

引用格式:刘娜,张明生,曾晓萍,等.基于温压补偿新算法的渣处理过程流量控制[J].有色设备,2024,38(3):90-94.

LIU Na, ZHANG Mingsheng, ZENG Xiaoping, et al. Flow control of slag treatment process based on new algorithm of temperature and pressure compensation[J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 2024, 38(3): 90-94.

基于温压补偿新算法的渣处理过程流量控制

刘娜¹, 张明生², 曾晓萍¹, 韩彤杏¹, 高晓明¹

(1. 西北铅锌冶炼厂, 甘肃白银 730900; 2. 中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

[摘要]以温压补偿流量新算法在渣处理过程流量控制研究为例,通过艾默生 DelaV 系统功能块参数设置及过程控制数据对比分析,基于温压补偿新算法在熔池制造过程中将富氧流量控制在 $3\ 540.73 \sim 3\ 651.37\ \text{Nm}^3/\text{h}$,在本料加入及正常生产过程将富氧流量控制在 $5\ 456.83 \sim 5\ 577.27\ \text{Nm}^3/\text{h}$,均符合工艺指标要求值,彻底解决了传统电流信号处理算法中未考虑温压补偿引起的工艺富氧流量控制不准的难题,有效提高了渣处理工艺易燃易爆气体介质控制精度,实现熔化炉、烟化炉内精准配料和渣型控制,在企业设备精准计量与现场安全等多个方面具有广泛应用价值。

[关键词]温压补偿新算法;温压补偿密度修正因子;模块化过程控制;高效安全

[中图分类号] TF811 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1003-8884(2024)03-0090-05

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2024.03.015

0 引言

西北铅锌冶炼厂渣处理车间采用“侧吹熔化炉熔化+烟化炉烟化”渣处理工艺方案,生产中将铅银渣、熔剂、块煤按照渣型控制要求计算确定配料比。配好的原料辅料通过皮带机均匀加到侧吹熔化炉内,采用80%富氧空气,喷入粉煤补热,控制炉内温度在 $1\ 200 \sim 1\ 240\ ^\circ\text{C}$,同时控制空气过剩系数为 $0.8 \sim 0.9$,炉内为弱还原性气氛,让煤充分燃烧,提高燃料热利用率。铅银渣高温环境下熔化分解,硫进入烟气,少量锌、铅及铅的化合物挥发进入烟气,Fe、SiO₂、CaO等杂质进行造渣。随着物料的加入,炉内渣层厚度不断升高。待炉内熔渣到一定厚度,再通过流槽自流进入烟化炉进行烟化。烟化炉仅喷入粉煤及空气,控制空气过剩系数为 $0.6 \sim 0.7$,保持炉内较强的还原性气氛,同时控制炉内温度充分保证铅锌的还原挥发。最终控制弃渣含锌小于2%、含铅小于0.3%。弃渣水碎后通过胶带输送机转运至铅银渣配料仓储存外卖。

侧吹炉炉体升温及正常熔化生产时,天然气用

于烘炉、热风炉加热空气干燥铅银渣;氧气用于侧吹熔化炉生产熔化铅银渣;氮气用于粉煤仓、粉煤喷吹系统的流化及保护,天然气管道吹扫置换。故这三种气体介质流量的准确计量对生产过程控制具有关键参考价值,现场采用差压式流量计对涉及的介质进行流量计量监测,流量数据对富氧、氮气、空气及煤粉的加入配比起到直接的控制,传统的流量计算在系统内采入差压变送器的电流信号,设备刻度流量与电流信号开方处理求积即为流量值,未考虑气体介质压力、温度对密度的影响,导致传统算法处理后的流量数据不准,此数值对过程控制参考价值不高。

1 基于传统算法的渣处理过程流量控制方法

1.1 渣处理过程中气体介质过程控制要求

1.1.1 侧吹炉点火过程中气体介质过程控制

1) 确认并调节粉煤喷出系统氮气、压缩风减压阀门后压力,点火前各喷吹系统氮气压力 $0.20\ \text{MPa}$,压缩风 $0.18\ \text{MPa}$ 。

2) 氮气、富氧空气阀前压力 $\geq 0.4\ \text{MPa}$,逐步开启氮气、富氧空气阀门,将各喷枪氮气压力调整至 $10 \sim 15\ \text{kPa}$,富氧压力调整至 $18 \sim 20\ \text{kPa}$,确认炉内负压,炉顶负压一般控制到 $-50\ \text{Pa}$ 。

[收稿日期] 2024-02-26

[第一作者] 刘娜(1991—),女,甘肃白银人,工程师,大学本科,主要从事仪表维护及工业控制系统维护工作。

1.1.2 侧吹炉升温过程中气体介质过程控制

严格按照侧吹炉升温曲线进行粉煤给定量及喷枪投入数量的控制,使炉膛温度按照升温曲线缓慢上升,粉煤喷吹系统氮气及压缩风压力随喷枪数量的增加逐步调整至氮气 0.25 MPa,压缩风 0.2 MPa 升温曲线表图 1 所示。

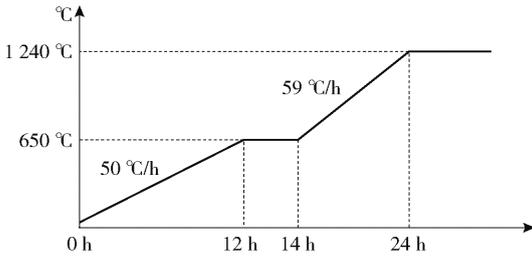


图 1 渣处理侧吹炉开炉升温曲线

Fig. 1 Temperature rise curve of side blowing furnace for slag treatment

1.1.3 侧吹炉熔池制造过程中气体介质过程控制

当炉膛温度 ≥ 650 °C 时,探渣杆黏渣高度达到 50 mm,厚度 ≤ 5 mm,具备造熔池条件。

炉顶负压控制为 $-30 \sim -40$ kPa,粉煤喷吹系统给定量设定为 $1\ 000 \sim 1\ 500$ kg/h,富氧流量 $3\ 500 \sim 3\ 800$ Nm³/h,氮气总流量 $400 \sim 600$ Nm³/h 喷枪富氧压力 $60 \sim 80$ kPa,氮气压力 $30 \sim 40$ kPa,随着水渣和块煤加入量增加及时探渣,炉内液位 ≥ 600 mm 时熔池制造完成。

1.1.4 侧吹炉本料加入及正常生产过程中气体介质过程控制

当熔池液位上升到 600 mm 以上,探渣厚度 $3 \sim 4$ mm 时,具备本料加入条件,调整排烟机频率或硫酸阀门、风机频率调整,保持炉顶负压为 $-40 \sim -50$ Pa;开启收尘、清灰、卸灰运输系统;初步本料加入量 $5 \sim 10$ t/h,探渣厚度 $3 \sim 4$ mm。投料稳定 20 min 后,逐步增加投料量 $10 \sim 20$ t/h,随加料量及液位增加,将喷枪富氧总流量从 $3\ 800$ Nm³/h 逐步调整至 $5\ 400 \sim 5\ 600$ Nm³/h,氮气流量从 600 Nm³/h 逐步调整至 $1\ 000 \sim 1\ 200$ Nm³/h,喷枪富氧压力控制为 $180 \sim 230$ kPa,喷枪氮气压力控制为 $120 \sim 150$ kPa,投入本料、辅料及块煤量,控制氧煤比 $0.9 \sim 1.3$ 。每 0.5 h 探渣 1 次,确认渣型无异常,确认氧化锌颜色、温度正常。

1.2 渣处理各过程中流量传统算法及结果数据

渣处理工艺采用差压式流量计进行流量测量

时,在差压变送器内部并未进行流量信号的开方处理,故最初采用传统的流量算法即在艾默生 DeltaV 系统内的程序中将采集到的电流信号进行开方处理。控制系统内信号开方处理的公式如下:

$$Q_{\text{测量流量}} = Q_{\text{刻度流量}} \times \sqrt{(I_{\text{测量}} - 4)/(20 - 4)} \quad (1)$$

式中: $I_{\text{测量}}$ 为流量计模拟量电流信号,输入 PLC 进行信号采集会有少许波动,经数据统计,在特定的生产过程中,波动不大,故计算时取用特定生产过程中 $I_{\text{测量}}$ 平均值。

以富氧流量 FIC86101 测量及控制为例,进行渣处理传统算法及基于温压补偿流量新算法两种方法说明,氮气及天然气两种介质的算法相同。

2.2.1 侧吹炉熔池制造过程中富氧流量传统算法及结果

侧吹炉熔池制造过程中,富氧流量要求控制在 $3\ 500 \sim 3\ 800$ Nm³/h 范围内,采集差压变送器输入 DeltaV 系统电流信号 $I_{\text{测量}}$,代入公式(1)进行富氧流量计算。

表 1 熔池制造过程中计算参数

Table 1 Calculation parameters in molten pool manufacturing process

计算参数	取值
$Q_{\text{刻度流量}} / (\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}) (-20\text{ }^\circ\text{C})$	7 200
$I_{\text{测量}} / \text{mA}$	7

将计算参数代入公式(1),算得:

$$Q_{\text{测量流量}} = 7\ 200 \times \sqrt{(7 - 4)/(20 - 4)} = 3\ 117.69 \text{ (Nm}^3/\text{h)}$$

显然,按照传统算法进行流量计算及控制,无法满足熔池制造过程中富氧流量的工艺要求。

2.2.2 侧吹炉本料加入及正常生产过程中富氧流量传统算法及结果

侧吹炉本料加入及正常生产过程中,富氧流量要求控制在 $5\ 400 \sim 5\ 600$ Nm³/h 范围内,按照公式 1 代入电流信号 $I_{\text{测量}}$ 数值进行富氧流量计算。

表 2 本料加入及正常生产过程中计算参数

Table 2 Calculation parameters in the process of adding this material and normal production

计算参数	取值
$Q_{\text{刻度流量}} / (\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}) (-20\text{ }^\circ\text{C})$	7 200
$I_{\text{测量流量}} / \text{mA}$	13

将计算参数代入公式(1),算得:

$$Q_{\text{测量流量}} = 7200 \times \sqrt{(13-4)/(20-4)} = 5247.85 (\text{Nm}^3/\text{h})$$

根据计算结果分析,采用传统算法进行的富氧流量过程控制无法满足工艺生产需要。究其原因气体的密度因温度和压力的不同而发生变化,在密度发生变化后,流量值发生变化,节流装置测到 $I_{\text{测量}}$ 也随之发生变化,经过查看流量历史数据,当取变送器满量程,即瞬时电流值 $I_{\text{测量}} = 20 \text{ mA}$,此时 $Q_{\text{测量流量}} = 7200 \text{ Nm}^3/\text{h}$,富氧流量计测量的氧气流量值完全超出了氧气站出口总流量值,不符合实际生产。且 $Q_{\text{测量流量}} = 7200 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 是标况下,温度在 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 下采用的计算参数,西北地区的冬季及夏季温度对气体介质密度的影响导致流量计算误差需要考虑,故传统算法在渣处理流量过程控制的方法不适用。

2 基于温压补偿新算法的渣处理过程流量控制方法

经过研究及数据对比,在控制系统中引入温压补偿模块,对气体流量的算法引入温压补偿及密度修正因子进行流量计算。

2.1 温压补偿基本原理

气体的可压缩性决定了其流量测量的复杂性,除了与现场仪表测量方式有关以外,气体的实际流量还受气体实时密度影响,气体的密度与温度和压力的函数有关。因此,气体的流量测量必须谨慎考虑温压补偿的问题。在实际测量中,如果温度和压力与预期值不一致,采用密度校准技术是十分必要的。

2.2 基于温压补偿新算法

根据理想气体计算公式,差压式流量计气体的体积流量计算方式方程见式(2)。

$$Q_{\text{测量流量}} = K_m \times \sqrt{\Delta P \times r \times \rho} \quad (2)$$

式中: K_m 为平均系数(由流量系数、膨胀系数、管道口径和其他相关因素组成); r 为介质工作状态下的密度, kg/m^3 , 气体介质的密度受温度、压力因素的影响; ΔP 为差压变送器工作状态下的实时差压,经数据统计计算,实时差压平均值 2.82 kPa ,在后续计算中均采用此值; ρ 为温压补偿密度修正因子。

2.3 温压补偿密度修正因子计算公式

温压补偿密度修正因子计算公式见式(3)。

$$\rho = \sqrt{\frac{(P + 101.325)(T_b + 273.15)}{(P_b + 101.325)(T + 273.15)}} \quad (3)$$

式中: P 为工作压力,取值为与差压变送器(PT)关联的压力值, kPa ; P_b 为设计压力,取值为设计计算书中标准状况下操作表压力, kPa ; T 为工作温度,取值为现场与变送器关联的操作温度,若工况环境要求低,没有关联温度,则取值为操作的环境温度, K ; T_b 为设计温度,取值为设计表中标准状况下的操作温度, K 。

3 温压补偿新算法在渣处理过程流量控制中的应用

3.1 DeltaV 系统模块化过程控制策略

DeltaV 系统使用模块化的组态方法来实现控制策略,DeltaV 系统中各控制模块相互独立且是有名称的实体,不同功能块构成控制模块及逻辑运算,每个功能块都有基本的过程控制算法(如PID,模拟量输出,还有模拟量输入)和自定义算法的参数。

功能块算法可以将复杂的控制策略转换为简单的输入和算法函数计算,并将计算结果输出,如DeltaV 系统流量监控模块 PT-COMP;且可以将输出连接至 XFR 补偿流量模块,实现算法控制、数据传输、功能块的状态确定。通过功能块算法,可以实现多种复杂的过程控制策略如基于压力补偿流量新算法及流量过程控制。

渣处理艾默生 DeltaV 系统选择带报警的流量监控模块 PT-COMP,按照要求配置输入各个相关仪表的参数(刻度量程、刻度差压、操作表压力、操作温度等),按照基于压力补偿流量新算法将计算参数写入 PT-COMP 功能块中,实现基于温压补偿测量流量,PT-COMP 功能块的输入是测量的压力 ΔP 、温度 T ,PT-COMP 块的输出是补偿流量,连接模块 XFR 补偿流量为被测量流量数值,用于系统显示监测和配料控制。

计算时,注意各物理量单位一致化换算,运算的过程中,压力采用 kPa ,温度采用 K 。

3.2 熔池制造过程中富氧流量基于温压补偿新算法计算及结果

利用表3计算参数,因无相关温度,故温度 T 取 $0 \text{ }^\circ\text{C}$ 。代入公式(3)得到熔池制造过程中温压补偿的密度补偿因子 $\rho = 0.7173 \sim 0.7397$,代入公式

(2)求得: $Q_{\text{测量流量}} = 3\ 540.73 \sim 3\ 651.37 \text{ Nm}^3/\text{h}$,符合熔池制造过程富氧流量控制在 $3\ 500 \sim 3\ 800 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 范围内的技术要求。

表3 熔池制造过程中基于温压补偿流量新算法计算参数

Table 3 Calculation parameters of new algorithm based on temperature and pressure compensation flow in molten pool manufacturing process

	参数	取值
工况条件	操作表压力 P_b/kPa	400
	操作温度 $P_b/^\circ\text{C}$	25
	密度 $r/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	6.490 01
	压力 P/kPa	135 ~ 150
计算参数	平均系数 K_m	1 153.809 71
	$\Delta P/\text{kPa}$	2.82

3.3 本料加入及正常生产过程中富氧流量基于温压补偿新算法计算及结果

利用表4计算参数,因无相关温度,故温度 T 取 0°C 。代入公式(3)得到本料加入及正常生产过程中密度补偿因子 $\rho = 1.105\ 5 \sim 1.129\ 9$,代入公式

(2)求得 $Q_{\text{测量流量}}$ 流量范围为 $5\ 456.83 \sim 5\ 577.27 \text{ Nm}^3/\text{h}$,符合本料加入及正常生产过程富氧流量控制在 $5\ 400 \sim 5\ 600 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 范围内的技术要求。

表4 本料加入及正常生产过程中基于温压补偿流量新算法计算参数

Table 4 Calculation parameters of the new algorithm based on temperature and pressure compensation flow during the feed and normal production

	参数	取值
工况条件	操作表压力 P_b/kPa	400
	操作温度 $P_b/^\circ\text{C}$	25
	密度 $r/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	6.490 01
	压力 P/kPa	460 ~ 485
计算参数	平均系数 K_m	1 153.809 71
	$\Delta P/\text{kPa}$	2.82

3.3 传统流量算法与基于温压补偿新算法比较

对渣处理工艺中涉及的富氧、氮气等气体介质的测量,均采用基于温压补偿的流量新算法进行数据计算监测控制,达到炉内物料配比精准控制,保证炉内煤燃烧率和渣型控制。

表5 两种流量算法对比

Table 5 Comparison of two traffic algorithms

比较项目	传统流量算法	基于温压补偿流量新算法
熔池制造过程	富氧流量要求值: $3\ 500 \sim 3\ 800 \text{ Nm}^3/\text{h}$	
	富氧流量测算值: $3\ 117.69 \text{ Nm}^3/\text{h}$	富氧流量测算值: $3\ 540.73 \sim 3\ 651.37 \text{ Nm}^3/\text{h}$
本料加入及正常生产过程	富氧流量要求值: $5\ 400 \sim 5\ 600 \text{ Nm}^3/\text{h}$	
	富氧流量测算值: $5\ 247.85 \text{ Nm}^3/\text{h}$	富氧流量测算值: $5\ 456.83 \sim 5\ 577.27 \text{ Nm}^3/\text{h}$
影响因素	$I_{\text{测量}}$	差压 ΔP 、工作温度 T 、操作表压力 P_b 、操作温度 T_b 、压力 P
精确度	不高	高
是否符合生产技术要求	否	是

4 基于温压补偿流量新算法在过程控制与安全经济中的应用价值

1) 安全经济方面

渣处理采用富氧侧吹的方式进行熔炼,工艺中的介质有富氧、氮气、空气、水蒸气、煤粉等,由于介

质的特殊性和工艺的高温易燃易爆环境,若气体介质流量控制不准,不仅会影响产品的质量,严重会发生炉体爆炸等安全事故,故气体介质流量值的精准监测和控制显得尤为关键。经过对流量的温压补偿新算法研究应用,DCS操作员在DeltaV系统就能实现介质流量精准控制,从而实现过程操控,减少危险

环境的暴露。

2) 生产过程高效控制

流量值的准确计量对生产过程控制起着全方位的参考,生产过程中流量的变化监测控制的准确及时对生产产品质量和安全的保障起着至关重要的作用。渣处理气体介质流量应用温压补偿新算法进行流量控制,实现了渣处理炉内物料精准配料,提高了烟化炉渣型控制品质和煤燃烧率。

3) 能源管理提供数据支撑

各类气体介质的科学计量和介质用量的精准分析监测控制,更好地做到科学高效地管理和分配能源资源,对能源管理提供了强有力的数据支撑。

[参考文献]

[1] 万勇,郑金吾. 新型气液两相流量计设计与试验[J]. 中

国石油大学学报(自然科学版),2008(6):2-3.

[2] 孟振振. 气水两相流流量测量新方法研究[D]. 杭州:浙江大学,2011.

[3] 王喆,陈志荣. 热连轧带钢穿带流量控制技术[J]. 冶金自动化,2023,47(S1):239-241.

[4] 姜鹏,李经天,宋海涛,等. 负流量控制与正流量控制在液压挖掘机中的应用[J]. 露天采矿技术,2021,36(6):52-54.

[5] 孙虎. 高炉环保型渣处理 PLC 控制系统的设计与实现[J]. 山西冶金,2021,44(5):46-47,50.

[6] 张忠旭. 变电所高压自动无功补偿技术的应用[J]. 有色矿冶,2015,31(3):43-45,48.

[7] 亓传铎,牌洪坤,杨守斌,等. 从冶炼铜渣中进一步提取金银的湿法工艺研究[J]. 黄金科学技术,2012,20(5):88-91.

Flow control of slag treatment process based on new algorithm of temperature and pressure compensation

LIU Na¹, ZHANG Mingsheng², ZENG Xiaoping¹, HAN Tongxing¹, GAO Xiaoming¹

(1. Baiyin Nonferrous Group Co., Ltd., Baiyin 730900, China;

2. China ENFI Engineering Co., Ltd., Beijing 100038, China)

Abstract: Taking the research on the flow control of DelaV treatment process with the new algorithm of temperature and pressure compensation as an example, the oxygen-enriched flow is controlled at 3 540.73 ~ 3 651.37 Nm³/h in the molten pool manufacturing process based on the new algorithm of temperature and pressure compensation, and at 5 456.83 ~ 5 577.27 Nm³/h in the material addition and normal production process. All of them meet the requirements of process indexes, which completely solves the problem of inaccurate control of process oxygen-enriched flow caused by not considering temperature and pressure compensation in traditional current signal processing algorithm. It effectively improves the control accuracy of flammable and explosive gas medium in slag treatment process, realizes accurate batching and slag type control in melting furnace and fuming furnace, and has wide application value in many aspects such as accurate measurement of enterprise equipment and on-site safety.

Key words: new algorithm for temperature and pressure compensation; temperature and pressure compensation density correction factor; modular process control; efficient and safe ▲