

文章编号: 0455-2059(2015)06-0859-06

三峡库区滑坡灾害工程防治技术体系初探

程英建, 张勇, 石胜伟

中国地质调查局地质灾害防治技术中心, 中国地质科学院探矿工艺研究所, 成都 611734

摘要: 通过128处典型案例现场调查, 统计分析了三峡库区滑坡灾害常用的防治技术、防治思路及防治技术的适宜性. 利用综合集成的思想, 初步构建了滑坡灾害工程防治技术体系框架. 针对该体系中的研究核心, 探索建立了滑坡灾害防治技术方案决策评价体系, 并通过案例应用证明了该方法的合理性.

关键词: 滑坡灾害; 防治技术体系; 综合集成思想; 防治决策; 三峡库区

中图分类号: P694

文献标识码: A

DOI: 10.13885/j.issn.0455-2059.2015.06.017

Prevention and control system for landslide disasters in the Three Gorges Reservoir Area

Cheng Ying-jian, Zhang Yong, Shi Sheng-wei

Technical Center for Geological Hazard Prevention and Control, China Geological Survey;

Institute of Prospecting Technology, Chinese Academy of Geological Sciences, Chengdu 611734, China

Abstract: Surveys and statistical analyses of 128 typical cases in the Three Gorges Reservoir Area revealed the key elements of landslide prevention, such as common prevention techniques, prevention and control cogitation as well as the suitability of prevention techniques. A system frame for landslide disaster control and prevention was tentatively proposed on the concept of comprehensive integration. Meta-synthesis theory was applied to generate a prevention techniques decision model. Finally in view of the results of the self-test and applied method, the rationality of the method was proved by the case study.

Key words: landslide disaster; prevention and control system; meta-synthesis theory; decision-making in prevention plans; the Three Gorges Reservoir Area

三峡库区地质灾害量大面广, 种类繁多, 对库区移民的生命财产安全造成极大的威胁^[1-2]. 自2001年开始实施三峡库区地质灾害防治专项工作以来, 进行工程治理的滑坡达452处, 占三峡库区地质灾害防治工程的80%以上, 耗资一百多亿元. 由于部分项目存在工期压缩、勘查设计周期不合理、设计人员经验欠缺, 或部分审核论证的专家并未到现场, 最终形成不合理的决策方案, 致使这些治理工程竣工不久, 出现了不同程度的工程缺陷^[3-4]. 因此, 亟需建立一套适用于三峡库区滑坡灾害工程防治技术体系, 有助于专家和技术人员通过该体系分析, 做出更加客观和可靠的判断.

滑坡灾害工程防治技术体系, 是指为了消除或减轻滑坡致灾风险而建立的成套理论和工程技术的集合, 其核心在于防治方案的决策. 针对防治方案的“最优化”, 夏元友等^[5-6]开展了一系列有益的探索研究. 由于未考虑工程经验应用, 致使部分推荐的治理方案并不适宜.

本研究在已有三峡库区滑坡工程治理的经验与资料的基础上, 利用综合集成思想, 探索性构建三峡库区滑坡灾害工程防治技术体系框架, 并通过模型的定量验算提供防治方案和思路, 结合经验和现场测量判别, 建立滑坡灾害工程防治决策体系, 可为三峡库区后续滑坡灾害防治工程实践

收稿日期: 2015-09-28; 修回日期: 2015-11-05

基金项目: 中国地质调查项目(12120114094801); 国家科技支撑计划项目(2012BAK10B02); 国土资源公益性行业专项项目(201511051)

作者简介: 程英建(1988-), 男, 四川自贡人, 工程师, e-mail: cyjiet@163.com, 研究方向为岩土工程和地质灾害防治.

提供参考和借鉴。

1 三峡库区滑坡灾害常用防治技术

在滑坡灾害防治的工程措施上,国内外已没有本质差别^[7-8],三峡库区滑坡灾害防治几乎采取了所有较成熟的工程技术措施,是滑坡防治的“博物馆”。

通过统计现场库区3期以来专项治理的128处滑坡灾害防治工程,发现滑坡灾害防治设计理念在发生改变和优化(图1):初期主要学习前苏联的经验,首先通过系统排水来开展滑坡灾害防治,如在鸡扒子滑坡、黄蜡石滑坡防治工程等中得到成功应用,尤其是地表截排水技术,由于施工难度小、周期短、养护简易,被广泛采用;从巴东黄土坡滑坡群、奉节新县城滑坡群治理工程开始大规模应用挖孔钢筋混凝土桩技术^[9],其抗滑能力大、防治效果好、结构较为简单,特别是在大型滑坡灾害防治中将近替代了抗滑挡墙技术;在链子崖危岩防治工程后,在地质灾害治理中应用锚固技术和施工工艺得到长足发展,库区从第2期开始在滑坡防治措施中普及锚固工程,主要包含锚索成排束腰稳定滑坡和锚拉桩两种形式。从第3期以来,顺应库区移民搬迁和城镇建设,有关学者提出了“监测为首、排水为主、结构为辅、预测预警、科学决策”的防治思路,已被三峡库区地质灾害防治工程指挥和管理部门采纳并推广,此外异形抗滑桩、土钉墙、加筋土挡墙、微型桩群等新型防治技术得到了良好应用。

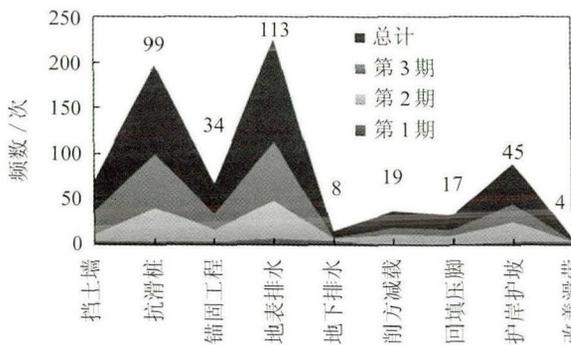


图 1 各期滑坡防治技术选用分布图

Figure 1 Application of landslide prevention and control techniques in each period

滑坡防治技术适宜性判断来源于工程实践也指导着工程实践。通过对128处典型滑坡防治工程案例统计分析,结果反映了以下特征:1)地表截排水技术、抗滑桩技术、抗滑挡墙技术与锚固技术,由于防治效果明显、技术成熟、施工便捷,更符合中国国情,因此在三峡库区被广泛采用;2)支挡工

程采用率近90%,其中99处选用了抗滑桩技术,桩板墙工程就有52处,与研究区内土质滑坡多于岩质滑坡有关;3)顺应库区城镇建设,因地制宜,削坡反压技术被大量采用,约占总样本的28%,通过地形改变,修建城乡工程建筑设施,大大提高了土地综合利用率;4)库区滑坡灾害防治比较有特色的为护坡工程技术,占总样本的35%,在涉水滑坡中60%以上设置有护坡工程,然而该技术在其他地区运用相对较少;5)滑坡类型、滑坡发展阶段、防治技术可行性及工程效益是影响防治技术选择的关键因素。

2 滑坡灾害工程防治技术体系框架

在文献[10]中,钱学森认为复杂巨系统科学的研究,需通过定性、定量相结合的综合集成方法。就其实质而言,是将经验理论、数据信息和定量计算有机结合起来,“人-机”结合,以人为主要的思想体系。

滑坡灾害防治科学是对不稳定地质体实施防灾改造的特殊地质工程^[3,11],是涉及地质学、岩土力学、材料力学、结构力学、工程材料学等多学科交叉的应用型复杂巨系统。因此“综合集成”思想为本项研究指明了方向。

滑坡是一个多因子耦合异变的灾害地质过程,受滑坡变形破坏模型、发展演化阶段、经济和社会效益等多方向影响,滑坡治理技术的选择合理性直接关系到防治效果,需要综合多方面统筹考虑,利用“综合集成”思想制定防治决策和方案,实现滑坡综合治理(图2、3)。

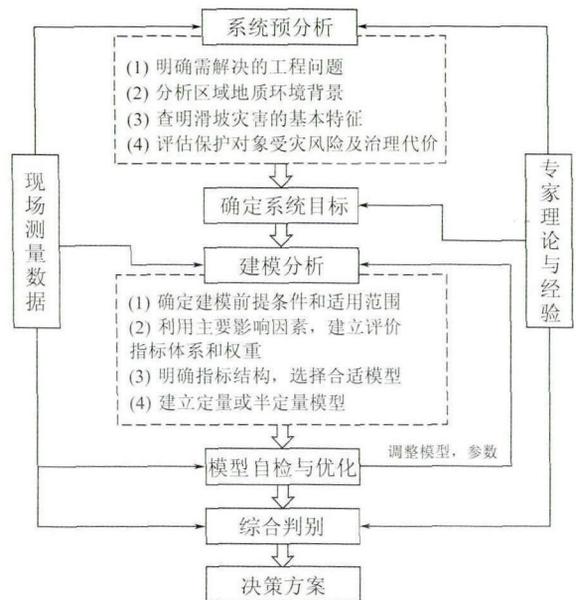


图 2 综合集成的系统分析路线

Figure 2 Systematic analysis route of meta-synthesis

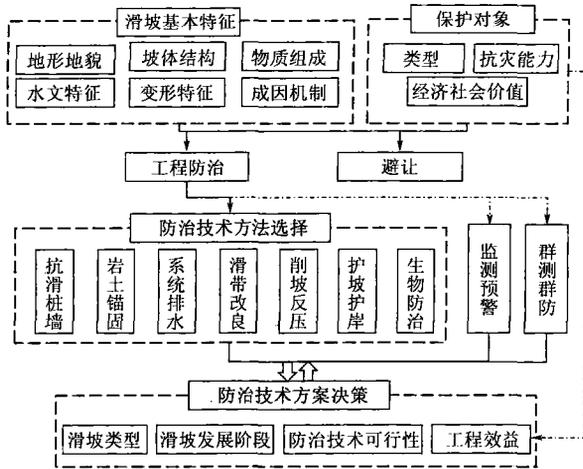


图3 滑坡灾害工程防治技术体系框架

Figure 3 Frame of preventing and control system of landslide disaster

通过模型的量化判别, 提出多种合理的防治技术组合, 最终根据现场测绘和工程经验, 基于有限可行方案展开决策, 以达到结论的一致性。

3 滑坡防治技术决策体系

3.1 防治决策的基本判别

在开展滑坡灾害治理工程设计时, 预测在工程设计运行期是否能达到防治的安全要求, 均必须满足基本判别:

$$K_f - K_{min} \leq \sum_{i=1}^n a_i - \sum_{j=1}^m b_j. \quad (1)$$

其中, K_f 为安全系数, K_{min} 为设计最不利工况下稳定系数, a_i 为采取防治技术后稳定系数的增加值, 如截排水、支挡锚固等, $i \in (1, 2, \dots, n)$, b_j 为不利于滑坡稳定的因素对稳定系数的减少值, 如挖脚切坡、爆破、后缘加载等, $j \in (1, 2, \dots, m)$ 。

需要满足防治设计的要求采取设计工程技术措施后抵消掉运行期内一些不利于坡体稳定因素的稳定系数增加值, 至少需要大于或等于安全系统与最不利工况下稳定系数的差值。若防治设计不满足防治决策的基本判别式, 治理工程是存在安全风险的。

3.2 评价指标体系

滑坡防治决策是由大量影响因素耦合形成的复杂体系。在已有研究^[12-14]的基础上, 按照系统工程原理将其划分为多层次结构的评估过程, 化繁为简, 选择核心影响因素滑坡类型、滑坡发展阶段、技术可行性和工程效益4个方面作为方案层, 并细分为12项因素作为指标层建立决策判别的指标体系(图4)。结合已有研究和实践经验对常用防

治技术进行定性排序(表1)。

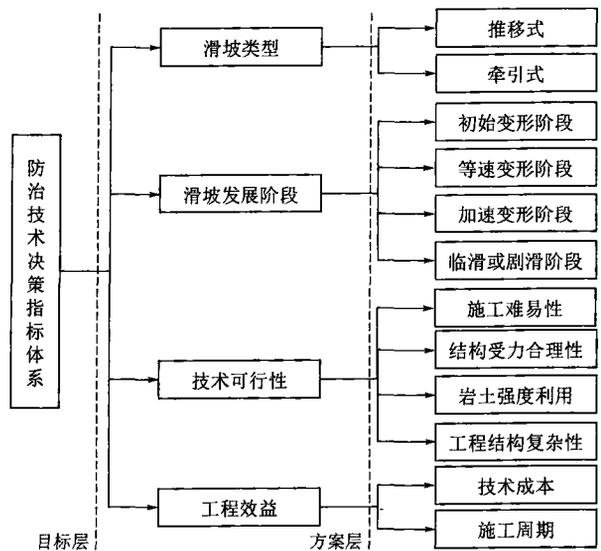


图4 评价指标体系结构

Figure 4 Structure of evaluation index system

滑坡类型: 研究目的不同, 从规模、物质组成、受力特性等从不同角度进行滑坡分类, 其中受力特性, 直接确定了阻滑措施受力的合理性, 与工程防治设计密切相关, 通常宏观上表现为牵引式和推移式。

滑坡发展阶段: 滑坡的地质演化过程包含从孕育、发展直至消亡的整个周期活动。不同阶段, 防治技术类型选择亦是有差异的, 防治工程构筑的代价在逐步提高。基于变形监测理论, 通常分为初始变形阶段、等速变形阶段、加速变形阶段和临滑阶段4个阶段。

技术可行性: 滑坡防治选择的工程措施要求结构简易、便于施工、充分发挥结构的受力特点、充分利用滑坡岩土体自身强度^[12]。因此滑坡防治工程技术可行性分析就是从施工难易、受力合理、岩土自身强度利用、结构复杂程度方面进行对比。

工程效益: 是工程投资建设的主要成果, 是防治决策的重要指标, 其组成较为复杂, 一般包含经济效益和社会效益。由于现场调查中缺乏社会反映调查, 社会效益不易评估, 因此仅讨论经济效益, 其中包括工程技术经济成本、施工周期。

4 工程案例应用

选取典型滑坡灾害点, 通过工程案例定性研究量的应用分析^[15], 来检验利用综合集成思想建立的工程体系合理性。

猫儿坪滑坡是位于三峡库区奉节县永乐镇长江右岸的特大型涉水块碎石土堆积层滑坡(图5)。滑

表1 滑坡灾害防治技术适宜性排序

Table 1 Suitability-sorting about landslide prevention and control techniques

一级指标	二级指标	技术排序	备注
滑坡类型	推移式	削方工程→排水工程→反压工程→支挡工程→锚固工程→改善滑带→护坡工程	
	牵引式	反压工程→支挡工程→锚固工程→排水工程→护坡工程→改善滑带	后缘削方工程不适宜
滑坡发展阶段	初始变形阶段	地表截排水→护坡工程→锚固工程→抗滑挡墙→削方反压工程	
	等速变形阶段	地表截排水→削方反压工程→支挡工程→锚固工程→护坡工程→地下排水→改善滑带	
	加速变形阶段	削方反压工程→支挡工程→锚固工程→护坡工程→地表截排水→地下排水→改善滑带	
	临滑阶段	削方反压工程→锚固工程(快速锚固)→抗滑桩(钢管桩、微型桩)→地表截排水→地下排水	应急抢险技术
技术可行性	施工难易性	地表截排水→减重与反压→抗滑挡墙→普通抗滑桩→锚固工程→预应力锚索抗滑桩→抗滑键→排除地下水→滑带土的改良→抗滑明洞	
	受力合理性	减重与反压→抗滑挡墙→锚固工程→普通抗滑桩→预应力锚索抗滑桩→抗滑键→滑带土的改良→抗滑明洞	
	岩土自身强度利用	预应力锚索抗滑桩→锚固(主动)→抗滑桩、抗滑挡墙(被动)→滑带土的改良(加固)	
	结构复杂性	减重与反压→地表截排水→抗滑挡墙→排除地下水→抗滑桩→锚索→锚固→预应力锚索抗滑桩→抗滑明洞→滑带土的改良→抗滑键	
工程效益	技术经济成本	反压工程→削方工程→地表截排水→护坡工程→抗滑挡墙→预应力锚索→抗滑桩→格构锚固→地下排水→锚拉桩→滑带改良→阻滑键→抗剪洞	
	施工周期	反压工程→削方工程→地表截排水→护坡工程→抗滑挡墙→预应力锚索→地下排水→抗滑桩→格构锚固→锚拉桩→滑带改良→抗剪洞→阻滑键	

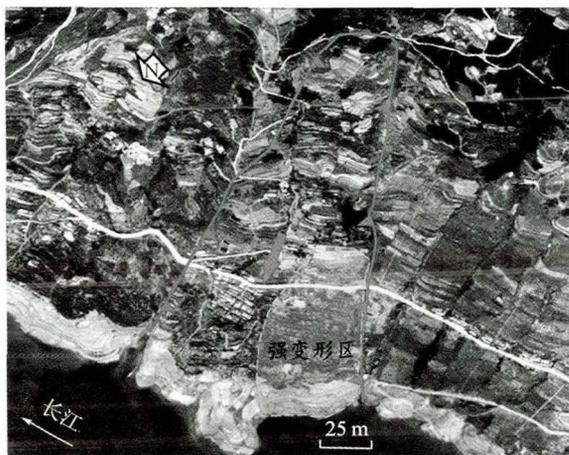


图5 猫儿坪滑坡遥感图

Figure 5 Remote sensing map of the Maoerping landslide

坡规模 $4.86 \times 10^6 \text{ m}^3$, 滑体中间厚两侧薄, 平均厚度约 15 m. 前缘高程 110 m, 高差约 215 m. 调查访问知滑坡近期变形破坏迹象主要集中于滑坡体中前部, 从 2000 年起至今每年都发生规模不等的变形破坏迹象, 其中 2006 年 11 月滑坡中前部左侧强烈

变形, 致使移民公路及附近民房破坏, 其发生时间主要为 4–6 月, 10、11 月两个时间段, 与库水位的升降联系较为密切, 尤其是库水位迅速下降影响突出. 在 2014 年“8·31”暴雨后持续强烈变形, 裂缝向上牵引逐级发展, 形成多级长大拉陷裂缝(图 6), 严重威胁到滑体上近 50 户居民、脐橙加工厂和公共设施的安全, 紧迫需开展工程治理.

现场测绘表明滑体为块碎石土, 滑床为三叠系须家河组地层, 中厚层砂岩, 勘探揭露滑坡沿岩土接触面滑动, 滑带土为黄褐–灰褐色含砾粉质黏土. 受后期表生改造和暴雨、库水波动复合影响, 表现为典型的变形前侧强烈, 后侧逐缓的降雨–动水压力型滑坡.

滑坡防治技术决策体系定性应用于该工程可得图 7. 在滑坡类型上属牵引式滑坡, 发展阶段处于强烈变形阶段. 对持续变形的滑坡治理, 首先要考虑工程受力合理性. 防治工程等级为 III 级的地质灾害治理点一般以经济成本为主要因素. 因此, 初步可以从指标体系中得到判别方案: 反压工程 +



图6 滑坡中前部左侧强烈牵引变形区特征

Figure 6 The characteristics of strong traction-deformation zone in the left front portion of the landslide



图7 防治决策体系的应用

Figure 7 Application of decision-making of landslide prevention plans

锚固工程/抗滑桩(挡墙)+护坡工程+地表截排水。

再结合现场测绘和经验进行校核: 由于剪出口位置在最低库水位135 m 以下, 反压工程可行性较差, 应去掉; 该治理工程应选用永久治理, 且保护对象允许一定的地表变形, 宜选用抗滑桩工程治理; 考虑到地表土体松散, 桩间土拱效应不佳, 推荐桩板墙工程。工程期限内无大型人类扰动项目规划, 无新增不利因素, 满足(1)式基本判别要求。综合判别推荐治理方案应为“桩板墙+地表截排水+护岸工程”。该方案与专家现场论证结果一致, 说明该滑坡防治技术决策体系结构和逻辑判别合理、可靠。

5 结语

三峡库区几乎涵盖了所有成熟的滑坡灾害防治技术, 有必要开展对已整治工点的调研, 探索、建立并完善滑坡工程防治技术体系, 使滑坡防治

决策建立在更加客观和可靠的基础上。

滑坡灾害工程防治体系是一项涉及多学科多技术的复杂巨系统。本研究利用综合集成思想, 初步构建了滑坡灾害防治技术决策体系。通过工程案例验证, 该方法是构建滑坡灾害工程防治体系的有效途径, 为滑坡防治工程设计和工程决策部门提供了参考和依据, 为后续定量数学模型的构建奠定了基础, 并进一步完善评价指标体系, 建立适用于三峡库区的滑坡灾害工程防治技术体系。

参考文献

- [1] 殷跃平, 吴树仁. 滑坡监测预警与应急防治技术研究[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [2] 张勇, 石胜伟, 宋军. 三峡库区特大滑坡灾害防治工程评价方法初探[J]. 地质通报, 2013, 32(12): 2015-2020.
- [3] 徐开祥, 黄学斌, 付小林, 等. 地质灾害治理工程的特殊性风险性及治理工程风险事件实例分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2006, 17(3): 127-132.
- [4] 成永刚. 滑坡区域性分布规律与防治[M]. 北京: 人民交通出版社, 2014.
- [5] 夏元友, 朱瑞赓. 病害边坡治理方案选择的智能辅助决策系统[J]. 岩石力学与工程学报, 1998, 17(4): 453-458.
- [6] 王念秦, 姚勇, 罗东海. 滑坡综合治理方案比选评价模型[J]. 水土保持通报, 2009, 29(1): 111-114.
- [7] 王恭先. 滑坡防治方案的选择与优化[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(S2): 3867-3873.
- [8] Jan K. Landslide temporal analysis and susceptibility assessment as bases for landslide mitigation, Machu Picchu, Peru[J]. Environmental Earth Sciences, 2013, 70(2): 913-925.
- [9] Kwong A K L, Wang M, Lee C F, et al. A review of landslide problems and mitigation measures in Chongqing and Hong Kong: similarities and d-

- ifferences[J]. Engineering Geology, 2004, 76(1/2): 27-39.
- [10] 于景元. 钱学森综合集成体系[J]. 西安交通大学学报: 社会科学版, 2006, 26(6): 40-47.
- [11] 王思敬. 工程地质学的大成综合理论[J]. 工程地质学报, 2011, 19(1): 1-5.
- [12] 郑明新, 殷宗泽, 吴继敏, 等. 滑坡防治工程效果的模糊综合后评价研究[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(10): 1224-1229.
- [13] Zhang Yong, Shi Sheng-wen, Song Jun, et al. Evaluation on effect for the prevention and control against the landslide disasters in the Three Gorges Reservoir Area[J]. World Landslide Forum 3, 2014, 1(7): 407-414.
- [14] 孙仁先. 三峡库区滑坡防治工程技术体系与应用研究[D]. 宜昌: 三峡大学水利与环境学院, 2008.
- [15] 戴汝为. 从定性研究量的综合集成技术[J]. 模式识别与人工智能, 1991, 3(1): 5-10.
- (责任编辑: 张 勇)

(上接第 858 页)

- [6] 陆观宏, 莫海鸿, 倪光乐. 一种新型锚杆扩孔技术[J]. 岩土工程界, 2005, 8(12): 45-47.
- [7] 赵建国, 陆观宏. 扩孔锚杆技术应用于建筑物抗浮工程[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006.
- [8] 刘明振. 扩底土锚抗拔承载机理的试验研究[J]. 西安建筑科技大学学报, 1996, 28(2): 186-190.
- [9] 陆观宏, 曾庆军, 黄敏, 等. 锚杆扩孔技术应用于某高层建筑基础加固[J]. 土工基础, 2011, 25(10): 20-26.
- [10] 陆观宏. 新型可回收锚索的研究[D]. 广州: 华南理工大学土木工程学院, 2003.
- [11] 日本预制混凝土框架协会. 预制混凝土框架锚固设计施工指南[M]. 东京: 日本欧姆社, 1994.
- (责任编辑: 王春燕)