

T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA XXXX—2026

污水处理用气凝胶吸附材料

Aerogel adsorbent for wastewater treatment

（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 2

 4.1 按基材类型分类: 2

 4.2 按主要吸附功能分类: 2

5 技术要求 2

 5.1 外观 2

 5.2 理化性能 2

 5.3 吸附性能指标 3

 5.4 安全环保卫生要求 3

 5.5 工况稳定性 3

6 试验方法 3

 6.1 外观检验 3

 6.2 理化性能试验 3

 6.3 吸附性能试验 4

 6.4 安全环保性能试验 5

 6.5 工况稳定性试验 5

7 检验规则 5

 7.1 检验分类 5

 7.2 出厂检验 6

 7.3 型式检验 6

 7.4 判定规则 6

8 标志、包装、运输和贮存 6

 8.1 标志 6

 8.2 包装 6

 8.3 运输 6

 8.4 贮存 7

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。

本文件由奥伯风环境科技（南京）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：。

污水处理用气凝胶吸附材料

1 范围

本文件规定了污水处理用气凝胶吸附材料的分类、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存等内容。
本文件适用于污水处理用气凝胶吸附材料。

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 5085.3 危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别
GB/T 5211.6 颜料和体质颜料通用试验方法 第6部分：水悬浮液pH值的测定
GB/T 19587 气体吸附BET法测定固态物质比表面积
GB/T 7702.1 煤质颗粒活性炭试验方法 水分的测定
GB/T 7702.7 煤质颗粒活性炭试验方法 第7部分：碘吸附值的测定
GB/T 7702.15 煤质颗粒活性炭试验方法 灰分的测定
GB/T 19587 气体吸附BET法测定固态物质比表面积
GB/T 21650.1 压汞法和气体吸附法测定固体材料孔径分布和孔隙度 第1部分：压汞法
GB/T 21354 粉末产品振实密度测定通用方法
HJ 828 水质 化学需氧量的测定 重铬酸盐法
JC/T 2518 疏水二氧化硅气凝胶粉体

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

气凝胶 aerogel
通过溶胶凝胶法，用一定的干燥方式使气体取代凝胶中的液相而形成的一种纳米级多孔固态材料。

3.2

污水处理用气凝胶吸附材料 aerogel adsorption materials for wastewater treatment
以无机、有机或复合基材为原料，经溶胶-凝胶、溶剂置换、干燥固化等工艺制备，具有三维纳米多孔结构、高比表面积，可通过物理吸附、化学络合、静电作用等方式去除污水中污染物，适用于污水处理工艺的功能性多孔气凝胶材料。

3.3

比表面积 specific surface area
单位质量固态物质的表面积。

3.4

饱和吸附容量 saturation adsorption capacity

在规定温度、pH值、污染物初始浓度条件下，气凝胶吸附材料对目标污染物达到吸附平衡时的最大吸附量，单位为毫克每克（mg/g）。

3.5

一次再生率 regeneration efficiency after one cycle

吸附饱和后经解吸再生，恢复至初始吸附容量的百分比，反映材料可重复使用性。

3.6

孔隙率 porosity

气凝胶内部孔隙体积与材料表观体积之比，以百分数（%）表示。

3.7

水接触角 water contact angle

液滴在固体表面稳定后，固-液界面切线与液滴表面切线之间的夹角，用于表征材料亲疏水性（°）。

3.8

孔容 total pore volume of unit mass

单位质量吸附剂中微孔、中孔和大孔的容积之和。

4 分类

4.1 按基材类型分类：

- a) 二氧化硅基气凝胶；
- b) 碳气凝胶；
- c) 其他，如氧化铝基、金属氧化物基、有机及有机-无机复合气凝胶等。

4.2 按主要吸附功能分类：

- a) 亲水-离子交换型：主要用于吸附水中重金属离子、阳离子染料等；
- b) 疏水-物理吸附型：主要用于吸附水中油类、非极性有机溶剂等；
- c) 多功能吸附型：经特殊设计，可同时或顺序处理多种污染物。

5 技术要求

5.1 外观

- 5.1.1 产品形态均匀，无明显结块、开裂、霉变与肉眼可见杂质。
- 5.1.2 粉体产品粒度均一，无团聚板结。
- 5.1.3 颗粒/块状产品结构完整，无松散脱落、粉化现象；产品色泽均匀，无异常色差。

5.2 理化性能

产品理化性能应符合表1的规定。

表 1 理化性能指标

项目	指标要求	备注
密度，g/cm ³	≤0.15（块状）； ≤0.20（颗粒/粉末）	低密度利于悬浮与传质
比表面积，m ² /g	≥500	入门级产品均可达到500 m ² /g以上； 高性能改性产品可达600 m ² /g以上
孔容，mL/g	≥0.4	传统水处理活性炭孔容积多为0.3~0.8 mL/g，气凝胶

		孔隙率更高，设定为0.4 mL/g
含水率，%	≤5.0	—
饱和吸水率，%	≥500	亲水-离子交换型、多功能吸附型
孔隙率，%	≥85.0	—
水接触角，°	≥130	疏水-物理吸附型、多功能吸附型
1%水悬浮液pH值	6.0~8.5	—

5.3 吸附性能指标

产品核心吸附性能应符合表2的规定。

表 2 吸附性能指标

项目	二氧化硅基	碳基
碘吸附值，mg/g	≥600	≥700
亚甲基蓝吸附值，mg/g	≥120	≥150
化学需氧量（COD）去除率，%	≥70	≥75
Cu ²⁺ 饱和吸附容量，mg/g	≥80	≥90
一次再生率，%	≥85	≥85

5.4 安全环保卫生要求

- 5.4.1 水浸出毒性：应按 GB 5085.3 检测，铅、镉、汞、六价铬、砷浸出浓度满足污水综合排放限值，不产生重金属二次污染。
- 5.4.2 有机溶出物：材料浸泡液无挥发性有毒有机物、塑化剂释放。
- 5.4.3 废弃处置：无机气凝胶可回收再生；生物质有机气凝胶可生物降解。
- 5.4.4 作业安全：常温使用无粉尘、刺激性挥发物。

5.5 工况稳定性

- 5.5.1 pH 适应性：pH4~10 范围内，目标污染物吸附效率保留率≥80%。
- 5.5.2 耐盐性能：总含盐量≤5000 mg/L 模拟污水，吸附效率保留率≥85%。
- 5.5.3 动态抗粉化：连续通水 72h，无明显粉化、出水悬浮物增量≤5 mg/L。

6 试验方法

6.1 外观检验

自然光条件下目视观察样品形态、色泽、杂质、结块、粉化等情况，记录检测结果。

6.2 理化性能试验

6.2.1 密度的测定

应按照GB/T 21354中的相关规定进行测定。

6.2.2 比表面积、孔容、孔隙率的测定

比表面积、孔容应按照 GB/T 19587 中的相关规定进行测定。样品的比表面积采用 Barrett-Emmet-Teller（BET）方法，根据相对压力在0.04MPa~0.30MPa范围的吸附数据进行计算：孔体积取等温线吸附分支、相对压力P/P%=0.992~0.995处的吸附量计算。孔隙率计算需要结合BET法测得的孔体积V_孔与材料真密度 ρ_真，按公式（1）计算：

$$P = V_{孔} / (V_{孔} + 1/\rho_{真}) \cdots \cdots (1)$$

式中：
P ——干孔隙率；
V_孔 ——干孔体积；
ρ_真 ——干材料真密度。

6.2.3 含水率的测定

应按GB/T 7702.1中的相关规定进行测定。

6.2.4 灰分的测定

应按GB/T 7702.15中的相关规定进行测定。

6.2.5 饱和吸水率的测定

6.2.5.1 仪器与试剂

电子分析天平：精度0.001 g；电热鼓风干燥箱；干燥器；烧杯；不锈钢网篮；去离子水；试验环境温度（23±2）℃。

6.2.5.2 试样制备

取代表性试样，块状、颗粒试样剔除破碎碎屑；粉体试样充分混匀。试样于105℃±5℃烘干至恒重（相邻两次称量质量变化≤0.2%），置于干燥器冷却至室温。平行试样不少于3份。

6.2.5.3 试验步骤

试验步骤应符合以下要求：

- 称量干燥试样质量 m_0 。粉体试样放入不锈钢网篮，防止漂浮散失；颗粒、块状试样完全浸没于去离子水中，水面高出试样表面≥20 mm；
- （23±2）℃条件下浸泡 30 min，浸泡过程不挤压、搅动试样；
- 浸泡结束取出试样；粉体、颗粒试样静置沥干游离滴水；块状试样用润湿滤纸轻拭表面浮水，严禁挤压试样，避免孔隙内水分流失；
- 快速称量吸水饱和和试样质量 m_1 。

6.2.5.4 结果计算

称取干试样 m_0 ，浸入去离子水中30 min，取出沥干表面水分后称重 m_1 ，按公式（2）进行计算：

$$W(\%) = \frac{(m_1 - m_0)}{m_0} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

式中：

W——饱和吸水率，%；

m_0 ——干燥试样质量，单位g；

m_1 ——吸水饱和和沥干后试样质量，单位g。

6.2.6 水接触角的测定

应按照JC/T 2518中的相关规定进行测定。

6.2.7 1%水悬浮液 pH 值的测定

应按照GB/T 5211.6中的相关规定进行测定。

6.3 吸附性能试验

6.3.1 碘吸附值的测定

应按照GB/T 7702.7的相关规定进行测定。

6.3.2 亚甲基蓝吸附值的测定

应按照GB/T 7702.6的相关规定进行测定。

6.3.3 化学需氧量（COD）去除率的测定

配置COD初始浓度300 mg/L模拟污水，固液比1 g/L投加样品，恒温振荡24 h，应按照HJ 828中的相关规定测定上清液COD，计算去除率。

6.3.4 一次再生率的测定

6.3.4.1 仪器与试剂

采用饱和吸附容量测定所用仪器、试剂。

6.3.4.2 6.3. 试样制备

取代表性试样，平行试样不少于3份。

6.3.4.3 试验步骤

试验步骤应符合以下要求：

- a) 按饱和吸附容量测试方法测定试样初始饱和吸附容量 Q_0 ；
- b) 根据吸附对象选用对应的再生方法对饱和试样进行再生；
- c) 吸油型样品可采用机械挤压脱除吸附介质，挤压后静置至气凝胶弹性回弹、孔隙结构复原；
- d) 在相同试验条件下，测定再生后试样的饱和吸附容量 Q_1 。

6.3.4.4 结果计算

一次再生率按公式（3）计算：

$$R = \frac{Q_1}{Q_0} \times 100\% \cdots \cdots \cdots (3)$$

式中：

- R——一次再生率，%；
- Q_0 ——初始饱和吸附容量；
- Q_1 ——再生后饱和吸附容量。

取平行测定算术平均值作为结果，保留1位小数。平行样相对偏差不应大于5%，超出应重做试验。

6.4 安全环保性能试验

材料水浸出毒性试验应按GB 5085.3的相关规定完整流程操作，检测铅、镉、汞、六价铬、砷浸出浓度。

6.5 工况稳定性试验

6.5.1 pH 适应性试验

分别配制pH=4、7、10三组模拟污水，同等条件下测定吸附效率，以中性基准组效率为分母计算吸附效率保留率。

6.5.2 耐盐性能试验

配制总盐度5000 mg/L含污染物模拟废水，与无盐基准组对比吸附效率，计算保留率。

6.5.3 动态抗粉化试验

试样装填固定床反应器，连续通入模拟污水72 h，定时监测出水悬浮物、污染物去除效率，试验结束观察材料粉化、破损情况。

7 检验规则

7.1 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	√	√
密度	√	√

比表面积	√	√
孔容	—	√
含水率	√	√
饱和吸水率	—	√
孔隙率	—	√
水接触角	—	√
1%水悬浮液pH值	√	√
碘吸附值	√	√
亚甲基蓝吸附值	√	√
化学需氧量（COD）去除率	—	√
Cu ²⁺ 饱和吸附容量	—	√
一次再生率	—	√
浸出毒性（安全环保）	—	√
工况稳定性	—	√
注：“√”表示需进行检验的项目，“—”表示不需进行检验的项目。		

7.2 出厂检验

出厂检验应符合表3的规定。

7.3 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：

- e) 新产品定型鉴定时；
- f) 原材料或工艺有重大改变时；
- g) 停产半年以上恢复生产时；
- h) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时。

7.4 判定规则

所有检验项目均符合本文件要求时，判该批产品合格。任一指标不符合要求时，应取留存样复检，复检仍不合格则判该批不合格。

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

产品外包装上应有清晰标志，内容包括：产品名称、型号、类别、批号、生产日期、生产厂家、执行标准号。

8.2 包装

应采用防潮、防静电的铝箔袋或密封桶包装，并附有产品合格证。包装储运图示标志应符合GB/T 191的规定。

8.3 运输

运输过程中应防止雨淋、受潮、重压及机械破损。粉末及颗粒状材料应避免剧烈震动导致扬尘。

8.4 贮存

产品应贮存在阴凉、干燥、通风的库房内，远离酸碱腐蚀源及热源。保质期自生产之日起不少于12个月。
