

烧结烟气联合治理工艺运行成本控制

贺志国 刘月建 (安阳钢铁股份有限公司, 河南 安阳 455000)

摘要: 随着环保要求不断提高, 国家开始全面推动钢铁行业超低排放改造。综合考虑技术可靠性、工程投资、运行成本、占地、安全等因素, 适用于烧结烟气联合治理工艺且符合环保趋势有: CFB 脱硫 + GGH + SCR 脱硝、活性焦干法一体化烟气净化技术。本文简介了这两种工艺流程及技术特点, 以典型 360m² 烧结机为例, 详细比较了两种工艺系统组成、占地、工程投资及运行成本, 分析了烧结烟气原始条件对工程投资及运行成本的影响, 以期对烧结烟气联合治理工艺比选提供指导。

关键词: 烧结烟气; 联合治理; 工艺运行; 工程投资; 成本控制

1 概述

随着国家供给侧改革不断深入, 国家对钢铁行业环保要求也不断提高。目前, 烧结行业废气污染排放标准现行标准为《钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准》(GB28662-2012), 随着 2017 年 6 月国家环保部发布《钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准》(修改单(征求意见稿))、2018 年 5 月生态环境部发布《钢铁企业超低排放改造工作方案(征求意见稿)》, 国家开始全面推动钢铁行业超低排放改造。目前, 国内钢厂烧结烟气排放一般按颗粒物 $\leq 10\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、 $\text{SO}_2 \leq 35\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、 $\text{NO}_x \leq 50\text{mg}/\text{Nm}^3$ 进行设计。

目前, 国内现有烧结已普遍实施脱硫, 据环保部统计数据: 至 2016 年全国烧结机建成脱硫设施共 526 台套, 占烧结机总量的 93%。不论采用湿法、半干法脱硫, 在冬天会出现不同程度的冒“白烟”情况。河北省已率先出台相关政策, 2018 年 10 月底前完成 45 家钢铁企业烧结(球团)烟气脱硝、湿法脱硫烟气“消白”, 烧结烟气脱硫脱硝技术路线选择必须考虑“消白”。

综合考虑技术可靠性、投资成本、运行成本、占地、安全等因素, 并充分考虑“消白”要求, 目前适合烧结脱硫脱硝联合治理的技术路线主要有:

路线 1: CFB 脱硫 + GGH + SCR 脱硝

路线 2: 活性焦干法一体化净化技术

路线 3: 臭氧氧化 + 湿法 / 半干法脱硫 + 消白

比较为用户接受的烧结烟气联合治理工艺主要是以上路线 1 和路线 2, SCR 脱硝与活性焦脱硝技术吸附被列入《钢铁行业污染防治最佳可行技术导则—烧结及球团工艺》。氧化吸收工艺路线被定义新兴技术, 氧化脱硝因存在使用危化品臭氧对制备、运输、储存、使用等各个环节存在安全风险、

臭氧逃逸等问题, 因此建议路线 3 谨慎采用。

2 工艺流程

2.1 路线 1 工艺流程

来自烧结装置的原烟气经过烧结机头电除尘器处理后, 从底部烟道进入到 CFB 吸收塔中, 当烟气经过吸收塔文丘里扩散段时, 烟气与加入的消石灰充分混合; 吸附物料随着烟气向上运动, 产生剧烈的湍动, 形成絮状物; 同时, 吸附物料因重力作用向下回落, 絮状物又因气流湍动而被解体, 物料重新随气流向上抬升; 从而在气流的作用下, 吸附物料与烟气将形成气固结合的浓相床层。在吸收塔文丘里段出口设置了喷水装置, 降低烟气温度, 为 SO_2 与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 提供了良好的化学反应环境。

脱硫后的含尘烟气从吸收塔顶部侧向排出, 然后进入布袋除尘器进行除尘处理。经布袋除尘器捕集下来的固体物料, 一部分通过气力输送方式送至灰库内, 再通过罐车或二级输送设备外排; 另一部分通过返料系统返回到脱硫塔内继续进行循环使用, 提高还原剂的利用率。

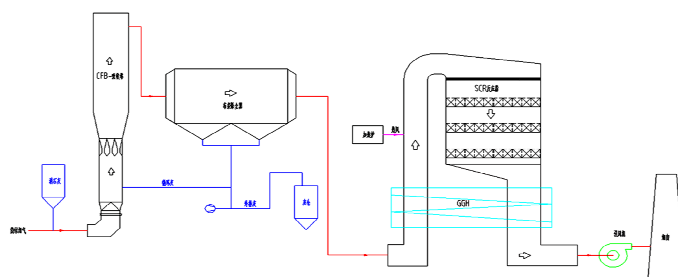


图 1 路线 1 工艺流程

经过脱硫除尘后的烟气随后进入到 SCR 脱硝系统中, 依靠 GGH 换热和加热炉加热提升入口烟气温度, 达到 SCR 催化剂反应温度区间, 并依靠还原剂选择性还原烟气中的 NO_x , 达到烟气脱硝的目的。最后, 由系统引风机将净烟气送至烟囱外排。

路线 1 工艺流程见图 1。

2.2 路线 2 工艺流程

来自烧结装置的原烟气经过烧结机头电除尘器处理后，通过增压风机将烟气送入到活性焦吸附装置，依靠活性焦物理吸附和化学吸附能力，吸附烟气中的 SO₂；随后，依靠活性焦催化性能，利用氨水还原烟气中的 NO_x，从而达到脱硫脱硝的作用。吸附装置中的活性焦依靠自身重力自上而下进入到物料输送系统中，进入到再生装置中；因活性焦在吸附装置中将达到吸附饱和，需要采用热再生的方式使活性焦中的 SO₂ 混合气体释放出来，从而恢复活性焦的活性吸附能力，并通过物料输送系统重新进入到吸附装置中循环利用。再生过程中产生的高浓度 SO₂ 混合气体将被送到成熟的制酸系统中去制备浓硫酸。系统中因摩擦或倒运产生的焦粉及碎焦被统一收集，可作为燃料送到堆煤场配合使用。路线 2 工艺流程见图 2。

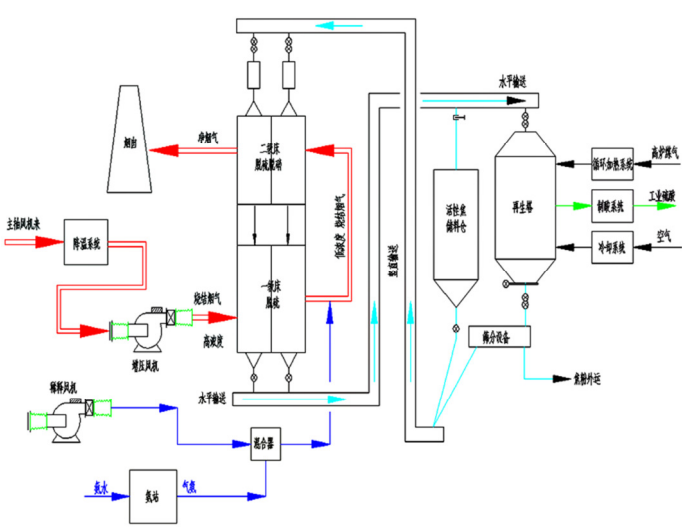


图 2 路线 2 工艺流程

3 两种工艺技术特点及比较（表 1）

表 1 两种工艺技术特点比较

项目	CFB 脱硫 +GGH+SCR 脱硝	活性焦干法一体化净化技术
技术可靠性	技术成熟，冶金行业推荐技术	技术成熟，冶金行业推荐技术
脱硫剂	石灰	活性焦
脱硫效率	≥ 95%	≥ 95%
脱硝剂	氨	氨
脱硝效率	≥ 90%	可达 80%
使用业绩	多，代表工程宝钢 600m ² 烧结	多，代表工程太钢 450+660m ² 烧结
工程投资	适中	高

运行成本	高	较高
占地	适中	较大
适用性	适用于新建或改造	更适用于新建
优点	工程投资相对较低；工艺系统组成简单，系统稳定性好	一体化治理多污染物；副产物回收利用率高且回收价值高；节省大量水资源，烟囱无白烟现象
缺点	脱硫灰需考虑综合利用	工程投资相对较高

4 成本分析

以国内钢厂典型 360m² 烧结机为例，对两种工艺的工程投资及运行成本进行分析，原始烟气条件见表 2。排放指标按钢铁行业超低排放限值设计。

表 2 360m² 烧结机原始烟气条件

序号	项目	单位	参数值
1	原始烟气量（标况，湿基）	Nm ³ /h	120 万
2	脱硫脱硝前烟气温	℃	110-140
3	初始烟气含水率	%	10-13
4	初始烟气含氧量	%	≤ 16
5	初始 SO ₂ 浓度	mg/Nm ³	≤ 1000
6	初始 NO _x 浓度（以 NO ₂ 计）	mg/Nm ³	≤ 300
7	初始粉尘浓度	mg/Nm ³	≤ 50
8	烧结机年作业率	h	8400

4.1 工程投资

按常规配置，路线 1 投资估算投资约 30-40 万元/m² 烧结；路线 2 投资估算脱硝工程投资约 50-60 万元/m² 烧结。

4.2 运行成本

以表 2 为例，烧结机年产烧结矿 450wt/a，暂未计入工人工资、设备折旧、检修费用等。能源介质单价参考国内某钢厂成本核算价格，两种工艺在相同条件下进行技术经济分析。两种路线运行成本分别见表 3 和表 4。

表 3 路线 1 运行成本

序号	类别	单位	单价（不含税，元）	小时消耗量	年消耗量	年运行费用（万元）
1	生石灰	kg	300	240	20160	604.8
2	20% 氨水	kg	600	770	6468	388.1
3	工业水	t	0.88	30	252000	22.2
4	压缩空气	Nm ³	0.11	360	3024000	33.3

5	氮气	Nm ³	0.13	120	1008000	13.1
6	蒸汽	t	100	0.5	4200	42
7	用电量	kWh	0.65	4500	37800000	2457
8	焦炉煤气	Nm ³	0.45	3650	30660000	1379.7
9	催化剂					330
10	脱硫灰	t		3	25200	
11	年运行费用合计 (不含收益)	万元				5270.1
12	折算到吨烧结矿运行成本 (不含收益)	元 /t 矿				11.7

注: CFB 脱硫灰回收价值不高, 按无收益计算。

表 4 路线 2 运行成本

序号	类别	单位	单价 (不含税, 元)	小时消耗量	年消耗量	年运行费用 (万元)
1	活性焦	kg	6600	420	3528	2328.5
2	液氨	kg	3000	210	1764	529.2
3	工业水	t	0.88	16	134400	11.8
4	压缩空气	Nm ³	0.11	210	1764000	19.4
5	氮气	Nm ³	0.13	1800	15120000	196.6
6	蒸汽	t	100	2	16800	168
7	用电量	kWh	0.65	4800	40320000	2620.8
8	焦炉煤气	Nm ³	0.45	1100	9240000	415.8
9	98% 硫酸	t	-1.8	300	15120	-453.6
10	焦粉	t	-0.12	100	1176	-10.1
11	年运行费用合计 (不含收益)	万元				6290.1
12	折算到吨烧结矿运行成本 (不含收益)	元 /t 矿				13.98
13	年运行费用合计 (含硫酸、焦粉收益)	万元				5826.4
14	折算到吨烧结矿运行成本 (含硫酸、焦粉收益)	元 /t 矿				12.95

4.3 烧结烟气原始条件对工程投资及运行成本影响

烧结烟气原始条件对运行成本主要体现在两个方面: 烧结机的规模和初始污染物浓度。烧结机规模大小导致其烟气量不同, 这是影响工程投资的主要因素。据估算, 工程投资基本与烧结原始烟气量

成线性关系; 烧结机规模越大, 单位平方烧结工程投资越小。主要原因为主体系统以外的公辅系统工程投资增加比例较小。

烧结烟气初始污染物浓度对能源介质消耗影响较大, 其运行成本均随着初始 SO₂ 浓度、NO_x 浓度增加而增加。路线 1 因脱硫剂、脱硝剂在运行成本中占比不高, 因而对初始污染物浓度变化并不敏感; 路线 2 因活性焦耗量在运行成本占比较大, 其受初始污染物浓度变化较大。在初始污染物浓度较高时, 路线 1 运行成本要低于路线 2; 在初始 SO₂、NO_x 浓度处于 850mg/Nm³、250mg/Nm³ 时, 两者运行出现“拐点”; 当初始 SO₂、NO_x 浓度超过 1500mg/Nm³、450mg/Nm³ 时, 路线 2 技术经济性将较差而不适合被采用。

5 结论

国内烧结脱硫脱硝及消白改造已大规模启动, 本文描述的路线 1 和路线 2 均符合以上环保趋势, 均为可行技术路线。综合本文描述, 结论如下:

①烧结烟气联合治理技术路线选择应根据工程投资、布置占地、运行成本、安全等因素综合确定; ②路线 2 为一体化技术, 更符合当前环保趋势, 适合新建烧结机。路线 1 为串联技术, 更适合于在已有烧结脱硫的基础上进行改造。选择路线 1 时应应对 CFB 脱硫灰的处置进行充分论证; ③路线 1、路线 2 工程投资受烧结规模影响, 烧结机规模越大, 单位平方烧结工程投资越小; ④路线 1、路线 2 运行成本随着初始污染物浓度增加而增加, 在较低浓度时路线 1 运行成本要高于路线 2; 在较高浓度时, 路线 1 运行成本要低于路线 2; 两者运行差异“拐点”浓度在 SO₂ 浓度 850mg/Nm³, NO_x 浓度 250mg/Nm³ 时出现。

参考文献:

- [1] 兰国谦, 刘建秋, 张江伟. 钢铁行业烧结烟气脱硫技术现状和发展趋势 [J]. 中国环保产业, 2014 (6):42-46.
- [2] 范振宇. 烟气循环烧结的基础研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2011.
- [3] 王小明. 干法及半干法脱硫技术 [J]. 电力科技与环保, 2018,34(1):45-48.
- [4] 蔡晶晶, 周亚东, 张强, 等. 活性焦一体化脱硫脱硝烟气净化技术应用 [J]. 中国环保产业, 2017(5): 38-41.
- [5] 李海英, 郑雅欣, 王锦. 不同烧结烟气脱硫工艺应用比较与分析 [J]. 环境工程, 2018,36(3):102-107.