

2025 年度甘肃省科学技术奖公示材料

项目名称：西北干寒强腐蚀大温差环境下混凝土性能保障关键技术及应用

申报奖种：甘肃省科技进步奖

项目简介：

（一）主要技术内容

项目所属于土木建筑工程领域。

针对西北干寒强腐蚀大温差环境下混凝土结构性能劣化和耐久性不足等关键问题，开展混凝土损伤劣化机理、性能提升对策、耐久性能保障等研究，取得关键技术突破。研发西北干寒强腐蚀大温差环境下混凝土服役性能保障新材料，提出混凝土结构新型养护技术；针对负温环境下混凝土性能的劣化演变，进行入模温度和引气剂对混凝土抗压强度、抗氯离子渗透性能及微观孔隙结构影响的研究，得出了等强度持续负温下混凝土性能劣化演变规律；通过研究不同因素下混凝土硫酸盐侵蚀性能劣化和离子传输扩散规律，得到了腐蚀介质扩散系数预测模型；基于颗粒形状对水泥基复合材料微结构及传输性能影响数值建模分析，提出了环境、材料等多因素下基于介质传输的寿命预测模型；形成了适用于复杂恶劣环境下混凝土劣化机理-材料设计-性能评价-工程应用的成套技术体系。

（二）主要技术创新点

1、进行了以“基体减缩增韧、裂缝防治”的干旱大温差下混凝土抗裂技术长期性能研究，攻克了干旱大温差下混凝土制备、养护、防开裂等关键技术难题，揭示了配合比对水化产物组成的影响机理，提出了混凝土开裂预防综合控制技术。

2、探明了以“材料温升调控、强度保增”的低负温下混凝土性能演变规律，揭示了低负温下混凝土性能发展微观结构和宏观行为关系及劣化破坏内在机制，构建了持续低负温下混凝土强度保障成套技术。

3、得到了以“内密实外防护、阻抗腐蚀”的孔隙形状、尺寸分布对腐蚀离子非稳态非齐次扩散影响的规律，获得了集料形状分布及体积分数对混凝土渗透行为的影响规律，建立了基于介质传输的腐蚀损伤极限状态评定方法与寿命预测模型。

4、基于真实环境的大型野外暴露场试验研究，得出了干寒强腐蚀大温差复杂恶劣环境下多因素耦合互馈影响的混凝土性能调控与保障措施，形成了复杂恶劣环境下混凝土劣化机理-材料设计-性能评价-工程应用的成套技术理论体系。

（三）知识产权

项目获专利32项，其中发明专利9项；发表学术论文60篇，其中SCI/EI收录32篇；参编国家/地方/行业规范5项，获批工法8部；

（四）经济效益及社会效益

项目形成的新技术、新材料、新方法等成果成功应用于兰新高铁、兰张三四线铁路、宝兰高速铁路、中川城际铁路、敦当高速、白明高速、武九高速、马坞西寨高速公路、格库铁路、和若铁路等西北重大工程项目，产生利润达1.14亿元，为西北地区重大基础设施建设提供了技术支撑，促进了区域经济的发展，取得了显著的社会经济效益。

主要完成单位及创新推广贡献：

1.兰州交通大学（排名第一）

在创新点1、2、3、4上做出了贡献，深入研究了西北地区复杂恶劣环境对混凝土性能的影响机制，揭示了西北干寒强腐蚀大温差环境下混凝土的微观结构演变规律，为性能调控提供了理论基础。通过优化混凝土配合比，显著提升了混凝土的抗裂、抗冻和抗腐蚀性能；研发了保温保湿养护技术，有效解决了混凝土施工过程中的早期开裂问题，保障了施工质量。

2.甘肃省公路航空旅游投资集团有限公司（排名第二）

在创新点1、4上做出了贡献，在项目中开展混凝土抗裂、抗冻、抗腐蚀性能优化研究，助力研发新型外加剂及配合比方案，提升混凝土耐久性；项目研究成果通过多条高速公路建设推广应用，推动了甘肃及西北地区交通事业发展。

3.中铁二十一局集团有限公司（排名第三）

在创新点1、4上做出了贡献，开展了西北干寒强腐蚀大温差环境下桥梁、隧道等混凝土适应性施工技术攻关，自主研发了配套的工厂化制造、模块化运输、高效化架设及精准化连接等成套建造技术，实现了复杂恶劣环境混凝土工程建造技术突破；作为本项目的核心承担单位和工程应用主体，依托其在西北地区公路、铁路工程建设经验和技術实力，在工程化应用、规模化推广及长期服役性能验证与提升方面发挥了重要作用。

4.中国科学院海洋研究所（排名第四）

在项目创新点1、3上做出了贡献，通过对混凝土在复杂恶劣环境下的微观结构演变分析，揭示了盐类结晶、冻融循环以及化学侵蚀等多因素作用下的腐蚀路径与关键影响因素，为腐蚀防护提供了理论依据；研发出具有抗腐蚀功能的防护涂层，能够有效阻隔有害物质侵入混凝土内部，保障混凝土使用寿命；提出了一种基于纳米材料的混凝土制备技术，从微观层面改善混凝土的抗腐蚀性能。技术创新成果在多项重点工程中得到应用，显著提升了混凝土结构耐久性，降低了维护成本，为解决西北地区混凝土腐蚀难题提供了有力技术支撑。

5.东南大学（排名第五）

在项目创新点1、3上做出了贡献，建立了标准状态下（25℃，0.1MPa）水泥的热力学数据库，获得了各水化产物存在的离子浓度和pH值边界条件，揭示了配合比对水化产物组成的影响机理，为磷酸镁水泥配合比设计提供了热力学指导；结合实验数据与相关理论，揭示了集料粒径分布不影响曲折度的机理，

阐明了集料体积分数和形状分布对流体传输路径曲折度的影响规律，获得了集料形状分布及体积分数对混凝土渗透行为的影响规律，为混凝土的耐久性设计提供了指导。

6.哈尔滨工业大学（排名第六）

在创新点 1、2 上做出了创造性贡献，深入开展了混凝土性能劣化机理研究，明确了环境因素与混凝土微观结构之间的相互作用规律，为性能调控提供了坚实的理论支撑；同时，优化混凝土的配合比设计，通过引入高性能矿物掺合料和外加剂，进一步增强了混凝土的抗裂性和抗冻性，为项目实施提供了全方位的技术支持。

7.甘肃省交通规划勘察设计院股份有限公司（排名第七）

在创新点 1、4 做出了贡献，在成果实际应用过程中，该公司将研究成果应用于多项工程，研发出多功能混凝土防护涂料，显著降低冻融循环对混凝土结构的破坏作用，显著提升了混凝土施工质量。

推广应用情况：

甘肃省公路航空旅游投资集团有限公司、中铁二十一局集团有限公司、甘肃省交通规划勘察设计院股份有限公司等在西北地区承建的青藏铁路、兰新高铁、兰张三四线铁路、宝兰高速铁路、中川城际铁路、敦当高速、白明高速、武九高速、马坞西寨高速公路、格库铁路、和若铁路等多个重大工程建设中应用，提高工程施工质量和服役期耐久性能，取得了良好的经济和社会效益。为甘肃重大交通设施高质量建设及长期安全运营提供了有力技术保障。

主要知识产权证明目录：

知识产权类别	知识产权名称	授权或申请号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
发明专利	一种氧化聚合型防腐方法	ZL201210517996.4	2013-09-10	1480897	侯保荣；青岛海蓝日东材料科技有限公司	侯保荣；小菅雅彦
发明专利	蒸汽养护法制备表面疏水疏丙三醇水泥石材料的方法	ZL201610885284.6	2019-04-09	3325765	哈尔滨工业大学	刘睿；肖会刚
发明专利	竖向预应力压浆装置及设备	ZL201811027710.8	2021-05-18	4434278	中铁二十一局集团有限公司	常小平；李文波；何向东； 杜逢春；陈晨
发明专利	编束装置	ZL202010197656.2	2021-12-10	4842208	中铁大桥局集团有限公司；甘肃 肃长达路业有限责任公司	张付军；陈维；李鹏；赵伟 平；倾涛；李宁；王蔚；王 凯
发明专利	一种可原位实时调控缝隙尺寸的缝 隙腐蚀实验装置及方法	ZL202010255203.0	2021-06-15	4486165	中国科学院海洋研究所；青岛 海洋科学与技术国家实验室发 展中心；重庆交通大学	徐玮辰；邓羽；张杰；李言 涛；王正泉；孙丛涛；杨黎 晖；麻福斌
发明专利	利用疏水硅胶材料制备表面疏水水 泥石材料的方法	ZL201610885287.X	2019-03-01	3271731	哈尔滨工业大学	肖会刚；刘睿
发明专利	一种模拟核废液存储罐气液界面腐 蚀的测试装置及方法	ZL201811173788.0	2021-07-09	4538166	中国科学院海洋研究所；青岛 海洋科学与技术国家实验室发 展中心	徐玮辰；杨黎晖；张斌斌； 李田田；李言涛；侯保荣； 段继周
发明专利	一种评估并量化点蚀坑内部腐蚀产 物对点蚀生长速率影响的方法	ZL201710001000.7	2019-01-22	3226094	中国科学院海洋研究所	徐玮辰；于菲；李言涛；侯 保荣
发明专利	一种多功能混凝土防护膏体及其制 备方法	ZL202211589784.7	2023-04-07	5865418	甘肃省交通规划勘察设计院股 份有限公司	苏凯；王晖；陈鹏；魏定邦； 孙强盛
标准规程和工法	高架大截面预应力框架梁施工工法	GJGF10-03	2010-12-01	GJGF10-03	中铁二十一局集团第二工程有 限公司	申智栋；高志明；朱冠生； 武兴刚；李文波
标准规程和工法	液压墙锯配合破碎锤拆除隧道一衬 钢筋混凝土施工工法	GGG(甘)D2002-2015	2015-12-31	GGG(甘)D2002 -2015	甘肃路桥建设集团有限公司	高新民；张伟利；姜红；陈 万明；乔叶伟
标准规程和工法	自行式扇形台架定位液压钻机施做 小导管注浆加固隧道围岩施工工法	GGG(甘)D1170-2014	2015-01-27	GGG(甘)D1170 -2014	甘肃路桥建设集团有限公司； 甘肃五环公路工程有限公司	高新民；张剑；姜红；杜晓 伟；魏玲霞

标准规程和工法	隧道仰拱预留钢筋精确定位施工工法	甘建质（2020）16 号	2020-01-16	GSSJGF006-2018	甘肃路桥建设集团有限公司	高新民；杨树鹏；杨映军；赵科虎；王鹏伟
标准规程和工法	后张法预应力管道真空辅助压浆施工工法	GJGF13-20	2014-04-30	GJGF13-20	甘肃路桥建设集团有限公司	祁建福；王晓琰；何龙魁；高新民；高玉芝
实用新型专利	一种用于混凝土自修复的 3D 打印的内置管	ZL202220591899.9	2022-09-20	17440270	兰州交通大学	张戎令；马丽娜；王起才；林梦凯；张昂；黎并宇；刘树红；赵雪胜；张学鹏；肖鹏震；段亚伟；窦晓崢；熊泽宇；徐镭
实用新型专利	一种梁柱节点拟静力试验柱支座装置	ZL202320343702.4	2023-07-07	19294797	兰州交通大学；中国铁路建设管理有限公司	张戎令；杨斌；安康乐；廖利；吴力那；徐红星；马丽娜；韩高孝；孙维宇；刘学广；刘宏宇；石磊；李亚然
实用新型专利	一种土体毛细水抬升规律测试装置	ZL202120163030.X	2021-10-08	14324638	甘肃长达路业有限责任公司；西安理工大学甘肃省交通科学研究院集团有限公司	张付军；董学勤；李继存；胡俊
实用新型专利	墩身包裹耐候钢箍紧装置	ZL202021262160.0	2021-03-23	12743105	中铁二十一局集团第一工程有限公司	于洋；张志勇；王立博；袁宪灿；胡俊年；李启成；段江伟王保军；王磊；徐镭；陈国强；任云东；王守西；王阳光
实用新型专利	移动式混凝土预制装置	Z202021265068.X	2021-03-23	12748031	中铁二十一局集团第一工程有限公司	于洋；张志勇；王立博；袁宪灿；胡俊年；李启成；段江伟王磊；徐镭；陈国强；任云东；杨辉；王阳光；石小清；南文涛
实用新型专利	一种钢管混凝土拱桥换索装置	ZL 2020 2 1085222.5	2020-01-01	12262152	兰州交通大学	马驰；毛亚娜；刘世忠；王波；张瑞杰；董长军；王文哲；徐浩

主要论文专著目录:

论文专著名称	刊名	年卷页码 (xx 年 xx 卷 xx 页)	发表时间	全部作者	他引总次数
Thermodynamic modeling of magnesium ammonium phosphate cement and stability of its hydration products	Cement and Concrete Research	2020 年 138 卷 106223 页	2020-10	韩唯伟; 陈惠苏; 李翔宇; 张涛	64
Hydration behavior of magnesium potassium phosphate cement and stability analysis of its hydration products through thermodynamic modeling	Cement and Concrete Research	2017 年 98 卷 101-110 页	2017-08	张涛; 陈惠苏; 李翔宇; 朱志刚	114
Technology and method for applying biochar in building materials to evidently improve the carbon capture ability	Journal of Cleaner Production	2020 年 273 卷 123154 页	2020-11	刘睿; 肖会刚; 管申; 张俊慧; 姚达	44
Effect of nano-CaCO ₃ and nano-SiO ₂ on improving the properties of carbon fibre-reinforced concrete and their pore-structure models	Construction and Building Materials	2020 年 244 卷 118297 页	2020-05	刘睿; 肖会刚; 耿继双; 杜俊杰; 刘敏	57
Research on the effect of steam curing temperature and duration on the strength of manufactured sand concrete and strength estimation model considering thermal damage	Construction and Building Materials	2022 年 315 卷 125531 页	2022-01	段运; 王起才; 杨子江; 崔晓宁; 刘飞; 陈海	53
Effect of carbon fiber on properties of concrete with different W/C and its air-entraining models	Structural Concrete	2021 年 22 卷 376-395 页	2021-02	刘睿; 肖会刚; 刘敏; 李亚钊; 耿继双	9
Crevice corrosion of U75V high-speed rail steel with varying crevice gap size by in-situ monitoring	Journal of Materials Research and Technology	2022 年 16 卷 1856-1874 页	2022-1~2	徐玮辰; 邓羽; 张斌斌; 张杰; 彭中波; 侯保荣; 段继周	27
Permeability of granular media considering the effect of grain composition on tortuosity	International Journal of Engineering Science	2022 年 174 卷 103658 页	2022-04	李明祺; 陈惠苏; 李翔宇; 刘琳; 林建军	25

Mechanically-assisted crevice corrosion and its effect on materials degradation	Corrosion Communications	2023 年 11 卷 23-32 页	2023-09	徐玮辰; 张斌斌; Owen Addison; 王秀通; 侯保荣; 于菲	15
Research on Concrete Strength Growth and Micromechanism under Negative Temperature Curing Based on Equal Strength Theory	ASCE	2021 年 33 卷 04021265 页	2021-10	张戎令; 龙朝飞; 马丽娜; 郭海贞; 熊泽宇; 徐镭	7
Influence mechanisms under different immersion methods and different strengths of concrete in corrosive environments; and verification via long-term field test	Structural Concrete	2020 年 21 卷 1853-1864 页	2020-11	张戎令; 马丽娜; 刘鹏; 陈惠苏; 朱汉兴; 肖会刚; 熊泽宇	14
Pixel-level intelligent recognition of concrete cracks based On DRACNN	Materials Letters	2022 年 306 卷 130867 页	2021-09	崔晓宁; 王起才; 代金鹏; 李盛; 谢超; 王建强	15
Intelligent recognition of erosion damage to concrete based on improved YOLO-v3	Materials Letters	2021 年 302 卷 130363 页	2022-07	崔晓宁; 王起才; 代金鹏; 张戎令; 李盛	48
Effect of Content and Fineness of GGBS on Pore Structure of Cement Paste	Journal of Wuhan University of Technology-Mater	2022 年 37 卷 933-947 页	2022-10	代金鹏; 王起才; 张欣; 毕瑞肖; 杜文涛	4
基于 YOLO-v5 的双块式轨枕裂缝智能识别	铁道学报	2014 年 44 卷 104 页	2022-04	崔晓宁; 王起才; 李盛; 代金鹏; 梁柯鑫; 李隆甫	36
微膨胀和侧向约束共同作用下混凝土徐变性能和孔结构的关系	硅酸盐学报	2015 年 43 卷 585 页	2015-05	张戎令; 王起才; 马丽娜	7
膨胀剂和钢管侧限对混凝土徐变应变的影响	复合材料学报	2017 年 34 卷 2099 页	2017-09	张戎令; 王起才; 马丽娜; 祁璐帆; 祁强	10
低温(3℃) 养护条件下不同水灰比混凝土细观孔结构及抗氯离子渗透性试验研究	铁道科学与工程学报	2016 年 13 卷 648 页	2016-04	段运; 王起才; 张戎令; 张少华; 徐瑞鹏	17
负温环境下混凝土孔结构与强度和渗透性的关系	材料导报	2022 年 36 卷 72-77 页	2022-05	段运; 杨子江; 王起才; 张戎令; 吴朝阳; 薛彦瑾; 魏定邦	21
波纹钢腹板-钢底板组合箱梁的挠度分析	兰州交通大学学报	2022 年 41 卷 1-8+17 页	2022-08	毛亚娜; 刘世忠; 郭华; 李爱军; 秦翱翔; 贡保甲	1

主要完成人情况对项目主要贡献：

排名	姓名	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目技术创造性贡献	曾获科技奖励情况
1	张戎令	教授	兰州交通大学	兰州交通大学	主要创新点 1、2、4 上做出了创造性贡献，指导完成了混凝土在西北盐渍土低负温地区腐蚀和冻融环境下的性能发展规律及劣化破坏机理研究，研制了西北盐渍土低负温地区腐蚀和冻融环境下高性能混凝土配制成套技术，建立了混凝土在西北盐渍土地区腐蚀、低负温环境下建、管、养一体化的理论体系。对该项目研究的贡献率为 90%。	
2	侯保荣	教授	中国科学院海洋研究所	中国科学院海洋研究所	主要创新点 1、3 上做出了创造性贡献，通过创新试验方法，揭示混凝土在复杂环境下的腐蚀机理，研发氧化聚合包覆防护技术和涂层防腐技术，将现场检测结果与防护修复措施相结合，实现了现场检测结果与涂层防护修复措施的配套研究，为准确合理地采取防护修复措施提供了强大的技术和理论支持。对该项目研究的贡献率为 70%。	
3	高新民	正高级工程师	甘肃公航旅建设集团有限公司	甘肃公航旅建设集团有限公司	主要创新点 1、4 上做出了创造性贡献，在项目关键技术研究与应用中，发明了可拆卸式预制箱梁底座和隧道二衬混凝土养护一体台架，显著提高预制箱梁生产效率和隧道二衬混凝土养护质量；应用后张法预应力管道真空辅助压浆施工工法，提升压浆密实度，保障施工安全高效，为项目顺利推进和工程质量提升提供有力保障。对该项目研究的贡献率为 70%。	
4	李文波	正高级工程师	中铁二十一局集团有限公司	中铁二十一局集团有限公司	主要创新点 2、4 上做出了创造性贡献，提出了适用于西北复杂恶劣环境的混凝土材料的制备和施工工艺的创新技术，发明了混凝土养护装置及养护方法；协调组织、指导项目所研发关键技术在实际工程中推广应用。对该项目研究的贡献率为 60%。	
5	徐玮辰	副研究员	中国科学院海洋研究所	中国科学院海洋研究所	主要创新点 1、3 上做出了创造性贡献，阐明西北干寒强腐蚀大温差环境下混凝土腐蚀机理，明确硫酸盐、氯离子等腐蚀介质的耦合作用规律，为防护策略制定提供理论支撑；研发出新型复合防腐剂，其能有效抑制腐蚀介质侵入，提高混凝土抗腐蚀能力。对该项目研究的贡献率为 60%。	
6	张付军	正高级工程师	甘肃长达路业有限责任公司	甘肃长达路业有限责任公司	在项目主导关键技术研究与应用，针对西北复杂恶劣环境，发明编束装置，创新预应力筋编束工艺，提高编束效率与质量，增强混凝土结构整体性。现场精准指导装置安装与操作，优化施工流程，确保施工质量与进度，为提升混凝土工程耐久性与施工效率提供有力支撑，助力项目高效实施并发挥显著效益。对该项目研究的贡献率为 50%。	
7	陈惠苏	教授	东南大学	东南大学	主要创新点 2 上做出了创造性贡献，实现超椭圆和超椭球等具有复杂几何形貌的二维和三维粒子随机堆积体系的构建，结合粒子的几何特征提出了适用于超椭圆和超椭球的粒子间重叠检测算法；探究了孔隙几何特征、尺寸分布与两相多孔介质中孔隙结构连通性能（即临界	

					渗流阈值）之间的量化关系，建立了孔隙结构临界渗流阈值的统计表征模型；定量表征了粒子堆积体系的微结构特征；揭示了粒子形状对材料微结构和宏观传输性能的影响规律。对该项目研究的贡献率为 50%。	
8	肖会刚	教授	哈尔滨工业大学	哈尔滨工业大学	主要创新点 1、3 上做出了创造性贡献，在混凝土配合比设计中通过采取掺入矿物掺合料和使用外加剂来改善混凝土的密实度，提高干寒环境盐渍土地区混凝土的抗腐蚀性，定性和定量的分析矿物掺合料与外加剂的品种、掺量以及添加方式对干寒环境盐渍土地区混凝土抗腐蚀性改善的程度和机理；研究采用抗腐蚀胶凝材料、防腐外加剂对干寒环境盐渍土地区混凝土耐久性的改善程度；分析量化配合比对新拌混凝土各项指标的影响来优化配合比设计。对该项目研究的贡献率为 50%。	
9	毛亚娜	高级工程师	甘肃长达路业有限责任公司	甘肃长达路业有限责任公司	主要创新点 1、4 上做出了创造性贡献，项目技术指导，制定严格的施工质量控制标准，从原材料检验到施工环节全程把控，保障了西北地区混凝土工程的施工质量与耐久性。对该项目研究的贡献率为 50%。	
10	代金鹏	副研究员	兰州交通大学	兰州交通大学	主要创新点 1 上做出了创造性贡献，在混凝土水化反应水化热测试预处理方面创新；一是优化样品制备流程，通过精准控制原材料配比与拌合方式，确保测试样品均匀性与代表性；二是引入先进表征手段，实时监测水化热释放过程，结合热力学模型，精准预测混凝土早期水化反应特性，为后续性能调控提供关键依据。对该项目研究的贡献率为 50%。	
11	袁宪灿	高级工程师	中铁二十一局集团有限公司	中铁二十一局集团有限公司	主要创新点 4 做出了贡献，创新设计实用新型专利《墩身包裹耐候钢箍紧装置》，有效增强混凝土结构抗腐蚀与抗裂性能，现场实施中，精准指导装置安装与操作，保障施工质量与进度，推动技术成果转化，为提升甘肃及西北地区混凝土工程耐久性提供有力支撑，助力项目顺利完成并发挥显著效益。对该项目研究的贡献率为 30%。	
12	王立博	高级工程师	中铁二十一局集团有限公司	中铁二十一局集团有限公司	在创新点 4 做出了贡献，设计实用新型专利《墩身包裹耐候钢箍紧装置》《移动式混凝土预制装置》《一种施工模板加固配件》分别增强混凝土结构抗腐蚀与抗裂性能、提高预制效率、保障模板稳定性，现场指导安装与操作，确保施工质量与进度，推动技术成果转化，显著提升西北地区混凝土工程的耐久性与施工效率，助力项目高效实施并发挥效益。对该项目研究的贡献率为 30%。	
13	王晖	高级工程师	甘肃省交通规划勘察设计院股份有限公司	甘肃省交通规划勘察设计院股份有限公司	在创新点 4 上做出贡献，通过特定的分子设计，创新发明加固树脂，能够有效修复混凝土裂缝及受损部位，同时增强新旧混凝土的界面结合强度，保障修复后结构稳定。同时，其制备方法工艺简单、成本可控，且环境适应性强，显著提升了混凝土施工质量和结构的整体性，为西北干寒强腐蚀环境下的混凝土工程提供了高效可靠的修复与施工技术保障。对该项目研究的贡献率为 30%。	

14	崔晓宁	副教授	兰州交通大学	兰州交通大学	主要创新点 1 上做出了创造性贡献，在混凝土腐蚀性能与裂缝开展预测模型方面创新；构建多因素耦合预测模型，综合考虑西北干寒、强腐蚀及大温差等环境因素，精准预测混凝土腐蚀与裂缝发展规律；引入机器学习算法，基于大量实验数据训练模型，提升预测准确性与时效性；创新性地将材料微观结构演变与宏观性能衰退相结合，从多尺度揭示混凝土劣化机制，为防护措施制定提供有力依据，保障西北地区混凝土工程的耐久性与安全性。对该项目研究的贡献率为 30%。	
15	段运	讲师(高校)	兰州交通大学	兰州交通大学	主要创新点 1 上做出了创造性贡献，创新多尺度孔结构表征技术，结合压汞法和核磁共振技术，分析低温养护下不同水灰比混凝土孔径分布、连通性等微观孔结构特征；开发新型抗氯离子渗透性测试方法，综合电通量法与扩散系数法优势，模拟实际环境，更准确评估混凝土抗氯离子渗透性能；建立水灰比与混凝土微观孔结构及抗氯离子渗透性关联模型，为优化混凝土配合比、提升耐久性提供理论支撑。对该项目研究的贡献率为 30%。	