

转炉干法除尘条件下煤气回收创新应用

高言^{1,2} 吴海东¹ 刘晓彬¹ 张垚¹ 张响¹

1. 河钢集团唐钢公司 河北 唐山 063000;

2. 华北理工大学 河北 唐山 063210

[摘要] CO是转炉炼钢利用率最高的副产品之一, 如何优质高效的回收这部分能源, 是干法除尘系统的重要课题。转炉煤气回收的两个重要指标是回收量与煤气热值, 这两个指标互相制约, 提高其中一项指标必定会带来另一指标的下降, 因此必须找到最佳的优化方案在提升其中一项指标的同时带来最小限度的负面影响, 本文通过对唐钢新区新建长材项目的优化改造, 攻克吹氧量分配、炉口微差压、风机调速三大因素以实现煤气回收的最大化

[关键词] 回收; 热值; 回收量

[DOI] 10.12252/j.issn.2096-6288.2021.10.1303

随着我国环保形势的日趋严峻, 国家对钢铁企业的超低排放、环保限产停产、产能核算等检查异常严格, 钢铁想要长期稳定高效的发展, 必须要立足于环保排放这个红线, 因此必须要投入了拥有足够裕量的干法除尘系统, 保证能够应对任何异常、突发情况, 防止环保排放超标^[1]。

而CO是转炉炼钢利用率最高的副产品之一, 如何优质高效的回收这部分能源, 是干法除尘系统的重要课题^[2]。转炉煤气回收的两个重要指标是回收量与煤气热值, 这两个指标互相制约, 提高其中一项指标必定会带来另一指标的下降, 因此必须找到最佳的优化方案在提升其中一项指标的同时带来最小限度的负面影响^[3], 本文通过对唐钢新区新建长材项目的优化改造, 攻克吹氧量分配、炉口微差压、风机调速三大因素以实现煤气回收的最大化。

1、转速设定

转炉炼钢过程中, 当CO浓度达到回收条件后, 风机开始提速至回收转速, 回收杯阀打开, 放散杯阀关闭, 但此过程存在两个重要问题, 其一是当到达回收条件后再进行提速必将影响整体的回收时间, 必须要对回收条件进行预判; 其二是回收过程中转速的大小直接影响煤气回收的热值, 风机流速过快必定在炉口吸入大量空气使得CO在炉口进行二次燃烧, 而风机流速慢能够提高煤气热值, 但却不能保证风机流量, 甚至造成压力不能够大于煤气柜压力造成放散^[4]。针对上述情况我们进行大量的数据积累, 如图1所示。

表1 不同回收转速下回收气体CO峰值含量及回收量对比

回收转速 (r/min)	CO含量 (%)	回收量 (km ³)
1300	61.2	43.530 (压力低不能持续回收)
1350	60.1	86.700
1400	59.4	91.000
1450	58.4	97.600
1500	57.3	103.000
1550	55.9	129.600
1600	47.3	145.700
1650	40.6	163.100

由图1分析出, 回收转速在超过1500r/min时回收量明显增多, 转速大于1550r/min时CO含量明显减少, 因此最佳的工况点设置在在1550r/min。

在确定最佳回收转速临近区间后, 需要对回收提速点进行分析 and 校对, 在通过大量数据采集不同回收条件下, 从吹氧转速1150r/min提升至回收转速1550r/min所需要的时间及提速时间内准确达到回收条件时提速前后CO浓度差得出, 随着回收条件的不断变化, 准确达到回收条件时提速前后CO浓

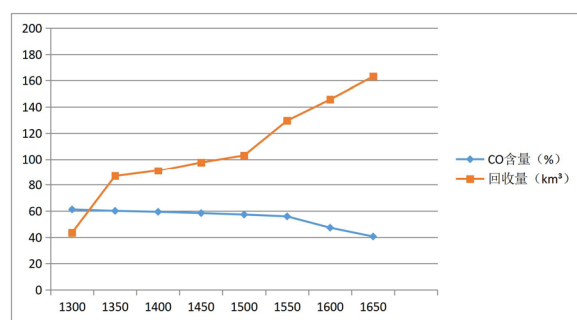


图1 不同回收转速下回收气体CO峰值含量及回收量趋势图度差近似满足线性方程:

$$S = 6 + \left(\frac{A}{100} - 24 \right) * 0.2$$

S为准达到回收条件时提速前后CO浓度差, A为CO达到多高浓度开始回收。根据上述结论, 通过WINCC加入到人机交换界面中, 并在实际生产中对效果进行了验证, 回收时间平均每炉多回收30秒, 折合成吨钢约10m³/t。

2、吹氧量控制

煤气回收时间的长短与吹氧量也存在一定的关系, 吹氧量增加碳氧反应剧烈^[5], CO产生速度加快, 煤气起收点提前, 但整体吹炼时间变短, 因此通大量的数据积累如表2可以得出:

表2 吹氧量与煤气起收时间、冶炼时长、回收总时间、煤气热值关系表

吹氧量 (m ³ /min)	起收时间 (s)	煤气热值 (kcal)	回收总时间 (s)	冶炼时长 (s)
22000	420	1201	337	850
23000	410	1227	345	840
24000	398	1250	359	833
25000	375	1271	378	821
26000	360	1294	413	810
27000	342	1348	454	782
28000	327	1398	429	758
29000	312	1457	407	728
30000	298	1527	387	701

不难看出, 在吹氧量达到27000m³/min时, 煤气回收时间最长, 得出并不是吹氧量越大CO反应速度越快, 回收时间越长, 主要原因是虽然吹氧量增大, 回收起始时间提前, 但整体冶炼时长也会缩短, 上述4个指标基本趋近与线性关系, 根据最优化原理分析, 有且只有一条路径是最优解, 那

么如果在其他条件基本一致的前提下,回收总时间和热值综合收益最大便是我们要找的最优解,因此我们定义变量回收总时长 T ,煤气热值 J ,煤气单价为 1.3 元/ m^3 ,风机流量在转速固定值为 1550 r/min的时候为 2090 m^3 /min,煤气热值每提高 100 kcal,价钱贵 520 元,因此得到最大收益 Y 计算方程为:

$$Y = \max \left\{ 2090 \times \frac{T}{60} \times 1.3 + \frac{J}{100} \times 520 \right\}$$

将表2中的数值带入上述公式,得出收益最优解为当吹氧量为 27000 ,收益最大化达到每炉钢 27566 元。

3、烟气成分中氮气含量的控制

众所周知,转炉煤气回收中会掺杂着大量的氮气,这些氮气成分主要来源于炉口吸入的空气和炼钢过程中系统内部所消耗的氮气,因此,我们需要从两方面去控制氮气流进并确保CO在烟气成分中占据较高的比例^[6]。

以唐钢新区长材部设备为例,风机在回收时的额定风量为 100000 m^3 /h,而正常吹炼过程中的吹氧量为平均 26000 m^3 /h,我们假设吹炼这部分氧气在中后期全部转化成CO,即 $2C+O_2=2CO$ 或 $2Fe+O_2=2FeO$ 、 $2FeO+2C=2CO+2Fe$,也就是 1 mol的氧气转化成 2 mol的CO,每小时生成 52000 m^3 的CO,加上蒸发冷却器雾化氮气、转炉压火氮封氮气、静电除尘器密封氮气,总量约 60000 m^3 左右,相当于每小时抽入的空气量占回收烟气总量的 40% ,而空气中的氮气含量为 79% ,也就是说烟气中至少含有 32% 的氮气,除去炉口燃烧的CO,CO浓度的峰值也只能控制在 60% ,平均后的热值保持在 1400 kcal,那么如何控制这部分空气的摄入量便是重中之重。

综合考虑转炉经验炼钢的需求及一次除尘综合效能,控制炉口与烟罩距离为 $500-575$ mm,减小转炉活动烟罩口直径尺寸,使之与转炉炉口近似匹配。

4、干法除尘系统温度的控制

对于转炉干法除尘系统来说,回收的煤气中会含有大量的水蒸汽,这些水蒸汽是在蒸发冷却器对烟气降温的过程中产生的,如果在降温过程中喷水量过大系统温度将会产生大量的波动,不仅产生过多的水蒸气,也是使气流扰动,流量和流速产生大幅度的波动,造成煤气回收量的减少;而如果喷水量较小,则不能有效的给系统降温,造成烟气在进入蒸发冷却器后仍然会有部分CO在蒸发冷入口处与烟气中的仅存氧气发生反应,生成CO,因此必须要精确的控制蒸发冷的温度。

对于蒸发冷的温度调节,在国内基本采用蒸发冷本体内采集温度进行实时调节的方案,但是此方案虽然对蒸发冷温度控制有明显的改观,但是仍然有多项因素不可控:如开吹时由于蒸发冷喷水跟不上瞬间的温度升高,碳氧反应剧烈时喷水量跟不上温度的变化速率等。

因此我们引入了PID控制理念,蒸发冷却器温度调节是一个典型的闭环控制系统,用于控制通过蒸发冷的烟气温度保持在恒定的温度设定值。系统通过温度采集单元反馈回来的实时温度信号获取偏差值,偏差值经过PID调节器运算输出,控制蒸发冷的给水量以克服偏差,促使偏差趋近于零。

温度控制系统是一个惯性较大的系统,当转炉开始正常冶炼后,并不能立即观察到气体温度的明显上升;同样,当转炉停吹后,蒸发冷烟气温度仍然有一定程度的上升。另外,热电偶对温度的检测,与实际温度相比较,也存在一定的滞后效应,这给温度的控制带来了困难。因此,如果在温度检测值到达设定值时才关断输出,可能因温度的滞后效应而长时间超出设定值,需要较长时间才能回到设定值;如果

在温度检测值未到设定值时即关断输出,则可能因关断较早而导致温度难以达到设定值。为了合理地处理系统响应速度与系统稳定性之间地矛盾,我们把温度控制分为两个阶段

4.1 PID调节前阶段

在这个阶段,因为温区的温度距离设定值还很远,为了加快蒸发冷烟气降温速度,蒸发冷喷水调节阀满负荷输出状态,只有当温度上升速度超过控制参数“加速速率”,调节阀才开始进行调节输出。“加速速率”描述的是温度在单位时间的跨度,反映的是温度升降的快慢,如上图所示。用“加速速率”限制温升过快,是为了降低温度进入PID调节区的惯性,避免首次到达温度设定值时超调过大。

同时根据大量的数据积累,得出不同废钢加入量设置不同调节阀开度,基本呈现线性关系,在保证EC不湿底,有足够蒸发空间的前提下,测定开度为 $5\%-15\%$,水量控制在 4 吨以内,改变系统里开吹温度控制调节阀的相关连锁,针对中小转炉温度变化大、反应快、稳定性差的特点,提前调控,优化性能,消除开吹瞬间废钢量对蒸发冷系统温度的影响。

在这个阶段,PID调节器不起作用,仅由“加速速率”控制温升快慢。

4.2 PID调节阶段

在这个阶段,PID调节器调节输出,根据偏差值计算占比($0-80\%$),保证偏差趋近于零,即使系统受到外部干扰时,也能使系统回到平衡状态。

4.3温度取样点的选取

国内大部分温度取样点选取在蒸发冷入口,虽然能够第一时间获取温度反馈,进行温度调节,但是会造成后续工序的不可控程度大幅度升高,如果蒸发冷控水不够精确,必定会造成粗灰湿底堵灰,同时由于荒煤气管道过长,通过蒸发冷入口温度控制不能够保证烟气进入到静电除尘器内部后保持着最佳的粉尘浓度和水蒸气含量,可能造成极板极线的板结,除尘效果的大幅度下降,严重时造成较大的环保事故。

蒸发冷全过程控水创新投入使用后,曲线平稳无跃变,效果显著

5、结论

唐钢新区长材事业部自2021年3月份投产后,煤气回收系统陆续投入运行,但煤气回收量和热值普遍偏低,在经过上述改造后,煤气回收量由初始投产后的吨钢回收 70 m^3 增长到吨钢 110 m^3 ,煤气回收热值在CO达到 20% 回收的情况下,热值由 1250 kcal上升至平均 1500 kcal,增长约 20% 。

参考文献

- [1]易海涛.新形势下钢铁行业环保面临的困难与机遇研究[J].环境科学与管理,2013(11):5-10.
- [2]郭红,程红艳,陈林权.国内转炉一次烟气除尘技术及其发展方向[J].炼钢,2010(3):71-74.
- [3]任杰,王坤.转炉一次干法除尘技术关键问题与解决思路探析[C].2017,第十七届中国电除尘学术会议论文集
- [4]曹博文,钱付平,张天,薛泓怡,胡茹,夏勇军.转炉一次除尘新OG系统设计软件开发及应用[J].计算机辅助工程,2019,28(3):43-48.
- [5]史国宪,徐旺.钢铁厂煤气的回收与节能问题[J].化学工程与装备,2012(7):78-79.
- [6]沈继东.转炉炼钢干法除尘设备优化与改进[J].科学技术创新.2020(20):167-168.