

诸玲,卢舟,田泽芸,等. 基于泊松分布的常德市暴雨概率特征分析[J]. 陕西气象,2025(3):30-34.

文章编号:1006-4354(2025)03-0030-05

基于泊松分布的常德市暴雨概率特征分析

诸玲¹,卢舟¹,田泽芸¹,刘健¹,杨祺煊²

(1. 常德市气象局,湖南常德 415000;2. 32617 部队,四川雅安 625000)

摘要:选取常德市 7 个国家气象站 1963—2022 年的逐日降水资料,统计各站每年出现暴雨的频次,结合泊松分布函数,得到暴雨频次分布模型。结果表明:泊松分布能较好地反映常德市暴雨概率分布特征,各站年暴雨频次峰值主要集中在 3~4 次,多数站暴雨的实测年数峰值高于泊松分布拟合的理论年数;从暴雨频次时间分布特征来看,除澧县外,其余 6 个国家气象站每年发生 ≥ 3 次暴雨的理论概率总体呈缓慢上升趋势;与常德地形结合来看,全市暴雨的频次由东向西递增,即西部山区明显多于东部平湖区。

关键词:暴雨;泊松分布;概率特征

中图分类号:P467

文献标识码:A

受西风带系统的强弱和西太平洋副热带高压的进退共同约束,加上受台风外围云系影响,常德暴雨主要集中在夏半年。降水持续时间长、降雨强度大,常常造成洪涝、泥石流、滑坡、城市内涝等灾害^[1-3]。四参数 Kappa 分布、三参数 Weibull 分布、Gumbel 分布等为常见的气象极值的渐进形式^[4-5],而泊松分布(Poisson)应用于描述大量级样本中极少发生事件的频率分布,适用于描述单位时间或空间内随机事件发生的次数^[6]。

常德属于湿润季风气候区,暴雨期长且时空分布不均,利用泊松分布模式分析常德地区年暴雨日数或频次的分布特征,对研究年际、年代际气候极值特征有一定的参考价值和实际意义。邹德全等^[7]基于泊松分布建立了遵义市暴雨、大暴雨发生频率分布模型,任至涵等^[8]运用泊松概率分布揭示了成都经济区暴雨概率特征,于新文等^[9]采用泊松分布模型模拟了中国东部地区暴雨频次分布特征。不少学者对常德市暴雨进行了研究,一般多从天气学或气候学的角度出发^[10-11],对于暴雨日数概率分布和气候特征涉及较少。本文基于日降水数据,建立常德地区暴雨发生的泊松分

布模型,模拟该区暴雨发生概率。通过研究暴雨日数分布、年际与年代际变化特征以及概率分布特征,为中长期预报提供理论依据,以期在政府部门制定经济发展计划、部署防汛抗旱、规划防灾减灾、制定应急管理方案等方面提供理论支撑。

1 资料与方法

1.1 资料

选取了常德市 7 个国家气象站(常德、桃源、汉寿、澧县、临澧、石门、安乡)1963—2022 年的逐日降水资料,分析 60 a 内暴雨(08:00—08:00 日降水量 ≥ 50 mm)日数及发生频次,国家站点分布及地形图如图 1 所示。

1.2 泊松分布方法

泊松分布是指单位时间内独立事件发生次数的概率分布,其前提是事件之间不能有关联,广泛应用于气象学等学科中^[12]。已知在伯努利试验中,试验次数很多,但每次试验成功的概率很小,二项分布则会逼近泊松分布。

常德市 1963—2022 年逐日降水资料时间跨度为 60 a,共计有 21 914 d,各站均无缺测,且该数据经过质量控制和均一化处理,突变性小。各

收稿日期:2024-02-20

作者简介:诸玲(1995—),女,汉族,湖南常德人,硕士,工程师,主要从事中、短期天气预报及气象预警服务。

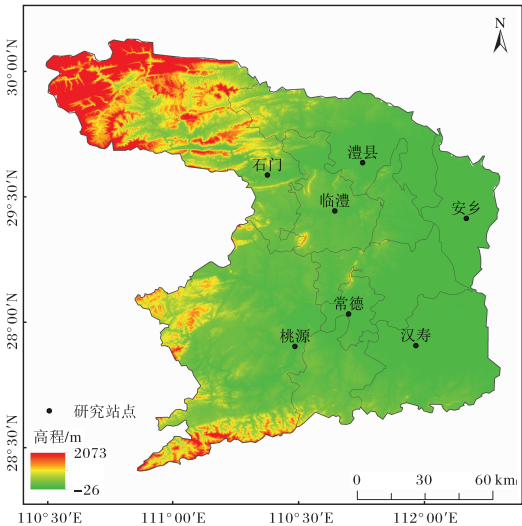


图1 常德国家站点及地形分布图
(审图号 GS (2024) 0650 号)

站出现暴雨的概率很小,而样本数很大,粗略判断用泊松分布拟合是合适的。

由泊松分布模型可知,参数 λ 是单位时间内随机事件的平均发生次数, $\lambda=np$ 为常数,其中 p 为事件发生概率, n 为样本数^[13],那么服从泊松分布的随机变量 X 的概率分布为

$$P\{X=k\}=\frac{\lambda^k}{k!}e^{-\lambda}, \quad k=0,1,2,\cdots \quad (1)$$

由式(1)可计算一年中发生 k 次暴雨的概率 $P\{X=k\}$,则60 a中发生 k 次暴雨的理论年数为 $60\times P\{X=k\}$,进而可得60 a间各地区每年发生 k 次暴雨的理论年数。

$$P\{X=k+1\}=\frac{\lambda^{k+1}}{(k+1)!}e^{-\lambda}= \frac{\lambda}{k+1}\left(\frac{\lambda^k}{k!}e^{-\lambda}\right)=\frac{\lambda}{k+1}P\{X=k\}。 \quad (2)$$

那么,每年发生 n 次以上暴雨的概率为

$$P(X\geq n)=1-P(X<n)=1-[P(X=0)+P(X=1)+\cdots+P(X=n-1)], \text{即} \\ P(X\geq n)=1-e^{-\lambda}\sum_{k=0}^{n-1}\frac{\lambda^k}{k!}。 \quad (3)$$

表2 1963—2022年常德发生 k 次暴雨年数的单样本K-S检验值及实测与理论年数的相关系数

站名	常德	汉寿	桃源	临澧	澧县	安乡	石门
单样本 K-S 检验值	0.266	0.075	0.280	0.110	0.107	0.105	0.345
相关系数	0.789**	0.930**	0.692*	0.839**	0.822**	0.927**	0.796**

注:* 和** 分别表示通过 0.05 和 0.01 的显著性检验。

在泊松分布拟合前一般会对原始数列进行检验。 χ^2 检验(卡方检验)是统计样本的实际观测值与理论推断值之间的偏离程度,但是卡方检验需要对样本进行分类^[14]。单样本 K-S 检验无需对样本进行分类即可对原始数据进行检验^[15],利用 SPSS 软件判断该序列是否服从泊松分布,操作性更强,因此采用单样本 K-S 检验。

选取常德全年的暴雨频次,时间长度为 60 a,利用泊松分布拟合时,由暴雨的总频次除以 60 来估计参数 λ (见表 1)。利用参数 λ 和式(3)则可以建立常德市暴雨的泊松分布模型。

表 1 常德 1963—2022 年暴雨日数对应的参数 λ

站名	常德	汉寿	桃源	临澧	澧县	安乡	石门
λ	3.86	3.86	4.50	3.93	3.86	3.80	4.70

2 结果分析

2.1 泊松分布拟合及效果检验

利用所得 λ 和式(3)建立常德 7 个国家气象站暴雨泊松分布模型。通过泊松分布拟合得到各站每年发生 k 次暴雨的年数均通过单样本 K-S 检验。通过查阅 K-S 检验临界值表,在显著性水平为 0.05 时,临界值为 0.41,临界值均大于各站 K-S 检验值(表 2),即样本符合泊松分布。对基于泊松分布拟合得出的理论年数与实测年数进行相关性分析发现,相关系数在 0.69~0.93(表 2),呈现显著的正相关。除桃源站外,其他站均通过 0.01 的显著性检验,桃源站通过 0.05 的显著性检验。常德地形复杂,主要由雪峰山和武陵山两大山系的支脉夹峙,形成三面环山,呈“C”字形不完整的山间丘陵盆地,如图 1 所示。在西风带系统中 and 西南暖湿气流中均处于背风坡,特殊地形导致桃源每年发生 k 次暴雨的实测年数分布不均^[16]。由此可见,常德市符合泊松分布模型。

2.2 暴雨频次总体特征

基于泊松分布模型,分别计算各站每年发生 k 次暴雨的理论年数,将实测年数与理论年数进行对比(图 2)。由图 2 可知,泊松分布较好地描述常德地区暴雨频次的分布特征。两组数据对比误差最大为临澧站,在每年发生 3 次暴雨时,实测年数比理论年数高 5.1 a;暴雨的实测年数中,澧县、常德、石门每年发生 4 次暴雨的年数最多(分别为 16、15、13 a),临澧、安乡、汉寿每年发生 3 次暴雨的年数最多(分别为 17、14、13 a),桃源每年

发生 6 次暴雨的年数最多(11 a)。总的来说,常德国家站每年的暴雨频次主要集中在 3~4 次。多数站暴雨出现实测年数的峰值均高于泊松拟合所得理论年数,即泊松分布对峰值预估偏小,只有桃源站理论年数峰值高于实测年数。此外,每年暴雨频次为 9 次以上的暴雨年数泊松分布对其预估过低。多数站实测暴雨年数随着暴雨频次的增加先递增,达到顶峰后波动式下降,泊松分布拟合在下降过程中却只能单调下降。

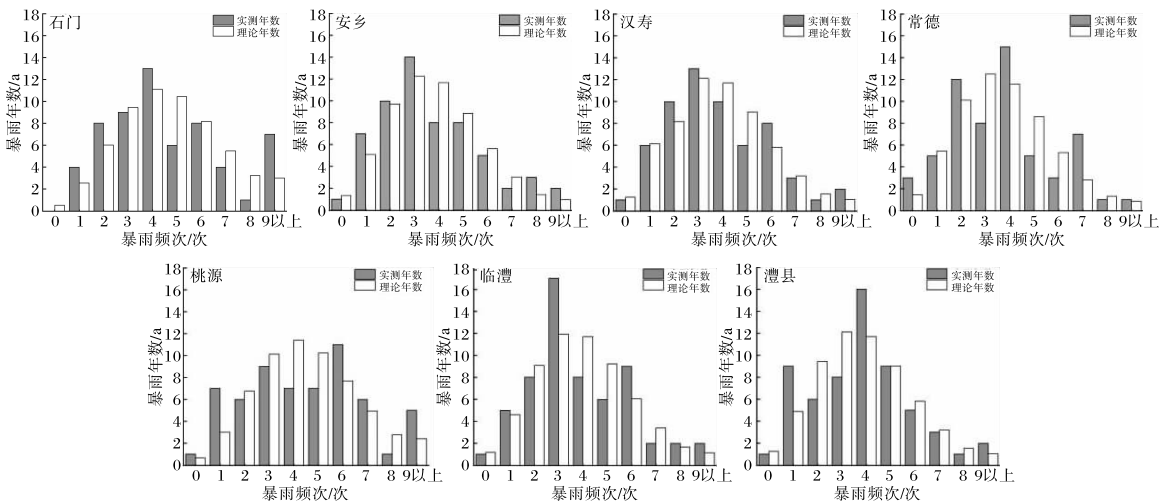


图 2 常德 7 个国家气象站 1963—2022 年出现暴雨的平均实测年数与泊松分布拟合的理论年数直方图

2.3 各站暴雨频次时空变化特征

将常德各站 1963—2022 年实际暴雨总频次进行 30 a 滑动平均(共分为 30 个时间段),分析暴雨总频次的时间变化(图 3a)。在这 30 个时间段中分别利用泊松分布对各站统计的暴雨频次进

行拟合,得到各个时间段的参数 λ 后,代入泊松分布分别计算各站每 30 a 时间段内的 $P(X \geq 3)$,以此判断暴雨概率的时间变化(图 3b)。各站概率和频次的总体变化趋势一致,除澧县外其余 6 站 $P(X \geq 3)$ 在 1963—2022 年内总体呈缓慢增加趋

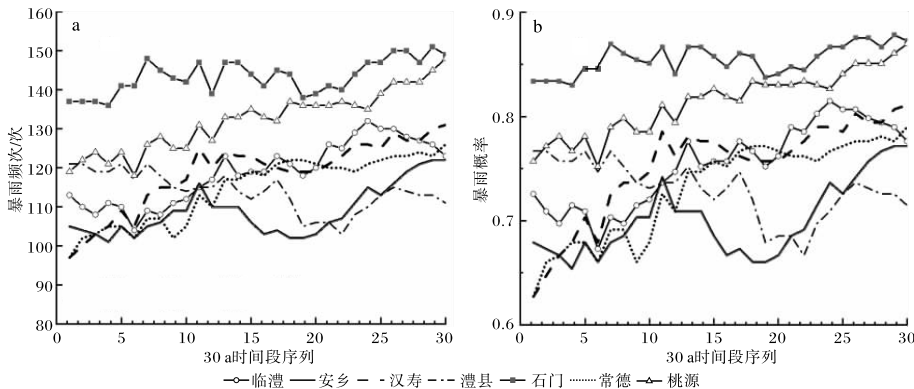


图 3 常德 7 个国家气象站 1963—2022 年暴雨频次的 30 a 滑动平均(a)和泊松分布拟合的发生 3 次及以上暴雨的概率(b)时间序列图

势,澧县总体为减小趋势,多数国家站暴雨发生概率和频次的增多可能与全球气候变暖背景有关,此外澧县暴雨发生概率和频次虽然呈现减少趋势,但近年来主雨季降水极端性明显增强也与气候变暖加剧气候系统的不稳定性对应^[17-18]。石门暴雨频次最多,桃源次之,多数国家站的暴雨频次

都在波动中增加。

选取泊松拟合所得各站每年发生 ≥ 3 次暴雨的理论概率为考察对象,以此判断常德地区暴雨频次空间分布特征和暴雨灾害风险。可以发现暴雨的概率总体趋势自西向东逐渐减小,位于西北部的石门概率最大,为85%(表3)。

表3 常德1963—2022年泊松拟合所得发生 ≥ 3 次暴雨的理论概率

站名	常德	汉寿	桃源	临澧	澧县	安乡	石门
$P(X \geq 3)$	0.72	0.74	0.83	0.75	0.74	0.73	0.85

根据暴雨频次的时间变化与空间分布发现,位于西部的石门和桃源暴雨频次多且呈逐年缓慢增加趋势。马思敏等^[19]研究地形对六盘山降水的增幅作用,指出地形强迫抬升作用使得上升气流和水汽的垂直输送进一步加强,使得地面降水增多。与常德地形结合来看(图1),全市暴雨频次由东向西递增,即西部山区明显多于东部平湖区。虽然东部暴雨的概率也在逐年增加,但每年的暴雨频次仍低于西部山区,说明山地地形对常德地区的暴雨有一定增幅作用^[20-21]。

3 结论与讨论

(1)通过泊松分布拟合得到常德国家站每年发生 k 次暴雨的年数均通过单样本K-S检验;7个国家气象站基于泊松分布拟合得出的理论年数与实测年数的相关系数在0.69~0.93,呈显著正相关,除桃源外,其他站均通过0.01的显著性检验。泊松分布可较好地描述常德暴雨概率分布特征。

(2)泊松拟合误差最大为临澧站,发生在暴雨频次为3次时,常德年暴雨频次峰值主要集中在3~4次。多数国家站暴雨实测年数的峰值均高于泊松分布拟合的理论年数,即泊松分布对峰值预估偏小,仅桃源理论年数峰值高于实测年数。每年暴雨频次为9次以上的暴雨年数泊松分布对其预估过低。

(3)常德1963—2022年除澧县外其余6站每年发生 ≥ 3 次暴雨的概率总体呈缓慢增加趋势。石门暴雨频次最多,桃源次之,多数站的暴雨频次在波动中增加。

(4)常德暴雨频次由东向西递增,即西部山区明显多于东部平湖区。虽然东部暴雨的概率也在逐年增加,但暴雨的频次仍低于西部山区,因此山地地形对常德暴雨有一定增幅作用。

参考文献:

- [1] 胡振菊,黎璐,黄小玉,等. 一次典型东风波极端暴雨的中尺度特征及地形影响分析[J]. 干旱气象, 2022,40(1):73-83.
- [2] 叶成志,潘志祥,刘志雄,等. “03·7”湘西北特大致洪暴雨的触发机制数值研究[J]. 应用气象学报, 2007,18(4):468-478.
- [3] 何炳文,葛文忠,高玉春,等. 湘西北地区一次局地特大暴雨分析[J]. 气象科技, 2010,38(2):193-196.
- [4] 王柏钧,陈刚毅. 渐近极值理论在气候极值降水预测中的应用[J]. 成都气象学院学报, 1994(2):30-34.
- [5] 杨利霞,王欣,张婷,等. 基于两种分布的勉县年最大日降水量重现期估算[J]. 陕西气象, 2023(3):37-40.
- [6] 吕忠东,邹阳,李一波. 基于泊松分布的川东暴雨概率特征分析[J]. 成都信息工程学院学报, 2010,25(5):531-535.
- [7] 邹德全,邹承立,宋鑫民,等. 基于泊松分布的遵义市暴雨、大暴雨次数概率特征[J]. 成都信息工程大学学报, 2022,37(6):716-720.
- [8] 任至涵,倪雪,倪长健,等. 基于泊松分布的成都经济区暴雨概率特征研究[J]. 成都信息工程大学学报, 2021,36(1):80-85.
- [9] 于新文,丁裕国. 中国东部地区暴雨的概率特征:

- 基于泊松分布的统计模拟[J]. 自然灾害学报, 2006,15(4):13-18.
- [10] 欧阳也能,余高杰,田泽芸,等. 常德市 2010 年 6 月 19 日暴雨过程分析[J]. 贵州气象,2010,34(2):59-63.
- [11] 廖玉芳,唐小新,陈媛,等. 常德市 2002 年 5 月 13 日大暴雨成因解析[J]. 气象,2009,35(5):42-48.
- [12] 李菁菁. 基于泊松分布的沈阳桃仙机场夏季暴雨概率特征分析[J]. 民航学报,2022,6(5):72-76.
- [13] 黄昀,黎笑玲,刘伟龙. 基于泊松分布的闽西中西部地区暴雨概率特征分析[J]. 海峡科学, 2023(10): 11-14.
- [14] 胥珈珈,刘娜,王鑫. 白山市低温极值重现期的计算方法与比较[J]. 气象灾害防御,2018, 25(1): 21-24.
- [15] 杨佳,张斯屿,冯观桦,等. 贵州省降水量统计特性分析[J]. 科技与创新,2023(2): 37-39.
- [16] 阳岳龙,周群,林剑. 湖南主要地质灾害与地形地貌之关系[J]. 灾害学,2007,22(3): 36-40.
- [17] 王俊阳,史海匀. 深圳市极端降水时空演变特征分析[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2024,45(2):59-72.
- [18] 何莉阳,韦玉勇,廖胜石,等. 1961—2021 年广西东兴市暴雨日数气候特征分析[J]. 气象研究与应用,2022,43(2):29-34.
- [19] 马思敏,穆建华,舒志亮,等. 六盘山区一次典型暴雨过程的地形敏感性模拟试验[J]. 干旱气象, 2022,40(3):457-468.
- [20] 李静睿,赵强,李玉婷,等. 安康市短时强降水特点及其天气模型和环境参数分析[J]. 陕西气象, 2023(5):1-11.
- [21] 王莎,王晓峰,黄先超,等. 基于 GIS 的秦岭暴雨灾害风险评估研究[J]. 河南科学,2015,33(9): 1647-1652.