

# 基于 VB6.0 的供水系统震害损失评估软件<sup>\*</sup>

高 霖, 郭恩栋, 刘 智, 洪广磊

(中国地震局工程力学研究所, 中国地震局地震工程与工程振动重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150080)

**摘 要:** 为了快速准确地评估震后供水系统各类工程结构的破坏及经济损失情况, 更有效地开展地震应急救援等工作, 基于 Visual Basic 6.0 软件平台和已建立的震害损失评估模型, 开发了供水系统震害损失评估软件。评估软件基本实现了震害现场调查评估、震害损失快速评估和历史震害资料查询三大功能。经算例分析和软件测试, 验证了软件的可靠性和可操作性。

**关键词:** 供水系统; 震害损失; 评估模型; 评估软件; Visual Basic 6.0

**中图分类号:** P315.9; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2013)04-0182-06

破坏性地震发生后, 由水源-水厂-泵站-输水管道-用户组成的供水系统局部甚至所有环节均可能遭受损坏, 具体表现在水源井、水池、泵房及管道等的破坏, 从而导致供水功能的中断或丧失, 无法保证用户正常用水, 影响灾区人民正常生产生活<sup>[1-3]</sup>。由于供水系统自身分布面大线广, 地震发生后短时间内无法调查统计出全部破坏情况, 为了在震后快速准确地对供水系统震害及损失情况进行评估, 并实现评估的高效率和自动化, 本文根据前人已建立的评估方法和模型<sup>[4-6]</sup>, 基于 Visual Basic 6.0 软件平台<sup>[7-10]</sup>, 开发了供水系统震害损失评估软件, 以应用于震害现场调查评估和震害损失快速评估等实际工作中。

## 1 软件功能简介

供水系统震害损失评估软件功能具体包括:

①震害现场调查评估: 为地震现场调查的专家学者提供一个存储、整理资料的平台, 输入到软件中的震害信息可直接存储到 Access 2003 数据库文件中。完成输入后, 可对现场调查结果进行查询、添加、提交、删除及输出等操作。②震害损失快速评估: 包括群体评估和单体评估。已知各烈度区某类工程结构数量后, 可对其进行总体破坏情况及经济损失群体评估。对有详细结构信息的清

水池可进行单体评估。③历史震害资料查询: 该功能可查询详细的供水系统各类工程结构的震害资料, 为震害现场调查方法和评估模型的建立提供重要参考。

## 2 软件整体设计

供水系统震害损失评估软件根据其所要实现功能的逻辑结构来进行整体设计<sup>[11]</sup>。评估软件的整体框架如图 1 所示。用户成功登录软件后, 首先选择功能和评估或查询对象, 继而对象进行相关操作。从图 1 可以看出每个功能的使用流程及可实现的具体操作。软件从整体上实现了数据的输入、处理和输出, 评估、查询界面简单, 操作方便, 有效地提高了软件的运行效率。

## 3 数据库设计

评估软件三大功能分别连接不同的数据库文件, 文件类型均为 Access 2003。为保证评估软件稳定运行, 使用时应确认计算机系统安装了 Access 2003 或更新版本软件。数据库文件中数据表的字段根据评估对象特点及所实现功能的不同而不同, 由于篇幅限制, 不能一一列出。此处以清水池历史震害资料数据表为例, 给出表中的字段名称、

\* 收稿日期: 2013-03-06 修订日期: 2013-04-12

基金项目: 地震行业科研专项重点项目“大震生命线工程灾害损失评估新技术研究”(201008005); 国家国际科技合作项目“中国地震灾害损失评估系统(HAZ-China)建设技术研究”(2011DFA71100)

作者简介: 高霖(1988-), 女, 满族, 辽宁丹东人, 博士研究生, 主要从事生命线工程抗震研究. E-mail: gaolin861129@163.com

通讯作者: 郭恩栋(1966-), 男, 辽宁辽中县人, 研究员, 博士生导师, 从事生命线工程抗震研究. E-mail: iemged@263.net

数据类型及基本说明(表 1)。

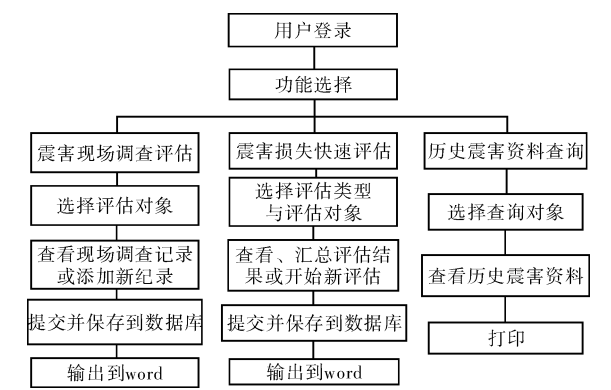


图 1 评估软件整体框架图

表 1 清水池历史震害资料数据表字段说明

字段名称	数据类型	基本说明
ID	自动编号	索引项, 主键
调查地点	文本	字段大小 50
设防烈度	文本	字段大小 50
地震烈度	文本	字段大小 50
场地土	文本	字段大小 50
材料	文本	字段大小 50
形式	文本	字段大小 50
建造年代	数字	长整型
容量/m <sup>3</sup>	数字	长整型
形状	文本	字段大小 50
直径或长和宽	文本	字段大小 50
数量	数字	长整型
破坏情况	文本	字段大小 100
修复费用/元	数字	单精度型
资料来源	文本	字段大小 50
图片编号	文本	字段大小 50
填表人	文本	字段大小 50
填表日期	日期/时间	日历选择或手动输入

为便于用户输入, 将设防烈度、地震烈度和场地土等字段设置为文本类型, 输入阿拉伯数字或罗马数字均可, 也可使用文本进行说明。其他功能中评估对象的数据表与表 1 设计理念基本相同。

4 震害现场调查评估

震害现场调查评估是专家或调查人员基于具体震害事实给出结构的破坏等级及震害描述, 是获取震害资料的根本来源。为快速地将震害现场调查到的信息分门别类地记录并保存下来, 将供水系统各类工程结构震害现场调查表的相关内容编制入对应的现场调查评估界面。在界面中输入

的信息可直接存储到数据库文件中。

5 震害损失快速评估

震害损失快速评估功能中的群体评估与单体评估是基于相应的评估模型而实现的。软件包括供水管网、清水池、水处理池、水塔、取水井、泵房 6 种结构的群体评估模型和清水池单体评估模型。模型建立过程和基本参数的取值方法如下文所述。

管网的群体评估模型是以管线平均震害率为基础建立的。管网总长乘以震害率<sup>[12]</sup>得到管网的总破坏处数, 再乘以每处管道的修复费用, 得到管网地震直接经济总损失。供水系统中除管网外其他构筑物的群体评估模型<sup>[5]</sup>基于构筑物总数量、地震易损性、损失比和平均造价 4 个基本参数建立。其破坏情况和地震损失计算公式如下。

灾区供水系统  $k$  类构筑物发生  $j$  等级破坏的数量为  $DT_k(j)$ :

$$DT_k(j) = \sum_I T_k^I \lambda_k^I(j)。$$

灾区供水系统除管道外其他构筑物发生破坏的地震损失为  $L$ :

$$L = \gamma \sum_{k=1}^5 \sum_{j=1}^5 \sum_I T_k^I \lambda_k^I(j) \eta_k(j) B_k。$$

式中: $k$  为构筑物序号, $k = 1 \sim 5$  分别代表清水池、水处理池、水塔、取水井和泵房; $j$  为破坏等级序号, $j = 1, 2, 3, 4, 5$ , 分别代表基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏和毁坏; $I$  代表地震烈度, 通常从 VI 度开始; $T_k^I$  为  $I$  烈度区  $k$  类构筑物总数量; $\lambda_k^I(j)$  为  $k$  类构筑物  $I$  烈度区发生  $j$  等级破坏的比例, 通过统计各类建、构筑物的震害资料<sup>[3, 13-14]</sup> 得到, 详见表 2;  $\eta_k(j)$  为  $k$  类结构  $j$  等级破坏的损失比, 基于构筑物的造价预算文件和灾害直接损失评估规范<sup>[15]</sup> 进行取值, 见表 3;  $B_k$  为灾区  $k$  类构筑物的平均造价, 可由结构设计文件或咨询当地供水系统管理部门获得。 $\gamma$  为未估计到因素的影响系数, 取为  $1.2^{[5]}$ 。

经模型和公式计算后, 将供水管网与其他构筑物的地震破坏数量和经济损失相加, 可得到灾区供水系统工程结构地震破坏总数和直接经济总损失。

结构总数量或总长度、由震害资料 and 实际经验统计给出的地震易损性、损失比和震害率以及平均造价或修复费用等是影响群体评估准确度的主要因素。主要影响因素信息越准确, 群体评估结果越接近实际。

表 2 供水系统建、构筑物易损性矩阵						%
构筑物 类型	地震 烈度	基本 完好	轻微 破坏	中等 破坏	严重 破坏	毁坏
清水池	Ⅵ	85	15	0	0	0
	Ⅶ	76	19	5	0	0
	Ⅷ	19	29	33	15	4
	Ⅸ	8	12	43	28	9
水处理池	Ⅵ	92	7	1	0	0
	Ⅶ	64	21	12	3	0
	Ⅷ	33	26	22	13	6
	Ⅸ	0	0	35	45	20
水塔	Ⅵ	75	10	4	5	6
	Ⅶ	48	19	16	9	8
	Ⅷ	11	27	35	11	16
	Ⅸ	0	9	10	17	64
取水井	Ⅶ	88	/	6	6	/
	Ⅷ	86	/	7	7	/
	Ⅸ	60	/	18	22	/
	X	18	/	17	65	/
泵房	Ⅶ	78	14	5	2	1
	Ⅷ	29	37	18	11	5
	Ⅸ	19	24	34	15	8

表 3 供水系统建、构筑物地震破坏损失比						%
构筑物 类型	损失 比	基本 完好	轻微 破坏	中等 破坏	严重 破坏	毁坏
清水池	中值	5	17	47	68	89
	范围	0 ~ 10	11 ~ 25	26 ~ 55	56 ~ 80	81 ~ 100
水处理池	中值	5	18	51	70	90
	范围	0 ~ 10	11 ~ 30	31 ~ 60	61 ~ 80	81 ~ 100
水塔、取水 井、泵房	中值	5	16	31	56	86
	范围	0 ~ 10	11 ~ 20	21 ~ 40	41 ~ 70	71 ~ 100

清水池单体评估模型通过简化已有的经验统计回归模型而建立<sup>[6,16]</sup>。简化公式如下：

$$DI_i = \prod_{j=1}^J \prod_{k=1}^K b_{jk}^{\delta_{ijk}}。$$

(3)

式中：脚标*i*为清水池序号；*j*为项目编号；*k*为类别编号；*b<sub>jk</sub>*为第*j*项目第*k*类别的回归系数；当清水池具有第*j*项目第*k*类别特征时，*δ<sub>ijk</sub>* = 1，否则为0。公式左端*DI*为清水池计算震害指数，*DI*处于（0，1.5]，（1.5,2.5]，（2.5,3.5]，（3.5,4.5]，（4.5，10）区间时，分别表示清水池处于基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏、毁坏状态。将影响清水池震害的各项目类别建议系数连乘得到计算震害指数，对应计算震害指数所在区间得到所评估清水池

的地震破坏等级。表4即为不同破坏等级对应的震害指数区间。各项目类别的建议系数通过对震害资料进行多元线性回归后经归一化处理得到。建议系数数值越大，则该项目类别对清水池震害影响程度越大。项目类别及建议系数取值如表5所示。

表 4 破坏等级与震害指数对应表	
破坏等级	震害指数 <i>DI</i>
基本完好	$DI \leq 1.5$
轻微破坏	$1.5 < DI \leq 2.5$
中等破坏	$2.5 < DI \leq 3.5$
严重破坏	$3.5 < DI \leq 4.5$
毁坏	$DI > 4.5$

表 5 清水池单体评估模型的项目类别及建议系数取值		
项目	类别	建议系数
地震烈度	Ⅶ度	0.75
	Ⅷ度	1.50
	Ⅸ度	1.59
	X度	1.98
场地条件	I、Ⅱ类	1.00
	Ⅲ、Ⅳ类或液化可能性大	1.32
材料	钢筋混凝土	1.00
	砖石砌体	1.13
形式	地下、半地下式	1.00
	地上式	1.40
形状	圆形	1.00
	矩形	1.19
容量	<2 000t	1.00
	≥2 000t	2.02
抗震设防	Ⅵ度设防或无设防	1.00
	Ⅶ度设防	0.90
	Ⅷ度设防	0.80
	Ⅸ度设防	0.60
建造年代	1970 – 1983	1.00
	1984 – 2001	0.95
	2002 – 2012	0.90
施工质量	较好	1.0
	一般	1.2
	很差	1.4

## 6 评估软件主要界面

根据软件整体框架图，供水系统震害损失评估软件由27个界面、1个数据环境和14个数据报表组成。打开程序后进入用户登录界面（图2）；登录成功后进入功能选择界面（图3）。不同结构的界面设计大体相同，下文以清水池为例介绍软件的

主要界面。

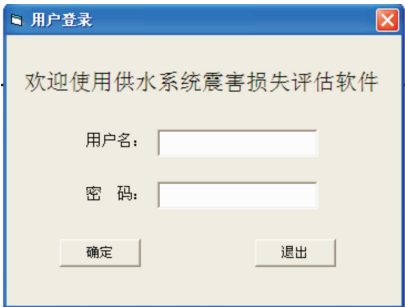


图2 用户登录界面

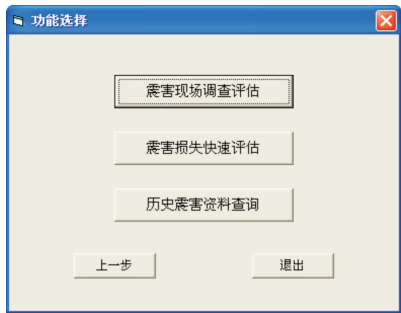


图3 功能选择界面

(1)震害现场调查评估

清水池震害现场调查评估界面如图 4 所示。该界面相当于震害现场调查表，可直接将调查到的信息输入，并可对震害记录进行查看、添加、提交、删除、输出等操作。记录可输出到对应文件名的 word 文件中。

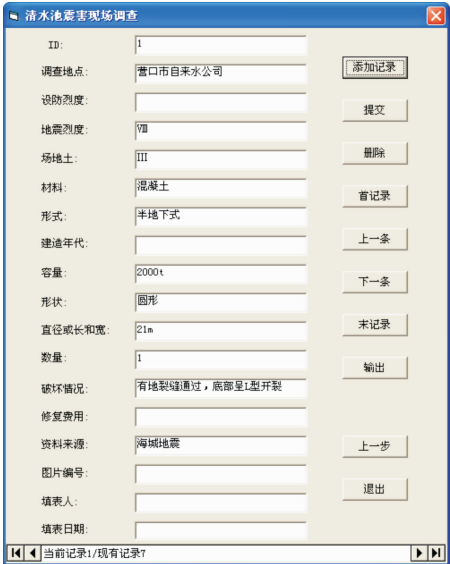


图4 清水池震害现场调查界面

(2)震害损失快速评估

震害损失快速评估功能的实现依赖于快速评估模型，在第 5 节中已进行了说明。进行群体评估

时，首先输入不同烈度区结构数量，进行破坏情况评估，随后输入平均造价得到此类结构的地震直接经济总损失。对汶川地震震害资料中绵阳市清水池进行群体评估，评估界面如图 5 所示，评估结果与实际震害情况基本相符<sup>[13]</sup>。各构筑物群体评估完毕后，在群体评估结果汇总界面(图 6)，可以查看供水系统各类工程结构的破坏和损失情况以及整个供水系统震后直接经济总损失。

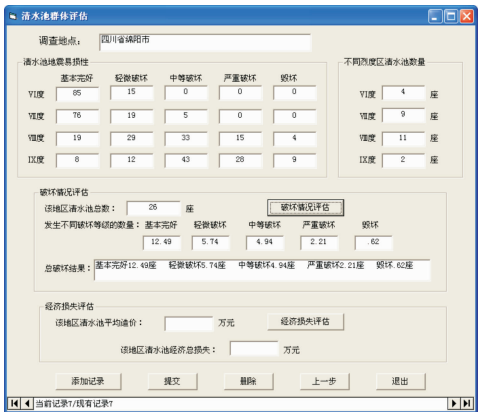


图5 清水池群体评估界面



图6 群体评估结果汇总界面



图7 清水池单体评估界面

清水池单体评估是在已知结构特征的前提下进行的。单体评估后，可以得到所评估清水池的

计算震害指数和破坏等级。对结构特征不完全的清水池进行评估时，为得到较准确的评估结果，采用最有利和最不利情况分别进行评估，给出评估破坏等级区间。最有利和最不利情况的评估规定如下：对已知项按实际情况进行选择，基本参数栏中的未知项按全部有利和全部不利类别选择，附加参数栏中的项目未知时选择不详项，即不考虑其对震害的影响。已知项越多，评估结果区间越小，评估结果更接近实际。玉树地震中结古镇处于Ⅸ度区，一容量为 500 m<sup>3</sup> 的地下式矩形钢筋混凝土清水池震后发生中等破坏。水池所处场地条件未知，分别按Ⅰ、Ⅱ类，Ⅲ、Ⅳ类进行评估。单体评估界面如图 7 所示。评估结果为该清水池处于轻微破坏与中等破坏之间。按照上述方法，对三次地震中 10 座清水池<sup>[3,13-14]</sup>进行单体评估，将软件评估结果与实际破坏等级列于表 6 中。

表 6 清水池单体评估结果与实际破坏等级对比

编号	待评估清水池	实际破坏等级	模型评估结果	是否相符
1	成都市金堂县	基本完好	基本完好 - 中等破坏	是
2	广元朝天区水厂	轻微破坏	基本完好 - 轻微破坏	是
3	绵阳市二水厂	轻微破坏	基本完好 - 严重破坏	是
4	绵阳新永供水公司	中等破坏	基本完好 - 严重破坏	是
5	新疆于田县	轻微破坏	基本完好 - 中等破坏	是
6	江油市	严重破坏	轻微破坏 - 毁坏	是
7	江油旗山镇某供水站	毁坏	轻微破坏 - 毁坏	是
8	玉树结古镇	中等破坏	轻微破坏 - 中等破坏	是
9	安县两镇一区水厂	严重破坏	轻微破坏 - 毁坏	是
10	北川县	毁坏	中等破坏 - 毁坏	是

从表 6 中可以看出，清水池的实际破坏等级全部落入评估结果区间内或与区间端点重合，初步验证了评估模型的准确性和评估软件的可靠性。

(3) 历史震害资料查询

将供水系统各类工程结构的震害资料输入到数据表中，通过数据表与界面的连接，软件运行时可查看被查询对象的震害资料。查询震害资料界面可以全屏放大，行高和列宽可调，便于信息

阅读。由于震害资料具有客观性，在软件运行阶段不可修改。

成功创建应用程序后，使用 VB6.0 自带的外接程序将评估软件打包并发布后，在若干台装有不同操作系统的计算机上进行测试，软件均运行良好。表明评估软件具备较好的兼容性和可操作性，适合实际工程应用。

7 结语

本文基于供水系统各类工程结构的震害资料及震害损失评估模型，在 Visual Basic 6.0 编程平台上完成了供水系统震害损失评估软件的开发，该软件在功能和使用方面具有以下特点：

(1) 供水系统震害损失评估软件实现了震害现场调查评估、震害损失快速评估和历史震害资料查询三大功能，可以快速地对震后供水系统各类工程结构的破坏及损失情况进行评估，对地震应急决策部门开展应急救援行动提供重要参考。

(2) 评估软件界面简洁、层次分明，逻辑性强、操作方便。通过使用 VB6.0 自带的外接程序及数据报表，使软件运行更稳定。软件安装、卸载过程简单，对计算机硬件配置要求不高，可供专业人员与非专业人员使用。

参考文献：

[1] 张弓强. 试论地震灾害对经济社会发展的影响[J]. 灾害学, 2012, 27(1): 121 - 124.

[2] 中国地震局工程力学研究所. 汶川地震工程震害科学考察总结报告[R]. 哈尔滨: 中国地震局工程力学研究所, 2009.

[3] 郭恩栋, 刘爱文, 刘贵位. 玉树地震生命线工程科学考察报告[R]. 哈尔滨: 中国地震局工程力学研究所, 2010.

[4] 牛海燕, 刘敏, 陆敏, 等. 中国沿海地区台风灾害损失评估研究[J]. 灾害学, 2011, 26(3): 61 - 64.

[5] 李树桢. 地震灾害评估[M]. 北京: 地震出版社, 1996.

[6] 高霖, 郭恩栋, 刘智, 等. 清水池震害评估模型研究[J]. 广西大学学报: 自然科学版, 2013, 38(1): 48 - 54.

[7] Greg Perry. 学用 Visual Basic 6.0[M]. 戴红, 陈喆, 姚娜, 译. 北京: 清华大学出版社, 1999.

[8] 王国荣. Visual Basic6. 0 数据库程序设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1999.

[9] 李淑华. VB 程序设计及应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.

[10] 魏江江. Visual Basic 控件编程百例通[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

[11] 赵钊, 郭恩栋, 高霖, 等. 基于 VC++ 的梁式桥震害评估软件[J]. 地震工程与工程振动, 2012, 32(2): 146 - 151.

[12] 郭恩栋, 杨丹, 高霖, 等. 地下管线震害预测实用方法研究[J]. 世界地震工程, 2012, 28(2): 8 - 13.

[13] 高霖, 郭恩栋, 王祥建, 等. 供水系统水池震害分析[J]. 自然灾害学报, 2012, 21(5): 120 - 126.

[14] 新疆地震信息网. 新疆于田-策勒7.3级地震灾害损失及地震烈度分布[EB/OL]. (2009-02-09) [2012-10-28]. [http://www.eq-xj.gov.cn/manage/html/f808181126bebda01126bec4dd00001/\\_content/09\\_02/09/1234166909353.html](http://www.eq-xj.gov.cn/manage/html/f808181126bebda01126bec4dd00001/_content/09_02/09/1234166909353.html).

[15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国标准化管理委员会. GB/T18208.4-2011 地震现场工作第4部分: 灾害直接损失评估[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.

[16] 袁一凡. 岩土工程结构震害预测方法研究[R]. 哈尔滨: 中国地震局工程力学研究所, 2000: 3-22.

## VB6.0 Based Software for Seismic Damage and Loss Evaluation of Water Supply System

Gao Lin, Guo Endong, Liu Zhi and Hong Guanglei

(Key Laboratory of Earthquake Engineering and Engineering Vibration, Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration, Harbin 150080, China)

**Abstract:** In order to quickly and accurately evaluate seismic damage as well as economic loss of all kinds of engineering structures in water supply system after earthquakes, and to carry out the earthquake emergency rescue work more effectively, an evaluation software is developed, which is based on Visual Basic 6.0 and established evaluation model of seismic damage and loss. Evaluation software basically realizes three functions include field survey evaluation of earthquake damage, rapid evaluation of seismic damage and loss and query of historical earthquake data. Through examples analyses and software tests, the reliability and operability of software is verified.

**Key words:** water supply system; seismic damage and loss; evaluation model; evaluation software; Visual Basic 6.0

(上接第 113 页)

[5] John L Innes. Magnitude-Frequency Relations of Debris Flows in Northwest Europe[J]. *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, 1985, 67(1/2): 23-32.

[6] 宗德孝, 高必春. 1997 年 5 月云南昭通两次大型泥石流灾害及防御对策[J]. *灾害学*, 1998, 13(2): 67-70.

[7] 余斌, 杨永红, 苏永超, 等. 甘肃省舟曲 8.7 特大泥石流调查研究[J]. *工程地质学报*, 2010, 18(4): 437-444.

[8] 韦方强, 谢洪, Jose L Lopez, 等. 委内瑞拉 1999 年特大泥石流灾害[J]. *山地学报*, 2000, 18(6): 580-582.

[9] 四川省地质工程勘察院. 宝兴县城周围地质灾害(冷木沟“8.18”泥石流)治理工程补充勘查报告[R]. 成都: 四川省地质工程勘察院, 2012.

[10] 费莱施曼. 泥石流[M]. 姚德基, 译. 北京: 科学出版社, 1985: 44-50.

## Formation of Low Frequency Debris Flow Induced by Short-time Heavy Rainfall in Mountain Area of Southwest China ——Take Lengmu Debris Flow as An Example, Baoxing, Sichuan Province

Tie Yongbo, Zhou Hongfu and Ni Huayong

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, China)

**Abstract:** Based on field survey and rainfall data analysis, this paper takes Lengmu debris flow which occurred debris flow on 18 August 2012 in Baoxing city Sichuan province as an example, and analyzed it's characteristics, formation and trend in development. Results show that the debris flow has characteristics as concealment, sudden running out and strong sediment transportation. The accumulative precipitation had a little influence to the occurrence of debris flow, but the short-time heavy rainfall, especially the precipitation with 55.9mm in one hour before the debris flow running out is the main cause of the debris flow formation. There is no large volume of landslides in Lengmu gully, the loose source of debris flow are form the deposit which accumulate in gully from erosion. These loose sources initiate because of the flood and form the debris flow. In addition, in the process of debris flow on 18 August 2012, there have a large number of deposit in middle and low location gully from debris flow, and the Lushan earthquake occur on 20 April 2013 enlarged the potential landslides in basin, Lengmu debris flow will change low frequency to high frequency in the future, and this need corresponding measures to reduce the risk from debris flow.

**Key words:** low frequency debris flow; short-time heavy rainfall; formation mechanics; Lengmu gully in Baoxing city