



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106948319 B

(45)授权公告日 2018.05.04

(21)申请号 201710316462.8

(22)申请日 2017.05.08

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106948319 A

(43)申请公布日 2017.07.14

(73)专利权人 中国水利水电科学研究院

地址 100038 北京市海淀区玉渊潭南路1号
D座4层401

(72)发明人 刘之平 夏庆福 郭新蕾 柳海涛

孙双科 付辉 余弘婧 何凡

王涛 郭永鑫 李甲振

(74)专利代理机构 北京国林贸知识产权代理有限公司 11001

代理人 李富华 李桂玲

(51)Int.Cl.

E02B 8/06(2006.01)

(56)对比文件

CN 204080761 U, 2015.01.07, 说明书第2页
第23段至第3页第30段, 图1-2.

CN 201254715 Y, 2009.06.10, 全文.

CN 205804298 U, 2016.12.14, 全文.

CN 205776111 U, 2016.12.07, 全文.

CN 205742108 U, 2016.11.30, 全文.

SU 1033627 A1, 1983.08.07, 全文.

审查员 肖莉

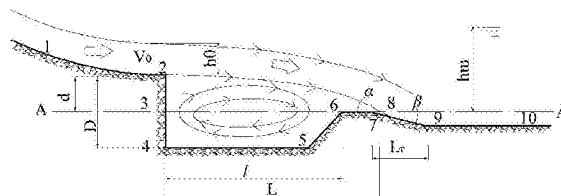
权利要求书1页 说明书8页 附图4页

(54)发明名称

一种带有凹槽非水平底板跌坎消力池的消能工和方法

(57)摘要

本发明涉及一种带有凹槽非水平底板跌坎消力池的消能工和方法,包括:设置在倾斜的泄洪坡道底部的跌坎,跌坎的与上游建筑物通过弧线或直线平滑衔接;跌坎底部设置凹槽,凹槽上游槽边与跌坎平齐,下游槽边倾斜与正坡迎水面连接,正坡坡顶水平,正坡的背水面以直线或曲线与下游渠道平滑衔接,凹槽与跌坎构成消力池,消力池底面水平。本发明在跌坎下和水流再附点前设置凹槽形状底板,增加坎下漩涡流动空间,从而使漩涡中心点区域的压力升高,水流不发生空化现象,避免对消力池边墙的空蚀破坏。由于凹槽和正坡的土方工程量不大,只需稍加修改原有设计的部分工程要点,本发明即能够用于新建工程,也能够以较低的成本,应用于已建底流消能工的改造。



1. 一种带有凹槽非水平底板跌坎消力池的消能工的设计方法, 所述消能工包括: 设置在倾斜的泄洪坡道底部的跌坎, 所述的跌坎与上游建筑物通过弧线或直线平滑衔接; 所述的跌坎底部设置凹槽, 凹槽上游槽边与跌坎平齐, 下游槽边倾斜与正坡迎水面连接, 所述正坡坡顶水平, 所述正坡的背水面以直线或曲线与下游渠道平滑衔接, 凹槽与跌坎构成消力池, 所述的消力池底面水平,

其特征在于, 所述方法的步骤如下:

常规跌坎设计的步骤: 根据来流水流的水力参数确定跌坎高度 d , 及来流水流通过跌坎后的水跃触底位置, 根据水跃触底位置确定水跃的长度 L 和水跃与底板的夹角 α ;

确定凹槽下游边缘的步骤: 跌坎至凹槽下游边缘的长度 l 为: $0.7 \sim 0.9$ 倍的水跃长度, 即: $l = (0.7 \sim 0.9)L$;

试算凹槽深度的步骤: 根据 Δd 确定凹槽底部的试算长度 l_1 , 凹槽底部的试算长度为: $l_1 = l - \Delta d$, 其中 Δd 为试算凹槽深度, 所述的试算凹槽深度 或是初步设计时拟定, 或根据评判结果修正确定;

计算涡流中心点压强的步骤: 根据如下公式计算跌坎后凹槽的涡流中心压强:

$$\frac{P_0}{\rho g} = -\frac{c^2 V_1^2}{3g} \left(1 + \frac{1}{2k^3} \right) + \frac{b}{2} + h_2 - 0.15 \frac{V_1^2}{2g}$$

式中: P_0 —涡流中心点压强, ρ —流体密度, g —重力加速度, c —流速衰减系数, $c = f(V_1, d, h_0)$, V_1 —为坎上流速, d —跌坎高度, h_0 —坎上水深, b —椭圆形涡流的短轴, $b = d/2$, k —椭圆形涡流的长轴与短轴的比值, $k = a/b$, a —椭圆形涡流的长轴, $a = l_1/2$, h_2 —消力池底板之上的下游水深;

判断和修正的步骤: 通过对漩涡中心点压强 P_0 判断试算凹槽深度 Δd 是否合适, 如果 $P_0 > 0$, 则减小 Δd , 如果 $P_0 < 0$, 则增加 Δd , 修正后回到“试算凹槽深度的步骤”; 如果 $P_0 = 0$, 则进入下一步骤;

确定正坡背水面形状的步骤: 确定正坡背水面与水平线的夹角 β 和正坡背水面长度 L_r , $\beta = (0.5 \sim 1.0)\alpha$, $L_r = (1 \sim 2)h_0$ 。

一种带有凹槽非水平底板跌坎消力池的消能工和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种带有凹槽非水平底板跌坎消力池的消能工和方法,是一种水工设施和方法,是一种用于有效降低消力池边墙低压导致的空化空蚀破坏和减小再附点区域冲击压力的设施和方法。

背景技术

[0002] 底流消能作为主要的泄洪消能方式之一,能够适应高、中、低不同水头,具有流态稳定、消能效果好、对地质条件和尾水水位变化适应性较强、泄洪雾化轻微等优势。特别是在生态环境友好理念下,底流消能这一低环境敏感度的消能方式日益在高坝建设中得到重视和应用。160m左右的高坝,由于环境和地址条件的限制而选择了底流消能工。这些工程的泄洪水流都具有水头高、单宽流量大的特点,如果采用传统的底流消能,其最大临底流速将超过40m/s,难于保证消力池运行安全。为解决这些工程消力池临底流速过大的难题,陆续出现了一些适应高水头大单宽流量的常规跌坎底流消能工。常规跌坎底流消能工存在水流再附区域,该区域的水流冲击压强较大,不利底板稳定等问题。

发明内容

[0003] 为了克服现有技术的问题,本发明提出了一种带有凹槽非水平底板跌坎消力池的消能工和设计方法。所述的消能工和设计方法在常规跌坎底流消能工的基础上进行优化,精心配制多个控制点,降低了漩涡中心低压区的范围,避免空化水流对消力池边壁的空蚀破坏,并有效降低水流再附点区域的冲击压力。

[0004] 本发明的目的是这样实现的:一种带有凹槽非水平底板跌坎消力池的消能工,包括:设置在倾斜的泄洪坡道底部的跌坎,所述的跌坎的与上游建筑物通过弧线或直线平滑衔接;所述的跌坎底部设置凹槽,凹槽上游槽边与跌坎平齐,下游槽边倾斜与正坡迎水面连接,所述正坡坡顶水平,所述正坡的背水面以直线或曲线与下游渠道平滑衔接,凹槽与跌坎构成消力池,所述的消力池底面水平。

[0005] 一种上述消能工的设计方法,所述方法的步骤如下:

[0006] 常规跌坎设计的步骤:根据来流水流的水力参数确定跌坎高度 d ,及来流水流通过跌坎后的水跃触底位置,根据水跃触底位置确定水跃的长度 L 和水跃与底板的夹角 α ;

[0007] 确定凹槽下游边缘的步骤:跌坎至凹槽下游边缘的长度 l 为:0.7~0.9倍的水跃长度,即: $l=(0.7\sim 0.9)L$;

[0008] 试算凹槽深度的步骤:根据 Δd 确定凹槽底部的试算长度 l_1 ,凹槽底部的试算长度为: $l_1=1-\Delta d$; ,其中 Δd 为试算凹槽深度,所述的试算槽深或是初步设计时拟定,或根据评判结果修正确定;

[0009] 计算涡流中心点压强的步骤:根据如下公式计算跌坎后凹槽的涡流中心压强:

$$[0010] \quad \frac{P_g}{\rho g} = -\frac{c^2 V_1^2}{3g} \left(1 + \frac{1}{2k^2} \right) + \frac{b}{2} + h_2 - 0.15 \frac{V_1^2}{2g}$$

[0011] 式中： P_0 —涡流中心点压强， ρ —流体密度， g —重力加速度， c —流速衰减系数， $c=f(V_1, d, h_0)$ ， V_1 —为坎上流速， d —跌坎高度， h_0 —坎上水深， b —椭圆形涡流的短轴， $b=d/2$ ， k —椭圆形涡流的长轴与短轴的比值， $k=a/b$ ， a —椭圆形涡流的长轴， $a=l_1/2$ ， h_2 —消力池底板之上的下游水深；

[0012] 判断和修正的步骤：通过对漩涡中心点压强 P_0 判断试算凹槽深度 Δd 是否合适，如果 $P_0>0$ ，则减小 Δd ，如果 $P_0<0$ ，则增加 Δd ，修正后回到“试算凹槽深度的步骤”；如果 $P_0=0$ ，则进入下一步骤；

[0013] 确定正坡背水面形状的步骤：确定正坡背水面与水平线的夹角 β 和正坡背水面长度 L_r ， $\beta=(0.5\sim 1.0)\alpha$ ， $L_r=(1\sim 2)h_0$ 。

[0014] 本发明产生的有益效果是：本发明在跌坎下和水流再附点前设置凹槽形状底板，增加坎下漩涡流动空间，从而使漩涡中心点区域的压力升高，水流不发生空化现象，避免对消力池边墙的空蚀破坏。同时在水流再附点前后区域设置与水流入射角等同的正坡，降低水流再附点区域的冲击压力，避免冲击压力过大使消力池底板破坏。由于凹槽和正坡的土方工程量不大，只需稍加修改原有设计的部分工程要点，因此，本发明既能够用于新建工程，也能够以较低的成本，应用于已建底流消能工的改造，有利于提高底流消能工的运行可靠性和安全性。

附图说明

[0015] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步说明。

[0016] 图1是常规跌坎型底流消能工的立面图；

[0017] 图2是本发明的实施例一所述消能工的立面图；

[0018] 图3是本发明的实施例一所述旋流的流速分布图；

[0019] 图4是常规跌坎流态示意图；

[0020] 图5-图8为四种数值模拟结果中的坎后漩涡流线示意图；

[0021] 图9是本发明实施例二所述方法的流程图。

具体实施方式

[0022] 实施例一：

[0023] 常规跌坎型底流消能工，如图1所示，就是在消力池首部设置一定高度的跌坎100（见图1），并与水平底板的消力池衔接。此种消能工将进入消力池内的高速水流引离临底区域，进而达到降低临底流速，保护消力池底板的目的。常规跌坎底流特点是：一是水流通过跌坎的作用，在高速射流上下两面都存在水流与水流的剪切作用；二是在跌坎下形成漩涡流动结构，具有明显的低压区，在入池流速较高或下游水位较低的条件，甚至出现负压区；三是水流临底流速比传统底流小，但存在水流再附区域，该区域的水流冲击压强较大，不利底板稳定。

[0024] 常规跌坎底流也存在比较突出的问题，一是跌坎下的漩涡流动结构是常规跌坎底流消能中由于跌坎这一体型突变而产生的固有流动属性，即漩涡的中心区域是流场中的明显低压区，甚至会出现负压；二是水流再附点附近的冲击压力较大，不利消力池底板稳定。如何避免低压区域产生的空化空蚀对消力池边壁的破坏风险以及减小水流再附点区域的

冲击压强是水工设计和研究人员关心的问题。

[0025] 本实施例是一种带有凹槽非水平底板跌坎消力池的消能工,如图2所示。本实施例包括:设置在倾斜的泄洪坡道底部的跌坎,所述的跌坎的与上游建筑物通过弧线或直线平滑衔接;所述的跌坎底部设置凹槽,凹槽上游槽边与跌坎平齐,下游槽边倾斜与正坡迎水面连接,所述正坡坡顶水平,所述正坡的背水面以直线或曲线与下游渠道平滑衔接,凹槽与跌坎构成消力池,所述的消力池底面水平。

[0026] 本实施例是在常规跌坎的基础上,在跌坎后加凹槽,形成消力池,如图2中虚线A-A断面为常规跌坎底流消能工的水平底板。为解释方便,在图2中用数字表明各个关键性控制点。其中控制点8为常规跌坎底流的坎上射流再附点。

[0027] 本实施例对常规跌坎的改造,体现在各个控制点的优化:

[0028] 通过控制点1和2形成的弧线或直线与上游建筑物进行衔接。控制点1到2是跌坎与上游建筑物的连接段。所述的上游一般是倾斜的导流坡,水流从坡顶急速流下,具有一定的能量。跌坎前的流道应当平滑,使水流没有阻力的流向跌坎。控制点1、2的线型取决于上游坡道的倾斜角度。

[0029] 在控制点2处设置由控制点2、3、4组成的垂直跌坎。这一部分控制点是跌坎的背水面,可以垂直于水平面,或略微有一些倾斜。可以认为跌坎由两部分构成,一部分为常规跌坎的高度,第二部分为凹槽的深度。

[0030] 在跌坎下游设置由控制点3-4-5-6形成的凹槽。所述的凹槽上游边壁与跌坎背水面融合,为竖直面,凹槽下游边壁与正坡的迎水面融合,为倾斜的坡面。跌坎与凹槽位于水舌的下方,水流在坎后形成绕水平轴旋转的旋流,为避免这一旋流的破坏性,本实施例增加坎后的深度,形成凹槽,其目的是增大水舌下方的空间,从而使漩涡中心点区域的压力升高,水流不发生空化现象,避免对消力池边墙的空蚀破坏。达到这一效果的理论原理和数学基础如下:

[0031] 由流体力学基础可知,笛卡尔坐标系下的不可压缩二维水流的基本运动方程可表示为:

[0032] 连续方程:

$$[0033] \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

[0034] 运动方程:

$$[0035] \quad \left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} &= F_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} &= F_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

[0036] 式中: x 、 y —笛卡尔坐标系坐标轴;

[0037] u 、 v — x 方向流速和 y 方向流速;

[0038] F_x 、 F_y — x 方向质量力和 y 方向质量力;

[0039] ρ —流体密度; μ —分子粘性系数。

[0040] 由于跌坎下旋涡流动,其流线为一簇以中心奇点为中心的环状的封闭曲线,这里我们假设这簇环状曲线为椭圆形。那么跌坎下旋涡的流线簇方程可以写成:

$$[0041] \quad \frac{x^2}{(ma)^2} + \frac{y^2}{(mb)^2} = 1 \quad (3)$$

[0042] 式中: a 、 b 为常数,分别为椭圆的长半轴和短半轴, $a=kb$, k 为椭圆的长半轴和短半轴比值; m 为介于 $[0,1]$ 之间的数值,表征不同流线。

[0043] 对于平面势流,其流线微分方程为:

$$[0044] \quad udy - vdx = 0 \quad (4)$$

[0045] 势流问题的求解可归结为求解拉普拉斯方程,在确定流线方程的基础上,通过求解,我们可以得到如下定解能够满足以上方程。

$$[0046] \quad \left. \begin{aligned} u &= \alpha k^2 y \\ v &= -\alpha x \\ P &= \frac{\rho \alpha^2 k^2}{2} (x^2 + y^2) - \rho g y + P_0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

[0047] 式中: P_0 为旋涡中心压强。

[0048] 椭圆形旋涡的流速分布如图2所示。点A和B位于同一条流线上,所以由流场定解(5)可知,A点的流速为 $V_A=v_A=-a \cdot a$,B点的流速为 $V_B=u_A=ak^2b$,式中的 $k \neq 1$ 。

[0049] 式(5)给出了旋涡的压强分布,但旋涡中心点压强 P_0 还是未知量,需要求解。如图3,可以将椭圆沿 y 轴分成左右两部分,对左半部分应用动量定理可以求得 P_0 。

[0050] 首先假定旋涡外围的压强与跌坎立面受力相同,跌坎立面的平均压强我们定义为 P_m 。

[0051] 切口上的动量 Δk 为:

$$[0052] \quad \Delta k = \int_0^b \rho u \cdot u dy + \int_{-b}^0 -\rho u \cdot u dy = 2 \int_0^b \rho u^2 dy \quad (6)$$

[0053] 将式(5)带入式(6)可得

$$[0054] \quad \Delta k = 2 \int_0^b \rho u^2 dy = 2 \int_0^b \rho \alpha^2 k^4 y^2 dy = \frac{2}{3} \rho \alpha^2 k^4 b^3 \quad (7)$$

[0055] 相应的冲量 F_t 可表示为下式:

$$[0056] \quad F_t = -2 \int_0^b \left(\frac{\rho \alpha^2 k^2}{2} y^2 - \rho g y + P_0 \right) dy + 2 P_m b$$

$$[0057] \quad = -\frac{1}{3} \rho \alpha^2 k^2 b^3 + \rho g b^2 - 2(P_0 - P_m)b \quad (8)$$

[0058] 动量与冲量相等可得到:

$$[0059] \quad \Delta P = P_0 - P_m = -\frac{1}{6} \rho \alpha^2 k^2 b^2 (1 + 2k^2) + \frac{1}{2} \rho g b \quad (9)$$

[0060] 将式(9)代入式(5)中的压强解中可得:

$$[0061] \quad P = \frac{\rho \alpha^2 k^2}{2} (x^2 + y^2) - \rho g y - \frac{1}{6} \rho \alpha^2 k^2 b^2 (1 + 2k^2) + \frac{1}{2} \rho g b + P_m \quad (10)$$

[0062] 式(10)进行合并整理有:

$$[0063] \quad P = \frac{\rho \alpha^2 k^2}{2} \left((x^2 + y^2) - \frac{1}{3} b^2 (1 + 2k^2) \right) - \rho g \left(y - \frac{1}{2} b \right) + P_m \quad (11)$$

[0064] 跌坎下旋涡流动水力特性可知,确定最外侧旋涡流线的长轴a和短轴b是确定其水力特性的关键。由图4可知,其短轴b为跌坎高度的一半,其值由跌坎体型控制;长轴a为水流再附长度的一半,其长度与跌坎高度和坎上水深有关,具体计算公式为:

$$[0065] \quad \frac{L}{d} = 0.08 \left(\frac{d}{h_0} \right)^3 - 0.70 \frac{d}{h_0} + 3.7 \quad (12)$$

[0066] 但仅确定最外侧流线的长短轴还难于进行水力特性的计算,由于跌坎下旋涡是由于坎上高速射流与周围水体强烈剪切而形成的,属于强迫型旋涡,因此确定旋涡的水力特性还必须建立旋涡与高速射流之间的联系,以确定方程中的参数。通过下面的运动连接条件的建立,给出方程的参数。

[0067] 运动连接条件:

[0068] 跌坎下旋涡为坎上高速射流带动形成的强迫型旋涡,其旋涡最外侧流线的流速与坎上射流的剪切扩散存在关系,因此,我们假设最外侧流线位于B点的流速 $V_B = cV_1$,代入式(5)有:

$$[0069] \quad V_B = \alpha k^2 b = cV_1 \quad (13)$$

[0070] 式中的系数c为流速衰减系数, $c = f(V_1, d, h_0)$, V_1 为坎上流速, d 为跌坎高度, h_0 为坎上水深。

[0071] 图5—8给出了数值计算模拟结果中跌坎下旋涡的流线,从中可以看出坎下旋涡的流线在最外侧由于固壁及外部主流的影响产生一定变形外,其大部分流线为相似的椭圆形,说明跌坎下中心型旋涡流线为椭圆形的假设是正确的。

[0072] 针对工程,坎下旋涡的最小压强是设计上最为关心的指标。旋涡最小压强出现在椭圆流线的中心位置,因此将式(13)代入式(10)中求得旋涡最小压强。其表达式为:

$$[0073] \quad \frac{p_B}{\rho g} = -\frac{v_B^2}{2g} \left(1 + \frac{1}{2k^2} \right) + \frac{b}{2} + \frac{p_m}{\rho g} \quad (14)$$

[0074] 由于跌坎下旋涡的存在,跌坎立面并不是静水压强分布,具体分布为:

$$[0075] \quad p = \rho g \left(h_2 - 0.15 \frac{v_1^2}{2g} \right),$$

[0076] 沿跌坎立面积分可得到跌坎立面上的平均压强:

$$[0077] \quad \frac{p_m}{\rho g} = h_2 - 0.15 \frac{v_1^2}{2g} - \frac{d}{2} \quad (15)$$

[0078] 将式(19)代入式(18)可得:

$$[0079] \quad \frac{p_0}{\rho g} = -\frac{c^2 v_1^2}{2g} \left(1 + \frac{1}{2k^2} \right) + \frac{b}{2} + h_2 - 0.15 \frac{v_1^2}{2g} \quad (16)$$

[0080] 式中 h_2 为消力池底板之上的下游水深。

[0081] 选取数值模拟的若干工况,将数值模拟的坎下旋涡最小压强结果与式(16)的计算结果进行比较,比较结果见表1。表中的流速衰减系数c从数值模拟结果中获得。表中数据的计算结果相对数值模拟结果偏小,相对误差在10%以内,但这对于工程而言是偏于安全的。

[0082] 表1 旋涡最小压强的数值模拟结果与计算结果对比

[0083]

工 况	d2h2v30	d4h2v30	d6h2v30	d6h6v30
坎 高 d (m)	2	4	6	6
坎上水深 h ₀ (m)	2	2	2	6
坎上流速 v ₁ (m/s)	30	30	30	30
系 数 k	3.08	2.62	2.32	3.08
流速衰减系数 c	0.8	0.62	0.64	0.62
下游水深 p _m (m)	52	54	56	56
数值模拟结果 P _{0m} (m)	28.2	40.2	41.8	41.0
计算结果 p _{0c} (m)	26.0	36.9	38.8	40.1
相对误差 (p _{0c} - P _{0m}) / P _{0m} × 100%	-7.7	-8.3	-7.1	-2.2

[0084] 通过设置凹槽某具体工程坎下漩涡可由负压变为正压。具体见表2。

[0085] 表2 实际工程的旋涡最小压强预测

[0086]

	工程	具体工程		
	工况	校核	设计	消能
基本参数	上游水位 (m)	1330.21	1329.22	1328
	单宽流量 (m³/s.m)	163	122	113
	坎顶高程 (m)	1194.5	1194.5	1194.5
	底板高程 (m)	1188	1188	1188
	下游水位 (m)	1224.4	1223.1	1220.9
	坎顶流速 (m/s)	43.8	43.7	43.5
	坎上水深 (m)	3.7	2.8	2.6
	流速衰减系数 c	0.62	0.60	0.60
	系 数 k	2.3	1.9	1.8
	下游水深 (m)	36.4	35.1	32.9
原坎高 6m	坎下最小压强 (m)	-0.6	-0.8	-3.1
设置凹槽增加坎高 2m	坎下最小压强 (m)	3.4	3.2	0.9

[0087] 在再附点8上游附近的开始位置设置控制点7-9-10的变坡底板。所述的变坡底板即为所述的正坡，所述的再附点为水舌与变坡底板的接触的点。再附点位于正坡的背水面上，正坡背水面倾斜角度与水流入射角等同，水舌在再附点前后区域接触变坡底板，顺势流向下流，降低水流再附点区域的冲击压力，避免冲击压力过大使消力池底板破坏。达到这一效果的理论原理和数学基础如下：

[0088] 消力池底板水平情况下，底板上的冲击压强与坎上流速水头成正比，可表征为：

[0089]
$$P = c \frac{U_0^2}{2g},$$

[0090] 其中：系数c为跌坎高度d、坎上水深h₀和再附长度L及水流与消力池底板入射角α

的函数：
$$c = \sin \left(\alpha - \arctg \left(\frac{d}{L} \right) \right) \frac{h_0}{d}.$$

[0091] 如设置一反坡其坡度为 β ,则冲击压强计算公式为:

$$[0092] \quad c = \sin\left(\alpha - \beta - \arctg\left(\frac{d}{L}\right)\right) \frac{h_0}{d},$$

[0093] 如增加 β 角度,则冲击压强亦随之减少。以跌坎高度 $d=2\text{m}$ 、坎上水深 $h_0=2\text{m}$,坎上流速 $V_0=40\text{m/s}$ 为例,水平底板情况下,入射角 $\alpha=37.4$,再附长度 $L=6.2\text{m}$,这时在消力池冲击压强与反坡 β 的变化如表3。

[0094] 表3:消力池冲击压强与反坡 β 的变化

β	2	4	6	8	10
[0095] 水平底板	27.28	27.28	27.28	27.28	27.28
反坡地板	24.58	21.84	19.09	16.30	13.50
降低百分比	9.90	19.92	30.03	40.23	50.50

[0096] 实施例二:

[0097] 本实施例是一种实施例一所述消能工的设计方法,所述方法的步骤如下,流程见图9所示:

[0098] (一)常规跌坎设计的步骤:根据来流水流的水力参数确定跌坎高度 d ,及来流水流通过跌坎后的水跃触底位置,根据水跃触底位置确定水跃的长度 L 和水跃与底板的夹角 α 。

[0099] 如果是新设计,则首先进行常规跌坎的设计,如果是对已有设计的改造,则跳过本步骤,并使用已有的跌坎数据即可。

[0100] 根据来流水头、下游水深等水力参数确定跌坎高度 d ,再附点位置8,再附长度 L ,水流与底板的夹角 α 等,见图2。

[0101] (二)确定凹槽下游边缘的步骤:跌坎至凹槽下游边缘的长度 l 为:0.7~0.9倍的水跃长度,即: $l=(0.7\sim 0.9)L$ 。

[0102] 确定再附长度 L ,水流与底板的夹角 α 参数等之后确定控制点6,因来流条件及 d 确定后, L 值是固定的,因此控制点6的位置的长度 l 可按照 $(0.7\sim 0.9)L$ 确定。

[0103] (三)试算凹槽深度的步骤:根据 Δd 确定凹槽底部的试算长度 l_1 ,凹槽底部的试算长度为: $l_1=1-\Delta d$;其中 Δd 为试算凹槽深度,所述的试算槽深或是初步设计时拟定,或根据评判结果修正确定。

[0104] 确定控制点3-4的高度,需通过试算得到。先将跌坎增加一个试算的高度,即凹槽的深度 Δd ,则控制点4-5的长度为 $1-\Delta d$ 。然后进入下一步骤,通过计算并判断涡旋中心的压强 P_0 是否为零,如果不为零,则需要改变 Δd ,通过不断的试算和修改,直到 P_0 为零为止。这里的 Δd 是一个试算数值,如果达到了 P_0 为零的目的,则 Δd 可以作为正式的凹槽数据使用,如果没有达到 P_0 为零的目的,则还是一个临时数据,为方便起见,这里与以后的计算中不设置有差异的临时数据与正式数据的符号,统一使用 Δd 。

[0105] (四)计算涡流中心点压强的步骤:根据如下公式计算跌坎后凹槽的涡流中心压强:

$$[0106] \quad \frac{P_0}{\rho g} = -\frac{c^2 V_1^2}{3g} \left(1 + \frac{1}{2k^2}\right) + \frac{b}{2} + h_2 - 0.15 \frac{V_1^2}{2g},$$

[0107] 式中: P_0 —涡流中心点压强, ρ —流体密度, g —重力加速度, c —流速衰减系数, $c=f(V_1, d, h_0)$, V_1 —为坎上流速, d —跌坎高度, h_0 —坎上水深, b —椭圆形涡流的短轴, $b=d/2$,

k—椭圆形涡流的长轴与短轴的比值, $k=a/b$, a—椭圆形涡流的长轴, $a=l_1/2$, h_2 —消力池底板之上的下游水深。

[0108] 本步骤使用了实施例一推导的涡轮中心压强公式, 为方便起见, 这个公式可以表达为:

$$[0109] \quad P_0 = \rho g \left[-\frac{c^2 V_1^2}{3g} \left(1 + \frac{1}{2k^2} \right) + \frac{b}{2} + h_2 - 0.15 \frac{V_1^2}{2g} \right].$$

[0110] (五) 判断和修正的步骤: 通过对漩涡中心点压强 P_0 判断试算凹槽深度 Δd 是否合适, 如果 $P_0 > 0$, 则减小 Δd , 如果 $P_0 < 0$, 则增加 Δd , 修正后回到“试算凹槽深度的步骤”。如果 $P_0 = 0$, 则进入下一步骤。

[0111] 试算的结果, 通过比较, 确定最终的凹槽深度, 这个关键性数据。

[0112] (六) 确定正坡背水面形状的步骤: 确定正坡背水面与水平线的夹角 β 和正坡背水面长度 L_r , $\beta = (0.5 \sim 1.0) \alpha$, $L_r = (1 \sim 2) h_0$ 。

[0113] 本步骤在确定凹槽深度之后, 确定直线 7-9 与水平线的夹角 β 和 L_r , $\beta = (0.5 \sim 1.0) \alpha$, $L_r = (1 \sim 2) h_0$, 最终确定凹槽及正坡的其他相关数据。

[0114] 最后应说明的是, 以上仅用以说明本发明的技术方案而非限制, 尽管参照较佳布置方案对本发明进行了详细说明, 本领域的普通技术人员应当理解, 可以对本发明的技术方案 (比如跌坎的形式、正坡的形式、各种公式的运用、步骤的先后顺序等) 进行修改或者等同替换, 而不脱离本发明技术方案的精神和范围。

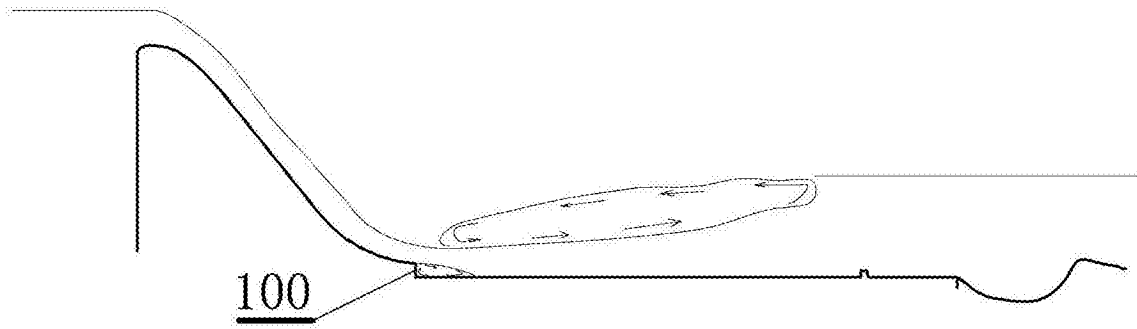


图1

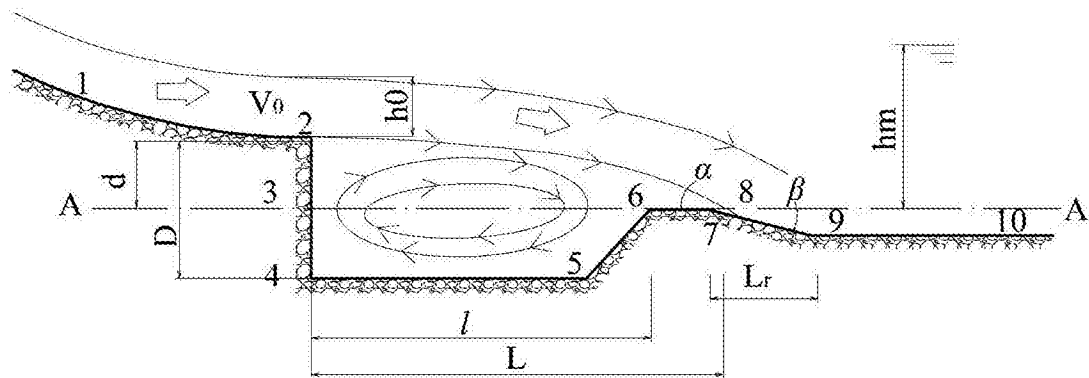


图2

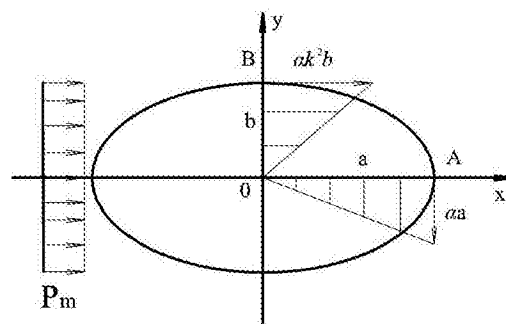


图3

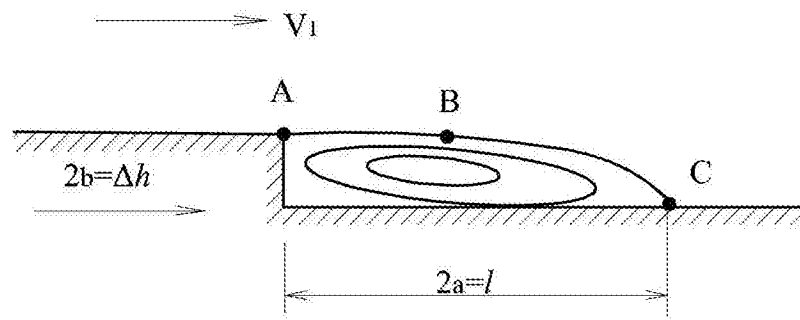


图4

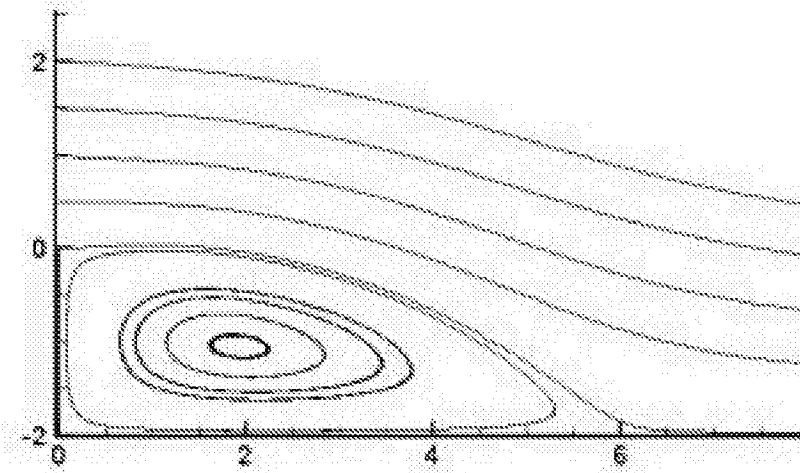


图5

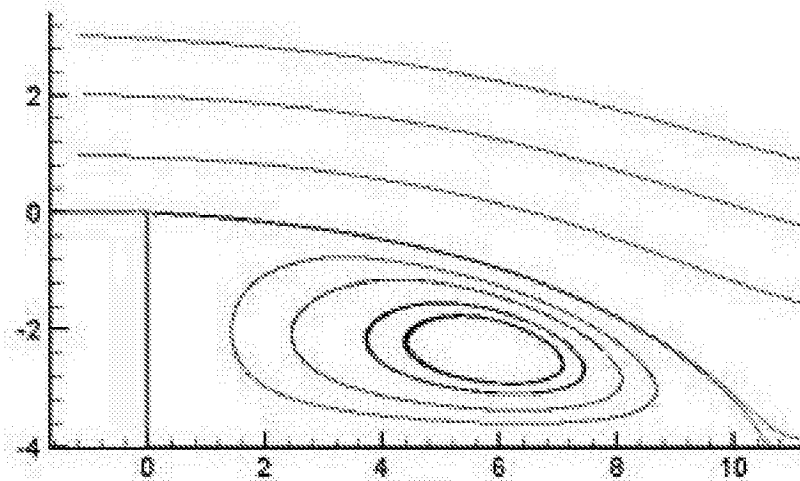


图6

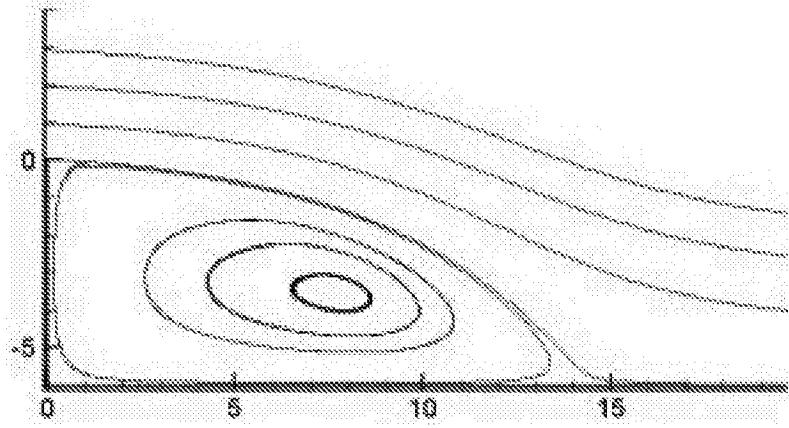


图7

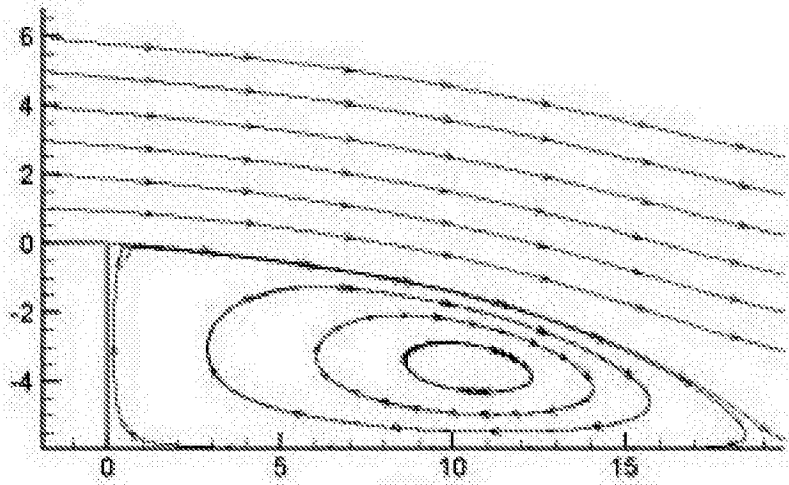


图8

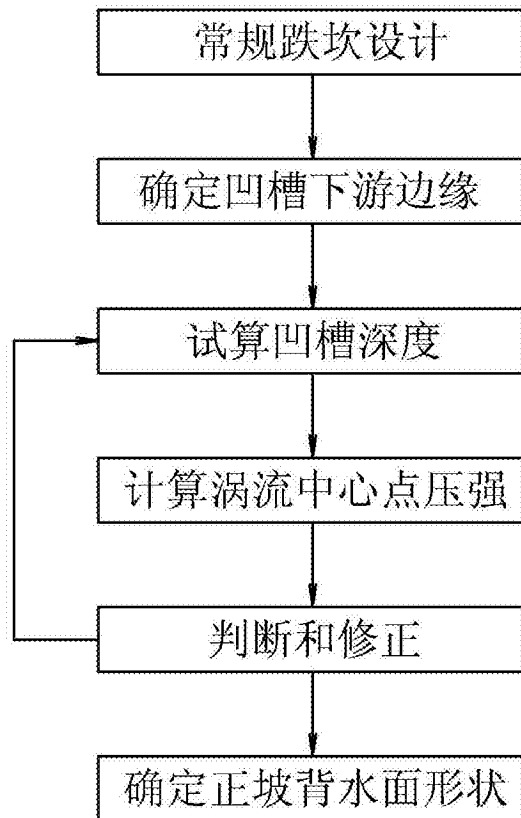


图9