

# 站点密度对泥石流当日雨量和 前期有效雨量计算的影响

张国平, 晁 媛, 许凤雯, 赵琳娜

(中国气象局公共气象服务中心, 北京 100081)

**摘要:** 研究气象站点密度在当日雨量和前期有效雨量因子内插中的影响程度, 对提高对这 2 个因子的内插精度有重要的意义。本文针对我国东南地区 87 个泥石流灾害点和 207 个站点的降水资料, 建立站点密度在 5%~100% 间变化的空间采样方案, 采用反距离加权法 (IDW) 计算不同站点密度下泥石流灾害点的当日雨量和前期有效雨量。利用分位数方法对站点密度与当日雨量和前期有效雨量的关系进行分析, 结果表明: 诱发泥石流灾害的当日雨量和前期有效雨量的内插值, 均随着气象站点密度的降低呈减少趋势; 前期有效雨量的内插值相对于当日雨量的内插要稳定一些。在站点密度大于 5% 的情况下内插的前期有效雨量可以保持 60% 以上的雨量值, 而当日雨量只大于 30%。

**关 键 词:** 气象站点密度; 降水内插; 泥石流; 前期有效雨量; 当日雨量

**文章编号:** 1000-0585(2011)07-1237-07

## 1 引言

获取诱发泥石流灾害的前期雨量是开展泥石流灾害预测、预报和预警等工作的前提条件之一。前期雨量可以分为前期有效雨量和当日雨量<sup>[1]</sup>, 前者一般指泥石流发生前 14 天的累积有效雨量。由于气象站点大部分分布在城镇所在地, 并不能代表泥石流发生点的雨量, 所以需要进行泥石流点雨量的插值计算。

就目前研究而言降水内插方法可以分为几何方法、统计方法、空间统计方法, 函数方法、随机模拟方法、物理模型模拟方法和综合方法<sup>[2]</sup>。目前降水内插研究主要集中于 3 个方面: (1) 利用相同的检验方法, 对常用的内插方法进行比较, 研究适合特定区域的内插方法; 检验的指标一般有平均误差 (ME)、平均绝对误差 (MAE)、平均误差均方根 (RMSIE)<sup>[3~13]</sup>。(2) 针对某种插值方法, 研究利用高程、坡向、地理位置等因素提高内插精度<sup>[14~17]</sup>。(3) 新内插方法的应用, 如神经网络法<sup>[18]</sup>、逐步插值方法<sup>[19]</sup>、万有引力法<sup>[20]</sup>等。

从目前的研究来看, 反距离加权、克里金法、样条函数法、DAYMET 法、Cressman 和 PRISM 插值是相对成熟和精度相对较高的插值方法<sup>[3~17]</sup>。然而, 空间内插方法并没有普适性, 必须对数据进行空间分析探索, 根据数据的特点, 选择最优的方法<sup>[2]</sup>。具体应用中, 只有对已知样本数据进行变异性与相关性分析才能选出适当的插值方法<sup>[3]</sup>。

**收稿日期:** 2010-08-02; **修订日期:** 2010-11-29

**基金项目:** 国家自然科学基金 (40971016); 2007 年公益性行业 (气象) 科研专项 (GYHY (QX) 2007-6-37)

**作者简介:** 张国平 (1974-), 男, 宁夏永宁人, 高级工程师, 博士, 主要从事气象条件引发地貌过程和环境灾害的分析和预报工作。E-mail: zhanggp@cma.gov.cn

许多的研究工作都指出气象站点密度可能是影响降水内插精度的重要因素之一,但目前还缺乏该方面的系统性研究,通常只侧重利用经验公式来分析气象站点密度与插值栅格分辨率之间的关系<sup>[21]</sup>。本文提取有时间记录的泥石流灾害点的经纬度坐标信息,研究气象站点密度对泥石流灾害点前期雨量插值的影响特征,以期改善诱发泥石流灾害的当日雨量和前期有效雨量计算方案提供参考。

## 2 试验区域与研究方法

本文研究区域为中国东南部地区(包括浙江、福建和广东省),图1显示了泥石流灾害点和气象站点的位置。泥石流灾害发生的时段为1981~2008年,共87个发生年、月和日信息,并有经纬度坐标的泥石流灾害点资料,根据灾害点的经纬度信息生成灾害点空间分布的Shape格式文件,对每个泥石流灾害点,提取其发生当日和前15日的(207个站点)逐日降水资料。

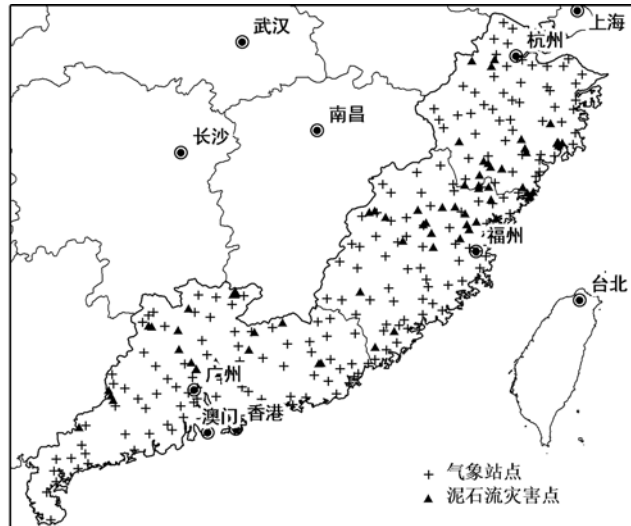


图1 研究区域泥石流灾害点分布

Fig. 1 Distribution of rain gauges and debris flow

### 2.1 泥石流灾害点有效雨量计算方法

因为从目前的研究结果看,反距离加权(IDW)方法内插结果较为稳定<sup>[3~13]</sup>,所以本文选取IDW方法进行分析。诱发泥石流的前期雨量指标主要有2个:一个是当日雨量,指泥石流灾害发生位置当天的雨量;另一个是前期有效雨量,定义如下<sup>[1]</sup>:

$$P_A = \sum_{i=1}^{14} 0.8^i P_i \quad (1)$$

其中  $P_A$  为前期有效雨量,  $P_i$  为泥石流灾害发生位置的前第  $i$  天的降水。

### 2.2 气象站点密度采样方法

利用 ArcGIS 软件的地统计工具进行针对 207 个气象站点的空间采样,在 5%~100% 之间按 5% 递增的气象站点密度进行随机采样,对于每个采样方案,都通过 IDW 插值方法产生 87 个泥石流灾害点的雨量。对于每个泥石流灾害点在 5%~95% 气象站点密度下所内插的雨量值,除以 100% 气象站点密度采样比率下所内插的雨量值,将内插的雨量值转换成雨量比率。雨量比率值的大小,反映了在某一站点密度下内插出来的相对于 100% 站点密度下的降水值的变化幅度。雨量比率值小于 100% 则表示内插的雨量相对偏小,反之则相对偏大。

### 2.3 分位数统计方法

分位数统计方法常用于统计偏态分布的指标,非常适合用来对降水进行统计<sup>[22]</sup>。百分位数属于分位数的一种,本文将 87 个站点的雨量比率值按从小到大的顺序排列,并计算相应的累计百分位,则某一百分位所对应的雨量比率值就称为这一百分位的百分位数<sup>[23]</sup>,第 50 百分位为中位数,图 2 给出了百分位数计算的示例及常用的百分位点。百分

位数提供了有关各数据项如何在最小值和最大值之间分布的信息,是用于衡量数据位置的量度,一般使用方框—盒须图来表现百分位数分析结果,方框—盒须图的拉伸度越小表示包含的可能性越少,雨量比率相对集中;反之,拉伸度越大表明包含的可能性越多,结果比较分散。本文中使用的的是由 Hyndman<sup>[23,24]</sup>提出的一种经验方法,具体公式为:

$$Q_i(p) = (1 - \gamma)R_j + \gamma R_{(j+1)} \quad (2)$$

上式中  $j = \text{int}[p \times n + (1 + p)/3]$ ,  $\gamma = p \times n + (1 + p)/3 - j$ , 其中  $Q_i(p)$  为第  $i$  个百分位下的百分位数(雨量比率),  $R$  为升序排列后的灾害点的雨量比率值,  $p$  为百分位,本文中取第 0、25、50、75 和 100 百分位,  $n$  为站点总数(87 个),  $R_j$  为序列  $R$  的第  $j$  个元素的值。

广义帕雷托(GPD)分布是一种常用于描述降水超过某特定临界值(即门限值)的全部观测值资料集的概率分布,定义气象站点的采样密度为  $x$ , 某一百分位对应的降水值定为  $F(x)$ , 可以利用下式对  $F(x)$  进行估计<sup>[25,26]</sup>:

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x - \beta}{\alpha}\right)\right] \quad (3)$$

式中,参数  $\beta$  为门限值,  $\alpha$  为尺度

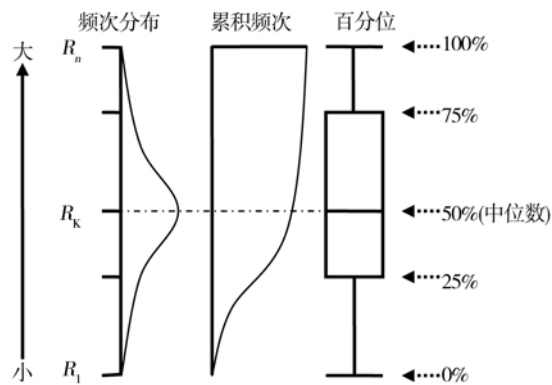


图2 方框—盒须结构图

Fig. 2 Construction of the box-and-whisker plot

参数,  $x$  为气象站点采样密度,本文中介于 5%~100%,  $F(x)$  为针对某一百分位(0%、25%、50%、75%或 100%)下气象站点密度为  $x$  时的百分位数(雨量比率值)。

百分位为 0% 时的  $F(x)$ , 表示气象站点密度为  $x$  时内插出来的 87 个雨量比率值中的最小值;百分位为 100% 时的  $F(x)$  表示 87 个内插的雨量比率值中的最大值。百分位为 25%, 表示 87 个雨量比率值中,有 25% 个值小于  $F(x)$ ;百分位为 50%, 表示有 50% 个值小于  $F(x)$ 。

### 3 结果分析

#### 3.1 当日雨量随气象站点密度变化的分布状况

对于每一个泥石流灾害点,提取其发生当日和前 14 日的气象站点,在气象站点数在 5%~100% 的范围内,以 5% 递增的方式进行气象站点随机采样,共有 20 种采样方案。对于每种采样方案,都利用 IDW 内插方法计算 87 个泥石流灾害点上的雨量值。对于每个泥石流灾害点,有 20 个不同采样方案下的雨量内插值,依次对应了气象站点密度从 5%~100% 过渡所内插的雨量。针对每一种气象站点密度下所内插的 87 个雨量值,用 100% 采样比率下计算的雨量值进行归一化,然后利用分位数方法进行统计(图 3)。

图 3 的横坐标为气象站点相对密度,是指用来插值的站点数占总站点数的百分比,介于 5%~100%;图 3 中纵坐标代表了百分位 0%、25%、50%、75% 或 100% 所对应的分位数(灾害点雨量比率),是指 87 个雨量比率数据样本中,小于某一雨量比率值的样本数占总样本数的百分比。图 3 中从上到下依次显示 0%、25%、50%、75% 和 100% 这 5 个

百分位所对应的分位数（灾害点雨量比率）。

由图3可发现，站点密度在5%~95%变化时，所内插的雨量的最大值，都出现了比气象站点密度为100%时所内插的雨还要大的情况。但对于75%的分位数，在气象站点抽样密度介于25%~100%时，灾害点雨量比率始终在100%左右，但当气象站点密度介于5%~25%时，基本上不出现大于100%的情况。站点密度越小时，75%分位数快速降低。对于50%和25%的分位数，在抽样密度增加时呈上升趋势。

百分位为0%时，百分位数也随着站点密度的增加而增加，但波动极大。总体看，随着气象站点密度增加，内插的雨量比率呈增大的趋势。

图3显示75%、50%和25%的分位数所对应的雨量比率值随着气象站点密度的增加呈增加的趋势，可用公式(2)进行模拟。50%的分位数能表述降水分布频率最大时的降水值，代表降水的主体特征，利用公式(2)对50%分位数下内插降水随气象站点密度变化进行模拟(图4)。

从图4可以看出，在气象站点密度大于80%的情况下，可以得到接近于站点密度为100%时所内插的雨；当站点密度为50%时，内插的降水会减少10%左右；当站点密度为30%时，内插的降水会减少20%左右；当站点密度小于30%时，内插的雨会急速减少。

一些研究采用全国近700个站点数据进行降水内插，相当于本文气象站点密度为30%的水平；一些研究利用全国分布的360多个气象站进行降水内插，相当于本文的15%的水平。采用这两种站点密度进行当日泥石流灾害点雨量的内插，所得的雨要比采用高密度资料所内插的雨量少约20%~40%（图4）。

### 3.2 前期有效降水随气象站点密度变化的分布状况

利用公式(1)对前期有效雨量进行计算，得出每个泥石流灾害点上的前期有效雨量，

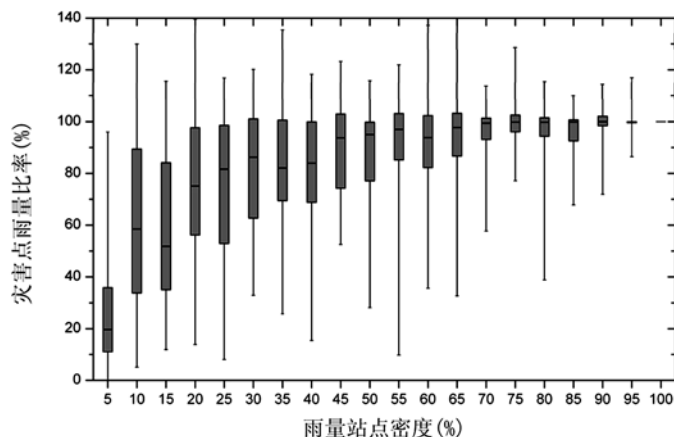


图3 泥石流灾害点当日雨量比率与气象站点密度的分位数  
(从下到上依次显示了0%、25%、50%、75%和100%这5个百分位所对应的分位数)

Fig. 3 Quantile statistics of gauge density and interpolated critical precipitation of debris flow

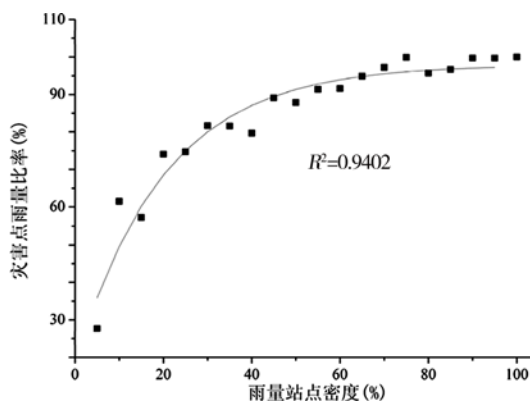


图4 分位数为50%时灾害点当日雨量比率随站点密度的变化

Fig. 4 Estimation of critical precipitation based on gauge density when quantile value is 50%

然后利用上文中采用的方法进行分位数统计, 结果列在图 5 中。

从图 5 可以看出, 诱发泥石流灾害的前期有效雨量与当日雨量具有相似的分布特征, 但在幅度上有很大的区别: 首先分位数介于 0%~100% 之间、25%~75% 之间所计算的灾害点有效雨量差值变化幅度减少, 结果更加平滑; 其次是对于 75% 的分位数, 在站点密度只有 15% 的情况下所插值得到的雨量仍然接近于 90%; 即使在站点密度只有 5% 的情况下, 50% 分位数仍然大于 60%。

利用公式 (3) 进行站点密度和灾害点前期有效雨量的拟合, 结果如图 6 所示, 50% 分位数的统计模拟显示: 在气象站点密度大于 70% 时, 内插的前期有效雨量均接近于 100%, 而当日雨量在气象站点密度大于 80% 时才如此; 在气象站点密度大于 40% 时, 内插的前期有效雨量仍然接近 90%, 比 100% 的站点密度内插的值仅少 10%; 在气象站点密度大于 20% 时, 内插的前期有效雨量仍然接近 80%; 而且, 在气象站点密度为非常低的 5% 时, 前期有效雨量的内插值也接近于 60%, 比当日雨量的内插值要高 30% (图 6)。

可以看出, 随着气象站点密度从 5%~100% 线性增加的过程中, 内插的地质灾害点的当日雨量和前期有效雨量都呈指数上升的趋势 (图 4 和图 6); 在气象站点密度较低的情况下, 内插的降水值很低, 且随着站点密度增加, 内插值快速增加; 当站点密度大于 70% 时, 内插的当日雨量和前期有效雨量增加的趋势较为缓和, 雨量内插值受站点密度的影响程度变化不明显。

公式 (1) 计算的泥石流灾害点前期有效雨量是 14 天雨量的加权累计, 相对于当日雨量的计算来讲, 在相同的内插损失情况下, 前期有效雨量的内插可以容忍采用更低密度的气象站点。反过来看, 对于前期有效雨量的内插, 当采用比较稀疏的站点时, 也可以达到较高的插值精度。但总体上看, 气象站点密度越小, 内

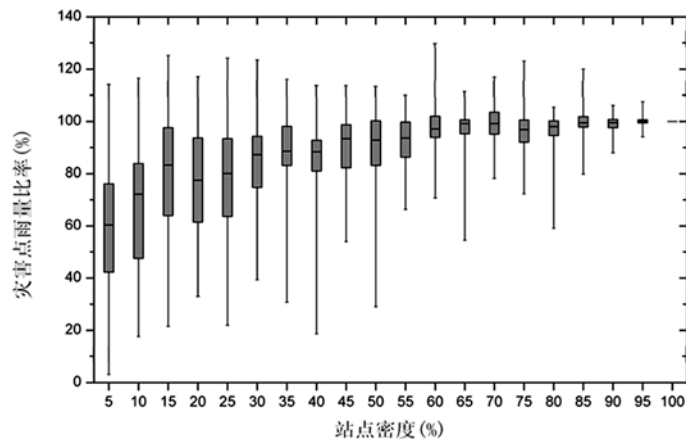


图 5 泥石流灾害点前期有效雨量  
比率与站点密度的分位数统计  
(图中显示 0%、25%、50%、75% 和 100% 这 5 个分位数)

Fig. 5 Quantile statistics of gauge density and  
interpolated antecedent effective precipitation of debris flow

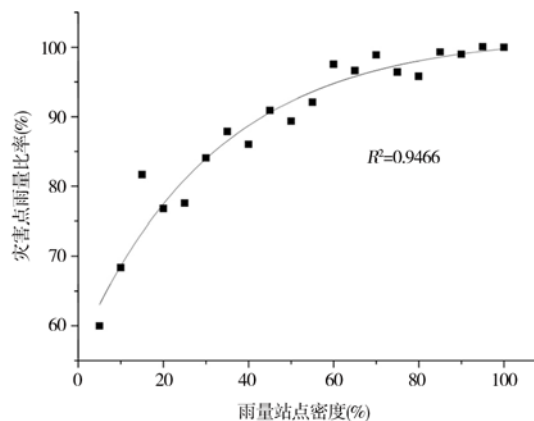


图 6 分位数为 50% 时灾害点前期  
有效雨量比率随站点密度的变化

Fig. 6 Estimation of antecedent effective precipitation  
based on gauge density when quantile value is 50%

插的泥石流灾害点的雨量越低。

## 4 结论与讨论

综合以上分析,可以认为:

诱发泥石流灾害的当日雨量和前期有效雨量的内插值,均随着气象站点密度的减少呈指数方式降低,站点越稀疏,内插出来的雨量值越低,当站点密度大于一定值后,雨量内插值受站点密度的影响程度变化不明显。

前期有效雨量的内插相对于当日雨量的内插要稳定一些,在相同的精度下前期有效雨量需要的站点密度可以更低一些,气象站点密度大于 5%的情况下,泥石流灾害点前期有效雨量内插可以保持 60%以上的雨量(相对于站点密度为 100%);而当日雨量却只能保持 30%以上的雨量。

采用分位数统计方法,结合空间采样方案,可以很好的模拟气象站点密度对泥石流灾害点雨量内插的影响;利用广义帕雷托(GPD)分布可以较好的模拟出在 50%分位数下站点密度与诱发泥石流前期有效雨量和当日雨量内插结果的指数关系。

需要指出的是利用反距离加权方法(IDW)进行内插分析时内插参数的选取所产生的影响,采用其他内插方法是否也存在类似的趋势,还需要进一步的分析。同时站点的分布位置和所在地形高度等信息的影响有待进一步深入研究。本文的重点是提出一种新的气象站点密度与泥石流灾害点降水内插值的关系模型,旨在抛砖引玉,促使泥石流灾害点前期降水内插精度与气象站点密度的关系研究工作能更深入的开展起来。

**感谢:** 中国科学院成都山地所韦方强研究员提供研究区域内的泥石流分布信息;国家气象信息中心提供全国高密度气象资料。

## 参考文献:

- [1] 崔鹏,杨坤,陈杰. 前期降雨对泥石流形成的贡献——以蒋家沟泥石流形成为例. 中国水土保持科学,2003,1(1):11~15.
- [2] 李新,程国栋,卢玲. 空间内插方法比较. 地球科学进展,2000,15(3):260~265.
- [3] 朱会义,刘述林,贾绍凤. 自然地理要素空间插值的几个问题. 地理研究,2004,23(4):425~432.
- [4] 林忠辉,莫兴国,李宏轩,等. 中国陆地区域气象要素的空间插值. 地理学报,2002,57(1):47~56.
- [5] 胡江林,张人禾,牛涛. 长江流域 0.1°网格逐日降水数据集及其精度. 自然资源学报,2008,23(1):136~149.
- [6] 朱求安,张万昌,赵登忠. 基于和泰森多边形的地形要素日降水量空间插值研究. 地理科学,2005,25(2):233~238.
- [7] 冯锦明,赵天保,张英娟. 基于台站降水资料对不同空间内插方法的比较. 气候与环境研究,2004,9(2):261~277.
- [8] 方书敏,钱正堂,李远平. 甘肃省降水的空间内插方法比较. 干旱区资源与环境,2005,19(3):47~50.
- [9] 庄立伟,王石立. 东北地区逐日气象要素的空间插值方法应用研究. 应用气象学报,2003,14(5):605~616.
- [10] 孔云峰,全文伟. 降雨量地面观测数据空间探索与插值方法探讨. 地理研究,2008,27(5):1097~1108.
- [11] 鲁振宇,杨太保,郭万钦. 降水空间插值方法应用研究. 兰州大学学报(自然科学版),2006,42(4):11~14.
- [12] 朱蕾,黄敬峰. 山区县域尺度降水量空间插值方法比较. 农业工程学报,2007,23(7):80~85.
- [13] 高歌,龚乐冰,赵珊珊,等. 日降水量空间插值方法研究. 应用气象学报,2007,18(5):732~736.
- [14] 林忠辉,莫兴国. 一种改进的生成区域日降水场的方法及精度分析. 地理研究,2008,27(5):1161~1168.
- [15] Zbyněk S, Vojtěch B. Areal distribution and precipitation-altitude relationship of heavy short-term precipitation in the Czech Republic in the warm part of the year. Atmospheric Research, 2009, 94: 652~662.

- [16] 杨青,史玉光,袁玉江,等. 基于 DEM 的天山山区气温和降水序列推算方法研究. 冰川冻土,2006,28(3):337~342.
- [17] 孙鹏森,刘世荣,李崇巍. 基于地形和主风向效应模拟山区降水空间分布. 生态学报,2004,24(9):1910~1915.
- [18] 黄子洋,李毅,高太长. 一种基于神经网络的气象要素插值方法与分析. 解放军理工大学学报(自然科学版),2008,9(4):404~408.
- [19] 周锁铨,薛根元,周丽峰,等. 基于 GIS 降水空间分析的逐步插值方法. 气象学报,2006,64(1):100~111.
- [20] 戚晓明,陆桂华,漆清华,等. 基于万有引力的点雨量插值算法研究. 河海大学学报(自然科学版),2006,34(3):243~246.
- [21] Sinha S K, Narkhedkar S G, Mitra A K. Bares objective analysis scheme of daily rainfall over Maharashtra(India) on a Mesoscale grid. Atmosfera,2006,19:109~126.
- [22] Hosking J R, Wallis J R. Parameter and quantile estimation for the generalized Pareto distribution. Technometrics,1987,29:339~349.
- [23] Hyndman R J, Fan Y. Sample quantiles in statistical packages. The American Statistician,1996,50(4):361~365.
- [24] 赵琳娜,吴昊,田付友,等. 基于 TIGGE 资料的流域概率性降水预报评估. 气象,2010,36(4):1~11.
- [25] 程炳岩,丁裕国,张金铃,等. 广义帕雷托分布在重庆暴雨强降水研究中的应用. 高原气象,2008,27(5):1004~1009.
- [26] Gabriele V, Witold F K. Empirically-based modeling of spatial sampling uncertainties associated with rainfall measurements by rain gauges. Advances in Water Resources,2008,31:1015~1023.

## The influence of gauge density on the interpolation of critical and antecedent effective precipitation that triggered the debris flow

ZHANG Guo-ping, CHAO Yuan, XU Feng-wen, ZHAO Lin-na

(Public Weather Service Center of CMA, Beijing 100081, China)

**Abstract:** It is important to understand the effect of the rain gauge density on the interpolation of effective antecedent precipitation and critical rainfall. For the 87 debris flow sites, the interpolation rainfall is calculated based on 5%—100% variational sampling scheme of 207 rain gauge stations. The inverse distance weight method is used to interpolate the effective antecedent precipitation and critical rainfall. Using the quantiles method, the relationship between the gauge density and the interpolation rainfall of the day debris flow and the effective antecedent precipitation is analyzed. The result shows the interpolation rainfall is exponentially decreasing due to the decrease of the gauge density. The interpolation of the effective antecedent precipitation is more stable and needs smaller amount of gauge with the same precision than that of the critical precipitation. When the gauge density is less than 5%, the interpolation of the effective antecedent precipitation keeps the real value beyond 60%, otherwise the critical rainfall is under 30%.

**Key words:** gauge density; precipitation interpolation; debris flow; antecedent effective precipitation; critical precipitation