

团 体 标 准

T/CIECCPA XXX—202X

转炉煤气全干法显热回收绿色低碳 技术要求

Technical standard for green and low-carbon sensible heat recovery of
converter gas by all-dry process

（征求意见稿）

202X - XX - XX 发布

202X - XX - XX 实施

中 国 工 业 节 能 与 清 洁 生 产 协 会 发 布

目 次

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 全干法显热回收系统组成与工艺流程 2

5 全干法显热回收系统运行 4

6 公用系统 5

7 安全、职业健康与消防 6

8 全干法显热回收系统能效计算 6

附录 9

参考文献 10

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。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。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。

本文件主要起草单位：内蒙古包钢钢联股份有限公司、中国科学院力学研究所、苏州海陆重工股份有限公司、江苏中科海陆工程科技有限公司

本文件主要起草人：魏小林，李博，赵京，张昭，梁志刚，倪鑫，樊永在，姜涛，赵保国，王海亮，翟昱明，于海涛，张文学，徐元生，徐冉，张卫兵，钱飞舟，申海新，李腾，李森，胡法议，周晴，盛军，孟丽芳，刘俊松（补充人员）

转炉煤气全干法显热回收绿色低碳技术要求

1 范围

本文件规定了转炉煤气全干法显热回收绿色低碳技术的术语定义、系统设计、工艺流程、设备性能、运行管理、能效评估及安全环保等要求。

本文件适用于钢铁企业转炉煤气全干法显热回收绿色低碳系统的规划、设计、施工、验收、运行及技术改造。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本规范必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本规范；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/T 1028 《工业余能资源评价方法》
- GB 28664 《钢铁冶炼工业大气污染物排放标准》
- GB/T 34194 《转炉工序能效评估导则》
- GB/T 45754 《转炉一次烟气干法净化与煤气回收系统设备技术规范》
- GB 50016 《建筑设计防火规范》
- GB 51135 《转炉煤气净化及回收工程技术规范》

3 术语和定义

HJ 435 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

转炉煤气显热 **sensible heat of converter gas**

经汽化冷却烟道降温后的 700-1000℃转炉煤气携带的物理热。

3.2

全干法显热回收 **all-dry sensible heat recovery**

利用余热回收装置取代喷水/水雾（OG/LT 法）的降温除尘方式，实现转炉煤气的全干式净化回收。

注：OG 全称 oxygen converter gas recovery，LT 全称 Lurgi-Thyssen。

3.3

抗磨损显热回收汽化烟道 **Anti-wear sensible heat recovery vaporization flue**

连接全干法系统设备首末端，同时具备显热回收的功能，可以有效应对转炉灰尘磨蚀导致使用寿命降低难题。

3.4

抗热震高旋气固分离器 **thermal shock resistant high-spin gas-solid separator**

用于转炉煤气的粗除尘，实现高温煤气中粗颗粒的初步分离与脱除，同时可以有效应对转炉煤气温度、流量周期性大范围波动引发的热震。

3.5

内流自清式急冷换热器 **internal flow self-cleaning quench heat exchanger**

用于转炉煤气的冷却降温，实现转炉煤气显热回收，能够利用自身纵向冲刷，减少灰尘在换热管壁的沉积。

3.6

清灰/防爆一体化执行装置 ash cleaning and explosion protection integrated actuator

用于转炉煤气显热回收系统中沉积灰的清除，同时存在煤气爆炸风险时，具备煤气稀释功能，避免爆炸问题的发生。

4 全干法显热回收系统组成与工艺流程

4.1 主系统组成

4.1.1 抗磨损显热回收汽化烟道

4.1.1.1 烟道采用中压自然循环，工作压力根据实际需求制定，由高压无缝钢管和扁钢组成的受热面，与进口集箱、出口集箱组成；

4.1.1.2 烟道采用圆筒形管板式结构，受热面管束纵向布置为膜式水冷壁，为防止汽水分层部分受热管内设置扰流板；

4.1.1.3 烟道中部适当位置设置检修人孔，靠近出口集箱处受热面上各设置两个测温、测压管；

4.1.1.4 烟道上设置一组弹簧吊架和一组滑动支座用以支撑一段烟道；

4.1.1.5 烟道入口与转炉汽化冷却烟道末端之间设有非金属补偿器，用法兰连接；

4.1.1.6 入口膨胀节：一端采用“死法兰”焊接固定法兰，另一端采用“活法兰”活套法兰或者不焊接采用翻边。

4.1.2 抗热震高旋气固分离器

4.1.2.1 高旋气固分离器采用由内构件限定流体按设定流路流动、抑制湍流大涡、强化流体旋转；

4.1.2.2 高旋气固分离器设计分离效率不低于 60%，分离的高温灰尘需经冷灰机降温后排出。

4.1.3 内流自清式急冷换热器

4.1.3.1 急冷换热器采用煤气走管程，水走壳程，水循环采用自然循环，循环水在不同受热面位置压力、流速不同，可最大程度降低排烟温度；

4.1.3.2 急冷换热器能够利用自身纵向冲刷以及配套的清灰装置，可有效避免换热器的积灰；

4.1.3.3 急冷换热器在缩口增加耐磨段，能够最大程度减少灰颗粒冲刷对换热器的磨损，使得余热回收系统运行更加安全、可靠；

4.1.3.4 急冷换热器若出现管束漏的情况，可将管束两侧封堵，待与转炉同步检修时再进行更换；

4.1.3.5 急冷换热器可配套防膨胀结构，通过密封板、上密封法兰和下密封法兰之间的连接段以及石棉绳抵消掉膨胀，从而确保急冷换热器的安全可靠运行；

4.1.3.6 急冷换热器出口与去往精除尘系统管道入口连接。

4.1.4 清灰/防爆一体化执行装置

4.1.4.1 清灰/防爆一体化执行装置由压力传感器、气体成分检测装置以及宽频氮气脉冲管组成；

4.1.4.2 压力传感器和气体成分检测装置布置在全干法显热回收系统进出口位置，宽频氮气脉冲管按照实际情况在易积灰位置布置；

4.1.4.3 清灰/防爆一体化执行装置启停控制由检测到的全干法系统出口压力以及煤气成分决定，装置内嵌入先进控制系统，具备系统积灰以及煤气爆炸预判功能。

4.2 辅助配套系统组成

4.2.1 缓冲水箱

- 4.2.1.1 缓冲水箱主要起到在运行过程中储存水量，保证系统供水；
- 4.2.1.2 当补水不足或出现故障时，缓冲水箱可以使系统稳定运行一段时间；
- 4.2.1.3 缓冲水箱可作为冷灰机冷却管路的循环水罐。

4.2.2 除氧器

除氧器的主要作用是除去给水中的氧气，保证给水的品质。

4.2.3 汽包

- 4.2.3.1 汽包通过上升管和下降管与转炉煤气全干法系统装置构成循环回路，用于产生蒸汽；
- 4.2.3.2 汽包内部安装有给水、加药、排污和蒸汽净化等装置，以改善蒸汽品质；
- 4.2.3.3 下降管入口处设有防旋涡装置，可减少汽水循环阻力；
- 4.2.3.4 汽水分离装置采用不锈钢金属除雾器和匀汽板结构，保证饱和蒸汽出口含水率不超过 2%。

4.2.4 蓄热器

蓄热器通过不断的充、放热过程，使系统产生的蒸汽能够比较平稳的输送给蒸汽管网。

4.2.5 水泵

水泵用于全干法系统中装置的给水以及循环冷却，分为给水泵和循环泵。

4.2.6 泄爆阀

- 4.2.6.1 转炉煤气全干法显热回收系统采用垂直式多级泄爆阀，泄爆后阀盖自动回落；
- 4.2.6.2 当系统压力超过设定压力时阀门迅速打开，并能在释放能力后自动关闭复位，防止发生更大的爆炸破坏设备和管道；
- 4.2.6.3 泄爆阀具有带法兰盘的阀体短管，通过螺杆和支承环相连，螺杆上具有滑动阀杆，支承环上具有多级阀盖限压限位复位弹簧套筒。

4.2.7 灰尘收集装置

全干法系统分离下来的灰尘利用灰尘收集装置进行收集和临时储存。

4.3 整体工艺流程

- 4.3.1 转炉煤气经汽化冷却烟道降温至 700-1000℃。
- 4.3.2 转炉煤气经全干法显热回收系统冷却降温后，出口煤气温度降至 200℃以下，回收的煤气显热用于生产饱和蒸汽，蒸汽作为他用；
- 4.3.3 转炉煤气进入高旋气固分离器去除大颗粒粉尘，除尘效率大于 60%，分离出来的灰尘经冷灰机降温后排出；
- 4.3.4 经过降温除尘后的转炉煤气进入到精除尘装置，如 LT 工艺的静电除尘器、OG 工艺的环境文氏管或者金属膜除尘器等，确保颗粒物排放符合标准；
- 4.3.5 经过精除尘后的合格煤气进入煤气柜储存，不合格煤气通过烟囱进行燃烧放散。

4.4 蒸汽利用工艺流程

- 4.4.1 蒸汽直接利用：发电或拖动风机直接节电等；
- 4.4.2 并入蒸汽管网，去其他需要利用蒸汽的工艺。

5 全干法显热回收系统运行

5.1 系统运行要求

- 5.1.1 生产准备工作就绪，主、辅岗运行人员配备齐全，经过培训具备上岗条件；
- 5.1.2 通讯联系畅通，工业电视监控系统投入；
- 5.1.3 厂房内沟道盖板齐全，楼梯、步道、护栏完好，所有脚手架拆除，杂物清理干净；
- 5.1.4 工业照明、事故照明完好，保证照明充足；
- 5.1.5 相关仪控设备及电气设备安装、校验完毕，经静态验收合格；
- 5.1.6 系统具备在控制室操作画面上启、停操作设备的条件；
- 5.1.7 系统各设备按图纸要求安装完毕，设备安装工作应结束；
- 5.1.8 系统内所有开关均已完成调试，动作灵活、可靠，系统内各主、辅设备已送电至工作位置；
- 5.1.9 电气设备的引线、接地线完好无损，连接牢固；
- 5.1.10 各转动设备润滑部位按要求加油完毕，油位正常；
- 5.1.11 设备各紧固件无松动、脱落、断列现象；
- 5.1.12 与运行相关的热工、电气仪表安装校验完毕，能投入使用；
- 5.1.13 电动机接线良好，测量绝缘应合格；
- 5.1.14 试运周围场地内无易燃、易爆物，消防系统投入并配备必要的消防器材；
- 5.1.15 系统内已按设计完成管道的保温，油漆和色标；
- 5.1.16 所有设备均已单体试运完毕，验收合格能投入使用。

5.2 系统运行前检查

- 5.2.1 检查水泵运行状态，水泵油位是否需要补充，检查泵冷却水是否通畅；
- 5.2.2 检查安全阀、泄爆阀是否可以正常起跳，泄爆阀线路、传感器有无问题；
- 5.2.3 检查水箱内是否有大量污泥，应及时清理；
- 5.2.4 检查设备螺栓紧固、连接位置是否有跑冒滴漏现象；
- 5.2.5 检查人孔门是否均已封堵以及气密性良好；
- 5.2.6 检查现场就地仪表以及远传仪表示数是否正常，是否有损坏；
- 5.2.7 检查集水器管路是否存在漏水问题；
- 5.2.8 检查系统烟气管道内是否存有作业时的遗留工具、钢板等，及时清理；
- 5.2.9 检查除尘器灰仓应有存灰，保证系统密封；
- 5.2.10 详细检查系统阀门、仪表、动设备等是否能够正常运行。

5.3 系统启动运行

- 5.3.1 打开除盐水/软水给水泵，将除氧器补水至规定液位，进行除氧；
- 5.3.2 打开除氧水给水泵，将除氧器除氧后的水补充至汽包，达到规定液位停止；
- 5.3.3 打开循环泵；
- 5.3.4 进行系统预热，使汽压汽温均衡地上升；
- 5.3.5 当汽包压力达到管网压力时，即可对外输出蒸汽；
- 5.3.6 当系统稳定运行后，可将系统内各设备、阀门投入自动运行。

5.4 运行中注意事项、问题与解决方案

- 5.4.1 中控人员确保缓冲水箱、除氧器、汽包的补水途径，可以及时补充软化水，防止系统烧干；
- 5.4.2 现场人员定期巡检，测量泵体、电机温度，并进行记录，若温度过高应及时通知中控人员切换备用泵并检查温度过高原因；
- 5.4.3 中控人员应严格监控风机转速，压力、温度等问题看是否下氧枪，防止转炉下氧枪时，下枪信号没传过来；
- 5.4.4 当电动、气动阀门打不开、不动作时，中控人员应及时了解可能出现的情况，并通知现场人员进行处理：1) 配电室掉电；2) 到位信号出现故障；3) 线路损坏；4) 阀体损坏、堵塞；
- 5.4.5 当流量计示数不准甚至无示数时，中控人员应通知现场人员检查是否是导气管堵塞造成，若是，应及时清理；
- 5.4.6 现场人员定期对水泵、电机等部位进行检修维护，对水泵、电机的润滑点进行润滑。

6 公用系统

6.1 土建

- 6.1.1 承重结构设计按照《建筑结构可靠度设计统一标准》GB50068-2018；《工程结构通用规范》(GB55001-2021)进行；其中：混凝土部分依照：《混凝土结构设计标准》(GB 50010-2010)、钢结构依照...标准《钢结构设计标准》(GB50017-2017)；
- 6.1.2 显热系统收集灰尘如果进行直排，需要建设封闭式排放站。

6.2 电力

- 6.2.1 用电负荷为二级负荷；
- 6.2.2 低压配电电压为 380/220 V，50 Hz，低压供配电采用放射式供电系统，接地采用 TN-S 系统；
- 6.2.3 电缆的敷设根据不同的现场情况采用电缆桥架、局部穿钢管明、暗敷或电缆沟敷设等方式；
- 6.2.4 建筑物按照三级建筑物设置防雷保护措施；
- 6.2.5 所有配电设备、用电设备、正常不带电的金属外壳均设置有保护接地，所有可能产生静电的工艺设备、管道、管架等均设置静电接地；
- 6.2.6 所有配电设备、用电设备、正常不带电的金属外壳均设置有保护接地，所有可能产生静电的工艺设备、管道、管架等均设置静电接地；
- 6.2.7 电源外线采用铠装电缆，室内沿电缆沟敷设，室外直埋敷设，过路穿管保护；
- 6.2.8 电缆敷设完后，穿墙等孔洞处应用防火材料实施防火封堵。

6.3 给排水

- 6.3.1 生活用水接自厂方生活水供水管网，水质符合《生活饮用水标准》(GB5749-2006)；
- 6.3.2 生产用水接自厂方生产水供水管网；
- 6.3.3 消防水接自厂方消防水供水管网；
- 6.3.4 生活污水排至厂方生活污水管网；
- 6.3.5 生产污水排至厂方生产污水管网。

6.4 供气

依托厂方供气管道网，供气能力能够满足该技术建设需求。

6.5 消防设施

6.5.1 室外消防为临时高压制，室外消火栓为地下式，消火栓间距不超过 120 米；

6.5.2 建筑每层平台配置灭火器；

6.5.3 配电室设置灭火器，进出口主要通道各设置 2 台；

6.5.4 控制室设置灭火器，进出口主要通道各设置 2 台。

6.6 可燃及有毒气体探测系统

6.6.1 系统包括气体探测装置和气体报警控制器等；

6.6.2 气体探测装置主要用于检测空气中可能泄露的一氧化碳等危险气体；

6.6.3 气体报警控制器在接收到报警信号后，具备现场报警功能和控制室报警功能。

6.7 采暖、通风、空调

6.7.1 本技术主要厂房为开放结构，设备及管道需保温或伴热，因此不设暖系统；

6.7.2 控制室冬天采用热水采暖，采暖温度为 18℃，夏天采用空调制冷，制冷温度为 26℃，

6.7.3 控制室及配电室设置通风及空调系统，温度不超过 26℃。

7 安全、职业健康

7.1 大型设备的封闭设计，应设有安全照明设施，并应设置防伤害与保障人身安全的设施。

高温（设备保温）、噪音（吸音材料）、粉尘（防尘口罩）。

7.2 操作人员必须经过煤气危害及防护知识、应急处理技能、个人防护装备的正确使用方法的专业培训，熟悉转炉煤气全干法显热回收系统的安全操作规程及职业健康防护要求。

7.3 操作人员进入作业区域必须按规定佩戴个人防护装备，包括安全帽、防护眼镜、防化手套和防噪声耳塞（耳罩），进入煤气设施内作业时，必须佩戴空气呼吸器和便携式一氧化碳报警仪，且应有煤气专业防护人员现场监护。

8 全干法显热回收系统能效计算

8.1 显热回收率

8.1.1 转炉煤气全干法系统显热回收效率按照式（1）计算：

$$\eta = \frac{Q_{out,steam}}{Q_{in,gas} + Q_{in,ash}} \dots\dots\dots (1)$$

$Q_{in,gas}$ —统计期内转炉煤气带入的物理显热，单位为 kJ；

$Q_{in,ash}$ —统计期内转炉煤气中灰颗粒带入的物理显热，单位为 kJ；

$Q_{out,steam}$ —统计期内蒸汽带走的物理显热，单位为 kJ。

8.1.2 统计期内转炉煤气带入的物理显热按照式（2）计算：

$$Q_{in,gas} = \sum_{i=1}^m (c_{i,in,gas} \times T_{i,in,gas} - c_{i,out,gas} \times T_{i,out,gas}) \times V_{i,gas} \times \frac{t_i}{60} \dots\dots\dots (2)$$

$c_{i,in,gas}$ —统计期内全干法显热回收系统第 i 炉次进口烟气比热，单位为 kJ/(Nm³·℃)；

$T_{i,in,gas}$ —统计期内全干法显热回收系统第 i 炉次进口烟气温度，单位为℃；

$c_{i,out,gas}$ —统计期内全干法显热回收系统第 i 炉次出口烟气比热，单位为 kJ/(Nm³·℃)；

$T_{i,out,gas}$ —统计期内全干法显热回收系统第 i 炉次出口烟气温度，单位为℃；

$V_{i,gas}$ —统计期内全干法显热回收系统第 i 炉次烟气流量，单位为 Nm³/h；

t_i —统计期内全干法显热回收系统第 i 炉次冶炼时间, 单位为 min;

m —统计期内转炉的冶炼炉次。

8.1.3 统计期内转炉煤气中灰颗粒带入的物理显热按照式 (3) 计算:

$$Q_{in,ash} = \sum_{i=1}^m (c_{i,in,ash} \times T_{i,in,ash} - c_{i,out,ash} \times T_{i,out,ash}) \times M_{i,ash} \dots\dots\dots (3)$$

$c_{i,in,ash}$ —统计期内全干法显热回收系统第 i 炉次进口灰尘比热, 单位为 kJ/(kg·°C);

$T_{i,in,ash}$ —统计期内全干法显热回收系统第 i 炉次进口灰尘温度, 单位为 °C;

$c_{i,out,ash}$ —统计期内全干法显热回收系统第 i 炉次出口灰尘比热, 单位为 kJ/(kg·°C);

$T_{i,out,ash}$ —统计期内全干法显热回收系统第 i 炉次出口灰尘温度, 单位为 °C;

$M_{i,ash}$ —统计期内全干法显热回收系统第 i 炉次灰尘的回收量, 单位为 kg;

m —统计期内转炉的冶炼炉次。

8.1.4 统计期内蒸汽带走的物理显热按照式 (4) 计算:

$$Q_{out,steam} = \sum_{k=1}^m (H_{k,steam} - H_{k,water}) \times M_{k,steam} \dots\dots\dots (4)$$

$H_{k,steam}$ —统计期内全干法显热回收系统第 k 炉次生产蒸汽焓值, 单位为 kJ/kg;

$H_{k,water}$ —统计期内全干法显热回收系统第 k 炉次生产蒸汽用饱和水焓值, 单位为 kJ/kg;

$M_{k,steam}$ —统计期内全干法显热回收系统第 k 炉次蒸汽产量;

m —统计期内转炉的冶炼炉次。

8.2 系统净能量

8.2.1 转炉煤气全干法显热回收系统节省标准煤量按照式 (5) 计算:

$$e_x = e_{in} - e_{out} \dots\dots\dots (5)$$

e_x —统计期内全干法显热回收系统净能量折算标准煤, 单位为: 千克标准煤 (kgce);

e_{in} —统计期内全干法显热回收系统产生的能量折算标准煤, 单位为: 千克标准煤 (kgce);

e_{out} —统计期内全干法显热回收系统消耗的能量折算标准煤, 单位为: 千克标准煤 (kgce)。

8.2.2 统计期间内全干法显热回收系统回收的能量按照式 (6) 计算:

$$e_{in} = \sum_{j=1}^n c_j \cdot g_j \dots\dots\dots (6)$$

c_j —统计期内全干法显热回收系统回收第 j 种能源的量, 单位为千克 (kg) 或立方米 (m³) 或千瓦时 (kW·h);

g_j —第 j 种能源的折标煤系数, 单位为千克标准煤每千克 (kgce/kg) 或千克标准煤每立方米 (kgce/m³) 或千克标准煤每千瓦时 [kgce/(kW·h)];

n —统计期内全干系统回收的能源品种数。

8.2.3 统计期间内全干法显热回收系统消耗的能量按照式 (7) 计算:

$$e_{out} = \sum_{k=1}^r c_k \cdot g_k \dots\dots\dots (7)$$

c_k —统计期内全干法显热回收系统消耗第 k 种能源的量, 单位为千克 (kg) 或立方米 (m³) 或千瓦时 (kW·h);

g_k —第 k 种能源的折标煤系数, 单位为千克标准煤每千克 (kgce/kg) 或千克标准煤每立方米 (kgce/m³)

T/CIECCPA XXX—202X

或千克标准煤每千瓦时[kgce/(kW·h)];

r —统计期内全干系统消耗的能源品种数。

附录 A
(规范性)
工序边界划分

转炉煤气一次除尘全干法显热回收系统工序边界划分示例见图 1。

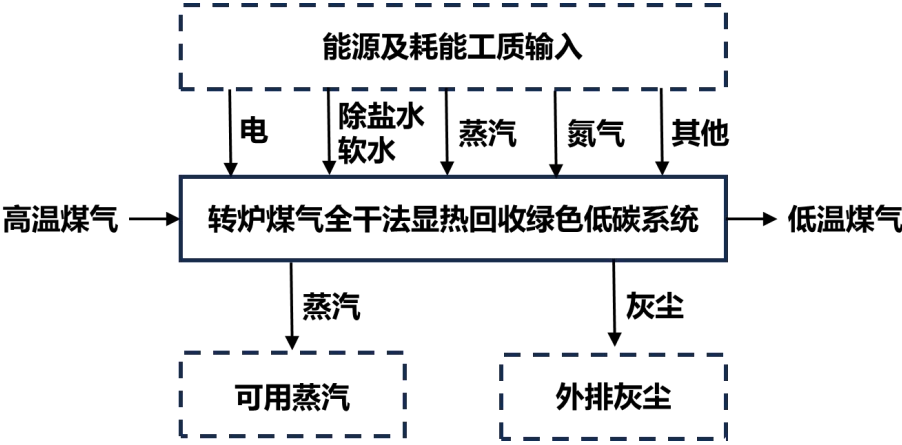


图 1 转炉煤气一次除尘全干法显热回收系统边界划分示例

参考文献

- [1] 国家发展和改革委员会：冶金、建材重点行业严格能效约束推动节能降碳行动方案（2021-2025年）
- [2] GB/T 45754 《转炉一次烟气干法净化与煤气回收系统设备技术规范》
- [3] GB/T 34194 《转炉工序能效评估导则》
- [4] GB 51135 《转炉煤气净化及回收工程技术规范》
- [5] GB/T 1028 《工业余能资源评价方法》
- [6] 魏小林, 李森, 等. 氧气转炉煤气节能降碳原理及全干法技术[M]. 北京: 科学出版社, 2024.