

# 滑坡文集

(第十集)



中国铁道出版社

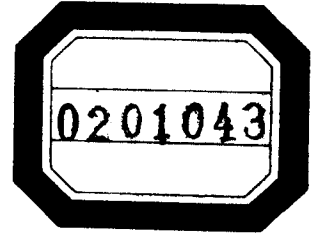


006604 水利部信息所

|           |         |
|-----------|---------|
| 水利部水利部水利部 |         |
| 图书号       |         |
| 分类号       | P642.21 |

# 滑 坡 文 集

(第 十 集)



滑坡文集编委会 主编

中 国 铁 道 出 版 社

1 9 9 3 年 · 北 京

(京)新登字063号

内 容 简 介

本集选稿21篇，主要内容有：大型高速滑坡滑动原因的探讨；厂矿及渠道粘土滑坡的勘测与防治；自然滑坡的灾害链及滑坡预测预报理论；锚索抗滑桩的设计计算及试验验证；计算机辅助设计在刚性抗滑桩设计中的应用等。文集最后附有每篇文章的英文提要，以便国际交流。

本文集可供工程地质工作者及土建工程设计者参考。

滑 坡 文 集

(第十集)

滑坡文集编委会 主编

\*

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条14号)

责任编辑 张苍松 封面设计 翟 达

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

---

开本：787×1092毫米1/16 印张：10.25 字数：245千

1993年7月 第1版 第1次印刷

印数：1—1500册

---

ISBN7-113-01360-0/TU·293 定价：6.60 元

## 滑坡文集编辑委员会

(甘肃省兰州市民主东路219号, 730000)

**主任委员:** 李 嘉 (铁道部科学研究院西北研究所)

**副主任委员:** 徐邦栋 (铁道部科学研究院西北研究所)

**委 员:** (以姓氏笔画为序)

马 骥 (铁道部科学研究院西北研究所)

于济民 (铁道部科学研究院西北研究所)

王少东 (中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所)

王传仁 (交通部第一公路勘察设计院)

王恭先 (铁道部科学研究院西北研究所)

叶宗荣 (铁道部第三勘测设计院)

刘光代 (铁道部科学研究院西北研究所)

刘祥海 (西南交通大学)

池淑兰 (西南交通大学)

陈 健 (中国铁道出版社)

陈自生 (中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所)

陈德基 (水电部长江勘测技术研究所)

陆玉琬 (铁道部第二勘测设计院)

余正祥 (铁道部第二勘测设计院)

孟英喆 (铁道部第一勘测设计院)

居恢扬 (上海铁道学院)

施以仁 (中国铁道出版社)

徐凤鹤 (铁道部第四勘测设计院)

晏同珍 (中国地质大学、武汉)

程鸿寿 (铁道部科学研究院西北研究所)

**常务编委:** 刘光代 (铁道部科学研究院西北研究所)

**秘 书:** 张永生 (铁道部科学研究院西北研究所)

# 目 录

## 一、滑坡灾害的预测预报

1. 长江三峡东区崩滑灾害趋势预测……………晏同珍 (1)
2. 自然滑坡的灾害链……………陈自生 (6)
3. 滑坡时间预报理论与报警装置……………于济民 (13)
4. 时间序列分析在苏联滑坡活跃时期预报中的应用……………刘铁良 (19)

## 二、滑坡滑动原因的探讨

5. 昔格达组地层易滑性研究……………黄俊 (28)
6. 大型岩石滑坡高速滑动原因探讨……………刘祥海 (36)
7. 高速滑坡形成诸问题探讨……………徐峻龄 (43)
8. 崩塌实例及形成机理分析……………仇祥凯 (49)
9. 红崖地区滑坡分类及成因机理分析……………瞿平华 王松龄 (54)
10. 谷坡发育中的地应力因素……………陈自生 (60)
11. 研究岩石滑坡的工程力学方法……………张玉芳 张华 (65)
12. 再现岩石滑坡构造裂面的物理模型实验……………邓庆芬 (71)

## 三、滑坡灾害及防治措施

13. 略阳电厂滑坡及其防治……………王传仁 (76)
14. 驷马山引江水道切岭段滑坡简介……………徐业平 (85)
15. 溇史杭灌区渠道滑坡现状分析及防治工作的回顾……………伍宛生 朱均玉 林树清 (91)
16. 混凝土抗滑键在治理滑坡中的应用……………丁乾鼎 (101)
17. 陕西省铁路沿线滑坡特点与治理……………杨天株 (106)
18. 陕飞182厂三区二棕膨胀土滑坡勘测与治理……………马惠民 王文灿 (113)

## 四、抗滑桩的设计与计算

19. 锚索抗滑桩的设计计算及其试验验证……………励国良 (121)
20. CAD在刚性抗滑桩设计中的应用……………朱本珍 赵萧菖 (132)

## 五、岩石边坡稳定性的判别分析

21. 铁路岩石边坡稳定性分类的逐步判别分析……………魏安 蒋爵光 (141)
- 英文提要…………… (147)

# PROCEEDINGS OF LANDSLIDES

## Volume Ten

### Contents

#### I Forecast and Prediction of Landslide Disasters

1. Trend Forecast of Landslide-Rockfall Hazards in East Area of the Three Gorges , Yangtze River.....Yan Tongzhen (1)
2. Disaster Chain of Natural Landslides.....Chen Zisheng (6)
3. Theory of Predicting the Time of Occurrence of Landslide and Warning Facility.....Yu Jimin (13)
4. The Application of Time Series Analysis in Predictions During Landslide Acting in USSR .....Liu Tieliang (19)

#### II Discussion on the Slipping Cause of Landslide

5. Study on the Easy-Slide Properties of the Xigeda Stratum  
.....Huang Jun (28)
6. Discussion on the Reasons of Enormous Rock Slide with High Speed  
.....Liu Xianghai (36)
7. Discussion on the Formation of High Speed Landslide .....Xu Junling (43)
8. The Examples of Collapse and Analysis of its Occurring Mechanism  
.....Chou Xiangkai (49)
9. Classification and Mechanism Analysis of Landslides in Hongai Area  
.....Zi Pinghua and Wang Songling (54)
10. The Terrestrial stress Element in the Developing Process of the Valley Slope.....Chen Zisheng (60)
11. The Engineering Geomechanical Method for Rock Slides  
.....Zhang Yufang and Zhang Hua (65)
12. The Physical Model Test of Structural Surface of Rock Slides  
.....Deng Qingfen (71)

#### III Landslide Disasters and Control Measures

13. Landslides and Their Control in Lueyang Electro Power Plant  
.....Wang Chuanren (76)
14. Brief Introduction about the Landslides in Qieling Section of Simashan Canal.....Xu Yieping (85)
15. The Present Situation Analysis of the Canal Landslides in Pisinang Irrigation District and the Review of the Control Work

|  |  |                                    |
|--|--|------------------------------------|
| .....  | Wu Wansheng, Zhu Junyu and Lin Shuqing | (91)                               |
| 16. The Application of Concrete Anti-Slide Key to Landslide Control  | .....                                  | Ding Qianding (101)                |
| 17. The Characteristics and Treating Measures of Landslide along the Railway Lines in Shaanxi Province.....    | Yang Tianzhu                           | (106)                              |
| 18. Surveying and Controlling a Swelling Soil Landslide in 182 Factory of Shaanxi Airplane Manufacture Company | .....                                  | Ma Huimin and Wang Wencan (113)    |
| <b>IV Design and Calculation of Anti-Slide Pile</b>  |  |                                    |
| 19. The Design Calculation for Stabilizing Pile with Anchor Cable and its Test Verification.....               | Li Guoliang                            | (121)                              |
| 20. The Application of CAD in Rigid Anti-Sliding Pile Design   | .....                                  | Zhu Benzhen and Zhao Suchang (132) |
| <b>V Discrimination Analysis for the Stability of Rock Slope</b>   |  |                                    |
| 21. Progressive Discrimination Analysis for the Classification of Stability of Railway Rock Slopes.....        | Wei An and Jiang Jueguang              | (141)                              |
| Abstracts in English .....   |  | (147)                              |

### 《滑坡文集》第十一集主要内容预告

1. 滑坡空间形态确定、动态监测及锚索抗滑桩技术的系列研究成果；
2. 不同地区、不同类型滑坡灾害的原因分析及整治措施；
3. 边坡稳定分析和滑坡勘探技术的改进方法；
4. 滑坡事件数据库的规划设计思想。

这些内容反映了我国近期在滑坡系列研究、稳定性分析、宏观预测、整治措施和滑坡事件数据库的规划设计等方面的新进展。可供从事这方面工作者参考。

# 长江三峡东区崩滑灾害趋势预测

中国地质大学(武汉)

晏同珍

## 提 要

借助于河流水文学体积流量概念、天文学可公度性以及灰色系统数据处理技术,本文对长江三峡东区崩滑前期记录予以利用,分别作了灰可公度性预测和体积流量(处数)法预测。后者包括对数正态分布法、高濂矩量法及甘贝尔-周法预测。结果表明,四者之间有较好的对比关系,且精度较高。

工程技术界及决策部门十分关心拟建中的三峡库区东部邻区的未来稳定性。本文将东区视为一整体,尝试性地探究其岸坡崩滑现象发展演化趋势,作若干频率年一遇的预测。

## 一、灰可公度性预测

据前期研究记录<sup>[1]</sup>及邓聚龙灰色处理,现将其崩滑处数视为洪水体流量的函数,与相应年份一起列入表1的第1、第2栏,其灰色系统处理和统计特征列于表中3~8栏。

$$\bar{N} = \sum_{i=1}^{16} N_i / n = 7.625$$

$$\bar{N}^{(0)} = \sum_{i=1}^{16} N_i^{(0)} / n = 6.625$$

据门可佩(1990)资料,可作

$N$ 的一次逆累减处理1-AGO得

$$N^{(1)} = [24, -23, -1, 0, 3, 15, -13, -2, 4, -3, -1, 4, 4, -8, 14]$$

$N^{(1)}$ 的一次累加处理1-AGO得

$$N^{(0)} = [0, 24, 1, 0, 0, 3, 18, 5, 3, 7, 4, 3, 7, 11, 3, 17]$$

相关系数检验:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^{16} (N_i - \bar{N})(N_i^{(0)} - \bar{N}^{(0)})}{\left[ \sum_{i=1}^{16} (N_i - \bar{N})^2 (N_i^{(0)} - \bar{N}^{(0)})^2 \right]^{\frac{1}{2}}} = 1.00$$

灰可公度系数

$$\begin{aligned} \Delta N &= [N(i + \Delta i) - N(i)] / N^{(0)} \\ &= (18 - 1) / 17 = 1.00 \end{aligned}$$



长江三峡东区崩滑数据及其处理统计特征

表 1

| 1         | 2           | 3                     | 4             | 5                 | 6                         | 7                             | 8  |
|-----------|-------------|-----------------------|---------------|-------------------|---------------------------|-------------------------------|--|
| 年 份       | 崩滑处数<br>$N$ | $N$ 的灰处理<br>$N^{(0)}$ | $N - \bar{N}$ | $(N - \bar{N})^2$ | $N^{(0)} - \bar{N}^{(0)}$ | $(N^{(0)} - \bar{N}^{(0)})^2$ | $(N - \bar{N})(N^{(0)} - \bar{N}^{(0)})$ |
| 1974      | 1           | 0                     | -6.625        | 43.89             | -6.625                    | 43.89                         | 43.89                                    |
| 1975      | 25          | 24                    | 17.375        | 301.89            | 17.375                    | 301.89                        | 301.89                                   |
| 1976      | 2           | 1                     | -5.625        | 31.64             | -5.625                    | 31.64                         | 31.64                                    |
| 1977      | 1           | 0                     | -6.625        | 43.89             | -6.625                    | 43.89                         | 43.89                                    |
| 1978      | 1*          | 0                     | -6.625        | 43.89             | -6.625                    | 43.89                         | 43.89                                    |
| 1979      | 4           | 3                     | -3.625        | 13.14             | -3.625                    | 13.14                         | 13.14                                    |
| 1980      | 19          | 18                    | 11.375        | 129.39            | 11.375                    | 129.39                        | 129.39                                   |
| 1981      | 6           | 5                     | -1.625        | 2.64              | -1.625                    | 2.64                          | 2.64                                     |
| 1982      | 4           | 3                     | -3.625        | 13.14             | -3.625                    | 13.14                         | 13.14                                    |
| 1983      | 8           | 7                     | 0.375         | 0.14              | 0.375                     | 0.14                          | 0.14                                     |
| 1984      | 5           | 4                     | -2.625        | 6.89              | -2.625                    | 6.89                          | 6.89                                     |
| 1985      | 4           | 3                     | -3.625        | 13.14             | -3.625                    | 13.14                         | 13.14                                    |
| 1986      | 8           | 7                     | 0.375         | 0.14              | 0.375                     | 0.14                          | 0.14                                     |
| 1987      | 12          | 11                    | 4.375         | 19.14             | 4.375                     | 19.14                         | 19.14                                    |
| 1988      | 4           | 3                     | -3.625        | 13.14             | -3.625                    | 13.14                         | 13.14                                    |
| 1989      | 18          | 17                    | 10.375        | 107.64            | 10.375                    | 107.64                        | 107.64                                   |
| 总计 $n=16$ | 122         | 106                   | 0.000         | 783.74            | 0.000                     | 783.74                        | 783.74                                   |

\* 原为0, 此处作1以便数据处理。

可采用最小二乘法原理求解灰可公度线性回归方程的待定系数:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{16} (N - \bar{N})(N^{(0)} - \bar{N}^{(0)})}{\sum_{i=1}^{16} (N - \bar{N})^2} = 783.74/783.74 = 1.00$$

$$a = \bar{N} - b \bar{N}^{(0)} = 7.625 - 6.625 = 1.00$$

故灰可公度回归预测方程为

$$\hat{N} = 1 + N^{(0)} \tag{1}$$

令  $N^{(0)} = 0, 24, 1, \dots, 3, 17$ , 代入式 (1) 可得

$$\hat{N} = [1, 25, 2, \dots, 4, 18]$$

则误差  $e_i = [0, 0, 0, \dots, 0, 0]$ , 绝对误差均值  $MAD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{16} |e_i| = \frac{1}{16} \cdot 0 = 0$ 。

外推11年太阳活动概周期及  $2 \times 11$ 年概周期, 自式 (1) 得

$$\hat{N}_{11} = 1 + 11 = 12, \text{ 即11年一遇的崩滑为12处;}$$

$$\hat{N}_{22} = 1 + 2 \times 11 = 23, \text{ 即22年一遇的崩滑为23处。}$$

## 二、体积流量预测法

仍利用表 1 中第 2 竖栏的数据, 但按由大到小的顺序统计学<sup>[2]</sup>处理。其对数正态分布

统计特征列于表 2。自表 2 可求算崩滑总和对数均值:  $\log N_0 = \sum_{i=1}^{16} \log N_i / n = 11.0038/16$

$= 0.68770$ ,  $N_0 = \log^{-1} 0.6877 = 4.8724$  及均值:  $\bar{N} = 121/16 = 7.5625$ 。

长江三峡东区崩滑对数正态分布统计特征

表 2

| 1   | 2           | 3                             | 4          | 5         | 6                       | 7                         | 8                 | 9                   |
|-----|-------------|-------------------------------|------------|-----------|-------------------------|---------------------------|-------------------|---------------------|
| $i$ | $N_i$<br>处数 | $\frac{2i-1}{2n}(\%)$<br>超越频率 | $\log N_i$ | $N_i/N_0$ | $(\log N_i - \log N_0)$ | $(\log N_i - \log N_0)^2$ | $(N_i - \bar{N})$ | $(N_i - \bar{N})^2$ |
| 1   | 25          | 3.1                           | 1.3979     | 5.131     | 0.7012                  | 0.5044                    | 17.4735           | 304.066             |
| 2   | 19          | 9.4                           | 1.2787     | 3.803     | 0.5910                  | 0.3493                    | 11.4375           | 130.816             |
| 8   | 18          | 15.6                          | 1.2553     | 3.694     | 0.5676                  | 0.3222                    | 10.4375           | 108.941             |
| 4   | 12          | 21.9                          | 1.0792     | 2.463     | 0.3915                  | 0.1533                    | 4.4375            | 19.691              |
| 5   | 8           | 28.1                          | 0.9031     | 1.642     | 0.2154                  | 0.0464                    | 0.4375            | 0.191               |
| 6   | 8           | 34.4                          | 0.9031     | 1.642     | 0.2154                  | 0.0464                    | 0.4375            | 0.191               |
| 7   | 6           | 40.6                          | 0.7781     | 1.231     | 0.0904                  | 0.0082                    | -1.5625           | 2.441               |
| 8   | 5           | 46.9                          | 0.6990     | 1.026     | 0.0113                  | 0.0001                    | -2.5625           | 6.5625              |
| 9   | 4           | 53.1                          | 0.6021     | 0.821     | -0.0856                 | 0.0073                    | -3.5625           | 12.691              |
| 10  | 4           | 59.4                          | 0.6021     | 0.821     | -0.0856                 | 0.0073                    | -3.5625           | 12.691              |
| 11  | 4           | 65.6                          | 0.6021     | 0.821     | -0.0856                 | 0.0073                    | -3.5625           | 12.691              |
| 12  | 4           | 71.9                          | 0.6021     | 0.821     | -0.0856                 | 0.0073                    | -3.5625           | 12.691              |
| 13  | 2           | 78.1                          | 0.3010     | 0.410     | -0.3867                 | 0.1495                    | -5.5625           | 30.941              |
| 14  | 1           | 84.4                          |            | 0.205     | -0.6877                 | 0.4729                    | -6.5625           | 43.066              |
| 15  | 1           | 90.6                          |            | 0         | -0.6877                 | 0.4729                    | -6.5625           | 43.066              |
| 16  | 0           | 100.0                         |            | 0         | -0.6877                 | 0.4729                    | -7.5625           | 57.191              |
| 总计  | 121         |                               | 11.0038    |           |                         | 3.0277                    |                   | 797.9275            |

(一) 根据对数正态分布法

$$\text{标准差: } \sigma_0 = \left[ \sum_{i=1}^{16} \log(N_i - N_0)^2 / n \right]^{1/2} = 0.435,$$

超越  $N_i$  的超越频率用下式求算:

$$W(N_i) = \frac{2i-1}{2n} \quad (\text{列入表 2 第 3 竖栏}) \quad (2)$$

随正态分布的  $\lambda$  数而变化的超越频率为

$$W(\lambda) = \int_{\lambda}^{\infty} \frac{1}{\lambda \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\lambda^2}{2}\right) d\lambda = 1 - \int_{-\infty}^{\lambda} \frac{1}{\lambda \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\lambda^2}{2}\right) d\lambda \quad (3)$$

其中  $\lambda = \frac{N - \bar{N}}{\sigma}$  (4)

对应式 (4) 有

$$\lambda = (\log N - \log N_0) / \sigma_0 = \log\left(\frac{N}{N_0}\right) / \sigma_0 \quad (5)$$

或  $\log N = \sigma_0 \lambda + \log N_0$  (6)

据式 (6) 可分别求出三峡东区若干年一遇的崩滑处数, 列入表 3。

(二) 根据高濞法<sup>[2]</sup>

该法是对对数正态法的修正, 计算结果一般认为其散点图在对数频率纸上可用最合理理论直线予以表达。其表达式为

$$\log N = \frac{\lambda \sigma_0}{\sigma_1 \sqrt{2}} + \log N_0 \quad (7)$$

据式 (7) 计算的若干频率年一遇的结果列入表 4。

长江三峡东区若干年一遇崩滑预测 (对数正态法)

表 3

| № | 频率年    | $W(\lambda)$ | $\lambda$ | 相应算式   | 预测崩滑处数            |
|---|--------|--------------|-----------|--|-------------------|
| 1 | 5年一遇   | 1/5          | 0.8416    | $\log N_5 = \sigma_0 \lambda_5 + \log N_0$         | $N_5 = 11.318$    |
| 2 | 10年一遇  | 1/10         | 1.2815    | $\log N_{10} = \sigma_0 \lambda_{10} + \log N_0$   | $N_{10} = 17.58$  |
| 3 | 20年一遇  | 1/20         | 1.6449    | $\log N_{20} = \sigma_0 \lambda_{20} + \log N_0$   | $N_{20} = 25.304$ |
| 4 | 50年一遇  | 1/50         | 2.0537    | $\log N_{50} = \sigma_0 \lambda_{50} + \log N_0$   | $N_{50} = 38.1$   |
| 5 | 100年一遇 | 1/100        | 2.3263    | $\log N_{100} = \sigma_0 \lambda_{100} + \log N_0$ | $N_{100} = 50.07$ |

长江三峡东区高濊法若干频率年崩滑预测

表 4

| № | 频率年 | $W(\lambda)$ | $\lambda$ | $\sigma_\lambda$ | 相应算式   | 预测崩滑处数            |
|---|-----|--------------|-----------|------------------|--|-------------------|
| 1 | 5   | 1/5          | 0.8416    | 0.703            | $\log N_5 = \lambda_5 \sigma_0 / (\sigma_\lambda \sqrt{2}) + \log N_0$         | $N_5 = 11.5$      |
| 2 | 10  | 1/10         | 1.2815    | 0.703            | $\log N_{10} = \lambda_{10} \sigma_0 / (\sigma_\lambda \sqrt{2}) + \log N_0$   | $N_{10} = 17.58$  |
| 3 | 20  | 1/20         | 1.6449    | 0.703            | $\log N_{20} = \lambda_{20} \sigma_0 / (\sigma_\lambda \sqrt{2}) + \log N_0$   | $N_{20} = 25.55$  |
| 4 | 50  | 1/50         | 2.0537    | 0.703            | $\log N_{50} = \lambda_{50} \sigma_0 / (\sigma_\lambda \sqrt{2}) + \log N_0$   | $N_{50} = 38.575$ |
| 5 | 100 | 1/100        | 2.3263    | 0.703            | $\log N_{100} = \lambda_{100} \sigma_0 / (\sigma_\lambda \sqrt{2}) + \log N_0$ | $N_{100} = 50.77$ |

(三) 根据甘贝尔-周法 (Gumbel-Chow V. T.)<sup>[3]</sup>

该两法分别在美、日两国广为使用。前者在理论方面有较高严密性；后者论证了非对称分布不论采用何法，均可以下式表达：

$$N = \sigma K + \bar{N} \tag{8}$$

其中  $K$  为频率系数，甘贝尔将  $K$  与洪水年  $T$  表为如下关系：

$$K = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0.5772 + \log e \left( \log e \frac{T}{T-1} \right) \right\} \tag{9}$$

$$\sigma = \left[ \sum_{i=1}^n (N_i - \bar{N}) / n \right]^{1/2} = [797.9275/16]^{1/2} = 7.0619$$

据式 (8) 及 (9) 所作的相应频率年崩滑预测列于表 5。

长江三峡东区甘贝尔-周法若干频率年崩滑预测

表 5

| № | 频率年 | 频率系数 $K$ | 相应算式                                 | 预测崩滑处数            |
|---|-----|----------|--------------------------------------|-------------------|
| 1 | 5   | 0.72     | $N_5 = \sigma K_5 + \bar{N}$         | $N_5 = 12.65$     |
| 2 | 10  | 1.304    | $N_{10} = \sigma K_{10} + \bar{N}$   | $N_{10} = 16.77$  |
| 3 | 20  | 1.867    | $N_{20} = \sigma K_{20} + \bar{N}$   | $N_{20} = 20.73$  |
| 4 | 50  | 2.593    | $N_{50} = \sigma K_{50} + \bar{N}$   | $N_{50} = 25.304$ |
| 5 | 100 | 3.137    | $N_{100} = \sigma K_{100} + \bar{N}$ | $N_{100} = 29.73$ |

### 三、讨 论

1. 灰可公度性预测外推结果，近期崩滑处数与体积流量中三个方法预测数据较为接近，中长期预测 (50及100年一遇) 结果有偏高趋势。

2. 体积流量法中的对数正态法与高濊法预测结果，不同频率年均有极好的对比关系。

可比性和可信度高。

3. 甘贝尔-周法预测结果表明: 5、10乃至20年一遇的崩滑处数与其它三法结果有好的对比关系; 50及100频率年一遇的预测处数可能偏低。偏低原因与美、日绿色覆盖面积较大, 相应水土流失和崩滑现象面积或其体积流量较少有关。

4. 四法预测结果的共同点是随着频率年取数加大, 研究区的崩滑处数有逐渐增大的总趋势。为了减缓这种趋势, 加强水土保持是必不可少的。

5. 未来的崩滑现象将集中分布在易滑岩组<sup>[4]</sup>区、易滑构造带及易滑地貌单元以及古、老及现存滑坡丛集区<sup>[5]</sup>。具体从略。

#### 参 考 文 献

- (1) 谭敦才. 峡东地区地质灾害发育特征及其危险性预测. 湖北省自然灾害综合防御对策论文集. 北京: 地震出版社, 1990.42~46
- (2) 高瀬信忠. 对数正规分布に関する顺序统计学的考察. 土木工程学会论文集, 1957 (47)
- (3) Chow V.T. A general formula for hydrologic frequency analysis, Trans. AGU, 1951 (32)
- (4) Yan Tongzhen. Statistical possibility characteristics and prognoses of rock groups prone to slide. Proc. 6th Intern Congr IAEG vol. 3. Amsterdam, 1990.1755~1759
- (5) 晏同珍. 滑坡的丛集性、再生性及其二项分布律, 1991

# 自然滑坡的灾害链

中国科学院成都山地灾害与环境研究所 陈自生  
水利部

## 提 要

本文将自然界中同自然滑坡灾害有因果关系的自然灾害与自然滑坡灾害所构成的自然滑坡灾害链划分为5类23种。文中通过对每种滑坡灾害链的简要讨论,认为自然滑坡灾害链是自然界中常见的自然灾害链。它是自然灾害链中的重要组成部分。认识自然滑坡灾害链有助于认清滑坡灾害,使滑坡的防灾对策更加科学化和系统化,并有助于决策机构动员更多学科的科技力量参加滑坡的防灾工作,使我国的滑坡防灾工作提高到一个新的水平。

在自然界中,常见有各种自然灾害交替发生的情况。这种灾上加灾的自然灾害链,无疑加重了灾情,并使防灾工作复杂化。其中,同滑坡灾害有着因果关系的自然灾害与滑坡灾害所构成的滑坡灾害链颇具代表性。在滑坡灾害防灾工作中,加深对滑坡灾害链的认识,将有助于分析滑坡灾害的成因、灾情现状及其发展趋势,使滑坡的防灾对策更加符合实际,以提高其防灾水平。

## 一、滑坡灾害链的类型

在自然界中,滑坡灾害链可划分为5类23种,如表1。

滑坡灾害链的类型

表1

| 链 型 | 滑坡灾害链种类           | 链 型 | 滑坡灾害链种类               |
|-----|-------------------|-----|-----------------------|
| I   | I-1 地震→滑坡         | III | III-1 暴雨→滑坡→泥石流       |
|     | I-2 暴雨→滑坡         |     | III-2 洪灾→滑坡→泥石流       |
|     | I-3 洪灾→滑坡         |     | III-3 涝灾→滑坡→泥石流       |
|     | I-4 洪涝→滑坡         |     | III-4 地震→滑坡→泥石流       |
|     | I-5 崩塌→滑坡         |     | III-5 地震→滑坡→堵江淹没→溃决洪水 |
|     | I-6 鼠害→滑坡         |     | III-6 火山→滑坡→泥石流       |
|     | I-7 虫害→滑坡         | IV  | IV-1 崩塌→滑坡→崩塌→滑坡……    |
| II  | II-1 滑坡→崩塌        |     | IV-2 滑坡→泥石流→滑坡→泥石流……  |
|     | II-2 滑坡→泥石流       | V   | V-1 滑坡→滑坡             |
|     | II-3 滑坡→激浪        |     | V-2 滑坡→滑坡→堵江淹没→溃决洪水   |
|     | II-4 滑坡→堵江淹没→溃决洪水 |     |                       |
|     | II-5 滑坡→局地干旱      |     |                       |
|     | II-6 滑坡→坡面洪水      |     |                       |

## 二、I型滑坡灾害链

I型滑坡灾害链是指由其它自然灾害引发滑坡灾害所构成的灾害链。能够引发滑坡灾害的自然灾害种类很多,诸如地震、暴雨、洪涝、崩塌、鼠害、虫害等。因而就构成了各种的I型滑坡灾害链。

### (一) 地震→滑坡灾害链

地震→滑坡灾害链是发生数量较多的自然灾害链。这类灾害链的特点是滑坡作为最终的灾害形式。例如,松潘—平武地震由于预报准确,及时疏散,无一人伤亡,但是由于地震崩塌和地震滑坡却导致数十人丧生。1976年唐山7.8级地震不仅在山区诱发了岩质滑坡,而且在平原地区还诱发了大量的液化滑坡。实际资料表明,地震烈度7度区(在黄土地区为6度)即可发生地震→滑坡灾害链。据统计,本世纪以来,我国已发生6级以上地震650多次,其中7~7.9级地震98次,8级以上地震9次。大约平均每年发生1.2次7级以上的大地震和7次6级以上地震。另据70年代编制的《中国地震烈度区划图》的统计,我国有近1/3的国土、2/5的大中城市(其中有20个百万人以上的大城市)位于地震基本烈度7度及7度以上的地区。7度及大于7度地区遍及28个省、市、自治区,而地震烈度6度及6度以上地区面积约为575万km<sup>2</sup>,约占国土的60%<sup>[1]</sup>。自70年代以来,我国虽然开展了地震区滑坡灾害的系统调查研究,但仍需在地震滑坡危险区和地震斜坡稳定性评价方面进行艰苦的努力。

### (二) 暴雨→滑坡灾害链

暴雨→滑坡灾害链是自然界中最常见的自然灾害链。尤其是80年代以来,暴雨→滑坡灾害链更为突出。例如,1981~1985年四川省一次暴雨过程诱发滑坡1000处以上的县有28个,诱发10000处以上的县有14个,诱发20000处以上的县有3个。实际资料表明,暴雨灾情中的滑坡灾害损失占有相当大的比重。这一事实正在逐步引起各级政府的重视。

### (三) 洪灾→滑坡灾害链

洪灾系指洪水滞留时间在12h之内的洪涝灾害。洪灾→滑坡灾害链发生在山区、沟谷和丘陵区的江河岸坡,剪出口位于水边线一带。这些地段的洪水具山洪或过境洪水的特性。洪水陡涨时,淘刷坡脚是主导因素,其次是浸泡坡脚,诱发机制主要表现为抗滑力减小。当洪水陡降时,坡体内部的地下水来不及消散,也使一部分坡体发生滑坡。洪灾→滑坡灾害链中的滑坡,有时具有间歇性的年际变化特点,即每逢汛期运动变形剧烈,但滑距有限,旱季运动趋于停止。滑坡体上的村民房屋每年修复一次,年复一年,从未发生过伤亡事故。更多的洪灾→滑坡灾害链中的滑坡运动则是剧冲性或一次性的特征。我国每年汛期铁路、公路所发生的水毁工程中的滑坡灾害多属这一类型,给国家造成了巨大的损失。

### (四) 涝灾→滑坡灾害链

涝灾是洪水过程滞留时间超过12h的洪涝灾害,涝灾→滑坡灾害链主要发生在大江河的中、下游水边线一带的岸坡和防水堤上。它常与洪灾→滑坡灾害链和暴雨→滑坡灾害链共生,难以区别开来。但是,涝灾诱发滑坡灾害的机制主要是浸泡坡脚,减小滑坡面的抗滑力,其次才是淘刷坡脚。典型的涝灾→滑坡灾害链,如黄河下游堤防的险工地段多属此类。这类滑坡的规模都较小,但由于正置汛期,其后果是严重的。

### (五) 崩塌→滑坡灾害链

由崩塌灾害诱发滑坡灾害的过程,在自然界是常见的,但由于转化过程较缓慢,很少被

人们所注视。自从湖北秭归县长江西陵峡上段兵书宝剑峡出口新滩镇发生覆盖层滑坡（1983年6月12日）以来，崩塌→滑坡灾害链已为更多的科技工作者所认识。该处坡体以崩滑形式演变后退，至少已先后于公元100年、378年、1030年、1542年、1923年、1931年、1935年、1958年、1964年和1971年都发生过程度不同的崩滑灾害。滑坡后壁出露坚硬的砂岩、灰岩，高300~450m，平均坡度60°。后壁坡体受节理分割，其下又分布有软弱的页岩和煤层。因此，后壁在卸荷、溶蚀、沉陷作用下不断崩塌。崩塌堆积物散布于后壁之下，成为新滩滑坡体的组成物质，正是由于滑坡体后部不断加积，最终发展为顺坡滑动。今后随着滑坡体后部不断加积，仍将再次滑动，直至崩塌过程结束，崩塌→滑坡灾害链才能终止。

#### （六）鼠害→滑坡灾害链

由高原鼠兔的活动引起的山坡草场表层滑坡是典型的鼠害→滑坡灾害链。高原鼠兔主要分布于青藏高原，青海、甘南、川西高原等地也有分布<sup>[2]</sup>。它最喜欢栖居在气候比较温暖湿润、阳光充足的宽谷、滩地和坡麓地带的草甸草原。高原鼠兔繁殖力很强，以牧草为食，又具群聚性。高原鼠兔穴居生活。鼠洞埋深25~45cm，有洞口3~5个，洞内弯曲多支，总长6m以上。高原鼠兔的危害不仅表现在盗食牧草，造成草场退化，甚至破坏土壤，引起沙化，破坏牧场，更表现在由于它们在土层不厚的高原山坡上盗洞，密集分布的鼠洞又相互连通，致使在雨量集中的雨季，雨水流入洞内，造成土层塌陷。这时的鼠洞深度一带已自然成为软弱面或软弱带，从而引起草皮成块地顺坡向下滑动，诱发为大面积的表层滑坡灾害，彻底摧毁牧场。

#### （七）虫害→滑坡灾害链

虫害→滑坡灾害链中的虫害，主要指土质堤坝中的白蚁灾害。世界上已发现白蚁有2000余种，遍及五大洲<sup>[3]</sup>。我国已发现201种。从化石考证，白蚁已有2.5亿年历史。约在2000年前韩非子《喻老篇》就有“千丈之堤，以蝼蚁之穴溃”的记载，我国白蚁分布是以西南地区为中心，逐渐向北、向东扩散漫延，北至北纬40°。其中，土栖白蚁分布的北界在河南洛阳市（北纬35°）一带。白蚁诱发滑坡的机制与兽穴诱发滑坡的机制相类似，即由蚁巢塌陷或漏水而造成堤坝溃决或滑坡，从幼年巢发展到壮年巢需10~15年，主蚁巢直径1~3m或更大。我国南方各省的土质堤坝多有程度不同的白蚁活动，尤其是坝肩山坡树木多的土坝或大坝坝面植树的土坝多有白蚁危害。荆江大堤上吉普车可跌入蚁窝内，湖南挖出过3.5×2.3m的大蚁巢。广东漠阳江坝的一段长22.8km上，有300多处蚁巢窝和滑坡。

### 三、Ⅱ型滑坡灾害链

Ⅱ型滑坡灾害链主要是指由滑坡灾害又转化为其它类型的自然灾害所构成的灾害链。滑坡灾害能够导致的其它自然灾害主要有崩塌、泥石流、堵江淹没和溃决洪水、局地干旱等。因而就构成了4种灾害链。

#### （一）滑坡→崩塌灾害链

滑坡灾害又转化为崩塌灾害所构成的滑坡→崩塌灾害链在自然界中也经常见到。其转化机制是斜坡坡度较陡，而且滑坡剪出口位置高于坡脚，致使滑动块体前缘一旦脱离滑床即因悬空而前倾，从而形成崩塌灾害，通常统称为“滑崩体”和“滑崩灾害”。1980年6月3日湖北宜昌地区盐池河磷矿滑坡灾害即为典型的滑坡→崩塌灾害链。滑崩体被4条横向裂缝分割，依次从高于沟底150m的坡面上滑出，又依次倾倒。崩落现场目击者回忆道：“象门板

一样盖下来”。最终酿成死亡284人的恶性事故。

### (二) 滑坡→泥石流灾害链

滑坡灾害转化为泥石流灾害的方式有三：(1) 饱水的滑坡体整体起动后，随即液化转化为坡面泥石流和沟谷泥石流；(2) 滑坡体滑落至坡脚，遇洪水搅拌而转化成沟谷泥石流；(3) 滑坡体停积在沟谷内，在后期洪水的作用下形成泥石流。在滑坡→泥石流灾害链中，主要是指前两种方式所转化的泥石流灾害。通常，泥石流的发育条件为：(1) 丰富的固体物质；(2) 陡峭的地形和沟床纵比降；(3) 充沛的水源。而滑坡→泥石流灾害发育的首要条件则是：(1) 滑坡剪出口位于斜坡的中、上部，滑坡体“悬”于坡体上部，从而具有较大的势能；(2) 斜坡具有较大的坡度；(3) 滑坡体前方应有较大的空间，使滑坡位势转化为动能之后得以继续高速运动。典型的滑坡→泥石流灾害链实例有：1974年9月14日四川南江县白梅垭、1975年6月16日云南个旧市老熊洞、1989年7月10日四川华蓥市溪口镇等。水底滑坡(在水库、湖、海底部)则转化为浊流的形式。著名实例是1929年11月18日北美洲纽芬兰大滩二十余条海底电缆依次被毁事件。

### (三) 滑坡→激浪灾害链

滑坡→激浪灾害链主要指由水边滑坡和水底滑坡所形成的激浪灾害。在海洋里，这种激浪又称为海啸。现已发现在没有地震时发生海啸的实例，但在更多的情况下，又都将这种海啸与地震诱发的海底滑坡所产生的海啸归并于地震海啸。海啸破坏力极大。曾报导过一次海湾中的海岸滑坡引起的海啸将对岸500m以下的森林全部毁掉的灾害事件。陆上水库岸边滑坡所引起的激浪称为涌浪。国外著名的灾害实例是1963年意大利北部的瓦依昂特水库发生一处近 $3 \times 10^8 \text{m}^3$ 的滑坡，滑速高达25~30m/s，水库中 $5 \times 10^7 \text{m}^3$ 的水体被挤出来，激起250m高的涌浪，漫溢坝顶百余米，造成下游3000人死亡。同年3月6日，湖南柘溪水库右岸塘岩光滑坡(体积 $165 \times 10^4 \text{m}^3$ )高速滑入水库，形成21m高的涌浪，摧毁了坝顶的临时挡水木笼，将坝面上工作的百余人冲走，并延误工期达一年之久。因此，库岸滑坡，特别是近坝库岸滑坡问题早已引起水利工程界的高度重视。

### (四) 滑坡→堵江淹没→溃决洪水灾害链

滑坡→堵江淹没→溃决洪水灾害链主要发生在我国西部高山峡谷区。按河面断面的堵塞程度，堵江又可分为完全堵江和不完全堵江，因堵江而形成的堰塞湖也相应地分为完全堰塞湖和不完全堰塞湖。无论是完全或不完全堵江，都将造成回水淹没上游和溃决洪水危害下游的一连串新的灾害。通常，回水淹没速度有限，人员和一部分物质能够得以撤离，而溃决洪水却能带来巨大的灾难。

### (五) 滑坡→局地干旱灾害链

滑坡→局地干旱灾害链主要发生在大型滑坡地区。由于滑坡体解体，地表径流短小或转为地下水，坡体的地下水顺滑动面(带)排泄。远源地下水又难以在滑坡上出露，从而造成永久型的小范围干旱区。位于四川古蔺县大村区复陶乡、新华乡一带的复陶—柏杨坝古滑坡就形成了滑坡→局地干旱灾害链\*。该滑坡厚约250~350m，面积约 $10 \text{km}^2$ 。目前滑坡体前半部已分解为多级、多块的数十处滑坡。后半部则表现为多条的弧形洼地。这样，原有顺坡面(滑动主轴方向)发育的地表水排水系统已不复存在，即使有径流也都短小。其支沟(二级冲沟)均为干沟。每逢雨天产生的地表径流也立即漏失断流。因此，在方圆 $10 \text{km}^2$ 的范围内，耕地靠天收获。村民也要到滑坡体周围运来生活用水，每次往返需1~2小时。

\*李路，“四川省古蔺县大村煤矿区‘复陶—柏杨坝’滑坡”，《四川地质学报》，1983, 48~53



#### (六) 滑坡→坡面洪水灾害链

滑坡→坡面洪水灾害链主要发生在水利工程中的盘山渠道被滑坡堵塞、溢水顺坡漫流造成灾害。这种灾害链多发生在雨季，特别是暴雨中心区。造成灾害的另一个原因是居住在斜坡上的村民从来不受洪水困扰，在雨季放松了防洪警惕，特别是没有警惕背后盘山渠道可能溢水，从而造成不应有的损失。

### 四、Ⅲ型滑坡灾害链

Ⅲ型滑坡灾害链系指由其它自然灾害诱发了滑坡灾害，继而又转化为另一种自然灾害所构成的自然灾害链。这种灾害链容易与其它类型的灾害链相混淆。

(一) 暴雨→滑坡→泥石流灾害链、洪灾→滑坡→泥石流灾害链和涝灾→滑坡→泥石流灾害链

这三种类型的灾害链都有许多联系：(1) 暴雨可以导致洪灾和涝灾；(2) 洪灾和涝灾有时难以分开或交替出现；(3) 有时暴雨可以和洪、涝灾害同步发生；(4) 三种自然灾害所诱发的滑坡都转化成为泥石流灾害。

上述三种灾害链主要发生在我国第一、二地势阶梯上，尤其在地势阶梯之间的过渡地带，以及半干旱半湿润气候区。每年的防汛工作都将遇上这些灾害链。这意味着防汛工作已不仅仅是防范洪水，在许多情况下还包含着滑坡、泥石流的防灾内容。

(二) 地震→滑坡→泥石流灾害链

地震→滑坡→泥石流灾害链是指地震期间由地震诱发的滑坡，继而又转化为泥石流的情况，并非泛指地震仅作为滑坡的一种诱发因素而言。地震→滑坡→泥石流灾害链发生区的最大特点是流域内缺乏一般泥石流流域源头特有的清水动力区。其成灾机制主要表现为：(1) 地震滑坡堵断流水，很快在堰塞湖水作用下又形成泥石流。(2) 水坝因发生地震滑坡而溃决。(3) 饱水坡体发生地震滑坡，在运动中液化并铲刮地表固体物质，从而暴发泥石流。

(4) 坡体物质沿下伏的地震液化层滑动、解体而暴发泥石流。

(三) 地震→滑坡→堵江淹没→溃决洪水灾害链

地震→滑坡→堵江淹没→溃决洪水灾害链是强震区所特有的灾害形式。发生地点都位于我国西部山区的具有新活动性的断裂带上(川西的南北向构造带、龙门山断裂带、甘南北西向断裂带)和 高山峡谷地段。

(四) 火山→滑坡→泥石流灾害链

火山→滑坡→泥石流灾害链仅发生在现代活火山的周围，成灾机制是随着岩浆上涌，火山的气室内部气压增高并顶裂火山外壳。火山开裂后，在火山气体和岩浆的顶托下解体并向下滑动。嗣后便同火山喷发物一起转化为炽热的泥石岩流冲下山去。最为典型的实例为1980年5月18日，美国圣海伦斯火山喷发<sup>[4]</sup>。当前火山变形观测已成为世界火山组织规定的最起码的观测项目。

### 五、Ⅳ型滑坡灾害链

这类滑坡灾害链可以称为往复型滑坡灾害链。典型的种类是滑坡灾害与崩塌灾害之间相互促进，以及滑坡灾害与泥石流灾害的相互促进。