doi:10.11988/ckyyb.20170988 2019,36(4):43-48

西南山区泥石流灾害与厄尔尼诺-拉尼娜事件时空耦合关系分析

高云建[1,2],陈宁生[1],胡桂胜[1],邓明枫[1]
(1.中国科学院 水利部成都山地灾害与环境研究所,成都 610041;2.中国科学院大学,北京 100049)

摘 要:研究在厄尔尼诺-拉尼娜事件的影响下西南山区泥石流灾害的时空分布特征,将有助于为泥石流灾害的预测预报提供基础指导。根据统计数据,结合GIS空间分析技术,研究西南山区泥石流灾害事件与厄尔尼诺-拉尼娜事件的时空耦合关系。研究结果显示:厄尔尼诺-拉尼娜事件年西南山区泥石流灾害暴发频率在时间上总体呈增加趋势,且拉尼娜年发生频次多于厄尔尼诺年;厄尔尼诺-拉尼娜事件年西南山区泥石流灾害暴发在空间分布上主要集中于藏东南山区、横断山区、滇东北、贵州西部、贵州西南部、滇西北、大渡河及雅砻江流域等地区;厄尔尼诺-拉尼娜年西南山区泥石流灾害点的降雨量总体上大于多年平均降雨量。西南山区泥石流灾害事件与厄尔尼诺-拉尼娜事件存在明显的关联性,研究两者关系特征,将有助于对西南山区泥石流灾害进行多方位、准确合理的预测预报。

关键词:泥石流灾害;厄尔尼诺;拉尼娜;GIS空间分析;西南山区
中图分类号:P642.23 **文献标志码**:A
文章编号:1001-5485(2019)04-0043-06

Temporal and Spatial Coupling Relationship Between Debris Flow and El Nino-La Nina Event in Southwest China

GAO Yun-jian[1,2], CHEN Ning-sheng[1], HU Gui-sheng[1], DENG Ming-feng[1]
(1.Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;
2.University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Researching the temporal and spatial distribution characteristics of debris flow in mountainous area of southwest China under the influence of El Nino-La Nina event will be conducive to providing basic guidance for the prediction of debris flow disaster. According to statistical data, we examined the spatiotemporal coupling relationship between debris flow events and El Nino-La Nina events in mountainous area of southwest China through GIS spatial analysis approach. We found that 1) in El Nino-La Nina year, the frequency of debris flow disaster in mountainous area of southwest China increased in temporal scale, and the occurrence frequency in La Nina year was larger than that in El Nino year; 2) in spatial scale, under El Nino and La Nina events, debris flow disaster was mainly concentrated in mountainous area of southeast Tibet, Hengduan Mountains, northeast Yunnan Province, west and southwest parts of Guizhou Province, northwest Yunnan Province, Dadu River basin, and Yalong River basin, etc; 3) in El Nino-La Nina year, rainfall amount in the debris flow stricken area was larger than multi-year average rainfall in general. We conclude that debris flow events in mountainous area of southwest China are evidently correlated with El Nino-La Nina events.

Key words: debris flow disaster; El Nino; La Nina; GIS spatial analysis; mountainous area in southwest China

收稿日期:2017-08-25;**修回日期**:2017-09-18
基金项目:国家自然科学基金国际合作与交流项目(41661134012)
作者简介:高云建(1991-),男,藏族,四川汶川人,硕士研究生,主要从事山洪泥石流形成理论与防治技术及山地灾害监测预警技术研究。E-mail:1484508787@qq.com
通信作者:陈宁生(1965-),男,四川成都人,研究员,博士,博士生导师,主要从事山洪泥石流形成理论与防治技术及山地灾害监测预警技术研究。E-mail:chennsh@imde.ac.cn

1 研究背景

全球气候变暖及气候演变加剧的大背景下,厄尔尼诺-拉尼娜事件时常发生[1-2]。厄尔尼诺(El nino)现象是指发生在中、东太平洋海温异常增暖的一种气候现象,也称之为"暖事件"。拉尼娜(La nina)现象是指赤道中、东太平洋水温反常下降的一种现象,表现为中、东太平洋明显变冷,也称之为"反厄尔尼诺"或"冷事件"。当赤道中、东太平洋海表温度持续6 个月以上偏高0.5 ℃时,称之为一次厄尔尼诺事件;当赤道中、东太平洋海表温度持续 6 个月以上偏低0.5 ℃时,称之为一次拉尼娜事件[1]。据统计,1951—2016 年65 a 间,共有 19 个厄尔尼诺年(暖事件)、14 个拉尼娜年(冷事件),正常年份32 个。全球在厄尔尼诺-拉尼娜等极端气候事件的影响下,自然灾害暴发频繁[3-6]。如 1997,1998 年是强厄尔尼诺事件年之一,1998 年夏季我国长江中下游及华南部分地区连续暴雨和特大暴雨,长江发生全流域特大洪水,嫩江、松花江流域发生百年不遇特大洪水,全国受灾面积达 20 万 km^2,绝收5.27万 km^2,洪水造成的直接经济损失达 2 500 亿元人民币[1]。再如 1982,1983 年厄尔尼诺事件,印度西北部雨季干旱,作物枯萎,而东部恒河平原大面积洪涝,600 人死亡,农作物和建筑物损失估计达 7 亿美元,200 万人无家可归。孟加拉国无数人葬身洪水,2.5万人无家可归[1]。厄尔尼诺-拉尼娜事件引发了严重的灾害事件,而这其中,泥石流灾害的暴发频率和强度在厄尔尼诺-拉尼娜事件年有所加剧。

西南地区山地面积广、构造活动强烈、地形条件复杂、极端天气异常,因此是我国泥石流灾害/灾变暴发的高发区域。张京红等[7]研究了 ENSO(厄尔尼诺-南方涛动)循环与云南蒋家沟泥石流灾害发生的关系,结果表明:厄尔尼诺年,泥石流发生频次、径流量和输沙量偏少的概率较大;拉尼娜年,泥石流发生频次、径流量和输沙量偏多或持平的概率较大。张鹏飞等[8]研究了 50 a 以来厄尔尼诺-拉尼娜事件对山西省气候影响,结果显示:自 1956 年以来,山西省年降雨量呈明显的波动减少的趋势,其中厄尔尼诺年降雨量低于正常年份 48 mm,发生干旱的可能性大;拉尼娜年降雨量低于正常年份 16 mm,发生灾害的可能性小。马振宁等[9]研究了 ENSO 影响下陕甘宁蒙接壤区暴雨灾害风险评价,结果显示:研究区暴雨灾害和拉尼娜关系密切,且不同地区影响具有差异性。

目前,国内外学者关于厄尔尼诺-拉尼娜与泥石流时空关系研究较少,系统性、大范围、系统分区的研究较为欠缺。基于目前国内外学者的研究现状,结合全球气候变暖的大背景下,本文讨论泥石流灾害与厄尔尼诺-拉尼娜事件的关系特征。本文统计泥石流灾害事件共 234 次,其中造成人员死亡的泥石流灾害事件 115 次,未造成人员死亡但有经济损失的泥石流灾害事件 119 次。另外,本文统计自 1951 年以来的厄尔尼诺-拉尼娜事件,包括发生时间、持续时长、暴发强度等数据。通过分析泥石流灾害事件与厄尔尼诺-拉尼娜事件的时空关系特征,深化对泥石流灾害暴发条件的认识,为泥石流灾害的深入研究提供基础指导。

2 研究区概况

我国西南山区位于第一阶梯与第二阶梯的过渡区域,泥石流灾害频发、危害大、分布范围广。西南地区主要包括四川省、云南省、贵州省、重庆市、西藏自治区五省(自治区、直辖市)。区域地形结构复杂,主要以高原、山地为主,分布有青藏高原、横断山脉、云贵高原、四川盆地等;气候主要为热带季风气候、亚热带季风气候和高原山地气候,东部主要受东亚季风气候影响,西南部主要受西南季风影响。西南山区泥石流灾害主要分布于高山峡谷地区,且分布范围广:四川省主要分布于横断山区、川西高原、川北丘陵、安宁河、金沙江、大渡河、雅砻江流域等;云南省主要分布于滇西北、滇东北、滇西南及红河流域河谷地区等;贵州省主要分布于云贵高原入山陡坡地带、东北部大娄山和武陵山地带、黔南与黔西南交界的苗岭入缓丘地带等;重庆市主要分布于渝北山地、渝东山区等;西藏自治区主要分布于藏东南缘的雅鲁藏布江河谷、国道 318 沿线,以及喜马拉雅山区等。

西南山区泥石流灾害暴发的影响因素较多,如构造活动、断层、地震、地形、地层岩性、干旱、降雨、人类活动等。西南地区位于印度洋板块和喜马拉雅板块的挤压带,构造活动强烈,断层分布广泛。从地形上看,据统计,我国西南山区泥石流沟的平均沟床比降可分为:<50‰的小沟床比降,该类沟床不易发生泥石流;50‰~100‰的中小沟床比降,此类沟床发生泥石流可能性较小;100‰~300‰的较大沟床比降,此类沟床发生泥石流可能性较大;300‰~500‰的大沟床比降,此类沟床发生泥石流可能性大;>500‰的极大沟床比降,此类沟床不易发生泥石流[10]。西南地区是

地震高度活跃的地带，分布有多条地震带，如龙门山地震带、安宁河谷地震带、小江地震带、喜马拉雅地震带、康定—甘孜地震带等。据卢阳[11]关于地震和干旱与泥石流关系的研究，地震往往会在极短的时间内既改变沟谷流域的地形地貌，又为泥石流形成提供丰富的松散固体物质，还可以为泥石流提供间接水源；干旱主要使土体开裂，增加土体孔隙，破坏土体原有的力学性质，降低土体的抗剪强度，在后期降雨作用下，土体很容易失稳启动。西南山区泥石流形成的物源、水源、地形条件均满足，因此成为我国泥石流暴发的高发区域。

3　数据收集与分析方法

3.1　数据收集

研究西南山区泥石流灾害与厄尔尼诺-拉尼娜事件的关系特征，需要泥石流灾害和厄尔尼诺-拉尼娜事件 2 方面的数据。首先，泥石流灾害数据主要收集泥石流灾害点的位置、降雨、气温、灾害损失情况等。其中降雨、气温主要统计各泥石流灾害点厄尔尼诺-拉尼娜年当年的年降雨量、年平均气温，以及该点多年平均降雨量、多年平均气温数据。泥石流灾害事件统计共 234 次，统计分为有人员死亡（115 次）和有财产损失（119 次）2 类，如图 1 所示。泥石流灾害点的选取尽可能均衡化，即各省、各地区均匀统计，同时尽量满足泥石流灾害事件的数量。其次，厄尔尼诺-拉尼娜事件数据的统计，主要收集 1951 年以来的厄尔尼诺-拉尼娜事件，其中厄尔尼诺事件 61 次、拉尼娜事件 71 次、冷/暖或暖/冷事件转换事件 15 次，如表 1 所示。数据统计主要包括厄尔尼诺-拉尼娜年的数量、强度、发生时间、持续时间等。

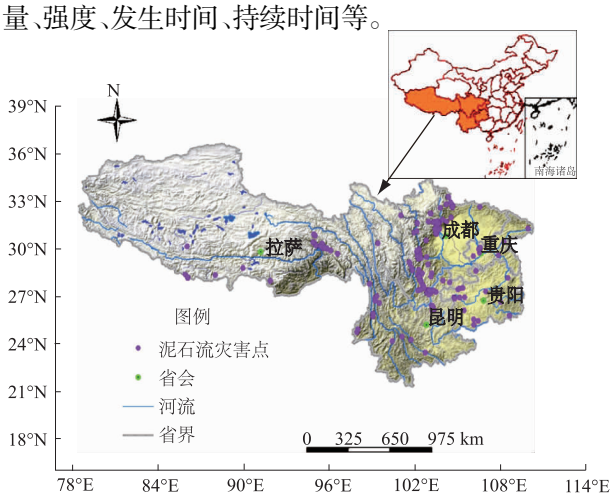


图 1　西南地区泥石流灾害事件分布

Fig.1　Distribution of debris flow events in Southwest China

表 1　西南山区泥石流灾害与厄尔尼诺-拉尼娜事件发生时间、频次关系

Table 1　Relation between debris flow disaster and occurrence time and frequency of El Nino and La Nina events in Southwest China

极端事件	发生年份（自 1951 年以来）	泥石流灾害次数
厄尔尼诺（暖事件）	1952，1953，1957，1963，1965，1969，1972，1976，1979，1983，1987，1991，1993，1994，1997，2002，2006，2009，2015	61
拉尼娜（冷事件）	1955，1956，1964，1968，1971，1973，1975，1985，1988，1996，1999，2007，2010，2011	71
冷/暖、暖/冷事件转换	1968，1984，1995，1996，1998，2008	15

3.2　分析方法

本文主要通过统计方法进行西南山区泥石流灾害与厄尔尼诺-拉尼娜事件的关系研究，具体采用 Origin，SPSS 等软件进行统计分析。此外，借助 GIS 技术，对数据资料进行空间分析，研究两者的空间关系特征。

4　泥石流灾害与厄尔尼诺-拉尼娜事件的关系分析

本文收集西南山区 234 次泥石流灾害事件数据，同时收集自 1951 年以来的厄尔尼诺-拉尼娜事件。通过数据统计，分析泥石流灾害与厄尔尼诺-拉尼娜事件的时空耦合关系。据统计，1951—2016 年 65 a 间，共有 19 次厄尔尼诺年（暖事件）、14 次拉尼娜年（冷事件），正常年份 32 个。统计泥石流灾害次数 234 次，其中 61 次泥石流灾害事件发生于厄尔尼诺年（暖事件），占总数的 26%；71 次泥石流灾害事件发生于拉尼娜年（冷事件），占总数的 30%；15 次泥石流灾害事件发生于冷/暖或暖/冷事件转换年，占总数的 6%。

4.1　泥石流灾害与厄尔尼诺-拉尼娜事件时间关系分析

全球气候变化渐趋活跃，另外伴随人类活动的加剧，极端灾害事件不断增加，在时间上表现得尤为突出。统计自 1951 年以来的 234 次泥石流灾害事件，以 5 a 为时间间隔，分析厄尔尼诺-拉尼娜年泥石流灾害发生的时间关系。结果显示：从 20 世纪 50 年代开始至今，西南山区泥石流灾害暴发频率在厄尔尼诺-拉尼娜年有明显的增加趋势；自 20 世纪 80 年代开始，西南山区泥石流灾害在厄尔尼诺-拉尼娜年的发生频次不断上升；总体上看，泥石流灾害在拉尼娜年发生频次要高于厄尔尼诺年，如表 2 和图 2 所示。

表 2 西南山区泥石流灾害与厄尔尼诺-拉尼娜事件时间关系

Table 2 Temporal frequency of debris flow disaster in El Nino and La Nina events in Southwest China

年限	泥石流灾害次数			总次数
	厄尔尼诺年	拉尼娜年	冷/暖或暖/冷事件转换年	
1951—1955	2	2	0	4
1956—1960	3	0	0	3
1961—1965	0	4	0	4
1966—1970	1	2	1	4
1971—1975	3	4	0	7
1976—1980	2	0	0	2
1981—1985	10	6	3	19
1986—1990	2	7	0	9
1991—1995	16	1	2	19
1996—2000	8	11	6	25
2001—2005	2	0	0	2
2006—2010	11	31	3	45
2011—2016	1	3	0	4

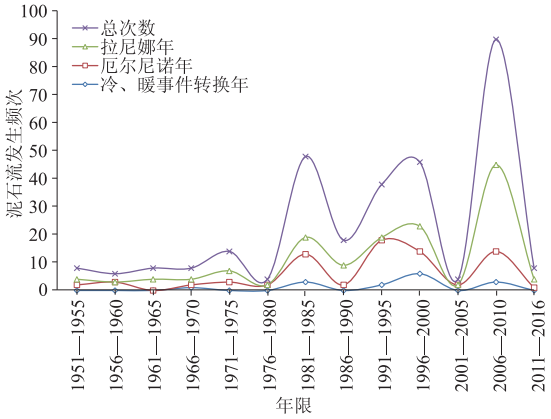


图 2 西南山区泥石流灾害与厄尔尼诺-拉尼娜事件时间关系

Fig.2 Temporal frequency of debris flow disaster in El Nino and La Nina events in Southwest China

4.2 泥石流灾害与厄尔尼诺-拉尼娜事件空间关系分析

泥石流的暴发，除了受极端天气、极端气候等所控制的水源因素影响以外，还受其他因素如地形、物源等的影响。反之亦然，当泥石流暴发的地形、物源条件都得到满足，水源条件的盈亏则成为泥石流最终暴发的关键因素。基于 GIS 技术进行空间分析，分析在厄尔尼诺-拉尼娜年及冷、暖事件转换年，泥石流灾害在空间范围上的分布特征，如图 3、表 3 所示。结果表明：①在厄尔尼诺-拉尼娜事件年，泥石流灾害暴发比较频繁的区域有藏东南山区、横断山区、滇东北、贵州西部及西南部、滇西北、大渡河及雅砻江流域等；②在大渡河及雅砻江流域、滇东北、贵州西部及西南部等区域，厄尔尼诺年爆发泥石流灾害要多于拉尼娜年；③在横断山区、凉山州安宁河流域、滇西北、重庆山区、藏东南山区、喜马拉雅山区等区域，拉尼娜年泥石流灾害爆发多于厄尔尼诺年。

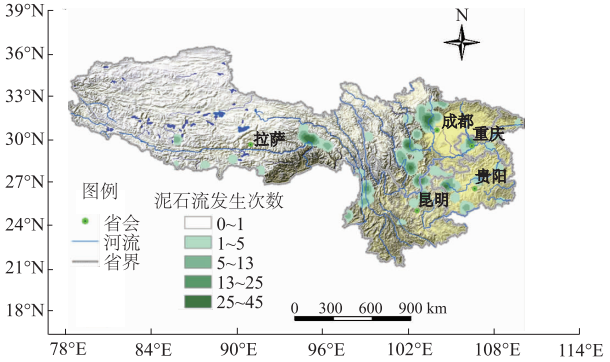


图 3 厄尔尼诺-拉尼娜年西南地区泥石流灾害分布密度

Fig.3 Density distribution of debris flow in Southwest China in El Nino and La Nina years

表 3 西南山区泥石流灾害与厄尔尼诺-拉尼娜事件空间关系

Table 3 Spatial distribution of debris flow in El Nino and La Nina events in Southwest China

地区	泥石流灾害次数			总次数
	厄尔尼诺年	拉尼娜年	厄尔尼诺向拉尼娜过渡期间	
横断山区	10	11	1	22
大渡河及雅砻江流域	9	4	1	14
凉山州安宁河流域	2	5	4	11
滇东北	8	4	4	16
滇西北	4	7	0	11
贵州西部及西南部	9	7	1	17
重庆山区	3	7	0	10
藏东南山区	9	14	1	24
喜马拉雅山区东部	1	4	1	6
其他地区	6	8	2	16

4.3 厄尔尼诺-拉尼娜年西南地区泥石流灾害点降雨的时空分布特征

泥石流的暴发需满足水源条件，其中降雨是重要的水源补给方式。统计自 1951 年以来，泥石流灾害发生的厄尔尼诺年、拉尼娜年、冷/暖或暖/冷事件转换年的年降雨、气温数据。另外，统计各泥石流灾害点多年平均降雨量和多年平均气温数据。以 1981—2010 年近 30 a 间的多年平均降雨为基准，根据泥石流发生的不同区域，统计其多年平均降雨量。根据统计分析，对比厄尔尼诺-拉尼娜年及冷/暖或暖/冷事件转换年与正常年份的降雨和气温数据，结果显示：①在厄尔尼诺年，西南山区泥石流灾害点降雨量略大于多年平均降水量，且降雨波动较大；②在拉尼娜年，西南山区泥石流灾害点降雨量明显大于多年平均降水量，甚至某些地区降雨量出现大幅度增加；③在冷/暖或暖/冷事件转换年，

西南山区泥石流灾害点降雨量总体大于多年平均降水量；④在厄尔尼诺-拉尼娜事件的影响下，西南地区降雨量普遍增加，且异常降雨趋势明显。在厄尔尼诺-拉尼娜年，降雨的增加意味着西南山区泥石流灾害/灾变发生的可能性增大，如图 4 所示。其中，图 4(a)中 50 号泥石流沟厄尔尼诺当年降雨数据缺失；图 4(b)中 27 号、29 号泥石流沟降雨数据与 28 号相同，因为同时间、同地点 3 处泥石流发生，因此仅统计了 28 号，45 号泥石流沟降雨数据缺失。

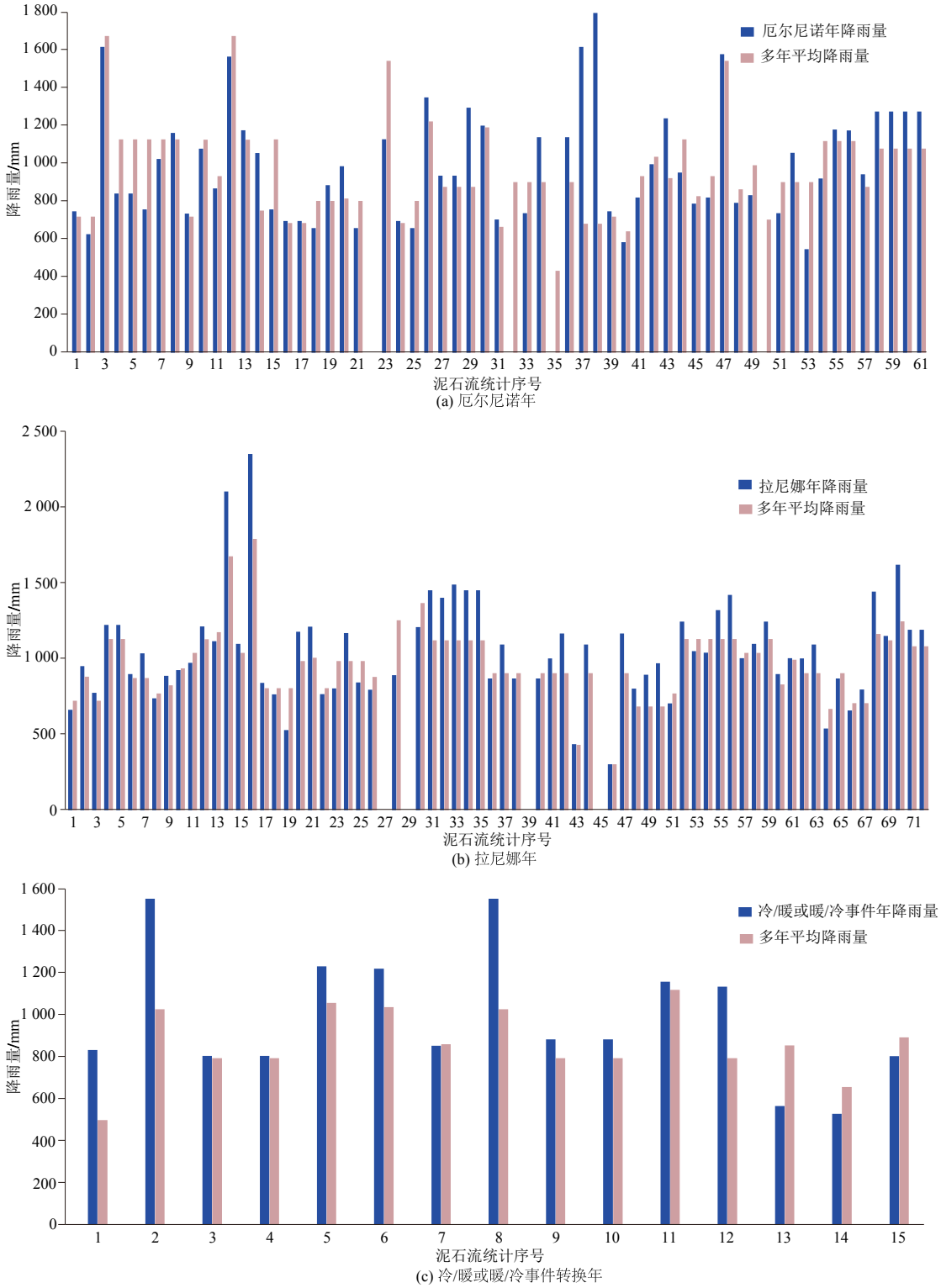


图 4　不同事件年西南山区泥石流灾害点降雨量

Fig.4　Rainfall at debris flow locations in southwest China in El Nino La Nina years and cold/warm or warm/cold event transition years

5 结 论

随着全球气候变暖,极端天气变化异常,特别是在厄尔尼诺-拉尼娜事件的影响下,西南山区暴发了大量的自然灾害/灾变事件。其中泥石流灾害近年来的暴发频率有所增加,并且受极端降雨、干旱等天气的影响,暴发特征极为异常。本文统计西南山区 234 次泥石流灾害事件,其中造成人员死亡的泥石流灾害 115 次,造成财产损失的泥石流灾害 119 次。收集自 1951 年以来 65 a 间的厄尔尼诺-拉尼娜事件,其中厄尔尼诺事件 19 次、拉尼娜事件 14 次、正常年份 32 个。通过统计分析,同时借助 GIS 空间分析技术,研究西南山区泥石流灾害事件与厄尔尼诺-拉尼娜事件的时空耦合关系。结果显示:

(1)在时间关系上,厄尔尼诺-拉尼娜年西南山区泥石流灾害暴发频率有明显的增加趋势,特别是 20 世纪 80 年代开始,泥石流活动异常频繁。另外,泥石流灾害在拉尼娜年发生频次要高于厄尔尼诺年。

(2)在空间关系上,厄尔尼诺-拉尼娜事件年,泥石流灾害暴发比较频繁的区域主要分布于藏东南山区、横断山区、滇东北、贵州西部及西南部、滇西北、大渡河及雅砻江流域等地区,且各地区厄尔尼诺年和拉尼娜年泥石流暴发频率不同。

(3)在厄尔尼诺-拉尼娜年,西南山区泥石流灾害点的降雨量总体上大于多年平均降雨量,并且降雨暴发相对异常。西南山区泥石流灾害点在时间和空间关系上和厄尔尼诺-拉尼娜事件耦合关系明显,同时降雨量也明显对于多年平均降雨量。因此,在厄尔尼诺-拉尼娜事件的影响下,西南山区泥石流灾害事件有明显的响应趋势,两者关系密切。

参考文献:

[1] 翟盘茂,李晓燕,任福民,等.厄尔尼诺[M].北京:气象出版社,2003.

[2] 段 旭,陶 云,杜 军,等.西南地区气候变化基本事实及极端气候事件[M].北京:气象出版社,2011.

[3] 徐小玉,王亚非. ENSO 对青藏高原雪深的影响及持续性分析[J].高原气象,2016,35(1):1-12.

[4] 刘屹岷,刘伯奇,任荣彩,等.当前重大厄尔尼诺事件对我国春夏气候的影响[J].中国科学院院刊,2016,31(2):241-250.

[5] 吴梦初,延军平.太阳活动与 ENSO 事件对云南省旱涝灾害的影响[J].水土保持研究,2014,34(4):280-284.

[6] 袁 媛,李崇银,杨 崧. 与厄尔尼诺和拉尼娜相联系的中国南方冬季降水的年代际异常特征[J].气象学报,2014,(2):237-255.

[7] 张京红,韦方强,刘淑珍,等.ENSO 与云南蒋家沟泥石流灾害发生的关系[J].自然灾害学报,2005,14(4):14-18.

[8] 张鹏飞,赵景波.50 余年来厄尔尼诺-拉尼娜(El Nino/La Nina)事件对山西省气候影响分析[J].干旱区资源与环境,2012,26(2):75-78.

[9] 马振宁,杨 蓉,杨美玲.ENSO 影响下陕甘宁蒙接壤区暴雨灾害风险评价[J]. 水土保持研究,2016,23(4):294-299.

[10] 陈宁生.泥石流勘查技术[M].北京:科学出版社,2011:124-178.

[11] 卢 阳.地震和干旱对泥石流发育的影响模式及机理研究[D].北京:中国科学院大学,2013.

(编辑:赵卫兵)

长江科学院派员赴青海省可可西里国家级自然保护区开展高原湖泊盐湖高程测量工作

2019 年 3 月 1 日至 7 日,长江科学院空间信息技术应用研究所(以下简称空间信息所)所长谭德宝教授级高级工程师带队赴青海省可可西里国家级自然保护区,联合青海省水文水资源勘测局、青海省水利水电勘测设计院组成联合工作组,对可可西里盐湖湖泊进行了现场勘测工作。

工作组采用星载差分高精度 GPS 设备和移动调绘系统,在盐湖近垭口方向冰面上选取点位进行了高精度高程测量,同时对堰口附近古河道进行高程测量,以验证空间信息所前期提供的盐湖面积和水位变化信息遥感提取信息的精度。在随后由青海省水利厅灾害防御处主持召开的可可西里盐湖水位测量分析会上,与会领导专家对本次实测高程数据进行了充分讨论和分析,一致认为长江科学院空间信息所前期提供的盐湖湖泊面积和水位高程遥感提取结果与实测高程具有极高的可靠性,决定采纳空间信息所提供的当前盐湖湖冰高程、设定堰口最低高程和湖泊水体面积变化等关键数据,形成 2019 年 3 月可可西里盐湖水情通报和会议纪要,并依此向上级汇报盐湖水位变化情况。最后,工作组提出需要进一步加强可可西里盐湖水位监测工作,继续收集基础资料,建立盐湖水量平衡模型,对盐湖水位未来变化趋势进行预测预报,建立部门间协调配合和信息共享机制,为后期应急处置和工程实施提供数据支撑,为相关部门制订相应的防范措施提供依据。

(摘自:长江水利科技网)