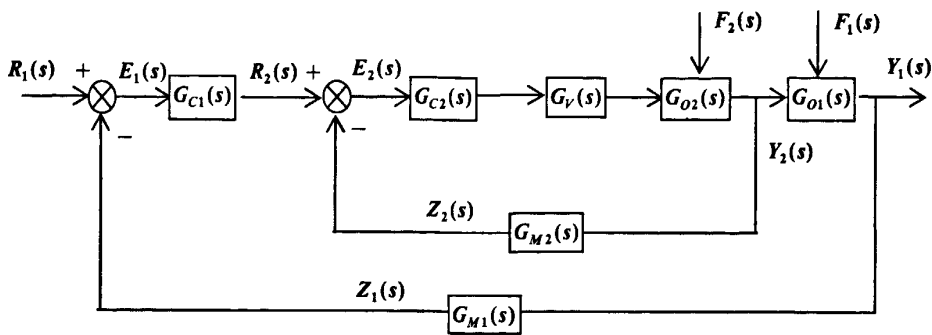


图 5.4 串级控制系统框图
Fig.5.4 The diagram of cascade control system

串级控制系统中各环节和变量如下：

$R_1(s)$	主控制器设定值	$E_1(s)$	主控制器输入偏差
$R_2(s)$	副控制器设定值	$E_2(s)$	副控制器输入偏差
$Z_1(s)$	主被控变量测量值	$Z_2(s)$	副被控变量测量值
$F_1(s)$	进入主回路的扰动	$F_2(s)$	进入副回路的扰动

5.2.2 串级控制系统分析

串级控制系统虽然比单回路控制系统多用了—个测量变送器与控制器，但增加的投资并不多，控制效果有明显的提高。究其原因在于串级控制系统中增加了一个包含二次扰动的副回路，使系统改善了被控过程的动态特性，提高了系统工作频率；对二次干扰有很强的克服能力；以及对回路参数变化的自适应能力^[35]。

(1) 采用串级控制系统改善被控过程的动态特性

把副回路记作 $G'_{O2}(s)$ ，控制系统简化为图 5.5 所示的等效回路系统。

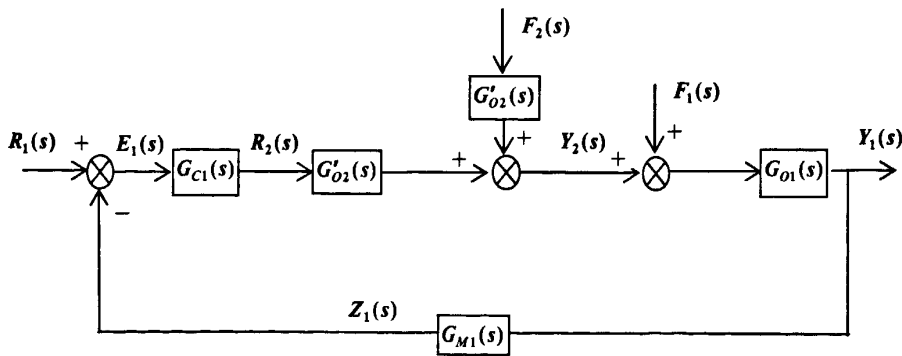


图 5.5 串级控制系统等效框图
Fig.5.5 The equivalent diagram of cascade control system

由图 5.5 可以看出

$$G'_{O2}(s) = \frac{Y_2(s)}{R_2(s)} = \frac{G_{c2}(s)G_v(s)G_{O2}(s)}{1 + G_{c2}(s)G_v(s)G_{O2}(s)G_{m2}(s)} \quad (5.8)$$

取副对象为工程中常见的一阶惯性环节,副控制器、执行器、副变送器均为比例环节,则

$$\begin{aligned} G_{O2}(s) &= \frac{K_{O2}}{T_{O2}s + 1} & G_{c2}(s) &= K_{c2} \\ G_v(s) &= K_v & G_{m2}(s) &= K_{m2} \end{aligned}$$

将副对象、副控制器、执行器、副变送器等各环节的传递函数代入式(5.8)可得:

$$G'_{O2}(s) = \frac{K_{c2}K_v \frac{K_{O2}}{1 + T_{O2}s}}{1 + K_{c2}K_v K_{m2} \frac{K_{O2}}{1 + T_{O2}s}} = \frac{K'_{O2}}{1 + T'_{O2}s} \quad (5.9)$$

式中 K'_{O2} ——等效被控过程的放大系数;

T'_{O2} ——等效被控过程的时间常数

$$\begin{aligned} K'_{O2} &= \frac{K_{c2}K_v K_{O2}}{1 + K_{c2}K_v K_{O2}K_{m2}} \\ T'_{O2} &= \frac{T_{O2}}{1 + K_{c2}K_v K_{O2}K_{m2}} \end{aligned}$$

将 $G_{O2}(s)$ 与 $G'_{O2}(s)$ 比较, 可见 $\begin{cases} K'_{O2} < K_{O2} \\ T'_{O2} < T_{O2} \end{cases}$ 。

上述分析表明, 由于内环的作用, 副回路等效对象的时间常数 T'_{O2} 较副对象的时间常数 T_{O2} 缩小为 $T_{O2}/(1 + K_{c2}K_v K_{O2}K_{m2})$ 。等效对象的时间常数缩小, 使控制通道的控制过程惯量时间加快, 因此, 对于克服整个系统的惯性滞后大有帮助。由于惯性时间的减少, 过程的动态特性得到明显改善, 使系统响应加快, 控制更为及时, 超调量减少, 提高了系统控制质量。而等效对象放大倍数则减小, 可以通过增加主控制器的增益来加以补偿。

由此可见, 在串级控制系统中, 由于增加了一个副回路, 使等效被控过程的时间常数减小了, 从而改善了系统的动态特性, 使串级控制系统的工作频率明显比单回路系统频带要宽。由图 5.5 可知, 串级系统的特性方程为:

$$1 + G_{c1}(s)G'_{O2}(s)G_{O1}(s)G_{m1}(s) = 0 \quad (5.10)$$

若主对象也是一阶惯性环节, 主控制器、主变送器也为放大环节, 则

$$G_{O1}(s) = \frac{K_{O1}}{T_{O1}s + 1}$$

$$G_{C1}(s) = K_{C1}$$

$$G_{m1}(s) = K_{m1}$$

将其代入特征方程式(5.10)有

$$1 + K_{C1} \frac{K'_{O2}}{T'_{O2}s + 1} \frac{K_{O1}}{T_{O1}s + 1} K_{m1} = 0$$

将上式整理可得

$$s^2 + \frac{T_{O1} + T'_{O2}}{T_{O1}T'_{O2}}s + \frac{1 + K_{C1}K'_{O2}K_{m1}K_{O1}}{T_{O1}T'_{O2}} = 0 \quad (5.11)$$

与二阶标准形式比较可知

$$2\xi\omega_0 = \frac{T_{O1} + T'_{O2}}{T_{O1}T'_{O2}}$$

$$\omega_0^2 = \frac{1 + K_{C1}K'_{O2}K_{m1}K_{O1}}{T_{O1}T'_{O2}}$$

则串级控制系统特征方程式的标准形式

$$s^2 + 2\xi\omega_0s + \omega_0^2 = 0 \quad (5.12)$$

式中 ξ ——串级控制系统的衰减系数； ω_0 ——串级控制系统的自然频率。

式(5.12)的特征根为

$$s_{1,2} = \frac{-2\xi\omega_0 \pm \sqrt{4\xi^2\omega_0^2 - 4\omega_0^2}}{2} = -\xi\omega_0 \pm \omega_0\sqrt{\xi^2 - 1}$$

由控制理论可知，系统的工作角频率即为其特征方程根的虚部，即

$$\omega_c = \omega_0\sqrt{1 - \xi'^2} = \frac{\sqrt{1 - \xi'^2}}{2\xi} \frac{T_{O1} + T'_{O2}}{T_{O1}T'_{O2}}$$

同理可得：

$$\omega_D = \omega'_0\sqrt{1 - \xi'^2} = \frac{\sqrt{1 - \xi'^2}}{2\xi'} \frac{T_{O1} + T_{O2}}{T_{O1}T_{O2}}$$

式中 ξ' ——单回路控制系统的衰减比；

ω'_0 ——单回路控制系统的无阻尼自然频率；

ω_c ——串级系统的阻尼自然频率；

ω_D ——单回路控制系统的阻尼自然频率。

通过整定控制器的参数，可以使串级控制系统与单回路控制系统具有相同的衰减比，即 $\xi = \xi'$ ，而此时

$$\frac{\omega_C}{\omega_D} = \frac{1 + \frac{T_{O1}}{T'_{O2}}}{1 + \frac{T_{O1}}{T_{O2}}} = \frac{1 + (1 + K_{C2}K_VK_{O2}K_{m2})\frac{T_{O1}}{T_{O2}}}{1 + \frac{T_{O1}}{T_{O2}}}$$

由此可得

$$\omega_C > \omega_D$$

可见串级控制系统引入副回路改善了过程特性,提高了整个系统的工作频率,而且当主、副对象的特性一定时,副控制器的放大倍数越大,系统的工作频率越高;而当副控制器的放大倍数一定时,工作频率随着主副对象时间常数的比值即 T_{O1}/T_{O2} 的增大而增大。串级控制系统工作频率的提高使系统响应的振荡周期缩短,从而提高系统的动态品质。以上结论虽然是依据简单的被控过程一阶惯性环节和简单的调节规律比例控制推导得出的,但是对于高阶被控对象和其他调节规律也是正确的。

(2) 串级控制系统由于副回路作用,对于进入副回路的二次扰动具有较强的抗干扰能力。

图 5.4 中,当二次扰动 $F_2(s)$ 作用于副回路时,不等它影响到主被控变量,副控制器就会先进行调节,这样,此干扰对主被控变量的影响就会减小,主控制变量的控制品质就会提高。在扰动 $F_2(s)$ 的作用下,副回路的传递函数为

$$G''_{O2} = \frac{Y_2(s)}{F_2(s)} = \frac{G_{O2}(s)}{1 + G_{C2}(s)G_V(s)G_{O2}(s)G_{m2}(s)}$$

则等效图 5.5 系统输出对输入的传递函数为

$$\frac{Y_1(s)}{R_1(s)} = \frac{G_{C1}(s)G'_{O2}(s)G_{O1}(s)}{1 + G_{C1}(s)G'_{O2}(s)G_{O1}(s)G_{m1}(s)}$$

对二次扰动 $F_2(s)$ 的传递函数为

$$\frac{Y_1(s)}{F_2(s)} = \frac{G''_{O2}(s)G_{O1}(s)}{1 + G_{C1}(s)G'_{O2}(s)G_{O1}(s)G_{m1}(s)}$$

对于一个控制系统来说,当其在干扰作用下,控制作用能迅速克服扰动的影响,使被控变量稳定在设定值上,即 $Y_1(s)/R_1(s)$ 趋近于 0;而在设定值作用下,其控制作用使被控变量能尽快地跟踪设定值的变化,即 $Y_1(s)/R_1(s)$ 趋近于 1,则该系统的控制性能越好,系统抗干扰能力越强。对于图 5.3 所示的串级控制系统,当干扰 $F_2(s)$ 由副回路作用于系统时,综合考虑上述两种情况,其抗干扰能力可以表示为

$$Q_{C2} = \frac{Y_1(s)/R_1(s)}{Y_1(s)/F_2(s)} = \frac{G_{C1}(s)G'_{O2}(s)}{G''_{O2}(s)} = G_{C1}(s)G_{C2}(s)G_V(s) \quad (5.13)$$

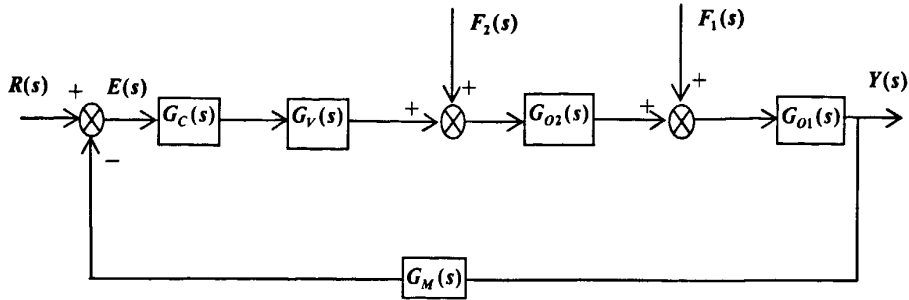


图 5.6 单回路控制系统框图

Fig.5.6 The diagram of single-loop control system

对于图 5.6 所示的单回路控制系统, 采用同样的方法可得输出 $Y(s)$ 对输入 $R(s)$ 的传递函数为

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G_C(s)G_V(s)G_{O2}(s)G_{O1}(s)}{1 + G_C(s)G_V(s)G_{O2}(s)G_{O1}(s)G_m(s)}$$

输出 $Y(s)$ 对扰动 $F_2(s)$ 作用下的传递函数为

$$\frac{Y(s)}{F_2(s)} = \frac{G_{O2}(s)G_{O1}(s)}{1 + G_C(s)G_V(s)G_{O2}(s)G_{O1}(s)G_m(s)}$$

单回路控制系统的抗干扰能力为

$$Q_{D2} = \frac{Y(s)/R(s)}{Y(s)/F_2(s)} = G_C(s)G_V(s) \quad (5.13)$$

由此得, 串级控制系统与单回路控制系统的抗二次干扰的能力之比为

$$\frac{Q_{C2}}{Q_{D2}} = \frac{G_{C1}(s)G_{C2}(s)}{G_C(s)} \quad (5.14)$$

设串级控制系统与单回路控制系统均采用比例调节器, 其比例放大系数分别为 K_{C1} 、 K_{C2} 与 K_C , 则式(5.14)可写为

$$\frac{Q_{C2}}{Q_{D2}} = \frac{K_{C1}K_{C2}}{K_C}$$

一般有 $K_{C1}K_{C2} \gg K_C$, 串级控制系统能迅速克服进入副回路的二次扰动, 从而大大减小二次扰动的影响, 提高控制质量。

串级控制系统输出 $Y_1(s)$ 对一次扰动 $F_1(s)$ 的传递函数为

$$\frac{Y_1(s)}{F_1(s)} = \frac{G_{O1}(s)}{1 + G_{C1}(s)G'_{O2}(s)G_{O1}(s)G_{m1}(s)}$$

其抗一次扰动的能力为

$$Q_{C1}(s) = \frac{Y_1(s)/R_1(s)}{Y_1(s)/F_1(s)} = G_{C1}(s)G'_{O2}(s)$$

采用前面关于主副控制器、主副对象及主副变送器的假设, 则一次干扰作用于主回路时的抗干扰能力为

$$\begin{aligned}
 Q_{C1}(s) &= \frac{Y_1(s)/R_1(s)}{Y_1(s)/F_1(s)} = G_{C1}(s)G'_{O2}(s) \\
 &= \frac{G_{C1}(s)G_{C2}(s)G_V(s)G_{O2}(s)}{1 + G_{C2}(s)G_V(s)G_{O2}(s)G_{m2}(s)} \\
 &= \frac{K_{C1}K_{C2}K_V \frac{K_{O2}}{T_{O2}s + 1}}{1 + K_{C2}K_V K_{O2} \frac{K_{m2}}{T_{O2}s + 1}} \\
 &= \frac{K_{C1}K_{C2}K_V K_{O2}}{1 + K_{C2}K_V K_{O2} K_{m2} + T_{O2}s}
 \end{aligned}$$

比较干扰由副回路进入系统时的抗干扰能力和干扰由主回路进入系统时的抗干扰能力可得

$$\frac{Q_{C2}(s)}{Q_{C1}(s)} = \frac{1 + K_{C2}K_V K_{O2} K_{m2} + T_{O2}s}{K_V K_{O2}}$$

显然上式是大于1的,就是说,对串级控制系统而言,它对有副回路进入系统的干扰比由主回路进入系统的干扰有更强的抑制干扰的能力,并且在系统其它环节的特性不变的情况下,副控制器的放大倍数越大,副控制回路的抗干扰能力越强。

(3) 串级控制系统具有一定的自适应能力

串级控制系统就其主回路来看是一个定值控制系统,而就其副回路来看则为一个随动系统。主控制器的输出能按照负荷或操作条件的变化而变化,从而不断改变副控制器的设定值,使副控制器的设定值能随负荷及操作条件的变化而变化,这就使得串级控制系统对负荷的变化和操作条件的改变有一定的自适应能力。

一般过程单回路控制系统的控制器参数都是在一定的负荷下工作,即一定的工作点下,按一定的质量指标要求整定得到的。它只适应其特定的负荷及工作点情况。若对象含有非线性,那么随着负荷的变化,工作点将会移动,对象特性就发生了改变。此时,控制器参数就不适应了,需要重新整定,否则将会引起控制品质的下降。而串级控制系统依靠主控制器的输出实时的调整副控制器的设定值,使其系统能随着其工作负荷及工作点的变化及时地进行调整,从而保证系统的控制质量。

从副回路的等效放大倍数 K'_{O2} 来看

$$K'_{O2} = \frac{K_{C2}K_V K_{O2}}{1 + K_{C2}K_V K_{O2} K_{m2}}$$

当负荷变化时,将会引起过程特性 K_{O2} 的变化,但是,在一定的条件下, $K_{C2}K_V K_{O2} K_{m2} > 1$, 因而, K_{O2} 的变化对等效对象的放大倍数 K'_{O2} 影响却是很小的。所以系统仍然具有较好的控制品质。可见,串级控制系统对负荷及操作条件的变化具有一定的适应能力。

5.2.3 串级控制系统设计

(1) 主、副回路的设计

串级控制系统的主回路是一个定值控制系统，主参数的选择和主回路的设计仍可用单回路控制系统的设计原则进行^[36]。串级控制系统的设计主要是副参数的选择和副回路的设计及主、副回路关系的考虑。

(a) 副回路应包括尽可能多的扰动

由前面的分析可知，副回路对于包含在其内的二次扰动以及非线性、参数、负荷变化有很强的抑制能力和一定的自适应能力。因此副回路应尽量包含生产过程中主要的、变化剧烈的、频繁和幅度大的扰动。但是并不是说在副回路中包含的扰动越多越好，因为包括的扰动越多，其通道就越长，时间常数就越大，这样副回路就会失去快速克服扰动的作用，而且若是所有的扰动都包含在副回路中，则主调节器就失去了作用，不成为串级控制系统了。

副回路的设计还应该注意工艺上的合理性。在过程控制系统中设计串级控制系统时，应考虑和满足生产工艺的要求。从串级控制系统的框图可以看出，系统的操作变量是先影响副控制变量，然后再去影响主被控变量。所以应该选择工艺上切实可行、容易实现，对主被控变量有直接影响且影响显著的变量作为副被控变量来构成副回路。

(b) 主、副对象的时间常数适当匹配

在选择副参数、进行副回路的设计时，必须注意主、副对象时间常数的匹配，这是串级控制系统正常运行的主要条件，也是保证生产、防止系统共振的根本措施。原则上，主、副对象的时间常数之比应该在 3 到 10 范围内，如果副过程的时间常数比主过程的小得多，这时虽副回路反应灵敏、控制作用快，但此时一般情况下副回路包含的扰动少，对于过程特性的改善也就减小了；相反，如果副回路的时间常数接近于甚至大于主回路的时间常数，这时副回路虽对改善过程特性的效果比较显著，但副回路反应比较迟钝，不能及时有效的克服扰动。如果主、副对象的时间常数比较接近，这时主、副回路的动态联系十分密切，当一个参数发生振荡时，会使另一个参数也发生振荡，即发生“共振”。

(2) 串级控制系统中主、副回路控制规律的选择

串级控制系统中，主、副控制器所起作用不同，主控制器起定值控制作用，副调节器起随动控制作用^[37]。主被控变量要求无余差，所以主控制器一般选用 PI 或 PID 规律。副被控变量的设置是为了保证主被控变量的控制质量，可以在一定范围内变化，允许有误差，因此副控制器一般采用 P 或 PI 规律就可以了。

5.2.4 串级控制系统控制器参数整定

在串级控制系统中，两个调节器串联起来控制一个执行器，显然调节器之间是相互

关联的。因此串级控制系统的主调节器与副调节器的参数整定也是相互关联的，需要相互协调反复整定才能取得最佳效果。其参数整定一般采用逐步逼近整定的方法。具体步骤为：

- (1) 断开主回路，闭合副回路，按单回路控制系统地整定方法整定副控制器参数。
- (2) 闭合主、副回路，保持上步取得的副控制器参数，按单回路控制系统的整定方法，整定主控制器参数。
- (3) 再闭合主、副回路，主控制器参数保持的情况下，再次调整副控制器的参数。
- (4) 至此完成一个循环，如果控制品质未达到规定的指标，返回(2)继续。

第六章 系统测试及运行

6.1 系统性能测试

在把组态工程应用于实际生产过程之前,要对系统进行各种各样的测试,包括系统信号处理精度测试、系统冗余性能测试、操作站软件测试等,以保证系统在投运之前是正常的。

(1) 系统信号处理精度测试

(a) 模拟量输入信号精度测试

主要是测试系统对各种模拟量输入信号的处理精度是否满足要求。对于每一点,用标准信号源从机柜输入排相应端子上输入一组不同的值如分别为量程的 25%、50%、75%、90%,查看在操作站上显示的被测试点相应的物理量,对照每一输入相应的理论值,算出测量值,检查是否满足要求。如果某个点不通或者偏差太大,要检查组态的通道号与送入信号的端子是否对应或检查接线是否可靠,最后检查输入卡件是否损坏。

(b) 模拟量输出信号精度测试

主要是测试模拟量输出信号的处理精度。在操作员站上通过手动方式对每一点置一组不同的值如分别为量程的 25%、50%、75%、90%,用标准信号测试仪器分别对各点进行测试,对应每一个输出相应的理论值,算出测量误差,检查是否满足要求。

(c) 数字量输入正确性测试

改变每一点的输入状态,在操作员站(HIS)上观察每一点的变化情况,检查其是否完全正确。

(d) 数字量输出正确性测试

在操作员站上手动改变每点的值,从输出端子上测量其状态。

DCS 中只涉及到上述四种类型的信号,所以只介绍四种类型的信号测试。经过测试,三万制氧 DCS 中各类信号的处理精度均满足要求。

(2) 系统冗余性能测试

(a) 通信网络测试

主要是检测系统通信网络的双冗余是否符合要求。方法是在系统运行时拔掉一根电缆,观察其通信是否正常。

(b) CPU 冗余测试

在系统运行时,将主 CPU 的电源断开,检查备用 CPU 的状态变化,观察各控制输出的数值是否有变化。

(c) 系统容错性能测试

主要是检测系统的操作员站对非法输入及外设故障的容错能力。测试方法是在操作员站上非法输入一系列的命令,观察操作员站的反应。在系统运行过程中,将操作员站的显示器电源断开,然后再打开,看屏幕显示有无变化。

(d) 操作站软件测试

CENTUM CS3000 提供了虚拟测试功能,可以在脱离现场控制站的情况下,用 HIS 创建的虚拟现场控制站代替实际的现场控制站,通过虚拟测试功能来对整个组态项目进行测试。

6.2 现场安装及调试

现场安装和调试主要完成以下工作:设备开箱检查、设备安装就位加电测试、系统接线、系统调试、系统测试和验收。

6.2.1 设备安装就位和加电测试

在 DCS 安装之前,要先检查安装位置是否符合要求,电源供电系统是否符合要求、接地措施是否符合要求,在确认上述 3 项均符合要求后,将 DCS 的现场控制站、工程师站和操作员站分别就位。就位之后,核实各站的接地设施,分别按要求进行接地。

系统的加电测试步骤如下:

- (1) 检查各站电源开关是否均为“关”,若开关打在开位置,将其置为“关”。
- (2) 按要求连接 VL 网通信电缆。
- (3) 将操作员站、工程师站的外设单元、主机接上电源线,现场控制站接上电源线。
- (4) 对上述工作再进行核实,确认无误后,打开操作员站、工程师站的电源。打开现场控制站的供电总开关,然后逐个打开 CPU 电源、I/O 模件电源等。
- (5) 启动系统的硬件测试程序,检查所有硬件是否正常。
- (6) 硬件检查正常后,下载组态项目至现场控制站和操作员站中,检查下载过程中有无错误发生。

6.2.2 系统接线和现场调试

三万制氧 DCS 需要连接数百对来自现场的信号线,这些信号线的种类、性质有很大差别,所以 DCS 的接线是工作量较大、较麻烦、较容易出错的工作。在进行接线之前,确认各现场控制站的电源已断开,确认各现场信号线也处于断开状态。在与现场控制站断开的情况下,对各现场仪表加电,在现场控制站的接线端子上——核实所接信号。对于模拟量输入信号,要测出仪表输出最小、最大时的端子测量值,对于开关量信号,要测出“关”和“开”两种状态时端子上的电压读数。在这里我们有一条基本的假设,

即系统中的各 I/O 模件的处理精度符合厂家产品标准中的要求,也就是说,只要现场信号接线正确,系统的接地符合要求,组态正确,那么测试精度是可以保证的。

在接线工作完成后,接着是现场调试。现场调试要涉及到系统的所有功能调试,如控制回路的调试、控制算法的整定等。为了保证系统的各种功能,特别是控制调节功能的正确运行,输入输出关系必须是正确无误的。如果已经确认了系统的信号,不论是输入还是输出均无问题,就可以进行控制回路的调试了。在控制回路调试和算法整定过程中,要求工艺人员、操作人员、仪表人员都要在场,控制回路的调试要保证生产过程的安全,调试要循序渐进,调节回路一般遵循先手动,后自动的原则。在控制回路调试过程中,如果达不到控制的效果,例如有时控制回路的输出已经很大,当测量值 PV 仍离要求相差很多,且变化很慢,这时就要检查控制算法是否正确,如 PID 的正反作用是否正确,测量实际的端子输出值是否正确,检查调节阀是否失灵,检查调节回路是否有阻塞等。

6.3 硬件抗干扰措施

(1) 干扰的危害

干扰引入 DCS 系统会产生如下问题并造成危害^[38]:

(a) 干扰通讯系统,使系统误码(数据和地址码等),造成通讯异常,影响系统正常工作。

(b) 干扰开关量输入与输出(DI/DO),使逻辑控制误动作,造成异常或事故。

(c) 干扰模拟量输入与输出(AI/AO),使其产生波动并使误差增大。

(d) 强电压冲击有时会损坏卡件。

(e) 强磁场干扰 CRT,使图象模糊,不能正常工作。

(2) 现场干扰源

(a) 静电干扰

静电干扰多来自系统的高电压设备和电缆,也来自仪表与控制 I&C)系统本身的交流电源线。如在同一根电缆中既有电源线(220VAC),又有信号线,则信号线上能感应出较强的交流电压。这主要是由相邻的导线通过分布电容将交流高电位耦合到 I/O 信号线上的。静电干扰也能产生于系统输入端的信号源以及系统输出所带的高电位负载,如交流供电的变送器,模拟输出所带的变频器等。

(b) 磁场干扰

磁场干扰多来自较大的电流设备,当 DCS 的信号线穿过这些强磁场并于磁力线不完全平行时,这些交变磁场就会在 I/O 信号线中感应出电动势。

(c) 强电流干扰

强电流干扰主要是由大地或金属导线中的电流场在两点建立的电位差被引入到 DCS 所致,多发生在系统采用单点接地制或出现连点接地的情况下。

(d) 射频干扰

射频干扰主要是由对讲机、移动电话等造成的干扰以及工业生产中大型动力设备的启动、停止的操作干扰和高次谐波干扰。

(3) DCS 抗干扰措施

减少对 DCS 的干扰需要遵循以下原则^[38]:

- 尽量阻止干扰信号引入系统;
- 使引入系统的干扰信号得到最大的衰减或尽量不起作用;
- 减少干扰源或降低干扰信号的强度。

遵循以上原则,采取的具体措施如下:

(a) 机柜和机箱

- 选用低碳钢材料,它对磁屏蔽和电屏蔽有较好的效果。在机柜内设置统一的接地铜排。

- 所有机柜内外的屏蔽包括机柜、柜门、屏蔽电缆、屏蔽线的屏蔽层都可靠的接至接地铜排上。

(b) 电源

- 电源变压器采用隔离变压器并采用屏蔽层,电源一次绕组与二次绕组间加静电隔离层。

- 采用性能优良可靠的 UPS 电源,并对这一部分供电线路与信号线路之间、UPS 的进出线路之间进行隔离和屏蔽,避免供电线路对信号线路和 UPS 电源对 UPS 输出线路的感应。所有现场仪表和公用仪表采用同一 UPS 电源。

- 总电源、分电源和模件电源回路均加滤波电路防止干扰窜入和互相耦合。

(c) 传输线路处理

- 信号线与动力线尽可能垂直,不得不平行时尽可能保持较大的间距;穿管敷设时使两者分开在不同的管内;用汇线槽敷设时不同种类的信号线,信号线与动力线之间设置隔离金属板;同一多心电缆内走同种类的信号。这样可以有效的减少干扰信号的耦合。

- 信号传输线路采用屏蔽双绞线。在外界干扰磁场作用下,同一导线的相邻的两扭环所产生的感应电动势方向相反,在导线上产生的相反方向的干扰电流抵消,虽然不可能完全为零,但可以减小到很小。

- 传输线路屏蔽。传输线路采用带有绝缘护套的金属屏蔽层进行屏蔽,通过屏蔽层接地可以使导线与导线之间的耦合趋近于零,大大降低了线与线之间的分布电容所引起的电容性耦合噪声。现场敷设的导线与导线之间,已经因设置屏蔽层而解决了电容性噪

声影响的电场的屏蔽, 外界的磁场的屏蔽依靠装入金属汇线槽或金属管得以实现。两者的配合能够比较好地完成传输线路电场和磁场的屏蔽。现场的信号线特别是长距离架空和设置于灌区、站场的信号线路应完全装入金属汇线槽或金属管, 并且金属汇线槽或管做到可靠的接地, 从而使传输线路免遭雷击。

(d) 接地处理

DCS 的接地是系统抗干扰的重要措施, 接地系统分为安全接地、系统接地、屏蔽接地和本安接地^[40]。通常将系统接地、屏蔽接地、本安接地归纳为工作接地。要求接地阻值满足要求。另外要求接地系统完全独立, 即要求接地系统有独立的接地母线。

(i) 安全接地

安全接地是为了保护人身和设备的安全, 在设备框架或其外壳采用的接地, 尤其对 DCS 的静电保护而言, 其安全接地更显重要^[41]。安全接地做到以下几点:

- 安全接地采用自身独立的接地系统, 不与工作接地混接在一起。否则会造成安全接地可能发生的干扰进入信号回路中, 甚至损坏安全栅, 从而影响 DCS 正常工作。

- 安全接地设置了独立的接地母线, 接地铜排及接地极, 各接地铜排不允许以串联的方式连接。

- 接地母线尽可能短, 保证连接设备与接地极之间的绝缘导线阻值 $\leq 0.1\Omega$ 。

(ii) 系统接地

系统接地也有独立的接地系统, 与本安接地公用一个接地极。其目的是保证接地极等电位, 避免因接地极电位波动导致信号传输回路中引入干扰。系统接地阻值 $\leq 1\Omega$

(iii) 屏蔽接地

屏蔽接地是为了 DCS 抗外界干扰而设置的接地系统。其接地的关键如下:

- 屏蔽接地属于工作接地, 有独立的接地系统, 不可接入保护接地中。

- 屏蔽接地必须单点接地, 接地极设在控制室附近。若两点接地, 则可能导致其它动力设备的漏电流进入回路, 引起干扰。

- 变送器信号电缆屏蔽层应该在 DCS 系统一侧接地, 不可两端接地或者在现场接地。

(iv) 本安接地

本安接地原则上要求单点接地, 但可以和系统接地接在同一个接地极上, 因为安全栅要求接地极与 24V 直流电源的负极等电位。24V 电源负极必须与其接地极等电位。要求接地电阻 $\leq 1\Omega$ 。

6.4 安全性

安全问题一直是十分重要的问题, 如果操作人员由于误操作或其它原因而导致系统

瘫痪,引起事故发生,其后果是不堪设想的^[42]。

我们为不同的用户设置了不同的操作权限,如操作工只具有监视功能,不能修改某些内部仪表的参数,而工程师有修改内部仪表参数的权利,如修改 PID 内部仪表的参数等。操作工、班长、工程师都有各自的权限。除了在操作系统中设置的不同级别用户外,在 CS3000 系统中又设置了三级权限用户,只有以工程师级别进入才能使用系统组态功能。

在系统调试过程中,我们发现用户可以通过不同途径对系统安全构成一定的威胁,如删除计算机上的文件,为保证系统的安全性,减少用户删除文件的可能性,而且还要限制用户利用计算机做和监测控制无关的事,我们采用了如下的方法进一步增强系统的安全性:

(1) 进行系统功能的屏蔽工作。

CS3000 系统的屏蔽不需要在操作系统中进行复杂的操作,在其 HIS SETUP 对话框中将 Windows 桌面改为启用 CENTUM 桌面,即可以屏蔽 Window 桌面、开始菜单、右键菜单及键盘快捷键等功能。

(2) CMOS 设置

设置 CMOS 密码,在 CMOS 中有关于启动口令的设置,设置软驱、光驱均为未安装。设置启动顺序为从硬盘启动。做了以上的设置后,可以防止用户通过软驱或光驱启动系统,造成系统故障。

(3) 隐藏某些文件和文件夹

为了不让用户删除和系统运行有关的文件,可以隐藏某些文件或文件夹。如可以隐藏下列文件或文件夹:

C:\CS3000 下的各文件夹

C:\CS3000\HIS\下的各文件夹

C:\下的各文件夹

DCS 是装置的核心,如果由于操作人员误操作或其它原因而导致系统瘫痪,引起事故发生,其损失是很大的,因此我们对 DCS 的安全性要有足够的认识。通过上述对 DCS 的设置,基本上达到了安全操作的目的。

6.5 运行情况

我厂三万空分自动化控制系统改造自 2006 年 4 月份完成正式投运以来,系统运行稳定,可靠,至今没有发生一起故障,特别是经受住了雷雨季节的考验,为公司生产有序组织做出了贡献。主要表现在如下几个方面:

(1) 该系统设计有流程操作和组操作,既满足了相关设备同组操作的方便快捷,又

适应了新操作人员对工艺流程直观的要求,兼顾了新老操作人员的操作要求和习惯,达到了方便易用、操作灵活简便的要求。

(2) 该系统设计有操作和报警打印记录功能,方便了在发生意外停机等情况下快速分析查找原因,利于快速排除和解决故障。设计有重要工艺监控参数历史趋势记录功能,方便了管理人员和工艺技术工程师对生产、设备、操作等的分析管理。

(3) 该系统设计有按日生产报表的打印和归档,为技术人员和管理人员对工艺生产分析提供数据依据。

(4) 该系统增加了空压机防喘曲线监视功能和分子筛工作步骤及状态的监视功能,使操作人员随时方便掌握空压机运行状态和分子筛运行状态,提高了紧急情况下操作人员的反应速度,可以有效避免由于反应滞后造成的事故发生。

(5) 该系统能够直观的显示在线设备连锁逻辑实时状态和逻辑关系,利于操作人员和维护人员快速了解故障时的问题所在,提高判断处理故障的效率。

(6) 该系统采用同该厂新上的三万五制氧机相同型号的控制系統,极大地方便了新老操作人员在不同岗位间的流动,减轻了换岗后重新学习的强度和负担,可以很快胜任操作工作,同时给系统维护带来了便利。

总之,该系统投入运行以来,完全满足了制氧生产工艺的控制要求,实现了稳定可靠安全运行的目标。

第七章 结论与展望

本课题以首钢氧气厂三万制氧机组控制部分改造为依托,实现对制氧生产过程中不同的控制变量的精确、可靠的控制。控制系统是采用标准化、模块化和系列化设计,由过程控制级、控制管理级和生产管理级组成的一个以通信网络为纽带的集中显示操作管理,控制相对分散,具有灵活配置、组态方便的多级计算机网络系统结构的 DCS,完全能够适应制氧生产流程长、检测控制回路多、生产控制方案复杂、安全可靠要求高的要求。所以对 DCS 的研究具有十分重要的意义。自 2006 年 4 月改造后至今系统运行稳定,可靠,完全满足了制氧生产工艺的控制要求,验证了设计方案的有效性,对老机组的稳定运行打下了很好的基础。经测算,整个系统的改造费用共 450 余万元,而取得经济效益每年可达 900 余万元,效果非常明显且保证了设备的安全稳定运行。

在论文工作中利用所学自动控制理论知识,并结合本单位的生产实际,对生产设备中存在的问题,加以深入研究开发出实际应用的控制系统,并成功得以实施应用,取得很好的效果。通过本系统的研究开发,更加掌握了所学控制系统理论知识,锻炼并提高了自己利用科学理论解决实际问题的能力。熟悉掌握了一套 DCS 的知识,对今后生产运行、设备管理提供有益的帮助。深深体会到在系统研究开发中,首先要求对工艺流程的熟悉理解,了解各个工艺控制点等,然后对系统的控制结构深入剖析、研究,制定出详尽的计划方案,最后对新系统的选用作出方案论证、评估,合理选择及精心组织;对新系统的建立,要兼顾原有风格和习惯,达到较好转换。系统研究开发是一项耗费大、历时长、技术复杂且涉及面广的系统工程,研究开发是集体智慧的系统集成,需要有分工协作的团队精神才能完成。

参考文献

1. 王常力, 罗安. 分布式控制系统(DCS)设计与应用实例[M], 北京: 电子工业出版社, 2004, 19-21
2. 俞金寿. 过程控制系统和应用[M], 北京: 机械工业出版社, 2003, 42-44
3. 袁任光. 集散型控制系统应用技术与实例[M], 北京: 机械工业出版社, 2003, 33-36
4. 魏晓东. 分散型控制系统[M], 上海: 上海科学技术文献出版社, 1991
5. 陈季琪. 微机在测控领域的应用[M], 机械工业出版社, 2000
6. 李士勇. 模糊控制、神经网络控制和智能控制理论第 1 版[M], 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1996, 114-116
7. 徐大诚, 邹丽新等. 微型计算机控制技术及应用[M], 北京: 高等教育出版社, 2003
8. Watano, S. Mechanism and control of electrification in pneumatic conveying of powders, Chemical Engineering Science, 0009-2509, vol.61, 2006: no.7, p. 2271-2278
9. C.Larose, S.Guerette, F.Guay, A.Nolet, T.Yamamoto, H.Enomoto, Y.Kono, Y.Hasegawa, H.Taoka. A fully digital real-time power system simulator based on PC-cluster. Mathematics and Computers in Simulation. 2003, 63: 151-159.
10. Bley, H, Oltermann, R., Wuttke, C. C. Distributed model management system for material flow simulation. Journal of Materials Processing Technology, 2000: 107 1-3, 478-484
11. Gou Xiaolong, He Zuwei, Liu Shi. DCS Management System Design For Simulation. Asian Simulation Conf./the 5th int. Conf. On System Simulation and Scientific Computing. Shanghai. Nov.3-6 2002: 313-315
12. D.R.Land. Select the Right Distributed Control System[M], Measurement and Control, 1995, 16-17
13. 邵裕森. 过程控制工程[M], 北京: 机械工业出版社, 2000
14. Gary A. Mintchell. Distributed Control Does Discrete[J], Control Engineering, 2000, 10, 8-10
15. Andy M Smith, Martin Davis. The DCS as enabling platform. Measurement and Control. 0020-2940, vol.40, 2007: no.2, p.54-55
16. 王常力. 分散型控制系统[M], 北京: 清华大学出版社, 1993
17. 李化治. 制氧技术, 北京: 冶金工业出版社, 1997
18. 杨勇源. 中国空分行业的发展展望, 北京: 气体分离设备, 2007, 10, 2-5
19. 毛绍融, 朱朔元, 周智勇. 现代空分设备技术与操作原理, 杭州出版社, 2005
20. 刘容等. 30000Nm³/h 制氧施工与管理[M], 北京: 首都钢铁公司建设总公司技术处, 1990, 22-26
21. 朱勇彬. 横河 DCS CENTUM CS1000/ CS3000 控制系统应用技术[M], 西安: 横河西仪有限公司, 2006, 55-56
22. Reference Manual Function Block Detail YOKOGAWA. 1998
23. Yokogawa Electric Corporation. FCS Field Control Station Functions Manual[M], YOKOGAWA, 1999, 21-22
24. Reference Manual Human Interface Station. YOKOGAWA. 1998
25. 何衍庆等. DCS 中顺序控制系统设计[J], 石油化工自动化 2002, 6, 21-23
26. 赵瑾. CENTUM CS1000 集散控制系统[M], 北京: 化学工业出版社, 2001, 71-73
27. Yokogawa Electric Corporation. Hardware Configuration and Functions Manual[M], YOKOGAWA, 1999, 52-54
28. 于杰. DCS 自动控制系统在生产过程中的应用[J], 山东煤炭科技, 2002, 11-13
29. 王锦标, 刘宇. DCS 中 PID 功能块的无扰动切换[J], 基础自动化及仪表, 1999, 4, 18-19

30. 胡寿松. 自动控制原理[M], 北京: 国防工业出版社第3版, 1994, 221-229
31. D. Popovic, V. P. Bhatkar. Distributed Computer Control for Industrial Automation[M], Marcel Dekker Inc, 1991, 121-122
32. 陶永华. 新型 PID 控制及其应用[M], 北京: 机械工业出版社, 2003, 62-65
33. 陈广超. PID 算法在 DCS 中的应用[J], 炼油化工自动化, 1997, 1, 21-22
34. M.Alpbaz, H.Hapoglu, G.Ozkan, S.Altunta. Application of self-tuning PID control to a reactor of limestone slurrytitrated with sulfuric acid, Chemical Engineering Journal, 1385-8947, Vol.116, 2006: no.1, p.19-24
35. 刘金现. 先进 PID 控制及其 MATLAB 仿真[M], 北京: 电子工业出版社, 2003
36. 王晓东. 算法设计与分析[M], 北京: 清华大学出版社, 2003, 47-50
37. Astron K J, Hagglund T. PID Controllers: Theory, Design and Tuning, New York: ISA, 1995
38. 陈海喻. 解决 DCS 干扰的几种方法[J], 化工自动化及仪表, 2000, 1, 14-15
39. 赵汉杰. DCS 系统的抗干扰措施[J], 自动化博览, 2000, 1, 20-22
40. 王智, 张毅. DCS 抗干扰和接地设计若干问题的讨论[J], 石油化工自动化, 2003, 5, 7-9
41. 王子平. 影响 DCS 安全运行的因素及对策[J], 化工自动化及仪表, 1999, 1, 16-18
42. 张烈. DCS 安装、调试中经常出现的问题及改进措施[J], 电力建设, 2004, 5, 28-30

致 谢

掩卷之际，首先向我的导师高立群教授致以深深的谢意！感谢导师对我在学业上的悉心指导，使我顺利完成硕士阶段的学习。导师渊博的学识、敏锐的思想、严谨的治学态度、不倦的工作精神深深地感染着我，使我终生受益。在论文选题、设计和完成期间，导师都给予了极大的关心和支持，在此，向他致以最衷心的感谢。

我还要感谢王绪高工，在本论文的设计和完成期间，王绪高工用其丰富的学识和实践经验，给予了我极大的帮助与支持，使我受益匪浅。

我最后要感激我的妻儿，正是他们始终如一地支持和理解，才使我有足够的信心和勇气去迎接未来的挑战。

