



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 215329758 U

(45) 授权公告日 2021.12.28

(21) 申请号 202121102368.0

(22) 申请日 2021.05.21

(73) 专利权人 河海大学

地址 210000 江苏省南京市江宁区佛城西路8号

(72) 发明人 孔亮 何佳 吴伟伟 吴建华
马飞

(74) 专利代理机构 南京千语知识产权代理事务
所(普通合伙) 32394

代理人 尚于杰 祁文彦

(51) Int.Cl.

E02B 8/06 (2006.01)

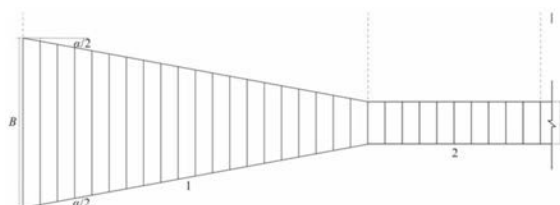
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54) 实用新型名称

一种适用于V型河谷的前置收缩阶梯消能工

(57) 摘要

本实用新型公开了一种适用于V型河谷的前置收缩阶梯消能工,包括与V型河谷出水口相接的渐缩阶梯段、与渐缩阶梯段出水口相接的等宽度的阶梯泄流段,渐缩阶梯段与等宽阶梯段中每个阶梯的参数均相同。本实用新型可以充分利用V型河谷上宽下窄的地形条件,开挖量有限,结构形式简单,施工方便;通过上宽下窄的结构形式,提高上游过水宽度,让紊流边界层迅速发展至自由液面形成自掺气,且流态稳定;本实用新型克服了传统阶梯消能工在大单宽流量下($q \geq 60 \text{m}^2/\text{s}$)易空蚀及消能率不足等问题,可有效解决大单宽流量下,传统阶梯溢洪道面临空化空蚀破坏的问题,满足工程在消能及安全方面的需要。



1. 一种适用于V型河谷的前置收缩阶梯消能工,其特征在于,包括与V型河谷出水口相接的渐缩阶梯段、与渐缩阶梯段出水口相接的等宽度的阶梯泄流段,渐缩阶梯段与等宽阶梯段中每个阶梯的参数均相同。

2. 根据权利要求1所述的一种适用于V型河谷的前置收缩阶梯消能工,其特征在于,渐缩阶梯段的收缩比 b/B 为 $1/4 \sim 1/3$,收缩角 α 为 $9.97^\circ \sim 14.90^\circ$,其中, B 为渐缩阶梯段的来流进口宽度, b 为阶梯泄流段的宽度, α 为渐缩阶梯段的收缩角。

3. 根据权利要求2所述的一种适用于V型河谷的前置收缩阶梯消能工,其特征在于,渐缩阶梯段的收缩比 b/B 为 $1/4$,收缩角 $\alpha = 14.90^\circ$ 。

4. 根据权利要求2所述的一种适用于V型河谷的前置收缩阶梯消能工,其特征在于,渐缩阶梯段的收缩比 b/B 为 $1/3$,收缩角 $\alpha = 9.97^\circ$ 。

一种适用于V型河谷的前置收缩阶梯消能工

技术领域

[0001] 本实用新型涉及水利水电工程泄水建筑物技术领域,尤其涉及一种适用于V型河谷的前置收缩阶梯消能工。

背景技术

[0002] 泄洪建筑物的消能防冲、空化空蚀以及雾化等问题依旧有待深入地研究解决,尤其是在300米及以上高度的大坝工程中,高水头、大流量、深峡谷的泄洪特点,高速水流给泄洪建筑物带来的消能、空化空蚀等问题尤为突出。如何实现高效的泄洪消能、降低消能防冲工程造价以及保证大坝及泄水建筑物运行安全一直都是亟待解决的难点。

[0003] 与传统溢洪道相比,阶梯溢洪道的阶梯结构在消能防冲和掺气减蚀方面有着更加优越的表现。随着碾压混凝土(RCC)施工技术的应用和发展,阶梯结构的消能方式得到了越来越广泛的应用。传统的阶梯消能工多应用于单宽流量较小($q \leq 60 \text{m}^2/\text{s}$)的状况,当单宽流量增加,阶梯面上的水深增加,掺气发生点大大地向下游移动在阶梯起始段的一定范围内导致消能作用减弱,形成大面积掺气盲区,并引发结构严重的空蚀破坏。

[0004] 在我国高坝普遍处于“深峡谷”中,“深峡谷”的峡谷缝隙呈上宽下窄的V型态势,传统的阶梯溢洪道无法充分利用上部较宽的空间。而大单宽流量下阶梯溢洪道的掺气特性受到明显的制约。

实用新型内容

[0005] 本实用新型提出一种适用于V型河谷的前置收缩阶梯消能工,充分利用V型河谷空间的同时,通过前置的渐缩阶梯段,使来流达到一定的掺气浓度,进入阶梯泄流段的水流已有一定的掺气浓度以确保阶梯消能工可以安全运行,从而增大整个消能工的泄流单宽。

[0006] 本实用新型的技术方案如下:

[0007] 一种适用于V型河谷的前置收缩阶梯消能工,包括与V型河谷出水口相接的渐缩阶梯段、与渐缩阶梯段出水口相接的等宽度的阶梯泄流段,渐缩阶梯段与等宽阶梯段中每个阶梯的参数均相同。

[0008] 具体地,渐缩阶梯段的收缩比 b/B 为 $1/4 \sim 1/3$,收缩角 α 为 $9.97^\circ \sim 14.90^\circ$,其中, B 为渐缩阶梯段的来流进口宽度, b 为阶梯泄流段的宽度, α 为渐缩阶梯段的收缩角。

[0009] 渐缩阶梯段的主要功能是为进入下游阶梯泄流段的水流提供充分的掺气,阶梯泄流段的主要功能是消能,旨在充分利用V型河谷地形的空间,通过提高来流宽度,降低来流水深来让掺气发生点提前。

[0010] 对于传统阶梯消能工,随着台阶尺寸及单宽流量的不同,阶梯泄槽上的水流一般可以分为跌落水流、过渡水流和滑行水流三类。当来流单宽流量较小时,阶梯高度相对水深较大,泄槽中呈现水舌水流和过渡水流流态。当单宽流量的增大,阶梯泄槽中呈现滑行水流,阶梯加剧水流紊动和边界层发展,表面有掺气、底部有稳定含气漩滚,水面大体保持在某一稳定位置上下翻腾波动下泄水流的动能,通过水流分散、掺气与漩滚间的剪切作用及

强烈紊动混掺而得到消散,掺气充分、消能效果良好。但是,对于传统阶梯消能方式,上述滑移水流流态下的高效掺气范围仅限于单宽流量小于 $60\text{m}^2/\text{s}$ 的工作状态;当单宽流量大于 $60\text{m}^2/\text{s}$,单宽流量的增加,阶梯泄槽上的水深增加,掺气发生点位置大大下移,致使阶梯泄槽在起始段的较大范围内无掺气或掺气不足,消能率大大下降,同时极易发生结构的空蚀破坏,影响工程的安全运行。

[0011] 作为优选实施例1,渐缩阶梯段的收缩比 b/B 为 $1/4$,收缩角 $\alpha=14.90^\circ$ 。

[0012] 作为优选实施例2,渐缩阶梯段的收缩比 b/B 为 $1/3$,收缩角 $\alpha=9.97^\circ$ 。

[0013] 本实用新型所述的适用于V型河谷的前置收缩阶梯消能工的消能方法,是对高坝泄水建筑物的出水引流至渐缩阶梯段,通过渐缩阶梯段对出流水舌进行前置掺气和阶梯消能,出流水舌在渐缩阶梯段中紊流边界层迅速发展至自由表面,使水流发生自掺气,再用下游的阶梯泄流段对充分掺气后的水流进行阶梯消能。

[0014] 与现有技术相比本实用新型具有如下优点:

[0015] 本实用新型可以充分利用V型河谷上宽下窄的地形条件,开挖量有限,结构形式简单,施工方便;通过上宽下窄的结构形式,提高上游过水宽度,让紊流边界层迅速发展至自由液面形成自掺气,且流态稳定;本实用新型克服了传统阶梯消能工在大单宽流量下($q\geq 60\text{m}^2/\text{s}$)易空蚀及消能率不足等问题,可有效解决大单宽流量下,传统阶梯溢洪道面临空化空蚀破坏的问题,满足工程在消能及安全方面的需要。

附图说明

[0016] 图1是本实用新型消能工的侧视结构示意图。

[0017] 图2是实施例所述的阶梯消能工物理模型实物照片。

[0018] 图3是单宽流量为 $27\text{m}^2/\text{s}$ 的实验照片,其中3(a)是收缩比 $b/B=1/4$,收缩角 $\alpha=14.90^\circ$ 的实验照片,3(b)是收缩比 $b/B=1/3$,收缩角 $\alpha=9.97^\circ$ 的实验照片,3(c)是对比例的实验照片;

[0019] 图4是单宽流量为 $40\text{m}^2/\text{s}$ 的实验照片,其中4(a)是收缩比 $b/B=1/4$,收缩角 $\alpha=14.90^\circ$ 的实验照片,4(b)是收缩比 $b/B=1/3$,收缩角 $\alpha=9.97^\circ$ 的实验照片,4(c)是对比例的实验照片;

[0020] 图5是单宽流量为 $60\text{m}^2/\text{s}$ 的实验照片,其中5(a)是收缩比 $b/B=1/4$,收缩角 $\alpha=14.90^\circ$ 的实验照片,5(b)是收缩比 $b/B=1/3$,收缩角 $\alpha=9.97^\circ$ 的实验照片,5(c)是对比例的实验照片;

[0021] 图6是单宽流量为 $85\text{m}^2/\text{s}$ 的实验照片,其中6(a)是收缩比 $b/B=1/4$,收缩角 $\alpha=14.90^\circ$ 的实验照片,6(b)是收缩比 $b/B=1/3$,收缩角 $\alpha=9.97^\circ$ 的实验照片,6(c)是对比例的实验照片;

[0022] 图7是单宽流量为 $110\text{m}^2/\text{s}$ 的实验照片,其中7(a)是收缩比 $b/B=1/4$,收缩角 $\alpha=14.90^\circ$ 的实验照片,7(b)是收缩比 $b/B=1/3$,收缩角 $\alpha=9.97^\circ$ 的实验照片,7(c)是对比例的实验照片;

[0023] 图8是单宽流量为 $140\text{m}^2/\text{s}$ 的实验照片,其中7(a)是收缩比 $b/B=1/4$,收缩角 $\alpha=14.90^\circ$ 的实验照片,7(b)是收缩比 $b/B=1/3$,收缩角 $\alpha=9.97^\circ$ 的实验照片,7(c)是对比例的实验照片;

[0024] 图9是本实用新型消能工的俯视结构示意图。

具体实施方式

[0025] 实施例1

[0026] 如图1、9所示,适用于V型河谷的前置收缩阶梯消能工,包括与V型河谷出水口相接的渐缩阶梯段1、与渐缩阶梯段出水口相接的等宽度的阶梯泄流段2,将来流引入渐缩阶梯段1,水流在渐缩阶梯段1中紊流边界层迅速发展并得以充分掺气,再用阶梯泄流段对充分掺气后的水流进行阶梯消能。渐缩阶梯段与等宽阶梯段中每个阶梯的参数均相同,如图, h 为单个阶梯的高度, l 为单个阶梯的长度, θ 为消能工的坡度, B 为渐缩阶梯段的来流进口宽度, b 为阶梯泄流段的宽度, α 为渐缩阶梯段的收缩角。

[0027] 本实施例中,试验在河海大学高速水流实验室进行,图2是试验装置系统和前置收缩阶梯掺气的阶梯消能工物理模型实物照片,试验装置系统包括水泵电机、进水管、供水平水塔、模型工作段、回水系统。模型工作段包括宽顶堰的出口段、渐缩阶梯段和阶梯泄流段,用有机玻璃制作模型按重力相似准则设计,以某工程1/51比尺设计。宽顶堰的出口段的功能是提供平稳的来流和设计单宽流量下出口水舌的动能。渐缩阶梯段和阶梯泄流段中每一级阶梯水平长 $l=8.60\text{cm}$,高 $h=7.00\text{cm}$,相应于原型分别为4.40m和3.60m,消能工的坡度为 $\theta=39.29^\circ$;渐缩阶梯段设置了20个阶梯,阶梯泄流段设置了10个阶梯,模型长和落差分别为:2.58m和2.10m,相应原型为:132m和108m。

[0028] 本实施例中,收缩比 $b/B=1/4$,收缩角 $\alpha=14.90^\circ$,图3(a)、4(a)、5(a)、6(a)、7(a)、8(a)分别为单宽流量 q 为 $27\text{m}^2/\text{s}$ 、 $40\text{m}^2/\text{s}$ 、 $60\text{m}^2/\text{s}$ 、 $85\text{m}^2/\text{s}$ 、 $110\text{m}^2/\text{s}$ 、 $140\text{m}^2/\text{s}$ 时的实验照片,由图可看出紊流边界层在渐缩阶梯段就能够发展到自由液面并形成掺气发生点。

[0029] 实施例2

[0030] 本实施例在实施例1的基础上,收缩比 $b/B=1/3$,收缩角 $\alpha=9.97^\circ$,图3(b)、4(b)、5(b)、6(b)、7(b)、8(b)分别为单宽流量 q 为 $27\text{m}^2/\text{s}$ 、 $40\text{m}^2/\text{s}$ 、 $60\text{m}^2/\text{s}$ 、 $85\text{m}^2/\text{s}$ 、 $110\text{m}^2/\text{s}$ 、 $140\text{m}^2/\text{s}$ 时的实验照片,由图3(b)、4(b)、5(b)、6(b)、7(b)可知,在实施例2中,当来流单宽流量 $q \leq 110\text{m}^2/\text{s}$ 时,渐缩阶梯段能形成掺气发生点并保证下游阶梯泄槽掺气充分,其中7(b)即为实施例2渐缩阶梯段能形成掺气发生点的临界点,由图8(b)可知,当来流单宽流量 $q \geq 110\text{m}^2/\text{s}$ 时,渐缩阶梯段就无法形成掺气发生点。

[0031] 对比例1

[0032] 本对比例中,消能工没有设置渐缩阶梯段,只有等宽度的阶梯泄流段连接在宽顶堰的出口段,图3(c)、4(c)、5(c)、6(c)、7(c)、8(c)分别为单宽流量 q 为 $27\text{m}^2/\text{s}$ 、 $40\text{m}^2/\text{s}$ 、 $60\text{m}^2/\text{s}$ 、 $85\text{m}^2/\text{s}$ 、 $110\text{m}^2/\text{s}$ 、 $140\text{m}^2/\text{s}$ 时的实验照片,由图3(c)、4(c)、5(c)、6(c)可知,在对比例1中,当来流单宽流量 $q \leq 85\text{m}^2/\text{s}$ 时,前20级阶梯上能形成掺气发生点并保证下游阶梯泄槽掺气充分,其中6(c)即为实施例2渐缩阶梯段能形成掺气发生点的临界点,由图7(c)、8(c)可知,当来流单宽流量 $q \geq 85\text{m}^2/\text{s}$ 时,前20级阶梯就无法形成掺气发生点。

[0033] 由实施例1和对比例1的附图可以很明显看出,渐缩段收缩比 b/B 越小,收缩角 α 越大时,紊流边界层发展到自由液面的速度越快。对比例1在 $q=85\text{m}^2/\text{s}$ 时,前20级阶梯已无明显掺气,而实施例1和实施例2在 $q=110\text{m}^2/\text{s}$ 时仍有良好的掺气效果。

[0034] 比较图3(a)、4(a)、3(b)、4(b),可看出本实用新型所述消能工的流态表现为在小

单宽流量下,渐缩阶梯段呈跌落水流、过渡水流到滑行水流的快速变化,阶梯泄流段为滑行水流,这种流态快速变化的原因是由于收缩式结构中沿程水深不断的增大;比较图5(a)、6(a)、7(a)、8(a)和5(b)、6(b)、7(b)、8(b),可看出在大单宽流量下,来流经过渐缩阶梯段充分掺气,阶梯泄槽段呈滑行水流状态;其中,7(b)、8(b)的渐缩阶梯段,图6(c)、7(c)、8(c)的前20级阶梯泄流段已经无掺气现象,可看出渐缩段收缩比 b/B 越小,收缩角 α 越大,则掺气发生点的前移效果越明显。

[0035] 如表2所示,为上述两个实施例和对比例的掺气发生点位置对比。

[0036] 表2

[0037]

q (m^2/s)	Li_1 (m)	Li_2 (m)	Li (m)
27	10.27	13.78	18.46
40	12.35	20.02	27.82
60	16.38	27.43	55.77
85	20.54	32.63	81.64
110	25.74	91.52	/
140	50.31	/	/

[0038] 其中 Li_1 为实施例1中各单宽流量下掺气发生点和来流起点的直线距离; Li_2 为实施例2中各单宽流量下掺气发生点和来流起点的直线距离; Li 为对比例1中掺气发生点和来流起点的直线距离。

[0039] 由表2可知,本实用新型可以有效地消除阶梯溢洪道的掺气盲区,克服传统阶梯消能工在大单宽流量下,由于掺气发生点下移而引起的消能率降低,可能的空蚀破坏,使得阶梯溢洪道在大单宽流量条件下,从消能工的进口开始就有充分的掺气,确保消能工内水流有良好的掺气效果、高的消能率和结构的安全。

[0040] 在传统阶梯消能工的基础上,通过对进口段宽度加宽使得紊流边界层更快发展到表面。因此,在充分利用V型河谷空间的同时,在大单宽流量下,提高了阶梯消能工的空蚀防治效果,提高了消能率,为高水头大泄量的泄洪消能提供了一种全新的思路及解决方案。

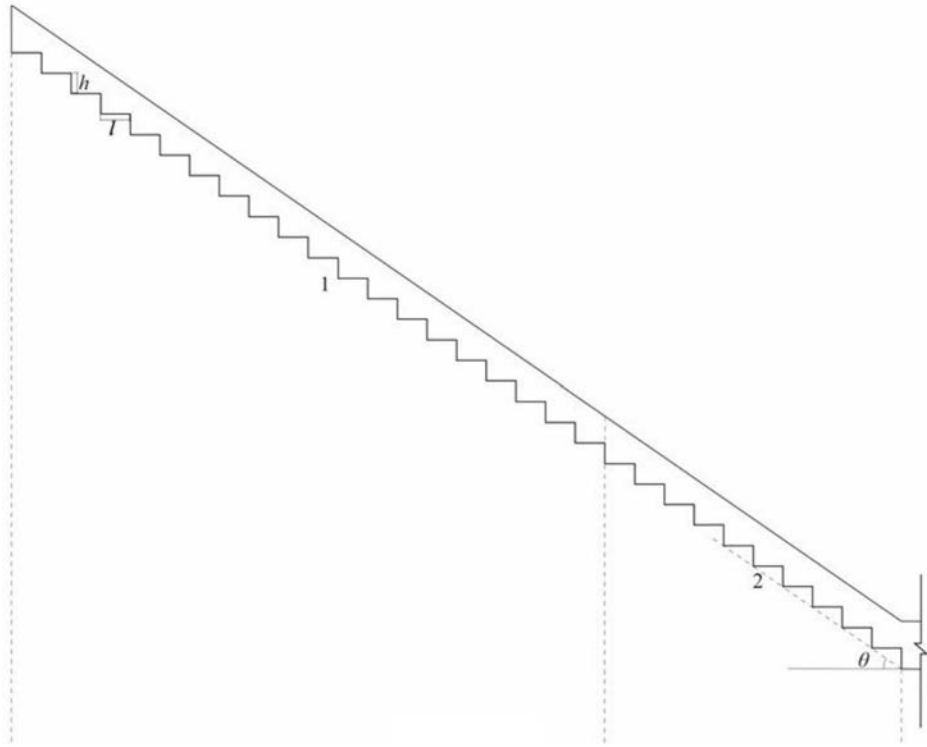


图1



图2



(a)(b)(c)

图3



(a)

(b)

(c)

图4



(a)

(b)

(c)

图5



(a)

(b)

(c)

图6



(a)

(b)

(c)

图7

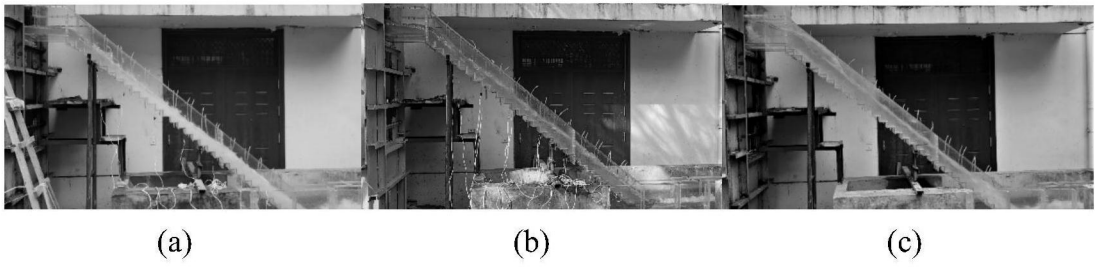


图8

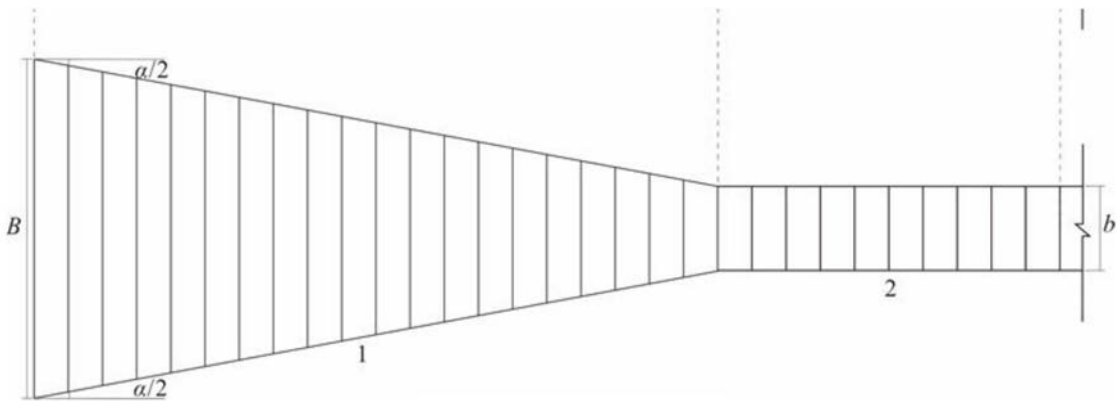


图9