

浙江省交通运输科技成果推广目录申报表

一、成果概况

成果名称	沿海高速公路桥梁结构全寿命安全评估与提升技术
成果类型	<input checked="" type="radio"/> 技术 <input type="radio"/> 工艺 <input type="radio"/> 材料 <input type="radio"/> 产品
专业领域	交通运输
申报单位	浙江省交通规划设计研究院有限公司
联系人及电话	王黎明 13858110681
推广应用起止时间	2020 年 1 月 ~ 2022 年 12 月
申报单位意见	<p>我单位申请将上述成果列入《浙江省交通运输科技成果推广目录》，并承诺所有关于申请单位与成果的文件、证明、陈述均真实、准确。如有违背，我单位将承担由此产生的一切后果。</p> <p>申报单位法人代表签字： 申报单位公章：</p> <p>吴淑兴 年 月 日</p>
主管部门推荐意见	<p>市交通运输局（委）或厅管厅属单位或省级有关单位意见</p> <p>公 章： 年 月 日</p>

二、成果简介（可另附页）

<p>成果简介</p>	<p>本项目属于桥梁工程学科领域的基础应用性研究，围绕全寿命过程这条主线，在梳理现有研究成果的基础上，以设计到建、管、养全寿命的各个阶段想要解决的问题或希望完善的技术为重点开展研究，研究内容涵盖了机制砂混凝土长期力学性能、双向电迁耐久性提升技术、基于压磁效应混凝土疲劳与安全性能评估、全寿命设计指标体系及方法等领域。</p> <p>（1）在机制砂与天然砂对比研究基础上，构建了机制砂细微观模型生成方法及力学性能数值模拟方法，建立基于 CEB-FIP 90 模型的机制砂混凝土徐变系数预测方法，建立基于残余挠度和第 II 阶段总耗散能曲线的机制砂混凝土疲劳寿命预测方法。</p> <p>（2）发明了“除氯-阻锈-裂缝修补-纳米增强”双向电迁移结构寿命提升技术，将有害氯离子从混凝土中迁出，将有益的阻锈、纳米粒子迁入混凝土中，混凝土结构得到延寿补强；建立了双向电迁参数控制设计方法，突破了电化学技术在预应力混凝土结构中的应用禁锢，解决了电化学修复后混凝土性能弱化及粘结能力降低的技术难题，开发了混凝土耐久性传感器和远程监测、自动化控制系统，实现了混凝土脱钝、锈胀开裂全过程传感监测，解决了电化学提升过程的智能化控制技术难题。</p> <p>（3）基于钢筋压磁信号映射混凝土结构的疲劳损伤进程，揭示了疲劳微观损伤机理，提出失效预警方法。建立了腐蚀与反复荷载作用下混凝土桥梁疲劳性能评价指标体系与分级标准。</p> <p>（4）建立包含建设直接成本、动态管养成本、环境成本和社会成本的全寿命总成本模型，量化了结构的全寿命环境影响和社会影响，形成了桥梁结构全寿命评价指标体系。</p> <p>鉴定委员会认为研究成果总体达到国际先进水平，其中机制砂混凝土的徐变预测方法、“除氯-阻锈-裂缝修补-纳米增强”双向电迁移技术达到国际领先水平。</p> <p>该项目荣获 2019 年中国公路学会科学技术二等奖。</p>
<p>专利</p>	<p>一种提高混凝土耐久性的方法 申请号：CN201810813086.8 专利类型：发明 授权号：实质性审查阶段。 简介：一种以纳米材料电迁移提升混凝土耐久性的方法。</p>
<p>软件著作权</p>	
<p>标准规范</p>	<p>相关成果纳入《混凝土结构耐久性技术规程》（DB33-T1128-2016）</p>
<p>其它已取得的成果</p>	

三、有关指标（可另附页）

<p>技术指标</p>	<p>(1) 基于机制砂骨料颗粒形状参数的统计分布特征，构建了基于真实骨料的机制砂混凝土细微观模型生成方法及其力学性能数值模拟方法，提出了长期荷载作用下机制砂混凝土梁徐变系数修正模型，基于残余挠度和第 II 阶段总耗散能建立了反复荷载作用下机制砂混凝土梁疲劳寿命预测方法，为机制砂在复杂荷载作用下关键构件中的应用提供理论依据和设计方法。</p> <p>(2) 从疲劳损伤机制出发，创新性地提出了采用钢筋的压磁指标作为混凝土结构疲劳损伤的新型特征参量，建立了钢筋混凝土结构疲劳破坏全过程的分析方法以及基于压磁效应的混凝土结构疲劳研究方法。该方法具有无损、损伤敏感度高、实时等优势，是混凝土结构疲劳损伤无损监测或检测的先进手段；通过模糊算子-层次分析方法建立了腐蚀与反复荷载作用下混凝土桥梁疲劳性能评价体系，解决了现行桥梁疲劳性能评价方法评价等级突变不连续的缺点。</p> <p>(3) 建立了多离子协同工作的耦合传输模型，实现了双向电迁移技术的动态控制，达到了除氯-阻锈-裂缝修补-纳米增强的多重目标，氯离子去除率达 80%以上，阻锈效果提升 2-7 倍，实现 0.3mm 范围内裂缝高效修复，钢筋握裹力增强 1.5 倍，有害孔隙率降低 18%；揭示了双向电迁移技术对钢筋氢脆的抑制机理，突破了电化学技术在预应力混凝土结构中的应用禁锢，析氢临界电流密度提升 5 倍；研发了基于化工、信电、制造、传感等多学科技术集成的双向电迁阻锈延寿成套装置与远程控制系统，解决了双向电迁的精细化、智能化控制技术难题。</p> <p>(4) 建立了沿海桥梁结构的全寿命设计理论框架和绿色设计指标体系，形成了结构可靠性和可持续性的综合评价体系，通过量化桥梁结构的全寿命环境影响和社会影响，提出了包含直接成本、环境成本和社会成本的全寿命总成本模型，开发了桥梁结构全寿命总成本计算软件，解决了工程建设对环境和社会影响难以量化的技术难题，全面覆盖了高速公路桥梁结构全寿命各阶段、各方面的成本，为桥型方案选择和维修养护方案决策提供更科学、便捷的手段，实现了桥梁结构全寿命可持续性评价和基于可持续性的方案设计与决策。</p>
<p>经济指标</p>	<p>(1) 依托工程乐清湾大桥利用本研究成果，在桥梁关键构件推广采用机制砂约 30 万方，节约工程造价约 3600 万元。</p> <p>(2) 双向电迁研究成果已在宁波大榭大桥、乐清湾大桥、南通小洋口桥等多座桥梁中得到应用，其中大榭大桥修复面积达 10.5 万平方米，与常规的凿除混凝土保护层、钢筋除锈和聚合物砂浆修复方法相比，节约维修养护成本约 1100 万元。乐清湾大桥为新建桥梁，在项目设计和施工过程中，利用本项目提出的双向电迁技术，在跨海桥梁桥墩中埋设了双向电迁连接装置（主要包括电连接头和耐久性检测传感器）采用该装置后，极大方便了海中桥墩的耐久性监测，一次使用可提升结构寿命 20 年，预期经济效益将在桥梁后期运营维护中逐渐体现。</p>
<p>可采取的推广应用措施</p>	<p>(1) 在学术会议上介绍课题研究成果，推广双向电迁技术；</p> <p>(2) 积极发表学术论文，介绍课题创新；</p> <p>(3) 和潜在项目业主、设计单位沟通，推广课题经验。</p>

<p>申报单位及其推广能力简介</p>	<p>浙江省交通规划设计研究院有限公司（简称 ZJIC）是集公路和水运规划、咨询、勘察（测）、设计、科研、设计施工总承包及建筑、市政设计和工程试验检测等功能于一体的科技型单位。多年来承担了众多的交通设计项目和科技研究项目，对成果的推广应用有便利条件及丰富经验。</p>
<p>推广应用实例</p>	<p>(1) 机制砂混凝土长期性能研究： 利用本研究成果，可直接应用于沿海桥梁机制砂混凝土结构抗裂控制、长期徐变控制，有力缓解了在高性能混凝土中不愿用、不敢用的现象，乐清湾大桥关键构件推广使用机制砂约 30 万方；</p> <p>(2) 双向电迁技术： 双向电迁技术研究成果已纳入《混凝土结构耐久性电化学修复技术规范》（T/CECS 565-2018），《混凝土结构耐久性技术规程》（DB33-T1128-2016），开发了双向电迁阻锈延寿装置，实现了面向工程的标准化应用，已在乐清湾大桥、宁波大榭大桥、舟山跨海大桥等多个工程中得到实桥应用，效果显著。在乐清湾大桥桥墩中预埋了双向电迁电连接头和传感监测装置，为后续结构寿命提升预留通道；</p> <p>(3) 基于压磁效应的混凝土桥梁疲劳性能无损检测方法 克服了以往测试数据离散性大、采集系统易损、长期监测困难等弊端，可快速生成既有桥梁疲劳性能鉴定报告，已对八座混凝土桥梁进行实桥评估，为现行《公路桥梁技术状况评定标准》修编和改进提供了理论基础和技术支撑。</p> <p>(4) 全寿命总成本模型和计算软件： 在乐清湾大桥、宁波舟山港主通道桥采用全寿命成本计算软件进行桥型方案研究、大榭大桥维护方案决策，使比选更全面科学、高效。</p> <p>社会效益与间接经济效益：</p> <p>(1) 有力缓解建设用砂的供需矛盾，降低生态环保压力。由于基础设施建设大力发展，砂石采挖对生态环境造成严重破坏，供需矛盾日益突出，机制砂的应用日益增多。同时电化学提升技术可有效降低氯盐腐蚀破坏风险，使得海洋岛礁开发建设就地取材、大规模应用海砂成为可能。有力降低生态环保压力，促进可持续发展。</p> <p>(2) 实现混凝土桥梁疲劳性能无损检测和快速评估，有效提高桥梁管养效率。由于结构材料劣化、重载交通连年攀升，相当数量桥梁出现不同程度的病害。通过对在役桥梁进行科学合理的评估、掌握性能演变机理、准确预测剩余使用寿命，并做出合理的养护决策，对提升桥梁管养技术水平具有重要促进作用。研究成果可为桥梁的预防性养护提供决策依据，是贯彻落实“平安交通”和“绿色交通”的重要实践。</p> <p>(3) 实现了混凝土桥梁耐久性显著提升，避免拆除重建对环境造成巨大影响。通过舟山跨海大桥、宁波大榭大桥等工程实践，一次双向电迁提升作用可延长结构使用寿命约 20 年以上，极大地提升了桥梁服役寿命和安全，降低了因耐久性失效而拆除的风险，减少重建造成的重大投入和对生态环境的巨大影响，符合可持续发展的基本国策。</p> <p>(4) 实现了混凝土结构全寿命周期的总成本计算，丰富和发展了混凝土</p>

	<p>土结构的全寿命设计理论体系。本项目提出的全寿命设计理论体系与总成本计算软件，拓展了混凝土结构的可持续性设计目标，形成了全新的混凝土结构全寿命应用体系。</p>
--	--

成果 登记	登记号	
	批准日期	

科学技术成果鉴定证书

浙交鉴字[2019] 12 号

成果名称：沿海高速公路桥梁结构全寿命安全评估与提升技术

完成单位：浙江省交通规划设计研究院有限公司
浙江大学
浙江乐清湾大桥及接线工程建设指挥部
浙江大学宁波理工学院

鉴定形式：会议鉴定

组织鉴定单位：浙江省交通运输厅（盖章）

鉴定日期：2019年5月18日

鉴定批准日期：2019年6月13日

国家科学技术委员会

二〇〇九年制

简要技术说明及主要技术性能指标

简要技术说明:

本研究的目的是提高和改善沿海高速桥梁结构耐久性, 延长结构物的使用寿命, 降低运营期养护、维修、改造费用, 降低和避免由于桥梁结构物失效产生的经济损失和社会影响, 使得桥梁结构物能在既定的设计使用年限内发挥出结构自身最大的使用价值。

项目具体将从沿海高速公路桥梁结构全寿命周期的角度出发, 针对机制砂混凝土在沿海高速公路桥梁结构中的长期性能、复杂作用下沿海混凝土桥梁结构的疲劳与安全性能、沿海高速公路混凝土桥梁结构寿命提升技术以及桥梁结构全寿命设计理论和安全评估体系等方面进行系统的研究, 使得沿海高速公路桥梁结构的全寿命性能(安全、适用、耐久、经济、生态等)达到最优或优化, 从而进一步提高沿海高速公路桥梁结构的整体经济和社会效益, 提升沿海高速公路桥梁结构安全可靠水平与经营效益。

本项目研究成果是包括机理研究、性能试验、工程实践等方面为一体的综合技术, 具有重要的理论和实践意义。

主要技术性能指标:

(1) 提出的基于真实骨料形状参数的机制砂混凝土模拟方法, 可为机制砂混凝土配合比优化设计提供理论依据, 实现了机制砂混凝土与普通砂混凝土的等强设计, 并有效的解决了机制砂混凝土的早期干缩问题, 28d 干缩率控制在 3.5×10^{-4} 以内, 低于普通砂混凝土干缩率。

(2) 提出了机制砂混凝土构件长期性能设计方法, 有效实现机制砂混凝土结构抗裂控制、长期徐变控制和疲劳安全保障, 为机制砂混凝土应用范围的推广提供设计依据。

(3) 明确了钢筋压磁信号与钢筋混凝土构件疲劳性能的对应关系, 定义了基于压磁效应参数的钢筋混凝土受弯构件的疲劳损伤变量, 证明了用混凝土梁受力筋的压磁效应评估钢筋混凝土结构疲劳性能的方法的有效性, 为钢筋混凝土结构疲劳性能无损检测提供新方法。

(4) 基于引起混凝土桥梁发生疲劳的关键因素车辆荷载(车流量和车辆荷载特点), 同时考虑其它环境因素引起材料劣化的影响, 结合现行混凝土桥梁检测、评估和养护相关规范, 采用层次分析法, 结合模糊数学理论, 建立混凝土桥梁疲劳性能评价指标体系与分级标准。

(5) 传统的电化学除氯技术的极化电流密度大于 $0.3A/m^2$ 时, 其断裂能比值已低于 80%, 为脆性断裂。按极化电流密度 $3A/m^2$ 进行双向电迁时, 钢筋的断裂能比值仍大于 80%, 属于塑性断裂范围。因此, 在安全自腐蚀电位下, 双向电迁技术的极化电流可达 $3A/m^2$, 而传统电化学除氯技术仅为 $0.6A/m^2$, 其耐久性修复效率至少提高 5 倍。

(6) 纳米材料电迁移—混凝土性能增强技术, 可实现混凝土孔隙率在纳米粒子电迁移后有所减少, 孔隙分布图中峰值孔径左移, 表面整体孔隙率都有所减小, 显著改善混凝土内部孔隙结构。

(7) 通过分析沿海高速公路桥梁结构的多重设计目标, 将结构的全寿命设计过程分为安全与可靠性设计、耐久性设计、经济评价、区域环境评价、社会评价和全球环境评价等六个等级, 提出了沿海高速公路桥梁结构的全寿命分层设计方法。

(8) 考虑工程活动的空气污染物、废水和固体废弃物, 以污染防治理论为基础建立了全寿命环境成本模型。考虑工程活动在个人层面和社会层面的不良社会影响及其经济损失, 形成了沿海高速公路桥梁结构的全寿命社会成本模型。基于可持续发展的理念, 形成了包含直接成本、环境成本和社会成本的结构全寿命总成本模型, 并以 MATLAB 为平台开发“工程结构全寿命总成本计算软件”。

推广应用前景与措施

本课题从材料、构件、结构三个层次出发,结合现行混凝土梁桥检测、评估相关规范,提出的机制砂混凝土结构长期性能设计方法,将实验研究、理论分析和检测方法融合为一体,建立与空间、时间、荷载效应相一致的机制砂混凝土结构力学性能研究体系,这对于建立机制砂混凝土结构设计与评估体系具有重要的作用,对指导实际工程设计、施工和维护也具有重要的应用价值。本项目的研究成果对解决天然砂匮乏地区配制混凝土的砂源问题,提高我国机制砂混凝土应用水平,拓展机制砂混凝土的应用范畴,支持我国基本建设持续发展,保护生态环境具有重要的意义。

提出的沿海混凝土桥梁疲劳性能评价方法,将在役钢筋混凝土梁桥结构的疲劳性能划分为五个模糊等级和三个组成层次,充分考虑疲劳性能失效的特点而采用了不同的考核指标。各个等级之间连续变化,既与现行公路桥涵养护规范相衔接,又避免了等级的突变,可操作性强,因而具有良好工程应用价值;各个层次都有确定的疲劳性能等级与之对应,这对于基于疲劳性能的设计、维修加固无疑具有参考价值。用频数统计法确定权重,用改进后的隶属度公式确定隶属度,用加权平均法作为模糊算子,改进的模糊综合评判方法较好地解决了最大隶属度法存在的缺陷,避免了误判的可能性。该方法可以直观判断桥梁的缺陷原因,以便采用相应的、合理的处治措施,操作简单易行,尤其适用于设计资料不全或桥梁检测数据多为定性分析的情况。

提出的双向电迁技术能够广泛地应用于氯盐侵蚀钢筋混凝土结构,以排出保护层中的氯离子、迁入阻锈剂,以达到阻止钢筋锈蚀,防止锈胀裂缝出现,延长结构服役寿命的效果。本项目的研究成果可广泛应用于建筑、交通、军事等领域,特别适用于提升沿海地区氯盐侵蚀混凝土结构、除冰盐环境混凝土结构、海水海砂混凝土结构以及海上快速军事应急混凝土结构设施等的使用寿命。项目研究成果已在宁波大榭大桥、乐清湾大桥、江苏南通小洋口桥等工程中进行了应用,取得了显著的耐久性提升效果。为了进行量化生产和大规模推广应用,还需与模具企业合作,优化双向电迁阳极固定装置结构。目前项目所用阳极固定装置已能够实现水位变动区的双向电迁,但仍然需要在增大双向电迁单位面积、装置安装无损性、装置安装自动化等方面进行优化,应与模具企业合作,根据实际工程的构件规模和尺寸进行阳极固定装置的标准设计与生产。

提出的工程结构全寿命总成本模型和相关计算软件能够将结构的环境影响和社会影响货币化,并与结构的直接成本结合,形成包含经济、环境和社会影响的综合指标,体现结构的综合可持续性,可根据不同工程需求或决策者的风险态度调整直接成本、环境成本和社会成本之间的比例,以适应不同的决策背景。

本项目的研究成果可广泛应用于工程结构的全寿命设计过程中,对结构进行可持续性评价、基于全寿命总成本的方案设计、比选和优化等,特别适用于土木工程基础设施的全寿命设计和评估。本项目的研究成果已针对大榭大桥和乐清湾大桥进行了实例分析,获得了可持续性较好的结构设计和维护方案,验证了该模型的可行性。

主要技术文件目录及来源

- 1、鉴定大纲..... 浙江省交通运输厅
- 2、浙江省交通运输厅科研计划项目执行合同..... 浙江省交通运输厅
- 3、研究总结报告及分报告.....浙江省交通规划设计研究院有限公司
浙江大学
浙江乐清湾大桥及接线工程建设指挥部
浙江大学宁波理工学院
- 4、工作报告.....浙江省交通规划设计研究院有限公司
- 5、用户报告.....宁波舟山港主通道项目工程建设指挥部
浙江乐清湾高速公路有限公司
苏交科集团股份有限公司
大榭大桥有限公司
- 6、科技查新报告.....浙江省科技信息研究院
- 7、财务专项审计报告.....浙江恒惠会计师事务所
- 8、执行情况报告.....浙江省交通规划设计研究院有限公司

鉴定委员会专家测试报告

测试组长：_____签字 成员：____、____、____、____
_____年____月____日

鉴 定 意 见

浙江省交通运输厅于2019年5月18日在杭州召开了《沿海高速公路桥梁结构全寿命安全评估与提升技术》（项目编号2015J02）项目鉴定会。鉴定委员会（名单附后）听取了工作报告、研究报告、用户报告、查新报告、专项审计报告等汇报，审阅了有关技术资料，经讨论，形成鉴定意见如下：

一、提供的技术资料齐全、规范，符合鉴定要求。

二、项目组开展了机制砂混凝土在沿海高速公路桥梁结构中的长期性能研究，复杂作用下沿海混凝土桥梁结构的疲劳与安全性能评估研究，基于双向电迁移技术的沿海高速公路混凝土桥梁结构寿命提升技术研究，沿海高速公路桥梁结构全寿命设计指标体系及方法研究。研究成果在乐清湾跨海大桥、宁波舟山港主通道（鱼山石化疏港公路）工程、大榭大桥等建设工程中得到了应用。

三、该项目的创新成果为：

1、基于机制砂骨料颗粒形状参数的统计分布特征，构建了机制砂混凝土细观模型生成方法及其力学性能数值模拟方法，提出了长期荷载作用下机制砂混凝土徐变系数修正模型，基于残余挠度和第II阶段总耗散能建立了反复荷载作用下机制砂混凝土梁疲劳寿命预测方法，为机制砂在复杂荷载作用下关键构件中的应用提供了理论依据和设计方法。

2、基于压磁信号映射混凝土结构的疲劳损伤进程和微细观损伤进程，揭示了疲劳微观损伤机理，提出了失效预警方法。应用模糊算子-层次分析方法建立了腐蚀与反复荷载作用下混凝土桥梁疲劳性能评价体系，解决了桥梁疲劳性能评价方法评价等级突变不连续的问题。

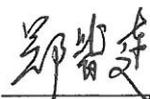
3、通过揭示电化学修复物理化学过程对离子传输的驱动效应，建立了多离子协同工作的耦合传输模型，发明了“除氯-阻锈-裂缝修补-纳米增强”的双向电迁移技术，突破了电化学技术在预应力混凝土结构中的应用禁锢，实现析氢临界电流密度提升5倍。

4、建立了包含建设直接成本、管养动态成本、环境成本和社会成本的全寿命总成本模型，量化了结构的全寿命环境影响和社会影响，形成了综合的结构全寿命评价指标，为结构全寿命可持续性评价和方案优化提供了新方法。

四、项目预算总经费156万元，其中省财政补助经费30万元。经浙江恒惠会计师事务所审计（浙恒惠专审字[2019]第147号），项目实际总支出134.48万元，其中省财政补助经费支出30万元，经费使用基本合理。

鉴定委员会认为，研究成果总体达到国际先进水平，其中机制砂混凝土的徐变预测方法、“除氯-阻锈-裂缝修补-纳米增强”的双向电迁移技术达到国际领先水平。

鉴定委员会主任：



副主任：



2019年5月18日

科 技 成 果 完 成 单 位 情 况

序号	完成单位名称	邮政编码	所在省市代码	详细地址	隶属省部	单位属性
1	浙江省交通规划设计研究院有限公司	310006	933	浙江省杭州市西湖区余杭塘路928号	浙江省	4
2	浙 江 大 学	310058	933	浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号	浙江省	2
3	浙江乐清湾大桥及接线工程建设指挥部	317606	933	浙江省台州市玉环县清港镇迎宾西路190号	浙江省	4
4	浙江大学宁波理工学院	315100	933	浙江省宁波市钱湖南路1号	浙江省	2
5						
6						
7						
8						

注：1. 完成单位序号超过8个可加附页。其顺序必须与鉴定证书封面上的顺序完全一致。

2. 完成单位名称必须填写全称，不得简化，与单位公章完全一致，并填入完成单位名称的第一栏中，其下属机构名称则填入第二栏中。

3. 所在省市代码由组织鉴定单位按省、自治区、直辖市和国务院部门及其它机构名称代码填写。

4. 详细通信地址要写明省（自治区、直辖市）、市（地区）、县（区）、街道和门牌号码。

5. 隶属省部是指本单位的行政关系隶属于哪一个省、自治区、直辖市或国务院部门主管。并将其名称填入表中。如果本单位有地方/部门双重隶属关系，请按主要的隶属关系填写。

6. 单位属性是指本单位在 1. 独立科研机构 2. 大专院校 3. 工矿企业 4. 集体或个体企业 5. 其他 五类性质中属于哪一类，并在栏中选项1. 2. 3. 4. 5. 即可。

主要研制人员名单

序号	姓名	性别	出生年月	技术职称	文化程度	工作单位	对成果创造性贡献
1	戴显荣	男	1971.11	教授级高工	本科	浙江省交通规划设计研究院有限公司	项目负责人、报告撰写
2	金伟良	男	1961.01	教授	博士	浙江大学	技术负责人、报告撰写
3	张牧	男	1970.06	高级工程师	硕士	浙江乐清湾大桥及接线工程建设指挥部	依托工程应用现场协调
4	徐祖恩	男	1977.01	教授级高工	硕士	浙江省交通规划设计研究院有限公司	报告撰写
5	王昌将	男	1971.10	教授级高工	本科	浙江省交通规划设计研究院有限公司	报告审核
6	蔡若虹	女	1975.07	高级工程师	本科	杭州市城建设计研究院有限公司	报告撰写
7	马越峰	男	1974.10	教授级高工	硕士	浙江省交通规划设计研究院有限公司	理论研究
8	陈向阳	男	1974.02	教授级高工	博士	浙江省交通规划设计研究院有限公司	理论研究
9	夏晋	男	1982.12	副教授	博士	浙江大学	报告撰写
10	王晓阳	男	1976.04	教授级高工	硕士	浙江省交通规划设计研究院有限公司	理论研究
11	王爱中	男	1973.07	工程师	本科	浙江乐清湾大桥及接线工程建设指挥部	现场试验配合
12	王海龙	男	1974.12	教授	博士	浙江大学	理论研究
13	陈君铭	男	1974.08	工程师	本科	浙江乐清湾大桥及接线工程建设指挥部	依托工程应用
14	张大伟	男	1981.03	副教授	博士	浙江大学	报告撰写
15	毛江鸿	男	1985.07	副教授	博士	浙江大学宁波理工学院	报告撰写

主要研制人员名单

序号	姓名	性别	出生年月	技术职称	文化程度	工作单位	对成果创造性贡献
16	夏云龙	男	1983.10	高级工程师	硕士	浙江省交通规划设计研究院有限公司	资料收集、现场试验
17	王俊伟	男	1989.12	工程师	本科	浙江乐清湾大桥及接线工程建设指挥部	依托工程应用
18	王竹君	女	1991.10	/	博士	上海建工二建集团有限公司	理论研究、案例分析
19	吴柯娴	女	1998.01	/	博士研究生	浙江大学	资料整理、报告撰写
20	赵羽习	女	1973.03	教授	博士	浙江大学	理论研究
21	张凯	男	1995.12	/	博士研究生	浙江大学	报告撰写
22	沈健	男	1996.07	/	硕士研究生	浙江大学	试验研究
23	胡淑婷	女	1995.04	/	硕士研究生	浙江大学	试验研究
24	甘润立	男	1994.02	/	硕士研究生	浙江大学	试验研究

科 技 成 果 登 记 表

成果名称		沿海高速公路桥梁结构全寿命安全评估与提升技术					
研究起始时间		2015.6		研究终止时间		2018.12	
成果第一完成单位	单位名称	浙江省交通规划设计研究院有限公司					
	隶属省部	代码	933	名称	浙江省		
	所在地区	代码		名称		单位属性 (3)	1. 独立科研机构 2. 大专院校 3. 工矿企业 4. 集体个体 5. 其他
	联系人	戴显荣					
	邮政编码	310030		联系电话	1. 13605717150 2. 0571-89709008		
	通信地址	浙江省杭州市西湖区余杭塘路 928 号西溪园					
鉴定日期	2019.5.18		鉴定批准日期	2019.6.13			
组织鉴定单位名称	浙江省交通运输厅						
成果有无密级	(0)	0—无 1—有	密级	()	1—机密 2—秘密 3—绝密		
成果水平	(1)	1—国际领先 2—国际先进 3—国内领先 4—国内先进					
任务来源	(2)	1—国家计划 2—省部计划 3—计划外					
应用行业大类	(05)	01—农、林、牧、渔、水利 02—工业 03—地质普查和勘探业 04—建筑业 05—交通运输、邮电通讯业 06—商业、饮食、物资供销和仓储业 07—房地产、公用事业、居民和服务业 08—卫生、体育、社会、福利业 09—教育、文化、艺术、广播和电视业 10—科学研究和综合技术服务业 11—金融、保险业 12—其他行业					
应用情况	(1)	1—已应用 2—未应用原因 A 无接产单位 B 缺乏资金 C 技术不配套 D 工业性实验前成果 E 其它					
转让范围	(2)	1—允许出口 2—限国内转让 3—不转让					
科研投资 (万元)			应用投资 (万元)				
国家投资				国家投资			
地方、部门投资		30		地方、部门投资			
其他单位投资		109.98		其他单位投资			
合 计		139.98		合 计			
本年度经济效益 (万元或万美元)							
新增产值		新增利税		其中创收	外 汇		

(附页)

承诺书

本单位（或个人）承诺：

- 1、本鉴定证书中所填写的各栏目内容真实、准确。
- 2、提供鉴定的技术文件和资料真实、可靠，技术（或理论）成果事实存在。
- 3、提供鉴定的实物（样品）与所提供鉴定的技术文件和资料一致，并事实存在。
- 4、本成果的知识产权或商业秘密明晰完整，归属本单位（或个人）所有，未剽窃他人成果、未侵犯他人的知识产权或商业秘密。

若发生与上述承诺相违背的事实，由本单位（或个人）承担全部法律责任。

完成单位（盖印）

（或个人）签字：

2019年6月12日



DB

浙江省工程建设地方标准

DB33-T1128-2016

混凝土结构耐久性技术规程

Technical Specifications for Durability of
Concrete Structures

2016-11-15 发布

2017-1-1 实施

浙江省住房与城乡建设厅发布

前 言

本规程是根据浙江省住房与城乡建设厅“建设发[2007]139号”文件要求，由浙江大学会同有关单位共同编制而成。在编写过程中，编写组广泛调研了国内外混凝土结构耐久性相关规范和耐久性设计、研究成果和工程实践经验。先后完成了编写初稿、征求意见稿和送审稿，并以多种方式在全国范围内广泛征求意见，经反复修改，最后审查定稿。

本规程的编写在明确浙江省典型区域环境特征的基础上，遵循定量设计和评估方法，涉及了混凝土结构寿命周期内耐久性设计、施工和使用全过程。规程共分14章、6个附录，章节主要内容为：总则，术语和符号，基本规定，环境作用等级与区划，耐久性极限状态，一般环境设计，氯化物环境设计，化学腐蚀环境设计，耐久性构造设计，防腐附加措施，施工质量的耐久性要求，结构耐久性检测与监测，结构耐久性评定，既有结构耐久性提升技术。

本规程由浙江省住房和城乡建设厅负责管理，由浙江大学负责具体技术内容的解释。为提高规范质量，请在使用本规范的过程中结合工程实践，积累经验与资料，并将意见和建议寄交浙江大学结构工程研究所（地址：浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号安中大楼A605，邮编：310058；E-mail: hlwang@zju.edu.cn）。

本规程主编单位：浙江大学结构工程研究所

浙江大学建筑设计研究院有限公司

本规程参编单位：浙江省建筑科学设计研究院有限公司

杭州市建筑设计研究院

浙江省交通规划设计研究院

浙江省电力设计院

浙江工业大学工程设计集团有限公司

汉嘉设计集团股份有限公司

杭州铁路设计院有限责任公司

杭州市城市基础设施建设发展中心

浙江天海管桩有限公司

杜班建筑工程公司

浙江大学宁波理工学院

本规程主要起草人员：金伟良 王海龙 干 钢 杨学林 蔡颖天 马芹纲

汤永堂 赵羽习 童建国 单玉川 游劲秋 方鸿强

周兆弟 俞菊虎 陈 驹 段 安 夏 晋 许 晨

张大伟 吕清芳 武海荣 毛江鸿

本规程主要审查人员：肖绪文 徐有邻 潘德强 牛荻涛 施祖元 叶军献

赵宏宇 李宏伟



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108821792 A

(43)申请公布日 2018.11.16

(21)申请号 201810813086.8

(22)申请日 2018.07.23

(71)申请人 浙江省交通规划设计研究院有限公司

地址 310000 浙江省杭州市西湖区环城西路89号

(72)发明人 戴显荣 马越峰 徐祖恩 王晓阳

(74)专利代理机构 北京超凡志成知识产权代理事务所(普通合伙) 11371

代理人 葛松生

(51)Int.Cl.

C04B 40/00(2006.01)

G23F 15/00(2006.01)

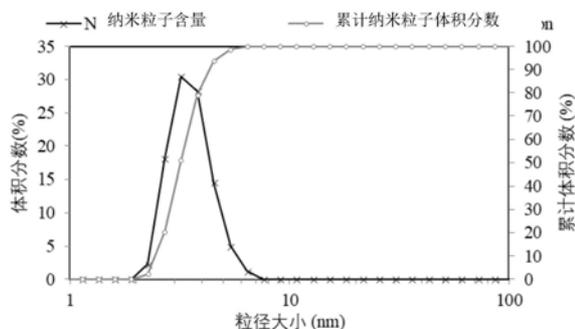
权利要求书1页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

一种提高混凝土耐久性的方法

(57)摘要

本发明涉及钢筋混凝土耐久性提升技术领域,具体而言,涉及一种提高混凝土耐久性的方法。该方法以纳米材料电迁移的方式提高混凝土耐久性,在外加直流电场的作用下将带正电的纳米氧化铝基团迁移至混凝土内部。可提高钢筋混凝土之间的粘结强度,改善混凝土孔隙结构分布,解决了电化学修复方法带来的缺陷,且附着在钢筋表面的氧化铝可形成保护膜一定程度上可提高钢筋混凝土抵抗氯二次侵蚀的能力。



1. 一种提高混凝土耐久性的方法,其特征在于,在外加直流电场的作用下将带正电的纳米氧化铝基团迁移至混凝土内部。

2. 根据权利要求1所述的提高混凝土耐久性的方法,其特征在于,所述纳米氧化铝溶解于溶液以带正电;

所述溶液pH为4~7;

优选地,所述溶液pH为5~7。

3. 根据权利要求2所述的提高混凝土耐久性的方法,其特征在于,所述溶液中纳米氧化铝的质量浓度为15%~25%;

优选地,所述溶液中纳米氧化铝的质量浓度为20%。

4. 根据权利要求1所述的提高混凝土耐久性的方法,其特征在于,所述纳米氧化铝粒径小于10nm。

5. 根据权利要求2或3所述的提高混凝土耐久性的方法,其特征在于,所述混凝土中的钢筋接电源负极,在所述混凝土保护层外部布置金属层,并将所述金属层接入电源正极,通电以形成所述外加直流电场;

其中,所述金属层与所述溶液接触。

6. 根据权利要求5所述的提高混凝土耐久性的方法,其特征在于,所述金属层中的金属包括钢、铁、铜、铝或钛中的一种;

优选地,所述钢为不锈钢;

优选地,所述金属层为金属网。

7. 根据权利要求5所述的提高混凝土耐久性的方法,其特征在于,所述通电的电流密度为0.5~5A/m²。

8. 根据权利要求5所述的提高混凝土耐久性的方法,其特征在于,所述通电的时间为3~21天。

9. 根据权利要求5所述的提高混凝土耐久性的方法,其特征在于,所述溶液回收利用。

10. 根据权利要求1所述的提高混凝土耐久性的方法,其特征在于,所述混凝土包括普通硅酸盐水泥、硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥中的一种或多种;

优选地,所述混凝土为普通硅酸盐水泥。

一种提高混凝土耐久性的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及钢筋混凝土耐久性提升技术领域,具体而言,涉及一种提高混凝土耐久性的方法。

背景技术

[0002] 混凝土结构中钢筋锈蚀是伴随砼结构全寿命周期内不断发展的化学反应过程,在自然环境条件下,随着时间的推移,钢筋混凝土结构的耐久性问题则日益突出,使用一定的年限后会就发生锈蚀,进而影响到建筑安全。因此,需要对混凝土钢筋锈蚀的采取技术上可行、经济上合理的修复方法。

[0003] 目前,在混凝土耐久性能提升技术方面,主要有传统修补法和电化学修复方法。传统修复方法存在的主要问题在于修复效果难以满足长期耐久性要求,尤其对于已遭受氯盐侵蚀的海洋环境中的钢筋混凝土结构。由于混凝土中钢筋锈蚀是一个电化学过程,电化学方法则以此为基础,使其逆向反应,达到修复锈蚀钢筋的效果。常用的电化学方法包括阴极保护技术,电化学再碱化处理技术,电化学除氯技术,电沉积技术等。新型电化学方法也在不断发展,包括电渗阻锈技术,双向电渗修复技术等。可见电化学方法始终是混凝土中钢筋锈蚀无损修复的未来发展方向。

[0004] 在混凝土中钢筋锈蚀常用的电化学方法中,阴极保护技术是以抑制钢筋表面形成腐蚀电池为目的的电化学防腐技术,主要包括牺牲阳极和外加电流辅助阳极法,阴极保护法总体效果较好,但该方法从结构建设期就需要专人管理和维护,并且需要长期维护,成本较高,因此其推广应用受到了一定的限制。

[0005] 电化学再碱化处理主要通过无损伤的电化学手段来提高被碳化混凝土保护层的碱性,使其pH值回复到11.5以上,从而降低钢筋腐蚀活性,使钢筋表面恢复钝化,以减缓或阻止锈蚀钢筋的继续腐蚀。该技术主要用于所有碳化的混凝土构筑物,对于其他原因腐蚀的混凝土结构效果一般。

[0006] 电化学除氯的基本原理是以混凝土中的钢筋作为阴极,在混凝土表面敷置或埋入电解液保持层,在电解液保持层中设置钢筋网或者金属片作为阳极,在金属网和混凝土中的钢筋之间通以直流电流。在外加电场作用下,混凝土中的负离子(Cl^- 、 OH^- 等)由阴极向阳极迁移,正离子(Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 等)由阳极向阴极迁移。 Cl^- 由阴极向阳极迁移并脱离混凝土进入电解质就达到了脱氯除盐的目的,同时阴极发生电化学反应,形成的 OH^- 向阳极迁移,氯离子得到排除的同时钢筋周围和混凝土保护层中的碱性升高,有利于钢筋恢复并维持钝态,又在一定程度上可提高钢筋混凝土抵抗 Cl^- 二次侵蚀的能力。电化学除氯方法作为一种较为成熟的技术对受氯盐侵蚀的钢筋混凝土结构具有较好的修复效果,但也会对其产生一些不利影响,主要包括析氢作用对钢筋混凝土之间粘结强度的影响以及混凝土孔径分布改变,孔隙率变化所造成的影响。

[0007] 近十几年来,钢筋阻锈剂作为一种使用简单、经济有效的钢筋防腐措施,被大量应用于工程中。电渗阻锈技术主要利用电场将有效阻锈剂基团输送至钢筋表面,该技术采用

的有机阻锈剂较为昂贵,且需要较长的通电时间才能达到满意的效果,因此发展较慢,直到最近几年才有所进展。其主要包括MCI产品,BE阻锈剂等,能在较短时间内迁移至10cm厚的混凝土内,并对钢筋具有明显的阻锈效果。

[0008] 双向电渗技术由浙江大学结构工程研究所金伟良教授首先提出,其基本原理是在电迁移作用下,电解质溶液中的阳离子阻锈剂向阴极钢筋处迁移,同时混凝土孔隙液及钢筋表面的氯离子向阳极迁移进入电解质溶液中。双向电渗技术考虑了电化学除氯与电迁移阻锈剂的耦合作用,对锈蚀钢筋混凝土既起到了修复效果,又有保护作用,特别是长期效果,在抑制钢筋后期锈蚀发展方面存在明显的优势。

[0009] 有鉴于此,特提出本发明。

发明内容

[0010] 本发明提供了一种提高混凝土耐久性的方法,以纳米材料电迁移的方式提高混凝土耐久性,在外加直流电场的作用下将带正电的纳米氧化铝基团迁移至混凝土内部。可提高钢筋混凝土之间的粘结强度,改善混凝土孔隙结构分布,解决了电化学修复方法带来的缺陷,且附着在钢筋表面的氧化铝可形成保护膜一定程度上可提高钢筋混凝土抵抗氯二次侵蚀的能力。

[0011] 为了实现本发明的上述目的,特采用以下技术方案:

[0012] 一种提高混凝土耐久性的方法,其特征在于,在外加直流电场的作用下将带正电的纳米氧化铝基团迁移至混凝土内部。

[0013] 与现有技术相比,本发明的有益效果为:

[0014] 以电化学修复技术为基础,以纳米氧化铝溶液作为电解质进行电迁移处理。使用的材料价格经济合理,装置简单,处理时间较快。电处理完成后既能降低混凝土中氯离子的浓度,又能提升钢筋混凝土之间的粘结强度,改善混凝土内部孔隙结构分布。

附图说明

[0015] 为了更清楚地说明本发明具体实施方式或现有技术中的技术方案,下面将对具体实施方式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图是本发明的一些实施方式,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0016] 图1为一个实施例中的纳米氧化铝粒径分布图;

[0017] 图2为一个实施例中的试件一布置示意图,其中1为钢筋,2为纳米氧化铝溶液,3为金属网,4为取样位置,5为环氧树脂,6为取样第一层,7为取样第二层,8为取样第三层;

[0018] 图3为一个实施例中的试件一第一层的电镜扫描图;

[0019] 图4为一个实验例的试件二布置示意图,其中1为混凝土,2为钢筋,3为塑料管套,4为环氧密封。

具体实施方式

[0020] 本发明提供了一种提高混凝土耐久性的方法,即在外加直流电场的作用下将带正电的纳米氧化铝基团迁移至混凝土内部。

[0021] 纳米颗粒材料又称为超微颗粒材料,由纳米粒子组成。一般是指尺寸在1~100nm间的粒子,是处在原子簇和宏观物体交界的过渡区域,它具有表面效应、小尺寸效应和宏观量子隧道效应。纳米材料能够填补孔隙,改善结构性能,在电化学修复方面也有较好的表现。

[0022] 纳米氧化铝作为电解质溶液,在电场的作用下,带有正电荷的纳米氧化铝基团,会形成阳离子基团,纳米氧化铝基团会快速的向混凝土内部迁移,同时混凝土内带负电荷的氯离子向外部迁移。由于纳米粒子的颗粒很小,进入混凝土后可以有效的填补混凝土中的孔隙,当纳米粒子达到钢筋表面时,会形成保护层,减少阴极析氢作用的产生,提高钢筋混凝土之间的粘结强度,降低了电化学修复过程带来的不利影响。

[0023] 所述纳米氧化铝溶解于溶液以带正电;

[0024] 所述溶液pH为4~7,如在不同的实施例中pH还可以为4.5、5、5.5、6、6.5等等。

[0025] 优选地,所述溶液pH为5~7。

[0026] 在此pH下,纳米氧化铝基团带有正电荷,可在外加电场的作用下向电源负极移动。

[0027] 优选地,溶液中纳米氧化铝的质量浓度为15%~25%,如在不同的实施例中还可以为16%、18%、20%、22%等。

[0028] 优选地,所述溶液中纳米氧化铝的溶液质量浓度为20%。优选地,所述纳米氧化铝粒径小于10nm,如在不同的实施例中还可以为4nm、5nm、6nm、7nm、8nm、9nm等。

[0029] 所述混凝土中的钢筋接电源负极,在所述混凝土保护层外部布置金属层,并将所述金属层接入电源正极,通电以形成所述外加直流电场;

[0030] 其中,所述金属层与所述溶液接触。

[0031] 所述金属层中的金属包括钢、铁、铜、铝或钛中的一种;

[0032] 优选地,所述钢为不锈钢;

[0033] 优选地,所述金属层为金属网。

[0034] 普通钢丝网价格便宜,但溶液在短期内被腐蚀破坏,不能重复使用,同时,它产生的锈蚀产物会污染混凝土表面,除氯结束后需对混凝土表面进行清理。不锈钢网或钛金属网一次投入大,但不易被腐蚀,可重复使用,也不污染混凝土表面,长时间使用整体经济性反而更好。

[0035] 优选地,通电的电流密度为0.5~5A/m²,如在不同的实施例中还可以为1A/m²、1.5A/m²、2A/m²、2.5A/m²、3A/m²、3.5A/m²、4.5A/m²等等。

[0036] 优选地,通电的时间为3~21天,如在不同的实施例中还可以为5天、7天、10天、12天、14天、15天、20天等;

[0037] 电流密度过小,除氯和修复效率低,需增加通电时间;电流密度过大,混凝土会因为温度升高过快而产生开裂。

[0038] 优选地,混凝土表面残留的纳米氧化铝溶液回收利用,经济节约。

[0039] 所述混凝土包括普通硅酸盐水泥、硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥中的一种或多种;

[0040] 优选地,所述混凝土为普通硅酸盐水泥。

[0041] 优选地,使用水灰比为0.55的普通硅酸盐水泥,制作保护层厚度为40mm,尺寸为150mm×150mm×100mm的试件,使用上述的提高混凝土耐久性的方法,可产生较好的修复效

果。

[0042] 下面将结合实施例对本发明的实施方案进行详细描述,但是本领域技术人员将会理解,下列实施例仅用于说明本发明,而不应视为限制本发明的范围。实施例中未注明具体条件者,按照常规条件或制造商建议的条件进行。所用试剂或仪器未注明生产厂商者,均为可以通过市购获得的常规产品。

[0043] 实施例1

[0044] 1. 实验材料的选择和试件制备

[0045] 浇筑混凝土采用普通硅酸盐水泥,选择杭州钱潮牌P.0.42.5级水泥,水灰比为0.55,各组分配合比参见表1。

[0046] 表1混凝土试件配合比

设计强度	组分 (kg/m ³)			
	水	水泥	砂	石子
C30	220	406.4	643.1	1049.3

[0048] 纳米氧化铝材料选用质量浓度为20%,pH值为5-7的溶液。选择宣城晶瑞新材料有限公司VK-L10W型氧化铝分散液,其密度为1.14g/m³。图1为该分散液X射线衍射分析结果,由图中可知,纳米氧化铝粒径均在10纳米以下。

[0049] 混凝土试件一尺寸为150mm×150mm×100mm,保护层厚度为40mm,内置两根直径12mm的HPB235光圆钢筋,用于电迁移处理,具体试件布置示意图参见图2;混凝土采用机械搅拌、振捣;振捣成型后24h拆模,并在钢筋外露部分连接导线,固定后涂抹环氧树脂进行密封,防止其锈蚀。标准养护28天后,至其龄期达到三个月后进行试验。

[0050] 2. 电迁移处理

[0051] 外设直流电源,将混凝土中的钢筋接电源负极,在混凝土保护层外部布置不锈钢网,并将不锈钢网接入电源正极。将试件放置在钢丝网上,并浸入电解液中,使其没过底面1-3毫米。进行通电处理,电流密度为3A/m²,通电3天。通电完成后,拆除不锈钢网,清理混凝土表面残留的纳米氧化铝溶液并回收。

[0052] 实施例2

[0053] 1. 实验材料的选择和试件制备

[0054] 浇筑混凝土采用普通硅酸盐水泥,选择杭州钱潮牌P.0.42.5级水泥,水灰比为0.55,各组分配合比参见表1。

[0055] 纳米氧化铝材料选用质量浓度为20%,pH值为5-7的溶液。选择宣城晶瑞新材料有限公司VK-L10W型氧化铝分散液,其中分散液密度为1.14g/m³浓度为20%,密度为1.14g/m³,pH值为5-7。图1为该分散液X射线衍射分析结果,由图中可知,纳米氧化铝粒径均在10纳米以下。

[0056] 混凝土试件一尺寸为150mm×150mm×100mm,保护层厚度为40mm,内置两根直径12mm的HPB235光圆钢筋,用于电迁移处理,具体试件参见图2;混凝土采用机械搅拌、振捣;振捣成型后24h拆模,并在钢筋外露部分连接导线,固定后涂抹环氧树脂进行密封,防止其锈蚀。标准养护28天后,至其龄期达到三个月后进行试验。

[0057] 2.电迁移处理

[0058] 外设直流电源,将混凝土中的钢筋接电源负极,在混凝土保护层外部布置不锈钢网,并将不锈钢网接入电源正极。将试件放置在钢丝网上,并浸入电解液中,使其没过底面1-3毫米。进行通电处理,电流密度为 $3\text{A}/\text{m}^2$,通电15天。通电完成后,拆除不锈钢网,清理混凝土表面残留的纳米氧化铝溶液并回收。

[0059] 实施例3

[0060] 1.实验材料的选择和试件制备

[0061] 浇筑混凝土采用普通硅酸盐水泥,选择杭州钱潮牌P.0.42.5级水泥,水灰比为0.55,各组分配合比参见表1。

[0062] 纳米氧化铝材料选用质量浓度为20%,pH值为5-7的溶液。选择宣城晶瑞新材料有限公司VK-L10W型氧化铝分散液,其中分散液密度为 $1.14\text{g}/\text{m}^3$ 浓度为20%,密度为 $1.14\text{g}/\text{m}^3$,pH值为5-7。图1为该分散液X射线衍射分析结果,由图中可知,纳米氧化铝粒径均在10纳米以下。

[0063] 混凝土试件一尺寸为 $150\text{mm}\times 150\text{mm}\times 100\text{mm}$,保护层厚度为40mm,内置两根直径12mm的HPB235光圆钢筋,用于电迁移处理,具体试件参见图2;混凝土采用机械搅拌、振捣;振捣成型后24h拆模,并在钢筋外露部分连接导线,固定后涂抹环氧树脂进行密封,防止其锈蚀。标准养护28天后,至其龄期达到三个月后进行试验。

[0064] 2.电迁移处理

[0065] 外设直流电源,将混凝土中的钢筋接电源负极,在混凝土保护层外部布置不锈钢网,并将不锈钢网接入电源正极。将试件放置在钢丝网上,并浸入电解液中,使其没过底面1-3毫米,进行通电处理,电流密度为 $0.5\text{A}/\text{m}^2$,通电21天。通电完成后,拆除不锈钢网,清理混凝土表面残留的纳米氧化铝溶液并回收。

[0066] 实施例4

[0067] 1.实验材料的选择和试件制备

[0068] 浇筑混凝土采用矿渣硅酸盐水泥。

[0069] 纳米氧化铝材料选用质量浓度为15%,pH值为5-7,氧化铝粒径小于10nm的溶液。

[0070] 混凝土试件一尺寸为 $300\text{mm}\times 300\text{mm}\times 200\text{mm}$,保护层厚度为60mm,内置四根直径12mm的光圆钢筋,用于电迁移处理;混凝土采用机械搅拌、振捣;振捣成型后24h拆模,并在钢筋外露部分连接导线,固定后涂抹环氧树脂进行密封,防止其锈蚀。标准养护28天后,至其龄期达到三个月后进行试验。

[0071] 2.电迁移处理

[0072] 外设直流电源,将混凝土中的钢筋接电源负极,在混凝土保护层外部布置不锈钢网,并将不锈钢网接入电源正极。将试件放置在钢丝网上,并浸入电解液中,使其没过底面3-5毫米,进行通电处理,电流密度为 $5\text{A}/\text{m}^2$,通电15天。通电完成后,拆除不锈钢网,清理混凝土表面残留的纳米氧化铝溶液并回收。

[0073] 实施例5

[0074] 1.实验材料的选择和试件制备

[0075] 浇筑混凝土采用硅酸盐水泥。

[0076] 纳米氧化铝材料选用质量浓度为25%,pH值为5-7,氧化铝粒径小于10nm的溶液。

[0077] 混凝土试件一尺寸为500mm×500mm×400mm,保护层厚度为40mm,内置四根直径12mm的光圆钢筋,用于电迁移处理;混凝土采用机械搅拌、振捣;振捣成型后24h拆模,并在钢筋外露部分连接导线,固定后涂抹环氧树脂进行密封,防止其锈蚀。标准养护28天后,至其龄期达到三个月后进行试验。

[0078] 2. 电迁移处理

[0079] 外设直流电源,将混凝土中的钢筋接电源负极,在混凝土保护层外部布置钛金属网,并将钛金属网接入电源正极。将试件放置在钛金属网上,并浸入电解液中,使其没过底面1-3毫米,进行通电处理,电流密度为3.5A/m²,通电15天。通电完成后,拆除钛金属网,清理混凝土表面残留的纳米氧化铝溶液并回收。

[0080] 实施例6

[0081] 1. 实验材料的选择和试件制备

[0082] 浇筑混凝土采用复合硅酸盐水泥。

[0083] 纳米氧化铝材料选用质量浓度为22%,pH值为5-7,氧化铝粒径小于10nm的溶液。

[0084] 混凝土试件一尺寸为150mm×150mm×100mm,保护层厚度为40mm,内置两根直径12mm的光圆钢筋,用于电迁移处理;混凝土采用机械搅拌、振捣;振捣成型后24h拆模,并在钢筋外露部分连接导线,固定后涂抹环氧树脂进行密封,防止其锈蚀。标准养护28天后,至其龄期达到三个月后进行试验。

[0085] 2. 电迁移处理

[0086] 外设直流电源,将混凝土中的钢筋接电源负极,在混凝土保护层外部布置钢丝网,并将钢丝网接入电源正极。将试件放置在钢丝网上,并浸入电解液中,使其没过底面1-3毫米,进行通电处理,电流密度为3A/m²,通电18天。通电完成后,拆除钢丝网,清理混凝土表面残留的纳米氧化铝溶液并回收。

[0087] 实验例1

[0088] 电迁移效果实验。

[0089] 电处理完成后,对试件一表面进行钻孔取样。取出若干直径12毫米左右的圆柱体试样进行微观分析,将试样切割,分成3层,分别为第一层,第二层和第三层(参见图2)。分别对不同层次的试样进行电镜扫描,图3为实施例1中第一层的电镜扫描结果。从中可以看到一个较大的孔洞,这个孔洞中有大量的纳米氧化铝团聚集,这些颗粒的粒径在70纳米左右。该图片很好的说明了纳米氧化铝的电迁移效果。

[0090] 实验例2

[0091] 孔隙率对比实验。

[0092] 如实验例1中的方法选择试样,进行电镜扫描观察微观结构变化,计算孔隙率。

[0093] 作为比较,将实施例1稍作调整,作为对比例1、对比例2和对比例3,调整方法为:

[0094] 对比例1:未经电处理;

[0095] 对比例2和对比例3:电解质为水。

[0096] 其余处理条件和方法均与实施例1相同,结果如表2所示,其中NA3表示纳米氧化铝作为电解质通电3天,NA15表示纳米氧化铝作为电解质通电15天。

[0097] 表2孔隙率变化

编号	对比例 1	对比例 2	对比例 3	实施例 1	实施例 2	
分组	未处理	水处理 1	水处理 2	NA3	NA15	
[0098]	总侵入体积 (ml/g)	0.0933	0.0754	0.0742	0.0712	0.0605
	平均孔隙直径中位数 (nm)	260.2	49.1	49.5	58.6	59.6
	孔隙率 (%)	19.00	15.94	15.77	15.22	13.33

[0099] 从表2中可以看出通过纳米电迁移处理后,混凝土孔隙率有了明显的减少,同时对对照组和水处理组也显示出采用纳米材料作为电解质后,对混凝土的孔隙结构改善有更大的帮助。

[0100] 实验例3

[0101] 钢筋混凝土粘结强度对比实验。

[0102] 使用实施例1中的材料制作试件二,其尺寸为100mm×100mm×100mm,中间埋入一根直径12mm,长度420mm的HPB235光圆钢筋,用于拉拔试验,具体试件布置示意图参见图4。

[0103] 作为比较,将实施例2中的试件一换为试件二作为对比例4,并稍作调整,作为对比例1、对比例2和对比例3,调整方法为:

[0104] 对比例1:未经电处理;

[0105] 对比例2:电流密度为0.5A/m²;

[0106] 对比例3:电流密度为1.5A/m²。

[0107] 其余处理条件和方法均与实施例2相同,结果如表3所示,其中II-0.5表示电流密度为0.5A/m²,II-1.5表示电流密度为1.5A/m²,II-3表示电流密度为3A/m²。

[0108] 表3纳米氧化铝电迁移荷载与粘结强度表

[0109]

编号	试验	电流密度 (A/m ²)	平均峰值荷载 (N)	峰值荷载偏差 (N)	平均粘结强度 (MPa)
对比例 1	对照	-	4715	650	1.3
对比例 2	II-0.5	0.5	8021	220	2.1(70%)
对比例 3	II-1.5	1.5	9128	1950	2.4(94%)
对比例 4	II-3	3	9321	1502	2.5(98%)

[0110] 从表3中可以看出纳米电迁移处理后,钢筋混凝土之间的粘结强度有了明显的增强,粘结强度随着电流密度的增大而增大。

[0111] 最后应说明的是:以上各实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述各实施例对本发明进行了详细的说明,但本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分或者全部技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的范围。

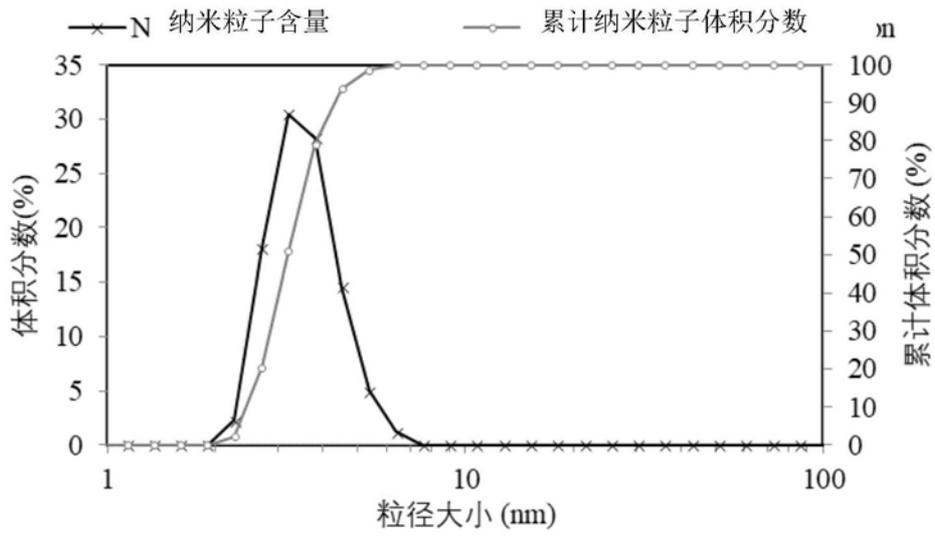


图1

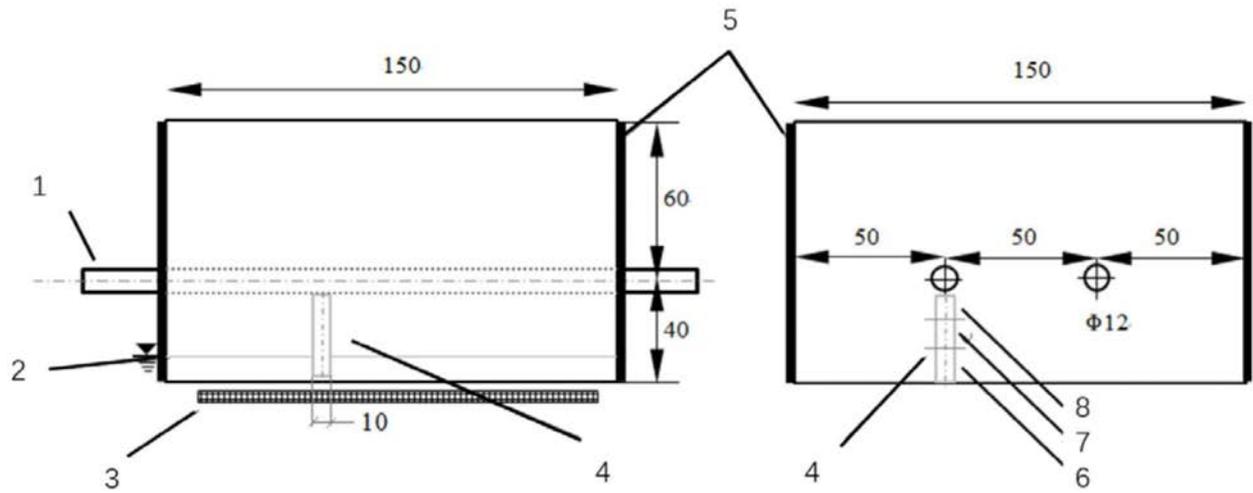


图2

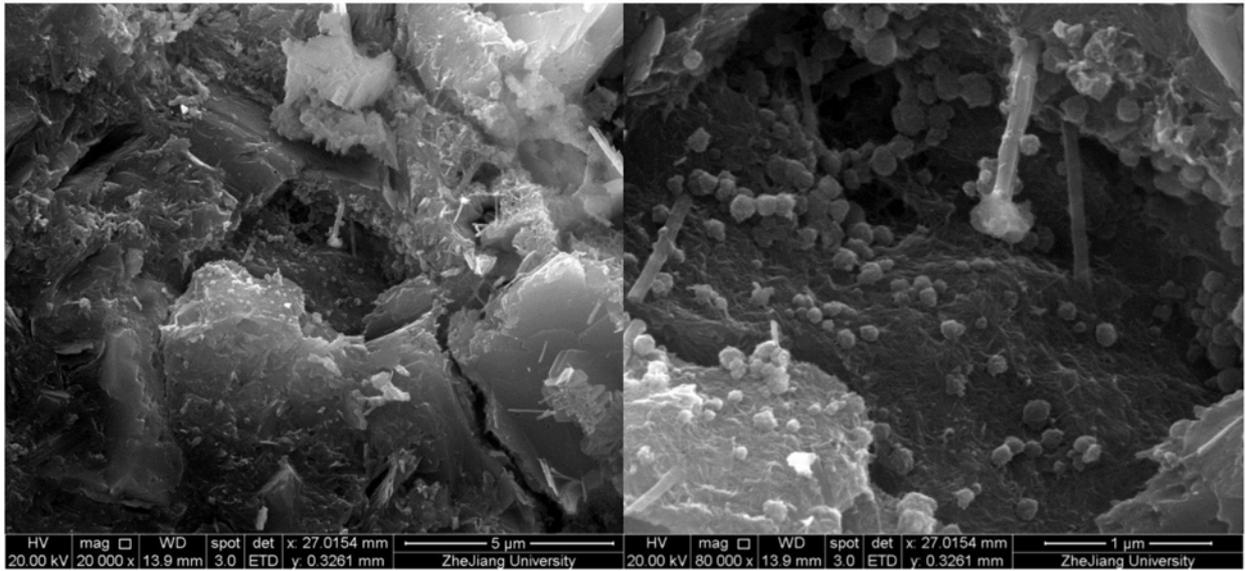


图3

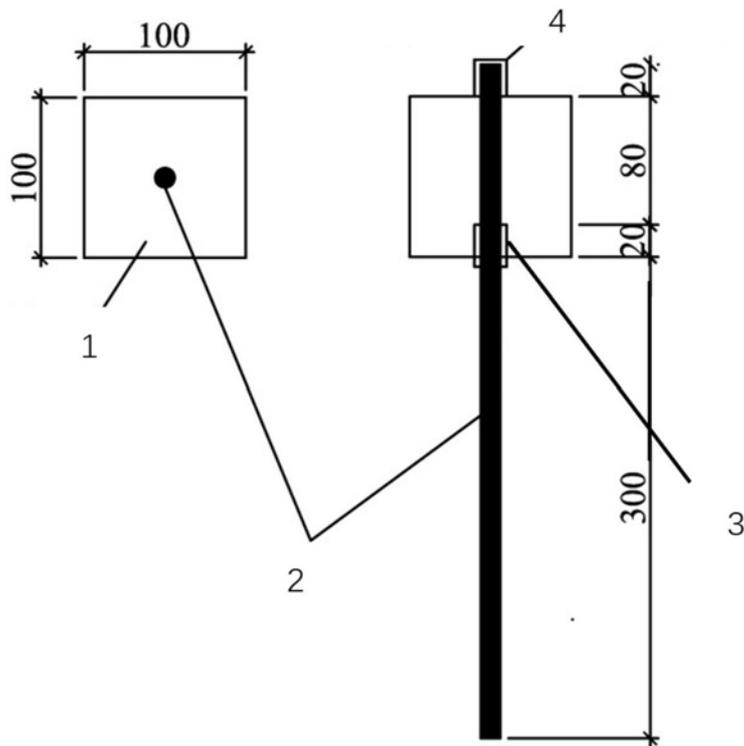


图4