

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、推荐单位意见

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、高压动态流量控制的新型复合灌浆设备和技术，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“难以准确检测、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。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；编写国家和行业标准 9 部。成果在三峡、南水北调、溪洛渡、向家坝、新加坡隧道、埃塞俄比亚 FAN 等国内外水利水电、交通、市政等领域的 80 余个大中型工程得到成功应用，创产值逾 6 亿元，社会、经济和环境效益显著，具有广阔的应用前景，推动了物探检测及缺陷处理技术领域的技术进步。

推荐该项目为国家技术发明奖一等奖。

三、项目简介

水工不良地质体和混凝土缺陷普遍存在于水工建筑物中，其引起

的任何形式的失稳与破坏，都将对工程造成重要甚至是灾难性的影响。工程界渴望“透视的眼睛”、“精湛的微创手术”来进行科学诊断和有效处理，尤其是深部岩体缺陷的检测与处理更是国际性难题。针对上述问题，项目组紧密围绕国家重大水利水电工程建设需求，历经 20 余年系统研究，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发明创新，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，取得了显著成果。

(1) 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，解决了水利水电工程地质体和混凝土缺陷“无法测、测不准”的难题。“超磁致伸缩”声波发射技术使穿透距离从 3 米提高到 30 米，实现了大尺度长距离声波检测；“相控阵探地”雷达有效透地耦合电磁波能量提高了 30 倍，显著增强抗干扰能力和分辨能力；首创的全耦合干孔声波测试装备实现了干孔声波的有效检测。

(2) 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，并制定了相关行业标准，攻克了低渗性及高压动水下不良地质体难以有效处理的国际性技术难题。基于分子结构调控和互穿网络技术，发明的水下环氧树脂灌浆材料初始粘度低至 $6\text{mPa}\cdot\text{s}$ ，与岩体接触角低至 0° ，粘结强度大于 4MPa ，胶凝时间范围大 ($2\sim 106\text{h}$) 且精确可控，可有效处理渗透系数低至 10^{-8}cm/s 量级的不良地质体和宽度微米量级的混凝土微裂缝，环境适应性强，耐久性好，环保无毒。

(3) 研制了可自动精确计量、高压动态流量控制的新型复合灌浆设备和技术，解决了复杂深部地质体缺陷处理实时动态控制的难题。采用发明的步进电机驱动化学灌浆泵、静态真空混合器等设备，以及基于材料粘度、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，实现了大孔深 ($\geq 100\text{m}$)、高水头 ($\geq 200\text{m}$) 层间层内错动带、挤压破碎带等不良地质体的灌浆处理。

(4) 发明了钻孔光学电视成像仪浑水观察辅助装置和扶正补光装置等，实现了浑水条件下的成像观测，完善了效果评价方法，建立了效果评价体系，形成了《水利水电工程物探规程》，并输出国外，解决了缺陷处理效果难以科学评价的技术难题。

项目成果在三峡工程、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 水电站等重大工程中成功应用，解决了不良地质体和混凝土缺陷检测与处理关键技术问题，为这些重大工程成功建设提供了重要技术支撑；并推广至其他水利水电、铁路、公路、市政等多个领域的国内外 80 余个工程，累计经济效益逾 6 亿元，推动了水利水电行业科技进步，社会经济效益显著。

项目成果经鉴定“整体达到国际领先水平”，获湖北省技术发明一等奖 1 项、水利部大禹水利科学技术一等奖 1 项，中国岩石力学与工程学会科技进步一等奖 1 项。取得知识产权 27 项，其中发明专利 12 项，实用新型 13 项，软件著作权 2 项。6 项新产品列入全国水利系统优秀产品目录，5 项技术获水利部先进实用技术推广证书。发表论文 100 余篇 (SCI/EI 20 余篇)，出版专著 7 部，制定国家和行业

标准 9 部。

四、客观评价

1. 成果鉴定与验收

(1) 湖北省科技厅主持了“水利工程地质体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设计大师等专家鉴定，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) 湖北省科技厅主持了“高分辨力表层穿透雷达探测技术—相控阵探地雷达”的成果鉴定，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) 湖北省科技厅主持了“工程质量隐蔽问题综合物探检测方法及新技术”的成果鉴定，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”。

(4) 水利部国际合作与科技司主持了“高性能环氧灌浆材料及配套技术研究与应用”的成果鉴定，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”。该材料及其配套技术获2012年度水利部大禹水利科学技术一等奖。发明专利“水下环氧

树脂灌浆材料”于2009年荣获第二届湖北省优秀专利项目奖。

(5) 中国岩石力学与工程学会主持了“高水头下复杂岩体防渗补强关键技术与应用”的成果鉴定，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”、“形成了成套灌浆系统”、“构建了高水头下不良地质体防渗补强系统处理工艺”，“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。

(6) 科技部组织专家对国家“863”课题“高分辨力表层穿透雷达探测技术—相控阵探地雷达”进行了会议及现场探测验收。由中国科学院吴一戎院士担任组长的验收专家组给出了“研制出了一台新型相控阵探地雷达样机”，“相控阵探地雷达在探测深度、分辨率、信杂比等方面具有明显优势”的良好评价。

2. 行业评价

(1) 本项目发明的工程地质体与混凝土缺陷处理新材料经国家建筑材料测试中心检测，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，大鼠半数致死量 $LD_{50} > 5000\text{mg/kg}$ ，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（SL326-2005）》、地基与基础处理用环氧树脂灌浆材料（JC/T 2379-2016）、混凝土裂缝用环氧树脂灌浆材料（JC/T 1041-2007）、丙烯酸盐灌浆材料（JC/T 2037-2010）、水电水利工程聚脲涂层施工技术规程（DL/T 5317-2014）、隧道工程防水技术规范（CECS 370:2014）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系高性能环氧灌浆材料及配套技术、干孔声波测试耦合系统等5项成果被水利部认定为水利先进实用技术。

3. 工程应用效果评价

(1) 基于本项目成果在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，中国三峡建设管理有限公司给出了“对三峡工程地质和混凝土缺陷问题起到了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“尤其在缺陷处理施工过程中首次应用深孔阻塞和全封闭灌浆工艺新技术，成功解决了化学灌浆103m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给出了“针对坝基玄武岩层间层内错动带延伸范围长，微裂隙发育，高水头下渗水严重且普通水泥灌浆时吸水不吸浆，其在高水头下化学浆液扩散范围难以控制问题，开发的高性能环氧类灌浆材料、控制性复合灌浆方法和技术，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”的高度评价。

(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获得成功应用。三峡集团总工程师张超然院士等专家对以CW环氧树脂灌浆材料为核心的水泥-化学复合灌浆技术给予了充分肯定，认为该项技术对改善坝基不良地质体强度和抗渗性能有较好效果。中国三峡建

设管理有限公司给出了“提高了坝基的渗透稳定性和耐久性，确保了向家坝水电站按期蓄水发电，创造了显著的经济效益和社会效益，为向家坝水电站长期安全运行发挥了重要作用”的高度评价。

(4) 基于本项目成果在南水北调中线水源工程丹江口大坝加高老混凝土缺陷检测与处理的成功应用，南水北调中线水源公司给出了“不仅保证了大坝加高工程混凝土整体质量，也保障了大坝加高后的安全运行，取得了显著的社会效益和经济效益”的高度评价。

(5) 基于项目成果在湖南江垭水电站蓄水100余米高水头动水条件下溶蚀带基础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给出了“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漏补强技术难题”，“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，改善了坝基水文、工程地质条件，创造了显著的社会效益和经济效益”的高度评价。

(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漏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。

4. 科技奖励

本项目主要成果已获省部级技术发明一等奖1项和科技进步一等奖2项：“水利工程地质体和混凝土缺陷无损检测与处理技术”获2014年湖北省技术发明一等奖；“高性能环氧灌浆材料及配套技术研究与应用”获2012年大禹水利科学技术一等奖；“高水头下复杂岩体防渗

“补强关键技术与应用”获2016年中国岩石力学与工程学会科技进步一等奖。

五、推广应用情况

基于本项目技术的创新性、先进性和在水工地质体和混凝土缺陷检测与处理中的实用性，项目成果被水利部作为重点推广对象。近年来，成果已在国内外水利水电、交通、市政等领域的80余个工程中广泛应用，产生经济效益逾6亿元。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工程中成功应用，解决了不良地质体和混凝土缺陷诊断与处理关键技术问题，为这些重大工程成功建设提供了重要技术支撑。

（3）成果在国内外公路、铁路、市政等行业的10多个重点工程建设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。

六、主要知识产权证明目录

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	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究院(武汉)	肖柏勋, 刘春生, 王军民, 周乐宝	有效专利
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, 夏正斌, 李晓鄂, 苏杰, 黄良锐	未缴费失效的专利
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, 蒋硕忠, 谭日陞, 尹作仿, 黄良锐, 蔡胜华, 苏杰, 李珍	未缴费失效的专利
发明专利	环氧/聚氨酯互穿聚合物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, 张杰, 蔡胜华, 李晓鄂, 蒋硕忠, 胡志坤, 王燕, 黄良锐	未缴费失效的专利
发明专利	发射扫描相控阵探地雷达	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, 王春和, 胡文宝, 陈淑珍, 王家映, 朱培民, 邹炼, 余才盛, 熊永红, 王顺立, 张智, 等	有效专利
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	ZL2010104235.7	2013年10月6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, 张智, 刘方文, 陆二男, 刘润泽, 李文忠, 文志祥, 程含发, 况碧波, 陈华, 谢涛, 将宏图, 马圣敏, 林永燊, 秦东灵, 王晓群, 陈敏	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	ZL 201 010 104 233 .8	2013 年 10 月 6 日	128871 3	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, 张智, 刘方文, 陆二男, 李文忠, 余才盛, 熊永红, 刘润泽, 周习军, 文志祥, 程含发, 喻维钢, 金润新, 况碧波, 陈华, 谢涛, 将宏图, 孙卫民, 马冠群	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	ZL 200 710 053 617 .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、邵晓妹、蔡胜华、邹涛、李晓鄂、徐哲	有效专利
水利行业标准	水利水电工程物探规程	中国	SL3 26-200 5	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利科学研究院、黄河勘测规划设计有限公司、水利部长江勘测技术研究所、中水东北勘测设计研究有限责任公司、中水北方勘测设计研究有限责任公司、中国水电工程顾问集团贵阳勘测设计研究院、中国水电工程顾问集团成都勘测设计研究院、中国水电工程顾问集团北京勘测设计研究	肖柏勋、蔡加兴、王波、沙椿、冷元宝、熊永红、魏岩峻、张智、余才盛、张建清、袁景花、郭玉松、毋光荣、刘康和、王顺立、才致轩、宋正宗、吴达元、钱世龙、张喜元	

						院		
建 材 行 业 标 准	混 凝 土 裂 缝 用 环 氧 树 脂 灌 浆 材 料	中 国	JC/ T 104 1-2 007	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、中 国 建 筑 材 料 检 验 认 证 中 心、中 科 院 广 州 化 灌 工 程 有 限 公 司、湖 南 省 水 利 水 电 勘 测 设 计 研 究 总 院、广 州 市 金 科 化 灌 有 限 公 司、 中 国 水 电 基 础 局 有 限 公 司、广 州 科 化 防 水 防 腐 补 强 有 限 公 司、杭 州 国 电 水 利 电 力 工 程 有 限 公 司、上 海 燧 星 工 贸 有 限 公 司、上 海 先 特 涂 装 工 程 有 限 公 司、广 东 灌 浆 岛 路 桥 新 技 术 发 展 有 限 公 司、武 汉 昌 辉 科 技 开 发 有 限 公 司、广 州 市 台 实 防 水 补 强 有 限 公 司	杨 斌、魏 涛、 桑 义、李 运 北、 李 珍、邝 健 政、 乔 渊、陈 斌、 饶 明、陈 松	

七、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		
对本项目技术创造性贡献： <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 和 3 中水工深部不良地质体和混凝土缺陷处理新材料、新设备和新技术有创造性贡献。取得发明专利 7 项。相应成果已获 2014 年湖北省技术发明奖一等奖，2012 年大禹水利科学技术一等奖，2016 年中国岩石力学与工程学会科技进步一等奖。</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		
对本项目技术创造性贡献： <p>作为第 2 负责人，在科研、工程应用中起到了关键作用。对发明点 1 和 4 中的钻孔光学电视成像仪浑水观察辅助装置、扶正补光装置、新型干孔声波测试装置等 7 项关键技术专利有创造性贡献，参与编制了水利行业标准《水利水电工程物探规程》，相应成果已获 2014 年湖北省技术发明奖一等奖。</p>			

姓 名	李珍	排 名	3
技术职称	教授级高工	行政职务	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：

作为核心技术骨干，在科研中起到重要作用，同时也负责技术推广转化。对发明点 2 和 3 中高渗透水下环氧树脂灌浆材料等缺陷处理材料、步进电机驱动化学灌浆泵等复合灌浆设备共 8 项关键技术专利有重要贡献，参与编制了建材行业标准《混凝土裂缝用环氧树脂灌浆材料》。相应成果已获 2014 年湖北省技术发明奖一等奖，2012 年大禹水利科学技术一等奖，2016 年中国岩石力学与工程学会科技进步一等奖。

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 中超磁致伸缩声波发射换能器、发射扫描相控阵探地雷达 2 项关键技术专利有重要贡献。作为第一标准起草人，参与编制了水利行业标准《水利水电工程物探规程》。

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：

作为主要技术骨干，对发明点 2 和 3 中高渗透水下环氧树脂灌浆材料等缺陷处理材料、步进电机驱动化学灌浆泵等复合灌浆设备共 8 项关键技术专利有重要贡献，参与编制了建材行业标准《混凝土裂缝用环氧树脂灌浆材料》。相应成果已获 2014 年湖北省技术发明奖一等奖，2012 年大禹水利科学技术一等奖，2016 年中国岩石力学与工程学会科技进步一等奖。

姓 名	陈敏	排 名	6
技术职称	高工	行政职务	无
工作单位	长江勘测规划设计研究有限责任公司		
完成单位	长江勘测规划设计研究有限责任公司		
对本项目技术创造性贡献： <p style="text-align: center;">作为主要技术骨干，对发明点 1 和 4 中的新型干孔声波测试装置、钻孔光学电视成像仪浑水观察辅助装置 2 项关键技术专利有重要贡献。</p>			

八、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”）和长江勘测规划设计研究有限责任公司（以下简称“长江设计院”）三家单位，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、肖柏勋等人以及长江设计院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、肖柏勋和长江设计院陈敏等，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、肖柏勋和长江设计院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检测—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。