

GB/T 15231 《玻璃纤维增强水泥性能试验方法》

标准征求意见稿编制说明

中国建筑材料科学研究总院有限公司

2022年6月

目录

一、工作简况.....	2
(一) 任务来源.....	2
(二) 工作过程简介.....	2
(三) 参加单位及成员.....	3
二、标准编制原则和主要内容.....	5
(一) 标准制定的基本原则.....	5
(二) 标准制定的主要内容及依据.....	6
三、主要试验验证的情况及分析.....	15
(一) 锚杆拉拔力验证试验.....	15
(二) 预埋螺栓套筒拉拔力验证试验.....	21
(三) 收缩率验证试验.....	26
(四) 加速老化验证试验.....	30
四、标准中涉及的知识产权情况说明.....	34
五、产业化情况、推广应用论证和预期达到的经济效果情况.....	34
六、采用国际标准和国外先进标准的情况.....	35
七、与国内现行法律、法规、规章、及相关标准的协调性情况.....	35
八、重大分歧意见的处理经过和依据.....	35
九、标准性质的建议说明.....	35
十、贯彻标准的要求和措施建议.....	35
十一、废止现行相关标准的建议.....	35
十二、其它应予说明的事项.....	35

GB/T 15231 《玻璃纤维增强水泥性能试验方法》

标准征求意见稿编制说明

一、工作简况

（一）任务来源

2021年4月30日，根据“国家标准化管理委员会关于下达2021年第一批推荐性国家标准计划及相关标准外文版计划的通知”（国标委发[2021]12）和全国水泥制品标准化技术委员会“关于下达2021年第一批国家标准制修订计划的通知”（水制标秘字[2021]09号）文件，《玻璃纤维增强水泥性能试验方法》（计划号：20210790-T-609）标准修订已被正式列入2021年第一批国家标准制修订计划，由中国建筑材料科学研究总院有限公司负责组织该标准的修订工作。该标准修订工作将在18个月内完成。

（二）工作过程简介

中国建筑材料科学研究总院有限公司作为主要起草单位，于2021年开始标准修订工作，主要工作过程如下：

2021年5月，开始进行标准编制的前期调研和征询意见，收集国内外相关标准资料。

2021年6~9月，确定工作进度计划，形成标准编制大纲；同时，向社会发出标准编制邀请函，筹建标准编制工作组，同时制定研究方案，完成标准初稿。

2021年9月25-27日，在北京组织召开了标准修订工作启动会，来自全国各地的代表共70余人出席了会议。会上中国建材总院水泥新材院崔琪院长代表主编单位致辞，并介绍了本标准的重要性和对行业发展的重要意义。全国水泥制品标准化技术委员会奚飞达秘书长作了“国家标准制修订相关政策和管理要求”报告，对标准化改革、国家标准管理办法和要求、本次标准化工作的建议和意见等内容进行了全面讲解。李清海教授代表编制组详细汇报了此次标准制订的背景情况、标准编制的工作大纲和标准初稿内容。与会代表就标准修订方案的内容进行了充分讨论，并广泛征求意见，在综合各方建议的基础上总结整理形成最终的标准修订方案，内容包括主要修订内容、修订原则、需要调查研究的主要问题、测

试验项目、修订工作进度计划和编制组成员组成等。

2021年10~12月，征集全国各地具有代表性的GRC试验样品，按照标准修订方案进行验证试验。

2022年1~3月，征集第二批GRC试验样品进行补充验证试验。整理验证试验数据，撰写标准讨论稿和标准修订编制说明（初稿）。

2022年4月29日，以视频会议的方式组织召开第二次标准修订工作会议。来自全国各地的参编单位代表及生产应用单位代表等101人参加了会议。会上编制组对标准讨论稿内容及验证实验结果进行了详细的解读。与会代表对标准讨论稿各章节内容进行了逐条讨论，结合企业产品生产和应用过程中的质量控制重点对标准中锚杆拉拔力、预埋螺栓套筒拉拔力、收缩率、加速老化等新增性能试验方法内容进行了研讨，提出进一步完善及修改意见。会议统一了编制组对标准条款内容的认识，为形成征求意见稿奠定了基础。

2022年5月，编制组对标准内容及标准制定编制说明进行修改、补充完善，完成了标准征求意见稿和标准征求意见稿编制说明。

2022年6月，标准征求意见稿和标准征求意见稿编制说明正式向社会公开征求意见。一方面通过全国水泥制品标准化技术委员会向专家委员发放标准征求意见稿和征求意见函，另一方面，通过网络或定向向行业专家及企业发放标准征求意见稿和征求意见函，涉及专业包括：材料、建筑设计、结构设计、施工管理等，单位性质包括：科研及设计院所、检测机构、大专院校、生产及施工企业、行业管理部门等。

（三）参加单位及成员

目前已有75个单位共同参加标准制定工作，其中包括科研单位及高校5家，设计及检测单位14家，生产、施工应用及原材料供应单位56家。

起草单位		分工
负责起草	中国建筑材料科学研究总院有限公司 中国建材检验认证集团北京天誉有限公司	全面负责标准征询意见、国内外情况调研汇总、标准初稿、讨论稿、征求意见稿及相关文件的起草及标准中涉及的验证试验方案制定工作。
参加起草（暂	安徽汇辽新型装饰材料有限公司 北京城建建设工程有限公司 北京建工一建工程建设有限公司混凝土分公司	主要负责提供试验样品、承担部分验证试验、参加标准相关讨论、收集相关技术资料、并

拼音 排序)	北京利豪珈源建材有限公司 北京市政建设集团有限责任公司 成都金圣实业有限公司 广东标普建筑装饰设计工程有限公司 广州大学 广州市洁达建筑装饰工程有限公司 杭州昂扬石力科技有限公司 河南安罗高速公路有限公司 河南豫申高速公路有限公司 湖北省建筑工程质量监督检验测试中心有限公司 湖北正平水利水电工程质量检测有限公司 湖南省建设工程质量检测中心有限责任公司 湖南省通和工程有限公司 湖南天泽建材有限公司 惠州市鸿晔环保科技有限公司 江西银杉白水泥股份有限公司 南京奥捷墙体材料有限公司 南京砼利建筑咨询有限公司 宁波市明森建筑设计院有限公司 山东高速股份有限公司 山东永福建设集团有限公司 陕西美创新材料科技有限公司 上海孚姆新材料科技有限公司 上海公路桥梁（集团）有限公司 上海汇辽科技发展股份有限公司 上海卓欧建筑装饰工程有限公司 深圳市特区建工科工集团盛腾科技有限公司 四川恒固建设工程检测有限公司 四川路航建设工程有限责任公司 苏交科集团股份有限公司 苏州第一建筑集团有限公司 苏州景征新型材料有限公司 苏州市建设工程质量检测中心有限公司 西安建筑科技大学 亿恒控股有限公司 云南建投绿色高性能混凝土股份有限公司 云南云水工程技术检测有限公司 浙江凌峰新材料股份有限公司 浙江省三建建设集团有限公司 浙江意诚检测有限公司 郑州市王楼水泥工业有限公司 中国建筑第八工程局有限公司 中国建筑第二工程局有限公司 中国建筑第六工程局有限公司	结合生产及工程实际应用提出技术指标要求与建议等。
-----------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------

中国建筑第五工程局有限公司 中国建筑西南设计研究院有限公司 中国十七冶集团有限公司 中国铁建大桥工程局集团有限公司 中建海峡建设发展有限公司 中建深圳装饰有限公司 中建一局集团第五建筑有限公司 中交广州水运工程设计研究院有限公司 中交路桥北方工程有限公司 中交路桥建设有限公司 中交四公局（北京）公路试验检测科技有限公司 中铁二十二局集团第四工程有限公司 中铁建设集团华北工程有限公司 中铁建设集团有限公司 中铁十八局集团第三工程有限公司 中铁十局集团有限公司 中铁十六局集团有限公司 中铁十六局集团置业投资有限公司 中铁十一局集团第四工程有限公司 中冶建筑研究总院有限公司 中油（新疆）石油工程有限公司 重庆中冠新型建材有限公司 珠海市优艾斯装饰设计工程有限公司 珠江水利委员会珠江水利科学研究院	
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

二、标准编制原则和主要内容

（一）标准制定的基本原则

近十年来 GRC 产品在国内外都得到了较大的发展，其优异的特性在不同的建筑业领域中，得到广泛应用，目前我国生产的 GRC 外墙板和装饰制品产量和工程应用量居世界之首，每年有数百万平米的 GRC 外墙板和装饰制品应用到各类建筑工程上。原标准对当时 GRC 产品标准中技术指标值的确定和试验方法起到了非常大的作用，规范了相关的产品质量技术要求和试验方法的一致性，也确保了 GRC 产品的使用质量，得到了业界相关人员的一致好评。但是，随着 GRC 技术的发展，对原试验方法标准的采用也发现存在一些问题，如缺少耐久性、结构安全性及体积稳定性等内容，因此，必须根据 GRC 产品的研究、生产和应用情况的发展，对原标准进行修订，以重点解决 GRC 产品耐久性（如加速老化和

抗冻性)、结构安全性(锚杆拉拔力和预埋螺栓套筒拉拔力)及体积稳定性(收缩率)等方面性能试验方法完善问题,引导 GRC 产品的技术进步,促进产品质量提高,满足 GRC 工程建设的需要为基本原则。

同时贯彻制修订标准中应遵循的原则:“简化、统一、协调、承继性与最大自由度原则”。重点与现有标准《玻璃纤维增强水泥(GRC)建筑应用技术标准》JGJ/T 423-2018、《玻璃纤维增强水泥(GRC)外墙板》JC/T 1057 和《玻璃纤维增强水泥(GRC)装饰制品》JC/T 940 在用词统一性、技术内容的协调性,以及与原标准内容的承继性的基础上,坚持标准的简化和最大自由度原则。

(二) 标准制定的主要内容及依据

标准主要共分 15 章。分别为 1 范围; 2 规范性引用文件; 3 术语和定义; 4 试件制备; 5 体积密度、含水率和吸水率; 6 抗压强度; 7 抗弯性能(比例极限强度、极限强度、弹性模量); 8 抗拉强度; 9 抗冲击强度; 10 锚杆拉拔力; 11 预埋螺栓套筒拉拔力; 12 抗冻性; 13 收缩率; 14 加速老化; 15 玻璃纤维含量。以下依照标准的每一章节内容及依据、解决的主要问题分别叙述。

1 范围

本文件规定了玻璃纤维增强水泥试件的体积密度、含水率、吸水率、抗压强度、抗弯性能(抗弯比例极限强度、抗弯极限强度和抗弯弹性模量)、抗拉强度、抗冲击强度、锚杆拉拔力、预埋螺栓套筒拉拔力、抗冻性、收缩率、加速老化和玻璃纤维含量的试验方法。

明确了本标准为玻璃纤维增强水泥试件性能试验方法标准。与原标准相比,增加了锚杆拉拔力、预埋螺栓套筒拉拔力、收缩率和加速老化试验方法。这主要是因为随着 GRC 技术的进步和工程的需求,对产品安全性和耐久性提出更高的要求,成为 GRC 产品重要考查指标,对 GRC 工程十分重要。

2. 规范性引用文件

共有 1 个引用文件: JG/T 243 《混凝土抗冻试验设备》。

与原标准相比,本章为新增加内容。主要考虑到随着 GRC 技术提高产品抗冻性试验冻融循环次数大幅增加,由原来的 25 次提高到 50、75 和 100 次,抗冻性试验也由人工冻融试验向自动冻融试验发展,相应采用符合 JG/T 243 《混凝土抗冻试验设备》满足自动冻融试验要求。

3 术语和定义

根据调研和 GRC 产品及工程实际应用情况，提出了与本标准密切相关的术语和定义。在原标准的基础上，增加了锚杆和粘结盘的定义，主要为锚杆拉拔力和预埋螺栓套筒拉拔力性能试验时试件构造形式进行解释。

4 试件制备

与原标准相比，本章增加了锚杆拉拔力、预埋螺栓套筒拉拔力、收缩率和加速老化试验试件制备要求。

4.1 试验板法

锚杆拉拔力/预埋螺栓套筒拉拔力试验板上锚杆/预埋螺栓套筒间距不应小于 300 mm，板厚度标称尺寸为 20mm。在距离试验板边缘 50mm 以内的部位，切割用于不同性能试验的试件，试件的长度方向根据试验需求确定；试件表面应平整，试件尺寸和数量应符合表 1 规定。

表 1 试件尺寸和数量

性能	试件尺寸			试件数量/ 个	试件外 形
	长度/mm	宽度/mm	厚度/mm		
锚杆拉拔力	300±2	300±2	20±5	3	正方形
预埋螺栓套筒拉拔力	300±2	300±2	20±5	3	正方形
收缩率	260±2	260±2	10±2	2	正方形
加速老化	250±2	50±2	10±2	12	长方形

4.2 切割制样法

直接从制品上切割试件，试件切割部位距离产品边缘不小于 50mm。在切割过程中不对试件造成损害，试件的两个表面均应平整并相互平行。根据制品在实际应用时的受力情况，确定试件的长度方向。试件数量应符合表 1 规定。试件标称尺寸宜符合表 1 规定，若从制品上不能切割出符合表 1 规定的试件尺寸时，则试件尺寸应符合表 2 规定。

表 2 试件尺寸

性能	试件尺寸
加速老化	宽度 45mm~50mm,长度不小于厚度的 16 倍，厚度不超过 15mm。
锚杆拉拔力、预埋螺栓套筒拉拔力	边长 295mm~300mm，厚度为制品的厚度。
收缩率	边长 255mm~260mm，厚度不超过 15mm。

以上内容为新增性能试验进行样品制作。和原标准中其他性能试验制样要求一样，分为试验板法和切割制样法。主要考虑到 GRC 产品多以异形非平板产品居多，在性能试验时难以直接从产品上切割出符合性能试验要求（形状及尺寸）的试验样品，故增加了试验板法制样方法——为了评价 GRC 材料或者 GRC 产品的性能而成型的平板，试验板应在与产品相同的条件下成型、同条件下养护至龄期。

5 体积密度、含水率和吸水率

保留原标准相应内容。为标准本文编辑简洁明了、易于理解，将原标准中对于外观不规整的试件体积测量方法移至附录 A。

6 抗压强度

保留原标准相应内容。增加了破坏荷载 P_c 的精确要求（10 N），一方面便于试验操作，另一方面与结果计算中抗压强度的精确度要求（0.1MPa）相协调一致。

7 抗弯性能（比例极限强度、极限强度、弹性模量）

保留原标准相应内容。将“破坏强度”名称修改为“极限强度”，与 GRC 产品标准和国际标准协调一致。

8 抗拉强度

保留原标准相应内容。

9 抗冲击强度

保留原标准相应内容。原标准中摆锤式冲击试验机附带 0J~7.5J、0J~15J、0J~25J 三个能量级别的摆锤，调整为摆锤式冲击试验机附带 0J~7.5J、0J~15J、0J~25J、0J~50J 四个能量级别的摆锤。增加 0J~50J 能量级别的摆锤，是因为目前 GRC 产品的技术进步，产品抗冲击强度增加，突破原标准规定的最大抗冲击强度 25J 的限值，需要更大测试范围的设备。

10 锚杆拉拔力

10.1 仪器设备

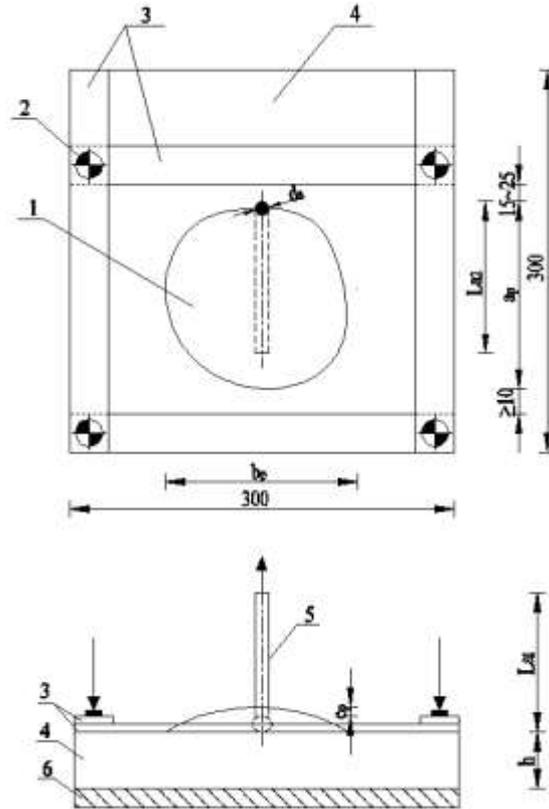
10.1.1 电子式拉力试验机：测力范围 0kN~20kN，精度 1%，拉拔夹紧装置具有万向节调节功能。

10.1.2 游标卡尺：测量范围 0mm~200mm,精度 0.02mm。

10.1.3 钢直尺，量程 0mm~300mm，分度值为 1mm。

10.1.4 加载夹具：加载夹具由一块边长不小于 300mm×300mm 厚度不小于 15mm 的钢衬板、四条 300mm×50mm 厚度不小于 10mm 的钢板条和四个 C 型固定夹组成，如图 1 所示。加载夹具的设计应有足够的钢度，使试件牢固地附着在钢衬板上，特别是在锚杆受拉时，靠近锚杆的试件截面不得弯曲。

单位为毫米



1-----粘结盘；2-----C 型固定夹；3-----钢板条；4-----GRC 板；5-----锚杆；6-----钢衬板。

图 1 锚杆拉拔力试验固定装置与加载方式

10.2 试验步骤

10.2.1 将试件置于通风良好的室内 3d。

10.2.2 用游标卡尺测量锚杆直径 d_a ，精确到 0.1mm。

10.2.3 用钢直尺分别测量 GRC 板试件厚度 h 、锚杆垂直段长度 L_{a1} 、粘结盘延预埋锚杆方向最大长度作为粘结盘长度 a_p 、垂直与预埋锚杆方向最大宽度作为粘结盘宽度 b_p ，精确到 1mm。

10.2.4 将试件固定在加载夹具中，如图 1 所示。试件下表面牢固地附着在钢衬板上，上表面由四条钢板条通过 C 型固定夹固定。与预埋锚杆垂直方向

的两条钢板条紧贴试件上表面，且锚杆跟部表面与钢板条垂直距离为15mm~25mm。粘结盘边缘与钢板条间应有足够的距离，不应小于10mm。

10.2.5 试件及加载夹具置于拉拔力试验机，钢衬板与试验机底座相连接，且调节至锚杆与拉拔力方向在同一轴线。锚杆拉拔过程中拉拔力应始终与板面垂直，加载速度为5mm/min，直至试件破坏或锚杆钢筋屈服。记录最大荷载值 P_a ，精确到0.1kN。

10.2.6 用钢直尺测量锚杆预埋水平段长度 L_{a2} ，精确到1mm。

10.2.7 用游标卡尺测量锚杆顶部的粘结盘平均厚度 e_p 。分别测量锚杆预埋水平段两端及中点处顶部的粘结盘厚度，结果以三个数值的算术平均值表示，精确到0.5mm。

10.3 结果表示

10.3.1 锚杆拉拔力以三个试件最大荷载 P_a 算术平均值表示，精确到0.1kN。

10.3.2 另需分别报告每个试件的如下内容：

- a) 最大荷载值 P_a ；
- b) 试件厚度 h
- c) 锚杆规格尺寸（直径 d_a 、垂直段长度 L_{a1} 、预埋水平段长度 L_{a2} ）；
- d) 粘结盘尺寸（长度 a_p 、宽度 b_p 及锚杆顶部的平均厚度 e_p ）；
- e) 破坏形式（粘结盘破坏、粘结盘脱粘、锚杆钢筋屈服或GRC板破坏）。

本章为新增内容。试验方法参照了ASTM1230-96《玻璃纤维增强混凝土（GFRC）粘结盘拉拔力测试方法标准》，并对加载夹具、试件固定在加载夹具中位置以及试件破坏（或锚杆钢筋屈服）时最大荷载值读取方法进行了更详细的定量规定，更便于操作和试验方法的一致性。

以上锚杆拉拔力性能试验方法通过试验验证证明其可行，并具有较好的试验一致性。详见“三、主要试验验证的情况及分析”。

11 预埋螺栓套筒拉拔力

11.1 仪器设备

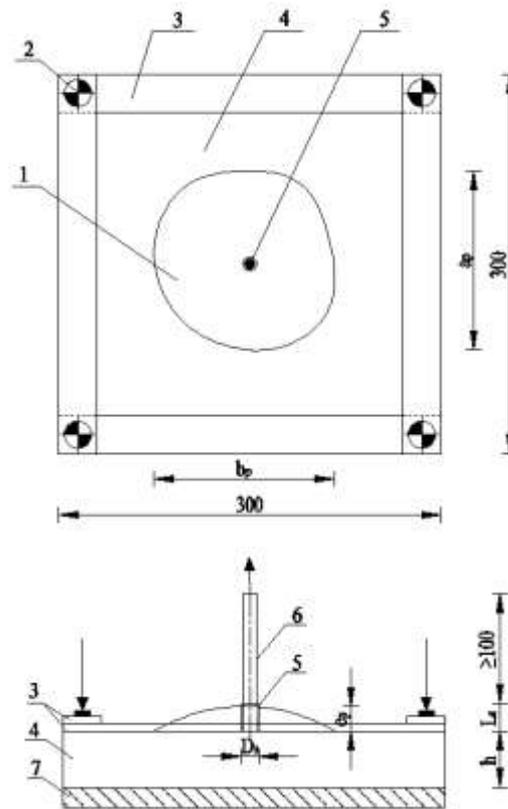
11.1.1 电子式拉力试验机：测力范围0kN~20kN，精度1%，拉拔夹紧装置具有万向节调节功能。

11.1.2 游标卡尺：测量范围 0mm~200mm,精度 0.02mm。

11.1.3 钢直尺，量程 0mm~300mm，分度值为 1mm。

11.1.4 加载夹具：加载夹具由一块边长不小于 300mm×300mm 厚度不小于 15mm 的钢衬板、四条 300mm×50mm 厚度不小于 10mm 的钢板条和四个 C 型固定夹组成，如图 2 所示。加载夹具的设计应有足够的刚度，使试件牢固地附着在钢衬板上，特别是在预埋螺栓套筒受拉时，靠近预埋螺栓套筒的试件截面不得弯曲。

单位为毫米



- 1-----粘结盘；2-----C 型固定夹；3-----钢板条；4-----GRC 板；5-----预埋螺栓套筒；
6-----螺栓；7-----钢衬板。

图 2 预埋螺栓套筒拉拔力试验固定装置与加载方式

11.2 试验步骤

11.2.1 将试件置于通风良好的室内 3d。

11.2.2 用游标卡尺测量预埋螺栓套筒外径 D_s ，精确到 0.1mm；并记录预埋螺栓套筒公称直径 d_s 。

11.2.3 用钢直尺测量 GRC 板试件厚度 h 、精确到 1mm。

11.2.4 有突出 GRC 板表面粘结盘时,用钢直尺测量分别粘结盘长度 a_p 、宽度 b_p , 精确到 1mm。

11.2.5 将配套螺栓一端拧入预埋螺栓套筒至底端, 另一端伸出预埋螺栓套筒顶端面不少于 100 mm。

11.2.6 将试件固定在加载夹具中, 如图 2 所示。试件下表面牢固地附着在钢衬板上, 上表面由四条钢板条通过 C 型固定夹固定。粘结盘边缘与钢板条间应有足够的距离, 不应小于 10 mm。

11.2.7 试件及加载夹具置于拉拔力试验机, 钢衬板与试验机底座相连接, 且调节至螺栓与拉拔力方向在同一轴线。拉拔过程中拉拔力应始终与板面垂直, 加载速度为 5mm/min, 直至试件或螺栓破坏。记录最大荷载值 P_s , 精确到 0.1kN。

11.2.8 用游标卡尺测量预埋螺栓套筒埋入深度 e_p 和预埋螺栓套筒长度 L_s , 精确到 0.5mm。

11.3 结果表示

11.3.1 预埋螺栓套筒拉拔力以三个试件最大荷载 F 算术平均值表示, 精确到 0.1kN。

11.3.2 另需分别报告每个试件的如下内容:

- a) 最大荷载值 P_s ;
- b) 试件厚度 h ;
- c) 预埋螺栓套筒规格尺寸 (外径 D_s 、公称直径 d_s 、预埋螺栓套筒长度 L_s);
- d) 粘结盘尺寸 (长度 a_p 、宽度 b_p) 或标注无粘结盘及埋入深度 e_p ;
- e) 破坏形式 (粘结盘破坏、粘结盘脱粘、螺栓拔出、螺栓屈服、预埋螺栓套筒拔出或 GRC 板破坏)。

本章为新增内容。试验方法参照了 10.锚杆拉拔力测试方法, 并根据预埋螺栓套筒在 GRC 产品中的埋设方式对试件固定在加载夹具中位置进行了规定; 配套螺栓与预埋螺栓套筒连接方法、试件破坏 (或螺栓破坏) 时最大荷载值读取方法和试验过程中应记录的参数进行了规定。

以上预埋螺栓套筒拉拔力性能试验方法通过试验验证证明其可行,并具有较好的试验一致性。详见“三、主要试验验证的情况及分析”。

12 抗冻性

保留原标准人工冻融试验方法内容。同时增加了自动冻融试验方法用仪器设备和试验步骤:

12.1 仪器设备

自动冻融设备:符合 JG/T243 慢速冻融试验设备要求,气冻保持时间和水融保持时间分别在 1h~2h 内可调。

12.2 试验步骤

当采用自动冻融试验时,将装入试件的试验架放入自动冻融设备中,负温(-20 ± 2) $^{\circ}\text{C}$ 气冻保持时间为 2h,水融(20 ± 5) $^{\circ}\text{C}$ 保持时间为 1h。每 25 次循环宜对冻融试件进行一次外观检查,需擦干表面,检查试件有无起层、剥落等破坏现象。

随着技术进步,特别是外加剂和聚合物的使用,GRC 产品的耐久性均得到明显提高,表现在产品的抗冻性指标有了明显的提高。如 GRC 外墙板和 GRC 装饰制品产品标准中原抗冻性要求(经 25 次冻融循环,无起层、剥落等破坏现象)提高为 50 次~100 次冻融循环后,无起层、剥落等破坏现象(冻融循环次数为严寒地区 100 次,寒冷地区 75 次、其他地区 50 次)。原标准中以人工冻融试验方法进行抗冻性试验,因试验周期长,人为因素易造成试验误差。本标准鼓励使用自动冻融设备进行抗冻性试验,本方法对设备及方法进行的规定。

13 收缩率

13.1 仪器

13.1.1 外径千分尺:分度值 0.01mm。

13.1.2 干燥箱:温度范围 $0^{\circ}\text{C}\sim 200^{\circ}\text{C}$ 。

13.1.3 水槽:控制水温在 $10^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$ 。

13.1.4 干燥器。

13.2 试验步骤

13.2.1 将试件置于通风良好的室内 3d。在距试件四个边缘各 10mm 处划测量标线,每条标线至试件的两端面。试件浸泡于 $10^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$ 的水中 24h,水面高出试件不小于 20mm,取出后用湿毛巾擦去表面水分,分别测量每条标线长度 l_1 ;

然后将试件放入温度为（60±5）℃干燥箱中干燥 48h，取出后放入干燥器中冷却至室温，再次测量每条标线长度 l_2 。精确到 0.01mm。

13.2.2 试件在浸水、干燥过程中，试件与水槽、干燥箱内壁间距不小于 50mm，试件与试件间距不小于 20mm。

13.3 结果计算

按照公式（1）计算收缩率，结果以两个试件 8 个数据的算术平均值表示，精确到 0.01%。

$$\varepsilon = \frac{l_1 - l_2}{l_1} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

式中：

ε ——收缩率，%；

l_1 ——饱水状态试件长度，单位为毫米（mm）；

l_2 ——（60±5）℃干燥后试件长度，单位为毫米（mm）；

本章为新增内容。试验方法参照了 JC/T 1057-2021《玻璃纤维增强水泥（GRC）外墙板》中收缩率试验方法，并通过试验验证证明其可行，并具有较好的试验一致性。详见“三、主要试验验证的情况及分析”。

14 加速老化

14.1 仪器设备

14.1.1 恒温水槽：温度可控制在（50±2）℃；并带有密封盖，内部样品室空间体积不宜大于 0.12m³。

14.1.2 第 7 章抗弯性能所需仪器设备。

14.2 试验步骤

14.2.1 将试件分成对比组和测试组，每组 6 块试件。置于通风良好的室内 3d。

14.2.2 将对比组 6 块试件按第 7 章进行抗弯极限强度试验。

14.2.3 将测试组 6 块试件浸于（50±2）℃的水槽中至规定时间 n 天，且 n 不应小于 7；浸泡结束后将试件取出，置于通风良好的室内 7d。按第 7 章进行抗弯极限强度试验。

14.2.4 试件应完全浸入水中，水面高出试件不小于 20mm，且试件间距不应小于 10mm。试验期间不应更换水，水位下降时应补水。

14.3 结果计算

按照公式(2)计算经 n 天加速老化后抗弯极限强度保留率,精确到 0.1%。

$$r_{\text{MOR}} = \frac{\sigma'_{\text{MOR}}}{\sigma_{\text{MOR}}} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

式中:

r_{MOR} -----经 n 天加速老化后抗弯极限强度保留率, %;

σ_{MOR} -----对比组试件的抗弯极限强度, 单位为兆帕 (MPa);

σ'_{MOR} -----测试组试件的抗弯极限强度, 单位为兆帕 (MPa)。

本章为新增内容。试验方法参照了 ASTM1560-03《玻璃纤维增强水泥基复合材料热水加速老化的标准试验方法》，并对恒温水槽温度控制及体积、试验用水种类、水槽中加速老化水温、结果计算与表征方法根据我国 GRC 产品特点（硫铝酸盐水泥和硅酸盐水泥为基材）及国内设备常用规格等进行了明确限定。更便于操作和试验方法的一致性。另外，根据活性混合材掺入后会对 GRC 产品加速老化早龄期（7 天内）试验结果造成影响，特别规定了试件浸于（50±2）℃的水槽中不应小于 7 天。

以上加速老化性能试验方法通过试验验证证明其可行，并具有较好的试验一致性。详见“三、主要试验验证的情况及分析”。

15 玻璃纤维含量

保留原标准相应内容。

附录 A（规范性）外观不规整试件体积测量方法

原标准中体积密度、含水率和吸水率试验方法中相关内容。为标准本文编辑简洁明了、易于理解，将原标准中对于外观不规整的试件体积测量方法移至附录 A。

三、主要试验验证的情况及分析

本标准试验验证工作主要针对新增内容锚杆拉拔力、预埋螺栓套筒拉拔力、收缩率和加速老化性能的试验方法进行分别验证。

（一）锚杆拉拔力验证试验

征集了来自行业内规模以上 6 家企业分别制作的 GRC 锚杆拉拔力试验样品

6组（每组6个试件）。按照验证试验要求，所有试验样品均为各企业目前正在施工的GRC外墙板实际工程产品取样或同原材料、同工艺制作的验证试验样品（符合异形产品验证试验要求）。按标准规定方法进行锚杆拉拔力验证试验。试验方法及内容如下：

1 仪器设备

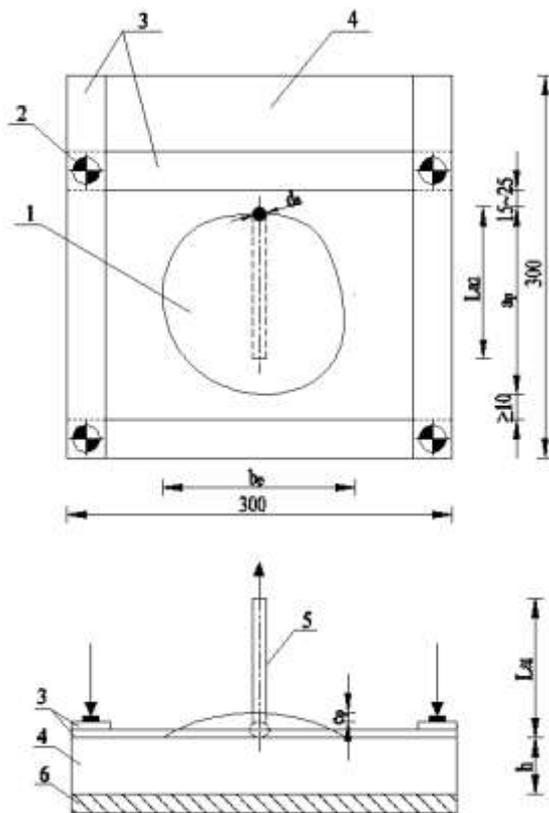
电子式拉力试验机：测力范围0kN~20kN，精度1%，拉拔夹紧装置具有万向节调节功能。

游标卡尺：测量范围0mm~200mm,精度0.02mm。

钢直尺，量程0mm~300mm，分度值为1mm。

加载夹具：加载夹具由一块边长不小于300mm×300mm厚度不小于15mm的钢衬板、四条300mm×50mm厚度不小于10mm的钢板条和四个C型固定夹组成，如图3所示。加载夹具的设计应有足够的钢度，使试件牢固地附着在钢衬板上，特别是在锚杆受拉时，靠近锚杆的试件截面不得弯曲。

单位为毫米



1---粘结盘；2---C型固定夹；3---钢板条；4---GRC板；5---锚杆；6---钢衬板

图3 锚杆拉拔力试验固定装置与加载方式

2 试验步骤

2.1 将试件置于通风良好的室内 3d。

2.2 用游标卡尺测量锚杆直径 d_a ，精确到 0.1mm。

2.3 用钢直尺测量分别 GRC 板试件厚度 h 、锚杆垂直段长度 L_{a1} 、粘结盘延预埋锚杆方向最大长度作为粘结盘长度 a_p 、垂直与预埋锚杆方向最大宽度作为粘结盘宽度 b_p ，精确到 1mm。

2.4 将试件固定在加载夹具中，如图 3 所示。试件下表面牢固地附着在钢衬板上，上表面由四条钢板条通过 C 型固定夹固定。与预埋锚杆垂直方向的两条钢板条紧贴试件上表面，且锚杆跟部表面与钢板条垂直距离为 15mm~25mm。粘结盘边缘与钢板条间应有足够的距离，不应小于 10 mm。

2.5 试件及加载夹具置于拉拔力试验机，钢衬板与试验机底座相连接，且调节至锚杆与拉拔力方向在同一轴线。锚杆拉拔过程中拉拔力应始终与板面垂直，加载速度为 5mm/min，直至试件破坏或锚杆钢筋屈服。记录最大荷载值 P_a ，精确到 0.1kN。

2.6 用钢直尺测量锚杆预埋水平段长度 L_{a2} ，精确到 1mm。

2.7 用游标卡尺测量锚杆顶部的粘结盘平均厚度 e_p 。分别测量锚杆预埋水平段两端及中点处顶部的粘结盘厚度，结果以三个数值的算术平均值表示，精确到 0.5mm。

3 结果表示

3.1 锚杆拉拔力以三个试件最大荷载 P_a 算术平均值表示，精确到 0.1kN。

3.2 另需分别报告每个试件的如下内容：

- a) 最大荷载值 P_a ；
- b) 试件厚度 h
- c) 锚杆规格尺寸（直径 d_a 、垂直段长度 L_{a1} 、预埋水平段长度 L_{a2} ）；
- d) 粘结盘尺寸（长度 a_p 、宽度 b_p 及锚杆顶部的平均厚度 e_p ）；
- e) 破坏形式（粘结盘破坏、粘结盘脱粘、锚杆钢筋屈服或 GRC 板破坏）。

4 试验结果及分析

同一企业制作的 GRC 锚杆拉拔力试验 6 个试件分成两组（每组 3 块），分

别委托中国建筑材料科学研究总院和国家建筑材料工业房建材料及结构安全质量监督检验中心进行验证试验。验证试验结果如下表，其中编号“#-1”样品为中国建筑材料科学研究总院试验结果；编号“#-2”样品为国家建筑材料工业房建材料及结构安全质量监督检验中心试验结果。

表3 GRC 锚杆拉拔力验证试验结果汇总表

样品编号		1-1			1-2			2-1			2-2			3-1			3-2		
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
锚杆拉拔力 (kN)		9.5			9.9			8.3			8.0			3.8			3.7		
单块最大荷载 P_a (kN)		9.2	8.9	10.5	10.4	10.1	9.1	7.4	9.0	8.4	8.9	7.8	7.3	3.7	3.2	4.4	3.6	3.4	4.1
标准差 (kN)		0.7						0.7						0.4					
锚杆规格	锚杆直径 d_a (mm)	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3
	垂直段长度 L_{a1} (mm)	130	130	130	135	130	135	170	170	170	170	180	175	200	200	200	200	200	200
	预埋水平段长度 L_{a2} (mm)	80	80	80	85	80	85	125	125	125	130	125	125	115	120	120	125	120	125
粘结盘尺寸 mm	长度 a_p (mm)	120	120	120	125	125	120	130	115	110	130	120	120	120	125	125	130	120	130
	宽度 b_p (mm)	125	145	105	120	110	110	260	220	220	200	200	210	220	220	220	210	210	200
	锚杆顶部的粘结盘平均厚度 e_p (mm)	40	45	43	43	45	35	42	51	48	47	48	47	48	43	45	42	43	45
试件厚度 h (mm)		21	21	21	22	22	21	23	23	24	23	23	23	10	10	10	10	10	10
破坏形式	粘结盘破坏	√																	
	粘结盘脱落		√	√		√		√	√	√	√	√							
	锚杆钢筋屈服																		
	GRC 板破坏				√		√							√	√	√	√	√	√

(续表)

样品编号		4-1			4-2			5-1			5-2			6-1			6-2		
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
锚杆拉拔力 (kN)		4.7			4.5			11.0			11.4			7.7			7.4		
单块最大荷载 P_a (kN)		4.2	4.8	5.2	4.1	5.0	4.5	10.5	10.1	12.3	12.5	10.3	11.5	7.0	7.7	8.5	7.7	6.8	7.6
标准差 (kN)		0.4						1.0						0.6					
锚杆 规格	锚杆直径 d_a (mm)	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
	垂直段长度 L_{a1} (mm)	115	115	115	115	110	110	110	110	110	110	110	110	160	165	165	190	200	210
	预埋水平段长度 L_{a2} (mm)	85	85	85	90	95	95	100	100	100	100	95	95	120	120	120	115	115	120
粘结 盘尺 寸 mm	长度 a_p (mm)	130	110	130	120	125	120	160	170	165	140	150	150	130	125	130	130	130	130
	宽度 b_p (mm)	135	140	140	140	155	145	180	185	180	180	170	170	145	135	140	120	125	125
	锚杆顶部的粘结盘平均 厚度 e_p (mm)	45	45	46	44	45	44	45	48	48	43	38	35	52	54	56	48	50	48
试件厚度 h (mm)		25	25	25	23	24	23	23	23	23	22	22	22	23	23	23	23	23	23
破坏 形式	粘结盘破坏																		
	粘结盘脱落	√	√	√	√	√	√				√			√	√	√	√	√	√
	锚杆钢筋屈服																		
	GRC 板破坏							√	√	√		√	√						

根据上表验证试验结果分析可知：

1、按照实际工程要求，GRC 锚杆拉拔力一般要求控制在平均值不低于 7 kN，单块最大荷载最小值不低于 5 kN。验证试验中 1[#]、2[#]、5[#]和 6[#]样品两组试件试验结果都很好地满足要求，且测试数据波动不大，两验证试验机构测得结果较一致；在合格样品中试件破坏形式粘结盘破坏、粘结盘脱落和 GRC 板破坏都有发生。

2、验证试验中 3[#]样品两组试件因 GRC 试件厚度只有 10mm，破坏均发生在 GRC 板内，没有达到锚杆拉拔力合格要求，因此在 GRC 锚杆拉拔力样品制备时应对 GRC 板最小厚度进行规定；

3、验证试验中 4[#]样品两组试件虽 GRC 试件厚度达到 23~25mm，破坏均发生粘结盘脱落，但其锚杆拉拔力测试值均未达到合格要求。究其原因，发现试件受力破坏时粘结盘脱落处界面平整，粘结盘与 GRC 板存在明显冷缝，说明粘结盘未能与 GRC 板形成一相互融合的整体，锚杆预埋制作时操作存在错误。此试验很好地检验出 GRC 锚杆的实际拉拔承载力，对材料选用及制作工艺的正确与否给出客观定量的检验评判。

4、同一企业提供的 6 个试件在两个独立的验证试验机构测得的 6 个锚杆拉拔力数值，其标准差不超过 1.0 kN，说明该试验方法测试结果有较好的相关性。

（二）预埋螺栓套筒拉拔力验证试验

征集了来自行业内规模以上 6 家企业分别制作的 GRC 预埋螺栓套筒拉拔力试验样品 6 组（每组 6 个试件）。按照验证试验要求，所有试验样品均为各企业目前正在施工的 GRC 外墙板实际工程产品取样或同原材料、同工艺制作的验证试验样品（符合异形产品验证试验要求）。按标准规定方法进行预埋螺栓套筒拉拔力验证试验。试验方法及内容如下：

1 仪器设备

电子式拉力试验机：测力范围 0kN~20kN，精度 1%，拉拔夹紧装置具有万向节调节功能。

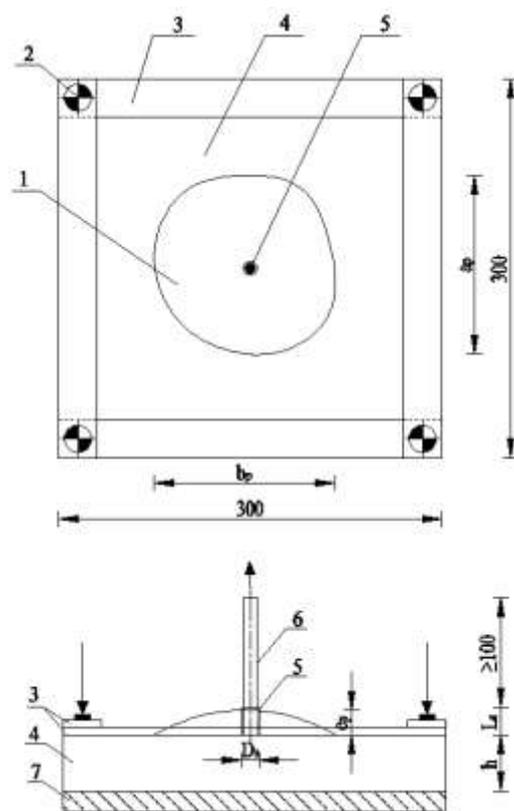
游标卡尺：测量范围 0mm~200mm,精度 0.02mm。

钢直尺，量程 0mm~300mm，分度值为 1mm。

加载夹具：加载夹具由一块边长不小于 300mm×300mm 厚度不小于 15mm 的钢衬板、四条 300mm×50mm 厚度不小于 10mm 的钢板条和四个 C

型固定夹组成，如图 4 所示。加载夹具的设计应有足够的刚度，使试件牢固地附着在钢衬板上，特别是在预埋螺栓套筒受拉时，靠近预埋螺栓套筒的试件截面不得弯曲。

单位为毫米



1---粘结盘；2---C 型固定夹；3---钢板条；4---GRC 板；5---预埋螺栓套筒；6---螺栓；7---钢衬板

图 4 预埋螺栓套筒拉拔力试验固定装置与加载方式

2 试验步骤

- 2.1 将试件置于通风良好的室内 3d。
- 2.2 用游标卡尺测量预埋螺栓套筒外径 D_s ，精确到 0.1mm；并记录预埋螺栓套筒公称直径 d_s 。
- 2.3 用钢直尺测量 GRC 板试件厚度 h 、精确到 1mm。
- 2.4 有突出 GRC 板表面粘结盘时，用钢直尺测量分别粘结盘长度 a_p 、宽度 b_p ，精确到 1mm。
- 2.5 将配套螺栓一端拧入预埋螺栓套筒至底端，另一端伸出预埋螺栓套筒顶端面不少于 100 mm。
- 2.6 将试件固定在加载夹具中，如图 4 所示。试件下表面牢固地附着在

钢衬板上，上表面由四条钢板条通过 C 型固定夹固定。粘结盘边缘与钢板条间应有足够的距离，不应小于 10 mm。

2.7 试件及加载夹具置于拉拔力试验机，钢衬板与试验机底座相连接，且调节至螺栓与拉拔力方向在同一轴线。拉拔过程中拉拔力应始终与板面垂直，加载速度为 5mm/min，直至试件或螺栓破坏。记录最大荷载值 P_s ，精确到 0.1kN。

2.8 用游标卡尺测量预埋螺栓套筒埋入深度 e_p 和预埋螺栓套筒长度 L_s ，精确到 0.5mm。

3 结果表示

3.1 预埋螺栓套筒拉拔力以三个试件最大荷载 F 算术平均值表示，精确到 0.1kN。

3.2 另需分别报告每个试件的如下内容：

- a) 最大荷载值 P_s ；
- b) 试件厚度 h ；
- c) 预埋螺栓套筒规格尺寸（外径 D_s 、公称直径 d_s 、预埋螺栓套筒长度 L_s ）；
- d) 粘结盘尺寸（长度 a_p 、宽度 b_p ）或标注无粘结盘及埋入深度 e_p ；
- e) 破坏形式（粘结盘破坏、粘结盘脱粘、螺栓拔出、螺栓屈服、预埋螺栓套筒拔出或 GRC 板破坏）。

4 试验结果及分析

同一企业制作的 GRC 预埋螺栓套筒拉拔力试验 6 个试件分成两组（每组 3 块），分别委托中国建筑材料科学研究总院和国家建筑材料工业房建材料及结构安全质量监督检验中心进行验证试验。验证试验结果如下表，其中编号“#-1”样品为中国建筑材料科学研究总院试验结果；编号“#-2”样品为国家建筑材料工业房建材料及结构安全质量监督检验中心试验结果。

表 4 GRC 预埋螺栓套筒拉拔力验证试验结果汇总表

样品编号		1-1			1-2			2-1			2-2			3-1			3-2		
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
套筒拉拔力 (kN)		13.3			13.0			5.7			5.4			15.8			15.1		
单块最大荷载 P_s (kN)		14.0	13.5	12.4	12.8	12.6	13.7	5.1	5.8	6.1	5.3	5.9	4.9	14.6	16.0	16.9	15.2	16.2	14.0
标准差 (kN)		0.7						0.5						1.1					
套筒规格	套筒外径 D_s (mm)	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0
	公称直径 d_s (mm)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	套筒长度 L_s (mm)	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
粘结盘尺寸	有/无粘接盘	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	无	无	无	无	无	无
	长度 a_p (mm)	150	150	150	150	150	150	150	130	135	145	150	145	/	/	/	/	/	/
	宽度 b_p (mm)	150	150	150	150	150	150	130	135	130	135	130	130	/	/	/	/	/	/
	套筒埋入深度 e_p (mm)	40.0	39.5	40.0	40.0	40.0	39.0	30.5	33.0	35.0	32.0	35.0	32.0	39.5	40.0	40.5	40.0	40.0	39.5
试件底板厚度 h (mm)		30	30	30	30	30	30	10	10	10	10	10	10	50	50	50	50	50	50
破坏形式	粘结盘破坏																		
	粘结盘脱落				√	√													
	螺栓拔出															√	√		
	螺栓屈服																		
	套筒拔出																		
	GRC 板破坏	√	√	√			√	√	√	√	√	√	√	√	√	√			√

(续表)

样品编号		4-1			4-2			5-1			5-2			6-1			6-2		
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
套筒拉拔力 (kN)		12.6			13.0			7.6			7.9			14.7			15.2		
单块最大荷载 P_s (kN)		11.8	13.5	12.5	13.9	12.5	12.5	8.2	7.1	7.6	7.6	8.5	7.6	14.0	15.7	14.5	15.3	13.8	16.4
标准差 (kN)		0.8						0.5						1.0					
套筒规格	套筒外径 D_s (mm)	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0
	公称直径 d_s (mm)	12	12	12	12	12	12	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	套筒长度 L_s (mm)	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
粘结盘尺寸	有/无粘接盘	有	有	有	有	有	有	无	无	无	无	无	无	有	有	有	有	有	有
	长度 a_p (mm)	100	100	100	100	100	100	/	/	/	/	/	/	180	180	180	180	180	180
	宽度 b_p (mm)	200	200	200	200	200	200	/	/	/	/	/	/	180	180	180	180	180	180
	套筒埋入深度 e_p (mm)	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	18.0	16.0	17.0	17.0	18.0	17.5	40.0	40.0	39.5	40.5	40.0	40.5
试件底板厚度 h (mm)		25	25	25	25	25	25	30	30	30	30	30	30	28	28	28	28	28	28
破坏形式	粘结盘破坏														√				√
	粘结盘脱落	√	√		√									√		√	√	√	
	螺栓拔出																		
	螺栓屈服																		
	套筒拔出							√	√	√	√	√	√						
	GRC 板破坏			√		√	√												

根据上表验证试验结果分析可知：

1、按照实际工程要求，GRC 预埋螺栓套筒拉拔力一般要求控制在平均值不低于 7 kN，单块最大荷载最小值不低于 5 kN。验证试验中 1[#]、3[#]、4[#]、5[#]和 6[#]样品两组试件试验结果都很好满足要求，且测试数据波动不大，两验证检测机构测得结果较一致；在合格样品中试件破坏形式粘结盘破坏、粘结盘脱落、螺栓拔出、套筒拔出和 GRC 板破坏都有发生。

2、验证试验中 2[#]样品两组试件因 GRC 试件厚度只有 10mm，破坏均发生在 GRC 板内，没有达到预埋螺栓套筒拉拔力合格要求，因此在 GRC 预埋螺栓套筒拉拔力样品制备时应应对 GRC 板最小厚度进行规定；

3、同一企业提供的 6 个试件在两个独立的验证检测机构测得的 6 个预埋螺栓套筒拉拔力数值，其标准差不超过 1.1 kN，说明该试验方法测试结果有较好的相关性。

（三）收缩率验证试验

征集了来自行业内规模以上 14 家企业分别制作的 GRC 外墙板试验样品 14 组（每组 2 块试件）。按照验证试验要求，所有试验样品均为各企业目前正在施工的 GRC 外墙板实际工程产品取样或同原材料、同工艺制作的验证试验样品（符合异形产品验证试验要求）。按标准规定方法进行收缩率验证试验。试验方法及内容如下：

1 仪器设备

- a) 外径千分尺：分度值 0.01mm；
- b) 干燥箱：温度范围 0℃~200℃；
- c) 水槽：控制水温在 10℃~25℃；
- d) 干燥器。

2 试件规格

试件为边长 255 mm~260mm 正方形，厚度 10 mm~15mm，数量 2 个。

3 试验步骤

将试件置于通风良好的室内 3d。在距试件四个边缘各 10mm 处划测量标线，每条标线至试件的两端面。试件浸泡于 10℃~25℃的水中 24h，水面高出试件不小于 20mm，取出后用湿毛巾擦去表面水分，分别测量每条标线长度 l_1 ；然后将

试件放入温度为（60±5）℃干燥箱中干燥 48h，取出后放入干燥器中冷却至室温，再次测量每条标线长度 l_2 。精确到 0.01mm。

试件在浸水、干燥过程中，试件与水槽、干燥箱内壁间距不小于 50mm，试件与试件间距不小于 20mm。

4 结果计算

按照下式计算收缩率，结果以两个试件 8 个数据的算术平均值表示，精确到 0.01%。

$$\varepsilon = \frac{l_1 - l_2}{l_1} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

式中：

ε ——收缩率，%；

l_1 ——饱水状态试件长度，单位为毫米（mm）；

l_2 ——（60±5）℃干燥后试件长度，单位为毫米（mm）；

5 试验结果及分析

验证试验委托国家建筑材料工业房建材料及结构安全质量监督检验中心完成。验证试验结果如下表：

表 5 GRC 收缩率验证试验结果汇总表

编号	试件	饱水状态试件	60℃±5℃干燥后	收缩率，%		
				单边收缩率	平均值	标准差
1	1 号板	258.51	258.38	0.05	0.04	0.009
		255.56	255.44	0.05		
		260.86	260.77	0.03		
		256.43	256.33	0.04		
	2 号板	260.48	260.34	0.05		
		258.36	258.25	0.04		
		258.37	258.30	0.03		
		258.90	258.79	0.04		
2	1 号板	259.37	259.28	0.03	0.04	0.006
		260.86	260.77	0.03		
		257.04	256.95	0.04		
		258.43	258.36	0.03		
	2 号板	256.93	256.83	0.04		
		256.37	256.28	0.04		
		260.92	260.80	0.05		
		257.87	257.75	0.05		

(续表)

编号	试件	饱水状态试件	60℃±5℃干燥后	收缩率, %		
				单边收缩率	平均值	标准差
3	1号板	256.98	256.82	0.06	0.08	0.009
		254.88	254.70	0.07		
		257.03	256.84	0.07		
		258.72	258.55	0.07		
	2号板	256.03	255.81	0.09		
		258.88	258.68	0.08		
		256.21	256.01	0.08		
		256.24	256.01	0.09		
4	1号板	259.06	258.95	0.04	0.04	0.007
		261.13	261.02	0.04		
		258.33	258.23	0.04		
		261.52	261.42	0.04		
	2号板	260.91	260.77	0.05		
		258.47	258.39	0.03		
		261.04	260.91	0.05		
		261.74	261.61	0.05		
5	1号板	259.83	259.52	0.12	0.13	0.014
		260.86	260.55	0.12		
		255.09	254.75	0.13		
		254.65	254.32	0.13		
	2号板	259.42	259.02	0.15		
		257.76	257.42	0.13		
		259.79	259.46	0.13		
		259.34	258.94	0.15		
6	1号板	257.86	257.76	0.04	0.05	0.010
		257.62	257.48	0.05		
		256.90	256.76	0.05		
		259.66	259.54	0.05		
	2号板	258.79	258.71	0.03		
		260.82	260.68	0.05		
		259.36	259.28	0.03		
		263.92	263.78	0.05		
7	1号板	257.04	256.74	0.12	0.12	0.013
		258.66	258.40	0.10		
		259.84	259.49	0.13		
		257.31	257.01	0.12		
	2号板	260.34	260.03	0.12		
		257.51	257.25	0.10		
		260.15	259.82	0.13		
		260.14	259.79	0.13		

(续表)

编号	试件	饱水状态试件	60℃±5℃干燥后	收缩率, %		
				单边收缩率	平均值	标准差
8	1号板	259.24	258.95	0.11	0.11	0.011
		257.38	257.12	0.10		
		259.68	259.42	0.10		
		259.29	258.96	0.13		
	2号板	259.81	259.53	0.11		
		260.74	260.48	0.10		
		255.12	254.81	0.12		
		254.51	254.26	0.10		
9	1号板	258.46	258.38	0.03	0.04	0.007
		256.47	256.40	0.03		
		260.79	260.68	0.04		
		256.44	256.32	0.05		
	2号板	260.44	260.33	0.04		
		258.33	258.24	0.03		
		258.38	258.29	0.03		
		258.85	258.77	0.03		
10	1号板	259.45	259.30	0.06	0.05	0.010
		260.89	260.76	0.05		
		257.07	256.94	0.05		
		258.46	258.38	0.03		
	2号板	256.93	256.82	0.04		
		256.44	256.28	0.06		
		260.88	260.78	0.04		
		257.89	257.75	0.05		
11	1号板	257.52	257.26	0.10	0.13	0.014
		260.20	259.84	0.14		
		260.15	259.78	0.14		
		257.05	256.73	0.12		
	2号板	258.72	258.40	0.12		
		259.86	259.49	0.14		
		257.33	257.00	0.13		
		260.29	259.98	0.12		
12	1号板	257.05	256.82	0.09	0.09	0.008
		254.94	254.70	0.09		
		257.05	256.84	0.08		
		258.81	258.55	0.10		
	2号板	256.01	255.81	0.08		
		258.91	258.68	0.09		
		256.26	256.01	0.10		
		256.22	256.01	0.08		

(续表)

编号	试件	饱水状态试件	60℃±5℃干燥后	收缩率, %		
				单边收缩率	平均值	标准差
13	1号板	259.03	258.94	0.03	0.04	0.008
		261.11	261.04	0.03		
		258.37	258.24	0.05		
		261.55	261.44	0.04		
	2号板	260.83	260.74	0.03		
		258.49	258.38	0.04		
		260.97	260.89	0.03		
		261.67	261.58	0.03		
14	1号板	257.86	257.71	0.06	0.06	0.009
		257.32	257.20	0.05		
		256.86	256.72	0.05		
		259.68	259.54	0.05		
	2号板	258.85	258.68	0.07		
		260.86	260.72	0.05		
		259.33	259.22	0.04		
		263.93	263.75	0.07		

根据上表验证试验结果分析可知:

1、GRC 试件收缩率值介于 0.04%-0.13%之间, 与国内外相关研究结果基本吻合。

2、同组两块试件测得的 8 个收缩率数值, 其标准差不超过 0.014%, 说明该试验方法测试结果有较好的相关性。

(四) 加速老化验证试验

按照目前市场上 GRC 产品典型应用原材料及配合比例, 采用喷射成型工艺分别制作 9 组验证试验试件(每组 36 块)。原材料及配合比例如表 6 所示:

表 6 原材料及配合比

编号	胶凝材料	玻璃纤维	玻纤掺量	胶砂比	水胶比
A	42.5 快硬硫铝水泥	国产耐碱玻纤 (ZrO ₂ 含量为 16.7%)	5%	1:1	0.38
B	42.5 快硬硫铝水泥	国产耐碱玻纤 (ZrO ₂ 含量为 14.5%)			
C	42.5 复合快硬硫铝水泥	国产耐碱玻纤 (ZrO ₂ 含量为 16.7%)			
D	42.5 低碱度硫铝水泥	国产耐碱玻纤 (ZrO ₂ 含量为 16.7%)			
E	42.5 普硅水泥	国产耐碱玻纤 (ZrO ₂ 含量为 16.7%)			
F	42.5 普硅水泥	进口耐碱玻纤 (ZrO ₂ 含量为 16.7%)			
G	70%42.5 普硅水泥+30% 偏高岭土	进口耐碱玻纤 (ZrO ₂ 含量为 16.7%)			
H	70%42.5 普硅水泥+20% 偏高岭土+10%硅灰	国产耐碱玻纤 (ZrO ₂ 含量为 16.7%)			
I	80%42.5 普硅水泥+20% 硅灰	国产耐碱玻纤 (ZrO ₂ 含量为 16.7%)			

3 结果计算

按照公式 (4) 计算经 n 天加速老化后抗弯极限强度保留率, 精确到 0.1%。

$$\gamma_{MOR} = \frac{\sigma'_{MOR}}{\sigma_{MOR}} \times 100 \dots\dots\dots (4)$$

式中:

r_{MOR} -----经 n 天加速老化后抗弯极限强度保留率, %;

σ_{MOR} -----对比组试件的抗弯极限强度, 单位为兆帕 (MPa);

σ'_{MOR} -----测试组试件的抗弯极限强度, 单位为兆帕 (MPa)。

4 试验结果及分析

验证试验试件成型由中国建筑材料科学研究总院完成, 加速老化试验委托国家建筑材料工业房建材料及结构安全质量监督检验中心进行。验证试验结果如下图。

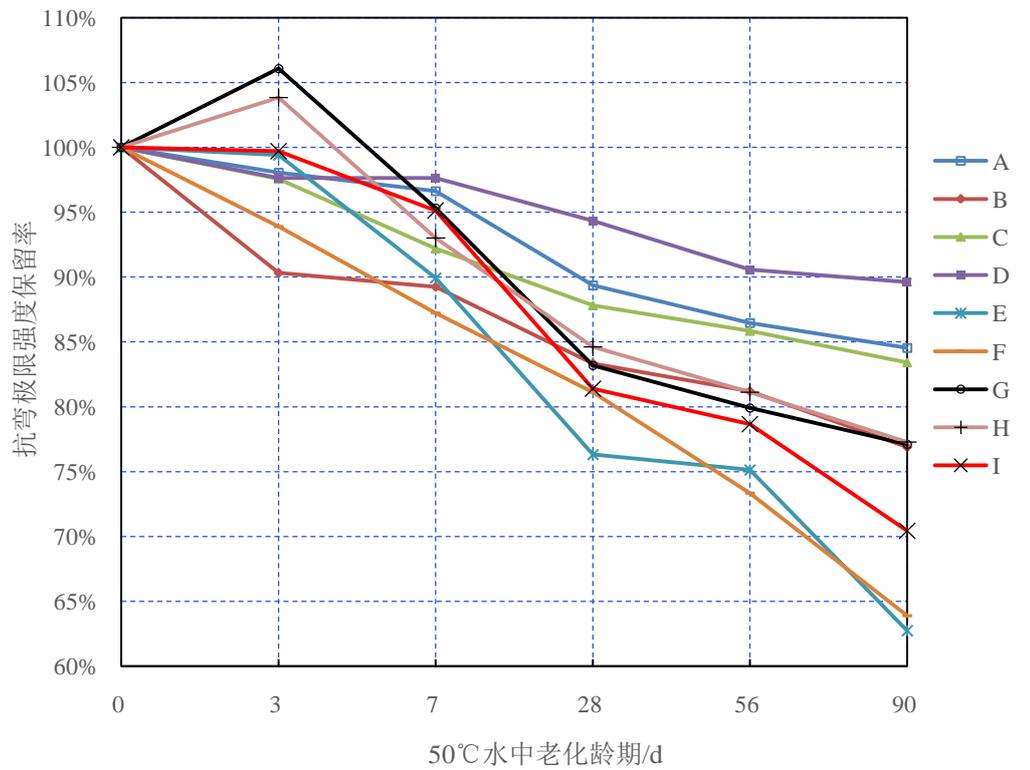
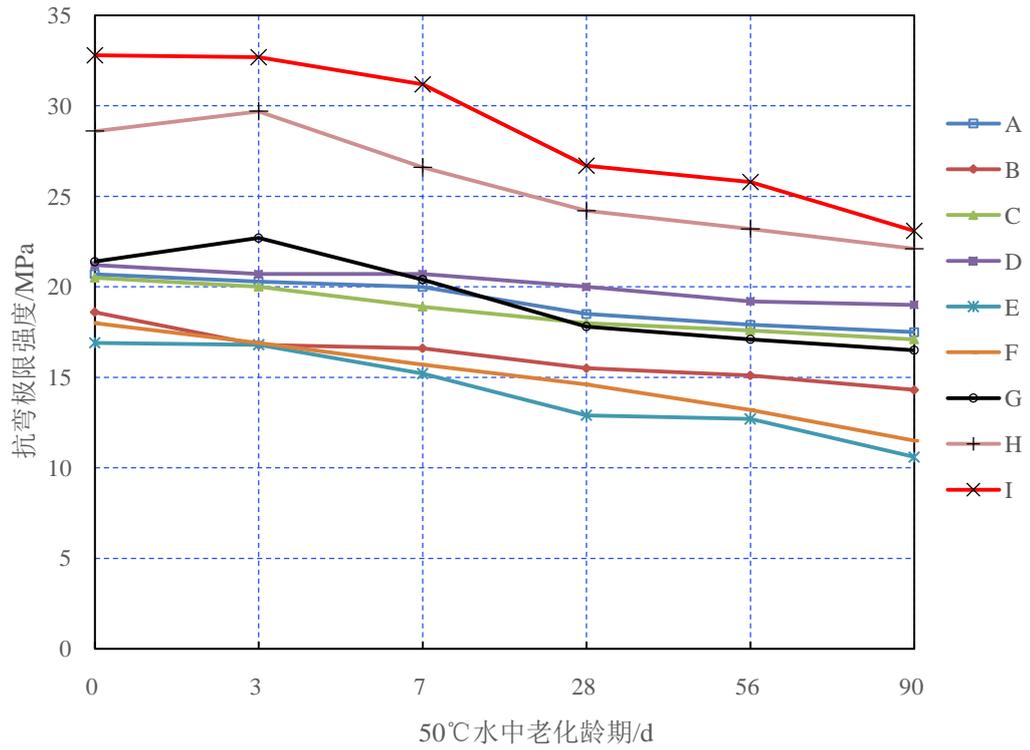


图5 GRC试件抗弯极限强度及保留率随加速老化龄期变化曲线

根据上图验证试验结果分析可得：

1、GRC 试件抗弯极限强度随加速老化龄期增加（7d 及之后）均呈逐渐降低趋势，说明 50℃水中加速老化试验能较好地表征 GRC 材料的强度衰减性能。这与国内外相关文献研究结果相一致，在此过程中水泥基材料中以 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 为主的碱性介质对玻璃纤维造成的侵蚀逐渐增加。

2、个别组试件（G、H 组）因加入较低活性掺合料（如偏高岭土），在常温养护 28d 后，其活性掺合料不能完全水化。50℃水中加速老化时，加速了活性掺合料水化反应，致使 GRC 试件早期（3d）基体强度增加值超过了 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 等碱性介质对玻璃纤维侵蚀造成的强度降低，试件整体强度（3d）表现出增加。

3、相同胶凝材料与不同耐碱性能纤维（主要表现在 ZrO_2 含量不同）以相同配合比制作的 GRC 试件（A 组：42.5 快硬硫铝水泥+ ZrO_2 含量为 16.7%耐碱玻纤；B 组：42.5 快硬硫铝水泥+ ZrO_2 含量为 14.5%耐碱玻纤）相比较，A 组试件的强度保留率明显高于 B 组试件。说明玻璃纤维的耐碱性能对材料的耐老化性能有显著影响。

4、相同耐碱性能纤维与不同类别胶凝材料制作的 GRC 试件（A 组、C 组和 D 组： ZrO_2 含量为 16.7%耐碱玻纤+硫铝水泥；E 组、F 组、G 组、H 组和 I 组： ZrO_2 含量为 16.7%耐碱玻纤+普硅水泥）相比较，以硫铝水泥为主要胶凝材料制作的试件强度保留率明显高于以普硅水泥为要胶凝材料制作的试件强度保留率。说明不同类别的水泥基材料因其含有的碱性介质不同对玻璃纤维造成的侵蚀有明显差异。

5、相同耐碱性能纤维与普硅水泥为主要胶凝材料，掺入不同种类的掺合料制作的 GRC 试件（E 组和 F 组： ZrO_2 含量为 16.7%耐碱玻纤+普硅水泥；G 组、H 组和 I 组： ZrO_2 含量为 16.7%耐碱玻纤+普硅水泥+掺合料）相比较，掺入掺合料的普硅水泥制作的试件强度保留率明显高于单以普硅水泥为胶凝材料制作的试件强度保留率。说明掺合料的掺入可以有效降低 GRC 材料基体中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 等碱性介质含量，从而减轻了对玻璃纤维侵蚀。

通过以上验证试验结果分析，结合标准的可操作性要求，可以总结出如下结论：

1、GRC 材料的加速老化试验结果与玻璃纤维耐碱性能、水泥基胶凝材料的

种类及掺合料有直接的影响关系。

2、50℃水中 GRC 试件加速老化抗弯极限强度保留率较好地客观表征 GRC 材料抗老化性能；

3、为避免 GRC 材料中因使用掺合料对加速老化试验早期(3d)结果的影响，固标准中对加速老化试验抗弯极限强度保留率测试龄期规定不应小于 7d。

四、标准中涉及的知识产权情况说明

本标准未涉及专利等知识产权的问题。

五、产业化情况、推广应用论证和预期达到的经济效果情况

修订《玻璃纤维增强水泥性能试验方法》国家标准主要目的是解决相关产品标准、工程建设标准及性能检验中的试验方法不完整的问题，为规范 GRC 产品及工程应用质量提供技术支撑。

近年来 GRC 产品在国内外都得到了较大的发展，其优异的特性在不同的建筑业领域中得到广泛应用，目前我国生产的 GRC 产量和工程应用量居世界之首，每年约有三百万平米的 GRC 产品应用到各类建筑工程上，且逐年增长，整体技术水平达到国际先进水平行列。该标准修订对标国际先进水平，标准将规范相关生产厂家产品标准、工程应用标准及试验方法，确保 GRC 产品质量先进性，有利于产品的技术提升和推广应用。

GRC 产品在建筑工程中的规范化推广应用，一方面可显著提升工程质量、延长工程寿命的同时，减少维修维护成本、节约材料，降低生产能耗和污染排放，生态效益显著。另一方面，工厂预制生 GRC 产品，现场干作业法施工安装，符合我国正在大力推广的装配式建筑发展方向，实现装饰与围护结构一体化，同时可以降低工人劳动强度，提高劳动效率，加快施工速度，缩短工期，减少施工管理费用——即在为社会提供高质量建材产品的同时解放了劳动力，以造福人类为目标。

因此，《玻璃纤维增强水泥性能试验方法》国家标准的修订将推动行业技术进步，经济及社会效益巨大，同时提升绿色建筑质量、促进建筑产业转型不断升级，会有十分广阔的发展前景。

六、采用国际标准和国外先进标准的情况

本标准未等效采标。

七、与国内现行法律、法规、规章、及相关标准的协调性情况

本标准在制定过程中特别注意了相关法律、法规、规章及相关标准的引用情况说明，与现行相关法律、法规、规章及相关标准之间不存在矛盾。并与现有标准《玻璃纤维增强水泥（GRC）建筑应用技术标准》JGJ/T 423、《玻璃纤维增强水泥（GRC）外墙板》JC/T 1057 和《玻璃纤维增强水泥（GRC）装饰制品》JC/T 940 形成试验方法、产品及工程应用协调一致性。以上标准均为中国建筑材料科学研究总院牵头起草制定。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

九、标准性质的建议说明

本标准为建议为推荐性国家标准。

十、贯彻标准的要求和措施建议

本标准经过征求意见、审议、直至完成报批后，由标准主要起草单位和各有关部门共同组织相关生产、施工、研究、检验等单位，开展标准宣贯工作。

预计本标准 2022 年 10 月前完成审议，2022 年 12 月前完成标准报批，建议实施日期为 2023 年 7 月 1 日。

十一、废止现行相关标准的建议

本标准代替 GB/T 15231—2008《玻璃纤维增强水泥性能试验方法》。

十二、其它应予说明的事项

无。