

T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA XXXX—2026

碳化硅陶瓷换热器

Silicon carbide ceramic heat exchanger

（征求意见稿）

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国西部开发促进会 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 1

4 分类与结构型式 1

 4.1 按换热元件结构形式分类 1

 4.2 按碳化硅烧结工艺分类 2

5 总体要求 2

 5.1 设计原则 2

 5.2 材料选用原则 2

 5.3 通用安全要求 2

6 技术要求 2

 6.1 外观质量 2

 6.2 材料力学与物理性能 3

 6.3 耐腐蚀性能 3

 6.4 尺寸与形位公差 3

 6.5 承压与密封性能 3

 6.6 换热性能 4

7 试验方法 4

 7.1 外观检验 4

 7.2 材料物理力学性能试验 4

8 检验规则 4

 8.1 检验分类 5

 8.2 出厂检验 5

 8.3 型式检验 5

 8.4 抽样规则 5

9 标志、包装、运输和贮存 5

 9.1 标志 5

 9.2 包装 6

 9.3 运输 6

 9.4 贮存 6

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。

本文件由山东豪迈机械制造有限公司提出。

本文件由中国西部开发促进会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

碳化硅陶瓷换热器

1 范围

本文件规定了碳化硅陶瓷换热器的技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存等内容。

本文件适用于以碳化硅（SiC）陶瓷材料为主体换热元件的各类换热器，包括但不限于管式、板式、螺旋式及其他异形结构形式。

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。

- GB/T 191 包装储运图形符号标志
- GB/T 2828.1 计数抽样检验程序 第1部分：按接收质量限（AQL）检索的逐批检验抽样计划
- GB/T 8489 精细陶瓷压缩强度试验方法
- GB/T 13306 标牌
- GB/T 14390 精细陶瓷高温弯曲强度试验方法
- GB/T 16534 精细陶瓷室温硬度试验方法
- GB/T 16535 精细陶瓷线热膨胀系数试验方法 顶杆法
- GB/T 23806 精细陶瓷断裂韧性试验方法 单边预裂纹梁（SEPB）法
- GB/T 25995 精细陶瓷密度和显气孔率试验方法
- GB/T 27698.1 热交换器及传热元件性能测试方法 第1部分：通用要求
- JC/T 2212 常压固相烧结碳化硅陶瓷热交换管
- HG/T 5633 列管式碳化硅换热器
- TSG 21 固定式压力容器安全技术监察规程
- HG/T 6465—2026 非金属化工设备碳化硅换热部件

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

碳化硅 silicon carbide
二氧化硅和碳在2000℃以上高温反应形成的化合物。

3.2

碳化硅陶瓷 silicon carbide ceramics
以纯碳化硅（SiC）为主要成分的陶瓷材料。

4 分类与结构型式

4.1 按换热元件结构形式分类

4.1.1 管式碳化硅陶瓷换热器：以碳化硅陶瓷管为换热元件，介质通过管壁实现热量传递，包含列管

式、U型管式、盘管式等亚型。该类结构承压能力较强，适用于大流量、中低压换热工况，是目前应用最广泛的结构形式。

4.1.2 板式碳化硅陶瓷换热器：以碳化硅陶瓷板片为换热元件，冷热介质交替流经板片两侧流道实现换热。该类结构换热系数高、结构紧凑，适用于中低压、小温差、高效换热工况。

4.1.3 螺旋式碳化硅陶瓷换热器：以螺旋形碳化硅陶瓷通道为换热单元，冷热介质沿螺旋流道逆向流动实现换热。该类结构流道阻力均匀、不易结垢，适用于高粘度、含少量颗粒介质的换热工况。

4.1.4 异形构件碳化硅陶瓷换热器：采用定制化异形碳化硅陶瓷结构作为换热体，适配特殊安装空间或特殊介质流道需求，多用于特种装备配套、反应装置集成换热等场景。

4.2 按碳化硅烧结工艺分类

4.2.1 无压烧结（常压固相烧结）碳化硅换热器：换热元件采用常压固相烧结碳化硅陶瓷，材料性能应符合 JC/T 2212 中的相关规定。该类产品致密度高、耐腐蚀性强、力学性能优异，适用于高压、强腐蚀介质、高可靠性要求的换热工况。

4.2.2 反应烧结碳化硅换热器：换热元件采用反应烧结碳化硅陶瓷，工艺成熟、成本适中，适用于中温、中低压、一般腐蚀工况。

4.2.3 重结晶碳化硅换热器：换热元件采用重结晶碳化硅陶瓷，耐高温性能优异，适用于 1000℃ 以上高温烟气换热工况。

5 总体要求

5.1 设计原则

5.1.1 换热器的设计应满足使用工况的压力、温度、介质腐蚀特性要求，兼顾换热效率、运行可靠性与使用寿命，结构应便于安装、维护和清洗。

5.1.2 具备压力容器属性的碳化硅陶瓷换热器，其设计、制造、检验和验收应符合压力容器相关安全规定；无压烧结碳化硅材质产品最高设计压力宜达 4 MPa，应按压力容器规范进行强度校核。

5.1.3 产品设计应充分考虑陶瓷材料的脆性特性，结构应避免应力集中，温差变化工况应设置热膨胀补偿结构；无压烧结碳化硅材料强度更高，可适配更薄壁厚、更高承压的结构设计。

5.2 材料选用原则

5.2.1 核心换热元件应根据工况要求选用反应烧结、重结晶或无压烧结碳化硅陶瓷材料，材料性能应符合本文件表 1 的规定。

5.2.2 金属结构件、密封件的材质应根据工作介质、温度、压力条件选用，与碳化硅陶瓷部件的热膨胀特性相匹配，避免温差应力导致陶瓷损坏。

5.2.3 密封垫片应选用耐温、耐腐蚀、与陶瓷面贴合性好的材质，保证额定工况下的密封可靠性；强腐蚀工况下无压烧结碳化硅换热器应配套耐腐密封结构。

5.3 通用安全要求

5.3.1 换热器宜设置的压力、温度监测接口，超压泄放装置的选型与设置应符合 TSG 21 中的相关要求。

5.3.2 对于易燃、易爆、有毒介质工况，换热器的密封结构应采用双密封或带泄漏检测腔的结构，满足相关安全规范要求。

5.3.3 产品使用说明书应明确标注适用工况范围、对应材料类型、安装注意事项、维护周期与操作规范。

6 技术要求

6.1 外观质量

6.1.1 碳化硅陶瓷换热元件表面应平整，无裂纹、贯穿孔洞、缺角、分层等缺陷，边缘应无崩损；局部微小非贯穿缺陷尺寸应不大于 0.5 mm，且单块元件缺陷数量不超过 3 处。金属结构件表面应无明显锈蚀、深度划痕、变形，焊接部位应光滑平整，无焊瘤、气孔、裂纹等缺陷。

6.1.2 产品外表面防腐涂层应均匀，无脱落、流挂、露底现象。

6.2 材料力学与物理性能

不同烧结工艺的碳化硅陶瓷换热元件，其材料性能应分别符合表1的规定。

表 1 碳化硅陶瓷换热元件材料性能要求

项目	无压烧结（常压固相烧结）SiC	反应烧结SiC 酸碱条件下受限	重结晶SiC
体积密度，(g/cm³)	≥3.0	≥3.0	≥2.65
维氏硬度，GPa	≥15	≥14	≥12
断裂韧性，(MPa·m ^{1/2})	≥3.5	≥3.2	≥2.8
室温弯曲强度，MPa	≥200	≥200	≥150
高温弯曲强度，1300℃/MPa	≥200	≥180	≥160
径向抗压强度(室温)，MPa	≥300	≥280	≥220
平均线热膨胀系数，(RT~1300℃)/(10-6/K)	4.5±0.5	4.2~4.8	4.7~5.3
室温热导率，W/(m·K)	≥100	≥80	≥40
抗渗透性，(2.0 MPa，30 min)	无破裂、无渗漏	无破裂、无渗漏	无破裂、无渗漏
最高连续工作温度，℃	≥1250	≥1250	≥1600
抗热震温差，℃（循环10次无裂纹）	≥350	≥300	≥400

注1：抗渗透性为换热元件否决项，试验后出现破裂或表面渗漏现象即判定为不合格。

注2：对于有更高性能要求的定制产品，材料性能指标可由供需双方协商确定，但不应低于表中对应材料类型的规定值。

6.3 耐腐蚀性能

6.3.1 常压固相烧结碳化硅陶瓷换热元件的耐腐蚀性能应符合 JC/T 2212 中的相关规定，在典型腐蚀介质中的年平均腐蚀速率应符合表 2 的要求。

6.3.2 反应烧结、重结晶碳化硅陶瓷换热元件的耐腐蚀性能应满足对应工况使用要求，年腐蚀速率应符合供需双方约定。

表 2 常压固相烧结碳化硅陶瓷耐腐蚀性能要求

介质	温度，℃	年平均腐蚀速率，[mg/(cm²·a)]
98% H ₂ SO ₄	100	≤2.0
68% HNO ₃	100	≤0.2
37% HCl	80	≤0.2
40% HF	25	≤0.2
10% HF-HNO ₃	25	≤0.2
50% NaOH	100	≤3.0
45% KOH	100	≤0.2

6.4 尺寸与形位公差

6.4.1 换热元件的外形尺寸偏差应符合产品图样要求，总长尺寸公差应不超过±0.5%。

6.4.2 管式换热元件的尺寸公差应符合 JC/T 2212 中的相关规定；直线度偏差应不大于 1.5 mm/m，管口端面与管轴线的垂直度偏差应不大于 0.5°。

6.4.3 板式换热元件的平面度偏差应不大于 0.3 mm/m，板片密封槽尺寸偏差应不大于±0.2 mm。

6.5 承压与密封性能

6.5.1 换热器的水压试验压力应为公称（设计）压力的 1.3 倍，保压时间不少于 30 min，试验期间应无渗漏、无可见变形、无异常声响。

6.5.2 换热器的气密性试验压力应为公称（设计）压力的 1.0 倍，保压时间不少于 15 min，压力降应不大于试验压力的 0.5%。

6.5.3 额定工况下密封部位应无介质泄漏，密封垫片的连续使用寿命应不低于 8000h。

6.5.4 采用无压烧结碳化硅换热元件的列管式换热器，最高公称压力可达 4.0 MPa，其结构强度应按

本文件规定校核，安全附件配置应符合压力容器相关安全规定。

6.6 换热性能

6.6.1 在额定工况下，换热器的实际换热效率应不低于设计值的 95%，标准的检验方法。

6.6.2 额定流量下，换热器的介质阻力损失应不大于设计值的 110%。

7 试验方法

7.1 外观检验

采用目视及常规量具对产品外观、尺寸进行检查，表面微小缺陷辅以5倍放大镜观察并测量尺寸。

7.2 材料物理力学性能试验

7.2.1 体积密度

应按照GB/T 25995中的相关规定进行试验。

7.2.2 室温、高温弯曲强度

应按照GB/T 14390中的相关规定进行试验。

7.2.3 维氏硬度

应按照GB/T 16534中的相关规定进行试验。

7.2.4 断裂韧性

应按照GB/T 23806中的相关规定进行试验。

7.2.5 径向抗压强度

应按照GB/T 8489、JC/T 2212中的相关规定进行试验。

7.2.6 热膨胀系数

应按照GB/T 16535中的相关规定进行试验。

7.2.7 热导率试验

应按照JC/T 2212中的相关规定进行试验。

7.2.8 抗渗透性试验

应按照JC/T 2212中的相关规定进行试验。

7.2.9 抗热震性试验

试样马弗炉保温30 min，迅速投入25℃静水，循环10次；取出目视观察有无裂纹。

7.2.10 耐腐蚀性能试验

应按照JC/T 2212中的相关规定进行试验。

7.2.11 尺寸与形位公差检验

使用检定有效期内游标卡尺、千分尺、高度尺、直线度检测仪、角度尺进行检验。

7.2.12 换热性能试验

应按照GB/T 27698.1中的相关规定进行试验。

8 检验规则

8.1 检验分类

产品检验分为出厂检验和型式检验，检验项目见表3。

表 3 检验项目

检验项目	出厂检验	型式检验
外观	√	√
尺寸及形位公差	√	√
水压试验	√	√
气密性试验	√	√
体积密度	—	√
室温弯曲强度	—	√
维氏硬度	—	√
断裂韧性	—	√
高温弯曲强度	—	√
径向抗压强度	—	√
平均线热膨胀系数	—	√
热导率	—	√
抗渗透性	—	√
抗热震性	—	√
耐腐蚀性能	—	√
换热效率	—	√
注：“√”表示需进行检验的项目，“—”表示不需进行检验的项目。		

8.2 出厂检验

出厂检验应符合表3的规定。

8.3 型式检验

型式检验项目见表3，在下列情况之一时应进行型式检验：

- a) 新产品定型鉴定时；
- b) 结构、原材料、制造工艺重大变更，影响产品性能；
- c) 正常生产每满 1 年；
- d) 停产三个月及以上恢复生产；
- e) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时。

8.4 抽样规则

批量产品抽样应符合GB/T 2828.1中的相关要求。

9 标志、包装、运输和贮存

9.1 标志

9.1.1 产品设置金属铭牌，铭牌应符合 GB/T 13306 的相关要求。

9.1.2 铭牌应包含以下内容：

- a) 产品名称；
- b) 型号规格；
- c) 公称压力；
- d) 设计温度；
- e) 换热面积；
- f) 产品编号；
- g) 制造日期；
- h) 制造单位名称地址。

9.2 包装

- 9.2.1 陶瓷换热件采用柔性缓冲材料单独防护；常压固相烧结元件增加防护层，防止磕碰。
- 9.2.2 包装箱外图形符号标志执行 GB/T 191 中的相关规定。
- 9.2.3 箱内文件：合格证、使用说明书、装箱单、备件清单、材料性能检测报告。

9.3 运输

- 9.3.1 运输过程中应防撞击、雨淋，严禁抛掷翻滚。
- 9.3.2 陶瓷部件应竖向固定，避免挤压摩擦。

9.4 贮存

- 9.4.1 应存放干燥通风无腐蚀性气体库房，远离尖锐硬物与热源。
 - 9.4.2 陶瓷元件应平放，控制堆码高度，防止挤压损伤。
-