

文章编号: 1004-4574(2007)01-0104-05

滑坡与降雨关系研究展望

张友谊, 胡卸文, 朱海勇

(西南交通大学 土木工程学院, 四川 成都 610031)

摘要: 简要介绍了降雨和滑坡在时间上和空间上的分布规律, 并在此基础上浅析了滑坡与降雨量、降雨强度、降雨形式之间的关系, 以及降雨对滑带土强度参数的影响, 最后对滑坡与降雨关系的进一步研究进行了展望。

关键词: 降雨; 滑坡; 临界降雨强度

中图分类号: P642.22 文献标识码: A

Prospect of research on relationship between landslide and rainfall

ZHANG You-yi, HU Xie-wen, ZHU Hai-yong

(Civil Engineering School of Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract The rainfall is one of most important factors to induce landslide. The authors briefly introduced the spatiotemporal distribution regulation of rainfall and landslides. And on the basis of the study results, the relationship between landslide and rainfall, rainfall intensity and rainfall form is analysed, and the influence of the rainfall on the soil strength parameter is explored. Finally the trends of research on this relationship is discussed.

Keywords rainfall; landslide; critical rainfall intensity

降雨, 尤其是暴雨是滑坡活动最重要的触发因素。降雨诱发的滑坡广泛存在, 既造成了广大人员的伤亡和财产损失, 同时又对经济建设和社会稳定产生不良的影响。对滑坡与降雨关系的研究, 既有利于加深对降雨型滑坡发育规律及防治措施的认识, 又能充分利用其规律来最终达到防灾减灾的目的。

1 两者在时间上的一致性和略滞后性

降雨与滑坡的发生有密切的关系, 二者在时间上具有很好的一致性, 在对长江上游等地降雨与崩、滑、流的统计资料可以看出, 绝大部分地质灾害都发生在雨季(表 1)。

另外, 从滑坡的产生与暴雨的频次来看, 二者也有较好的一致性(表 2)。滑坡发生频次最多的季节是多年各月平均降雨量最多的季节, 也是暴雨出现频次最多的季节, 它们具有很好的对应关系。

从短时间的降雨过程来看, 由降雨引发的滑坡等地质灾害大多发生于降雨的中后期或略滞后。在杜榕恒等对三峡地区 1982年 7月暴雨诱发的 80多个典型滑坡的发生时间和降雨历时的统计分析中发现: 在暴雨开始后 10~12 h就开始出现滑坡, 多为浅层堆积滑坡; 在开始后 24 h内产生的滑坡约占总数的 16%; 开始后 28~30 h出现大量滑坡, 并且一些大型和巨型滑坡开始出现。另外在降雨后 48 h内产生的滑坡约占总

收稿日期: 2004-07-09 修订日期: 2004-12-22

基金项目: 西南交通大学交通运输工程研究生创新实践基地资助项目

作者简介: 张友谊(1980-), 男, 博士研究生, 主要从事地质工程研究。E-mail: youyi@126.com

数的 77%, 在 72 h 内产生的滑坡占总数的 85%^[2]。

表 1 长江上游地区雨季(5-9月)崩滑情况^[1]

Table 1 Regimes of slumping in upper reaches of Changjiang River in rainy season

地区	滑坡数量 / 个	雨季崩滑数量 / 个	所占百分比 / %
贵州毕节地区	42	40	96
重庆万县地区	294	256	87
四川凉山地区	212	203	95
川北地区	218	214	98
金沙江下游河谷	477	458	96
陇南地区	213	203	95
云南彝良县	75	71	94
合计	1531	1445	94

表 2 暴雨和滑坡各月出现频次及所占百分比^[1]

Table 2 Monthly frequency and percentage of rainstorm and landslides

地区	项目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	全年
万县地区	A	3	7	5	15	23	55	131	25	22	5	1	2	294
	B	1.02	2.38	1.70	5.10	7.82	18.70	44.56	8.50	7.48	1.70	0.34	0.68	100
	A'			1	6	17	13	27	24	20	2			110
	B'			0.91	5.45	15.45	11.82	24.55	21.82	18.18	1.82			100
岷江地区	A				1	9	46	37	41	13				147
	B				0.68	6.12	31.29	25.17	27.89	8.84				100
	A'						1	4	3	1				9
	B'						11.11	44.44	33.33	11.11				100
凉山地区	A		1		3	10	17	97	47	32	2		3	212
	B		0.47		1.42	4.72	8.02	45.75	22.17	15.09	0.94		1.42	100
	A'					1	7	6	6	1				21
	B'					4.76	33.33	28.57	28.57	4.76				100
金沙江地区	A	1		2	4	12	26	96	91	48	2		2	284
	B	0.35		0.70	1.41	4.23	9.15	33.80	32.04	16.90	0.70		0.70	100
	A'						18	24	10	11	1	1		65
	B'						27.69	36.92	15.38	16.92	1.54	1.54		100

注: A为滑坡数(个), B为滑坡总数百分比(%), A'为暴雨频次(次), B'为暴雨频次百分比(%).

2 两者在空间上的一致性

除了时间上的一致性外,二者在空间上也具有较好的一致性,即“雨量越大的地区滑坡越发育”^[3]。暴雨强度高的地区,恰恰是发生崩塌、滑坡灾害最多的地区,二者之间有较好的一致性。在暴雨过程中地质灾害发生的频率以暴雨中心最多,中心附近的次之,而稍远地区地质灾害的频率更低。如 1989年 7月 10日发生于重庆合川县和江北县相邻地区的特大暴雨中,地处暴雨中心的合川县小河区康佳乡崩滑流等地质灾害达 5~10个/km²,同在降雨中心区的江北县柳荫区偏岩乡有崩滑流 300多处,密度与康佳乡相当;与上述地区相邻的合川县清平区、江北县静观区、茨竹区降雨量稍小,地质灾害发生的频次与密度只有中心区的 3到 5成;而远离降雨中心的合川县盐井区、江北县水土镇、复兴区等只是零星发生崩滑流等地质灾害。就一个局部地区而言,地质灾害的频率具有随降雨强度减小而降低的趋势。

3 滑坡与降雨量的关系

通过对部分区县发生不同数量滑坡时累积降雨量和日降雨量的统计分析(表 3)发现:累积降雨量在 50 ~ 160mm、日降雨量在 20mm 以上时,就有小型浅层滑坡发生;当累积降雨量在 150mm 以上,日降雨量大于 100mm 时,随着降雨量的增加,滑坡的数量也增多,中等规模的堆积层滑坡和破碎岩土滑坡开始出现,当一次暴雨过程的累积降雨量在 200~ 350mm 以上,日降雨量大于 110mm 时,滑坡开始大量发生,并产生大型和巨型滑坡。李明华先生在对川北 1981 年暴雨滑坡进行研究得出了该区域滑坡发生时累积降雨量(X_n)和日降雨量(X)之间的关系:

降雨触发滑坡大量发生时的临界线为: $X = 280 - X_n$

暴雨型滑坡大量发生时的临界线为: $X = 235 - 0.96X_n$

长时间降雨发生较多滑坡时的临界线为: $X = 311 - 1.8X_n$ 。

表 3 部分区县出现不同数量滑坡时的降雨量^[2,4]

Table 3 Rain falls related to different number of landslide in partial districts and counties mm

县名	滑坡开始发生时的降雨量		滑坡大量发生时的降雨量	
	累积降雨量	日降雨量	累积降雨量	日降雨量
广元	136.0	34.0	308.5	239.0
旺苍	119.9	68.1	295.5	79.6
阆中	98.1	20.1	279.7	181.6
剑阁	109.5	89.1	253.8	129.7
盐亭	130.6	33.5	331.5	210.1
三台	168.4	74.2	452.2	283.8
射洪	91.5	87.5	349.0	112.5
忠县*	139.0	139.0	289.7	138.2
开县*	53.4	51.4	280.8	153.8
奉节*	113.7	47.9	218.9	-

对于同一规模的不同类型滑坡来说,基岩滑坡所需要的降雨量(日降雨量和累积降雨量)一般要大于土层碎屑滑坡。而对于同一类型不同规模的滑坡来说,规模大的滑坡需要较大的降雨量。虽然滑坡发育程度有随降雨量的增大而增多的趋势,但是雨量越大的地区滑坡也不一定越发育,这一增多规律也是有限的,因为滑坡的发育还受到其他因素的影响。对重庆部分区县市滑坡分布与降雨关系统计表(表 4)中就可以看出,黔江的年均降雨量和暴雨量均比其他地方要大,但是滑坡数量和滑坡密度却都小一些。

表 4 重庆市部分区县市滑坡分布与降雨关系表

Table 4 Relationship between landslide distribution and rainfall for partial districts and counties in Chongqing Municipality

区县市	滑坡数/处	滑坡密度/(处·(100km ²) ⁻¹)	平均降雨量/mm	暴雨量/mm
奉节县	85	2.074	1090	218.5
云阳县	60	1.644	1103	357.7
江津县	48	1.500	1038	188.3
巴南区	46	2.518	973.9	249.5
城口县	43	1.310	1380	232.0
长寿县	37	2.615	998.2	293.3
石柱县	31	1.029	1083	294.0
巫溪县	27	0.671	1150	261.9
黔江县	16	0.668	1306.9	327.2
南川县	16	0.615	1138.5	186.4

注:资料来源:重庆地质灾害防治规划、重庆市各区县市 1998 年汛期地质灾害检查报告等。

4 滑坡与降雨强度及降雨形式的关系

滑坡体的形成与发展,除了受坡度、坡向、坡体岩性、岩层产状、地质构造和地形地貌特征影响外,降雨是一个重要的诱发因素。降雨对滑坡的影响不仅体现在降雨量的大小上,而且还与降雨强度及不同的降雨形式有关系。在特定的地区,孕育滑坡的客观环境条件一定,往往当一定时间内降雨量超过某个阈值时,则会引发滑坡事件,而这一阈值我们通常称为临界降雨强度。一般而言,当引发滑坡发生的降雨条件具备时,多数滑坡均发生在降雨强度最大的时候或者略滞后。有学者^[2]在对长江三峡库区的滑坡与泥石流进行研究后,对暴雨触发滑坡的临界降雨强度有如下结论(见表5)。

表5 三峡库区暴雨触发滑坡的临界降雨强度

Table 5 Critical precipitation intensity triggering landslide in Three Gorge reservoir area mm

滑坡类型	降雨强度 H_1	日降雨量 H_{24}	当次累积雨量
浅层堆积层滑坡	6	30	50~100
中厚层堆积和破碎岩石滑坡	10	120	150~200
厚层大型堆积层和基岩滑坡	13	150	250~300

注: H_1 表示1h的降雨量, H_{24} 表示1d的降雨量。

降雨形式(雨型)一般划分为久雨型和暴雨型。久雨型降雨时间长,强度小,以中、大雨为主,与小雨、偶与暴雨组合,降雨时间6~10d,其间雨停时间不超过2d,暴雨型降雨时间短,强度大,以暴雨和大暴雨为主,与大雨和特大暴雨组合,形成一个完整的降雨过程。两种雨型在同样的地质地貌条件下,触发滑坡的累积降雨量和日降雨量存在着明显的差别。暴雨型滑坡的累积降雨量比久雨型滑坡偏低,而对于日降雨量而言,暴雨型滑坡比久雨型偏高,但同时两种雨型随着累积降雨量的增加,触发滑坡的日降雨量都有减少的趋势。

5 降雨对强度参数的影响

降雨是诱发滑坡的重要降雨使滑带土的 c 、 φ 值大幅度降低。例如黄土当含水量小于15%时, c 、 φ 值均较大($c=57\text{kPa}$ $\varphi=28.4^\circ$),但当含水量接近饱和状态时, c 、 φ 值均降低($c=26\text{kPa}$ $\varphi=18.9^\circ$)。红土的含水量增加到35%时,抗剪强度会降低60%以上,泥岩和页岩饱水时的抗剪强度比天然状态下的抗剪强度降低30%~40%。降雨还能溶解土石中的易溶物质,使土石成分发生变化,并使岩石和岩体结构受到破坏,发生崩解和泥化现象,从而使土石的抗剪强度降低,在斜坡上最终导致滑坡的发生。这是造成突发性滑坡的重要原因,一般主要发生在降雨之后,主要原因是雨水入渗引起非饱和土的基质吸力减小,土粒间胶结软化,吸附凝聚力减小。降雨强度愈均匀,持续时间愈长,滑坡的稳定安全系数愈低^[8]。

通过对四川省雅安市峡口滑坡体三种不同类型土在不同含水状态下的剪切试验,表明强度参数随含水率的增加而降低的效应是非常显著的。从表6可以看出,以粗碎屑土为特征的块碎石土、碎石土在不同含水条件下,强度参数有所降低,但下降幅度并不大,例如以块碎石土为例, w 从7.4% \rightarrow 12.4%,相应的 φ 从39.8 \rightarrow 34.0 $^\circ$,降低幅度为14.6%。而以细粒土的粉质粘土而言,强度参数下降幅度较大, w 从16% \rightarrow 26%,相应的从25.0 \rightarrow 14.3 $^\circ$,降低幅度为42.8%。这说明不同类型土体,水的浸泡效应并非完全一样,即粗碎土反应较弱,而细粒土则反应较明显。

表6 四川雅安峡口滑坡三种土体在不同含水条件下强度参数试验值

Table 6 Strength parameters of three kinds of soil under different moisture content for Xiaokou Landslide in Yaan, Sichuan

土样名称	$w = 7.4\%$		$w = 8.4\%$		$w = 9.4\%$		$w = 10.4\%$		$w = 11.4\%$		$w = 12.4\%$	
	c/kPa	$\varphi/^\circ$	c/kPa	$\varphi/^\circ$	c/kPa	$\varphi/^\circ$	c/kPa	$\varphi/^\circ$	c/kPa	$\varphi/^\circ$	c/kPa	$\varphi/^\circ$
块碎石土	25.5	39.8	20.1	38.6	12.4	37.5	9.6	36.8	9.0	35.7	8.8	34.0
碎石土	30.2	37.3	27.2	36.1	20.1	34.8	18.2	33.6	12.7	32.3	9.3	31.1
粉质粘土	$w = 16.0\%$		$w = 18.0\%$		$w = 20.0\%$		$w = 22.0\%$		$w = 24.0\%$		$w = 26.0\%$	
	c/kPa	$\varphi/^\circ$	c/kPa	$\varphi/^\circ$	c/kPa	$\varphi/^\circ$	c/kPa	$\varphi/^\circ$	c/kPa	$\varphi/^\circ$	c/kPa	$\varphi/^\circ$
	138.2	25.0	112.3	23.4	97.6	20.4	52.8	18.3	37.7	16.2	32.9	11.2

注:颗粒密度中,块碎石土为2.70,碎石土2.71;粉质粘土2.72。

6 展望

滑坡与降雨之间的关系,有很多学者已经对其进行过较多的研究,他们从不同的方面和角度对降雨与滑坡灾害进行研究,已取得了不少成果^[2,4-7]。综观这些研究成果,主要有两种方法:雨量分析法和地质—气象耦合分析。其中雨量分析法,判断较为简便、直观,适用与区域上的、较大范围的预测报告,但由于没有考虑当地的地质条件,成因分析不是很严密,无法就一个具体的“点”或较小范围的地质灾害作出科学预报,所以并不完善。地质—气象因素耦合分析,考虑了地质和气象这两方面对暴雨诱发地质灾害诸因素的作用,比较全面,使用也不很复杂。但人为的因素或凭借经验的地方较多,缺乏一些具体的、量化的指标,需要根据以往的资料不断校核才能得到较为满意的模式。诸学者均是从降雨历时、降雨量、降雨强度及降雨形式等方面对滑坡与降雨之间的关系进行研究分析的,得出的成果也需要长期的观察资料来支撑和不断的实践来验证,同时其研究成果的应用范围也存在一定的局限性,一般只适用于本区域或相类似的区域。因此,笔者认为今后研究滑坡与降雨的关系时,应在充分利用气象部门提供的资料或与气象部门合作的基础上重点区域研究与广泛性研究相结合,既要重点研究灾害严重地区,又要兼顾灾害发育的一般地区。对于地质灾害严重地区可以建立地质灾害预警示范区,同时还应该充分利用现代高新技术(如GPS、RS、GIS、神经网络技术及雷达探测技术等)建立地表位移、地下位移、地下水和降雨监测为主要内容的单体滑坡多参数综合监测系统,揭示滑坡体变形机理;建设由降雨量自动观测、斜坡岩土体渗流观测及遥感监测相结合的区域地质灾害监测系统,建立基于GIS系统的监测预警分析系统,实现对示范区地质灾害的空间预警和时间预警,而这些研究因素又是不同学科研究的主要对象,因此,在研究滑坡与降雨的关系时,应实现跨学科(如地质、气候气象、地理、信息科学等)、跨专业的横向合作,进行系统的分析研究。

参考文献:

- [1] 张先发,李明华,张小刚. 长江上游暴雨与滑坡崩塌关系[J]. 地理, 1995, 8(3): 101-106
- [2] 杜榕桓,刘新民,等. 长江三峡工程库区滑坡与泥石流研究[M]. 成都:四川科学技术出版社, 1991: 33-36
- [3] 钟萌乾. 滑坡与降雨关系及其预报[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1998, 9(3): 81-86
- [4] 李明华. 降雨滑坡的区域性预测预报研究[M]. 成都:中国科学院成都地理研究所, 1985: 13-25
- [5] 曲焰. 蠕变滑动与降雨量的相关关系[C]//滑坡论文选集编辑委员会: 1987年全国滑坡学术讨论会滑坡论文选集. 成都:四川科学技术出版社, 1989: 198-204
- [6] 晏同珍,杨顺安. 崩塌滑坡灾害群发性初探[J]. 灾害学, 1987, 9(3): 23-24
- [7] 申曙光. 灾害生态经济研究[M]. 长沙:湖南教育出版社, 1989: 188
- [8] 姚海林,郑少河,陈守义. 考虑裂隙及雨水渗入影响的膨胀土坡稳定性分析[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(5): 606-609.