

# 滑坡防治措施定量与非定量分类及探讨

魏作安<sup>1,2</sup>, 万玲<sup>2</sup>, 张俊红<sup>3</sup>, 肖南<sup>3</sup>

(1. 中国科学院力学研究所, 北京 100080; 2. 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; 3. 中国矿业大学(北京)力学与建筑工程学院, 北京 100083)

**摘要:**我国每年因滑坡灾害造成的损失高达数百亿元, 死亡数百人。政府部门不仅制定了相关法律法规和技术规范, 同时, 也投入了大量人力物力用于滑坡灾害研究与防治, 用于滑坡灾害防治的技术措施已不断得到完善。根据我国滑坡稳定性的计算方法和评判标准, 按照滑坡防治措施效果的预知性, 可将现有 4 大类、33 小类的防治措施分为定量与非定量两大类。同时, 对当前滑坡防治中存在定量与非定量措施并用, 但只注重定量措施忽略非定量措施的效果以及由此引起滑坡治理工程投资过大等问题进行了分析, 就如何解决这些问题、科学合理地使用各类措施, 进行了探讨, 以期保证滑坡治理工程不仅技术上可行, 而且经济上合理, 为建设节约型社会服务。

**关键词:**滑坡; 防治效果; 预知性; 定量与非定量; 防治措施; 经济合理性

文章编号: 1003-8035(2006)02-065-04

中图分类号: P642.22

文献标识码: B

## 1 前言

随着人口的急速增长和土地资源的过度开发, 边坡问题已变成同地震和火山相并列的全球性三大地质灾害(源)之一<sup>[1]</sup>。我国的滑坡灾害也非常严重, 尤其西部地区更是地质灾害高发区, 据重庆市 1998 年统计, 该市危岩、滑坡等地质灾害共达 29896 处, 滑体达为  $50 \times 10^8 \text{m}^3$ 。我国对地质灾害的防治也非常重视, 如国家在三峡库区蓄水前, 投入 40 亿元人民币进行库区滑坡灾害一期治理。同时, 制定了相关法规, 将滑坡灾害防治纳入国计民生中, 从中央到地方相继进行了地质灾害防治规划, 建立了地质灾害防治体系。我国滑坡灾害的防治技术措施不仅多, 且趋于成熟, 在防治效果方面取得了可喜的成绩。然而, 在滑坡防治中, 还存在诸如防治措施效果预知性问题, 由于目前对边坡的稳定性评价是通过稳定系数值衡量, 而在稳定系数的计算中, 有些治理措施能定量地反映出效果; 但有些措施则相反(如排水措施, 只有实施后通过监测才可能反映效果)。然而这些措施不仅有效, 有时作用非常大, 例如, 1982 年对重庆云阳鸡扒子滑坡的整治, 只采用排水措施, 于 1984 年完工, 迄今滑坡已保持稳定近 20 年。这样使得在实际防治工程中, 往往只注重在稳定计算中能定量反映的措施功效, 无形中增加了防治工程, 加大治理成本, 造成较大浪费。为此, 按照防治效果的预知性, 将防治措施分为定量与非定量两大类, 并就如何有效地使用各类措

施进行了探讨, 为滑坡治理工程技术可行、经济合理提供借鉴。

## 2 滑坡防治措施分类

### 2.1 滑坡防治技术措施

滑坡防治工程措施可分为: 排水、力学平衡及改变滑带土性质 3 大类<sup>[3]</sup>。国际上, 对滑坡防治的工程措施也有分类<sup>[4]</sup>, 其中, 有代表性的是国际地科联滑坡工作组(IUGS, WG/L)整治委员会的分类<sup>[2]</sup>, 但它是按照防治技术的作用机理对滑坡治理措施进行分类的。具体防治措施见表 2。

### 2.2 防治措施效果预知性的表达形式及分类

在边坡稳定性评价中, 通常是通过计算边坡稳定系数的大小来判断。文献[5]中指出稳定系数系指边坡稳定分析中, 潜在滑移体的抗滑力与下滑力之比; 当比值等于 1.0 时, 边坡处于极限平衡状态; 当比值大于 1.0 时, 边坡处于稳定状态; 当比值小于 1.0 时, 边坡处于不稳定状态。在滑坡防治中, 通过安全系数来表达滑坡防治的总体效果。边坡安全系数系指在边坡(滑坡)工程设计、施工或使用过程中, 要求潜在

收稿日期: 2005-05-08; 修回日期: 2005-08-10

基金项目: 国家“973”项目(2002CB412703)、中国博士后科学基金(2005037443)和重庆市自然科学基金资助项目。

作者简介: 魏作安(1965—), 男, 高级工程师, 现为中国科学院力学研究所博士后, 主要从事岩土工程、滑坡灾害治理、水利工程等方面的设计与研究工作。

滑移体的抗滑力与滑动力的比值达到工程允许范围的系数<sup>[5]</sup>。安全系数是人为确定的,且不同行业有不同的要求,表 1 为长江三峡滑坡防治中要求的安全系

数值。滑坡防治目的是通过工程等措施使(潜在)滑体达到稳定状态,其稳定系数达到规定的安全系数值。稳定系数与安全系数的关系见图 1。

表 1 滑坡防治工程设计安全系数推荐值<sup>[6]</sup>

Table 1 The recommendation values about landslide control project designs

安全系数类型	iv级防治工程				㊟级防治工程				㊠级防治工程			
	设计		校核		设计		校核		设计		校核	
	工况 iv	工况 ㊟	工况 ㊠	工况 ㊡	工况 iv	工况 ㊟	工况 ㊠	工况 ㊡	工况 iv	工况 ㊟	工况 ㊠	工况 ㊡
抗滑动	1.3~1.5	1.2~1.4	1.10~1.15	1.10~1.15	1.25~1.40	1.15~1.30	1.05~1.10	1.05~1.10	1.20~1.35	1.10~1.25	1.02~1.05	1.02~1.05
抗倾倒	1.7~2.0	1.5~1.7	1.3~1.5	1.3~1.5	1.6~1.9	1.4~1.6	1.2~1.4	1.2~1.4	1.5~1.8	1.3~1.5	1.1~1.3	1.1~1.3
抗剪断	2.2~2.5	1.9~2.2	1.4~1.5	1.4~1.5	2.1~2.4	1.8~2.1	1.3~1.4	1.3~1.4	2.0~2.3	1.7~2.0	1.2~1.3	1.2~1.3

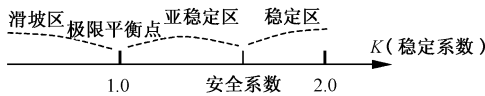


图 1 稳定系数与安全系数的关系

Fig. 1 The relationship between stability coefficient and safety factor

稳定系数是通过对比(滑)坡进行计算分析得出的,将有关稳定系数的计算公式统一为(1)式,即

$$f(\tau_k, \tau_x, K) = 0 \quad (1)$$

式中:  $K$  —— 稳定系数;

$\tau_k$  —— 边(滑)坡体的抗滑力(kN);

$\tau_x$  —— 边(滑)坡体的下滑力(kN);

在稳定性评价中,  $\tau_k$  和  $\tau_x$  为已知数,  $K$  为未知数;在滑坡防治中,  $K$  为已知数,  $\tau_k$  是待求未知数。求出  $\tau_k$  后,就可以得到需要通过工程措施施加的抗力  $\Delta \tau_k$ :

$$\Delta \tau_k = \tau_k - \tau'_k \quad (2)$$

式中:  $\tau'_k$  —— 滑坡体自身已有的抗滑力(kN)。

为了保证治理措施技术上可行,在制定治理方案时,必须对治理措施效果进行分析,应有预知性,即实施何种措施可使边坡稳定系数提高到某值应有一个量的概念。然而,将稳定系数的各种计算方法与滑坡防治各项措施对比发现,有些防治措施效果的预知性可定量反映出来,有些相反。因此,为了全面真实地反映治理措施的效果,更好地制定防治方案,有必要按照治理效果的预知性将滑坡防治措施分为定量与非定量两大类(表 2)。

表 2 滑坡防治措施与预知效果的关系及分类

Table 2 The relationship between landslide remedial measure and its predictability

滑坡防治措施	预知效果表达	
	定量	非定量
1 改变斜坡几何形状		
削减推动滑坡产生区的物质(或以轻材料置换)	✓	
增加维持滑坡稳定区的物质(反压马道)	✓	
减缓斜坡总坡度	✓	
2 排水		
地表排水		✓
充填有自由排水土工材料的浅层或深层排水暗沟		✓
粗颗粒材料构筑成的支撑护坡墙		✓
垂直(小口径)钻孔抽起地下水或自由水面		✓
垂直(大口径)钻孔重力排水		✓
近水平或近垂直的排水钻孔		✓
真空排水		✓
虹吸排水		✓
电渗析排水		✓
种植植被(蒸腾排水效果)		✓
3 支挡结构物		
重力式挡土墙		✓
木笼块石墙		✓
鼠笼墙(钢丝笼内充以卵石)		✓
被动桩、墩、沉井		✓
原地浇筑混凝土连续墙		✓
加筋挡土墙		✓
粗颗粒材料构筑的支撑护坡墙(力学效果)		✓
岩石坡面防护网		✓
崩塌落石阻滞或拦截系统		✓
预防侵蚀的石块或混凝土块体		✓
4 斜坡内部加强		
岩石锚固		✓
微型桩(micro-piles)		✓
土锚钉		✓
锚索		✓
灌浆		✓
块石桩或石灰桩/水泥桩		✓
热处理		✓
冻结		✓
电渗锚固		✓
种植植被(根的力学作用)		✓

### 3 存在问题及解决思路

#### 3.1 当前滑坡防治中存在的问题及原因分析

当前用于滑坡防治的工程投入巨大,就单个工程而言,少则几百万,多则几千万,甚至上亿。为此,文献[7]指出,频发的地质灾害以及大量灾害治理资金的投入,使得滑(边)坡稳定性问题成为西部开发中的热点与难点问题。文献[2]则认为:工程界有种特有的思维方式,认为这是一项纯工程问题,偏向于选择支挡结构物特别是抗滑桩来解决问题。

针对一个具体的滑坡防治工程而言,选择滑坡防治措施的程序一般为:

① 截集并排出滑坡区的地表水;

④ 采取疏干措施降低地下水;

④ 采取削坡和反压坡脚等工程措施;

④ 采用人工加固工程。

对上述的选择程序毋庸置疑,暴雨被认为是边坡失稳的重要诱因,所以先治水。问题主要出在滑坡防治方案的设计中,防治措施与其作用效果的表现形式未能匹配。正如前面分析的,目前只是通过稳定系数判断边坡稳定性。而防治措施中,定量措施的效果可以反映出来,而非定量措施的效果则无法反映。所以,在实际工程中,只注重定量措施的效果,而没有考虑非定量措施的效果。比如,地表排水措施,尽管在滑坡治理中会首先选用,而且事实证明该项措施也是有效的,但目前国内外仍然难以给出一些定量的结果<sup>[8]</sup>。抗滑桩却不同,对滑坡防治效果的评价也是通过稳定系数来反映的。这样对一个滑坡治理工程而言,如果采用了排水和抗滑桩两项措施,实际能定量反映出效果的措施只有抗滑桩,给人的感觉是通过实施抗滑桩后才把滑坡治理好的。所以尽管排水措施对边坡稳定有贡献,但与稳定系数无关联,将排水措施的效果埋没了。所以,有些滑坡防治规程<sup>[6]</sup>提出了“把排水工程对于滑坡稳定系数的提高值可不作为设计依据”。

因此,在实际工程中,防治措施的选择是正确的,采取综合防治,但每项措施作用的预期效果就很难与稳定系数相关联,并定量反映出来。所以,防治工程实施了,但能够与稳定系数相关联的只有那几项。这样,对滑坡进行治理后,边坡的稳定系数必定会大于确定的安全系数,无形中造成了较大浪费。

#### 3.2 解决问题的思路

滑坡防治设计的基本程序是,先凭经验选择防治措施,确定治理方案,然后对滑体进行假设,认为其滑面已上下贯通,完全形成,且会一滑到底,最后在这种假设的、理想条件下来进行滑坡治理工程的计算与设计,求出当稳定系数达到安全系数值时,还有多少剩余下滑力,再确定需要实施多大的工程等。这属于静态的一次性治理方法。计算中同样会出现前面分析的问题,即滑坡防治措施很多,有软件和硬件之分,治理措施的效果有定量和非定量之别,但计算分析中只能反映出定量的、硬件措施的效果,对其它的则无法体现。解决这些问题应从下列两点入手:

3.2.1 改变滑坡防治的思路。应贯彻,“监测先行,治水为首,科学决策,工程适宜”十六字方针。滑坡发生后,立即进行勘察、监测,同时进行治水。待对该滑坡的发展变化规律基本掌握后,再采取有效措施进行治理。

3.2.2 改变滑坡防治的方法。采取动态的综合治理法<sup>[8]</sup>。该方法的主要内容是:在密切监测的情况下,根据滑坡灾害的变化与发展状况,将滑坡治理的各种有效措施,分批分期地进行有机组合,适时地在滑坡体的关键部位采用一种或多种措施进行治理,以达到减轻、减缓滑坡灾害的恶化或根除滑坡灾害的目的,它的核心是以动制动,随机应变。这样不仅可以充分体现非定量措施的效果,也可以减少滑坡防治工程,节省投资。笔者曾经在蔗头山滑坡防治中采用该思路和方法,取得了很好的效果,与静态的防治方法相比,节省了一半的投资<sup>[9]</sup>。

### 4 结语

滑坡灾害已影响到国计民生,我国对滑坡灾害的防治也非常重视,专门制定了相关法规,在防治方面也取得显著成效。然而也存在一些不合理的情况,例如,工程投资过大,一根大型抗滑桩造价达数十万元,治理一下大型滑坡需投资数百万元乃至上千万元<sup>[10]</sup>。在治理措施效果的预知性上,只考虑定量措施的效果。而不计非定量措施的效果,这样无形中会增加防治措施,加大治理成本。因此,应采用动态综合治理方法,按照上述的十六字方针进行,则结果会更加理想。

参考文献:

[1] 崔征求,李宁. 边坡工程—理论与实践最新发展[M].

- 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
- [ 2 ] 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.
- [ 3 ] 铁道部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.
- [ 4 ] Pipkin Bernard W, Trent D D. Geology and the environment (2nd Ver. )[J]. Wadsworth Publishing Company. 1997.
- [ 5 ] 边坡工程勘察规范[S]. 1996.
- [ 6 ] 殷跃平. 长江三峡工程库区滑坡防治工程设计与施工技术规程[M]. 北京: 地质出版社, 2001.
- [ 7 ] 郑颖人, 赵尚毅, 张鲁渝. 用有限元强度折减法进行边坡稳定分析[J]. 中国工程科学, 2002, 4(10): 57- 78.
- [ 8 ] 蒋中明, 徐卫亚. 格构形复合抗滑钢板桩的阻滑机理研究[J]. 岩石学与工程学报, 2003, 22(8): 1372- 1376.
- [ 9 ] 魏作安, 尹光志, 张东明, 等. 蔗头山北段滑坡灾害的动态综合治理[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(8): 1367- 1371.
- [ 10 ] 王恭先. 抗滑支挡建筑物的发展动向[A]. 滑坡文集(第十三集)[C]. 北京: 中国铁道出版社, 1998.

## Quantitative and qualitative classification and discussion on the landslide control measures

WEI Zuo-an<sup>1,2</sup>, WAN Ling<sup>1</sup>, ZHANG Jun\_hong<sup>3</sup>, XIAO Nan<sup>3</sup>

(1. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China; 2. The Key Laboratory of the Exploitation of Southwest Resources & the Environmental Hazards Control Engineering, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 3. School of Mechanics and Civil Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The property loss of landslide hazard is up to hundreds million yuan and hundreds people was dead every year. The government has made some laws, principles and technical codes, at the same time, a great deal of manpower and material resources have been used for landslide hazard research and control. At present a lot of achievements have been gained in landslide hazard control, and the control measures have been being gradually perfect. According to the ways of slope stability and the judge codes and the predictability of landslide control measure's effects, the control measures for landslide hazard, which include 4 classes and 33 subclasses, can be classified into two types: quantitative measures and non-quantitative measures. The present issues about landslide control, including paying too much attention to quantitative control measures and ignoring non-quantitative control measures in actual projects, are discussed in detail in this paper. At the same time, we also discussed how to assort with all kind of measures more efficiently. The results are useful to control landslides.

**Key words:** landslide control effect; predictability; quantitative and qualitative control measures; economic reasonability