

三峡库区崩塌滑坡发育规律初探

蔡彬 陈波 魏伦武 熊道锟

(成都水文地质工程地质中心)

提 要

本文主要从半定量的角度分析了三峡库区崩塌、滑坡与斜坡岩性和斜坡结构特征(岩体结构类型、斜坡剖面结构形态、斜坡形态、斜坡坡度)的关系,总结了三峡库区崩塌、滑坡的发育规律,为初步预测崩塌、滑坡存在的可能性和斜坡稳定性提供了重要的依据。

本文通过对三峡库岸277个崩塌、滑坡变形破坏机制的分析,和库区内现有284个崩塌、滑坡点的数理统计研究,提出三峡库区崩塌、滑坡发育规律的一点认识。

崩塌、滑坡是外动力地质现象(有人称表生地质现象、外生地质现象或外成地质现象)^[3]中较为常见,且具有相当破坏性的两种地质灾害。影响崩塌、滑坡的因素是复杂的,一般说来,崩塌、滑坡的产生和分布与岩性关系密切,构造条件是崩塌、滑坡的控制因素,地形地貌对崩塌、滑坡的产生有重要作用,气候与地震也不可轻视。但在以中低山为主,宽狭谷并存,地质构造简单,新构造运动相对较弱的三峡库区,决定崩塌、滑坡发育的主要因素则不同。

对三峡库区两岸长达1,372公里的岸坡段的277个崩塌、滑坡点的变形破坏机制分析得知,除少数崩塌、滑坡的变形破坏方式不明外,其中有209个崩塌、滑坡占总数的76%的变形破坏方式,都是滑移—压致拉裂、滑移—拉裂、塑流—拉裂、滑移—弯曲、弯曲—拉裂或蠕滑—拉裂型的,而不是瞬时变形破坏。大家知道,不同的变形破坏方式具有不同的时间效应特征,崩塌、滑坡的产生与否都受这个时间效应过程控制,如土的蠕变破坏时间同稳定状态下的应变速率成反比。而时间效应特征,又是由斜坡的岩性和斜坡的结构特征决定的。由此可见,崩塌、滑坡的发育与斜坡岩性和斜坡结构特征的关系极为密切。

一、崩塌、滑坡与斜坡岩性的关系

三峡库区地层除缺失泥盆系下统、石炭系上下统、白垩系的大部分及第三系外,自前震旦系至第四系皆有出露;总体上具有自西向东渐新展布的规律。其岩性种类较多,根据其干抗压强度的大小(见表1)和结构特征,大致将其归为7类:松散岩类,泥(页)岩,灰岩,砂岩,岩浆岩,备注。

表1

岩 性	松 散 岩 类	泥(页)岩	灰 岩	砂 岩	岩 浆 岩	备 注
干抗压强度 (MPa)	3×10^{-5} } 4×10^{-5}	45 } 55	120 } 130	140 } 150	160 } 180	·为极限 承载力

表 2

类 型		松散岩类	泥 (页) 岩	灰 泥 (页) 岩 互 层	砂 泥 (页) 岩 互 层	灰 岩	砂岩	岩浆岩
崩塌	大 型 ($\geq 1,000$ 万立方米)				2	1	3	
	中 型 (100—1,000 万立方米)		3	5	8	8	7	
	小 型 (≤ 100 万立方米)		5	1	30	5	5	
滑坡	大 型 ($\geq 1,000$ 万立方米)		16	1	15		1	
	中 型 (100—1,000 万立方米)		28		25	1	1	
	小 型 (≤ 100 万立方米)	22	33		45	2		
变形体	小 型 (≤ 100 万立方米)		1					

下面着重叙述崩塌、滑坡与岩性的关系。

(一) 崩塌与岩性的关系。从图 1 (a) 中可看出, 大中型崩塌主要发生在强度相对较高的砂岩、灰岩和砂泥 (页) 岩互层中, 共计 29 个, 占总数的 76%。这是因为砂岩、灰岩的强度高, 性脆, 节理常常发育, 加之它们抗风化营力的能力又强, 常形成陡边坡 ($60^\circ - 70^\circ$), 便为崩塌的发生创造了有利条件。发生在砂岩、灰岩中的大中型崩塌占崩塌总数的 51.4%。值得一提的是, 在砂泥 (页) 岩互层中, 不论小型 (见图 1b) 还是大中型 (见图 1a) 崩塌都较发育, 共计 48 个, 占崩塌总数的 52%。这是因为:

1、软弱泥 (页) 岩结构面的存在, 对拉裂面起了一定的阻隔作用, 不利于拉裂面向深部扩展, 故崩塌多以小型为主。

2、强度低, 抗风化营力能力差, 变形性大, 易软化的泥 (页) 岩, 它形成的岸坡易被水流掏蚀加宽。由于砂岩、灰岩的最大允许不冲刷的水流速度为 4—5 米/秒, 而泥 (页) 岩仅 2—3 米/秒^[6]。因此, 在砂泥 (页) 岩岸坡中就会形成相对多而大的侧蚀坑和侧蚀槽等有效临空面, 即为大中型崩塌的发生创造了更为有利的条件。

(二) 滑坡与岩性的关系。从图 1 c 中可知, 滑坡主要发生在泥 (页) 岩和砂泥 (页) 岩互层中, 共计 162 个, 占滑坡总数的 85%, 除松散堆积层滑坡外, 发生在坚硬灰岩和砂岩中的滑坡屈指可数, 仅占百分之几。其原因是泥 (页) 岩和砂泥 (页) 岩互层更有利于滑坡形成:

1、软弱的泥岩、页岩层的存在, 为滑坡的产生提供了可能依附的滑动面 (或滑动带)。

2、泥岩、页岩的亲水性和可塑性强, 遇水后体积膨胀, 发生软化、泥化现象, 致使滑带土的 c 、 φ 值降低, 加之水的润滑作用, 使斜坡稳定系数 k 减小。

松散堆积层中的滑坡为数也不少, 计 22 个, 占滑坡总数的 12%。这类滑坡规模小 (≤ 100 万

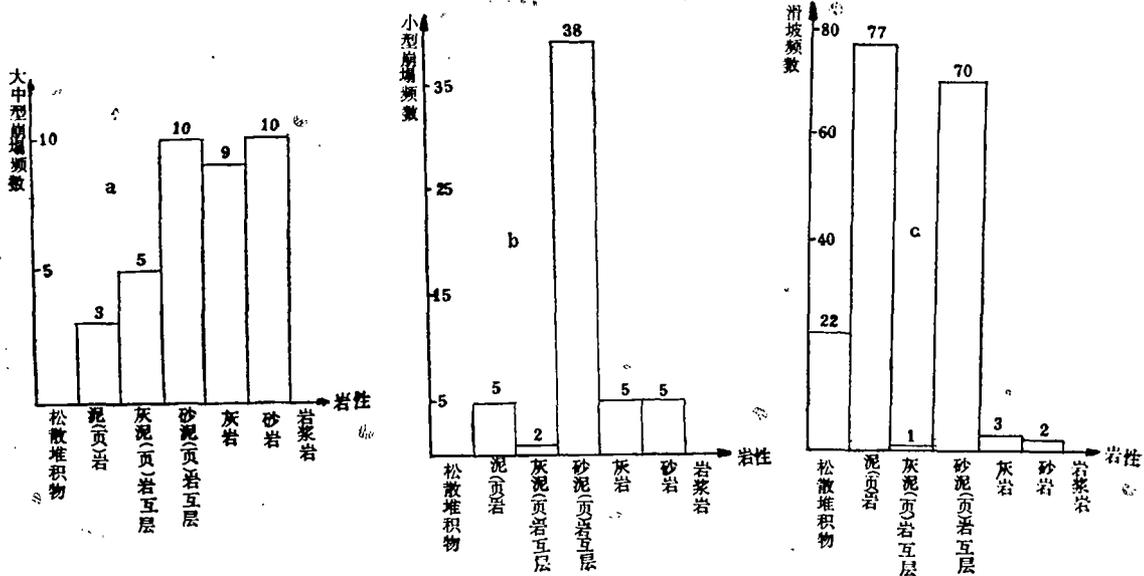


图 1 崩塌、滑坡与岩性直方图

立方米)，多发生在暴雨后。这是由于：

1、暴雨后，降水的渗入，加之下伏基岩的相对隔水作用，孔隙水压力剧增，常常使接触面处有效应力几乎降为零。

2、暴雨对滑带具有润滑作用，c值减小。

3、暴雨后易产生塑性流动。

4、暴雨使松散堆积层容重变大，沿斜坡方向分力（下滑力）也随之增加。

这些，致使松散堆积层与下伏基岩的连接削弱，堆积体也就沿其接触面向下滑动。

二、崩塌、滑坡与斜坡结构特征的关系

(一) 崩塌、滑坡与岩体结构类型的关系。根据斜坡岩体结构可将斜坡分为完整型、单层型和双层型三种结构类型：

1、完整型是指由块状岩体（如花岗岩）组成的块状结构斜坡。

2、单层型是指由单一岩性的岩体组成的层状结构斜坡。

3、双层型是两种或两种以上岩性的岩体组成的层状结构斜坡。

各类斜坡类型的主要变形破坏方式和稳定性特征见表 3。

崩塌、滑坡与岩体结构之间的统计关系如图 2。

从图 2 可以看出，完整型中没有崩塌、滑坡产生。当然这与库区出露块状结构岩石较少（仅在三斗坪坝址区有花岗闪长岩）有关，但更主要的是由它致密巨厚的特殊块状结构所决定的。就单层型和双层型而言，发生在双层型中的崩塌、滑坡最多，共计 141 个，占总数的 54%，单层型次之，不过差异甚微。可见，双层型和单层型斜坡结构控制着三峡库区崩塌、滑坡的发育分布。

(二) 崩塌、滑坡与斜坡剖面结构形态的关系。为了弄清崩塌、滑坡与易发生的岩层产状的关系，我们根据斜坡的剖面结构形态将岩体产状分为 7 种类型：水平型 ($\alpha \leq 10^\circ$)、倾内型、缓倾外型 ($10^\circ < \alpha \leq 25^\circ$)、中倾外型 ($25^\circ < \alpha \leq 45^\circ$)、陡倾外型 ($45^\circ < \alpha \leq 80^\circ$)、直立型

表 8

类 型	主要变形破坏方式	稳定性特征
单 层 型	塑流——拉裂 滑动——拉裂 滑移——拉裂 滑移——弯曲 弯曲——拉裂	岸坡的稳定性受软弱结构面控制。结构面上的物质软弱破碎，含泥物质及水理性质不良的粘土矿物在水的作用下，抗剪强度低，结构面的延展性较强。
双 层 型	蠕滑——拉裂 滑移——拉裂 塑流——拉裂 滑移——剪断	岸坡的稳定性受软弱层控制，软弱层多为泥质，抗剪强度低，软弱层延展性好。
完 整 型		稳 定

(据韩宗珊资料)

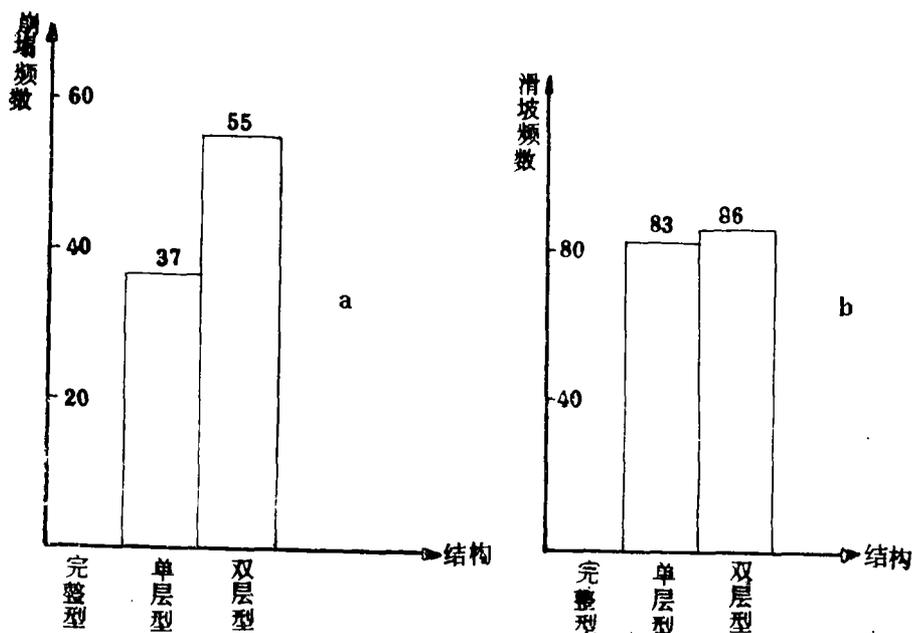


图 2 崩塌、滑坡与岩体结构直方图

($\alpha > 80^\circ$)、横向型。其崩塌、滑坡的发育情况见表 4。岩层产状与大中型崩塌、滑坡关系见直方图(图 3)。

从图 3 中可明显地看出，发生在缓倾外型 ($10^\circ - 25^\circ$) 和中倾外型 ($25^\circ - 45^\circ$) 中的大中型崩塌、滑坡最多，分别有 24 个和 87 个，各占其总数的 65% 和 54%。水平型中的大中型崩塌、滑坡共 51 处，占总数的 25%。可见，崩塌、滑坡主要分布在缓倾外型和 中倾外型中，即顺向斜坡中大中型崩塌、滑坡占总数的 80%，逆向斜坡中的大中型崩塌及滑坡只占总数的 20%。

(三) 崩塌、滑坡与斜坡形态和斜坡坡度间的关系

表 4

类 型		水平型	倾内型	缓倾外型	中倾外型	徒倾外型	横 向
崩 塌	大型 ($\geq 1,000$ 万立方米)	1	1	1	3		
	中型 (100—1,000万立方米)	4	4	9	11		3
	小型 (≤ 100 万立方米)	14	12	8	6		15
滑 坡	大型 ($\geq 1,000$ 万立方米)	7	9	12			
	中型 (100—1000万立方米)	10	13	23	4	1	4
	小型 (≤ 100 万立方米)	29	5	26	17		3
变形体	小型 (≤ 100 万立方米)				1		

注：三峡库区没有的类型未列入表中

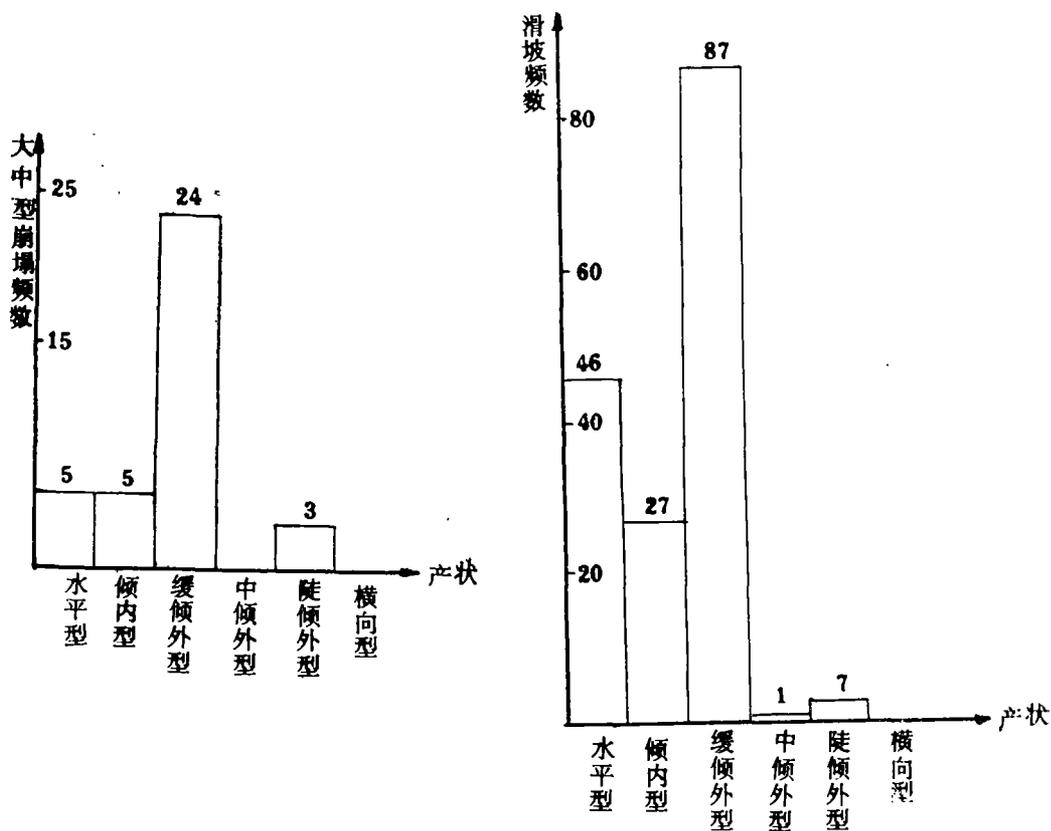


图 3 大 中 型 崩 塌、滑 坡 与 产 状 直 方 图

为研究斜坡形态和斜坡坡度与崩塌、滑坡的关系，我们对江津—忠县段（此处资料有限）的 81 个崩塌、滑坡的斜坡形态和斜坡坡度作了统计。

1、根据斜坡与河谷间的展布方向，将斜坡形态分为直线型、凹型、凸型三类。崩塌、滑坡与斜坡形态的关系见图 4。由图 4 可知，分布在直线型斜坡中的崩塌和滑坡计 58 个，占崩塌、滑

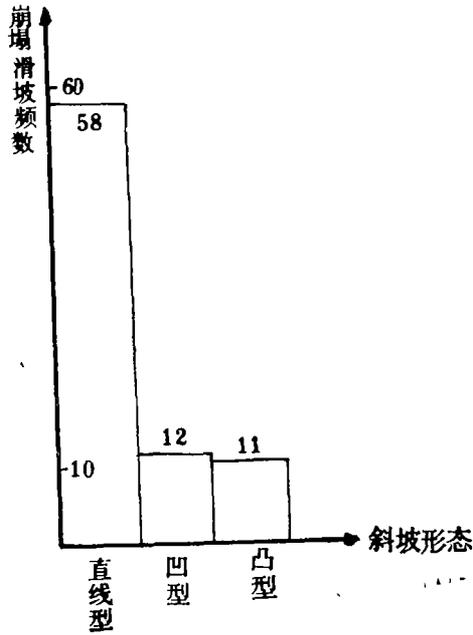


图4 崩塌与斜坡形态直方图

坡总数的71%。可见,直线型斜坡控制着崩塌、滑坡的分布。

2、对斜坡坡度,我们分4个区间: 0° — 10° 、 10° — 30° 、 30° — 45° 、 45° — 90° ,见图5。

从图5 a可知,发生在大于 30° 斜坡的崩塌为15个,占崩塌总数的60%;从图5 b可知,发生 10° — 30° 的滑坡共51处,占滑坡总数的91%。可见,斜坡坡度对崩塌、滑坡的发生起控制作用。

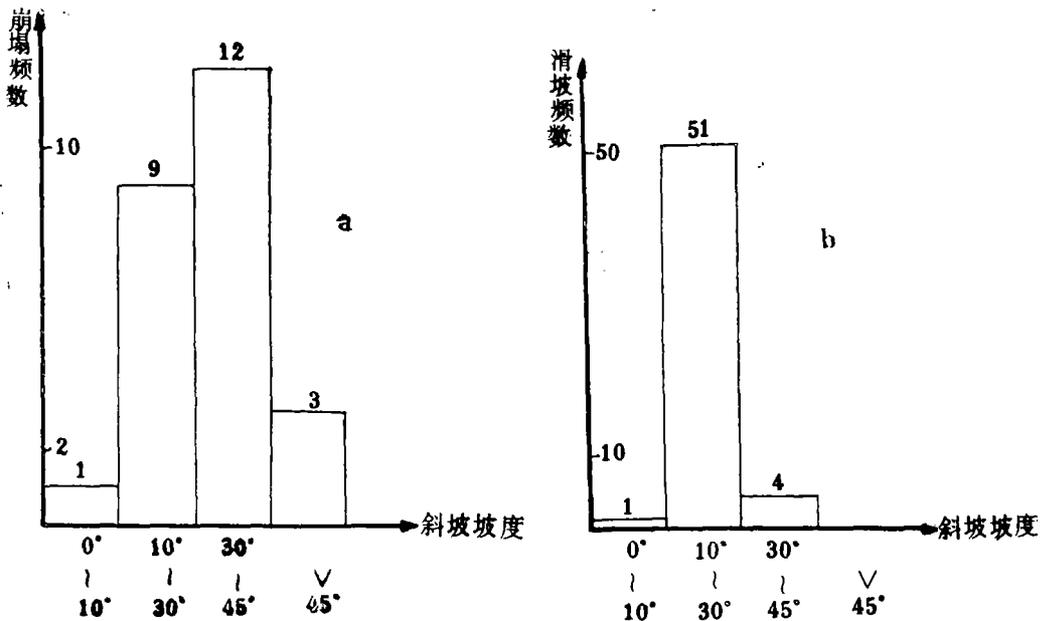


图5 崩塌、滑坡与斜坡坡度直方图

三、结 语

- 1、在坚硬岩石中,大中型崩塌发育。
- 2、在泥岩中滑坡最发育。
- 3、在砂泥(页)岩互层中,不论大中小型崩塌或滑坡均很发育。
- 4、在松散堆积层中,滑坡较多且以小型为主。

- 5、滑坡、崩塌主要分布在顺向斜坡，倾角 10° — 45° 中。
- 6、滑坡、崩塌的发育，受单层型和双层型层状结构斜坡的控制。
- 7、滑坡、崩塌主要分布在直线型斜坡中。
- 8、崩塌发生的斜坡坡度多大于 30° ，滑坡发生滑动的斜坡坡度则以 10° — 30° 为主。

由此可见，长江三峡库区滑坡、崩塌的发育，主要由斜坡岩性特征和斜坡结构特征所决定，且具明显的规律性。鉴此，可作为初步预测崩塌、滑坡存在可能和斜坡稳定与否的判定依据。

参 考 文 献

- 〔1〕滑坡文集编委会主编：《滑坡文集》（第三集），中国铁道出版社，1982年。
- 〔2〕张倬元、王士天、王兰生：《工程地质分析原理》，地质出版社，1980年。
- 〔3〕熊道锷、陈喜昌：“长江流域外动力地质现象发育规律初探”，《水土保持通报》1986年第4期。
- 〔4〕沈玉昌，龚同元：《河流地貌学概论》，科学出版社，1986年。
- 〔5〕〔苏〕B. II. 洛姆塔著，李生林、刘惠兰译：《工程动力地质学》，地质出版社，1985年。
- 〔6〕〔苏〕E. II. 叶米里扬诺著，铁道部科学研究院西北所滑坡室译：《滑坡作用的基本规律》，重庆出版社。

Preliminary study on the laws of the development of landslides and collapse in the reservoir area of the Three Gorges Project

Cai Bin Chen Bo Wei Lunwu Xiong Daokun
(Chengdu Centre of Hydrologic Geology and Engineering Geology)

Abstract

This paper studies the relationship of landslides and collapses to rock properties and structural characteristics of slope (structural types of rock body, structural shapes of slope profile, shapes of slope, and angles of slope), and sums up the laws of development of landslides and collapses in the reservoir area of the Three Gorges project of the Yangtze River from semi-quantitative point. The laws supply an important basis for slope stability evaluation and the prediction of distructures of the other landslides and collapses.