

CS

CCS 点击此处添加 CCS 号

团 体 标 准

T/CSES XXXX—XXXX

磁珠烟气脱汞技术与装备

Magnetospheres flue gas mercury removal technology and equipment

草案版次选择

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国环境科学学会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 工艺系统	2
5 技术要求	5
6 试验方法	6
7 验收	7
8 标牌、标志、包装、运输和贮存	8
附 录 A（资料性附录） 磁珠烟气脱汞技术装备工艺流程图	9
A.1 磁珠烟气脱汞技术装备工艺流程图	9
附 录 B（资料性附录） 旋流喷枪	10
B.1 旋流喷枪	10
表 1 磁珠烟气脱汞技术装备性能要求	5
表 2 磁珠性能参数	5

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。

本文件由中国环境科学学会提出。

本文件由中国环境科学学会归口。

本文件起草单位：华中科技大学、国能三河发电有限责任公司、国电电力发展股份有限公司、国能国华（北京）电力研究院有限公司、长江生态环保集团有限公司、中钢集团天澄环保科技股份有限公司、中南大学、武汉市衷合环保科技有限公司。

本文件主要起草人：赵永椿、杨建平、肖日宏、魏书洲、顾永正、余学海、张田田、朱俊杰、张军峰、徐宪龙、王东旭、刘毅、常林、张翼、吕璐、熊卓、张天乐、杨威、孙道荣、张军营。

磁珠烟气脱汞技术与装备

1 范围

本文件提出了磁珠烟气脱汞技术与整体装备，规定了主要系统装备（磁珠分选装置、磁珠输送装置、磁珠改性装置、磁珠喷射装置、自动控制装置）的组成及关键参数，以及装备的检验、安装、验收等技术要求。

本文件可为燃煤电厂磁珠烟气脱汞技术与装备提供依据，可推广应用到钢铁、有色冶金、垃圾焚烧、化工、建材等行业烟气汞排放控制。

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。

- GBJ 87 工业企业噪声控制设计规范
- GB/T 191 包装储运图示标志
- GB/T 3001 耐火材料 常温抗折强度试验方法
- GB 4053.3—2009 固定式钢梯及平台安全要求 第3部分：工业防护栏杆及钢平台
- GB/T 6388 运输包装收发货标志
- GB/T 7702.1 煤质颗粒活性炭试验方法 水分的测定
- GB/T 8152.11 铅精矿化学分析方法 第11部分：汞含量的测定 原子荧光光谱法和固体进样直接法
- GB/T 12444 金属材料 磨损试验方法 试环-试块滑动磨损试验
- GB/T 13306 标牌
- GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 13931 电除尘器 性能测试方法
- GB 18218 危险化学品重大危险源辨识
- GB 18918 城镇污水处理厂污染物排放标准
- GB/T 19229.2—2011 燃煤烟气脱硫设备 第2部分：燃煤烟气干法/半干法脱硫设备
- GB/T 21508 燃煤烟气脱硫设备性能测试方法
- GB/T 30202.1—2013 脱硫脱硝用煤质颗粒活性炭试验方法 第1部分：堆积密度
- GB/T 30202.2—2013 脱硫脱硝用煤质颗粒活性炭试验方法 第2部分：粒度
- GB 50016 建筑设计防火规范
- GB 50017 钢结构设计标准
- GB 50040 动力机器基础设计标准
- GB 50054 低压配电设计规范
- GB 50055 通用用电设备配电设计规范
- GB 50057 建筑物防雷设计规范
- GB 50205 钢结构工程施工质量验收标准
- GB 50217 电力工程电缆设计标准
- GB 50222 建筑内部装修设计防火规范
- GB 50229 火力发电厂与变电站设计防火标准
- GB 50236 现场设备、工业管道焊接工程施工规范
- GB 50254 电气装置安装工程低压电器施工及验收规范
- GB 50255 电气装置安装工程电力变流设备施工及验收规范
- GB 50727 工业设备及管道防腐蚀工程施工质量验收规范

GB/Z 42520 铁矿石X射线荧光光谱分析实验室操作指南
GBZ 1 工业企业设计卫生标准
GBZ 2.1 工业场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素
DL/T 5072 火力发电厂保温油漆设计规程
HG/T 20229 化工设备、管道防腐蚀工程施工及验收规范
HJ 543 固定污染源废气 汞的测定 冷原子吸收分光光度法（暂行）
JB/T 5000.12—2007 重型机械通用技术条件 第12部分：涂装
JB/T 5908—2017 电除尘器 主要件抽样检验及包装运输贮存规范
JB/T 10862 电除尘器用低压控制装置
NB/T 47003.1 压力容器：第1部分：钢制焊接压力容器

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

磁珠 magnetospheres

煤中含铁矿物在煤燃烧过程中形成的主要产物，是飞灰的重要组成部分。

3.2

改性剂 modifier agent

与汞具有强亲和力、用于提高磁珠脱汞性能的化合物。

3.3

改性液 modifier agent solution

由改性剂与工业水按一定比例溶解后形成的溶液。

3.4

改性剂负载量 loading amount of modifier agent

改性剂质量占改性后磁珠质量的百分比，采用公式（1）计算。

$$W = m_1 / (m_1 + m_2) \times 100\% \quad (1)$$

式中：

W——改性剂负载量，%；

m₁——改性剂质量，单位为千克（kg）；

m₂——磁珠质量，单位为千克（kg）。

3.5

综合脱汞效率 mercury removal efficiency

喷射磁珠前后烟气内汞浓度的变化率，采用公式（2）计算。

$$E = \frac{Hg_{in} - Hg_{out}}{Hg_{in}} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

E——综合脱汞效率，%；

Hg_{in}和Hg_{out}分别代表喷枪上游烟气和烟囱出口的汞浓度，单位为微克每立方米（μg/m³）。

4 工艺系统

4.1 技术原理

通过磁选机将磁珠从燃煤飞灰中分选出来，经改性后获得磁珠吸附剂，喷入除尘装置前的烟道中脱除烟气中的汞，随后磁珠吸附剂和飞灰被除尘装置脱除，可以再次将磁珠吸附剂从飞灰中磁选分离出来，经过再生后喷入烟道中循环使用。

4.2 总体布置

4.2.1 磁珠烟气脱汞技术装备典型工艺流程参见附录 A。

4.2.2 磁珠烟气脱汞技术装备主要包括：磁珠分选装置、磁珠输送装置、磁珠改性装置、磁珠喷射装置以及自动控制装置。

4.2.3 磁珠烟气脱汞技术装备的总平面布置应符合 GB 50016、GB 50222 和 GB 50229 等防火、防爆有关规范的规定。

4.2.4 磁珠烟气脱汞技术装备布置应综合考虑环保、安全、节能、资源利用、厂区主导风向等因素。

4.2.5 磁珠烟气脱汞技术装备布置位点宜靠近除尘器，减小飞灰输送沿程阻力及改造成本。

4.3 磁珠分选装置

将磁珠从飞灰中磁选分离出的装置，由缓冲仓、磁珠分选机、螺旋输送机、锁气给料机、中转仓、中转仓泵、管道、阀门等组成。

4.3.1 磁珠分选机宜满足以下要求：

- a) 处理飞灰的粒径为 10~250 μm，飞灰通过振动给料方式均匀进入磁珠分选机；
- b) 磁珠分选机的磁辊强度宜在 3000~8000 GS；
- c) 分选出磁珠粒径应在 25~200 μm。
- d) 磁珠分选机的磁珠分选率应大于 3%，采用公式（3）计算飞灰中磁珠分选率。

$$c = (Q_1/Q) \times 100\% \quad (3)$$

式中：

c——磁珠分选率，%；

Q_1 ——分选出的磁珠质量，单位为千克（kg）；

Q——飞灰磁选处理量，单位为千克（kg）。

4.3.2 磁珠分选机需配备除尘装置以避免粉尘飞扬，宜采用袋式除尘器。

4.4 磁珠输送装置

将分选出磁珠输送至磁珠改性装置的装置，由称重螺旋机、螺旋输送机、锁气给料机、管道、阀门等组成。

4.4.1 磁珠的运输、卸料等环节应有防止粉尘飞扬进入环境的措施。

4.5 磁珠改性装置

将磁珠浸渍改性并烘干成磁珠吸附剂的装置，由改性液制备装置、磁珠浸渍改性装置、改性磁珠干燥装置组成。

4.5.1 改性液制备装置

4.5.1.1 改性剂料斗容积宜至少满足 7 天的用量要求。

4.5.1.2 改性剂料斗应采取防腐蚀、密闭防潮的措施，并配备料位检测部件。

4.5.1.3 改性液制备装置应配备加药箱、溢流装置、液位计、溶液离子浓度监测装置等，并满足下列要求：

- a) 加药箱容积必须满足 7 天投运过程中改性剂溶液制备用量需求；

- b) 溢流装置的溢流流量应大于配液罐最大进水量;
- c) 液位计的计量误差为 $\pm 2.5\%$;
- d) 溶液离子浓度监测装置监测误差为 $\pm 2.5\%$ 。

4.5.2 磁珠浸渍改性装置

磁珠浸渍装置应配备加药泵、锁气给料机、卧式加湿搅拌机、螺旋输送机，并满足下列要求：

- a) 加药泵额定流量应大于工艺要求的额定流量，加药泵扬程应大于工艺要求的扬程；
- b) 螺旋输送机、锁气给料机用于把磁珠均匀定量地输送至卧式加湿搅拌机中；
- c) 锁气给料机、卧式加湿搅拌机、螺旋输送机的电机宜采用变频调速；
- d) 改性液宜呈雾化方式均匀喷射至磁珠表面；
- e) 卧式加湿搅拌机、改性液输送管路、喷液枪、螺旋输送机宜采用耐酸碱腐蚀材料；
- f) 改性剂在磁珠表面的负载量宜在 3%~12% 范围内。

4.5.3 改性磁珠干燥装置

将热风送至旋转闪蒸干燥器并将湿磁珠加热烘干，并满足下列要求：

- a) 旋转闪蒸干燥器宜处理含水量介于 10%~70% 的磁珠，出料含水 $< 0.5\%$ ；
- b) 热风宜来源于电厂一次热风，温度宜不低于 200℃；
- c) 旋转闪蒸干燥器轴承耐受温度宜大于热风温度。

4.6 磁珠喷射装置

将改性后的磁珠均匀喷射入烟道的装置，由磁珠分配器、磁珠喷枪等部分组成。

4.6.1 磁珠喷射量根据烟气量和烟气中汞浓度确定，磁珠喷射密度宜在 0.2~0.8 g/m³ 范围内。

4.6.2 磁珠喷射位置烟气温度应在 120-150℃ 范围内。

4.6.3 磁珠喷枪应满足下列要求：

- a) 喷枪设计应考虑防腐、防堵、防磨和防热膨胀的措施。喷枪及安装座整体应具有良好的抗热变形性和抗振性，以喷口喷射中心轴线方向角度偏差宜不大于 $\pm 3^\circ$ ；
- b) 喷枪类型宜选用旋流喷枪，参见附录 B，磁珠喷射后形成回流区，加强磁珠颗粒气流与烟气流混合强度；
- c) 输送磁珠的气体与磁珠的比例（气固比）宜为 10~100；
- d) 磁珠输送属于正压稀相气力输送，输送气体压力应低于 0.1 Mpa；
- e) 磁珠喷枪宜配置旋流模块部件，包括旋流套筒、旋流叶片、旋流扩口等部分；
- f) 喷枪布置于除尘器入口烟道内，喷枪喷射方向可调。

4.7 自动控制装置

由低压配电系统、低压控制系统、上位机控制系统组成，对缓冲仓料位、磁珠计量称重、磁珠改性剂量、旋转闪蒸干燥器风量、磁珠喷射量等进行自动监测和控制的装置。

4.7.1 低压配电系统应满足下列要求：

- a) 低压配电系统含双电源自动切换元件、断路器、电机保护元件等电气元件；
- b) 宜采用 TN-S 接地方式实现对整个装置的供配电及保护；
- c) 电气设计应符合 GB 50054、GB 50055 和 GB 50217 的规定；
- d) 应确保防电击、防高温影响的人身安全以及防火焰蔓延的安全；
- e) 在正常工作条件下易受腐蚀的所有部件应予以有效保护。

4.7.2 低压自动控制系统应满足下列要求：

- a) 应满足 JB/T 10862 的规定；

- b) 应采用 PLC 或 DCS 硬件控制系统，实现对缓冲仓和中转仓料位、磁珠计量称重、旋转闪蒸干燥风量、改性剂溶液料位、磁珠改性液量、磁珠喷射量等参数的监测及自动控制，并实现对流体介质压力和流量的监测。

4.7.3 上位机控制系统应满足下列要求：

- a) 应根据系统需求或用户要求，配置不同的上位机软件，连接 PLC 或 DCS 系统，实现人机画面交互，具有监测、控制功能；
b) 应预留与主控制室的通讯接口，可将磁珠喷射装置并入主厂中控系统。

5 技术要求

5.1 基本要求

按照经规定程序批准的图样和设计文件的要求，对磁珠烟气脱汞技术装备进行制造、安装、调试及验收。

5.2 技术性能要求

磁珠烟气脱汞技术装备的制备能力和输送能力应满足工艺整体要求，装置应具有抗渗漏性、防堵塞、防腐蚀。技术性能要求按表1的规定。

表 1 磁珠烟气脱汞技术装备性能要求

项目	单位	要求	备注
综合脱汞效率	%	≥90	与电厂其他污染物控制装备的协同脱汞效率，汞排放达到国家、地方环保部门规定
磁珠分选、输送、改性、喷射、自动控制装置			满足4.2、4.3、4.4、4.5、4.6、4.7要求
磁珠输送管路沿程阻力	千帕（KPa）	<50	
装置可用率	%	≥95	
耗电量	千瓦时/千克（kW·h/kg）	<1	从磁选到喷出单位质量磁珠的耗电量

5.3 磁珠

磁珠参数指标应满足表2的要求。

表 2 磁珠性能参数

项目	单位	指标
粒度	微米（μm）	25~200
堆积密度	克/立方厘米（g/cm ³ ）	2~3
水分	%	<3
改性剂负载量	%	3~12
汞容量	微克/克（μg/g）	>1000

5.4 材料、制造和安装要求

5.4.1 与烟气接触的部件、零件应采用耐高温、耐腐蚀、耐磨损材料。耐高温要求 200℃ 以内材料不发生变形；材料防腐要求应符合 HG/T 20229 的要求；耐磨损材料要求满足两年寿命要求。

5.4.2 装置机械结构制造及性能应符合 GB 50017、GB 50205 的要求；罐体制造及性能应符合 NB/T 47003.1 的要求。

- 5.4.3 装置保温、油漆应符合 DL/T 5072 的规定。
- 5.4.4 装置钢结构的施工应符合 GB 50205 的规定。
- 5.4.5 装置设备涂装工程按 JB/T 5000.12 的规定执行。

5.5 电气要求

- 5.5.1 磁珠烟气脱汞技术与装备应符合 GB 50057 的规定，设置防雷、接地措施。

5.6 安全环保和职业卫生要求

- 5.6.1 磁珠烟气脱汞技术装备的工作平台、扶梯、栏杆等应按照 GB 4053.3—2009 执行。
- 5.6.2 改性剂储运制备系统应符合 GB 18218 的规定进行辨识，并建立档案。
- 5.6.3 改性剂的储运和制备应符合《安全生产法》、《危险化学品安全管理条例》和《危险化学品生产储存建设项目安全审查办法》的规定职业卫生应满足 GBZ 1、GBZ 2.1 的要求。
- 5.6.4 磁珠烟气脱汞技术装备的噪声控制设计应符合 GBJ 87 的规定，振动控制设计应符合 GB 50040 的规定。
- 5.6.5 磁珠烟气脱汞技术装备产生的废液应符合 GB 18918 的要求，可直接进入电厂配套污水管网。

6 试验方法

6.1 技术性能检验

- 6.1.1 性能检验至少在磁珠烟气脱汞技术装备正常投运 168 h 后进行。
- 6.1.2 综合脱汞效率按照公式（2）计算，宜采用 EPA-30B 方法采集烟气中的汞及其化合物，汞及其化合物排放浓度测试按 HJ 543 的规定。
- 6.1.3 磁珠烟气脱汞技术装备的总平面布置检验按照 GB 50016 的规定进行。
- 6.1.4 定时记录飞灰料仓重量检验磁珠分选机均匀进料，磁珠分选率按照 4.3 中公式（3）计算。
- 6.1.5 采用测温仪表检验旋转闪蒸干燥器入口及磁珠喷射区域烟气温度，改性干燥后磁珠含水率检验按照 GB/T 7702.1 的规定进行。
- 6.1.6 管路沿程阻力按照管道上压力表进行测试。
- 6.1.7 装置可用率计算方法按 GB/T 19229.2—2011 的规定。
- 6.1.8 供电设备的电耗按 GB/T 13931 的要求进行检验。

6.2 磁珠检验

- 6.2.1 磁珠堆积密度应按照 GB/T 30202.1—2013 的规定测定。
- 6.2.2 磁珠粒度应按照 GB/T 30202.2—2013 的规定测定。
- 6.2.3 磁珠水分应按照 GB/T 7702.1 的规定测定。
- 6.2.4 磁珠改性剂负载量应按照 GB/Z 42520 的规定测定。
- 6.2.5 磁珠的汞容量应按照 GB/T 8152.11 的规定测定。

6.3 材料、制造和安装检验

- 6.3.1 主体结构材料应按照 GB 50205 第 4 项规定进行检验。
- 6.3.2 防腐材料应按照 GB 50727 的规定进行耐腐蚀检验。

6.3.3 罐体应按照 NB/T 47003.1 的规定进行检验。

6.3.4 与粉料、液体接触的部件、零件应采用耐腐蚀材料，应按照 HG/T 20229 规定进行检验。

6.3.5 与烟气接触的材料必须耐高温、耐磨蚀，且应按照 GB/T 3001 的规定进行耐高温抗折强度检验，并按照 GB/T 12444 规定的金属材料磨损试验方法进行检验。

6.3.6 装置设备涂装按 JB/T 5000.12 的规定进行检验。

6.4 电气检验

6.4.1 电气装置检验按照 GB 50254、GB 50255 和 JB/T 10862 规定进行。

6.5 安全环保和职业卫生检验

6.5.1 磁珠烟气脱汞技术装备的工作平台、扶梯、栏杆等安全检验按照 GB 4053.3—2009 规定执行。

6.5.2 磁珠烟气脱汞技术装备的环保检验按照 GBZ 1、GBZ 2.1 规定执行。

6.5.3 装置在正常投运 168 h 后进行噪声测量，用声级计 A 计权在距离装置外 1.5 m 处，采用慢速档测量 3 次，每次 10 s，取 3 次的算术平均值为装置的运行噪声值。

6.5.4 磁珠烟气脱汞技术装备产生的废液应按照 GB 18918 的规定测定。

7 验收

7.1 技术性能验收

7.1.1 磁珠烟气脱汞技术装备性能验收至少应包括脱汞效率、磁珠输送管路沿程阻力等，验收应合格。

7.1.2 装备应通过 168 h 运行，运行期间各子装置应运转正常，各技术指标应达到 5.2 中表 1 的设计要求。

7.2 磁珠验收

7.2.1 磁珠的粒度，堆积密度等参数应按照 6.2 中规定进行检验，符合 5.3 中表 2 的指标范围后，验收应合格。

7.3 材料、制造和安装验收

7.3.1 磁珠烟气脱汞技术与装备中的各设备材料应满足 HG/T 20229、GB 50205、GB 50727、GB/T 3001、GB/T 12444 规定要求后，验收应合格。

7.3.2 磁珠烟气脱汞技术与装备中各设备在制造完成时，设备组成应满足 4.2.2 要求，应对设备逐件进行检验证明其性能符合各设备规范要求。对检验合格的产品应填写检验记录，合格后加封印，出具质量合格证明书和检验报告，全部合格后方可出厂。

7.3.3 工程安装、施工结束后应进行调试前的分步试验验收，验收应合格。

7.3.4 磁珠烟气脱汞技术装备中各设备及相关工业管道、钢结构在建筑工地焊接安装完毕后，应符合 GB 50205 和 GB 50236 的规定进行验收，单体设备应验收合格。

7.4 电气验收

7.4.1 磁珠烟气脱汞技术装备中的电气装置应符合 GB 50254、GB 50255 的规定，验收应合格。

7.5 安全环保和职业卫生验收

7.5.1 磁珠烟气脱汞技术装备竣工环境保护验收按《建设项目竣工环境保护验收管理办法》的规定进行。一般在自生产试运行之日起的 3 个月内，向有审批权的环境保护行政主管部门申请该装备的竣工环境保护验收。

8 标牌、标志、包装、运输和贮存

8.1 标牌和标志

8.1.1 标牌应符合 GB/T 13306 的规定。

8.1.2 磁珠烟气脱汞技术装备中各设备应在明显位置装有固定标志，且至少应包括制造厂名或商标、产品出厂日期、产品型号及编号、设备外形尺寸、检验合格证、主要性能参数。

8.2 包装

8.2.1 磁珠烟气脱汞技术装备本体的包装应符合 JB/T 5908—2017 第 4.1 项的规定，其余应符合 GB/T 13384 的规定，包装与运输的标志应符合 GB/T 6388 和 GB/T 191 的规定。

8.2.2 设备包装应考虑便于起吊、搬运和长途运输以及多次装卸、气候条件等情况，并适合水路和陆路运输，不致因包装不善造成产品损坏、质量下降或零部件丢失。

8.2.3 产品应有牢固的包装，并有防震、防潮和缓冲措施。

8.2.4 磁珠烟气脱汞技术装备应附有下列图样和随机文件：设备总清单，设备总图、基础图、安装图，产品合格证，产品使用维护说明书，装箱清单，随机设备清单及保修单。

8.3 运输

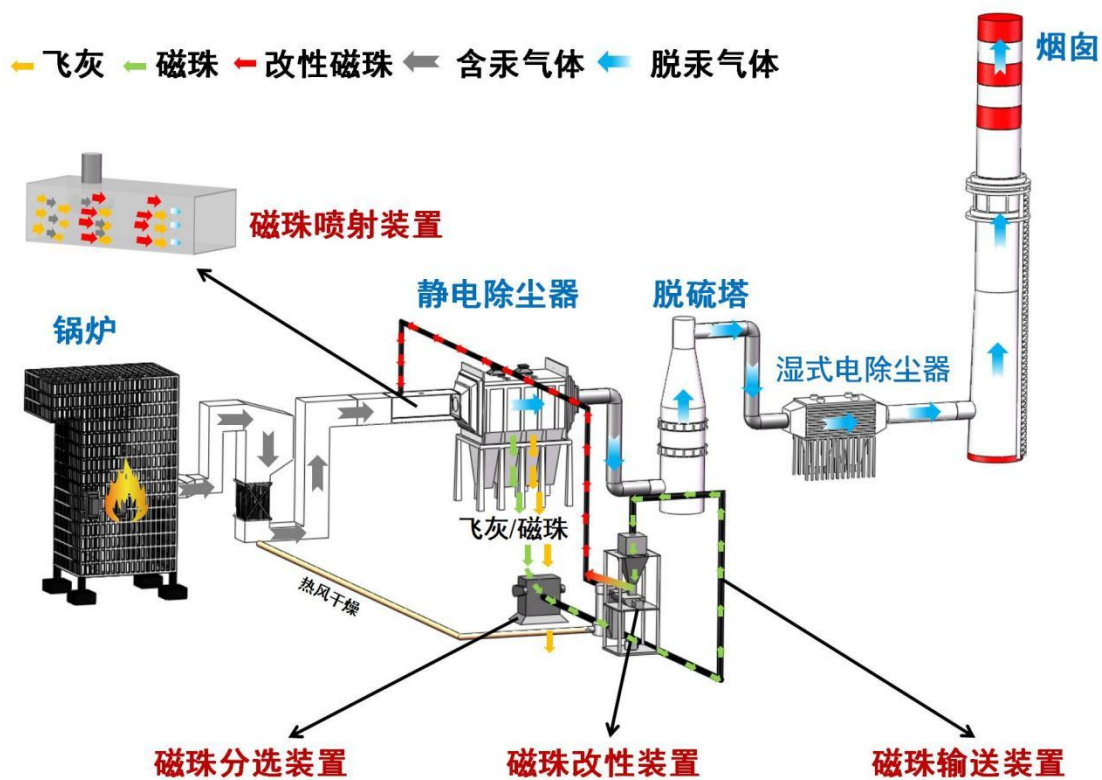
8.3.1 磁珠烟气脱汞技术装备的运输应符合 JB/T 5908—2017 第 4.2 条的规定，且应符合下列要求：

- a) 经包装检验合格的产品，应适合公路、铁路、水路等运输工具的运输，采用额定载重量大于本产品毛重的运输工具运输；
- b) 公路运输时，应控制车速和及时采取对抗冲击措施，以防止产品受振动、冲击和碰撞而产生不良后果；
- c) 产品在运输、装卸过程中，应按包装箱上的标志进行操作。

8.4 贮存

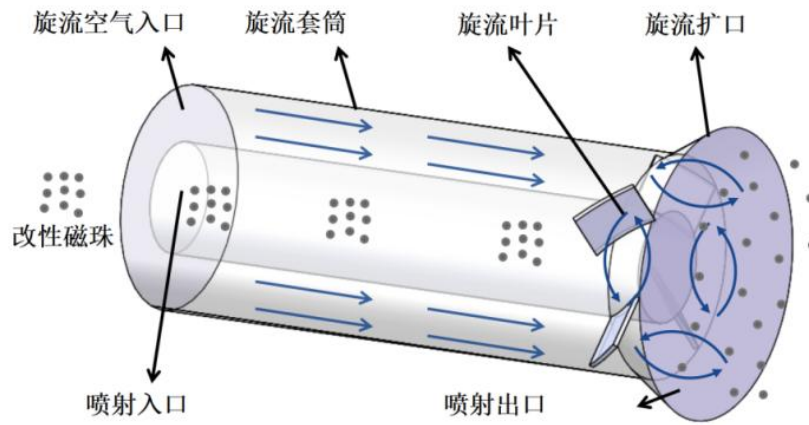
8.4.1 建设过程中，磁珠烟气脱汞技术装备钢结构件及大件设备允许露天存放，但应做好防震、防潮措施，其余设备、电器、仪表、磁珠吸附剂及设备配件应室内存放。

附录 A
 (资料性附录)
 磁珠烟气脱汞技术装备工艺流程图



A.1 磁珠烟气脱汞技术装备工艺流程图

附录 B
(资料性附录)
旋流喷枪



B.1 旋流喷枪