高炉自动化控制系统现状分析及发展趋势

董建刚

(陕鼓集团呼和浩特秦风气体有限公司,内蒙古 呼和浩特 010020)

摘 要:文章深入剖析了高炉自动化控制系统的发展现状与趋势,指出当前存在软件系统老化、操作方法复杂等问题。随着 AI 技术发展,自动控制技术与 AI 结合成为新方向,在"双碳"背景下,氢冶金技术应用对高炉控制系统的精准性、稳定性提出更高要求,能源管理与数字化转型成为新课题。同时,高炉控制系统的发展促使作业人员知识结构向综合化转变,需更多高素质专业综合型人才。研究表明,持续提升理论与实践互动,培养专业人才,优化系统,才能推动我国高炉工艺控制达到世界一流水平。

关键词:高炉自动控制;全过程监控;新形势下的高炉自动化控制

中图分类号:TF325.6 **文献标识码**:B **文章编号**:1009-5438(2026)01-0083-04

Analysis on Current Situations and Development Trend of Automatic Control System for Blast Furnace

Dong Jiangang

(*Hohhot Qinfeng Gas Co., Ltd. of Shaanxi Blower (Group) Co., Ltd., Hohhot* 010020, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In this paper, the development situations and trend of automatic control system for blast furnace are deeply analyzed as well as such existing problems as aging of software system and complex operation methods are pointed out. With the development of artificial intelligence (AI) technology, it becomes a new direction to combine automatic control technology with AI. Under the background of carbon peaking and carbon neutrality, higher requirements of accuracy and stability of control system for blast furnace are put forward for applications of hydrogen metallurgy technology as well as energy management and digital transformation become the new issues. Meanwhile, the development of control system for blast furnace prompts knowledge structure of operating personnel to transform to integration as well as more high qualified and professional integrated talents are needed. The research showed that the process control of blast furnace in our country could reach the world-class level by continuously improving the interactions of theories and practices, cultivating professional talents and optimizing the system.

Key words: automatic control of blast furnace; whole process monitoring; automatic control of blast furnace under the new situation

为了保障高炉高效生产,达到安全控制,高炉的自动控制必须持续提高自动化水平和完善全系统监控,以提高系统工作效率,降低因高炉控制系统不稳定对高炉造成的不利影响,从而保障高炉的可靠运

收稿日期:2025-03-01

作者简介:董建刚(1986-),男,内蒙古呼和浩特市人,工程师,现从事电气设备安装调试及电气设备管理工作。

行。从环保等多角度分析高炉控制系统的发展现状,阐述提高高炉的工艺控制水平的现实意义和高炉自动化控制系统的发展对作业人员的影响及要求。

1 高炉自动化控制系统的现状

1.1 软件系统老化

早期高炉的自动化水平较低。从“眼看手探”完全靠人工操作,到仪表及控制盘的使用,减少了熔炼过程的工作量,再到DCS集控运行,整个高炉控制完全依靠经验操作。

随着自动化技术的发展,高炉自动化模型的研究也逐步深入。高炉自动化模型研究经历了前期研究、高炉炉热指数数据模型研究、铁水含硅量的预报数据模型研究、炼铁系统的模型集成研究、专家诊断系统和自动化控制等几个发展阶段。

20世纪70年代成功的数据模型主要是热风炉的控制和高炉炉热判断[1]。高炉炉热判断由单个模型转为多个模型综合判断而提高了其控制精度,例如高炉系统模型用含硅量统计法、风口前端预判温度法、炉热指数控制法来监控炉热状态,综合各种模型的长处和适应性来综合判断,以适应各种情况而提高准确率。到70年代中期计算机技术逐步介入,开始向多数据综合判定过渡,初期多模型判断依赖人工整合数据,效率和精度有限,80年代初这一方式才真正走向成熟并普及。由于高炉炉内反应复杂,空气动力学等问题也较为复杂,闭环控制基本失败,所以世界上绝大部分国家都在尝试跳出使用经典控制理论建模的传统方法,探索使用现代控制理论,把高炉作为一个暗箱和使用多端口输入输出方法进行建模[2],在建模方面也具备了一些理论支撑,但效果不尽如人意,也没有更多实际应用。

1.2 操作方法复杂

现代自动控制技术领域已将模糊控制、智能控制及专家系统等确立为复杂系统控制的关键发展方向,为高炉这类难以精准建模的设备提供了新的控制思路,这些方向的自动控制技术的主要特点就是综合性强,数据量庞大。这些方向的控制系统都是以自动控制技术理论为基础,对整个设备和工艺流程进行综合控制。与此同时,20世纪人工智能得到长远发展,特别是专家预诊断系统的出现,它的本质是让系统架构和运行方式都源于控制目标、对象、经验、规律的各类型专家的经验及智慧,并且要通过算法等智能化的方式来加工利用这些数据信息,从而让受控系统最大可能贴近生产实际。专家诊断系统是智能控制不可或缺的一个重要分支,因此,又称作人脑控制。

2 高炉自动化控制系统的发展趋势

21世纪随着AI技术的迅速发展,又为人脑控制注入了新的思路。目前我国以华为“盘古大模型”为代表的AI方案在国内高炉炼铁和热轧钢带两个环节中已经得到了有效利用。宝武集团跟华为云合作,用AI大模型实现高炉指标预测,高炉炉况评估,进而实现对高炉工况进行优化,降低高炉能耗,提升高炉产能。

高炉自动控制技术要想得到快速的发展,从而适应并促进社会的进步,就必须把自动控制技术与AI等前沿技术相结合,进而发展成为一个新的方向,这样才能够给高炉自动控制技术领域注入新鲜养分与活力,提高自动控制技术的可靠性、精确性与高效性。这也需要我们不断发展各项自动控制技术,例如,多样的控制系统、专用计算机、机械技术等自动控制技术的基础技术,不断引进多个领域的新知识、新理论及新技术[3]。

2.1 双碳环境下的高炉自动化控制系统

随着碳达峰、碳中和等一系列减碳政策的实施,2022年全球首套焦炉煤气零重整直接还原氢冶金示范工程——河钢集团张宣科技120万吨氢冶金示范工程建成投产[4];2023年12月23日,国内首套百万吨级氢基竖炉(见图1)在广东湛江点火投产[5],并在2024年8月22日实现168小时连续满负荷生产,顺利通过周达产功能考核,并成功验证了高氢(70%氢气含量)冶炼条件,该项目工程主要设施包括竖炉本体、竖炉装料卸料系统、产品冷却系统、气体回路系统、原料输入和成品输出系统,以及配套的球团供应系统、能源公辅系统和信息化系统[6],形成“直接还原焦炉煤气精制”“工艺气体灵活调配”“冷态直接还原铁产品处置及应用”等系列领先技术的创新应用,不同于国际上采用天然气制备还原工艺气体的常规手段,该项目采用了自主创新的“氢冶金电熔炼工艺”(HyRESP),通过贯通富氢气体净化、氢基竖炉还原、二氧化碳捕集、直接还原产品冷却等绿色短流程[7],为后续自主集成并开发全氢冶炼技术积累经验,形成自有知识产权的低碳冶金工艺技术[8],有助于钢铁行业绿色低碳发展。



图 1　湛江氢基竖炉全貌

氢基竖炉的燃烧效率很高,可以达到 90% 以上,燃烧温度也很高,可以达到 3 000 ℃以上。氢基竖炉在高温热处理、烧结等工艺中也有广泛的应用。由于氢气是易燃易爆的气体,因此氢基竖炉在运行过程中需要严格控制燃烧条件和炉内温度[9],氢基竖炉的燃烧需要设置更精准的空气量和氢气量,以保证燃烧的安全性和高效性,对于控制系统的稳定性、灵敏性、精准性提出了更高的要求。炉缸侵蚀检测系统和炉内温度的监测和控制系统,相较于传统高炉更为复杂,为防止炉内过热,对控制系统的检测仪表提出了更高的要求,仪表的智能化、智慧化也被提上日程。

除了规模化用氢,如何实现氢源经济性也是难点之一。根据测算,假设焦炭的价格是 2 000 元/t,绿氢制氢成本为 1.34 元/m^3,则还原每吨铁的碳、氢气成本分别为 756 元和 804 元,由此可见,绿氢作为还原剂的经济性尚不及碳[10]。这对氢基竖炉等“绿色冶金”的能源管理、自动化领域数字化转型又提出了新的要求,高炉自动化领域又加入了能源管理、储能(储电 + 储氢)在内的合理系统配置以及控制策略,提高系统的安全稳定性和经济性也成为了高炉自动化系统新的课题。目前张宣科技成立了氢冶金技术开发部,进一步完善氢冶金技术路线和工艺方案,推动氢冶金项目实现近零碳生产,达到世界领先水平;采用“数字孪生”技术建立氢冶金智能控制系统,将产线克隆到云端,对压缩机、竖炉等设备进行在线监测、智能诊断、能源管理。为降碳插上智能化的“翅膀”;创新操作法,通过优化竖炉顶温,逐步增加工艺气流量,加快排料速度等措施,降低气体消耗。张宣科技氢冶金示范工程焦炉煤气、氮气消耗环比分别降低 14.9% 和 12.7% 。

张宣科技还对氢冶金竖炉反应器进行了优化设计,预留了“绿氢”切换功能,无需大规模改造即可直接切换为更高比例富氢还原气、纯氢,并将之作为还原气进行工业试验,为实现 100% “绿氢”竖炉直接还原提供了有利条件[11]。

“氢冶金这项更加绿色、更具低碳发展潜力的技术路线必将成为行业头部企业的选择。”绿色冶金也为高炉控制系统发展提出了新的方向。

2.2　高炉控制系统的发展对作业人员的要求

通讯技术和存储技术的不断发展和新形势下对原有的高炉自动控制技术进行不断地改进,二级计算机作为整个系统的神经中枢,数据存储量不断增大,数据处理的稳定性不断增强,大部分钢厂在原有控制系统的基础上以现代通讯技术为依托增加内外部工艺信息沟通渠道(见图 2),从而实现工艺流程连续化,使得工艺控制更加精准。

随着自动控制技术的不断发展,在生产中需要工艺、设备、电气等专业密切合作,危险性高的、技术含量低的重复性工作大部分被机器代替,从传统的单一工序的操作逐步转变成了对整个系统的管理,对工人知识结构综合性的要求越来越高,各专业的分工越来越模糊,工艺专业人员需要懂电气、仪表、机械甚至数据处理等技能;电气专业人员需要了解工艺,熟悉仪表选型,明白工艺设备性能等;设备专业人员也不再是传统的“扛大锤、拧螺丝”,设备预防性维护,设备性能曲线,设备运行数据搜集处理,设备故障数据分析等技能成为了设备专业人员的必备技能。涉及高炉生产的相关工作人员必须具备较高的知识层次和综合能力才能更好地完成自动控制技术的相关工作。从而促进高炉自动控制系统向高水平发展,让产品的良品率提高。

由于高炉控制系统越来越“复杂”,由传统的单体设备控制逐步向整个系统或产品的全流程、全生命周期的控制,对控制系统要求既能实现整个系统的“精准”控制,又能在某个单体设备异常的情况下快速稳定地切出系统,而不发生生产事故和安全事故。这样就要求更多的新式理论、新式方法、新式技术对高炉控制系统进行不断跟进完善。不断补充引进专业水平高、综合素质强的专业人才,做好老员工的经验积累与认知水平的提升,在老经验、新方法、新技术融合的过程中促进系统稳定性的提升。

在高炉自动控制系统的快速发展过程中,培养适合从事高炉自动控制技术工作的新型技术人才,鼓励设计人员进行系统结构的优化、完善、补充,打

通设计到生产之间的沟通通道,通过现场会议、技术交流等方法加强系统设计人员与企业间的沟通,积极推进企业一线生产人员掌握各类型与自动控制相关的新方法、新原理以及操作方法也是重中之重。

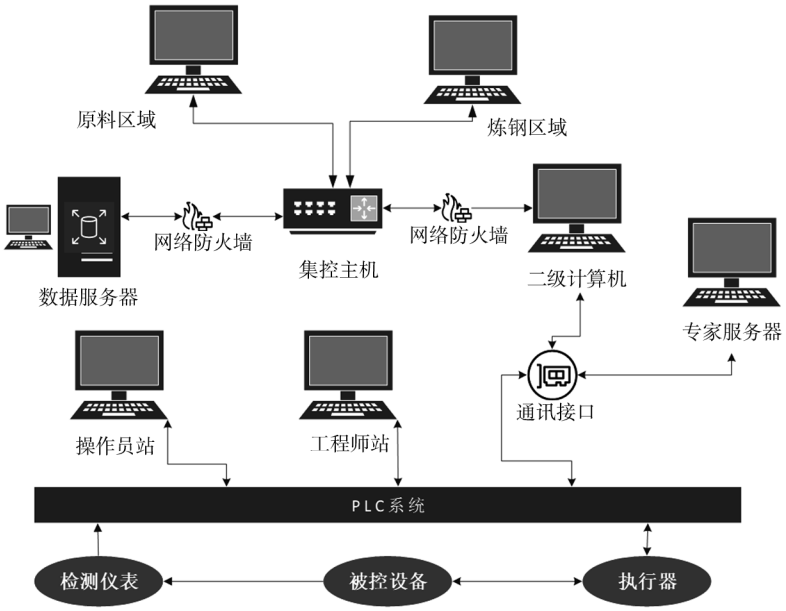


图2 典型的高炉控制系统网络结构图

3 结论

(1)高炉自动控制系统是一个庞大而复杂的系统。从初期的数据采集、单一设备的控制到对整个高炉系统的控制;从闭环控制到模糊控制再到专家诊断系统的加入,智能控制进入了一个新的发展阶段。随着AI技术的发展,高炉自动控制又注入了新的思路。

(2)随着国家"双碳"战略目标的实施,氢冶金技术的应用要求高炉全工艺流程的控制更加精准,稳定性更高,使高炉控制系统越来越庞大,越来越复杂。

(3)在高炉自动控制技术领域还需要有更多的专业素质一流的技术人才和懂工艺、懂设备、懂控制技术的综合型人才,不断下大力气推进理论与实践良好的互动,才能够实现高炉自动控制技术的持续修正,不断精进,从而使我国高炉的工艺控制达到世界一流水平。

参 考 文 献

[1] 李妍. 高炉热风炉自动化系统燃烧控制研究[J]. 自动化应用,2022(11):52-54.
[2] 李楠. 对炼铁高炉的电气自动化控制系统分析[J]. 商品与质量,2020(20):79.
[3] 于成龙. 基于PLC控制的高炉自动化上料系统的应用与分析[J]. 自动化应用,2020(3):2.
[4] 陈令坤. 基于高效冶炼的高炉智能控制系统分析[J]. 冶金自动化,2021,45(3):9.
[5] 陆啸. 基于模糊PID的高炉冶金上料自动控制系统[J]. 自动化应用,2023,64(7):70-72.
[6] 曹建东,吕红芝. 高炉炼铁电气自动化控制系统研究[J]. 中国金属通报,2020(8):2.
[7] 张岩. 炼铁高炉的电气自动化控制系统及仪表抗干扰措施研究[J]. 电子测试,2020(19):3.
[8] 江镕,林继发. 国内首套百万吨级氢基竖炉在湛江钢铁投产[J]. 环境,2024(1):61-63.
[9] 姜海生,刘洋. 炼铁高炉的电气自动控制系统探究[J]. 电脑爱好者(校园版),2023(18):158-159.
[10] 张文卿,丁剑锋. 炼铁高炉电气自动化系统基本配置及其功能和优点分析[J]. 现代工业经济和信息化,2020,10(10):2.
[11] 路鹏. 氢基竖炉直接还原提产降耗生产实践[J]. 河北冶金. 2024(6):47-51.