 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v7i8.11568

Exploration and Application of Visual Management for Gas Caverns

Shaoyue Cao Zongyue Ye Dandan Shu

Shaanxi Iron and Steel Group Hanzhong Iron and Steel Co., Ltd., Hanzhong, Shaanxi, 724200, China

Abstract

This paper discusses the application of information technology and automation advancements. Building upon insights from equipment operation experience and process optimization needs, this study implements software and hardware upgrades to address key challenges in converter gas caverns—including eliminating safety hazards, enhancing operational efficiency, improving process quality, and monitoring equipment degradation. The solution provides a novel approach to visual management, enabling real-time online monitoring, early warning analysis, and data integration across systems. It also facilitates centralized control, surveillance, safety monitoring, and predictive analytics for converter gas cavern systems, thereby boosting overall system safety while maximizing energy recovery efficiency. This innovation holds significant implications for safety management, process improvement, energy conservation, and operational optimization.

Keywords

bus architecture; security enhancement; visual management

煤气柜可视化管理的探索与应用

曹少岳 叶宗跃 舒丹丹

陕钢集团汉中钢铁有限责任公司，中国 · 陕西 汉中 724200

摘 要

本文介绍了利用信息化、自动化技术的发展，在总结设备设施使用经验和工艺提升方面需求的基础上，通过软件、硬件两个方面的改造，在实现转炉煤气柜消除安全隐患、提高运行效率、提升工艺质量、设备劣化监测等功能方面的探索和应用，为实现煤气柜“可视化”管理提供了一种全新的解决方案，实现气柜设备设施实时在线监测、预警分析及各系统的数据整合，并实现了转炉煤气柜系统的集中控制、监视及安全监测、预警分析等诸多功能，在提升系统安全性的基础上，达到提升能源回收利用效率的目的。在安全管理、工艺提升、节能降耗、管理优化等方面具有积极的意义。

关键词

总线结构；安全提升；可视化管理

1 引言

转炉煤气作为冶金企业转炉炼钢过程中的副产品，同时也是一种重要的二次能源，其产量巨大，具有洁净度好、热值适中、成分简单的特点。通过对转炉煤气进行回收利用，既可以单独用于各类型工业窑炉的燃烧，也可以与其他煤气如焦炉煤气、高炉煤气或发生炉煤气混合，以形成不同热值的混合煤气供给下游用户作为清洁能源使用。现代冶金企业通常将转炉多次冶炼过程回收的煤气输入一个储气柜（也称煤气柜），混匀后再输送给用户。

由于转炉煤气具有具有易中毒和易燃易爆的特点，储存转炉煤气的煤气柜属于重大危险源，其安全管理和工艺控制有着严格的规范和要求。煤气柜本体及煤气加压混合系统主要承担炼钢转炉煤气的回收存储以及向用户供应煤气的任务，其柜活塞升降、活塞扭转漂移、紧急放散、有毒有害气体检测等设备大部分安装在柜体内部，现有的检测设备无法满足可视化操作、管理的需求，其柜内环境检查仍依赖人员定期进入柜内进行。随着对安全生产要求的不断提高以及自动化、智能化、信息网络化技术的不断进步，原有系统已不能满足当今安全生产、智能制造及工业大数据等方面的要求。对此，基于自动控制和信息系统集成的煤气柜可视化管理改造，成为解决此类问题的有效方法。

2 应用背景

卷帘式橡胶膜密封干式煤气柜（又称威金斯型煤气柜），主要用于将炼钢转炉冶炼过程中产生的合格转炉煤气进行回收储存，并根据生产规模和下游用户的用量情况，通过配

【作者简介】曹少岳（1983–），男，中国陕西勉县人，本科，工程师，从事工业自动化、信息化研究。

套 5 台煤气加压机将压力提升至 10-13kPa 后连续供给煤气用户。转炉煤气柜系统的安全稳定运行可以最大限度的减少转炉煤气放散和环境污染，平衡全厂转炉煤气生产和消耗短时间不均匀波动的问题，对稳定煤气管网压力、保障生产的连续性有积极的作用。另一方面，转炉煤气柜作为区域内重大危险源点，对其安全性有着严格的要求，根据生产运行的需要在其入口位置配备了氧含量在线分析装置、有毒有害气体检测装置、安全联锁报警装置等。随着对国家安全生产和标准化要求的不断提高，结合企业对二次能源利用率提升的迫切需求，必须对原有的系统构造、检测装置、运行工艺等进行升级改造。

3 现场总线结构与 PROFIBUS–DP

现场总线是在工业自动化领域应用非常广泛的一种工业数据总线，它主要解决工业现场的智能化仪器仪表、控制器、分布式小型控制系统、智能化执行机构等现场设备间的数字通信以及控制系统之间的信息传递问题，用于过程自动化现场设备或现场仪表之间的现场通信网络，依据实际需要使用不同的传输介质把不同的现场设备或者现场仪表相互关联，实现了分散控制和网络数据库的共享[1]。

在工业自动化领域 PROFIBUS--DP 的应用较为广泛，用于设备级控制系统与分散式 I/O 的通信，支持主 - 从系统、纯主站系统、多主多从混合系统等几种传输方式。在以西门子 S7-300 和 S7-400 系列 PLC 为主构成了工业控制系统中，实现了信号传输、总线存取、远程通信、智能扩展等诸多功能。

在 PROFIBUS--DP 总线架构下对现有的自动控制系统进行整合、升级、改造，可以充分利用 DP 总线结构的特点，结合数字化、信息化技术的发展成果，将原来的离散子系统整合为一套集成的操作与监控系统，实现不同网络终端数据的集成和自主交互[2]，在工艺控制上通过系统集成达到了工艺优化、安全提升的目的，对原有主体设备未加改动，信号抗干扰性好，稳定性高实用性强，在推动企业两化融合、智能制造方面具有积极意义。

4 现有系统的缺陷

受现场环境和工艺变化的影响，转炉煤气系统一般是先根据转炉的产能配套设计、建设转炉煤气柜，再根据转炉煤气用户的需求来建设分布式二次混合加压站。由于设计、施工不同步，以及国家对安全生产相关法规和政策的变化，转炉煤气柜配套的相应设备也需要不断提升以满足生产的需要。通过分析多年的运行情况，结合国家、行业相关标准的要求，原有的系统主要存在以下几个方面的缺陷：

（1）用以监控煤气柜安全运行的关键安全连锁报警仪表，如：氧含量分析仪、柜位仪等仪表均为单体设备，设备突发故障或信号中断时会导致安全连锁报警失效，操作人员无法掌握煤气柜工作状态，存在安全管控的“盲区”，影响煤气柜安全运行。

（2）原有 5 台加压机的控制系统采用西门子 DP 串行总线结构来控制对应的变频器，5# 加压机 DP 站为其终端站。当终端 DP 站出现故障时会同步影响其余加压机 DP 串行总线正常通讯，导致 5 台加压机变频器因通讯中断全部停机，对下游用户的连续生产造成影响。

（3）缺乏柜内设备设施状态监测及分析预警系统，对煤气柜内部的设备设施缺乏有效的检测、监控，紧急放散装置和活塞的水平度、状态扭转漂移量等情况均需系统停机后人员定期进入柜内检测，运行风险与作业风险均较大。

（4）配套的两座外围煤气加压站值班室与煤气危险区域的安全距离不够，值班人员暴露在煤气环境的概率较大，达不到安全生产的要求。另一方面，二次混合煤气加压设备的生产效率直接决定的转炉煤气回收、利用的效率，影响企业工序能耗指标。

5 “可视化”煤气柜的构建

综合转炉煤气柜在运行时存在的隐患和缺陷，通过利用自动化、智能化、信息网络化技术的不断进步，以“分散布置、集中监控”为目标来构建“可视化”煤气柜，通过硬件和软件两个方向的升级改造，实现转炉煤气柜系统的集中控制、监视及安全监测、预警分析等诸多功能，成为一种有效的改造方法。

5.1 硬件改造

（1）利用 PROFIBUS-DP 中继器，将 5 台加压机的控制系统的网络拓扑结构由串行总线拓扑结构改造为星型拓扑结构，改造完成后，各机组之间通讯相对独立，任何一站点只和中央节点相连接，易于网络监控和管理，单个连接点的故障只影响一个设备，不会影响全网，故障诊断和隔离变得更容易。避免因总线故障导致系统整体停机的事故发生，提高系统的运行安全性。

（2）在原有设备配置的基础上，对氧含量分析仪、物位检测仪等关键仪表进行冗余改造，增加一台备用设备，既有利于关键设备的轮换维护，又避免了因信号故障导致的连锁装置误动作等问题；现场设备均采用防爆型、非接触类检测仪表，提高系统的运行安全性。

（3）在紧急放散阀上安装接近开关用以监控紧急放散阀的开关装置状态，信号远传至中控 PLC 系统，实时掌握紧急放散装置的位置信息，消除工艺控制的安全死角。

（4）在柜体顶部增加 4 台物位仪，信号接入 PLC 控制系统，并通过程序逻辑运算计算出活塞水平倾斜程度，达到实时监测活塞倾斜度的功能；在活塞通廊安装 8 套激光测距仪、在柜体顶部安装激光测距仪及配到的位测矩阵，将仪表检测信号统一集成到活塞扭转 / 漂移监测系统，通过程序逻辑运算计算活塞扭转、漂移数据，增加报警功能，达到实时监测活塞扭转、漂移状态的功能。

（5）通过对转炉煤气柜入口进行煤气热值分析改造，实时分析煤气柜入口管道内转炉煤气热值，指导煤气回收岗位调整煤气回收工艺参数。将热值测量信号传输至煤气柜 PLC 系统，实时显示转炉在生产期间转炉煤气热值的峰 / 平 / 谷段数据变化情况，指导炼钢工序优化工艺，根据用户端转炉煤气的最低热值需求，调整转炉煤气回收一氧化碳限值，从而达到优化工艺、提示工序能效的目的。

（5）在柜体顶部安装一台防爆视频监控装置，用以监控煤气柜内部的设备状态；在煤气柜周边危险区域内根据实际需求安装 12 台防爆视频监控装置，构建统一的监控系统，监控画面接入煤气柜主控室 LED 大屏，实时监控危险区域的设备状态和人员状态。

（6）敷设光纤、利用网络通讯技术将两座外围煤气混合加压站系统的控制信号和视频监控信号远传至煤气柜主控室，实现外围煤气混合加压站的无人值守，系统具备了远传控制、就地应急的控制模式，达到工艺提升和岗位优化的目的。

5.2 软件改造

在 PLC 程序中增加柜体顶部 4 台物位仪信号判断逻辑，增加活塞倾斜度报警功能。利用网络通讯技术将活塞扭转、漂移系统 HMI 画面引到煤气柜主控室，实现煤气柜活塞状态监测动态管理。

在 PLC 程序中增加关键仪表信号冗余和参数判断逻辑，关键的运行信号采用“二选一”的方式，安全连锁报警信号采用“双驱动”模式，即：高限报警时两组信号的任一组信号达到高限报警条件，则系统自动报警；低限报警时，两组信号的任一组信号达到低限报警条件，则系统自动报警；当两组信号同时达到安全连锁条件值时，触发安全连锁动作，否则安全连锁装置不动作。

通过将煤气储配系统、煤气加压混合系统等几个子系统整合为集中的 HMI 操作界面，将煤气柜状态监测、分析预警系统及煤气加压混合系统整合为一体，形成综合性控制及监测、分析预警系统。

利用网络服务器将煤气柜集中控制系统与生产指挥中心数据进行交互，为公司统一的能源调度系统提供实时数据支持，并可根据生产组织需求实现系统远程控制、危险区域无人值守的功能。

5.3 改造成果

改造后的成果和效益主要有四个方面：

从提高煤气系统的安全性、优化人力资源配置的角度来看，将分散在不同区域的两座煤气混合加压站、两座煤气放散系统的远程操作与监控系统信号远传至煤气储配站主控室；将功能相近、操作相似的各个子系统进行整合为统一的 HMI 界面；第三，利用 OLM 和 TCP/IP 等通讯方式，将不同系统、不同通讯协议的子系统整合为煤气系统大数据大平台，实现了数据准确对接。

通过构建了活塞水平倾斜检测系统、活塞扭转 / 漂移检测系统和高清数字监控系统，实时监测煤气柜内设备状态和活塞的水平位移情况，达到预警范围时及时发出预警信息。系统的异常报警信号既能在就地控制柜内报警，又可以触发主控室内声光报警信号，提醒操作人员及时处置异常情况。通过这一系列了创效改造，将一个类似“盲盒”的密闭空间变成了一个“可视化”的应用系统，为操作人员打造了数字化的“火眼金睛”。

从能源管理的角度，通过对转炉煤气全组分燃烧焓值进行测量，提高转炉煤气热值检测的准确性，有利于炼钢工序及时调整生产工艺，提升转炉煤气回收指标[3]。同时，又能给下游用户提供优质、稳定的二次能源，推动全工序能耗指标优化，为推进“双碳”目标在企业的落地实施提供准确的数据支持和技术支持。

设备管理实践上，一是在提质增效和安全稳定上做加法，不断提升设备的信息化、智能化和系统化水平，打破常规思维寻求解决问题的突破点。二是在异常情况管控上做减法，以零事故为目标推动人员作业标准化和设备本质化安全，减少异常停机的频次，减低人员暴露在危险环境下的频次。三是在短期投资和长期效益上做乘法，紧跟新技术、新设备的发展步伐，坚持在干中学、在学中干的人才培养机制，为员工掌握新的知识和技能提供平台。

6 结语

通过一系列的改造，在自动化控制技术的基础上，充分利用数字化、信息化技术的发展成果，实现了实现了转炉煤气柜系统的集中控制、监视及安全监测、预警分析等诸多功能，在工艺控制上通过系统集成达到了工艺优化、安全提升的目的，使其由“黑匣子”向“可视化”提升。同时，所有的改造措施对原有主体设备未加改动，信号抗干扰性好，稳定性高实用性强，在推动企业两化融合、智能制造方面具有积极意义，可广泛应用的危险爆炸区域、有限空间区域等场所的设备控制与监测，具有较强的推广性。

参考文献

[1] 周云波.串行通讯技术——面向嵌入式系统开发[J].电子工业出版社978-7-121-35860-9

[2] 李正军 李潇然.现场总线及其应用技术[J].机械工业出版社978-7-111-73197-9

[3] GB/T 15316-2024《节能监测技术通则》