

DOI:10.16867/j.issn.1673-9264.2023327

赵丽平, 邢西刚, 何晓燕, 等. 基于频率统计法的短历时可能最大降水估算[J]. 中国防汛抗旱, 2024, 34(8): 17-21. ZHAO Liping, XING Xigang, HE Xiaoyan, et al. Estimation of short-duration possible maximum precipitation based on frequency statistics method[J]. China Flood & Drought Management, 2024, 34(8): 17-21. (in Chinese)

# 基于频率统计法的短历时可能最大降水估算

赵丽平<sup>1,2</sup> 邢西刚<sup>3</sup> 何晓燕<sup>1,2</sup> 刘希琛<sup>1,2</sup>

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京100038; 2. 水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心, 北京100038;  
3. 水利部水利水电规划设计总院, 北京100120)

**摘要:**短历时可能最大降水(PMP)是核电厂设计排水设施时的主要依据。在分析某滨海核电厂厂址区域暴雨特性、天气成因和站点资料的基础上, 采用P-III型曲线和矩法进行不同频率短历时降雨数值统计计算, 然后通过不同历时10000年一遇降雨设计值与24 h 10000年一遇设计值进行比值计算分析得到不同短历时可能最大降水, 最后通过与国内外特大暴雨记录和其他核电厂短历时PMP成果进行对比分析, 表明计算结果合理, 可为其他地区短历时PMP分析计算提供参考和借鉴。

**关键词:**可能最大降水(PMP); 短历时; P-III型曲线; 矩法

中图分类号: P333

文献标识码: A

文章编号: 1673-9264(2024)08-17-05

## 0 引言

可能最大降水(PMP)是指在现代气候条件下, 一定历时的理论最大降水, 而这种降水对于设计流域或给定的暴雨面积, 在一年中的某一时期物理上是可能发生的, 其概率为10000年一遇<sup>[1]</sup>。1~3 d的长历时可能最大降水通常用于推导可能最大洪水量(PMF), 对人口稠密地区上游的防洪大坝、大型水库、核电厂等高风险建筑物的规划、设计和风险评估有重要的指导作用<sup>[2]</sup>。水文上通常将降雨历时小于24 h的PMP称为短历时PMP<sup>[3]</sup>。短历时PMP是核电厂、重点防洪城市设计排水设施时的主要依据<sup>[4]</sup>。24 h PMP的估算一般采用水文气象法, 即当地暴雨法(暴雨物理因子放大)、暴雨移置法及暴雨组合法<sup>[5-8]</sup>。但目前针对短历时PMP推算尚无成熟方法<sup>[9]</sup>。本文以某滨海核电厂为研究对象, 基于频率统计法进行短历时PMP计算, 在充分分析厂址和附近地区的暴雨特性和成

因的基础上, 对降水状况进行区域性评估, 选择和确定有代表性、系列长的测站, 采用P-III型曲线和矩法<sup>[7-8]</sup>进行不同频率短历时降雨数值统计计算, 然后通过不同历时10000年一遇降雨设计值与24 h 10000年一遇设计值进行比值计算分析得到不同短历时PMP, 最后通过与国内外特大暴雨记录和其他核电厂短历时PMP成果进行对比分析, 验证成果的合理性。

## 1 研究区概况

### 1.1 核电厂概况

厂址位于胶东半岛南部沿海地区, 属温带季风气候区, 多年平均降水量600~900 mm, 最大年降水量约为900 mm。影响胶东南部沿海地区发生暴雨的环流形势主要为西太平洋副热带高压、高空西风槽的移动变化及热带环流。造成暴雨的气候条件有四大类, 即热带气旋(包括东风扰动)、低槽冷锋(包括高空冷涡与横槽)、气旋和切变线

收稿日期: 2023-08-21

第一作者信息: 赵丽平, 女, 高级工程师, E-mail: zhaolp@iwhr.com。

基金项目: 中国水利水电科学研究院减灾中心青年创新人才推进计划项目; 国家重点研发计划课题(2022YFC3006404)。

(包括静止锋),其中,热带气旋和黄淮气旋往往造成大范围的大暴雨。根据热带气旋路径实况统计,影响山东半岛的热带气旋主要有登陆北上类、登陆转向类和黄海西折类,这些热带气旋与西风槽结合,辐合加强往往有大暴雨或特大暴雨发生。

## 1.2 数据资料

实测暴雨频率统计法所选择的测站必须具备以下条件:在厂址所在的胶东沿海气候一致区内,系列长并包含特大值,尽可能接近厂址,或类似于厂址临海的测站。符合条件的测站并不多,共收集到成山头、青岛、海阳、莱阳和李村5个雨量站的实测资料。其中只有成山头站具有24 h特大降雨值,且最大24 h降雨量系列长,满足计算对测站的要求,故选择成山头站为设计代表站,但该站的不足是无1 h及1 h以下的特短历时实测雨量资料,因此,必须另选其他站。青岛站存在较长系列的1 h实测雨量资料(1953—2017年),且该系列包含1 h特大降雨值,故采用青岛站1 h暴雨资料进行计算。距离厂址较近的海阳站,特短历时实测资料系列长,且比较新(1967—2018年),又包含1 h以下时段(30 min、5 min)的特短历时降雨量特大值,故采用海阳站的30 min和5 min短历时暴雨资料进行频率分析。

## 2 短历时 PMP 分析计算

短历时 PMP 的计算要先推求厂址区域 24 h 可能最大暴雨,以及代表站各历时 10 000 年一遇设计暴雨值,然后采用短历时 10 000 年一遇设计降雨量与 24 h 10 000 年一遇设计降雨量比值来推求短历时的 PMP。对于 24 h PMP,本文采用该厂址已有的 PMP 成果,为 1 100 mm<sup>[10]</sup>。

### 2.1 短历时 PMP 计算方法

频率计算采用 P-III 型曲线及矩法<sup>[7-8]</sup>初估参数,并采用目估适线法适当调整。计算相应频率的设计降雨量的公式如下:

$$X_{t-p} = E_{tx}(1 + C_{tv}\phi_{ip}) \quad (1)$$

式中:  $X_{t-p}$  为相应历时  $t$  相应频率  $p$  的设计值;  $E_{tx}$  为相应历时  $t$  的系列均值;  $C_{tv}$  为相应历时  $t$  的系列变差系数;  $\phi_{ip}$  为相应历时  $t$  的系列相应频率  $p$  的 P-III 型均系数。

基于不同短历时 10 000 年一遇降雨量与 24 h 设计代

表站 10 000 年一遇降雨量的比值来估算对应时段的 PMP。计算公式如下:

$$PMP_t = \frac{X_{t-0.01\%}}{X_{24-0.01\%}} \times PMP_{24} \quad (2)$$

式中:  $PMP_t$  为相应短历时  $t$  的 PMP;  $PMP_{24}$  为 24 h 的 PMP;  $X_{t-0.01\%}$  为相应短历时  $t$  10 000 年一遇设计降雨量;  $X_{24-0.01\%}$  为 24 h 10 000 年一遇设计降雨量。

### 2.2 不同频率短历时降雨量计算

海阳站、青岛站、成山头站各时段降雨量不同频率计算成果见表 1,各站各时段频率曲线见图 1 至图 6。在推求厂址 5 min、30 min、1 h、6 h、12 h PMP 时,以他们的实测短历时暴雨系列频率计算成果的 10 000 年一遇计算值,作为其重要参照依据,5 min、30 min、1 h、6 h、12 h、和 24 h 10 000 年一遇(0.01%)设计值分别为 46.64 mm、128.59 mm、230.35 mm、604.40 mm、757.77 mm 和 893.94 mm。

表 1 海阳站、青岛站、成山头站各时段降雨量不同频率计算成果

项目	5 min	30 min	1 h	6 h	12 h	24 h
代表站	海阳	海阳	青岛	成山头	成山头	成山头
系列 $n$ /个	52	52	65	61	61	61
均值 $E_x$ /mm	11.21	29.38	21.39	79.74	101.93	111.41
$C_v$	0.44	0.46	0.91	0.71	0.70	0.74
$C_s/C_v$	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
0.01%设计降雨量/mm	46.64	128.59	230.35	604.40	757.77	893.94
0.1%设计降雨量/mm	37.30	102.15	164.73	449.41	564.69	660.45
1%设计降雨量/mm	27.75	75.25	101.57	297.07	374.70	458.80

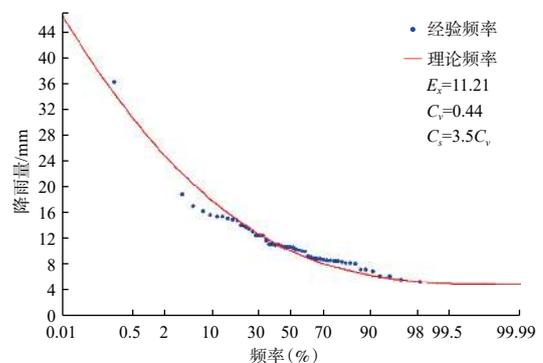


图 1 海阳站 5 min 降雨频率曲线

为了与成山头站 24 h 10 000 年一遇计算结果进行

对比,将莱阳、海阳、青岛、李村等系列长、但缺乏24 h降雨特大值的4个站的24 h实测暴雨频率计算成果一并列入表2。由表2可知:莱阳、海阳、青岛、李村4站10 000年一遇24 h降雨量分别为377.47 mm、447.48 mm、491.57 mm、532.20 mm;由于这4个测站缺少24 h实测降雨特大值,其10 000年一遇24 h降雨量成果明显比成山头站(893.94 mm)偏小;因此只有成山头站可以作为推求短历时可能最大降水的设计代表站。

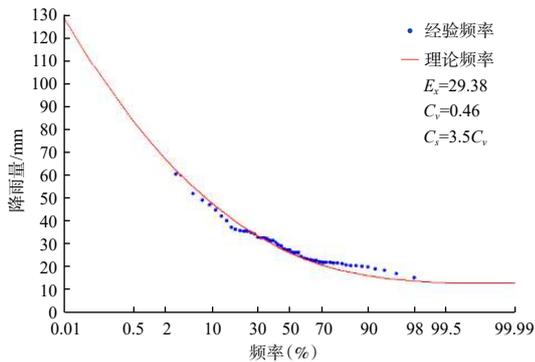


图2 海阳站30 min降雨频率曲线

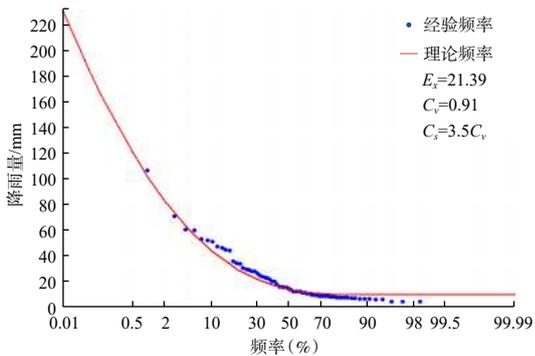


图3 青岛站1 h降雨频率曲线

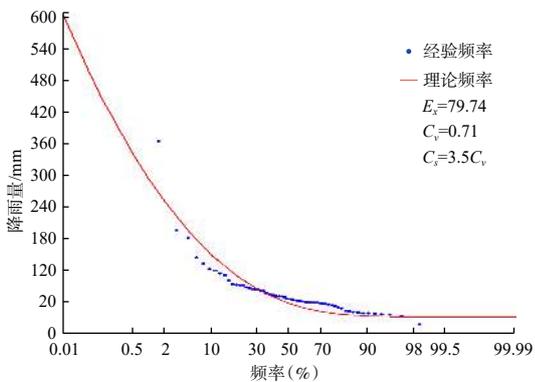


图4 成山头站6 h降雨频率曲线

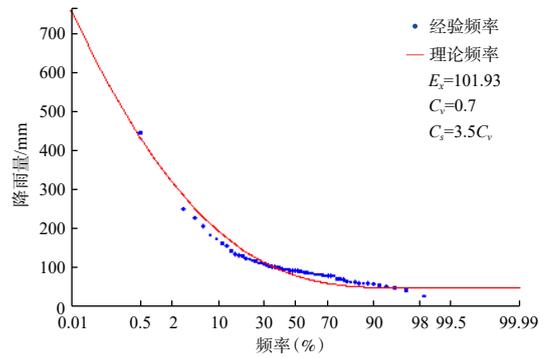


图5 成山头站12 h降雨频率曲线

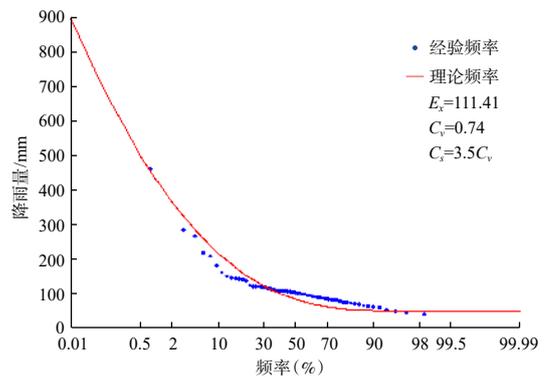


图6 成山头站24 h降雨频率曲线

表2 5站10 000年一遇24 h降雨量计算成果

项目	成山头	莱阳	海阳	青岛	李村
系列n/个	61	62	66	65	62
均值 $E_x$ /mm	111.41	100.75	104.85	101.83	101.16
$C_v$	0.74	0.40	0.45	0.50	0.57
0.01%设计降雨量/mm	893.94	377.47	447.48	491.57	532.20

### 2.3 短历时PMP计算

按照式(2)分别采用海阳站、青岛站和成山头站5 min、30 min、1 h、6 h、12 h 10 000年一遇设计降雨量与24 h成山头站10 000年一遇设计降雨量的比值来估算对应时段的PMP。5 min、30 min代表站为海阳站;1 h代表站为青岛站;6 h、12 h、24 h代表站为成山头站。计算结果如表3所示,5 min、30 min、1 h、6 h、12 h的PMP分别为57 mm、158 mm、283 mm、744 mm、932 mm。

表3 不同短历时PMP推算成果

时段	5 min	30 min	1 h	6 h	12 h	24 h
$X_{T=0.01\%}$ /mm	46.64	128.59	230.35	604.40	757.77	893.94
$X_{T=0.01\%}/X_{24=0.01\%}$	0.05	0.14	0.26	0.68	0.85	1.00
PMP/mm	57	158	283	744	932	1 100

### 3 成果合理性分析

为了验证不同短历时 PMP 计算结果的合理性, 从与国内外特大暴雨记录比较及与其他核电工程 PMP 成果比较两方面进行分析。

#### 3.1 与国内外特大暴雨记录比较

国内外特大暴雨资料收集的数据时段为 1947—2023 年, 将本次计算的不同历时 PMP 推荐值点绘在国内外最大点降雨量记录比较图上(图 7), 从图上可以看出, 本次计算的厂址不同历时 PMP 的推荐值, 较国内外记录趋势一致, 说明推荐值是合理可信的。

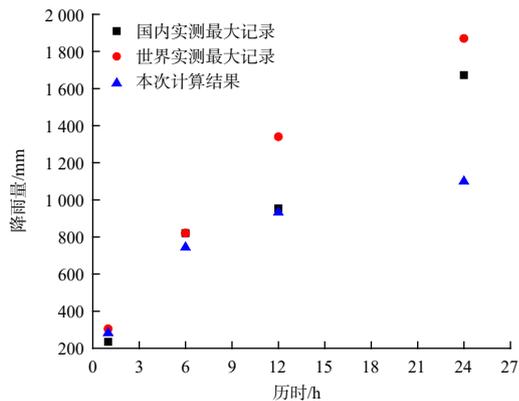


图 7 国内外最大点降雨量记录比较图

#### 3.2 与其他核电工程 PMP 成果比较

表 4 列出了我国沿海其他核电站不同历时 PMP 及 10 000 年一遇设计值, 以便进一步分析本文计算结果的合理性。从表中可知, 本核电站不同历时 10 000 年一遇降雨量、PMP 计算结果与我国沿海其他核电工程的结果相当。此外, 与核电站 3 的计算结果相差不大, 这与两者地理位

表 4 我国沿海核电站不同历时 PMP 及 10 000 年一遇设计降雨量统计表

站名	计算项目	mm			
		30 min	1 h	6 h	24 h
核电站1	PMP	199	350	668	1 100
	0.01%设计降雨量	150	257	520	810
核电站2	PMP	198	362	677	1 100
	0.01%设计降雨量	148	273	533	822
核电站3	PMP	170	270	660	1 100
	0.01%设计降雨量	145	235	574	960
本文核电站	PMP	158	283	744	1 100
	0.01%设计降雨量	129	230	604	894

置临近、气候条件相似是协调一致的。由此说明本次不同短历时 PMP 计算成果是合理的。

### 4 结 语

本文在充分分析核电站厂址区域暴雨特性、天气成因和站点资料的基础上, 采用 P-Ⅲ型曲线和矩法进行了不同频率短历时降雨数值统计计算, 然后通过不同历时 10 000 年一遇降雨设计值与 24 h 10 000 年一遇设计值进行比值计算分析得到不同短历时 PMP, 5 min、30 min、1 h、6 h、12 h 分别为 57 mm、158 mm、283 mm、744 mm、932 mm, 最后与国内外特大暴雨记录(收集的数据时段为 1947—2023 年)和其他核电站短历时 PMP 结果进行对比分析, 表明本文计算结果合理可行, 可为该核电站设计排水设施提供重要参数依据, 同时对其他地区短历时 PMP 分析计算具有很好地借鉴和参考意义。

#### 参考文献

- [1] 王国安. 可能最大降水估算手册[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2011.
- [2] FERNANDO W C D K, WICKRAMASURIYA S S. The hydro-meteorological estimation of probable maximum precipitation under varying scenarios in Sri Lanka[J]. *International Journal of Climatology*, 2011, 31(5): 668-676.
- [3] 华家鹏, 吴艳红, 苗艳红, 等. 短历时可能最大暴雨的一种计算方法[J]. *水电能源科学*, 2006, 24(6): 33-35.
- [4] CHING S S. Review of approaches, applications and updating 1-hour and 2-hour probable maximum precipitation(PMP) estimates for Hong Kong[D]. Hong Kong: The University of Hong Kong, 2015.
- [5] 王国安. 可能最大暴雨和洪水计算原理和方法[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1999.
- [6] 詹道江, 邹进上. 可能最大暴雨与洪水[M]. 北京: 水利电力出版社, 1983.
- [7] 水利部长江水利委员会水文局. 水利水电工程设计洪水计算手册[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995.
- [8] 水利部长江水利委员会水文局. 水利水电工程设计洪水计算规范: SL 44—2006[S]. 北京: 中国水利水电出版社.
- [9] 林炳章, 兰平, 张叶晖, 等. 可能最大降水估算研究综述[J]. *水利学报*, 2018, 49(1): 92-102, 114.
- [10] 赵丽平, 邢西刚, 刘希琛, 等. 山东省某滨海核电站可能最大降雨分析计算[J]. *中国防汛抗旱*, 2023, 33(10): 68-72, 84.

## Estimation of short-duration possible maximum precipitation based on frequency statistics method

ZHAO Liping<sup>1,2</sup>, XING Xigang<sup>3</sup>, HE Xiaoyan<sup>1,2</sup>, LIU Xichen<sup>1,2</sup>

(1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038;

2. Research Center on Flood and Drought Disaster Reduction of the Ministry of Water Resources, Beijing 100038;

3. General Institute of Water Resources and Hydropower Planning and Design, Ministry of Water Resources, Beijing 100120)

**Abstract:** The Short-duration probable maximum precipitation (PMP) is the main basis for the design of drainage facilities in nuclear power plants. Based on the analysis of the rainstorm characteristics, weather causes and site data of a coastal nuclear power plant site, this paper used the Pearson-III curve and moment method to calculate the numerical statistics of short-duration rainfall with different frequencies, and then calculated and analyzed the ratio of the design value of different durations of once-in-ten-thousands-year rainfall and the design value of 24-hour once-in-ten-thousands-year rainfall to obtain the possible maximum precipitation with different short durations. Finally, by comparing with the records of heavy rainstorms at home and abroad and the short-duration PMP results of other nuclear power plants, the calculation results were reasonable, which can provide reference for the analysis and calculation of short-duration PMP in other regions.

**Keywords:** PMP; short duration; Pearson-III curve; moment method

编辑 姚力玮

(上接第 10 页)

## Study on the relationship between water body rate and waterlogging in the central urban area of Suqian City of Jiangsu Province under the background of sponge construction

XIA Chengliang<sup>1</sup>, WANG Lu<sup>2</sup>, XU Sheng<sup>1</sup>, QIU Fuqiong<sup>2</sup>, SONG Qiang<sup>1</sup>

(1. Suqian Water Survey, Design and Reserach Institute Co., Ltd, Suqian 223800;

2. Suqian Branch of Jiangsu Province Hydrological and Water Resources Investigation Bureau, Suqian 223800)

**Abstract:** As an important part of the urban ecosystem, water bodies is an crucial part of the systematic and whole-area promotion of sponge city construction. In order to explore the relationship between the urban water surface rate and the risk of flooding, the dynamic monitoring of the water body area in the central urban area of Suqian City of Jiangsu province in 2023 was carried out through GPS-RTK and GIS remote sensing technology, to analyse the factors affecting the change of the water body rate, and to study the relationship between urban flooding and the water surface rate by establishing the computing grid zoning as well as the different drainage zoning, combining the urban flood-prone points with the water surface rate. The results show that: The water body area in the central urban region of Suqian city was 31.824 km<sup>2</sup> in December 2023, which increased by 0.047% compared with 2022. Among the natural and anthropogenic causes of changes in the water body rate, human factors are dominant, and measures such as water systems connectivity and ecological restoration in sponge city construction are important means to enhance the water bady rate. The analysis of waterlogging points and water body rate shows that water body rate is one of the factors affecting urban waterlogging, and waterlogging is more likely to occur in areas with lower water body rate. The research results are of great significance to the systematic and comprehensive promotion of sponge city construction in the whole region.

**Keywords:** water body rate; sponge city; remote sensing; urban flooding; central urban area in Suqian City; Jiangsu Province

编辑 张心怡