

文章编号:1005-7854(2015)S0-0175-06

首钢高炉上料自动化控制系统的应用分析和研究

李晓宇

(北京首钢自动化信息技术有限公司 自动化事业部,北京 100041)

摘 要: 首钢搬迁调整的过去十年,首秦公司、迁钢公司、京唐公司三大基地陆续建成容积从 1 200 m³ 到 5 500 m³ 不同大小的高炉,并配套建设了高炉自动化控制系统。从经历者的角度以首钢各个高炉上料自动化控制系统为研究对象,分析高炉上料自动化控制系统的应用特点,其中涉及到控制网络结构的演变、编码器和炉顶比例阀的控制、上料选程的自动控制、炉顶布料的自动控制、上料料仓倒仓的自动控制、炉顶倒罐、料流曲线等。

关键词: 网络结构;上料选程;炉顶布料;布料曲线

中图分类号: TF57 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1005-7854.2015.z1.042

首钢搬迁调整的十年里,首秦、迁钢、京唐三大基地陆续建成高炉。北京首钢自动化信息技术有限公司作为四级自动化信息化公司全程参与建设了所有的高炉自动化控制系统。本文通过分析各控制系统的网络结构、设备更新趋势、自动控制功能变化等内容,希望能为首钢高炉上料自动化控制系统的技术更新完善工作找到切入点,实现生产的高度自动化、减轻操作人员劳动强度的目标。

1 高炉上料系统简介

高炉上料系统由上料和炉顶两部分组成。上料系统根据冶炼工艺要求,把矿、焦等原燃料配成一定重量和成分的“料批”,然后通过上料运输设备送至炉顶。高炉炉顶系统采用无料钟炉顶装料设备,布料器用定点、多环、扇形布料的方式对高炉下料。自动化控制系统对主工艺生产过程实行全局型监视、控制和调节。

2 首钢各基地高炉控制系统比较

首秦公司两座高炉容积分别为 1 200 和 1 780 m³,迁钢公司三座高炉容积分别为 2 650、2 650、4 000 m³,京唐公司两座高炉容积均为 5 500 m³。高炉的容积大小不同,自动化控制系统的功能要求也有不同。

2.1 控制系统硬件

作者简介: 李晓宇,工程师,主要从事高炉、加熟炉、干熄焦等自动控制研发工作。

在首钢各高炉自动化控制系统中,除京唐两个 5 500 m³ 高炉使用 AB 品牌 PLC 控制器外,其余均选用施耐德昆腾 PLC 控制器。首秦和迁钢高炉采用的施耐德昆腾系列 CPU 从单机更新到冗余,但操作员站一直是采用单机方式与 PLC 通讯,这样会增加 CPU 的通讯负荷。而京唐高炉的设计选型更加先进和合理,AB 公司的 Controllogix 冗余控制平台实现了 CPU 热备、总线网络冗余。自动化系统的上位监控采用服务器/客户机模式,设有两台服务器,且互为备用,两台域控制器,互为备用,设有操作员站和工程师站。

2.2 工业控制网络

2.2.1 设备控制网络

随着网络技术的发展,首钢三大基地高炉的工业控制网络也不断更新优化^[1]。

首秦 1[#]、2[#]高炉、迁钢 1[#]、2[#]高炉的设备控制网络比较简单,PLC 主机架通过同轴电缆连接远程机架,所有控制点均进入 PLC 模块。随着现场总线技术的发展,迁钢 3[#] 4 000 m³ 高炉和京唐两座 5 500 m³ 高炉均实现了冗余总线通讯,通讯设备不仅有远程站,还有电气柜、智能设备,节省了大量的控制电缆。

2.2.2 工业以太网

首秦 1[#]、2[#]高炉、迁钢 1[#]、2[#]高炉自动化控制系统采用的是施耐德交换机构成的工业以太网环网,环网中的交换机没有网管功能。迁钢 3[#] 4 000 m³ 高炉和京唐两座 5 500 m³ 高炉分别采用思科交换机和赫斯曼交换机构成的环网,这些工业级交换机具

备网管功能、能够实现环网诊断自愈,按区域重要性划分 VLAN 管理优化,抑制网络风暴等功能,保证了网络安全可靠。

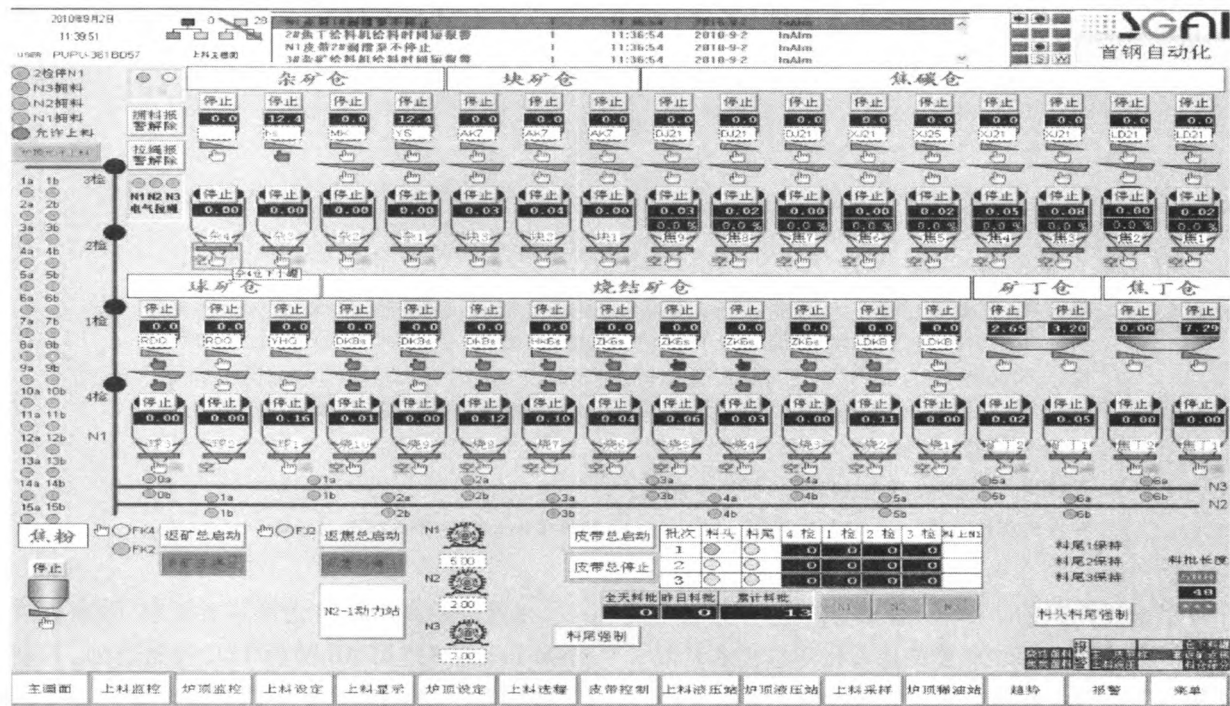


图1 上料画面

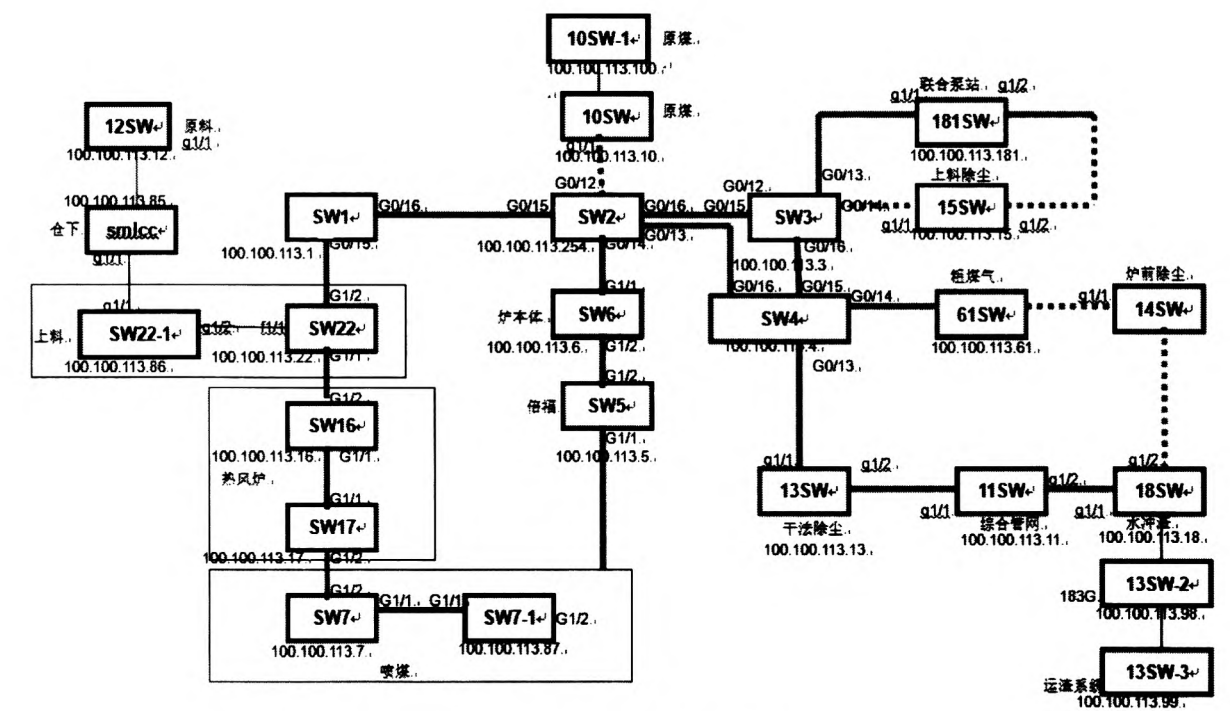


图2 迁钢4 000 m³高炉网络图

2.3 编码器的应用

迁钢3[#]4 000 m³高炉和京唐两座5 500 m³高炉的上料系统采用编码器实现读取炉顶溜槽倾动、旋转角度、料流阀开度、探尺高度。其它高炉采用自

整角机和高速计数模块读取角度信息。绝对值编码器通过第三方 Prosoft 模块用 DP 网连接,每个检测对象均有两个编码器,一用一备,并且分开在两条 DP 网络保证安全可靠。应用绝对值编码器的好处

在于,设备停电恢复后,编码器位置不会丢失,且可以根据基准位置校正编码器。目前首钢高炉常用的绝对值编码器的品牌有梅尔、库伯勒。

2.4 上料选程自动控制

上料制度制定了上料品种及上料顺序,是实现高炉稳定生产的关键。首钢高炉采用的上料选程功能基本相同,选程画面由操作人员设定料型,最多有20步,循环运行。每步料型可根据料种组合,料种

可以有矿、焦、杂矿、矿杂、焦杂^[2]。京唐高炉的料型划分更加精细,矿石分为大矿、中矿、小矿,焦炭分为正常焦、中心焦,还有附加焦、特殊焦。每个料型对应10×10的放料矩阵表,每行放料矩阵表里输入一组要放料的的称量罐号,每步料型的选中称量罐按顺序打开下闸门放料到皮带。图3为京唐高炉选程画面。

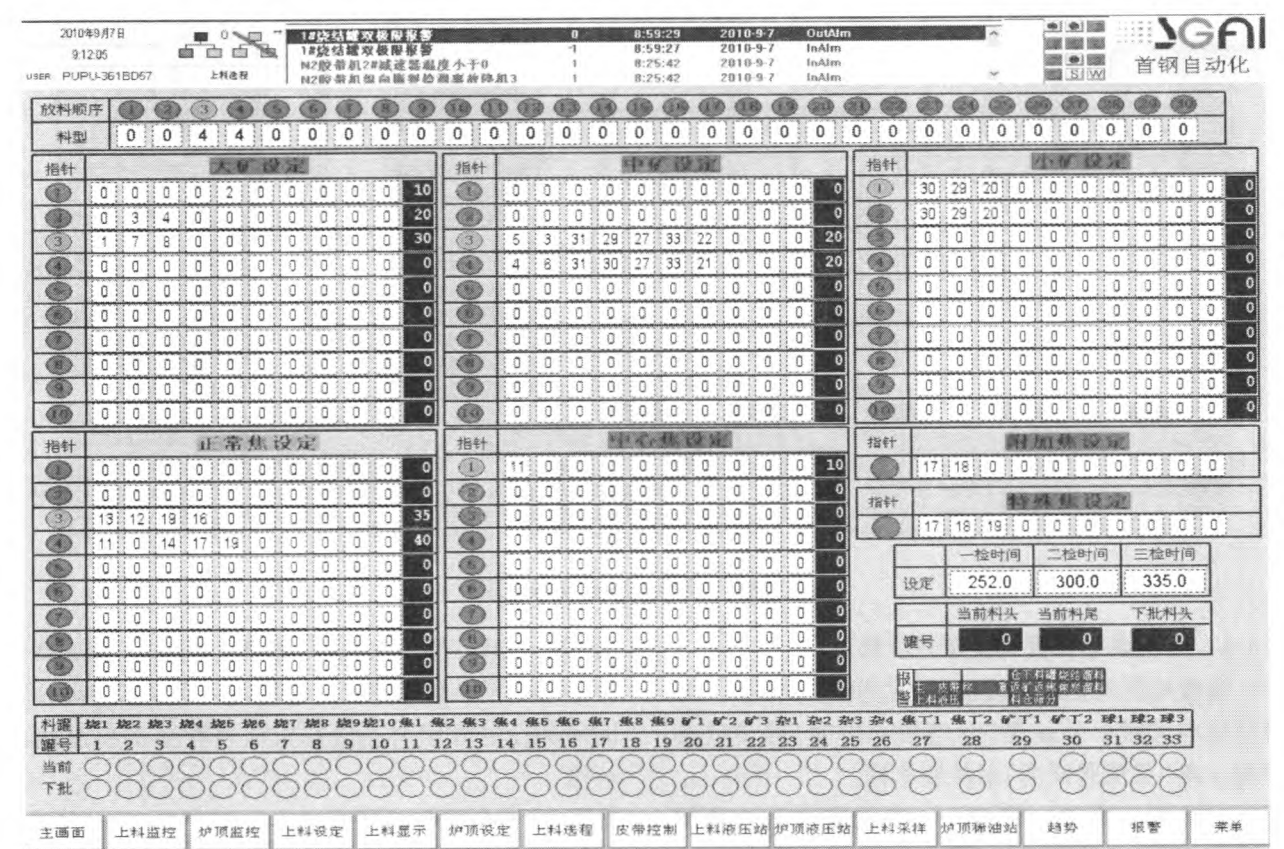


图3 京唐5500 m³高炉放料矩阵表

首秦两座高炉上料每步料型称量罐放料方式是一个称量罐放空后,放料矩阵表中下一个称量罐接着放料;由于迁钢和京唐的高炉上料主皮带的宽度足够大,称量罐采用叠加放料的方式,缩短了料流长度,提高了上料节奏,并且比较灵活,解决了球团矿和烧结矿必须按固定方式叠料的问题。

2.5 上料料仓倒仓

由于迁钢3[#]4000 m³高炉上料料仓布置受限,两个矿石或杂矿料仓共用一个称量罐,两个料仓可单仓或双仓工作。当一个料仓工作时,只计算工作料仓的误差和补偿量。当两个料仓都选中工作时,程序认为是双仓工作称为倒仓,一个料仓先筛料,待筛满后另一料仓开始筛料,筛满发总满信号,两个料

仓分开计算误差值送到累计误差留下次各自料仓补偿。

2.6 炉顶布料自动控制

高炉炉顶布料控制是近代高炉强化冶炼的重要因素^[3]。首钢高炉炉顶的自动布料控制基本相同,布料程序如下:当料罐有料并且状态在申请放料时,在提探尺均压好后,启动布料器,同时开下密封阀,开料流阀,判断相应料种后程序好对应的 α 、 β 、 γ 角(α 为溜槽与垂直位置的倾动角度, β 为溜槽旋转的角度, γ 为料流阀的开度)的数据表传给公共表,并按好公共表的设定值进行布料动作。在放料过程中,按指定的角度和圈数步进旋转,在料罐同位素料位计发空信号时,开大料流阀后结束布料,清公

共数据表和料种等参数。图 4 为京唐高炉炉顶布料 设定表。

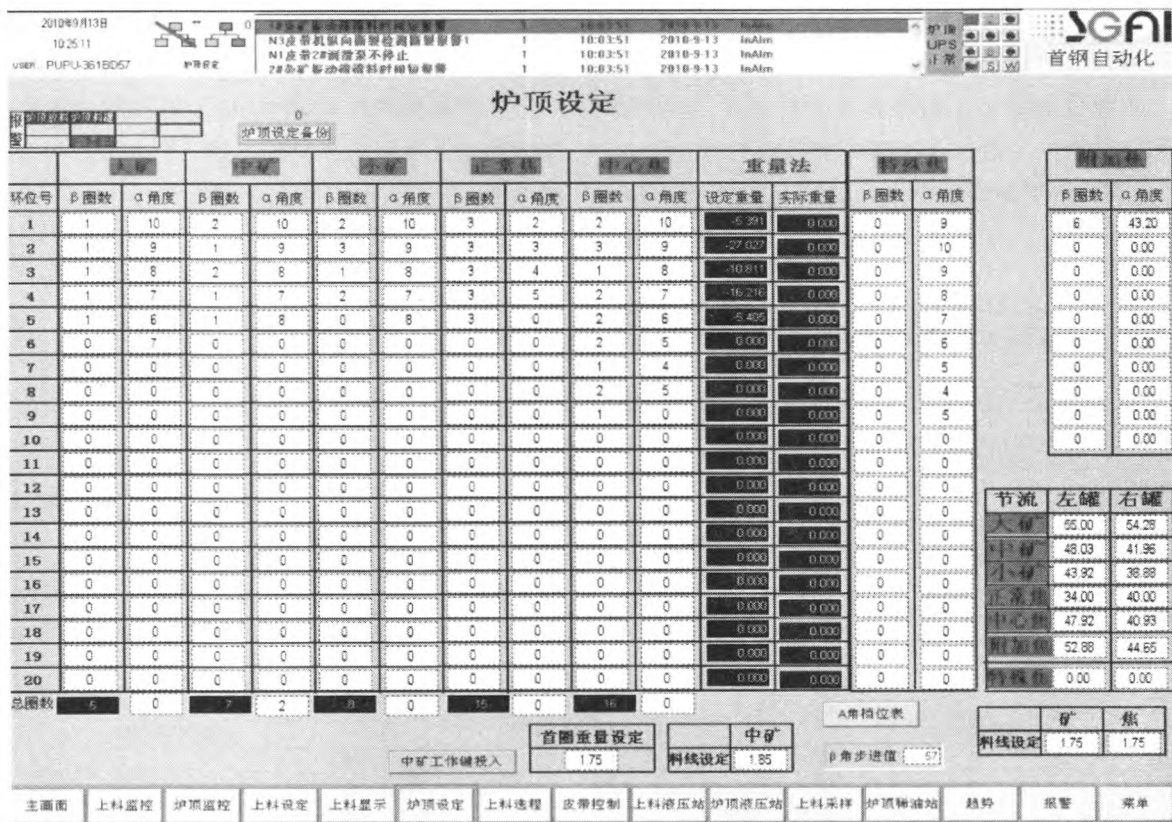


图 4 京唐 5 500 m³ 高炉炉顶设定表

2.6.1 布料误差料流阀设定开度修正

溜槽控制具备两种方法,即时间法、重量法。两者的根本区别在于 α 角(溜槽倾动角度)的步进条件和 γ 角(料流阀开度)的控制不同。

时间法: α 角由一环到下一环的条件是 β 角所转圈数,即当满足当前环位角度的布料圈数等于设定布料圈数时,自动向下一个环位角度步进。 β 角的转动速度为 7.5 s/圈, β 角每圈到位自动发出到位信号。在放料结束时,判断实际放料圈数与设定圈数的差值,根据差值正负,修正下罐该料种的料流阀的开度设定值。首钢高炉全部采用该控制方法。

重量法: α 角由一环到下一环的条件是环重。布料时首先计算出本罐实际(满-空)重量以及设定圈数,并按设定的圈数算出应放的重量/圈(即设定环重)。布料时应根据 β 角的转动到位信号计算一次实际环重。根据设定环重和实际环重的差值计算出 γ 角下一圈开度正负调整值,实现实时调节。首钢高炉的重量法采用以上方式,国内一些高炉采用的重量法布料方式如下:物料重量是根据设定料重或从槽下称量得到的该批料重、设定总圈数算出料流量,再根据料流曲线表格算出下料闸的开度。

若要求在某一倾角位置布 n 圈料,则 $7.5n$ 秒后溜槽便步进到下一倾角位置。放料结束后根据实际放料时间和设定时间的差值修正该料种下次料流阀的开度。

2.6.2 布料倾动角度修正

由于高炉料线深度不同,落料点不同,所以工艺要求在对应的料线时修正溜槽倾动角度。京唐高炉的溜槽倾动角的修正程序采用以下方式:在实际料线与设定料线每差 30 cm, α 角自动缩减一度。国内一些高炉炉顶布料功能按料线分成几组倾动角度,当实际料线在某一区间时,自动选择一组布料的倾动角度设定值。而迁钢 3[#] 高炉炉顶的倾动角度修正程序采用了另一种减角程序。程序把矿料型的提尺时料线分成了几个范围。

1.6 ~ 2.8 m 区间: $\alpha_{m16} = (L_s \times 100 - L_s \times 100) / 30$ (1)

式(1)中 α_{m16} :料线在 1.6 ~ 2.8 m 区间的 α 角修正值, α_{m16} 不大于 0.4 度;

L_s :当前提尺时实际料线;

L_s :设定料线。

当提尺时满足矿设定料线加上 30 cm 的值大于

1.6~2.8 m 区间内的较浅料线,把 α_{m16} 和总 α 角修正值清零。

2.8 m 以下区间: $\alpha_{m28} = (L_s \times 100 - 2800) / 30 \times K$ (2)

式(2)中 α_{m28} :料线在 2.8 m 以下的 α 角修正值;

L_s :当前提尺时实际料线;

K :系数。

α 角设定值在 30° 以上:系数 0.5, α_{m28} 的修正值不大于 0.2° ;

α 角设定值在 $20^\circ - 30^\circ$:系数 0.35, α_{m28} 的修正值不大于 0.14° ;

α 角设定值在 20° 以下:系数 0.2, α_{m28} 的修正值不大于 0.08° ;

当提尺时实际料线小于 2.8 m 时, α_{m28} 修正值清零。

修正角求和: $\alpha_m = \alpha_{m16} + \alpha_{m28}$ (3)

式(3)中 α_m : α 角总的修正值。

2.6.3 炉顶料罐倒罐

为了消除炉顶周向布料不均,在不改变炉顶喉管直径的情况下^[4],自动化控制系统加入了炉顶倒罐功能,一般每隔几批料,矿、焦罐互换一次,这样尽管每一罐料的布料不均依然存在,但从整个料柱看,疏、密段上下交错,在宏观上基本消除了周向分布不均。迁钢 $3^*4\ 000\ m^3$ 高炉炉顶的倒罐功能区分了是停右罐倒罐和停焦罐倒罐,起到了很好的效果。

3 首钢和国内高炉上料控制系统对比

首钢和国内其他钢厂的上料控制系统的区别主要体现在上料料单、炉顶布料,料流曲线。

3.1 上料料单

首钢高炉的上料料单是岗位人员通过 HMI 画面设定而来^[5],备料放料比较灵活并可快速修改变料,对操作人员水平要求较高。国内一些高炉的上料料单是工长通过二级系统发送而来,上料岗位人员不能修改料单,料单包括各类原料的料种、批重、料重、步数、炉顶布料信息等,控制系统会根据这些信息完成备料、放料、布料,操作人员几乎不用修改任何设定值,系统自动化程度更高,但也有变料麻烦,响应慢的缺点。

3.2 炉顶布料方式

1979 年 12 月我国第一座无料钟炉顶装置在首钢 $1\ 327\ m^3$ 的高炉上诞生了,随后这一新技术得到应用^[6]。首钢高炉的无料钟炉顶设备都是自己设

计制造,炉顶形式为首钢并罐,可以和 PW 公司(卢森堡的保罗-伍尔)的炉顶设备媲美。炉顶布料方式分为时间法和重量法。首钢高炉炉顶全部采用时间法布料,重量法基本不用。时间法布料准确,利用 γ 射线判断料空料满,对炉顶料罐称值精度要求不高,首钢已习惯并熟练掌握该技术。国内很多高炉炉顶布料采用重量法,炉顶并罐串罐方式都有,为了保证炉顶料罐称值的可靠,系统对称值都进行了修正,布料效果也不错。

3.3 炉顶料流曲线

首钢炉顶的料流阀设定值由操作人员按放料料种分别设定,系统每次放料后根据布料圈数差值修正设定值。国内一些高炉的炉顶料流阀设定值来自于料流曲线表。每个料种的曲线表分为设定曲线和自学习曲线,每组曲线中有 30 个料速(kg/s)区间并对应其 30 个开度设定值。自学习曲线的开度设定值是不断修正的,当实际布料时间与设定时间的差值每大于 10 s,开度修正 0.1° 。自学习曲线和设定曲线可以复制。

4 首钢高炉上料控制系统的改进方向

在开发完成多个首钢和国内外高炉上料自动化控制系统后,对比分析首钢高炉上料自动化控制系统可在以下方面进行改进:

4.1 料单矩阵

考虑用二级、三级系统发送料单矩阵的方式,减少操作人员的输入设定,并结合首钢高炉的上料料单备料放料比较灵活的特点,建立料单数据库。同时系统也可独立于二级、三级系统,在二级、三级系统发生故障的时候不影响上料。

4.2 料种管理和料种补偿

在与二级、三级系统通讯接口上考虑料种管理,能够识别料仓料种,按料种累计形成能源管理用的数据。备料的称量补偿增加按料种进行补偿计算,克服采用料仓补偿方式在料仓改变料种后不能精确补偿的缺点。

4.3 料流曲线

结合首钢高炉操作经验建立料流阀开度设定曲线模型,通过自学习功能,提高布料精度。

4.4 故障快速恢复

高炉在连续上料生产中,如果发生故障,处理故障恢复上料的时间越短越好。系统一键初始化功能恰好能满足这样的需求,同时结合工艺做出操作指南用于生产、检修和处理故障。



5 结论

首钢各基地的高炉上料自动化控制系统满足了高炉工艺生产的要求,针对不同业主的需求也做了定制化的功能。各基地高炉建于不同时间,控制系统在设计理念、功能实现上也在不断进步。通过生产应用分析和对比,找到一些完善首钢高炉上料自动化控制系统的方法和途径,更好地为首钢高炉生产保驾护航。

参考文献:

[1] 陈学平,刘沛然. 计算机组网工程与实训[M]. 北京: 化

学工业出版社,2011: 58-63.

[2] 杜磊明,吴怀宇,邹江华,等. 武钢1#高炉五车制控制系统研究[J]. 信息技术,2012(11):27-30.

[3] 邓守强. 高炉炼铁技术[M]. 北京:冶金工业出版社, 2002:1-5.

[4] 钱人毅. 高炉无钟炉顶布料规律的研究[J]. 首钢科技, 1999(4):26-28.

[5] 季忠凤. 天铁6号高炉上料控制系统程序设计与应用 [J]. 天津冶金,2013(3):44-46,50.

[6] 由文全. 实用高炉炼铁技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2002:1-5.