



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107168926 B

(45)授权公告日 2019.05.24

(21)申请号 201710409558.9

(22)申请日 2017.06.02

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107168926 A

(43)申请公布日 2017.09.15

(73)专利权人 武汉大学  
地址 430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山  
武汉大学

(72)发明人 高仕达 刘攀 潘正可 冯茂源

(74)专利代理机构 武汉科皓知识产权代理事务  
所(特殊普通合伙) 42222

代理人 俞琳娟

(51)Int.Cl.

G06F 17/13(2006.01)

G06Q 50/06(2012.01)

(56)对比文件

CN 106529157 A,2017.03.22,

CN 104751008 A,2015.07.01,

CN 105887751 A,2016.08.24,

Qiao-feng Tan et al..The Dynamic Control Bound Of Flood Limited Water Level Considering Capacity Compensation Regulation and Flood Spatial Pattern Uncertainty.《Water Resources Management》.2017,第31卷(第1期),143-158.

熊立华等.皮尔逊III型设计洪水的可靠性研究.《水电能源科学》.2002,第20卷(第4期),

审查员 钟容

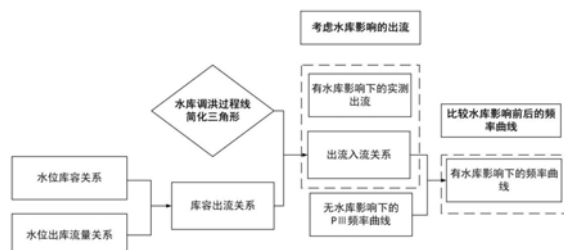
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

考虑水库调度影响的洪水频率分析方法

(57)摘要

本发明提供一种考虑水库调度影响的洪水频率分析方法,该方法可应用于考虑水库调度影响下的洪水频率分析研究中,为人类活动影响下的水文特征变化提供科学的技术支撑。本发明所提供的洪水频率分析方法,其特征在于,包括以下步骤:步骤1:根据水库库容与水库面积、水位关系,以及出库流量与水位关系得到水库库容与出库流量的相关关系;步骤2:入库出库洪水过程采用简化三角形方式处理,入库出库三角形面积差为入库洪水形成的水库最大调蓄水量得到水量平衡关系式;步骤3:联立求解步骤1和2得到的关系式,推求出库流量与入库流量的关系式,并将该关系式代入无水库调度影响下的洪水频率公式,推导出水库调度影响下的洪水频率公式。



1. 一种考虑水库调度影响的洪水频率分析方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1:根据水库库容与水库面积、水位关系,以及出库流量与水位关系得到水库库容与出库流量的相关关系;

步骤2:入库出库洪水过程采用简化三角形方式处理,设入库出库三角形面积差等于入库洪水形成的水库最大调蓄水量,得到水量平衡关系式;

步骤3:联立求解步骤1和2得到的关系式,推求出库流量与入库流量的关系式,并将该关系式代入无水库调度影响下的洪水频率公式,推导出水库调度影响下的洪水频率公式。

2. 根据权利要求1所述的考虑水库调度影响的洪水频率分析方法,其特征在于:

其中,在所述步骤1中,得到的水库库容与出库流量的关系式为:

$$V = aQ_{out}^2 ,$$

式中, $V$ 为水库最大调蓄水量, $a$ 为水库特征参数, $Q_{out}$ 为水库调节下的洪峰出库流量。

3. 根据权利要求1所述的考虑水库调度影响的洪水频率分析方法,其特征在于:

其中,在所述步骤2中,所述简化三角形方式为线性处理洪水过程线。

4. 根据权利要求3所述的考虑水库调度影响的洪水频率分析方法,其特征在于:

其中,在所述步骤2中,所述水量平衡关系式为:

$$V = \frac{1}{2}TQ_{in} - \frac{1}{2}TQ_{out} ,$$

式中, $T$ 为涨水退水历时, $Q_{in}$ 为无水库调节下的洪峰入库流量, $Q_{out}$ 为水库调节下的洪峰出库流量。

5. 根据权利要求4所述的考虑水库调度影响的洪水频率分析方法,其特征在于:

其中,在所述步骤3中,推求出的所述出库流量与入库流量的关系式为:

$$Q_{out} = \left( \frac{TQ_{in}}{2a} + \frac{T^2}{16a^2} \right)^{0.5} - \frac{T}{4a} ,$$

式中, $a$ 为水库特征参数。

6. 根据权利要求5所述的考虑水库调度影响的洪水频率分析方法,其特征在于:

其中,在所述步骤3中,推导出的所述水库调度影响下的洪水频率公式为:

$$f(Q_{out}) = \frac{T}{4a} \left( \frac{TQ_{in}}{2a} + \frac{T^2}{16a^2} \right)^{-0.5} \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \left( \left( \frac{TQ_{in}}{2a} + \frac{T^2}{16a^2} \right)^{0.5} - \frac{T}{4a} - \delta \right)^{\alpha-1} e^{-\beta \left( \left( \frac{TQ_{in}}{2a} + \frac{T^2}{16a^2} \right)^{0.5} - \frac{T}{4a} - \delta \right)} ,$$

式中, $\beta, \alpha, \delta$ 依次为尺度参数、形状参数、位置参数, $\Gamma(\alpha)$ 表示 $\alpha$ 的伽玛函数。

## 考虑水库调度影响的洪水频率分析方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于洪水频率分析技术领域,具体涉及考虑水库调度影响的洪水频率分析方法。

### 背景技术

[0002] 洪水频率分析法可用于推求设计洪水,广泛应用于防洪工程实践中。传统的研究方法主要包括:美国1968年撰写了设计洪水计算指南;爱尔兰国立大学Cunnane教授受世界气象组织(WMO)委托,于1989年撰写出版了《洪水频率分析的统计分布》;Hosking和Wallis 1997年提出了以线性矩为基础的区域洪水频率分析方法;中国自20世纪50年代开始开展洪水频率分析工作,在频率曲线线型、经验频率公式、参数估计方法、设计洪水过程线放大等方面进行了较为深入的研究。

[0003] Eagleson首先提出了基于物理机制的洪水频率曲线公式推导法,这一方法主要包含降水和径流模型的设定以及径流峰值与降雨转换关系。Sivapalan将气候变化和土地利用等因素纳入洪水频率分析中,推导了考虑季节影响下的洪水频率公式。Botter假定降水服从泊松分布,通过体现气候变化和土地利用影响的模型参数,推导了基于物理机制的洪水频率曲线解析模型。

[0004] 传统的研究侧重于考虑气候变化及土地利用对洪水频率分析的影响,却忽视了水库调度对自然状态下的水资源时空特征进行重新分配带来的影响。少量研究表明水库建设前后会对洪水洪峰洪量有一定程度的削减作用,但水库对洪水频率分析的具体影响尚未有解析公式。

### 发明内容

[0005] 本发明是为了解决上述问题而进行的,目的在于提供一种考虑水库调度影响的洪水频率分析方法。本发明为了实现上述目的,采用了以下方案:

[0006] 本发明提供一种考虑水库调度影响的洪水频率分析方法,其特征在于,包括以下步骤:步骤1:根据水库库容与水库面积、水位关系,以及出库流量与水位关系得到水库库容与出库流量的相关关系;步骤2:入库出库洪水过程采用简化三角形方式处理,入库出库三角形面积差为入库洪水形成的水库最大调蓄水量得到水量平衡关系式;步骤3:联立求解步骤1和2得到的关系式,推求出库流量与入库流量的关系式,并将该关系式代入无水库调度影响下的洪水频率公式,推导出水库调度影响下的洪水频率公式。

[0007] 本发明提供的考虑水库调度影响的洪水频率分析方法,还可以具有以下特征:在步骤1中,得到的水库库容与出库流量的关系式为: $V = aQ_{out}^2$ ,式中, $V$ 为水库最大调蓄水量, $a$ 为水库特征参数, $Q_{out}$ 为水库调节下的洪峰出库流量。

[0008] 本发明提供的考虑水库调度影响的洪水频率分析方法,还可以具有以下特征:在步骤2中,简化三角形方式为线性处理洪水过程线。

[0009] 本发明提供的考虑水库调度影响的洪水频率分析方法,还可以具有以下特征:在

步骤2中,水量平衡关系式为:  $V = \frac{1}{2}TQ_{in} - \frac{1}{2}TQ_{out}$ , 式中, T为涨水退水历时,  $Q_{in}$ 为无水库调节下的洪峰入库流量。

[0010] 本发明提供的考虑水库调度影响的洪水频率分析方法,还可以具有以下特征:在

步骤3中,推求出的出库流量与入库流量的关系式为:  $Q_{out} = \left(\frac{TQ_{in}}{2a} + \frac{T^2}{16a^2}\right)^{0.5} - \frac{T}{4a}$ 。

[0011] 本发明提供的考虑水库调度影响的洪水频率分析方法,还可以具有以下特征:在步骤3中,推导出的水库调度影响下的洪水频率公式为:

$$f(Q_{out}) = \frac{T}{4a} \left(\frac{TQ_{in}}{2a} + \frac{T^2}{16a^2}\right)^{-0.5} \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \left(\left(\frac{TQ_{in}}{2a} + \frac{T^2}{16a^2}\right)^{0.5} - \frac{T}{4a} - \delta\right)^{\alpha-1} e^{-\beta\left(\left(\frac{TQ_{in}}{2a} + \frac{T^2}{16a^2}\right)^{0.5} - \frac{T}{4a} - \delta\right)},$$

, 式中,  $\beta, \alpha, \delta$  依次为尺度参数、形状参数、位置参数,  $\Gamma(\alpha)$  表示 $\alpha$ 的伽玛函数。

度参数、形状参数、位置参数,  $\Gamma(\alpha)$  表示 $\alpha$ 的伽玛函数。

[0012] 发明的作用与效果

[0013] 与现有技术相比,本发明的有益效果在于:

[0014] (1) 本发明充分考虑了水库调度影响下的洪峰流量变化,简化了水库入库出库流量的计算方法,推导出了水库调度影响下的洪水频率公式。

[0015] (2) 本发明能够将人类活动的影响(水库建设)纳入洪水频率分析考虑中,有助于了解水库调度下水资源时空特征变化情况。

[0016] (3) 本发明可广泛应用于水库调度影响下洪水频率分析中,为面对人类活动影响下的水文特征变化提供科学的技术支撑。

## 附图说明

[0017] 图1为本发明实施例中所涉及的考虑水库调度影响的洪水频率分析方法的流程图;

[0018] 图2为本发明实施例中所涉及的简化三角形处理方法的示意图;以及

[0019] 图3为本发明实施例中所推求出的水布垭水库的洪水频率曲线图。

## 具体实施方式

[0020] 以下结合附图对本发明涉及的考虑水库调度影响的洪水频率分析方法、以及该方法应用于非一致性条件下防洪调度方案优化问题的具体实施方案进行详细地说明。

[0021] <实施例>

[0022] 如图1所示,本实施例所提供的考虑水库调度影响的洪水频率分析方法包括以下步骤:

[0023] 步骤1. 根据水库库容与水库面积、水位关系,以及出库流量与水位关系得到水库库容与出库流量的相关关系;

[0024] 由于库容及库水位存在三次方关系,自由溢流水库存在出库流量与库水位有二次方关系,由此得出水库库容与出流流量的关系式:

[0025]  $V = aQ_{out}^2$  , (公式1)

[0026] 式中,  $V$ 为水库最大调蓄水量,  $a$ 为水库特征参数,  $Q_{out}$ 为水库调节下的洪峰出库流量;

[0027] 步骤2. 采用简化三角形方式处理入库出库洪水过程, 并将水库出流过程按照自由溢流方式处理, 如图2所示, 当水位处于起调水位时, 出库流量为0; 出库流量按照水库库容~出流流量关系计算, 出库流量过程与入库过程相交于点C, 过后出库流量随库水位降低而逐步减小, 因此可将出库过程的涨水段简化为直线, 图2中三角形  $\triangle DAB$ 为入库过程,  $\triangle CAB$ 为出库过程, 涨水退水历时 $T$ 的计算: 已知水库集水面积、河长、坡降等参数时, 采用设计洪水计算方法推算, 由水量平衡关系式得到水库最大调蓄水量 $V$ 为入库出库三角形面积差:

[0028]  $V = \frac{1}{2}TQ_{in} - \frac{1}{2}TQ_{out}$  , (公式2)

[0029] 式中,  $T$ 为涨水退水历时,  $Q_{in}$ 为无水库调节下的洪峰入库流量;

[0030] 步骤3. 联立求解上述步骤1和2得到的关系式, 推求出库流量与入库流量的关系式:

[0031]  $Q_{out} = \left(\frac{TQ_{in}}{2a} + \frac{T^2}{16a^2}\right)^{0.5} - \frac{T}{4a}$  , (公式3)

[0032] 假设无水库调度影响下的洪峰序列服从皮尔逊Ⅲ型频率曲线公式, 即:

[0033]  $f(Q_{in}) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} (Q_{in} - \delta)^{\alpha-1} e^{-\beta(Q_{in} - \delta)}$ ,  $\alpha > 0, \beta > 0, Q_{in} \geq \delta$  , (公式4)

[0034] 式中,  $\beta, \alpha, \delta$ 依次为尺度参数、形状参数、位置参数;

[0035] 求 $Q_{out}$ 关于 $Q_{in}$ 的偏导并将其代入原洪水频率分析公式中可推导出水库调度影响下的洪水频率公式:

[0036]  $f(Q_{out}) = \frac{T}{4a} \left(\frac{TQ_{in}}{2a} + \frac{T^2}{16a^2}\right)^{-0.5} \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \left(\left(\frac{TQ_{in}}{2a} + \frac{T^2}{16a^2}\right)^{0.5} - \frac{T}{4a} - \delta\right)^{\alpha-1} e^{-\beta\left(\left(\frac{TQ_{in}}{2a} + \frac{T^2}{16a^2}\right)^{0.5} - \frac{T}{4a} - \delta\right)}$  , (公式5)

[0037] 上述公式5便是基于水库调度影响下的洪水频率分析公式, 由该公式可以看出, 水库调度改变了原有的洪水频率分析公式。

[0038] 另外, 为了进行误差估计, 可以在上述步骤1的基础上, 进一步进行以下步骤2' 和 3' :

[0039] 步骤2'. 入库洪水过程采用线性处理, 出库洪水过程采用实际曲线积分计算, 得到水量平衡关系式:

[0040]  $\sigma dT = \delta V^{0.5} dT + dV$  , (公式6)

[0041] 式中,  $\sigma$ 为入库洪水系数,  $\delta$ 为出库洪水系数;

[0042] 求解微分方程可得 $V$ 和 $T$ 的关系式:

[0043]  $V = \sigma^2 \left(1 + P\left(-\frac{e^{\frac{-T}{2\sigma}}}{\sigma}\right)\right)^2$  , (公式7)

[0044] 式中,函数 $P(x)$ 为关于 $x$ 的牛顿迭代解析式;

[0045] 步骤3'.根据步骤2'中水库最大调蓄水量 $V$ 和涨水退水历时 $T$ 的关系式,及步骤1中水库最大调蓄水量 $V$ 和出库流量 $Q_{out}$ 的关系式,得到出库流量 $Q_{out}$ 和涨水退水历时 $T$ 的关系式,通过牛顿迭代公式可求得出库流量 $Q_{out}$ 数值解:

$$[0046] \quad Q_{out} = \delta\sigma(1 + P(-\frac{-t}{\sigma})) , \quad (\text{公式 } 8)$$

[0047] 将公式8代入原洪水频率分析公式4中,推导出水库调度影响下的洪水频率公式:

$$[0048] \quad f(Q_{out}) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} (Q_{out} - \delta)^{\alpha-1} e^{-\beta(Q_{out}-\delta)} , \quad (\text{公式 } 9)$$

[0049] 然后,采用牛顿迭代编程计算出库流量 $Q_{out}$ 的误差,将其与实际流量和公式5一起比较进行误差估计。

[0050] 下面以清江流域中的水布垭水库为例,对本实施例所提供的洪水频率分析方法进行验证:

[0051] 清江流域横贯湖北省西南,干流全长423km,总落差1430m。流域呈南北窄,东西长的狭长形,面积约为17000km<sup>2</sup>。水布垭水库坝址位于清江流域中游,距恩施约117km,距渔峡口水文站17.6km,控制面积为10860km<sup>2</sup>,比渔峡口集水面积(11906km<sup>2</sup>)小8.8%。渔峡口水文站是水布垭的设计代表站。

[0052] 将水布垭水库作为实例研究,根据其62年(1951-2012)实测径流资料,绘制如图3所示的频率曲线,比较原频率曲线与推导得到的频率曲线公式,可见推导得到的频率曲线线型和原皮尔逊III型曲线线型不一致。由于水库调节的消峰影响,出库流量明显比入库流量小。由图3可知,所推导的频率曲线公式拟合出库流量的效果比原皮尔逊III型曲线好。推导的频率曲线公式与实际出库流量经验频率的均方根误差为0.09,小于原皮尔逊III型曲线的均方根误差0.31。由此可验证结论:水库调度改变了原有的洪水频率分析公式。

[0053] 以上实施例仅仅是对本发明技术方案所做的举例说明。本发明所涉及的考虑水库调度影响的洪水频率分析方法并不仅仅限定于在以上实施例中所描述的内容,而是以权利要求所限定的范围为准。本发明所属领域技术人员在该实施例的基础上所做的任何修改或补充或等效替换,都在本发明的权利要求所要求保护的范围内。

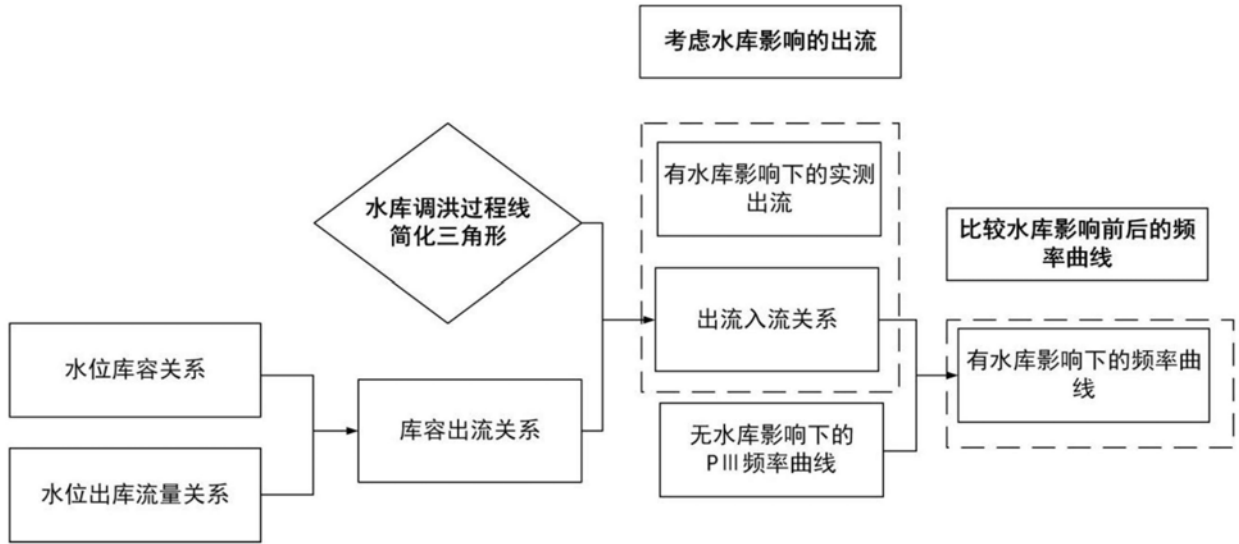


图1

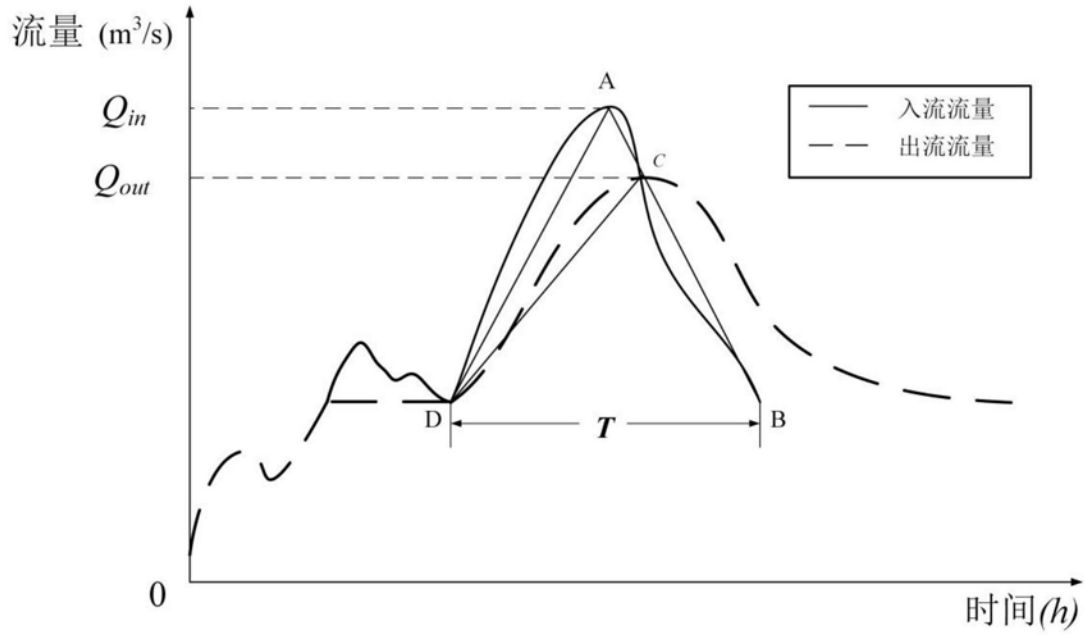


图2

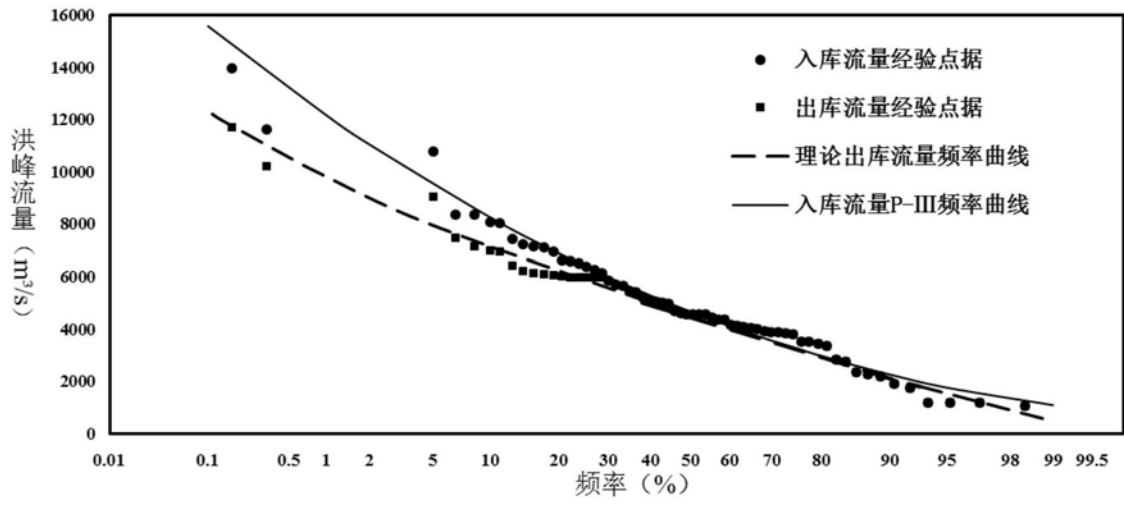


图3