**一、项目名称**

废弃混凝土全再生利用关键技术及其应用

**二、提名单位意见**

我单位与主要完成人及完成单位充分沟通，填写提名书并认真审阅了附件，确认全部材料真实有效，符合山东省奖励办规定并已按照要求进行公示，无异议。

该项目立足山东省建筑垃圾资源化处置的重大社会需求，历经十余年的产学研合作，完成了废弃混凝土资源化再生利用系列研究，涵盖了再生粗、细骨料和微粉的制备以及在再生混凝土、干混砂浆、透水砖、道路水稳层、预制构件中应用，实现了废弃混凝土的全再生利用，既降低对生态的破坏也减少天然资源开采。项目从建立基础理论入手，围绕关键技术开展联合攻关与工程实践，取得的技术创新有：开发了再生骨料强化与制粉系统，提出了再生混凝土性能调控方法，建立了再生混凝土配合比设计理论，揭示了再生细骨料内养护机制，创立了废弃混凝土全再生利用模式。鉴定专家认为：总体达到国际领先水平。

该项目在济南、青岛、临沂等地实现了规模化推广应用，带动了各地生态文明建设和“无废城市”的政策出台。近三年完成单位与其他应用单位新增销售额8.32942亿元、新增利润5541.52万元，社会、经济和生态效益显著。

该项目获授权国家发明专利28项，其他知识产权54项，主编和编制标准规范10部，构建了较完备的废弃混凝土全再生技术体系。

参照山东省科学技术奖申报和提名基本条件，提名该项目申报2019年度山东省科技进步奖一等奖。

**三、项目简介**

随着山东省城镇化快速发展，每年产生建筑垃圾超过1亿吨，其中废弃混凝土约占40%，成为制约可持续发展的瓶颈之一；鲁建城管字[2017]11号文指出，到2020年，建筑垃圾资源化利用率达60%以上。另一方面，随着生态保护和节能减排力度加大，2018年山东各地砂石短缺、价格上涨2倍以上，粉煤灰等价格上扬明显。因此，将废弃混凝土资源化全再生利用，变废为宝，意义重大。

针对废弃混凝土来源复杂、再生骨料均匀性差、再生微粉品质低等难题，开发了废弃混凝土再生粗骨料、细骨料和微粉的全组分再生利用技术，提出了再生混凝土配合比设计方法，揭示了再生混凝土的应变率效应及其机理，建立了再生混凝土绿色施工方法，形成了理论体系与成套技术。解决了再生混凝土材料、结构和施工中的关键科学与技术问题，保障了废弃混凝土资源化与高附加值安全利用，为实现山东省建筑垃圾资源化战略目标以及建筑业可持续发展提供了重要的科技支撑。

项目获授权国家发明专利28项、实用新型专利44项、软件著作权10项，施工工法3项，主编/编制标准10部，出版学术专著5本，发表学术论文136篇（SCI收录29篇、EI收录49篇）。

项目创新技术不仅在济南、青岛、临沂、潍坊、滨州等地实现了规模化应用，也推广到广西和安徽等地，引领和示范作用明显，推动了“无废城市”的政策出台。近三年完成单位与其他应用单位新增销售额逾8亿元、新增利润逾5500余万元，社会和生态效益显著。

**四、客观评价**

1) 山东省住建厅组织成果鉴定：该成果对废弃混凝土全再生利用关键技术及其应用进行了系统研究，提出了废弃混凝土再生利用的相关理论，研发了资源化技术，实现了废弃混凝土再生粗骨料、细骨料和微粉的全组分利用；揭示了再生粗骨料、细骨料和微粉对再生混凝土性能的影响规律，提出了与普通混凝土相统一的再生混凝土配合比设计方法；揭示了再生骨料的内养护效应，提出了再生混凝土早期收缩控制技术；探明了约束对再生混凝土力学性能的影响规律及再生混凝土的应变率效应，建立了再生混凝土率相关本构关系模型，揭示了再生混凝土结构在地震作用下的损伤规律；研究形成了再生混凝土制备和施工的成套技术。以肖绪文院士为主任委员，于海平研究员、张亚梅教授为副主任委员的鉴定委员会评价为成果整体达到国际领先水平。

2)国家自然科学基金委员会：“再生骨料品质控制及再生混凝土配合比设计研究项目”（编号51378270)）揭示了再生骨料性能劣化机理和提升技术，进一步从配合比设计层次提出控制其性能稳定性的一般原理与有效方法。按有关规定已审核完毕，准予结题。

**五、推广应用情况**

项目成果已经在山东省各个地市全面展开应用，相关产品包括再生粗细骨料、再生微粉，以及再生混凝土、再生砂浆、再生制品、再生预制结构构件、道路水稳层、透水混凝土等，已经在房屋、道路工程、海绵城市建设等领域得到全面应用，在应用过程中，也对施工技术和养护工艺进行优化和技术提升，整个项目取得显著的经济效益和社会效益。

项目在处理废弃混凝土的同时，再生创造市场必需的（原需消耗大量天然资源的）工程建筑材料；既保护了地区生态环境，减缓了从外地运入天然砂石的所增加的交通负荷及费用，又为社会创造了良好的经济效益，促进了社会综合事业的发展，改善了人民的生活环境，有利于改善当地的人文环境，提高文化教育水平和当地人民卫生健康水平；可为保护人类生存环境和矿产资源作出积极贡献。再生骨料和再生微粉的推广应用，减少了对天然砂石和水泥的需求，保护了“绿水青山”。

**六、主要知识产权证明目录**

1. 发明专利: 一种海砂再生混凝土护坡砖及其制作方法. 发明人: 肖建庄;强成兵 .专利号: ZL201610031645.0 ，授权时间: 2018-08-24
2. 发明专利: 一种制备抗冻型植生生态混凝土的方法. 发明人: 全洪珠 .专利号: ZL201610025106.6 ，授权时间: 2018-06-29
3. 发明专利: 用于混凝土内养护的再生细集料的制备方法及使用方法 . 发明人: 葛智;高莹;孙仁娟;武新胜;韩少龙;李晨;周健;管延华.专利号: ZL201610038070.5 ，授权时间: 2017-08-11
4. 发明专利: 压阻/压电复合材料制法及采用该材料的传感器及制法 . 发明人: 罗健林;李秋义;赵铁军;高嵩 .专利号: ZL201210417696.9 ，授权时间: 2014-11-26
5. 发明专利: 一种细集料饱和面干状态的定量确定装置的使用方法 . 发明人: 孙仁娟;卢青;田长进;葛智;武新胜;郝巍;王原原;冯子强.专利号: ZL201510548336.6 ，授权时间: 2018-05-11
6. 发明专利: 废粘土砖的再生利用方法及掺加有废粘土砖粉的混凝土 . 发明人: 葛智;郑丽;赵治广;孙仁娟;黄大伟.专利号: ZL201110125790.2 ，授权时间: 2013-07-31
7. 软件著作权 ：模型化再生混凝土仿真分析软件V1.0，软件著作权：肖建庄;吴宇清;李坛;丁陶 ，登记号：2018SR763502，授权时间: 2018-09-19
8. 软件著作权 ：再生粗骨料混凝土配合比设计软件V1.0，登记号： 2019SR0198104 ，授权时间: 2019-02-28
9. 软件著作权 ：再生细骨料混凝土配合比设计软件V1.0，登记号： 2019SR0198106 ，授权时间: 2019-02-28
10. 软件著作权 ：可泵送再生混凝土粗骨料混凝土拌合水计算软件V1.0，登记号：2019SR0198095 ，授权时间: 2019-02-28

**七、主要完成人情况**

**1.姓名：肖建庄，排名：1/12，职称：教授，职务：建工系系主任，工作单位：同济大学，完成单位：同济大学。**

对本项目贡献：提出总体思路、技术路线和开发方案，参与技术、工艺开发与技术推广。

对创新点1的贡献：研究模型再生骨料。

对创新点3的贡献：系统研究约束再生混凝土及其结构性能

对创新点4的贡献：建立全生命周期评价LCA。.

**2.姓名：李秋义，排名：2/12，职称：教授，职务：院长，工作单位：青岛农业大学，完成单位：青岛农业大学。**

对本项目贡献：是创新点1和创新点2的主要完成人，主持国家自然科学基金研究了再生混凝土配合比设计。并对以下工作做出突出贡献：

对创新点1中再生混凝土多重界面重构方法，再生骨料和再生混凝土性能调控技术；

对创新点2再生混凝土精细配合比设计方法；

出版专著2部，编制国家标准2部，行业标准4部，推动和主导了《青岛市建筑废弃物资源化利用条例》（青人发 〔2012〕19号）的制定工作。

**3.姓名：葛智，排名：3/12，职称：教授，职务：副院长，工作单位：山东大学，完成单位：山东大学。**

对本项目贡献：对本项目对创新点2做出了创造性贡献，研究了再生细骨料的内养护效应及再生细骨料混凝土性能。建立了再生细骨料取取代率及预饱水程度等特性对再生细骨料自密实混凝土工作性、力学性能和耐久性的影响规律。结合混凝土内部相对湿度的时空发展规律和水泥石微观结构特征，从宏观及微观方面揭示了再生细骨料对自密实混凝土收缩性能的影响机理，建立了内部相对湿度与自收缩、干燥收缩之间的定量关系，提出了再生混凝土早期收缩控制技术。

**4.姓名：潘玉珀，排名：4/12，职称：高级工程师，职务：总工程师，工作单位：中建八局第二建设有限公司，完成单位：中建八局第二建设有限公司。**

对本项目贡献：对本项目创新点 4 中再生混凝土绿色施工技术做出创造性贡献，主持开发系列软件，对工程建设中再生混凝土的使用实现 BIM 管理技术和云平台追踪，确保了再生混凝土安全应用。

**5.姓名：杨彬，排名：5/12，职称：副教授，工作单位：同济大学，完成单位：同济大学。**

对本项目贡献：对本项目创新点 4 中再生混凝土绿色施工技术做出创造性贡献，合作开发系列软件，实现再生混凝土在工程施工中的管理和追踪，并参与编写标准。

**6.姓名：罗健林，排名：6/12，职称：副教授，工作单位：青岛理工大学 ，完成单位：青岛理工大学。**

对本项目贡献：创新点4中再生混凝土结构检测技术。研究了碳纳米管在水及水泥基体中的分散稳定性，开发了碳纳米管增强水泥基复合材料（NSMC）压阻及压电复合型传感器以及相应力电信号同步采集方法，研究了用微/纳米材料协同增韧NSMC方法，并揭示了对NSMC多尺度本征增韧的机理，并成功将该NSMC本征传感器应用到再生混凝土结构工程智慧监测。

**7.姓名：全洪珠，排名：7/12，职称：副教授，工作单位：青岛农业大学，完成单位：青岛农业大学。**

对本项目贡献：参与了本项目创新点1和创新点2的相关研究工作，做出了技术创新性贡献。基于本项目研究工作，获得国家标准2部以及行业标准1部。

**8.姓名：王长青，排名：8/12，职称：副教授，工作单位：同济大学，完成单位：同济大学。**

对本项目贡献：参与了本项目创新点 3 的相关研究工作，做出了一些技术创新性贡献。基于本项目研究工作，出版专著 1 本，发表 SCI 和 EI 期刊论文 23 篇、CSCD 期刊论文 3 篇，主编标准一部。

**9.姓名：马静，排名：9/12，职称：高级工程师，工作单位：青岛北苑混凝土有限公司，完成单位：青岛北苑混凝土有限公司。**

对本项目贡献：对创新点 1 和创新点 4 有突出的技术贡献，利用再生骨料颗粒整形技术对工厂生产工艺流程进行改造，提升再生骨料品质，并将再生混凝土应用到预制和现浇工程中。

**10.姓名：秦际峰，排名：10/12，职称：助理工程师，工作单位：临沂蓝泰环保科技有限公司，完成单位：临沂蓝泰环保科技有限公司。**

对本项目贡献：长期从事建筑垃圾资源的研究与推广利用工作，发现了建筑再生骨料成分多元化、不稳定性、大吸水率、低表观密度，提出了再生骨料强度的改进措施，解决了建筑垃圾骨料大吸水率的问题，开发专利技术），实现建筑垃圾在广场砖中的应用。

**11.姓名：刘琼，排名：11/12，职称：副教授，工作单位：同济大学，完成单位：同济大学。**

对本项目贡献：参与了本项目创新点 2 和创新点 4 的相关研究工作，开发再生微粉并将之应用于混凝土掺合料，研究了水泥基复合智能材料的应力和损伤监测装置和方法，实现再生混凝土结构的损伤监测。

**12.姓名：高嵩，排名：12/12，职称：副教授，工作单位： 青岛理工大学，完成单位：青岛理工大学。**

对本项目贡献：参与了本项目创新点 1 和创新点 2 的相关研究工作，做出了一些技术创新性贡献。基于本项目研究工作，形成发明专利 1 项，发表论文 10 余篇，编制标准 1 部。

**八、主要完成单位及创新推广贡献**

**第一完成单位：**青岛农业大学

负责本项目中的“再生混凝土性能劣化机理与品质控制技术”和“再生混凝土材料制备技术”两部分内容，对本项目创新点1和创新点2作出了重要贡献。本项目研究从再生混凝土材料基础性能研究着手，提出了再生混凝土多重界面重构方法，揭示了再生混凝土性能劣化机理，建立了再生混凝土品质控制理论与方法；提出了基于再生骨料品质和取代率的再生混凝土配合比设计方法，实现了再生混凝土与普通混凝土设计方法的统一；编制了再生骨料和再生混凝土技术标准，解决了再生混凝土材料的制备难题。

项目和技术研究通过提升建筑垃圾再生混凝土材料性能、开发高附加值再生产品、解决再生产品应用中的基础理论问题，对推动山东省建筑垃圾资源化利用具有十分重要意义。

**第二完成单位：**同济大学

负责本项目中的“再生混凝土性能劣化机理与品质控制技术”、“约束再生混凝土性能”和“再生混凝土绿色施工和全寿命评价”三部分内容，对本项目创新点1、创新点3和创新点4做出了重要贡献。提出了再生混凝土模型化理论，揭示了再生混凝土多尺度损伤劣化机理；提出了基于动态因子、约束因子和取代率影响因子的再生混凝土本构关系模型和再生混凝土结构率相关损伤模型，确定了再生混凝土结构承载力计算公式，实现了再生混凝土结构抗震优化设计的6级性能水平指标评价体系；提出并建立了从原材料开采、建筑施工、使用和维护、拆除和资源化处置全过程的建筑生命周期评价方法体系。

完成单位基于本项目科学技术的创新和应用，加速了山东省建筑垃圾资源化利用的进程，其经济和社会意义重大。

**第三完成单位：**青岛理工大学

负责本项目中的“再生混凝土智能监测技术在工程中的推广和应用”内容，对本项目创新点4做出了贡献。针对再生混凝土工程智慧监测实际应用中存在的关键科学技术问题，开发了碳纳米管（CNT）改性水泥基传感器件及其对再生混凝土结构智慧监测应用新技术。该项目搭建了适用于再生混凝土结构智慧感知的涵盖全频域的数据采集与智慧监测系统的电学传感功能器件，进而实现了仅通过外接的电学信号（电阻、电容、表面电荷量等）来智慧感知再生混凝土宏微观结构损伤劣化，并可进行性能评估预警。项目首次利用CNT改性水泥基传感器件实现对再生混凝土路面服役期间及框架结构施工期间应力/应变等性能智慧感知与实时在位的准确监测。

开发的面向再生混凝土工程的CNT改性水泥基传感器件成果应用于青岛北苑混凝土公司等再生混凝土工程结构的健康监测，为相关工程的长期服役提供重要安全保障，具有广泛而持久的经济与社会效益。

**第四完成单位：**中建八局第二建设有限公司

负责本项目中的“再生混凝土绿色施工技术”内容，对本项目创新点4做出了贡献。提出了“分级加水，多级搅拌”的再生混凝土预拌工法，保证了再生混凝土拌合质量；研发了再生混凝土全自动养护系统和实施监测系统；形成了再生混凝土绿色施工的成套技术。

**第五完成单位：**山东大学

负责本项目中的“再生细骨料对混凝土性能的影响与内养护技术”内容，对本项目创新点2做出了贡献。创新性的提出了再生细骨料内养护方法，并形成专利技术，揭示了再生细骨料特性及产量对再生细骨料自密实混凝土工作性、力学性能、耐久性和收缩特性的影响规律，系统研究了再生细骨料的吸/释水特性，通过混凝土内部相对湿度的时空发展变化规律，结合微观结构，揭示了再生细骨料的内养护机理，建立了内部相对湿度与收缩之间的定量关系。

本项目研究通过提升建筑垃圾再生混凝土材料性能、降低再生混凝土收缩开裂风险，开发高附加值再生产品、解决再生产品应用中的基础理论问题，对推动山东省建筑垃圾资源化利用具有十分重要意义。

**第六完成单位：**临沂蓝泰环保科技有限公司

负责本项目中的“再生混凝土绿色施工技术”内容，对本项目创新点4做出了贡献。基于高附加值再生产品技术研发的再生混凝土砌块、透水砖、植草砖、预制楼梯和预制板，产品质量可靠，已在山东省各个地市的工程项目中推广和应用。

完成单位通过再生产品的推广和应用，加速了山东省建筑垃圾资源化利用的进程，其经济和社会意义重大。

**第七完成单位：**青岛北苑混凝土有限公司

负责本项目中的“再生骨料强化整形”和“再生混凝土绿色施工技术”两部分内容，对本项目创新点1和创新点4做出了贡献。基于强化整形设备的废弃混凝土强化整形技术，提升了再生骨料的品质和质量稳定性；基于再生混凝土工作性能，研发了再生混凝土泵送技术，实现了再生混凝土绿色施工。

完成单位通过本项目技术研发的再生产品已经在山东省各个地市全面展开应用，取得了显著的经济效益和社会效益。

**九、完成人合作关系说明**

项目第一完成人肖建庄与李秋义、葛智、潘玉珀、杨彬、罗健林、全洪珠、王长青、马静、秦际峰、刘琼、高嵩，紧密合作，形成了长期的“产学研用”合作团队。

(1)项目完成单位青岛农业大学(完成人李秋义)、完成单位同济大学(完成人肖建庄)共同编制行业标准《道路用建筑垃圾再生骨料无机混合料》(JC/T2281-2014);

(2)项目完成单位青岛农业大学(完成人李秋义，原为青岛理工大学土木工程学院教授，现己调至青岛农业大学土木学院工作)、青岛理工大学(完成人罗健林、高高)曾为同一课题组，共同发表文章并获得授权发明专利压阻/压电复合材料制法及采用该材料的传感器及制法(ZL201210417696.9);

(3)项目完成单位青岛农业大学(完成人李秋义)、同济大学(完成人肖建庄)、山东大学(完成人葛智)、临沂蓝泰环保科技有限公司(完成人秦际峰)，共同研发内养护再生细骨料混凝土，并共同发表文章;

(4)项目完成单位同济大学(完成人肖建庄、杨彬)、中建八局第二建设单位(完成人潘玉珀)合作获得软件著作权固体废弃物循环使用信息管理系统Vl.0软著登字第3624918号)、再生混凝土施工过程碳排放评估软件Vl.0（软著登字第3625134号）;

(5)项目完成单位同济大学(完成人肖建庄)、中建八局第二建设单位(完成人潘玉珀)、山东大学(完成人葛智)共同研发再生粗骨料混凝土结构/构件的施工工法;

(6)项目完成单位青岛农业大学、同济大学、青岛理工大学以及山东大学长期为项目第四完成单位中建八局第二建设有限公司、第六完成单位临沂蓝泰环保科技有限公司和项目第七完成单位青岛北苑混凝土有限公司提供技术服务，共同研发建筑固废资源化全再生利用技术，项目完成人肖建庄、李秋义、葛智、潘玉珀、马静和秦际峰等一起发表学术论文。