

团体标准
《工业固废装配式蓄热混凝土板》
编制说明

标准编制小组
2024 年 3 月

《工业固废装配式蓄热混凝土板》

编制说明

一、标准制定的必要性

随着工业的高速发展和人口数量的快速增加，造成世界能源的总消耗急剧增加。近年来，为了改变能源现状、增加能源供应、降低能源消耗，储热技术成为了建筑及新能源领域的研究重点之一。另一方面，我国工业固废大量堆存，不但侵占了大面积的土地资源，对社会经济和环境造成了严重的破坏，当前面临的固废处置问题已制约了城市健康、稳定、有序发展，急需加快提升固废资源化利用和处置能力，谋求构建循环经济，实现固废资源化处置。

装配式构件可以提高生产效率，节约能源，绿色环保，并且有利于提高和保证建筑工程质量。然而，涉及到工业固废制备的蓄热混凝土研究较少，技术体系尚未成熟，处于一个较低的水平，而利用工业固废制备装配式蓄热混凝土构件的研究更是少之又少。利用工业固废生产装配式蓄热混凝土板是现代化新型建筑材料和能源发展的趋势，工业固废装配式蓄热混凝土中骨料与胶凝材料之间、各工业灰渣之间、高导热材与混凝土基体的相互作用机理极为复杂，经蒸压养护后在储热装置中的实际作用机理更为复杂，目前尚未形成明确的工业固废装配式蓄热混凝土板规程来指导设计和施工。若工业固废装配式蓄热混凝土板中材料的选取、工业灰渣的取代率、混凝土的配合比、高导热材料掺量等设置不合理时，会对构件整体性能造成极大的影响。

编制组将在标准中反映出最新创新成果，标准将从原材料、设计和构造等角度予以规范，此举将完善工业固废装配式蓄热混凝土板的应用，解决工程实际问题，对固废混凝土的应用提供理论依据，以达到有利于便利经贸往来，支撑产业发展，促进科技进步，规范社会治理的目的。

二、标准编制原则及依据

1. 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》要求进行编写。
2. 参照相关法律、法规和规定，在编制过程中着重考虑了科学性、适用性

和可操作性。

三、项目背景及工作情况

（一）任务来源

根据《中国国际科技促进会标准化工作委员会团体标准管理办法》的有关规定，经中国国际科技促进会标准化工作委员会及相关专家技术审核，批准《工业固废装配式蓄热混凝土板》团体标准制定计划，计划编号为：CI2023493。本标准由东北大学提出，中国国际科技促进会归口。

根据计划要求，本标准完成时限为 6 个月。

（二）标准起草单位

本标准的主要起草单位是东北大学，负责标准文档起草及相关文件的编制等。沈阳工业大学、沈阳市智联建材有限公司为主要参与单位，负责标准中重要技术点的研究和建议，并参与标准内容的讨论。

（三）标准研制过程及相关工作计划

1) 前期准备提工作

项目立项前，标准编制小组查阅、研读相关国内外文献，广泛收集、固废混凝土、混凝土预制构件、蓄热混凝土技术相关的材料。同时，多次投身于蓄热混凝土预制构件实验，并与该行业相关人员进行调研、交流，广泛征求标准制定方面的意见和建议。

2) 标准起草过程

2023年11月23日由中国国际科技促进会标准化工作委员会向国家标准委全国标准服务平台提交立项，立项编号为：CI2023493，并向全社会公示了十五日。

2023年12月9日由东北大学以视频形式组织了第一次起草会议，分析了工业固废装配式蓄热混凝土板的市场需求、现有技术水平、环保要求等，以确保标准的实用性和前瞻性；讨论并确定标准的主要内容和章节安排，如材料要求、生产工艺、性能测试方法、环境保护措施、质量控制等；根据标准的框架，将不同章节或部分的起草工作分配给具有相关专业知识的组员，为每个分工明确编制详细的任务书，包括起草内容、完成时间节点、所需资料和参考标准等。

2023年12月20日组织了第二次起草会议，确定下了标准内容的草案；

2024年1月10日将标准草案提交中国国际科技促进标准化工作委员会，通过审核，于3月报送了全国标准平台，并向全社会公开征求意见30日。

3) 征求意见情况

标准编制小组先后通过现场会议、电话、微信等多种形式征集行业专家相关意见和建议。针对征集的意见，标准编制小组召开了研讨会，将收集到的意见进行汇总处理分析，在充分吸纳合理意见的基础上，先后修改和完成标准内容，于2024年3月根据在各单位反馈意见基础上，形成了标准征求意见稿并由中国国际科技促进会提交全国标准信息平台公示。

(四) 主要试验（或验证）情况分析

1) 工业固废大掺量胶凝材料的制备及性能评价

以大宗工业固体废弃物粉煤灰和矿渣作为原料，水玻璃溶液和氢氧化钠作为碱性激发剂制备固废基胶凝材料，通过三因素四水平正交试验分析不同因素对胶凝材料流动性、凝结时间、抗折强度及抗压强度性能的影响，试验配合比如表1所示，试验结果如表2所示,其中28d强度极差方差分析如表3、4和图1所示。制备过程如下：根据试验配合比称取各材料的用量；将计算并称量好的氢氧化钠固体颗粒和水与模数3.3的液体水玻璃进行充分的搅拌，使水玻璃的模数达到试验要求，将该激发剂冷却至室温以备使用；将调配好的激发剂先倒入锅内，再倒入矿渣和粉煤灰进行搅拌，低速搅拌30s后加入标准砂，再高速搅拌30s，停拌90s，停拌期间将叶片和锅上的胶砂刮入锅内，最后高速搅拌60s。将搅拌好的料浆倒入模具内，用振实台将试样内部空气振出，首先将空模具固定在振实台上，将拌好的胶凝材料料浆装入模具振动60次，再将模具装满后振动60次将已经成型的试件，与模具一同在常温下养护24h后脱模，再放进养护箱内标准养护直至龄期。

表 1 胶凝材料试验方案

试件编号	FA/GGBS	水玻璃模数	激发剂掺量（%）
S1	8:2	1.0	6
S2	8:2	1.2	7
S3	8:2	1.4	8
S4	8:2	1.6	9
S5	7:3	1.0	7

S6	7:3	1.2	6
S7	7:3	1.4	9
S8	7:3	1.6	8
S9	6:4	1.0	8
S10	6:4	1.2	9
S11	6:4	1.4	6
S12	6:4	1.6	7
S13	5:5	1.0	9
S14	5:5	1.2	8
S15	5:5	1.4	7
S16	5:5	1.6	6

表 2 胶凝材料物理力学性能试验结果

试件编 号	流动度 /mm	初凝时 间/mm	终凝时 间/mm	导热 系数 W/mk	7d 抗折 强度 /MPa	28d 抗 折强度 /MPa	7d 抗压 强度 /MPa	28d 抗 压强度 /MPa
S1	247	67	97	2.3	2.1	4.4	13.3	26.7
S2	241	62	95	2.49	3.6	9.2	24.1	52.4
S3	232	61	87	2.51	3.2	7.7	24.8	59.2
S4	226	63	93	2.55	3.1	7.5	21.6	59.9
S5	236	57	77	2.44	3.0	6.8	23.3	41.1
S6	231	63	85	2.45	2.6	5.6	18.9	39.2
S7	213	46	64	2.81	3.4	8.0	33.2	72.3
S8	206	52	72	2.69	3.4	7.5	34.8	67.9
S9	229	35	42	2.66	4.1	10.1	34.9	72.0
S10	212	31	40	3.15	3.7	8.7	40.6	81.3
S11	221	40	50	2.78	4.2	9.0	33.4	72.5
S12	208	42	53	3.3	4.2	9.3	39.9	83.9
S13	210	17	19	2.89	5.6	9.7	45.5	74.9
S14	203	19	23	2.81	4.5	9.6	44.7	72.1
S15	192	27	33	2.99	3.9	9.1	44.1	77.8
S16	188	35	45	2.77	3.6	8.9	37.6	72.9

表 3 28d 抗折强度极差分析

	因素		
	FA/GGBS	水玻璃模数	激发剂掺量
K1	28.6	31.0	27.9
K2	27.9	33.1	34.3
K3	37.1	33.8	34.9
K4	37.3	33.1	33.9
K	7.16	7.74	6.96
K	6.97	8.26	8.58
K	9.27	8.44	8.71
K	9.33	8.29	8.48
R	2.36	0.7	1.75

表 4 28d 抗压强度极差分析

	因素		
	FA/GGBS	水玻璃模数	激发剂掺量
K1	198.2	214.7	211.3
K2	220.5	244.9	255.2
K3	309.7	281.8	271.2
K4	297.7	284.6	288.4
K	49.5	53.7	52.83
K	55.12	61.24	63.79
K	77.43	70.44	67.81
K	74.43	71.16	72.09
R	27.89	17.48	19.26

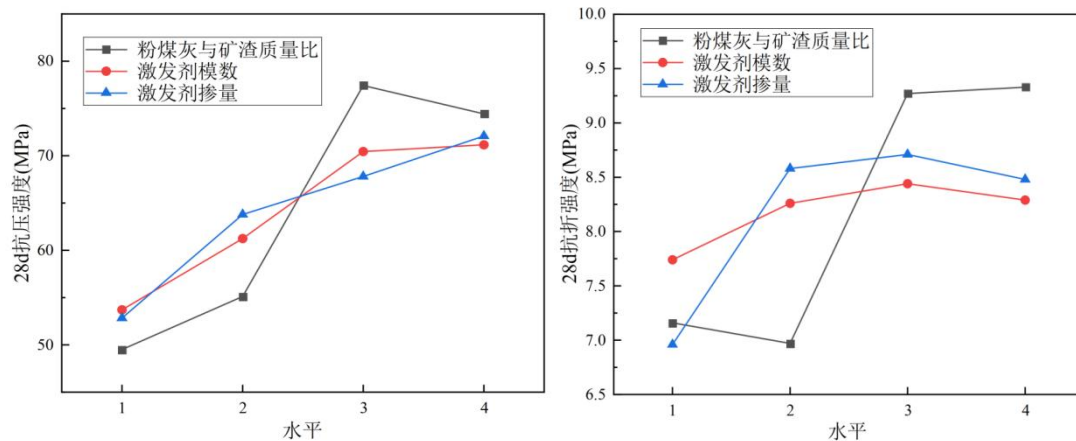


图 1 28d 强度与各因素关系

由表 3 中的综合平均值 K 和极差 R 值分析, 并结合图 1 可以看出, 其中因素 A (粉煤灰与矿渣质量比) 的极差 R 值最大, 其次是因素 C (激发剂掺量), 因素 B (水玻璃模数)。因此, 影响试样 28d 的抗折强度的因素主次顺序为 $A > C > B$, 即粉煤灰与矿渣质量比是影响试件抗折强度的最主要因素, 其次是激发剂掺量, 最后水玻璃模数。由表 4 中的综合平均值 K 和极差 R 值分析, 并结合图 1 可以看出, 其中因素 A (粉煤灰与矿渣质量比) 的极差 R 值最大, 其次是因素 C (激发剂掺量), 因素 B (水玻璃模数)。因此, 影响试样 28d 的抗压强度的因素主次顺序为 $A > C > B$, 即粉煤灰与矿渣质量比是影响试件抗压强度的最主要因素, 其次是激发剂掺量, 最后水玻璃模数。

2) 工业固废大掺量胶凝材料耐高温性能

通过前期正交试验得到粉煤灰-矿渣基地质聚合物最优配合比, 即粉煤灰质量: 矿渣质量=6:4; 水玻璃模数为 1.6; 水胶比设定为 0.45; 激发剂掺量 (Na_2O 质量占粉煤灰和矿渣质量的百分比) 为 7%, 在此基础上制备地质聚合物试样, 将已经成型的试件与模具一同在室温下放置 1d 后脱模, 在标准养护箱内养护 28d, 对养护好的试件进行耐高温性研究。如图 2 所示为胶凝材料经过不同温度煅烧后的抗压强度及质量损失。

由图 2 可知, 在不同的煅烧温度下, 地质聚合物试样的抗压强度随煅烧温度的提升呈先上升后下降的趋势。试样在经过 200°C 煅烧 3h 后, 质量损失较大, 但是力学性能反而得到了显著的改善, 抗压强度达到了 94.2MPa , 比标准养护的试样提高了 12.3%。可能是由于在合适的高温条件下, 原材料中没有反应完全的颗粒受到热激发进而发生了反应, 生成更多水化产物使试件的抗压强度得到了提

升。当煅烧温度提升到 400℃时，试样的抗压强度降到 82.7MPa，与标准养护条件下的试样强度相近。当煅烧温度超过 400℃后，试样的力学性能急剧下降，当煅烧温度为 1000℃时，试样的抗压强度仅为 19.3MPa。试样内部一些胶凝性的水化产物被高温分解，从而使试样力学性能下降。

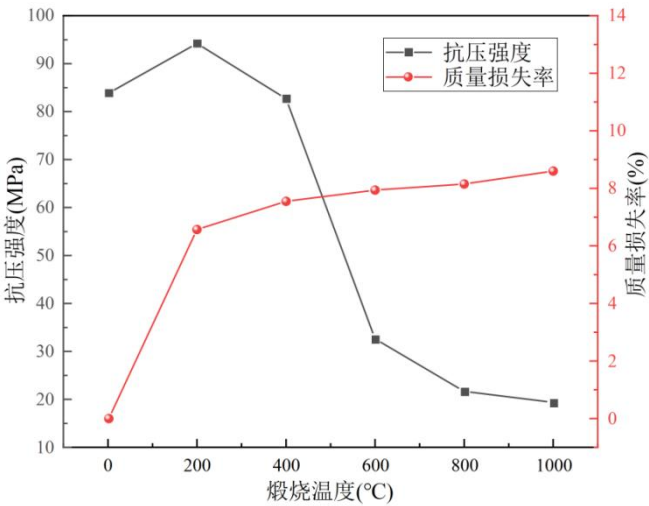
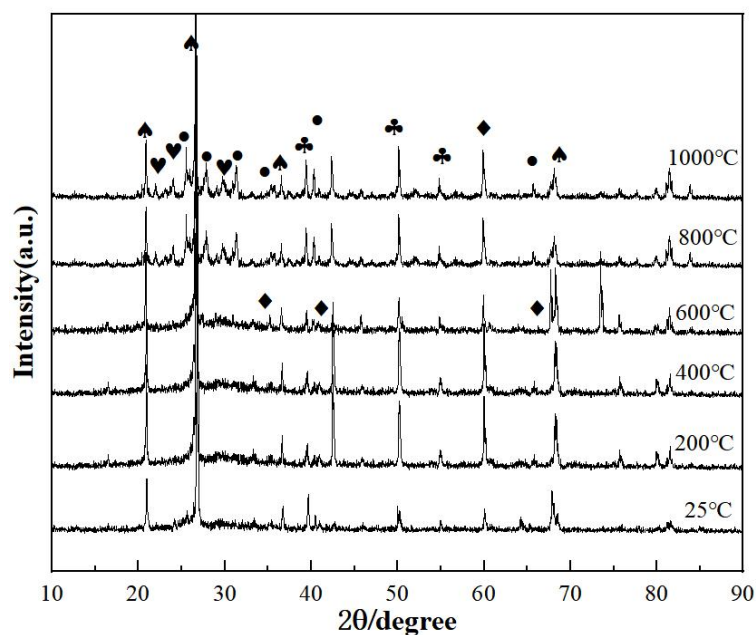


图 2 工业固废大掺量胶凝材料的抗压强度和质量损失率

图 3 是胶凝材料在不同煅烧条件下的 XRD 图谱。从图中可以看出，经高温煅烧后的胶凝材料 XRD 图谱上石英的衍射峰比较稳定，说明高温对胶凝材料基体中的石英相影响不大。与标准养护相比，经 200℃和 400℃煅烧后，XRD 图谱上 20°~40°的非晶态凝胶物质弥散峰产生了微小的变化，在较高的温度下，基体中没有充分反应的成分受到热激发，从而产生了更多的凝胶物质，这使得胶凝材料试样的力学性能有所提升。温度为 600℃时，胶凝材料的矿物组成并没有变化。当试样经过 800℃和 1000℃的煅烧后，由 XRD 谱图分析可知，试样中无定形组分的含量减少，同时有新的结晶峰产生，分别是钙铝黄长石和拉长石，莫来石的结晶峰不断弱化甚至消失，经高温煅烧后，地质聚合物试样中的水化产物被分解，凝胶物质消失，导致其力学性能急剧下降



▲—石英；◆—莫来石；♣—沸石；●—拉长石；♥—黄长石

图 3 不同煅烧温度下地质聚合物 XRD 图谱

胶凝材料经不同温度煅烧后的宏观形貌如图 4 所示。随着煅烧温度的逐渐提高，试件外观颜色也变得越来越浅，由灰色逐渐变成土黄色，当煅烧温度高于 600°C 后，地质聚合物试样表面开始出现裂纹；试样经过 1000°C 高温处理之后质地更加疏松，触碰之后，胶凝材料试样会出现掉渣、剥落的现象。

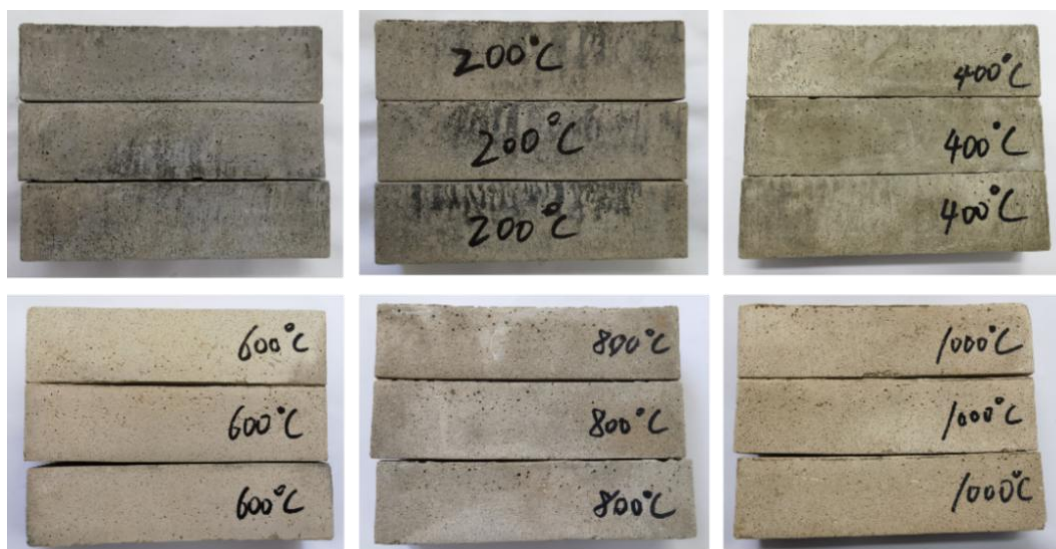


图 4 经高温煅烧后胶凝材料试样的宏观形貌

四、标准制定的基本原则

标准编制过程中，遵循了以下基本原则：

1) 标准需要具有行业特点，指标及其对应的分析方法要积极参照采用国家标准和行业标准。

2) 标准能够体现出产品的具有关键共性的技术要素。

3) 标准能够为产品的开发、改进指出明确的方向。

4) 标准需要具有科学性、先进性和可操作性。

5) 要能够结合行业实际情况和产品特点。

6) 与相关标准法规协调一致。

7) 促进行业健康发展与技术进步。

五、标准主要内容

本标准规定了范围，规范性引用文件，术语和定义，分类、规格和标记、一般规定，原材料，技术要求，试验方法，检验规则，标志与产品合格证，运输与贮存，附录。

六、与有关法律法规和强制性标准的关系

遵守和符合相关法律法规和强制性标准要求。规范性引用文件包括：

GB/T 40517 太阳能中低温蓄热装置

GB/T 50081- 混凝土物理力学性能试验方法标准

GB/T 51231- 装配式混凝土建筑技术标准

GB/T 40399 装配式混凝土建筑用预制部品通用技术条件

七、重大意见分歧的处理依据和结果

本标准起草过程中没有重大分歧意见。

八、后续贯彻措施

建议由建筑行业、能源行业和绿色矿山建设相关行业标准化管理机构组织贯彻本标准的相关活动，利用各种活动（如工作组活动、行业协会的管理和活动、专家培训、标准化技术刊物、网上信息、产品认证等）尽可能向建筑工程行业相关单位和机构宣贯该标准。

建议本标准发布之日起半年内实施。

标准编制小组

2024年3月