

区域滑坡频度预测和趋势研究

樊晓一

(西南科技大学 土木工程与建筑学院, 四川 绵阳 621010)

摘要: 区域滑坡危险度评价是区域滑坡防灾减灾的重要研究内容。基于区域滑坡过去一定时期的滑坡资料对未来一定时期的滑坡发生频度预测和趋势研究可为区域滑坡危险度进行动态评价。结合三峡库区万州区滑坡资料, 对其进行时间记录分析, 研究其不同面积等级不同时间范围的 Hurst 指数经验关系。分别建立了时间范围 1980—1990 年, 1980—1995 年和滑坡面积 $M > 1\ 000\ \text{m}^2$, $M > 10\ 000\ \text{m}^2$, $M > 100\ 000\ \text{m}^2$ 的 Hurst 指数经验关系。根据 Hurst 指数对其未来 5 a 的滑坡频度的最大涨落范围进行预测。并分析时间相关函数与 H 值的函数关系, 为滑坡发展趋势进行定量预测。研究表明, 区域滑坡频度预测可为区域滑坡危险度进行动态评价。

关键词: 时间记录; 频度预测; 发展趋势; 滑坡

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)03-0092-04

中图分类号: P642.22

Frequency Forecast and Trend of Regional Landslides Based on Time Record

FAN Xiao-yi

(School of Civil Engineering and Architecture, Southwest University of
Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China)

Abstract: The risk degree assessment of regional landslide is a research topic important to the disaster prevention and landslide alleviation. According to the data of landslides, the future landslide frequency and its trend can be forecast and the forecast can dynamically evaluate the risk degree of regional landslides. Based on the landslide data in Wanzhou of the Three Gorges Reservoir area, the time records were analyzed and the Hurst index of the different regional ranks and time extensions was studied. The experimental relationships of the Hurst indexes for the landslide areas of $M > 1\ 000\ \text{m}^2$, $M > 10\ 000\ \text{m}^2$, and $M > 100\ 000\ \text{m}^2$ in 1980—1990 and 1980—1995 were acquired respectively. According to the Hurst indexes, this method forecasted the maximum fluctuation of landslides in the future 5 years. The function relationship between time correlation and the Hurst indexes was studied by Fractional Brownian Motion. The relationship forecasted quantitatively the development trend of regional landslides. It is showed that the frequency forecast of regional landslides can dynamically evaluate the risk degree of regional landslides.

Keywords: time record; frequency forecast; development trend; landslide

区域滑坡频度预测与发展趋势研究是滑坡危险性评价与区划的重要研究方面。滑坡在一定时期的发生和发展规律是区域地形地貌在其特定的自然环境条件下长期演化的结果, 区域滑坡的发生规律制约了滑坡危险性评价与区划的结果。区域滑坡在一定时期的发生规律体现在滑坡的频度分布和发展趋势, 陈剑等^[1]通过整理和分析三峡库区滑坡的测年资料, 表明三峡地区的大型滑坡发生频度在晚第四纪历史上分布的不均匀性; 李军等^[2]利用 1984—1996 年香

港岛滑坡资料, 研究了年际、月份和发生时刻的频度分析。Okagbue^[3]、Gorsevski 等^[4]和 Cuesta 等^[5]进行了滑坡时间分布的季节和月份的频度分布。Dikau 和 Schrott^[6]重建了欧洲滑坡事件的历史频度分布。李树德^[7]将我国建国以来的重大滑坡灾害划分了 4 个滑坡频度的活跃期, 并对其发展趋势进行了预测, 认为 1998—2001 年为第 5 个活跃期阶段。

国内外学者对滑坡预测^[8-9]和滑坡危险性评价与分区的研究取得了丰富的成果^[10-14], 而关于区域滑坡

收稿日期: 2009-10-18

修回日期: 2010-01-16

资助项目: 科技部国际合作项目“大地震诱发滑坡的分布规律及危险性评价方法研究”(2009DFB20196, 2008BA K50B04); 四川省教育厅重点项目“滑坡对山区建筑的损毁和掩埋机制研究”(09ZA130); 西南科技大学科研基金“三峡库区滑坡分布规律研究”(07ZX7133)

作者简介: 樊晓一(1974—), 男(汉族), 四川省双流县人, 博士, 副教授, 主要从事地质灾害防灾减灾及危险度评价研究。E-mail: xyfan1003@yahoo.com.cn.

发生频度和发展趋势预测问题的研究相对较少。区域滑坡的预测是进行滑坡危险性区划和滑坡减灾防灾管理的有效措施。在滑坡危险性评价和区划中,主要的评价和区划结果是将评价区域划分为不同危险区,这些不同等级的危险区域主要表明发生滑坡的可能性的 大小,而对于发生滑坡的发生频度和发展趋势的涉及程度不够。在进行区域滑坡危险性评价和区划时,结合评价区域的滑坡发生频度和发展趋势的预测结果,可进一步提高评价和区划结果的可靠性,也可进行评价结果与预测结果相互印证,丰富区域滑坡危险性评价和区划的内容。

2009 年三峡工程将全面竣工,其将发挥防洪、发电、航运等巨大的综合效益。但三峡库区历来是我国滑坡的多发区,科学把握滑坡的分布规律和预测问题对于三峡工程的安全运营和库区社会经济的发展有着重要的意义。万州区是三峡库区滑坡灾害的多发区^[15],发生的滑坡数目因年而异,表现出强烈的统计起伏性。因此,掌握其分布和发展规律,正确地确定滑坡年频度及其发展趋势就显得十分重要。本文根据万州区 1980—2000 年的滑坡资料,研究其 Hurst 指数关系,探讨基于 Hurst 指数的区域滑坡数量在未来一定时间范围的预测模型,并与滑坡资料进行比较,验证其研究方法的可靠性。探讨其时间分布的规律以及对 该区域滑坡发生频度和发展趋势预测进行研究。

1 研究区滑坡概况

三峡库区历来是我国滑坡灾害的多发区,每年因滑坡灾害造成巨大的经济损失和人员伤亡。研究区广泛分布着侏罗系和三叠系地层的泥岩、砂岩和砂泥岩互层,这些地层控制着滑坡的发育^[16-17]。降雨是该区域滑坡的主要诱发因素,雨量集中且多强降雨,泥岩、砂岩和砂泥岩地层使地下水容易富集使岩层软化导致坡体失稳滑动产生滑坡。就滑坡面积而言,其规模从几百、几千平方米的小型滑坡到上百万平方米的特大型滑坡都有分布。并且该区域还是我国大型特大型滑坡发育的集中区域之一。在时间分布上,1993 年以前发生的滑坡以自然因素为主,1993 年后由于三峡工程的建设人为诱发了许多的边坡。

本文研究资料选取了 1980 年以来的自然因素诱发滑坡面积大于等于 1 000 m² 的 325 个滑坡数据。在野外滑坡资料的调查中,滑坡的规模可以根据滑坡面积和滑坡体积来确定。而在确定滑坡体积时,滑坡的厚度的确定存在一定的困难,并且在滑坡的不同位置其厚度也有较大的差异,因此许多资料得到的滑坡体积都不够准确。而滑坡的面积可以较为准确的获得。表 1 给出了万州区 1980—2000 年滑坡时间分布规律。可以看出,滑坡数目在时间分布上呈现出波状起伏的特征。

表 1 万州区不同规模滑坡数量年际分布

滑坡规模/m ²	1980 年	1981 年	1982 年	1983 年	1984 年	1985 年	1986 年	1987 年	1988 年	1989 年	1990 年
> 1 000	3	0	8	3	3	4	9	9	4	15	4
> 10 000	1	0	7	3	2	3	4	6	2	11	3
> 100 000	0	0	2	1	1	0	3	3	0	3	0
滑坡规模/m ²	1991 年	1992 年	1993 年	1994 年	1995 年	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年	2000 年	
> 1 000	19	38	50	14	21	20	24	51	2	24	
> 10 000	14	21	27	10	9	13	15	41	1	22	
> 100 000	4	6	7	1	1	1	1	13	1	5	

2 研究方法

当我们研究一个给定区域内滑坡面积大于等于 M 的滑坡时,我们可以得到一系列每年的滑坡数目:

$$N(t_1), N(t_2), N(t_3), \dots \quad (1)$$

可以将 (1) 看成是一个随机的时间记录,对于给定的 年,定义 N 为 年内发生滑坡的平均年频度:

$$N = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t N(t) \quad (2)$$

定义 X(t,) 为 t 年份的累计离差:

$$X(t,) = \sum_{u=1}^t [n(u) - N], 1 \leq t \quad (3)$$

X(t,) 的极大值与极小值之差称之为极差,用 R () 表示:

$$R () = \max X(t,) - \min X(t,) \quad (4)$$

式中:t——离散的年份; ——研究时间分布的总长度。

定义 S () 是 N(t) 的均方差:

$$S () = \left\{ \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t [N(t) - (N)]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

则:

$$R/S \quad H \quad (6)$$

式中:H——Hurst 系数,其值是位于 [0, 1] 区间的常数^[18]。

3 研究结果

将三峡库区滑坡时间记录看成一个随机系列,对其进行 R/S 的分析。在这里得出的 $R()$,是指在期间可能记录的最大滑坡数目与最小滑坡数目之差,这是滑坡频度问题上 $R()$ 的实际意义。图 1 给出了滑坡面积大于 1 000, 10 000 和 10 000 m^2 的滑坡在 1980—1990 年的 R/S 分析结果。

图 2 给出了滑坡面积大于 1 000, 10 000 和 10 000 m^2 的滑坡在 1980—1995 年的 R/S 分析结果

(图 1 中的实心点代表分析结果;曲线代表 Hurst 经验关系)。

由图 1,图 2 的分析可得:滑坡规模大于 $10^3 m^2$ 时,Hurst 系数由 1980—1990 年的 0.921 7 增加到 1980—1995 年的 0.963 8;滑坡规模大于 $10^4 m^2$ 时,Hurst 系数由 1980—1990 年的 0.823 4 增加到 1980—1995 年的 0.936 9;滑坡规模大于 $10^5 m^2$ 时,Hurst 系数由 1980—1990 年的 0.794 2 增加到 1980—1995 年的 0.885。Hurst 系数都呈增加的特征,这与滑坡数量在此时期的增加特征相一致。

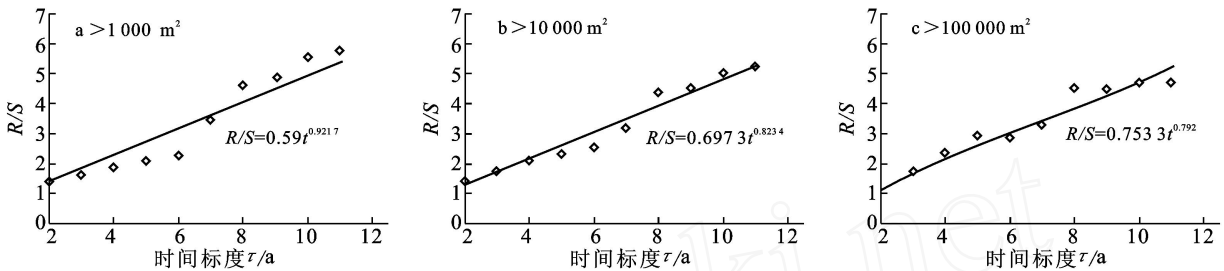


图 1 不同滑坡面积 1980—1990 年的 Hurst 指数

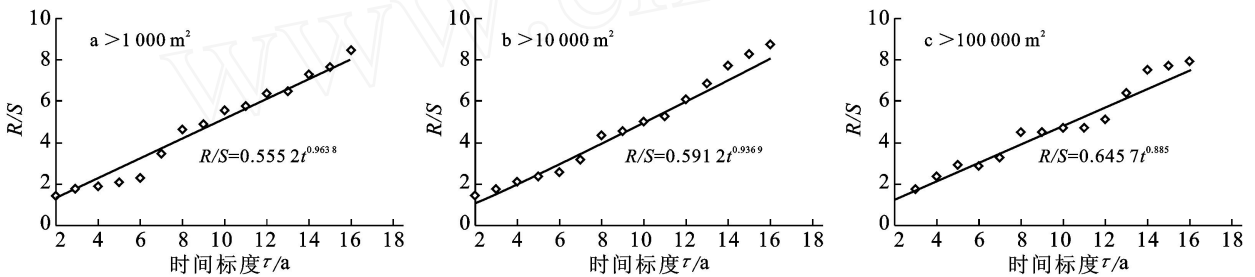


图 2 不同滑坡面积 1980—1995 年的 Hurst 指数

4 滑坡频度的最大涨落分析

R/S 分析结果不仅展示了滑坡发生的规律性,而且对于滑坡预测和滑坡危险性评价也具有实际应用意义。当我们研究某一地区今后 T 年的滑坡危险性时,最关键的问题是对滑坡发生频度的确定性做出估计。对于规模为 M 级滑坡可以计算出它的平均发生时间 t_m ,由 $T/t_m = n$ 得到该时间记录的相对长度,这时可以利用 Hurst 经验公式:

$$R/S \sim n^H \quad (7)$$

由于这种时间单位是根据规模等级的大小而选取的,所以 $N(t)$ 的取值多数为 1,少数为 0, 2, 3, ..., 极少数为 4, 5, ..., 一般可以认为 $N(t)$ 的均方差 S 为 1。因此就可对 T 年中规模为 M 级滑坡发生次数的涨落做出估计。

一个地区的滑坡年频度往往表现出强烈的统计起伏性。正确估计年频度及其统计涨落,对于滑坡危险性分析、滑坡工程等都很必要。滑坡年频度问题中

的极差 $R()$ 就是 年期间可能记录到的最大滑坡数目和最小滑坡数目之差。在研究某一地区今后 T 年的滑坡危险性时,一个关键问题是对滑坡发生频度的不确定性做出估计,极差 $R()$ 就可以作为滑坡频度不确定性的描述。对于一段有限时间内的滑坡资料有:

$$R() / S() \sim n^H \quad (8)$$

如果假定滑坡时间序列是准平稳的,即均方差 $S()$ 随时间标度的变化很小,由公式(8)对研究的时间标度进行变换,就可以预测未来 5 a 内滑坡频度的涨落 $R(5)$ 。对于未来时间内滑坡频度最大涨落就给出了一个定量、保守的估计(表 2)。预测值由统计年限内的最大滑坡数量加上未来一定年限内的滑坡频度的最大涨落值。同样道理,在滑坡时间间隔序列中也可以进行标度变换,就可以得出等待 N 个滑坡需要时间的最大涨落。这在滑坡预报和滑坡危险性分析中有很重要的意义。

预测结果显示,大于 $10^3 m^2$ 的预测滑坡最大值与实际滑坡值有较大的差异,但根据 1980—1990

年的滑坡数据预测 1991—1995 年的滑坡值中,有 3 个年份的滑坡值在预测范围内,且其平均值与预测值相当。在大于 10^4 m^2 和 10^5 m^2 的预测滑坡值实际值吻合程度较好。

表明规模较小的滑坡易受人类工程活动的影响,造成自然诱发的滑坡资料不够准确;而较大规模的滑坡主要受自然因素的诱发,人类的工程活动影响较小,预测结果的可靠性较高。

表 2 滑坡各面积未来 5 a 的滑坡频度的预测值与实际值

滑坡面积/ m^2	统计时间	滑坡数量/个	H	$R(5)$	未来 5 a 的滑坡数量最大值	
					预测值	实际值
$> 10^3$	1980—1990	62	0.921 7	13	28	50(1993)
	1980—1995	204	0.963 8	31	81	51(1998)
$> 10^4$	1980—1990	42	0.823 4	8	19	20(1993)
	1980—1995	123	0.936 9	18	45	41(1998)
$> 10^5$	1980—1990	13	0.794 2	3	6	7(1993)
	1980—1995	32	0.885 0	5	12	13(1998)

5 滑坡发生趋势分析

滑坡的发生可以看作是随机事件,根据随机事件的布朗运动模型。建立过去函数的变化与未来函数的变化时间相关函数^[18]:

$$C(t) = \frac{[-B_H(-t)B_H(t)]}{[B_H(t)^2]} 2^{(2H-1)} - 1 \quad (9)$$

式中: $B_H(-t)$ ——过去 t 时间范围的布朗函数; $B_H(t)$ ——未来 t 时间范围的布朗函数; H ——Hurst 指数。

从式(9)可以得到:

当 $H = 1/2$ 时, $C(t) = 0$, 即过去的增量与未来的增量不相关。

当 $H > 1/2$ 时, $C(t) > 0$, 即未来的增量与过去的增量呈正相关,也就是说,在过去有一时刻有一正的增量,那么将来平均来说有一个正的增量,这时,称这段过程具有持久性。因此用平均的观点来看,过去的一个增长趋势意味着将来的增长趋势;反之过去的一个减少趋势意味着将来的一个减少趋势。

当 $H < 1/2$ 时, $C(t) < 0$, 即未来的增量与过去的增量呈负相关,也就是说,在过去有一时刻有一正的增量,那么将来平均来说会是一个负的增量,这时,称这段过程具有反持久性。对这样的过程推出了与 $H > 1/2$ 的完全相反的结论,即过去的增加趋势意味着未来的减小趋势。

6 结论

目前滑坡危险度评价理论和方法都是基于过去区划内滑坡资料的统计分析,建立滑坡敏感因子评价区域滑坡的危险度。而对滑坡的未来频度预测和发展涉及较少。 R/S 方法称为“改变时间尺度范围的分析”。运用 R/S 方法对滑坡数量年际分布进行时间

记录分析,建立区域滑坡频度预测的经验关系。根据预测值可对滑坡未来一定时期的发生频度进行预测。根据滑坡发展趋势判别模型,研究未来一定时期区域滑坡的发展趋势。

运用 R/S 方法的滑坡预测结果表明,对于规模大于 10^4 m^2 及其以上的滑坡,预测精度较高,规模较小的滑坡易受人类工程活动的影响,造成自然诱发的滑坡资料不够准确;而较大规模的滑坡主要受自然因素的诱发,人类的工程活动影响较小,预测结果的可靠性较高。根据式(9)的分析判别,在研究的规模等级和时间范围内,Hurst 指数都大于 0.5,表明滑坡未来的增量与过去的增量呈正相关,根据图 1 的演化趋势判别,滑坡发育呈增加的趋势,滑坡的活动将处于一个活跃期。

已有的区域滑坡危险性评价与区划的研究是一种静态评价与区划的结果,反映了区域滑坡历史的分布规律,本文的研究方法为区域滑坡危险性的动态评价与区划提供了研究思路。而且,目前一些滑坡评价与区划的结果在时间和空间的验证上存在一定的难度,利用此研究方法可提取不同评价和区划的滑坡数据进行滑坡频度预测和发展趋势分析,以验证评价与区划结果的可靠性。

[参考文献]

- [1] 陈剑,李晓,杨志法.三峡库区滑坡的时空分布特征与成因探讨[J].工程地质学报,2005,13(3):305-309.
- [2] 李军,周成虎,许增旺.香港岛地区滑坡灾害的时空分布模式[J].山地学报,2001,19(3):248-252.
- [3] Okagbue C O. Classification and distribution of recent historic landslides in southern Nigeria[J]. Engineering Geology, 1997,37(3/4):263-270.

(下转第 143 页)

统计备案,管理员根据需求增减站点,系统根据最新站点列表选择其是否参与统计计算。(5) 计算模型管理:所有涉及到计算的代码程序都以 DLL 库文件管理,每个 DLL 库文件指定一个模型计算过程。(6) 自动服务功能管理:主要包括数据获取、数据解译、计算、传送等。自动服务程序在指定的时间内启动,保证数据的及时更新。(7) 要素管理:在系统中要求对所有出现在程序代码中的原始数据要素、统计要素、指数名称都需要进行标示,以方便源程序引用,同时也方便在以后的升级扩展中使用。(8) 色标管理:描述图形中的数据等级,以不同颜色来表现。

3.6 系统应用情况

本系统在 2008 年投入业务运行。由于系统数据库内容丰富,功能完善,监测、预测和预警计算指标全面,能够同时满足对气候监测预测、干旱预警、农业生态监测等多个业务的支持,因此在干旱监测预警业务中应用广泛,目前本系统已经在西北 4 省区相关单位进行了应用和推广。

[参 考 文 献]

- [1] 中国天气网. 2006 年川渝干旱 [EB/OL]. <http://www.weather.com.cn/static/html/article/20090218/24736.shtml>
- [2] 宋连春,邓振镛,董安祥,等. 干旱[M]. 北京:气象出版社,2003:8-10.
- [3] 邓振镛,尹宪志,郝志毅,等. 干旱与可持续发展及防旱减灾技术的研究[J]. 气象科技,2004,32(3):23-27.
- [4] 尹宪志,邓振镛,董安祥,等. 甘肃省近 50 年干旱灾情研究[J]. 干旱区研究,2005,22(1):38-41.
- [5] 温秀梅,丁学钧. C++ 语言程序设计教程与实验[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [6] 王晟. C++ Builder 数据库开发经典案例解析[M]. 清华大学出版社,2005.
- [7] 郭文夷,戴芳胜. C++ Builder 6.0 程序设计[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2004.
- [8] 徐启运,张强,张存杰,等. 中国干旱预警系统研究[J]. 中国沙漠,2005,25(5):785-789.
- [9] 刘治国,王遂缠,林纾,等. 西北干旱监测预测业务服务综合系统的开发与应用[J]. 气象科技,2006,34(4):485-489.
- [10] 研究[J]. 自然灾害学报,2000,9(1):68-71.
- [12] 叶正伟. 长江新滩滑坡的历史分析,趋势预测与启示[J]. 灾害学,2000,15(3):30-34.
- [13] Anbalagana R, Bhawani S. Landslide hazard and risk assessment mapping of mountainous terrains: A case study from Kumaun Himalaya, India[J]. Engineering Geology, 1996, 43(4):237-246.
- [14] Fausto G, Alberto C, Mauro C, et al. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study Central Italy[J]. Geomorphology, 1999,31(1):181-216.
- [15] 欧阳祖熙,王明全,张宗润,等. 用 GPS 技术研究三峡工程万州库区滑坡的稳定性[J]. 中国地质灾害与防治学报,2003,14(2):76-81.
- [16] 乔建平,吴彩燕,田宏岭. 三峡库区云阳—巫山段地层因素对滑坡发育的贡献率研究[J]. 岩石力学与工程学报,2004,23(17):2920-2924.
- [17] 李守定,李晓,张年学,等. 三峡库区侏罗系易滑地层沉积特征及其对岩石物理力学性质的影响[J]. 工程地质学报,2004,12(4):385-389.
- [18] 陈颢,陈凌. 分形几何学[M]. 北京:地震出版社,1998:152-156.
- (上接第 95 页)
- [4] Gorsevski P V, Gessler P, E, Boll J, et al. Spatially and temporally distributed modeling of landslide susceptibility[J]. Geomorphology, 2006,3:124-134.
- [5] Cuesta M J, Sanchez M J, Garcia A R. Press archives as temporal records of landslides in the North of Spain: relationships between rainfall and instability slope events[J]. Geomorphology, 1999,30:125-132.
- [6] Dikau R, Schrott L. The temporal stability and activity of landslides in Europe with respect to climatic change (TESLEC): main objectives and results[J]. Geomorphology, 1999,30:1-12.
- [7] 李树德. 中国滑坡泥石流灾害的时空分布特点[J]. 水土保持研究,1999,6(4):33-37.
- [8] 殷坤龙. 滑坡灾害预测预报分类[J]. 中国地质灾害与防治学报,2003,14(4):12-18.
- [9] 许强,黄润秋,李秀珍. 滑坡时间预测预报研究进展[J]. 地球科学进展,2004,19(3):478-483.
- [10] 吴树仁,胡道功,谭成轩,等. 长江三峡库首区滑坡灾害空间预测[J]. 中国地质灾害与防治学报,1998,9(3):141-147.
- [11] 乔建平,赵宇,杨文. 四川省及重庆市滑坡危险度区划