

《用于耐腐蚀水泥制品的化学激发混凝土》编制说明

（征求意见稿）

第一章 工作简况

一、任务来源和工作简况

1. 任务来源

根据国标委发[2024]50 号文，GB/T 29423《用于耐腐蚀水泥制品的化学激发混凝土》修订已列入 2024 年第八批国家标准制修订计划（计划号：20243110-T-609），该标准由全国水泥制品标准化技术委员会归口管理，主管部门为中国建筑材料联合会，修订工作由嘉兴大学等负责。

二、主要工作过程

1. 第一阶段

2024 年 10 月 26 日在江苏省盐城市召开《用于耐腐蚀水泥制品的化学激发混凝土》标准修订讨论会，有来自全国高校、研究院、生产企业、质检机构的 15 个单位 25 名代表参加了会议，会议交流标准修订准备工作情况，讨论标准修订工作计划，交流标准修订的调研内容，对本标准修订有关的其它问题的交流。会议决定在收到标准修订计划下达文件之前即开展该国家标准的修订相关工作。

标准修订计划下达后，项目负责单位在全国水泥制品标准化技术委员会的指导下，开展了初步的联系、调研及协调工作。开展的项目的前期工作有：1. 收集国内外标准及有关资料；2. 标准调研；3. 提出标准初稿；筹备召开第一次标准修订工作会议。标准负责起草单位还组织开展了标准的试验验证工作准备，2024 年 10 月 29 日，苏州混凝土水泥制品研究院等单位根据自身条件率先提出了拟开展的试验项目，并以文字方式发给嘉兴大学，上海百奥恒新材料有限公司、同济大学等对嘉兴大学提出的“GB/T 29423-2012 国家标准修订试验验证方案（初稿二）”进行修改补充，为标准第一次工作会议上确定第一批试验验证方案做好准备，大家一致认为，标准涉及的耐腐蚀性能试验周期长，应该尽早开始试验验证工作，并研究加快腐蚀进程的方法。

2024 年 12 月 14 日，全国水泥制品标准化技术委员会在浙江省嘉兴市组织召开了 GB/T 29423《用于耐腐蚀水泥制品的化学激发混凝土》国家标准修订第一次工作会议，会议由嘉兴大学建筑工程学院主办。参加会议的有来自全国的高等学校、科研检测机构、化学激发混凝土原材料企业、耐腐蚀水泥制品生产应用企业等 36 个单位的 57 名代表。会议成立了标准修订工作组，通过了标准修订工作计划及参编单位工作分工等。根据会议要求及标准修订工作计划：在 2024 年 10 月～2025 年 1 月开展调研工作，2024 年 11 月～2025 年 8 月开展试验验证。

2024 年 10 月～2025 年 1 月和 2025 年 3 月～2025 年 5 月项目负责起草单位分阶段开展了调研工作，采取函调和实地调研相结合的方式对从事化学激发混凝土研究与生产的单位开展生产应用情况调研，到苏州混凝土水泥制品研究院有限公司、新兴铸管股份有限公司铸管研究院等研究单位，苏州市兴邦化学建材有限公司、上海百奥恒新材料有限公司、焦作百奥恒新材料有限公司、江苏悦达绿氢科技有限公司、盐城市恒悦新材料有限公司、云峰管业股份有限公司、浙江宏泰构件股份有限公司、喜跃发环保新材料股份有限公司、新兴铸管股份有限公司、昆山固特水泥制管有限公司、浙江正大管桩有限公司、丽江建平水泥制品有限责任公司、济南永顺管道有限公司等化学激发混凝土及原材料的生产或应用单位进

行了实地调研。

调研过程中又有多个单位参加标准起草工作,对标准修订工作提出很好的意见和建议,有助于标准修订工作的质量。在调研的同时,我们收集了一些相关的国家标准、行业标准,进行了分析比较。翻译了国外的资料,对调研情况综合分析,编写了调研工作报告;开展了标准部分指标的试验验证工作。通过调研,标准修订小组了解到化学激发混凝土在生产和应用的现状及存在的问题,为标准修订提供了素材及启发,有利于技术指标确定和完善试验方法。

《用于耐腐蚀水泥制品的化学激发混凝土》国家标准修订第一次工作会议明确的工作计划是2024年11月~2025年8月开展试验验证。第一次工作会议之后,2024年12月23日嘉兴大学给多家拟承担试验验证的单位明确了试验验证的思路和重点验证指标,提出试验验证详细清单,统一了所用混凝土等级的参考配比,协调原材料厂家统一邮寄发送原材料,正式开始第一批试验验证,共有13家单位明确了本单位拟开展的试验项目。3个月之后,2025年3月30日嘉兴大学、同济大学、上海百奥恒新材料有限公司、青岛理工大学、苏州市兴邦化学建材有限公司、苏州混凝土水泥制品研究院有限公司、重庆大学等17个单位25名代表通过腾讯会议进行了试验验证工作的交流,本次讨论交流了前段时间试验验证中的经验和存在问题,对试验中的异常现象进行分析,对后续的试验验证有很大帮助。

2025年4月25日负责起草单位发出了“关于提交《用于耐腐蚀水泥制品的化学激发混凝土》国家标准修订调研材料和试验验证结果的通知”,要求参加标准修订的相关单位在5月底提交调研材料和试验验证结果。苏州混凝土水泥制品研究院有限公司、青岛理工大学、同济大学、苏州市兴邦化学建材有限公司、新兴铸管有限公司、嘉兴市方圆检测技术有限公司等单位将试验结果整理成文字,发给了负责起草单位,

2025年6月负责起草单位整理了《用于耐腐蚀水泥制品的化学激发混凝土》国家标准修订调研情况和试验验证阶段性结果,嘉兴大学对这些资料汇总整理和比较分析,形成了《用于耐腐蚀水泥制品的化学激发混凝土》国家标准修订试验验证报告(讨论稿二稿)。并提出调研报告、试验验证报告等材料,供第二次工作会议交流讨论,拟在第二次工作会议上关注的几个方面:多数水泥制品的强度都在C30以上,且低强度等级的混凝土各项性能都较差,本标准是否保留C25强度等级?本标准的抗冻性试验是选慢冻法还是快冻法?耐盐腐蚀性能试验的周期长,数据波动大,耐盐腐蚀性能试验的混凝土试件法是否保留?

2. 第二阶段

受全国水泥制品标准化技术委员会委托,2025年7月5日嘉兴大学在江苏省盐城市主持召开了《用于耐腐蚀水泥制品的化学激发混凝土》国家标准修订第二次工作会议,会议由江苏悦达绿氢科技有限公司承办。参加会议的有来自全国的高校、科研、质检机构、生产单位、施工企业等24个单位的45名代表。

会议主要听取了嘉兴大学作的标准讨论稿的起草工作汇报,几个单位交流了试验验证情况,会议代表对《用于耐腐蚀水泥制品的化学激发混凝土》讨论稿进行充分讨论,并提出了许多建议:1)完善术语和定义;2)明确对混凝土的和易性的具体要求;3)删除RCM法;抗氯离子渗透性以C35为界,分别确定性能指标要求;4)根据耐腐蚀水泥制品的使用场合选择试验方法确定性能指标;5)耐盐腐蚀性能优先采用胶砂比1:6的砂浆浸泡法;建议,混凝土试件法适用于C50以下的有粗骨料A型混凝土,砂浆试件法适用于S型混凝土和H型复合激发混凝

土、无粗骨料化学激发混凝土和 C50 及以上的有粗骨料碱激发（A 型）混凝土。

会议要求标准修订负责单位在会后对代表们提出的意见和建议进行汇总归纳，在广泛征求有关专家意见的基础上，提出标准的征求意见稿，寄发给耐腐蚀水泥制品和化学激发混凝土相关的行业专家、标委会委员、检测单位、生产企业、高等院校、施工企业等进行标准的征求意见，并对“征求意见稿”中的主要指标、试验方法等进行进一步开展的验证工作。

在第二次工作会议后，标准起草小组在充分听取专家建议的基础上，对《用于耐腐蚀水泥制品的化学激发混凝土》讨论稿二稿进行了仔细认真的修改，起草了“讨论稿三稿”，推送给标准起草工作组成员，在标准工作组内部对“讨论稿三稿”提出修改建议。截止 2025 年 7 月 8 日，对“讨论稿三稿”提出修改建议的有：蒋元海、奚飞达、周正等三位专家。

为保证试验验证早日完成，继续对比各单位试验结果，2025 年 7 月 8 日嘉兴大学发出“关于开展《用于耐腐蚀水泥制品的化学激发混凝土》第二批试验验证”的通知，请各标准参加单位按照“《用于耐腐蚀水泥制品的化学激发混凝土》国家标准修订第二批试验验证方案”和“讨论稿三稿”的要求进一步开展试验验证，及时将验证结果汇总至负责起草单位。

负责起草单位听取专家意见，对标准（讨论稿三稿）修改整理，起草了《用于耐腐蚀水泥制品的化学激发混凝土》国家标准修订征求意见稿及编制说明等材料。

2025 年 7 月 11 日标准修订起草小组发出“关于对《用于耐腐蚀水泥制品的化学激发混凝土》国家标准修订征求意见的函”，并通过全国水泥制品标准化技术委员会，用电子邮件、微信等发给各位委员、专家、主要参加人员及相关单位，开展广泛征求意见。

第二章 标准编制原则和主要内容

（一）、标准编制原则

本标准根据 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》，力争满足标准规范性要素的“标准化对象原则”，“文件使用者原则”，“目的导向原则”，注意与其他标准的协调，使标准体现化学激发混凝土的特点，反映用于耐腐蚀水泥制品的化学激发混凝土的现实情况，今后实施的可操作性强。

（二）、主要内容

1. 范围

本文件规定了用于耐腐蚀水泥制品的化学激发混凝土（以下简称化学激发混凝土）的术语和定义、分类、原材料、技术要求、试验方法、检验规则、贮存与输送等内容。

适用范围：化学激发混凝土已用于制造预制的耐腐蚀混凝土管、钢筋混凝土电杆、混凝土预制桩（混凝土方桩、混凝土管桩）、异型混凝土管、预制混凝土检查井，化粪池、混凝土鱼礁、混凝土管廊，装配式混凝土构件，混凝土砌块、地面砖、路缘石等混凝土制品。也可用于耐腐蚀砂浆防护层。国内外研究证明，混凝土管道中的污水管内部处于 pH2~pH5 的酸性腐蚀条件下，长期试验表明：化学激发混凝土适合制作混凝土污水管，但碱激发混凝土不宜用于 pH2 以下或硫酸浓度长期保持 5% 以上的强酸性腐蚀场合，硫酸盐激发混凝土不宜用于 pH3 以

下的场合。化学激发混凝土制作的水泥制品还适用于存在硫酸盐侵蚀、氯盐侵蚀、海水侵蚀的土中或水中等场合，其他有耐腐蚀性要求的水泥制品可参照本标准。

2. 规范性引用文件

根据 GB/T1.1—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》的有关规定编写固定导语。在固定导语之后按照先国家标准后行业标准的顺序列出与本标准引用的标准，去掉无关的标准名称。删除了未引用的 GB/T50164 混凝土质量控制标准，增加了 JGJ/T 322 混凝土中氯离子含量检测技术规程，GB/T 14902 预拌混凝土等标准。

3. 术语和定义

新增加的术语

1) 激发剂 activator

能够诱导引发硅铝酸盐类固体粉末发生反应，使其凝结、硬化形成地质聚合物的具有化学激发作用的固态或者液态的碱或盐。如硫酸盐激发剂、碱激发剂、复合激发剂。

2) 化学激发胶凝材料 Chemical-activated binder (cementitious material)

以硅铝酸盐类工业固体废弃物（如矿渣、磷渣等冶金废渣或粉煤灰等）为主体组分，掺入激发剂，通过化学激发形成硬化体的无机胶凝材料统称，亦称作地质聚合物。包括“硫酸盐激发胶凝材料”、“碱激发胶凝材料”、“复合激发胶凝材料”。

3) 硫酸盐激发胶凝材料 sulfate-activated binder (cementitious material)

以硫酸盐激发剂和硅铝酸盐类工业固体废弃物为主要原料制备的水硬性胶凝材料。硫酸盐激发剂可以是天然石膏、工业副产石膏、硫酸钠等。

4) 复合激发胶凝材料 hybrid alkaline (composite-activated) binder (cementitious material)

以碱激发剂和硫酸盐激发剂共同激发硅铝酸盐类工业固体废弃物而制备的化学激发胶凝材料。

5) 化学激发混凝土 chemical-activated concrete

由化学激发胶凝材料、细骨料、粗骨料、水、外加剂配制的混凝土。

4. 分类

从调研情况可看出，化学激发混凝土是由化学激发胶凝材料、细骨料、粗骨料、水、外加剂配制的。化学激发混凝土与普通水泥混凝土最大的区别在于使用的胶凝材料不同。近十多年来，我国化学激发混凝土得到快速发展。化学激发混凝土使用的胶凝材料等原材料品种增加，工业化水平提高；化学激发胶凝材料相匹配的混凝土外加剂产品逐步投入使用；带动了化学激发混凝土的生产应用。常用的化学激发胶凝材料有“碱激发胶凝材料”、“硫酸盐激发胶凝材料”、“复合激发胶凝材料”等。化学激发混凝土通常以所用的化学激发胶凝材料种类来分类，可分为：碱激发混凝土、硫酸盐激发混凝土、复合激发混凝土。化学激发混凝土的配制由双组分胶凝材料向双组分胶凝材料和单组分胶凝材料多种形式共存。无粗骨料混凝土（砂浆）主要用于排水管内衬，分类里增加了按所用骨料种类分为：有粗骨料化学激发混凝土、无粗骨料化学激发混凝土。

5. 原材料

征求意见稿增加了对化学激发混凝土使用的胶凝材料的要求，还增加了硫酸盐激发剂的要求。

化学激发胶凝材料是以硅铝酸盐类工业固体废弃物（如矿渣、磷渣等冶金废渣或粉煤灰等）为主体组分，掺入激发剂，通过化学激发形成硬化体的无机胶凝材料统称，亦称作地质聚合物。以前的化学激发胶凝材料成品的产量少，也缺少行业标准和国家标准，近年来，化学激发胶凝材料标准逐渐制定和发布，发布的相关标准有：

行业标准 JG/T439-2018《碱矿渣混凝土应用技术标准》，JC/T 2745-2023《石膏矿渣水泥》；

地方标准 DB3209/T 1265-2024《废渣及海泥复合地质聚合物水泥应用技术规范》；

团体标准：中国建筑材料联合会标准 T/CBMF 269—2024《地质聚合物胶凝材料》，中国散装水泥推广发展协会标准 T/CBCA 018—2024《粉煤灰地质聚合物胶凝材料》。

建材行业标准 JC/T XXXX《碱矿渣胶凝材料》2024年6月通过标准审查，已经报批，等待工信部发布。本标准拟引用此行业标准。其他化学激发胶凝材料应符合相关标准的规定。

国家标准《硅铝质固废胶凝材料》已列入2025年第二批国家标准制修订计划，国标委发《2025》7号文由中国矿业大学（北京）负责起草，计划号20250594-T-469。即将于2025年7月12日召开第一次工作会议。

6. 技术要求

1) 混凝土的和易性

不同的水泥制品生产工艺需要的混凝土的和易性也不一样，但都应满足水泥制品生产的要求，在成型过程中混凝土应具备较好的和易性，由于水泥制品的成型时间多在15min~40min，征求意见稿提出了“经过30min后，混凝土拌合物的稠度应不低于初始值的50%，或仍能满足制品成型要求”的要求。

2) 氯离子含量

现行多个标准对混凝土中氯离子根据使用场合做出了规定，本征求意见稿将“混凝土中氯离子含量不大于胶凝材料质量的0.15%”改为“混凝土中氯离子含量按GB/T 14902的规定”。

3) 硬化混凝土

硬化混凝土技术要求设置的出发点是反映出用于耐腐蚀水泥制品使用场合，及制品对化学激发混凝土性能的要求，便于制品生产选择适当的化学激发混凝土品种（碱激发混凝土、硫酸盐激发混凝土、复合激发混凝土）及等级。化学激发混凝土强度、吸水率、抗氯离子渗透性、抗冻性的性能试验都直接采用混凝土试件；而有些混凝土性能指标主要取决于化学激发混凝土使用的化学激发胶凝材料，为体现不同化学激发混凝土品种的性能特点、便于辨别区分、正确选择化学激发混凝土品种考虑，使用化学激发砂浆不仅可以减小试验工作量，也能加快性能试验得进程，所以，我们对硬化混凝土的变形性能（膨胀率、干燥收缩率、自收缩率）采用砂浆试件，耐酸腐蚀性、耐硫酸盐腐蚀性、耐碱腐蚀性也以砂浆试件法作为标准试验方法、混凝土试件法可作为代用法。

A 混凝土强度

使用不同的胶凝材料、外加剂等可以得到C25~C80不同强度等级的碱激发混凝土、硫酸盐激发混凝土、复合激发混凝土。可满足耐腐蚀水泥制品的需要。

B 硬化混凝土其他性能指标见表 1

表 1 硬化混凝土性能指标

序号	项目			指标			
				A 型	S 型	H 型	
1	砂浆膨胀率，%			≤0.15	≤0.15	≤0.15	
2	砂浆干燥收缩率，%			≤0.20	≤0.10	≤0.15	
3	砂浆自收缩率，%			≤0.20	≤0.10	≤0.15	
4	吸水率，%			≤5.0	≤5.0	≤5.0	
5	抗氯离子渗透性		电通量法，C	≥C35 的混凝土	2500	≤1000	≤1500
				≤C35 的混凝土	≤1500	≤800	≤1000
			交流电测量 方法，电阻 率，Ω·m	≥C35 的混 凝土	≥180	≥280	≥280
				≤C35 的混凝土	≥580	≥580	≥280
6	耐化学腐 蚀性	耐酸腐蚀性（耐酸侵蚀系数）		≥0.90	≥0.80	≥0.80	
7		耐碱腐蚀性（耐碱腐蚀系数）		≥0.90	≥0.90	≥0.90	
8		耐硫酸盐腐蚀性（耐盐腐蚀系数）		≥0.75	≥0.85	≥0.85	
9	抗冻性			≥D50	≥D25	≥D50	
注 1：抗氯离子渗透性为选择性指标，交流电测量方法是常用法，电通量法是代用方法。							
注 2：根据耐腐蚀水泥制品所处侵蚀场合，进行耐硫酸盐腐蚀性或耐酸腐蚀性或耐碱腐蚀性检验。							
注 3：耐腐蚀水泥制品有抗冻性要求时，需检测混凝土抗冻性，可根据设计要求选择慢冻法或快冻法进行试验。							

表 1 中的指标是通过主编单位和一些参编单位试验验证数据的基础上, 经过分析比较提出的, 少数需较长试验时间的试验验证数据陆续补充中, 试验验证的具体情况见第三章。

7. 试验方法

(1) 抗氯离子渗透性

多家单位使用现有常用的三个方法测试了混凝土的抗氯离子渗透性, RCM 法、电通量和交流电法的测试结果一致性很高。

RCM 法测试时间长, 需要几十小时, 且在测试硫酸盐激发混凝土的氯离子渗透系数时, 出现腐蚀电极板的情况, 因此, 不建议采用此种方法进行验证。

交流电法测试时间短, 测试完毕后还可以用于电通量测试, 此方法已列入 JC/T 2603-2021 生态型混凝土鱼礁 附录 A, 建议交流电法作为方法抗氯离子渗透性的标准法。

(2) 耐化学腐蚀性

1) 耐酸腐蚀性和耐碱腐蚀性

GB/T 29423-2012 《用于耐腐蚀水泥制品的碱矿渣粉煤灰混凝土》附录 A 中耐酸腐蚀和耐碱腐蚀都是快速浸泡法, 在硫酸或氢氧化钠腐蚀时需要加热至 $70^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$, 在腐蚀过程中, 对人员、设备都有安全方面的风险。针对这个问题,

我们通过降低侵蚀温度来考察腐蚀效果。将侵蚀温度降低到 50℃~60℃，到侵蚀时间后测试耐酸腐蚀系数，同时还与常温 20℃下的同浓度溶液侵蚀对比，试验证明，侵蚀温度降低后，侵蚀速度明显减慢，常温 20℃下 10-14 天的腐蚀效果与 70℃~80℃腐蚀 2 天的腐蚀效果相近，同腐蚀条件的普通水泥胶砂试件耐腐蚀系数都已降低到 0.6 以下。

我们还查询到国内外其他耐酸试验方法的标准：ASTM C1898-20 对混凝土制品耐酸性试验方法做出规定，该方法用于评价由于生物酸侵蚀而导致的混凝土恶化（阶段III）（例如， < 4 pH）。试件采用尺寸为 50mm×50mm×200mm（±3mm）的棱柱体，侵蚀试验使用两种介质：一种是 pH 值为 2.00 的硫酸溶液，另一种 pH 值为 0.50 的硫酸溶液，满足 4.2:1 的溶液-试件体积比，溶液的 pH 值应每 7 天测量一次，并用新配制的溶液更换。浸泡时间按 1、7、14、28、56、84 天，在每个节点，检查试件的颜色、表面外观以及试验介质的颜色和透明度等以确定侵蚀速率，侵蚀至 84 天或未到 84 天但试件已被认为腐蚀，在每个节点可测量试件的失重再测定该组试件的抗弯强度，绘制时间节点-失重曲线及时间节点-抗弯强度曲线。

JC/T 2839-2024《地下污水管线用防腐砂浆》检验耐酸性：将试块浸泡在 pH=0（硫酸浓度约为 4.9%）下侵蚀 14d，强度保持率不小于 55%，pH1 下侵蚀 70d，强度保持率不小于 75%。中间要不断补充硫酸，以保证 pH 的稳定。

我们对比了 48 h 快速法、低温侵蚀法和 JC/T 2839-2024 三种耐酸试验方法，为使腐蚀深入，控制 OPC 耐酸腐蚀系数在 0.6 以下。48 h 快速法需要加热腐蚀，不宜作为标准法使用，JC/T 2839-2024 需控制侵蚀溶液的 pH 值稳定，需经常补充硫酸，操作繁琐也危险，且此法测的 OPC 耐酸腐蚀系数最高，而对受检砂浆定的耐腐蚀系数指标（0.55）又偏低，容易误判。而我们拟在征求意见稿中使用的低温侵蚀法，将被侵蚀试件放入 10%硫酸溶液中，硫酸与试件体积比 5 左右，侵蚀 14 天后 pH 值在 pH0.5~ pH0.8，可以中途不补酸，且酸度稳定，安全快速有效。

2) 耐盐腐蚀性

GB/T50082-2024《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》适用于测定混凝土试件在干湿交替环境中，以能够经受的最大干湿循环次数来表示混凝土抗硫酸盐侵蚀性能。我们在制定 GB/T 29423-2012 时也比较了浸泡法和干湿循环法对强度和动弹模量的影响，浸泡法的主要弊端是试验周期太长；而干湿循环试验对于 K150 这样的高抗硫酸盐侵蚀混凝土，其实循环周期仍很长，长达 5 个月，不能应用于实际检测。硫酸盐激发混凝土的水化产物还有较多的钙矾石，不适合超过 60℃的干湿循环，因此需要寻求一种快速试验方法对混凝土的抗硫酸盐侵蚀性进行检验。考虑到耐腐蚀水泥制品的排水管、桩、混凝土鱼礁等都处于土中或水中，不存在硫酸盐干湿循环的场景，化学激发混凝土的耐硫酸盐侵蚀试验没必要进行干湿循环。

第一批试验验证时，多家单位采用 80℃硫酸钠干湿循环试验，仅 30 次循环后，硫酸盐激发的混凝土试件就出现严重损坏，干湿循环降低到 60℃仍损坏较重。再次证明硫酸钠干湿循环不使用硫酸盐激发的混凝土。试验中也发现强度高于 C50 的普通混凝土密实度高，硫酸钠溶液干湿循环时难以侵入混凝土试件内部，120 次循环后耐蚀系数仍超过 0.9，对普通混凝土的耐硫酸盐性能产生误判。所以，需要找到一种加快硫酸盐溶液的渗透和反应速度，加快硫酸盐腐蚀进程，从而缩短硫酸盐侵蚀的试验周期的方法。基本思路是，减小试件尺寸，提高侵蚀

液浓度，提高试件的渗透性。

本标准修订时采用 40*40*160mm 的小试件，通过提高胶砂比到 1:6（参考 JC/T 1011-2021《混凝土抗侵蚀防腐剂》的 B 法），JC/T 1011-2021 的 B 法是将胶凝材料与砂以胶砂比 1:6，使流动度达到 250mm 的加水量制成胶砂试件，在 15%硫酸钠溶液浸泡 90d 后测试耐盐腐蚀系数评判耐硫酸盐腐蚀性。

我们在前面的试验研究中也发现，当胶砂流动度超过 200mm 后，胶砂存在泌水，造成胶砂材料不均匀，影响强度数据，所以本标准的胶砂流动度都规定为 180mm~190mm。

2) 抗冻性

以往抗冻性都按照 GB/T 50082 的规定进行，常用有慢冻法和快冻法，慢冻法以冻融循环后强度下降程度和质量损失来控制，快冻法则以动弹性模量达到冻融开始前的 60%来控制，

通过对不同强度等级的非引气化学激发混凝土和普通混凝土的慢冻法和快冻法试验，发现 C30 以下的混凝土抗冻性都很差，硫酸盐激发混凝土的抗冻性不如同等级的普通混凝土，随强度的提高，各类混凝土的抗冻性都有所提高，但不能改变其抗冻性水平。

在试验中发现：硅酸盐水泥体系混凝土（OC）在 150 次冻融循环后，其抗压强度损失率高达 95.91%，然而其动弹性模量却反常地提升了 6.3%，破坏模式主要表现为内部微裂纹的局部扩展，而非整体结构的贯通性破坏，同样，碱激发体系混凝土（AC）冻融破坏时也有这种情况。

硫酸盐激发体系混凝土（SC）和复合激发体系混凝土（CC）则展现出更为协调的劣化规律，两者在冻融破坏时的抗压强度损失伴随着显著的质量损失。这种强度与质量同步劣化的特征表明其损伤机制是典型的由表及里的渐进式破坏，冻融作用首先引发表面砂浆层的剥落，继而逐步向内部发展。

对非引气化学激发混凝土而言，C30 及以下的低强度等级混凝土出现骨料外露，抗冻性差的情况，慢冻法结果较为准确，快冻法测试过程中误差较大，不能反映冻融破坏情况，建议采用慢冻法。

引气的化学激发混凝土抗冻性规律如何？适合慢冻法还是快冻法？有待于进一步开展试验验证。

第三章 主要试验（或验证）情况分析

试验验证的重点放在新增加的产品类别、技术指标和试验方法的验证上，应尽早开始耐腐蚀性和抗冻性等实验周期长的实验项目。在批量试验验证开始前，由嘉兴大学对拟修改的试验方法（如耐化学腐蚀性试验方法）进行先期研究，初步确定试验方法后提出试验验证方案给各参加试验得单位，共有 10 多家单位开展了试验验证，参与试验验证的单位按照试验验证方案的要求，采用相近的混凝土配比和养护条件，对多种类型的化学激发混凝土技术性能进行试验验证。我更好地反映化学激发混凝土的特点，试验验证过程中，各性能指标的测试都与普通混凝土或其他胶凝材料配制的耐腐蚀混凝土进行同条件对比。

2025 年 6 月负责起草单位整理了各试验验证单位提交的试验验证阶段性结果，通过对这些资料汇总整理和比较分析，形成了《用于耐腐蚀水泥制品的化学激发混凝土》国家标准修订试验验证的结论，为确定标准（讨论稿二稿）的技术指标提供了支持。在 2025 年 7 月 5 日用于耐腐蚀水泥制品的化学激发混凝土》国家标准修订第二次工作会议上，嘉兴大学、苏州混凝土水泥制品研究院有限公

司、青岛理工大学、同济大学、重庆大学、广州大学、中国矿业大学（北京）苏州市兴邦化学建材有限公司、嘉兴市方圆检测技术有限公司等 9 家单位进一步交流了已开展的试验验证结果，为标准技术指标的修订提供依据。

1. 和易性

混凝土和易性的试验按照 GB/T 50080 进行。无粗骨料化学激发混凝土（砂浆）和易性按 GB/T 2419 进行。主要测试流动性并对保水性进行观测。塑性混凝土以坍落度为流动性指标，干硬性混凝土维勃稠度值表示流动性，砂浆以跳桌流动度表示。很多单位没有测维勃稠度值的仪器，水泥制品生产企业基本也不进行维勃稠度检测，都是通过目测和手感进行控制。试验验证的混凝土坍落度 1cm~20cm，以塑性混凝土为主。碱激发混凝土（A 型）、硫酸盐激发混凝土（S 型）和复合激发混凝土（H 型）的流动性损失大多数都比普通混凝土快，碱激发混凝土与多数普通混凝土减水剂相容性差，有些型号的硫酸盐激发混凝土常温下 15min 即丧失流动性，高温下流动性损失更快，有外加剂企业研发了专用保坍型减水剂，有较好的效果，在标准温度下测试，30 min 的混凝土拌合物坍落度损失小于 50%，能够满足生产的需要。

2. “氯离子含量”

GB/T50164 混凝土质量控制标准，有关于氯离子含量的限值，与 GB/T 14902-2012 预拌混凝土的限值要求是一致的，

“氯离子含量”的试验方法在多个国家行业标准中提及，GB50164-2011《混凝土质量控制标准》参照 JTJ 270 的规定，GB/T 14902-2012《预拌混凝土》国家标准,中也是按 JTJ 270 检测氯离子含量，经查寻 JTJ 270 已改为 JTS/T 236—2019。GB/T 14902 国标修订征求意见稿中（2024.1），将 JGJ/T 322 混凝土中氯离子含量检测技术规程,的方法列为试验方法，不再采用原来的 JTJ 270。考虑到有些标准已有修订，宜采用较近年份的标准，“氯离子含量”的试验方法可按 JGJ/T 322—2013 或 JTS/T 236—2019 的规定。编制组用二种方法进行了试验验证，结果见表 2

表 2 化学激发胶凝材料及配制的混凝土氯离子含量

序号	产品类型	氯离子实测结果 GB/T 176	氯离子实测结果（水泥用量的质量百分比）	
			JTJ 270	JGJ/T 322- 2013
1-1	NX32.5 胶凝材料	0.016	/	/
1-2	JZ 42.5 胶凝材料	0.050	/	/
2-1	NX32.5 硫酸盐激发混凝土	/	0.059	0.049
2-2	JZ 42.5 硫酸盐激发混凝土	/	0.108	0.099
2-3	碱激发混凝土	/	0.03	0.024
2-4	普通混凝土	/	0.03~0.2	0.025~0.19

试验结果上看，对比 JTJ 270 和 JGJ/T 322—2013，二者测得数据一致，JGJ/T 322—2013 使用蒸馏水稀释提取悬浊液，同一混凝土测出的氯离子数值略低于 JTJ 270 的方法得到的结果。

混凝土中胶凝材料、骨料、水中都有可能含有氯离子，所测氯离子含量高于

胶凝材料的氯离子含量，二个新拌混凝土氯离子含量测试方法所测各个混凝土中的氯离子含量都低于 GB/T 29423—2012 中氯离子含量 0.15% 的限定。

3. 变形性能

本次标准修订增加了变形性能指标（砂浆膨胀率、砂浆干燥收缩率、砂浆自收缩率）。

试验测得砂浆膨胀率最大值 0.06%，最小值 0.0011%，没有出现过大的膨胀。砂浆干燥收缩率，碱激发砂浆干缩与配比有关，总体偏大，最大值 0.205%，最小值 0.092%，普通水泥砂浆和硫酸盐激发砂浆干缩较小，小于 0.1%，都处于较低水平。

4. 吸水率

同一品种混凝土，强度越高吸水率越低，不同品种混凝土吸水率为：
碱激发混凝土>硫酸盐激发混凝土>普通混凝土>复合激发混凝土
碱激发混凝土的最大吸水率为 4.2%，强度高的复合激发混凝土最低吸水率为 0.8%。

5. 抗氯离子渗透性

混凝土的抗氯离子渗透性，RCM 法、电通量和交流电法的测试结果一致性很高，同品种混凝土，强度越高，抗氯离子渗透性越好；同强度等级的混凝土，抗氯离子渗透性最好的是硫酸盐激发混凝土，其次是碱激发混凝土，最差的是普通混凝土。

RCM 法测试时间长，需要几十小时，且在测试硫酸盐激发混凝土的氯离子渗透系数时，出现腐蚀电极板的情况。

C40 混凝土电通量：硫酸盐激发混凝土（60~417C），碱激发混凝土（559~2433C），普通混凝土（1456~4096C）。

C40 混凝土电阻率：硫酸盐激发混凝土（823~2197Ω·m），碱激发混凝土（182~719Ω·m），普通混凝土（62~283Ω·m）。

6. 耐化学腐蚀性

耐腐蚀水泥制品可以按使用的腐蚀场合分耐酸腐蚀、耐盐腐蚀、耐碱腐蚀；常见耐酸腐蚀、耐盐腐蚀。耐腐蚀水泥制品的核心性能是耐腐蚀性，企业按照 GB/T 29423—2012 对耐腐蚀性进行检验。

（1）耐酸腐蚀性和耐碱腐蚀性

对比了 48 h 快速法、低温侵蚀法和 JC/T 2839-2024 三种耐酸试验方法，试验结果对比见表 3

表 3 不同测试方法的耐酸腐蚀系数

品种	修改的 48h 快速法	低温侵蚀法 14d	低温中浓度侵蚀法 14d	低温低浓度侵蚀法
腐蚀条件	10%硫酸 50℃±3℃	10%硫酸 20℃±2℃	PH=0	PH=3 常温 60d
硫酸盐激发	0.96	0.85	0.91	0.87
碱激发	0.96	0.98	1.06	0.91
复合激发	0.91	0.82	0.90	/
铝酸盐	0.94	0.70	0.76	/
OPC/对比	0.63	0.46	0.60	0.75

低温侵蚀 14d 后普通水泥胶砂耐酸腐蚀系数不足 0.5，铝酸盐水泥胶砂耐酸腐蚀系数为 0.70，稍优于普通水泥，硫酸盐激发胶砂和复合激发胶砂耐酸腐蚀系数都在 0.8 以上，碱激发胶砂耐酸腐蚀系数超过 0.9。

所以，建议本次标准修订采用低温侵蚀法，后续可对多种化学激发混凝土进一步试验验证。为保持标准的延续性，**建议原附录 A 的耐酸腐蚀性能胶砂法（快速法）予以保留，作为代用法使用。**

普通水泥和化学激发材料都具备较好的耐碱腐蚀能力，从本次试验验证结果看普通水泥耐碱腐蚀系数超过 0.9，化学激发材料碱腐蚀系数甚至超过 1.0，高铝水泥的碱腐蚀系数不足 0.8，所以，本次标准修订征求意见稿将碱腐蚀系数定为 0.9。

(2) 耐盐腐蚀性

我们采用胶砂比 1:6，胶砂流动度为 180mm~190mm 下加水（水胶比约 0.88），对比不同浓度 Na₂SO₄ 下浸泡腐蚀条件，其 90d 耐盐腐蚀系数的比较见表 4。

从表 4 的结果可，在胶砂比 1:6 下硫酸钠侵蚀深度明显高于胶砂比 1:3 的同类型胶砂，胶砂比 1:6 的普通水泥胶砂的耐盐腐蚀系数仅 0.63，可以看出硫酸盐腐蚀的比较彻底，而二种化学激发材料胶砂都保持了较高的强度和耐盐腐蚀系数。

表 4 胶砂法（长期浸泡 90 d）耐硫酸盐试验结果（2025.1.10-4.10）

NO.	泡水抗压强度	15%Na ₂ SO ₄ 浸泡强度	5% Na ₂ SO ₄ 浸泡强度	90d 耐盐腐蚀系数
OPC（1:3）	62.3	—	56.6	0.91
OPC（1:6）	21.6	13.5	—	0.63
JZ42.5（1:3）	46.6	—	50.2	1.08
JZ42.5（1:6）	25.3	21.8	—	0.86
YC52.5（1:3）	77.3	—	82.6	1.07
YC52.5（1:6）	46.5	38.8	—	0.83

本胶砂法按照胶砂比 1:6，流动度 190 mm 成型砂浆试件，在 15%硫酸钠溶液浸泡 90 d 测抗压强度侵蚀系数的试验方法，硫酸盐腐蚀的比较彻底，虽然试验周期稍长，但比原混凝土试件法 150 次循环需要 150 天已明显缩短。建议以胶砂比 1:6 的胶砂试件法作为耐硫酸盐腐蚀的标准方法，后续试验验证应由更多单位进行验证，确定耐盐腐蚀系数指标。

7. 抗冻性

对抗冻性实验，多个单位配制了 C25~C60 的非引气化学激发混凝土和普通混凝土，包括硅酸盐水泥体系混凝土（OC）、硫酸盐激发体系混凝土（SC）和复合激发体系混凝土（CC）。

从结果上看，C30 以下的混凝土抗冻性都很差，硫酸盐激发混凝土的抗冻性不如同等级的普通混凝土，随强度的提高，各类混凝土的抗冻性都有所提高，但不能改变其抗冻性水平。

快冻法的结论：动弹模量明显下降时需要的冻融循环次数为：OC 需 125 次，

AC 需 100 次, SC 需 50 次, CC 需 50 次, 抗冻性顺序 $OC > AC > SC > CC$, 慢冻法(强度损失 25%为基准), OC 需 100 次, SC50 需次, CC 需 25 次, AC 需 25 次, 抗冻性顺序: $OC > SC > CC > AC$

无论是快冻法和慢冻法, 碱激发体系混凝土(AC)、硫酸盐激发体系混凝土(SC)和复合激发体系混凝土(CC)的抗冻融循环次数都在 25-50 次。

为提高化学激发混凝土的抗冻性, 后续混凝土中应掺入引气剂, 开展对引气化学激发混凝土进行抗冻性试验验证。

第四章 标准中如果涉及专利, 应有明确的知识产权说明

本标准中没有涉及专利, 以及其它知识产权等情况。

第五章 产业化情况、推广应用论证和预期达到的经济效益等情况

本标准的修订, 将有利于耐腐蚀水泥制品的生产应用, 促进耐腐蚀水泥制品质量的提高。针对化学激发混凝土的特点, 完善分类, 使标准技术指标和试验方法更具有合理性和可操作性, 有利于化学激发混凝土的使用和检验, 随着本标准的修订和实施, 将产生良好的社会效益。

本标准对化学激发混凝土技术要求进一步明确, 性能特点及应用场景更加清晰, 有利于耐腐蚀水泥制品的开发与应用。

本标准是根据我国耐腐蚀水泥制品和化学激发混凝土的实际生产和使用现状, 并考虑行业的发展趋势修订的。相信本标准发布实施后, 将对提高耐腐蚀水泥制品和化学激发混凝土质量, 扩大其使用场合等起到积极的作用。

第六章 采用国际标准和国外先进标准情况

本标准修订过程中尚未查询到国际或国外的标准, 查到一个关于耐酸腐蚀试验方法的相关标准: ASTM C1898-20 《Standard Test Methods for Determining the Chemical Resistance of Concrete Products to Acid Attack》(《测定混凝土制品耐酸蚀性的标准试验方法》)。本标准修订中没有采用国内外相关标准的关键指标或相关数据。

第七章 与现行相关法律、法规、规章及相关标准, 特别是与强制性标准的协调性

经广泛调研和多方面征求意见, 本标准符合现行的相关法律、法规、规章及相关标准(包括强制性标准)的要求, 具有一致性。

第八章 重大分歧意见的处理经过和依据

本标准修订过程中没有重大分歧意见。

第九章 标准性质的建议说明

本标准为首次修订, 建议本标准为推荐性标准。

第十章 贯彻标准的要求和措施建议

1、组织措施

标准发布后，建议全国水泥制品标准化技术委员会联合中国混凝土水泥制品协会，主办标准的宣贯会议，使本标准得到耐腐蚀水泥制品生产企业、原材料供应企业、设计院、业主单位、管理部门的重视和贯标落实。

2、技术措施

组织标准主要编写人员，开展标准宣贯、讲座、现场咨询等活动。

3、过渡办法

本标准系第一次修订，在本标准发布期间至实施期间，各企业先学习、培训。

4、实施日期

建议本标准尽快发布实施。

第十一章 废止现行相关标准的建议

本标准是第一次修定，本标准修订发布实施后，GB/T 29423-2012 版标准废止。

第十二章 其它应予说明的事项

没有需要说明的问题。

《用于耐腐蚀水泥制品的化学激发混凝土》国家标准修订工作组
嘉兴大学 建筑工程学院

2025-7-11