

## 一、项目名称

水工深部不良地质体和混凝土缺陷诊断、处理与评价新技术

## 二、提名者

水利部

## 三、提名意见

该项目紧密围绕国家重大水利水电工程建设需求，针对水工深部不良地质体和混凝土缺陷诊断、处理与评价技术难题，发明了“超磁致伸缩”声波发射换能器、“相控阵探地”雷达、新型干孔声波测试等系列装备，发明了高浸润渗透性、高粘结性、胶凝时间精确可控和环保的环氧树脂灌浆材料等系列缺陷处理新材料，研制了可自动精确计量的新型复合灌浆设备和水泥-化学复合灌浆精细控制技术，形成了缺陷诊断—处理—效果评价成套新技术和系统解决方案，突破了国内外现有技术对不良地质体和混凝土缺陷“难以准确诊断、难以有效处理、难以科学评价”的瓶颈，经鉴定该成果达到国际领先水平。

该项目获国家发明专利 12 项，实用新型专利 13 项，软件著作权 2 项，编写国家、行业和企业标准 12 部，推动了大坝安全诊断与除险加固领域的技术进步。成果在长江三峡及南水北调中线等国内外 80 余个大中型工程得到成功应用，社会、经济和环境效益显著，具有广阔的应用前景。

同意提名该项目为国家科学技术发明奖二等奖。

## 四、项目简介

该项目属于水利工程领域。水利水电工程安全关系到国计民生。不良地质体和混凝土缺陷引起水工建筑物的失稳与破坏,严重影响工程安全和服役寿命。随着三峡工程和西部一大批高坝大库的陆续建设,筑坝环境愈加复杂,尤其是埋深 100 米以上的水工深部不良地质体和混凝土深层缺陷因受制于声波雷达等检测跨度小、处理材料浸润渗透性差等技术瓶颈,处理难度更大,国内外尚无成功先例。项目组以国家重大水利水电工程建设需求为导向,历时 20 余年系统研究,在物探无损检测和缺陷处理新材料、新装备、新技术等方面进行了发明创新,主要发明点如下:

1、针对水工不良地质体和混凝土缺陷“无法测、测不准”的问题,发明了“超磁致伸缩”声波发射换能器、“相控阵探地”雷达等系列物探无损检测新装备和新方法,形成了大跨度、大埋深的声波、雷达探测等新技术,实现了对缺陷空间分布和性状的有效探测。

2、针对复杂缺陷难以有效浸润、固结和处理过程难以控制的难题,发明了高浸润渗透性、胶凝时间在 2h~106h 大范围精确可调、水下固结性能优异的环保型环氧树脂灌浆材料等系列缺陷处理新材料,研发了基于材料粘度、胶凝时间和灌浆压力等多参数联合调节的水泥-化学复合灌浆精细控制技术,实现了大埋深、高水头条件下低渗性不良地质体和混凝土深层缺陷(微米级)的有效处理。

3、针对深部缺陷处理效果难以科学评价的难题,发明了浑水多孔径钻孔电视成像可视化增强新技术,与发明点 1 形成处理效果系统评价方法,成果纳入《水利水电工程物探规程》,首次建立了三峡工程主体建筑物基础固结灌浆评定标准,实现了处理效果的多维大尺度定量评价。

基于上述发明，形成了水工深部不良地质体和混凝土缺陷诊断—处理—效果评价成套新技术和系统解决方案，填补了国内外空白。成果经鉴定“整体达到国际领先水平”，获湖北省技术发明奖等省部级一等奖3项。授权国家知识产权27项，其中发明专利12项，实用新型13项，软件著作权2项。专利技术转化形成“CW”品牌并注册商标，其中6项新产品列入全国水利系统优秀产品目录，5项新技术获水利部先进实用技术推广证书，支撑了长江水利委员会长江科学院等两家国家高新技术企业，引领我国水工物探和化学灌浆行业技术进步。发表论文100余篇（SCI/EI 20篇），出版专著7部，制定国家、行业和企业标准12部。

项目成果在三峡、南水北调中线、溪洛渡、向家坝、埃塞俄比亚FAN、新加坡隧道等国内外80余个重大工程中成功应用，覆盖水利水电、交通、市政等多个领域，有效保障了工程安全运行和效益发挥，近三年直接经济效益5.05亿元，社会经济效益显著。

## 五、客观评价

### 1、成果鉴定、验收与获奖

（1）湖北省科技厅主持了“水利工程地质和混凝土缺陷无损检测与处理技术”的成果鉴定，经高安泽勘察设计大师、中国工程院张勇传、郑守仁院士和范士凯勘察大师等专家鉴定，认为“形成了水利工程地质体与混凝土缺陷综合物探无损检测—缺陷处理—效果评价的成套技术和系统解决方案”，“成果整体达到国际领先水平”，获2014年湖北省技术发明一等奖。

（2）成果之一“相控阵探地雷达”经湖北省科技厅组织鉴定，由中国科学院刘光鼎、潘家铮院士，中国工程院张勇传、郑守仁院士

和高安泽勘察设计大师等组成的专家组认为，“在国际上率先应用相控阵理论研制出了第一台相控阵探地雷达样机，是对现有探地雷达技术的突破”，“在将相控阵理论应用于浅层勘探方面达到了国际领先水平”。

(3) 依托的国家“863”课题“高分辨力表层穿透雷达探测技术—相控阵探地雷达”经科技部验收，由中国科学院吴一戎院士任组长的专家组评价“研制的新型相控阵探地雷达样机在探测深度、分辨率、信杂比等具有明显优势”。

(4) 成果之一“工程质量隐蔽问题综合物探检测方法及新技术”经湖北省科技厅组织鉴定，由中国工程院许厚泽、郑守仁院士等组成的专家组认为，该研究具有“前瞻性”，研究成果“总体达到国际领先水平”，获2012年水利部大禹水利科学技术二等奖。

(5) 成果之一“高性能环氧灌浆材料及配套技术研究与应用”经水利部国际合作与科技司组织鉴定，由中国工程院谭靖夷、郑守仁院士等组成的专家组一致认为“达到国际领先水平”，获2012年水利部大禹水利科学技术一等奖。

(6) 成果之一“高水头下复杂岩体防渗补强关键技术与应用”经中国岩石力学与工程学会组织鉴定，由中国工程院钱七虎、蔡美峰院士和冯夏庭研究员等组成的专家组认为，形成了“适用于高水头复杂岩体防渗补强的材料体系”、“成套灌浆系统”、“系统处理工艺”，“成果在高水头复杂岩体的防渗补强领域达到国际领先水平”，获2016年中国岩石力学与工程学会科技进步一等奖。

(7) 在三峡工程F215断层破碎带和混凝土裂缝缺陷处理的现场技术比选试验中，本项目发明的CW环氧树脂灌浆材料与曾获中国科学院科技进步一等奖的中化—798环氧树脂灌浆材料及德国巴斯夫LPL

等同类产品相比渗透性和固结效果更好，相关会议纪要推荐使用CW环氧树脂灌浆材料。

## 2、行业评价

(1) 本项目发明的缺陷处理新材料经国家建筑材料测试中心和中国建材检验认证集团股份有限公司检测，物理力学性能达到国家相关标准要求；经中国医学科学院检测环保无毒。

(2) 核心专利技术已被我国部分水利水电行业质量监督部门和设计院所及施工单位等采纳；主要研究成果已形成行业标准《水利水电工程物探规程》、《混凝土裂缝用环氧树脂灌浆材料》等。

(3) 发明的6项缺陷处理新材料产品入选2016年《全国水利系统优秀产品招标重点推荐目录》，CW系环氧树脂灌浆材料及配套技术等5项技术获水利部先进实用技术推广证书。

## 3、工程应用效果评价

(1) 基于本项目成果在长江三峡工程坝基断层破碎带和坝体混凝土缺陷检测与处理的成功应用，长江勘测规划设计研究院给出了“对三峡工程地质和混凝土缺陷问题起到全面科学的检测排查和良好的防渗补强加固处理效果，确保了三峡工程建设质量和长期安全运行”以及“成功解决了化学灌浆103米深孔灌浆的世界难题”的高度评价。

(2) 基于本项目成果在金沙江溪洛渡水电站玄武岩层间层内错动带防渗补强处理中的成功应用，中国长江三峡集团公司三峡金沙江川云水电开发有限公司认为“开发的高性能环氧类灌浆材料、控制性复合灌浆技术，系统解决了溪洛渡水电站在高水头作用下玄武岩层间层内错动带的补强防渗问题”。

(3) 项目成果在金沙江向家坝水电站坝基不良地质体处理中成

功应用。三峡集团总工程师张超然院士等专家认为以CW环氧树脂灌浆材料为核心的水泥-化学复合灌浆技术对改善坝基不良地质体强度和抗渗性能有较好效果。中国电建集团中南勘测设计研究院认为“提高了坝基渗透稳定性和耐久性，确保了按期蓄水发电，为向家坝水电站长期安全运行发挥了重要作用”。

(4) 基于本项目成果在丹江口大坝混凝土质量检测与缺陷处理的成功应用，南水北调中线水源公司给出了“采用的高渗透环氧灌浆材料经国家建筑材料测试中心和中国医学科学院检测，符合环保要求，对水质无影响”，“在2017年秋汛防御应急处置中成功应用，为解除159米水位限制、实现167米历史最高水位蓄水目标发挥了不可替代的作用，保证了防洪、供水和工程安全，得到国家防总、水利部等相关部门的充分肯定”的高度评价。

(5) 基于本项目成果在湖南江垭水电站坝基溶蚀带防渗处理中的成功应用，湖南澧水流域水利水电开发有限责任公司认为“成功解决了电站蓄水100余米高水头动水条件下溶蚀带的基础防渗补强技术难题”，“有效解决了水泥灌浆反复处理均不能消除的坝基微细裂隙渗漏及渗流稳定安全问题”。

(6) 基于本项目成果在广东清远抽水蓄能电站花岗岩蚀变带防渗补强处理中的成功应用，清远蓄能发电有限公司给出了“解决了中平洞塌方段，也是整个清蓄地质条件最差和灌浆难度最大洞段的围岩缺陷处理，克服了涌水、涌泥和塌孔等问题所带来的难题，确保了清蓄充水一次成功”的高度评价。

## 六、应用情况

基于本项目技术的创新性、先进性和实用性，项目成果被水利部作为重点推广对象。近年来，成果已在三峡工程、南水北调中线水源

工程、金沙江溪洛渡水电站、金沙江向家坝水电站、广东清远抽水蓄能电站、武汉市轨道交通工程、坝陵河大桥工程、新加坡国防工程、厄瓜多尔辛克雷水电站、埃塞俄比亚FAN水电站、苏丹上阿特巴拉水利枢纽等国内外水利水电、交通、市政等领域的80多个工程中广泛应用，范围覆盖全国近20个省市自治区及南美、非洲、亚洲等国际地区，近三年直接经济效益约5.05亿。主要应用情况如下：

(1) 核心专利技术已被我国部分水利水电行业质量监督部门和设计院所及施工单位等采纳推广。

(2) 在三峡工程、南水北调中线工程、溪洛渡水电站、向家坝水电站、新加坡隧道工程、埃塞俄比亚 FAN 水电站、苏丹上阿特巴拉水利枢纽等重大水利水电工程中成功应用，解决了深部不良地质体和混凝土缺陷诊断与处理关键技术难题，为这些重大工程成功建设提供了重要技术支撑。

(3) 在国内外公路、铁路、市政等行业的 10 多个重点建设工程项目中也得到成功推广应用，综合诊断了基岩岩体和混凝土缺陷性状，并进行了有效处理，为确保工程安全运行和工程效益发挥发挥了重要作用。

(4) 专利成果转化为产品，通过多家代理商推广进一步扩大应用范围，并远销海外，经济效益显著。

## 七、主要知识产权和标准规范目录

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	证书编号	权利人	发明人	发明专利有效状态
发明专利	超磁致伸缩声波发射换能器	中国	ZL99110820.5	2004年03月17日	147684	长江水利委员会长江工程地球物理勘测研	肖柏勋，刘春生，王军民	有效专利

						究院（武汉）	等	
发明专利	发射扫描相控阵地雷达	中国	ZL200410057316.0	2007年04月11日	319283	长江水利委员会长江工程地球物理勘测研究院（武汉）	肖柏勋，刘宁，朱国强等	有效专利
发明专利	水下环氧树脂灌浆材料	中国	ZL03118712.9	2005年07月20日	218659	长江水利委员会长江科学院	薛希亮，董建军，汪在芹，魏涛等	未缴失效的专利
发明专利	环氧树脂纳米二氧化硅复合材料制备工艺	中国	ZL200410060769.9	2006年5月17日	264871	长江水利委员会长江科学院	汪在芹，李珍，魏涛等	未缴失效的专利
发明专利	环氧/聚氨酯互穿网络水下修补材料及制备方法和应用	中国	ZL200510018426.0	2007年12月19日	364600	长江水利委员会长江科学院	魏涛，苏杰，李珍，汪在芹等	未缴失效的专利
发明专利	改善钻孔电视成像仪在浑水孔中观察效果的辅助装置	中国	ZL201010104235.7	2013年10月06日	1288954	长江工程地球物理勘测武汉有限公司	张建清，黄正来，林学锋等	有效专利
发明专利	带有快换接头的声波（电视）测井仪井内顶送杆	中国	ZL201010104233.8	2013年10月6日	1288713	长江工程地球物理勘测武汉有限公司	张建清，黄正来，林学锋等	有效专利
发明专利	一种抗冲撞复合材料及其制备方法	中国	ZL200710053617.X	2011年1月19日	730660	长江水利委员会长江科学院	韩炜、李珍、汪在芹、魏涛等	有效专利
水利行业标准	水利水电工程物探规程	中国	SL326-2005	2005年11月1日	/	长江水利委员会长江勘测规划设计研究院、黄河水利委员会黄河水	肖柏勋、蔡加兴、王波等	其他有效的知识产权



						利科学研究院、黄河勘测规划设计有限公司等		
建材行业标准	混凝土裂缝用环氧树脂灌浆材料	中国	JC/T 1041-2007	2007年11月1日	/	建筑材料工业技术监督研究中心、长江水利委员会长江科学院、上海地铁咨询监理科技有限公司等	杨斌、魏桑涛、李运义、李运北、李珍等	其他知识产权

## 八、主要完成人情况

姓名	汪在芹	排名	1
技术职称	教授级高工	行政职务	副院长
工作单位	长江水利委员会长江科学院		
完成单位	长江水利委员会长江科学院		
<b>对本项目技术创造性贡献:</b>			
<p>项目负责人，负责总体设计方案制定和组织实施。对发明点（2）中水下环氧树脂灌浆材料、缺陷处理精细控制技术、复杂水工环境缺陷处理技术体系 3 项关键技术均有重大贡献。创新提出制备高渗透水下环氧树脂灌浆材料、水性环氧树脂纳米复合材料等缺陷处理新材料的分子结构改性思路；确立了适用于水工深部不良地质体和混凝土缺陷处理的水泥-化学复合灌浆精细控制技术研发方案。获批专利 7 项，编制国家和行业标准 4 部，发表论文 30 余篇。</p>			
姓名	张建清	排名	2
技术职称	教授级高工	行政职务	总经理
工作单位	长江地球物理探测（武汉）有限公司		
完成单位	长江地球物理探测（武汉）有限公司		
<b>对本项目技术创造性贡献:</b>			
<p>对发明点（1）中大跨度声波测试技术和发明点（3）中浑水多孔径钻孔电视可视性增强技术和缺陷处理质量评价标准 3 项关键技术有重要贡献。创新提出内</p>			

耦合加外耦合的干孔声波全耦合测试思路；发明了扶正补光、浑水孔辅助观察等可视性增强装置；参与编制了水利行业标准《水利水电工程物探规程》等。获批专利 7 项，编制行业和企业标准 3 部，发表论文 20 余篇。

姓 名	李珍	排 名	3
技术职称	教授级高工	行政职务	副董事长/总经理
工作单位	长江水利委员会长江科学院		
完成单位	长江水利委员会长江科学院		

**对本项目技术创造性贡献：**

对发明点（2）中水下环氧树脂灌浆材料、缺陷处理精细控制技术、复杂水工环境缺陷处理技术体系 3 项关键技术均有重要贡献。创新提出增强环氧灌浆材料浸润渗透性的分子结构接枝方法，完成水性环氧树脂纳米复合材料等缺陷处理材料的配方优化和性能测试，研发了步进电机驱动化学灌浆泵等新型灌浆设备的灌浆压力-时间-注入率耦合调控技术。获批专利 9 项，编制行业标准 6 部，发表论文 30 余篇。

姓 名	肖柏勋	排 名	4
技术职称	教授级高工	行政职务	无
工作单位	长江地球物理探测（武汉）有限公司		
完成单位	长江地球物理探测（武汉）有限公司		

**对本项目技术创造性贡献：**

作为主要技术骨干，对发明点（1）中大跨度声波测试技术、相控阵探地雷达精细探测技术 2 项关键技术专利有重要贡献。创新提出将稀土超磁致伸缩材料用于声波测试震源振子的新思路 and 结构设计方案；将相控阵技术引入探地雷达领域，研制出世界上第一台“相控阵探地”雷达。获批专利 9 项，编制行业标准 1 部，发表论文 20 余篇。

姓 名	魏涛	排 名	5
技术职称	教授级高工	行政职务	所副总工
工作单位	长江水利委员会长江科学院		
完成单位	长江水利委员会长江科学院		

**对本项目技术创造性贡献:**

对发明点(2)中水下环氧树脂灌浆材料、缺陷处理精细控制技术、复杂水工环境缺陷处理技术体系3项关键技术有重要贡献。创新提出实现环氧树脂灌浆材料水下有效固化的互穿网络调控方法,建立环氧灌浆材料分子反应动力学模型,研发水泥-化学复合灌浆多参数联合调控方法,开展了水性环氧树脂纳米复合材料等缺陷处理材料的现场工艺研究。获批专利8项,编制行业标准5部,发表论文30余篇。

姓名	陈敏	排名	6
技术职称	高工	行政职务	无
工作单位	长江地球物理探测(武汉)有限公司		
完成单位	长江地球物理探测(武汉)有限公司		

**对本项目技术创造性贡献:**

对发明点(1)中大跨度声波测试技术和发明点(3)中浑水多孔径钻孔电视可视性增强技术有重要贡献。设计了可实现内外全耦合的声波测试探头新结构;负责钻孔电视浑水孔辅助观察装置的结构设计优化和现场调试。获批专利2项,编制企业标准2部,发表论文10余篇。

## 九、完成人合作关系说明

项目“水工深部不良地质体和混凝土缺陷诊断、处理与评价新技术”由汪在芹、张建清、李珍、肖柏勋、魏涛、陈敏等人,长江水利委员会长江科学院(以下简称“长科院”),长江地球物理探测(武汉)有限公司(原“长江水利委员会长江工程地球物理勘测研究院(武汉)”,2005年更名为“长江工程地球物理勘测武汉有限公司”,2014年后更为现名,以下简称“长江物探公司”)两家单位,20余年合作完成。合作关系说明如下:

长江科学院汪在芹、李珍、魏涛等人与长江物探公司张建清、肖柏勋、陈敏等人所在单位均为长江水利委员会下属单位,且人员隶属国家大坝安全工程技术研究中心大坝安全诊断、除险加固研发团队。

自1995年开始，由长科院汪在芹牵头，带领长科院李珍、魏涛，长江物探公司张建清、肖柏勋、陈敏等，以三峡工程建设为契机，针对其基岩岩体、大体积混凝土以及边坡支护质量等检测与缺陷处理一系列技术难题开展了密切和深入的合作研究。长江物探公司张建清、肖柏勋、陈敏等负责三峡工程地质体和混凝土缺陷检测与评价新技术研发和测试，长科院汪在芹、李珍和魏涛等负责缺陷处理新技术的系统研究方案制定和实施，及时解决了三峡工程建设中的相关难题。其后，项目组围绕南水北调中线工程、溪洛渡、向家坝、新加坡隧道、埃塞俄比亚FAN等国内外大中型重点工程需求，在物探无损检测和缺陷处理新材料、新设备、新技术等方面进行了持续的发明创新，形成了适用于水工深部不良地质体和混凝土缺陷诊断—处理—效果评价的成套技术和系统解决方案，并在国内外水利水电、铁路、公路、市政等领域80余个重点工程中成功应用。

1995年到2014年，由汪在芹、张建清、李珍、陈敏、魏涛等人共同完成的项目成果“水利工程地质体和混凝土缺陷无损检测与处理技术”获得2014年度湖北省技术发明一等奖。