

广东省年最高水位多年一遇的极值计算*

简裕庚¹, 李叶新², 林晓亮¹, 陈创买¹

(1. 中山大学大气科学系, 广东 广州 510275;
2. 珠海市气象局, 广东 珠海 519000)

摘要: 利用广东省各主要河流的20个水文站的年最高水位资料, 采用皮尔逊-III型分布理论和适线法进行重现期的极值计算分析。结果表明, 采用这种方法拟合效果较好, 大多数站点的绝对误差小于0.4 m, 相对误差小于5%; 不管从现有资料分析, 还是从多年一遇的极值分析, 北江、东江、西江的极值距平均值均较大, 重现期 $T=100$ a时半数站点的极值距平均值在6.0 m以上, 其中西江流域的梧州站极值距平均值最大达8.04 m。因此, 北江、西江、东江是广东省防洪的重点流域。

关键词: 年最高水位; 极值; 皮尔逊-III型分布; 广东

中图分类号: P333.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2003)02-0097-05

广东省内河流众多, 水域分布广, 且夏季暴雨频繁, 极易引发洪水, 对国民经济建设和人民生命财产安全带来极大的威胁。1998年6月, 西北江流域降了暴雨到大暴雨, 暴发了珠江流域的大洪水, 给两广造成了重大经济损失。

根据实测样本, 拟合极值分布, 推断多年一遇的再现期值, 是极值统计的重要内容。它在能源、交通、水利、建筑、航天、军事等各方面有着广泛的应用。科学工作者们曾对风速^[1]、年最大日降水量^[2]、波高^[3]、城市暴雨^[4]、台风强度^[5]等气象和水文方面的要素作了极值分布估计, 推断这些要素多年一遇的再现期值。

连续性大面积暴雨可造成江河水位暴涨, 引发特大洪水, 产生洪涝灾害, 给国民经济和人民生命财产安全造成巨大损失。所以计算河流年最高水位多年一遇的极值, 对防洪抗灾, 保护人民的生命财产安全, 维护社会稳定, 促进经济发展是重要的^[6]; 对于规划、管理、兴修水利工程(如堤坝高度, 水库容量的设计)等是十分有益的。另外, 它还可以为事发年年最高水位的评估提供方法和依据。由于随着资料序列的延长, 河流年最高水位重现期计算的结果有较大变化, 需要不断的跟进更新, 本文拟对这一问题进行分析研究。

1 资料和方法

本文选用广东省20个水文站(包括广西的梧州)的年最高水位值。这些测站分布在广东的西

江、东江、北江和珠三角等各主要河流, 其中最长记录是梧州市(71 a), 最短记录是茂名市(32 a), (各测站的分布图略)。

水文研究中一般用皮尔逊-III型分布^[7]来拟合极值系列, 用适线法^[7]来估计皮尔逊-III型的参数, 本文亦采用这种方法。

设年最高水位的最大值 x 的分布密度为 $f(x)$, 则出现小于最高水位 x_p 的概率为:

$$p(x \leq x_p) = \int_{-\infty}^{x_p} f(x) dx \quad (1)$$

当希望 x 大于等于某特定值 x_p 的事件平均在 T 年内出现1次, 则把这个 T 年叫做 x_p 的重现期值。

$$T = 1/p' \quad (2)$$

式中, p' 为大于或等于 x_p 的概率。

$$p' = 1 - p = 1 - \int_{-\infty}^{x_p} f(x) dx \quad (3)$$

本文所求的是不同重现期 T 下的 x_p 。

皮尔逊-III型的分布函数为:

$$F(x) = \frac{\beta}{\Gamma(\alpha)} = \int_b^x (x-b)^{\alpha-1} \exp(-\beta(x-b)) dx \quad (4)$$

或采用超过概率的形式:

$$F_1(x) = 1 - f(x) =$$

$$\frac{\beta}{\Gamma(\alpha)} = \int_x^{\infty} (x-b)^{\alpha-1} \exp(-\beta(x-b)) dx \quad (5)$$

式中 $\Gamma(\alpha)$ 为 Γ 函数。

* 收稿日期: 2002-06-25

作者简介: 简裕庚(1968年生), 男, 工程师; E-mail: adqxy7@zsu.edu.cn

3个原始参数 α 、 β 、 b 可以用基本参数 E_x 、 C_v 、 C_s 表示如下:

$$\begin{cases} b = (1 - 2C_v/C_s) \\ \alpha = 4/C_s^2 \\ \beta = 2/C_s C_s \end{cases} \quad (6)$$

E_x 为均值, $C_v = \sigma/E_x$ 为变差系数, σ 为标准差; C_s 为偏态系数, 可以采用适线法来确定。

将观测值按递减次序排列成序列: x_1, x_2, \dots, x_n , 采用经验频率公式:

$$P_m = m/n + 1, \quad m = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

对每一个 x_m , 由公式 (7) 求出一个 P_m , 称为经验频率, 并将 (x_m, P_m) , $m = 1 \sim n$, 这 n 对数值点绘在坐标上。先算出 E_x 和 C_v 值, 再根据这对值, 假定 C_s 值, 就可以通过积分定出 p' 与 $f(x)$ 的关系。将这个关系描绘在坐标上, 称为理论曲线。由 T 值得 P , 再将 P 对应的 x 值计算出来, 设为 $X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*$, 与观测值 x_1, x_2, \dots, x_n 作比较, 取残差平方和

$$Q = \sum_{i=1}^n (X_i^* - x_i)^2 \quad (8)$$

最小的那条曲线, 其所相应的基本参数就作为采用的基本参数 E_x 、 C_v 、 C_s 的估计值, 原始参数 α 、 β 和 b 也可随之确定出来。

对随机变数 X 进行标准化, 即以 $t = \frac{x - E_x}{\sigma}$ 代入, 则

$$x = t\sigma + E_x = t\sigma + b + \alpha/\beta$$

又 $\left| \frac{dx}{dt} \right| = \sigma$, 并注意 $\sigma\beta = \sqrt{\alpha}$, 可得

$$F_1(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \int_t^\infty \left(t\sigma + \frac{\alpha}{\beta} \right)^{\alpha-1} e^{-\beta(t\sigma + \frac{\alpha}{\beta})} \sigma dt = \frac{\alpha^{\alpha/2}}{\Gamma(\alpha)} \int_t^\infty (t + \sqrt{\alpha})^{\alpha-1} e^{-\sqrt{\alpha}(t + \sqrt{\alpha})} dt \quad (9)$$

经标准化后, 分布仅含有单独一个参数, 即 $\alpha = 4/C_s^2$ 。

按照水文学研究习惯, 以 p' 代表 $F_1(x)$, 即超过累积概率或频率, 而对应的 t 用 Φ_p 代表。 Φ_p 称为离均系数, 由式 (9) 定义, 可以由已知的 p' 和 C_s 唯一确定。 Φ_p 确定后, 由

$$x_p = (\Phi_p C_v + 1) E_x \quad (10)$$

可得到多年一遇最高水位 x_p 的值。

2 广东各流域年最高水位的皮尔逊-III分布特征

对广东各大河流 20 个测站的年最高水位用皮

尔逊-III型分布和适线法进行拟合。

2.1 各站年最高水位的皮尔逊-III型分布参数

计算中发现, 由于各个站点的年最高水位值实际上与河床的海拔高度有关, 所以存在较大差异, 为了使计算方法更加科学, 推算结果更加准确, 对年最高水位资料采用如下方法进行处理: 对于每个站点, 它的所有年最高水位值中取一个最小值, 如果这个最小值大于 3.0 m, 就将这个最小值减去 3.0 m, 得到一个基点值 H , 否则就取基点值 H 为 0; 再将这个站的所有年最高水位值都减去这个 H , 得到这个站点的年最高水位的相对高度值。用这样得到的相对高度值来计算, 更具有科学性, 计算结果的相对误差也具有可比较性。

将广东主要流域年最高水位资料按上述方法处理后进行重现期计算, 表 1 列出了各个测站的皮尔逊-III分布参数, 可以看出不同站点的均值可反映各地水位的涨落幅度。其中梧州、德庆、高要和英德水位涨幅最大, 这可能与河床形状有关, 显然这些地方极易形成洪灾; 变差系数 C_v 比较一致, 偏态系数 C_s 则相差较大, 最大为龙川站达 2.2, 最小为双捷站仅 0.19。

表 1 广东各站年最高水位的皮尔逊-III分布参数

Tab.1 The annual maximum water levels in terms of Pearson-III distribution parameters at different stations in Guangdong province

站名	资料年数	H/m	均值/m	C_v	C_s
韶关	55	47.880	5.931 5	0.235 91	0.301 82
英德	50	19.530	8.952 0	0.294 36	0.438 72
清远	54	7.390	6.482 4	0.196 13	0.222 25
梧州	71	8.640	11.585 9	0.267 11	0.364 22
德庆	47	4.980	11.014 0	0.273 17	0.376 34
高要	70	1.530	8.710 7	0.211 63	0.253 52
龙川	49	62.740	5.579 6	0.299 22	2.218 45
河源	51	29.460	6.654 9	0.311 73	0.983 46
惠阳	51	6.010	7.458 8	0.217 26	0.264 52
博罗	34	6.330	5.009 4	0.261 52	0.265 33
水口	48	78.270	5.378 3	0.295 49	0.850 99
梅县	58	70.800	5.472 6	0.300 74	0.840 28
潮安	51	8.96	5.646 3	0.207 61	0.245 21
石狗	43	9.290	5.316 0	0.190 45	0.364 22
四会	50	5.070	5.539 0	0.189 39	0.208 79
麒麟嘴	47	3.210	6.337 2	0.234 25	0.298 51
三水	54	0.000	7.575 6	0.193 98	0.217 95
化州	49	7.660	5.834 5	0.217 66	0.265 33
茂名	32	4.600	5.233 1	0.234 11	0.638 22
双捷	49	1.990	4.986 9	0.1783 2	0.186 65

2.2 各站年最高水位的拟合误差分析

利用皮尔逊-III型分布对广东各站点实测值进

行拟合，并将拟合结果与实测值进行比较，求得绝对误差和相对误差如表 2。从表中可以看出，绝对误差值在 0.11 ~ 0.55 m 之间，多数站小于 0.40 m，只有德庆站和梧州站稍大些，分别为 0.543 m 和 0.507 m，最小值为石狗站，只有 0.115 m。从相对误差看，除龙川站为 6.65% 稍大以外，其它站均在 5.00% 以下，最小为韶关站仅为 2.09%。

表 2 广东各站年最高水位皮尔逊-III 型分布拟合误差

Tab.2 The same as Tab.1 except for fitting errors

站点名称	韶关	英德	清远	梧州	德庆
绝对误差/m	0.124 1	0.275 3	0.248 2	0.507 3	0.543 4
相对误差/%	2.092 4	3.075 1	3.829 1	4.375 8	4.933 9
站点名称	高要	龙川	河源	惠阳	博罗
绝对误差/m	0.313 0	0.371 2	0.240 2	0.307 1	0.163 3
相对误差/%	3.592 6	6.652 2	3.609 4	4.116 8	3.258 9
站点名称	水口	梅县	潮安	石狗	四会
绝对误差/m	0.191 7	0.184 7	0.143 9	0.114 5	0.164 3
相对误差/%	3.565 0	2.473 3	2.548 1	2.153 5	2.965 8
站点名称	麒麟嘴	三水	化州	茂名	双捷
绝对误差/m	0.215 6	0.287 5	0.253 4	0.202 0	0.123 3
相对误差/%	3.401 4	3.794 8	4.342 6	3.859 9	2.473 3

图 1 为韶关、梧州、河源、潮安、双捷和石狗 6 站年最高水位值的皮尔逊-III 型分布的拟合曲线图，它们分别代表北江、西江、东江、韩江 4 流域及粤西和珠三角等地河流年最高水位的分布曲线和拟合情况。由图可见，除了东江的河源站曲线呈指数下降外，其它各站的曲线都呈现横 S 形下降。各站的推算值与实测值较为吻合，拟合效果还是较好的，这与上面误差分析的结果是一致的。我们也可以看出，皮尔逊-III 型分布曲线的拟合效果受到站点数据的离散程度和极差大小的影响，离散程度大和极差值大，相对应的拟合效果会差些，绝对误差和相对误差也会大些。如误差较大的龙川、德庆和梧州相对于误差较小的石狗、韶关和双捷而言，数据就较离散一些，前者的极差在 8 ~ 15 m，而后者只有 4 ~ 7 m。由图还可见，许多站在水位较高时的拟合效果明显地比水位较低些时为好，这一点对推算多年一遇的年最高水位的极值是有积极意义的。

2.3 各站极大年最高水位的重现期及距平分析

根据各个测站已经出现了的年最高水位值 x_p ，根据式 (10)，可以求出 Φ_p 的值，然后查找离均系数表，可以得到 Φ_p 对应的 p' ，再由式 (2)，就可以推算出重现期 T ，以上计算结果见表 3。在所

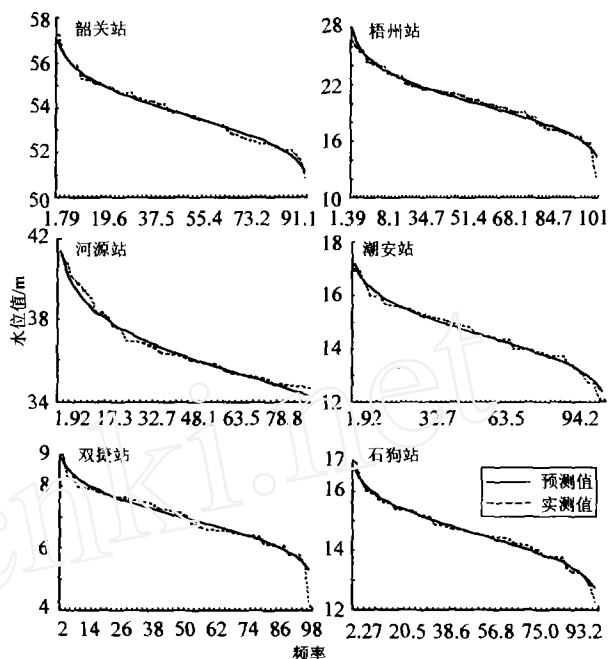


图 1 广东一些站点年最高水位的皮尔逊-III 型分布拟合曲线图

Fig.1 The fitting curves at some stations

有 20 个测站中，有过半数的站点已经出现了 50 年一遇的年最高水位，它们多数在北江、东江、西江流域，占 63.6%，而其它地区只占 36.4%。有两个站点的重现期达 70 a，它们分别是梧州 (71 a) 和高要 (70 a)，最短的重现期只有茂名 (32 a)。需要说明的是，以上所用的年最高水位资料中并未加入历史洪水资料，所以极大水位的重现期就是资料长度。表 3 还列出极大值的距平值，北江、东江、西江流域的距平值明显较其他流域大些，60% 的站点的极大值超出平均值 4.0 m 以上，最大值出现在梧州，超出平均值近 6.3 m，最小值在清远，超出平均值近 2.5 m，平均差值超过 4.5 m；而韩江、珠三角地区和粤西地区，极大值均小于 4.0 m，最大值在梅县，超出平均值近 3.6 m，最小值在四会，超出平均值仅 1.8 m。从距平值分析，北江、东江、西江距平值明显大于其它流域，平均值高出 1.8 m，从这个意义上讲，它们是广东省相对极易发生洪涝灾害的流域。

2.4 广东各大流域的不同重现期下年最高水位的推算值

北江、西江和东江在 10, 20, 50, 100 a 的重现期下的年最高水位 (极值) 和其距平值见表 4，韩江、粤西地区和珠海地区的年最高水位和距平值略。

表 4 是重现期 T 分别为 10, 20, 50, 100 a 的情况下，各个站点的年最高水位极值及其距平值，

表 3 广东各站年最高水位极大值的重现期

Tab.3 The periods of water level variation at different stations

站点名称	平均值/m	极大水位/m	距平值/m	重现期/a	站点名称	平均值/m	极大水位/m	距平值/m	重现期/a
韶关	53.812	57.21	3.395	55	水口	83.648	86.94	3.293	48
英德	28.482	34.51	6.028	50	梅县	76.273	79.77	3.597	58
清远	13.872	16.34	2.468	54	潮安	14.606	16.95	2.344	51
梧州	20.226	26.51	6.284	71	石狗	14.606	16.92	2.314	43
德庆	15.994	21.83	5.886	47	四会	10.609	12.44	1.831	50
高要	10.241	13.92	3.679	70	麒麟嘴	9.547	12.68	3.133	47
龙川	68.320	73.73	5.410	49	三水	7.577	10.79	3.213	54
河源	36.115	41.13	5.015	51	化州	13.495	15.76	2.266	49
惠阳	13.469	17.57	4.101	51	茂名	9.833	12.91	3.077	32
博罗	11.339	14.41	3.071	34	双捷	6.977	9.04	2.063	49

表 4 不同重现期下北江流域的年最高水位值及其距平值

Tab.4 The annual maximum water levels and their anomalies at different stations along Beijiang river with different periods

站点名称	重现期为 10 a		重现期为 20 a		重现期为 50 a		重现期为 100 a	
	极值/m	距平值/m	极值/m	距平值/m	极值/m	距平值/m	极值/m	距平值/m
韶关	55.665	1.845	56.238	2.427	56.916	3.105	57.836	4.025
英德	31.980	3.498	33.159	4.677	34.479	5.957	35.472	6.950
清远	15.548	1.676	16.050	2.188	16.642	2.770	17.048	3.176
梧州	24.333	4.101	25.634	5.408	27.183	6.957	28.264	8.038
德庆	20.004	4.010	21.274	5.280	22.788	6.794	23.846	7.852
高要	12.610	2.479	13.409	3.268	14.280	4.139	14.883	4.742
龙川	70.476	2.156	71.717	3.397	73.256	4.836	74.557	6.237
河源	38.912	2.797	40.042	3.927	41.352	5.237	42.391	4.098
惠阳	15.612	2.143	16.264	2.795	17.034	3.385	17.833	2.221
博罗	13.085	1.546	13.680	2.341	14.329	2.990	14.833	3.494

其中列出的年最高水位值是将推算结果加上基点值之后的所得到的数值。由表可见,北江的英德、西江的梧州和德庆、东江的龙川和河源的极值距平是较大的,它们 10 a 一遇的差值在 2.1~4.2 m 之间,20 a 一遇在 3.3~5.5 m 之间,50 a 一遇在 4.8~7.0 m 之间,100 a 一遇在 6.2~8.1 m 之间,这些站点的距平值明显大于其它站点。

可以从每条江河挑出距平值最大的站点,它们是:北江的英德、西江的梧州、东江的河源、韩江的水口、粤西地区的茂名和珠三角地区的麒麟嘴。从总体上可以看出,这些站点多年一遇极值由大到小的排列顺序为:梧州、英德、河源、水口、麒麟嘴、茂名。另外,从 100 a 一遇极值距平方面分析,北、东、西三江流域的距平值相对较大,半数站点在 6.0 m 以上,最大值在梧州,达 8.0381 m,其次是德庆 7.852 m,再次是英德 6.950 m,最小值在博罗,也有 3.5 m。而韩江流域距平值相对小些,在 2.9~5.2 m 之间。珠三角与粤西地区距平值相对最小,百年一遇极值在 2.1~3.8 m 之间。

综上所述,从多年一遇极值距平方面分析,北江、东江、西江流域,尤其是西江,是广东省防洪的重点河流,其次是韩江,珠三角和粤西地区相对较平稳些。

3 小 结

本文对已有资料进行分析,并对多年一遇极值进行了估计,总结出如下几点:

(1) 利用皮尔逊-III 型分布拟合广东主要河流的年最高水位值,误差较小,绝大多数站点的绝对误差在 0.4 m 以下,相对误差在 5% 以下,拟合效果较为理想。

(2) 广东北江、西江、东江三条河流,不管从现存资料分析,还是从多年一遇的极值分析,距平值均较大,百年一遇极值的距平值有半数站点在 6 m 以上,最大的超过 8 m。

(3) 从防洪的角度看,三江流域是重点流域,其次是韩江,而珠三角和粤西地区相对较为平稳。

参考文献:

- [1] 阎俊岳, 黄爱芬. 中国近海大风极值计算方法的研究[J]. 气象学报, 1996(1): 233.
- [2] 陈创买, 蒋光达, 周文. 广东年最大日降水量重现期的计算[J]. 人民珠江, 1998(1): 15
- [3] 刁学贤. 青岛近海岸波高的统计分析[J]. 海洋通报, 1998(4): 19.
- [4] 王敏, 谭向诚. 北京城市暴雨和雨型的研究[J]. 水文, 1994(3): 1.
- [5] 王喜年, 陈祥福. 我国部分测站台风潮重现期的计算[J]. 海洋预报服务, 1984, 1(1): 18.
- [6] DAWSON J A. The pearson system of frequency curves[J]. Computer Applications in the Natural and Social Sciences, 1972, 13A: 10.
- [7] 华东水利学院. 水文学的概率统计基础[M]. 北京: 水利出版社, 1981.

Computation of Extreme Water Levels for Main Rivers in Guangdong Province

JIAN Yu-geng¹, LI Ye-xin², LIN Xiao-liang¹, CHEN Chuang-mai¹

(1. Department of Atmospheric Science, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;
2. Meteorological Bureau of Zhuhai City, Zhuhai 519000, China)

Abstract: With the information of annual maximum water levels from 20 stations, the water levels for those main rivers in Guangdong province are computed based on Pearson-III distribution theory and fitting line method. The results show that the fitting is effective with residuals less than 0.4 m, and the relative errors less 5%. It is found that water level departures from the averages in Beijiang, Dongjiang and Xijiang rivers are obviously larger than those in other rivers. In the case with extreme water level appearing every other 100 years, the records from half of stations show that water levels are higher than six meters. The highest deviation about 8.04 meters is recorded at Wuzhou station. To reduce the damage of flooding, Guangdong province should focus on the water levels of Beijiang, Dongjiang and Xijiang rivers.

Key words: annual maximum water levels; extremes; Pearson-III distribution; Guangdong province