

考虑降雨中心的遥测降雨三步修正

赵 超¹,包为民¹,林 跃²,黄志强²

(1.河海大学水资源环境学院,江苏 南京 210098 2.台州市长潭水库管理局,浙江 台州 317000)

摘要:分析流域降雨的分布规律,在遥测三步降雨误差抗差修正的基础上,进一步改进降雨中心的权函数,提出考虑降雨中心的抗差修正方法.运用闽江七里街流域 1988~1998 年 45 场洪水的暴雨资料,比较考虑降雨中心和不考虑降雨中心 2 种方法的修正结果和探测效率,结果表明,考虑降雨中心的方法增强了修正结果的稳定性,提高了实时洪水预报的精度.

关键词:三步修正;降雨中心;修正效果;探测效率

中图分类号:P338 文献标识码:A 文章编号:1000-198X(2006)02-0157-04

洪水预报精度很大程度上取决于降雨量资料的准确性,而汛期的实时洪水预报对每一时段降雨资料的依赖性更高.

由于目前广泛使用的遥测系统降雨量资料中粗差的出现不可避免,本文引入抗差估计理论^[1-3],结合遥测降雨量的特点,在三步降雨误差抗差修正的基础上,进一步考虑降雨中心对抗差修正方法的影响.

1 降雨量与误差分布特点

流域降雨量及其观测误差在时间和空间上都是变化的,这些变化的统计特征,直接影响误差的估计方法.本文对闽江七里街流域 43 个雨量站 45 场洪水 20 万条 1 h 时段降雨量的实测资料进行分析.

1.1 降雨量分布

流域降雨量的分布十分复杂,但有一定的规律.对于同一雨量站,降雨量分布在 0 到最大值 $P_{\max}$ 之间,存在高频区和低频区;对于不同的雨量站, $P_{\max}$ 虽会有所变化,但降雨量的分布规律具有相似性.图 1 是武夷宫站时段降雨频率分布图,从中可以明显看出高频区和低频区的分布.

1.2 降雨量离差分布

测站时段观测雨量与相应时段流域面平均雨量的绝对离差随时间和空间的变化而变化.图 2 是武夷宫站降雨量绝对离差分布图.由图 2 可知,降雨量绝对离差同样存在高频区和低频区.

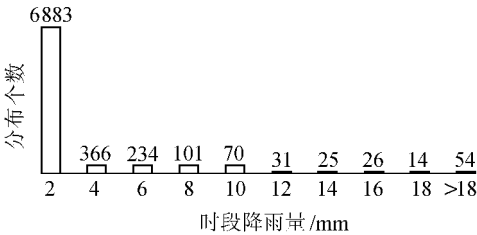


图 1 武夷宫站时段降雨频率

Fig.1 Rainfall distribution of Wuyigong station

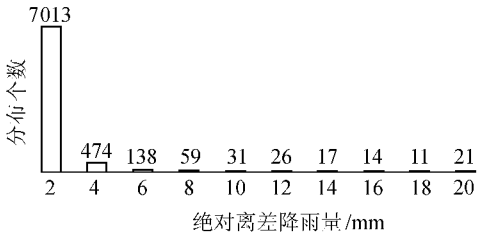


图 2 武夷宫站绝对离差分布

Fig.2 Absolute dispersion distribution of Wuyigong station

1.3 降雨量模拟误差分布

降雨量的空间变化具有一定的规律性,其空间分布可模拟为^[4-5]

$$P = f(\text{经度}, \text{纬度}, \text{面平均雨量}) \tag{1}$$

通过式(1)模拟的降雨量与实测降雨量间的误差即为降雨量模拟误差.图 3 是武夷宫站的降雨量模拟误

差分布图.由图3可知,降雨量误差分布具有单峰形特征,峰值一般出现在均值附近.从峰值往降雨量减小或增大方向,降雨发生频率迅速减小,可知靠近均值处是高频区.

2 误差修正方法

2.1 三步抗差修正法

由图1~图3可以看出,雨量站降雨量、绝对离差降雨量和绝对模拟误差降雨量分布范围依次减小,并且都存在分布的高频区和低频区.根据这些特点,结合抗差估计理论,提出三步降雨误差抗差修正方法.具体步骤如下.

a. 分析大小不同的面平均降雨量,发现其对应的时段降雨量、时段绝对离差、时段模拟误差有较大差别,所以本文将面平均降雨量分为0~1 mm,1~2 mm,2~4 mm,4~6 mm,>6 mm 5个级别.

b. 参照测量误差理论,当误差概率小于0.01,则认为这部分数据是无用的观测信息,观测值的权赋为0,而误差概率小于0.13大于0.01的观测值既不能完全排除,又要限制其有害的影响,属于降权区.根据面平均降雨量的级别,分别对1 h时段的降雨量、绝对离差降雨量、模拟误差降雨量系列选择排频.分别找到3个系列各级别概率为0.01和0.13的临界值,确定权函数.权函数形式为^[6-8]

$$\omega(X_i)=\begin{cases}1 & X_i\leq X_{13\%} \\ (X_{1\%}-X_i)(X_{1\%}-X_{13\%}) & X_{13\%}<X_i\leq X_{1\%} \\ 0 & X_i>X_{1\%}\end{cases}\quad (i=1,2,\dots,n)\quad (2)$$

式中*i*为观测个数.

c. 根据面平均降雨量,采用相应的降雨权函数对时段降雨量进行修正.时段降雨量修正值=时段流域降雨测量值加权平均.

d. 根据修正后的降雨量,计算面平均降雨量.采用相应的绝对离差权函数进行修正.绝对离差修正值=流域时段绝对离差值加权平均.

e. 继续根据修正后的降雨量,计算面平均雨量.采用相应的模拟误差权函数进行修正.模拟误差修正值=流域时段模拟误差值加权平均.

2.2 考虑降雨中心的三步抗差修正方法

闽江七里街流域降雨分布很不均匀,在降雨量误差修正时,需要考虑降雨中心对修正方法的影响.一般来说,降雨中心的降雨量较其他地方更大,离差更大.分析闽江七里街流域降雨中心,得到降雨中心的权函数为

$$\omega(X_i)=\begin{cases}1 & X_i\leq 2X_{13\%} \\ (X_{1\%}-X_i)(X_{1\%}-X_{13\%}) & 2X_{13\%}<X_i\leq 2X_{1\%} \\ 0 & X_i>2X_{1\%}\end{cases}\quad (3)$$

对降雨中心采用如下的计算步骤(a)首先判断降雨中心(b)其他修正步骤与2.1基本相同,不同之处在于对降雨中心的权函数采用式(3),其他站点采用式(2).

3 实例应用

根据闽江七里街流域1988~1998年45场降雨资料确定式(2)中各级别的 $X_{1\%}$ 、 $X_{13\%}$.

选择980509次洪水进行分析,人工降雨资料添加不同误差极值的粗差.表1是不考虑降雨中心的三步抗差修正结果.表中 $e_{\max}$ 为误差最大值, r_{11} 、 r_{12} 、 r_{13} 和 r_{t1} 分别为1个雨量站有粗差且不考虑降雨中心的第1步、第2步、第3步和总的修正有效性, r_{21} 、 r_{22} 、 r_{23} 和 r_{t2} 分别为2个雨量站有粗差且不考虑降雨中心的第1步、第2步、第3步和总的修正有效性, r_{51} 、 r_{52} 、 r_{53} 和 r_{t5} 分别为5个雨量站有粗差且不考虑降雨中心的第1步、第2步、第3步和总的修正有效性.表2是考虑降雨中心的三步抗差修正结果. R_{11} 、 R_{12} 、 R_{13} 和 R_{t1} 分别为1个雨量站有粗差且考虑降雨中心的第1步、第2步、第3步和总的修正有效性, R_{21} 、 R_{22} 、 R_{23} 和 R_{t2} 分别为2个

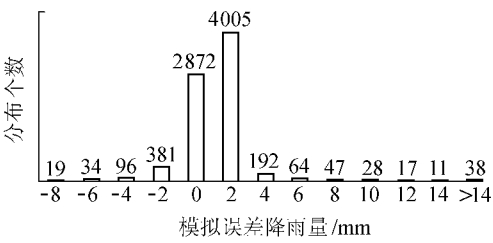


图3 武夷宫站降雨量模拟误差分布
Fig.3 Simulated error distribution of Wuyigong station

雨量站有粗差且考虑降雨中心的第 1 步、第 2 步、第 3 步和总的修正有效性, R_{S1} 、 R_{S2} 、 R_{S3} 和 R_{t2} 分别为 5 个雨量站有粗差且考虑降雨中心的第 1 步、第 2 步、第 3 步和总的修正有效性. 其中修正有效性用式(4)~(7)计算.

$$r_{11} = 1 - \sum |\hat{e}_{1i}| / \sum |\hat{e}_{0i}|$$

(4)

$$r_{12} = 1 - \sum |\hat{e}_{2i}| / \sum |\hat{e}_{1i}|$$

(5)

$$r_{13} = 1 - \sum |\hat{e}_{3i}| / \sum |\hat{e}_{2i}|$$

(6)

$$r_{t1} = 1 - \sum |\hat{e}_{3i}| / \sum |\hat{e}_{0i}|$$

(7)

式中 $\hat{e}_{0i}$ 、 $\hat{e}_{1i}$ 、 $\hat{e}_{2i}$ 和 $\hat{e}_{3i}$ 分别为初始、第 1 步、第 2 步和第 3 步修正后的雨量误差.

表 1 不考虑降雨中心的抗差修正效果

Table 1 Robust corrected results without consideration of rainfall center

$e_{\max}/\text{mm}$	r_{11}	r_{12}	r_{13}	r_{t1}	r_{21}	r_{22}	r_{23}	r_{t2}	r_{S1}	r_{S2}	r_{S3}	r_{t5}
10	-0.113	0.120	-0.065	-0.043	-0.008	0.033	0.059	0.083	0.079	0.026	0.032	0.132
20	0.495	0.141	-0.066	0.538	0.609	0.085	-0.040	0.628	0.239	0.099	0.046	0.345
30	0.695	0.047	-0.183	0.656	0.682	0.183	-0.115	0.710	0.456	0.311	0.038	0.640
40	0.864	-0.081	-0.234	0.818	0.758	0.176	-0.092	0.783	0.585	0.331	0.055	0.737
50	0.839	-0.091	-0.219	0.786	0.809	0.133	-0.077	0.822	0.628	0.388	0.053	0.784
60	0.902	0	-0.327	0.870	0.869	0.223	-0.134	0.884	0.738	0.486	0.052	0.872
70	0.910	0	-0.275	0.886	0.853	0.383	-0.051	0.905	0.700	0.571	0.052	0.878
80	0.929	-0.236	-0.294	0.887	0.912	0.257	-0.178	0.923	0.789	0.606	0.085	0.924
90	0.925	0.142	-0.390	0.910	0.928	0.246	-0.166	0.936	0.763	0.644	0.075	0.922
100	0.965	-0.316	-0.418	0.935	0.922	0.241	-0.221	0.927	0.809	0.657	0.010	0.935
200	0.977	-0.276	-0.377	0.960	0.960	0.445	-0.253	0.972	0.919	0.673	-0.070	0.972
500	0.995	-0.524	-0.599	0.989	0.989	0.502	-0.419	0.992	0.987	0.605	-0.162	0.994

表 2 考虑降雨中心的抗差修正效果

Table 2 Robust corrected results based on rainfall center

$e_{\max}/\text{mm}$	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{t1}	R_{21}	R_{22}	R_{23}	R_{t2}	R_{S1}	R_{S2}	R_{S3}	R_{t5}
10	-0.005	0.133	0.204	0.306	0.045	0.034	0.191	0.254	0.087	0.026	0.081	0.183
20	0.547	0.157	0.228	0.705	0.618	0.087	0.103	0.687	0.243	0.099	0.077	0.371
30	0.728	0.052	0.075	0.762	0.688	0.187	0.017	0.751	0.459	0.313	0.079	0.657
40	0.872	0	0.093	0.884	0.764	0.208	0.056	0.823	0.587	0.339	0.096	0.753
50	0.848	-0.096	0.030	0.838	0.813	0.135	0.050	0.846	0.629	0.390	0.093	0.795
60	0.916	0	0	0.916	0.872	0.261	0.045	0.910	0.740	0.488	0.106	0.881
70	0.925	0	0.112	0.934	0.857	0.392	0.143	0.925	0.701	0.573	0.101	0.885
80	0.935	-0.15	0.045	0.928	0.914	0.300	0.026	0.941	0.790	0.609	0.148	0.93
90	0.929	0.236	0	0.946	0.930	0.254	0.055	0.951	0.764	0.646	0.133	0.927
100	0.969	-0.206	0	0.962	0.924	0.248	0.024	0.944	0.810	0.660	0.078	0.940
200	0.979	-0.177	0	0.976	0.961	0.490	0	0.980	0.920	0.676	0.033	0.975
500	0.996	-0.370	0	0.995	0.989	0.574	0	0.995	0.987	0.613	0.053	0.995

抗差修正首先要探测出粗差的位置,然后对有粗差的项进行修正.表 3、表 4 分析了考虑降雨中心和不考虑降雨中心 2 种抗差修正方法在探测粗差准确率上的区别. q_1 、 q_2 、 q_5 分别为 1 个站、2 个站、5 个站有粗差时,不考虑降雨中心、准确探测出粗差位置的概率; $q_{1失}$ 、 $q_{2失}$ 、 $q_{5失}$ 分别是 1 个站、2 个站、5 个站有粗差时,不考虑降雨中心、探测粗差错误的概率; Q_1 、 Q_2 、 Q_5 分别是 1 个站、1 个站、5 个站有粗差时,考虑降雨中心、准确探测出粗差位置的概率; $Q_{1失}$ 、 $Q_{2失}$ 、 $Q_{5失}$ 分别是 1 个站、2 个站、5 个站有粗差时,考虑降雨中心,探测粗差错误的概率.

4 结 语

- a. 考虑降雨中心的三步抗差效果优于不考虑降雨中心的抗差效果,前者的平均抗差效果为 82%,后者为 77%.考虑降雨中心对 1 个站、2 个站有粗差时的效果影响较大,对有较多站(5 个站)有粗差时,效果影响偏小.
- b. 表 1 中抗差效果出现负值的原因主要是抗差时把没有粗差的观测值(包括降雨中心)作为有粗差的

表3 不考虑降雨中心的探测效率

Table 3 Error detection efficiency without consideration of rainfall center

$e_{\max}/\text{mm}$	q_1	$q_{1\text{失}}$	q_2	$q_{2\text{失}}$	q_5	$q_{5\text{失}}$
10	0.24	0.1	0.19	0.05	0.132	0.016
20	0.60	0.1	0.58	0.05	0.280	0.012
30	0.62	0.1	0.66	0.05	0.508	0.016
40	0.78	0.1	0.70	0.05	0.616	0.016
50	0.78	0.1	0.78	0.05	0.680	0.016
60	0.84	0.1	0.82	0.05	0.768	0.016
70	0.84	0.1	0.84	0.05	0.816	0.016
80	0.88	0.1	0.88	0.05	0.864	0.016
90	0.86	0.1	0.91	0.05	0.852	0.012
100	0.92	0.1	0.84	0.05	0.864	0.016
200	0.90	0.1	0.95	0.05	0.912	0.020
500	1.00	0.1	1.00	0.05	0.984	0.020

表4 考虑降雨中心的探测效率

Table 4 Error detection efficiency based on rainfall center

$e_{\max}/\text{mm}$	Q_1	$Q_{1\text{失}}$	Q_2	$Q_{2\text{失}}$	Q_5	$Q_{5\text{失}}$
10	0.24	0.02	0.19	0.01	0.132	0.004
20	0.60	0.02	0.58	0.01	0.280	0
30	0.62	0.02	0.66	0.01	0.508	0.004
40	0.78	0.02	0.70	0.01	0.616	0
50	0.78	0.02	0.78	0.01	0.680	0.004
60	0.84	0.02	0.82	0.01	0.768	0.004
70	0.84	0.02	0.84	0.01	0.816	0.004
80	0.88	0.02	0.88	0.01	0.864	0.004
90	0.86	0.02	0.91	0.01	0.852	0
100	0.92	0.02	0.84	0.01	0.864	0.004
200	0.90	0.02	0.95	0.01	0.912	0.004
500	1.00	0.02	1.00	0.01	0.984	0.004

观测值,出现探测失误.而表2中抗差效果出现负值是由修正方法不包括降雨中心的探测失误造成的.

c. 三步抗差在粗差探测时,会有探测错误的风险,对照表3、表4,可以发现,考虑降雨中心减小了探测风险.

d. 探测出错的个数与粗差发生的站数、粗差的极值关系不大,说明降雨中心的影响一直存在,必须要考虑.

参考文献:

[1] 周江文,黄幼才,杨元喜,等.抗差最小二乘法[M].武汉:华中理工大学出版社,1997:104-116.

[2] TUKEY J W. Study of robustness by simulation:Particularly in improvement by adjustment and combination[M]//LAUNER R L, WILKINSON G N. Robustness in Statistics. New York:Academic Press,1979:75-106.

[3] HUBER P J. Robust estimation of location parameter[J]. Ann Math Statist,1964,35:73-101.

[4] 包为民,瞿思敏,李清生,等.遥测系统降雨观测误差估计方法研究[J].水利学报,2003(4):30-34.

[5] 赵超,包为民.遥测系统降雨观测粗差修正研究[J].人民长江,2003,34(2):4-6.

[6] 杨元喜.异常影响诊断与抗差估计[J].测绘通报,1994(5):34-36.

[7] 张建,李国英.稳健估计和检验的若干进展[J].数学进展,1998,27(5):403-415.

[8] 瞿思敏,包为民,石朋,等.AR模式误差修正方程参数抗差估计[J].河海大学学报:自然科学版,2003,33(5):497-500.

Three-step correction of error of rainfall remote measuring
with consideration of rainfall center

ZHAO Chao¹, BAO Wei-min¹, LIN Yue², HUANG Zhi-qiang²

(1. College of Water Resources and Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. Bureau of Changtan Reservoir of Taizhou City, Taizhou 317000, China)

Abstract Through an analysis of the law of rainfall distribution, the weight function of rainfall center was improved, and a robust correction method with rainfall center considered was introduced based on the three-step correction method without consideration of rainfall center. With the two methods, the rainfall data of 45 flood events from 1988 to 1998 in Qilijie region of Minjiang River Basin were analyzed. The comparison of the correction effect and detection efficiency of the two methods shows that the present method with rainfall center considered improves the stability of corrected result and the accuracy of real-time flood forecasting.

Key words three-step correction; rainfall center; correction effect; detection efficiency