

浙江省科技进步奖项目公示

一、项目名称：

沿海地区轨道交通工程混凝土材料耐久性提升关键技术与应用

二、项目简介：

项目属土木建筑工程领域。

城市轨道交通工程对于提高城市运力、缓解城市交通拥堵压力、促进城市经济建设与文明进步具有重要意义，而保障其运营安全与服役寿命的核心是结构材料混凝土自身的耐久性。与普通轨道交通工程相比，沿海地区轨道工程所处地质环境复杂，地下水位高、水压大、氯离子浓度高，对混凝土材料的耐久性要求更为严苛。

轨道交通工程结构形式主要包括地下行车区间、隧道管片结构和地下车站结构，不同结构形式混凝土工程面临的耐久性问题不同：地下行车区间混凝土受到杂散电流与氯离子共同侵蚀作用；高强管片混凝土在制备过程中常面临蒸汽养护引起的结构热损伤问题；地下车站属超长复杂不设变形缝的大体积混凝土结构，抗裂性能要求高。

针对沿海地区轨道交通工程混凝土服役环境与不同结构形式，以提高混凝土耐久性和服役寿命为目标，开展耐久性提升技术开发，取得关键技术突破，主要技术成果包括：

1：探明杂散电流与氯离子共存环境下钢筋混凝土的劣化特征，建立杂散电流存在下氯离子的迁移方程，开发形成抗氯离子与杂散电流共同作用的高耐久性混凝土设计与制备体系，指导沿海地区复杂环境下混凝土材料的耐久性设计。

2：提出了蒸养混凝土微结构热损伤修复技术，调控胶凝组分水化进程及水化产物凝胶特性，解决管片混凝土水灰比低、难以发挥辅助胶凝材料二次水化填充均化效应的技术难题，修复管片混凝土受损微结构，提高混凝土耐久性。考虑蒸汽养护条件修正了氯离子侵蚀作用下混凝土使用寿命的评价模型，建立了蒸养管片混凝土寿命预测模型。

3：考虑施工、使用不同阶段混凝土结构的受力特点，对建成后和建设中的长大混凝土结构进行抗裂计算和评估，提出混凝土防裂设计优化措施；在仿真计算的基础上考虑由水化热引起的温度应力影响，提出了不同结构、特殊季节条件下车站大体积混凝土的温度裂缝控制标准和控制措施，形成了长大车站高抗裂混凝土的配比和施工技术。

本项目形成了完整的自主知识产权体系，获 8 项授权国家发明专利，企业技术标准 1 项，发表学术论文 60 篇，其中 SCI 收录 11 篇，EI 收录 17 篇。成果已在宁波轨道交通工程 1、2、3、4 号线应用。本项目已取得直接经济效益 13740 万元和显著的社会效益，有力支撑轨道交通工程混凝土 100 年的使用寿命目标，对沿海地区轨道交通工程混凝土建设具有重要的示范与引领作用。

三、第三方评价：

1.技术成果鉴定

中国建筑材料联合会于 2013 年 11 月 27 日组织专家鉴定。鉴定结论：1.研究了杂散电流与氯离子共同作用下混凝土的劣化机理，制备出该侵蚀条件下的高耐久性混凝土。2. 研究了蒸汽养护条件下复合胶凝材料的水化微结构，制备出具有高抗渗、高抗裂、体积稳定性优良的管片混凝土。3. 通过计算机仿真，开发了车站不同结构大体积混凝土的控裂关键技术。4. 考虑蒸汽养护影响，修正了氯离子侵蚀下混凝土使用寿命的评价模型，并对轨道交通工程管片混凝土进行寿命预测。该成果经济效益显著，具有示范和指导作用，整体达到国际先进水平。

2.检测报告

管片混凝土常规性能检测：宁波甬诚建设检测研究有限公司检测宁波轨道交通管片混凝土，其抗压强度、坍落度、水溶性氯离子含量、表观密度、总碱量、56d 氯离子电通量及氯离子含量均满足标准或规定的各项要求。

管片混凝土耐久性能检测：武汉港湾工程质量检测有限公司检测宁波轨道交通管片混凝土，其 28d 收缩率为 235×10^{-6} ，84d 氯离子扩散系数为 $0.8 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ ，28d 碳化深度为 1.6mm，抗冻等级大于 F300，开裂温度为 4.1°C 。

3.科技查新报告

科技查新报告主要结论如下：（1）制备出能够抵抗高氯盐侵蚀及杂散电流共同作用的管片混凝土，其 28d 碳化深度小于 2mm，开裂温度小于 5°C ，其 Cl 离子扩散系数小等于 $1.0 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ ，抗冻等级大等于 F300，28d 收缩率小等于 250×10^{-6} ；（2）复杂约束条件下轨道交通工程高性能混凝土制备与应用技术；（3）复杂因素下工程结构高性能混凝土的有限元计算；（4）多条件耦合因素轨道交通下混凝土使用寿命预测。经综合对比分析，未见与委托方查新点相同的轨道交通混凝土材料耐久性关键技术与应用报道。

4.他人学术评价

重庆大学杨长辉教授对本技术创新内容中“杂散电流影响下氯离子向混凝土内部的传输特征”给予正面引用。认为“……系统研究了钢筋混凝土在杂散电流与氯离子共存环境下的劣化机理”。

Advances in Cement Research 主编 Black Leon 对本技术创新内容中“Cl-在混凝土渗透过程的模拟”给予正面评价，认为“Geng 等在考虑渗透压因素后，提出了一种更为准确的模型用以评价在电化学作用下 Cl-在不饱和混凝土中的迁移扩散”。973 首席科学家，原香港科技大学李宗津教授也对该迁移扩散过程给予正面引用。

中南大学谢永钧教授对技术创新内容中“蒸养制度对混凝土结构的劣化影响”给予正面引用，国家杰出青年基金获得者刘加平教授、清华大学孔祥明副研究员对本技术创新内容中的内养护技术对混凝土微观结构与性能的影响规律给予正面引用。

四、直接经济效益、推广应用情况和社会效益

1. 完成单位该项目近三年直接经济效益（单位：万元）

单位名称	2014 年			2015 年			2016 年		
	销售收入	税收	利润	销售收入	税收	利润	销售收入	税收	利润
宁波市轨道交通工程建设指挥部	0	587	2349	0	593	2373	0	340	1360
武汉理工大学	0	0	0	0	0	0	0	0	0
中交武汉港湾工程设计研究院有限公司	0	0	0	0	0	0	0	0	0
浙江大学宁波理工学院	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合 计	0	587	2349	0	593	2373	0	340	1360

2. 非完成单位应用本项目技术情况

应用单位名称	起止 时间	单位联系人 电话	推广应用量(情况)			销售收入(万元)			税收(万元)		
			2014年	2015年	2016年	2014年	2015年	2016年	2014年	2015年	2016年
宁波天和永大地铁 管片有限公司	2011 至2017	朱征欣 15270924116	0	321	3615	0	401	4519	0	100	1130
浙江广天构件 股份有限公司	2011 至2017	陈诚 13567904699	0	840	6115	2356	4888	12508	589	1222	3127
中淳高科桩业股份 有限公司	2011 至2017	戴慧君 13857855028	989	0	6420	1236	0	8205	309	0	2051
宁波金鑫 商品混凝土有限公司	2010 至2017	童海斌 18957485859	6.6	11.6	14.9	2508	4408	5662	627	1102	1416
宁波圣华水泥制品 有限公司	2010 至2017	方成 13777116960	3.6	6.3	8.1	1368	2394	3078	342	599	770
宁波建设 预拌混凝土有限公司	2010 至2017	周夏平 13566016498	3.3	5.8	7.4	1254	2204	2812	314	551	703
合 计:			18367.6			59801			14952		

3. 社会效益和间接经济效益

本项目形成系统完整的知识产权，突破沿海地区轨道交通工程混凝土耐久性技术难题，直接为宁波轨道交通工程建设提供理论和技术支撑，并将在后续宁波轨道交通工程中继续广泛应用，有利支撑了宁波市轨道交通工程的高标准建设，更对沿海地区轨道交通工程建设提供示范引领作用。

项目首次提出的杂散电流影响下氯离子引发钢筋锈蚀极限浓度值的表征方法、粗集料整形设计理念、管片混凝土热损伤修复技术等设计理念与技术，丰富了混凝土材料的科学理论，对高耐久性轨道交通工程混凝土设计与技术开发起到了很好的行业示范效果与带动作用。

应用本项目成果的先期建设工程各结构部位均无开裂、渗透等耐久性问题，尚未进行过主体混凝土结构的维修工作，大幅降低工程建设成本和后期维修费用，取得良好的社会反响。同时本成果技术的开发过程中，形成良好的产学研合作攻关体系，培养出一批优秀的相关技术人才，推动沿海地区轨道交通工程建设技术进步。

五、主要完成人员情况:

排名	姓名	职称、职务	现从事专业	工作单位	二级单位	完成单位	对本项目技术创造性贡献
1	朱瑶宏	教授级高工、 总工程师	桥梁与隧道工程	宁波市轨道交通 工程建设指 挥部	无	宁波市轨道交 通工程建设指 挥部	项目负责人，提出总体思路、技术路线、研究和开发方案，参与技术开发和技术推广应用等工作。对创新点 1 中探明杂散电流与 Cl ⁻ 耦合作用下混凝土劣化机理，提出基于集料粒型设计混凝土密实结构设计方法以及基于聚合物乳液的抗 Cl ⁻ 与杂散电流侵蚀的高耐久性混凝土设计与制备方法；创新点 2 中探明蒸养混凝土结构劣化损伤机制做出突出贡献。上述两项技术研发工作占本人工作总量的 70% 以上。旁证材料：发表论文 6 篇、发明专利 1 项、企业技术标准 1 项。
2	王发洲	教授(二级)、 院长/主任	水泥基材料	武汉理工大学	材料科学 与工程学院	武汉理工大学	主要技术研究负责人。主持项目相关理论与技术开发方案的设计与制定。对创新点 1 探明杂散电流作用下 Cl ⁻ 的内部迁移过程，提出基于功能集料的混凝土密实结构设计以及基于聚合物乳液的高耐久性混凝土设计制备方法做出重要贡献；对提出创新点 2 中蒸养混凝土结构热损伤修复技术思路，开发蒸养制度及胶凝浆体耦合作用下功能集料释水行为控制技术做出突出贡献。上述两项技术研发工作占本人工作总量的 60% 以上。旁证材料：发表论文 18 篇（SCI 论文 9 篇）、发明专利 4 项。

3	叶俊能	教授级高工、 总师办副主任	土木工程	宁波市轨道交通 工程建设指 挥部	无	宁波市轨道交 通工程建设指 挥部	主要技术开发负责人。对项目技术思路设计提出指导性意见。对对创新点2中高耐久管片混凝土的制备、创新点3中长大岛式车站混凝土防裂技术开发做出突出贡献。上述两项技术研发工作占本人工作总量的60%以上。旁证材料：发表论文2篇、发明专利1项、企业技术标准1项。
4	秦明强	高级工程师	土木工程	中交武汉港湾 工程设计研究 院有限公司	无	中交武汉港湾 工程设计研究 院有限公司	主要技术骨干。对创新点2中高耐久管片混凝土的制备、创新点3中长大混凝土结构抗裂设计与验算，长大车站混凝土防裂技术开发有重要贡献。上述研发工作占本人工作总量的50%以上。旁证材料：发表论文13篇、发明专利1项、企业技术标准1项。
5	邹玉生	高级工程师	土木工程	宁波市轨道交 通工程建设指 挥部	无	宁波市轨道交 通工程建设指 挥部	主要技术骨干，对创新点1中杂散电流对氯离子在混凝土内部迁移过程的影响以及创新点3中混凝土结构温度裂缝控制技术有重要贡献。上述研发工作占本人工作总量的50%以上。旁证材料：发表论文3篇、企业技术标准1项。
6	耿健	副教授	无机非金属材料	浙江大学宁波 理工学院	土木建筑工程学 院	浙江大学宁波 理工学院	主要技术骨干，对创新点1中探明杂散电流与Cl ⁻ 耦合作用下混凝土劣化机理及混凝土高阻抗设计方法的提出有重要贡献。上述研发工作占本人工作总量的50%以上。旁证材料：发表论文25篇、发明专利1项。

7	屠柳青	教授级高工	土木工程	中交武汉港湾 工程设计研究 院有限公司	无	中交武汉港湾 工程设计研究 院有限公司	主要技术骨干。对创新点 1 中高耐久混凝土材料的设计与制备, 创新点 2 中高耐久管片混凝土的制备有突出贡献。上述研发工作占本人工作总量的 50% 以上。旁证材料: 发表论文 2 篇、发明专利 2 项、企业技术标准 1 项。
8	汤继新	高级工程师	土木工程	宁波市轨道交 通工程建设指 挥部	无	宁波市轨道交 通工程建设指 挥部	主要技术骨干。对创新点 2 中高耐久管片混凝土的制备、创新点 3 中长大混凝土结构抗裂设计与验算, 长大车站混凝土防裂技术开发有重要贡献。上述研发工作占本人工作总量的 50% 以上。旁证材料: 企业技术标准 1 项。
9	刘云鹏	副研究员	无机非金属材料	武汉理工大学	材料科学 与工程学院	武汉理工大学	主要技术骨干, 对创新点 2 中基于内养护原理的蒸养混凝土微结构热损伤修复技术开发有重要贡献。上述研发工作占本人工作总量的 50% 以上。旁证材料: 发表论文 1 篇。

六、完成人合作关系说明

《沿海地区轨道交通工程混凝土材料耐久性提升关键技术与应用》项目由宁波轨道交通工程建设指挥部、武汉理工大学、中交港湾工程设计研究院有限公司、浙江大学宁波理工学院共同完成。宁波轨道交通工程建设指挥部负责总体组织、总体筹划、组织实施、推广应用，武汉理工大学和浙江大学宁波理工学院负责理论研究、室内试验，中交港湾工程设计研究院有限公司负责现场实施、现场试验、技术咨询服务。从2008年10月至2013年11月，先后开展了地下超长复杂结构防裂设计与施工方案研究、宁波市轨道交通1号线一期工程混凝土性能研究、宁波轨道交通混凝土材料耐久性关键技术研究等多个项目的合作研究。

合作单位	合作项目名称	起止时间
宁波市轨道交通工程建设指挥部、 中交武汉港湾工程设计研究院有限公司、 武汉理工大学	地下超长复杂结构防裂设计与施工方案研究	2008.10-2009.12
宁波市轨道交通工程建设指挥部、 中交武汉港湾工程设计研究院有限公司	宁波市轨道交通1号线一期工程混凝土性能研究	2009.02-2013.06
宁波市轨道交通工程建设指挥部、 武汉理工大学、 中交武汉港湾工程设计研究院有限公司、 浙江大学宁波理工学院	宁波轨道交通混凝土材料耐久性关键技术研究	2010.07-2013.11

七、主要完成单位情况：

排名	单位名称	对本项目科技创新和推广应用支撑作用情况
1	宁波市轨道交通工程建设指挥部	主持项目工程技术研究和应用推广工作，是项目主要成果的第一完成单位。主要工作包括：1) 开展基于密实结构设计的混凝土设计制备技术研发；2) 开展高抗 CI 侵蚀混凝土耐久性设计与制备；3) 蒸养制度对蒸养混凝土结构损伤影响以及匹配蒸养制度设计；4) 组织技术成果的鉴定、中试与应用工作；5) 编制《宁波轨道交通工程混凝土施工技术规程》。对创新点 (1)、(2)、(3) 有重要贡献。
2	武汉理工大学	负责项目工程理论研究和技术开发工作，在项目实施过程中，为项目工程理论研究提供了高水平学科研究平台与关键技术支持，为项目成果的大规模应用提供人员、咨询、测试等方面服务，主要工作包括：1) 杂散电流与 CI 耦合作用下混凝土的劣化与耐久性设计；2) 基于功能集料与聚合物乳液的致密、耐久混凝土设计与制备；3) 蒸养混凝土结构热损伤修复技术研发。对创新点 (1)、(2) 有重要贡献。
3	中交武汉港湾工程设计研究院有限公司	在研究大纲制定、调研、室内试验以及现场推广应用做了大量工作，主要包括：1) 车站混凝土配制技术研究；2) 管片混凝土制备技术，蒸养制度、振捣、水养等施工工艺研究；3) 轨道交通混凝土防裂技术研究；4) 轨道交通混凝土使用寿命预测；5) 编制《宁波轨道交通工程混凝土施工技术规程》。对创新点 (2) (3) 有重要贡献。
4	浙江大学宁波理工学院	在项目实施过程中，为项目的基础理论研究做出了重要的贡献，主要工作包括：1) 杂散电流与 CI 耦合作用下混凝土的劣化与耐久性设计；2) 基于聚合物乳液的高阻抗混凝土设计方法与技术开发，对创新点 (1) 有重要贡献。

八、推荐单位意见

该项目形成沿海地区轨道交通工程混凝土耐久性关键技术，授权发明专利 8 项，企业技术标准 1 项，学术论文 60 篇，其中 SCI 收录 11 篇，EI 收录 17 篇。成果已在宁波轨道交通工程 1、2、3、4 号线应用，具有显著的社会效益，产生直接经济效益 13740 万元。

同意推荐浙江省科技进步二等奖评选。

九、知识产权证明目录（授权发明专利、植物新品种、软件著作权等）

知识产权类别	知识产权具体名称	国家 (地区)	授权号	授权日期	权利人	发明人(培育人)
发明专利	一种连续表征水泥石密实度的测试方法	中国	ZL201310268036.3	2016-02-03	武汉理工大学	王发洲 朱瑶宏 丁路静 叶俊能 胡曙光 吴静 杨进 丁庆军
发明专利	可区分测定混凝土内部化学结合和物理吸附氯离子的方法	中国	ZL200810047807.5	2011-06-08	武汉理工大学	胡曙光 丁庆军 耿健 吴雄 丁华涛
发明专利	有机复合型钢筋混凝土阻锈剂及其制备方法	中国	ZL201110266609.X	2013-09-11	中交武汉港湾工程设计研究院有限公司、中交第二航务工程局有限公司	张鸿 李遵云 杨林 屠柳青 雷宇芳
发明专利	一种基于内模的混凝土孔结构设计与调控方法	中国	ZL201310276868.X	2016-01-13	武汉理工大学	王发洲 杨进 吴静 程华 李新平 胡曙光 李明 赵都
发明专利	一种吸水膨胀树脂集料混凝土及其制备方法	中国	ZL201310276977.1	2015-12-23	武汉理工大学	王发洲 杨进 吴静 程华 李新平 胡曙光 李明 赵都
发明专利	一种偏高岭土免蒸养耐久混凝土及管片施工方法	中国	ZL201410174076.6	2016-08-24	中交武汉港湾工程设计研究院有限公司、中交第二航务工程局有限公司	张鸿 屠柳青 秦明强 占文 徐文冰 刘松 李进辉 李遵云 叶志坤

					司	
发明专利	一种轻集料混凝土均质性的测试方法	中国	ZL200710053100.0	2010-11-24	武汉理工大学	丁庆军 胡曙光 王发洲 邹定华 王涛 何永佳
发明专利	建筑淤土免烧陶粒及其制备方法	中国	ZL201210098185.5	2013-09-04	浙江大学宁波理工学院	耿健 柯鸿阳 梁鹏炯 罗江 郎晓明 朱哲楠

十、主要论文、专著目录

作者	论文专著名称/刊名	年卷期 页码	发表时间	SCI 他 引次数	他引 总次数
Wang FZ, Yang J et al	Influence of superabsorbent polymers on the surrounding cement paste/Cement and Concrete Research	2016 年 81 卷 112-121 页	2016-0 3-01	2	4
Shuai Nie, Shuguang Hu, Fazhou Wang, et al	Internal curing – A suitable method for improving the performance of heat-cured concrete	2016 年 122 卷 294-301 页	2016-0 9-30	0	0
Wang FZ, Zhou YF et al	Autogenous Shrinkage of Concrete with Super-Absorbent Polymer/ ACI Materials Journal	2009 年 106 卷 123-127 页	2009-0 3-01	13	17
朱瑶宏, 邹玉生, 耿健, 王发洲	杂散电流对氯离子在混凝土内部迁移过程的影响/武汉理工大学学报	2012 年 34 卷 32-36 页	2012-0 7-01	0	4
叶俊能, 杨亚勤, 徐文冰, 秦明强, 占文	管片用 C50 机制砂混凝土配合比设计及性能研究/施工技术	2013 年 42 卷 62-65 页	2013-0 9-25	0	2
GENG J, Easterbrook D, et al	Effect of carbonation on release of bound chlorides in chloride contaminated concrete/ Magazine of Concrete Research	2016 年 68 卷 353-363 页	2016-0 4-01	2	2
Geng J, Wang Y, et al	Modelling of chloride penetration in unsaturated concrete/ Advances in Cement Research	2016 年 28 卷 51-61 页	2016-0 6-01	1	1
Wang FZ, Yang J et al	Study on the Mechanism of Desorption Behavior of Saturated Superabsorbent Polymers in Concrete/ ACI Materials Journal	2015 年 112 卷 463-469 页	2015-0 5-01	2	3
Geng Jian, Sun Jiaying et al	Characteristics of the carbonation resistance of recycled fine aggregate concrete/ Construction and Building Materials	2013 年 49 卷 814-820 页	2013-1 2-01	5	6
Hu SG, Yang TT, Wang FZ et al	Influence of mineralogical composition on the properties of lightweight aggregate/ Cement and Concrete Composites	2010 年 32 卷 15-18 页	2010-0 1-01	2	5

十一、知情同意证明

知情同意报奖证明

项目名称		沿海地区轨道交通工程混凝土材料耐久性提升关键技术与应用		
专利名称:				
序号	发明专利项目名称	授权日期	授权号或申请号	第一发明人
1	可区分测定混凝土内部化学结合和物理吸附氯离子的方法	2011-06-08	ZL200810047807.5	胡曙光
2	一种轻集料混凝土均质性的测试方法	2010-11-24	ZL200710053100.0	丁庆军
论文名称:				
序号	论文题目	发表时间	刊物名称	第一作者
1	Internal curing – A suitable method for improving the performance of heat-cured concrete	2016年9月30日	Construction and Building Materials	Shuai Nie (聂帅)
2	Influence of mineralogical composition on the properties of lightweight aggregate	2010年1月	Cement and Concrete Composites	Hu Shuguang(胡曙光)
知情承诺:				
本人(单位)知晓并同意该专利/论文为申报浙江省科技进步奖的支撑材料,且为本项目独有。项目获奖后,该专利/论文将不得作为今后申报浙江省科技进步奖支撑材料。				
第一发明人/第一作者签字:				
				
专利权人/第一作者单位盖章:				
<p>武汉理工大学</p> <p>2017年3月27日</p> 				

知情同意报奖证明

项目名称	沿海地区轨道交通工程混凝土材料耐久性 提升关键技术与应用			
专利名称:				
序号	发明专利项目名称	授权日期	授权号或申请号	第一发明人
1	一种偏高岭土免蒸养耐久混凝土及管片施工方法	2016-08-24	ZL201410174076.6	张鸿
2	有机复合型钢筋混凝土阻锈剂及其制备方法	2013-09-11	ZL201110266609.X	张鸿
3				
4				
论文名称:				
序号	论文题目	发表时间	刊物名称	第一作者
1	/			
2				
3				
4				
知情承诺:				
<p style="text-align: center;">本人(单位)知晓并同意该专利/论文为申报浙江省科技进步奖的支撑材料,且为本项目独有。项目获奖后,该专利/论文将不得作为今后申报浙江省科技进步奖支撑材料。</p>				
第一发明人/第一作者签字: 				
专利权人/第一作者单位盖章: <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 10px;">   </div>				