

一、成果名称：高陡边坡大变形破坏机理及其滑坡灾害强度预测研究及应用

二、完成单位：陕西铁路工程职业技术学院，昆明理工大学，中铁七局集团第三工程有限公司

三、完成人：王丰仓 张小强 王恒 赵香玲 崔鹏艳 张小力 刘涛 麻超 陈艳茹

四、成果简介：

边坡失稳滑坡是局部化变形形成与发展的结果，属于大变形问题，变形不再符合小变形理论。目前，国内外关于大变形失稳的理论多集中于巷道围岩、深部岩体及高应力软岩变形等问题，而在边坡方面却鲜有研究，传统极限平衡法和有限元法在处理边坡稳定性问题时，无法反映边坡滑坡渐进破坏全过程及存在网格扭曲等缺陷，进而不能揭示边坡滑坡大变形机理。针对以上问题，项目团队围绕边坡大变形理论和本构模型、边坡失稳大变形全过程、滑坡地质灾害强度预测等方面历经3年攻关，形成了岩土体大变形理论及本构模型、边坡大变形渐进破坏动态过程的数值算法、量化边坡滑坡灾害强度指标选取方法等方面取得了重大突破，主要研究成果有：

(1) 构建了岩土体大变形理论及本构模型。针对传统变形理论不适应边坡大变形问题，边坡大变形具有弹塑性变形特征，破坏是局部化变形形成与发展的结果，结合弹塑性理论和局部变形理论，推导出边坡大变形理论和本构模型。

(2) 创新了边坡大变形渐进破坏动态过程的数值算法。边坡失稳是一个动态演化过程，由于内部应变集中引发的剪切带形成的小变形逐渐发展成大变形的全过程。采用广义粒子动力学法基于 FORTRAN 语言自编程序搭建数值模拟平台，编写边坡滑移稳定性分析程序，分析边坡大变形渐进破坏全过程。

(3) 提出了量化边坡滑坡灾害强度指标选取方法。针对利用模型试验、数值计算等方法对滑坡堆积体积大小、滑坡体滑动速度和滑动距离进行分析，分析结果在实际工程、科学研究等推广困难的问题，定义滑坡灾害强度包括滑坡体体积大小、滑坡体运动速度和滑动距离，分别对每一指标通过数值计算和理论分析进行定量系统研究，提出更准确、更有效的控制边坡滑坡灾害措施。

本项目获发明专利1项、实用新型专利4项，在 Engineering Geology 等本领域期刊上发表相关论文5篇，形成了高陡边坡大变形破坏机理及滑坡灾害强度预测成套技术。我国是一个地质灾害发生十分频繁的国家。根据《中国统计年鉴》2014版统计，

自 2000 年 2013 年之间共发生地质灾害 354338 起，其中滑坡地质灾害 248364 起，占总地质灾害数量的 70.09%。本项目主要针对边坡发生大变形机制以及边坡发生灾变以后的强度（包括滑动体滑动距离、影响范围等）如何量化评定、变形和失稳破坏等相关问题，其研究成果同样适用于铁路、公路高陡边坡滑坡灾害进行量化分析、边坡灾害危险性评价、危害性等级的划分以及有效预防治理等问题提供理论依据，避免因滑坡地质灾害造成大量的人员伤亡和财产损失，具有显著的经济、社会和环境效益，应用前景广阔。

五、完成人合作关系情况：

王丰仓、赵香玲、崔鹏艳、张小力、陈艳茹为陕西铁路工程职业技术学院科技骨干，张小强为昆明理工大学国土资源工程学院副教授，王恒、刘涛、麻超分别为中铁七局集团第三工程有限公司公司副总经理兼总工程师、项目经理、技术中心主任。完成人均均为项目研发、推广应用的主要完成人。

第一完成人王丰仓为陕西铁路工程职业技术学院副教授、校级创新团队成员，为技术开发的总负责人，张小强为项目技术指导，赵香玲、崔鹏艳、张小力和陈艳茹为关键技术与推广应用的核心人员。

表 1 完成人合作关系情况一览表

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作起始时间	合作完成时间	合作成果
1	共同立项	王丰仓/1, 王恒/3, 崔鹏艳/5, 张小力/6, 刘涛/7	2018.4.01	2020.10.01	杭州地铁 3 号线一期工程土建施工 SG3-12 标段边坡工程变形破坏机理及预测预报研究与应用
2	共同立项	张小强/2, 刘涛/7, 麻超/8, 陈艳茹/9,	2020.6.01	2021.4.01	山区高速公路边坡特性研究及监测技术服务
3	共同知识产权	王丰仓/1, 赵香玲/4	2017.3.01	2019.7.26	一种隧道防护用隧道变形检测预警装置
4	共同知识产权	刘涛/7, 麻超/8	2020.2.01	2022.2.11	基于水压差的河床土体水平位移监测装置

六、主要知识产权（标准、规范）目录：

表 2 主要知识产权（标准、规范）目录

序号	知识产权类别	知识产权名称	国家(地区)	授权号(批准号)	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	发明专利	富水砂卵石地层盾构联络通道无降水注浆加固施工方法	中国	CN113982598B	2023. 5. 09	第 5952200 号	中铁七局集团有限公司 中铁七局集团第三工程有限公司	田万平, 张志跃, 王恒, 聂艳青, 杨强, 王平孝, 朱俊涛 李研, 杨兴宇, 赵创飞
2	实用新型专利	一种用于隧道超前注浆锚杆钻孔的导向装置	中国	CN207406272U	2018. 5. 25	第 7390141 号	陕西铁路工程职业技术学院	王丰仓, 赵香玲
3	实用新型专利	一种隧道防护用隧道变形检测预警装置	中国	CN209163872U	2019. 7. 26	第 9144490 号	陕西铁路工程职业技术学院	赵香玲, 王丰仓
4	实用新型专利	一种适用于露天矿边坡现场试验的人工模拟降雨系统	中国	CN213023138U	2021. 4. 20	第 12999339 号	昆明理工大学	张小强, 程海勇, 吴顺川, 贺鹏彬, 刘津
5	实用新型专利	基于水压差的河床土体水平位移监测装置	中国	CN215801519U	2022. 2. 11	第 15778517 号	中铁七局集团第三工程有限公司 杭州浙科大科技有限公司	刘涛, 刘新虎, 刘世奇, 李宁, 刘世院, 麻超, 张维斌, 岳志鹏

七、代表论文专著目录：

表 3 代表论文专著目录

序号	论文专著名称	刊名	发表时间	年卷页码 (xx 年 xx 卷 xx 页)	作者	通讯作者 (含共同作者)	第一作者 (含共同作者)	国内作者 (中文名)	他引总次数	检索数据库	参与人 (成果完成人)	知识产权是否归国内所有
1	Analysis of the numerical stability of soil slope using virtual-bond general particle dynamics	Engineering Geology	2018. 6. 25	2018 年 243 (51) 101-110	Zhang Xiaoliang, Zhou Xiaoping	Zhou Xiaoping	Zhang Xiaoliang	张小强	18 次	SCI 一区	张小强	是

2	Simulation of Collapse failure process of Rock Slope Based On the Smoothed Particle Hydrodynamics Method	Frontiers in Earth Science	2023.5.5	2023年(10)9826-9858	Xiaoqiang Zhang, Xiong Song, Shunchuan Wu	Xiaoqiang Zhang	Xiaoqiang Zhang	张小强	10次	SCI 二区	张小强	是
3	基于遗传算法和极限学习机的智能算法在基坑变形预测中的应用	隧道建设(中英文)	2018.7.09	2018年38(06)卷941-947	陈艳茹	陈艳茹	陈艳茹	陈艳茹	35	CSCD	陈艳茹	是
4	西北地区黄土边坡稳定性分析与评价	煤炭技术	2021.4.10	2021年40(04)卷126-128	张小强, 袁博	张小强	张小强	张小强	3	核心	张小强	是
5	基于组合赋权的可拓综合评价岩爆预测模型	有色金属(矿山部分)	2022.7.25	2022年74(04)卷64-69	崔鹏艳, 陈玉明, 杨宫印, 王小勇	崔鹏艳	崔鹏艳	崔鹏艳	4	核心	崔鹏艳	是