



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114896552 B

(45) 授权公告日 2025. 04. 22

(21) 申请号 202210386322.9

(22) 申请日 2022.04.13

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 114896552 A

(43) 申请公布日 2022.08.12

(73) 专利权人 长江勘测规划设计研究有限责任公司  
地址 430010 湖北省武汉市解放大道1863号

(72) 发明人 陈正兵 陈前海 何勇 侯卫国  
江磊 唐金武 望思强 樊咏阳  
余康 郭大卫

(74) 专利代理机构 武汉开元知识产权代理有限公司 42104  
专利代理师 陈家安

(51) Int.Cl.

G06F 17/11 (2020.01)

(56) 对比文件

CN 106886614 A, 2017.06.23

CN 113836703 A, 2021.12.24

审查员 张晓娜

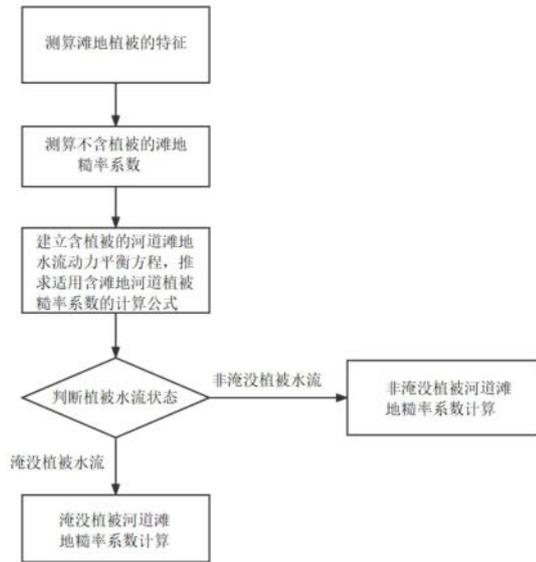
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种含植被河道滩地糙率系数的测算方法

(57) 摘要

本发明公开了一种含植被河道滩地糙率系数的测算方法,该方法包括如下步骤:S1:测算滩地植被的特征,包括植被类型、植被特征长度d、单位面积植被数量N、植被密度a、植被高度 $h_c$ ; S2:测算不含植被的滩地糙率系数 $n_0$ ; S3:建立含植被的河道滩地水流动力平衡方程,推求适用含滩地河道植被糙率系数的计算公式; S4:判断植被水流状态,测算滩地水深H,结合植被高度 $h_c$ ,判断植被淹没状态; S5:根据植被淹没状态,利用步骤S3得到的计算公式计算含植被的河道滩地糙率系数。本发明能够快速测算含植被的河道滩地糙率系数,且测算精度较高,可适用各种类型植被和各种水流状态的滩地糙率系数测算,避免了现有方法适用范围窄、适用情况单一的限制。



1. 一种含植被河道滩地糙率系数的测算方法,其特征在於:包括如下步骤:

S1: 测算滩地植被的特征,包括植被类型、植被特征长度 $d$ 、单位面积植被数量 $N$ 、植被密度 $a$ 、植被高度 $h_c$ ;

S2: 测算不含植被的滩地糙率系数 $n_0$ ;

S3: 建立含植被的河道滩地水流动力平衡方程,推求适用含滩地河道植被糙率系数的计算公式;

其中,含植被的河道滩地水流动力平衡方程为:

$$\frac{1}{2}C_D ahU_1^2 + \frac{1}{8}fU^2 = HgS_0$$

式中, $U$ 为滩地植被水流的垂向平均流速; $U_1$ 为植被层水流的垂向平均流速;植被为淹没状态时, $U_1 < U$ ;植被为非淹没状态时, $U_1 = U$ ;  $a$ 为植被密度; $h$ 为水面以下滩地植被高度; $H$ 为滩地水深;非淹没植被水流时, $h = H$ ;  $g$ 为重力加速度; $f$ 为达西-魏斯巴赫系数; $S_0$ 为水面比降; $C_D$ 为植被拖曳力系数;

滩地植被水流的水面比降 $S_0$ 和达西-魏斯巴赫系数 $f$ ,由如下公式计算而得:

$$U = \frac{1}{n} R^{2/3} S_0^{1/2}$$

$$f = 8g/C^2$$

$$C = R^{1/6}/n_0$$

式中, $n$ 为含植被的滩地糙率系数; $R$ 为水力半径,可用滩地水深 $H$ 表示; $S_0$ 为水面比降; $g$ 为重力加速度; $C$ 为谢才系数; $n_0$ 为不含植被的滩地糙率系数;

将含植被的河道滩地水流动力平衡方程与上述公式结合,得到含植被的河道滩地糙率系数 $n$ 的计算公式:

$$n = \sqrt{\frac{\frac{1}{2}C_D ahH^{1/3} \left(\frac{U_1}{U}\right)^2}{g} + n_0^2}$$

式中, $C_D$ 为植被拖曳力系数; $a$ 为植被密度; $h$ 为水面以下滩地植被高度; $H$ 为滩地水深; $U$ 为滩地植被水流的垂向平均流速; $U_1$ 为植被层水流的垂向平均流速; $g$ 为重力加速度; $n_0$ 为不含植被的滩地糙率系数;

S4: 判断植被水流状态,测算滩地水深 $H$ ,结合植被高度 $h_c$ ,判断植被淹没状态;

S5: 根据植被淹没状态,利用步骤S3得到的计算公式计算含植被的河道滩地糙率系数。

2. 根据权利要求1所述的含植被河道滩地糙率系数的测算方法,其特征在於:所述步骤S1中,所述植被密度 $a$ 为单位体积内垂直水流方向的植被投影面积,由如下公式计算而得:

$$a = Nd$$

式中, $N$ 为单位面积对应的植被数量, $d$ 为植被特征长度。

3. 根据权利要求2所述的含植被河道滩地糙率系数的测算方法,其特征在於:所述步骤S1中,若植被茎干为圆形,则植被特征长度 $d$ 为茎干的直径;若植被茎干为其他形状,则植被特征长度 $d$ 为垂直水流方向的宽度;所述植被高度 $h_c$ 为滩面以上植被实际高度。

4. 根据权利要求1或2或3所述的含植被河道滩地糙率系数的测算方法,其特征在於:所

述步骤S2中,不含植被的滩地糙率系数 $n_0$ 通过查询水力计算手册得到。

5. 根据权利要求4所述的含植被河道滩地糙率系数的测算方法,其特征在于:所述步骤S4中,滩地水深 $H$ 通过现场测量确定,或者通过已有的滩地地形资料和实测的滩地水位计算确定;根据植被高度 $h_c$ 和滩地水深 $H$ 的比较,判断植被淹没状态。

6. 根据权利要求5所述的含植被河道滩地糙率系数的测算方法,其特征在于:所述步骤S4中,当滩地水深 $H < h_c$ ,水流属于非淹没植被水流;当滩地水深 $H > h_c$ ,水流属于淹没植被水流。

7. 根据权利要求6所述的含植被河道滩地糙率系数的测算方法,其特征在于:所述步骤S5中,当滩地水流属于非淹没植被水流时 $U_1 = U$ ,含植被的河道滩地糙率系数 $n$ ,由如下公式计算而得:

$$n = \sqrt{\frac{\frac{1}{2} C_D a H^{4/3}}{g} + n_0^2}$$

式中, $C_D$ 为植被拖曳力系数; $a$ 为植被密度; $H$ 为滩地水深; $g$ 为重力加速度; $n_0$ 为不含植被的滩地糙率系数。

8. 根据权利要求7所述的含植被河道滩地糙率系数的测算方法,其特征在于:所述步骤S5中,当滩地水流属于淹没植被水流时,植被层水流的垂向平均流速 $U_1$ 与滩地植被水流的垂向平均流速 $U$ 关系可表示为:

$$\frac{U_1}{U} = 1 / \left( 1 + \sqrt{\frac{C_D a h}{2 C_m} \left( \frac{H-h}{H} \right)^3} \right)$$

经换算,含植被的河道滩地糙率系数 $n$ ,由如下公式计算而得:

$$n = \sqrt{\frac{\frac{1}{2} C_D a h H^{4/3} \left( 1 / \left( 1 + \sqrt{\frac{C_D a h}{2 C_m} \left( \frac{H-h}{H} \right)^3} \right) \right)^2}{g} + n_0^2}$$

式中, $C_m$ 为淹没状态下植被层与非植被层水流交换系数; $C_D$ 为植被拖曳力系数; $a$ 为植被密度; $h$ 为水面以下滩地植被高度; $H$ 为滩地水深; $g$ 为重力加速度; $n_0$ 为不含植被的滩地糙率系数。

## 一种含植被河道滩地糙率系数的测算方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及水利工程的技术领域,具体涉及一种含植被河道滩地糙率系数的测算方法。

### 背景技术

[0002] 糙率系数是一个综合反映河道粗糙程度的系数,一般用曼宁系数表示。糙率系数在水利工程、水运工程等领域应用广泛,是河道内水位—流量关系分析、水面线计算、水动力及河床变形模拟所需的重要参数。近年来,随着大江大河上游水利水电枢纽工程投入运行,枢纽下游平原河道中低水频率增多,大水频率减少,河道滩地上各类植被生成茂盛。同时,随着河流生态治理要求的提升,芦苇、灌木和乔木等植被也越来越多地用于河道滩地生态治理中。植被在改善河岸生态环境的同时,对水流阻力有多大影响,特别是对大洪水的影响是一个值得关注的科学问题。

[0003] 目前,已有一些含植被的河道滩地糙率系数计算方法,但总体而言计算过程较为复杂,计算参数较多,参数获取难度大,计算方法适用范围较窄,如何简便快捷、科学合理地测算含植被的河道滩地糙率系数成为一个亟需解决的技术难题。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的在于克服上述背景技术的不足,提供一种含植被河道滩地糙率系数的测算方法,该方法能够方便快速的测算含植被河道滩地的糙率系数,且测算精度较高。

[0005] 为实现上述目的,本发明所设计的一种含植被河道滩地糙率系数的测算方法,包括如下步骤:

[0006] S1:测算滩地植被的特征,包括植被类型、植被特征长度 $d$ 、单位面积植被数量 $N$ 、植被密度 $a$ 、植被高度 $h_c$ ;

[0007] S2:测算不含植被的滩地糙率系数 $n_0$ ;

[0008] S3:建立含植被的河道滩地水流动力平衡方程,推求适用含滩地河道植被糙率系数的计算公式;

[0009] S4:判断植被水流状态,测算滩地水深 $H$ ,结合植被高度 $h_c$ ,判断植被淹没状态;

[0010] S5:根据植被淹没状态,利用步骤S3得到的计算公式计算含植被的河道滩地糙率系数。

[0011] 上述技术方案中,所述步骤S1中,植被类型一般分为草木、灌木和乔木。

[0012] 上述技术方案中,所述步骤S1中,所述植被密度 $a$ 为单位体积内垂直水流方向的植被投影面积,由如下公式计算而得:

$$[0013] \quad a = Nd$$

[0014] 式中, $N$ 为单位面积对应的植被数量, $d$ 为植被特征长度。

[0015] 上述技术方案中,所述步骤S1中,若植被茎干为圆形,则植被特征长度 $d$ 为茎干的直径;若植被茎干为其他形状,则植被特征长度 $d$ 为垂直水流方向的宽度;所述植被高度 $h_c$ 。

为滩面以上植被实际高度。

[0016] 上述技术方案中,所述步骤S2中,不含植被的滩地糙率系数 $n_0$ 通过查询水力计算手册得到,或者借鉴相关工程经验得到。

[0017] 上述技术方案中,所述步骤S3中,含植被的河道滩地水流动力平衡方程为:

$$[0018] \quad \frac{1}{2} C_D a h U_1^2 + \frac{1}{8} f U^2 = H g S_0$$

[0019] 式中, $U$ 为滩地植被水流的垂向平均流速; $U_1$ 为植被层水流的垂向平均流速(植被为淹没状态时, $U_1 < U$ ;植被为非淹没状态时, $U_1 = U$ ); $a$ 为植被密度; $h$ 为水面以下滩地植被高度; $H$ 为滩地水深(非淹没植被水流时, $h = H$ ); $g$ 为重力加速度; $f$ 为达西-魏斯巴赫系数; $S_0$ 为水面比降; $C_D$ 为植被拖曳力系数。

[0020] 上述技术方案中,所述步骤S3中,滩地植被水流的水面比降 $S_0$ 和达西-魏斯巴赫系数 $f$ ,由如下公式计算而得:

$$[0021] \quad U = \frac{1}{n} R^{2/3} S_0^{1/2}$$

$$[0022] \quad f = 8g/C^2$$

$$[0023] \quad C = R^{1/6}/n_0$$

[0024] 式中, $n$ 为含植被的滩地糙率系数; $R$ 为水力半径,可用滩地水深 $H$ 表示; $S_0$ 为水面比降; $g$ 为重力加速度; $C$ 为谢才系数; $n_0$ 为不含植被的滩地糙率系数;

[0025] 将含植被的河道滩地水流动力平衡方程与上述公式结合,得到含植被的河道滩地糙率系数 $n$ 的计算公式:

$$[0026] \quad n = \sqrt{\frac{\frac{1}{2} C_D a h H^{1/3} \left(\frac{U_1}{U}\right)^2}{g} + n_0^2}$$

[0027] 式中, $C_D$ 为植被拖曳力系数; $a$ 为植被密度; $h$ 为水面以下滩地植被高度; $H$ 为滩地水深; $U$ 为滩地植被水流的垂向平均流速; $U_1$ 为植被层水流的垂向平均流速; $g$ 为重力加速度; $n_0$ 为不含植被的滩地糙率系数。

[0028] 上述技术方案中,所述步骤S4中,滩地水深 $H$ 通过现场测量确定,或者通过已有的滩地地形资料和实测的滩地水位计算确定;根据植被高度 $h_c$ 和滩地水深 $H$ 的比较,判断植被淹没状态。

[0029] 上述技术方案中,当滩地水深 $H <$ 植被高度 $h_c$ ,水流属于非淹没植被水流;当滩地水深 $H >$ 植被高度 $h_c$ ,水流属于淹没植被水流。

[0030] 上述技术方案中,所述步骤S5中,当滩地水流属于非淹没植被水流时 $U_1 = U$ ,含植被的河道滩地糙率系数 $n$ ,由如下公式计算而得:

$$[0031] \quad n = \sqrt{\frac{\frac{1}{2} C_D a H^{4/3}}{g} + n_0^2}$$

[0032] 式中, $C_D$ 为植被拖曳力系数,可取1; $a$ 为植被密度; $H$ 为滩地水深; $g$ 为重力加速度; $n_0$ 为不含植被的滩地糙率系数。

[0033] 上述技术方案中,所述步骤S5中,当滩地水流属于淹没植被水流时,植被层水流的垂向平均流速 $U_1$ 与滩地植被水流的垂向平均流速 $U$ 关系可表示为:

$$[0034] \quad \frac{U_1}{U} = 1 / \left( 1 + \sqrt{\frac{C_D ah}{2C_m} \left( \frac{H-h}{H} \right)^3} \right)$$

[0035] 经换算,含植被的河道滩地糙率系数 $n$ ,由如下公式计算而得:

$$[0036] \quad n = \sqrt{\frac{\frac{1}{2} C_D ah H^{1/3} \left( 1 / \left( 1 + \sqrt{\frac{C_D ah}{2C_m} \left( \frac{H-h}{H} \right)^3} \right) \right)^2}{g}} + n_0^2$$

[0037] 式中, $C_m$ 为淹没状态下植被层与非植被层水流交换系数,可取0.07; $C_D$ 为植被拖曳力系数,可取1; $a$ 为植被密度; $h$ 为水面以下滩地植被高度; $H$ 为滩地水深; $g$ 为重力加速度; $n_0$ 为不含植被的滩地糙率系数。

[0038] 与现有技术相比,本发明具有如下优点:

[0039] 其一,本发明基于滩地水流动力平衡方程,构建了以植被特征为主要参数的滩地糙率系数计算公式,该方法具有较强的理论基础,可适用各种类型植被和各种水流状态的滩地糙率系数测算,各种类型植被包括草本、灌木和乔木等植被类型,各种水流状态包括淹没植被状态和非淹没植被状态,避免了已有方法适用范围窄、适用情况单一的限制。

[0040] 其二,本发明计算过程清晰明了,计算参数均易获得,技术方案使用方便,包括水面以下滩地植被高度、滩地水深、植被密度、不含植被的滩地糙率系数等均可通过简单的实地测量或查询水力计算手册获得,其他参数,如植被拖曳力系数、水流交换系数等均已明确。

[0041] 其三,本发明测算的含植被河道滩地糙率系数精度高,经实例验证,本发明测算结果与试验结果相差在5%以内,测算精度高,可用含植被河道的水位—流量关系分析、水面线计算、水动力及河床变形模拟等场景,具有广阔的应用前景。

## 附图说明

[0042] 图1为本发明一种含植被河道滩地糙率系数的测算方法的流程示意图。

## 具体实施方式

[0043] 下面结合实施案例详细说明本发明的实施情况,但它们并不构成对本发明的限定,仅作举例而已。同时通过说明本发明的优点将变得更加清楚和容易理解。

[0044] 实施例1(含乔木的河道滩地糙率系数)

[0045] 本实施例的一种含植被河道滩地糙率系数的测算方法,包括如下步骤:

[0046] 步骤S1:测算滩地植被的特征,选择研究范围内代表性区域开展植被类型、单位面积植被数量、植被特征长度、植被高度等植被特征调查,代表性区域内植被数量一般不少于10株。植被类型为乔木。通过现场调查和测量确定研究区域每株乔木平均直径 $d$ 为6cm,单位面积植被数量 $N$ 为0.18株/ $m^2$ ,乔木高度 $h_c$ 为10m,植被密度 $a$ 为 $0.011m^{-1}$ ;

[0047] 步骤S2:测算不含植被的滩地糙率系数,通过查阅水力计算手册,并借鉴相关工程

经验等确定不含植被的滩地糙率系数为0.025;

[0048] 步骤S3:建立含植被的河道滩地水流动力平衡方程,推求含滩地河道植被糙率系数的计算公式:

$$[0049] \quad n = \sqrt{\frac{\frac{1}{2} C_D a h H^{1/3} \left(\frac{U_1}{U}\right)^2}{g} + n_0^2}$$

[0050] 步骤S4:判断植被水流状态,滩地水深H约3.2m,植被高度 $h_c$ 约10m,植被高度大于滩地水深,植被水流属于非淹没植被水流;

[0051] 步骤S5:因植被水流属于非淹没植被水流,含植被的河道滩地糙率系数可简化为

$$[0052] \quad n = \sqrt{\frac{\frac{1}{2} C_D a H^{4/3}}{g} + n_0^2}$$

[0053] 结合植被密度 $a=0.011\text{m}^{-1}$ ,水深 $H=3.2\text{m}$ , $C_D=1.0$ , $g=9.8\text{m/s}^2$ , $n_0=0.025$ 等参数,计算含植被的河道滩地糙率系数 $n=0.057$ 。计算的滩地糙率系数与经试验推求的滩地糙率系数0.06基本一致,误差仅为5.0%。

[0054] 实施例2(含灌木的河道滩地糙率系数)

[0055] 步骤S1:测算滩地植被的特征,选择研究范围内代表性区域开展植被类型、单位面积植被数量、植被特征长度、植被高度等植被特征调查,代表性区域内植被数量一般不少于10株。植被类型为灌木。通过现场调查和测量确定研究区域每株灌木茎干平均直径 $d$ 为16cm,单位面积植被数量 $N$ 为0.30株/ $\text{m}^2$ ,灌木高度 $h_c$ 为1.5m,植被密度 $a$ 为 $a=0.048\text{m}^{-1}$ ;

[0056] 步骤S2:测算不含植被的滩地糙率系数,通过查阅水力计算手册,并借鉴相关工程经验等确定不含植被的滩地糙率系数为0.025;

[0057] 步骤S3:建立含植被的河道滩地水流动力平衡方程,推求含滩地河道植被糙率系数的计算公式;

$$[0058] \quad n = \sqrt{\frac{\frac{1}{2} C_D a h H^{1/3} \left(\frac{U_1}{U}\right)^2}{g} + n_0^2}$$

[0059] 步骤S4:判断植被水流状态,滩地水深H约3.2m,植被高度 $h_c$ 约1.5m,植被高度小于滩地水深,植被水流属于淹没植被水流;

[0060] 步骤S5:因植被水流属于淹没植被水流,含植被的河道滩地糙率系数表示为:

$$[0061] \quad n = \sqrt{\frac{\frac{1}{2} C_D a h H^{1/3} \left(1/\left(1 + \sqrt{\frac{C_D a h (H-h)^3}{2C_m H}}\right)\right)^2}{g} + n_0^2}$$

[0062] 结合植被密度 $a=0.048\text{m}^{-1}$ ,滩地水深 $H=3.2\text{m}$ ,水面以下滩地植被高度 $h=1.5\text{m}$ , $C_D=1.0$ , $g=9.8\text{m/s}^2$ , $n_0=0.025$ , $C_m=0.07$ 等参数,计算含植被的河道滩地糙率系数 $n=0.085$ 。计算的滩地糙率系数与经试验推求的滩地糙率系数0.083基本一致,误差仅为2.4%。

[0063] 以上,仅为本发明的具体实施方式,应当指出,任何熟悉本领域的技术人员在本发明所揭示的技术范围内,可轻易想到的变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内,其余未详细说明的均属于现有技术。

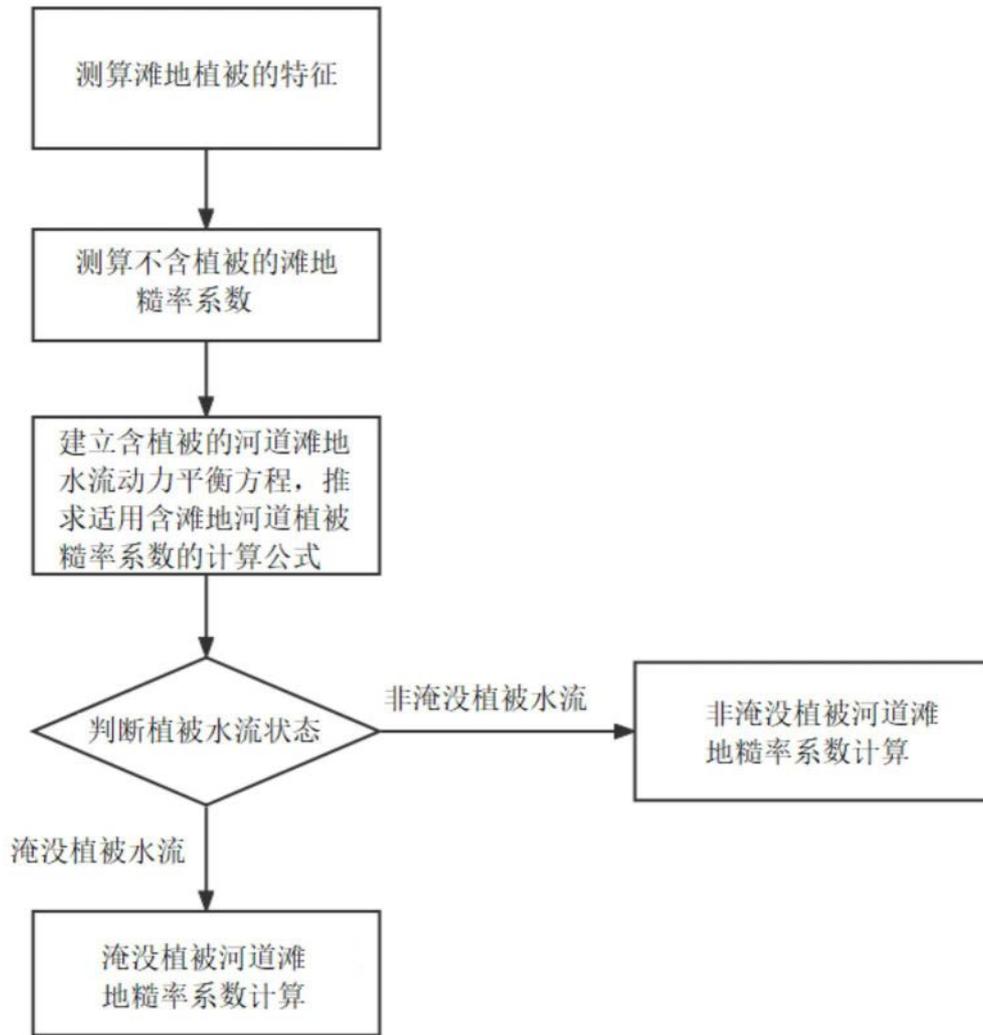


图1