



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 33969—2017

---

## 高炉富氧喷煤技术规范

Technical specification for injecting pulverized coal with oxygen-enriched  
into blast furnace

2017-07-12 发布

2018-04-01 实施

---

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会 发布

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国钢铁工业协会提出。

本标准由全国钢标准化技术委员会(SAC/TC 183)归口。

本标准起草单位:北京科技大学、冶金工业信息标准研究院、神华集团有限责任公司。

本标准主要起草人:张建良、王筱留、王姜维、邸传耕、刘征建、王广伟、徐润生、乔军强、张文辉、邱家用、宁晓钧、柴轶凡、王海洋、宋腾飞、林豪、赵迪、刘思远、郭科、陈宇廷。

# 高炉富氧喷煤技术规范

## 1 范围

本标准规定了高炉富氧喷煤技术的术语和定义、原理与流程、喷吹煤粉要求、喷吹煤性价比评估和优化搭配、操作技术要求、设备与安全维护、环保控制要求。

本标准适用于新建、改建、扩建钢铁企业高炉富氧喷煤技术的设计、运行、管理与设备维护。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准
- GB 13456 钢铁工业水污染物排放标准
- GB 16543 高炉喷吹烟煤系统防爆安全规程
- GB 16912 深度冷冻法生产氧气及相关气体安全技术规程
- GB 28663 炼铁工业大气污染物排放标准
- GB 50427 高炉炼铁工程设计规范
- TSG 21 压力容器安全技术监察规程

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**高炉富氧喷煤** pulverized coal with oxygen-enriched injection into blast furnace

从高炉炉缸上部风口处喷吹煤粉用以降低高炉焦炭消耗,同时配以富氧鼓风以提高风口回旋区的煤粉燃烧率的工艺。

### 3.2

**喷吹煤有效发热值** effective calorific value of injected coal

煤粉喷入高炉后的实际供给热,即煤粉中碳不完全燃烧(氧化成一氧化碳)时的发热值扣除煤粉的分解热、水煤气反应热、脱硫耗热、成渣热之后的热量。

### 3.3

**喷吹煤性价比** cost efficient of coal

煤粉的喷吹性能与其价格的比值。

### 3.4

**高炉经济富氧率** economical oxygen-enriched injection rate for blast furnace

在与富氧无关的其他条件不变的情况下,能够使高炉铁水成本最低的富氧率。

### 3.5

**喷吹煤的制粉价格** pulverizing cost of injected coal

高炉喷吹原煤(洗精煤)在磨煤的过程中产生的电耗成本和载气成本。

4 原理与流程

4.1 原理

高炉富氧鼓风后,高炉煤气量减少,理论燃烧温度升高,高温区下移,炉顶温度降低,同时使冶炼行程加快,炉料在炉内的停留时间缩短;而喷吹煤粉后,煤气量增加,理论燃烧温度降低,中心煤气流发展,炉缸温度均匀,高中温区扩大,炉顶温度升高,焦比降低,炉料在炉内的停留时间增长。高炉富氧鼓风与喷吹煤粉两者配合具有协同作用。

4.2 工艺流程

高炉富氧喷煤工艺流程见图 1 和图 2。

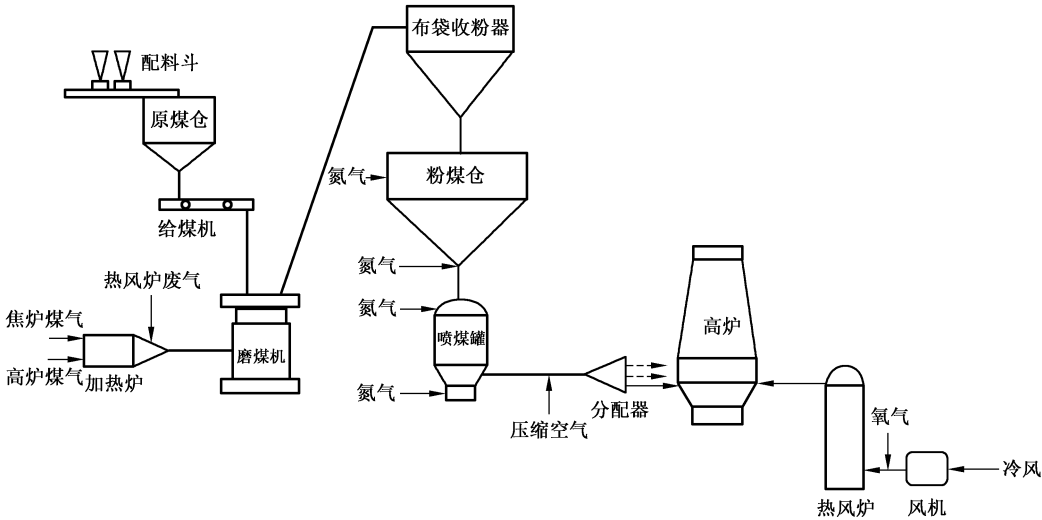


图 1 高炉富氧喷煤直接喷吹工艺流程示意图(机后富氧)

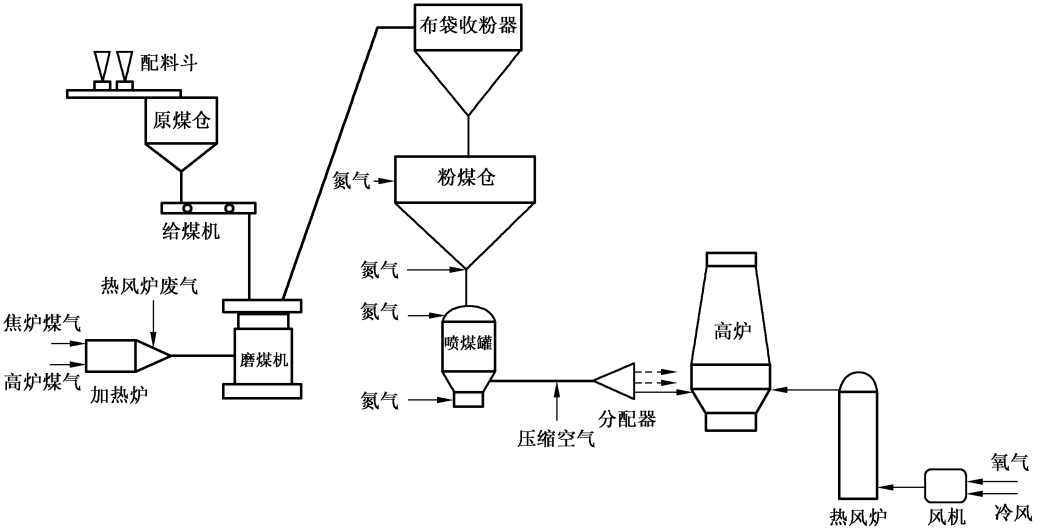


图 2 高炉富氧喷煤直接喷吹工艺流程示意图(机前富氧)

5 喷吹煤粉要求

5.1 原煤要求

- 5.1.1 烟煤的低位发热量不小于 26 000 kJ/kg,无烟煤的低位发热值应不低于 29 000 kJ/kg。
- 5.1.2 原煤硫含量按照 GB 50427 执行,原煤灰分中碱金属含量应小于 1.0%。
- 5.1.3 原煤的哈氏可磨性指数应在 50~90 之间,休止角应小于 42°,喷流性和流动性指数大于 60。
- 5.1.4 原煤使用没有结焦性的煤种,烟煤的胶质层指数应小于 10 mm。
- 5.1.5 无烟煤水含量应低于 10%,烟煤水含量应低于 16%。水分过高的原煤宜在煤场空干或用热废气通入原煤仓烘干。

5.2 入炉煤粉要求

经制粉后,喷吹进入高炉的煤粉挥发分( $V_{ad}$ )应小于 25%,灰熔点大于 1 400 °C,水分含量( $M_{ad}$ )小于 2%。全无烟煤喷吹时,入炉煤粉粒度小于 0.074 mm 的应达到 70%~80%;全烟煤喷吹时,入炉煤粉粒度小于 0.074 mm 的应达到 60%~65%。不同高炉对入炉煤粉质量要求应符合表 1 的规定。

表 1 不同高炉对入炉煤粉质量要求

炉容/m <sup>3</sup>	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000
灰分 $A_{ad}/\%$	≤12	≤11	≤10	≤9	≤9
硫分 $S_{t,ad}/\%$	≤0.8	≤0.8	≤0.8	≤0.7	≤0.7

6 喷吹煤性价比评估和优化搭配

6.1 煤粉性价比评价方法

6.1.1 采用性价比系数  $K$  评价喷吹煤的性价比,按式(1)计算:

$$K = Q / (P_1 + P_2) \dots\dots\dots (1)$$

- 式中:
- $K$  ——性价比系数;
- $Q$  ——有效发热值,单位为千焦每千克(kJ/kg);
- $P_1$  ——干基价格,单位为元每千克(元/kg);
- $P_2$  ——制粉价格,单位为元每千克(元/kg)。

6.1.2 有效发热值按式(2)计算:

$$Q = [(10 \times W_{Cad} / 12) \times 125.4] \times R_{c,i} - \left( \frac{10 \times W_{Mad}}{18} \times 124.5 \right) \\ - [(10 \times W_{Cad} / 12 - 10 \times W_{Oad} / 16) \times 408.8 + (10 \times W_{Oad} / 16) \times 283.4 + 5 \times W_{Had} \times 242 - Q_{net,ad}] \\ - 3\,511.2 \times W_{Aad} - 84 \times W_{Sad} \dots\dots\dots (2)$$

- 式中:
- $W_{Cad}$  ——煤粉中碳元素含量,以质量分数(%)表示;
- $R_{c,i}$  ——煤粉燃烧率,以质量分数(%)表示;
- $W_{Mad}$  ——煤粉空气干燥基水含量,以质量分数(%)表示;
- $W_{Had}$  ——煤粉中氢元素含量,以质量分数(%)表示;

$W_{\text{Oad}}$  ——煤粉中氧元素含量,以质量分数(%)表示;

$Q_{\text{net,ad}}$  ——煤粉低位发热量,单位为千焦每千克(kJ/kg);

$W_{\text{Aad}}$  ——煤粉中灰分含量,以质量分数(%)表示;

$W_{\text{Sad}}$  ——煤粉中硫分含量,以质量分数(%)表示。

#### 6.1.3 喷吹煤的干基价格按式(3)计算:

$$P_1 = P_0 / (1 - W_{\text{Mf}}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$P_0$  ——入厂价格,单位为元每千克(元/kg);

$W_{\text{Mf}}$  ——喷吹原煤的全水含量,以质量分数(%)表示。

#### 6.1.4 喷吹煤的制粉价格按式(4)计算:

$$P_2 = [(HGI_s - HGI_r) / HGI_s] \cdot E_c \cdot P_e + E_c \cdot P_e + [(F_s - F_r) / F_s] \cdot V_{\text{gas}} \cdot P_{\text{gas}} + V_{\text{gas}} \cdot P_{\text{gas}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$HGI_s$  ——标准可磨性指数;

$HGI_r$  ——原煤可磨性指数;

$E_c$  ——标准煤电耗,单位为千瓦时每千克(kW·h/kg);

$P_e$  ——单位电价,单位为元每千瓦时[元/(kW·h)];

$F_s$  ——标准煤流动性指数;

$F_r$  ——原煤流动性指数;

$V_{\text{gas}}$  ——标准煤气体消耗量,单位为立方米每千克(m<sup>3</sup>/kg);

$P_{\text{gas}}$  ——气体单价,单位为元每立方米(元/m<sup>3</sup>)。

### 6.2 混煤优化搭配方法

#### 6.2.1 混煤搭配的原则

混合后的煤粉要求有效发热值要高,燃烧性好并且混煤的挥发分要在制粉和喷吹系统安全范围以内。

#### 6.2.2 混煤搭配方法

应先通过喷吹煤性价比评价原则选择出几种性价比较高的煤种;基于制粉和喷吹系统安全条件,确定混煤挥发分含量,进行不同煤种的混合搭配;混合后的煤粉通过性价比评价原则优选出性价比高的混煤搭配方案,最后通过燃烧性试验确定出燃烧性最好的混煤搭配方案,即为最优的混煤搭配方案。

### 7 高炉富氧喷煤技术要求

#### 7.1 经济喷煤量

经济喷煤应根据不同高炉的原燃料条件(质量和价格情况)和操作水平而确定。经济喷煤量为高炉喷煤后铁水成本最低时的喷煤量。

#### 7.2 制氧方式

高炉炼铁用氧采用耗电低、成本低的纯度在85%~95%的工业氧气。制取低纯度工业氧气宜采用分子筛吸附制氧法。

### 7.3 富氧率的计算

高炉富氧率按式(5)计算:

$$f_o = \frac{\varphi_1 V_a + \varphi_0 V_o}{V_a + V_o} - \varphi_1 \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

$f_o$  ——富氧率,以%表示;

$V_o$  ——富氧量,单位为立方米每分( $\text{m}^3/\text{min}$ );

$V_a$  ——风量,单位为立方米每分( $\text{m}^3/\text{min}$ );

$\varphi_0$  ——高炉额外鼓入的氧气纯度,以%表示;

$\varphi_1$  ——当地空气中氧气纯度,以%表示。

### 7.4 经济富氧率的确定

7.4.1 氧气成本取决于制取每立方米氧的耗电量和电价,高炉经济用氧量取决于氧气消耗成本能否被富氧给高炉带来的效益所补偿。现代高炉炼铁的富氧水平较低的为1%~3%,较高的为12%~14%。

7.4.2 当风量固定时,吨铁效益最大时的富氧率为经济富氧率,经济富氧率  $f_e$  按式(6)计算:

$$f_e = \frac{\left( \frac{M}{1\,000} R P_K + \frac{\eta V_{BF} - \eta_0 V_{BF}}{\eta V_{BF}} \times P_{PI} - \frac{M}{1\,000} \times P_M - E \right) (a - 0.21) \eta V_{BF}}{24 \bar{V} P_{O_2}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

$f_e$  ——经济富氧率;

$E$  ——最大吨铁效益(适宜富氧率条件下),单位为元每吨铁(元/t);

$M$  ——煤比,单位为千克每吨铁(kg/t);

$R$  ——煤焦置换比;

$P_K$  ——焦炭价格,单位为元每吨(元/t);

$\eta$  ——高炉利用系数,单位为吨每立方米天 [ $\text{t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ];

$\eta_0$  ——不富氧时高炉利用系数,单位为吨每立方米天 [ $\text{t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ];

$V_{BF}$  ——高炉容积,单位为立方米( $\text{m}^3$ );

$P_{PI}$  ——吨铁利润,单位为元每吨(元/t);

$P_M$  ——入炉煤粉价格,单位为元每吨(元/t);

$\bar{V}$  ——平均风量,单位为立方米每小时( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$P_{O_2}$  ——高炉富氧气体价格(包含氧压机电耗成本),单位为元每立方米(元/ $\text{m}^3$ );

$a$  ——氧气纯度。

### 7.5 供氧方式

供氧方式可采用机后供氧和机前供氧。

### 7.6 操作原则

#### 7.6.1 鼓风机后送氧操作

7.6.1.1 设备调试、清洗等工作完毕后,氧气送至减压阀组前第一个截止阀,高炉生产正常时方可开始送氧操作。

7.6.1.2 确认减压阀组各阀门均处于关闭状态,其中快速切断阀、减压阀(调压阀)、流量调节阀是远距离操作阀门尤其要确认好。各仪表运转指示值处在正常值。

7.6.1.3 开氮气阀使减压阀组系统各阀门之间充氮均压,如无氮气管网供氮,也可临时用数个氮瓶作为充氮均压用,使阀门前后压差小于 0.3 MPa,方可开供氧总管进减压阀组前的第一个氧气总阀,而后开减压阀组出口与高炉冷风总管的阀,开完这两个阀门后人员撤离阀组区域。并关闭减压阀组中的快速切断阀、压力调节阀、流量调节阀。

7.6.1.4 远距离操作时,开快速切断阀,调节压力调节阀,使压力调节阀前后压力达到规定值后,开流量调节阀,氧气送入冷风总管,根据用氧量要求调节氧气流量值,以达到正常用量。

#### 7.6.2 短期(不大于 4 h)停氧操作

应先关快速切断阀,后关流量调节阀。如氧气调压站与冷风管道的距离较远,快速切断阀应设置于冷风管道较近区域。快速切断阀应设置冷风压力、超量和超压保护。

#### 7.6.3 长期(大于 4 h)停氧操作

应先关快速切断阀,再关氧气流量调节阀,紧接着关压力调节阀,最后关闭氧气总管与减压阀组相接的截止总阀、与冷风总管相接的截止阀。应将氧气总管及减压阀组内的氧气放尽,用氮气及干燥空气置换、保压。

#### 7.6.4 高炉定检时切换煤种操作

高炉定检时为确保煤粉仓内存放的煤粉不发生自燃,需要调整喷吹原煤配比,应停配烟煤。高炉送风后在没有热风炉烟气引入时,应全部为无烟煤制粉。高炉送风后较短时间可以恢复喷煤,这时应使煤粉仓内定检前应存放一定量的无烟煤煤粉。

#### 7.6.5 喷吹罐向高炉喷煤操作

喷吹罐向高炉喷煤应按以下步骤操作:

- a) 先联系高炉,确认好喷煤量和喷煤风口,插好喷枪;
- b) 开喷吹风阀;
- c) 开喷煤管路上各阀门;
- d) 开自动切断阀并投入自动;
- e) 开喷煤罐冲压阀,使罐内压力达到一定的经验数值后,关喷煤罐冲压阀;
- f) 开喷枪上的阀门并关闭倒吹阀;
- g) 开煤阀,开补压阀并调整到一定位置;
- h) 检查各喷煤风口、喷枪不漏煤并且煤流在风口中心线;
- i) 通知高炉已喷上煤粉。

#### 7.6.6 短期(小于或等于 8 h)停煤操作

应先关闭煤阀;然后根据高炉要求,停止对应风口的喷吹风,拔出对应风口喷枪。

#### 7.6.7 长期(大于 8 h)停煤操作

应先按照计划提前 0.5 h~1 h 把喷吹罐组内煤粉全部喷干净;然后根据高炉要求,关闭煤阀,停止对应风口的喷吹风,拔出对应风口喷枪。



## 8 设备与安全维护

### 8.1 干燥气体设备与安全维护

8.1.1 现代高炉采用热风炉烟气和燃烧炉烟气混合干燥气,其温度控制在磨煤机入口要求的温度范围( $250\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ )。根据生产条件,烟气燃烧炉可选用立式室状、卧式筒状和立式筒状。

8.1.2 干燥气系统安全维护的要点是防止煤气中毒和煤气爆炸。

8.1.3 为确保安全运行,燃烧炉炉腔温度最高不应超过 $1\,200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最低不应低于 $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。干燥气温度最高不应超过 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,宜维持在 $180\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,干燥气的氧含量不应超过 $6\%$ 。

### 8.2 制粉系统设备与安全维护

8.2.1 制粉系统宜采用一台风机和一级布袋收粉器的全负压制粉工艺。

8.2.2 原煤仓一般采用双曲线形设计,下部锥侧面与水平夹角大于 $65^{\circ}$ ,其有效贮煤量应为磨煤机台时产量 $8\text{ h}\sim 10\text{ h}$ 用,原煤仓前应设置电磁除铁器。

8.2.3 给煤机宜选用计量准确、调节灵活、密封性好、运行可靠的密封称重式给煤机。

8.2.4 磨煤机宜选用中速磨煤机。其维护重点是主轴和辊轴润滑、防止过热、电动机电流稳定(波动不超过 $10\text{ A}$ )、碾辊表面不规则磨损等。安全的要点是控制入口温度 $250\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,入口温度波动不超过 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,出口温度在 $80\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。采用烟气自循环工艺时,出口温度控制在上限 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,磨煤机入口烟气含氧量控制在 $6\%$ 左右,不应超过 $10\%$ 。磨煤机入口负压根据系统实际控制在 $300\text{ Pa}\sim 1\,000\text{ Pa}$ ,以入口不冒煤为原则。

8.2.5 布袋收粉器宜选用脉冲式。布袋材质宜用尼龙针刺毡。布袋收粉器的安全要点是防止局部积粉自燃和外表火源点燃。

8.2.6 排烟主风机的风量应大于或等于磨煤机最大台时产量时所需要的风量,风压应大于制粉系统总阻力 $30\%$ ,温度应大于 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或高于该点正常的温度 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

8.2.7 制粉系统的安全维护内容包括:应保持设备表面,厂房内无积粉和易燃物,定期清仓;定期检查除尘器,清除布袋灌肠;定期检测系统中的氧和可燃气体的含量;定期校验制粉系统的温度和压力仪表;对系统的压力容器应符合TSG 21的规定执行;定期检查消防设施、防爆器材。

### 8.3 煤粉输送系统设备与安全维护

#### 8.3.1 仓式泵

仓式泵是煤粉输送系统的主要设备,有下出料和上出料两种,可根据具体条件选用。仓式泵内煤粉温度不允许超过 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,存放时间不宜超过 $2\text{ h}$ 。

#### 8.3.2 输煤管网和阀门

输煤系统具有复杂而又庞大的输煤管网和阀组,以实现供煤灵活性。生产中应密切注视管道压力变化、输粉接受罐电子秤显示数变化和输送气体流量变化。出现堵塞,可采取分段清扫法或倒吹法处理。

#### 8.3.3 煤粉接受罐

煤粉接受罐是输送系统的终端,也是喷吹系统的上罐,接受罐上部设有类似于制粉系统的收粉脱气的布袋装置。接受罐还设有电子称量装置以校核仓式泵输出和接受罐收量,防止途中损失,也校核接受罐的煤粉量和喷吹煤量所对应计量等。

### 8.3.4 输煤系统的安全维护

8.3.4.1 煤粉仓、仓式泵、储煤罐、喷吹罐等罐体以及收粉设备灰斗壁、落粉管路等内壁应光滑,下料锥体壁与水平面夹角不应小于  $70^{\circ}$  或采用惰化气体流化器。

8.3.4.2 仓式泵、储煤罐、喷吹罐、空气分配器等压力容器的设计、制造及安装应遵守 TSG 21 的规定。

8.3.4.3 煤粉管道应减少法兰连接,内壁应光滑。

8.3.4.4 制粉管道布置应避免产生积存煤粉的死角,与水平面夹角不应小于  $45^{\circ}$ 。当必需布置水平管道时,额定负荷工况设计流速应不小于 25 m/s。

8.3.4.5 磨煤机出口以后的煤粉管道中的最小负荷工况设计流速应不小于 15 m/s。输煤、喷煤管道内流速不应小于沉降速度的 1.25 倍。

8.3.4.6 制粉系统应采用惰化气体作为干燥介质。负压系统末端的设计氧含量不应大于 12%,遵守 GB 16543 的规定。

8.3.4.7 用压缩空气作为输粉和喷吹的载送介质时,在紧急情况下应能立即转为氮气。

8.3.4.8 制粉系统的煤粉仓应设有氮气流态化装置和充氮装置。

8.3.4.9 输粉、喷吹系统中的仓式泵、储煤罐、喷吹罐等压力容器的加压和流化介质应采用氮气或其他惰化气体。

8.3.4.10 仓式泵、储煤罐、喷吹罐、煤粉仓等设备或装置应设有应急接通压缩空气管道、阀门的活接头,并能与氮气管路互换。

### 8.4 喷吹系统设备与安全维护

8.4.1 喷吹系统内喷吹罐的布置分为串罐式和并罐式。直接喷吹宜选用并罐式,而间接喷吹可选用串罐式。

8.4.2 喷吹罐向高炉喷吹煤粉,出粉方式分为总管加分配器和多管路。总管加分配器仅设一条管线通过设置在炉旁或炉顶平台的煤粉分配器,将煤粉均匀地分配到高炉风口,应采用这种方式供煤。

8.4.3 分配器。常用的分配器有瓶式、盘式和锥式。

8.4.4 喷枪。常用的喷枪形式主要有单煤枪、氧煤枪和套管枪。煤粉喷枪的材质一般应选用不锈钢耐热钢管,喷枪前端应选用耐热性更好的材质,在直吹管上应装有水冷或空冷套管。

#### 8.4.5 喷吹系统的安全维护

8.4.5.1 喷吹系统常遇到的故障是堵塞,需要用清扫法处理。为防止堵塞,应定期检查除尘器,清除布袋灌肠;定期检测系统中的氧和可燃气体的含量;定期校验制粉系统的温度和压力仪表。

8.4.5.2 为保证喷吹安全应定期进行环境氧浓度、一氧化碳浓度的测定;在使用氮气作为充压流化和喷吹时,应设置氮气泄漏报警;应定期对技术人员、操作人员进行相应的生产操作和防火防爆培训。

### 8.5 氧气输送安全控制

8.5.1 氧气经过调压站调节和控制,应降低到 0.6 MPa~0.8 MPa,并应符合 GB 16912 的规定。

8.5.2 应在每支管上设置各自的安全控制单元,实施单支管安全控制和保护。

8.5.3 供氧系统应能够对每支氧煤枪均匀供氧。

8.5.4 当高炉风口出现事故时,应能及时切断相应氧煤枪的氧气并补吹氮气。

8.5.5 由于倒罐用压缩空气是间断性的,应考虑喷吹和倒罐用压缩空气用同一压缩空气气源。

8.5.6 常规脱水器和贮气罐应采用脱机械水,采用空气干燥净化装置脱除喷吹空气中的水和油。

8.5.7 氧气输送管道应使用不锈钢管和铜质阀门,在与氧枪链接时,应使用一段金属和特别的耐高压软管,所有输氧的管道阀门、法兰和垫片等都须除油脱脂。

8.5.8 供氧设施由氧气输送管线和调节控制装置两部分组成,每座高炉应设置一套调节控制管路和阀门。

## 9 环保控制要求

9.1 大气排放应符合 GB 28663 的规定,高炉富氧喷煤系统粉尘排放浓度应小于  $25\text{ mg/m}^3$ ,岗位粉尘浓度小于  $8.0\text{ mg/m}^3$ 。

9.2 噪声控制应执行 GB 12348 的规定,工作环境噪声应小于 85 dB,每个工作日接触噪声时间为 8 h 的允许噪声。

9.3 车间洒水产生的地坪洗水和生活污水排放应符合 GB 13456 的要求。

---