

1.西部强震区高混凝土坝抗震安全关键技术

该技术成果基于国家计划项目,已获得 2 项发明专利 3 项实用新型专利; 5 项软件著作权。2019 年,“西部强震区高混凝土坝抗震安全关键技术及应用”项目获中国大坝工程学会科技进步特等奖。

◆ 技术原理

该项技术以防止遭遇最大可信地震时发生库水失控下泄导致严重次生灾害为核心,创建了一整套集“坝址地震动输入-坝体混凝土动态性能-大坝地震损伤破坏机理-抗震安全定量评价准则”于一体的混凝土坝抗震安全评价体系,具体包括:(1)采用随机有限断层模型确定坝址最大可信地震参数;(2)采用 15MN 动态材料试验机测得坝体混凝土动态性能;(3)采用基于云计算平台的并行计算技术计算最大可信地震下大坝的损伤破坏状态;(4)通过 10 余座高混凝土坝抗震分析,建立了最大可信地震下高混凝土坝-地基体系抗震安全定量评价准则。成果为国家标准《水工建筑物抗震设计标准》的制定提供了技术支撑。

◆ 技术特点

(1)采用随机有限断层模型构建了确定坝址最大可信地震参数的方法,研发了相应计算软件,合理反映了近场大震面源破裂的特征,模拟并重现了汶川地震时沙坪和紫坪铺大坝坝址的地震动。

(2)研发了大坝芯样和全级配混凝土试件动态轴拉

试验的试件可靠连接方法、动态往复加载控制及量测技术，首次获得了动态循环加载下大坝混凝土单轴拉伸应力-应力全过程曲线，揭示了大坝混凝土动态损伤演化规律。

（3）提出了基于试验资料确定残余应变的大坝混凝土动态损伤模型，自主研发了基于云计算平台的超大规模混凝土坝抗震分析模型、方法和相应并行计算软件，并通过对遭遇强震的印度柯以那重力坝和我国沙牌拱坝的实际震情的模拟分析，验证了该模型的合理性，突破了高混凝土坝动力非线性计算中由于规模过大难以实现的瓶颈。

（4）揭示了最大可信地震作用下高混凝土坝的损伤破坏模式及其相应的抗震安全极限状态，建立了最大可信地震下高混凝土坝-地基体系抗震安全定量评价准则。提出了大坝震损分级、震害评价准则和防止高坝大库强震灾变的对策措施。

（5）解决了大坝场址最大可信地震、大坝混凝土动态性能、大坝地震损伤破坏机理、抗震安全评价准则等方面基础理论与关键技术。

◆ 技术指标

（1）研发了基于随机有限断层法确定坝址最大可信地震参数的计算软件。

（2）研发了全级配混凝土试件动态轴拉试验的可靠连接方法、动态往复加载控制及量测技术，获得试件静态和应变率 10^{-2} 以下的动态应力应变全过程曲线。

（3）研发了基于云计算平台的超大规模混凝土坝抗震分析并行计算软件，实现总自由度数百万的混凝土坝地

震损伤破坏过程模拟。

（4）通过对 4 座高重力坝和 6 座高拱坝在最大可信地震作用下的坝体损伤和整体稳定非线性动力分析计算，提出了评价最大可信地震下大坝不出现库水下泄灾变的安全裕度定量评价准则。

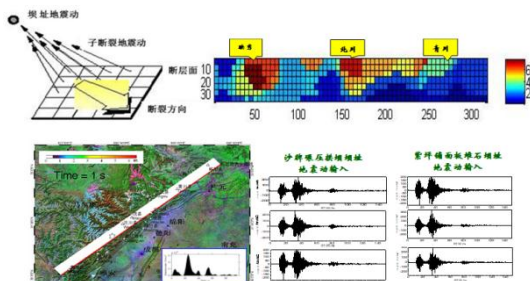
◆ 应用范围及前景

该技术适用于国内外强震区混凝土坝工程的抗震安全评价。

已在白鹤滩、溪洛渡、沙牌、孟底沟、JH、QBT、印尼 Cisokan、托巴等国内外混凝土坝工程中得到成功应用。

案例 1：该技术应用于白鹤滩工程的抗震设计，在合理考虑坝址地震动输入、横缝张开效应、无限地基辐射阻尼、坝体-坝肩整体稳定等的基础上，通过分析计算，论证了抗震设防参数提高后拱坝保持原设计体型的可行性，避免了修改剖面导致的大量设计和勘测试验工作量，加快了设计进度，新增销售额共 1.72 亿元。

案例 2：该技术应用于溪洛渡工程的抗震设计，深入分析强震作用下的横缝张开、地基辐射阻尼、地震动输入等因素的影响，提出了可靠的分析成果，优化了钢筋布置，节省坝面抗震钢筋量 820t、闸墩及孔口抗震钢筋量 2210t。论证表明，大坝不设置横缝跨缝钢筋的情况下，横缝张开度及大坝抗震安全满足要求，大坝抗震设计中取消跨缝钢筋，节省钢筋用量 6399t。共计节约投资 5094 万元。



■ “随机有限断层法”推求汶川地震高坝坝址地震动参数

技术名称：西部强震区高混凝土坝抗震安全关键技术

持有单位：中国水利水电科学研究院

中国地震局地球物理研究所

水电水利规划设计总院

河海大学

联系人：郭亮亮

电话：010-68786283、13911930343

2.工程勘察信息数字采集及应用技术

该技术核心成果已获得 2 项发明专利：基于手持式激光测距仪的地下洞室地质编录方法（ZL 201611184140.4）；精确生成弧段地质剖面的方法（ZL 201611184139.1）。

◆ 技术原理

该工程勘察数字采集信息系统（GEAS）是在研究传统工程勘察业务流程基础上，综合运用地理信息系统、移动地理信息系统、数据库等技术研发完成的。系统针对工程勘察过程中所涉及的地质测绘、勘探、原位测试和试验等基础勘察数据进行数字化采集、一体化管理和多元化应用；技术的应用实现了工程地质数据库建设及应用与工程勘察业务流程同步进行，革新了传统工程勘察作业模式，开创了信息时代工程勘察作业信息采集与管理、应用的新模式。

◆ 技术特点

（1）集成了 GPS 定位、地质描述、素描图、照相、数字地质罗盘等多功能于一体的智能便携采集设备，替代了传统繁杂的野外作业装备，野外作业工具升级换代，革新了多年以来传统地质工作模式。

（2）采用 3S、多源数据融合技术，集成研发了集野外数据采集及信息处理于一体的多属性工程勘察管理平台，实现了数据采集、查询、统计、分析、计算以及图件批量化自动生成等功能，在剖面线中包含弧段的情况下，能够精确绘制地质剖面。

（3）提出了具备智能记忆功能的 GIS 与 CAD 空

间数据转换的解决方案。采用分层比对接口处理方法，建立了动态的、可维护扩充的二元要素类映射池，具有较强的人机交互功能，实现了空间数据的双向导通、便捷与无损转换。

（4）通过移动端和激光定位设备的集成技术，在探洞及地下洞室内没有 GPS 和移动网络的极端条件下，实现了数据采集的三维空间精准定位，做到了地表洞内全方位一体化的数据采集。

（5）提出了适用于工程勘察的基础信息分类与编码等技术标准和数字采集作业标准，建立了数字采集系统作业标准化流程和可动态更新的工程勘察信息字典库。

（6）系统使用覆盖工程全周期，为数据深度挖掘、下游专业 BIM 协同设计提供勘察数据支持，为项目极速、保质提交设计成果提供了有效的技术支撑。

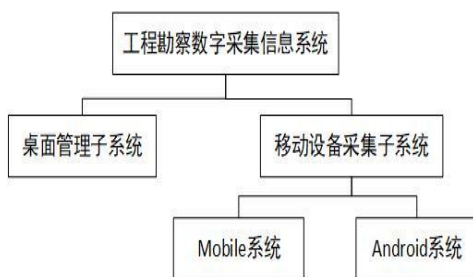
◆ 技术指标

开发了桌面管理子系统和移动设备采集子系统。该技术依据水利水电工程地质勘察规范及实际勘察需求开发完成，具有项目管理、地图管理、定位导航、数据采集、统计分析、图件批量自动绘制、报表输出等功能；内外业基于一套标准进行勘察数据的采集、管理、应用；二元要素类映射池技术实现了 GIS 与 CAD 空间数据的无损便捷转换；制定了工程勘察数字采集系统作业标准化流程；打通不同平台间数据接口，为勘察数据的共享应用、深度挖掘、BIM 协同设计提供数据支持。

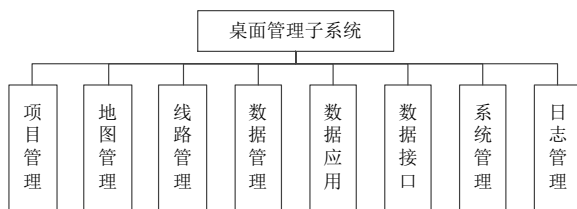
◆ 应用范围及前景

适用于各类水利水电工程勘察项目，交通、能源等各行业工程勘察项目，地质灾害调查评估、规划查勘、移民调查等工作领域。

该成果已在黑河黄藏寺水利枢纽工程、青海省格尔木市三岔河水库工程、兰州市第二水源工程、黄河下游“十三五”防洪工程、杨家水库、东庄水利枢纽、西昌调水工程、内蒙古防洪二期工程、卢氏县池芦水库、吉县柏房水库、苏阿皮蒂水电站等上百项大中型项目的工程勘察中得到应用。工程类型涵盖水利水电枢纽工程、引调水工程、河道治理工程、灌区工程、地下工程、地质灾害调查等，实现了数据采集、管理、专业统计分析、计算以及图件自动绘制等勘察作业全程数字化。



■ 总体结构



■ 桌面管理子系统功能模块



■ 移动设备采集子系统功能模块

技术名称：工程勘察信息数字采集及应用技术

持有单位：黄河勘测规划设计研究院有限公司

联系人：齐菊梅

电话：0371-66025694、13838338221

3.水利水电工程大顶角超深斜孔钻探关键技术

该技术核心成果已获得 1 项发明专利：水电站河谷的双向成对跨江大顶角斜孔钻探方法（ZL 201810910129.4）。

◆ 技术原理

该技术包括水电站河谷的双向成对跨江大顶角斜孔钻探方法以及轻便式气囊隔离随钻压水试验两项创新性技术。水电站河谷的双向成对跨江大顶角斜孔钻探方法是在现有斜孔钻探成熟技术上发展形成，能够安全高效、经济环保地查明水利水电工程中的地质状况空间分布、规模、物质组成、工程性状等特征，形成立体的地质描述，避免采用河底过河平硐施工等常规工艺带来的安全风险。轻便式气囊隔离随钻压水试验解决不提钻条件下开展压水试验的难题，保证孔壁不完整破碎地层的压水试验成功率，促进绳索取芯技术在水利水电工程钻探中的推广，减少上、下钻具辅助作业时间，提高钻探效益。

◆ 技术特点

（1）水电站河谷的双向成对跨江大顶角斜孔钻探方法：双向成对大顶角超深斜孔钻探，斜孔顶角 55° 、孔深 252m。

（2）复杂地层大顶角超深斜孔随钻压水试验技术：解决不提钻条件下开展压水试验的难题，保证孔壁不完整破碎地层的压水试验成功率，促进绳索取芯技术在水利水电工程钻探中的推广，减少上、下钻具辅助作业时间，提高了钻探效益。

（3）技术成果为该水电站坝址选择、坝线选择及坝基处理、枢纽布置等提供可靠支撑，在水利水电工程跨江勘探技术应用上具有重要指导意义。

◆ 技术指标

各项技术指标满足《水利水电工程钻孔压水试验规程》SL 31-2003 的技术要求。

（1）水利水电工程大顶角超深斜孔钻探关键技术适应于孔深大于 200m，顶角 $30^{\circ} \sim 75^{\circ}$ 的斜孔钻探。2019 年 12 月 27 日，国家大坝中心对本技术进行评定，评定结论为：本技术结合水利水电钻探工程特点，对斜孔孔斜控制、高效钻具、小口径定向、泥浆等进行技术集成，形成成套的大角度双向成对钻探工艺技术体系。在水利水电工程勘探技术应用上具有重要意义，同时对水利水电工程大角度斜孔施工具有很强的指导意义。

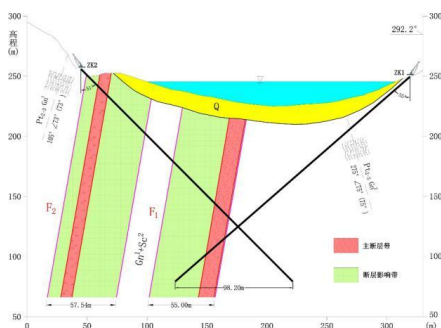
（2）压水试验钻孔的孔径一般为 59~150mm，常用孔径为 75mm、91mm。流量观测工作应每隔 1~2min 进行 1 次。当流量无持续增大趋势，且 5 次流量读数中最大值与最小值之差小于最终值的 10%，或最大值与最小值之差小于 1L/min 时，本阶段试验即可结束，取最终值作为计算值。

◆ 应用范围及前景

本技术成果适用于水体底部或其他非固态地形（如沼泽）、不宜破坏的建筑物（如大坝）地层地质状况的勘察钻探；轻便式气囊隔离随钻压水试验技术适应于各种低层，

解决不提钻条件下开展压水试验的难题，保证孔壁不完整破碎地层的压水试验成功率。

该技术已在浙江华东建设工程有限公司等 4 家水利单位的 11 个项目中成功应用。其中，水电河谷双向成对钻探勘查技术为长江岩土工程总公司(武汉)创新专利技术，在现有斜孔钻探成熟技术上发展形成，具有安全、环保、高效、低成本、操作性强等优点，累计实施进尺 18.9 千米，水电河谷双向成对跨江钻探勘查技术创造经济效益 3540 万元，大大提高了钻探成果的利用率，节省了勘探工作量，加快了勘探设计工作进度，创造了可观的社会和经济效益。



■ 陡倾大跨度顺河断层双向成对大顶角超深斜孔钻探示意



■ 轻便式气囊隔离随钻压水试验器结构组成



■ 云南某引水工程随钻压水试验现场场景

技术名称：水利水电工程大顶角超深斜孔钻探关键技术

持有单位：长江岩土工程总公司（武汉）

联系人：雷世兵

电话：027-82927002、18502772043

4.土石结合部渗透破坏测试技术

该技术核心成果基于省部计划项目,已获得 2 项发明专利:一种土石结合部接触冲刷试验装置 (ZL 20151 0108608.0);一种土石结合部接触冲刷试验方法 (ZL 201510108636.2)。

◆ 技术原理

该技术是科学指导土石结合部设计完善、险情处置及工程安全管理的实用技术,解决了常规渗透试验仪器无法进行土石结合部接触冲刷渗透破坏试验模拟问题。自行研制了土石结合部接触冲刷渗透破坏试验装置,编制了测试作业指导书,并给出试样制备、缺陷设置、试样制作、试验方式、操作步骤、初始水头施加等一系列要素;得到了土石结合部渗透破坏的破坏特征、发展变化过程及规律;分析了土体性质、水力比降、接触带不密实区压实度等对土石结合部接触冲刷渗透破坏的影响,建立了考虑时间变量的接触冲刷各因素的数学模型;提出了土石结合部渗透破坏评判准则以及提高土石结合部抗渗能力的具体措施。

◆ 技术特点

(1) 通过研制提防涵闸土石结合部接触冲刷试验装置,得到了土石结合部接触冲刷渗透破坏的破坏特征、破坏类型及发生发展变化过程,切合实际,可科学指导隐蔽工程安全检测及安全评价。

(2) 明确了土石结合部接触冲刷渗透破坏的影响因

素，建立了考虑时间变量的接触冲刷渗透破坏数学模型，简单实用。

（3）提出了土石结合部渗透破坏评判准则及提高土石结合部抗渗能力的具体措施，科学合理，可指导隐蔽工程险情处置及工程安全管理。

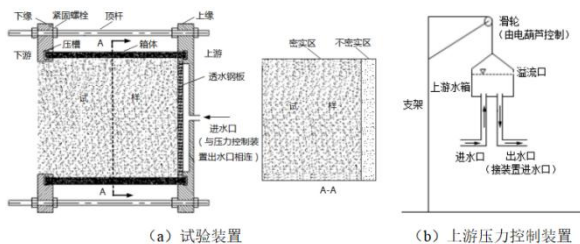
◆ 技术指标

（1）试验装置符合实际，箱体钢化玻璃壁厚 8mm，内部尺寸为 150mm×200mm×200mm。接触冲刷试验装置上、下游侧边缘均为厚 20mm 钢板，钢板与有机玻璃箱体之间设厚 12mm 的硅胶防水圈，顶杆用于紧固有机玻璃箱体和上、下游侧，在紧固螺栓和顶杆作用下钢板与有机玻璃箱体之间密闭防水。

（2）可得到土石结合部病险指标参数与穿堤建筑物安全稳定之间的量化关系，可建立考虑时间变量的接触冲刷各因素的数学模型，其计算参数明确。

◆ 应用范围及前景

适用于水闸及堤坝等工程安全检测及安全评价。该技术已在工程检测单位和水闸管理单位得到成功应用，效果良好，测试结果得到的土石结合部接触冲刷渗透破坏特征、发展变化过程及规律、渗透破坏评判准则有效指导了工程安全检测和安全评价工作。



■ 土石结合部接触冲刷渗透破坏试验装置

技术名称：土石结合部渗透破坏测试技术

持有单位：黄河水利委员会黄河水利科学研究院

联系人：李娜

电话：0371-66024596、18738119027

5.混凝土仓面小气候自适应控制系统

该技术核心成果已获得 1 项发明专利：混凝土仓面小气候自适应控制方法（ZL 2017102591974）。

◆ 技术原理

该系统包括喷雾机构、数据采集子系统、仓面气候控制子系统和数据采集子系统采集的混凝土仓面的气候数据（温湿度数据、风速数据、太阳辐射数据等）传输至仓面气候控制子系统，仓面气候控制子系统根据该气候数据及预设的气候阈值或气候阈值范围控制喷雾机构的喷雾方式、喷雾范围及喷雾水压。该喷雾系统能够适应工程的需求，做到喷雾效果完全雾化，不会对混凝土浇筑质量造成不利影响。实现浇筑过程中根据浇筑要求、外界环境温度，调节喷雾机的喷雾强度、开启和关闭实现仓面气候的自动调节，控制混凝土浇筑温度和仓面湿度在合理范围内。

◆ 技术特点

（1）该喷雾系统能够适应工程的需求，做到喷雾效果完全雾化，不对混凝土浇筑质量造成不利影响；且该喷雾系统能够具有良好防堵功能，确保喷雾效果的持续性。

（2）实现浇筑过程中根据浇筑要求、外界环境温度，调节喷雾机的喷雾强度、开启和关闭实现仓面气候的自动调节，控制混凝土浇筑温度和仓面湿度在合理范围内。

（3）喷雾系统具有良好的自动保护机制，能在停水情况下自动断电保护喷雾装置，并在停电时自动停水，保

障混凝土浇筑质量。

◆ 技术指标

喷头个数: 0~120 个可调节; 送风量: $6.7\sim 11.0\text{m}^3/\text{s}$ 可调节; 风速: $8.2\sim 27.1\text{m/s}$ 可调节; 风机频率: $20\sim 50\text{Hz}$ 可调节; 水量: $0.21\sim 0.75\text{m}^3/\text{h}$ 可调节; 水泵压力: $4.0\sim 37.8\text{MPa}$ 可调节; 水泵频率: $20\sim 50\text{Hz}$ 可调节; 喷头方向 (垂直): $-10\sim 20$ 度可调节; 喷头方向 (水平): 左右/定向; 总功率: $10\sim 15\text{kW}$ 。

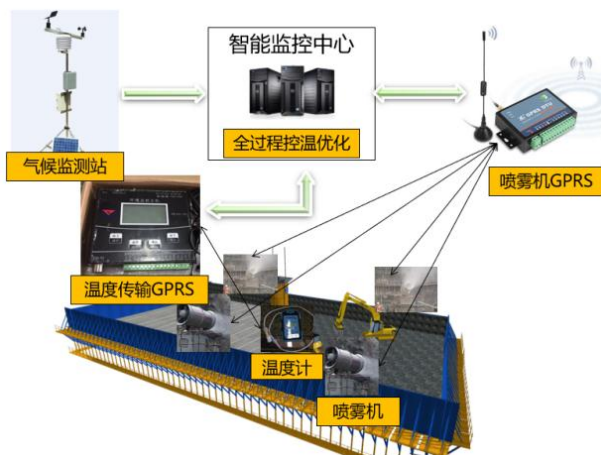
◆ 应用范围及前景

适用于混凝土坝, 包括碾压混凝土坝和常态混凝土坝浇筑期间和浇筑间歇期间温度和湿度的控制。

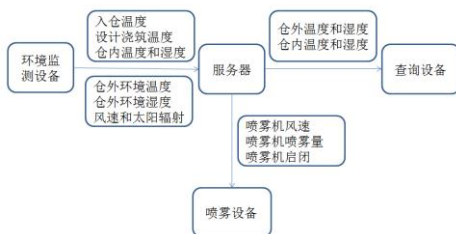
案例 1: 乌东德工地应用。乌东德水电站位于四川省会东县和云南省禄劝县交界处金沙江河道上, 水电站坝顶高程 988 米, 最大坝高 270 米, 总库容 74.08 亿立方米。该喷雾系统于 2018 年 2 月份进场后, 在喷雾量最大情况下, 仓面无任何可观测降水。距离喷雾机 20m 左右位置且与喷雾机同高程的电器设备无损坏, 仓面的作业人员无被喷雾机淋湿现象。雾化效果明显, 完全符合规范要求。

案例 2: 白鹤滩工地应用。白鹤滩水电站位于四川省宁南县和云南省巧家县境内, 是金沙江下游干流河段梯级开发的第二个梯级电站, 以发电为主, 兼有防洪、拦沙、改善下游航运条件和发展库区通航等综合效益。白鹤滩水电站正常蓄水位 825m 高程, 水库总库容 206 亿立方米。该系统于 2018 年 9 月份进入白鹤滩工程, 由于白鹤滩喷

雾设备使用的模式为固定式应用，使用期间各个坝段应用固定的喷雾机，根据合同约定，在 4 仓使用该喷雾机，应用效果良好。



■ 智能喷雾系统构成



■ 智能喷雾工作流程



■ 喷雾机效果对比图



■ 本推广的喷雾机效果图

技术名称： 混凝土仓面小气候自适应控制系统

持有单位： 中国三峡建设管理有限公司

中国水利水电科学研究院

联系人： 乔雨

电话： 0871-68079269、15572704348