

团体标准
《工业固废混凝土盾构管片》
编制说明

2024 年 3 月
标准编制小组

《工业固废混凝土盾构管片》

编制说明

一、标准制定的必要性

随着城市化进程的加速和工程建设的不断发展，对于地下交通、排水、供水等基础设施的需求日益增加，而传统的原材料资源逐渐减少，对环境的影响也日益显著。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。工业固废材料作为一种潜在的水泥或砂石骨料替代材料具有存量巨大、使用成本较低、对改善生态环境有积极的影响等特点，逐渐在各类混凝土构件中应用。

将工业固废材料作为混凝土盾构管片的原材料，不仅能够有效减少固废堆存和降低碳排放量，还能够节约大量的天然资源，降低盾构管片生产成本，实现资源循环利用和能源节约的双重效应。同时，一些工业固废的添加有助于改善混凝土盾构管片的性能和品质，通过合理选择工业固废种类、控制工业固废掺入量以及调整养护方式等方法，可以调控混凝土的力学性能，提高其抗压强度、耐久性、抗渗性等方面的性能，从而提高混凝土盾构管片的使用寿命和安全性。此外，工业固废材料的应用还有助于降低混凝土的密实性和收缩性，改善混凝土的可加工性和施工性，减少混凝土裂缝和变形的风险，提高盾构管片的质量。通过将工业固废材料应用于混凝土盾构管片构件制作中，可以有效减少对自然环境的破坏和对社会资源的消耗，推动城市化进程和基础设施建设朝着更加环保、可持续的方向发展。

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混凝土盾构管片的应用，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《工业固废混凝土盾构管片》团体标准制定计划，计划编号为：CI2023492。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：CI2023492，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会议形式组织了第一次起草会议，分析了工业固废混凝土盾构管片的市场需求、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月报送了国家标准平台，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国家标准信息平台公示。

(四) 主要试验（或验证）情况分析

1. 工业固废胶凝材料的制备及性能评价

铁尾矿粉—粉煤灰—水泥工业固废胶凝材料

以大宗工业固体废弃物高硅型铁尾矿粉和粉煤灰作为掺合料，制备铁尾矿粉—粉煤灰—水泥工业固废胶凝材料。通过三因素四水平正交试验分析不同因素对胶凝材料抗折强度、抗压强度性能、水化产物微观结构的影响，试验配合比如表1所示。

表1 铁尾矿粉-粉煤灰-水泥胶凝体系配比 (kg/m³)

编号	铁尾矿：粉煤灰	水泥用量	铁尾矿用量	粉煤灰用量
C0	0	450	0	0
RF0	0:1	315	0	135
R150	1:5	315	22.5	112.5
R120	1:2	315	45	90
R110	1:1	315	67.5	67.5
R210	2:1	315	90	45
R510	5:1	315	112.5	22.5
RI0	1:0	315	135	0

制备过程如下：根据《水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）》（GB/T 17671-1999）和《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》（GB/T 1596-2017）中附录 C 制备尺寸为 40mm

×40mm×160mm 的标准水泥胶砂试块。

（1）搅拌

预先按照表 2.3 试验方案准备胶凝材料，在室温下按照水胶比 1:2 称量 225 g 水，按照胶砂比 1:3 准备 1350 g 标准砂，同时使 JJ-5 水泥胶砂搅拌机处于待工作状态；先把水加入搅拌锅中，再加入胶凝材料。把锅放到固定架上，上升至固定位置；立即开动设备，先低速搅拌 30 秒，在第二个 30 秒开始的同时均匀加入标准砂，把设备转至高速继续搅拌 30 秒；停拌 90 秒，同时在第一个 15 秒内用胶砂刮板将叶片及锅内壁的胶砂刮入锅中间；继续高速搅拌 60 秒。各搅拌阶段的时间误差应保持±1 秒内。

（2）成型及脱模

胶砂制备后立即进行成型。将经过洗净和刷油处理的空模具固定在 ZT-96 振实台上，用铲子直接从搅拌锅中将胶砂分两次装入模具中，第一层胶砂约装满每个槽的一半空间，固定模套后，振实 60 次，再装入第二层胶砂，振实 60 次后移走模套，从振实台上取下模具，用钢尺一次性刮去超过模具的胶砂，并刮平试件表面。然后，将模具用保鲜膜密封后标明试件编号，置于 HBY-40B 水泥砼恒温恒湿养护箱，在温度为 20±1℃，湿度为≥95%的环境下养护至 24 小时后取出脱模，在试块表面均标明试块编号。

（3）水中养护

将做好标记的试块水平放入 HBY-30 型恒温水养护箱，在 20±1℃的水中养护至目标龄期。

XRD 测试采用日本力学 Rigaku Ultima IV 型衍射仪，测试范围是 10°~75°，扫描速度是 5°/min。TG-DTG 分析采用 NETZSCH5 型热重分析仪，测试温度范围是 30~1000℃，升温速率是 20℃/min。按照水胶比为 0.5 制备掺加二元掺合料的水泥净浆试块，采用 20 mm×20 mm×20 mm 试模成型，在标准水养条件下养护 7 d、28 d，将养护到龄期的水泥净浆试块破碎后用无水乙醇浸泡以终止水化，研磨至-75 μm，取 10 mg 进行 XRD 检测，取 10 mg 相同样品进行 TG-DTG 检测。

不同配合比条件下的铁尾矿粉—粉煤灰—水泥胶砂试块的抗压强度如图 1 所示。不同复掺比例的高硅型铁尾矿—粉煤灰二元掺合料水泥胶砂试块的活性指数数据如表 2 所示。

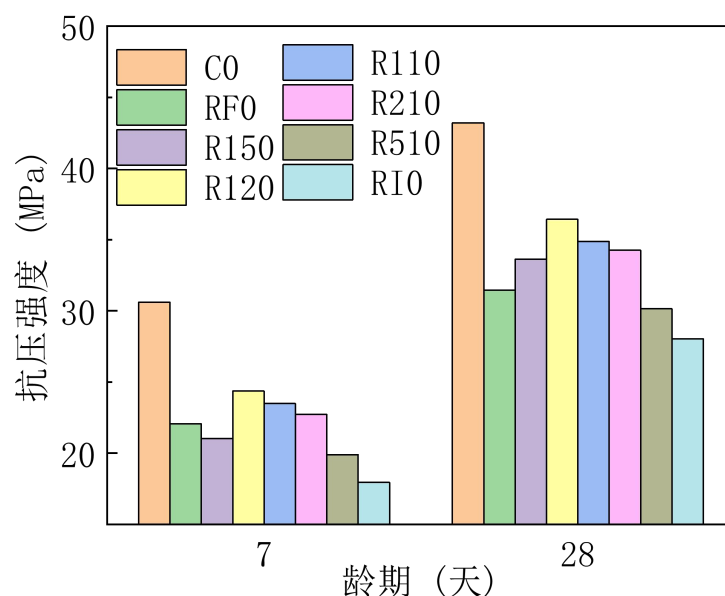
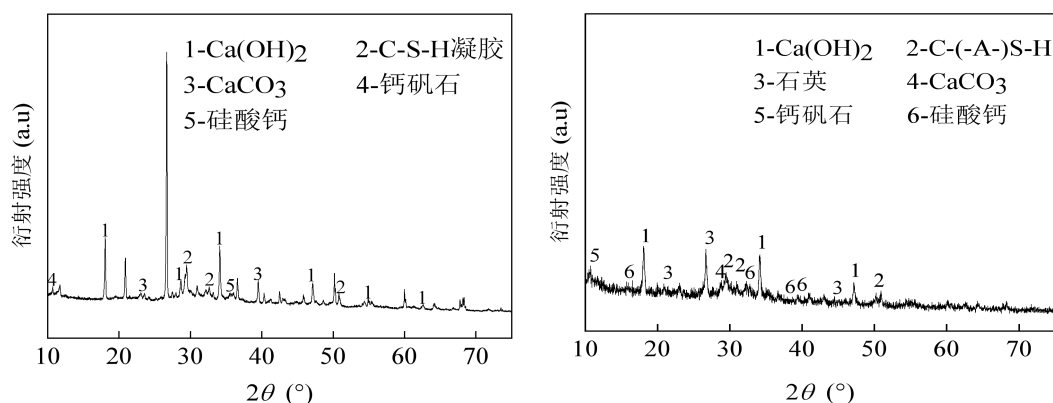


图 1 不同配合比条件下的铁尾矿粉—粉煤灰—水泥胶砂试块的抗压强度

表 2 不同配合比条件下的铁尾矿粉—粉煤灰—水泥胶砂试块的抗压强度

编号	活性指数/%	
	7 d	28 d
C0	100	100
RF0	72.09	72.78
R150	68.69	77.82
R120	79.61	84.31
R110	76.73	80.72
R210	74.28	79.28
R510	65	69.75
RI0	58.63	64.88

图 2 为水泥及铁尾矿粉-粉煤灰-水泥胶凝体系的 28 d 龄期净浆试样 XRD 分析图。



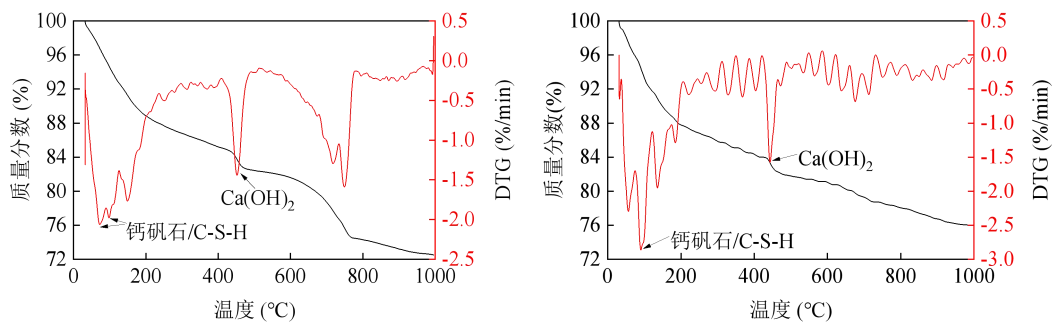
(a)C0

(b)R120

图2 水泥及铁尾矿粉-粉煤灰-水泥胶凝体系 28d 净浆试样的 XRD 图谱

由图2可知,水泥水化产物主要为钙矾石、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 CaCO_3 和C-S-H等,铁尾矿粉-粉煤灰-水泥胶凝体系的净浆水化产物种类与水泥几乎一致。R120净浆试样水化28d时 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的衍射峰强度低于水泥的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的衍射峰强度,表明R120净浆试样中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的含量低于水泥的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的含量,这是由于掺加铁尾矿粉和粉煤灰后有部分的活性物质参与火山灰反应,消耗 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 形成水化产物,产生抗压强度。但由于掺合料参与火山灰反应产生的抗压强度不能抵消,因掺加掺合料后降低整个胶凝材料体系水泥活性组分的相对含量导致了胶凝材料体系水化反应减缓、反应程度降低,从而引起的抗压强度降低,故表现出R120胶砂试块抗压强度降低的现象。

图3为活性最优的高硅型铁尾矿-粉煤灰二元掺合料的28d龄期水泥净浆试样的TG-DTG曲线。



(a)C0

(b)R120

图3 铁尾矿粉-粉煤灰-水泥胶凝体系 28d 净浆试样的 TG-DTG 曲线

从图3中可看出,纯水泥C0与铁尾矿粉-粉煤灰-水泥胶凝体系R120在TG-DTG曲线中表现出的质量损失不同,曲线中出现了三个大的减重峰阶段,分别集中于200°C之前,450°C附近和600-850°C之间。在200°C之前为第一个减重峰阶段,C0、R120均出现2~3个小峰,主要由于钙矾石和C-S-H凝胶的脱水。与对照组C0相比,R120的峰值更小,这表明在加热的过程中,试样由于脱水引起的质量损失较小,证明了水化产物更少。这主要是由于铁尾矿粉和粉煤灰的掺入导致了水泥的稀释,而水泥中的硅酸三钙、硅酸二钙等物质是水化产物的主要来源,水泥的减少意味着由硅酸三钙、硅酸二钙等物质反应产生的水化硅酸钙含量明显降低,这也与抗压强度结果相符。

第二个减重峰阶段是在450°C附近,此处发生的减重是由于 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 受热分解

导致的。基于掺合料与Ca(OH)₂的火山灰反应，Ca(OH)₂的消耗量间接反映了掺合料参与二次水化反应的程度。相比于对照组C0，含有二元掺合料的R120组在这一温度下质量损失更小，造成这一结果的原因有两点：（1）与水化硅酸钙、钙矾石类似，Ca(OH)₂也是水泥的水化产物之一，二元掺合料导致的稀释作用引起了各类水化产物含量的降低；（2）二元掺合料会发生火山灰活性反应，与Ca(OH)₂反应生成水化硅酸钙和水化硅铝酸钙。

2. 工业固废混凝土的制备及性能评价

根据《普通混凝土力学性能试验方法标准》（GB/T50081-2002）制备试块，试块尺寸为 150 mm×150 mm×150 mm。主要试验材料包括水泥、铁尾矿、粉煤灰、机制石子、机制砂、外加剂等。

试验选用了设计强度等级为 C50 的混凝土，按照 JGJ 55-2011《普通混凝土配合比设计规程配合比设计》进行混凝土配合比设计，结果如表 3 所示。

表6.1 工业固废混凝土配合比设计（kg/m³）

编号	水胶比	砂率/%	水泥	S120	S121	M121	废石 机制砂	废石 机制碎石	外加剂 /%
C50-0			480	0	0	0			
C50-R120	0.3	35		144	0	0	633	1176	0.76
C50-S121			336	0	144	0			
C50-M121				0	0	144			

所用水灰比为 0.3，因此需要额外掺加胶凝材料总质量 0.76%的外加剂，使对照组混凝土坍落度控制在 100 mm。同时所有添加铁尾矿粉和粉煤灰的配比中，外加剂种类与质量、水灰比等均与对照组保持一致。

（1）准备工作

模具洗净后，在模具内表面涂一层油，便于脱模；按表 6.1 的配合比称量一定质量的材料。称量误差：水泥、掺合料、水、外加剂为±0.5%，骨料为±1%。

（2）成型及拆模

将称量好的材料加入混凝土搅拌机中搅拌均匀，将模具置于振实台后，拌合物分两层装入模具，最终振动至试模表面出浆，刮平试模上表面后用不透水的薄膜覆盖表面，标记好试验编号，在温度 20±5℃ 养护 24 h 后，拆模并标记试验编号。



图 4 混凝土搅拌及成型

(3) 试件养护

拆模后立即将试块放入温度为 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，湿度不低于 95% 条件的标准养护室中养护至龄期。养护期间，试件表面应保持潮湿。



图 5 混凝土养护

按照《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》(GB/T50080-2002) 分别进行工业固废混凝土拌的坍落度的测定。



图 6 混凝土拌合物坍落度试验

二元掺合料掺量对混凝土坍落度的影响如图 7 所示。随着工业固废胶凝材料含量的增大，混凝土浆体的坍落度逐渐增大，这主要是由于经过机械粉磨后，铁

尾矿颗粒整体棱角度下降，表面变圆滑，粉煤灰中表面光滑的海绵玻璃体及铝硅酸盐玻璃微珠，在混凝土拌合物浆体中起到了类似于滚珠的作用，混凝土浆体的流动性变好，改善了混凝土拌合物的工作性能。

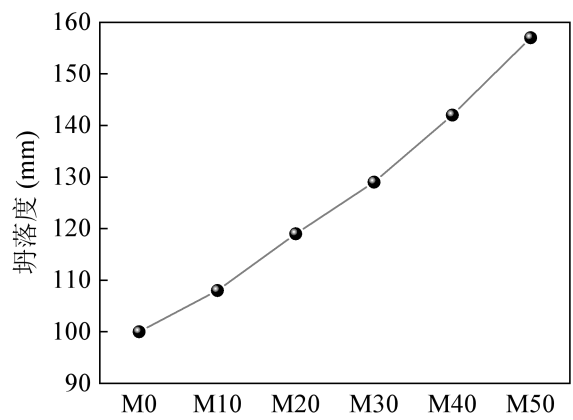


图 7 工业固废混凝土的坍落度

二元掺合料掺量对混凝土抗压强度的影响如图 8 所示。随着二元掺合料掺量的增大，混凝土的 7 d 和 28 d 抗压强度均呈现先增大后减小的趋势，而不同龄期对应的拐点不同。当养护龄期为 7 d 时，混凝土的早期抗压强度在掺合料掺量为 10% 时达到峰值，而后逐渐降低。

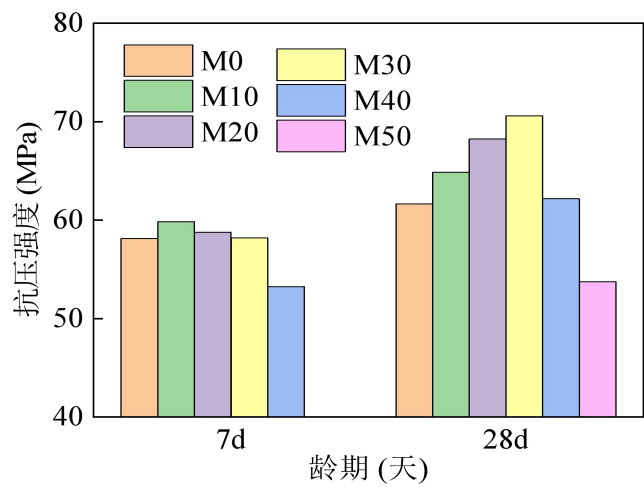


图 8 工业固废混凝土的抗压强度

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 22082	预制混凝土衬砌管片
GB/T 38901	纤维混凝土盾构管片
GB/T 1596	用于水泥和混凝土中的粉煤灰
GB 8076	混凝土外加剂
GB/T 51003	矿物掺合料应用技术规范
GB/T 27690	砂浆和混凝土用硅灰
GB/T 203	用于水泥中的粒化高炉矿渣
GB/T 21371	用于水泥中的工业副产石膏
GB/T 31288	铁尾矿砂
GB/T 2847	用于水泥中的火山灰质混合材料
JT/T 819	公路工程 水泥混凝土用机制砂
YB/T 4230	用于水泥和混凝土中的锂渣粉
YB/T 4561	用于水泥和混凝土中的铁尾矿粉

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