

重大危险边坡动力致灾物理监测预警方法与主动控制技术

一、**主要完成单位：**青岛地质工程勘察院（青岛地质勘查开发局），青岛理工大学，绍兴文理学院，上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司，青岛市勘察测绘研究院

二、**主要完成人：**贺可强，刘洪华，伍法权，张拥军，郭璐，闫君，贾玉跃，赵民，徐红兵，阳吉宝，孙林娜，洪勇，袁西龙，董杰，曲万隆

三、**成果简介：**

重大危险边坡失稳破坏是工程建设面临的严重地质灾害之一，经常造成重大人员伤亡与财产损失。有效解决重大危险边坡失稳预测预报与防治的科学问题，才能最大限度地取得减灾防灾治灾实效。本项目基于重大危险边坡动力灾变机理，发现了以加卸载-位移响应比和动力增载-位移响应比变化为核心的边坡动力致灾物理规律，确定了与边坡极限平衡法安全系数具有等效评价功能的位移动力响应比物理判据准则，建立了重大危险边坡失稳破坏的位移动力响应比物理监测预警方法与主动控制技术。主要创新成果包括：

1. **提出了边坡位移动力响应比物理监测预警方法与失稳判据准则：**揭示了重大危险边坡动力灾变的物理机制及不同致滑动力载体力学作用规律，确定了可揭示边坡动力灾变物理机制的位移动力响应比参数与量化评价模型，建立了可与传统极限平衡法等效的边坡失稳判据准则和监测预警标准，提出和构建了边坡位移动力响应比物理监测

预警方法。

2. **构建了基于边坡动力响应多源信息的监测预警方法与预报信息系统：**揭示了边坡动力响应多源信息的互补性原理，建立了基于边坡动力响应多源信息监测与集成的监测预警方法及预报阈值。依据边坡位移动力响应比及动力响应多源信息集成监测预警模型，研究和开发了重大危险边坡失稳在线远程监测预警信息系统。

3. **创建了重大危险边坡动力致滑参数定量测定方法与主动控制成套防治技术：**提出和研发了一系列边坡动力致滑监测预警与防治参数定量测定方法，创建了以位移动力耦合监测与控制为设计依据，以抗滑桩、挡墙与锚固相结合的主动控制成套防治技术。

本项目获得国家授权发明专利 57 项；实用新型专利 30 项；软件著作权 2 项；主编及参编 10 部国家及地方行业标准与规范；出版学术专著 16 部；发表学术论文 300 余篇，其中 SCI、EI 期刊收录论文 117 篇。

研究成果已在长江三峡工程、雅砻江锦屏一级水电站、刚果（金）宗果 II 水电站、海南文昌卫星发射基地、海南海军某航母基地、青岛军民融合区、青岛地铁、青岛胶东国际机场轨道交通工程及国内多个大型矿山边坡监测预警与治理中得到了推广应用，确保了大型水利水电工程、航天工程、国防航母基地、地铁工程以及大型矿山工程的优化设计与施工安全，有效提高了我国重大危险边坡监测预警与防治领域的科学技术水平，为保护国家重大工程滑坡区人民群众的生命财产安全提供了技术保障，产生经济效益 8.76 亿元，取得了显著的社

会、经济、安全和环境效益。

四、推荐单位及推荐意见：

推荐单位：中国地质学会地质灾害研究分会

推荐意见：重大危险边坡失稳破坏是人类工程建设面临的严重自然灾害之一，常造成重大人员伤亡与财产损失。有效解决重大危险边坡失稳预测预报与防治的科学问题，才能最大程度地取得减灾防灾实效。该项目针对目前重大危险边坡预测预报方法与防治技术的局限与不足，将重大危险边坡位移演化规律与动力灾变机理进行了有机的耦合与系统集成，揭示了边坡动力失稳物理机制，确定了重大危险边坡位移动力耦合与多源信息集成监测预警方法及失稳判据准则体系，创建了边坡在线远程监测预警信息系统，建立了边坡动力致滑参数快速测定方法，研发了抗滑桩、挡墙、锚固复合主动控制成套技术。

该项目研究成果已在我国三峡工程库区、雅砻江锦屏一级水电站、刚果（金）宗果 II 水电站、海南文昌卫星发射基地、海南某航母基地、青岛军民融合区、青岛地铁及国内多个大型矿山边坡监测预警与治理中得到了广泛应用，保护了滑坡区人民生命财产安全，节省了工程投资，有效提高了我国重大危险边坡监测预警与防治领域的科学进展，取得了显著的社会、环境及经济效益。

推荐该项目为国土资源科学技术奖一等奖。

五、客观评价：

（一）鉴定意见及国内外同行评价

1.以宋振骥院士为组长的鉴定委员会对项目“深凹边坡采动卸荷失稳特征与监测预警及防治关键技术”进行了鉴定，认为：该项目针对重大危险采动滑坡动态稳定性进行监测预警，提出了反映滑坡灾变机理的失稳判据，总体达到国际先进水平，部分达到国际领先水平。

2.以王思敬院士为组长的鉴定委员会对项目“高储能岩体开挖卸荷形变破坏成因及其工程环境效应”进行了鉴定，认为：本项目系统分析了高储能岩体边坡开挖卸荷变形破坏特征，推导了能量分级表达式，丰富了岩体强度理论，建立了高储能岩体边坡开挖扰动区预测方法，总体达到国际领先水平。

3.以武强院士为组长的鉴定委员会对项目“青岛市地质灾害预报预警模型研究”进行了鉴定，认为：该项目研究内容丰富、技术路线合理、方法先进，成果应用效果突出，对国内外其它城市地质灾害预报预警具有重要的推广应用价值，总体达到国内领先水平，部分达到国际先进水平。

4.国际工程地质与环境协会（IAEG）对项目“统计岩体边坡力学理论三十年研究工作及重大工程应用”进行了鉴定，时任IAEG主席的C.Delgado教授指出：该理论提出的本构模型及变形参数计算公式、统计岩体强度准则提供了新的边坡岩体力学参数评价方法，基于结构面连通率的岩体渗透模型也是对现行通用模型的重要改进，成果处于国际领先水平。

5.我国著名工程地质学家张咸恭教授指出：本项目成果填补了我国堆积层滑坡位移动力学研究方面的空白，提出的有关新论点、新思

路、新认识，使有关理论上升到一个新层次，有助于今后对这一领域的研究。

6.中国工程院院士王思敬教授指出：本项目的成果对卸载岩体力学这一新领域的发展提供了有益探索；针对高陡边坡复杂地质结构和变形破坏模式提出了工程加固的三个层次思想，对解决同类问题具有重要指导意义。

（二）国内外重要荣誉与奖励

1.项目第一完成人贺可强教授因创建了滑坡位移动力学预测理论及其相关防治技术，荣获俄罗斯国家工程院外籍院士荣誉称号。

2.项目第三完成人伍法权教授因创建了“统计岩体力学”(SMRM)理论系统与重大危险边坡主动加固技术，荣获俄罗斯自然科学院外籍院士荣誉称号。

3.项目第一完成人贺可强教授因在滑坡灾害预测与防治研究领域的贡献与成就，于2019年10月获俄罗斯自然科学发展贡献奖。

4.项目第三完成人伍法权教授因在边坡工程统计岩体边坡力学理论与国际工程地质事业做出卓越贡献，于2020年5月获国际工程地质与环境协会终身成就奖。

5.项目研究成果“青岛市地质灾害预报预警模型研究”获“2013年度山东省十大优秀地质成果”。

（三）网络、报纸等媒体新闻报道

1.中国科学院网站报道了《三峡库区高切坡防护规划》的评审，专家组对伍法权教授任项目组组长完成的总体规划工作给予高度评

价，一致认为该《规划》编制依据充分，工作基础扎实、数据可信，内容系统、合理可行。

2.《青岛日报》报道了项目成果在滑坡地质灾害预报中的重要现实意义：在青岛崂山区突发地质灾害预报工作中，采用‘地质灾害预报预警信息系统’实现多部门联动，快速、高效、准确地实施了灾害预警应急措施。

3.《半岛都市报》报道了本项目技术成果的应用过程及效果：“人脑加电脑”，“滑坡地质灾害预警技术人员一天24小时不停运算”，分析雨量数据，叠加灾害隐患体的形状特征；为滑坡实时预报、划定灾害区并设防提供了科学依据与安全保障，避免了滑坡地质灾害发生，有效减少了人员财产损失。

（四）科技查新

研究成果经教育部科技查新工作站（L02）得出结论：除项目研究单位自己的研究成果外，项目相关研究未见有相同的报道。

（五）学术著作、论文及知识产权

本项目多项成果纳入到**10**部国家及地方行业标准与规范中，得到了业内的广泛认可，并获国家授权发明专利**57**项；实用新型专利**30**项；软件著作权**2**项；发表学术论文**300**余篇，其中SCI、EI期刊收录论文**117**篇，出版学术专著**16**部。

六、主要知识产权目录：

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	利用位移监测同时确定抗滑桩桩位和临界深度的方法	中国	ZL2013100419858	2015年11月18日	1843285	青岛理工大学、青岛地质工程勘察院	贺可强, 袁西龙, 王荣鲁, 郭宗河, 李增涛	有效
发明专利	基于边坡稳定性监测的多等级预警测定方法	中国	ZL201910307236.2	2020年11月17日	4097794	青岛理工大学	贺可强, 孙林娜, 郭媛媛, 王滨, 刘洪华, 李亮, 洪勇, 袁长丰, 路世豹, 罗会来	有效
发明专利	一种边坡锚固布局方法	中国	ZL201310422331.X	2016.05.04	2055738	绍兴文理学院	伍法权, 胡秀宏, 伍劼, 杜时贵, 夏才初, 单冶钢	有效
发明专利	基于地下水位与位移监测的边坡动态稳定性系数测定方法	中国	ZL201410351222.8	2017年08月25日	2599377	青岛理工大学	贺可强, 杨德兵, 梁运培, 张拥军, 张嘉鑫, 李晶	有效
发明专利	一种基于正交应变比的土层边坡稳定性测定方法	中国	ZL201610055587.5	2018年03月30日	2865540	青岛理工大学	贺可强, 郭璐, 王菲, 梁运培, 张拥军, 贺桐	有效
发明专利	一种矿山边坡滑移稳定性监测预警方法	中国	ZL201810871259.1	2019年12月17日	3634605	青岛理工大学	张拥军, 刘思佳, 杨登峰, 王文, 李文韬, 马强强, 包放歌	有效
发明专利	一种边坡抗滑桩抗滑耐久性的动力	中国	ZL201710707011.7	2019年09月03日	3515371	青岛理工大学	郭璐, 贺可强, 伍法权, 刘汉东, 王思敬,	有效

	测定方法						张国栋, 信校 阳	
发明专利	高切坡抗滑 治理参数的 测定方法	中国	ZL20151 0927149. 9	2018年05 月25日	2938914	青岛理工大学	贺可强, 王菲, 贾佰渠	有效
发明专利	深基坑土钉 加固的监测 方法	中国	ZL20141 0351467 0	2016年8 月17日	2185759	青岛理工大学	贺可强、孙林 娜、潘信梅、 杨德兵	有效
标准	危岩落石柔 性防护网工 程技术规范	中国	T/CAGH P 066-2019	2019.07.01	中国地质灾 害防治工程 行业协会	绍兴文理学 院, 四川省地 矿局成都水文 地质工程地质 中心, 中国科 学院地理科学 与资源研究 所, 北京交通 大学, 贵州省 地矿局第二工 程勘察院, 北 京市地质研究 所, 四川奥思 特边坡防护工 程有限公司, 布鲁克(成都) 边坡防护工程 有限公司, 广 西壮族自治区 桂林水文工程 地质勘察院, 浙江岩创科技 有限公司, 青 岛理工大学	伍法权, 李铁 锋, 赵松江, 封志军, 吕汉 川, 洪习成, 原振华, 兰恒 星, 吴旭, 田 维强, 张长敏, 黄海, 薛元, 李军辉, 何旭 东, 沙鹏, 常 金源, 伍劫, 贺可强, 刘亚 辉, 彭李, 韩 祥森, 师乐乐	有效