



中华人民共和国国家标准

GB/T 33969—2026

代替 GB/T 33969—2017

高炉富氧喷煤技术规范

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

2026-05-25 发布

2026-12-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替 GB/T 33969—2017《高炉富氧喷煤技术规范》，与 GB/T 33969—2017 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 更改了范围(见第1章,2017年版的第1章)；
- b) 删除了喷吹煤性价比、高炉经济富氧率、喷吹煤的制粉价格的术语和定义(见2017年版的3.3、3.4、3.5)；
- c) 更改了原理与流程(见第4章,2017年版的第4章)；
- d) 更改了入炉燃料要求(见5.2,2017年版的5.2)；
- e) 删除了设备与安全维护要求(见2017年版的第8章)；
- f) 增加了计量设备维护与智能控制要求(见8.1~8.2)；
- g) 增加了高炉富氧喷煤产生的温室气体核算和排放要求(见9.4)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国钢铁工业协会提出。

本文件由全国钢标准化技术委员会(SAC/TC 183)归口。

本文件起草单位：北京科技大学、中天钢铁集团有限公司、山东九羊集团有限公司、冀南钢铁集团有限公司、云南曲靖呈钢钢铁(集团)有限公司、内蒙古包钢钢联股份有限公司、北京首钢股份有限公司、冶金工业信息标准研究院、芜湖新兴铸管有限责任公司、潞安化工集团有限公司。

本文件主要起草人：张建良、徐润生、李克江、王姜维、叶玉奎、许伯彰、王树华、林炳生、白晓光、贾新、陈剑、高畅游、马军祥、焦克新、刘征建、仇金辉、马方清、韩怀宾、李延芝、杨立航、杨帆、王荣刚、魏瑞瑞、徐海东、王振阳、张若鹏、李洋、黄雅彬、宗燕兵、于经尧、杨晓艳、郑占斌、刘彦祥、张缘春、李玉柱、王榕榕、于恒亮、郭卓团、付利俊。

本文件于2017年首次发布,本次为第一次修订。

高炉富氧喷煤技术规范

1 范围

本文件规定了高炉富氧喷煤技术的原理与流程、喷吹燃料要求、技术要求、操作原则、计量设备维护与智能控制和环保要求。

本文件适用于新建、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

下列文件的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 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范
- 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/T 32151.5 温室气体排放核算与报告要求 第5部分：钢铁生产企业
- GB/T 44029 低阶粉煤外热式连续干馏技术规范
- GB 50427 高炉炼铁工程设计规范
- GBZ/T 229.4 工作场所职业病危害作业分级 第4部分：噪声
- TSG 21 固定式压力容器安全技术监察规程

3 术语和定义

GB/T 44029 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

高炉富氧喷煤 pulverized coal injection with oxygen-enriched 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。

注：喷吹煤有效发热值单位为千焦每千克（kJ/kg）。

4 原理与流程

4.1 原理

高炉风口回旋区是一个高温高压高速射流冲击形成的有限动态空间，其中发生着高温下的瞬态燃

烧与剧烈湍流运动。富氧喷煤是同时向高炉风口回旋区喷吹煤粉和氧气,以煤粉部分替代焦炭的高炉炼铁技术。喷入的煤粉会导致风口回旋区理论燃烧温度下降,煤气量增大,而富氧能够提高风口回旋区理论燃烧温度,减少煤气量,补偿喷煤引起的冶炼负面效果,维持高炉稳定运行。

4.2 工艺流程

高炉富氧喷煤工艺流程主要包括煤粉制备与输送、氧气补充、风口喷吹和高炉冶炼,风机后富氧工艺流程示意图见图 1,风机前富氧工艺流程示意图见图 2。

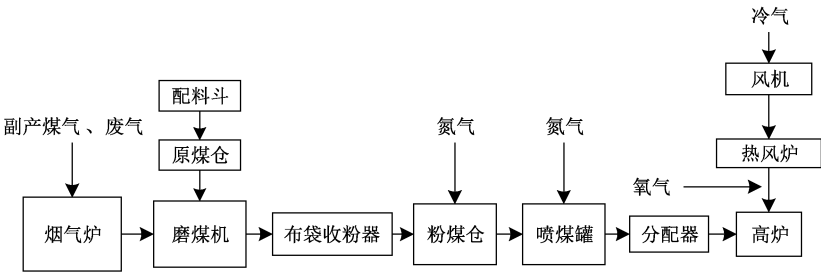


图 1 高炉富氧喷煤直接喷吹工艺流程示意图(风机后富氧)

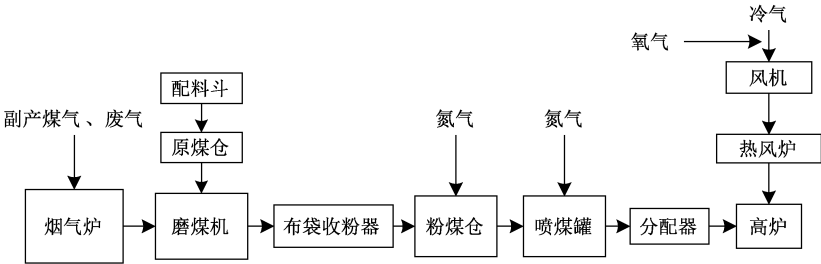


图 2 高炉富氧喷煤直接喷吹工艺流程示意图(风机前富氧)

5 喷吹燃料要求

5.1 原煤要求

- 5.1.1 烟煤的低位发热值不应低于 26 000 kJ/kg,无烟煤的低位发热值不应低于 29 000 kJ/kg。
- 5.1.2 原煤硫含量应满足 GB 50427 的要求;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为 50~90,休止角应小于 42°,喷流性和流动性指数应大于 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%。

5.2 入炉燃料要求

5.2.1 经制粉后,喷吹进入高炉的煤粉灰熔点应大于 1250 ℃,水分含量应小于 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灰分和硫分要求应符合表 1 的规定。

表 1 不同高炉对入炉煤粉灰分和硫分要求

炉容/m ³	1 000<V≤2 000	2 000<V≤3 000	3 000<V≤4 000	4 000<V≤5 000	V>5 000
灰分 A _{ad} /%	≤12	≤11	≤10	≤9	≤9
硫分 S _{t,ad} /%	≤0.7	≤0.7	≤0.7	≤0.6	≤0.6

- 5.2.2 高炉喷吹焦化除尘灰入炉粒度应不大于入炉无烟煤粒度,灰分不应超过 12%。
- 5.2.3 高炉喷吹生物质、有机固废(废塑料、废橡胶)等燃料时,入炉粒度应不大于烟煤入炉粒度,水分含量应小于 2%,灰分、碱金属、氯元素、硫元素等含量不应超过喷吹煤的要求。
- 5.2.4 高炉喷吹循环煤气、富氢气体和纯氢气体时,气体应先进行净化、加压处理,应满足高炉喷吹要求。

6 技术要求

6.1 一般要求

6.1.1 高炉富氧率与喷煤量的确定方法

高炉富氧率与喷煤量应根据炉容、原料条件、冶炼目标及技术经济分析综合确定。应通过富氧与喷煤的协同优化,实现高炉稳定顺行、降低燃料比和增产节能的目标。

6.1.2 高性价比煤种的选择方法

高性价比煤种的选择应开展喷吹煤性价比评价,原则为煤种的有效发热值高和性价比指数大,计算方法见附录 A。

6.1.3 多煤种的优化搭配方法

- 6.1.3.1 混合后的煤粉有效发热值、燃烧性、挥发分应在制粉和喷吹系统安全范围以内。
- 6.1.3.2 先通过喷吹煤性价比评价原则选择几种性价比较高的煤种;基于制粉和喷吹系统安全条件,确定喷吹煤挥发分上限,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喷吹煤搭配方案。

6.1.4 高炉经济喷煤量的确定方法

高炉喷煤量应在 150 kg/t~200 kg/t,经济喷煤量为高炉喷煤后铁水成本最低时的喷煤量,经济喷煤应根据不同高炉的原燃料条件(质量和价格情况)和操作水平确定。

6.1.5 高炉经济富氧率的确定方法

高炉富氧率应在 3%~10%,经济富氧率宜考虑氧气喷吹量、喷煤量、煤焦置换比、氧气成本,具体计算方法可见附录 B。

6.2 原煤干燥系统

- 6.2.1 烟气炉的干燥气温度控制在磨煤机入口要求的温度范围(250±50)℃。根据生产条件,烟气炉应选用立式室状、卧式筒状和立式筒状。
- 6.2.2 为确保安全运行,烟气炉炉腔温度最高不应超过 1 200 ℃,最低不应低于 700 ℃。干燥气温度最

高不应超过 400 °C,应维持在 180 °C~350 °C,干燥气的氧气含量不应超过 6%,全烟煤喷吹时干燥气的氧气含量不应超过 3%。干燥气应严格控制关键参数与设置分级预警机制,超出区间进行预警提示。

6.3 制粉系统

6.3.1 制粉系统应采用 1 台风机和一级布袋收粉器的全负压制粉工艺。

6.3.2 原煤仓采用双曲线形设计,下部锥侧面与水平夹角大于 65°,其有效贮煤量应为磨煤机运行 8 h~10 h 的用煤量,原煤仓前应设置电磁除铁器。原煤仓应设置温度监测和氧气含量监测装置。

6.3.3 给煤机应选用密封称重式给煤机。

6.3.4 磨煤机应选用中速磨煤机。确保主轴和辊轴润滑、防止过热、电动机电流稳定(波动不应超过 10 A)、碾磨表面不规则磨损等。控制入口温度应低于粉煤着火点 50 °C,入口温度波动不应超过 5 °C,出口温度应在(80±10)°C。采用烟气自循环工艺时,出口温度控制在上限 90 °C 左右,磨煤机入口烟气含氧量控制在 6%左右,不应超过 10%。全烟煤喷吹时,磨机入口氧气含量不应超过 4%,磨机排渣口防止空气倒吸。磨煤机入口负压根据系统实际控制在 300 Pa~1 000 Pa,以入口不冒煤为原则。

6.3.5 布袋收粉器应选用脉冲式。布袋材质宜采用尼龙针刺毡。布袋收粉器应防止局部积粉自燃和外表火源点燃。采用无烟煤喷吹时,布袋入口温度应维持在 80 °C 左右,不应高于 90 °C,布袋出口氧气含量不应高于 12%;全烟煤喷吹时,布袋入口温度维持在 70 °C 左右,不应高于 80 °C,布袋出口氧气含量不应高于 6%;布袋出口烟气含尘量应小于 10 mg/m³。

6.3.6 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 °C 或高于该点正常的温度 50 °C。

6.3.7 制粉系统应保持设备表面干净无异物,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;系统的压力容器应符合 TSG 21 的规定;定期检查消防设施、防爆器材。

6.4 煤粉输送系统

6.4.1 仓式泵内煤粉温度不应超过 80 °C,存放时间不应超过 2 h。

6.4.2 输煤系统应具备供煤灵活性。生产中应确保输煤管网管道压力变化、输粉接收罐电子秤显示数据变化和输送气体流量正常。当出现堵塞,可采取分段清扫法或倒吹法处理。

6.4.3 煤粉接收罐应设有电子称量装置以校核仓式泵输出和接收罐收量。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°或采用惰化气体流化器。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。

6.4.4 煤粉管道内壁应光滑,减少管道上法兰连接。

6.4.5 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°。当布置水平管道时,额定负荷工况设计流速不应小于 25 m/s。

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

6.4.7 负压系统末端的设计应符合 GB 16543 的规定,且氧气含量不应大于 12%。全烟煤喷吹时,负压系统末端的设计氧气含量不应大于 8%。

6.4.8 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。全烟煤喷吹时,应采用氮气或其他惰性气体作为载气。

6.4.9 制粉系统的煤粉仓应设有氮气流态化装置和充氮装置。

6.4.10 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性气体。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。

6.5 煤粉喷吹系统

6.5.1 喷吹系统内喷吹罐的布置分为串罐式和并罐式。直接喷吹应选用并罐式,间接喷吹可选用串罐式。

6.5.2 喷煤罐向高炉喷吹煤粉,出粉方式应采用总管加分配器方式。

6.5.3 煤粉喷枪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。

6.5.4 喷吹系统应采用清扫法处理,定期检查除尘器,清除布袋积粉;定期检测系统中的氧气和可燃气体的含量;定期校验制粉系统的温度和压力仪表。

6.5.5 全烟煤或粒煤喷吹时,弯管处安装温度传感器监测区域温度变化,接近自燃临界或异常升温时,及时排查积煤、摩擦发热等问题;管道沿程设置压力监测装置,实时捕捉压力波动情况,超出安全区间则进行异常预警,及时排查管道堵塞、泄漏或气流不稳定等问题,防范安全事故。

6.5.6 应定期进行环境氧气浓度、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。

6.6 氧气输送系统

6.6.1 氧气经过调压站调节和控制,风机前富氧应降低至 0.03 MPa~0.015 MPa,机后富氧应降低至 0.6 MPa~0.8 MPa,并应符合 GB 16912 的规定。

6.6.2 应在每段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。

6.6.3 供氧系统应能对每支氧煤枪均匀供氧。

6.6.4 当高炉风口出现故障时,应及时切断相应氧煤枪的氧气并补吹氮气。

6.6.5 喷吹和倒罐用压缩空气应使用相同压缩空气气源。

6.6.6 应采用空气干燥净化装置脱除喷吹空气中的水和油。

6.6.7 氧气输送管道应使用不锈钢管和铜质阀门,在与氧枪连接时,应使用一段金属和耐高压软管,输氧的管道阀门、法兰和垫片等均应除油脱脂。

6.6.8 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 1 套调节控制管路和阀门。

7 操作原则

7.1 高炉喷煤安全操作

7.1.1 高炉喷煤启动操作

喷吹罐按以下操作向高炉喷煤:

- a) 确定喷煤量,插好喷枪;
- b) 开启喷吹风阀;
- c) 开启喷煤管路上各阀门;
- d) 开启自动切断阀并投入自动;
- e) 开启喷煤罐充压阀,使罐内压力大于高炉压力 0.2 MPa~0.3 MPa 后,关喷煤罐充压阀;
- f) 开启喷枪上的阀门并关闭倒吹阀;
- g) 开启煤阀、补压阀并调整到喷吹位置;
- 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。

7.1.2 高炉定期检修时切换煤种操作

高炉定期检修时,应停配烟煤。高炉送风后在没有热风炉烟气引入时,应全部采用无烟煤制粉。高炉送风后较短时间可恢复喷煤。

7.1.3 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。

7.1.4 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;然后再根据高炉要求,关闭煤阀,停止对应风口的喷吹风,拔出对应风口喷枪。

7.2 高炉富氧安全操作

7.2.1 送氧启动操作

7.2.1.1 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。

7.2.1.2 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)、流量调节阀等远距离操作阀门应确认好。各仪表运转指示值处在正常值。

7.2.1.3 开启氮气阀门使减压阀组系统各阀门之间充氮压力的平衡,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,方可开启供氧总管进入减压阀组前的第一个氧气总阀门,而后开启减压阀组出口与高炉冷风总管的阀门,开启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。

7.2.1.4 远距离操作时,开启快速切断阀,调节压力调节阀,使压力调节阀前后压力达到规定值后,开启流量调节阀,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。

7.2.2 短期(小于或等于 4 h)停氧操作

应先关闭快速切断阀,后关闭流量调节阀。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。

7.2.3 长期(大于 4 h)停氧操作

应先关闭快速切断阀,再关闭氧气流量调节阀,紧接着关闭压力调节阀,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。

8 计量设备维护与智能控制

8.1 计量设备维护

8.1.1 煤粉、氧及载气的各类计量仪表应纳入定期维护计划,其检定周期应符合国家计量检定规程的要求,确保计量数据的准确性和可靠性。

8.1.2 应建立计量设备台账和维护记录,对关键计量仪表,如单支管煤粉流量计,应进行定期清洗、校准和零点校验。

8.1.3 维护作业时,应执行安全操作程序。对于氧气计量管路,维护前应使用干燥、无油的氮气进行吹扫,确保管路内无油脂和可燃物。

8.1.4 计量系统的维护应包括对数据传输线路和显示单元的检查,确保中控室显示数据与现场仪表读数一致。

8.2 智能控制

8.2.1 喷煤系统应建立以专家系统或智能算法为核心的集成控制系统,保证氧气总管压力、各支管流量与喷煤系统的智能联动与精确匹配。

8.2.2 系统应具备智能诊断与预警功能,通过实时分析煤粉流量、压力的异常波动,自动判断并预警喷煤枪堵塞、破损或管道泄漏等故障。

8.2.3 智能控制系统应根据高炉炉况的实时变化,自动计算并动态调节各支管的煤粉分配,保证喷煤量的自动寻优与稳定控制。

8.2.4 当系统触发事故切断条件时,智能控制系统应能自动执行预设的安全联锁程序,并生成事故处理报告。

8.2.5 智能控制系统应具备数据存储和历史趋势分析功能。

9 环保要求

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 mg/m^3 ,岗位粉尘浓度应小于 8.0 mg/m^3 。

9.2 噪声控制应符合 GBZ/T 229.4 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。

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。

9.4 高炉富氧喷煤产生的温室气体核算和排放应符合 GB/T 32151.5 的要求。

附录 A

(资料性)

高性价比煤种的选择方法

A.1 采用性价比系数 K 评价喷吹煤的性价比,按式(A.1)计算:

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

式中:

- K ——性价比系数,单位为千焦每元(kJ/元);
 Q ——喷吹煤有效发热值,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 ——喷吹煤的制粉价格,单位为元每千克(元/kg)。

A.2 喷吹煤有效发热值按照式(A.2)计算:

$$Q = \left[\left(\frac{1\,000}{100} \times \frac{W_{C_{ad}}}{12} \right) \times 125.4 \right] \times R_{c,i} - \left(\frac{1\,000}{100} \times \frac{W_{M_{ad}}}{18} \times 124.5 \right) - \left[\left(\frac{1\,000}{100} \times \frac{W_{C_{ad}}}{12} - \frac{1\,000}{100} \times \frac{W_{O_{ad}}}{16} \right) \times 408.8 + \left(\frac{1\,000}{100} \times \frac{W_{O_{ad}}}{16} \right) \times 283.4 + 5 \times W_{H_{ad}} \times 242 - Q_{net,ad} \right] - 3\,511.2 \times W_{A_{ad}} - \frac{8\,400}{100} \times W_{S_{ad}} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

- 1 000 ——千克到克转换系数;
 $W_{C_{ad}}$ ——煤中碳元素含量,%;
12 ——碳的相对原子质量,单位为克每摩尔(g/mol);
125.4 ——碳与氧反应生成一氧化碳放出的热量,单位为 kJ/mol;
 $R_{c,i}$ ——煤的燃烧率,%;
 $W_{M_{ad}}$ ——煤空气干燥基水含量,%;
18 ——水的相对分子质量,单位为克每摩尔(g/mol);
124.5 ——水与碳反应生成一氧化碳和氢气吸收的热量,单位为千焦每摩尔(kJ/mol);
 $W_{O_{ad}}$ ——煤中氧元素含量,%;
16 ——氧的相对原子质量,单位为克每摩尔(g/mol);
408.8 ——碳与氧反应生成二氧化碳放出的热量,单位为千焦每摩尔(kJ/mol);
283.4 ——一氧化碳与氧反应生成二氧化碳放出的热量,单位为千焦每摩尔(kJ/mol);
5 ——氢单位转换系数;
 $W_{H_{ad}}$ ——煤中氢元素含量,%;
242 ——氢气与氧反应生成水放出的热量,单位为千焦每摩尔(kJ/mol);
 $Q_{net,ad}$ ——煤的低位发热量,单位为千焦每千克(kJ/kg);
3 511.2 ——灰分成渣热,单位为千焦每千克(kJ/kg);
 $W_{A_{ad}}$ ——煤中灰分含量,%;
8 400 ——脱硫反应吸热,单位为千焦每千克(kJ/kg);
 $W_{S_{ad}}$ ——煤中硫分含量,%。

A.3 喷吹煤的干基价格按式(A.3)计算:

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

式中:

P_0 ——入厂价格,单位为元每千克(元/kg);
 W_{Mf} ——喷吹原煤的全水含量,%。

A.4 喷吹煤的制粉价格按式(A.4)计算:

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

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_{gas} ——标准煤气体消耗量,单位为立方米每千克(m³/kg);
 P_{gas} ——气体单价,单位为元每立方米(元/m³)。

附录 B

(资料性)

高炉经济富氧率的确定方法

B.1 高炉富氧率按式(B.1)计算:

$$f_0 = \frac{\varphi_1 V_a + \varphi_0 V_o}{V_a + V_o} \times 100\% - \varphi_1 \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

 f_0 ——富氧率, %; φ_1 ——当地空气中氧气体积分数, %; V_a ——风量, 单位为立方米每分(m^3/min); φ_0 ——高炉额外鼓入的氧气体积分数, %; V_o ——富氧量, 单位为立方米每分(m^3/min)。B.2 高炉经济富氧率 f_e 按式(B.2)计算:

$$f_e = \frac{\left(\frac{M}{1\,000} RP_K + \frac{\eta V_{BF} - \eta_0 V_{BF}}{\eta V_{BF}} \times P_{PI} - \frac{M}{1\,000} \times P_M - E \right) (a - 0.21) \eta V_{BF}}{24 \bar{V} P_{O_2}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

 f_e ——高炉经济富氧率, %; M ——煤比, 单位为千克每吨 (kg/t);

1 000——质量单位转换系数;

 R ——煤焦置换比; P_K ——焦炭价格, 单位为元每吨 (元/t); η ——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 (m^3); η_0 ——不富氧时高炉利用系数, 单位为吨每立方米天 [$\text{t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$]; 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); E ——最大吨铁效益 (适宜富氧率条件下), 单位为元每吨 (元/t); a ——氧气体积分数, %;

0.21——空气中氧气的体积分数基准值;

24——每天的工作时长, 单位为小时 (h);

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

