

基于 k/v 比值的库岸涉水滑坡分类^{*}

陈为公^{1,2}, 贺可强², 孙林娜²

(1. 青岛理工大学 管理学院, 山东 青岛 266520; 2. 山东省地质环境与效应工程技术研究中心, 山东 青岛 266033)

摘 要: 滑坡的分类是一切滑坡研究与治理的基础和前提。在总结分析一般滑坡的分类方法基础上, 针对库岸涉水滑坡水力条件复杂多变的特殊性, 选择渗透系数 k 和库水位升降速率 v 这两个具有对立统一关系的决定性参数作为分类因子, 提出了基于 k/v 比值的库岸涉水滑坡分类方法, 并阐述了其合理性及理论意义。该分类方法将库岸涉水滑坡分为 $k/v > 1$ 型和 $k/v < 1$ 型两个类别, 是一种动态的分类。该方法的提出突破了对滑坡分类的常规思维, 有助于解决系统动力学在滑坡稳定性分析和预测中所面临的困境, 适应滑坡稳定性研究的发展趋势, 具有一定的可借鉴性和指导意义。

关键词: k/v ; 库岸涉水滑坡; 滑坡分类

中图分类号: P642. 22; X4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2013)03-0006-05

0 引言

滑坡分类的目的是通过对滑坡各种特征的概括, 反映出滑坡的本质属性和变形破坏的内在规律, 深化对滑坡的理性认识, 从而对其进行有效的预测和防治。库岸涉水滑坡是指水库沿岸范围内滑坡体前缘分布在库水位升降范围内受水库蓄水影响的滑坡。以三峡库区为例, 库区范围内 5 386 处崩塌滑坡中, 涉水滑坡就有 1 945 处^[1]。库岸涉水滑坡由于所处水环境的复杂性, 其性质和变形特征与其它类型滑坡有所不同。对库岸涉水滑坡分类进行研究, 有助于对该类滑坡进行深入了解, 丰富和完善滑坡的分类体系, 对各种重大水利工程中涉水滑坡的预防和治疗具有重要的理论意义和应用价值。

1 已有滑坡分类概述

1.1 一般滑坡分类

迄今为止, 针对不同的原则和指标对滑坡进行的分类有几十种之多, 涉及到滑坡的物质组成、规模、形成时间、阶段、力学条件等诸多性质和特征, 由于角度不同而各具特点。总体而言, 现

有的滑坡分类可划分为两种分类方法, 一种是单因素分类方法, 一种是综合分类方法。

1.1.1 滑坡的单因素分类

在滑坡分类中, 采用滑坡某方面的特性对滑坡进行分类, 主要的代表性分类方法可见表 1。

表 1 滑坡的单因素分类

分类依据	分类结果
物质组成	岩质滑坡、土质滑坡
结构	同类土滑坡、顺层滑坡、切层滑坡
厚度	浅层滑坡、中层滑坡、厚层滑坡
滑体体积	小型滑坡、中型滑坡、大型滑坡、特大型滑坡、巨型滑坡
发生年代	现代滑坡、老滑坡、古滑坡
成因	天然动力成因滑坡、人为动力成因滑坡
力学机制	牵引式滑坡、推移式滑坡、平移式滑坡
滑坡防治方式	工程治理、监测预警、搬迁避让、不用处理类滑坡

1.1.2 滑坡的综合分类方法

以单一特征进行分类, 往往不能对某一滑坡进行具体描述, 对滑坡分类的进一步细化和组合, 采取综合分类方法能更准确的反映滑坡的性质和特征。

^{*} 收稿日期: 2012-11-28 修回日期: 2012-12-20

基金项目: 国家自然科学基金(40872184); 山东省自然科学基金(ZR2011DL002); 教育部高等学校博士学科点专项科研基金(20113721110002); 三峡库区地质灾害省部共建教育部重点实验室开放基金(2008KDZ04); 青岛市社会科学规划项目(QDSKL130144)

作者简介: 陈为公(1971-), 男, 辽宁沈阳人, 教授, 从事地质环境评价研究. E-mail: ch.ylh@163.com

(1)在 1976 年上海召开的“铁路滑坡分类及分布规律的研究”专题会议上提出了适合我国国情的以组成滑体物质、主滑带成因及滑体厚度为标志的三级分类法,这一分类体系概念明确,简单明了,便于推广应用。按这一分类体系,对某一具体的滑坡采用综合定名法,如“厚层堆积层黄土滑坡”。如滑坡的某一特点特别明显,亦可在定名中加以体现,如牵引式薄层同生面黏性土滑坡等^[2]。

(2)刘广润等将滑坡分类归纳为滑体特征分类、变形动力成因分类和变形活动特征分类三大系列。采用“综合分类法”提出一套多层次的分类体系。全面反映滑坡多个方面的分类特点,并使所有现存的滑坡分类都得到其应有的地位体现^[3]。

(3)晏鄂川等在上述滑坡分类体系的基础上,针对滑坡的发育状况和地质特征,抓住滑体组构特征、动力成因、变形运动特征和发育阶段这 4 个控制性因素的实际表现,组合建立滑坡基本地质模型^[4]。这 4 个控制性因素对滑坡的总体特征有较强的表现力,而且能为滑坡监测、预报提供最为重要的信息基础。

(4)李远耀将滑坡的变形过程与受力状态特征结合,建立了反映滑坡变形时空演化特征的分类体系,将滑坡分为渐进推移式滑坡、渐进牵引式滑坡、渐进平移式滑坡、突变推移式滑坡、突变牵引式滑坡以及突变平移式滑坡等类型^[5]。

(5)杨诗义将滑坡采用三级综合分类体系,以表现滑坡的地形地貌、地层岩性和监测曲线三要素的基本特征和内外在联系,从而获得 72 种滑坡类型^[6]。

可以看出,一般的滑坡分类多是按单一特征分类的,随着研究的深入,进而发展到按几个特征进行综合分类,其实用性也越来越强。它们都很好地反映了滑坡在某些方面的特征,能够体现滑坡的一些本质属性,属于定性的、静态的分类,在科学研究和实践工作中得到了广泛的应用,具有科学和实用意义。

1.2 已有涉水滑坡分类

对于涉水滑坡,同样适用于一般滑坡的各种分类体系。但由于涉水滑坡所处的特殊水环境,针对其涉水的特点,在对其研究与治理过程中,对其进行分类时,势必要考虑水因素的作用和影响。在一般滑坡分类体系的基础上,按滑坡研究的目的对涉水滑坡进行相应的分类。

(1)朱大鹏在晏鄂川等人提出的滑坡综合分类基础上,针对水库蓄水型滑坡,提出了浮托减重

型、浮托减重 + 渗透力型、渗透力型的分类方案^[7]。

(2)易武等以地下水位与库水位的涨落速率是否一致,提出将涉水滑坡可划分为蓄水型和泄水型两大类四种类型的滑坡分类方法^[1]。

(3)曾刚针对三峡库区滑坡的结构特点和水因素的作用,将三峡库区的涉水滑坡归纳为浮托减重型、动水压力型和复合型(浮托减重型 + 动水压力型)三种类型^[8]。

涉水滑坡分类的共同特点就是以水对滑坡的力学机制和状态作为分类的依据和标准,抓住了该类滑坡的最本质特征,是今后滑坡分类研究所应遵循的基础和方向。无论是涉水滑坡还是一般滑坡的分类,可以看出,用来进行分类的指标和依据多是滑坡的某种(些)性质和特征,是定性化指标。而随着滑坡研究的不断深入,分类指标的量化应成为探索和应用的发展方向。

2 选择 k/v 比值作为涉水滑坡分类指标的缘由

2.1 水因素对滑坡稳定性的影响

水对滑坡稳定性的影响是直接而显著的,水与滑坡的变形破坏具有直接相关关系,已成为滑坡研究者的共识。库岸涉水滑坡处于复合水环境中,同时受降雨、地下水、地表水(库水)的作用影响,相比一般滑坡而言,水成为滑坡稳定与否的决定性因素。调查表明,90% 以上的滑坡与水的作用有关^[9]。滑坡作为一个复杂的系统,其稳定性取决于内因和外因共同作用的结果。内在因素包括滑坡的物质组成、结构、构造、滑带特征和应力状态等因素,而外在因素是指降雨、库水涨落、地下水作用、地震和人工活动等方面。内因是根本,外因通过内因发生作用是一切事物渐进式发展的基本规律。同样,滑坡的内在因素与外在因素共同作用下决定了滑坡的变形破坏状态。

无论是降雨,还是地表水或是地下水,一旦水进入坡体内部就会增加岩土体的重量并产生软化泥化作用,降低岩土体的抗剪强度,静水压力增大,在不透水层上部聚集从而形成滑带并起润滑作用。库水的涨落可以冲刷坡脚导致滑坡失稳,库水抬升可是坡体浸泡水中产生浮力减重效应,重力减小,阻滑段抗滑力减小,不利滑坡稳定。对于弱透水性坡体而言,降雨或库水位下降时坡体内排水不畅,水头差形成的渗透力增加了滑坡

的下滑力,其动水压力作用会导致滑坡变形失稳。

2.2 k 、 v 是滑坡稳定性分析中重要的关键性参数

从力学机制上讲,由于外在水因素的作用,导致坡体内部结构、性质的改变,坡体内的应力状态随之调整。降雨和库水位的升降,使坡体内地下水位发生变动,坡体内渗流场发生改变,进而影响应力场变化。由于坡体成分与结构构造的不均一性,会产生应力集中地段,当应力聚集达到或超过抗剪强度过程中,坡体的变形和破坏就产生和形成了。而作为涉水滑坡而言,岩土体渗透系数 k 与库水位涨落速率 v 恰恰是决定渗流场状态的两个关键因素,岩土体的渗透系数在坡体内决定了渗流场的状态,库水位的升降速度在坡体外影响着渗流场的状态,二者的共同作用决定了坡体内渗流场的动态过程。在滑坡的稳定性分析中都是以分析渗流场变化为基础和前提的,进而分析岩土体应力场变化,二场耦合研究成为滑坡稳定性分析的基本研究思想和研究方法,而 k 、 v 无疑是滑坡稳定性分析中至关重要的决定性参数。选择 k 、 v 做为涉水滑坡的分类参数就是抓住了问题的本质和关键。

2.3 k/v 比值作为分类指标是滑坡稳定性定量研究的趋势所需

在基于饱和非饱和渗流场的滑坡稳定性分析中,浸润线的位置和水力梯度的计算至关重要。对力学作用而言,重力、浮力、水压力、渗透力等都会随地下水浸润线变化而改变,滑坡剩余推力和稳定性也会变化^[10]。库水位升降速率越大,浸润线越陡,渗透系数越大则浸润线越缓,而浸润线的陡缓又决定了水力梯度的大小^[11]。因此,是 k 、 v 共同决定了浸润线的状态和水力梯度,库水位的升降速率与滑坡岩土体的渗透系数是一种对立统一的辩证关系,而对立统一规律是任何事物以及事物之间所存在的基本规律,用 k/v 作为涉水滑坡的分类指标能够更加科学而具体的反映滑坡内在性质和规律。

随着滑坡稳定性研究的不断深入,非线性研究方法、系统动力学研究方法等方法都取得了很大的进步,定量研究成为主要发展趋势。在进行建模计算分析过程中,都面临着一个棘手的问题,那就是所采用的方法无法对各类型的滑坡都能进行合理的解释。尤其是在系统动力学方法中,同样是库水位上升或是下降时,对不同滑坡其力学机制有可能是加载,也有可能是卸载。涉及到库水位升降时,对不同的滑坡无法确定其加卸载

状态,就无法有效进行分析,这不是因为所采用的理论方法不对,而是因为滑坡不同的 k 、 v 对比关系不同导致渗流场状态不同而造成的。以 k/v 为分类指标,先将滑坡分类,在此基础上在进行相应研究,则可将这一障碍扫除。

已有的滑坡分类体系中分类依据多是定性的,是对自身固有性质的一种静态描述,分类的目的是为了调查和勘察等工作的需要。库岸涉水滑坡处于复杂的动态水环境中,其稳定性分析是建立在渗流场与应力场的模拟与计算基础上的,已有的分类指标和分类方法无法满足需要。依据 k/v 比值对涉水滑坡进行分类,正是基于涉水滑坡稳定性分析评价和预测的目的,抓住问题的主要矛盾,以满足滑坡定量化研究趋势所需。

2.4 选择 k/v 比值作为库岸涉水滑坡的分类标准符合分类学基本原则

在分类学中,类别的特性可分为分异特性或分类标准、协变特性和偶然特性。分异特性是用来作为归类基础的性状,用以区别不同的类别。协变特性是随分异特性而变化的性状,而偶然特性是独立于分异特性而变化的特性^[12]。在选择分异特性时有以下几个基本原则:①分异特性必须是对分类目的有重要作用的特性。②分异特性应具有尽可能多的协变特性。③分异特性必须是分类对象本身的性状。

分异特性如果选择的合适,应有尽可能多的协变特性,从而不仅可以准确表达某一类别的分异特性,而且还能随带描述出其协变特性。选择 k/v 比值作为分类标准,正是抓住了 k 、 v 这两个库岸涉水滑坡最为关键重要的特性,以其作为分异特性进行分类,就可以知道相应类别的其它方面特性,诸如滑坡的库水位与坡内地下水位的变化状态、水力梯度、水力效应(动水-静水)、强度参数的变化趋势、基本的稳定性变化等多种协变特性。用 k/v 比值作为分异特性,既是对涉水滑坡分类特性的一个高度概括,又是一个具体的定量化指标,比较适合作为复杂多变水环境中涉水滑坡分类的标准。

3 基于 k/v 比值的库岸涉水滑坡分类

库岸涉水滑坡处于复杂的水环境中,其分类的目的在于概括出滑坡在水因素作用下其稳定性的发展变化特征和规律,为滑坡的稳定性分析、预测乃至防治提供帮助。因此在对该类滑坡进行

分类时, 必须抓住内外水因素相互作用的动力机制和动力效应这一主要矛盾, 选择 k 、 v 这两个决定性因子, 将 k/v 作为分类指标以反映二者在涉水滑坡中的对立统一关系, 彰显出滑坡在涉水情况下的内在规律和外部特征。本着上述的目的和分类指导思想, 将库岸涉水滑坡分为 $k/v > 1$ 和 $k/v < 1$ 两个大类, 以适应滑坡稳定性分析和预测的需要, 随水环境条件变化而变化的动态分类。

(1) $k/v > 1$ 型滑坡

此类滑坡的渗透速率高于库水位升降速率, 其直接的外在表现规律就是坡体内地下水位与库水位升降同步, 浸润线平缓, 水力梯度小, 动水压力效应不明显。该类滑坡往往渗透系数较大或库水升降速率较小, 或者库水升降速率很大而渗透系数更大, 库水入渗和地下水排泄轻松。

当库水上升时, 库水首先淹没滑坡前缘, 前缘阻滑段岩土体饱水, 产生浮托减重效应, 抗剪力降低, 同时随水位上升, 滑带饱水面积扩大, C 、 φ 值降低, 抗剪强度减弱。在库水位上升过程中或水位稳定后, 滑坡容易变形和破坏。

当库水下降时, 地下水可以及时排泄疏干, 滑带和岩土体内的非饱和区扩大, C 、 φ 等抗剪强度参数值增大, 浮托减重效应降低, 抗滑力增大, 滑坡稳定性增强。

(2) $k/v < 1$ 型滑坡

此类滑坡的渗透速率低于库水位升降速率, 其直接的外在表现规律就是坡体内地下水位变动滞后于库水位升降, 浸润线形态较陡或反翘, 水力梯度大, 动水压力及静水压力效应明显。该类滑坡往往渗透系数较小或库水升降速率较大, 或者渗透系数较大而库水升降速率更大, 库水不易入渗以及地下水排泄不畅, 造成地下水位与库水位升降不同步。

当库水位上升时, 由于库水入渗慢, 库水上升速率高于入渗速率, 造成坡体外水位高于坡体内地下水位, 产生的渗透力方向指向坡内, 对坡体产生反压作用, k/v 比值越小, 作用效应越强, 滑坡稳定性增加。当上升达到稳定水位后, 坡体内饱水区域增加, 滑带 C 、 φ 等抗剪强度参数值降低, 抗剪强度减弱, 同时由于含水自重增加, 下滑力增大, 滑坡稳定性会降低而发生变形。

当库水下降时, 地下水排泄不畅, 库水水位下降速率大于地下水位下降速率, 坡体内产生指向坡体外的渗透力和动水压力, k/v 比值越小, 上述作用力效应越强, 不利滑坡稳定, 导致滑坡变

形破坏, 常发生牵引式滑坡。当库水位降至稳定水位后, 随着坡体内非饱和区的扩大, C 、 φ 等抗剪强度参数值增大, 渗透力降低至消失, 抗滑效应增强, 滑坡稳定性会有所提高。

4 基于 k/v 比值的库岸涉水滑坡分类的理论意义

以 k/v 比值作为分类标准对滑坡进行分类的意义在于, 为滑坡的定量化分析打开了一个思路。现有的任何一种模型和方法都无法全面解释各种滑坡, 正如一把钥匙无法打开各种锁一样, 并不能说是这种模型和方法不行, 而是因为方法是死的, 而研究的对象的相关条件是变动的, 是活的。对涉水滑坡而言, 复杂的水环境使得岩土体应力状态变化复杂, 同样是升或是降水位的情形下, 对不同的滑坡来说, 所受应力有可能是加载亦有可能是卸载。而以 k/v 比值为分类指标, 抓住影响渗流场变化的两个最为关键而又相互对立统一的要素对涉水滑坡进行分类, 可以针对每一个不同的滑坡, 根据水因素动态变化状态, 进行具体的稳定性分析。已有的滑坡分类方法, 多是定性的、静态的, 很难实现对滑坡力学机理和效应方面的分类, 从而使得那些本着力学机理而提出的方法和模型在滑坡的研究分析中无法发挥出其应有的功效。基于 k/v 比值的分类观点的提出本身是微不足道的, 但它或许可以为滑坡的研究者推开一扇窗或提供一丝线索。

5 结论

(1) 由于分类目的和分类角度的不同存在各种滑坡的分类方法。现有的一般滑坡分类方法主要有单一因素分类法和综合分类法, 是定性的、静态的分类方法。

(2) 库岸涉水滑坡所处环境的特殊性, 决定了水因素作用是其滑坡分类的根本特征。渗透系数和库水位升降速率相互作用共同影响滑坡的渗流场和应力场状态, 决定了滑坡的稳定性变化。选择 k 、 v 这一具有对立统一关系的参数作为涉水滑坡的分类因子, 抓住了问题的主要矛盾, 分类具有科学性、合理性和可行性。

(3) 基于 k/v 比值的滑坡分类, 体现着 k 、 v 在滑坡稳定性中的对立统一规律, 将涉水滑坡分为 $k/v > 1$ 型滑坡和 $k/v < 1$ 型滑坡两种类型。这是一

种对滑坡的定量化、动态化的分类,反映了滑坡的内在机理和动力机制,适应当前滑坡研究的发展趋势。

(4)基于 k/v 比值的滑坡分类方法的提出有助于为当前滑坡研究困境的解脱提供帮助,它为解决滑坡研究中相关理论、模型、方法不具有普适性的问题提供了一种解决思路和方法,具有参考价值和借鉴意义。

参考文献:

- [1] 易武, 孟昭平, 易庆林. 三峡库区滑坡预测理论与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2011: 39–62.
- [2] 张小建. 论滑坡分类与滑动机理[J]. 科学之友, 2009(5): 94–95.
- [3] 刘广润, 晏鄂川, 练操. 论滑坡分类[J]. 工程地质学报, 2002, 10(4): 339–442.
- [4] 晏鄂川, 刘广润. 试论滑坡基本地质模型[J]. 工程地质学报, 2004, 12(1): 21–24.
- [5] 李远耀. 三峡库区库岸滑坡的渐进破坏特征及成因分析 [D]. 武汉: 中国地质大学, 2010.
- [6] 杨诗义. 滑坡预测预报与滑坡分类体系研究 [D]. 武汉: 武汉科技大学, 2010.
- [7] 朱大鹏. 三峡库区典型堆积层滑坡复活机理及变形预测研究 [D]. 武汉: 中国地质大学, 2010.
- [8] 曾刚. 基于诱发因素的三峡库区涉水滑坡分类[J]. 灾害与防治工程, 2012(1): 57–60.
- [9] 郑娅荣, 袁亚萍. 论滑坡的基本特征与形成因素[J]. 黑龙江科技信息, 2011(28): 105.
- [10] 汪洋, 刘艺梁. 浸润线缓慢上升对滑坡剩余推力的影响规律[J]. 灾害学, 2012, 27(4): 21–24.
- [11] 吴越, 陆新, 顾宏伟, 等. 降雨与库水位涨落作用下边坡渗流场分析[J]. 后勤工程学院学报, 2006(4): 32–36.
- [12] 王秋兵. 土地资源学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.

Classification of Wading Landslides of the Reservoir Bank Based on k/v Ratio

Chen Weigong^{1,2}, He Keqiang², Sun Linna²

(1. Management College, Qingdao Technological University, Qingdao 266520, China;

2. Engineering Technique Research Center of Geoenvironment and Impact, Qingdao 266033, China)

Abstract: The classification of landslides is the basis and premise for researching and treating all landslides. On basis of analyzing the general classification methods of landslides, the classification method of wading landslides of the reservoir bank is proposed based on k/v ratio, and its rationality and theoretical significance are elaborated. In the method, the complex and changeable particularity of hydrodynamic conditions of the reservoir bank wading landslide are taken into account, and the permeability coefficient k and bank water level fluctuation rate v , which are the decisive parameters with the relationship of the unity and opposite, are chosen as classification factors. Wading landslides of the reservoir bank are divided into $k/v > 1$ type and $k/v < 1$ type, the method is a kind of dynamic classification. It is a breakthrough of conventional thinking for landslide classifications that the method is proposed. The method contributes to the solution of dilemmas on the landslide stability analysis and prediction with system dynamics, can adapt to the trend of development of researches on the landslide stability, and is of some certain guiding significance.

Key words: k/v ; wading landslides of the reservoir bank; classification of landslides