

《海水珊瑚骨料快凝快硬混凝土抗压强度无损 检测方法 超声回弹法》

编制说明

（征求意见稿）

标准编制组

2023 年 11 月

《海水珊瑚骨料快凝快硬混凝土抗压强度无损检测方法 超声回弹法》团体标准编制说明

一、工作简况

1.1 任务来源

标准化工作的重要意义就是通过标准对重复性的事物和概念达到统一，以获得最佳秩序和社会效益。2023 年 1 月，中国人民解放军陆军工程大学向中国建筑材料联合会递交标准草案和项目建议书；2023 年 3 月，经中国建筑材料联合会专家对立项材料进行审核并提出部分修改意见，修改后，专家认为该标准项目科学、合理，制定必要性充足，参与起草单位组成和编制周期合理，同意标准项目上报；2023 年 5 月，中国建筑材料联合会发文《关于下达 2023 年第四批协会标准制定计划的通知》（中建材联标发〔2023〕48 号），批准团体标准《混凝土抗压强度无损检测方法 超声回弹法》立项，标准项目归口管理委员会为中国建筑材料联合会，标准计划号为 2023-56-xbjh，标准牵头单位为中国人民解放军陆军工程大学，南京玻璃纤维研究设计院有限公司负责具体的编制任务。

1.2 标准制定的目的和意义

水泥混凝土是当今世界上建筑工程中使用量最大、适用范围最广的土木工程材料，因其原料易得、成本低、操作简便、耐久性好而广泛应用于工业和民用建筑以及交通、市政、能源、水利、海洋等建设工程中。快凝快硬混凝土因具有凝结时间短、早期强度高且耐久性良好等特点，广泛用于混凝土路面、机场跑道等需要快速修补的工程以及海港码头、桥梁隧道等快速抢修抢建工程。

南海作为我国最重要的南大门，自古以来对我国都有着重要的战略价值，南海海域辽阔，出于政治、军事和巨大海洋权益的考虑，在南海岛礁

开展大规模海防工程建设具有非常重要的意义。虽然我国南海岛礁上缺乏大陆常见的天然砂石和淡水资源，但利用南海岛礁附近大量存在的珊瑚礁砂及海水等原材料，不但能节省施工时间，满足快速推进工程建设的要求，而且可以大幅降低由于材料运输等耗费的经济成本。海水珊瑚骨料混凝土材料早期强度发展较快，恰好能符合快速抢修抢建工程的要求，因此开展海水珊瑚骨料快凝快硬混凝土材料在南海新型岛体用机场跑道修补、弹坑修补、新型工程抢修抢建等工程领域的应用研究具有重要的国防安全意义和战时工程实用价值。

抗压强度是混凝土非常重要的性能指标之一，传统的抗压强度检测方法需制作混凝土试块，养护 28 天后再进行破坏性实验，时间周期长。随着建筑质量控制水平的不断提高以及混凝土抗压强度检测方法技术标准的建立，回弹法和超声检测法这两类无损检测技术逐渐在工程中被应用，但由于这两类方法与传统破坏性实验相比准确率不高，通过结合回弹法和超声检测法两种无损检测方法的超声回弹综合法技术得到了快速发展，能更准确地评价混凝土的抗压特性，也更适用于快速抢建工程，值得推广应用。

目前国内尚无检测针对海水拌合珊瑚砂快凝快硬混凝土抗压强度的快速检测方法标准，制定该测试方法的团体标准，能够在抢修抢建工程中快速、准确的判断混凝土是否符合使用抗压强度的要求，支撑和保障该材料在国家重点发展领域的应用需求，为推动我国材料产业的发展提供重要的技术支撑。

1.3 标准制定工作的过程

标准制定任务下达后，中国人民解放军陆军工程大学联合南京玻璃纤维研究设计院有限公司、江苏苏博特新材料股份有限公司、江苏科技大学中具有多年生产、测试和标准化经验的人员组成标准起草小组，总结海水珊瑚骨料快凝快硬混凝土抗压强度检测、标准化经验，形成标准草案。

2023 年 6 月 28 日，起草小组在江苏南京召开了标准工作组会，对文本

的各项内容进行认真的讨论和修改，确定了标准的适用范围、试验方法等内容,并制定了相关的试验计划，对成员组成和分工以及项目计划进行了充分的讨论，同时对标准中的指标和测试方法进行商讨与确认。

会后，编制组根据计划开展了试验验证工作，对试验数据进行了整理、分析和研究，并根据试验结果完成了标准征求意见稿和编制说明初稿。拟于2023年10月向中国建筑材料联合会和相关单位发出征求意见稿。

二、标准编制原则和主要内容

2.1 标准编制原则

（1）与相关法律、法规、标准等协调一致。

（2）标准结构、格式和表达方式等按照 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》进行编写。

2.2 标准的主要内容

本标准对海水珊瑚骨料拌合快凝快硬混凝土的抗压强度无损检测方法相关内容进行了规定，具体包括：

（1）对“海水珊瑚骨料快凝快硬混凝土”和“超声回弹法”的术语和定义进行了明确，避免对标准的适用范围产生歧义。

（2）对试验过程中涉及到的试验仪器和材料要求进行了规定，包括回弹仪和超声波检测仪应符合的标准要求。

（3）对试验中试块制备的步骤进行了规定，包括混凝土材料的制备及试块的模具、养护要求等，并给出人工配置海水参考附录。

（4）对试验步骤进行了详细的规定，包括测试区域的选择、测试点的选择、回弹测试和超声测试的步骤，并给出测试点参考图。

（5）对结果计算公示和试验报告内容进行了明确规定。

本标准适用于对海水珊瑚骨料快凝快硬混凝土材料抗压强度的快速测试，并利用曲线方程推算混凝土的抗压强度，不作为仲裁试验或工程验收

使用。

三、主要试验（或验证）情况分析

为了验证本标准试验步骤和结果计算的合理性，编制组开展了充分的试验验证和分析工作。

3.1 试块制备

3.1.1 海水珊瑚骨料混凝土材料的制备

目前在快速修补材料方面，高性能混凝土是近年来建筑领域最具创新性的技术，但当前普通高性能混凝土具有早期强度低、凝结时间长（超过4h）、自收缩值大（ $1500\mu\epsilon\sim 2000\mu\epsilon$ ）等特点，这些特点直接影响高性能混凝土修复效果和后期服役性能。因此，为更好地利用在南海相关抢修抢建工程中应用，需要对普通高性能混凝土的胶凝材料组分进行调整。

经项目编制组前期充分的试验工作，得到了以胶凝材料的最优配合比，并分别测试该配合比在水上的服役性能，包括凝结时间、力学性能等。并结合项目实际的施工环境，对水下高性能抢修混凝土的配合比进行调整，以满足它在施工的要求。为因此，本标准验证试验工作均以该配合比的海水珊瑚骨料快凝快硬混凝土材料基础，并制成大小为 $150\text{mm}\times 150\text{mm}\times 150\text{mm}$ 的试块开展验证，材料配比如下表1所示：

表1 海水珊瑚骨料快凝快硬混凝土材料配比

快干水泥	砂	珊瑚骨料	海水
45.14	25.52	15.95	9.28

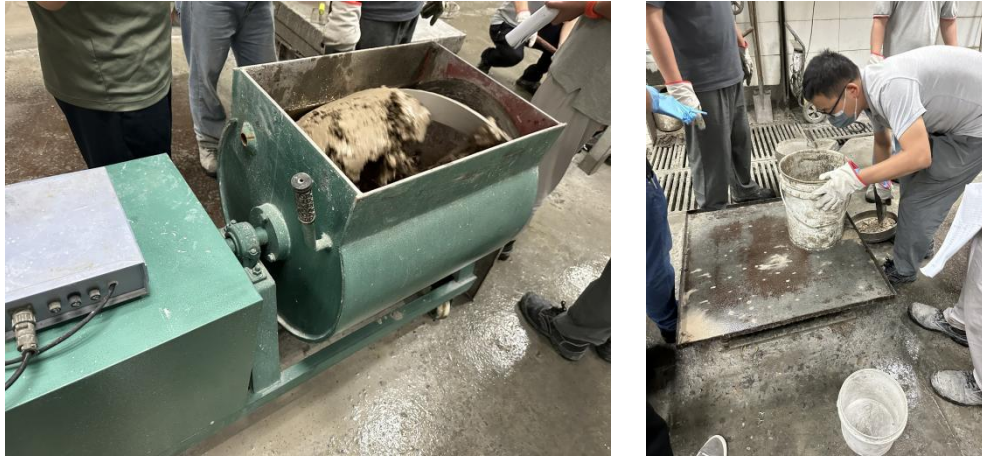


图 1 制备混凝土照片

3.1.2 人工海水的制备

海水作为海水珊瑚骨料快凝快硬混凝土的重要组成部分，对混凝土性能有着较大的影响，为提高内陆地区试验的便利性，在参考 ASTM D1141-98 《Standard Practice for the Preparation of Substitute Ocean Water》的基础上，结合海水珊瑚骨料混凝土应用情况和试验验证结果，提出人造海水制方法，并在标准附录 A 中给出供参考。具体制备过程如下：

溶液 A 的制备：称量 3889.0g 的 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ，405.6 g 的 CaCl_2 ，14.8 g 的 $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ，溶于 7 kg 的纯水中，搅拌至液体完全透明，存储在密封的玻璃容器中。

溶液 B 的制备：称取 486.2 g 的 KCl ，140.7g 的 NaHCO_3 ，70.4g 的 KBr ，19.0 g 的 H_3BO_3 ，2.1 g 的 NaF 溶于 7 kg 的纯水中，搅拌至液体完全透明，存储在密封的玻璃容器中。

将 245.34 g NaCl 和 40.94 g Na_2SO_4 溶于 9 kg 水中。加入 200 mL 溶液 A，缓慢搅拌，然后加入 100mL 溶液 B，缓慢搅拌，用水稀释至 10 L，具体成分见表 2。用 0.1 mol/L 的 NaOH 溶液调节 pH 值至 8.2。

表 2 人造海水成分表

化合物	浓度 (g/L)
NaCl	24.53

MgCl ₂	5.20
Na ₂ SO ₄	4.09
CaCl ₂	1.16
KCl	0.695
NaHCO ₃	0.201
KBr	0.101
H ₃ BO ₃	0.027
SrCl ₂	0.025
NaF	0.003

3.2 开展验证试验

在前期试验的基础上已知本次试验用的海水珊瑚骨料快凝快硬混凝土的终凝时间约为 52min，结合材料的凝固情况来看，抗压强度测试从混凝土材料倒入模具起 1.5h 开始进行第一个试块的检测。

快凝快硬混凝土材料前期抗压压强变化较大，随着时间增加变化逐渐变缓，材料抗压强度随时间变化趋势可参考图 2。根据材料压强随时间变化趋势，从第一个试块开始，后续测试时间间隔分别为 0.25h、0.5h、1h 直至制样后 48h，共针对 13 个试块进行试验，每个试块依据回弹测试、超声测试和破坏性压强测试的顺序依次开展。

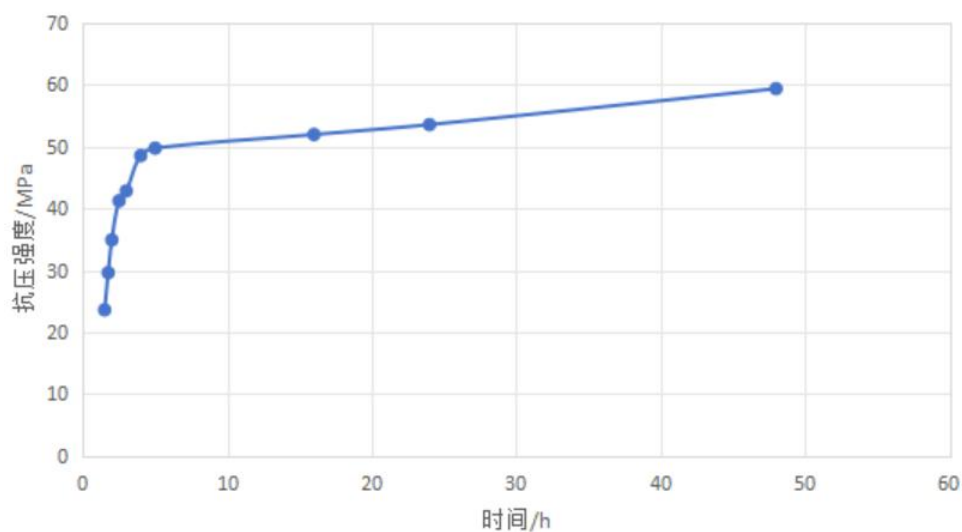


图 2 混凝土材料抗压强度随时间变化曲线

3.2.1 回弹测试结果

本标准验证试验中回弹测试部分参考 JTG 3450-2019《公路路基路面现场测试规程》中 T 0954-1995《回弹仪测试水泥混凝土强度方法》相关步骤，依据上文中提到的时间间隔依次对 13 个试块试验，选择混凝土浇筑面的侧面进行回弹值的测试，每个试块均匀分布不少于 9 个测试点如图 2 所示，如有气孔、外露的砂石等避开该点重新选择附近的测试点。

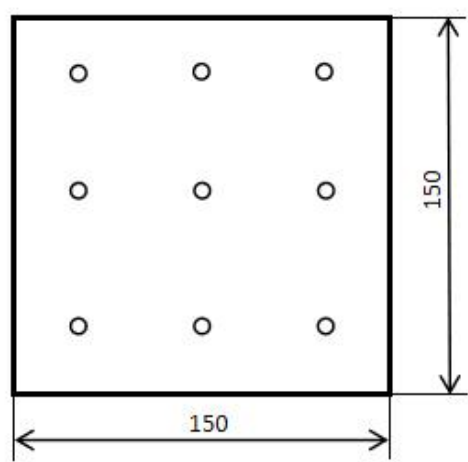


图 2 回弹值测试点分布图

经过测试后，每个试块得到 9 个测点数据，实验得到的数据如表 3 所示，从测得的 9 个回弹值中剔除 1 个最大值和 1 个最小值，根据其余 7 个有效回弹值的平均值得到该试块的回弹代表值 R。

表 3 回弹值数据

回弹值	测点序号									平均回弹
试块序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	代表值 R
1	24	25	23	25	26	27	24	26	26	25.00
2	28	29	20	32	29	26	26	27	30	27.86
3	30	30	32	27	30	31	27	32	32	30.29
4	30	32	32	33	33	30	29	33	29	31.29
5	31	31	34	34	30	30	29	34	35	32.00

6	30	33	35	35	33	33	32	36	33	33.43
7	34	33	31	31	30	31	36	33	33	32.29
8	37	37	38	37	37	39	36	38	38	37.43
9	37	39	36	37	36	37	33	38	36	36.71
10	36	40	42	35	38	39	36	35	39	37.57
11	38	33	40	42	40	39	33	37	38	37.86
12	39	37	41	35	39	38	37	40	39	38.43
13	36	38	41	38	39	41	40	44	39	39.43



图 3 回弹值测试拍摄照片

3.2.2 超声测试结果

本标准验证试验中超声测试部分参考 T/CECS 02-2020《超声回弹综合法检测混凝土抗压强度技术规程》中相关步骤，依据上文中提到的时间间隔依次对 13 个试块试验，选择回弹值测试区域进行超声测试，每个试块均匀分布不少于 3 个测试点如图 4 所示，如有气孔、外露的砂石等避开该点重新选择附近的测试点。

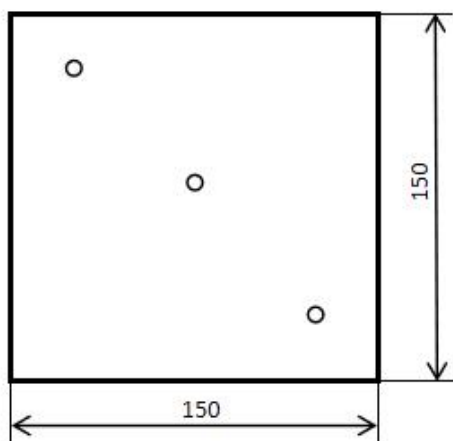


图 2 超声值测试点分布图

经过测试后，每个试块得到 3 个测点数据，实验得到的数据如表 4 所示，按公式 $v = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{l_i}{t_i - t_0}$ 计算，超声测距 l 为 150mm，声时初读数 t_0 为 $0.6 \mu s$ ，算得声速代表值 v (km/s)。

表 4 声速值数据

声时/ μs	测点序号			声速代表值 v (km/s)
试块序号	1	2	3	
1	40.3	40.8	41.6	3.72
2	38.6	40.1	39.8	3.86
3	40.1	39.8	41.6	3.76
4	38.8	39.3	40.1	3.87
5	36.8	37.3	44.3	3.89
6	37.8	39.8	38.3	3.95
7	37.6	37.6	40.8	3.95
8	38.3	38.1	38.3	3.99
9	38.1	38.3	38.3	3.99
10	37.8	37.8	37.6	4.04
11	36.1	37.1	37.3	4.14
12	36.3	36.1	36.3	4.21
13	35.6	36.6	37.3	4.18



图 4 声速值测试拍摄照片

3.2.3 破坏性抗压强度测试结果

为了获得超声回弹测试计算抗压强度曲线，在每个试块进行回弹和超声测试后，参考 GB/T 50081-2019《混凝土物理力学性能试验方法标准》开展破坏性实验测试试块抗压强度，得到数据如表 5 所示：

图 5 破坏性实验得到的抗压强度

试块序号	抗压强度/MPa
1	23.6
2	29.6
3	34.9
4	41.2
5	41.3
6	42
7	42.8
8	48.5
9	50.7
10	51.9
11	53.5
12	59.3
13	60



图 5 抗压强度测试拍摄照片

3.4 结果计算和处理

在得到试块的回弹代表值、声速代表值以及破坏性压强测试结果后，参考 T/CECS 02-2020 《超声回弹综合法检测混凝土抗压强度技术规程》中建立压强曲线的公式模型 $f = aR^b v^c$ (公式 G.0.7-1) 进行计算拟合，最终得到相关参数 $a=0.0308$, $b=1.410$, $c=1.667$, $R^2=0.963$ ，拟合的曲面图如图 3 所示，因此得到推算海水珊瑚骨料快凝快硬混凝土材料抗压强度的公式为： $f = 0.0308R^{1.410}v^{1.667}$ ；同时依据得到的公式，给出附录 B 中的参考数据进行换算。

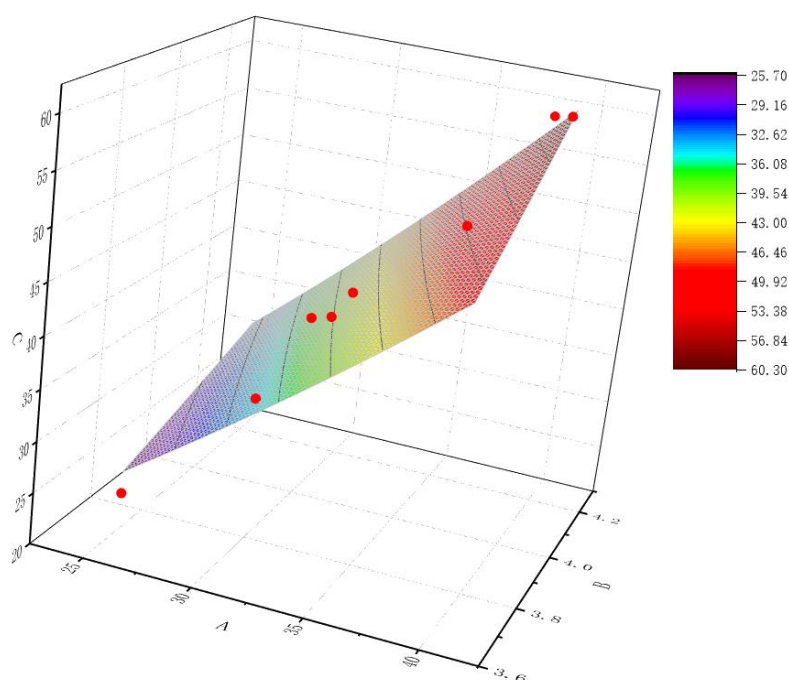


图 3 计算模拟得到的曲面图

四、标准中如果涉及专利，应有明确的知识产权说明

本标准不涉及专利。

五、产业化情况、推广应用论证和预期达到的经济效益等情况

混凝土是当今世界上建筑工程中使用量最大、适用范围最广的土木工程材料，南海海域辽阔，出于政治、军事和巨大海洋权益的考虑，在南海岛礁开展大规模海防工程建设具有非常重要的意义，因此，具有优良修复性能的先进快速修复材料对社会经济和建筑安全具有重要意义。本标准适用的海水珊瑚骨料快凝快硬混凝土材料在南海岛礁开展大规模海防工程建设具有非常重要的意义，本标准的制定对于南海岛礁建设工程中提升快速抢修抢建工程和提升国防安全具有重要的促进作用。

六、采用国际标准和国外先进标准情况，与国际、国外同类标准水平的对比情况，国内外关键指标对比分析与测试的国外样品、样机的相关数据对比情况

无。

七、与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性

本标准不涉及法律法规和强制性标准的内容。与国家法律法规和强制性标准无冲突。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

无重大分歧意见。

九、标准性质的建议说明

建议为推荐性团体标准。

十、贯彻标准的要求和措施建议（包括组织措施、技术措施、过渡办法、实施日期等）

建议自发布后 6 个月实施，由标委会、起草单位和相关部门组织开展宣贯工作。

十一、废止现行相关标准的建议

无。

十二、其它应予说明的事项

本标准在立项初期的名称为《混凝土抗压强度无损检测方法 超声回弹法》，起初编制组希望通过制定本标准对混凝土无损检测测定抗压强度进行系统的规范。在项目立项后，2023 年 6 月，起草小组在江苏南京召开了标准工作组会，对文本的各项内容进行认真的讨论和修改，通过对已有试验数据和后续拟开展的试验进行讨论，因本标准项目经费来源于某军工项目“XX 抢修能力体系建设研究”，且项目立项目的主要为用于抢修抢建工程中对快凝快硬混凝土材料抗压强度的快速检测。同时，海水珊瑚骨料拌合的快凝快硬混凝土与传统混凝土材料的凝结时间和抗压强度变化相比，都有较大的差距，在开展后续验证试验中发现，因珊瑚骨料结构较为松散，由珊瑚骨料拌合的混凝土与传统混凝土相比，超声值的影响较为明显。故经编制组内部多次讨论，认为本标准难以适用于传统混凝土材料，为使标准更加科学、合理，将标准名称修改为《海水珊瑚骨料快凝快硬混凝土抗压强度无损检测方法 超声回弹法》。