

## 一、项目名称

面向滨海工程建设的低碳混凝土设计与长效保障关键技术

## 二、申报奖种及等级

山东省科技进步奖 一等奖

## 三、推荐单位及推荐意见

**推荐者：**青岛理工大学

**推荐意见：**

我单位认真审阅了提名书材料，确认提名材料真实有效，完成人及完成单位排序无异议，相关栏目符合填写要求。

该项目针对滨海基础设施建设中胶凝材料用量大、耐久性要求高、长寿命运维难等工程应用难题共性难题，在国家“973 计划”、国家和山东省基金等基金资助下，本项目创新了低碳混凝土减量化设计方法，建立了滨海严酷工程条件下绿色混凝土性能提升技术，构筑了钢筋混凝土结构智能监测与长效防护体系，并实现了环渤海经济区密集城市群的规模化工程应用。项目所提出的胶凝材料设计-混凝土性能提升-结构监测与防护的整体解决方案，解决了国家重大工程技术难点与卡脖子问题，提升了我国绿色低碳混凝土应用整体技术水平，为推动混凝土行业可持续发展和实现“双碳”目标作出重要贡献。

该项目历时 10 余年，取得了系统理论研究成果及重大实践，形成了国家发明专利、软件著作权、高水平学术论文等知识产权 100 余项，编著了国家/行业标准、省级工法 12 部，为建筑企业提供技术服务 30 余次，生产绿色低胶凝混凝土超过 1300 万方，降低二氧化碳排放量超过 120 万吨，产生了巨大经济效益、社会效益与环境效益，推动了绿色低碳发展技术进步。

推荐该项目为 2024 年度山东省科学技术进步奖一等奖。

## 四、项目简介

随着“一带一路”、“海洋强国”、“海洋强省”等战略的实施和不断推进，滨海区域混凝土基础设施建设持续快速增长。针对滨海基础设施建设中胶凝材料用量大、耐久性要求高、长寿命运维难等严峻挑战，项目组历经十余年的理论研究和攻关，攻克了滨海绿色混凝土设计理论、核心材料、工程建造等重大技术瓶颈，形成了滨海重大基础设施绿色混凝土设计与长寿命保障关键技术体系。主要技术创新包括如下：

1、提出了绿色低碳混凝土胶凝材料微结构调控与减量化设计理论。建立了多元矿料微结构调控方法，构建了复杂凝胶体系多尺度模型；提出了基于自由能适配的外加剂分子结构设计方法，开发了适用于矿料体系的多功能外加剂；开发了基于矿料最紧密堆积的混凝土配合比设计软件，研发了低碳自密实混凝土设计、制备方法。

2、建立了严酷滨海工程条件下绿色混凝土耐久性提升关键技术。研发了混凝土原位聚合增韧技术，提出了基于多尺度增韧的自密实混凝土抗裂技术；开发了高矿物掺合料海工大体积混凝土，解决了抗渗与抗裂协同提升难题；研发了氯盐触发的自修复混凝土，构筑了钢筋锈蚀的智能抑制体系。

3、构筑了钢筋混凝土结构智能监测与长效防护体系。创建了混凝土腐蚀劣化无损连续检测方法，建立了滨海混凝土综合劣化的评估方法；研发了基于磁感应传感与压电传感技术的钢筋锈蚀原位监测装置，构筑了混凝土腐蚀与损伤识别长程监测系统；开发了海工超高性能混凝土综合防护技术，实现了耐久性与抗震性的一体化设计。

项目历时 10 余年，取得了系统理论研究成果及重大实践。成果

授权发明专利 35 件，编制国家行业标准、工法 12 部，发表高水平 SCI/EI 论文 65 篇；低碳混凝土设计方法、制备、施工与产业化关键技术经缪昌文、杜彦良、杜修力院士等专家鉴定均达到国际领先水平。成果应用于董家口码头、国家深海基地、虎门二桥等滨海地区 30 余项标志性工程，产生了显著的经济效益、社会效益与环境效益，推动了水泥混凝土行业资源节约、低碳发展技术进步。

## **五、主要知识产权和标准规范等目录**

按照指南要求填写，不超过 10 件，以表格形式体现（以下为例，自行编排）。（字体：仿宋四号）

知识产权 (标准)类别	知识产权 (标准) 具体名称	国家 (地区)	授权号 (标准编号)	授权 (标准发布) 日期	证书编号 (标准批准 发布部门)	权利人 (标准起草单 位)	发明人 (标准起草 人)	发明专利 (标准) 有效状态	第一完成人 是否为发明 人(标准起草 人)	第一完成单 位是否为权 利人(标准 起草单位)
发明专利权	Lightweight aggregate ultra high performance concrete (UHPC) and preparation method thereof	美国	US11447419B 2	2022-09-20	US 11447419B 2	青岛理工大学	侯东帅;王鑫 鹏;李萌萌;耿 旗辉;王攀;尹 兵;张悦	有效	是	是
发明专利权	一种低温升耐 蚀海工大体积 混凝土及其制 备方法	中国	ZL2016111478 76.4	2019-05-17	3377449	武汉理工大 学;广 东省长大公路 工程有限公司	丁庆军;耿春 东;罗超云;王 中文;王晓佳; 何涛;石华;刘 勇强;徐意;张 杨	有效	否	否
发明专利权	一种水泥基材	中国	ZL 2019 1 0036774.2	2021-09	国家知识产	深圳大学	洪舒贤;董必 钦;邢锋;滕	有效	否	否

	料受硫酸盐侵蚀的快速检测方法				权局		晓娟			
发明专利权	一种原位协同改性增强水泥基复合材料及其应用	中国	ZL2022101973 16.9	2022-03-02	5470238	青岛理工大学	尹兵;华先乐; 侯东帅;亓东 美;王攀;华旭 江;李绍纯;金 祖权	有效	是	是
发明专利权	一种混凝土防腐涂层及其制备方法	中国	ZL2019108472 15.X	2019-09-09	4740223	青岛理工大学	尹兵;侯东帅; 徐天元;王鑫 鹏;张悦	有效	是	是
技术标准	游艇码头工程质量检验规范	中国	DB37/T 4638-2023	2023-08	山东省市场 监 督管理 局	中建筑港集团 有限公司等	张永敏; 逢凯 等	有效	否	否
发明专利权	一种壳式沉管的水下安装方法	中国	ZL2018110252 56.2	2018-09-04	4115679	中交一航局第 二工程有限公 司	冯海暴;刘德 进;苏长玺	有效	是	是
发明专利权	基建用仿石加工方法及基建用仿石	中国	ZL 2020 1 0708002.1	2022-09	国家知识产 权局	青岛市政集团 砫业工程有限 公司	陈际洲; 唐兴 滨; 乔晓立; 刘海滨; 乔允	有效	否	否
论文	Molecular structure and	荷兰	10.1016/j.apsus c.2022.155713	2023-02-15	Applied Surface	青岛理工大 学; 广西大学;	王攀; 段玉莹; 郑和平; 陈正;		是	是

	dynamics of water on the surface of cement hydration products: Wetting behavior at nanoscale				Science	荣华建设集团 有限公司	王慕涵; 王鑫 鹏; 李海生; 侯东帅			
著作	公路工程桥梁 隧道施工安全 评估监控技术 研究	中国		2023			张世君; 朱盟 军; 郭峰		否	否

## 六、主要完成人情况表

按照指南要求填写（字体：仿宋四号），举例如下：

1. 姓名：侯东帅；国籍：中国；排名：1/14；技术职称：教授；行政职务：院长；工作单位：青岛理工大学；二级单位：土木工程学院；完成单位：青岛理工大学；参加本项目的起止时间：2009-01 至 2022-12；具体贡献：全面负责本项目研究工作，提出总体技术思路、课题研究方向及技术方法。对创新点 1 的贡献：提出了绿色低碳混凝土胶凝材料微结构调控理论与减量化设计新方法。对创新点 2 的贡献：系统研究了大体积混凝土的微观结构与耐久性，开发了高矿物掺合料海工大体积混凝土；自主发明了有机-无机与原位增韧的混凝土抗裂方法，开发了协同提升混凝土耐久性与抗裂性的技术体系。对创新点 3 的贡献：开发了超高性能混凝土防护技术，实现了结构耐久性与抗震性的一体化设计；曾获奖励情况：2021，山东省自然科学二等奖，“高性能混凝土材料微结构调控与增韧机理研究”，第一完成人，ZR2021-2-32-R01。

2. 姓名：董必钦；国籍：中国；排名：2/14；技术职称：教授；行政职务：广东省滨海土木工程耐久性重点实验室副主任；工作单位：深圳大学；二级单位：无；完成单位：深圳大学；参加本项目的起止时间：2009-01 至 2022-12；具体贡献：参与了项目中有关自修复混凝土与劣化检测的理论分析和试验工作，建立了运用微胶囊技术的自修复混凝土设计方法，分析解决了滨海基础设施混凝土内部劣化识别的技术问题；曾获奖励情况：无。

3. 姓名：张津瑞；国籍：中国；排名：3/14；技术职称：副教授；行政职务：无；工作单位：天津大学；二级单位：建筑工程学院；完成单位：天津大学；参加本项目的起止时间：2013-08 至 2022-12；

具体贡献：参与组织并提供支持到相关项目的理论研究、室内外试验以及材料开发。建立了胶凝剂类别、活性度、用量等多因素对混凝土机械力学与耐久性能影响的定量模型。实现了混凝土力学性能和耐用年限的优化设计平衡。参与研发了一种适用于海滨环境下混凝土结构的持续监测设备。重点开展了地铁预制管元件混凝土的耐久测试，协助提出其长寿命设计方法。系统研究管元件生产工艺和质量管理措施，组织推广应用于地铁工程，取得良好经济效益。通过项目工作，对提高混凝土结构使用性能和服务年限作出贡献；曾获奖励情况：2021，山东省自然科学二等奖，“高性能混凝土材料微结构调控与增韧机理研究”，第二完成人，ZR2021-2-32-R02。

4. 姓名：王攀；国籍：中国；排名：4/14；技术职称：教授；行政职务：无；工作单位：青岛理工大学；二级单位：土木工程学院；完成单位：青岛理工大学；参加本项目的起止时间：2018-03 至 2022-12；具体贡献：对创新点 1 的贡献：参与开发了分子动力学计算系统，研发了混凝土材料的微观分子动力学模型，构建了基于典型废渣胶凝材料的水化动力学模型。对创新点 2 的贡献：参与研究了有机物分子单体在混凝土水化过程中原位聚合增韧技术；曾获奖励情况：2021，山东省自然科学二等奖，“高性能混凝土材料微结构调控与增韧机理研究”，第五完成人，ZR2021-2-32-R05。

5. 姓名：冯海暴；国籍：中国；排名：5/14；技术职称：正高级工程师；行政职务：正高级工程师；工作单位：中交一航局第二工程有限公司；二级单位：技术中心/数字建造研发中心；完成单位：中交一航局第二工程有限公司；参加本项目的起止时间：2015-01 至 2022-12；具体贡献：参与研发了一款海水环境下高耐蚀混凝土，并创新提出了港口和海底结构的施工方法。开发了一种改性硅烷与超高性

能混凝土的综合防腐技术,有效保障海港工程的使用安全和长期运营。为混凝土制备技术和防腐技术在港口、码头以及沉管隧道项目的推广应用做出了努力,促进了工程建设质量的提高。为海港混凝土结构的高质量建设和可持续使用做出积极探索;曾获奖励情况:1,2021年研发的课题项目获得山东省科技进步二等奖排名第;2,2017年研发的课题获得山东省科技进步二等奖排名第;

6. 姓名:陈际洲;国籍:中国;排名:6/14;技术职称:高级工程师;行政职务:工程管理部部长;工作单位:青岛市政集团砼业有限公司;二级单位:无;完成单位:青岛市政集团砼业有限公司;参加本项目的起止时间:2013-08至2022-12;具体贡献:对创新点2的贡献:开发了绿色地铁预制管片混凝土制品,优化生产工艺,主编施工工法,制备的绿色地铁预制管片在青岛地铁1号线,2号线,8号线区间隧道全面应用;曾获奖励情况:无。

7. 姓名:张永敏;国籍:中国;排名:7/14;技术职称:高级工程师;行政职务:总经理;工作单位:中建筑港集团有限公司;二级单位:无;完成单位:中建筑港集团有限公司;参加本项目的起止时间:2015-01-01至2022-12-31;具体贡献:通过对高矿物掺合料混凝土下富铝相结构的研究,确定了影响氯离子固化和抗硫酸盐脱离能力的关键参数。此外还提出了一种考虑微结构的耐腐蚀混凝土设计方法。参与制定了码头工程质量检测规范,为工程施工质量提供了技术支持。同时也参与推广应用了一些新技术,如绿色高性能混凝土检测技术。对混凝土这一领域的一些关键问题进行了研究,并参与相关标准的制定以及新技术的推广,为延长混凝土结构使用寿命和促进可持续发展做出一定贡献;曾获奖励情况:无。

8. 姓名:洪舒贤;国籍:中国;排名:8/14;技术职称:教授;行政

职务：无；工作单位：深圳大学；二级单位：土木与交通工程学院；完成单位：深圳大学；参加本项目的起止时间：2015-9 至 2022-12；具体贡献：参与了混凝土材料制备与应用技术方面的研究。开发了混凝土微裂缝自修复技术。同时研究提出了钢筋智能防腐技术，解决了混凝土结构防腐不及时的问题。通过研发工作为混凝土结构在海滨环境下的高效修复服务；曾获奖励情况：2021 年度广东省技术发明奖 一等奖，项目名称：滨海重大基础设施可持续运维关键技术与应用（排名第 7）。

9. 姓名：丁庆军；国籍：中国；排名：9/14；技术职称：教授；行政职务：无；工作单位：武汉理工大学；二级单位：材料科学与工程学院；完成单位：武汉理工大学；参加本项目的起止时间：2009-01 至 2022-12；具体贡献：通过实验研究，建立了矿物原料配比与混凝土微孔结构之间的相关性模型，阐明了它们对性能的影响规律。开发出一种适用于地铁管线项目的绿色预制管片混凝土材料。研发了一款采用高含量矿物添加剂的海洋工程大体积混凝土材料，解决了其渗透性能和抗开裂能力的协同提升问题。通过对混凝土材料特性机理的研究，为开发低碳高性能混凝土提供参考。为混凝土结构的可持续应用提供了支撑，提升了工程质量；曾获奖励情况：无。

10. 姓名：郭峰；国籍：中国；排名：10/14；技术职称：高级工程师；行政职务：副总经理；工作单位：北京京投交通发展有限公司；二级单位：无；完成单位：北京京投交通发展有限公司；参加本项目的起止时间：2019-01 至 2022-12；具体贡献：通过选择优质原材料和优化配合比等手段，参与研发了一种具有良好施工性和力学性能及长寿命的高性能自密实混凝土。将研发成果如水泥用量、矿粉掺量及砂粒率等关键影响因素运用于混凝土配比设计中。该种混凝土施工性能良

好,并有望在工程中提供长期使用。还参与了这一类型混凝土在大兴国际机场高速路、通州交通枢纽等项目中的推广应用工作。通过研发与应用工作,为工程建设探索了一种可持续使用的高性能混凝土方案;曾获奖励情况:北京市科技进步三等奖。

11. 姓名:李海生;国籍:中国;排名:11/14;技术职称:高级工程师;行政职务:副总工程师;工作单位:荣华建设集团有限公司;二级单位:无;完成单位:荣华建设集团有限公司;参加本项目的起止时间:2013-01至2021-12;具体贡献:通过研发工作,提出了一种流动性好、胶凝剂用量低的自密实混凝土设计方法。形成了包括原料选择、配比设计以及生产工艺、养护和质量控制的整体技术方案。参与了该类型混凝土在多个重点项目中的推广应用,如青岛新机场、卓婷广场和海信国际中心项目,为低环境影响和资源节约型混凝土的推广应用做出了一定贡献。形成了相关技术体系,并参与了其在实际项目中的应用,为建筑业推广绿色混凝土做出努力;曾获奖励情况:无。

12. 姓名:尹兵;国籍:中国;排名:12/14;技术职称:副教授;行政职务:无;工作单位:青岛理工大学;二级单位:土木工程学院;完成单位:青岛理工大学;参加本项目的起止时间:2018-03至2022-12;具体贡献:对创新点2的贡献:参与研发了原位增韧与侵蚀离子抑制功能组分,实现水化速率与混凝土工作性能的可控性调节;曾获奖励情况:无。

13. 姓名:王鑫鹏;国籍:中国;排名:13/14;技术职称:副教授;行政职务:无;工作单位:青岛理工大学;二级单位:土木工程学院;完成单位:青岛理工大学;参加本项目的起止时间:2019-01至2022-12;具体贡献:对创新点2做出了贡献:构建了修正的安德森数学模型与神经网络模型,使用铅锌尾矿、再生骨料等固体废弃物制备

了生态型超高性能混凝土，实现了绿色施工与生产。开发的生态型超高性能混凝土推广应用于海工漂浮结构制备、桥面修补工程；曾获奖励情况：无。

14. 姓名：李萌萌；国籍：中国；排名：14/14；技术职称：实验员；行政职务：无；工作单位：青岛理工大学；二级单位：土木工程学院；完成单位：青岛理工大学；参加本项目的起止时间：2017.10 至 2022-12；具体贡献：参与研发了表层抗老化、过渡层强交联、内渗层疏水的苯丙-硅氧烷复合涂层，参与研发了适用于海工环境的抗冲磨超高性能混凝土；曾获奖励情况：无。

## 七、主要完成单位情况表

按照指南要求填写（字体：仿宋四号），举例如下：

1. 青岛理工大学：全面负责项目工作开展，统筹安排了理论分析、技术研究和现场工程应用。提出了绿色低碳高性能混凝土的设计新方法，构建了大流动度、低胶凝用量的自密实混凝土设计方法；自主研发了胶凝材料原位增韧与侵蚀离子抑制的功能组分；开发了一套系统化、智能化的低低低碳高耐久混凝土制备工艺；开发了海工超高性能混凝土综合防护技术，实现了结构耐久性与抗震性的一体化设计。
2. 中建筑港集团有限公司：确定了高矿物掺和料下富铝相水化产物关键微观结构参量，明确了铝相掺杂对氯离子固化与抗硫酸盐脱铝脱钙的影响，提出了耐蚀混凝土微结构设计方法。参编码头工程质量检验规范，为码头工程施工及质量验收提供技术支撑，协助绿色高性能混凝土及检测技术的推广应用。

3. 荣华建设集团有限公司：参与低胶凝自密实混凝土材料的研发工作，提出了大流动度、低胶凝用量的自密实混凝土设计方法，形成了原材料选择、配合比设计、生产工艺、养护及质量控制的成套技术，协助绿色高性能混凝土在青岛新机场、卓婷广场、海信国际中心等项目推广应用。

4. 中交一航局第二工程有限公司：参与研发了海工高耐蚀混凝土材料，创新了港口、码头和海底沉管混凝土施工方法，并开发出改性硅烷与超高性能混凝土腐蚀综合防护技术，有效保障了工程建设安全与长效运维。协助海工高耐蚀混凝土制备技术和混凝土腐蚀综合防护技术在港口、码头和沉管隧道等工程中推广应用。

5. 北京京投交通发展有限公司：参与研发高耐久长寿命高性能混凝土制备技术，通过选用优质、适用和经济合理的具有施工可操作性的原材料品种，以水泥用量、矿粉掺量、砂率为主要影响因素优化高耐久长寿命高性能混凝土配合比，制备了施工性能、力学性能及耐久性良好的高性能自密实混凝土，协助推广成果应用于大兴国际机场高速公路、通州副中心交通枢纽、北京地铁 22 号线、北京地铁 15 号线等重大工程。

6. 天津大学：参与项目技术工作、研究工作的组织，为项目的理论分析、室内外试验、材料制备与应用技术研发提供支持；建立了胶凝材料种类、活性、用量与低碳高性能混凝土工作-力学-耐久性能多因素定量化表征模型；实现了低碳高性能混凝土工作-力学-耐久性能的平衡设计；参与研发了适用于滨海环境混凝土的耐久性监测装置。

7. 青岛市政集团砼业工程有限公司：开展了全尺度预制地铁管片混凝土的耐久性实验，系统测试了管片混凝土的力学性能与耐久性能，协助提出长寿命管片混凝土设计方法。系统研究了管片混凝土的生产工艺和质量控制措施，组织长寿命管片混凝土的生产，制备的绿色地铁预制管片在青岛地铁 1 号线，2 号线，8 号线区间隧道全面应用，经济效益显著。

8. 武汉理工大学：负责低碳高性能混凝土材料的实验研究，建立了矿料配比-微观孔结构-性能的关联关系，开发了绿色地铁预制管片混凝土制品。研发了高矿物掺合料海工大体积混凝土，解决了海工大体积混凝土抗渗性与抗裂性协同提升难题。

9. 深圳大学：参与项目自修复混凝土与劣化检测方面的理论分析、室内外试验、材料制备与应用技术研究，建立了微胶囊自修复混凝土设计方法，开发了混凝土微裂缝自修复与钢筋智能防腐技术，攻克了滨海重大基础设施混凝土内部的劣化识别与修复不及时的技术瓶颈。