

# 基于区域降雨分布的震后地质灾害降雨阈值研究 ——以绵竹市清平乡为例

田述军<sup>1</sup>, 孔纪名<sup>2</sup>

(1. 西南科技大学 土木工程与建筑学院, 四川 绵阳 621010; 2. 中国科学院 水利部 成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

**摘 要:**以研究区周边 19 个气象站点的降雨数据为基础,通过空间插值拟合得到研究区 2010 年 8 月 13—14 日区域的降雨分布图,同时,将研究区划分为 138 条小流域;通过分析和统计这次降雨过程触发的 23 处地质灾害点所在小流域的降雨量,研究震后地质灾害群发的降雨阈值。研究表明:81.7 mm 为研究区震后地质灾害群发的降雨阈值,其值比震前降雨阈值降低了 59.15%,而实际降低的幅度可能比这个更大。相应于采用单一气象站点的降雨量,采用区域降雨量分布图进行地质灾害降雨阈值研究相对更为客观,对于丰富和完善降雨阈值研究方法也具有借鉴意义。

**关键词:**降雨阈值;地质灾害;区域降雨分布;小流域;汶川地震

中图分类号:P315.9

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)05-0237-04

## Study on Rainfall Threshold of Geo-hazard after Wenchuan Earthquake Based on Regional Rainfall Map —Take Qingping Town, Mianzhu County as Example

TIAN Shu-jun<sup>1</sup>, KONG Ji-ming<sup>2</sup>

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China; 2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Chengdu 610041, China)

**Abstract:**Based on rainfall data of 19 meteorological stations around study area, regional rainfall map of August 13 to 14, 2010 was obtained in the way of spatial interpolation. This paper divided the study area into 138 small watersheds. According to analysis and statistics the rainfall of small watershed where 23 geo-hazards were triggered by the rainfall of August 13 to 14, 2010, the study on rainfall threshold of geo-hazard after Wenchuan earthquake was carried out. The result shows that 81.7mm of rainfall is the threshold of mass geo-hazards occurrence in study area after Wenchuan earthquake, which is 59.15% lower than before the earthquake, and the actual reduction in amplitude may be greater than that. Compared to using rainfall of a single meteorological station, the regional distribution of rainfall is more objective to study the rainfall threshold of geo-hazards. The research method used in this paper is referential significance to enrich and improve the study of rainfall threshold of geo-hazards.

**Key words:**rainfall threshold; geo-hazard; regional rainfall map; small watershed; Wenchuan earthquake

2008 年 5 月 12 日,四川省汶川县发生 Ms 8.0 级地震,造成大量的人员伤亡和巨大财产损失,同时,地震触发数以万计的地震次生地质灾害<sup>[1-2]</sup>。在汶川地震作用下,产生了大量松散堆积物和潜在地质灾害,这些地质灾害在降雨影响下将转化为崩塌、滑坡

和泥石流等地质灾害。唐川等<sup>[3]</sup>认为滑坡、泥石流强烈型活动将持续 5~10 a,也有学者认为将持续 10~15 a,甚至 30 a<sup>[4-5]</sup>。汶川地震后,国内学者对震后泥石流活动趋势和成灾规律进行研究,取得了一些成果<sup>[6-12]</sup>。由于震后地质灾害的发生主要受降雨的影

收稿日期:2013-04-03

修回日期:2013-05-23

资助项目:国家高技术研究发展计划(2012AA121302);西南科技大学博士基金(11zx7160)

作者简介:田述军(1980—),男,四川新津人,博士,主要从事地质灾害评估和减灾研究。E-mail:tsj19800702@163.com

通信作者:孔纪名(1956—),男,重庆人,研究员,博导,主要从事山地灾害发生理论、灾害区域预测与评估、岩土工程与地质灾害防治方法与技术。E-mail:jimingk@imde.ac.cn

响,因此,研究触发地质灾害的降雨阈值对于地震灾区防灾减灾具有重要意义。汶川地震后,许多学者对地质灾害与降雨阈值之间的关系进行了研究<sup>[13-16]</sup>。由于气象站点多分布于行政区驻地,现有降雨阈值研究多以单个气象点的降雨数据代表区域降雨分布,由于区域不同地区距离气象站点的距离和不同地区承灾本底条件的差异,采用这一方法进行研究值得商榷。本文在对研究区周边多个气象站点降雨量统计的基础上,采用空间插值的方法拟合研究区区域降雨分布图;同时,将研究区划分为 138 个小流域,不同小流域单元其承灾本底条件相似;最后,统计降雨后发生地质灾害的小流域降雨量,研究震后地质灾害降雨量阈值。

# 1 研究区概况

本文以汶川大地震和震后地质灾害高发的绵竹市清平乡为研究区。清平乡以山地为主,地势总体上呈现西北高、东南低,高差悬殊(图 1)。清平乡位于龙门山推覆体前缘,跨越了太平推覆体、大水闸推覆体和高川推覆体三个构造单元,北川—映秀主断裂从区内通过,地质构造条件复杂,区内发育多条活动断裂。“5·12”地震对清平乡造成了严重的损失,并在区内诱发了大量的滑坡、崩塌和泥石流等山地灾害。其中以文家沟为典型代表,汶川地震导致沟谷内堆积了约 8 000 万 m<sup>3</sup> 的松散体,为泥石流的发育提供了丰富的物质条件。

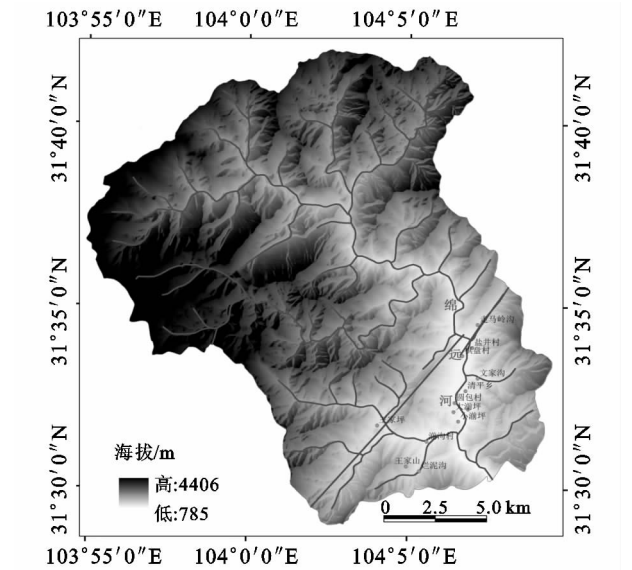


图 1 研究区地形地质图

降雨在时间分布上极不均匀,夏季的雨量大,冬季的雨量少,降雨强度和持续时间的差异较大,多年平均暴雨过程 3.2 次,最多可达 7 次,6—9 月均可出现 100 mm 以上的一

日最大降水量。2010 年 8 月 13 日,清平乡暴发特大型山洪泥石流灾害,同时,产生了大量崩塌和滑坡灾害,实际调查的有 23 处,如表 1 所示。

表 1 8 月 13 日后野外调查的 23 处灾害点

编号	灾害点名称	体积/万 m <sup>3</sup>
GH-01	白沙包不稳定斜坡	1.00
GH-02	白虎头滑坡	54.00
GH-03	麻柳湾泥石流	1.30
GH-04	蒲家沟泥石流	0.80
GH-05	草墩沟泥石流	2.40
GH-06	岩脑壳滑坡	3.40
GH-07	簸箕沟泥石流	0.70
GH-08	雍家沟泥石流	1.50
GH-09	刘獭子沟泥石流	2.00
GH-10	黑滩沟泥石流	0.90
GH-11	大梁子崩塌	90.00
GH-12	付家山崩塌	150.00
GH-13	走马岭沟泥石流	82.00
GH-14	罗家沟泥石流	16.02
GH-15	洞子沟泥石流	1.24
GH-16	娃娃沟泥石流	9.80
GH-17	滴洞沟泥石流	0.68
GH-18	谢家坝崩塌	0.50
GH-19	文家沟泥石流	450.00
GH-20	蔺家沟泥石流	1.48
GH-21	场镇后山潜在不稳定斜坡	25.00
GH-22	太阳沟泥石流	2.00
GH-23	蔡家沟泥石流	1.20

# 2 研究区小流域和降水数据

## 2.1 研究区小流域划分

首先对研究区的 DEM(数字高程模型)进行填充运算,生成无洼地的 DEM 数据;基于无洼地的 DEM,分别生成研究区的流向图层和汇流量图层;对汇流量设定阈值,从而自动提取研究区的河流;利用流向数据和径流数据,可以得出每条支沟的出水口;最后根据径流流向与支流的出水口,提取出小流域的边界,在此基础上,主要考虑小流域的整体性和完整性,结合研究区地形图对流域边界进行校正,最终将研究区划分为 138 条小流域(图 2)。

## 2.2 研究区降雨数据

研究区 8·13 过程降水量分布图以 19 个气象站点记录的 2010 年 8 月 13 日至 14 日 48 h 降水量为基础,由于 8·13 降水过程中清平乡雨量站器械发生故障,没能监测到此次降水量,故这个雨量站不包括在 19 个气象站点中,19 个气象站点的分布如图 3 所示。19 个气象站点 8 月 13 日和 8 月 14 日两天降水量,通过相加得到 8 月 13 日降水过程的降水量数据,如表 2 所示。

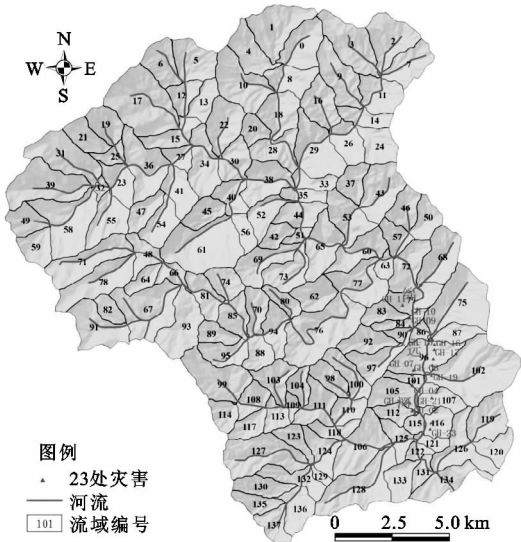


图 2 研究区 138 条小流域分布

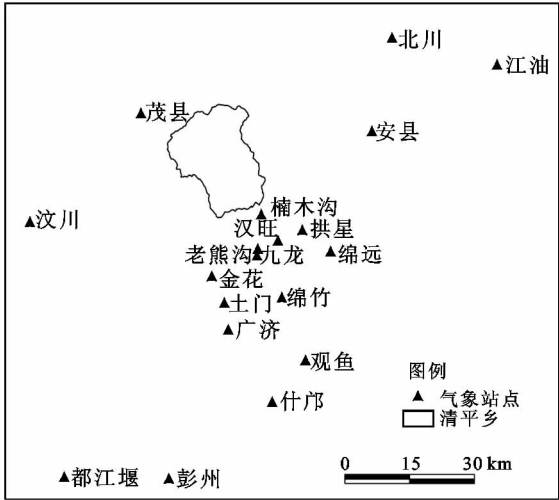


图 3 研究区周边 19 个气象站点空间分布

表 2 19 个气象站点 8·13 过程降水量

站点号	站名	48 h 降雨量合计/mm
56180	茂县	18.2
56183	汶川	5.5
56186	绵竹	62.4
56188	都江堰	112.5
56189	彭州	36.1
56190	安县	80.0
56194	北川	77.7
56195	江油	84.0
56197	什邡	90.3
S1901	金花	126.1
S1907	楠木沟	117.9
S1923	广济	110.3
S1937	绵远	15.0
S1946	汉旺	36.6
S1955	拱星	70.8
S1956	九龙	95.4
S1957	老熊沟	10.7
S1958	土门	125.5
S1961	观鱼	83.2

3 研究区地质灾害降雨阈值研究

3.1 研究区区域拟合降雨量

研究区 8 月 13 日过程降水量分布图以 19 个气象站点 2010 年 8 月 13—14 日 48 h 降水量的记录为基础,在 ArcGIS 中通过空间插值拟合获得研究区 8·13 过程降水量的栅格数据,如图 4 所示。研究区 8 月 13 日拟合降雨量为 35.2~112.9 mm,其分布空间呈现出从西北向东南逐渐增大的趋势。在 ArcGIS 中,将 138 条小流域与 8·13 过程降水量元件进行叠加分析,分别统计各小流域 8 月 13 日过程降水量。

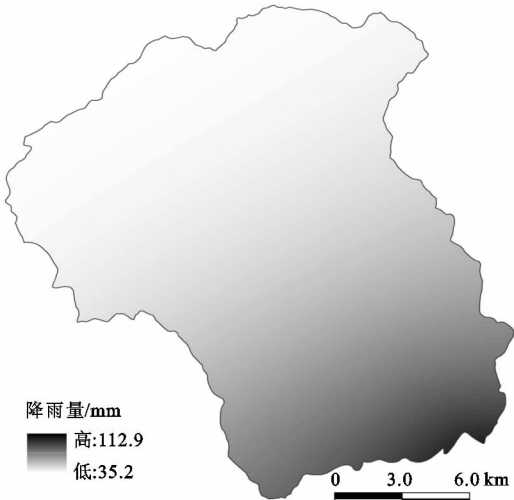


图 4 研究区 8 月 13 日过程降水量拟合图

3.2 研究区震后地质灾害临界降雨量

在 ArcGIS 平台下,以野外调查的 8 月 13 日降水触发的 23 处地质灾害为统计样本,统计灾害所在小流域拟合降雨量的最小值和最大值,统计结果如表 3 所示。从统计结果看,23 处灾害所在小流域拟合平均降雨量最小值为 81.7 mm,最大值为 98.5 mm。

表 3 23 处灾害所在小流域降雨量

小流域编号	最小值/mm	最大值/mm	平均降雨量/mm
75	79.6	87.9	83.8
79	79.8	83.5	81.7
84	82.6	85.0	83.8
87	86.1	88.7	87.4
90	84.2	86.8	85.5
96	86.7	91.3	89.0
101	89.1	94.9	92.0
102	88.3	97.0	92.7
105	89.6	95.8	92.7
107	93.6	97.5	95.6
112	92.4	96.4	94.4
115	95.3	98.5	96.9
116	96.2	100.7	98.5

根据 23 处灾害所处小流域的平均降雨量,可以

将其最小值即 81.7 mm 作为研究区震后地质灾害群发的降雨阈值。而实际上研究区还有一些灾害因为交通条件限制没能获取,这些灾害主要分布在研究区西北部,但根据区域降雨量分布图(图 4),这些区域小流域降雨量应小于这个值。1986 年,成都地质学院(现成都理工大学)根据大量统计,以 200 mm/d 作为四川盆地地区暴雨滑坡群发的降雨阈值<sup>[17]</sup>。假设选择降水量 200 mm/d 作为研究区震前地质灾害群发降雨阈值,同时,以 81.7 mm 作为研究区震后地质灾害群发的降雨阈值,则震后地质灾害的降雨阈值也比震前降低了 59.15%,而 81.7 mm 实际为 48 h (2010 年 8 月 13—14 日)降雨量,因此,实际的降低幅度可能比这个更大。

## 4 结论

本文以研究区周边气象站点 2010 年 8 月 13—14 日降雨数据为基础,通过空间插值拟合得到研究区区域降雨分布图,并根据 8·13 后实际调查的 23 处地质灾害点所处小流域降雨量,将 81.7 mm 作为研究区震后地质灾害群发的降雨阈值,其值比震前降雨阈值降低了 59.15%,而实际降低的幅度可能比这个更大,研究区震后与震前相比,地质灾害的承灾环境发生了很大变化。

相应于采用单一气象站点的降雨量,采用区域降雨量分布图进行地质灾害降雨阈值分析相对更为客观。但这种方法仍然存在一些问题有待解决,如本文所采用的方法不能体现不同海拔高度降雨量的差异。

### 参考文献:

- [1] 殷跃平. 汶川八级地震滑坡特征分析[J]. 工程地质学报, 2009, 17(1): 29-38.
- [2] 黄润秋, 李为乐. “5·12”汶川大地震触发地质灾害的发育分布规律研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(12): 2585-2592.
- [3] Tang C, Zhu J, Li W L. Rainfall triggered debris flows after Wenchuan earthquake[J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2009, 68(2): 187-194.
- [4] 谢洪, 钟敦伦, 矫震, 等. 2008 年汶川地震重灾区的泥石流[J]. 山地学报, 2009, 27(4): 501-509.
- [5] 崔鹏, 韦方强, 何思明, 等. 5·12 汶川地震诱发的山地灾害及减灾措施[J]. 山地学报, 2008, 26(3): 280-282.
- [6] 崔鹏, 庄建琦, 陈兴长. 汶川地震区震后泥石流活动特征与防治对策[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2010, 42(5): 10-19.
- [7] 游勇, 陈兴长, 柳金峰. 四川绵竹清平乡文家沟“8·13”特大泥石流灾害[J]. 灾害学, 2011, 26(4): 68-72.
- [8] 谢洪, 钟敦伦, 矫震. 2008 年汶川地震重灾区的泥石流[J]. 山地学报, 2009, 27(4): 501-509.
- [9] Tian Shujun, Kong Jiming, Li Xiuzhen. Forecast method of multimode system for debris flow risk assessment in Qingping Town, Sichuan Province, China[J]. Journal of Mountain Science, 2011, 8(4): 592-602.
- [10] 冯文凯, 杜杰, 石豫川, 等. 一颗印沟泥石流评价及震后预测[J]. 水土保持研究, 2010, 17(6): 68-77.
- [11] 裴钻, 裴向军, 付尚瑜. 震裂山体滑坡—溃决型泥石流特征及防治措施研究[J]. 水土保持研究, 2011, 18(5): 217-220.
- [12] 丁军, 朱静, 王磊, 等. 5·12 汶川地震灾区茂县地质灾害危险性评价[J]. 水土保持研究, 2010, 17(5): 12-16.
- [13] 林鸿州, 于玉贞, 李广信, 等. 降雨特性对土质边坡失稳的影响[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(1): 198-204.
- [14] 陈天健, 蔡和伦, 黄彦荣, 等. 人工降雨模型试验研究降雨入渗对滑坡类型之影响[J]. 水土保持研究, 2012, 19(1): 254-257.
- [15] 齐信, 唐川, 陈州丰, 等. 汶川地震强震区地震诱发滑坡与后期降雨诱发滑坡控制因子耦合分析[J]. 工程地质学报, 2012, 20(4): 522-531.
- [16] 唐川. 汶川地震区暴雨滑坡泥石流活动趋势预测[J]. 山地学报, 2010, 28(3): 341-349.
- [17] 成都地质学院. 四川盆地暴雨滑坡的形成机制及稳定性研究[R]. 地矿部“西南、崩滑灾害山区斜坡稳定性研究”专报, 1986.