

一种城市河流橡胶坝群水生态调控方法

技术领域

[0001] 本发明属于城市生态控制技术领域,具体涉及一种城市河流橡胶坝群水生态调控方法。

背景技术

[0002] 随着大多数城市快速的发展,人口的增多,城市生态系统成为目前人们热切关心的话题,城市生态系统以人口、建筑物和构筑物为主体的环境中形成的生态系统,目前城市生态系统几乎全是人工生态系统,其能量和物质运转均在人的控制下进行,居民所处的生物和非生物环境都已经过人工改造,是人类自我驯化的系统;城市中人口、能量和物质容量大,密度高,流量大,运转快,与社会经济发展的活跃因素有关;是不完全的开放性的生态系统,系统内无法完成物质循环和能量转换。因城市是一定区域范围的中心地,城市依赖区域存在和发展,故城市生态系统的依赖性很强,独立性很弱,因此需要对改善城市生态系统做出有效的研究,确定城市生态合理容量和制订和谐、稳定、高效的城市生态系统结构可行方案及其管理技术措施等;而城市河流作为城市调控系统的主要因素,需对城市河流结构进行有效模拟研究,而现有调度系统无法模拟气候变化及人为干扰影响的不同历史时期流域产汇流过程;目前未有城市河流橡胶坝群调度系统;现有调度系统结构复杂,调度模型计算所需资料多且较难获取,制定可行调度方案耗时长。

发明内容

[0003] 本发明的目的在于提供一种城市河流橡胶坝群水生态调控方法,以克服现有技术的不足。

[0004] 为达到上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0005] 一种城市河流橡胶坝群水生态调控方法,包括以下步骤:

[0006] 步骤1)、获取待调控城市河流的上中游气象要素数据、径流数据、流域DEM高程数据、土地利用数据和植被覆盖数据,根据获取的上述数据建立待调控城市河流的上中游分布式水文模型;

[0007] 2)、获取待调控城市河流的下游城市段河湖水力、水质和水量实测数据,并根据获取的下游城市段河湖水力、水质和水量实测数据建立待调控城市河流的下游河道橡胶坝调控作用下的下河道平面二维水动力学数值模型——污染物输移数值模型;

[0008] 3)、根据待调控城市河流的上中游分布式水文模型和下河道平面二维水动力学数值模型——污染物输移数值模型开展流域产汇流模拟、下游河段橡胶坝群调度情况下的河段水量、水质模拟计算,模拟计算目标按照优先级依次为坝前污染物浓度达到水体水质提升指标要求、流量大于生态基流、渗漏蒸发水量损失最小化、同时蓄水量满足区域水景观要求,橡胶坝库区水质与水量调控模型模拟计算,在目标保证率大于90%情况下,输出河段水质分布状况、断面平均流速、流量、各橡胶坝调节高度、区间水量渗漏蒸发量。

[0009] 进一步的,步骤1)中,分布式水文模型以山坡的坡面及山坡下垫面为基本计算单

元,考虑空间因素变化对水文过程的影响,空间因素包括地形、土壤、植被、降水、气温、相对湿度和风速信息。

[0010] 进一步的,利用网格型DEM提取流域特征进行汇流计算:先将流域划分为多个子流域,然后各子流域进一步划分为汇流区间和山坡,汇流计算时,各子流域相对位置和汇流顺序采用河网分级编码方法,流域特征包括河网水系、子流域范围、坡度和坡长。

[0011] 进一步的,步骤1)中,上中游气象要素从上中游多个气象站点获取,径流数据从上中游控制性水文站获取。

[0012] 进一步的,分布式水文模型将坡面单元概化为一个长l、倾斜角为 β 的矩形坡面,以坡面为基本单元,通过下式进行计算:

$$[0013] l = \frac{A(x)}{2W(x)} \quad (1)$$

[0014] 式中,A(x)为面积方程;W(x)为宽度方程。

[0015] 进一步的,下游城市段橡胶坝库区污染物输移数值模型基于质量守恒和动量守恒方程。

[0016] 进一步的,具体的橡胶坝库区基本二维水动力学数值模型主体方程由质量守恒方程和X、Y方向上的动量守恒方程组成:

$$[0017] h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} [E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}] + gh \left[\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{gun^2}{h^{1/3}} (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} - \xi V_a^2 \cos \psi - 2hu \omega \sin \Phi = 0 \quad (2)$$

$$[0018] h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho} [E_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}] + gh \left[\frac{\partial a}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y} \right] + \frac{gvn^2}{h^{1/3}} (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} - \xi V_a^2 \sin \psi + 2hu \omega \sin \Phi = 0 \quad (3)$$

$$[0019] \frac{\partial h}{\partial t} + h \left[\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right] + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (4);$$

[0020] 橡胶坝库区基本二维污染物输移数值模型主体方程为:

$$[0021] h \left[\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} - \frac{\partial D_x}{\partial x} \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{\partial D_y}{\partial y} \frac{\partial C}{\partial y} - \sigma + kc + \frac{R(C)}{h} \right] = 0 \quad (5)$$

[0022] 上式中:x、y、t为坐标轴与时间,h为水深,u、v分别为x和y方向上的流速, ρ 为液体密度,E为涡动黏滞系数,g为重力加速度,a为底高程,n为曼宁糙率系数, ξ 为风应力系数, V_a 为风速,为风向, ω 为地球自转角速度, Φ 纬度, D_x 、 D_y 为x、y方向的扩散系数,k为衰减系数, σ 为污染物源汇,R(C)为降雨蒸发渗漏。

[0023] 进一步的,每个计算单元根据尺寸和流速初定一个Peclet数值,Peclet数值范围为15-50,在每个单元既定尺寸与计算流速条件下每一涡动黏滞系数步长由计算实时自动调整;Peclet数与单元平均流速、单元长度、流体密度和涡动黏滞系数的关系如下:

$$[0024] P = \frac{\rho u dx}{E} \quad (6)$$

[0025] (6)式中P为Peclet数,无量纲; ρ 为流体密度, g/cm^3 ;u为单元平均流速, m/s ;dx为流向方向的单元格长度, m ;E为涡动黏滞系数, $kg/(m \cdot s)$;

[0026] 曼宁糙率系数由每个单元在每步迭代中由其计算水深自动调整:

$$[0027] n = \frac{RDR0}{AVEDEP} RDcoef + (RDRM * e^{(-AVEDEP/RDD0)}) \quad (7)$$

[0028] (7)式中n为曼宁糙率系数,RDR0为无植被水域曼宁糙率系数,AVEDEP为单元平均水深,RDcoef为糙率水深影响系数,RDRM为植被水域的曼宁糙率系数,RDD0为受植被影响的水深;公式(2)~(5)控制方程由加权余量的Galerkin有限元法求解,求解过程采用隐式格式;联立方程通过Newton-Raphson非线性迭代求解。

[0029] 进一步的,步骤3)中,以分布式水文模型模拟计算的上游河道来水过程、坝前污染物浓度为约束条件,建立河流橡胶坝群控制下的上河道平面二维有限元水动力——污染物输移数值模型,计算橡胶坝群抬升不同高度情况下,橡胶坝库区水质时空分布状况以及出口断面平均流速。

[0030] 进一步的,河流橡胶坝库区水质与水量调控的多目标优化在给定优化目标后,在给定优先级下极小化与此目标的偏差;确保目标保证率大于90%,给出随机变量解;以下为河流橡胶坝库区水质与水量调控的多目标优化模型基本框架:

$$[0031] \left\{ \begin{array}{ll} \text{MIN} & \sum_{j=1}^1 P_j \sum_{i=1}^m (u_{ij} d_i^+ + v_{ij} d_i^-) \\ \text{s.t.} & \\ & P_r \left\{ \begin{array}{l} H_{ik}(y, \xi) \leq 0 \\ k = 1, 2, \dots, q_i \end{array} \right\} + d_i^- - d_i^+ = w_i, i = 1, 2, \dots, n \\ & G_j(y, \xi) \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, p \\ & d_i^-, d_i^+ \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n \end{array} \right. \quad (8)$$

[0032] 其中 P_j 为优先因子,表示各个目标的重要性,对所有 P_j 远大于 P_{j+1} , u_{ij} 为优先级j的第i个目标正偏差的权重因子, v_{ij} 为优先级j的第i个目标负偏差的权重因子, d_i^- 为目标i偏离目标值的负偏差, d_i^+ 为目标i偏离目标值的正偏差, H_{ik} 为目标约束中的实值函数, G_j 为在不确定环境中的实值函数, w_i 为目标i的目标值,l为优先级个数,n为目标约束个数。

[0033] 与现有技术相比,本发明具有以下有益的技术效果:

[0034] 本发明一种城市河流橡胶坝群水生态调控方法,以待调控城市河流的上中游气象要素数据、径流数据、流域DEM高程数据、土地利用数据和植被覆盖数据建立待调控城市河流的上中游分布式水文模型;以待调控城市河流的下游城市段河湖水力、水质和水量实测数据建立待调控城市河流的下游河道橡胶坝调控作用下的下河道平面二维水动力学数值模型——污染物输移数值模型;根据待调控城市河流的上中游分布式水文模型和下河道平面二维水动力学数值模型——污染物输移数值模型开展流域产汇流模拟、下游河段橡胶坝群调度情况下的河段水量、水质模拟计算,模拟计算目标按照优先级依次为坝前污染物浓度达到水体水质提升指标要求、流量大于生态基流、渗漏蒸发水量损失最小化、同时蓄水量满足区域水景观要求,橡胶坝库区水质与水量调控模型模拟计算,在目标保证率大于90%情况下,输出河段水质分布状况、断面平均流速、流量、各橡胶坝调节高度、区间水量渗漏蒸发力,本方法能够依据气候变化及环境因素引起的气象输入、下垫面条件变化、水文地质条

件变化,进行分布式水文模型结构调整和模型参数优化,呈现不同历史时期流域产汇流过程,本方法以下游河川径流过程、下游城市段水体自净能力、生态基流为约束条件,建立河流橡胶坝群水量调度模型,以确定河流下游城市段橡胶坝群水生态优化调度方法,本方法简单可靠,计算所需资料少且较易获取。

附图说明

[0035] 图1为本发明流程图。

具体实施方式

[0036] 下面结合附图对本发明做进一步详细描述:

[0037] 如图1所示,一种城市河流橡胶坝群水生态调控方法,包括以下步骤:

[0038] 1)、获取待调控城市河流的上中游气象要素数据、径流数据、流域DEM高程数据、土地利用数据和植被覆盖数据,根据获取的上述数据建立待调控城市河流的上中游分布式水文模型;

[0039] 分布式水文模型以山坡的坡面及山坡下垫面为基本计算单元,考虑空间因素变化对水文过程的影响,具有较好的水文模拟效果,空间因素包括地形、土壤、植被、降水、气温、相对湿度和风速信息;

[0040] 具体的:利用网格型DEM提取流域特征进行汇流计算:先将流域划分为多个子流域,然后各子流域进一步划分为汇流区间和山坡,汇流计算时,各子流域相对位置和汇流顺序采用河网分级编码方法,流域特征包括河网水系、子流域范围、坡度和坡长。

[0041] 坡面单元概化

[0042] 以坡面为基本单元,分布式水文模型基本原理的重要部分是对坡面单元的概化以及对坡面单元水文过程的物理描述,分布式水文模型将坡面单元概化为一个长为l、倾斜角为 β 的矩形坡面,l通过下式进行计算:

$$[0043] l = \frac{A(x)}{2W(x)} \quad (1)$$

[0044] 式中,A(x)为面积方程;W(x)为宽度方程;

[0045] 分布式水文模型建立在网格型DEM及GIS基础上,包括流域空间信息库、水文计算模块、模型输入模块与模型输出模块;模型描述水文过程物理机制明确,可根据流域具体情况增加模块,调整模型结构和输入参数;分布式水文模型的参数包括:植被和地表参数、土壤水分参数和河道参数;模型参数均为物理参数,源于实测数据;

[0046] 根据城市型河流人类活动的时空分布情况,分别考虑流域上游、中下游城市段的下垫面条件变化、水利工程运行及城市取水、排水对区域水文循环影响,调整模型结构和输入参数,进行水文验证与模拟计算;

[0047] 2)、获取待调控城市河流的下游城市段河湖水力、水质和水量实测数据,并根据获取的下游城市段河湖水力、水质和水量实测数据建立待调控城市河流的下游河道橡胶坝调控作用下的下河道平面二维水动力——污染物输移数值模型;

[0048] 下游城市段橡胶坝库区污染物输移数值模型主要基于质量守恒和动量守恒方程;适用于垂向混合均匀而横向与纵向水环境参数梯度较大情况;应用于水库、河道和湖泊地

区的污染物物质输移扩散计算,可以满足水质预测等多方面要求;

[0049] 具体的橡胶坝库区基本二维水动力学数值模型主体方程由质量守恒方程和X、Y方向上的动量守恒方程组成:

$$\begin{aligned} [0050] \quad & h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left[E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] + gh \left[\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{g u n^2}{h^{1/3}} (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} - \xi V_a^2 \cos \psi - 2hu \omega \sin \Phi = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} [0051] \quad & h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left[E_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] + gh \left[\frac{\partial a}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y} \right] + \frac{g v n^2}{h^{1/3}} (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} - \xi V_a^2 \sin \psi + 2hu \omega \sin \Phi = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

$$[0052] \quad \frac{\partial h}{\partial t} + h \left[\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right] + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

[0053] 橡胶坝库区基本二维污染物输移数值模型主体方程为:

$$[0054] \quad h \left[\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} - \frac{\partial D_x}{\partial x} \frac{\partial c}{\partial x} - \frac{\partial D_y}{\partial y} \frac{\partial c}{\partial y} - \sigma + kc + \frac{R(C)}{h} \right] = 0 \quad (5)$$

[0055] 上式中:x、y、t为坐标轴与时间,h为水深,u、v分别为x和y方向上的流速,ρ为液体密度,E为涡动黏滞系数,g为重力加速度,a为底高程,n为曼宁糙率系数,ξ为风应力系数,V_a为风速,ψ为风向,ω为地球自转角速度,Φ纬度,D_x、D_y为x、y方向的扩散系数,k为衰减系数,σ为污染物种汇,R(C)为降雨蒸发渗漏。

[0056] 河流下游城市段橡胶坝库区污染物输移数值模型主要参数与求解:

[0057] 水流紊流特征用涡动黏滞系数描述,每个网格初始涡动黏滞系数由Peclet法设定;具体步骤为每个计算单元根据尺寸和流速初定一个Peclet数值,Peclet数值范围为15-50,在每个单元既定尺寸与计算流速条件下每一涡动黏滞系数步长由计算实时自动调整;Peclet数与单元平均流速、单元长度、流体密度和涡动黏滞系数的关系如下:

$$[0058] \quad P = \frac{\rho u dx}{E} \quad (6)$$

[0059] (6)式中P为Peclet数,无量纲;ρ为流体密度,g/cm³;u为单元平均流速,m/s;dx为流向方向的单元格长度,m;E为涡动黏滞系数,kg/(m·s)。

[0060] 曼宁糙率系数由每个单元在每步迭代中由其计算水深自动调整:

$$[0061] \quad n = \frac{RDRO}{AVEDEP} RDCOEF + (RDRM * e^{(-AVEDEP/RDDO)}) \quad (7)$$

[0062] (7)式中n为曼宁糙率系数,RDRO为无植被水域曼宁糙率系数,AVEDEP为单元平均水深,RDCOEF为糙率水深影响系数,RDRM为植被水域的曼宁糙率系数,RDDO为受植被影响的水深;公式(2)~(5)控制方程由加权余量的Galerkin有限元法求解,求解过程采用隐式格式。联立方程通过Newton-Raphson非线性迭代求解。

[0063] 3)、开展流域产汇流模拟、下游河段橡胶坝群调度情况下的河段水量、水质模拟计算:下游城市段橡胶坝库区污染物输移数值模型主要基于质量守恒和动量守恒方程;

[0064] 河流下游城市段橡胶坝库区水质与水量调控模型与计算求解:

[0065] 以分布式水文模型模拟计算的上游河道来水过程、坝前污染物浓度为约束条件,

建立河流橡胶坝群控制下的上河道平面二维有限元水动力——污染物输移数值模型,计算橡胶坝群抬升不同高度情况下,橡胶坝库区水质(TP、COD、NH₃-N等指标)时空分布状况以及出口断面平均流速。

[0066] 模拟计算目标按照优先级依次为坝前污染物浓度达到水体水质提升指标要求、流量大于生态基流、渗漏蒸发水量损失最小化、同时蓄水量满足区域水景观要求。橡胶坝库区水质与水量调控模型模拟计算,在目标保证率大于90%情况下,输出河段水质分布状况、断面平均流速、流量、各橡胶坝调节高度、区间水量渗漏蒸发量。并采用Tennant法估算生态基流量,给定保证率,即控制生态基流量取值应大于上游入区流量的10%。

[0067] 河流橡胶坝库区水质与水量调控模型与求解如下:

[0068] 河流橡胶坝库区水质与水量调控的多目标优化在给定优化目标后,在给定优先级下极小化与此目标的偏差;确保目标保证率大于90%,给出随机变量解;以下为河流橡胶坝库区水质与水量调控的多目标优化模型基本框架:

$$\begin{aligned}
 & \text{MIN} \quad \sum_{j=1}^l P_j \sum_{i=1}^m (u_{ij} d_i^+ + v_{ij} d_i^-) \\
 & \text{s.t.} \\
 [0069] \quad & \left\{ \begin{array}{l} H_{ik}(y, \xi) \leq \mathbf{0} \\ k = 1, 2, \dots, q_i \end{array} \right\} + d_i^- - d_i^+ = w_i, i = 1, 2, \dots, n \\
 & G_j(y, \xi) \leq \mathbf{0}, \quad j = 1, 2, \dots, p \\
 & d_i^-, d_i^+ \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n
 \end{array} \right. \quad (8)
 \end{aligned}$$

[0070] 其中P_j为优先因子,表示各个目标的重要性,对所有P_j远大于P_{j+1},u_{ij}为优先级j的第i个目标正偏差的权重因子,v_{ij}为优先级j的第i个目标负偏差的权重因子,d_i⁻为目标i偏离目标值的负偏差,d_i⁺为目标i偏离目标值的正偏差,H_{ik}为目标约束中的实值函数,G_j为在不确定环境中的实值函数,w_i为目标i的目标值,l为优先级个数,n为目标约束个数。

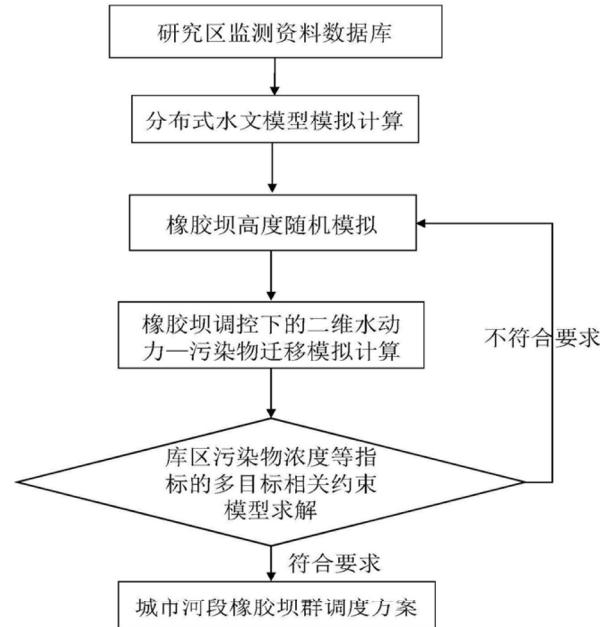


图1