

附件：湖北省科学技术进步奖项目公示信息

一、项目名称

大型真三轴试验技术研发与粗粒土本构模型及工程应用

二、提名者

长江水利委员会

三、提名意见

土的力学性能与应力状态、应力路径、应力历史密切相关，模拟复杂应力状态测试土的力学性能，即土的真三轴试验是土力学研究的试验难题。该项目依托多项国家自然科学基金和省部级科研课题的支持，在土体与加载板之间减摩技术、大型土工真三轴试验设备、粗粒土真实三维条件下的强度与变形规律、粗粒土本构模型和土石坝应力变形预测等方面取得了突破性成果。该项目获得授权专利 16 项，其中发明专利 10 项；计算机软件著作权 4 项；发表论文 160 篇，其中 SCI/EI 论文 80 篇；主要成果被 4 部国家及行业标准采纳，3 项技术列入“水利部水利先进实用技术重点推广指导目录”。成果应用于水布垭、双江口、两河口、卡洛特等国内外 30 多座高土石坝工程设计论证，取得显著的社会和经济效益，对提高我国土工实验和高土石坝变形预测水平做出了贡献。

提名该项目为湖北省科学技术进步奖一等奖。

四、项目简介

土是一种典型的散粒体，其力学性能与应力状态、应力路径、应力历史密切相关，土的本构关系研究是现代土力学核心问题。模拟复杂应力状态测试土的力学性能，即土的真三轴试验是土力学研究的试验难题，保持加载结构与土体之间无摩擦力且三个方向的独立加载结构互不干涉是真三轴系统研制的技术瓶颈。随着我国水利水电工程中的高土石坝、及各类基础设施的大量修建以及对其安全控制要求的不断提高，迫切需要研发合理的试验新技术，深入研究筑坝粗粒土在复杂应力条件下的本构关系等力学问题，以克服已有认知和理论描述的明显不足。该项成果历时二十余年，着力于再现和描述粗粒土的“真三维、大变形、非线性”力学行为，提出了刚性加载板与土体接触面减摩新思路，解决了大尺寸、高压及三维精准加载等所涉及到的机械、力学和计算机控制等诸多交叉与集成技术难题，取得了如下的主要创新成果：

(1) 提出了土工试验中土体与加载板之间的接触由整体接触变为分散式接触、滑动摩擦变为滚动摩擦的减摩方法，发明了土工常规三轴试验单向微摩擦荷载传力板和真三轴试验双向微摩擦荷载传力板，破解了土工三轴试验中刚性加载板与土体间摩擦力难以消除的关键技术难题，实现了采用刚性加载板对试验土体（试样）的精准加载。

(2) 发明了大尺寸、高压、微摩擦（摩擦系数 <0.03 ）土工真三轴刚柔复合加载系统及按设定应力路径自动加载的测控系统，实现了大变形（最大应变 15%）条件下三向无干扰的独立智能加载；提出了试样变形过程中保证试样形心空间位置不变的新方法，实现了三向均匀加载；研制了大型高压微摩擦土工真三轴仪，填补了国内外在大型土工真三轴试验技术领域的空白。

(3) 应用上述试验系统，揭示了粗粒土真实三维应力条件下的强度与变形的变化规律，首次验证了粗粒土最小能比系数为一常数的力学特性；构建了能反映粗粒土非线性、剪胀性的 K-K-G 本构模型，并应用于多座高土石坝的变形预测，与目前常用的邓肯模型相比，预测精度显著提高。

项目在大型土工真三轴试验技术、土工基础理论和工程应用诸方面完成了系统创新，获授权专利 16 项，其中发明专利 10 项；计算机软件著作权 4 项；发表论文 160 篇，其中 SCI/EI 论文 80 篇；主要成果被 4 部国家及行业标准采纳，3 项技术列入“水利部水利先进实用技术重点推广指导目录”。并应用于水布垭、双江口、两河口、卡洛特等国内外 30 多座高土石坝工程设计论证，取得显著的社会和经济效益。

五、客观评价

1、科技查新结论

2019 年 2 月，委托湖北省科技信息研究院查新检索中心进行查新（报告编号：2019-b22-0166），在查询了国内 9 种数据库及工具书，国外 12 种相关数据库基础上，对项目创新点进行了检索查新。查新结果表明：“委托单位进行的大型真三轴试验技术研发与粗粒土本构模型及工程应用，在所检国内外文献范围内，未见有相同的报道”。

2、科技成果评价结论

2019 年 4 月，研究成果通过了湖北省技术交易所组织的科技成果评价，评价委员会一致认为：项目研究成果达到国际领先水平。

六、应用情况

本项目整体技术已经过三年以上大规模的实施应用，成果先后已在水布垭、双江口、长河坝、两河口、猴子岩、卡基娃、乌东德、白鹤滩、塔城、丹巴、密松、卡洛特等 30 多个国内外重大水利水电工程中得到推广与应用，解决了一系列坝基覆盖层与筑坝粗粒料工程特性、高土石坝变形预测方面的重大技术难题，取得了显著的经济社会效益。

七、主要知识产权和标准规范目录

知识产权（标准）类别	知识产权（标准）具体名称	国家（地区）	授权号（标准编号）	授权（标准发布）日期	证书编号（标准批准发布部门）	权利人（标准起草单位）	发明人（标准起草人）	发明专利（标准）有效状态
发明专利	粗粒土真三轴试验机	中国	ZL201410283572.5	2016.08.24	2193044	长江水利委员会长江科学院	程展林;张继勋;左永振;潘家军	有效专利
发明专利	土工真三轴试验双向微摩擦荷载传力板	中国	ZL201510500516.7	2017.06.23	2529891	长江水利委员会长江科学院	程展林;王艳丽;饶锡保;张伟;潘家军;左永振;陈云;徐晗	有效专利
发明专利	岩土工程三轴压缩试验微摩擦荷载传力板	中国	ZL201410333749.8	2016.02.24	1958311	长江水利委员会长江科学院	程展林;王艳丽;潘家军;左永振;饶锡保;张伟;刘传庆;丁红顺;徐晗;江洵洵	有效专利

发明专利	一种室内复原原状土的设备及其复原方法	中国	ZL201410086129.9	2016.05.11	2061855	长江水利委员会长江科学院	江江泊; 潘家军; 饶锡保; 张伟; 李玫; 陈云; 徐晗; 汪明元; 左永振; 王艳丽	有效专利
发明专利	适用于 CT 扫描的粗粒土大型三轴试样装置及其使用方法	中国	ZL201510583309.2	2017.08.08	2577604	长江水利委员会长江科学院	王艳丽; 程展林; 饶锡保; 张伟; 王勇; 罗菊	有效专利
发明专利	一种快速防漏三轴试样排水连接管及其连接方法	中国	ZL201510068224.0	2017.02.01	2366404	河海大学	陆晓平; 朱俊高; 郭万里; 李翔; 孙鹏飞	有效专利
软件著作权	土工试验数据智能化处理程序 V1.0	中国	2014SR116465	2014.08.08	软著登字 0785709 号	长江水利委员会长江科学院	长江水利委员会长江科学院	有效
软件著作权	土石坝复杂坝基地层三维有限元建模软件 V1.0	中国	2018SR640583	2018.08.10	软著登字 2969678 号	长江水利委员会长江科学院	潘家军; 徐晗; 江泊洧; 王艳丽; 周跃峰; 左永振; 谭凡; 杨昕光; 陈云; 周欣华; 张婷	有效
规范	《海上风电场工程岩土试验规程》(NB/T 10107-2018)	中国	(NB/T 10107-2018)	2018.12.25	国家能源局	中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司; 长江水利委员会长江科学院等	汪明元; 单治钢; 饶锡保等	有效
水利先进实用技术推广证书	大型低摩阻土工真三轴试验系统	中国	TZ2016006	2016.02.16	水利部科技推广中心	长江水利委员会长江科学院	程展林; 潘家军; 左永振; 饶锡保; 张伟; 徐晗; 江泊洧; 王艳丽; 杨昕光	有效

八、主要完成人情况

排序	姓名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目技术创造贡献
1	程展林	院副总工程师	教授级高级工程师	长江水利委员会 长江科学院	长江水利委员会 长江科学院	项目总负责人。主持创新点 1、2、3 的技术研发工作，提出了土工试验中土体与加载板之间的接触由整体接触变为分散式接触、滑动摩擦变为滚动摩擦的减摩方法，发明了土工常规三轴试验单向微摩擦荷载传力板和真三轴试验双向微摩擦荷载传力板，研制了大型高压微摩擦土工真三轴仪，构建粗粒土的三参量 K-K-G 非线性剪胀本构理论体系。
2	朱俊高		教授	河海大学	河海大学	主要参与创新点 2、3 的研发工作。参与研制了粗粒土的一种大型土工真三轴仪，发现了复杂应力条件下粗粒土的应力应变规律、强度规律等基本本构规律，负责了大型土工真三轴仪在双江口、两河口水电工程的推广应用。
3	潘家军	土工学科主任	教授级高级工程师	长江水利委员会 长江科学院	长江水利委员会 长江科学院	主要参与创新点 2、3 的研发工作。参与研制了大型高压微摩擦土工真三轴仪，参与构建粗粒土的三参量 K-K-G 非线性剪胀本构理论体系；推导了本构模型的刚度矩阵，研发了预测土石坝施工期、蓄水期的有限元分析方法及计算机软件。
4	王艳丽		高级工程师	长江水利委员会 长江科学院	长江水利委员会 长江科学院	主要参与创新点 1、2 的研发工作。参与发明了土工常规三轴试验单向微摩擦荷载传力板和真三轴试验双向微摩擦荷载传力板。参与研制了大型高压微摩擦土工真三轴仪。
5	左永振		高级工程师	长江水利委员会 长江科学院	长江水利委员会 长江科学院	主要参与创新点 2、3 的研究工作。参与研制了大型高压微摩擦土工真三轴仪，参与多种粗粒土的大型真三轴试验研究工作。
6	李 玫		高级工程师	长江水利委员会 长江科学院	长江水利委员会 长江科学院	主要参与创新点 1、2 的研究工作。参与发明了真三轴试验双向微摩擦荷载传力板，参与研制了大型高压微摩擦土工真三轴仪。
7	饶锡保	水利部岩土力学与工程重点实验室副主任、所长	教授级高级工程师	长江水利委员会 长江科学院	长江水利委员会 长江科学院	主要参与创新点 2、3 的研发工作。参与研制了大型高压微摩擦土工真三轴仪，参与了研究成果在两河口、双江口、猴子岩等多个水电工程中的推广应用。

8	周跃峰	土工学科副主任	高级工程师	长江水利委员会 长江科学院	长江水利委员会 长江科学院	主要参与创新点 3 的研究工作。参与多种粗粒土的真三轴试验，揭示了粗粒土的强度与应力变形规律，参与三参量 K-K-G 非线性剪胀本构模型在苏洼龙、驮英水利水电工程中的应用推广。
9	江泊洧		高级工程师	长江水利委员会 长江科学院	长江水利委员会 长江科学院	主要参与创新点 3 的研究工作。参与粗粒土的三参量 K-K-G 非线性剪胀本构模型的验证工作；参与研发了预测土石坝施工期、蓄水期的有限元分析方法及计算机软件。
10	刘传庆		高级工程师	长江勘测规划设计 研究有限责任公司	长江勘测规划设计 研究有限责任公司	主要参与创新点 1、3 的研究工作。参与了大型土工真三轴试验系统，以及三参量 K-K-G 非线性剪胀本构在水布垭、乌东德等水电工程中的应用。
11	谭 凡		工程师	长江水利委员会 长江科学院	长江水利委员会 长江科学院	主要参与创新点 3 的研究工作。参与了多种粗粒土的真三轴试验，以及三参量 K-K-G 非线性剪胀本构在多个水利水电工程中的应用。
12	周 若		高级工程师	长江水利委员会 长江科学院	长江水利委员会 长江科学院	主要参与创新点 3 的研究工作。参与粗粒土的真三轴试验，参与研究成果在两河口水电工程中的应用推广。
13	施维成	系主任	教授	常州工学院	河海大学	主要参与创新点 3 的研究工作。参与多种粗粒土的真三轴试验，研究了粗粒土的强度与应力变形规律，参与了研究成果在双江口水电工程中的应用推广。
14	陈 云	土工学科副主任	教授级 高级工程师	长江水利委员会 长江科学院	长江水利委员会 长江科学院	主要参与创新点 3 的研究工作。参与了粗粒土的大型真三轴试验研究，以及在水布垭水电工程中的应用推广。
15	卢一为		工程师	长江水利委员会 长江科学院	长江水利委员会 长江科学院	主要参与创新点 3 的研究工作。参与了粗粒土的大型真三轴试验研究。

九、主要完成单位及创新推广贡献

第一完成单位：长江水利委员会长江科学院

主要创新推广贡献：长江水利委员会长江科学院是项目的牵头单位，主持创新点 1、2、3 的研发和研究成果应用推广工作。

1、提出了土工试验中土体与加载板之间的接触由整体接触变为分散式接触、滑动摩擦变为滚动摩擦的减摩方法，发明了土工常规三轴试验单向微摩擦荷载传力板和真三轴试验双向微摩擦荷载传力板，实现了采用刚性加载板对试验土体（试样）的精准加载。

2、发明了大尺寸、高压、微摩擦土工真三轴刚柔复合加载系统及按设定应力路径自动加载的测控系统，实现了大变形条件下三维无干扰的独立智能加载；提出了试样变形过程中保证试样形心空间位置不变的新方法，实现了三向均匀加载；研制了大型高压微摩擦土工真三轴仪，填补了国内外在大型土工真三轴试验技术领域的空白。

3、首次试验验证了粗粒土最小能比系数为一常数的力学规律；构建了能反映粗粒土非线性、剪胀性的 K-K-G 本构模型，实现了高土石坝等土工构筑物的数值模拟。

4、负责完成了双江口、两河口、塔城心墙堆石坝，水布垭面板堆石坝，乌东德高土石坝围堰等 30 多项大坝筑坝料的力学特性试验、应力变形分析及结构方案论证工作。

第二完成单位：河海大学

主要创新推广贡献：河海大学是项目主要参与单位，负责创新点 2、3 的研发和应用推广工作。

1、揭示了复杂应力条件下粗粒土的应力应变与强度规律，为粗粒土本构模型建立及大坝应力变形分析奠定了理论基础。

2、参与试验系统与分析方法的完善和应用推广，与长江水利委员会长江科学院合作完成了两河口、双江口等多项高土石坝筑坝材料的真三轴试验及大坝应力变形分析工作，为这些土石坝结构设计方案论证做出了重要贡献。

第三完成单位：长江勘测规划设计研究有限责任公司

长江勘测规划设计研究有限责任公司是项目的主要参与单位，主要参与了创新点 1、3 的研究工作。参与了多种粗粒土的大型土工真三轴试验和大坝应力变形分析工作，负责研究成果在塔城心墙堆石坝、水布垭面板堆石坝、乌东德高土石坝围堰等工程设计中得到应用。

十、完成人合作关系说明

长江水利委员会长江科学院、河海大学、长江勘测规划设计研究有限责任公司，长期合作开展大型土工真三轴试验技术研发与粗粒土本构模型及工程应用，优势互补、联合攻关，取得了多项创新性成果，合作关系说明如下：

长江水利委员会长江科学院程展林、潘家军、王艳丽、左永振、李玫、饶锡保、周跃峰、江泊涓等人属于水利部岩土力学与工程重点实验室土工结构工程安全研究团队，长期合作从事粗粒土力学特性试验新技术与本构模型及其工程应用，共同完成了多项研究报告、获得了多项国家发明专利、发表了多篇学术论文。

河海大学朱俊高与长江水利委员会长江科学院程展林，在 2007~2010 年合作参与完成了国家自然科学基金-雅砻江联合基金重点项目“高应力极复杂加载条件下土石料工程特性试验研究（50639050）”的研究工作。河海大学施维成为朱俊高研究团队成员，与朱俊高合作一起对创新点 2、3 开展了部分技术研发工作，共同发表了多篇学术论文。

长江勘测规划设计研究有限责任公司的刘传庆与长江水利委员会长江科学院程展林、王艳丽、潘家军等人共同获得的国家发明专利“岩土工程三轴压缩试验微摩擦荷载传力板”是本项目核心创新点之一，同时对本项目整体技术成果在水布垭面板堆石坝，乌东德高土石坝围堰工程中的推广应用发挥了重要作用。