

分类号_____ 密级_____

UDC _____

学 位 论 文

首钢第二炼钢厂 颗粒镁脱硫自动化控制系统的 研究与开发

作 者 姓 名 齐保杰

指导导师姓名 张国范 教授

东北大学信息学院自动化研究所

申请学位级别 工程硕士 学 科 类 别 工 学

学科专业名称 计算机技术

论文提交日期 2004 年 8 月 论文答辩日期_____

学位授予日期_____ 答辩委员会主席_____

评阅人_____

东 北 大 学

2004 年 8 月

摘 要

为了满足用户不断增长的对钢材冷成型性能、焊接性能和抗腐蚀性能的要求，各国钢铁业都在努力提高钢材质量，特别是降低钢中的硫含量。这种对低硫钢的迫切需求使得铁水炉外脱硫技术得到迅猛发展和广泛应用。由于金属镁与硫具有极强的亲和力，因此，镁可将铁水中的硫通过化学反应降至极低，同时脱硫成本也进一步降低。所以，采用金属镁进行脱硫的技术在近几年得到迅速发展。

在所有镁系脱硫技术中，乌克兰单吹颗粒镁脱硫技术是最为突出的一例。

本文根据冶金学理论，以乌克兰单吹颗粒镁脱硫技术为基础，应用自动控制理论，结合现场总线控制系统理论，对首钢二炼钢颗粒镁脱硫自动化控制系统进行研究开发与采用，采用了西门子工控设备。同时结合生产设备的使用情况对首钢二炼钢颗粒镁脱硫自动化控制系统在铁水脱硫生产中的应用情况进行分析，提炼出该厂铁水脱硫的生产规律，找出影响脱硫命中率的因素，进一步完善自动化控制系统的功能，真正实现高速、高效和高生产率。

关键词： 颗粒镁脱硫 现场总线控制系统 西门子工控设备 脱硫命中率

Abstract

In order to fulfill the users continuing rising request on cold molding quality and solder quality and anti-causticity of steel, almost all the steel making industry of the world are actively struggle on the promoting of steel quality especially on decreasing content of sulfur. It made the technique of out side converter desulfuration fast develop and wide use that the strongly requirement for the low sulfur steel. Because of the strong affinity the sulfur and magnesium, through the chemical reaction between the sulfur and magnesium, the content of sulfur of molten iron can be decreased to a very low percentage. The same time, the cost of desulfuration also can be decreased. So, the techniques of desulfuration using magnesium have getting rapidly development recently.

Among all those technique using magnesium, the most remarkable one is the desulfuration with Granulated magnesium of The Ukraine.

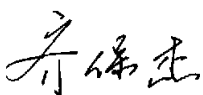
This paper according to the metallurgy theory, basis on the desulfuration with Granulated magnesium of The Ukraine, using the automation theory, combine Fieldbus control system theory, study and develop the automatic control system of Granulated magnesium desulfuration of the No.2 plant of SHOUGANG, the industrial automatical control equipments of SIEMENS were adopted. Meanwhile, combine the instance of the production equipment, analysis the application of the automatic control system of Granulated magnesium desulfuration of the No.2 plant of SHOUGANG in molten iron desulfuration. Then, give out the rule of the molten iron

desulfuration of the factory, find out the factor which influence the ratio of hit desulfuration target, perfect the function of the automation system, so as to get high speed、high efficiency、high productivity.

Key words: Granulated magnesium, Fieldbus control system, The industrial control equipments of Siemens, The ratio of hit desulfuration target

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参考文献和致谢的地方外，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已在论文中作了明确的说明并表示感谢。

本人签名： 

日 期： 2004.08.20

第一章 绪论

1.1 铁水脱硫技术发展概况

为了满足用户不断增长的对钢材冷成型性能、焊接性能和抗腐蚀性能的要求，各国钢铁业都在努力提高钢材质量，特别是降低钢中的硫含量。这种对低硫钢的迫切需求使得铁水炉外脱硫技术得到迅猛发展和广泛应用。目前，钢铁工业应用的铁水脱硫技术主要有投掷法、喷吹法和机械搅拌法。采用的脱硫剂有碳酸钠、碳化钙、氧化钙和金属镁等。由于金属镁与硫具有极强的亲和力，因此，镁可将铁水中的硫通过化学反应降至极低，同时脱硫成本也进一步降低。所以，采用金属镁进行脱硫在近几年得到迅速发展。

在所有镁系脱硫技术中，乌克兰单吹颗粒镁脱硫技术是最为突出的一例。该工艺于20世纪60年代由前苏联Dnepropetrousk钢铁研究院开发成功^[1]，70年代率先在亚速钢厂将该工艺工业化。该工艺具有的优点是：

- (1) 脱硫效率高，可将铁水中的硫含量脱除至超低水平，如0.002%以下；
- (2) 脱硫能力强，对原料(铁水硫含量)具有很强的适应性；
- (3) 脱硫剂单耗低，处理时间短；
- (4) 铁损和温降低，产生的渣量少，综合成本低；
- (5) 对环境污染小；
- (6) 易于进行过程控制。

1.1.1 国外铁水脱硫技术及其自动化系统的发展状况

对于国外铁水脱硫扒渣工艺技术和设备，典型应用为乌克兰亚速钢厂、德国蒂森克虏伯公司 380 吨和 260 吨转炉钢厂的铁水脱硫扒工艺和设备，承担上述脱硫项目设计和技术研究的公司分别为乌克兰钛设计研究院、乌克兰黑色冶金研究所、德国科特纳公司及富东斯多公司。下面作简要介绍：

1.1.1.1 乌克兰

亚速钢厂有 300 吨转炉 2 座，连铸机 3 台，连铸坯规格分别为:220×

1850(1550);250×1550(1650);300×1850。年产钢 400 万吨, 炉龄 1300 炉, 出钢温度 1680℃。

现在铁水脱硫主要在 90 吨高炉罐中单独喷镁脱硫, 脱硫扒渣后的铁水倒入混铁炉(2500 吨×2), 300 吨铁水包喷吹脱硫是实验设备, 兑入转炉的铁水都经过扒渣, 一条新的自动化铁水包喷吹 Mg 脱硫生产线正在筹备设计中。

对 200t 铁水包, 处理 200t 铁水, 初始硫 0.035%, 脱硫后为 0.005%; 用颗粒镁脱硫, Mg 消耗量 0.30Kg/t, 新生渣量 0.60Kg/t, 铁水随新生渣量的损失 0.27Kg/t, 脱硫时的温降 7℃, 脱硫剂给料速度 10Kg/min, 镁粒剂消耗 0.4—0.5Kg/t。脱硫除尘风量 25000m³/h。

乌克兰脱硫设备运行可靠, 但因系 23 年前建设, 自动化水平差, 准备新上 300t 铁水包脱硫生产线, 已由乌克兰钛设计研究院和重工业自动化研究所作详细设计, 观察计算机演示, 给出终点硫量、初始硫量、铁水重量、铁水温度 4 个参数, 整个脱硫过程, 包括给料速度变化, 都可自动进行。

1.1.1.2 德国

蒂森克虏伯公司共有 3 个转炉炼钢厂, 年产钢 1000 万吨, 主要产品为热带和冷轧板。奔驰、奥迪车的面板均由 380t 和 265t 转炉生产, 转炉平均炉龄 2170 炉。

该公司全部采用铁水包喷吹脱硫, 混铁车脱硫由于效率低、成本高已淘汰。

380t 铁水包脱硫有两个脱硫位, 每套脱硫位有喷枪, 备用喷枪, 测温取样枪, 脱硫和扒渣处于同一位, 固定倾翻扒渣。处理能力 400 万吨。

采用混合喷吹脱硫, 前边喷吹 CaO, 中间喷吹 CaC₂ 和 Mg, 最后喷吹 CaO。给出重量、温度、初始硫、终点硫, 计算机便可自动控制整个脱硫过程。

该厂要求铁水包净空 500mm, 喷头距包底 100mm。对 200 吨包最大净空 500mm, 最小 300mm。

喷吹过程: 给料速度 CaO 设定 40kg/min, 实际 20—30kg/min, Mg 设定 8kg/min, 实际 8-10kg/min。

现场就地有处理喷枪堵塞工具。

喷枪寿命最大 1000 分钟，平均 600 分钟，脱硫后扒渣，采用德国产扒渣机，就地倾翻后扒渣，扒渣臂旁有一吹气赶渣用的装置，较少使用。

喷吹 CaO 粒度 0.63mm，Mg 粒度不大于 1mm。

脱硫剂给料速度 40—50kg/min，除尘风量 140000 立方米/小时。

对采用脱硫技术的各厂实际综合成本对比，乌克兰的颗粒镁脱硫技术比其他方式具有以下优势：

- (1) 自动化水平高，达到同样的铁水脱硫目标，脱硫剂消耗低；
- (2) 喷吹参数控制准确，喷吹过程喷溅小，产生烟尘量小；
- (3) 颗粒镁脱硫形成渣量少，渣偏干，易于扒除，铁损低；
- (4) 脱硫设备较简单，相应投资较少，综合成本较低。

因此，首钢第二炼钢厂铁水脱硫选择乌克兰技术，并采用铁水车带倾翻扒渣，喷吹和扒渣统一在一个罩内收集烟尘，喷吹过程完全采用计算机自动控制。

1.1.2 国内铁水脱硫技术及其自动化系统的发展状况

对于国内铁水脱硫扒渣工艺技术和设备，典型应用为鞍钢一炼钢厂、本溪第二炼钢厂的铁水脱硫扒渣工艺和设备。下面作简要介绍：

1.1.2.1 鞍钢第一炼钢厂

鞍钢一炼钢为平炉改转炉改建新厂，目前已基本改造完成。改造后现有三座 90 吨转炉、一台板坯连铸机，铁水脱硫处理为美国 ESMII 公司与鞍钢设计院联合设计，核心技术及设备引进，于 1998 年 12 月开始建设，1999 年 12 月热试成功。

脱硫剂实际消耗指标，由于鞍钢铁水初始硫含量较高，一般在 0.045%以上，若脱到 0.005%，镁粉消耗为 0.875Kg/吨铁，白灰消耗 3.54Kg/吨铁，略高于 ESMII 公司给出的保证值。

ESMII 公司为鞍钢一炼钢设计的铁水脱硫扒渣设施自动化水平非常高，操作全部在脱硫操作室内采用 PLC 自动控制。
部在脱硫操作室内采用 PLC 自动控制。

1.1.2.2 本溪第二炼钢厂

本溪二炼钢厂现有 3x120 吨转炉(平均出钢量 150 吨/炉), 2x1300 吨混铁炉, 一套 RH 真空精炼设施, 一套 AHF 精炼设施, 一台两流板坯连铸机(奥钢联技术)。

两套铁水脱硫扒渣设施为荷兰霍高文/美国罗斯伯罗提供整套设备。于 1996 年开始建设, 1998 年 10 月热试成功。年设计处理能力 250 万吨/年。目前生产中已正常使用, 日处理量 45 炉左右。实际生产中采用镁粒与石灰复合喷吹脱硫。

由于喷吹镁剂采用镁粒, 处理成本较高, 投产初期曾达 53 元/吨铁, 现在是 40 元/吨铁。

下列为部分生产数据

初始硫: 0.05% 目标硫: 0.01% 铁水罐容量: 150 吨/罐

实际喷吹镁粒: 80Kg/罐; 喷吹石灰粉: 250Kg/罐; 喷吹载体流量: 20Nm³/h; 喷吹时间: 10 分钟; 铁水温降: 15℃。

镁粒平均消耗: 0.583Kg/吨铁(为 0.05%-0.06%脱到 0.01%-0.02%的生产平均消耗值)。

目前本钢很少要求脱到 0.01%以下。

小结:

扒渣机最好引进国外液压扒渣机。

乌克兰工艺是可行的, 设备装备自动化水平高。

1.2 单吹颗粒镁脱硫系统概述

1.2.1 单吹颗粒镁脱硫系统的产生背景

在日益激烈的国际竞争中, 钢铁工业面临严重的挑战, 迫在眉睫的任务是利用有限的资金投入到企业乃至全行业的结构优化和调整中来, 将钢铁工业的发展推向全新领域。今后我国炼钢工作的重点是: 在继续提高连铸比的基础上, 加强炼钢过程自动化, 采用铁水处理和炼钢新技术, 以优质和低成本为根本目标, 使钢水的硫含量达到双零以下, 提高铸坯质量, 扩展连铸钢种, 用最小的成本核算生产出高附加值的优质钢种满足市场需求, 从而减少钢材进口, 实现中国炼钢技术新的腾飞^[25]。

为此需运用高端的自动化技术对钢铁生产中的硫含量加以控制，将其应用到实际生产中，大幅提高国产钢材的质量和品种已势在必行。在此背景下，“单吹颗粒镁脱硫系统”这一研究领域应运而生。

1.2.2 单吹颗粒镁脱硫工艺的设备特点

1.2.2.1 设备简单紧凑

图1.1为铁水包单吹颗粒镁喷吹系统设备示意图。从图1.1中可以看到，铁水包单吹颗粒镁工艺主要包括的设备有：装料罐、喷吹罐、铁水运输车、喷枪架、测温取样装置及自动化控制设备。

与其他复合喷吹脱硫技术相比，该工艺整体设备简单，设备数量较少，可有效降低工程总投资。同时，建成后其相应的设备运行和维护量较小，有利于设备的正常运行和维护^[2]。

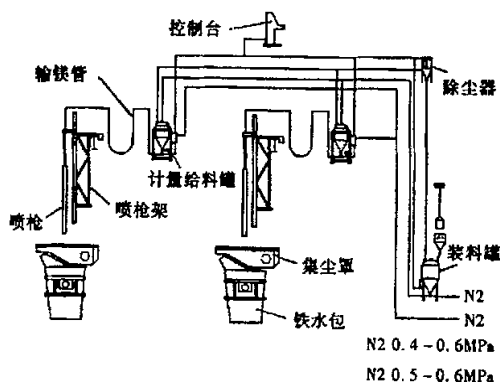


图1.1 铁水包单吹颗粒镁喷吹系统设备组成

Fig.1.1 Equipment System Compositions with Pure Magnesium Granule Injection in Ladle

1.2.2.2 过程控制简单

在单吹颗粒镁脱硫技术中，因脱硫剂只有一种，所以操作过程控制较为简单。脱硫采用计算机自动控制，即：处理前由操作工输入铁水初始硫、目标硫、铁水重量和铁水温度等参数，计算机自动计算本包铁水所需耗镁量，并下枪开始喷吹；喷吹到目标耗镁量时，自动提枪，脱硫结束。

立山 政幸等在用镁丝进行铁水脱硫试验时,发现镁的脱硫行为可分为三个阶段:脱硫开始期、脱硫高峰期、脱硫停滞期^[4]。

1.3 颗粒镁脱硫的关键技术

镁在炉外处理铁水的最重要因素是处理后铁水中硫和镁的绝对值及其相关关系。一系列试验研究工作表明,不论精炼方法如何,在导入镁过程中硫含量都会下降,同时镁在铁水中的残留量都会增加(特别是在 $[S]<0.015\%$ 以后)。但是这些研究没有对 $[Mg]$ - $[S]$ 系平衡态下镁和硫的含量水平作出评价,而这一点会最终决定向铁水中加镁方法的效率^[3]。

因此,脱硫反应后铁水中实际镁含量若比平衡含量低,那么回硫过程还是有可能的。从这一点上说,提高铁水包顶渣的硫容和脱硫后扒去含硫渣应看作是炉外处理铁水非常合理的措施。而如果脱硫后镁的实际含量高于平衡含量,则整个系统仍然处在一种可以继续降低硫量的状态中。但这后一种情况并非总是如此,因为还必须考虑脱硫时镁的总吸收率和刚完成加镁后铁水中硫的实际含量。

这一点指示出采用镁处理铁水的这种方法的有效性和稳定性,因为镁和硫含量的实际数据若与计算的相关函数吻合得好,就能保证在喷吹镁处理铁水期间在接近于平衡含量制度下基本完成精炼时的质量交换过程。 $[Mg]$ 的实际含量值略高于其平衡含量,则证明在亚速钢厂采用的脱硫方法下存在着阻碍回流过程发展的条件。这个论点也在工业高炉铁水罐脱硫条件下进行了验证。

经以上分析证明,脱硫的命中率与铁水的初始硫、初始温度、目标硫、喷镁量、喷吹时间和强度都有很大的关系。要想达到目标硫含量,最关键的是要通过自动化系统精确计算出合适的喷镁量。因这个喷镁量的计算非常复杂,因此现在的喷镁量计算一般用自动化系统通过查表获得。

1.4 工业自动化控制系统概述

1.4.1 引言

从技术角度看,几十年来,工业自动化技术获得了很大的发展。从控制系统的

体系结构来看,经历了气动、电动、直接数字控制和分布式控制(DCS)四个时代,正在迈向第五个时代,即现场总线网络控制系统(FCS)^[34]。它将成为未来普遍采用的结构模式。在规模上,传统的控制系统可能只有几个到几十个 I/O 点或控制回路,而现在,一套 DCS 控制的 I/O 点和回路多达几百甚至上千个;系统的控制范围也从传统的基于回路的控制,发展到控制整个装置或生产线,乃至整个企业的协同控制。伴随着控制规模和层次的扩大,控制系统的结构也日益复杂化,一方面,整个控制系统在不同层次上细分,从基础控制、高级过程控制到更高的优化控制。另一方面,控制系统的不同层面之间也要求更加缜密的整合。同时,伴随着控制层次的提升,控制与管理的关系日益密切,在功能上相互渗透。这就是所谓的管控一体化进程。它们在相互的效益指标函数的规范下,逐渐被归入同一个框架中,以实现控制与管理的统一。

1.4.2 工控软件及其发展

工控软件从狭义来讲即所谓工业控制软件^[35]。自从采用可编程控制器以来,工控软件就成为工业自动化密不可分的一部分,但在实际应用中控制软件并不是孤立的,而是与其他软件相集成才能发挥其应有的作用。所以,从广义来讲工控软件应该包括数据采集、人机界面、过程控制、数据库、数据通讯等,其涵盖的内容也随着技术的发展不断的丰富,从单纯的控制走向与管理融为一体的工厂信息化。

工控软件的出现是伴随计算机技术用于工业控制开始的,经历了用二进制编码、汇编语言、高级语言编程,进而发展到今天的组态软件。

过去大家认为 PLC 适合于逻辑控制、DCS 适合于模拟量调节,各有其特点。但技术发展证明 PLC 和 DCS 在互相融合、渗透,两者的差别正日益缩小。而且 PLC、DCS 与上位机的功能也在融合,过去只能在上位机做的一些功能如先进的控制策略也能在 PLC 和 DCS 上完成,分工是相对的。因此,这三者功能的融合也促进工控软件向上位机功能,甚至工厂信息化发展。

另一方面,当前的工控软件绝大多数是由各自动化系统设备制造商仅在其生

产的自动化系统设备的硬软件环境下开发的，是与自动化系统设备捆绑和专用的。在一个工厂中有各种不同的生产工艺和设备，要求根据不同的对象选用不同的自动化系统设备，如工控机、PLC、DCS 等，即使同类的自动化系统，设备制造厂商不同，其工控软件也不相同，往往一个部门或一个人要同时了解和掌握几种本质或功能都基本相同的工控软件，这给用户购买、集成、开发、维护上带来极大的不便，增加了人力资源的消耗和投资。

这就给控制工程师提出一种思考，能否在广泛熟悉的 Windows 操作系统下发出一种不受硬件制约的、适用于广泛的自动化系统设备的工控软件。这样对用户来说可以根据不同的对象选择不同的自动化系统设备，但对软件的开发者和维护者来说只需要熟悉一种或少数几种工控软件，从而就诞生了软 PLC、软 DCS 的思想和产品。

90 年代以 Wonderware 公司的 InTouch 为代表的人机界面可视化软件开创了 Windows 下运行的工控软件的先例，到今天已发展成为能提供从工厂底层操作人员开始的自下到上层次结构的工厂信息系统。

1.5 本文的主要工作

在所有镁系脱硫技术中，乌克兰单吹颗粒镁脱硫技术是最为突出的一例。该工艺于 20 世纪 60 年代由前苏联 Dnepropetrousk 钢铁研究院开发成功，70 年代率先在亚速钢厂将该工艺工业化。同时，也提出了新的课题：即如何运用先进的工业自动化设备和技术理念，使该工艺的自动化水平也达到世界先进水平，最终使脱硫命中率得到进一步的提高。

本文的主要工作就是根据冶金学理论，以乌克兰单吹颗粒镁脱硫技术为基础，应用自动控制理论，结合现场总线控制系统理论，对首钢二炼钢颗粒镁脱硫自动化控制系统进行研究与开发，即分析颗粒镁脱硫过程中喷吹镁量、强度、时间的算法，提出合理的解决方案，并根据颗粒镁脱硫自动化控制工艺，使用编程软件和监控软件，运用科学的算法，开发 PLC 程序和监控画面，建立完善的颗粒镁脱硫自动化控

制软、硬件系统。同时，结合生产设备的使用情况对首钢二炼钢颗粒镁脱硫自动化控制系统在铁水脱硫生产中的应用情况进行分析，找出影响脱硫命中率的因素，解决实际生产过程中存在的自动化控制问题和不足，进一步完善自动化控制系统的功能，真正实现高速、高效和高生产率。

第二章 首钢第二炼钢厂颗粒镁脱硫生产解析

2.1 工艺实施过程

首钢第二炼钢厂脱硫扒渣工艺系采用乌克兰单吹颗粒镁铁水包脱硫技术,由中乌合资戴斯玛克公司工艺总负责,首钢设计院配套工厂设计。脱硫站的工程建设分为两期实施。目前,年处理铁水 160 万吨的一期工程已于 2002 年 6 月 14 日正式投入生产使用。在投产前,进行了 60 炉指标考核试验,结果为:铁水脱硫前硫含量为 0.020~0.048%(平均为 0.026%),目标值 0.005~0.015%(平均 0.010%),脱硫后达到的实际值为 0.002~0.016%,平均为 0.008%。热试使用的颗粒镁品位>92%,脱硫时颗粒镁单耗为 0.17~0.45kg/t,平均为 0.27kg/t;纯金属镁耗为 0.161~0.417kg/t,平均 0.25kg/t。纯金属镁耗担保值 0.176kg/t~0.452kg/t,平均 0.297kg/t。金属镁的消耗全部符合担保值;终点硫的命中率达到 95.9%,其他不合格炉次硫最大偏差不大于 0.002%;处理后铁水硫最低可达 0.002%;喷吹时间<10min;铁水温降<1℃/min;镁的喷吹强度在 4~14kg/min 范围内可调;喷吹过程平稳,烟气量小,除尘效果较好,设备运行可靠。

2.2 工艺流程

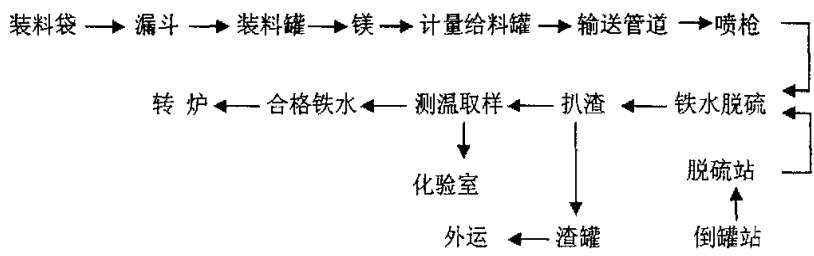


图2.1 单吹颗粒镁脱硫扒渣工艺流程

Fig.2.1 Desulfurization and Skimming Process Flow for Pure Magnesium Granule Injection

图2.1为首钢第二炼钢厂单吹颗粒镁脱硫扒渣工艺流程图。具体为260t铁水鱼雷罐车将高炉铁水运至铁水倒罐站,铁水倒入210t铁水包中,通过铁水车过渡到加料跨测温取样,用330t吊车将铁水包吊至脱硫铁水车上进入喷吹位,铁水在铁水车上

称量。脱硫过程采用计算机自动控制，处理前输入铁水初始硫、目标硫、铁水重量和铁水温度等参数，计算机自动计算本包铁水所需耗镁量，并下枪开始喷吹；喷吹到目标耗镁量时，自动提枪，脱硫结束。结束喷镁后，驱动液压扒渣机扒渣，扒渣后摇正铁包，测温取样完毕将铁水车开到起吊位，用天车将铁水吊至转炉区域炼钢。脱硫过程喷吹用载体为氮气；喷镁时喷头距包底200~250mm；喷镁时间<10min；脱硫周期<40min。

2.3 颗粒镁粒度的选择与喷吹深度控制

如前所述，颗粒镁加入到铁水中受热，发生气化和溶解并上浮。为提高镁的利用率，应尽量延长镁的上浮时间，缩短其相变时间，以保证镁在铁水包底部附近气化，力求在尽可能大的深度上使镁蒸汽溶解在铁水中。镁上浮时间以及受热和相变时间与其粒度的关系如图 2.2。

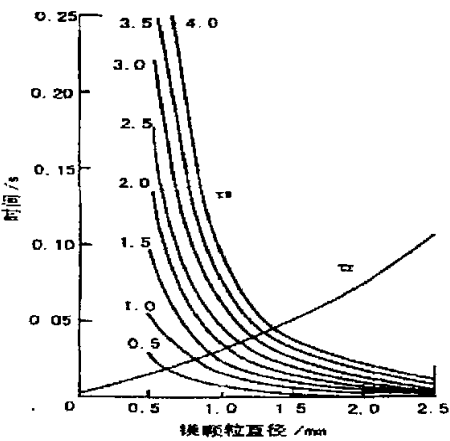


图 2.2 镁颗粒的受热和相变时间(τ_{Σ})以及上浮时间(τ_B)与颗粒直径(d)之间的关系
注：曲线旁的数字为镁的投放深度(m)

Fig. 2.2 Connection Between Heated Magnesium Granule and Object Change Time (τ_{Σ}) as well as the Relation between Float Up Time(τ_B) and Granule Diameter(d)
Note: Data by the curve are the injected deep of magnesium.

由图 2.2 可以看出，把镁喷入铁水时，镁颗粒的上浮时间与其受热相变时间具有最佳粒度选择。对应 210 吨铁水包，镁的投放深度为 3.2m，因此选择颗粒镁粒径为 0.5~1.6mm。

2.4 喷吹给料精度计算与控制

喷吹给料精度是喷镁脱硫的关键指标，如波动范围大，一方面会增加消耗或使脱硫率降低，另一方面是产生喷溅或造成堵枪。表 2.1 为喷吹给料精度检验结果。由表 2.1 可以看出镁的给料速度可调范围 4~19 kg/min，喷吹气体的镁密度为 4.09~26.28 kg/Nm³，计量罐称重误差<1%。由以上结果可以看出，该工艺控制的称量给料精度是非常高的。

表 2.1 喷吹给料精度检验结果

Table 2.1 Test Results of the Fed Reagent Precision for Injection

序号	氮气流量 Nm ³ /h	喷吹时间 min	计量罐显示值, kg			称重值 kg	给料速度 kg/min	载气中的镁浓度 kg/Nm ³	计量罐称重 误差 %
			初始	结束	差值				
1	59.1	3	93.2	81.1	12.1	12.1	4.03	4.09	0
2	99.2	3	81.0	23.2	57.8	57.7	19.26	11.64	-0.173
3	30.4	2.5	44.6	10.7	33.3	33.3	13.32	26.28	0
4	50	4.6	93.4	55.42	37.98	38	8.26	9.91	0.0527

2.5 喷吹时间及铁水温降

验收 60 炉，喷吹时间在 4'27"~9'55"，喷吹时铁水温降速度为 0.12~1.0℃，平均 0.528℃/min。由此可见，单吹颗粒镁脱硫过程温降相当小。

2.6 经济效益分析

表 2.2 为热试过程的成本组成。脱硫热试过程，主要是为了检验工艺和设备，一次性投入较大，且无法结合品种冶炼，故经济效益并未体现出来。仔细分析表 2.2，应当说脱硫成本进一步降低还是有潜力的。

(1) 首先随维护水平的提高，喷枪寿命可延长，喷枪吨钢成本可降至 0.49 元/t。喷枪可节省 4.63 元/t。

(2) 随扒渣水平的提高，扒渣铁损降低，可节省钢铁料 5~10kg/t，节约资金 10 元/t。因此预计投产后，脱硫费用可降至 20 元/吨铁左右。

表 2.2 脱硫热试过程成本构成
Table 2.2 Cost Composing during the Desulfurization Hot Test

序号	项目	单耗	单位成本, 元/吨铁
1	颗粒镁	0.28kg/t	4.61
2	喷枪	0.59	5.13
3	修补料	0.0016	0.00
4	石墨塞	0.0013	0.19
5	测温头		0.31
6	取样器		0.13
7	测温枪		0.06
8	铁损	17.95	17.77
9	溅渣氮气	0.45Nm3/t	0.09
10	煤气	0.07Nm3/t	0.02
11	无油无水压风	2.1Nm3/t	0.11
12	水	0.38Nm3/t	0.07
13	电	0.3度/t	0.11
14	检化验		4.10
15	喷枪内芯		0.10
累计			32.79

2.7 铁水包单吹颗粒镁的发展前景

由于单吹颗粒镁脱硫工艺脱硫强度大，周期短，效率高，镁的利用率高，生产运行成本低，渣量小，铁损低，生产维护费用低，工程投资少，烟气量少，环境污染少，自动化控制水平高，是一种先进的脱硫方法，具有广阔的应用前景。

小结

- 1. 热力学研究表明，加大镁的投放深度和低温操作有利于镁在铁水中熔解及脱硫。
- 2. 采用喷镁脱硫，喷镁载气和镁蒸汽对铁液的搅拌有利于镁脱硫产物的上浮。
- 3. 铁水初始硫高有利于镁脱硫。
- 4. 镁颗粒的选择应力求在最大深度上使镁蒸汽溶解在铁水中。
- 5. 首钢第二炼钢厂脱硫实践表明单吹颗粒镁脱硫工艺具有脱硫率高、终点硫命中稳定、自动化控制水平高、运行成本低的特点，具有广阔的发展前景。

第三章 首钢第二炼钢厂颗粒镁脱硫 自动化系统调控方案

3.1 颗粒镁脱硫自动化系统的控制工艺

如图 2.1 所示:

袋装颗粒镁用汽车运输至厂房,用汽车吊卸下装到漏斗内,漏斗配置在 5.8 米标高位,颗粒镁从漏斗自然下落到储料罐内;储料罐标高 0.00 米。颗粒镁从储料罐内通过氮气气动输送到喷吹罐内。喷吹罐、储料罐及管道内废气沿返回线路到储料罐上的除尘器内,废气内粉尘经除尘器积累后通过除尘管收尘仓定期排出。

当喷吹罐内有足够料量,其他条件正常,脱硫开始,铁水包被天车吊到铁水包车上,铁水包车开到脱硫位(接触限位开关停),主控制台发出指令操作,铁水包车移动作业通过工业监视器观察,铁水包车到位后开始向防溅罩供水,防溅罩下降到铁水包车上封闭,脱硫室关门。

铁水在铁水坑内测温取样,温度等成分分析数据通过现有信息网络传入脱硫自动化控制系统,操作员发送指令选择喷枪号并打开排烟闸板。排烟闸板动作,接通排烟系统。此时喷吹罐开始动作,进行必要准备。喷吹罐准备就绪,开始降枪。喷枪下降到熔体上部位置,喷枪开始供氮,此时氮气流量为 $120\text{---}160\text{Nm}^3/\text{h}$ (包括气幕),喷枪到达下位后,延时 $10\text{---}30$ 秒后,此时减少供气量到 $60\text{Nm}^3/\text{h}$,喷吹罐开始供镁,供料流量逐渐增大,最后达到设定流量值,当供镁量达到计算值时,停止供镁,此时接通喷吹罐氮气,供料流量恢复到 $120\text{---}160\text{Nm}^3/\text{h}$,延时 $10\text{---}30$ 秒后提枪,当喷枪提出金属液面后,停止供氮(熔体,喷吹罐),脱硫过程结束。喷枪架移动到测温取样位置测温取样,测温数据和样品检验数据通过网络传送到程序控制系统,确认硫含量合格后,抬起防溅罩,将控制电源切换到扒渣位扒渣。扒渣机驾驶室控制铁包液压倾翻,向渣罐扒渣。扒渣结束后,扒渣机驾驶室控制铁包回位,扒渣机驾驶员将控制器指令切回主控室。

注:脱硫前渣厚大于 150mm 需扒渣

3.2 自动化控制中的工艺联锁

3.2.1 铁水包车移动条件:

- 脱硫站大门不开, 铁水包车不能移动
- 防溅罩冷却水压力、流量、出水温度合格, 铁水包车方准进入脱硫位
- 脱硫喷枪、测温取样枪在高位, 铁水包车方准移动
- 扒渣机在原始位置, 铁水包车方准移动
- 脱硫室除尘阀打开, 铁水包车才能通过主控台开到脱硫位; 否则只能通过

现场控制台操作

- 防溅罩在高位时, 铁水包车方准移动
- 铁水包在垂直位, 方准通过主控台操作移动铁水包车

3.2.2 喷枪架移动条件: 测温取样枪及两喷枪均在高位时, 喷枪架才能南北移动。

3.2.3 喷枪上、下移动条件:

- 喷枪对位(对准喷枪孔)
- 得到把持器开信号
- 扒渣机在原始位
- 铁水包在垂直位, 方准通过主控台控制喷枪

3.2.4 测温取样枪上、下条件:

- 测温取样枪对位
- 得到把持器开信号
- 扒渣机在原始位
- 铁水包在垂直位, 方准通过主控台控制测温取样枪

3.2.5 喷枪供气流量达到 $110\sim160\text{Nm}^3/\text{h}$ 计量罐中的压力不低于 0.6MPa , 喷枪才能下降并插到铁水中。

3.2.6 喷枪只有位于最低位置或采用现场控制台控制, 旋转式供料机电机才能得电。

3.2.7 喷吹过程中,当计量罐中的压力降到 0.5MPa 以下或供氮流量低于 $60\text{Nm}^3/\text{h}$ 时,喷枪自动报警提枪。

3.2.8 计量罐中颗粒镁重量低于 100Kg , 喷吹系统不具备预启动条件。

3.2.9 氮气中含水 $>0.15\text{g}/\text{Nm}^3$, 系统不具备启动条件。

3.2.10 在喷吹过程中,设置的颗粒镁料量喷完或计量罐中颗粒镁重量为 0 Kg 时,喷枪自动提枪。

3.2.11 当供氮管路中 PT17 压力低于 0.75MPa 时,喷吹系统不工作。

3.2.12 除尘阀不打开,喷吹系统不工作。

3.2.13 计量系统故障,上料及喷吹系统不工作。

3.2.14 防溅罩冷却水压力低于 0.5MPa、流量 $<15\text{Nm}^3/\text{h}$ 或出水温度 $>75^\circ\text{C}$, 发出报警信号,若此时喷吹正在进行,自动提枪。

3.2.15 防溅罩不在低位,喷枪不能下降;喷枪提升,防溅罩自动提起。

3.2.16 喷枪降到低位,把持器自动关闭;喷枪得到提枪指令,把持器自动打开。

3.2.17 扒渣机操作条件:

- 铁水包在竖直放置,扒渣机不能扒渣
- 喷枪、测温枪不在高位,扒渣机不能工作
- 防溅罩不在高位,扒渣机不能工作

3.2.18 铁水包倾翻:

- 铁水包离开脱硫位,不能倾翻
- 防溅罩不在高位,铁包不能倾翻

3.2.19 除尘器料位在高位,系统报警,并不具备启动条件。

3.3 铁水脱硫的自动化控制过程

3.3.1 装料罐装料

3.3.1.1 装料前准备

- 打开漏斗盖

- 检查漏斗内料筛完好且无杂物，如有杂物则清理干净
- 确认漏斗下手动截门已打开
- 确认阀 50、阀 51、阀 52、阀 53、阀 54、阀 55 全部关闭

3.3.1.2 将颗粒镁从上料漏斗卸入装料罐

(1) 主控台发送上料指令，此时现场控制台得电。将现场控制台选为手动。

(2) 打开阀 50，再开阀 51。

(3) 用上料间的电葫芦吊运颗粒镁料袋到上料系统漏斗料筛上方，料袋下降时，戳穿袋底，再提升料袋到料筛上方(不超过 50mm)将颗粒镁缓慢地卸到漏斗中。

(4) 利用重力作用，颗粒镁自动从漏斗经送料管道流入装料罐。

(5) 通过计量系统称重装置的读数和 PC 显示屏的显示数监视颗粒镁装入装料罐的上料情况，装料量不超过 2.3 吨。

(6) 上料完毕待漏斗和送料管中没有颗粒镁后，先关闭阀 51，再关闭阀 50。盖上漏斗盖。

(7) 将现场控制台开关选为自动。

(8) 装料罐上料过程注意事项：

- 确认料袋下面和侧面没有杂物，以防卸料期间杂物落入装料罐
- 当把颗粒镁装入上料系统时，装料罐不能装料太多，以保证顺利上料和避免颗粒镁受潮。

3.3.2 将颗粒镁送到计量給料罐。

3.3.2.1 如喷吹罐需要装料时，才能将颗粒镁从装料罐导入喷吹罐。

3.3.2.2 计量罐的料量控制可按两种方式：

(1) 把颗粒镁装入计量罐达到最大料位 400kg 。

(2) 按操作员输入的设定量向计量罐中装料 。

3.3.2.3 上料条件

(1) 阀 50、阀 51 关闭。

(2) 现场操作台上开关转为自动, 主控室画面上显示 “work with MCD=1”

(3) 阀 60₁ 打开。

(4) 工艺设备和自动化控制系统功能完好。

(5) 供电系统, 信号通讯, 联锁机构处于正常状态。

(6) 供氮管道压力: 0.6-0.8MPa。

(7) 装料罐中压力: 0.4-0.6MPa 。

(8) 操作台上指示灯和 CRT 显示屏正常。

(9) 所有仪表阀件的功能正常。

(10) 计量系统初始位置正常, 具体如下:

- 阀 80₁、阀 80₂、阀 80₃、阀 82₁、阀 82₂、阀 82₃ 关闭
- 通向喷枪的阀 71₁、阀 71₂ 关闭
- 旋转给料机断电
- 供氮管路上的阀 70₂ 关闭

(11) 装料罐中有足够的颗粒镁, >200kg。

3.3.2.4 将颗粒镁送入计量罐

(1) 确认装料罐中有足够颗粒镁, 阀 60₁ 打开(二期为阀 60₂)。

(2) 确认喷吹罐已可接受上料。

(3) 将颗粒镁的用量输入计算机, 在显示屏上选择 “自动送料”, 颗粒镁自动从装料罐输送入计量罐。送料时氮气输送量(阀 53 前流量表显示)为 150~400Nm³/h, 颗粒镁输送量约 40kg/min 。

3.3.2.5 颗粒镁输送到计量罐各部件的动作顺序

(1) 计量罐上阀 80₁ 打开, 释放压力, 排出含尘氮气。

(2) 向计量罐送料的阀 80₂ 打开。

(3) 关闭上料系统阀 50。

(4) 打开供氮气到装料罐加压阀 52。

- (5) 增加装料罐的压力到 0.4~0.6MPa。
- (6) 打开阀 53。
- (7) 用流量调节阀 12 调节流量(阀 53 前流量表显示)达到 150—400Nm³/h 。
- (8) 打开阀 54, 将颗粒镁从装料罐经送料管道输送入计量罐 。

3.3.2.6 完成送料过程各部件工作顺序。

- (1) 关闭阀 54, 停止从上料系统输送颗粒镁 。
- (2) 关闭阀 52, 停止向装料罐供应氮气。
- (3) 打开阀 55, 从上料系统排气, 降低压力。
- (4) 装料罐中压力达到 0.05MPa 时, 打开阀 50。
- (5) 当装料罐中压力达到零时, 关闭阀 55 及 阀 50。
- (6) 下料阀 54 关闭后延时 30—60S, 关闭输料阀 53, 停止向上料系统到计量罐之间的送料管道吹氮气 。

- (6) 关闭向计量罐供料的阀 80₂。
- (7) 关闭管道除尘阀 80₁(计量罐压力达到 0 MPa)。

3.3.2.7 计量罐上料过程异常情况处理

发生下述异常情况, 在显示画面上按“STOP”, 停止上料。

- (1) 气体送料系统中, 密封故障, 实际数值与理论数值有偏差。
- (2) 装料罐氮气压力升高超过 0.6MPa。
- (3) 供氮管道中的压力低于 0.35MPa。
- (4) 送料管路堵塞。
- (5) 阀的工作状态与工艺要求不相符。
- (6) 自动化系统故障报警。

按“STOP”后, 阀 54 自动关闭, 上料系统和计量系统控制全部切换为手动, 除阀 54 外所有部件保持按“STOP”键时的瞬时位置, 由操作工按顺序手动关闭各阀。阀的关闭顺序为:

- 关闭阀 52, 阀 53。
- 点动开关阀 55, 当装料罐中的压力降到 0.05MPa 时, 打开阀 50。
- 关闭阀 55 及阀 50。

3.3.2.8 除尘排灰

(1) 除尘漏斗仓中的料达到上位时, 控制台上报警信号显示, 此时应及时将除尘灰清除。

(2) 除尘排灰条件: 系统无送料及喷吹操作

(3) 除尘排灰操作步骤

- 主控台发出排灰指令
- 现场控制台选手动
- 先打开除尘器下手动闸板
- 再开启除尘震动物
- 开启排灰给料器
- 卸灰完毕, 关闭除尘震动物、排灰给料器, 关闭除尘器下手动闸板, 将现

场控制台选自动

3.3.3 自动脱硫过程

3.3.3.1 自动喷吹前的连锁条件

- 喷吹罐内压力 $PT1=0\text{MPa}$, 通向喷吹罐 N_2 管路压力 $PT17>0.8\text{MPa}$
- 阀门气源压力 $PS3= '1' (\geq 0.4\text{MPa})$
- 二次除尘阀打开
- 除尘灰料位面正常
- 铁包车、脱硫室大门、除尘阀、水冷盖、喷枪由主操作台进行控制
- 喷枪有对位信号
- 扒渣机在原始位
- 包盖冷却水压力、流量、出水温度正常

- 喷吹罐内镁重>100kg
- 包盖在高位
- 脱硫间大门打开
- 把持器打开
- 阀 80₁、80₂、80₃、82₁、82₂、82₃、70₁、70₂、5C 处于关闭状态
- 旋转给料器电机未接通
- 计算完颗粒镁耗量
- 无设备故障及紧急事故信号

3.3.3.2 测量铁水初始温度、初始硫

(1) 铁水由鱼雷罐倒入铁水包后，在铁水坑内测温、取样。铁水样编号后送综合楼化验室。

(2) 倒罐站将铁水温度报脱硫站作为铁水的初始温度；

(3) 化验室将化验完的铁水成分报知脱硫站，脱硫站做好记录，并以此次化验的铁水硫作为脱硫的初始硫。

3.3.3.3 铁水称重

(1) 倒罐站出铁前，记录铁水包空包重(天车称)。脱硫前脱硫工向倒罐站询问空包重。

(2) 天车将铁水重包座到铁水包车上进行称重。

$$\text{铁水重} = G1 - G2 - G3 - G4$$

其中：G1=铁水车+铁水包+铁水+渣罐，即铁水包座到铁水包车上后的总重量

G2=铁水车+渣罐，即空车重

G3=铁水包重(此数据由倒罐站提供。)

G4=铁渣重量

3.3.3.4 送铁水包到脱硫位，降防溅罩

铁水包车运行，通过远程控制和监视器监控，在铁水包车运行过程中，轨道上

不得有障碍物。

3.3.3.5 关闭铁水脱硫站大门。

3.3.3.6 打开除尘阀 20, 接通气体净化系统, 此时计算机屏幕上显示“允许操作”信号。

3.3.3.7 确认计量系统条件位于初始位置, 即: 80_1 、 80_2 、 80_3 、 82_1 、 82_2 、 82_3 、 70_1 、 70_2 、5C 位于关闭状态, 给料器电机未接通, 供氮管路中的压力符合要求; 计量罐中颗粒镁料量大于 100Kg, 没有设备故障和紧急事故信号。

3.3.3.8 选择喷枪号“A”或“B”, 使其对位。

3.3.3.9 计算颗粒镁耗量: 将铁水目标硫、初始硫、铁水温度、铁水量、颗粒镁吸收率(95%)输入计算机后, 按计算指令, 此时计算机自动计算所需颗粒镁量, 并将结果自动设置到自动控制系统中去。

3.3.3.10 只要喷镁的准备工作检查完成, 操作员就可选择工作方式: “自动”或“手动”。选择手动时应按程序逐步进行。选择自动时, 则通过设置, 控制系统接通到各自的位置。

3.3.3.11 只有系统再次设定到初始位置后, 才能将工艺控制方式从手控切换到自动化模式。

3.3.3.12 喷颗粒镁到铁水中

计算机画面上显示“允许操作”, 打开报警信号“处理过程中”, 在脱硫主画面上, 按“开始”命令, 则脱硫按设定的程序自动进行。具体如下:

(1) 打开阀 70_2 , 82_3 和 82_2 供气到旋转给料机和计量罐。

(2) 在准备工作和喷枪进入铁水期间, 通过打开和关闭阀 82_2 , 使计量罐中的压力达到初始压力 0.6MPa。

(3) 下降喷枪从“高位”到铁水“上方位置”, 打开阀 71_1 或 71_2 阀。

(4) 当计量系统中压力达到 0.6MPa 以后, 打开阀 82_1 向混合器供气, 打开阀 80_3 预备向喷枪中供镁, 通过调节阀 5C, 调节混合器前供氮流量(5a 流量表显示),

使其达到 $80\sim 100\text{Nm}^3/\text{h}$ (此时混合器后总耗氮量 $110\sim 160\text{Nm}^3/\text{h}$)。

(5) 以上程序完成, 延时 $3\sim 5$ 秒, 打开氮封阀 68 和铁包盖供氮阀 69, 吹氮到氮封和铁水表面。

(6) 所有预先输入的命令执行后, 喷枪插入到铁水中到达最低位置, 用夹持器将喷枪固定。

(7) 延时 10 秒后, 阀 82_2 供气到“上限压力”后关闭, 开启旋转供料器电机, 以 $4\text{Kg}/\text{min}$ 的速度向喷枪供镁, 通过控制调节阀 5C, 达到程序所要求的供氮量(混合器前 5a 流量表显示 $50\sim 90\text{Nm}^3/\text{h}$)。

(8) 缓慢地提高供料机的旋转速度, 使之达到程序规定的供镁量, 必要时操作人员调节校准。

- 通过工业电视观察喷镁过程, 喷溅较严重时, 通过“镁提供量”窗口, 调节供镁量。当喷溅过程平缓后, 操作工再调节到一个理论供镁量。手动调节供镁量后, 如喷吹所需镁量较多时, 也要改变向铁水中的供镁时间。

- 一旦系统切换为手动, 则系统只有再次设置到初始位置后, 才可将工艺控制方式切换到自动化模式。

(9) 当供镁量距设定值为 $2\sim 3\text{kg}$ 时, 旋转供料机驱动装置减速, 将给镁速度降到 $4\text{kg}/\text{min}$ 。同时调整混合器前供氮流量(5a 流量表显示)到 $80\sim 100\text{Nm}^3/\text{h}$ 。当供镁量距设定值 0.1kg 时, 旋转供料机驱动装置切断。

(10) 输入打开固定喷枪的夹紧装置指令, 夹头打开。输入提枪指令, 提升喷枪到“铁水上方”的位置。

(11) 关闭阀 82_1 、 82_3 、 70_2 , 将流量调节阀 5C 开度调到 0%。

(12) 当喷吹罐内压力降到 $0.05\sim 0.01\text{MPa}$ 时, 关闭阀 80_3 、 71_1 (或 71_2) 及向包盖供氮的阀 69。

(13) 打开阀 80_1 使计量系统中被污染的气体排放到收集系统, 卸压, 当计量罐中的压力降至零时马上关闭阀 80_1 , 喷枪上升到最高位置。

(4) 脱硫结束将水冷盖提起到高位，按“扒渣”按钮，把铁包车控制权移交给扒渣机控制台进行扒渣操作。

3.3.4 铁水扒渣

(1) 扒渣工接到允许扒渣信号后，将控制方式切换为现场模式，接通扒渣和倾斜铁水包的控制。

(2) 将铁包旋转一定角度，移动扒渣机进行扒渣，将渣子扒到渣罐中。

(3) 扒渣结束后，将铁包摇直，扒渣机开回原始位，将铁水包控制权切换到主控室，并通知主控台完成扒渣操作。

3.3.5 测量终点温度、取结束样

(1) 铁水包车控制权切换到主控台后，主控工确认铁包竖直后，进行测温取样。

(2) 确认测温头、取样器已装好。

(3) 通过移动喷枪架到“检测位置”，确认测温枪对准喷枪孔。

(4) 选择测温取样模式：“自动”或“手动”，“手动”时确认把持器打开才能测温取样。

(5) 测温取样枪降到所需深度，停留 3~5 秒，提枪到高位。

操作工取下取样头，拿出试样，并换上新探头。

(6) 试样编号后送炉前化验室。炉前化验室将化验的铁水硫报知脱硫站，脱硫站做好记录。

(7) 操作工将铁水最终含硫量、铁水温度输入到计算机，并将铁水全成分报炼钢主控室。

3.3.6 将铁水包车开出脱硫位到吊包位

(1) 测温取样结束后，关闭除尘阀 20 和氮封阀 68，使排气系统和脱硫站断开，然后打开大门将铁水包车开出。

(2) 开出铁水包后，关闭防溅罩水冷截门 120(需要时)。

3.4 颗粒镁脱硫自动化控制系统方案

铁水脱硫站采用西门子 PLC 控制系统，整个过程以 HMI 集中显示、操作和控制为主，并配有必须的机旁操作箱，设有自动操作方式、手动操作方式、远程操作操作方式三种方式。

自动操作方式：由控制系统自动完成必要的操作过程。

手动操作方式：操作工可在 HMI 上进行软手动和在机旁手动操作台向上进行硬手动，在手动操作方式下，控制系统的延时关系被解除，但联锁关系仍然存在。

远程操作方式：在 HMI 上设有“远程操作”开关，当检修开关闭合时，操作工可在就地操作箱上进行操作，以便对各设备实施就地检修控制，在系统远程操作方式下，控制系统的延时和联锁关系均被解除。

铁水脱硫站控制系统能够实时监控脱硫系统、上料系统、铁水包车等系统。主要功能有：

自动上料功能：精确的称重装置，在 HMI 上实时显示喷镁罐中的料量，并在 PLC 中进行分析，当料量减少到低于设定值，系统将自动启动上料程序，确保喷吹罐中始终有喷吹所需的料量。

自动计算功能：操作员通过 HMI 画面，用键盘输入或网络接收炉号、铁水初始硫含量、铁水目标硫含量、铁水的重量和温度，PLC 自动计算出喷镁总量、喷镁时间和喷镁速度，随后即可启动自动运行。由西门子工控设备组成的专家系统将稳定工作，控制各个机构运行，以达到操作员所设定的目标硫含量。

主吹 PID 功能：由流量计测量主吹氮气流量，并传至 PLC 计算，和 HMI 所设定的主吹氮气流量做 PID 运算，控制电子薄膜调节阀的开度，达到主吹氮气流量的稳定，防止喷镁过程中铁水飞溅。

画面同步功能：HMI 画面同步显示的喷枪位置、喷枪把持器位置，测温取样枪与喷镁枪位置由行程开关传输数据，保持画面与控件实时同步，方便操作人员监视。

给料电机速度控制：在人工操作状态下，操作员通过 HMI 键入所需的喷镁强

度；在自动状态下，PLC 喷镁强度计算后，传至变频调速器，控制给料电机，使之以均匀速度供给喷镁料量，并由画面显示给料电机速度，方便操作员精确的控制给料量。

自动运行功能：在 PLC 确认喷镁罐中料量不低于设定值、氮气压力不低于下限值、钢包车到位等，操作员可启动自动系统。

- 1、打开喷枪把持器。
- 2、喷枪驱动装置将喷枪下降，启动除尘阀门。
- 3、喷枪降到喷镁位，喷枪把持器装置将喷枪夹紧，设备开始往铁水中喷镁。
- 4、喷镁时间到达，PLC 控制系统停止喷镁，喷枪上升。
- 5、喷枪到达待喷位，除尘阀门关闭。
- 6、设备进入待机状态，计算机将记录所需数据，并可随时打印。
- 7、本地操作功能：操作员通过计算机(HMI)，用鼠标手动控制脱硫系统运行。
(如打开、关闭阀门、喷枪升降等)

- 8、远程操作功能：操作员通过远端控制箱上的按钮，手动控制脱硫系统运行。

系统监测功能描述：

监测系统由 HMI 软件组态，用于监控铁水脱硫站的系统运行过程(脱硫系统、上料系统、铁水包车等系统)。HMI 画面可实时监控所有电气动阀门的开关、喷枪位置、喷枪把持器位置、铁水包车位置及各种变量的变化，并可生成变量的实时曲线、棒图、存盘数据浏览。系统有几个画面组成：系统总览画面、主操作画面、喷吹系统画面、喷枪系统画面、测温系统画面、系统报警画面、存盘数据报表等，使操作员方便地监控脱硫系统的运行。操作员可通过键盘和鼠标进行数据输入，监控操作系统的运行，随时访问不同的画面，观察部件的运行情况。每个画面都有报警指示器，以交互方式通知操作员，并通过它直接访问系统报警画面，以使设备正常、稳定工作。

3.5 颗粒镁脱硫自动化控制系统的关键

根据颗粒镁脱硫的工艺过程,可以将颗粒镁脱硫自动化控制系统按设备类分为:上料系统、铁水包车横移系统、喷枪架横移系统、喷枪升降系统、测温枪升降系统、喷吹系统、包盖升降系统和除尘系统。而影响脱硫效果的最关键系统是喷吹系统。

喷吹系统的算法和控制非常关键。首先,根据输入的初始硫和目标硫参数,计算出正确的喷镁量、喷吹强度和喷吹时间。然后要根据喷镁量、喷吹强度和喷吹时间,控制好喷枪的枪位和喷吹流量,做到不堵枪。最后,根据枪位和喷吹流量,控制好给料器电机的转速(即给料量)。在喷吹过程中,一旦产生报警(如电磁阀报警),则自动化控制系统会自动提枪,并记住报警状态,以备有关人员记录、确认和分析。

3.5.1 喷镁量的计算规则

喷镁量的计算主要与铁水重量、铁水温度、初始硫含量、目标硫含量等几个关键量有关。根据有关试验和实际应用,已经建立起一套行之有效的计算方法,并根据经验计算,得出了相关的关系表。根据铁水重量、铁水温度、初始硫含量、目标硫含量,通过查表,就可以很快得出喷镁量。

自动化系统就是根据已有的关系表,通过查表计算,而得出喷镁量的计算结果的。关系表 3.1 和 3.2 如下:

表 3.1 喷镁量(q , kg/t)和初始含硫量(%S₀)、最终含硫量(%S_e)的关系值表($T_{Fe}=1350^{\circ}C, G_{Fe}=200t$)

Table 3.1 Data Chart for Injected Magnesium against Start Sulfur and Final Sulfur

终硫 S _e	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010	0.011	0.012	0.013	0.014	0.015	0.016	0.017	0.018	0.019	0.020
初硫 S ₀																			
0.020	0.45	0.40	0.34	0.29	0.27	0.25	0.22	0.20	0.18	0.17	0.16	0.14	0.13	0.12					
0.021	0.46	0.41	0.35	0.30	0.28	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.17	0.15	0.14	0.13	0.11				
0.022	0.47	0.41	0.36	0.31	0.28	0.26	0.24	0.22	0.20	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.12	0.10			
0.023	0.48	0.42	0.37	0.31	0.29	0.27	0.25	0.23	0.21	0.20	0.18	0.17	0.16	0.15	0.13	0.11	0.09		
0.024	0.49	0.43	0.38	0.32	0.30	0.28	0.26	0.24	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.14	0.12	0.10		
0.025	0.50	0.44	0.39	0.33	0.31	0.29	0.27	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.15	0.13	0.12	0.10	0.08
0.026	0.50	0.45	0.39	0.34	0.32	0.30	0.28	0.25	0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.17	0.16	0.14	0.13	0.11	0.09
0.027	0.51	0.46	0.40	0.35	0.33	0.30	0.28	0.26	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.18	0.17	0.15	0.14	0.12	0.11
0.028	0.52	0.47	0.41	0.35	0.33	0.31	0.29	0.27	0.25	0.24	0.23	0.22	0.20	0.19	0.18	0.16	0.15	0.13	0.12
0.029	0.53	0.47	0.42	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.26	0.25	0.24	0.23	0.21	0.20	0.19	0.17	0.16	0.14	0.13
0.030	0.54	0.48	0.43	0.37	0.35	0.33	0.31	0.29	0.27	0.26	0.25	0.23	0.22	0.21	0.20	0.18	0.17	0.15	0.14
0.031	0.55	0.49	0.44	0.38	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.27	0.26	0.24	0.23	0.22	0.21	0.19	0.18	0.16	0.15
0.032	0.56	0.50	0.44	0.39	0.37	0.35	0.33	0.31	0.29	0.28	0.26	0.25	0.24	0.23	0.21	0.20	0.19	0.17	0.16
0.033	0.56	0.51	0.45	0.40	0.38	0.36	0.34	0.32	0.30	0.29	0.27	0.26	0.25	0.24	0.22	0.21	0.20	0.18	0.17
0.034	0.57	0.52	0.46	0.41	0.39	0.37	0.35	0.33	0.31	0.29	0.28	0.27	0.26	0.25	0.23	0.22	0.21	0.19	0.18
0.035	0.58	0.53	0.47	0.42	0.40	0.38	0.36	0.34	0.32	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26	0.24	0.23	0.22	0.20	0.19
0.036	0.59	0.53	0.48	0.42	0.40	0.38	0.36	0.34	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.26	0.25	0.24	0.23	0.21	0.20
0.037	0.60	0.54	0.49	0.43	0.41	0.39	0.37	0.35	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.27	0.26	0.25	0.24	0.22	0.21
0.038	0.60	0.55	0.50	0.44	0.42	0.40	0.38	0.36	0.34	0.33	0.32	0.31	0.29	0.28	0.27	0.26	0.24	0.23	0.22
0.039	0.61	0.56	0.50	0.45	0.43	0.41	0.39	0.37	0.35	0.34	0.33	0.32	0.30	0.29	0.28	0.27	0.25	0.24	0.23
0.040	0.62	0.57	0.51	0.46	0.44	0.42	0.40	0.38	0.36	0.35	0.34	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.26	0.25	0.24
0.041	0.63	0.57	0.52	0.47	0.45	0.43	0.41	0.39	0.37	0.36	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.27	0.26	0.25
0.042	0.64	0.58	0.53	0.47	0.45	0.43	0.42	0.40	0.38	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.29	0.28	0.27	0.26
0.043	0.64	0.59	0.54	0.48	0.46	0.44	0.42	0.40	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.30	0.29	0.28	0.27
0.044	0.65	0.60	0.54	0.49	0.47	0.45	0.43	0.41	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28
0.045	0.66	0.61	0.55	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29
0.046	0.67	0.61	0.56	0.50	0.48	0.46	0.45	0.43	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.33	0.32	0.31	0.29
0.047	0.68	0.62	0.56	0.51	0.49	0.47	0.45	0.43	0.42	0.41	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.30

表 3.2 喷镁量(q , kg/t)和初始含硫量($\%S_0$)、最终含硫量($\%S_e$)的关系值表($T_{Fe}=1350^{\circ}C, G_{Fe}=200t$)

Table 3.2 Data Chart for Injected Magnesium against Start Sulfur and Final Sulfur

终硫 q*	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010	0.011	0.012	0.013	0.014	0.015	0.016	0.017	0.018	0.019	0.020
初硫																			
0.048	0.68	0.63	0.57	0.52	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.32	0.31
0.049	0.69	0.64	0.58	0.52	0.50	0.49	0.47	0.45	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.33	0.32
0.050	0.70	0.64	0.59	0.53	0.51	0.49	0.48	0.46	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.35	0.34	0.33
0.051	0.71	0.65	0.59	0.54	0.52	0.50	0.48	0.47	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39	0.37	0.36	0.35	0.34
0.052	0.72	0.66	0.60	0.55	0.53	0.51	0.49	0.48	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35
0.053	0.72	0.67	0.61	0.55	0.54	0.52	0.50	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39	0.37	0.36
0.054	0.73	0.68	0.62	0.56	0.54	0.53	0.51	0.49	0.48	0.47	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37
0.055	0.74	0.68	0.63	0.57	0.55	0.54	0.52	0.50	0.49	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38
0.056	0.75	0.69	0.63	0.58	0.56	0.54	0.53	0.51	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.39	0.38
0.057	0.76	0.70	0.64	0.59	0.57	0.55	0.54	0.52	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44	0.42	0.41	0.40	0.39
0.058	0.76	0.71	0.65	0.59	0.58	0.56	0.54	0.53	0.51	0.50	0.49	0.48	0.47	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40
0.059	0.77	0.72	0.66	0.60	0.59	0.57	0.55	0.54	0.52	0.51	0.50	0.49	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41
0.060	0.78	0.72	0.67	0.61	0.59	0.58	0.56	0.55	0.53	0.52	0.51	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42
0.061	0.79	0.73	0.67	0.62	0.60	0.59	0.57	0.55	0.54	0.53	0.51	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43
0.062	0.79	0.74	0.68	0.63	0.61	0.599	0.58	0.56	0.55	0.53	0.52	0.51	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44
0.063	0.80	0.75	0.69	0.63	0.62	0.60	0.59	0.57	0.55	0.54	0.53	0.52	0.51	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44
0.064	0.81	0.75	0.70	0.64	0.63	0.61	0.59	0.58	0.56	0.55	0.54	0.53	0.51	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45
0.065	0.82	0.76	0.71	0.65	0.63	0.62	0.60	0.59	0.57	0.56	0.55	0.53	0.52	0.51	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46
0.066	0.82	0.77	0.71	0.66	0.64	0.63	0.61	0.59	0.58	0.57	0.55	0.54	0.53	0.52	0.51	0.50	0.49	0.48	0.47
0.067	0.83	0.77	0.72	0.67	0.65	0.63	0.62	0.60	0.59	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52	0.51	0.50	0.49	0.48
0.068	0.84	0.78	0.73	0.67	0.66	0.64	0.63	0.61	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.53	0.52	0.51	0.50	0.49	0.48
0.069	0.84	0.79	0.74	0.68	0.67	0.65	0.63	0.62	0.60	0.59	0.58	0.57	0.55	0.54	0.53	0.52	0.51	0.50	0.49
0.070	0.85	0.80	0.74	0.69	0.67	0.66	0.64	0.63	0.61	0.60	0.59	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52	0.51	0.50

3.5.2 喷吹强度的计算

喷吹强度的计算主要与铁水重量、铁水温度等几个关键量有关。同喷镁量一样，根据有关试验和实际应用，已经建立起一套行之有效的计算方法，并根据经验计算，得出了相关的关系表。根据铁水重量、铁水温度，通过查表，就可以很快得出喷镁强度。

自动化系统就是根据已有的关系表，通过查表计算，而得出喷吹强度的计算结果的。关系表 3.3 如下：

表 3.3 颗粒镁喷吹量(kg/min)和铁水温度(T_{Fe} , $^{\circ}C$)、铁水重量(G_{Fe} , t)的关系表

Table 3.3 Relation Chart for the Injected Amount of Magnesium Granule against Hot Metal Temperature and Hot Metal Weight

G_{Fe}, t kg/min $T_{Fe}, ^{\circ}C$	187 $\pm$ 2	192 $\pm$ 2	195 $\pm$ 2	200 $\pm$ 2	205 $\pm$ 2	210 $\pm$ 2	214 $\pm$ 2
1305 $\pm$ 5	9.9	9.4	8.9	8.4	7.9	6.9	6.4
1315 $\pm$ 4	9.8	9.3	8.8	8.3	7.8	6.8	6.3
1325 $\pm$ 5	9	9.2	8.7	8.2	7.7	6.7	6.2
1335 $\pm$ 4	9.6	9.1	8.6	8.1	7.6	6.6	6.1
1345 $\pm$ 5	9.5	9	8.5	8	7.5	6.5	6
1355 $\pm$ 4	9.4	8.9	8.4	7.9	7.4	6.4	6
1365 $\pm$ 5	9.3	8.8	8.3	7.8	7.3	6.3	6
1375 $\pm$ 4	9.2	8.7	8.2	7.7	7.2	6.2	6
1385 $\pm$ 5	9.1	8.6	8.1	7.6	7.1	6.1	6
1395 $\pm$ 4	9	8.5	8	7.5	7	6	6

3.6 命中率计算

当铁水完成脱硫后，生产和技术人员非常关心铁水脱硫后的终点硫是否在目标硫的范围之内。因此，需要根据铁水重量、铁水温度、初始硫含量、喷镁量、终点硫、目标硫，通过查表，得出脱硫的命中情况。而由于人工查表的时间比较长，而且经常查错，最后得出的单炉平均命中率也经常出错。现在，依托于颗粒镁脱硫自动化系统，利用电子表格，通过运行命中率计算程序，就会很快得出相关的命中率。实际上，自动化系统的命中率计算程序也是根据已有的关系表，通过查表计算，而

得出命中率的计算结果的。关系表即 3.2.1 节中的表 3.1 和表 3.2 《喷镁量(q_{Mg} , kg/t) 和初始含硫量($\%S_{\text{b}}$)、最终含硫量($\%S_{\text{e}}$)的关系值表($T_{\text{Fe}}=1350^{\circ}\text{C}$, $G_{\text{Fe}}=200\text{t}$)》。

小结

1. 首钢第二炼钢厂颗粒镁脱硫系统工艺完备，设备连锁到位，自动化系统先进。
2. 首钢第二炼钢厂颗粒镁脱硫系统的理论基础扎实，规章制度严格，有应急措施。
3. 首钢第二炼钢厂颗粒镁脱硫系统的自动化控制系统能够很好地控制喷吹镁量、强度和时间，并及时得到准确的命中率计算值。

第四章 首钢第二炼钢厂颗粒镁脱硫自动化系统的设计

4.1 自动化系统的设计原则

自动化系统设计的第一步是确立系统目标，第二步是确定要控制的系统变量，第三步是拟定设计规范，以明确系统变量应该达到的精度指标，最后步骤是调节系统参数以便获得所期望的系统性能。

为很好地建立首钢第二炼钢厂颗粒镁脱硫自动化控制系统，从实际应用的角度出发提出系统设计的原则，以满足生产工艺的要求。设计原则如下：

(1) 先进性

系统必须采用先进的技术、方法和设备，使系统既反映当今技术的先进水平，又具有发展潜力，能够采纳未来 21 世纪的先进技术成果。在保证系统的生命周期，设备、技术和方案的成熟性的同时，保证系统的顺利稳定运行。

(2) 可靠性和安全性

作为实时服务于工业环境的自动化系统，可靠性和安全性极为重要。以应用系统而言，影响系统可靠性和稳定性的主要因素有两个，即系统平台(系统结构是否合理、设备是否可靠)和应用软件(设计是否合理、测试是否完备)。必须从体系结构、设备选型、软件设计以及厂商的后备支持和维护能力等多方面考虑，采用必要的技术措施，保证系统的可靠性和安全性。

(3) 开放性

基于开放式系统应用体系结构，选择先进的应用软件开发平台。为了保证整个系统中不同厂商的各种设备能协同运行，且考虑到系统投资的长期效应，系统的设计与选型必须注重开放性，即构成系统的各产品必须符合国际标准和工业标准，注重各种产品之间的互换性和协作性，以满足系统的可扩展性、可移植性和互操作性

的要求。

(4) 实用性

从用户角度出发,注重系统的实用综合能力和总体性能。最重要的是必须具有实用的故障诊断和设备监控能力,便于现场人员使用及今后技术人员对系统的日常管理和维护。

(5) 标准化

当今的任何系统均不是一个孤立的系统,它将与其它系统相联。系统的标准化工作是系统建设的重要一环,是实现网络互连、应用互操作、资源共享、信息共享、高效运行和科学管理的前提,所选择的软硬件及其它设备必须遵循一定的国际标准。本系统将在两方面着重标准化设计:

- 设备选型标准化
- 信息格式标准化

(6) 规范化和模块化

为便于维护和修改,要求在进行软件开发时,应用程序必须规范化、模块化、可复用。

(7) 实时性

由于程序的执行不仅有先后次序而且有时间限制关系,故本系统需要在规定的时间内对外部发生的异步随机事件给予响应、处理。

4.2 自动化系统设计的理论基础

4.2.1 Ethernet 技术的应用和发展

Ethernet 技术的应用和发展,使其从办公自动化走向工业自动化^[29]。首先是通讯速率的提高, Ethernet 从 10M、100M、到现在的 1000M、10G,速率提高意味着网络负荷减轻和传输延时减少,网络碰撞几率下降;其次采用双工星型网络拓扑

结构和 Ethernet 交换技术,使以太网交换机的各端口之间数据的输入和输出不再受 CSMA/CD 机制的制约,避免了冲突;再加上全双工通信方式使端口间两对双绞线(或两根光线)上分别同时接收和发送数据,而不发生冲突。这样,全双工交换式 Ethernet 能避免因碰撞而引起的通讯响应不确定性,保障通讯的实时性^[19]。同时,由于工业自动化系统向分布式、智能化的实时控制方面发展,使通讯已成为关键,用户对统一的通讯协议和网络的要求日益迫切。这样,技术的发展,使 Ethernet 进入工业自动化领域成为必然。

4.2.2 现场总线理论

现场总线(Fieldbus)是 20 世纪 80 年代中期发展起来的,主要应用于现场设备,实现设备之间的双向串联多节点数字通讯。到了 80 年代末,几种现场总线技术如 Lonworks、Canbus、Profibus 等得到广泛的应用,对工业自动化进程产生了很大的影响。在首钢现阶段的自动化改造中,采用了先进的 Profibus-DP 现场总线技术和工业组态软件,组成了以工业控制计算机(IPC)和可编程控制器(PLC)为站点的现场总线控制系统,实现生产过程的自动控制和实时运行状态的监控,并可通过网络接口与上层网络相连,为车间以及厂级计算机监控网提供底层信息。

4.2.2.1 Profibus 简介

Profibus 是一种国际化的、开放的、不依赖于设备生产商的现场总线标准,由德国 PNO 公司于 1993 年制定的^[7]。

Profibus 由 3 个兼容部分组成: Profibus-FMS、Profibus-PA 和 Profibus-DP。FMS(Fieldbus Message Specification)用于解决车间级通用性通信任务,完成中等传输速率的循环或非循环数据交换任务^[41],用于一般目的的自动化;PA(Process Automation)是专为过程自动化而设计的,它采用 IEC1158-2 标准,传输速率为 31.25Kbps,提供本质安全特性,适用于安全性要求较高以及总线供电场合的过程自动化;DP(Decentralized Periphery)是一种经过优化的高速(数据传输速率为 9.6Kbps~12Mbps)廉价的通讯连接,主要用于现场控制器与分散 I/O 之间的通讯,可满足有快速响应时间要求的过程自动化。

4.2.2.2 现场总线的拓扑结构

现场总线的拓扑结构有多种形式，通常采用线形、树形和环形。Profibus 采用的是线形结构，其特点是简明，总线电缆从控制器连接到机械装置(控制对象)，并且从主干电缆分支到各现场设备处，控制器既能扫描所有 I/O 站上的输入，也可发送信息到输出通道^[43]。这种两头有终端的总线拓扑结构，确保了在运行期间接入和断开一个或多个站而不影响其他站，给总线系统的维修带来了很大方便。

4.2.2.3 Profibus-DP 数据链路层协议

Profibus 的 3 个组成部分中，Profibus-DP 以其精巧的分布处理能力、开放式、互操作性、多媒介适应能力以及采用一种两头的总线拓扑结构等特点，适应了测控网络的要求，得到了更广泛的应用。

Profibus-DP 数据链路层协议媒体访问控制(MAL)采用受控访问的令牌总线(Token Bus)方式和主从方式^[12]。令牌总线与局域网 IEEE8024 协议一致，令牌在总线上的各主站间传递，持有令牌的主站获得总线控制权。获得令牌的主站依据关系表与从站或与主站进行通信。主从方式的数据链路协议与局域网标准不同，它符合 HDLC(High Level Data Link Control，高级数据链路控制)中的非平衡响应模式(NRM)。该模式的工作特点是：总线上一个主站控制着多个从站，主站与每一个从站建立一条逻辑链路，主站发出命令，从站给出响应，从站可以连续发送多个帧，直到无信息发送或被主站停止为止。

数据链路中的帧传输过程分为 3 个阶段：数据链路建立、帧传输和链路释放。传输的数据帧格式如图 4.1 所示。

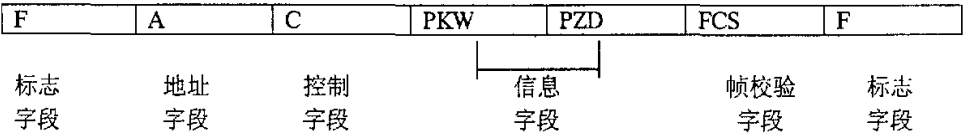


图 4.1 Profibus-DP 帧格式
Fig.4.1 Profibus – DP Frame Format

F 为帧标志(8 位); A 为站地址; 控制字 C 表示帧类型、编号、命令和控制信息, 它将 HDLC 帧分为信息帧、监控帧和无编号帧 3 种类型, 其中信息帧用于数据传输和应答, 监控帧用于监视链路上的正常操作, 对链路状态作出各种响应(如认可监控帧、请求重发或暂停等), 无编号帧(不含信息字段)可用于传输各种无编号命令和响应, 如建立链路工作模式、释放链路及报告特殊情况等; 信息字段由 PKW+PZD 应用数据构成, PKW 用于读写参数值, 如写入控制字或读出状态字等, 一般为 4 字节; PZD 用于存放控制器的具体控制值、设置站点或状态字的参数, 一般为 2~10 字节, 如 PZD 的第二个字节可设为 0~7#设备的启停控制位; FCS 是帧的校验字段, 它对整个帧的内容进行循环冗余码(CRC)校验, HDLC 帧最长可达 244 字节。

4.2.2.4 Profibus-DP 设备类型

Profibus-DP 允许构成单主站或多主站系统。在同一总线上最多可连接 126 个站点(不包括中继站)。系统配置的描述包括: 站数、站地址、输入/输出地址、输入/输出数据格式、诊断信息格式及所使用的总线参数。Profibus-DP 包括以下 3 种不同类型的设备。

- (1) DP 主站类型 1(DPM1) 它是 Profibus-DP 应用的中心设备, 由中央控制器或 PC 机组成。它负责在一个规定的、重复的信息周期内, 与分布式从站(DP 从站)交换信息。非循环传输的数据与循环的测量值相比不是经常变动的, 因此这种数据与快速循环的有用数据一起传输, 但它的优先级较低。主站的中断确保了 DP 从站数据的可靠传输。
- (2) DP 主站类型 2(DPM2) 这种类型的设备主要有编程器、组态设备或操作设备等, 用于 DP 系统的启动、组态或用于正常运行过程(如诊断)中的系统操作。该类型的主站可以读取由设备来的输入/输出诊断和组态数据。
- (3) DP 从站 一个 DP 从站就是一个 I/O 设备, 它读取输入信息并向 I/O 提供输入/输出信息, 数据量取决于设备类型, 最大为 244 字节。

单主站系统是指在总线系统的运行阶段，只有一个活动主站。

多主站系统是指总线上连有多个主站，这些主站与各自从站构成相互独立的子系统，每个子系统包括一个 DPM1、指定的若干从站及可能的 DPM2 设备，任何一个主站均可读取 DP 从站的输入/输出映像，但只允许一个 DP 主站对 DP 从站写入数据。

4.2.2.5 Profibus-DP 通信协议

Profibus-DP 通信协议结构是根据 ISO7498 国际标准 OSI(Open System Interconnection)作为参考模型的。该模型共有七层，如图 1.3 所示。其波特率为 9.6Kbps~12Mbps，最大传输距离在 12Mbps 时为 100m，在 1.5Mbps 时为 400m，可用中继器延长至 10km，其传输介质可用双绞电缆，也可以是光缆。

Profibus-DP 物理层与 ISO/OSI 参考模型的第一层相同，采用 EIA-RS-485 协议，根据数据传输波特率的不同，可选用双绞电缆和光纤介质。

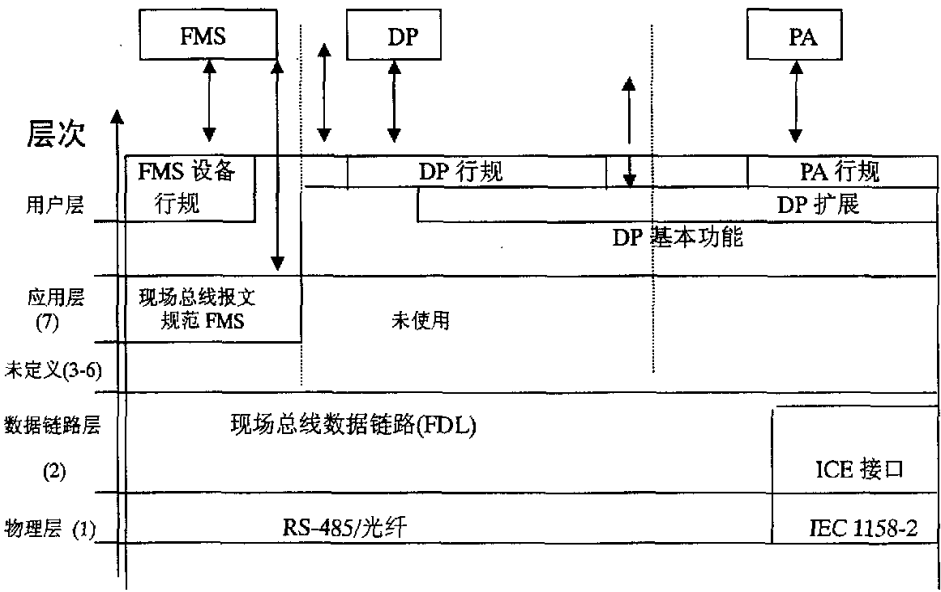


图 4.2 Profibus-DP 协议结构
Fig.4.2 Profibus-DP Agreement Structure

Profibus-DP 未采用 ISO/OSI 的应用层，而是自行设置用户层，该层定义了 DP 的功能、规范和扩展要求等。

4.2.3 先进控制策略及其应用

控制算法是工控软件的重要组成部分之一。早期的工控软件基本上是逻辑顺控、传统控制策略的各种算法,如各种 PID 控制、比值控制、选择控制,后又发展了如前馈控制、增益调整时滞补偿、初等和超越函数、曲线拟合、流量补正等各种算法。近年来,由于计算机技术的发展,以前受控制算法的复杂性、实时性的限制必须在上位机上实现的先进控制策略,也可以在控制器上实现,从而为一些基于现代控制理论的先进控制策略的应用创造了条件。

60 年代卡尔曼滤波的成功应用开创了现代控制理论的新纪元。基于前馈—反馈的 PID 控制得到进一步的发展和广泛应用,模糊控制、有限元法、神经元网络、多变量控制等已进入实用阶段。美国西屋过程控制公司的 Ovation 系统已将 Smith 预估器、神经元网络、多变量控制、模糊控制、前馈—反馈 PID 控制作为算法置于真算法程序库中供控制工程师使用。

4.3 自动化系统的硬件、软件设计

4.3.1 自动化系统的硬件设计方案

颗粒镁脱硫自动化控制系统是一集中计算机技术、网络技术、PLC 技术及传感器技术的有机整体^[8]。系统集成的目的是以颗粒镁脱硫自动化工艺目标和应用需求为依据,将有关的产品和技术完整的结合起来组成整体性价比优良的系统运行环境。计算机部分、网络部分、PLC 部分全部选用德国西门子公司产品,上位监控网络连接采用超五类双绞线。压力变送器选用罗斯蒙特公司产品,温度传感器、料位计选用 E+H 公司产品,称重设备选用申克公司和首昌大和公司产品。

如图 4.1 所示,颗粒镁脱硫自动化控制系统选用 2 台上位监控机、2 个 S7-400PLC 主站。2 台上位监控机与 2 个 PLC 主站之间采用西门子工业以太网进行连接。其中,PLC1 采用 Profibus-DP 网与 2 个 OP7、1 个 ET200 从站相连,2 个 OP7 分别负责装料和液压站系统的现场操作和人机对话,ET200 从站负责储料罐的称重

信号采集和校对；PLC2 采用 Profibus-DP 网与 5 个 OP7、1 个 ET200 从站、3 个西门子变频器相连，5 个 OP7 分别负责铁水包车横移、铁水包盖升降、给料仓、喷枪横移和升降系统和除尘系统的现场操作和人机对话，ET200 从站负责储料罐的称重信号采集和校对，3 个西门子变频器分别驱动给料机电机、喷枪架横移电机、测温取样枪电机的速度控制。因此，PLC1 主要负责上料系统和液压站系统的监控，PLC2 主要负责喷吹系统、喷枪、测温枪系统、铁水包车系统、包盖和除尘系统的监控。

北京钢铁集团第二炼钢厂金属颗粒镁脱硫自动过程

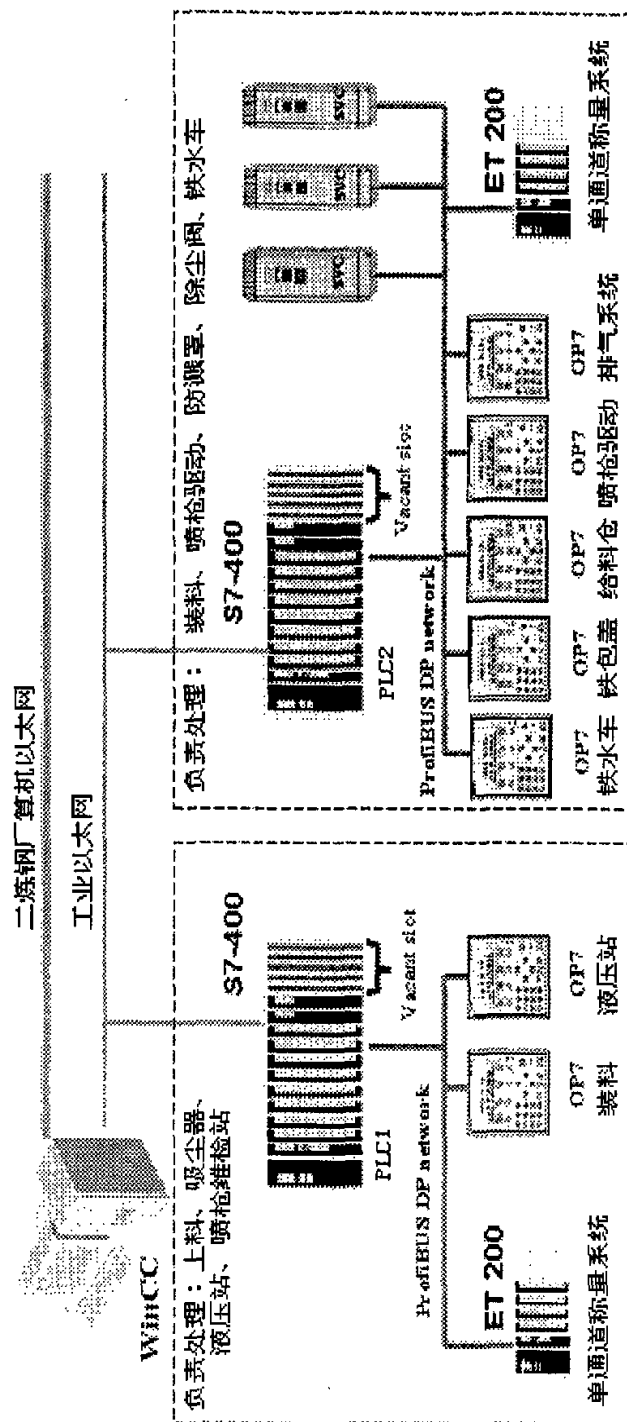


图 4.3 自动化控制系统构成

Fig.4.3 Automation Control System Configuration

4.3.2 自动化系统硬件设计方案的特点

4.3.2.1 上位监控机与 PLC 之间采用工业以太网结构

如前所述, 工业以太网是基于 IEEE 802.3 (Ethernet)的强大的区域和单元网络^[10]。利用工业以太网, SIMATIC NET 提供了一个无缝集成到新的多媒体世界的途径。

市场占有率高达 80%, 以太网毫无疑问是当今 LAN(局域网)领域中首屈一指的网络。

- 通过简单的连接方式快速装配。
- 通过不断的开发提供了持续的兼容性, 因而保证了投资的安全。
- 通过交换技术提供实际上没有限制的通讯性能。
- 各种各样联网应用, 例如办公室环境和生产应用环境的联网。
- 通过接入 WAN(广域网)可实现公司之间的通讯, 例如, ISDN 或 Internet 的接入。

SIMATIC NET 基于经过现场应用验证的技术, SIMATIC NET 已供应多于 400,000 个节点, 遍布世界各地, 用于严酷的工业环境, 包括有高强度电磁干扰的区域。通信介质: 普通双绞线, 工业屏蔽双绞线和光纤

- SIMATIC PLC 控制器上的工业以太网通讯外理器。用于将 SIMATIC PLC 连接到工业以太网。
- PG/PC 上的工业以太网通讯外理器。用于将 PG/PC 连接到工业以太网。

西门子工业以太网的重要性能

为了应用于严酷的工业环境, 确保工业应用的安全可靠, SIMATIC NET 为以太网技术补充了不少重要的性能:

- 工业以太网技术上与 IEEE802.3/802.3u 兼容, 使用 ISO 和 TCP/IP 通讯协议
- 10/100M 自适应传输速率

- 冗余 24VDC 供电
- 简单的机柜导轨安装
- 方便地构成星型、线型和环型拓扑结构
- 高速冗余的安全网络，最大网络重构时间为 0.3 秒
- 用于严酷环境的网络元件，通过 EMC 测试
- 通过带有 RJ45 技术、工业级的 Sub-D 连接技术和安装专用屏蔽电缆的 Fast Connect 连接技术，确保现场电缆安装工作的快速进行
- 简单高效的信号装置不断地监视网络元件
- 符合 SNMP(简单的网络管理协议)
- 可使用基于 web 的网络管理
- 使用 VB/VC 或组态软件即可监控管理网络

4.3.2.2 PLC 与 OP7、称重模块和变频器之间采用 Profibus-DP 现场总线结构

PROFIBUS 是目前国际上通用的现场总线标准之一，以其独特的技术特点、严格的认证规范、开放的标准、众多厂商的支持和不断发展的应用行规，已成为最重要的现场总线标准。

符合: - IEC 61158 国际标准

- JB/T10308.3-2001(中国标准 2001 年)

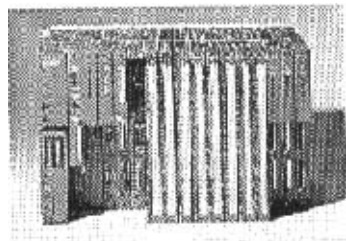
西门子 PROFIBUS 网络的优势

- 12M 的通信速率和可靠的通信质量
- 适用多种通信介质(电、光、红外、导轨以及混合方式)
- 灵活的拓扑结构，支持线型、树型、环型结构以及冗余的通信模型
- 强大的通信功能，支持基于总线的驱动技术和符合 IEC61508 的总线安全通信技术
- 先进的网络规模(最多支持 126 个总线站，网络规格可达 90 公里)

4.3.2.3 PLC 采用功能强大的西门子 PLC 系统 S7-400

SIMATIC S7-400 是用于中、高档性能范围的可编程序控制器。

模块化无风扇的设计，坚固耐用，容易扩展和广泛的通讯能力，容易实现的分布式结构以及用户友好的操作使 SIMATIC S7-400 成为中、高档性能控制领域中首选的理想解决方案。



多种级别(功能逐步升级)的 CPU，种类齐全的通用功能的模板，使用户能根据需要组合成不同的专用系统。当控制系统规模扩大或变得更加复杂时，不必投入很多费用。任何时候只要适当的增加一些模板，便能使系统升级和充分满足您的需要。

SIMATIC S7-400 可编程控制器采用模块化设计，性能范围宽广的不同模板可灵活组合，扩展十分方便。

4.3.3 自动化系统的软件设计方案

自动化系统的软件配置如表 4.1 所示：

表 4.1 软件配置

Table 4.1 The configuration of software

序号	名称	数量	单位
1	STEP7 V5.2	1	套
2	WinCC V5.1	1	套
3	ProTool/Pro	1	套
4	Drive ES	1	套
5	SIWAREX	1	套
6	S7-HIGRAPH	1	套

其中，STEP7 是西门子 S7 系列 PLC 的基本编程软件；WinCC 是西门子上位监控软件；ProTool/Pro 是人机接口 OP7 的编程软件；Drive ES 为西门子变频器配置软件；SIWAREX 是西门子称重模块的配套软件；S7-HIGRAPH 为西门子 S7 系列 PLC 的 HIGRAPH 编程软件。

4.3.4 自动化系统软件设计方案的特点

4.3.4.1 上位监控软件采用 WinCC

WinCC 是运行于 Microsoft Windows 2000 和 XP 下的 Windows 控制中心，已发展成为欧洲市场中的领导者，乃至业界遵循的标准。WinCC 能使设备和机器最优化运行，最大程度地提高工厂的可用性和生产效率。WinCC 有以下优点：

- 通用的应用程序
适合所有工业领域的解决方案
多语言支持，全球通用
可以集成到所有自动化解决方案内
- 内置所有操作和管理功能
- 可简单、有效地进行组态
- 可基于 Web 持续延展
- 采用开放性标准，集成简便
- 集成的 Historian 系统作为 IT 和商务集成的平台，符合制药和食品行业 FDA 21 CFR Part 11 的要求(FDA = 美国食品和药物管理局)
- 可选件和附加件进行扩展，符合制药和食品行业 FDA 21 CFR Part 11 的要求(FDA = 美国食品和药物管理局)
- “全集成自动化” 的组成部分，内置全部 SCADA 功能

4.3.4.2 编程软件采用 STEP7、ProTool/Pro、SIWAREX 和 S7-HIGRAPH

STEP7、ProTool/Pro、SIWAREX 和 S7-HIGRAPH 这 4 个编程软件针对不同的设备和功能，构成了强大的编程工具。ProTool/Pro、SIWAREX 和 S7-HIGRAPH 编程语言可选软件包均可集成到 STEP7 平台之下，使用更加灵活、方便。

STEP7 具有多种编程语言，如梯形图语言(LAD)、语句表(STL)、功能块图(FBD)，是功能完善和强大的编程工具。

ProTool/Pro 拥有丰富的界面语言和控制命令，可以开发出友好的人机操作平

台，使 OP7 的操作更加简单、实用和灵活。

SIWAREX 使得称重系统更加精确和稳定，并能够在线对称重系统进行校正，为喷镁量的精确控制提供了有力保证。

S7-HIGRAPH 可选编程语言组件，使工程开发人员可以直接根据工艺流程进行编程，就像在画逻辑框图，使得控制程序更加便于调试和维护。

第五章 首钢第二炼钢厂颗粒镁脱硫自动化系统的开发

5.1 工业自动化控制系统开发的基础理论与相关概念

工程技术是通过理解并控制自然而造福人类的。理解和控制,这种双重目标是相辅相成的,因为对系统的有效控制需要对系统的理解和建模。现在,工程师已经能够对许多实用工业自动化系统实施控制^[18]。

自动化控制工程以反馈理论和线性系统理论为基础,并综合应用了网络理论和通信理论的有关概念。因此自动化控制工程并不局限于任一单个工程学科,而是在航空、化工、机械、电气等工程学科中都有同样广泛的应用。

自动化控制系统是指为了达到预期的目标(响应)而设计、开发出来的系统,系统分析的基础是线性系统理论,它认定系统各部分之间存在因果关系。控制系统一般分为开环控制系统和闭环控制系统。开环控制系统利用控制器或控制执行机构去获得预期的响应,开环控制系统是没有反馈的。与开环控制系统不同,闭环控制系统则增加了对实际输出的测量,并将实际输出与预期输出进行比较,并将比较所得的偏差作为控制的依据,从而逐步使系统变量之间保持着预定的关系。反馈的概念已经成为控制系统分析与设计的基础。

工业自动化控制系统的控制对象为工业生产中的各类设备,通过大量、必要的开关量和模拟量信号的测量和采集,运用复杂的逻辑编程,结合开、闭环控制思想,完成自动化控制工艺所要求的控制目标,实现工业生产流程的自动化^[14]。

在工业环境中为保证输入和反馈信号的准确性,有时需要对输入和反馈信号进行必要的补正和标准化。温度和压力补正可被方根型(通常孔板流量计)输入变换所采用,特别是对精度要求较高的气体流量进行测量与计量^[8]。

具体公式如下:

$$\text{压力补正公式: } \sqrt{\frac{P+14.7}{P_c+14.7}} \text{ 或 } \sqrt{\frac{P+1}{P_c+1}}$$

其中前式中 P = 大气压, 单位为磅/时², P_c = 表的标定压力, 单位为磅/时²;

后式中 P = 压力, 单位为公斤, 若 P 的工程量单位为 Mpa, 则要注意 1Mpa=10 公斤, P_c = 表的标定压力, 单位为公斤。

$$\text{温度补正公式: } \sqrt{\frac{T_c + 460}{T + 460}} \text{ 或 } \sqrt{\frac{T_c + 273}{T + 273}}$$

其中前式中 T = 气温, 单位为 °F(华式度), T_c = 表的标定温度, 单位为 °F(华式度); 后式中 T = 气温, 单位为 °C(摄氏度), T_c = 表的标定温度, 单位为 °C(摄氏度)。

$$\text{开方公式: } e = H \sqrt{E + \frac{L^2}{H^2} (1 - E)}$$

式中 e = 以工程单位表示的输入值, E = 输入信号的数据/输入寄存器的分辨率, 如 400001/4096, 其中 400001 为输入寄存器的地址, 4096 为该寄存器的最大值, H = 输入信号工程范围的高限, L = 输入信号工程范围的低限。

若不需要开方, 则 $e = L + (H - L)E$

$$\text{滤波公式: } E_f = (E_{n-1}) + \frac{T_s}{T_f + T_s} [E_n - (E_{n-1})]$$

式中 E_f = 滤波后的值; E_{n-1} = 该模拟量输入的上一次扫描值, 如 $E_{n-1} = 0.71$; E_n = 该模拟量输入的本次扫描值, 如 $E_n = 0.80$; T_s = 输入扫描区间, 如 0.1 秒, T_f = 滤波时间常数, 如 1 秒。

5.2 系统软件开发方案

颗粒镁自动化控制系统的 PLC 采用了 SIMATIC S7-400 的配套编程工具 Step7, 完成硬件组态、参数设置、PLC 程序编制、测试、调试和文档处理等功能。通常用户程序由组织块(OB)、功能块(FB、FC)和数据块(DB)构成, 其中 OB 是系统操作程序与应用程序的接口界面, 用于控制程序运行; FB、FC 是用户子程序; DB 是用户定义的数据存储区, 在本系统中它是上位机监控软件与 Step7 程序的数据接口点, 配置与其相对应的 DB 块就可实现上位机监控软件与 Step7 程序的数据接口。

5.3 程序结构图

Program structure (tree representation)

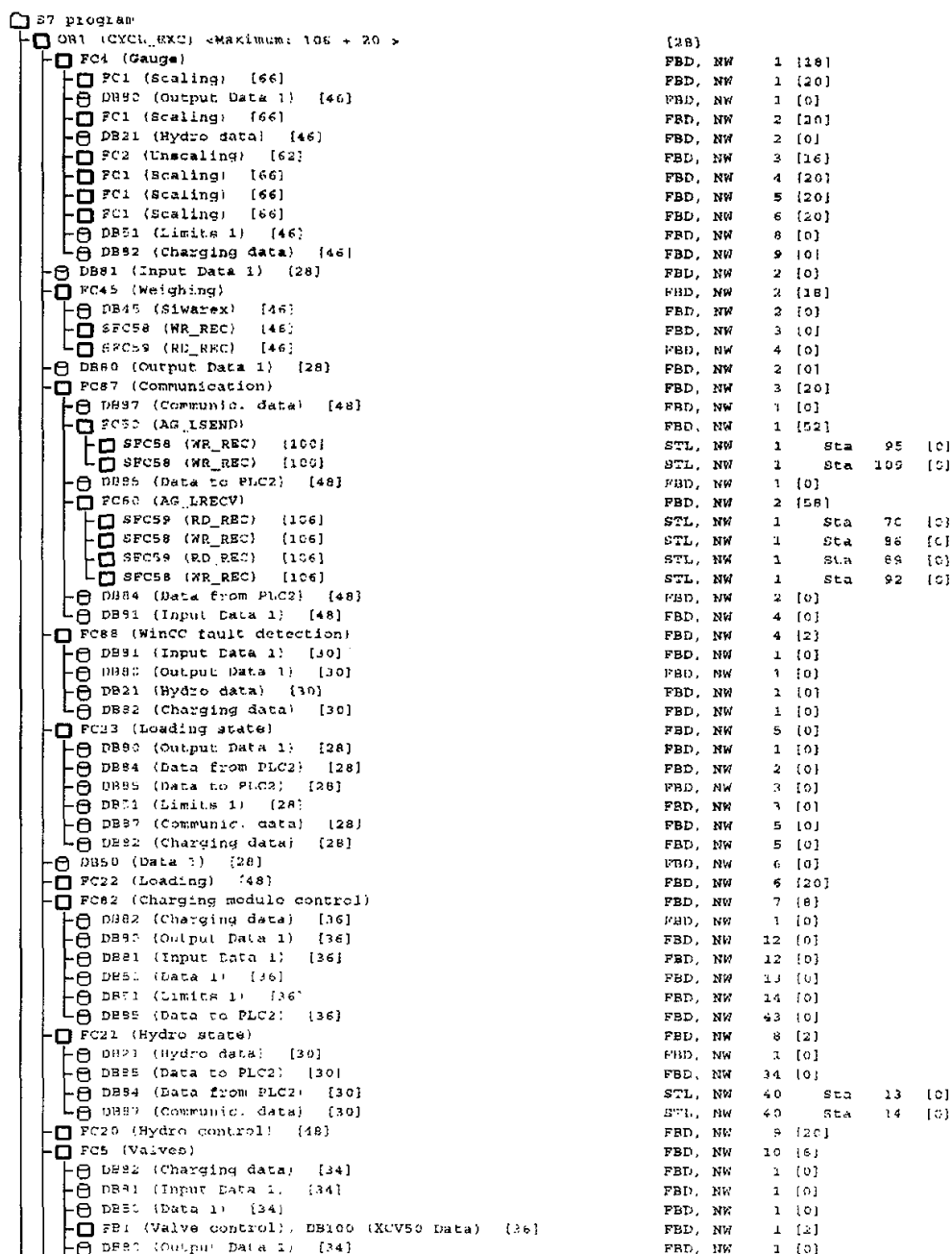


图 5.1 程序结构图 1

Fig.5.1 The structure chart 1 of programs

Program structure (tree representation)

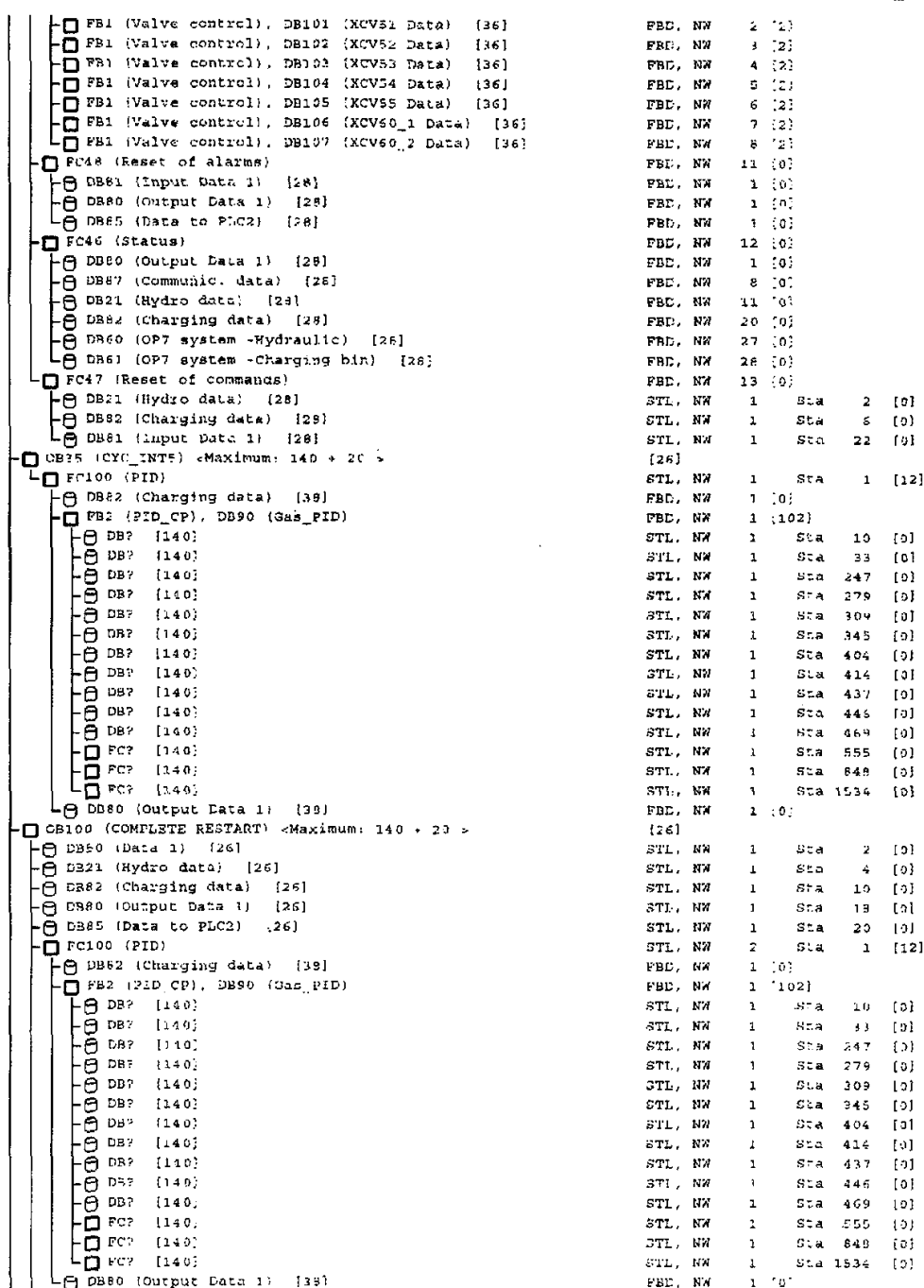


图 5.2 程序结构图 2

Fig.5.2 The structure chart 2 of programs

5.4 自动脱硫程序流程图

5.4.1 自动脱硫准备流程图

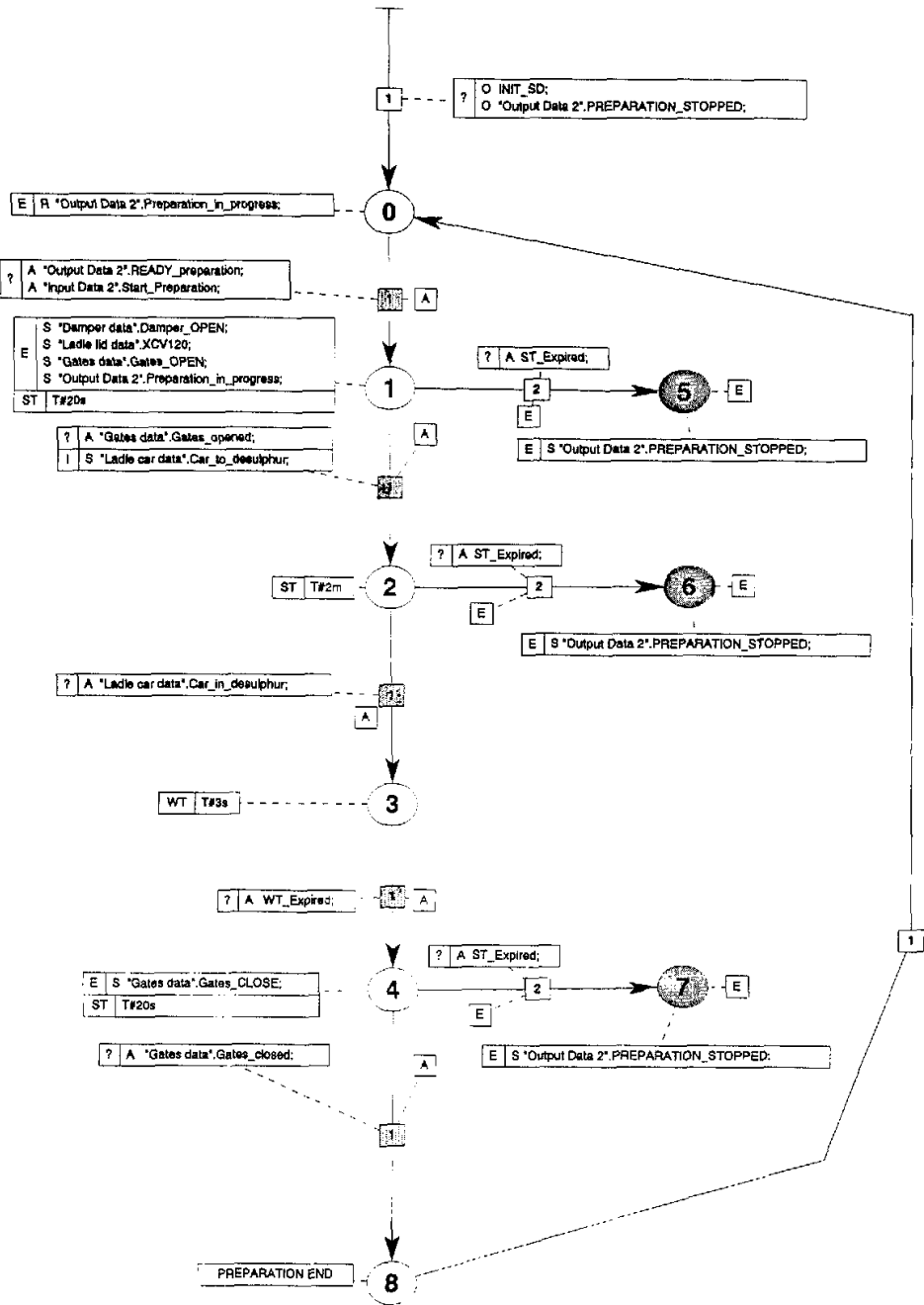


图 5.3 脱硫准备流程图

Fig.5.3 The flow chart of prepare desulphurization

5.4.2 自动脱硫控制流程图

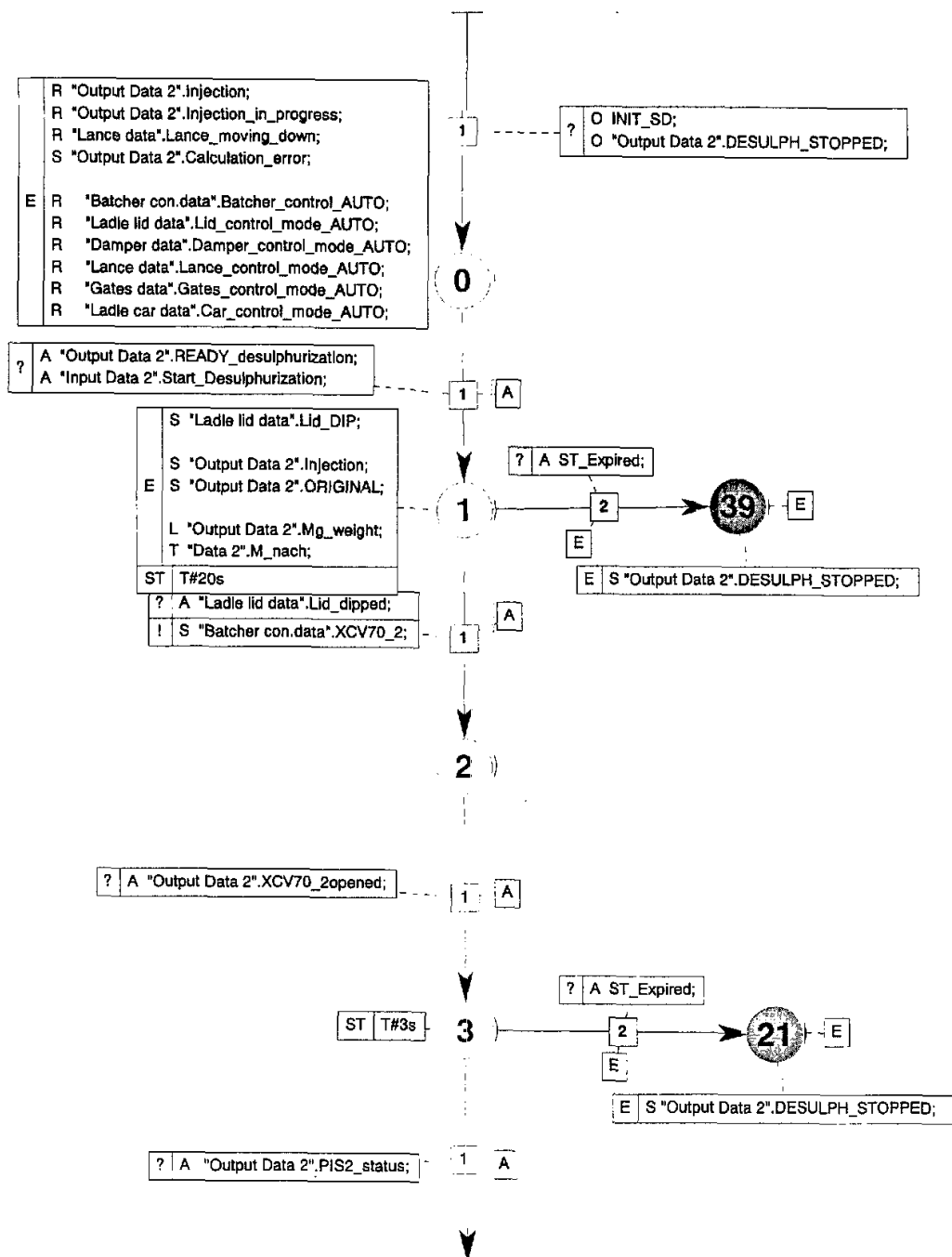


图 5.4 脱硫控制流程图 1

Fig.5.4 The flow chart 1 of control desulphurization

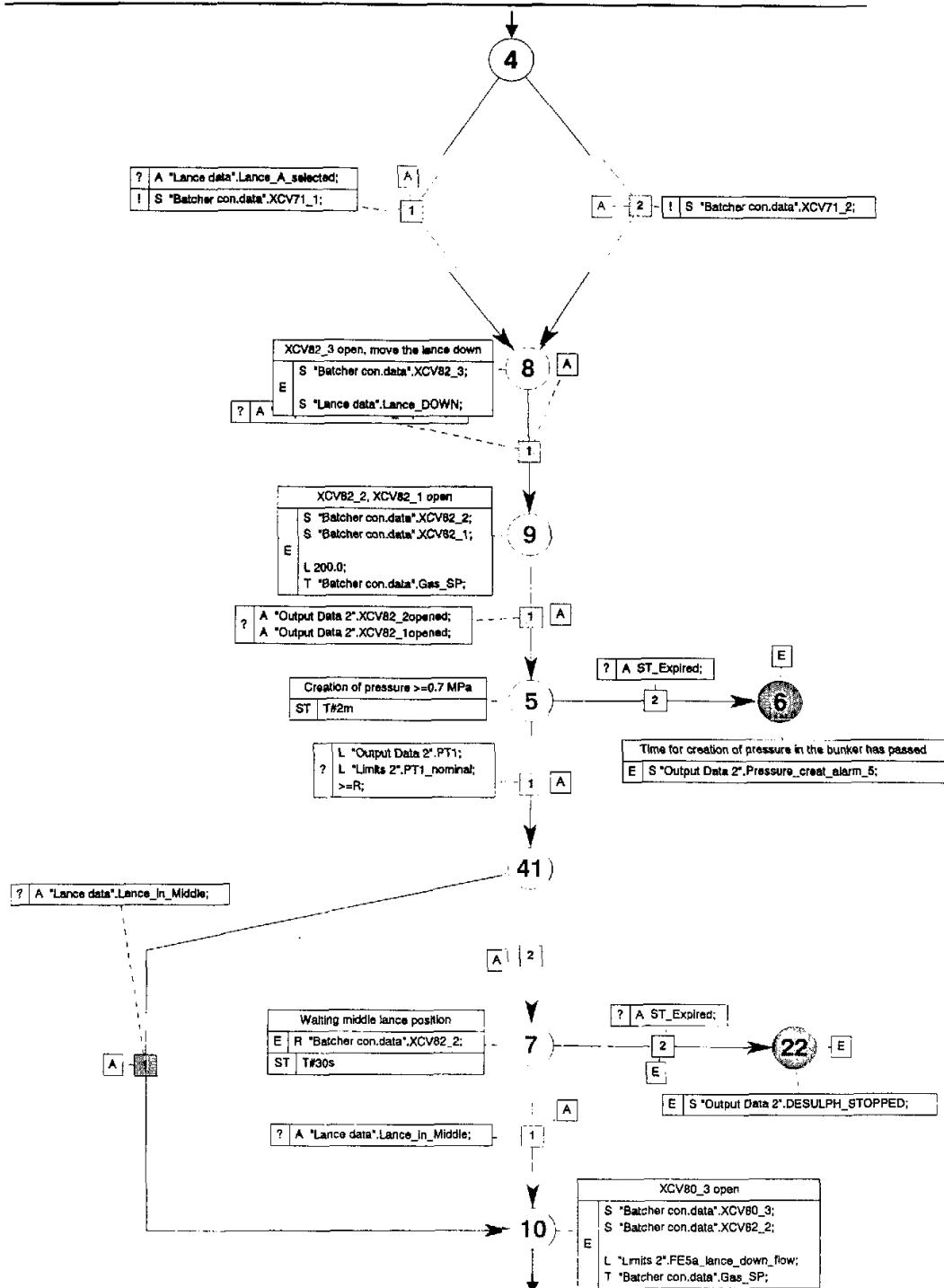


图 5.5 脱硫控制流程图 2

Fig.5.5 The flow chart 2 of control desulphurization

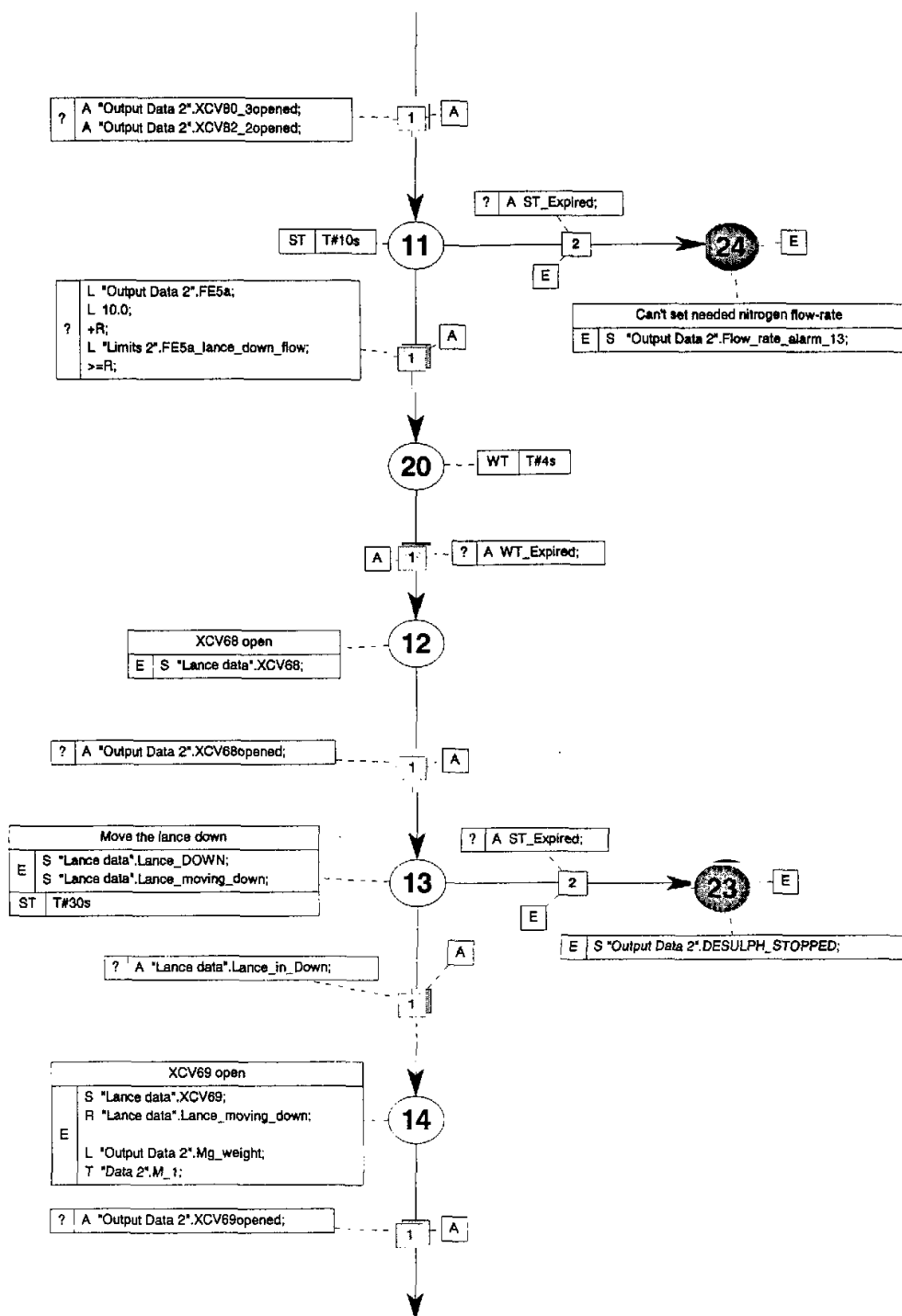


图 5.6 脱硫控制流程图 3

Fig.5.6 The flow chart 3 of control desulphurization

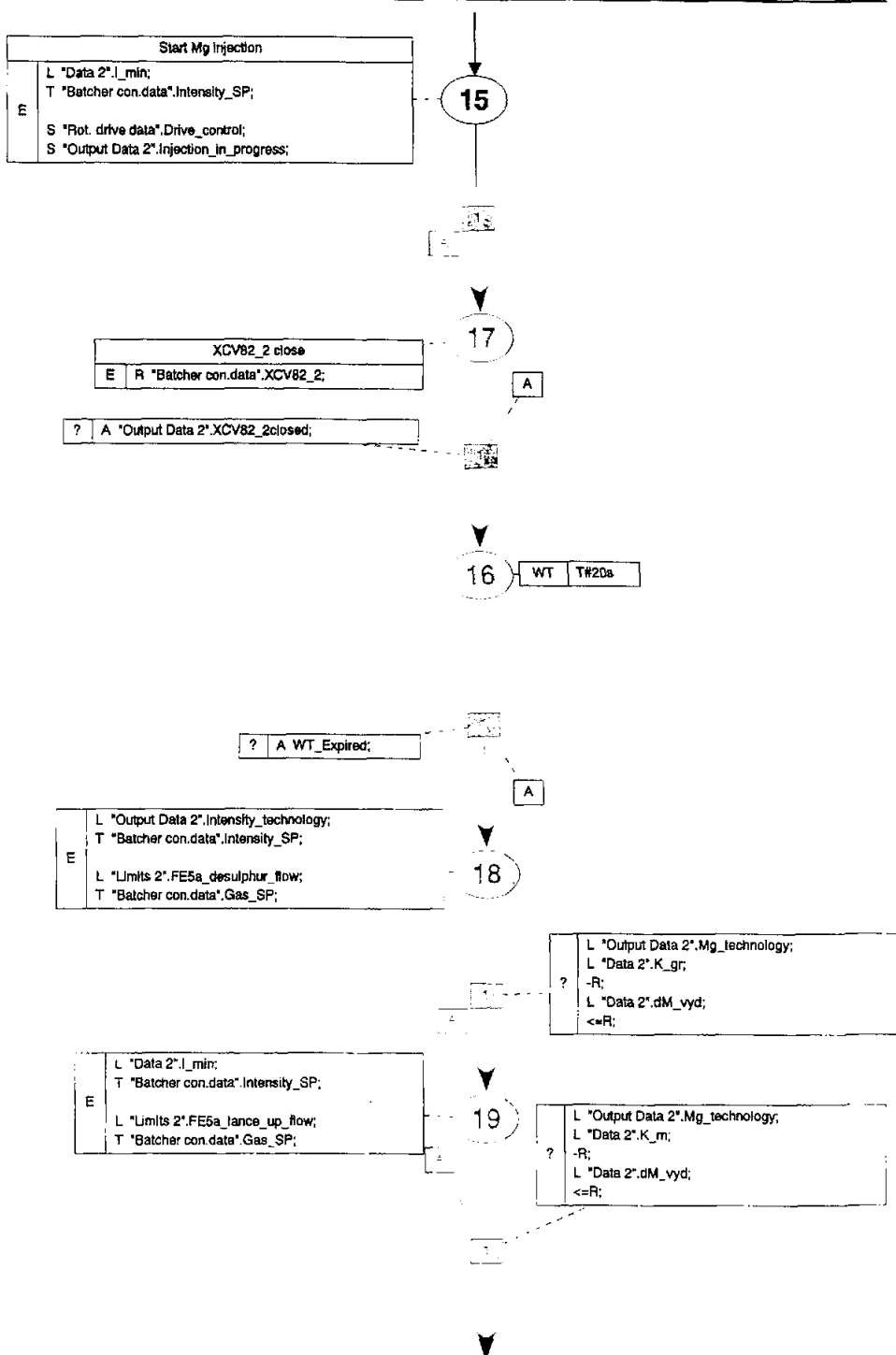


图 5.7 脱硫控制流程图 4

Fig.5.7 The flow chart 4 of control desulfurization

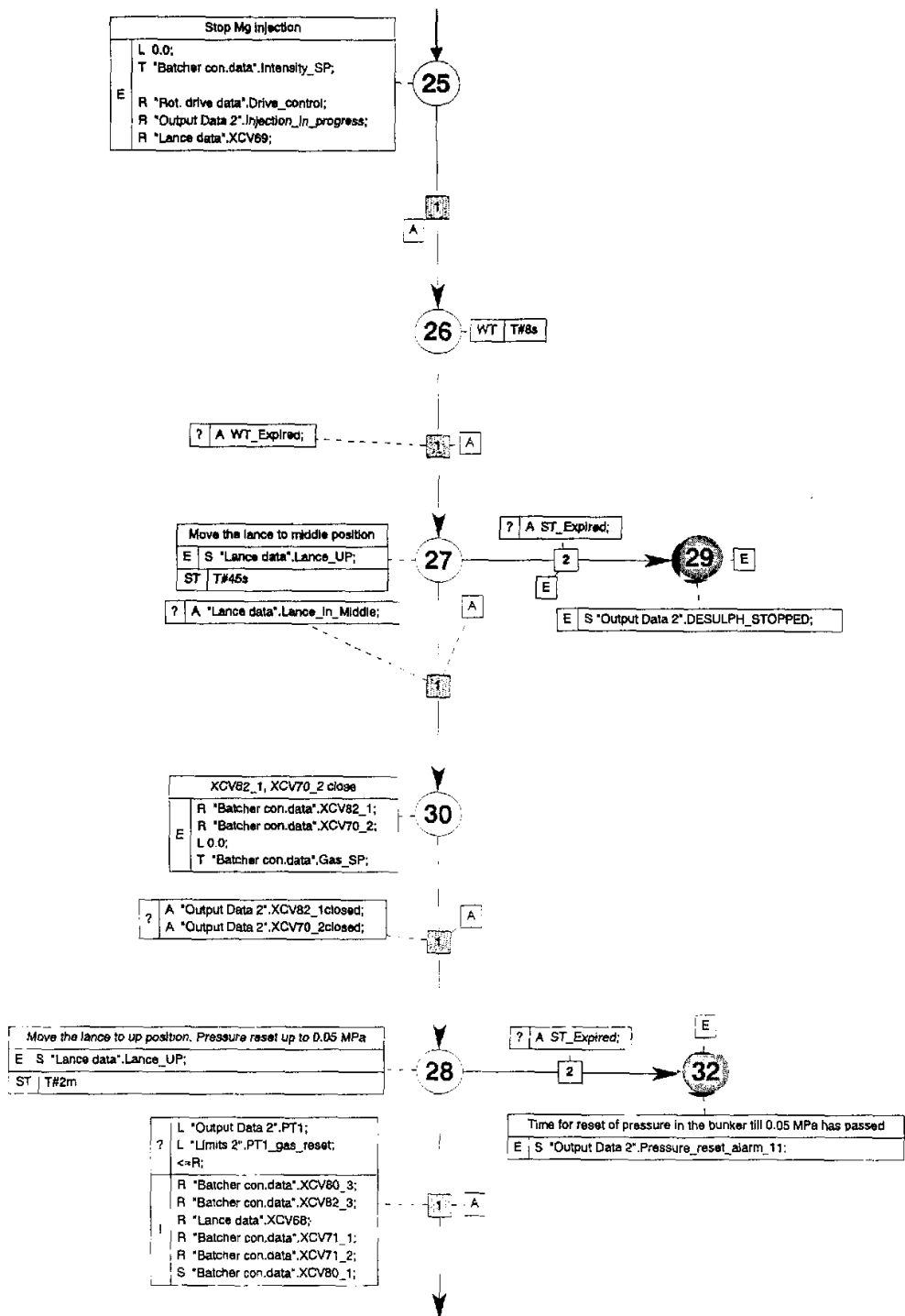


图 5.8 脱硫控制流程图 5

Fig.5.8 The flow chart 5 of control desulphurization

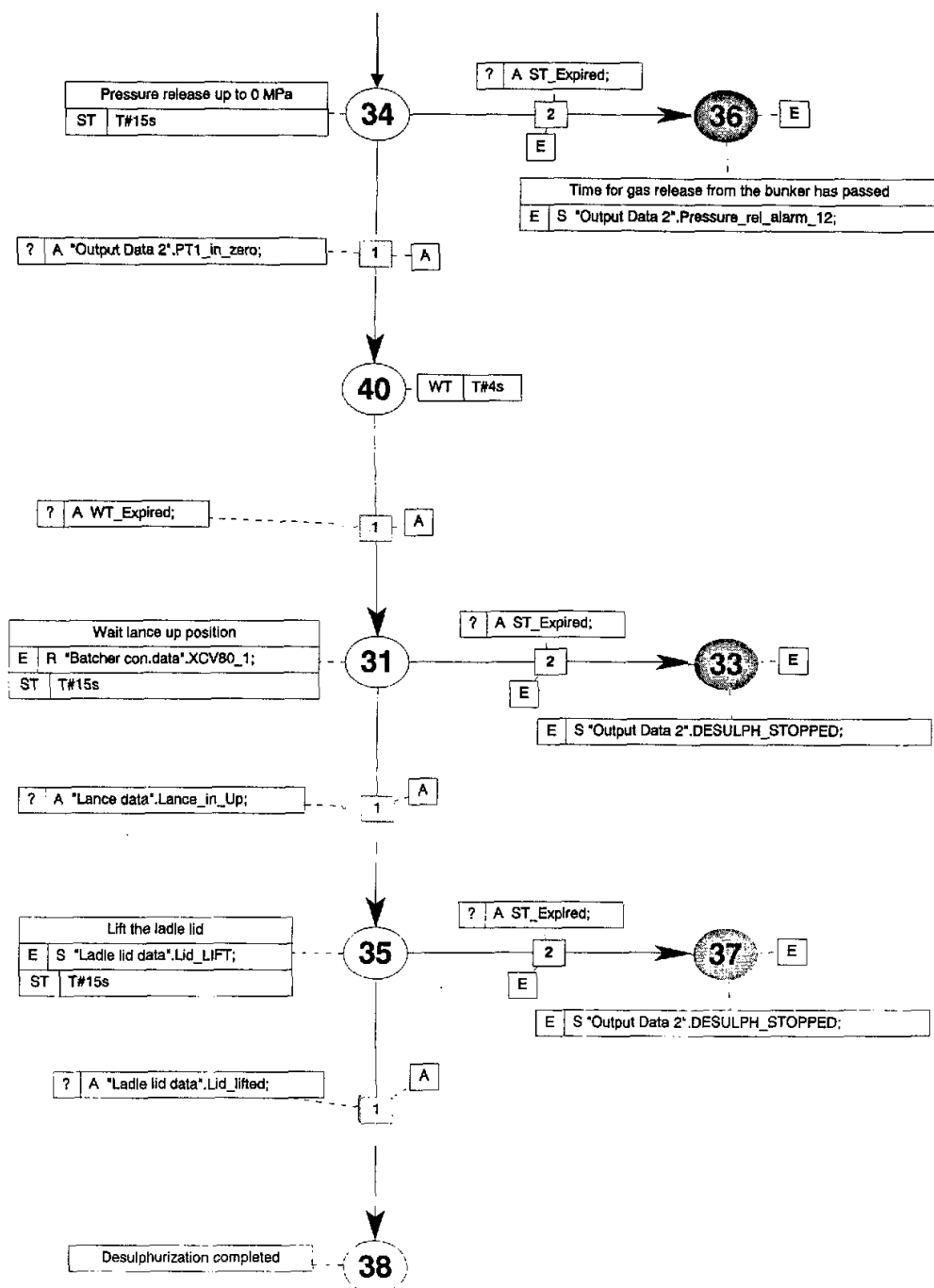


图 5.9 脱硫控制流程图 6

Fig.5.9 The flow chart 6 of control desulphurization

5.4.3 自动脱硫报警流程图

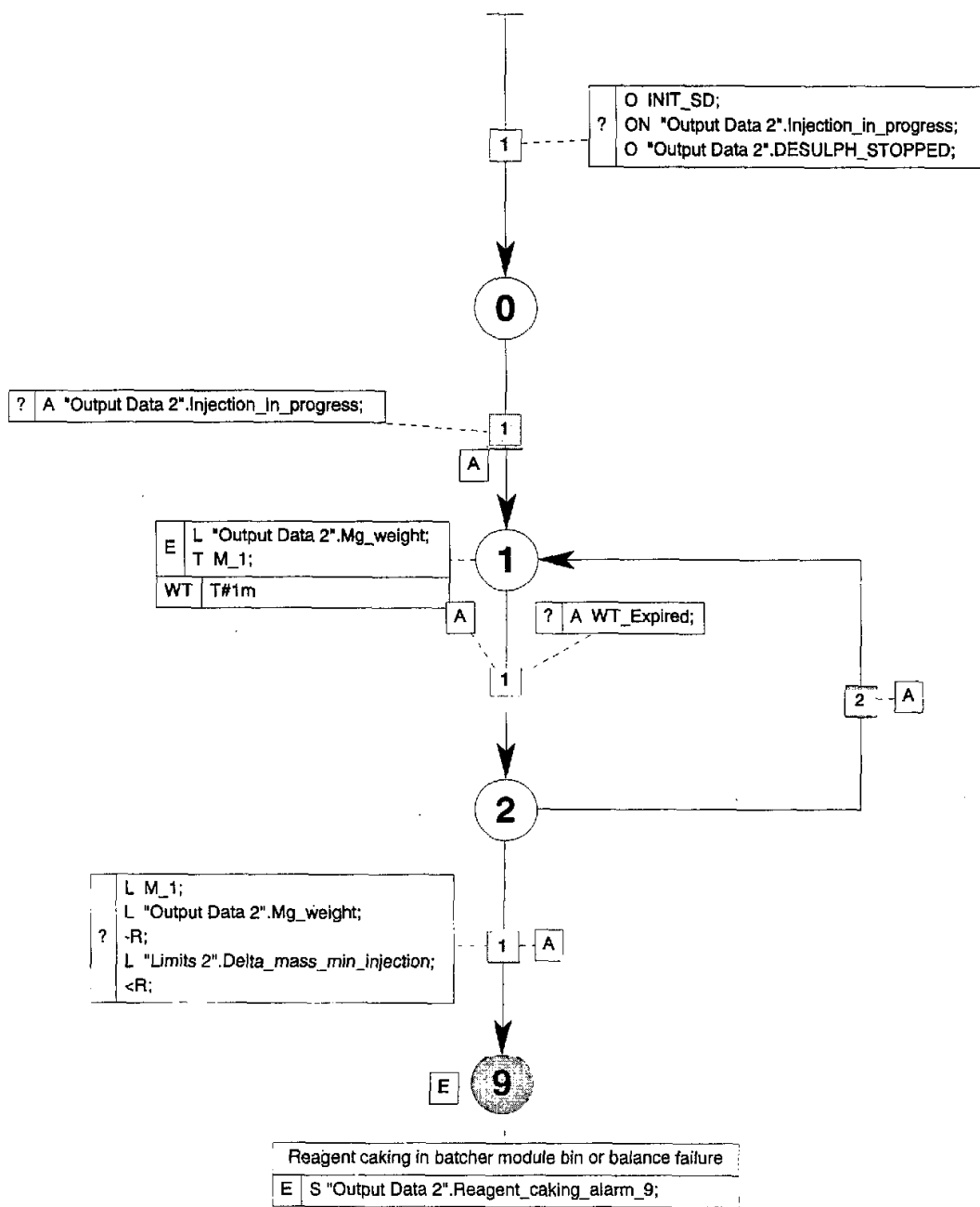


图 5.10 脱硫报警流程图

Fig.5.10 The flow chart of desulphurization alarm

5.5 颗粒镁脱硫自动化系统运行画面

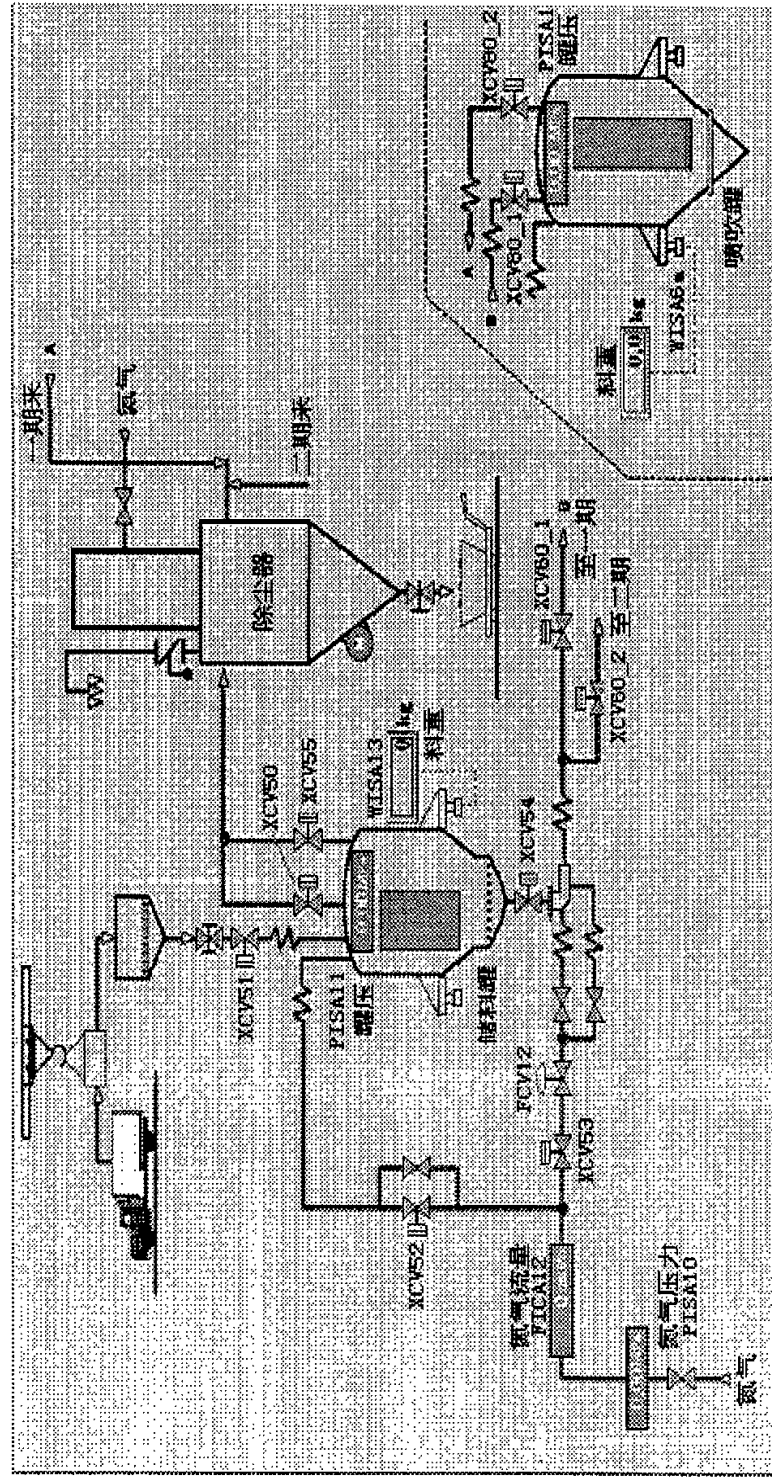


图 5.11 上料系统

Fig.5.11 Raw material reloading system

5.6 颗粒镁脱硫自动化系统存在的问题及其解决方法

在首钢第二炼钢厂颗粒镁脱硫的试生产阶段，自动化控制系统的调试曾遇到了一些非常棘手的问题。有些问题是在进行了大量的监视运行和假设分析后才得到解决的。下面就针对这样两个印象较深的问题展开讨论和分析，最后得出解决方案：

5.6.1 问题一

自动情况下，在喷枪对位时，有时喷枪架会高速通过减速点，在没有减速的情况下撞到超极限，弹回后，再次向前撞到超极限，在画面上按停止不起作用，直到喷枪架运动 1 分钟到时或喷枪架驱动电机过流报警，喷枪架才能停下来。重新恢复后，再次令喷枪对位，则喷枪仍然会重复上述现象。唯一的解决办法是将 PLC 下电，并重新上电。但这种解决办法是没有办法的办法，因为在正常生产时是不允许将 PLC 下电的；即使有时间允许 PLC 下电，重新上电后，也会因 PLC 中的所有数据状态恢复到原始状态，而需要操作人员必须重新输入和进行必要的操作后，才能进行下一步的工序操作，给正常生产带来了极大的不便。

因此，尽快解决这个问题，成为迫在眉睫的课题。经仔细分析喷枪架横移的 HIGRAPH 程序流程图，反复监测喷枪架横移的各个状态和故障现象，最后终于得出正确的结论和解决办法。

1. 分析为什么出现该故障时，只有将 PLC 先下电、再上电，才能使系统恢复正常：

这是因为在程序块中有一个组织块叫 OB100。组织块 OB100 是在 PLC 重新启动并且是暖启动(Warm restart)时被首先调用一次，且仅仅是一次。这一次调用优先级最高，是在调用组织块 OB1 之前调用组织块 OB100，用以完成用户编写的初始化命令。在调用完组织块 OB100 之后，CPU 才执行调用组织块 OB1 的命令，并且是循环调用。

在 PLC2 的 OB100 中有这样一条命令：

SET

S “Data 2”.Restart //restart

该命令是令 “Data 2”.Restart(即 DB50.DBX44.0)等于 1。在组织块 OB1 中，在调用 HIGRAPH 程序流程图时，令 INIT_SD= “Data 2”.Restart，若 “Data 2”.Restart 为 1，则 INIT_SD 也为 1。由后面的喷枪架横移 HIGRAPH 程序流程图可看出，当 INIT_SD 为 1 时，HIGRAPH 程序流程图的条件 1 满足，会将 HIGRAPH 程序流程图执行到步 0。在步 0 中将 Truck_STOP 复位为 0 (后面会讲 Truck_STOP 的作用)。

而组织块 OB100 只有在 PLC 暖启动时才被调用一次，在被调用的这一次中，“Data 2”.Restart 为 1。在完成组织块 OB100 的工作后，PLC 暖启动完成，以后就不再调用组织块 OB100 了，而是循环执行组织块 OB1 中的程序调用和命令。当执行到组织块 OB1 中的 HIGRAPH 程序流程图调用时，因此时 “Data 2”.Restart 为 1，则所有 HIGRAPH 程序流程图的 INIT_SD 为 1，从而使所有 HIGRAPH 程序流程图均复位。而随着组织块 OB1 中命令和调用的执行，当执行到最后一个命令时，执行命令：R “Data 2”.Restart 。这样，“Data 2”.Restart 就在完成使命后又被复位为 0。以后虽然组织块 OB1 中的命令和调用仍在循环执行，但因 “Data 2”.Restart 已然为 0，所以各 HIGRAPH 程序流程图不会再被初始化。

2. 分析为什么 HIGRAPH 程序流程图重新初始化后系统就能够恢复正常：

如喷枪架横移的程序流程图 1、2、3、4 所示，在自动方式下，当操作员选择了一个喷枪架横移方向，并点击画面上的启动按钮后，喷枪架会响铃提示，并自动释放固定装置。然后，经过一系列的条件判断向下执行流程图。当流程图运行到步 101 时，执行向变频器写入高速运行命令，使喷枪架按设定好的启动时间由零速启

动到高速，向目标方向移动。步 ⑩ 执行的命令如下：

```
L  "Lance data".Truck_nominal_speed;  
T  "Truck drive data".Speed_setpoint;  
S  "Truck drive data".Drive_control;  
ST T#1m
```

此时，程序有 1 分钟的等待时间，即等待如下条件满足(条件 13)：

```
AN Truck_STOP;  
A(  
O  "Lance data".Truck_switch_missed;  
O  "Lance data".Truck_STOP;  
);  
A(  
ON "Truck comes A pos._IN";  
ON "Truck in A pos._IN";  
ON "Truck comes B pos._IN";  
ON "Truck in B pos._IN";  
O  "Lance data".Truck_STOP;  
O;  
AN "Truck in Probe pos_IN";  
A  "Lance data".Truck_destination_Probe;  
);
```

这段程序转化成梯形图就比较好理解和分析了。梯形图图 5.14 如下(图 5.14

中的车是指喷枪架)：

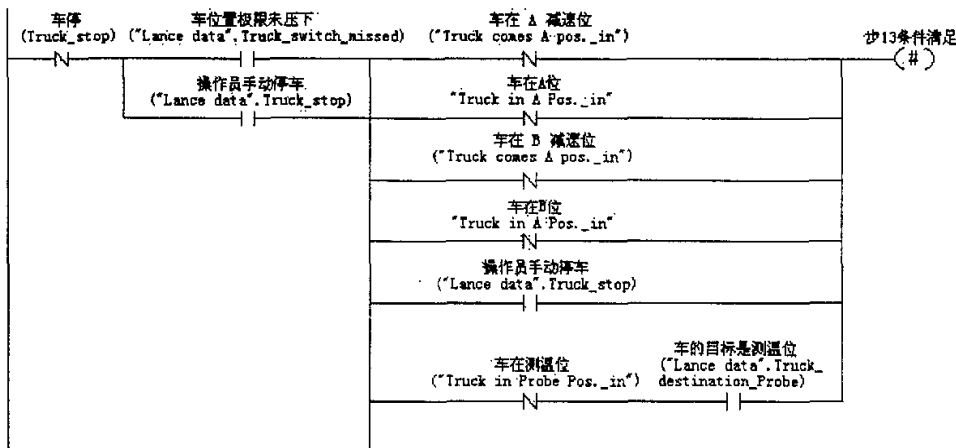


图 5.13 条件 13 的梯形图

Fig.5.13 The ladder chart of condition 13

注：图 5.13 中“车在 A 位”、“车在 B 位”、“车在 A 位减速位”、“车在 B 位减速位”和“车在测温位”这 5 个开关量输入信号为常闭点。

如图 5.13 所示，在“车停”为 0(即喷枪架还在行走)，“车位置极限未压下”为 1(即喷枪架不在 A 位、B 位、A 位减速位、B 位减速位和测温位)，或者“操作员手动停车”为 1(即有操作员在画面点击停止按钮)时，若“车在 A 位减速位”为 0(喷枪架在 A 位减速位)，或者“车在 A 位”为 0(喷枪架在 A 位)，或者“车在 B 位减速位”为 0(喷枪架在 B 位减速位)，或者“车在 B 位”为 0(喷枪架在 B 位)，或者“操作员手动停车”为 1(即有操作员在画面点击停止按钮)，或者“车在测温位”为 0(即喷枪架在测温位)且“车的目标是测温位”为 1(即喷枪架的行走目标是测温位)，则条件 **13** 的状态为 1。那么，流程图会执行到步 **111**。否则，流程图会停留在步 **101**，直到 1 分钟超时报警，将所有行走状态和动作复位。

在步 **111** 执行如下命令：

```
O  "Lance data".Truck_STOP;
ON  "Truck in A pos._IN";
ON  "Truck in B pos._IN";
O;
AN  "Truck in Probe pos_IN";
A  "Lance data".Truck_destination_Probe;
S  Truck_STOP;
R  "Truck signal_OUT";
```

即若“Lance data”.Truck_STOP 为 1(即有操作员在画面点击停止按钮)，或者“Truck in A pos._IN”为 0(即喷枪架已经行走到 A 位)，或者“Truck in B pos._IN”为 0(即喷枪架已经行走到 B 位)，或者“Truck in Probe pos_IN”为 0(即喷枪架已经行走到测温位)且“Lance data”.Truck_destination_Probe 为 1(即喷枪架的行走目标是测温位)，则内部点“Truck_STOP”置位为 1，输出点“Truck signal_OUT”(提示警铃)复位为 0。

否则，流程图会判断条件 **1** 的条件

```

AN  "Truck comes A pos._IN";
A   "Lance data".Truck_destination_A;
O;
AN  "Truck comes B pos._IN";
A   "Lance data".Truck_destination_B;

```

是否满足。若满足，则执行命令

```

L  "Lance data".Truck_low_speed;
T  "Truck drive data".Speed_setpoint;

```

即若“Truck comes A pos._IN”为 0(即喷枪架已经行走到 A 位减速位)且“Lance data”.Truck_destination_A 为 1(即喷枪架的行走目标是 A 位)，或者“Truck comes B pos._IN”为 0(即喷枪架已经行走到 B 位减速位)且“Lance data”.Truck_destination_B 为 1(即喷枪架的行走目标是 B 位)，则装载喷枪架低速数据，并传送到喷枪架横移变频器的速度设定点。

否则，判断条件 2 的条件

```
A  Truck_STOP;
```

是否为满足。是，则流程图由步 111 执行到步 113；否则，流程图由步 111 转到步 114 进行等待。等待条件 1 或 2 满足。

这样就不难看出，要想条件 2 满足，则必先满足步 111 的条件，并执行命令“S Truck_STOP;”。

在条件2满足(即喷枪架到达了目的地，Truck_STOP 为 1)后，流程图执行到步 113，步 113 执行如下命令：

```

R  "Truck drive data".Drive_control;
L  0;
T  "Truck drive data".Speed_setpoint;
WT T#1s

```

即令喷枪架横移变频器停止，并将速度给定设为 0。等待 1 秒钟，以使喷枪架横移变频器确实停下来再执行以后的动作。

等待 1 秒钟后，条件 1 执行命令

```
S  "Truck drive data".Brake_control;
```

使喷枪架横移抱闸夹紧。

然后，流程图执行到步 ⑪⑮。步 ⑪⑮ 执行以下复位命令：

```
R "Lance data".Truck_destination_A;  
R "Lance data".Truck_destination_B;  
R "Lance data".Truck_destination_Probe;  
R Truck_STOP;
```

注意：在步 ⑪① 执行后，将 Truck_STOP 置位 1。而 Truck_STOP 的复位是要靠步 ⑪⑮ 或步 ① 复位。

经以上分析，得知出现问题是在步 ⑪① 和步 ⑪⑮ 之间。即当执行到步 ⑪③，在将变频器速度置 0 和等待的 1 秒钟期间(此时在 Truck_STOP 为 1)，操作工又发出了喷枪架向另外一个位置对位的指令，则程序会跳到步 ⑨①，重新执行横移程序流程图，而不会继续进行到步 ⑪⑮。所以，在这种情况下，程序不会复位喷枪架的运行方向指示，更不会复位 Truck_STOP。并且在喷枪架高速运行后，由于 Truck_STOP 仍然为 1，而使得程序不会通过条件 ⑬ 跳到步 ⑪①，会一直运行在步 ①①，直到超过 1 分钟的等待时间或变频报警而自动停止。此时，虽然喷枪架因故障停了下来，但若程序没有复位到步 ①，则 Truck_STOP 仍然为 1，在喷枪架下一次移动时仍然会出现此故障。

因此，正是因为 PLC 的暖启动，最后使 HIGRAPH 程序流程图执行到步 ①，使 Truck_STOP 复位为 0，而最终解除了 Truck_STOP 一直为 1 的死循环，使系统恢复了正常工作。

因此，解决办法有两条：

1. 在步 ⑨① 执行的命令中增加一条令 Truck_STOP 复位为 0 的命令，即

```
R Truck_STOP;
```

这个解决方案是基于为避免 Truck_STOP 一直为 1 的死循环出现而考虑的。增加这条指令后，每当程序由步 ⑨① 开始执行时，都会使 Truck_STOP 复位为 0。

这样,即使当执行到步 ⑪⑩,在将变频器速度置 0 和等待的 1 秒钟期间(此时 Truck_STOP 为 1),操作工又发出了喷枪架向另外一个位置对位的指令,虽然程序会跳到步 ⑨①,重新执行横移程序流程图,但因为 Truck_STOP 被复位为 0 了,所以当喷枪架经过减速点后,程序会通过条件 ⑬跳到步 ⑪①,会正常执行下去。

2. 在画面中增加一个按钮命令,当出现故障时,点击该按钮,使 PLC 程序中的变量“Data 2”.Restart 的值等于 1,最终使 HIGRAPH 程序跳到步 ①,执行步 ①中的复位命令“R Truck_STOP”,使 Truck_STOP 复位为 0。

正是由于采用了上面的两种方法,从而避免了 Truck_STOP 一直为 1 的死循环,使系统恢复了正常工作。

为更好地说明和分析喷枪架横移的执行过程,使上面的分析和讨论有一个整体和连续的概念,特将喷枪架横移的程序流程图完整地显示如下,仅供参考:

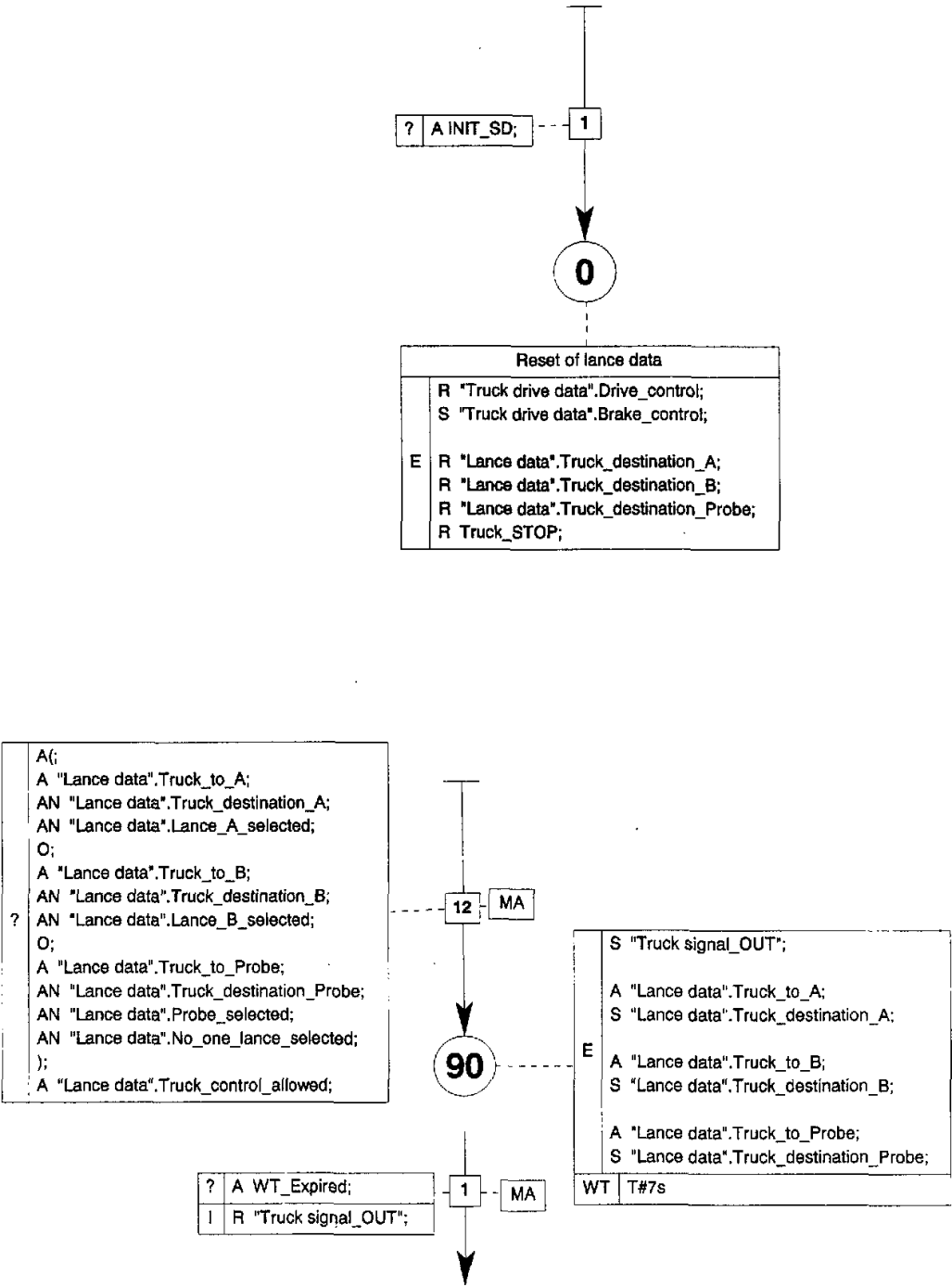


图 5.14 喷枪架横移流程图 1
Fig.5.14 The flow chart 1 of lance's truck

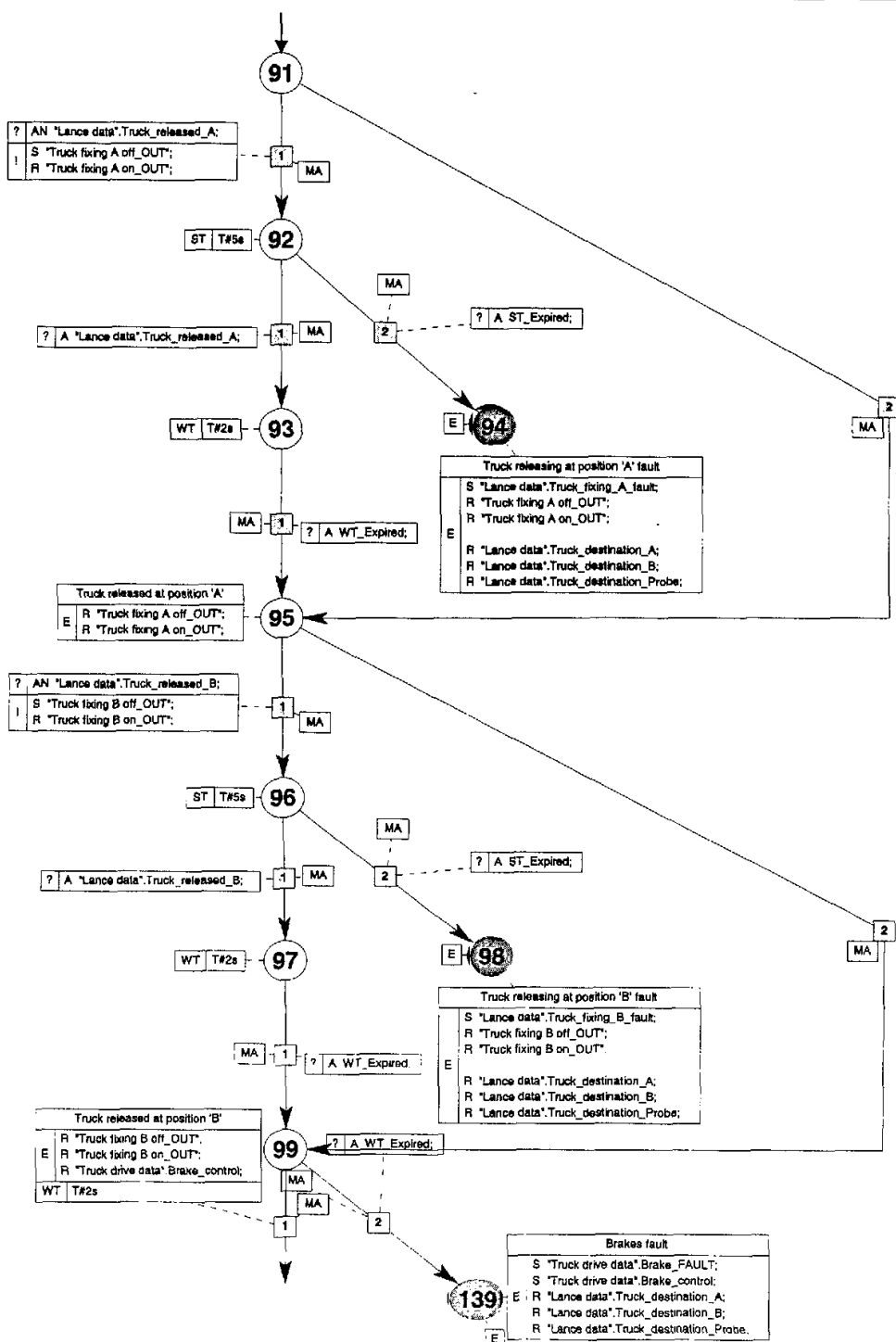


图 5.15 喷枪架横移流程图 2

Fig.5.15 The flow chart 2 of lance's truck

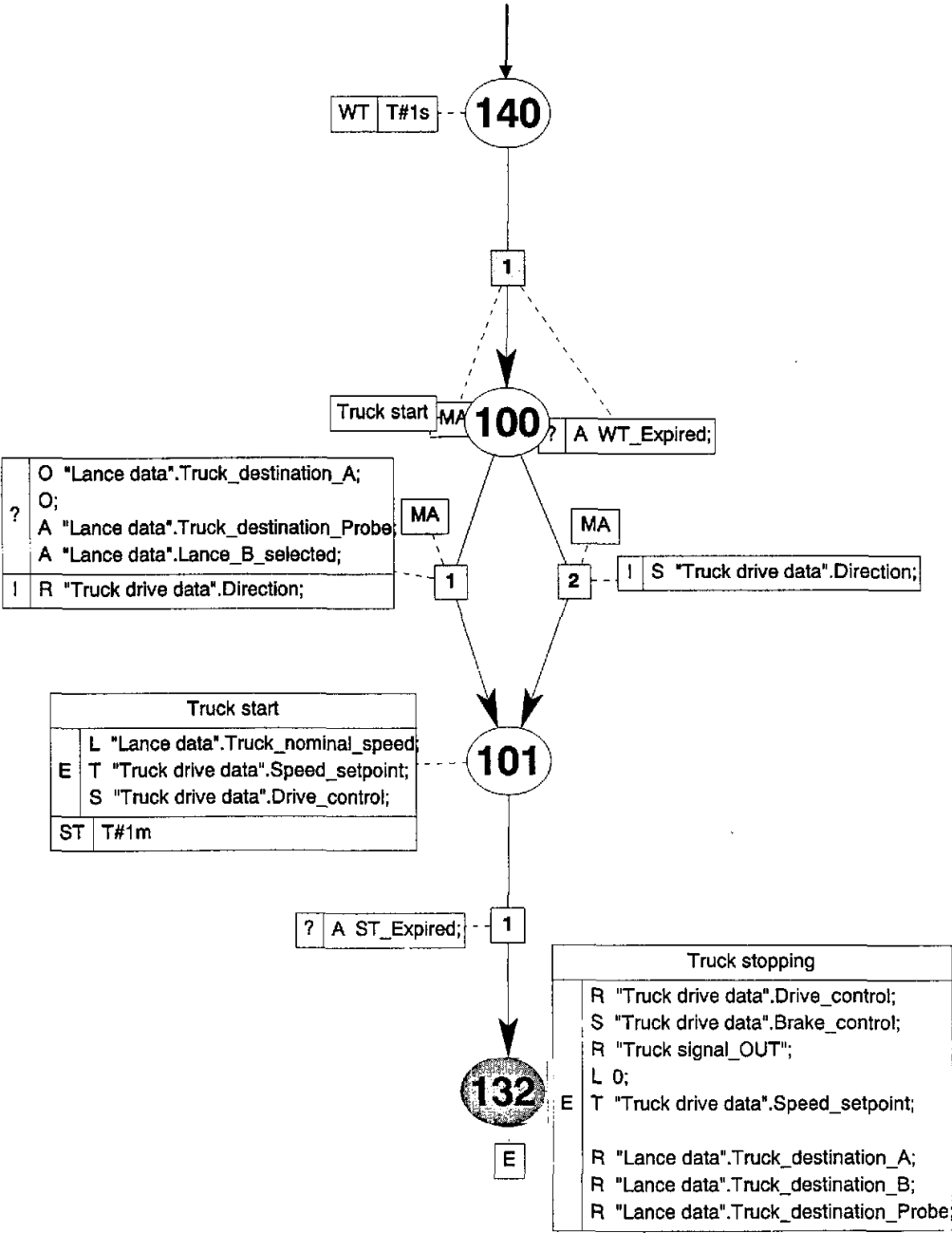


图 5.16 喷枪架横移流程图 3
Fig.5.16 The flow chart 3 of lance's truck

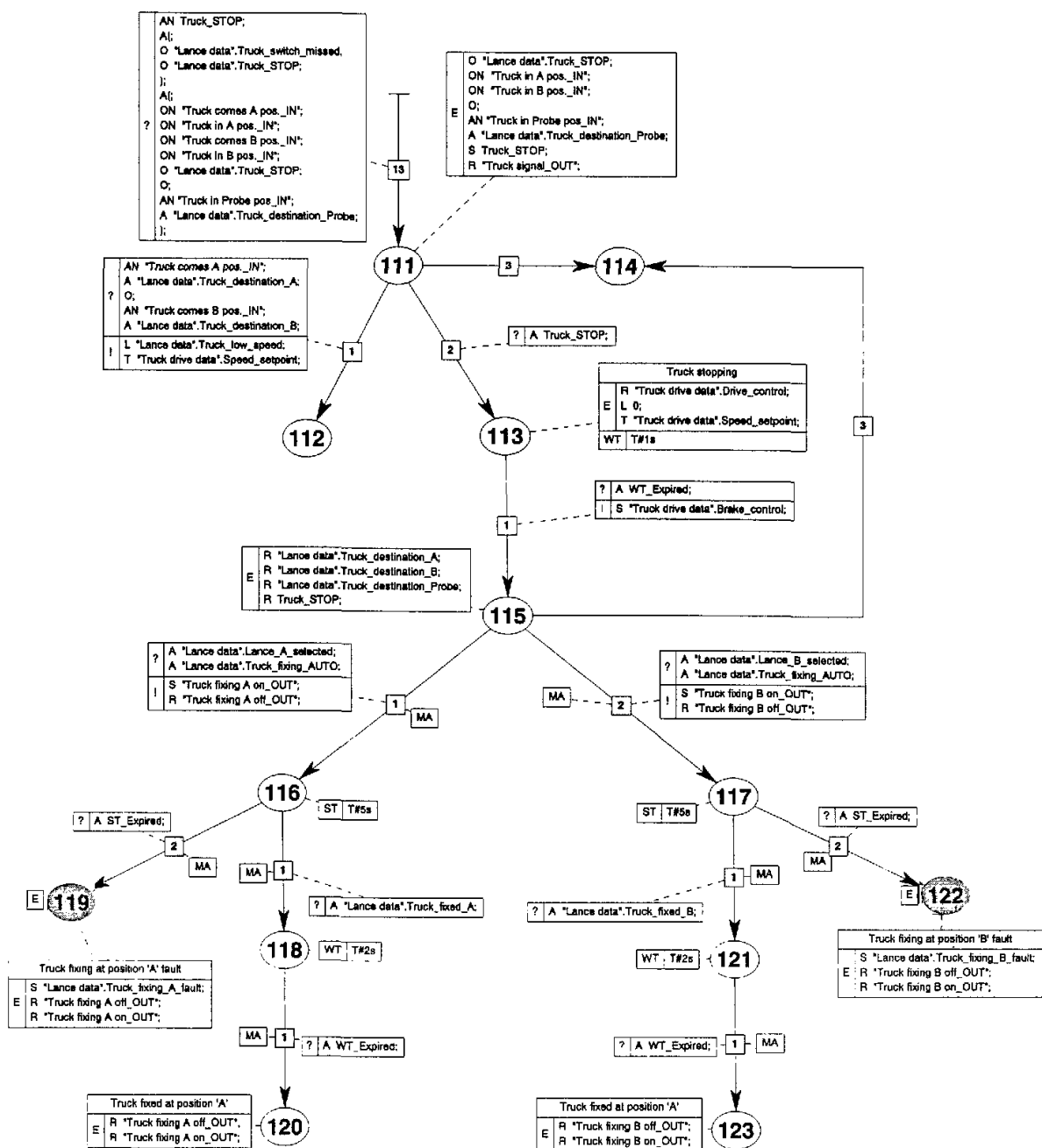


图 5.17 喷枪架横移流程图 4
Fig.5.17 The flow chart 4 of lance's truck

5.6.2 问题二

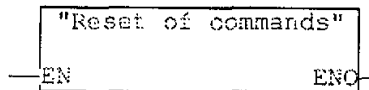
当点击画面上的命令钮进行操作时,有时需要对要操作的命令钮快速地连击数次,外部设备才执行动作。而且点击的次数没有规律,不固定,随机性强,给准确操作带来了极大的困难。

1. 检查 WINCC 画面

在 WINCC 画面中察看命令钮的脚本语言,没有发现任何问题。因为命令钮的脚本语言只是当鼠标有点击命令钮的动作时令 PLC 中的某一位为 1。而且,就 WINCC 的可靠性而言,我们没有理由怀疑 WINCC 的可靠性和稳定性。所以我们确认命令钮的脚本语言和 WINCC 的运行都不存在问题。

2. 检查 PLC 程序

PLC2 的组织块 OB1 中循环执行了一个调用命令:



这个调用命令使功能块“Reset of commands”(即 FC47)得以执行。

如“Reset of commands”(即 FC47)的程序清单所示,“Reset of commands”(即 FC47)的主要作用就是将 WINCC 上定义的命令地址的数据复位为 0。也就是说,当你在画面中点击命令钮,使 PLC 中的某位为 1,而因 PLC 中的组织块 OB1 在循环执行调用命令使功能块“Reset of commands”(即 FC47)得以执行。因此,刚刚在画面上执行点击操作使 PLC 中的某位为 1,在命令发出后就复位为 0 了。

从该问题的现象看,应该是在画面上执行点击操作使 PLC 中的某位为 1,但当 PLC 扫描到该位为 1 时,已经错过了该位要执行的命令循环,而是正好赶上组织块 OB1 调用了功能块“Reset of commands”(即 FC47),使刚刚为 1 的位又变成了 0 状态。在这种情况下,点击画面中命令钮所产生的命令并没有得到执行。

而为什么有时点击画面中命令钮所产生的命令又能够得到执行呢?经分析知,应该是在画面上执行点击操作使 PLC 中的某位为 1 的时刻正好是组织块 OB1 调用执行该命令的功能块的时刻。这样,在执行完该命令后,该位才被复位为 0。

这时,我们可以看出,问题的关键是要让命令执行完后再复位为 0。凭经验估计是 PLC 设置的问题。经查,果然 PLC 的最短扫描周期设成了 0 秒。

解决办法只有 1 个,就是将 PLC 的最短扫描周期设成 200 秒。

为更好的对程序进行分析,特将程序块 FC47 的命令摘录如下:

```
SET
R    "Input Data 2".Set_zero_SIWAREX
R    "Ladle lid data".Lid_LIFT_WCC
R    "Ladle lid data".Lid_LIFT
R    "Ladle lid data".Lid_DIP_WCC
R    "Ladle lid data".Lid_DIP
R    "Ladle lid data".Lid_Reset_WCC
R    "Ladle lid data".Lid_Reset
R    "Ladle lid data".Lid_Stop
R    "Damper data".Damper_OPEN
R    "Damper data".Damper_CLOSE
R    "Damper data".Damper_OPEN_WCC
R    "Damper data".Damper_CLOSE_WCC
R    "Damper data".Damper_Reset
R    "Damper data".Damper_Reset_WCC
R    "Damper data".Damper_Stop
R    "Lance data".XCV68_Reset_WCC
R    "Lance data".XCV69_Reset_WCC
R    "Lance data".XCV68_Reset
R    "Lance data".XCV69_Reset
R    "Lance data".Lance_DOWN_WCC
R    "Lance data".Lance_DOWN
R    "Lance data".Lance_UP_WCC
R    "Lance data".Lance_UP
R    "Lance data".Lance_STOP_WCC
R    "Lance data".Lance_STOP
R    "Lance data".Lance_FIX_WCC
R    "Lance data".Lance_FIX
R    "Lance data".Lance_RELEASE_WCC
R    "Lance data".Lance_RELEASE
R    "Lance data".Lance_Reset_WCC
```

```

R    "Lance data".Lance_Reset
L    0
T    DB25.DBB    14          // probe control reset
T    DB25.DBW    23          // truck control reset
R    "Gates data".Gates_OPEN
R    "Gates data".Gates_CLOSE
R    "Gates data".Gates_OPEN_WCC
R    "Gates data".Gates_CLOSE_WCC
R    "Gates data".Gates_Reset
R    "Gates data".Gates_Reset_WCC
R    "Gates data".Gates_Stop
T    DB29.DBB    3          // ladle car control reset
R    "Ladle car data".Car_to_weighing_WCC
R    "Input Data 2".Calculate // WinCC commands reset
R    "Input Data 2".Start_Desulphurization
R    "Input Data 2".Stop_Desulphurization
R    "Input Data 2".Start_Loading
R    "Input Data 2".Stop_Loading
R    "Input Data 2".Common_Alarm_Reset
R    "Input Data 2".Start_Preparation
R    "Batcher con.data".XCV70_1_Reset_WCC
R    "Batcher con.data".XCV70_2_Reset_WCC
R    "Batcher con.data".XCV71_1_Reset_WCC
R    "Batcher con.data".XCV71_2_Reset_WCC
R    "Batcher con.data".XCV80_1_Reset_WCC
R    "Batcher con.data".XCV80_2_Reset_WCC
R    "Batcher con.data".XCV80_3_Reset_WCC
R    "Batcher con.data".XCV82_1_Reset_WCC
R    "Batcher con.data".XCV82_2_Reset_WCC
R    "Batcher con.data".XCV82_3_Reset_WCC
R    "Batcher con.data".XCV70_1_Reset
R    "Batcher con.data".XCV70_2_Reset
R    "Batcher con.data".XCV71_1_Reset
R    "Batcher con.data".XCV71_2_Reset
R    "Batcher con.data".XCV80_1_Reset
R    "Batcher con.data".XCV80_2_Reset
R    "Batcher con.data".XCV80_3_Reset
R    "Batcher con.data".XCV82_1_Reset
R    "Batcher con.data".XCV82_2_Reset
R    "Batcher con.data".XCV82_3_Reset

```

在程序块 FC47 中，命令 **L 0** 和 **T DB25.DBW23** 就是将喷枪架的所有数据复位为 0。

5.7 下一步工作展望

现在,随着生产工艺的不断提高,工业企业对生产过程自动化与信息化提出了更高的要求:

- (1) 集成监控管理现存的和即将应用的自动化控制设备,逐步消除工厂内各不相同的专有技术、网络、协议所产生的不良效果;
- (2) 降低自动化系统的总投资,并最大程度地保护在现有自动化系统上的投资;
- (3) 满足工厂生产过程控制从单机生产到联网生产的需要,最终提高生产效率和经济效益;
- (4) 使全厂实时生产过程信息进入企业内所有计算机平台,满足企业对生产更深入、更及时的管理;
- (5) 提供开放、标准的方式或方法,使先进控制软件(APC)、生产调度软件能够方便的开放;
- (6) 统一自动化控制系统的基础设施网络,为将自动化系统最终融入信息管理系统提供条件和可能;
- (7) 充分利用网络通讯技术、Internet/Intranet 技术,使生产管理人员和现场操作人员能够在任何地方对机器、生产过程乃至工厂生产管理进行远程控制。

面对着机遇与挑战,我们必须不断地开拓与进取,从各方面不断地完善和改进颗粒镁脱硫自动化系统,使脱硫生产更加稳定,喷镁量更加精确。虽然现在的颗粒镁脱硫自动化系统已经使脱硫指标达到并超过了工艺要求和设计水平,但颗粒镁脱硫自动化系统仍有需要改进的不足。比如,将喷枪和测温枪的枪位由行程开关的开关量信号改为编码器传送的模拟量信号,会使喷枪和测温枪的枪位显示更加精确,更加便于操作人员的监视、操作和控制;若将测温枪的取样深度由行程开关反映的下限位来定,改为自动检测渣厚,计算插入深度,则会使取样更准确,并避免烧枪。

结论

目前,首钢第二炼钢厂铁水脱硫站一期工程建设已顺利完成并投入使用,年处理铁水预计160万吨。

本文根据经典自动化控制理论和现代计算机技术,对首钢第二炼钢厂颗粒镁脱硫自动化系统进行了解析,深入分析了颗粒镁脱硫自动化系统的现状,制定出了优化控制方案和故障解决方案,并编制出相应程序和画面,现已应用于生产实际。从上述工作中得出以下结论:

- 1、由于针对自动化控制系统(包括设计、选型、控制工艺、控制思想和编程调试)做了大量的研究和开发工作,使得首钢第二炼钢厂铁水脱硫站从颗粒镁喷吹量、喷吹强度和喷吹时间的计算,到喷枪和测温取样枪的位置控制,以及上料和铁水包车的控制都取得了良好的控制效果。
- 2、单吹颗粒镁脱硫技术从工艺理论和经济效益上讲已经具备了实际推广的价值,而行之有效的自动化系统成为其可靠运行的有利保证。。
- 3、由西门子工控软、硬件设备构成的单吹颗粒镁自动化系统已经形成了规范化、标准化、模块化的控制程序和人机界面,具有很强的可移植性。
- 4、若能够把西门子工控技术在单吹颗粒镁自动化系统中的成功经验运用到相关行业中去,将会大大提高自动化控制精度,并提升自动化控制理念。
- 5、随着现代信息技术的迅猛发展,单吹颗粒镁自动化系统也需要不断地完善和进步,做到与时俱进,使其达到更高的控制精度和水平。

致谢

本论文是在东北大学张国范教授的悉心指导下完成的。在张教授的指导和帮助下，本人顺利地完成了学业，而且进一步提高了自己开展科研的能力，在这里我要向导师在学业上的严格要求和教诲表示衷心的感谢。

在论文的完成过程中，得到了首钢计控室相关维护人员的指点和帮助，在工艺理论的收集过程中，还得到了首钢第二炼钢厂技术科阎占辉、刘禹两位同志的帮助，在此一并表示感谢。

参考文献

1. 舍甫钦柯等, 马作臻译. 炉外铁水在铁包中用颗粒镁脱硫和精炼的节能省料方法[J], 轻金属, 1998, (4): 42-46
2. 唐萍等. 镁包芯丝铁水脱硫研究[J], 第十一届全国炼钢学术会议论文集, 2000, (11): 213
3. 杨天钧等. 铁水炉外脱硫的新进展[J], 钢铁, 1999, 34(1): 65-69
4. 立山 政幸等, 李素珍译. 用 Mg 丝进行铁水脱硫[J], 武汉: 武钢技术, 1998, (10): 14-19
5. 项国波著. 自动化时代[M], 武汉: 武汉理工大学出版社, 2004, 58-63
6. 戴先中. 自动化科学与技术学科的内容、地位与体系[M], 北京: 高等教育出版社, 2003, 32-39
7. 张国范, 顾树生, 王明顺编著. 计算机控制系统[M], 北京: 冶金工业出版社, 2004, 4-10
8. 周杏鹏, 仇国富, 王寿荣, 操家顺编著. 现代检测技术[M], 北京: 高等教育出版社, 2004, 102-107
9. 袁任光编著. 集散型控制系统应用技术与实践[M], 北京: 机械工业出版社, 2003, 28-32
10. 何离庆主编, 张寿明, 朱文嘉副主编. 过程控制系统与装置[M], 重庆: 重庆大学出版社, 2003, 23-43
11. 李斌, 何济民主编. 现代控制理论[M], 重庆: 重庆大学出版社, 2003, 1-5
12. 俞金寿主编. 工业过程先进控制[M], 北京: 中国石化出版社, 2002, 6-10
13. 周泽魁主编. 控制仪表与计算机控制装置[M], 北京: 化学工业出版社, 2002, 136-139
14. 王威主编. 工业生产自动化[M], 北京: 科学出版社, 2003, 275-291
15. 付家才, 王秀琴著. 现代工业控制基础[M], 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社,

- 2003, 1-10
16. 张旺, 王世嫫编著. 自动控制原理[M], 北京: 北京理工大学出版社, 1994, 2-3
 17. [日]藤井隆雄著, 卢伯英译. 控制理论[M], 北京: 科学出版社, 2003, 61-62
 18. [美]Richard C.Dorf Robert H.Bishop 著, 邹逢兴审校, 谢红卫, 邹逢兴, 张明, 李鹏波, 李琦译. 现代控制系统(第八版) [M], 北京: 高等教育出版社, 2001, 310-311
 19. 王树青等编著. 工业过程控制工程[M], 北京: 化学工业出版社, 2003, 201-215
 20. [美]Katsuhiko Ogata 著, 卢伯英, 于海勋等译. 现代控制理论(第四版)[M], 北京: 电子工业出版社, 2003, 5-7
 21. 邹伯敏(浙江大学)主编. 自动控制理论[M], 北京: 机械工业出版社, 2003, 8-10
 22. 何衍庆, 俞金寿, 蒋慰孙编著. 工业生产过程控制[M], 北京: 化学工业出版社, 2004, 208-210
 23. 刘兴堂主编. 应用自适应控制[M], 西安: 西北工业大学出版社, 2003, 4-5
 24. 金以慧主编, 方崇智审校. 过程控制[M], 北京: 清华大学出版社, 1993, 31-45
 25. 何小阳主编. 计算机监控原理及技术[M], 重庆: 重庆大学出版社, 2003, 122-156
 26. 杨承志, 孙棣华, 张长胜编著. 系统辨识与自适应控制[M], 重庆: 重庆大学出版社, 2003, 138-152
 27. 刘培玉, 葛斌, 王金城著. 最优控制系统设计[M], 大连: 大连理工大学出版社, 2000, 1-5
 28. 林德杰主编. 过程控制仪表及控制系统[M], 北京: 机械工业出版社, 2004, 38-58
 29. 阳宪惠编著, 徐用懋, 魏庆福审. 工业数据通信与控制网络[M], 北京: 清华大学出版社, 2003, 248-324, 391-420
 30. [日]正田英介主编, 春木弘编, 卢伯英译. 自动控制[M], 北京: 科学出版社, 2001, 1-24

31. [日]细江繁幸编著, 白玉林, 王毓仁译, 李平校. 系统与控制[M], 北京: 科学出版社, 2001, 151-161
32. 夏德铃, 翁贻方编著. 自动控制理论[M], 北京: 机械工业出版社, 2004, 1-5
33. 胡寿松主编. 自动控制原理(第四版)[M], 北京: 科学出版社, 2001, 1-15
34. 付家才主编. 工业控制工程实践技术[M], 北京: 化学工业出版社, 2003, 1-11
35. 戴学丰, 曲伟建, 陆仲达编著. 控制系统集成[M], 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2002, 198-207
36. 王志良主编, 李正熙, 解仑副主编. 信息社会中的自动化新技术[M], 北京: 机械工业出版社, 2004, 124-128
37. 胡跃明编著. 非线性控制系统理论与应用[M], 北京: 国防工业出版社, 2002, 48-70
38. 陈增汉等编著. 工业 PC 及测控系统[M], 北京: 机械工业出版社, 2004, 268-272
39. 阎坤主编. 自动化设备及生产线调试与维护[M], 北京: 高等教育出版社, 2002, 105-112
40. 张常年, 郭书军, 左岐编著. 计算机通信与工业控制[M], 北京: 化学工业出版社, 2002, 127-129
41. 丁恩杰、马方清编著. 监控系统与现场总线[M], 江苏徐州: 中国矿业大学出版社, 2003, 184-218
42. 刘晓辉, 张世勇, 杨建编. 局域网一点通火力加强版[M], 上海: 浦东电子出版社, 2002, 35-41
43. 王先培, 王泉德编著. 测控系统通信与网络教程[M], 武汉: 武汉大学出版社, 2004, 147-148