



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109632256 B

(45)授权公告日 2020.06.02

(21)申请号 201910030436.8

(22)申请日 2019.01.14

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109632256 A

(43)申请公布日 2019.04.16

(73)专利权人 中国科学院、水利部成都山地灾
害与环境研究所

地址 610041 四川省成都市武侯区人民南
路四段9号

(72)发明人 陈剑刚 王喜安 陈华勇 陈晓清
唐金波 赵万玉 王涛 刘文润
龚兴隆 金科

(74)专利代理机构 成都赛恩斯知识产权代理事
务所(普通合伙) 51212

代理人 王璐瑶

(51)Int.Cl.

G01M 10/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 109165402 A, 2019.01.08,
CN 107958095 A, 2018.04.24,
CN 107798172 A, 2018.03.13,
CN 105787225 A, 2016.07.20,
CN 104132000 A, 2014.11.05,
CN 101435191 A, 2009.05.20,
WO 2018155768 A1, 2018.08.30,

何其修.白沙卵石推移质试验水槽的建造和
对有关公式的初步验证.《水电站设计》.1988,第
6-14页.

审查员 李小矛

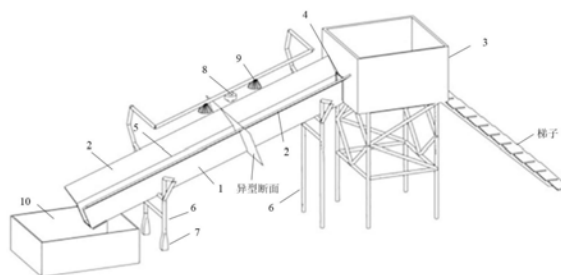
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种异型断面试验水槽设计方法及其应用

(57)摘要

本发明公开了一种异型断面试验水槽设计方法及其应用。所述异型断面试验水槽包括下槽和上槽，上槽的下缘与下槽的槽壁上缘相接，下槽的横断面形状为矩形、或半圆形、或三角形，上槽的槽壁为两条轴对称曲线；首先确定水槽的设计水力半径 R 、下槽宽度 b ，然后计算得到下槽深度 d 、水槽宽度 B ，最后计算得到上槽的槽壁曲线方程。该方法将试验水槽的横截面设计成异型断面，使得试验中过流断面水力半径不随水深（泥深）的改变而改变，起到了控制变量的作用，解决了现有矩形试验水槽过流断面水力半径难以控制的问题，为探究清水水流、高含沙水流和泥石流流截面平均流速以及其他运动学参数与过流断面水力半径的关系提供了便利。



1. 一种异型断面试验水槽设计方法,其特征在于:所述异型断面试验水槽(5)包括由槽底和槽壁组成的下槽(1),以及位于下槽(1)上方的上槽(2);上槽(2)的下缘与下槽(1)的槽壁上缘相接,下槽(1)的横断面形状为矩形、或半圆形、或三角形,上槽(2)的槽壁为两条轴对称曲线;所述异型断面试验水槽(5)的设计方法步骤如下:

(一) 根据试验设计,确定异型断面试验水槽(5)的设计水力半径 R 、单位 m ;根据试验场地,选定下槽(1)宽度 b 、单位 m ,同时满足 $b > 2R$;

当 $2R < b < 4R$,则下槽(1)的横断面形状为矩形,然后将 R 、 b 代入公式 $d = \frac{Rb}{b-2R}$,计算得到下槽(1)深度 d 、单位 m ;

当 $b = 4R$,则下槽(1)的横断面形状为半圆形,然后将 b 代入公式 $d = b/2$,计算得到下槽(1)深度 d 、单位 m ;

当 $b > 4R$,则下槽(1)的横断面形状为三角形,然后将 R 、 b 代入公式 $d = \frac{2Rb}{\sqrt{b^2 - 16R^2}}$,计算得到下槽(1)深度 d 、单位 m ;

(二) 将步骤(一)中得到的设计水力半径 R 、下槽(1)宽度 b 代入公式 $C = \operatorname{ar} \cosh \left(\frac{b}{2R} \right)$,计算得到待定系数 C ;

(三) 将步骤(一)中得到的下槽(1)宽度 b 代入公式 $B = k \cdot b$,计算得到水槽宽度 B 、单位 m ,式中 k 为系数、取值为3-5;

(四) 通过以下公式计算得到上槽(2)的槽壁曲线方程

$$\left\{ \begin{array}{l} y = R \cdot \left[\operatorname{ar} \cosh \left(\frac{-x}{R} \right) - C \right], -B/2 \leq x \leq -b/2 \\ y = R \cdot \left[\operatorname{ar} \cosh \left(\frac{x}{R} \right) - C \right], b/2 \leq x \leq B/2 \end{array} \right.$$

式中, R —异型断面试验水槽(5)的设计水力半径,单位 m ,由步骤(一)确定;

C —待定系数,由步骤(二)确定;

B —水槽宽度,单位 m ,由步骤(三)确定;

b —下槽(1)宽度,单位 m ,由步骤(一)确定。

2. 如权利要求1所述的异型断面试验水槽设计方法的应用,其特征在于:用于设计模拟试验流体为清水水流、或高含沙水流、或泥石流的水槽。

3. 如权利要求1所述的异型断面试验水槽设计方法的应用,其特征在于:用于设计模拟试验坡度为5%-30%的水槽。

一种异型断面试验水槽设计方法及其应用

技术领域

[0001] 本发明涉及一种定水力半径的异型断面试验水槽设计方法及其应用,适用于工程模拟试验研究,属于水利工程优化设计和泥石流防灾减灾领域。

背景技术

[0002] 水槽模拟试验是研究清水水流、高含沙水流、以及泥石流运动特征的常用方法之一。水槽试验装置的控制精度和测试仪器的测量精度是影响试验成果精确度的重要因素,因此水槽模拟试验的参数控制方式和精度以及测试仪器的设备精度需要不断地改进与提高。

[0003] 目前,清水水流、高含沙水流和泥石流水槽模拟试验装置的断面以矩形为主,试验过程中过流断面水力半径与水深(泥深)和槽宽的关系为:
$$R = \frac{hb}{2h+b}$$
式中,R为水力半径,h为水深(泥深),b为水槽宽。在试验水槽宽度固定的情况下,水力半径随着水槽中水深(泥深)的变化而变化,因此现有的控制过流断面水力半径的方式是控制水深(泥深)。目前,控制水深(泥深)的主要方法是电动尾门控制;许明等还提出了一种用于水力学和泥沙动力学的无尾门试验水槽(CN200910062236.7),通过总水量的变化直接影响水槽试验段的水深。但这些通过调节水深(泥深)来实现控制水力半径的方法在高含沙水流和泥石流水槽试验中并不适用。原因在于:尾门会使固体物质沉积,从而改变流体的性质;通过总水量控制水槽试验段的水深(泥深)也是十分困难的,因为高含沙水流和泥石流并非均质流体,在试验过程中的水深(泥深)波动是在所难免的。另一方面,现有的计算过流断面的水力半径的方式十分依赖水深(泥深),水深(泥深)的测量精度对水力半径的计算精度影响很大,尤其是在高含沙水流和泥石流试验过程中,流体深度更是难以精确的测量,对试验的结果影响较大。

发明内容

[0004] 本发明的目的就是针对现有技术的不足,从试验水槽试验段断面优化的角度出发,提供一种定水力半径的异型断面试验水槽设计方法,可以控制过流断面的水力半径不随水深(泥深)的变化而变化,能够消除水深(泥深)对过流断面水力半径的影响,采用该方法设计得到的试验水槽可以保证试验过程中试验段各过流断面的水力半径相等且恒定。

[0005] 为实现上述目的,本发明的技术方案是:

[0006] 本发明提出一种异型断面试验水槽设计方法,现有水槽的横截面主要为矩形,本发明将水槽横截面设计成异型断面,如附图2-4所示。所述异型断面试验水槽包括由槽底和槽壁组成的下槽,以及位于下槽上方的上槽(上槽仅有槽壁、没有槽底);上槽的下缘与下槽的槽壁上缘相接,下槽的横断面形状为矩形、或半圆形、或三角形(相应的,异型断面分为平底异型断面、圆底异型断面和尖底异型断面),上槽的槽壁为两条轴对称曲线。

[0007] 所述上槽的槽壁曲线方程的推导过程如下:

[0008] 槽壁曲线所在直角坐标系如图2所示,由 $y=f(x)$ 表示。在第一象限内,槽壁曲线还可以表示为 $x=g(y)$, $x \geq 0$, f 和 g 互为反函数。在水深(泥深)为 h ($h \geq d$)时,另过流断面水力半径为定值 R :

$$[0009] \quad R = \frac{A}{\chi} = \frac{2 \int_0^{h-d} g(y) dy + S_{\text{底}}}{2 \int_0^{h-d} \sqrt{1+g'^2(y)} dy + l_{\text{底}}} \quad \text{公式一}$$

[0010] 公式一中, A 为过流面积, χ 为湿周, h 为水深(泥深), d 为下槽深度, $S_{\text{底}}$ 为下槽部分的过流断面面积, $l_{\text{底}}$ 为下槽部分的过流断面湿周, $g'(y)$ 为 $g(x)$ 的导函数。

[0011] 对公式一化简得:

$$[0012] \quad 2 \int_0^{h-d} g(y) dy + S_{\text{底}} = 2 \int_0^{h-d} R \cdot \sqrt{1+g'^2(y)} dy + R l_{\text{底}} \quad \text{公式二}$$

[0013] 由于水深(泥深)等于下槽深度(即 $h=d$)时,过流断面水力半径为 R ,所以 $S_{\text{底}}=R l_{\text{底}}$,对公式二求解积分方程得:

$$[0014] \quad g(y) = R \cdot \cosh\left(\frac{y}{R} + C\right) \quad \text{公式三}$$

[0015] 式中 C 为待定系数。其他参数同前。

[0016] 在第一象限内,由于函数 f 和 g 互为反函数,所以函数 f 可表示为:

$$[0017] \quad y = f(x) = R \cdot \left[\operatorname{ar} \cosh\left(\frac{x}{R}\right) - C \right], x \geq R \quad \text{公式四}$$

[0018] 从而得到槽壁曲线方程:

$$[0019] \quad \left\{ \begin{array}{l} y = R \cdot \left[\operatorname{ar} \cosh\left(\frac{-x}{R}\right) - C \right], x \leq -b/2 \\ y = R \cdot \left[\operatorname{ar} \cosh\left(\frac{x}{R}\right) - C \right], x \geq b/2 \end{array} \right\}, y \geq 0 \quad \text{公式五}$$

[0020] 在水槽宽度 B 的范围内,公式五可以表示为:

$$[0021] \quad \left\{ \begin{array}{l} y = R \cdot \left[\operatorname{ar} \cosh\left(\frac{-x}{R}\right) - C \right], -B/2 \leq x \leq -b/2 \\ y = R \cdot \left[\operatorname{ar} \cosh\left(\frac{x}{R}\right) - C \right], b/2 \leq x \leq B/2 \end{array} \right\} \quad \text{公式六}$$

[0022] 式中, R 为水槽的设计水力半径、单位 m , C 为待定系数, b 为下槽宽度、单位 m , B 为水槽宽度,单位 m 。

[0023] 具体而言,所述异型断面试验水槽的设计方法步骤如下:

[0024] (一) 根据试验设计,确定异型断面试验水槽的设计水力半径 R 、单位 m ;

[0025] 根据试验场地,选定下槽宽度 b 、单位 m ,同时满足 $b > 2R$;

[0026] 当 $2R < b < 4R$,则下槽的横断面形状为矩形,然后将 R 、 b 代入公式 $d = \frac{Rb}{b-2R}$,计算得到下槽深度 d 、单位 m ;

[0027] 当 $b=4R$,则下槽的横断面形状为半圆形,然后将 b 代入公式 $d=b/2$,计算得到下槽深度 d 、单位 m ;

[0028] 当 $b>4R$,则下槽的横断面形状为三角形,然后将 R 、 b 代入公式 $d = \frac{2Rb}{\sqrt{b^2 - 16R^2}}$,计算得到下槽深度 d 、单位 m ;

[0029] (二)将步骤(一)中得到的设计水力半径 R 、下槽宽度 b 代入公式 $C = \operatorname{ar\,cosh}\left(\frac{b}{2R}\right)$,计算得到待定系数 C ;

[0030] (三)将步骤(一)中得到的下槽宽度 b 代入公式 $B=k \cdot b$,计算得到水槽宽度 B 、单位 m ,式中 k 为系数、取值为3-5;

[0031] (四)通过以下公式计算得到上槽的槽壁曲线方程

$$[0032] \left\{ \begin{array}{l} y = R \cdot \left[\operatorname{ar\,cosh}\left(\frac{-x}{R}\right) - C \right], -B/2 \leq x \leq -b/2 \\ y = R \cdot \left[\operatorname{ar\,cosh}\left(\frac{x}{R}\right) - C \right], b/2 \leq x \leq B/2 \end{array} \right.$$

[0033] 式中, R —异型断面试验水槽的设计水力半径,单位 m ,由步骤(一)确定;

[0034] C —待定系数,由步骤(二)确定;

[0035] B —水槽宽度,单位 m ,由步骤(三)确定;

[0036] b —下槽宽度,单位 m ,由步骤(一)确定。

[0037] 本发明提出的异型断面试验水槽设计方法可用于设计模拟试验流体为清水水流、或高含沙水流、或泥石流的水槽,可用于设计模拟试验坡度为5%-30%的水槽。根据前述步骤(一)、步骤(三)和步骤(四)所得的下槽宽度 b 、下槽深度 d 、水槽宽度 B 和上槽的槽壁曲线方程制作异型断面试验水槽。将制作好的异型断面试验水槽按图1所示与其他构件搭接,作为定水力半径的异型断面试验水槽装置;具体结构为:异型断面试验水槽向上通过水槽入口阀门与料斗连通,向下与尾料池相连,异型断面试验水槽由水槽支架支撑,并可以通过水槽坡度调节器调节水槽坡度,异型断面试验水槽上方安装有测速相机和LED无影灯。

[0038] 根据本发明的异型断面试验水槽设计方法设计得到定水力半径的异型断面试验水槽。在该水槽中,当水深(泥深)小于下槽的深度(即 $h<d$)时,试验流体过流断面水力半径 R 随着水深(泥深) h 的增加而增加;当水深(泥深)等于下槽的深度(即 $h=d$)时,试验流体过流断面水力半径 R 的值为 R_0 ;当水深(泥深) h 进一步增加时,由于上槽的特殊形状,使得试验流体过流断面的增加量 ΔS 始终为湿周增加量 Δl 的 R_0 倍,从而使得试验流体过流断面水力半径 R 的值保持为 R_0 不变。即当试验水深(泥深)大于等于下槽的深度(即 $h \geq d$)时,试验流体过流断面水力半径 R 的值保持为 R_0 不变,不随水深(泥深)的变化而变化,也不随过流断面的位置变化而变化,保持处处相等且恒定,这就是所谓的定水力半径。

[0039] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:本发明将试验水槽的横截面设计成异型断面,使得试验中过流断面水力半径不随水深(泥深)的改变而改变,起到了控制变量的作用,解决了现有矩形试验水槽过流断面水力半径难以控制的问题,为探究清水水流、高含沙

水流和泥石流截面平均流速以及其他运动学参数与过流断面水力半径的关系提供了便利。

附图说明

- [0040] 图1是异型断面试验水槽装置的结构示意图。
 [0041] 图2是平底异型断面试验水槽的横断面结构示意图。
 [0042] 图3是圆底异型断面试验水槽的横断面结构示意图。
 [0043] 图4是尖底异型断面试验水槽的横断面结构示意图。
 [0044] 图中标号如下：
- | | |
|-------------------|----------|
| [0045] 1 下槽 | 2 上槽 |
| [0046] 3 料斗 | 4 水槽入口闸门 |
| [0047] 5 异型断面试验水槽 | 6 水槽支架 |
| [0048] 7 水槽坡度调节器 | 8 测速相机 |
| [0049] 9 LED无影灯 | 10 尾料池 |
| [0050] b 下槽宽度 | d 下槽深度 |
| [0051] B 水槽宽度 | h 水深(泥深) |

具体实施方式

[0052] 下面结合附图,对本发明的优选实施例作进一步的描述。

[0053] 如图1、图2、图3、图4所示。为探究泥石流截面平均流速与过流断面水力半径关系,拟采用本发明提出的异型断面试验水槽设计方法制作三个异型断面试验水槽5,然后搭建三个试验水槽装置。

[0054] 搭建的试验水槽装置中所述异型断面试验水槽5包括由槽底和槽壁组成的下槽1,以及位于下槽1上方的上槽2;上槽2的下缘与下槽1的槽壁上缘相接,下槽1的横断面形状为矩形、或半圆形、或三角形,上槽2的槽壁为两条轴对称曲线。所述异型断面试验水槽5的设计方法步骤如下:

[0055] 第一步,根据试验设计,确定三个异型断面试验水槽5的设计水力半径R分别为0.05m、0.1m、0.15m;根据试验场地,选定三个下槽1宽度b分别为0.25m、0.4m、0.45m;三个异型断面试验水槽5的长度均为20m。

[0056] 针对第一个异型断面试验水槽5,由于 $b=0.25m$ 、 $R=0.05m$,满足 $b>4R$,则下槽1的横断面形状为三角形(如图4所示),然后将R、b代入公式 $d = \frac{2Rb}{\sqrt{b^2 - 16R^2}}$,计算得到下槽1深度d为0.167m。

[0057] 针对第二个异型断面试验水槽5,由于 $b=0.4m$ 、 $R=0.1m$,满足 $b=4R$,则下槽1的横断面形状为半圆形(如图3所示),然后将b代入公式 $d=b/2$,计算得到下槽1深度d为0.2m。

[0058] 针对第三个异型断面试验水槽5,由于 $b=0.45m$ 、 $R=0.15m$,满足 $2R<b<4R$,则下槽1的横断面形状为矩形(如图2所示),然后将R、b代入公式 $d = \frac{Rb}{b - 2R}$,计算得到下槽1深度d为0.45m。

[0059] 第二步,将第一步中得到的设计水力半径 R 、下槽1宽度 b 分别代入公式 $C = \operatorname{ar\,cosh}\left(\frac{b}{2R}\right)$,计算得到三个待定系数 C 分别为 $\operatorname{ar\,cosh}(2.5)$ 、 $\operatorname{ar\,cosh}(2)$ 、 $\operatorname{ar\,cosh}(1.5)$ 。

[0060] 第三步,针对第一个异型断面试验水槽5,根据试验场地条件选定系数 k 为5,将第一步中得到的下槽1宽度 b 代入公式 $B=k \cdot b$,计算得到水槽宽度 B 为1.25m。针对第二个异型断面试验水槽5,根据试验场地条件选定系数 k 为4,将第一步中得到的下槽1宽度 b 代入公式 $B=k \cdot b$,计算得到水槽宽度 B 为1.6m。针对第三个异型断面试验水槽5,根据试验场地条件选定系数 k 为3,将第一步中得到的下槽1宽度 b 代入公式 $B=k \cdot b$,计算得到水槽宽度 B 为1.35m。

[0061] 第四步,将第一步中确定的三个异型断面试验水槽5的设计水力半径 R 、三个下槽1宽度 b ,第二步中确定的三个待定系数 C ,及第三步中确定的三个水槽宽度 B ,分别代入以下公式,

$$[0062] \quad \left\{ \begin{array}{l} y = R \cdot \left[\operatorname{ar\,cosh}\left(\frac{-x}{R}\right) - C \right], -B/2 \leq x \leq -b/2 \\ y = R \cdot \left[\operatorname{ar\,cosh}\left(\frac{x}{R}\right) - C \right], b/2 \leq x \leq B/2 \end{array} \right.$$

[0063] 计算得到三个上槽2的槽壁曲线方程

$$[0064] \quad \text{第一个异型断面试验水槽5为:} \left\{ \begin{array}{l} y = 0.05 \times [\operatorname{ar\,cosh}(-20x) - \operatorname{ar\,cosh}(2.5)], -0.625 \leq x \leq -0.125 \\ y = 0.05 \times [\operatorname{ar\,cosh}(20x) - \operatorname{ar\,cosh}(2.5)], 0.125 \leq x \leq 0.625 \end{array} \right.$$

$$[0065] \quad \text{第二个异型断面试验水槽5为:} \left\{ \begin{array}{l} y = 0.1 \times [\operatorname{ar\,cosh}(-10x) - \operatorname{ar\,cosh}(2)], -0.8 \leq x \leq -0.2 \\ y = 0.1 \times [\operatorname{ar\,cosh}(10x) - \operatorname{ar\,cosh}(2)], 0.2 \leq x \leq 0.8 \end{array} \right.$$

$$[0066] \quad \text{第三个异型断面试验水槽5为:} \left\{ \begin{array}{l} y = 0.15 \times \left[\operatorname{ar\,cosh}\left(\frac{-20x}{3}\right) - \operatorname{ar\,cosh}(1.5) \right], -0.675 \leq x \leq -0.225 \\ y = 0.15 \times \left[\operatorname{ar\,cosh}\left(\frac{20x}{3}\right) - \operatorname{ar\,cosh}(1.5) \right], 0.225 \leq x \leq 0.675 \end{array} \right.$$

[0067] 根据第一步、第三步和第四步所得的下槽宽度 b 、下槽深度 d 、水槽宽度 B 和上槽的槽壁曲线方程制作三个异型断面试验水槽5。将制作好的异型断面试验水槽5按图1所示与料斗3、水槽入口闸门4、异型断面试验水槽5、水槽支架6、水槽坡度调节器7、测速相机8、LED无影灯9及尾料池10搭接,作为三个定水力半径的异型断面试验水槽装置。

[0068] 试验流体由料斗3通过水槽入口阀门4进入异型断面试验水槽5,异型断面试验水槽5由水槽支架6支撑,水槽支架6下端安装有水槽坡度调节器7、用于调节水槽坡度在5%~30%范围内变化。试验流体进入异型断面试验水槽5以后,在LED无影灯9的配合下,测速相机8记录试验流体的速度。试验流体通过整个异型断面试验水槽5,经水槽出口进入尾料池10。

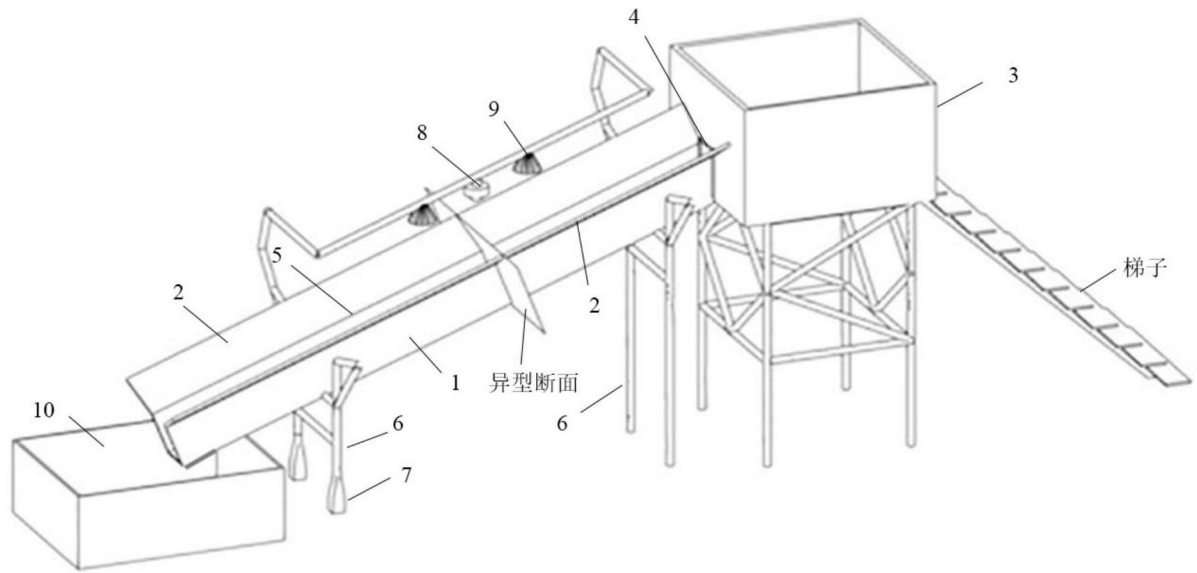


图1

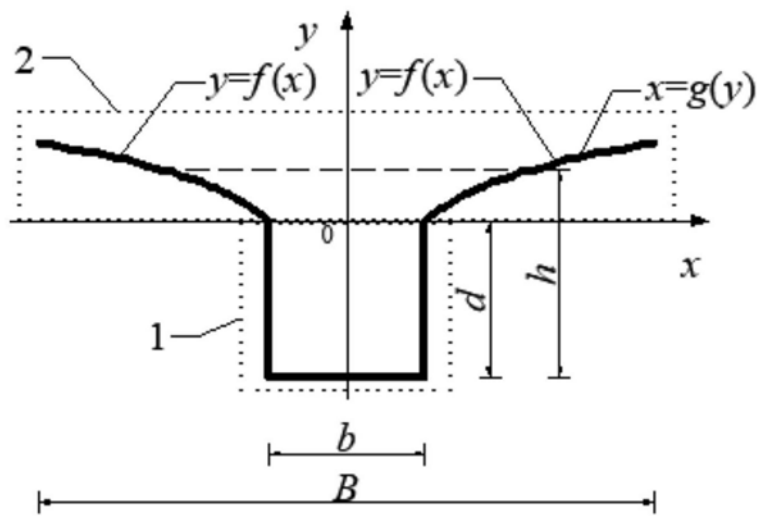


图2

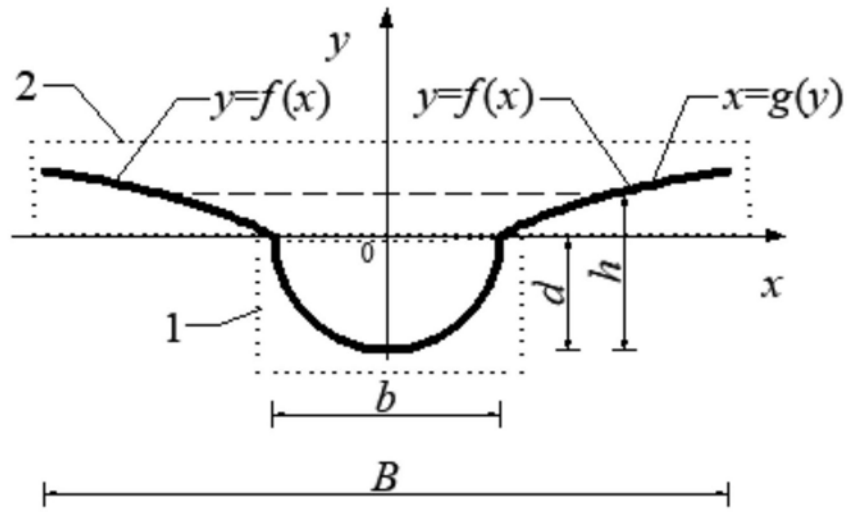


图3

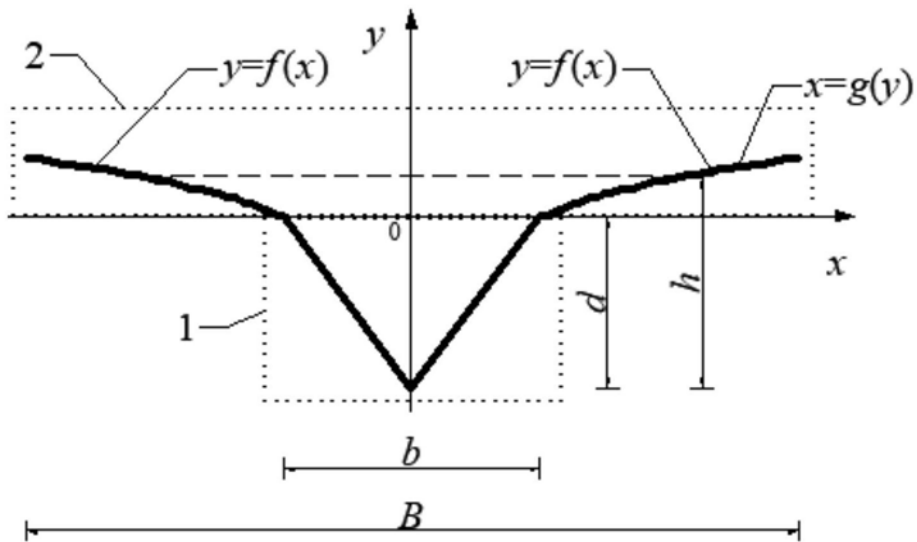


图4