

中国大坝工程学会科技进步奖推荐书

(2023 年度)

一、项目基本情况

推荐单位(盖章) 或者推荐专家	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司		
项目名称	超深覆盖层闸坝沉降控制与液化防治关键技术研究及应用		
主要完成人	任苇、李祖锋、赵志祥、杨成生、焦健、曹钧恒、闫飞、王波雷、赵庆志、陈鹏、尚海兴、李妍、李瑞雪、肖先焯、涂国祥		
主要完成单位	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司、长安大学、成都理工大学、西安科技大学		
任务来源	<input type="checkbox"/> A、国家(部门、地方)计划	<input type="checkbox"/> B、基金资助	
	<input type="checkbox"/> C、横向委托	<input type="checkbox"/> D、自选	<input checked="" type="checkbox"/> E、其他
具体计划、基金名称和编号:			
已提交的科技报告编号:			
授权发明专利(项)	17	授权的其他知识产权(项)	16
项目起止时间	起始: 2011.06	完成: 2022.12	

二、推荐单位意见

(专家推荐不填此栏)

推荐单位	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司
通讯地址	
联系人	
电子邮箱	
<p>推荐意见:</p> <p>经我单位认真审阅,确认本项目推荐书及附件内容全部材料真实有效。项目研究依托十余个大型水电水利工程,围绕复杂结构超深覆盖层上筑坝所面临物理力学参数、沉降变形分析方法、沉降标准及控制技术、液化防治等共性问题开展研究,成功建立了岩土质量工程地质分级体系,提出了类超固结特性及广义塑性修正模型、沉降过程控制标准、液化等级划分及简化判别方法等系统化理论创新,实现了沉降限控及液化消除等系列技术突破,成功解决了超深覆盖层闸坝沉降控制与液化防治关键技术难题,创造了360米深厚覆盖层上54.5m闸坝建设世界纪录。主要研究成果授权国家发明专利17项,实用新型专利8项,技术专著8部,标准1部,发表论文50篇(其中SCI26篇、EI2篇、中文核心8篇)。支撑发明专利多次获中国专利优秀奖、工程建设行业专利竞赛一等奖。研究成果已成功应用于多布、霍尔古吐、哇沿、黑泉、金川等水电水利工程中,仅多布水电站施工期节支额总计约36068万元,近三年累计发电产值42948万元,新增利润7080万元。项目经济、社会效益显著,推广应用前景广阔。研究成果创新性强、成熟度高,先后通过中国水力发电工程学会、陈祖煜院士、石瑞芳国家设计大师及武汉大学等单位的知名专家进行了评价,成果评价总体达到国际先进水平,部分达到国际领先水平。同意推荐该成果参加中国大坝工程学会科技进步奖评选。</p> <p>推荐该项目为中国大坝工程学会科技进步奖<u>二</u>等奖。</p> <p>声明: 本单位遵守《中国大坝工程学会科技进步奖奖励办法》有关规定,承诺遵守评审工作纪律,所提供的推荐材料真实有效,且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如有材料虚假或违纪行为,愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议,保证积极调查处理。</p> <p>法人代表(专委会主任)签字: _____ 推荐单位(盖章) _____</p> <p>_____年 月 日 _____年 月 日</p>	

三、项目简介

(限 1200 字)

我国“3060”战略实施为西南和西藏地区水电及抽蓄能源开发带来了巨大的机遇和挑战，该地区独特的气候条件、地质构造和冰川运动孕育了300-700米结构复杂的超深覆盖层，西藏雅鲁藏布江河谷覆盖层深达530 m、帕隆藏布流域松宗坝址砂砾石地层深420 m，这些超深覆盖层具有结构松散、颗粒级配悬殊的复杂物理性状，呈现强弱交替、软硬相间、物理力学性质不均匀、水文地质特性不连续的特点。该类地基上修建水利水电工程，将面临更为复杂的地基承载力和沉降变形、液化防治问题。因此开展超深覆盖层闸坝沉降控制与液化防治关键技术研究及应用具有重要的理论价值和工程现实意义。

研究依托十余个大型水电水利工程，围绕复杂结构超深覆盖层上筑坝所面临物理力学参数、沉降变形分析方法、沉降标准及控制技术、液化防治等共性问题，对青藏高原典型深厚砂砾石地层的岩层岩性、强度特性以及变形特性等进行了较为深入的分析和研究；形成了基于地层物质组成和特征分析的岩组划分、岩土质量工程地质分级、物理力学特性及力学参数指标的体系化研究。首次提出了砂土类超固结特性及广义塑性修正模型，以及复杂结构超深覆盖层上闸坝差异化地基处理方法、沉降限控成套技术；提出了适应止水及设备安装要求的覆盖层上闸坝沉降控制标准及方法；创新了多源数据大气折射等环境效应改正及数据处理理论，研发基于高精度大坝沉降过程控制监测关键技术体系；提出了基于液化指数和液化度的超深覆盖层液化等级划分方法，建立了闸坝坝基二维拟静力液化简化判别方法及液化消除技术体系。成功创造了360米深厚覆盖层上54.5m闸坝建设世界纪录。

本研究项目及其子题先后通过中国水力发电工程学会、陈祖煜院士、石瑞芳国家设计大师及武汉大学等单位的知名专家进行了评价，成果评价总体达到国际先进水平，部分达到国际领先水平。本项目开发和创新前后历时超过12年，授权国家发明专利17项，实用新型专利8项，技术专著8部，标准1部，发表论文50篇（其中SCI26篇、EI2篇、中文核心8篇）。支撑发明专利获中国专利优秀奖1项，工程建设行业专利竞赛一等奖3项，监测基准建立技术获中国电建科技进步一等奖。

研究成果已成功应用于多布、霍尔古吐、哇沿、黑泉、金川等水电水利工程中，仅多布水电站施工期节支额总计约36068万元，近三年累计发电产值42948万元，新增利润7080万元。项目经济、社会效益显著，推广应用前景广阔。

本项目的创新点主要包括以下几个方面：

创新点 1：建立了复杂结构超深覆盖层岩土质量分类分级方法和标准体系，提出了考虑宽度修正的覆盖层坝基承载力特征值分级确定方法，实现了对复杂结构超深覆盖层上闸坝沉降控制的工程地质定量评价。

（发明专利 ZL201910022435.9、ZL201510416567.1、ZL201410654698.9、ZL201910483145.4、ZL201910482257.8、ZL201910482235.1；支持标准：1 部、专著 4 部，学术论文 16 篇。）

1) 突破了复杂结构超深覆盖层岩土质量工程地质分类瓶颈，提出了分类分级的标准和方法。在揭示堆积时代、颗粒粒径、密实程度、工程特性等地质因素基础上，确立了覆盖层地层岩土质量分类中的一级、二级的分类标准，统一了一级粒组统称（5 类）和二级粒组名称（14 类）和指标，规范了不同类别岩土质量工程地质特性和工程地质问题，为覆盖层上闸坝建设奠定了工程地质基础。

2) 研究提出了考虑不同水工建筑物等级的覆盖层承载力参数确定方法，对于一级水工建筑物可不考虑宽度修正，应根据覆盖层室内试验成果、理论计算和原位试验方法，综合分析后其平均值，作为覆盖层承载力标准值。特别重要建筑物选用统计频率大于 0.7 的承载力指标；对于二、三级水工建筑物，根据室内试验成果、原位试验、经验公式查表法，

并考虑宽度修正后综合分析选用，提供了水工建筑物覆盖层地基承载力宽度修正的创新思路，为复杂结构覆盖层工程建坝地质参数选取提供依据。

创新点 2：提出了广义塑性类超固结特性修正模型和复杂结构超深覆盖层上闸坝差异化地基处理方法，研发了分区预浇筑限高差上升沉降限控技术和适应变形止水组合的沉降控制成套技术，有效解决了复杂结构超深覆盖层上闸坝不均匀沉降控制技术难点。

（发明专利 ZL201710283819.7、ZL201610729212.2、ZL201610374061.3、ZL201220320455.8、Z1202221026788.X、Z1202221027102.9、ZL201720451093.X、ZL201720450502.3、ZL201720447686.8、ZL201120052334.5；支持专著 2 部，学术论文 6 篇。）

1) 创新提出了考虑超固结系数、应变累积系数的修正广义塑性模型，有效反映不同围压下覆盖层的应力应变特性以及循环加载过程中出现的“棘轮效应”，客观反映覆盖层“类超固结”或压密沉降特性。

2) 提出了大应力弱地基强处理、小应力强地基弱处理、强化过渡段差异化处理的原则和方法，构建了分区预浇筑限高差上升混凝土浇筑沉降限控施工，为复杂结构超深覆盖层上闸坝不均匀沉降控制奠定了基础。

3) 基于修正广义塑性理论分析及 SR 材料良好塑性，发明了一套适应沉降变形空间的止水结构、止水方法，创新研发了止水分区质量检查及化学灌浆缺陷处理工艺，解决了由于止水变形渗流破坏引起的沉降不均匀问题。

创新点 3: 建立了完整的沉降过程控制标准和终控标准，创新了多源数据大气折射等环境效应改正及数据处理理论，研发基于高精度大坝沉降过程控制监测方法的辅助设备、数据处理模型及关键技术体系，沉降监测精度整体提升了 65%。

(发明专利 ZL201710283819.7、ZL20151038588.4、ZL201610231082.X、ZL201610231775.9、ZL201610773560.X; 支持专著 3 部，学术论文 40 篇。)

1) 通过修正广义塑性理论仿真分析，提出了以保证止水变形安全和机组设备正常运行为原则的沉降过程控制标准：相邻坝段沉降差 $\leq 30\text{mm}$ ，上下游沉降差 $\leq 40\text{mm}$ ，建立了沉降趋势实时反馈预估控制模型。

2) 创新了多源数据大气折射等环境效应改正及数据处理理论，研发了北斗、InSAR、MEMS 及测量机器人的地表与深层位移联合监测方法及辅助装备，构建了测量基准系统性效应影响抑制技术等坝基沉降监测关键技术，解决了复杂结构超深覆盖层超高闸坝沉降监测精度控制困难等行业难题，保证了水电站工程安装及运行安全。

创新点 4: 提出了基于液化指数和液化度的超深覆盖层

液化等级划分方法，建立了闸坝坝基二维拟静力液化简化判别方法，形成了基于液化度评价指标的地基加固液化消除技术体系，攻克了覆盖层液化坝基沉降评价与处理技术难题。

（发明专利 ZL201710283948.6；支持专著 2 部，学术论文 3 篇。）

1) 提出了考虑水工建筑物设防类别及超深覆盖层液化程度的液化等级划分方法，依据《水工建筑物抗震设计规范》划分工程抗震设防类别，分析评价砂层液化指数或液化度，提出了丙丁类的水工建筑物采用液化指数、甲乙类的工程采用液化度进行等级划分的方法。解决了水利水电行业工程超深覆盖层液化等级划分技术难题。

2) 研发了土石坝坝基液化条件下的二维拟静力法简化判断方法，发明了液化条件下的地基土内摩擦角 $\phi' = \arctan(k \tan \phi)$ ($k = (\beta/D) \tan \phi$ β 取 0.05~0.15, D 为液化度) 的算法模型，完善了评价指标与方法，实现了液化条件下土石坝抗滑稳定的简化分析。

3) 针对不同水工建筑物设防类别及超深覆盖层液化程度，采用挖除置换、下游压坡平台、振冲桩、旋喷桩、强夯联合处理方案，构建了基于液化度评价指标的地基加固液化消除技术，工程应用效果良好。

九、主要完成单位情况表

单位名称	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司
排 名	
单位性质	其
通讯地址	
联 系 人	
电子邮箱	
<p>对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：</p> <p>中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司是本项目的牵头方，全面主持策划、组织及开展系列前瞻性、基础性技术攻关。形成了基干地层物质组成和特征分析的岩组划分、岩土质量工程地质分级等体系化研究成果；针对深厚覆盖层土体类超固结特性，修正了广义塑性模型并进行了理论提升，研究提出了基于不同止水变形及机组设计建造安装运行条件下的沉降控制标准；深入分析和研究了不同施上上序优化条件下的沉降变形规律，创新提出了复杂结构超深覆盖层基础混凝土坝差异化地基处理原则及方法、分区预浇筑限高差上升混凝土浇筑沉降限控技术，研发了适应变形止水组合的沉降控制成套技术，沉降控制技术；提出了基于液化指数和液化度的液化等级划分方法，研发了土石坝坝基液化条件下的二维拟静力法简化判断方法，构建了基于液化度评价指标的地基加固液化消除技术，系统解决了覆盖层液化坝基沉降评价与处理关键技术难题，是创新点的主要完成单位，形成了系列知识产权，技术成果全面推广应用十所承担的多布、金桥、霍尔古吐、哇沿、黑泉、金川等十余个大型水电水利工程勘察设计项目中，多个工程项目及专利技术获得省部级奖项，取得了显著的社会经济和生态环境效益，为研究成果推广做出了重要贡献。</p>	
<p>声明： 本单位同意完成单位排名，遵守《中国大坝工程学会科技进步奖》的有关规定，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。</p>	
<p>单位（盖章）</p> <p>年 月 日</p>	

九、主要完成单位情况表

单位名称	长安大学			
排 名				
单位性质				
通讯地址				
联 系 人				
电子邮箱				
<p>对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：</p> <p>1)针对水电工程设施及大坝周边地质安全，研究了基于光学遥感及无人机低空摄影的灾害调查及数据处理方法，提升了空天技术对坝体周边地质安全的保障能力。</p> <p>2)针对局部区域内高精度 GNSS 监测中大气延迟改正，研究了基于全球数值气象模型的大气延迟计算模型，提出了基于边界层伸缩的大气延迟空间加密算法，提升了 GNSS 大坝沉降监测的垂向精度。</p> <p>研究成果配合其他技术被成功应用于多布、霍尔古吐等十余个水电水利工程的地基或大坝沉降变形监测，为水电工程的施工建设和安全运营提供了技术保障，间接产生经济价值数千万元，社会效益显著。</p>				
<p>声明： 本单位同意完成单位排名，遵守《中国大坝工程学会科技进步奖》的有关规定，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。</p> <p style="text-align: right;">单位（盖章）</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>				

九、主要完成单位情况表

单位名称	成都理工大学
排 名	
单位性质	
通讯地址	
联 系 人	
电子邮箱	
<p>对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：</p> <p>成都理工大学在项目研究过程中完成了以下主要创新性成果:揭示了深厚覆盖层主要渗透特性，阐明了深厚覆盖层主要水力学参数(包括渗透系数、临界坡降、破坏坡降)，建立了深厚覆盖层渗流本构方程。该项成果在多水电工程建设过程中得到应用和验证。</p>	
<p>声明： 本单位同意完成单位排名，遵守《中国大坝工程学会科技进步奖》的有关规定，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。</p> <p style="text-align: right;">单位（盖章）</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>	

九、主要完成单位情况表

单位名称	西安科技大学
排 名	
单位性质	
通讯地址	
联 系 人	
电子邮箱	
<p>对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：</p> <p>本单位是项目主要科技创新和应用推广单位之一，单位参与人员负责并参与课题方案策划、技术规划及实施、创新成果的研究攻关、系统开发、研究成果应用推广与研究报告的编写。利用 GNSS 观测数据计算对流层延迟，基于多个 GNSS 测站的对流层延迟信息构建区域对流层延迟模型，基于 GNSS 对流层层析技术构建三维对流层延迟模型，上述研究能够有效改 GNSS 定位精度，加快 GNSS 定位收敛速度，取得了较好的效果。对所取得的研究成果和技术创新点作出重要贡献，对研究课题的 GNSS 数据处理方面做出重大贡献。相关研究成果申请软件著作权 2 项，发表相关论文多篇，在科技创新和应用推广方面做出了较大贡献。</p>	
<p>声明： 本单位同意完成单位排名，遵守《中国大坝工程学会科技进步奖》的有关规定，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。</p> <p style="text-align: right;">单位（盖章）</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>	