

# 2023 年度参与提名青岛市科学技术奖公示

参与单位：青岛农业大学

## 一、项目名称

混凝土全时域性能感知关键技术与结构劣化监测应用

## 二、申报奖种及等级

青岛市科技进步奖（民生科技类）一等奖

## 三、提名者及提名意见

提名者：青岛理工大学

提名意见：

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。

该项目在国家自然科学基金等项目持续支持下，历经 10 余年科研攻关，从建立混凝土全时域性能感知机理入手，围绕混凝土损伤监测关键技术开展联合攻关与工程实践，取得的理论与技术创新包括：研发了用近场微波技术无损感知混凝土早期状态，率先探明近场微波特性与混凝土早期性能耦合机理。用共价氧化、表面活性剂超声、修饰接枝等多种手段实现纳米混凝土分散稳定效能；调控纳米混凝土传感器封装层综合性能，探索了其电学性能与静/动态传感效能提升技术与双轨网络传感机制；将纳米传感器嵌入或贴敷于结构关键部位，智能感知混凝土所受静/动态荷载、变形、损伤劣化等指标。以欧进萍院士为主任的鉴定委员会认为：项目成果整体达到国际先进水平，其中早期混凝土性能近场微波无损监测方法、混杂微/纳米导电填料混凝土共轭导电与“神经树突”双轨网络传感机制达到国际领先水平。

该项目获授权美国专利 1 项，发明专利 20 项，其他知识产权 22 项，主编国家、行业标准 2 部，出版专著 2 部，发表论文 72 篇。该项目成果已在山东青岛、内蒙古等地的跨海地铁、储液罐、冷却塔、烟囱、工业厂房推广应用，提升了施工期混凝土缺陷诊断效率，并实现城市公共安全与设施平稳运维，助力平安中国建设。

提名该项目为 2023 年度青岛市科学技术进步奖一等奖。

## 四、项目简介

随着国家一带一路和新旧动能转换战略推进，诸多跨海地铁、LNG 储液罐、海水冷却塔、热电烟囱、能源工业厂房等基础设施大量兴建。这些处于严酷环境下混凝土工程高质量建造与长效健康运营直接关系着国家战略成功推进、新旧动能顺利转换以及人们的生命财产安全。然而混凝土内部存在多孔性、多相介质特性，属于快速时变材料，不同时期混凝土物化性能迥异，快速检测与评价这些混凝土施工质量与服役健康状况具有极大的挑战性。这些难题成为制约在严酷环境下工程结构用混凝土推广应用的关键理论和技术瓶颈。

项目瞄准混凝土全时域性能感知关键技术与结构劣化监测工程需求，在国家自然科学基金、教育部博士点基金、青岛市应用基础及企事业项目等持续支持下，历经 10 余年“产、学、研、用”联合攻关与工程实践，获得以下创新点：

1. 找到高性能纳米混凝土及其传感器封装性能综合实现与途径提升——系统用共价氧化、表面活性剂超声、修饰接枝等多种手段实现了纳米混凝土分散稳定效能，探明了其分散及稳定关键指标；提出

了混杂韧性纤维、水性树脂、纳米填料分别调控纳米混凝土传感器封装层的抗裂韧性、抗渗防水、阻尼减振性能，并探明了实现机制；为研制高性能纳米混凝土及其传感器封装性能综合实现与途径提升提供了技术支撑。

2. 率先提出了用近场微波技术无损感知混凝土早期固化状态方法——研发了用近场微波技术无损感知混凝土早期固化状态方法，系统揭示了近场微波参数与混凝土早期物化指标耦合关系；率先结合容舍尔及德拜模型探明近场微波耦合参数与混凝土早期物化指标耦合机理；为快速诊断施工期混凝土质量缺陷奠定理论基础与技术支撑。

3. 纳米混凝土传感器全频域感知效能提升机制与性能劣化监测体系构建——探索了纳米混凝土传感器电学性能与静/动态传感效能提升技术，探明了其双轨网络传感机制；结合结构模态分析结果，将纳米混凝土传感器嵌入或贴敷于结构关键部位，并结合信号同步采集技术，智能感知服役期混凝土所受静/动态荷载、变形、损伤劣化等全频域性能参数；开发出基于相应纳米传感器的在役混凝土全频域性能感知与劣化监测成套体系。

项目获授权美国发明专利 1 项、国家发明专利 20 项，其他知识产权 22 项，主编国家、行业标准 2 部，出版学术专著 2 部，发表学术论文 72 篇，以欧进萍院士、李华军院士为主任、副主任的鉴定委员会认为：项目成果整体达到国际先进水平，其中早期混凝土性能近场微波无损监测方法、混杂微/纳米导电填料混凝土共轭导电与“神经树突”双轨网络传感机制达到国际领先水平。

该项目成果已应用在跨海地铁、储液罐、冷却塔、烟囱、工业厂房等工程，近两年新增销售额超 13.6 亿元，经济和社会效益显著。

该项目技术对混凝土结构在建造与服役阶段检测与预警监测有重要意义，助力平安中国建设与城市公共安全，促进智能传感材料与工程防灾减灾学科发展，推广应用前景广阔。

五、主要知识产权和标准规范等目录

| 知识<br>产权<br>（标<br>准）类<br>别 | 知识产权<br>（标准）具<br>体名称                                                                                                                  | 国家<br>（地<br>区） | 授权号<br>（标准<br>编号）      | 授权（标<br>准发布）<br>日期 | 证书编号<br>（标准批准<br>发布部门）                     | 权利人（标准<br>起草单位）                                                                                               | 发明人<br>（标准<br>起草人）                                                               | 发明<br>专利<br>（标<br>准）<br>有效<br>状态 |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------------------|--------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| 发明                         | CNT<br>assembled<br>thin film<br>modified<br>steel wire<br>array<br>electrode,<br>preparation<br>method and<br>application<br>thereof | 美国             | US11,<br>604,1<br>35B2 | 2023-0<br>3-14     | US011604<br>135B2                          | 青岛理工大<br>学                                                                                                    | 罗健<br>林、金<br>祖权、<br>诸雪<br>青、张<br>纪刚                                              | 有效                               |
| 标准                         | 烟囱工程<br>技术标准                                                                                                                          | 中国             | GB/T<br>50051<br>-2021 | 2021-1<br>0-01     | 中华人民共<br>和国住房和<br>城乡建设部、<br>国家市场监<br>督管理总局 | 中冶华天工程技<br>术有限公司、上海必立<br>结构设计事务所有<br>限公司、中国二十二<br>冶集团有限公司、大<br>连理工大学、中国电<br>力工程顾问集团华<br>东电力设计院有限<br>公司、国家电投集团 | 牛春良、许<br>嘉庆、杜宣<br>刚、王立成、<br>车轶、陈飞、<br>李国树、陆<br>士平、侯锐<br>钢、李晓民、<br>李继宏、李<br>涛、李秋义 | 有效                               |

|    |                                                 |    |                              |                |                                            |                                                                                                                       |                                                                                    |        |
|----|-------------------------------------------------|----|------------------------------|----------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------|
|    |                                                 |    |                              |                |                                            | 科学技术研究院有<br>限公司、华东理工大<br>学、青岛农业大学等                                                                                    | 等                                                                                  |        |
| 发明 | GO 增强<br>CNT 覆膜<br>砂的智能<br>混凝土、<br>无线传感<br>器及制法 | 中国 | ZL20<br>17100<br>96272<br>.X | 2019-0<br>9-24 | 证书号<br>3539969                             | 青岛理工大<br>学                                                                                                            | 罗健<br>林、李<br>秋义、<br>张春<br>巍、钟<br>国麟                                                | 有<br>效 |
| 发明 | 水泥基导<br>电复合材<br>料、制备<br>方法及应用                   | 中国 | ZL20<br>16106<br>34220<br>.9 | 2018-0<br>9-04 | 证书号<br>3059512                             | 青岛理工大<br>学                                                                                                            | 冯超、<br>万菲、<br>刘强、<br>蔡祥、<br>钟丽杰                                                    | 有<br>效 |
| 标准 | 火力发电<br>厂湿式冷<br>却塔可靠<br>性鉴定与<br>维护导则            | 中国 | T/CE<br>C452-<br>2021        | 2021-0<br>9-01 | ICS27.100<br>CCSK54<br>(中国电<br>力企业联<br>合会) | 国家电投集团科<br>学技术研究院有<br>限公司、上海必<br>立结构设计事务<br>所有限公司、上<br>海必立建设工程<br>检测有限公司、<br>国家电投内蒙古<br>能源有限公司、<br>大连理工大学、<br>青岛农业大学等 | 牛春<br>良、李<br>涛、纪<br>连举、<br>李继<br>宏、周<br>勇、王<br>立成、<br>刘绍<br>中、倪<br>桂红、<br>李秋义<br>等 | 有<br>效 |
| 发明 | 压阻/压电<br>夹层材料<br>的制备方法                          | 中国 | ZL20<br>16104<br>73869<br>.7 | 2018-1<br>1-23 | 证书号<br>3156761                             | 青 岛 理 工 大<br>学                                                                                                        | 罗 健<br>林、李<br>秋义、<br>赵 铁<br>军、王<br>旭、吴<br>晓平                                       | 有<br>效 |
| 发明 | 水性聚吡<br>咯水泥基                                    | 中国 | ZL201<br>610634              | 2018-0<br>6-22 | 证书号<br>2968420                             | 青 岛 理 工 大<br>学                                                                                                        | 冯超、<br>万菲、<br>刘强、                                                                  | 有<br>效 |

|    |                           |    |                   |            |             |                                      |                       |    |
|----|---------------------------|----|-------------------|------------|-------------|--------------------------------------|-----------------------|----|
|    | 导电复合材料、制备方法及应用            |    | 220.9             |            |             |                                      | 蔡祥、钟丽杰                |    |
| 发明 | CNT 组装薄膜改性钢丝阵列电极、制备方法及其应用 | 中国 | ZL2018111534408.1 | 2021-05-11 | 证书号 4411865 | 青岛理工大学                               | 罗健林、金祖权、诸雪松           | 有效 |
| 发明 | 三相导电复合材料、制备方法及应用          | 中国 | ZL201610634633.7  | 2018-09-04 | 证书号 3060630 | 青岛理工大学                               | 冯超、黄波、万菲、赵斌、刘强、蔡祥、李亚男 | 有效 |
| 软著 | 湿式冷却塔混凝土腐蚀离子传输过程分析软件      | 中国 | 2021SR0376777     | 2021-03-11 | 证书号 7099004 | 青岛理工大学、上海必立结构设计事务所有限公司、国家电投内蒙古能源有限公司 | 滕飞、罗健林、牛春良、李涛、高乙博、华旭江 | 有效 |

## 六、主要完成人情况表

1.姓名：罗健林；排名：1/11；技术职称：教授；行政职务：无；工作单位：青岛理工大学；完成单位：青岛理工大学；具体贡献：厘清了纳米混凝土制备关键指标，探明了混凝土全时域性能感知机理，构建了混凝土劣化监测成套技术。

2.姓名：李秋义；排名：2/11；技术职称：教授；行政职务：无；工作单位：青岛农业大学；完成单位：青岛农业大学、青岛理工大学；

具体贡献：提出混凝土的本征韧性及压电动态感知提升技术，开发了混凝土承载力/变形监测成套体系。

3. 姓名：冯超；排名：3/11；技术职称：副教授；行政职务：主任；工作单位：青岛理工大学；完成单位：青岛理工大学；具体贡献：设计了原位聚合导电聚合物提升纳米混凝土的导电性与压阻传感特性方法，探明了“神经树突”式双轨导电网络与传感灵敏度提升机理。

4. 姓名：钟国麟；排名：4/11；技术职称：教授；行政职务：无；工作单位：惠州学院；完成单位：青岛理工大学；具体贡献：率先用近场微波技术来无损感知混凝土早期状态，探明了微波参数与混凝土早期性能耦合机理。

5. 姓名：段忠东；排名：5/11；技术职称：教授；行政职务：无；工作单位：哈尔滨工业大学（深圳）；完成单位：哈尔滨工业大学（深圳）；具体贡献：找出纳米材料在水中稳定措施，探明了纳米混凝土抗裂韧性及阻尼自增强机理，探讨了纳米混凝土压阻传感特性的影响机理。

6. 姓名：牛春良；排名：6/11；技术职称：教授级高工；行政职务：董事长；工作单位：上海必立结构设计事务所有限公司；完成单位：上海必立结构设计事务所有限公司；具体贡献：推广在冷却塔及烟囱混凝土修补层早期施工缺陷诊断应用，推广在冷却塔及烟囱混凝土性能监测与劣化预警应用。

7. 姓名：徐振；排名：7/11；技术职称：高级工程师；行政职务：董事长；工作单位：青岛市地铁一号线有限公司；完成单位：青岛市地

铁一号线有限公司；具体贡献：推广用电磁波耦合技术快速检测滨海地铁混凝土的早期施工质量缺陷的应用；推广基于纳米功能混凝土传感器结构劣化监测成套技术在地铁海域段劣化监测与预警的应用。

8. 姓名：朱敏；排名：8/11；技术职称：高级工程师；行政职务：技术总工；工作单位：中建八局第四建设有限公司；完成单位：中建八局第四建设有限公司；具体贡献：推广在辽阳路立交桥混凝土的早期质量缺陷诊断的应用，推广内嵌本征传感器在辽阳路立交桥荷载变形、应力/应变监测应用。

9. 姓名：张纪刚；排名：9/11；技术职称：教授；行政职务：主任；工作单位：青岛理工大学；完成单位：青岛理工大学；具体贡献：协助研发工业结构变形、应力/应变同步监测技术。

10. 姓名：曹剑；排名：10/11；技术职称：教授级高工；行政职务：副总经理；工作单位：山东中建西部建设有限公司；完成单位：山东中建西部建设有限公司；具体贡献：推广利用近场微波技术快速检测滨海混凝土的早期质量，并诊断滨海混凝土施工缺陷的应用。

11. 姓名：高乙博；排名：11/11；技术职称：无；行政职务：博士生；工作单位：青岛理工大学；完成单位：青岛理工大学；具体贡献：分析了纳米材料在水泥混凝土基体分散工艺及关键控制参数。

## **七、主要完成单位情况表**

1. 青岛理工大学：对本项目创新点 1~3 均有贡献。具体体现在：

（1）对本项目进行全程管理、监督，合理部署工作方案。为项目研究提供所需经费、实验室及相关仪器设备，还提供了数据模型所使用

的计算机及相关软件，组建相近专业的师生协助项目组按时、圆满地完成工作。

（2）系统用共价氧化、表面活性剂超声、修饰接枝等多种手段实现了纳米混凝土分散稳定效能，探明了其分散及稳定关键指标；提出了混杂韧性纤维、水性树脂、纳米填料分别调控纳米混凝土传感器封装层的抗裂韧性、抗渗防水、阻尼减振性能，并探明了实现机制。

（3）研发了用近场微波技术无损感知混凝土早期固化状态方法，系统揭示了近场微波参数与混凝土早期物化指标耦合关系；率先探明近场微波耦合参数与混凝土早期物化指标耦合机理；为快速诊断施工期混凝土质量缺陷奠定理论基础与技术支持。

（4）探索了纳米混凝土传感器电学性能与静/动态传感效能提升技术，探明了其双轨网络传感机制；结合结构模态分析结果，将纳米混凝土传感器嵌入或贴敷于结构关键部位，并结合信号同步采集技术，智能感知服役期混凝土所受静/动态荷载、变形、损伤劣化等全频域性能参数；开发出基于相应纳米传感器的在役混凝土全频域性能感知与结构劣化监测体系。

将纳米混凝土传感器嵌入或贴敷于跨海地铁、热电烟囱、冷却塔、工业厂房等各类混凝土工程关键部位，智能感知其所受静/动态荷载、变形、交通状态、损伤耐久性等指标，为相关混凝土设施的长期服役提供安全保障。

2. 青岛农业大学：对本项目创新点 1、3 作出了贡献。在本项目研究过程中，组织参与了项目监督和指导工作，在人员配备、研发场地和

设备条件等方面均有贡献，有力支撑了项目研究工作的顺利完成，具体体现在：

（1）协助项目组联系协作单位和应用场所，全程跟踪项目管理、监督和指导，拓宽了项目成果的应用。

（2）合作探讨引入反应性防水剂，提升纳米混凝土传感器封装层表面防水性能。

（3）合作开展了将混凝土性能感知与劣化监测成套体系用于跨海地铁、湿式冷却塔、烟囱等混凝土性能与损伤劣化感知研究。

（4）与第一完成单位共同发表学术论文 7 篇，申请国家专利 3 项；与第四完成单位合作编写国家、行业标准 2 项。

3. 哈尔滨工业大学（深圳）：对本项目创新点 1、3 作出了贡献。在本项目研究过程中，组织参与了项目技术工作，在人员配备、数据模型和挖掘创新内容等方面有贡献，支撑了项目研究的顺利完成，具体体现在：

（1）共同提出了混杂韧性纤维、纳米填料分别调控纳米混凝土传感器封装层抗裂韧性、阻尼减振性能，并探明其实现机理。

（2）共同探索了纳米混凝土传感器电学性能与压阻传感效能，共同探明了混杂有导电填料的纳米混凝土渗滤/隧穿导通传感机制。

（3）与第一完成单位共同发表学术论文 9 篇，授权发明专利 1 项。

4. 青岛市地铁一号线有限公司：对本项目创新点 2、3 作出了贡献。在本项目研究过程中，在实验人员、场地提供、设备条件等方面均有贡献，支持项目成果推广应用，获得良好的社会效益。具体体现

在:

(1) 对创新点 2 贡献是: 推广应用近场微波耦合技术快速检测滨海地铁混凝土的早期施工质量缺陷。

(2) 对创新点 3 贡献是: 推广基于纳米功能混凝土传感器结构劣化监测技术在地铁海域段劣化监测应用, 智慧感知相应衬砌混凝土所受变形及可能的损伤等指标。

(3) 与第一完成单位共同发表学术论文 5 篇, 共同申请知识产权 1 项, 共同开展科研项目 1 项。

5. 上海必立结构设计事务所有限公司: 对本项目创新点 2、3 作出了贡献。在本项目研究过程中, 在实验人员、场地提供、设备条件等方面均有贡献, 支持项目成果推广应用, 获得良好的社会效益。具体体现在:

(1) 推广应用近场微波技术快速检测严酷环境下湿式冷却塔、烟囱筒壁修补混凝土早期质量缺陷快速检测。

(2) 推广将纳米混凝土传感器嵌入湿式冷却塔及烟囱筒壁结构关键部位, 智能感知其所受静/动态变形及可能的损伤劣化等指标。

(3) 与第一完成单位共同完成授权知识产权 2 项; 与第二完成单位共同参与国家、行业标准制定 2 项。

6. 中建八局第四建设有限公司: 对本项目创新点 3 作出了贡献。在本项目研究过程中, 在人员匹配、场地提供、设备条件等方面有贡献, 支持项目成果推广应用, 协助项目组联系协作单位和应用场所, 获得良好的社会效益。具体体现在:

(1) 对创新点 3 贡献是：推广将纳米混凝土传感器嵌入滨海混凝土工程，智能感知其所受荷载变形、应力/应变等指标。

(2) 与第一完成单位共同发表学术论文 2 篇，共同开展科研项目 3 项。

7. 山东中建西部建设有限公司：对本项目创新点 2 作出了贡献。支持项目成果推广应用，协助项目组联系协作单位和应用场所，获得良好的社会效益。具体体现在：

(1) 对创新点 2 贡献是：推广利用近场微波技术快速检测滨海混凝土的早期质量，并诊断滨海混凝土施工缺陷的应用。

(2) 与第一完成单位共同发表学术论文 2 篇，共同指导研究生 1 名。