《复杂条件下土工合成材料加筋土结构成套

关键技术研究与工程应用》项目公示材料

一、项目名称

复杂条件下土工合成材料加筋土结构成套关键技术研究与工程应用

二、提名单位意见

“复杂条件下土工合成材料加筋土结构成套关键技术研究与工程应用”项目紧密结合我国西部山区公路建设的实际和急需解决的关键技术问题，以在高烈度地震区、复杂填料、寒区等复杂条件下加筋土柔性结构体系理论和工程应用中存在的重大技术难题，历时近10余年，采用理论分析与数值模拟相结合、模型试验与现场试验相结合的技术路线，在土工合成材料性能及新材料研发、加筋土力学特性、筋土相互作用、加筋结构长期服役性能、加筋结构地震响应及失效模式、稳定性计算方法及工程应用等方面有重大突破和实质性创新，形成了集理论、实践于一体的建设成套技术，攻克了复杂条件下加筋土柔性结构建设重大科学技术难题。建立了新的加筋土力学理论模型和稳定性计算方法，研发了新型土工合成材料及其加筋结构，研编了系列标准，构建了复杂条件下土工合成材料加筋土结构成套技术体系并实现规模应用。

新疆维吾尔自治区交通运输厅按照《新疆维吾尔自治区科学技术进步奖励办法》及其实施细则的有关规定和自治区内容及全部附件材料进行了严格审查，确认该项目符合《新疆维吾尔自治区科学技术进步奖励办法》规定的推荐资格条件，内容属实。

项目在理论方法、关键技术和系统研制方面原始创新程度高，应用前景广阔，具有巨大推广应用价值。该项目成果知识产权明晳，人员及单位排序无异议，符合自治区科技进步奖授奖条件，特建议提名该项目为2022年度自治区科学技术进步一等奖。

三、项目简介

“复杂条件下土工合成材料加筋土结构成套关键技术研究与工程应用”项目围绕复杂条件下加筋土筋—土相互作用理论问题；土工合成材料加筋土结构服役规律和失效模式关键问题；复杂条件下土工合成材料加筋土结构稳定性分析问题和设计方法复杂条件下的土工合成材料加筋土新材料、新结构、新方法。以新疆交通规划勘察设计研究院有限公司为总体牵头单位，组织了包括高等院校、科研单位、设计院所、施工单位等在内的共10余个单位、150多名主要研究人员协作攻关。历时10余年，在15个国家级、省部级、或重要工程研究项目的支持下，采用现场踏勘、理论分析、数值模拟、室内试验与现场试验等手段，在土工合成材料性能及新材料研发、加筋土力学特性、筋土相互作用、加筋结构长期服役性能、地震响应及失效模式、稳定性计算方法及工程应用等方面有重大突破和实质性创新，形成了集理论、实践于一体的建设成套技术。主要科技创新如下：1.创立了土工合成材料加筋土及筋-土相互作用新型理论模型。2.揭示了复杂条件下土工合成材料加筋土结构服役及失效规律。3.建立了复杂条件下的土工合成材料加筋土结构稳定性分析和设计方法。4.发明了新型土工合成材料、加筋土结构和施工方法。

成果共授权国际、国内发明专利25项，实用新型专利29项，软著14项；出版专著3部；发表论文102篇，其中SCI26篇，EI33篇，核心27篇。突破了高烈度地震区、复杂填料、寒区等复杂条件下加筋土结构理论模型体系、服役规律与失效模式、稳定性分析方法与精确控制技术等重大理论与技术难题，由邓铭江、郑颖人、赖远明、崔鹏、杨春和五位院士组成的专家组评价认为：本成果整体达到国际领先水平。

四、推广应用情况

项目成套关键技术已在我国新疆、山东、湖北等省（自治区）公路、铁路、民航、生态修复、市政、水利工程领域20余个项目中得到了推广应用。

项目研发的系列加筋边坡和加筋土挡墙的稳定分析软件提升了国产软件计算精度和水平，填补了国际上现有计算软件无法准确计算格室加筋体强度和刚度的空白，有力促进了相关领域的科技进步。已经在中交一院、中设设计集团青海省交规院等20余所勘察设计、科研、技术服务单位得到了推广应用，在上百个加筋土结构的稳定性分析中进行了应用，取得了良好的间接经济效益。

项目成果创新了理论描述，突破了技术瓶颈，完善了设计方法，规范了施工工艺，极大地推动了我国加筋土结构的理论创新和推广应用，成果已纳入多部行业、团体、地方标准。

五、主要知识产权证明目录

1. 胡幼常，孙云龙，毛爱民，刘杰，土工格栅加筋粗粒土坡:机理及应用，知识产权出版社，2019.
2. 宋飞，刘杰，土工格室加筋土等效强度与等效刚度计算方法，中国水利水电出版社，2020.
3. Huabei Liu , et al. One-step analytical method for required reinforcement stiffness of vertical reinforced soil wall with given factor of safety on backfill soil - ScienceDirect. 2021,49:343-350(SCI)
4. Jie Liu , et al. Analysis of Strengthening Mechanism of the Steep Slope Embankment through Centrifugal Model Test - Shock and Vibration, Volume 2022， Article ID 6536257，11页(SCI)
5. Jie Liu , Yunlong Sun ,et al. Mechanism and Mesoscopic Characteristics of IndirectlyReinforced Gravelly Soil by a Geogrid, Advances in Materials Science and Engineering Volume 2022, Article ID 8536258, 8 (SCI)
6. Fei Song , et al. Analyzing the deformation and failure of geosynthetic-encased granular soil in the triaxial stress condition[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2020, 48(6). (SCI)
7. Fei Song , Huabei Liu , et al. Centrifuge tests of geocell-reinforced retaining walls at limit equilibrium. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 2018, 144, (3): 04018005. (SCI)
8. Liu, Huabei (2016). Nonlinear elastic analysis of reinforcement loads for geosynthetic reinforced soil composites without facing restriction. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 142(6), 04016013. (SCI)
9. Fei Song , Huabei Liu , et al. Numerical analysis of geocell-reinforced retaining wall failure modes. Geotextiles and Geomembranes, 2018, 46(3): 284-296. (SCI)
10. Fei Song , et al. Three-dimensional numerical modelling of geocell reinforced soils and its practical application. Geomechanics and Engineering, 2019, 17(1):1-9. (SCI)
11. F Song , et al. Evaluation of Required Stiffness and Strength of Cellular Geosynthetics Geosynthetics International 2022,PP:217-228 (EI)
12. 刘华北,等. 面板倾角对模块式面板加筋土挡墙筋材内力的影响. 岩土工程学报, 2017, 39(9), 1680-1688. (EI)
13. 刘华北. 土工合成材料循环受载、蠕变和应力松弛特性的统一本构模拟. 岩土工程学报, 2006, 28(7), 823-828. (EI)
14. 王向余, 刘华北,等. 黏性土填土蠕变对土工合成材料加筋土挡土墙响应的影响. 中国公路学报, 2008, 21(2), 1-5+17. (EI)
15. 胡幼常, 毛爱民, 刘杰,等. 加筋砾石土坡安全系数的实用计算方法.公路, 2018, 63(11):78-88.
16. 胡幼常, 毛爱民, 刘杰,等. 加筋粗粒土坡稳定安全系数的简化计算方法.公路交通科技,2018,35(03):16-27.
17. 刘华北. 横向地震作用下土工合成材料加筋土挡墙筋材拉力分析. 岩土工程学报, 2022, 44(2):8.. (EI)
18. 宋飞, 等. 土工格室加筋砂土大型动三轴试验研究. 铁道科学与工程学报, 2022, 19(3):8. (EI)
19. 宋飞, 刘杰,等. 格室土表观黏聚力节点强度计算方法. 路基工程, 2022(2):4.
20. 刘杰,等. HDPE土工格室整体力学性能大型双轴拉伸试验. 长安大学学报:自然科学版, 2021, 41(6):10.
21. 宋飞, 刘杰,等. 格室土力学响应等效理论有限元方法探索. 路基工程, 2022(1):4.
22. 刘杰,等. 基于数值分析的土工格栅加筋陡坡路堤优化设计研究. 中外公路, 2021, 41(5):7.
23. 刘杰,等. 锚杆—土工格室复合结构边坡防护有限元数值分析. 公路, 2021, 66(11):7.
24. 刘杰, 刘华北,等. 台阶式双面加筋路堤地震响应规律研究. 地质科技通报, 1-11[2022-04-20].
25. 刘杰,等. 土工格室加固风积沙路基不同深度动力响应试验研究. 地质科技通报, 1-8[2021-12-16]
26. 刘杰,等. 土工格室加固风积沙路基动应力响应现场试验研究. 公路交通科技, 2021,38(12):37-46.
27. 宋飞,等.格室加筋土等效强度计算方法对比研究[J]. 地基处理, 2021, 3(3):7.
28. 刘杰,等. 不同工况下土工格室加筋路基模型试验. 福建交通科技, 2022(04):6-9+22.
29. 宋飞, 刘学军,等. 直立面板式格室挡墙主动土压力计算方法探讨. 地基处理 , 2022,4(02):126-132.
30. Cellullab confinement system and manufacturing method thereof. Name of Actual Inventor(s): Lei Ye, US 10,415,209 B2(国际（美国）发明专利).
31. 一种柔性加筋土桥台筋材内力计算方法，发明人：刘华北，专利号：ZL201510835930.3（发明专利）
32. 由直剪和单剪压缩试验确定砂土邓肯-张模型参数的方法，发明人：刘华北等，专利号：201710082495.0（发明专利）
33. 一种土工格室及其制作方法，发明人：叶磊，专利号：ZL201610209818.3（发明专利）
34. 一种土工格室挡墙施工方法，发明人：宋飞等，专利号：ZL201910113987.0（发明专利）
35. 一种土工合成材料施工损伤测试装置及方法，发明人：刘杰、毛爱民、孙云龙、阿布扎尔等，专利号：ZL201910354864.6（发明专利）
36. 一种涵洞用高韧性土工格栅，发明人：叶磊，专利号：ZL201811184217.7（发明专利）
37. 一种加强型土工格室固定结构，发明人：刘洋，专利号：ZL202110014117.5（发明专利）
38. 一种土工合成材料施工损伤试验装置，发明人：刘杰、孙云龙等，专利号：ZL202022210863.5（实用新型专利）
39. 一种土工格室多轴双向蠕变性能测试装置，发明人：刘杰、孙云龙等，专利号：CN202010969021.X（实用新型专利）
40. 一种榫夹结构及土工格室，发明人：刘洋，专利号：ZL202121998643.1（实用新型专利）
41. 一种格栅拉筋带式土工格室挡墙，发明人：刘学军、宋飞等，专利号：CN202220705383.2（实用新型专利）
42. 一种可调节拉筋加筋土挡墙结构，发明人：刘杰、孙云龙等，专利号：ZL202123204686.0（实用新型专利）
43. 一种提高加筋土结构力学性能的浅层和深层一体化柔性防护设施，发明人：刘杰、孙云龙等，专利号：ZL202022066857.7（实用新型专利）
44. 一种土工格栅筋土相互作用试验装置，发明人：刘杰、孙云龙等，专利号：ZL202022066858.1（实用新型专利）
45. 一种土工格室，发明人：刘杰、孙云龙等，专利号：ZL202022066860.9（实用新型专利）
46. 一种土工格室电动张拉装置，发明人：刘杰、孙云龙等，专利号：ZL202022020554.1（实用新型专利）
47. 一种常规三轴试验中的土工格室加筋土制样模具，发明人：刘学军、宋飞等，专利号：ZL202220706337.4（实用新型专利）
48. 一种可调节型加筋土挡墙修复装置，发明人：刘杰、孙云龙等，专利号：ZL202120530197.5（实用新型专利）
49. 一种修复加筋土挡土墙结构，发明人：刘杰等，专利号：ZL202121419750.4（实用新型专利）
50. 一种可调节型加筋土挡墙结构，发明人：刘杰、孙云龙等，专利号：ZL202123204686.0（实用新型专利）
51. 一种土工格室多轴双向蠕变性能测试装置，发明人：刘杰、孙云龙等，专利号：ZL202022013432.X（实用新型专利）
52. 一种适用于干旱地区的生态护坡系统，发明人：刘杰、孙云龙、毛爱民、杨新龙等，专利号：ZL201822091921.X（实用新型专利）
53. 一种提高加筋土结构力学性能的浅层和深层一体化柔性防护设施，发明人：刘杰；孙云龙等，专利号：ZL202022066857.7（实用新型专利）
54. 一种返包式土工格栅陡坡路堤结构，发明人：毛爱民、孙云龙、刘杰、杨新龙等，专利号：ZL201821208700.X（实用新型专利）
55. 基于边坡稳定性分析的几何建模算法软件V1.0，登记号：2019SR1140635，著作权人：长安大学，新疆规划勘察设计研究院有限公司
56. 基于等效强度理论的土工格室条带刚度和节点强度校核软件V1.0，登记号：2020SR1232288，著作权人：长安大学，新疆规划勘察设计研究院有限公司
57. 加筋边坡稳定性分析软件V1.0，登记号：2019SR0378441，著作权人：长安大学，宋飞
58. 土工格室加筋土本构模型计算软件V1.0，登记号：2019SR0325940，著作权人：长安大学
59. 公路高边坡计算软件V1.0，登记号：2021SR1868717，著作权人：新疆交通规划勘察设计研究院有限公司
60. 加筋土粗粒土坡安全系数计算软件V1.0，登记号：2021SR1868541，著作权人：新疆交通规划勘察设计研究院有限公司
61. 直立面板式土工格室挡墙土压力计算软件著作权证书，登记号：2021SR0939604，著作权人：长安大学

以上专利（论文）用于报奖的情况，已征得作者的同意该论文、专利、软件著作权为申报2022年度新疆维吾尔自治区科技奖励的支撑材料，对项目完成人排序无异议，承诺不在其它项目中再次使用。

六、主要完成人情况

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 姓名 | 性别 | 出生年月 | 技术职称 | 文化程度 | 工作单位 | 完成人合作关系 | 对成果的创造性贡献 |
| 1 | 刘杰 | 男 | 1986.03 | 高级工程师 | 博士 | 新疆交通规划勘察设计研究院有限公司 | 主持人课题组负责人 | 项目重要完成人，项目总体学术思想及创新成果的重要贡献者，对创新点一、二、三均有实质性贡献，创新点四的主要完成人，对软件开发、集成创新和项目推广应用有实质性贡献。 |
| 2 | 宋飞 | 男 | 1980.05 | 教授 | 博士 | 长安大学 | 专项负责人课题组负责人 | 项目主要完成人，创新点一、三的主要完成人，对创新点二、四有实质性贡献，对软件开发、集成创新有实质性贡献。 |
| 3 | 刘华北 | 男 | 1973.04 | 教授 | 博士 | 华中科技大学 | 专项负责人课题组负责人 | 项目主要完成人，创新点一、二的主要完成人，对创新点三、四有实质性贡献，对集成创新有实质性贡献。 |
| 4 | 杨新龙 | 男 | 1967.02 | 正高级工程师 | 硕士 | 新疆交通规划勘察设计研究院有限公司 | 技术骨干 | 对创新点三、四有实质性贡献，对研究方案、集成创新和推广应用有实质性贡献。 |
| 5 | 孙云龙 | 男 | 1981.09 | 正高级工程师 | 硕士 | 新疆交通规划勘察设计研究院有限公司 | 技术骨干 | 对创新点三、四有实质性贡献，对软件开发、集成创新、推广应用有实质性贡献。 |
| 6 | 毛爱民 | 男 | 1972.05 | 正高级工程师 | 硕士 | 新疆交通规划勘察设计研究院有限公司 | 课题负责人 | 对创新点二、三有实质性贡献，对研究方案制定有实质性贡献。 |
| 7 | 刘学军 | 男 | 1970.06 | 正高级工程师 | 本科 | 新疆建筑科学研究院（有限责任公司） | 课题负责人 | 对创新点三、四有实质性贡献，对集成创新和推广应用有实质性贡献。 |
| 8 | 胡幼常 | 男 | 1961.12 | 副教授 | 博士 | 武汉理工大学 | 课题负责人 | 对创新点一、二、三有实质性贡献，对室内试验有实质性贡献。 |
| 9 | 孙泽强 | 男 | 1967.04 | 正高级工程师 | 本科 | 新疆交通投资（集团）有限责任公司 | 技术骨干 | 对创新点四有实质性贡献，对集成创新和推广应用有实质性贡献。 |
| 10 | 鲁新虎 | 男 | 1972.02 | 高级工程师 | 硕士 | 新疆交通投资（集团）有限责任公司 | 技术骨干 | 对创新点四有实质性贡献，对集成创新和推广应用有实质性贡献。 |
| 11 | 王向余 | 男 | 1979.06 | 高级工程师 | 博士 | 清华大学 | 技术骨干 | 对创新点一、二有实质性贡献，对模型试验有实质性贡献。 |
| 12 | 阿布扎尔•格亚孜丁 | 男 | 1971.02 | 正高级工程师 | 硕士 | 新疆交通规划勘察设计研究院有限公司 | 技术骨干 | 对创新点三有实质性贡献，对现场试验和成果推广应用有实质性贡献。 |

七、主要完成单位及创新推广贡献

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 排名 | 单位名称 | 单位性质 | 对本项目科技创新和推广应用情况贡献 |
| 1 | 新疆交通规划勘察设计研究院有限公司 | 企业 | 本项目首要贡献单位，主持了项目的实施、集成创新工作，主持完成了现场测试、施工损伤试验、部分离心模型试验、土工格室加筋土大型三轴试验工作，以及上述试验成果的整理和理论分析工作，发明了多个试验装置及施工方法，主持完成了部分数值计算工作，参与部分标准编制工作，对项目成果推广应用有实质性贡献。 |
| 2 | 长安大学 | 学校 | 主持完成了土工格室挡墙的离心模型试验、数值模拟、现场监测试验和稳定分析方法研究，加筋边坡稳定分析软件以及部分土工格室加筋土大型三轴试验和应力应变响应计算模型研究。参与项目集成创新工作，参与部分标准编制工作。 |
| 3 | 华中科技大学 | 学校 | 本项目第三贡献单位，与第八完成单位共同主持完成了土工合成材料、土材料及土与结构物接触面的靜力及往复加载本构模型；加筋土挡墙的蠕变响应机理分析；加筋土挡墙的动力响应、蠕变后强震响应及强震后进一步蠕变响应机理分析等研究，与第一完成单位共同开展了计算模型研究，与第二完成单位共同开展了土工格室加筋土大型三轴试验研究。 |
| 4 | 武汉理工大学 | 学校 | 本项目第四贡献单位，与第一完成单位共同主持完成了土工格栅拉拔试验、典型粗粒土和土工格栅加筋粗粒土的大三轴试验、土工格栅加筋粗粒土的无侧限抗压试验以及上述试验成果的整理和理论分析工作。协助完成了试验路的现场测试工作。完成了加筋粗粒土坡和等代均质土坡稳定安全系数的对比计算。 |
| 5 | 新疆建筑科学研究院（有限责任公司） | 企业 | 本项目第五贡献单位，主持完成项目现场监测方案的编写和实施；与第一完成单位共同主持了高填加筋土构筑物稳定性分析评价工作；对项目成果推广应用有实质性贡献；主持完成项目最终成果的集成工作。 |
| 6 | 新疆交通投资（集团）有限责任公司 | 企业 | 本项目第六贡献单位，对项目成果推广应用有实质性贡献，与第一完成单位、第五完成单位共同开展了成果的推广应用工作。 |
| 7 | 安徽徽风新型合成材料有限公司 | 企业 | 本项目第七贡献单位，与第一完成单位共同主持对项目中应用的新产品及新材料进行研发。通过结构优化设计及配方工艺优化设计，开发出适合在该项目复杂条件下应用的新产品。 |

八、完成人合作关系说明

新疆交通规划勘察设计研究院有限公司、华中科技大学、武汉理工大学、新疆建筑科学研究院（有限责任公司）、新疆交通投资（集团）有限责任公司、安徽徽风新型合成材料有限公司等单位分工明确，针对现有工程技术理论存在设计方法和手段落后、结构型式不合理、材料性能差等问题，难以适应新疆复杂的应用条件等问题，历时10余年，通过多学科、产学研持续攻关与实践，构建了复杂条件下土工合成材料加筋土结构成套技术体系并实现规模应用。经过长期合作，在土工合成材料性能及新材料研发、加筋土力学特性、筋土相互作用、加筋结构长期服役性能、地震响应及失效模式、稳定性计算方法及工程应用等方面有重大突破和实质性创新，最终形成本项目研究成果。项目完成期间，刘杰（1）、杨新龙（4）、孙云龙（5）、毛爱民（6）、胡幼常（8）、阿布扎尔•格亚孜丁（12）共同开展了土工格栅加筋陡坡路堤等方面的科研攻关；刘华北（3）、刘杰（1）、宋飞（2）、孙云龙（5）、王向余（11）共同开展了加筋土挡墙及高烈度地震区土工合成材料加筋土结构抗震性能的科研攻关；刘杰（1）、宋飞（2）、孙云龙（5）、刘学军（7）共同开展了土工格室挡墙及复杂填料加筋土结构理论模型体系的科研攻关；刘杰（1）、刘华北（3）、孙云龙（5）、毛爱民（6）、胡幼常（8）对寒区条件下服役规律与失效模式开展了联合攻关；刘杰（1）、宋飞（2）、刘华北（3）、胡幼常（8）、王向余（11）共同开展了稳定性分析方法联合攻关；刘杰（1）、宋飞（2）、刘华北（3）、刘学军（7）共同开展了精确控制技术联合攻关；刘杰（1）、杨新龙（4）、孙云龙（5）、毛爱民（6）、刘学军（7）、孙泽强（9）、鲁新虎（10）、阿布扎尔•格亚孜丁（12）共同开展了大量推广应用。合作者之间有联合培养研究生，学术论文、专著有联合署名，有联合申报软著，有共同研发的新材料、新技术，及共同申报、编写的行业、团体标准。