**2022年度大禹水利科学技术奖单位提名项目**

**公示内容**

**一、项目名称**

高土石坝坝料工程特性与坝体变形控制理论创新及工程实践

**二、提名单位**

中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司

**三、提名意见**

我单位认真审阅了“高土石坝坝料工程特性与坝体变形控制理论创新及工程实践”研究项目及附件材料，确认全部真实有效。

本项目在国家基金、横向委托等课题基础上，充分依托10多个高坝和特高坝工程的勘察、设计、建设，对高土石坝筑坝材料工程特性及实践应用进行了深入研究，提出了系统性的研究成果、形成了系列的创新技术。研究成果成功应用到公伯峡、茨哈峡、大石峡、玛尔挡及国外南俄3、巴贡等高坝、特高坝及国内外30余项水利水电项目勘察设计和工程建设，主要研究成果已纳入现行碾压式土石坝设计规范等11部行业规范，取得省部级工法5项，获国家发明专利15项、实用新型专利9项、软件著作权8项，出版3部专著，发表学术论文71篇。社会经济环境效益显著，推广应用前景广阔。

该项目技术创新有：1. 研发了新型筑坝料勘察技术和大型渗流及力学试验装置与试验技术；2. 深化了颗粒破碎的筑坝料本构模型并建立了筑坝料工程特性数据库；3. 建立了土石坝变形协调控制技术体系。

本项目研究成果成功解决了高土石坝设计建设过程中的筑坝材料勘探、试验、计算、填筑标准等工程难题，对土石坝坝体安全具有重要的现实意义，可有力促进土石坝的技术进步，可显著降低对煤炭、石油等石化能源的使用量和依存度，对我国优化调整能源结构、实施能源可持续发展战略具有重大意义，进一步践行“碳达峰、碳中和”战略，必将带动地区国民经济的发展和社会进步，具有巨大的经济效益和良好的社会及生态环境效益。本项目成果广泛应用于国内外多座土石坝工程，仅开具的经济效益显示，新增产值约10.3亿元，另外为公司承揽项目设计费约10亿元。

综上所述，该成果创新程度高、实用性强、应用前景广阔，总体达到国际领先水平。提名该成果参加2022年度大禹水利科学技术奖评审。

**四、成果发明创造或创新点**

**1、科技创新内容**

**创新点1**：研发了筑坝料新型勘察技术和大型渗透和力学试验装置与试验技术

* 1. 研发了筑坝料深井法勘察技术，提出了料源勘察评价体系和筑坝料分散性评价方法；
	2. 研发了筑坝料大型原位力学试验技术，揭示了其缩尺效应规律；

1.3研制了筑坝料系列大型渗透试验装置及配套试验技术，提出了渗透系数计算公式；

**创新点2**：建立了筑坝料工程特性数据库并提出了考虑颗粒破碎的筑坝料本构模型

2.1首次系统对比了堆石料和砂砾石料的工程特性，建立了国际上首个筑坝料数据库；

2.2提出了基于数值三轴剪切试验的原级配筑坝料力学参数取值方法；

2.3提出了考虑颗粒破碎的筑坝料本构模型；

**创新点3**：建立了高土石坝坝坡稳定安全标准和变形协调控制技术体系

3.1建立了基于风险可靠度的高土石坝坝坡稳定安全标准；

3.2提出了筑坝料级配优化方法，制定了筑坝料压实标准体系；

3.3建立了堆石坝变形协调控制的技术体系；

**2、知识产权**

获得各类知识产权122项。其中发明专利15项，实用新型专利9项，获得软件著作权8项，发布技术标准11项、省部级工法5项，出版技术专著3部，发表论文71篇，其中SCI/EI检索60篇。

**3、推广应用及效益**

研究成果已广泛应用于国内外多座土石坝工程，如积石峡、玛尔挡、察汗乌苏、大石峡、南俄3（老挝）等16座高土石坝工程，以及茨哈峡、江达、俄米、鲸鱼沟调蓄、马蒂（尼泊尔）等16座前期研究的高土石坝中，并拟应用于国内第一高土石坝如美大坝。仅开具的经济效益证明显示，节省工程投资20674万元，创造经济效益82697万元，合计103371万元。另外，通过该研究成果的应用，为公司承接多项设计项目，创造产值约100000万元，经济效益巨大。研究成果具有重要的理论价值、工程实际意义和推广应用价值，为后续国内高土石坝的研究建设提供了坚实的可借鉴的成果，应用于水利水电工程，可显著降低对煤炭、石油等石化能源的的使用量和依存度，进一步促进了水电等清洁能源的大力发展，对优化我国调整能源结构、实施能源可持续发展战略、推动能源结构合理配置和高效利用、助力实现“碳达峰”和“碳中和”目标等具有重要意义。

**五、主要完成单位及排序**

中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司、武汉大学、水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院、中国水利水电科学研究院、中国水利水电第三工程局有限公司。

**六、主要完成人及排序**

周恒、马刚、苗喆、陆希、石北啸、刘昌、谢凯军、周伟、魏匡民、孙平、张莹、崔家全、吴世然、刘静、梅世昂。

**七、论文专著或知识产权**

**1、专利**：授权国家发明专利15项、实用新型专利9项、软件著作权8项。

**表1 发明专利**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 授权项目名称 | 授权号 |
| 1 | 一种粗粒料原位载荷试验确定颗粒破碎率的方法及应用 | ZL201910541531.4 |
| 2 | 预测原级配筑坝堆石料最小孔隙比的方法 | ZL201810441710.6 |
| 3 | 一种考虑岩石结构特征和矿物组成的细观数值模型生成方法 | ZL201910298582.9 |
| 4 | 考虑空间约束状态的破碎试验装置 | ZL201710408354.3 |
| 5 | 一种颗粒材料力链结构的接触力测量试验装置及使用方法 | ZL201610564241.8 |
| 6 | 一种动力作用下散粒体锚固效应物理模型实验装置及方法 | ZL201410543793.1 |
| 7 | 智能分级加载与可变渗径的超大型水平渗透试验系统 | ZL202010306843.X |
| 8 | 一种原始级配堆石体大型真三轴实验装置及其使用方法 | ZL201210047511.X |
| 9 | 堆石料风化三轴试验中温度循环快速实现方法及其装置 | ZL201510278109.6 |
| 10 | 堆石料劣化大型三轴剪切试验仪 | ZL201310700062.9 |
| 11 | 高土石坝堆石料抗震特性多功能试验仪 | ZL201310699956.9 |
| 12 | An instrument for measuring soil permeability coefficient under the action of freeze-thaw cycle | AU2020104274A |
| 13 | 一种土石围堰渗水处理结构及施工方法 | ZL201910969622.8 |
| 14 | 智能分级加载与可变渗径的超大型水平渗透试验系统（PCT） | LU500196 |
| 15 | 面板堆石坝过渡料爆破参数与最优级配曲线的分析方法 | ZL202010405335.7 |

 **表2 实用新型专利**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **序号** | **授权项目名称** | **授权号** |
| 1 | 非饱和土湿载直剪试验装置及增湿强度获取方法 | ZL202020175386.0 |
| 2 | 一种测量岩土材料流蚀试验的装置及评估方法 | ZL202020173632.9 |
| 3 | 一种基于卸载作用的直剪试验装置及试验方法 | ZL202020211361.1 |
| 4 | 一种消除渗透试验边壁效应的装置 | ZL201920399878.5 |
| 5 | 一种堆石体三轴流变试验装置 | ZL201220157996.3 |
| 6 | 设有围压稳定补偿器的振动三轴测定仪 | ZL200820032550.1 |
| 7 | 一种大坝填筑加水装置 | ZL202121619289.7 |
| 8 | 一种大坝面板混凝土液压滑模装置 | ZL202120063024.7 |
| 9 | 一种土木工程试验中土样压实装置 | ZL202022926792.9 |

**表3 软件著作权**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **序号** | **授权项目名称** | **授权号** |
| 1 | 颗粒结构和动力学分析软件 | 2021SR0240107 |
| 2 | 颗粒材料数值模型生成软件 | 2019SR1398164 |
| 3 | 随机散粒体不连续变形分析软件 | 2012SR026441 |
| 4 | 粗粒土振动三轴试验检测数据处理系统 | 2021SR0748296 |
| 5 | 现场试验室试验检测标准化管理系统 | 2018SR842082 |
| 6 | 试验检测成果信息管理系统 | 2018SR262994 |
| 7 | 基于遗传优化算法的土体参数确定软件 | 2020SR0617079 |
| 8 | 复杂土料压实度计算处理系统 | 2014SR060869 |

**2、编制规范**：本研究成果已纳入11部行业规范。

**表4 规范**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **序号** | **规 范 名 称** | **规范编号** |
| 1 | 《碾压式土石坝设计规范》 | NB/T 10872-2021 |
| 2 | 《混凝土面板堆石坝设计规范》 | NB/T 10871-2021 |
| 3 | 《水电水利工程场内施工道路技术规范》 | DL/T 5243-2010 |
| 4 | 《水电水利工程施工安全监测技术规范》 | DL/T 5308-2013 |
| 5 | 《粗粒土试验规程》 | T/CHES 29-2019 |
| 6 | 《土工试验方法标准》 | GB/T5013-2019 |
| 7 | 《土工原位测试专用仪器检验方法》 | SL756-2017 |
| 8 | 《混凝土面板堆石坝挤压边墙技术规范》 | DL/T 5297-2013 |
| 9 | 《水利水电工程基本建设单元质量评定标准 第一部分：土建工程》 | DL/T 5113.1-2019 |
| 10 | 《水电水利工程施工通用安全技术规程》 | DL/T 5370-2017 |
| 11 | 《土石坝安全监测系统施工技术规范》 | DL/T 5308-2013 |

**3、施工工法**：授权施工工法5项。

**表5 工法**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **序号** | **工 法 名 称** | **工法编号** |
| 1 | 复杂土料压实度快速检测工法 | DJGF-SD-15-2014 |
| 2 | 水工围堰及土石坝复合防渗施工工法 | DJGF-SD-52-2018 |
| 3 | 堆石坝面板混凝土裂缝聚脲刮涂法施工工法 | SXSJGF2018-138 |
| 4 | 土石坝钢丝水平位移计安装工法 | ZGDJGF30-2019 |
| 5 | 重型振动碾碾压堆石坝施工工法 | ZGDJGF041-2020 |

**4、专著**：出版专著3本。

**表6 专著**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **序号** | **题 目 名 称** | **出版单位** |
| 1 | 坝基冰水沉积物特性与工程应用 | 中国水利水电出版社 |
| 2 | 高堆石坝变形宏细观机制与数值模拟 | 科学出版社 |
| 3 | 筑坝堆石料劣化试验研究 | 黄河水利出版社 |

**5、发表论文**：共计论文71篇，其中SCI论文20篇、EI论文40篇、中文核心11篇。

**表7 科技论文**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **类型** | **题 目 名 称** | **出版单位** |
| 1 | SCI | Investigation of the grain breakage behaviour of 2D granular materials with disordered pore distribution | Computational Particle Mechanics,Vol.8, 1033–1045, 2021 |
| 2 | Strong contacts, connectivity and fabric anisotropy in granular materials: a 3D perspective | Powder Technology, Vol.366, 747-760, 2020 |
| 3 | Discrete element modeling of particle breakage considering different fragment replacement modes | Powder Technology, Vol.360, 312-323, 2020 |
| 4 | On the breakage function for constructing the fragment replacement modes | Particuology, Vol.044(003), 207-217, 2019 |
| 5 | Force transmission and anisotropic characteristics of sheared granular materials with rolling resistance | Granular Matter, Vol.88, 2019 |
| 6 | Sustainability of internal structures during shear band forming in 2D granular materials | Powder Technology, Vol.338, 458-470, 2018 |
| 7 | Undrained behavior of binary granular mixtures with different fines contents | Powder Technology, Vol.340, 139-153, 2018 |
| 8 | A geometric potential-based contact detection algorithm for egg-shaped particles in discrete element modeling | Powder Technology, Vol.327, 152-162, 2018 |
| 9 | Study of the effects of anisotropic consolidation on granular materials under complex stress paths using the DEM | Granular Matter, Vol.19(4), 2017 |
| 10 | Three-dimensional DEM investigation of critical state and dilatancy behaviors of granular materials | Acta Geotech, 12, 527-540, 2017 |
| 11 | Dem modeling of shear bands in crushable and irregularly shaped granular materials | Granular Matter, Vol.19(2), 2017 |
| 12 | Numerical and experimental verification of a damping model used in DEM | Granular Matter, Vol.18(1), 2016 |
| 13 | Effects of particle size ratio on the macro-and microscopic behaviors of binary mixtures at the maximum packing efficiency state | Granular Matter, Vol.18(4), 2016 |
| 14 | Macroscopic and microscopic behaviors of granular materials under proportional strain path: a DEM study | International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, Vol.40(7), 2450–2467,2016 |
| 15 | Assessment of the crest cracks of the Pubugou rockfill dam based on parameters back analysis | Geomechanics and engineering, Vol.11(4), 571–585,2016 |
| 16 | Macro–micro responses of crushable granular materials in simulated true triaxial tests | Granular Matter, Vol.17, 497–509, 2015 |
| 17 | DEM simulations of bi-disperse ellipsoids of different particle sizes | Comptes Rendus Mecanique, Vol.324(3), 141–150, 2014 |
| 18 | Influence of Particle Shape on Behavior of Rockfill Using a Three-Dimensional Deformable DEM | Journal of Engineering Mechanics, Vol.139(12),1868-1873,2013 |
| 19 | Experimental investigations on the residual strain behavior of a rockfill material subjected to dynamic loading | Journal of Materials in Civil Engineering, Vol.29(5),2017 |
| 20 | Large-scale triaxial experiments on the static and dynamic behavior of an artificially cemented gravel material | European Journal of Environmental and Civil Engineering,2020 |
| 21 | EI | 特高土石坝坝坡抗滑稳定安全判据和标准研究 | 水利学报，2019,50(01):12-24. |
| 22 | 土坝坝坡抗滑稳定分项系数方法\_理论和标定 | 水力发电学报. |
| 23 | 堆石料注浆技术及注浆后力学性质试验研究 | 岩土工程学报 |
| 24 | 颗粒形状对堆石颗粒破碎强度尺寸效应的影响 | 岩土力学,2021,2(02):430-438 |
| 25 | 抗转动对颗粒材料组构特性的影响研究 | 岩土力学,2020,41(8): 2829-2838 |
| 26 | 颗粒破碎对堆石料填充特性缩尺效应的影响研究 | 岩土工程学报,2020,42(6): 1013-1022 |
| 27 | 粒间摩擦对岩土颗粒材料三维力学行为的影响机制 | 岩土工程学报,2020,42(10): 1885-1893 |
| 28 | 颗粒材料三维应力路径下的接触组构特性 | 力学学报,2019,51(1): 26-35 |
| 29 | 基于离散元法的颗粒破碎模拟研究进展 | 岩土工程学报,2018,40(5):880-889 |
| 30 | 局部约束模式对单颗粒破碎强度的影响 | 浙江大学学报(工学版),2018,52(07): 1329-1337 |
| 31 | 高堆石坝筑坝材料宏细观变形分析研究进展 | 中国科学:科技科学,2018,48(10):1068-1080 |
| 32 | 堆石颗粒压缩破碎强度的尺寸效应 | 岩土力学,2017,38(08):2425-2433 |
| 33 | 基于离散元的颗粒材料三维临界状态与剪胀特性研究 | 水利学报,2017,48(09):1107-1117+1125 |
| 34 | 高应力状态下堆石料工程特性试验研究 | 水利学报,2014,45(S2): 83-89 |
| 35 | 抗转动特性对颗粒材料分散性失稳的影响研究 | 岩土力学,2017,38(05):1472-1480 |
| 36 | 基于分形理论的堆石料级配优化研究 | 岩土力学,2016,37(07): 1977-1985 |
| 37 | 基于响应面法的高堆石坝瞬变-流变参数反演方法 | 岩土力学,2016,37(06):1697-1705 |
| 38 | 堆石体在真三轴应力状态下的非共轴性与剪胀特性 | 中南大学学报(自然科学版),2016,47(05):1697-1707 |
| 39 | 基于精确缩尺的颗粒材料流变研究 | 岩土力学, 2016, 37(6) |
| 40 | 水平振动情况下颗粒系统振动分离机理的离散元数值研究 | 振动与冲击(16期):24-29 |
| 41 | 颗粒物质在等比例应变加载下的分散性失稳模式 | 岩土力学,2015,36(S1) |
| 42 | 堆石料缩尺方法的分形特性及缩尺效应研究 | 岩土力学, 2015, 036(004) |
| 43 | 基于内聚力模型的高心墙堆石坝坝顶裂缝模拟及其成因分析 | 中南大学学报:自然科学版, 2014(45) |
| 44 | 堆石料缩尺效应的细观机制研究 | 岩石力学与工程学报, 2012, 31(12) |
| 45 | 基于颗粒流程序的真三轴应力状态下堆石体的变形和强度特性研究 | 岩土力学, 2012, 033(010) |
| 46 | 颗粒劣化效应的堆石料流变细观数值模拟 | 岩土力学, 2012(S1) |
| 47 | 高心墙堆石坝心墙水力劈裂的颗粒流模拟 | 岩土力学, 2012, 033(008) |
| 48 | 高堆石坝瞬变-流变参数三维全过程联合反演方法及变形预测 | 岩土力学, 2012(06) |
| 49 | 颗粒形状及粒间摩擦角对堆石体宏观力学行为的影响 | 岩土工程学报, 2012(04) |
| 50 | 基于随机散粒体模型的堆石体真三轴数值试验研究 | 岩土工程学报, 2012, 034(004) |
| 51 | 先期振动对筑坝材料变形特性的影响 | 岩土工程学报,2015,37(02) |
| 52 | 循环荷载作用下堆石料的颗粒破碎特性 | 岩土工程学报,2017,39(10) |
| 53 | 水泥胶凝砂土动力特性研究 | 岩土工程学报,2016,38(S2) |
| 54 | 砾石土心墙料水力劈裂试验研究 | 岩土工程学报,2018,40(08) |
| 55 | 粗粒土强度和变形的级配影响试验研究 | 岩土工程学报,2017,39(S1) |
| 56 | 胶凝砂砾石料静、动力三轴剪切试验研究 | 岩土工程学报,2015(02) |
| 57 | 大石峡砂砾石坝料渗透特性及其影响因素研究 | 岩土工程学报,2019(01) |
| 58 | 循环荷载作用下堆石料颗粒破碎特性试验研究 | 岩土工程学报,2017(08) |
| 59 | 基于广义可靠指标相对安全率的地基承载力安全判据研究 | 岩土力学,2020,41(06) |
| 60 | 考虑地震与溃坝洪水共同作用的土石坝坝坡稳定分析方法 | 水利学报,2017,48(12) |
| 61 | 中文核心 | 颗粒形状对岩土颗粒材料传力特性的影响机制 | 水力发电学报,2020,39(05) |
| 62 | 基于颗粒堆积模型预测粗粒土最小孔隙比 | 水力发电学报.2020,3 |
| 63 | 考虑颗粒强度尺寸效应的堆石体缩尺效应研究 | 水力发电学报, 2016, 035(012) |
| 64 | 细颗粒截断粒径对堆石体力学特性影响的数值模拟 | 武汉大学学报(工学版),2017,50(03) |
| 65 | 标准面板堆石坝预沉降速率特性 | 武汉大学学报(工学版), 2016, 049(002) |
| 66 | 基于大尺寸流变试验的高堆石坝长期变形预测 | 武汉大学学报:工学版, 2012(04) |
| 67 | 应力状态对粗颗粒材料动力特性影响试验研究 | 工程科学与技术,2017,49(S1) |
| 68 | 离散元团聚体法模拟颗粒破碎的参数影响研究 | 中国农村水利水电, 2019(9) |
| 69 | 基于孔压内聚力模型的心墙水力劈裂数值模拟 | 中国农村水利水电,2017(11) |
| 70 | 考虑摩擦系数和颗粒强度劣化效应的堆石体湿化细观数值模拟 | 中国农村水利水电, 2017(9) |
| 71 | 关于饱和软土地基堤坝边坡稳定分析总应力法的讨论 | 水利水电技术,2020,51(12) |