(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103382717 B
(45)授权公告日 2015.09.16

(21)申请号 201310301530.5
(22)申请日 2013.07.18
(73)专利权人 河海大学
地址 211100 江苏省南京市江宁区佛城西路8号
(72)发明人 钱尚拓 吴建华 马飞 李书芳 姚莉 樊博 王宇
(74)专利代理机构 南京苏高专利商标事务所(普通合伙) 32204
代理人 柏尚春
(51)Int.Cl.
E02B 8/06(2006.01)
(56)对比文件
CN 101195999 A,2008.06.11, 说明书第10段.
WO 9957377 ,1999.11.11, 全文.
CN 101349048 A,2009.01.21, 全文.
CN 102720171 A,2012.10.10, 全文.
CN 102704447 A,2012.10.03, 全文.
CN 101302755 A,2008.11.12, 全文.
审查员 陈玲

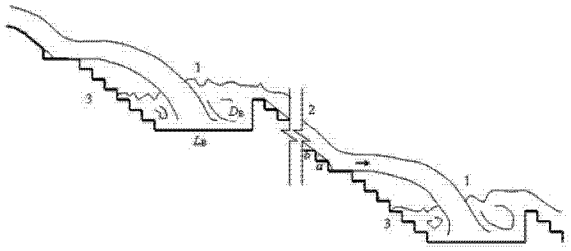
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

前置掺气池掺气的阶梯消能方法和消能工

(57)摘要

一种前置掺气池掺气的阶梯消能方法和消能工,方法为依次对出流水舌进行前置掺气和阶梯消能多次,所述的前置掺气和阶梯消能是将出流水舌引入掺气池,出流水舌在掺气池中形成掺气旋滚并得以充分掺气,再用阶梯泄槽对充分掺气后的水流进行阶梯消能。消能工包括逐个下降与分级数量相等设置的掺气池,掺气池后连接阶梯泄槽,在掺气池的上游端连接有前置阶梯,形成完整的一级消能工。然后,在下一级消能中,重复上述结构。本发明可以在大单宽流量下保持较高的消能率和结构防空化空蚀危害,满足工程在消能及安全方面的需要。



CN 103382717 B

1. 一种前置掺气池掺气的阶梯消能方法，其特征为，对 200m－300m 的高坝泄水建筑物，通过分级进行消能，在每一级消能中，对出流水舌进行前置掺气和阶梯消能，所述的前置掺气池掺气和阶梯消能是将出流水舌引入掺气池 (1)，出流水舌在掺气池 (1) 中形成掺气旋滚并得以充分掺气，再用阶梯泄槽 (2) 对充分掺气后的水流进行阶梯消能。

2. 根据权利要求 1 所述的前置掺气池掺气的阶梯消能方法，其特征为，对出流水舌进行前置掺气和阶梯消能的次数为 2-3 次。

3. 一种前置掺气池掺气的消能工，由 2-3 级消能段组成，其特征为，包括逐个下降与分级数量相等设置的掺气池 (1)，掺气池后连接阶梯泄槽 (2)，在掺气池 (1) 的上游端连接有前置阶梯 (3)，形成完整的一级消能工，然后，在下一级消能中，重复上述结构；所述的前置掺气池掺气是将出流水舌引入掺气池 (1)，出流水舌在掺气池 (1) 中形成掺气旋滚并得以充分掺气，再用阶梯泄槽 (2) 对充分掺气后的水流进行阶梯消能。

4. 根据权利要求 3 所述的前置掺气池掺气的消能工，其特征为，掺气池 (1) 的个数为 2-3 个。

前置掺气池掺气的阶梯消能方法和消能工

技术领域

[0001] 本发明涉及水利水电工程泄水建筑物中的一种消能方法和消能工，尤其涉及一种前置掺气池掺气的阶梯消能方法和与之相应的消能工。

背景技术

[0002] 近年来随着水利水电工程建设的发展，以窄河谷、高水头和大泄量等为特征的水利水电工程泄水建筑物的高速水流问题尤为突出，消能防冲和空化空蚀问题日趋引人关注，一直是工程设计中亟待解决的难题和制约性问题。如，上世纪建成的二滩水电工程，坝高 240m，泄量超过 20000m^3/s，泄洪功率达到 39000MW；正在建设的白鹤滩工程坝高 277m，泄量超过 48200m^3/s，泄洪功率达到 96933MW。

[0003] 相对于传统泄洪消能方式，包括：挑流、底流、面(戽)流等，阶梯消能工有其自身的一些特点。阶梯消能工作为一种利用水流在坡面台阶形成强烈横轴漩滚及水流掺气，使能量沿流程大大消散，对改善坝下冲刷，简化消能防冲设施，提高消能效率，避免空蚀及雾化发生等具有显著成效。特别是随着碾压混凝土坝(RCC)技术的兴起，阶梯消能工得到了更广泛的应用。然而，需要特别说明的是：就工程建设和应用现状而言，阶梯消能工多适用于单宽流量较小($q \leqslant 60m^2/s$)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，并引发结构严重的空蚀破坏。

发明内容

[0004] 本发明提出一种前置掺气池掺气的阶梯消能方法和和消能工，本发明可以在大单宽流量下保持较高的消能率和结构防空化空蚀危害，满足工程在消能及安全方面的需要。

[0005] 本发明采用如下技术方案：

[0006] 本发明所述的一种前置掺气池掺气的阶梯消能方法，对 200m－300m 的高坝泄水建筑物，通过分级进行消能。在每一级消能中，对出流水舌进行前置掺气和阶梯消能，所述的前置掺气和阶梯消能是将出流水舌引入掺气池，出流水舌在掺气池中形成掺气旋滚并得以充分掺气，再用阶梯泄槽对充分掺气后的水流进行阶梯消能。

[0007] 本发明所述的一种前置掺气池掺气的消能工，包括逐个下降与分级数量相等设置的掺气池，掺气池后连接阶梯泄槽，在掺气池的上游端连接有前置阶梯，形成完整的一级消能工。然后，在下一级消能中，重复上述结构。

[0008] 与现有技术相比，本发明具有如下优点：

[0009] 本发明利用出流水舌和掺气池进行掺气，从阶梯泄槽的第一级开始，为阶梯泄槽上的流动实施充分的掺气，通过这种掺气作用，实施在大单宽流量下($q>60m^2/s$)，提高消能率并避免消能工结构的空蚀破坏。在本发明中，掺气池的主要功能是为其下游阶梯泄槽的流动提供充分的掺气，避免阶梯泄槽结构的空化空蚀破坏。本发明提出的消能方法及与之

相应的消能工，可以实施在大单宽流量下（$q>60m^2/s$），通过掺气克服传统阶梯消能工的容易空蚀及消能率不足等问题。本发明具有以下优点：

[0010] （1）结构形式简单，施工方便；

[0011] （2）开挖量有限，有利于结构布置；

[0012] （3）在大单宽流量条件下（$q>60m^2/s$）能保持高消能率；

[0013] （4）不存在空蚀和雾化问题；

[0014] （5）流态稳定。

[0015] 本发明对于水利水电工程泄水建筑物，提高消能率、避免空蚀发生等方面是非常有意义的，力求通过掺气池的掺气作用，达到在大单宽流量下提高消能率及避免空蚀破坏的目的。本项发明结构简单易行，有效性已得到试验验证，可以在满足工程所需泄量较高的前提下，保证足够的消能率且不发生空蚀破坏，使泄水建筑物安全、稳定运行及消能效果得到保障。

[0016] 本发明的目的、优点和特点，将通过下面优先实施例的非限制性说明进行图示和解释，这些实施例是参照附图仅作为例子给出的。

附图说明

[0017] 图 1 是本发明前置掺气池掺气的阶梯消能工结构及流态示意图。

[0018] 图 2 是试验装置系统和前置掺气池掺气的阶梯消能工物理模型实物照片。

[0019] 图 3 是工程实施例 2 在水舌水流流态下的掺气池段的实验照片（$q=4.51m^2/s$）。

[0020] 图 4 是工程实施例 2 在水舌水流流态下的阶梯泄槽段的实验照片（$q=4.51m^2/s$）。

[0021] 图 5 是工程实施例 2 在过渡水流流态下的掺气池段的实验照片（$q=10.28m^2/s$）。

[0022] 图 6 是工程实施例 2 在过渡水流流态下的阶梯泄槽段的实验照片（$q=10.28m^2/s$）。

[0023] 图 7 是工程实施例 2 在滑行水流流态下的掺气池段的实验照片（$q=118.00m^2/s$）。

[0024] 图 8 是工程实施例 2 在滑行水流流态下的阶梯泄槽段的实验照片（$q=118.00m^2/s$）。

[0025] 图 9 是前置掺气池掺气的阶梯消能工单级消能段（第一级消能段）相对消能率 η 与原型单宽流量 q 的关系图。

[0026] 图 10 是前置掺气池的底板掺气浓度沿程分布图。

[0027] 图 11 是前置掺气池的侧墙掺气浓度沿程分布图。

具体实施方式

[0028] 本发明所述的一种前置掺气池掺气的阶梯消能方法，即在传统阶梯消能工的基础上，通过对工作总水头进行分级消能。在此，掺气池的主要功能是为进入下游阶梯泄槽段的水流提供充分的掺气，因此，可以很好地实施在大单宽流量下，阶梯消能工的空蚀防治和提高其消能率，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。

[0029] 实施例 1

[0030] 一种前置掺气池掺气的阶梯消能方法，对 200m－300m 的高坝泄水建筑物，通过分级进行消能。依次对出流水舌进行前置掺气池掺气和阶梯消能多次，所述的前置掺气池掺气和阶梯消能是将出流水舌引入掺气池 1，出流水舌在掺气池 1 中形成掺气旋滚并得以充

分掺气，再用阶梯泄槽 2 对充分掺气后的水流进行阶梯消能。在本实施例中，对出流水舌进行前置掺气池掺气和阶梯消能的次数为 2-3 次。

[0031] 实施例 2

[0032] 一种前置掺气池掺气的消能工，对 200m - 300m 级的高坝泄水建筑物的消能通过分级完成。由 2-3 级消能段组成，在每一级消能工中，包括设置的掺气池，下设阶梯泄槽，在掺气池的上游端连接有前置阶梯泄槽。然后，在下一级消能中，重复上述结构。在本实施例中，掺气池的个数为 2 - 3 个。本实施例所述的技术方案也可以采用如下表述，即：一种前置掺气池掺气的消能工，由逐级连接的 2-3 级消能段组成，所述消能段包括掺气池（1），掺气池（1）的下游端连接有阶梯泄槽 2，在掺气池 1 的上游端连接有前置阶梯 3，形成完整的一级消能工。

[0033] 下面参照附图，对本发明的具体实施方式做出更为详细的描述：

[0034] 本发明所涉及的一种前置掺气池掺气的阶梯新型消能工，如图 1 所示，其中，a 为阶梯长度，b 为阶梯高度，LB 为掺气池长度，DB 为掺气池深度。

[0035] 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水舌水流、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，上述滑行水流流态下的高效掺气范围，仅限于单宽流量小于 $60m^2/s$ 的工作状态；当单宽流量大于 $60m^2/s$，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。

[0036] 本项发明通过对工作总水头进行分级，大致以 100m 为一级，如，200-300m 级的水头，则分为 2-3 级。在每一级前置掺气池掺气的阶梯消能中，前置掺气池的主要功能是为进入下游阶梯泄槽段的水流提供充分的掺气，使阶梯泄槽的流动在进口处即得到充分的掺气，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，使得在大单宽流量条件下，从阶梯泄槽的进口开始就有充分的掺气，保持消能工流动有良好的掺气效果、高的消能率和结构的安全。

[0037] 下面结合一个模型试验实施例对本发明作出更为详细的说明。

[0038] 实施例 4

[0039] 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掺气池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。模型工作段由 WES 堰的进口段和两级前置掺气池掺气的阶梯消能工组成，用有机玻璃制作；模型按重力相似准则设计，以某工程 1/40 比尺设计。进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；每一级前置掺气池掺气的阶梯消能工中，阶梯水平长 a=0.09cm，高 b=0.11cm，相应于原型分别为 3.60m 和 4.40m，坡度为 $\alpha=39.29°$；设计原型最大单宽流量 $q=120.00m^2/s$；设置了 6 个前置阶梯，在小流量下通过前置阶梯和掺气池流动；掺气池的主要作用是通过出口水舌在池中的旋滚掺气，为下游阶

梯泄槽提供充分的掺气水流，提高消能率并避免结构空蚀破坏，掺气池的池长 L_B 为 8 个阶梯长，池深 D_B 为 3 个阶梯高，即原型：L_B=35.20m，D_B=10.80m；阶梯泄槽段设置了 16 个阶梯，模型长和落差分别为：1.75m 和 1.44m，相应原型为：70.40m 和 57.60m。

[0040] 运用上述模型，试验研究前置掺气池掺气的阶梯消能工在不同工作条件下的流态、消能率以及掺气浓度，试验时模型堰顶工作水头分为 5 级，分别为：H_M=0.05m, 0.10m, 0.20m, 0.30m 和 0.40m，相应于原型水头为：H=2.00m, 4.00m, 8.00m, 12.00m 和 16.00m，原型单宽流量为：q=4.51m^2/s, 10.28m^2/s, 32.18m^2/s, 62.92m^2/s 和 118.00m^2/s。

[0041] 基于掺气池的掺气作用，前置掺气池掺气的阶梯消能工的流态表现为：在小单宽流量下，阶梯泄槽段呈水舌流动和过渡流动状态，分别如图 4 和图 6 所示；在大单宽流量下，掺气池充分掺气，为阶梯泄槽段提供充分的掺气水流，阶梯消能段呈滑行流动状态，如图 8 所示。

[0042] 图 9 为前置掺气池掺气的阶梯消能工单级消能段相对消能率 η 与单宽流量 q 的关系。可以看到，随着 q 的增加，消能率有所下降，当 q>60m^2/s 以后，下降趋势略有变缓，但是，即使在 q=118.00m^2/s 时，仍然有消能率为 η=75.8%。相对于传统标准阶梯消能工，本发明提出的前置掺气池掺气的阶梯消能方法和消能工消能率有较大的提高。尤其是当单宽流量 q>60m^2/s 时，本发明提出的前置掺气池掺气的阶梯消能工仍有良好的消能效果，大大拓展了传统阶梯消能工单宽流量的应用范围。

[0043] 图 10 和图 11 分别为掺气池的底板和侧墙上掺气浓度沿程分布情况。底板上的掺气浓度测点位于底板中心线上，侧墙上测点距离底板的距离为 5.40m；由图 10 和图 11 可知，随着单宽流量的增大，掺气池内由于出口水舌的作用产生明显的掺气旋滚，掺气效果逐步提高，最大可以达到 8.8 以上，有良好的减免结构空蚀破坏作用。

[0044] 表 1 阶梯泄槽段底板的掺气浓度沿程分布

[0045]

No.	q/m^2·s^{-1}				
	4.52	10.28	32.18	62.92	118.00
S1	2.2	2.8	4.4	6.0	6.5
S5	19.6	13.7	6.9	4.2	3.6
S10	34.2	22.0	9.5	7.5	7.0
S16	36.2	25.0	11.8	9.6	8.3

[0046] 表 2 阶梯泄槽段边墙的掺气浓度沿程分布

[0047]

No.	q /m^2·s^{-1}

[0048]

	4.52	10.28	32.18	62.92	118.00
S1	19.7	4.3	4.8	6.3	6.9
S5	47.8	14.3	6.3	5.0	4.8
S10	58.1	41.0	8.1	7.1	6.4
S16	69.6	51.1	15.2	8.7	7.7

[0049] 在表 1 和表 2 中，测点 No. S1，No. S5，No. S10，No. S16 分别位于阶梯泄槽段上第 1 级，第 5 级，第 10 级和第 16 级阶梯的底板和边墙上。表 1 和表 2 分别为前置掺气池下游阶梯泄槽段底板和边墙的掺气浓度测量结构，底板上的测点位于阶梯的末端，边墙上测点距离底板的高度为 1.00m。

[0050] 由表 1 可知，当单宽流量一定时，阶梯消能段底板上的掺气浓度沿程增大；同时，随着单宽流量的增加，同一阶梯上的掺气浓度有所降低，但是，即使当 $q=118.00m^2/s$ 时，阶梯泄槽消能段底板的掺气浓度仍然可以达到 3.6，可以达到防治空蚀的目的。第一级阶梯上底板掺气浓度值表明，由于前置掺气池的掺气作用，阶梯泄槽段水流在第一个阶梯即发生掺气，掺气效果良好。表 2 中侧墙掺气浓度与底板有相似的规律性，且在各单宽流量条件下，侧墙掺气浓度最小值可以达到 4.3。由此可以表明，前置掺气池掺气的阶梯消能方法和消能工，在大单宽流量下，具有良好的掺气效果、消能率和掺气防空蚀性能。本发明在阶梯泄槽段从第一级台阶开始沿程均具有较高的掺气浓度，从而保证在大单宽流量条件下结构的安全和稳定。

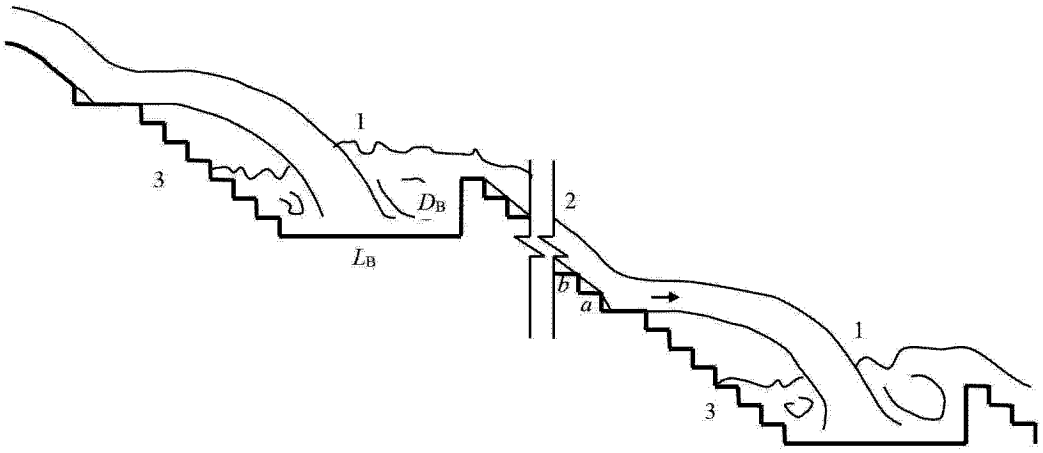


图 1

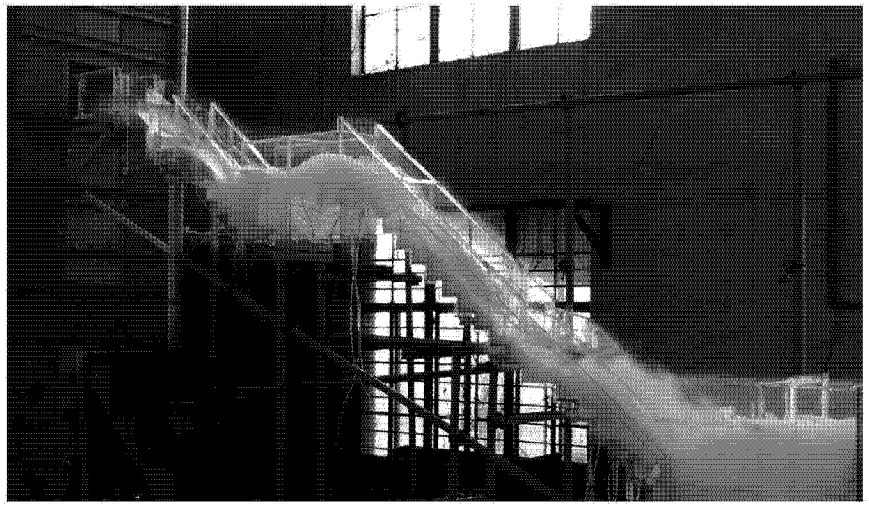


图 2

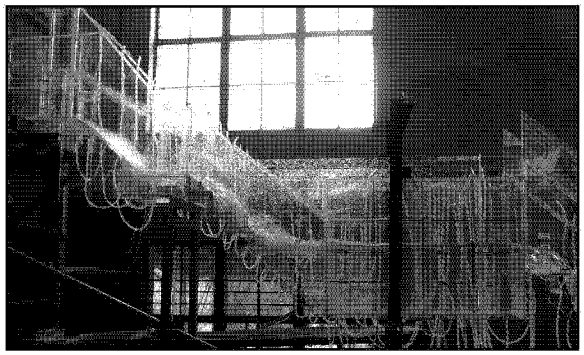


图 3



图 4



图 5



图 6



图 7

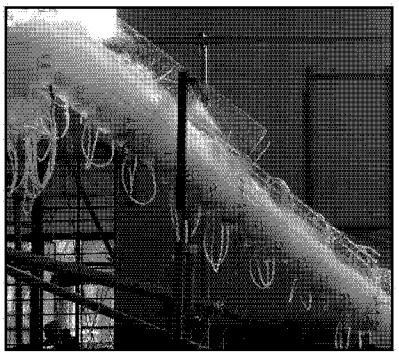


图 8

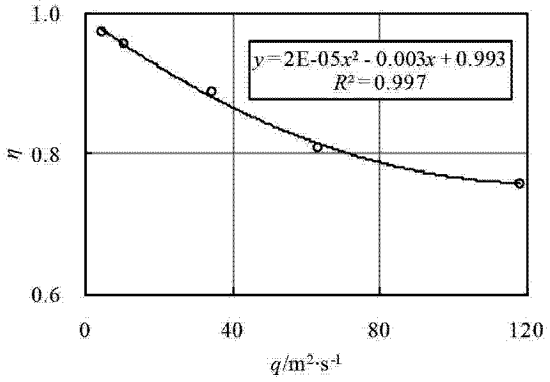


图 9

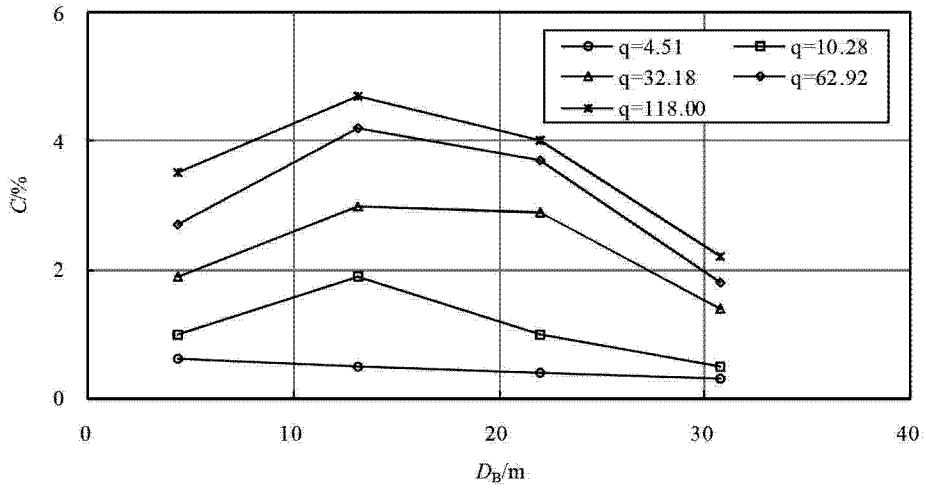

6
4
2
0
C/%
0
10
20
30
40
D_B/m
q=4.51
q=10.28
q=32.18
q=62.92
q=118.00

图 10

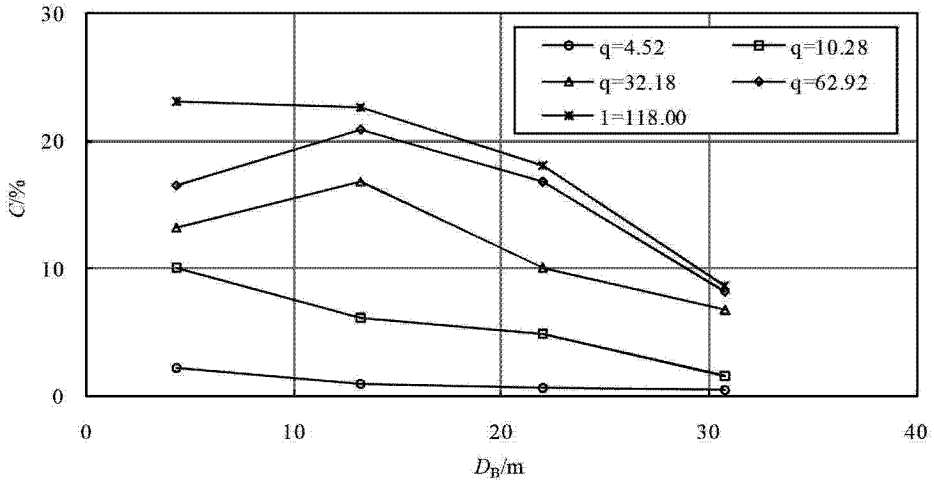

30
20
10
0
C/%
0
10
20
30
40
D_B/m
q=4.52
q=10.28
q=32.18
q=62.92
1=118.00

图 11