

滑坡灾害防治的新技术路线及分析

李世海¹, 李 晓², 魏作安^{1,3}

(1. 中国科学院 力学研究所, 北京 100080; 2. 中国科学院 地质与地球物理研究所, 北京 100029;
3. 重庆大学 西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室, 重庆 400044)

摘要: 论文指出了滑坡灾害防治中面临的工程问题和科学问题。提出了“监测为首、排水为主、结构为辅、预测预警、科学决策”新的滑坡防治技术路线, 介绍了其涵盖的基本内容。监测的首要性在于山体地质结构的复杂性和具体滑坡的个体行为。通过监测有可能获得地质体当前的状态、提高排水工程的可靠性、确定工程治理适用范围、创造滑坡灾害预测预报的条件、为科学决策提供依据; 排水不仅可以预防滑坡灾害的发生, 还应作为工程治理的主要措施。它以较低的成本维持山体的整体强度; 与排水技术相比, 借助于工程结构治理大型滑坡, 是以较高的代价换取山体局部区域的强度提高; 滑坡灾害的预测预警和科学决策, 依赖于科学监测数据和可靠的分析方法。新技术路线的可靠性、合理性和实用性还需更为全面深入的论证, 对相关问题开展讨论, 有助于提高我国滑坡灾害防治水平。

关键词: 滑坡灾害防治; 新的技术路线; 监测; 排水; 结构; 预测预警

文章编号: 1003-8035 (2006) 04-0001-05

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

1 前言

目前, 我国滑坡灾害治理的主要技术流程是: 首先开展滑坡工程地质调查, 初步选定滑坡治理对象, 然后对选定滑坡体进行工程地质勘察、计算分析。根据勘察成果和设计规范进行防治工程设计, 设计方案经专家审核, 交决策部门批准后, 由施工单位按照设计文件进行施工。工程治理基本上采用工程结构为主、排水为辅的思路。其主要原因是认为排水工程的可靠性难以保证。我国各级政府历来对滑坡灾害的防治高度重视, 投入了大量的人力、物力和财力用于灾害评估和防治工程的实施。但滑坡灾害依然是防不胜防, 滑坡灾害造成的经济损失和人员伤亡的状况, 并未得到根本的缓解。这就值得人们深刻反思。

本文在分析滑坡灾害防治中存在的主要工程问题和相关的科学问题的基础上, 指出在当前基础理论和科学技术不足以完全认知滑坡的情况下, 应该改变我国传统滑坡灾害防治的技术路线; 提出了“监测为首、排水为主、结构为辅、预测预警、科学决策”滑坡灾害防治的新技术路线。新技术路线的可靠性、合理性和实用性还需更为全面深入的论证, 其可行性也需更多的技术支持和长期的实践检验。

2 滑坡灾害防治中存在的工程问题

2.1 边坡变形与破坏的判断

工程建设中的选址, 像铁路、公路选线等, 需要对山体的稳定性做出判断。大中型水库建设, 要对库区岸坡进行稳定性分析与判断。目前, 边坡变形和稳定性分析与预测研究方法大体分为 2 种: 一种是通过数值计算来判断边坡的稳定性; 另一种是依据实测资料建立时间序列模型进行分析^[1]。因为边坡变形和稳定性受地形地质条件和外在环境等多方面因素影响, 所以在判断边坡稳定性时可能会存在一些失误。如三峡水库区的干将坪滑坡^[2], 在库区滑坡灾害调查中并未将其列入。当然在铁路工程边坡稳定性的评价方面也有很多评价失误的事例^[3]。产生这些失误的原因, 主要是因为地质体的力学特性非常复杂, 而评价的方法又不适应, 有些科学问题还未得到解决。

2.2 滑坡整治技术措施的选择与设计问题

滑坡灾害的整治技术措施很多^[4]。如地表排水、支挡工程等。但针对某一个具体滑坡而言, 如何科学、合理地选择技术措施, 目前在实际工程中还存在

收稿日期: 2006-04-13; 修回日期: 2006-08-09

基金项目: 国家“973”计划项目 (2002CB412703, 2002CB412702); 中国科学院知识创新项目 (K1CX2-SW-L1-05, K1CX2-SW-L1-01) 资助

作者简介: 李世海 (1958—), 男, 博士, 1982 年毕业于河北工业大学物理专业, 研究员, 主要从事非连续介质力学数值计算方法及滑坡灾害防治中关键力学问题等方面的研究工作。

一些问题。刘传正^[5]指出地质灾害防治工程设计缺乏理论指导;张倬元^[6]中指出,工程界认为滑坡治理是一项纯工程问题,偏向于选择支挡结构特别是抗滑桩来解决问题,对滑坡这种独特的地质灾害特有的形成条件、产生原因、变形破坏机制等不能给予足够的认识。同时,滑坡治理中设计推力的计算问题是当前滑坡治理中亟待解决的问题^[7]。

尽管在某些条件下抗滑桩的抗滑效果比较好,但它的造价较高,投资巨大。如1根大型抗滑桩造价达数10万元,治理1个大型滑坡需投入数百万乃至上千万元^[8]。目前最大的单桩截面达7.0m×3.5m,深度达40余米(襄樊线赵家塘车站滑坡)、耗材1000m³混凝土、100t钢筋^[9]。在滑坡治理中主要以稳定系数(或安全系数)的大小为标准来设计治理工程。如果对地质的特性没有足够的认识,那么,掌握地质体与结构的相互作用规律也就更加困难。目前,工程实践的分析计算中一般只考虑给定简单地质条件下的结果^[10]。实施排水工程主要是减少地表水及地下水对滑体稳定性所造成的不利影响,其工程造价也比较低。然而,实施排水工程对滑体稳定性的提高程度,目前国内外仍然难以给出一些量化的结果。工程实践中,排水工程一般只作为提高滑坡稳定性的一种辅助措施来加以考虑^[11]。

2.3 滑坡发生的预测预报问题

对于那些无法治理或耗资巨大的大型滑坡,需要对它的危害性做出预测并对灾害的发生做出预报。这是一项十分艰巨的任务。山体发生滑坡灾害的内因是山体的构造和当前的环境状态。诱发滑坡的外因包括降雨、地震、开挖以及库水涨落等突发事件。目前,有一些学者根据滑体已发生的位移来估算滑坡灾变的时间。这种做法忽略了一个诱发滑坡的重要因素——突发事件。不知道突发事件发生的时间,就不可能预报因突发事件引起的结果,或者说,不能预知突发事件,就不可能预报滑坡灾害。事实证明,现场观测可以做出临时性预报,有效地减少人员的伤亡。但是,远不能够满足防灾减灾的要求。

总之,在我国滑坡灾害的防治工程中,基本思路方面,仍然存在问题。有些人们已经意识到还没有办法改变,也存在着一些认识不足。滑坡灾害防治涉及到地质学、力学和工程科学多个学科。滑坡体具有非连续、非均匀、流固耦合和“未知”的初始状态等特性。研究地质体的变形和破坏演化规律,亦是当今力学界

的前沿课题。尽管有些新的分析方法可以用滑坡稳定性的判断,但是,分析方法对地质条件的依赖性决定了单纯的理论和数值模拟不可能从根本上解决问题。

正是滑坡灾害防治存在上述的工程和科学问题没有解决,使得滑坡灾害防不胜防。在这种情况下,尽可能减少灾害造成的损失,就需要基于先进的手段和方法,改变传统的灾害防治的思路。为此,提出了我国滑坡灾害防治的新技术路线。

3 滑坡防治的新技术路线及说明

建议在我国滑坡灾害防治中应推行“监测为首、排水为主、结构为辅、预测预警、科学决策”的新技术路线。这是基于滑坡灾害研究基础的一些新的认识。

3.1 “滑坡监测为首”的科学依据

岩质边坡的滑坡,岩体结构起着重要作用。模型实验结果表明,滑坡体的几何形状基本相同,结构面的强度相同,变化结构面的分布,临界破坏角可以在9~26范围内变化^[12]。但在实际工程中,一般可以给出岩体结构面的走向、倾向和结构面的间距,还不能探测出结构面的连通率。岩石的强度通常比结构面的强度大3个量级,甚至更多。因此,连通率决定着整个地质体的稳定性。不了解连通率,稳定性判断缺少基本的条件。通过深部滑移监测可以判断出整个山体是否已经形成了贯通性的破坏面。

古滑坡复活是有条件的。新的滑动面未必是古滑动面。古滑坡体形成的过程是势能转化为动能,又在各种阻力的作用下静止的过程。古滑坡体处在一种相对稳定的平衡状态下,理论上可以认为其势能能达到最小。之所以古滑坡体复活是由于外界条件发生了变化。如河流下切、地面隆升、人工开挖以及滑坡体后缘加载等。在无法确定古滑坡体初始状态和演化过程的情况下,人们判断古滑坡体是否复活就很困难。应该说,古滑坡体在地质环境变化不大的条件下是稳定的。单纯的将古滑坡体作为治理对象,从逻辑上讲不通。但是,由于古滑坡体复活而形成灾害的案例很多。科学的判断滑坡能否复活,需要有监测数据。根据监测结果定量地判断滑坡体潜在危险程度。总结其规律,形成判断滑坡的科学体系,滑坡防治准确就会有大程度的提高。

地质勘查的数据离散度大,不足以作为判别依据。目前我国地质勘查的方法是钻孔取岩芯或者挖

探井。取出土样的剪切强度变化很大。岩质边坡结构面上的强度与岩块的强度有量级上的差别。如果计算中从安全的角度出发,考虑较低的强度,再加上水的影响,几乎每一个滑坡体都需要治理。这是一个难题。通过滑坡监测来做出判断,难度就会降低。

常规的稳定性分析方法——极限平衡法,不需要随时间变化的监测数据。不利于提高滑坡灾害防治的水平。极限平衡方法的基本假设为:滑坡体沿着滑面滑动;滑坡体各个部位同时达到最大强度;不考虑滑坡体的变形过程;采用条分的方法分析受力;分析达到极限破坏的条件,不考虑破坏演化的过程。上述假设用于研究土体边坡开挖的稳定性可以收到很好的效果。这是因为土体相对均匀,材料的强度变化不大,工程尺度较小,不必考虑土体的压缩性。岩质边坡在破坏面上可能是裂隙的张开,形成拉伸破坏;古滑坡体中土石的变形不均匀,在某一部位发生破坏后,接着破坏的是相邻的区域,同时会改变应力场的分布,未必在破坏面上都达到最大剪切强度才破坏;在条分法的假设下,在划分条块的垂直方向上,无论滑坡体的结构多么复杂都不考虑,而是采用假定的圆弧或折线来代替;滑坡体由变形到破坏的过程正是滑坡预测的重要阶段。不能分析这一过程是极限平衡方法的不足。有限元、离散元方法是更为先进的方法。有了监测数据,这些方法才能够利用反分析,真正对灾害预测发挥作用。对暂时处在稳定状态而地质条件十分复杂的滑坡,目前的认识水平还不足以作出中、长期的预测。在这种情况下,应该首先进行监测。监测结果是论证工程治理的必要性和治理方法不可缺少的依据。

3.2 “排水预防为主”的科学依据

对重庆几十年来发生的577个滑坡进行了调查与统计分析。结果表明:滑坡的活动强度与降雨量的大小成正比。滑坡基本发生在降雨之后的4d内。暴雨与滑坡的关系很密切^[13]。人们必须了解地下水诱发滑坡的机理,各种因素所发挥的作用的大小^[14~15]。针对岩体中裂隙水压力对滑坡稳定性的影响,笔者开展了一系列模型实验和数值模拟研究工作,将地下水对滑坡稳定性影响概括出如下几个方面^[16~17]:

3.2.1 滑坡体垂直裂隙中的水主要影响坡脚附近坡体的稳定性。当裂隙水的作用位置距离坡脚大于3倍坡体的厚度时,通常情况下水压力的作用远小于摩擦力的作用。然而,对大型和特大型“牵引式”滑坡,

滑体前缘发生崩塌后,在特殊的条件下(大暴雨),有可能构成“多米诺”效应,诱发整个大型滑坡的连续破坏形成灾害。

3.2.2 如在滑面(带)中存在承压水时,水压力会降低滑面(带)上岩土体的有效应力,进而减少抗滑力。这种致灾机理普遍存在于坡度平缓的滑坡中。它也可能诱发山体变形(不发生整体滑动),导致地表建筑物破坏。若能控制和监测裂隙水的压力,可以避免此类滑坡灾害的发生。

3.2.3 水的软化作用。这是岩土工程界和滑坡专家普遍共识的致灾机理。土体经过长期浸泡后强度会降低。试验表明,粘性土遇水软化需要的时间比较长^[18]。因此,软化致灾的说法与持续降雨有因果关系,但并不明显。

没有水就形成不了滑坡。那么做好防、排水工程就可以减少或避免滑坡的发生。例如,1982-07-18对重庆云阳县鸡扒子滑坡的整治,因采用了排水措施。并于1984年完工。迄今滑坡已保持稳定20余年,效果很好^[6]。认为排水只能作为辅助做法,是缺少排水效果的依据。通过监测和排水措施能够严格控制地下水位,也能够控制滑面上的水压力以及地下水降低滑坡体内土体强度的范围。排水治理的可靠性就有了保证。甚至比抗滑桩的可靠性更高(抗滑桩效果受地质体作用的因素难以控制)。为此,笔者认为排水不仅可以预防滑坡的发生,而且应作为治理滑坡的主要措施。

3.3 “工程结构治理为辅”的基本认识

研究成果表明,滑坡土体对工程支挡物作用力的大小及分布规律取决于滑坡体的当时状态。对于古滑坡体,只有对其状态有了足够的认识,才有可能计算出滑坡体与支挡物的相互作用力。在不能够准确获得滑坡体当时状态的情况下,假设滑坡体局部强度软化,分析其在有支挡和无支挡条件下的稳定性,就判断出支挡物能够发挥多大的作用这未免太草率。众所周之,混凝土的弹性模量一般在 10^{10} Pa的量级,土的模量只有 10^{8-9} Pa。这种量级的不匹配表明抗滑桩和山体很难共同发挥作用。在工程实践中抗滑桩设计遵循这一原则,即抗滑桩承担的荷载主要是用于补充山体自身抗滑力不足的部分。然而,山体自身的抗滑力是在一定的变形发生之后才能真正发挥出来。由于刚度不匹配,桩的允许变形远远低于山体的允许变形。因此,在前期山体变形的过程中,桩的应力已

经达到破坏的强度。这时山体并没有充分发挥作用,下滑力主要由桩来承担。抗滑桩实际承担的抗滑力在山体允许变形的范围内已经超过了设计允许或可能达到的抗滑力,自然很快就会破坏。而当山体发挥最大作用时,桩已经没有强度了。当然,上述的分析是基于山体为变形模型并不是刚体模型。换句话说,如果采用极限平衡方法分析,没有上述的推论,这也从另外的角度说明了极限平衡方法作为分析方法的不足。有必要说明,这并不是说工程结构治理没有作用。对于一些小型的滑坡或者“牵引式”滑坡的前缘治理,可以设计结构强度至足够大,使结构自身保证山体的稳定性。但是,这种思路并不值得推广。按照这样的设计原则,对相同尺寸的山体和建筑物,前者需要的结构尺寸是后者的几十倍甚至百倍。相对于巨大的山体,人工结构的能力有限。与通过排水增强滑坡体整体强度相比,结构治理通常用较高的代价换取滑坡体局部强度的提高。而排水是用较低的成本维持大范围的岩土体强度不被降低。因此,采用排水预防和治理比用工程结构治理更为科学。

3.4 “实现预测预警”与“科学决策”

实现滑坡灾害的预测和预警是滑坡灾害防治中重要的组成部分。预测更关注滑坡体当前和未来的状态;预警是在考虑时间因素做出临灾预报的基础上,为采取应急减灾措施而发出的警报。一般认为,滑坡灾害的预报比预测更为困难。随着实时监测技术的发展,对滑坡灾害的临灾预报有可能更为容易实现。其主要的原因在于具有巨大质量的山体从局部产生大位移到整体滑移需要一定的时间。现代的通讯技术可以保证在这段时间内实现人员的安全避让。而滑坡灾害的预测涉及到山体内部的破坏演化过程。短期、局部的监测远不足以给出山体的运动规律。通过监测可以认识滑坡的变化规律。进而可以有的放矢的进行排水措施或是工程加固。对一些大型滑坡和一些防治措施难以见效的滑坡以及从经济上分析尚不值得治理的滑坡,需要建立滑坡预警系统,并落实一旦滑坡发生拟采取的应急措施。

灾害预警包括两个方面的内容:一方面要通过监测和分析判断山体当前的状态和发展的动态,给出可能诱发滑坡灾害的外部条件;另一方面要掌握诱发灾害的突发事件。否则,不可能对滑坡灾害做出预报。前者需要先进的分析方法,后者需要准确预报突发事件。值得庆幸的是,先进的分析方法已经随着计算机

技术的发展越来越接近模拟滑坡运动和准确地评估灾害的危险度。随着气象预报准确度的提高,人们通过现代的通讯手段所获得的降雨、库(河)水位涨落得资料和信息越来越多。因此滑坡灾害预报也就会越来越准确和可靠。

实现科学决策将是我国滑坡灾害防治水平提高的重要标志。目前,受各种因素的影响,我国滑坡灾害防治的决策仍然依赖于专家的经验,或者是依赖于一些根据经验判断才能判断是否合理的分析方法以及将专家经验、因子的综合分析方法等,还不能称为科学的决策。科学的决策需要依赖科学的数据和科学分析方法,不能仅依赖于具体人的经验。面对复杂的地质构造,人的经验判断更容易失误。监测技术和定量化分析是科学决策的重要组成部分。滑坡灾害工程治理耗资巨大。对一个具体的滑坡治理必要性和治理方案可行性都需要有监测结果和深入的分析。没有监测数据的治理,就如同不知道肿瘤的位置,甚至肿瘤是否存在就实施开刀手术一样不可思议。

4 结语

滑坡监测是滑坡灾害预测预报的必要的手段,也是提高排水工程可靠度以及工程治理方案设计的重要参考依据,是实施科学决策的组成部分;排水工程不仅是滑坡灾害预防的主要措施,也应当是工程治理主要手段。它用低成本换取山体中大范围强度提高。与高投入获得局部强度提高的工程结构治理相比更值得广泛采用。排水治理工程的可靠度完全可以通过实施监测地下水位等加以控制;科学决策要基于科学的监测数据和可靠的分析方法而不能仅依赖于专家的经验。

参考文献:

- [1] 郑东健,顾冲时,吴中如.边坡变形的多因素时变预测模型[J].2005,24(17):3180-3184.
- [2] 廖秋林,李晓,李守定,等.三峡库区干将坪滑坡的发生、地质地貌特征、成因及滑坡判据研究[J].岩石力学与工程学报,2005,24(17):3146-3153.
- [3] 李跃方,肖卓凡.滑坡整治工作的几项回顾与思考[A].滑坡文集(第8集)[C].北京:中国铁道出版社,1991.
- [4] 铁道科学研究院西北研究所.滑坡防治[M].北京:人民铁道出版社,1977.
- [5] 刘传正.地质灾害防治工程设计的基本问题[J].中国地质灾害与防治学报,1994,5(S0):300-305.
- [6] 张倬元.滑坡防治工程的现状与发展展望[J].地质灾害与环境保护,2000,11(2):89-97.

- [7] 时卫民,郑颖人,唐伯明. 滑坡稳定性评价方法的讨论[J]. 岩土力学,2003,24(4):545-552.
- [8] 王恭先. 抗滑支挡建筑物的发展动向[A]. 滑坡文集(第13集)[C]. 北京:中国铁道出版社,1998.
- [9] 刘光代. 浅谈抗滑桩的设计[A]. 滑坡文集(第15集)[C]. 北京:中国铁道出版社,2002.
- [10] 魏作安,万玲,张俊红,等. 滑坡防治措施定量与非定量分类及探讨[J]. 中国地质灾害与防治学报,2006,17(2).
- [11] 蒋中明,徐卫亚. 格构形复合抗滑钢板桩的阻滑机理研究[J]. 岩石力学与工程学报,2003,22(8):1372-1376.
- [12] Li Shihai, Lian Zhenzhong, J G Wang. Effect of rock mass structure and block size on the slope stability—physical modeling and discrete element simulation [J]. Science in China, 2005, 48(SO): 1-17.
- [13] 张珍,李世海,马力. 重庆地区滑坡与降雨关系的概率分析[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(17):3185-3191.
- [14] 胡明鉴,汪稔,张平仓. 斜坡稳定性及降雨条件下激发滑坡的试验研究[J]. 岩土工程学报,2001,23(4):454-457.
- [15] 罗先启,李海岭,葛修润,等. 降雨条件下滑坡灾害及滑坡排水效果研究[J]. 岩土力学,2000,21(3):231-234.
- [16] Zhang Lei, Li Shihai, Lian Zhenzhong et al. Experimental investigation and numerical simulation on effect of fissure water pressure in vertical sliding surface [J] Science in China, 2005, 48(SO): 53-64.
- [17] Liu Bingshan, Li Shihai, Zhang Lei, et al. Experimental and discrete element numerical analysis of side slope instability induced by fissure water underlying impervious bed [J]. Science In China, 2005, 48(SO): 65-80.
- [18] 李守定,李晓,张年学. 三峡库区宝塔滑坡泥化过程的水岩作用[A]. 滑坡灾害防治中的关键力学问题研究文集[C]. 2004(4).

New technologic strategies and analysis about landslide disaster prevention and control

LI Shi-hai¹, LI Xiao², WEI Zuo-an^{1,3}

(1. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China;

2. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

3. The Key Laboratory of the Exploitation of Southwest Resources & the Environmental Hazards Control Engineering, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: The technologic and scientific problems arisen in the landslide prevention and control in China are pointed out in this paper, and the new technical strategies are proposed as follows: "landslides monitoring is the most important; landslides prevention through drainage works is the main technique; construction strengthen is regard as an auxiliary measure; forecast and prewarning of landslides disaster should be carried out; and any decision-making should be made relied on science." The main content and theoretical basis of the new strategies are introduced. The importance of landslides monitoring lies in the complexity of geological structure in landsliding body and the individual behaviors of different landslides. By landslides monitoring, it is possible to get the informations of the current state of the landslides, improve the reliability of draining engineering, make sure the ranges of the engineering measures applied, provide the condition for forecast and prewarning of landslides and make the decisions more reasonable. Draining is not only a method to prevent landslide, but also should be a main measure to control the landslides disaster. It can keep the globe strenth of landslide body with less cost. Comparing draining using engineering structure to control landslides can make local strenth of landslide body become high with more cost. Forecast, prewarning and decision-making on sciences depend on monitoering data and reliability analyzing method. After all, the reliability, rationality and practicability of the new technical strategies need to be demonstrated comprehensively and deeply, so discussion about the relative problems surely does good to improve the capability of landslide prevention and control in our country.

Key words: landslide prevention and control; technical strategies; monitoring; draining; engineering structure; forecast and prewarning