

ICS 91.010
CCS B 12

T/XJCETS

新疆混凝土工程技术学会团体标准

T/XJCETS 016—2025

工业固体废弃物制备地质聚合物 标准技术指引

Standard Technical Guidelines for Preparation Geopolymers from Industrial
Solid Waste

2025 - 12 - 29 发布

2026 - 01 - 29 实施

新疆混凝土工程技术学会 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	1
4 原材料	2
4.1 高炉矿渣粉、粉煤灰、硅灰、钢渣粉、电炉磷渣粉	2
4.2 工业副产品石膏	2
4.3 赤泥、电石渣、硅钙渣、煤矸石、尾矿、有色金属渣	2
4.4 碱性激发剂	2
5 分类与标记	2
5.1 分类	3
5.2 标记	3
6 技术要求	4
6.1 理化性能要求	4
6.2 放射性	5
6.3 均匀性	5
7 试验方法	5
7.1 氧化钙含量、二氧化硅含量、三氧化硫含量、碱含量、氯离子含量	5
7.2 细度（45 μm 方孔筛筛余）	5
7.3 细度（比表面积）	5
7.4 凝结时间、安定性（雷氏夹法）	5
7.5 安定性（压蒸膨胀率）	5
7.6 抗压强度、抗折强度	5
7.7 放射性	5
7.8 均匀性	5
8 检验规则	6
8.1 原材料质量检验	6
8.2 地质聚合物质量检验	6
9 包装、标志、运输与贮存	7
9.1 包装	7
9.2 标志	7
9.3 运输与贮存	7
参考文献	8

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。

本文件由新疆胜达天利项目管理有限公司提出。

本文件由新疆混凝土工程技术学会归口。

本文件起草单位：新疆胜达天利项目管理有限公司、中铁隧道局集团有限公司、新疆北方建设集团有限公司、第一师建设工程质量安全监督站、新疆苏泰建筑有限公司、新疆宸建工程有限责任公司、新疆兵团市政轨道交通（集团）有限公司、新疆兵团水科院（有限公司）、新疆绿翔建设工程集团有限责任公司、新疆鸿运雨泽建设工程有限公司、新疆金正建投工程集团有限公司、阿克苏大成市政建设有限公司、忠泰建设集团有限公司、太平洋建设集团有限公司、广西两湾建设有限公司、新疆海天祥瑞环保工程有限公司、中铁十九局集团有限公司、天津城建滨海路桥有限公司、新疆北庭市政工程有限责任公司、湖南建工集团有限公司、乌鲁木齐环投市政路桥有限公司、尼勒克县建筑安装市政工程有限责任公司、湖南高岭建设集团股份有限公司、新疆融汇市政工程有限责任公司、新疆宏达工程建设有限公司、新疆建化实业有限责任公司、湖南长大建设集团股份有限公司、湖南省第五工程有限公司、乌什县薪诺建设有限公司、河北省第二建筑工程有限公司、兴泰建设集团有限公司、中亿丰建设集团股份有限公司、广西建工集团控股有限公司、新疆楚源电力工程有限公司、安徽同济建设集团有限责任公司、湖南金辉建设集团有限公司、广西建工集团第四建筑工程有限责任公司、上海建工七建集团有限公司、云南建投第四建设有限公司。

本文件主要起草人：赵立新、陈世凯、张杰、赵中卫、吕海斌、武小芳、孙海霞、邵斯琨、孟仝、陈立跃、周杨、赵英睿、王琦、何世强、曹斐、张海涛、何世彬、王啸、张晓莲、薛芮、陆博君、罗志明、王昱珩、文康、廖劲辉、方勇、李宇宁、高龙辉、冯霞、杨浩镭、刘凯、李磊兴、肖志强、韩丽娜、张三亚、谭钦之、刘宇姣、宋啊玲、汪浩、王金良、杨志伟、祁勤芳、韩正中、肖梁兴、马卫东、张强、马小龙、武江龙、刘洋、胡本伟、孔令阳、蒋先虎、冯静、朱伟伟、严涛、何冰、郑冠雨、黄林。

本文件主要审查人员：侍克斌、刘海顺、刘辉、吕海波、孙宁波。

工业固体废物制备地质聚合物标准技术指引

1 范围

本文件为用于制备地质聚合物的工业固体废弃物的术语、性能指标要求，地质聚合物定义和分类提供技术指引。

本文件适用于开展工业固体废物制备地质聚合物的技术工作。

本文件不适用于采用工业有害固体废物制备地质聚合物。

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 176 水泥化学分析方法
- GB/T 209 工业用氢氧化钠
- GB/T 210 工业碳酸钠
- GB/T 750 水泥压蒸安定性试验方法
- GB/T 1345 水泥细度检验方法 筛析法
- GB/T 1346 水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法
- GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰
- GB/T 4209 工业硅酸钠
- GB 5085.3 危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别
- GB/T 6009 工业无水硫酸钠
- GB 6566 建筑材料放射性核素限量
- GB/T 8074 水泥比表面积测定方法 勃氏法
- GB/T 12573 水泥取样方法
- GB/T 17671 水泥胶砂强度检验方法（ISO法）
- GB/T 21371 用于水泥中的工业副产石膏
- GB/T 51003 矿物掺合料应用技术规范
- JC/T 479 建筑生石灰
- JC/T 481 建筑消石灰
- DB14/T 3532-2025 粉煤灰基地质聚合物应用技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

地质聚合物 **Geopolymer**

由含有活性铝硅酸盐矿物组分天然矿物或工业固体废物为原料，通过碱激发反应发生缩聚，形成以硅（铝）氧四面体为骨架的三维网状无机聚合物，简称地聚物。

[来源：DB14/T 3532-2025，3.2，有修改]

3.2

工业固体废物 **Industrial solid waste**

工业生产活动排入环境中经过无害化处理，并含有活性铝硅酸盐矿物组分的各种废渣、粉尘及其他废物（如高炉矿渣、粉煤灰、电炉磷渣、钢渣、硅灰、工业副产品石膏、赤泥、电石渣、硅钙渣、煤矸石、尾矿、有色金属渣等）。

3.3

碱性激发剂 Alkaline activator

能够激发天然矿物或工业固体废弃物等材料的活性，使其发生聚合反应的碱性物质（如氢氧化钠、氢氧化钾、硅酸钠、硅酸钾、碳酸钠、硫酸钠、生石灰、消石灰等）。

[来源：DB14/T 3532-2025，3.4，有修改]

3.4

工业固体废弃物制备地质聚合物 Preparation of geopolymers from industrial solid waste

利用一种或多种可提供铝源、硅源以及少量钙源的工业固体废弃物，经烘干或风干干燥及粉磨后，复掺一种或多种碱性激发剂，进一步在常温或规定温度下均化处理的工业自动化生产工艺生产的水硬性胶凝材料。

4 原材料

地质聚合物所用材料，如富含铝源、硅源以及少量钙源的工业固体废弃物和激发剂等，其相关技术指标应满足本标准的要求；采用其他工业固体废弃物和激发剂的研究、开发和生产转化能用于地质聚合物配制的材料其相关技术指标应满足本标准的要求。

4.1 高炉矿渣粉、粉煤灰、硅灰、钢渣粉、电炉磷渣粉

应符合GB/T 51003的规定。

4.2 工业副产品石膏

应符合GB/T 21371的规定。

4.3 赤泥、电石渣、硅钙渣、煤矸石、尾矿、有色金属渣

应干净、无杂质、粉磨后不聚团，技术指标及试验方法应符合下列规定。

表1 赤泥、电石渣、硅钙渣、煤矸石、尾矿、有色金属渣等工业固体废弃物技术指标

序号	检测项目		单位	技术指标	试验方法	备注
1	细度（80 μm方孔筛筛余）		%	1~3	GB/T 1345	/
2	氧化钙含量		%	10~50	GB/T 176	/
3	二氧化硅含量		%	10~50		/
4	三氧化二铝含量		%	5~10		/
5	三氧化硫含量		%	≤3.5		/
6	烧失量		%	≤8.0		/
7	安定性（雷氏夹法）		mm	≤5.0	GB/T 1346	掺量30%
8	含水率		%	≤1.0	GB/T 1596	/
9	强度活性指数		%	≥60		掺量30%
10	放射性	外照射指数 I_{Ra}	/	≤1.0	GB 6566	/
		内照射指数 I_{γ}				
11	可浸出重金属		mg/kg	符合GB 5085.3的规定	GB 5085.3	/

注：强度活性指数为可选指标。

4.4 碱性激发剂

氢氧化钠、氢氧化钾应符合GB/T 209的规定，硅酸钠、硅酸钾应符合GB/T 4209的规定，碳酸钠应符合GB/T 210的规定，硫酸钠应符合GB/T 6009的规定，生石灰应符合JC/T 479的规定，消石灰应符合JC/T 481的规定。

5 分类与标记

5.1 分类

5.1.1 按照原料来源分类

按工业固体废弃物种类不同分类为：

- a) 高炉矿渣地质聚合物（标记代码 WBS）；
 - b) 粉煤灰地质聚合物（标记代码 WFA）；
 - c) 电炉磷渣地质聚合物（标记代码 WES）；
 - d) 钢渣地质聚合物（标记代码 WSS）；
 - e) 硅灰地质聚合物（标记代码 WSF）；
 - f) 工业副产品石膏地质聚合物（标记代码 WGS）；
 - g) 赤泥地质聚合物（标记代码 WRM）；
 - h) 电石渣地质聚合物（标记代码 WCS）；
 - i) 硅钙渣地质聚合物（标记代码 WSC）；
 - j) 煤矸石地质聚合物（标记代码 WCG）；
 - k) 尾矿地质聚合物（标记代码 WTS）。
- 有色金属渣地质聚合物（标记代码 WNS）

5.1.2 按照激发剂种类分类

按激发剂中起主导作用的化学成分分类为：

- a) 碱金属类地质聚合物（标记代码 AAM）：以钠、钾等碱金属氢氧化物或碳酸盐为主要激发剂；
- b) 碱土金属类地质聚合物（标记代码 AAE）：以钙、镁等碱土金属氧化物或氢氧化物为主要激发剂；
- c) 硅（铝）酸盐类地质聚合物（标记代码 ASI）：以水玻璃（硅酸钠/钾）等可溶性硅（铝）酸盐模块为主要激发剂。

5.1.3 按照体系化学组成分类

按地质聚合物产物中主要的网络形成阳离子或特征相分类为：

- a) 含钙体系地质聚合物（标记代码 C）：产物结构中含有显著钙元素参与或以钙矾石等含钙相为特征；
- b) 纯铝硅体系地质聚合物（标记代码 P）：产物以 $[\text{SiO}_4]$ 和 $[\text{AlO}_4]$ 四面体聚合为主，钙含量低，不含钙矾石；
- c) 含镁体系地质聚合物（标记代码 M）：产物结构中含有显著镁元素参与（如镁质凝胶相）；
- d) 含铁体系地质聚合物（标记代码 F）：产物结构中含有显著铁元素参与（如铁铝硅凝胶相）。

5.1.4 按照制备工艺分类

按主要原料组分数分类为：

- a) 单组分地质聚合物（标记代码 S）：系指采用一种主要铝硅酸盐原料和一种主要激发剂制备的地质聚合物；
- b) 多组分地质聚合物（标记代码 M）：系指采用两种及两种以上主要铝硅酸盐原料和激发剂制备的地质聚合物。

5.1.5 按照强度等级分类

地质聚合物的强度等级分为32.5、42.5和52.5三个强度等级。

5.2 标记

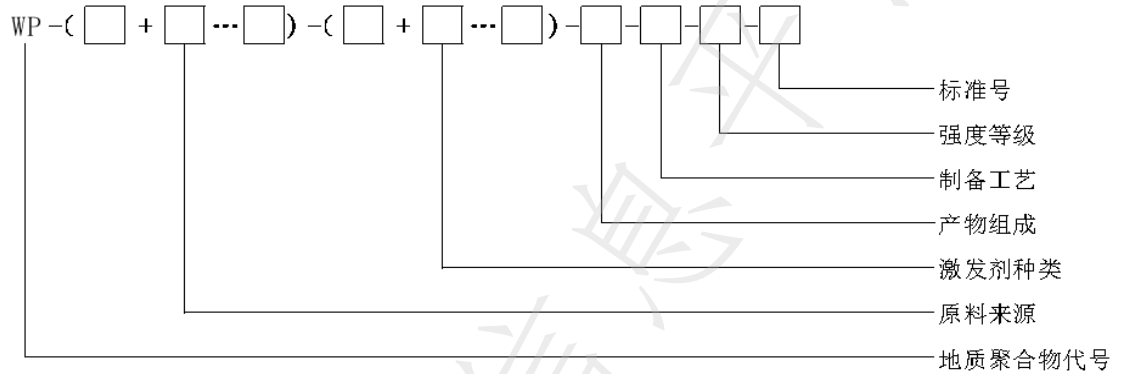
5.2.1 完整标记

5.2.1.1 应包含下列内容：

- a) 原料来源：按照本文件 5.1.1 标记代码标记，多原料时用“+”连接，括号括起；
- b) 激发剂种类：按照本文件 5.1.2 标记代码标记，多激发剂时用“+”连接，括号括起；

- c) 产物组成：按照本文件 5.1.3 标记代码标记；
- d) 制备工艺：按照本文件 5.1.4 标记代码标记；
- e) 强度等级：按照本文件 5.1.5 标记代码标记；
- f) 标准号。

5.2.1.2 地质聚合物的完整标记的规格型号表示方法如下：



示例 1：由高炉矿渣为原材料,选用碱金属氢氧化物激发剂制备的纯铝硅体系、单组分、强度等级为 32.5 的地质聚合物,其完整标记为: WP-WBS-AAM-P-S-32.5-T/XJCETS 016—2025

示例 2：由高炉矿渣、粉煤灰以及煤矸石为原材料,选用硅酸盐和碱土金属复合激发剂制备的含钙体系、多组分、强度等级为 42.5 的地质聚合物,其完整标记为: WP-(WBS+WFA+WCG)-(ASI+AAE)-C-M-42.5-T/XJCETS 016—2025

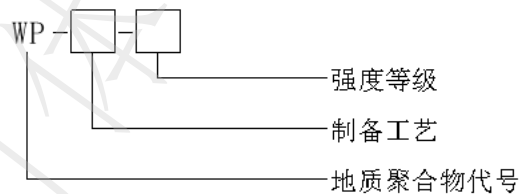
5.2.2 简便标记

5.2.2.1 在地质聚合物产品设计、生产、运输、合格证等汇总,可以采用简便标记。

5.2.2.2 地质聚合物简便标记应包含下列内容：

- a) 制备工艺：按照本文件 5.1.4 标记代码标记；
- b) 强度等级：按照本文件 5.1.5 标记代码标记；

5.2.2.3 地质聚合物的简便标记的规格型号表示方法如下：



示例 1：由高炉矿渣为原材料和激发剂选用强碱类制备的不含钙矾石,单组分,强度等级为 42.5 的地质聚合物完整标记为: WP-S-42.5

示例 2：由高炉矿渣、粉煤灰以及煤矸石为原材料,激发剂选用硅基类和碱土金属类制备的含钙矾石,多组分,强度等级为 42.5 的地质聚合物完整标记为: WP-M-42.5

6 技术要求

6.1 理化性能要求

工业固体废弃物制备地质聚合物技术指标应符合下表的规定。

表 2 工业固体废弃物制备地质聚合物技术指标

序号	项目	单位	技术指标		
			32.5	42.5	52.5
1	氧化钙含量	%	≥10.0		
2	二氧化硅含量	%	≥20.0		
3	氧化钙与二氧化硅质量比	/	≥2.0		

4	三氧化硫含量		%	≤3.5		
5	碱含量		%	≤8.0		
6	氯离子含量		%	≤0.06		
7	细度	45 μm方孔筛筛余	%	≥5.0		
		比表面积	m ² /kg	≥300		
8	凝结时间	初凝	min	≥45		
		终凝		≤600		
9	安定性	雷氏夹法	mm	≤5.0		
		压蒸膨胀率	%	≤0.50		
10	抗压强度	3 d	MPa	≥12.0	≥17.0	≥22.0
		28 d		≥32.5.0	≥42.5	≥52.5
11	抗折强度	3 d	MPa	≥3.0	≥4.0	≥4.5
		28 d		≥5.5	≥6.5	≥7.0
注1: 细度、安定性可任选其一进行技术指标检测、评价。						
注2: 凝结时间、安定性、抗压强度、抗折强度等物理性能指标均由对应粉料制备而成。						

6.2 放射性

外照射指数 I_{Ra} 、内照射指数 I_{γ} 均≤1.0。

6.3 均匀性

最大偏差≤5.0%，或由买卖双方协商确定。

7 试验方法

7.1 氧化钙含量、二氧化硅含量、三氧化硫含量、碱含量、氯离子含量

按GB/T 176的规定进行。

7.2 细度（45 μm方孔筛筛余）

按GB/T 1345的规定进行。

7.3 细度（比表面积）

按GB/T 8074的规定进行。

7.4 凝结时间、安定性（雷氏夹法）

按GB/T 1346的规定进行。

7.5 安定性（压蒸膨胀率）

按GB/T 750的规定进行。

7.6 抗压强度、抗折强度

按GB/T 17671的规定进行。

7.7 放射性

按GB 6566的规定进行。

7.8 均匀性

按GB/T 1596的规定进行。

8 检验规则

8.1 原材料质量检验

- 8.1.1 原材料进场时，应按规定批次、验收形式、检验报告、出厂检验报告、质量合格证明文件验收。
- 8.1.2 原材料应进行进场检验，在地质聚合物生产过程中，宜对原材料进行随机抽检，取样方法应符合 GB/T 12573 的规定。
- 8.1.3 赤泥、电石渣、硅钙渣、煤矸石、尾矿、有色金属渣等工业固体废弃物检验规则应符合下列规定：
- 同一产地、同一区域的工业固体废弃物，一个检验批不应大于 600 t；
 - 同一产地、同一区域的工业固体废弃物，当连续 3 次进场检验均一次检验合格时，后续的检验批量可扩大一倍；
 - 工业固体废弃物质量要求应符合本文件第 4 章的规定。

8.2 地质聚合物质量检验

8.2.1 编号及取样

- 8.2.1.1 地质聚合物出厂时（或出厂前）按同品种、同强度等级编号和取样。袋装地质聚合物和散装地质聚合物应分别进行编号和取样。不超过 500 t 为一编号，每一编号为一取样单位。
- 8.2.1.2 取样方法按 GB/T 12573 进行，总量不少于 12 kg。

8.2.2 地质聚合物检验

8.2.2.1 出厂检验

出厂检验项目为氧化钙含量、二氧化硅含量、氧化钙与二氧化硅质量比、三氧化硫含量、碱含量、氯离子含量、凝结时间、安定性（雷氏夹法）、细度（45 μm 方孔筛筛余）、抗压强度、抗折强度、均匀性。

8.2.2.2 型式检验

型式检验为第 6 章全部内容。有下列情况之一者，应进行型式检验：

- 新投产时；
- 原燃料有改变时；
- 生产工艺有改变时；
- 产品停产 6 个月后，恢复生产时；
- 正常生产时，连续生产 ≥ 2000 t 或每 12 个月进行一次型式检验。

8.2.3 判定规则

8.2.3.1 出厂检验

- 8.2.3.1.1 出厂检验项目全部满足技术要求时为合格品。
- 8.2.3.1.2 出厂检验项目中任何一项不满足技术要求时为不合格品。

8.2.3.2 型式检验

- 8.2.3.2.1 型式检验结果符合第 6 章所有技术要求时为合格。
- 8.2.3.2.2 型式检验结果不符合第 6 章中任何一项技术要求时为不合格。

8.2.4 检验报告

- 8.2.4.1 检验报告内容应包括出厂编号、地质聚合物代号、出厂检测项目。
- 8.2.4.2 当买方要求时，生产者应在地质聚合物发出之日起 10 d 内报告除抗压强度、抗折强度以外的各项检验结果，35 d 内补报抗压强度、抗折强度的检验结果。

8.2.5 仲裁

对地质聚合物质量有争议时，相关单位应将认可的样品签封，送具备CMA及地质聚合物全项参数资质的第三方检验机构进行仲裁检验，允许双方协商选择第三方机构。

9 包装、标志、运输与贮存

9.1 包装

地质聚合物可以散装或袋装，每袋净含量不得少于标志质量的99%。其他包装规格由买卖双方协商确定。

9.2 标志

9.2.1 散装地质聚合物应提供卡片，包括产品名称、分类、等级、净含量、批号、执行标准号、生产厂家名称和地址、生产日期。

9.2.2 袋装地质聚合物的包装袋上应标明与散装粉煤灰卡片相同的内容。

9.3 运输与贮存

地质聚合物在运输与贮存时不得受潮和混入杂物，同时应防止污染环境，有效期为3个月，超过有效期后应对出厂检测项目进行复检，合格后方可使用。

参 考 文 献

- [1] 生态环境部公告2024年第4号 《固体废物分类与代码目录》
 - [2] DB3209/T 1265—2024 废渣及海泥复合地质聚合物水泥应用技术规范
 - [3] DB14/T 3532—2025 粉煤灰基地质聚合物应用技术规范
 - [4] DB37/T 3559—2019 公路工程赤泥（拜耳法）路基应用技术规范
 - [5] DB15/T 1225—2017 硅钙渣粉煤灰稳定材料路面基层应用规范
-