

# 呼图壁河石门水文站洪水预报分析

张松婷

昌吉水文勘测局, 新疆 昌吉 831100

[摘要] 为了提高河流洪水预警发布的时效性和准确性, 保证河道下游人民生命和财产安全, 在每年汛前、汛中均由水文部门对洪水进行预报, 为地方防汛抢险提供决策依据。文中以昌吉州呼图壁河为例, 采用石门水文站 45 年实测长系列洪水资料, 运用非平稳序列逐步回归趋势分析法对 2020 年、2021 年洪水进行试报, 与实测值进行比较, 通过试报检验, 认为该方法能够作为呼图壁河石门水文站断面洪水预报的初步预报方法。

[关键词] 呼图壁河; 石门水文站; 洪水预报分析法

DOI: 10.33142/hst.v7i5.12303

中图分类号: TV122.2

文献标识码: A

## Flood Forecast Analysis of Shimen Hydrological Station on the Hutubi River

ZHANG Songting

Changji Hydrological Survey Bureau, Changji, Xinjiang, 831100, China

**Abstract:** In order to improve the timeliness and accuracy of river flood warning and ensure the safety of people's lives and property downstream of the river, hydrological departments predict floods before and during each year, providing decision-making basis for local flood prevention and rescue. Taking the Hutubi river in Changji prefecture as an example, this article uses a 45 years long series of measured flood data from Shimen hydrological station to conduct a trial report on floods in 2020 and 2021 using the non-stationary sequence stepwise regression trend analysis method. After comparing with the measured values, it is believed that this method can serve as a preliminary prediction method for section flood forecasting at Shimen hydrological station of Hutubi river.

**Keywords:** Hutubi river; Shimen hydrological station; flood forecasting analysis method

### 1 流域水文特性说明

#### 1.1 自然概况

##### 1.1.1 流域地理特征

呼图壁河流域位于东天山北麓中段, 准噶尔盆地南缘。东与昌吉市三屯河毗邻, 西与玛纳斯县接壤, 南以天山分水岭与巴音郭楞蒙古自治州和静县相望, 北至准噶尔盆地的古尔班通古特沙漠与塔城地区的和布克赛尔县相连。地理位置在  $86^{\circ} 05' - 87^{\circ} 08' E$ 、 $43^{\circ} 07' - 45^{\circ} 20' N$  之间。呼图壁河流域面积  $5119\text{km}^2$ , 石门水文站以上集水面积为  $1840\text{km}^2$ 。地形总的趋势是南高北低, 由东南方向向西北方向倾斜。流域西南与玛纳斯河交界源峰为最高峰, 海拔  $5292\text{m}$ , 北部平原沙漠最低处仅  $360\text{m}$ , 南北高差近  $5000\text{m}$ 。

##### 1.1.2 流域概况

呼图壁河发源于天山北坡的喀拉乌成山及天格尔山, 经高、中、低山区流入平原, 出山口高程在  $1000\text{m}$  以下, 沿程有东、中、西呼图壁河源头支流和红闸、白杨河、哈熊沟、石梯子沟、大洪沟等支流汇入, 经过青年渠首和平原各类蓄、调、输、引水工程, 为呼图壁河流域及各生产单位引用, 最后消失于沙漠之中。呼图壁河补给源于高山区的消冰融雪、中山区的降水和地下水的补给。实测多年平均年径流量  $4.797 \times 108\text{m}^3$ , 最大年径流量为 1999 年的  $6.341 \times 108\text{m}^3$ , 最小年径流量为 1986 年的  $3.630 \times 108\text{m}^3$ 。

##### 1.1.3 流域土地利用/覆被特征

呼图壁河流域内土地利用/覆被分布高山区平均海拔在  $2800\text{m}$  以上, 山峰海拔一般在  $4700\text{m}$  左右, 其间山高谷深、水流湍急、冰川广为分布, 是呼图壁河的发源地。在  $3900\text{m}$  雪线附近, 为现代冰川作用区和永久性积雪覆盖。在  $2800\text{m}$  至雪线附近, 分布有高山草甸土和亚高山草甸土, 其上植被多为低矮的禾本科牧草, 是优良天然的夏牧场。海拔  $1500 \sim 2800\text{m}$  的中山区为森林草甸区。海拔  $800 \sim 1500\text{m}$  的低山区为前山丘陵区, 植被以苔草狐茅、铁杆蒿等为主, 稀疏且低矮, 因夏季降水不充足, 牧草干枯, 只能作春秋牧场。

##### 1.1.4 流域土壤特征

呼图壁河流域土壤类型也较为丰富, 并且土壤空间分布情况与土地利用/覆被分布有一定的相关性。土壤主要以灌溉荒漠灰钙土、草甸土、荒漠灰钙土为主。沙丘边缘的耕作区或荒漠地为含沙量较大的亚砂土。

### 1.2 水利工程现状

#### 1.2.1 农业灌溉引水枢纽工程

阿苇滩渠首: 1964 年 11 月 5 日建成, 位于青年干渠渠首以南  $12\text{km}$  处, 是呼图壁河东岸最上游的一个引水口。独山子渠首: 1960 年 9 月建成, 位于青年干渠渠首以南  $1\text{km}$  呼图壁河西岸。青年干渠渠首: 青年渠首地理坐标为东经  $86^{\circ} 48' 19.28''$ , 北纬  $44^{\circ} 2' 3.79''$ 。拦河式引水工程, 建于 1962 年, 工程共设有引水闸 4 孔, 冲沙泄洪闸 7 孔。

### 1.2.2 拦河工程

呼图壁河流域内建有一系列拦河工程,以调节河流径流,解决灌溉水用和防洪等多种需求。其中,石门水库和齐古水库是主要的上游调节水库。石门水库位于石门水文站下游 7.5km,具有发电和灌溉功能。齐古水库下游 17.5km,主要用于灌溉和供水。此外,位于下游的大海子水库和小海子水库,也是重要的平原拦河水库。其中,大海子水库库容 3336 万  $\text{m}^3$ ,用于防洪和灌溉;小海子水库库容 2700 万  $\text{m}^3$ ,主要任务是灌溉和分洪。值得注意的是,芨芨坝分水枢纽工程,作为呼图壁东河、西河的分水枢纽,向下游大海子水库和小海子水库分配水资源,起到关键的水资源调度作用。通过这些上中下游的一系列拦河工程配合,可有效调节和利用河流的水资源,满足不同区域的多种用水需求。

### 1.3 水文气象

#### 1.3.1 气象

呼图壁河流域地处欧亚大陆腹地,远离海洋,属中温带大陆干旱气候。在中纬度西风带的控制下,受天气系统和北冰洋冷空气的影响,气候年较差、月较差、日较差变化明显,具有典型的大陆性气候特征。流域内气候垂直分布和地带性分布规律显著,夏季炎热、冬季寒冷、气温随地势增高而逐渐降低,降水随高度增减而不同,3900m 以上的高山区,常年积雪覆盖,是寒冷的气候区。中山区降水丰富,属冬暖夏凉的逆温区。低山丘陵区降水少、蒸发强、光照充足、热量丰富,气温日较差大。

#### (1) 降水

据石门水文站资料,最大年降水量为 504.5mm (1987 年),最小年降水量为 352.3mm (1986 年),灌溉期降水量占全年的 46.1%,非灌溉期降水量只占全年的 5.9%。降水量年内分配见下表。

表 1 呼图壁河石门水文站降水量年内分配一览表

河名	站名	各季降水量占年降水量的百分数 (%)				最大月		最小月		连续最大四个月	
		春季 (3~5 月)	灌溉期 (6~8 月)	秋季 (9~11 月)	非灌溉期 (12~2 月)	占年 (%)	月份	占年 (%)	月份	占年 (%)	月份
		29	46.1	19.0	5.9	18.0	7	1.8	1	61.2	5~8

#### (2) 蒸发、气温及冻土深度

石门水文站多年观测资料显示,该地区年平均气温为 6.1℃,年平均蒸发量高达 1445.8mm。其年内气温分布特征明显,1~3 月平均气温低于零度,而 7~8 月为年平均气温最高月,平均最高气温 39.1℃。此外,该地区年平均风速以平原地区最大,从春到秋季平均风速较大,尤其是 4~8 月西风最强,最大风速可达每秒 20m。山区各季平均风速在 5~7m/s 之间。冬季严寒,最大冻土深度可达 1.46m,最大积雪厚 38cm。总体来看,呼图壁河流域属于

典型的温带大陆性季风气候,年温差大,冬季漫长寒冷,夏季炎热干燥。高蒸发量对水资源利用提出了很高要求。不同地形的风力特征也需要在工程设计中加以考虑。

### 1.4 水文

呼图壁河径流量由高山冰川融雪水、前山融雪水、降水补给和地下水补给四部分组成,河流径流组成,见下表 2。

表 2 呼图壁河径流组成统计表 单位: 108m

河名	站名	多年平均径流量		地下水补给		降水补给		前山融雪补给		高山冰川融雪水	
		径流量	%	径流量	%	径流量	%	径流量	%	径流量	%
呼图壁河	石门站	4.797	0.919	19.25	1.803	37.75	0.362	7.58	1.691	35.42	

径流的年内分配特点是:春秋两季水量较小,夏季水量较大,连续最大四个月径流量出现在 6~9 月,占年径流量的 78.7%;6~8 月径流占全年径流量的 68.9%;最大月径流量占年径流量的 28.9%,出现时间为 7 月;最小月径流量占年径流量的 1.1%,一般出现时间为 2 月,最大月径流量与最小月径流量的比值达 25.0。径流的四季分配情况是:春季 3~5 月径流量占年总量的 10.1%左右,秋季 9~11 月径流量占年总量的 16.7%,冬季 12~2 月径流量占年总量的 4.3%。

呼图壁河径流量的年际变化比较平稳,最大年径流与最小年径流量的比值为 1.8 左右,年径流量的变差系数  $C_v$  值仅为 0.13~0.18。形成的原因是夏季高山冰雪融水量与中低山降水量随着气候干暖、冷湿的变化有很强的互补性。

表 3 呼图壁河四季水量分配表

河名	站名	各季水量占年水量的百分数 (%)				连续最大四个月	
		春季 (3~5 月)	夏季 (6~8 月)	秋季 (9~11 月)	冬季 (12~2 月)	占年水量 (%)	出现时间 (月)
呼图壁河	石门	10.1	68.9	16.7	4.3	78.7	6~9

据呼图壁河石门水文站的泥沙观测资料分析,夏季河流输沙量高度集中,6~9 月输沙量占年输沙量的比重达 94.5%,多年平均含沙量为 0.960kg/ $\text{m}^3$ 。

### 1.5 测站基本情况

石门水文站是呼图壁县境内的呼图壁河水量控制站,属省级重要水文站和自治区级报讯站,石门站设立于 1977 年 4 月 29 日,测验断面以上流域集水面积 1840 $\text{km}^2$ ,河长 91km,测站高程 1257m。

#### 设站目的:

- (1) 呼图壁河区域代表站。
- (2) 准确监测呼图壁河水量、水质的动态变化,为呼图壁河水资源评价、区域水文特征和水文规律研究积累资料。
- (3) 为满足呼图壁河流域水资源开发利用、水利工程规划与建设,水资源统一管理,水环境保护以及防洪减灾

等实施水文监测,并提供水文信息服务和水文分析成果等。

石门水文站测验河段较顺直,长约 200m,河床切割较深,两岸较陡,中、高水位时主槽宽度大约 23m~27m,无岔流、串沟、逆流、回水、死水等情况。枯水期,起点距 8m~18m 左右处出现漫滩,测验断面河流分为两股水,两股水流存在横比降,水位不具有代表性,但不影响流量测验。河床由砂砾石组成,无水生植物,冲淤变化较小。基本断面下游 150m 处有急湾作为控制,水位流量关系较稳定。基本断面左岸为岩石峭壁,右岸为岩石和沉积戈壁砂石混合而成,约为 40° 陡坡,坡上长有杨树。基本断面上游 0.45km 处有支流白杨沟自左岸汇入,白杨沟口建有小型水电站一座,由于来水量较小,对流量无影响。基本断面上游 1.5km 处建有拦河中型达拉拜水电站一座。由于该电站在枯水期以及冰期频繁启、闭闸门,蓄水发电,造成测验断面水位人为的有一定规律的陡涨陡落以及产生大量冰塞或冰坝,影响测流,所以在冰期选择临时断面(基上 200m、250m、350m)测流;且每年秋季该电站排沙对测验河段冲淤变化有一定影响。

## 2 基础资料情况

石门水文站洪水期为 5~8 月,年最大洪峰流量多出现在 5~8 月。该站多年平均输沙率为 43.1kg/s,连续最大四个月(5~8 月)输沙量占年输沙量 98.0%。石门水文站自建站以来实测最大洪峰流量为 371m<sup>3</sup>/s,发生在 1996 年 7 月 18 日,最小流量为 0.130m<sup>3</sup>/s。

### 2.1 资料收集

本预报方案中采用的资料主要为呼图壁河石门水文站 1977 年至 2021 年合计 45 年实测最大洪峰流量资料系列和石门站逐日流量资料;单项资料样本个数均大于 30 个。预报过程中以 1977~2020 年为建模期,2021 年最大洪峰流量数据作为预留资料进行模型检验。

### 2.2 资料分析

#### 2.2.1 洪水系列可靠性

石门水文站为国家基本站,其洪水资料的测验、整编及刊印均严格按国家行业规范标准执行,精度较高,具有较好的可靠性。

#### 2.2.2 洪水系列一致性分析

对于洪水系列而言,区间引水、分水以及测站断面迁移,是影响水文站洪峰流量资料系列一致性的两个主要因素。石门水文站以上不存在区间引洪、分洪现象,人类活动影响相对较小;多年来,石门站基本断面仅在 2020 年下迁 300m,迁移距离较近,区间集水面积变化不大,可认为迁移前后其洪水形成条件未发生明显变异,因此我们认为石门水文站洪水资料系列的一致性较好。

### 2.3 洪水系列代表性分析

#### 2.3.1 不同长度系列统计参数对比分析

依据石门站 1977~2021 年 45 年实测洪峰流量资料,自 2021 年逆时序向前推,根据矩法计算的不同系列长度

统计参数对比,见下表。

随着系列长度的增加,统计参数变动幅度逐渐减小,当系列长度达到 40 年以上时,其均值相对偏差的绝对值小于 5%;当系列长度达到 40 年以上时,Cv 值相对偏差绝对值小于 5%。综上所述,系列长度达到 40 年以上时系列统计参数基本趋于稳定。

表 4 石门站洪峰流量长短系列统计参数对照表

年数	均值 (m <sup>3</sup> /s)	Cv	相对偏差(%)	
			均值	Cv 值
5	109	0.35	-16.4	-33.7
10	119	0.36	-9.2	-31.0
15	135	0.37	3.4	-29.8
20	133	0.34	1.5	-34.6
25	143	0.42	9.2	-20.1
30	150	0.50	14.4	-4.0
35	145	0.49	10.9	-6.2
40	137	0.51	4.8	-2.4
45	131	0.52	0.0	0.0

#### 2.3.1 洪峰流量模比系数差积曲线分析

石门站洪峰流量模比系数差积值曲线见下图。

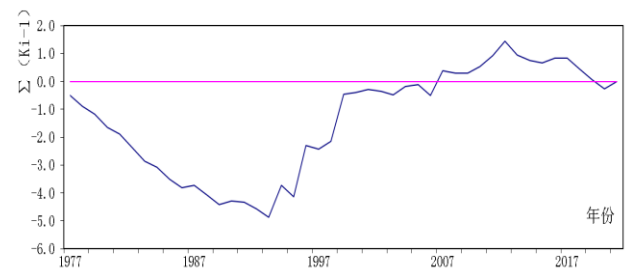


图 1 石门站洪峰流量模比系数差积平均曲线图

从图中反映出,石门站 1978~2021 年洪峰流量系列明显包含着大洪水、小洪水年群:1977~1993 年处在一个小洪水年群,1994~1999 年处在大洪水年群中,2000~2007 年处于洪水平稳期,2008~2021 年包含大小洪水变化年群,且过程较为完整。说明石门站 45 年洪峰流量系列基本包含大洪水、小洪水年群过程,代表性好。

#### 2.3.1 年径流量模比系数累积平均曲线分析

石门站洪峰流量系列模比系数累积平均值曲线见下图。

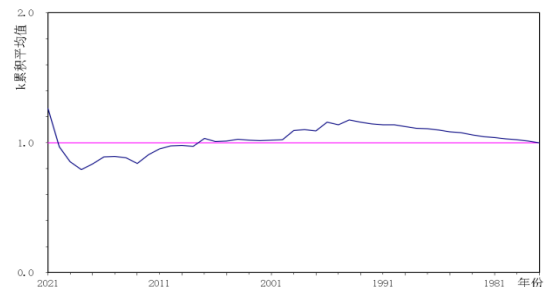


图 2 石门站年径流量模比系数累积平均曲线图

表5 石门水文站 2020 年各要素试报成果表

采用预报方法	预报因子	预测对象	试报目标	信度 0	预报因子	预报对象	备注	相对偏差
第一种 周期均值叠加		最大洪峰流量	165				无周期	
第二种 一元线性回归分析	前一日平均 Q	最大洪峰流量	88	0.1	59.1	125		42%
	洪期 P		88	0.1	12.5	131		49%
	前三天 P		88	0.1	0	102		16%
	年最高 T						不相关	
	前十天平均 T						不相关	
	前三天平均 T						不相关	
	前十天 P		88	0.1	16	121		38%
第三种 多元线性回归分析	前一日平均 Q 前十日 P 前三日 P 年最高 T 前十日 T 前三日 T	最大洪峰流量	88	0.1	前一日平均 Q59.1 前十日 P16 前三日 P0 洪期 P12.5 年最高 T25.7 前十日 T20.4 前三日 T24.2 洪期 T21.6	125		42%
第四种 逐步回归分析	前一日平均 Q 前十日 P 前三日 P 年最高 T 前十日 T 前三日 T	最大洪峰流量	88	0.1	洪期 P12.5 前三日 P0 洪期 T21.6	118	相关显著	34%
	前十日 P 前三日 P 年最高 T 前十日 T 前三日 T	最大洪峰流量	88	0.1	前三日 P0 前三日 T24.2	122	相关显著	39%
第六种 非平稳序列逐步回归趋势分析		最大洪峰流量	88	0.1		87.7	相关显著	0%
第七种 非平稳序列逐步回归周期分析		最大洪峰流量	88	0.1		169	4 因子相关显著	92%
第八种 非平稳序列功率谱分析		最大洪峰流量	88				不存在周期	
采用预报模型	具体预报方法	预测对象	(试报目标)	信度 0	预报因子	分步预报成果	备注	相对偏差
非平稳时间序列 VB6.0 系统应用模型	一元线性						不相关	
	多元逐步回归			0.1		87.7		
	周期叠加						不存在周期	
	逐步回归周期分析			0.1		169		
组合成果	多元逐步回归(信度 0.1)+逐步回归周期分析(信度 0.1)	年最大洪峰流量 Q	88			116		32%
	多元逐步回归(信度 0.1)+非平稳序列逐步回归趋势分析(信度 0.1)		88			87.7		0%



由图可见,石门站洪峰流量模比系数累积平均值在系列长度达 40 年以上时,模比系数累积平均值接近于 1,波幅小于 1%,随着时间的增长,变幅逐渐减小,均值趋于稳定,可见系列均值有较好的稳定性。

### 3 预报模型与方法选择

呼图壁河上仅有石门站一处水文站,本方案为单河单站的洪水预报方案。

石门站洪水预报采用自治区水文局旦木仁加甫开发的中长期水文预报 VB 6.0 系统及非平稳序列 VB6.0 系统应用模型,其中中长期水文预报 VB 6.0 系统中集成了十项常用中长期水文预报 Visual Basic 6.0 应用程序,包括:周期均值叠加、一元线性回归分析、多元线性回归分析、逐步回归分析、平稳时间序列分析、非平稳序列逐步回归趋势分析、非平稳序列逐步回归周期分析、非平稳序列功率谱分析、马尔可夫链定性预报技术、枯季退水曲线分析等。

本次石门站洪水预报对象单一,为水文站年最大洪峰流量;影响因子单一,为洪峰流量前一日河道平均流量;因此主要模型及预报方法包括:周期均值叠加、一元线性

回归分析、平稳时间序列分析、非平稳序列逐步回归趋势分析、非平稳序列逐步回归周期分析、非平稳序列功率谱分析以及非平稳序列 VB6.0 系统应用模型。

### 4 预报模型的评定和检验

按照以上预报对象采用方法,对各自模型精度进行检验,以 2020 年和 2021 年洪峰流量为预报对象分别进行试报检验,试报成果见下表 5。

根据《水文情报预报规范》中有关洪水预报模型评定办法,对模型精度进行检验,统计合格率等。利用最近 2 年实测资料对预报模型进行预报检验,对预报效果进行评定。降雨径流预报以实测洪峰流量的 20%作为许可误差,河道流量预报以预见期内实测变幅的 20%作为许可误差。

从上表可见,采用不同预报方法试报 2020 年最大洪峰流量得到的各预报对象误差均不一致。其中,预报误差在 20%以内的方法包括非平稳序列逐步回归趋势分析和非平稳时间序列 VB6.0 系统应用模型两种。

#### (2) 石门水文站 2021 年试报成果

采用各种预报方法,对 2021 年进行试预报。试报成果见下表 6、表 7。

表 6 中长期水文预报 VB 6.0 系统试报成果

采用预报方法	预报因子	预测对象	实况值	信度	预报因子	预报值	备注	相对偏差
周期均值叠加		年最大洪峰 Q	165				不存在周期	
一元线性回归分析	前一日平均流量			0.01	94.2	171		4%
平稳时间序列分析						116		-30%
非平稳序列逐步回归趋势分析				0.05		146	相关显著	-12%
非平稳序列逐步回归周期分析				0.001		91.4	2 因子相关显著	-45%
非平稳序列功率谱分析							不存在周期	

表 7 非平稳序列 VB6.0 系统应用模型试报成果

采用预报模型	具体预报方法	实况值	信度	预报因子	分步预报值	备注	相对偏差
非平稳时间序列 VB6.0 系统应用模型	一元线性				153	不相关	
	多元逐步回归		0.05		146		
			0.1		146		
	周期叠加					不存在周期	
	逐步回归周期分析		0.001		91.4		
			0.01		91.4		
			0.025		106		
			0.05		106		
			0.1		106		
预报成果	多元逐步回归(信度 0.05)+逐步回归周期分析(信度 0.001)	165			85.2		-48%
	多元逐步回归(信度 0.1)+逐步回归周期分析(信度 0.1)				110		-33%

从上表可见,采用不同预报方法试报 2021 年最大洪峰流量得到的各预报对象误差均不一致。其中,预报误差在 20%以内的方法仅有一元线性回归分析、非平稳序列逐步回归趋势分析两种。因此目前适合石门站的洪水预报方法为非平稳序列逐步回归趋势分析法。

## 5 结束语

本文以呼图壁河石门水文站为例,运用非平稳序列逐步回归趋势分析法,对 2020 年和 2021 年两年的洪水进行了试报。通过与实测值的对比,结果表明该方法在呼图壁河石门水文站断面洪水的初步预报中具有一定的可行性和可靠性。当然,由于洪水是随机变化的天气过程,任何预报方法在应用中都会存在一定误差。因此,未来还需要继续扩大样本量,完善模型参数,采用多种数值预报方法进行交叉验证,以提高预报准确率。同时,还需要与地方防汛部门进行深入交流,将预报结果及时提供给决策层,

为洪水防汛提供科学依据。只有长期实践和完善,该预报方法才能真正发挥作用,为保障下游地区的生命财产安全提供有效决策支持。水文预报工作需要共同努力,才能实现预报目的,为人民生产和生活提供可靠水文保障。

## 【参考文献】

- [1]张元杰.呼图壁河石门水文站测次精简分析[J].地下水,2024,46(1):214-216.
  - [2]张燕.呼图壁河流域石门水文站超标洪水测报方案设计探讨[J].地下水,2021,43(4):212-213.
  - [3]魏召才.同频法在呼图壁梯级水库洪水计算中的应用[J].陕西水利,2019(5):74-75.
  - [4]万蕙,黄会勇,袁迪.水利工程影响下的洪水预报研究进展[J].人民长江,2017,48(7):11-15.
- 作者简介:张松婷(1986—),女,汉族,新疆玛纳斯县人,工程师,主要从事水文勘测及水文水资源研究工作。