(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109629534 A
(43)申请公布日 2019.04.16

(21)申请号 201811401560.2

(22)申请日 2018.11.23

(71)申请人 四川大学
地址 610065 四川省成都市一环路南一段24号

(72)发明人 杨庆 奉紫岑 马旭东 程文磊 涂书豪 王海云 戴光清

(74)专利代理机构 成都科海专利事务有限责任公司 51202
代理人 郭萍

(51)Int.Cl.
E02B 8/06(2006.01)

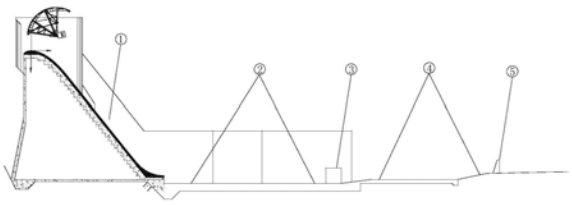
权利要求书1页 说明书6页 附图5页

(54)发明名称

一种布置在弯曲河道的底流消能工

(57)摘要

本发明公开了一种布置在弯曲河道的底流消能工，包括布置于弯曲河道弯道段前的直线型主消力池和布置于弯道段的曲线型辅消力池；主消力池与辅消力池交接的位置布置有沿水流断面方向排布的导流-消力墩。本发明利用主、辅两级消力池与导流-消力墩相结合的控制技术，不仅能有效消除弯曲河道的底流消能中弯道段局部水流的大幅度波动，而且能妥善解决弯道段出来流与凹岸坡脚部位对冲进而影响坡岸稳定的问题。



CN 109629534 A

1.一种布置在弯曲河道的底流消能工,其特征在于包括布置于弯曲河道弯道段前的直线型主消力池和布置于弯道段的曲线型辅消力池;所述主消力池与辅消力池交接的位置布置有沿水流断面方向排布的导流-消力墩。

2.根据权利要求1所述布置在弯曲河道的底流消能工,其特征在于布置于弯道段的曲线型辅消力池覆盖弯道段的最大曲率段。

3.根据权利要求1所述布置在弯曲河道的底流消能工,其特征在于消力池内到达导流-消力墩前的水流流速小于10m/s。

4.根据权利要求1或2或3所述布置在弯曲河道的底流消能工,其特征在于所述导流-消力墩设计有朝向弯曲河道弯曲段凸岸的扭面。

5.根据权利要求4所述布置在弯曲河道的底流消能工,其特征在于所述导流-消力墩与扭面衔接的上游连接段和下游连接段均为梯形断面,且下游连接段的梯形断面面积大于上游连接段的梯形面积。

6.根据权利要求1或2或3所述布置在弯曲河道的底流消能工,其特征在于所述导流-消力墩的墩高H、墩厚B及相邻两消力墩之间的墩间净距ΔL通过以下公式给出:

$$H=0.2\sim0.4h \quad (1)$$

$$B=0.3\sim1.0H \quad (2)$$

$$\Delta L=0.4\sim0.75H \quad (3)$$

式中,h为布置导流-消力墩所在消力池处水深。

7.根据权利要求4所述布置在弯曲河道的底流消能工,其特征在于所述导流-消力墩的墩高H、墩厚B及相邻两消力墩之间的墩间净距通过以下公式给出:

$$H=0.2\sim0.4h \quad (1)$$

$$B=0.3\sim1.0H \quad (2)$$

$$\Delta L=0.4\sim0.75H \quad (3)$$

式中,h为布置导流-消力墩所在消力池处水深。

8.根据权利要求5所述布置在弯曲河道的底流消能工,其特征在于所述导流-消力墩的墩高H、墩厚B及相邻两消力墩之间的墩间净距通过以下公式给出:

$$H=0.2\sim0.4h \quad (1)$$

$$B=0.3\sim1.0H \quad (2)$$

$$\Delta L=0.4\sim0.75H \quad (3)$$

式中,h为布置导流-消力墩所在消力池处水深。

一种布置在弯曲河道的底流消能工

技术领域

[0001] 本发明属于水利水电工程技术领域，涉及水利水电工程消能建筑物布置形式及结构的改进，更为具体的说涉及一种类似“L”型弯曲河道的底流消能技术。

背景技术

[0002] 一般的水闸、中小型溢流堰或地质条件较差的各类泄水建筑物，多采用底流式消能。底流消能是一种基本的消能型式，能降低雾化的影响，在水利工程中获得了广泛应用。其是借助于一定的工程措施来消能的。

[0003] 消力池底流消能是水利工程中常见的消能方式，其利用消力池来控制水跃位置，通过水跃发生的表面旋滚和强烈紊动来消除余能，而为了改善消力池的消能效果，也常在池中设置辅助消能工。平面布置时消力池大多采用等宽直线型布置，但在一些高原山地、丘陵众多的地区，河道急弯较多，在这些地方布置消能设施时，往往受到地形、地质条件的限制及坝址轴线选择等布置的原因，消能建筑物与弯道邻近，若采用全程等宽直线型消力池将大大增加岸坡开挖的工程量，且会面临消力池出口水流与下游转弯河道衔接问题；此外，若消力池布置时规模因地形、地质而受限，消能不充分，那么出口水流仍带有一定能量，将形成弯道段局部水流大幅度波动，与凹岸坡脚部位发生对冲的不利流态，如不采取工程措施，将影响弯道段凹岸的岸坡稳定，从而影响工程的运行安全。因此，做好底流消能工作，掌握弯道段水流控制技术，对于新建和改、扩建布置在弯曲河道中底流消能工的安全运行都至关重要。

[0004] 弯曲河道消力池底流消能、流态控制技术方面，前人提出了一些改善措施，包括：多级消力池法、曲线型消力池法等。多级消力池法在不同的实际工程中均发挥了自身特性，取得了能量消杀、调节流态效果。多级消力池法常在大单款流量、低沸汝德数Fr中应用，高沸汝德数Fr数中应用较难，且造价较高。由于下泄流量较大且流速较高时，对消力池也有一定的规模要求，因此曲线型消力池法的难点是在高流速条件下需要特别关注消力池因弯曲产生的离心力造成的水流对全程沿岸的冲刷，且弯道段后水流横向断面上流速分布不均，给出口消能工布置带来困难。

[0005] 此外，对于布置在弯曲河道的底流消能而言，上述各种措施均未考虑消能时或消能后弯道处水流仍带有余能，从而会与弯道段凹岸发生对冲，导致局部水流大幅度波动的情况，如何解决布置在弯曲河道的底流消能和水流控制的问题仍亟待研究。

发明内容

[0006] 针对现有消力池底流消能工难以实现对弯曲河道有效消能的技术现状，本发明提供了一种布置在弯曲河道的底流消能工，能够消除弯道消力池内回流强度高而造成的凹岸坡脚冲刷剧烈等泄洪风险。

[0007] 本发明的研究针对的是具有弯曲河道的消能工程，属于低沸汝德数Fr底流消能，鉴于低沸汝德数Fr底流消能的消能率通常较低，为了降低消力池工程量，本发明以直线型

消力前池为主消力池，以曲线型消力后池为辅消力池，将两者结合，实现对弯曲河道水流的消能。

[0008] 本发明提供的布置在弯曲河道的底流消能工，其沿“L”型弯曲河道纵向分为两级，包括布置于弯曲河道弯道段前的直线型主消力池和布置于弯道段的曲线型辅消力池；所述主消力池与辅消力池交接的位置布置有沿水流断面方向排布的导流-消力墩。

[0009] 上述布置在弯曲河道的底流消能工，规模较大的主消力池布置在弯道段前，采用规范推荐的等宽矩形断面，通过水跃完成大部分的消能工作，能缩小弯道部分辅消力池所需规模，并使流速满足导流-消力墩这一辅助消能工的要求，本发明中消力池内到达导流-消力墩前的水流流速应小于10m/s。辅消力池规模缩小可以降低水流自尾坎跌落幅度，使之与下游河道衔接更顺畅；且辅消力池曲线型布置在转弯段，能有效地控制弯道离心力的作用，降低池内流速，使水流较快地在横断面上重新均匀布置，使弯道部位的水流流态得到改善；在优先的实施方式中，辅消力池覆盖河道弯道段的最大曲率段。

[0010] 上述布置在弯曲河道的底流消能工，所述导流-消力墩相当于水流中的突体，增加了消力池内水流内部剪切、碰撞的紊动耗散强度，能再次降低进入弯道段的水流速度，进一步缩小辅消力池规模。在优选的实施方式中，导流-消力墩设计有朝向弯曲河道弯曲段凸岸的扭面，导流-消力墩与扭面衔接的上游连接段和下游连接段均为梯形断面，且下游连接段的梯形断面面积大于上游连接段的梯形面积。设置带扭面的导流-消力墩能引导控制水流偏向凸岸，在该断面上重新分配水流，削弱水流做曲线运动而引起弯段的横向环流强度和范围，并避免冲刷凹岸坡脚。

[0011] 上述布置在弯曲河道的底流消能工，所述辅消力池的结构尺寸可依据溢流堰各级流量和弯道段地形给出，应保证设计流量时池内与下游河道衔接可形成稳定可靠的流态。

[0012] 上述布置在弯曲河道的底流消能工，所述导流-消力墩的结构尺寸(墩高H、墩厚B及相邻两消力墩之间的墩间净距ΔL等)可依据溢流堰各级流量对应水深按照以下公式给出：

[0013] $H=0.2\sim0.4h$ (1)

[0014] $B=0.3\sim1.0H$ (2)

[0015] $\Delta L=0.4\sim0.75H$ (3)

[0016] 式中，h为布置导流-消力墩所在消力池处水深。

[0017] 上述布置在弯曲河道的底流消能工，所述导流-消力墩扭面的具体结构可以根据弯曲河道的具体情况进行设计，但需要能够引导控制水流偏向凸岸，改善水流在弯道段的稳定性，避免冲刷凹岸坡脚等要求。本发明中，扭面与弯道段最大曲率面大致相同。

[0018] 与现有技术相比，本发明具有以下有益效果：

[0019] (1)本发明布置在弯曲河道的底流消能工，由于在“L”型弯曲河道中布置直线型主消力池和曲线型辅消力池，并在主消力池和辅消力池衔接的位置布置消力墩，利用主、辅两级消力池与导流-消力墩相结合的控制技术，不仅能有效消除弯曲河道的底流消能中弯道段局部水流的大幅度波动，而且能妥善解决弯道段出来流与凹岸坡脚部位对冲进而影响坡岸稳定的问题。

[0020] (2)本发明布置在弯曲河道的底流消能工，主消力池通过水跃消能，将大部分能量消杀，流速明显降低至小于10m/s，从而确保消力池内形成稳定可靠的水流；此外，主消力池

的设置还可以缩小辅消力池所需规模,降低施工成本。

[0021] (3)本发明布置在弯曲河道的底流消能工,辅消力池能有效地控制弯道离心力的作用,降低池内流速,使水流较快地在横断面上重新均匀布置,使弯道部位的水流流太得到改善,与下游衔接更顺畅。

[0022] (4)本发明布置在弯曲河道的底流消能工,带扭面的导流-消力墩的设置,不仅具有一定的消能作用,从而减低水跃长度和下游水深,缩短辅消力池规模,降低造价;而且能够引导控制水流偏向凸岸,使水流在该断面上重新分配,从而使辅消力池中水跃在长度方向上不要移动,改善水跃的稳定性(即稳定水跃),消除因弯道段处坡脚冲刷强度高所产生的岸坡稳定风险。

附图说明

[0023] 图1为本发明布置在弯曲河道的底流消能工纵向剖面图。

[0024] 图2为图1溢洪道布置平面图。

[0025] 图3为导流-消力墩的立体结构示意图。

[0026] 图4为导流-消力墩的主视图(a)和后视图(b)。

[0027] 图5为图1中消能工在消能防冲工况时试验段流速分布矢量图。

[0028] 图6为图1中消能工在消能防冲工况时试验段左右岸水面线分布示意图。

[0029] 图7为直线型消力池的溢洪道布置结构纵向剖面图。

[0030] 图8为图7溢洪道布置平面图。

[0031] 图9为多级消力池的溢洪道布置平面图。

[0032] 图10为“L”型消力池的溢洪道布置平面图。

[0033] 在上述附图中,各图示的标号分别表示:①-溢洪道控制段,②-主消力池,③-导流-消力墩,④-辅消力池,⑤-下游尾坎。

具体实施方式

[0034] 以下将结合附图给出本发明实施例,并通过实施例对本发明的技术方案进行进一步的清楚、完整说明。显然,所述实施例仅仅是本发明的一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明内容,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动的前提下所得到的所有其它实施例,都属于本发明所保护的范围。

[0035] 实施例1

[0036] 本实施例针对的工程为具有弯曲河道的某座中型水利工程。溢流坝段位于河床中部,采用表孔溢流,底流消能形式。

[0037] 本实施例提供的布置在弯曲河道的底流消能工,如图1及图2所示,包括布置于弯曲河道弯道段前的直线型主消力池②和布置于弯道段的曲线型辅消力池④。主消力池②位于溢洪道控制段①的溢流坝坡下游,其进口与溢流坝坡采用跌坎连接;主消力池②采用规范推荐的等宽矩形断面。辅消力池曲线型布置在转弯段,且覆盖河道弯道段的最大曲率段(对应转角约为112°)。辅消力池④的末端设置有下游尾坎⑤。主消力池②与辅消力池④交接的位置布置有沿水流断面方向排布的4个导流-消力墩③。

[0038] 如图3及图4所示,导流-消力墩③设计有朝向弯曲河道弯曲段凸岸的扭面,导流-

消力墩与扭面衔接的上游连接段和下游连接段均为梯形断面，且下游连接段的梯形断面面积大于上游连接段的梯形面积。扭面与弯道段最大曲率面大致相同。导流-消力墩的结构尺寸(墩高H、墩厚B及相邻两消力墩之间的墩间净距ΔL等)可依据溢流堰各级流量对应水深按照以下公式给出：

[0039] $H=0.2\sim0.4h$ (1)

[0040] $B=0.3\sim1.0H$ (2)

[0041] $\Delta L=0.4\sim0.75H$ (3)

[0042] 式中，h为布置导流-消力墩所在消力池处水深。

[0043] 设置带扭面的导流-消力墩能引导控制水流偏向凸岸，在该断面上重新分配水流，削弱水流做曲线运动而引起弯段的横向环流强度和范围，并避免冲刷凹岸坡脚。

[0044] 本实施例中采用的布置在弯曲河道的底流消能工结构参数见表1中的方案4。

[0045] 表1布置在弯曲河道的底流消能工结构参数

[0046]

方案编号	布置形式	布置内容详述
方案 1	传统直线型消力池	消力池与溢流坝坡为反弧曲线相接，池长 50.25m，池净宽 26m，底板高程 510m，尾坎高程 515.5m。
方案 2	跌坎消力池+二道坝	消力池与溢流坝坡采用跌坎相接，底板高程 508m，尾坎较方案 1 不变，并以尾坎右侧为基点，于其下游 50m 处垂直河道中轴线布置二道坝，顶高程 512m。
方案 3	曲线型跌坎消力池	消力池与溢流坝坡跌坎相接，将方案 1 中尾坎沿下游弯曲河道调整 25m，底板高程 508m，消力池尾坎高程 514m。
方案 4	主、辅两级消力池+导流—消力墩	较方案 3，消力池直线段作为主消力池，在主消力池直线段末布置 4 个带扭面的导流-消力墩，顶高程 512m，形成主消力池跌坎式底流消能；消力池曲线段作为辅消力池调整段；辅消力池末端设计有下游尾坎，尾坎高程与方案 3 一致。

[0047] 经过试验研究，采用本实施例提供的主、辅两级消力池与导流-消力墩相结合的消能方法和控制技术，对流道内水流进行流态控制和能量消杀，试验控制工况即消能防冲工况(试验拟定消能防冲频率洪水(P＝3.3％)即上游水位548.0m、出库流量576m^3/s，闸门开度4.3m)下，消力池内水流流态整体稳定，高流速区发展至直线段末端后受导流-消力墩的影响而完全上浮且流速分布趋于均匀，不会直接对冲左岸弯道岸坡。导流-消力墩能够让弯道部位的水流衔接更顺畅，右岸弯道处的回流区基本消失。左岸弯道部位的最大水位壅高分别为519.5m，弯道下游的岸边表流速分别为3.90m/s；尾坎上平均流速分别为6.23m/s，消能率为72.0％，对调整消力池内水流结构和水跃发展作用较大。如图5所示的流速分布矢量图，强紊动区和水跃旋滚区均位于消力池直线段范围，水流在弯道范围内流速逐渐减小，消

能效果良好。如图6所示的左右岸水面线分布图，上游库区、泄洪闸进口、溢流曲线、消力池及下游河道等范围内，水流流态整体均匀、稳定，各部位水流衔接良好。设计频率洪水和校核频率洪水下，强紊动区和水跃旋滚区发展范围会相对增大，水跃高流速区在消力-导流墩处上浮后会继续发展，跃后波动区会发展至弯道，引起水面的局部壅高，但流速却相对较小。通过采用本实施例提供的布置在弯曲河道的底流消能工，溢流堰消能防冲设计洪水标准为30年一遇洪水，上游水位548.0m，相应下泄流量为576m^3/s；设计洪水标准为50年一遇洪水，设计洪水位548.04m，下泄流量为639m^3/s；校核洪水标准为500年一遇洪水，校核水位549.48m，相应下泄流量为869m^3/s。

[0048] 针对上述具有弯曲河道的某座中型水利工程，当采用如图7及图8所示的消能工(方案1)，即溢洪道控制段①的溢流坝坡下游布置直线型消力池，消力池进口与溢流坝坡采用反弧段曲线相接，消力池末端设消力坎，与下游弯曲河道转弯段衔接。消力池采用规范推荐的等宽矩形断面、传统直线型河道沿程未设置水流控制或消能的辅助措施。试验研究表明：在消能防冲洪水频率下，水跃会发展至中后部，消力池尾坎部位的平均水流流速为8.11m/s，综合消能率约68.8％，消能不充分，且水跃的旋滚区会发展至消力池尾坎，池内水流在尾坎处壅高后再跌落，跌落水流直接对冲左岸弯道的坡脚部位，然后形成水流壅高和旋滚，导致局部水流的波动幅度较大，影响右岸弯道部位岸坡的稳定性。

[0049] 若在图7和图8提供的消能工基础上，以图7和图8中的消力池作为第一级消力池，在下游设置二道坝，形成第一级消力池后方弯道部分的第二级消力池，采用多级消力池法(二道坝法)来进行弯曲河道上的底流消能模拟试验(方案2)，如图9所示。模型试验中观测消能防冲频率洪水(P＝3.3％)下的水流流态与流速分布，入池水流形成跌坎型底流消能模式，消力池前段水流紊动较强，临底高流速区在消力池中部便逐渐上浮，第一级消力池尾端设计的消力坎处(桩号0+84.0m)的流速平均值为7.27m/s；但此处水流仍呈跌流流态与第二级消力池衔接，虽跌落幅度相对减小，跌落水流仍会对冲左岸弯道坡脚，并形成局部涌浪和横轴旋滚，仍然可能影响该处岸坡的稳定性；二道坎处的水流平均流速为6.15m/s，该处的综合消能率为70.4％。试验研究发现，优化后的一级消力池的整体规模已基本满足要求，但一级消力池尾坎处的跌落水流对河道左岸弯道处岸坡的影响却始终无法避免，且二道坎与下游河道之间水流衔接呈跌流流态衔接。

[0050] 若将图7和图8中的消力池替换为“L”型消力池(方案3)，如图10所示，采用曲线型消力池法来进行“L”型弯曲河道上的底流消能。试验研究发现，该体型会消除原左岸弯道处的跌流流态，但主流会间或对冲至左岸弯道处，且在左岸弯道部位存在局部回流与壅高等流态；在右岸弯道处，会出现回流区，将消力池内主流推挤向右岸，继而会增大左岸的流速。消力池尾坎处实测水流平均流速为7.22m/s，与多级消力池法(二道坝法)中第一级消力池消力坎处平均流速基本相当。此外，尾坎处水流与下游河道水流之间的跌落幅度相对较大。即曲线型消力池法虽已基本满足消能防冲要求，但存在水流对冲消力池左岸弯道和右侧弯道处存在局部回流区等不利因素。

[0051] 从上述分析可以看出，相对于其余几种消能工，本实施例提供的布置在弯曲河道的底流消能工能有效消除弯曲河道的底流消能弯道段局部水流流态差、消力池内回流强度大、弯道段处坡脚冲刷强度高所产生的岸坡稳定风险，改善与下游河道的水流衔接状态。

[0052] 本发明列举实施例的具体实施方式旨在更进一步地阐明该发明的应用，但不限于

工程实例中的实施方式,也不对本发明的保护范围构成任何限制。

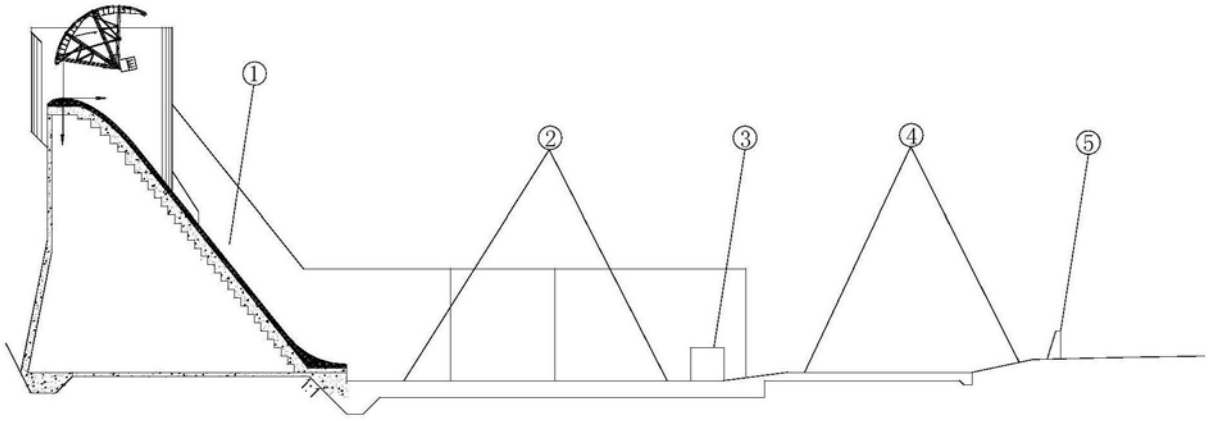


图1

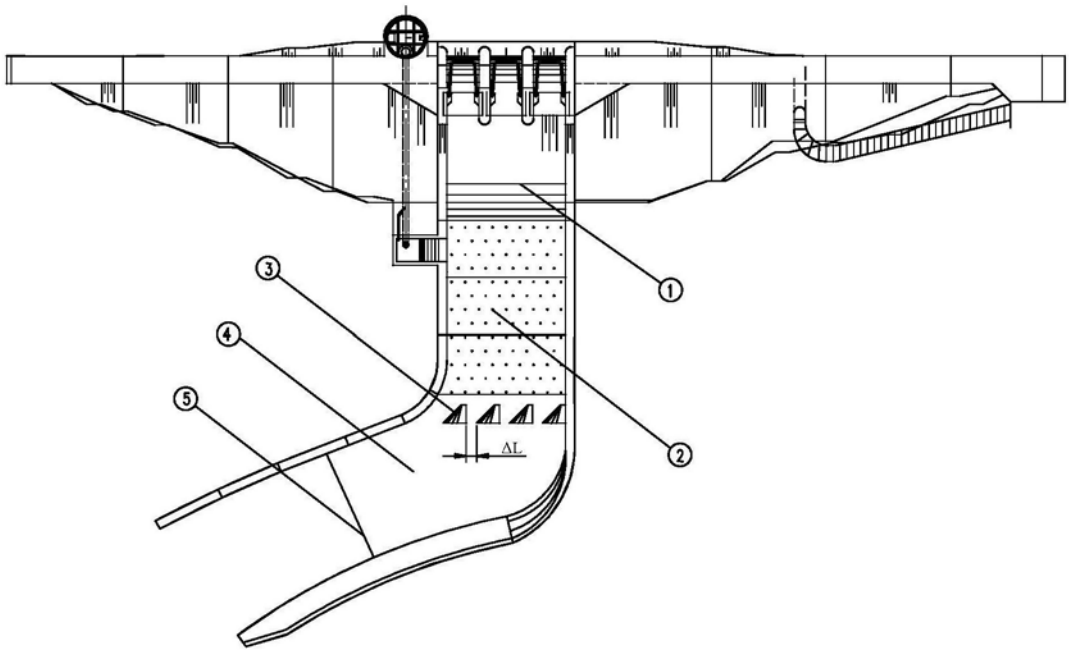


图2

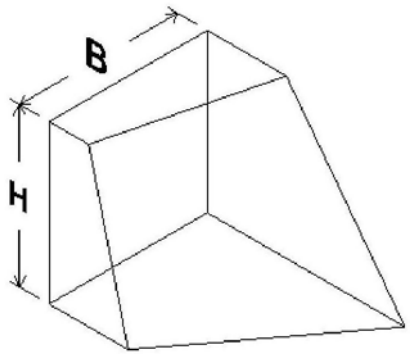


图3

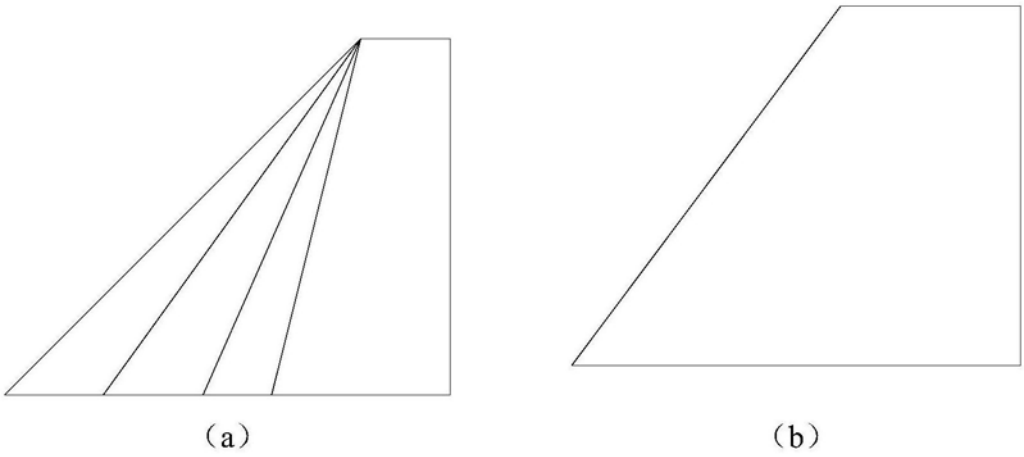

(a)
(b)

图4

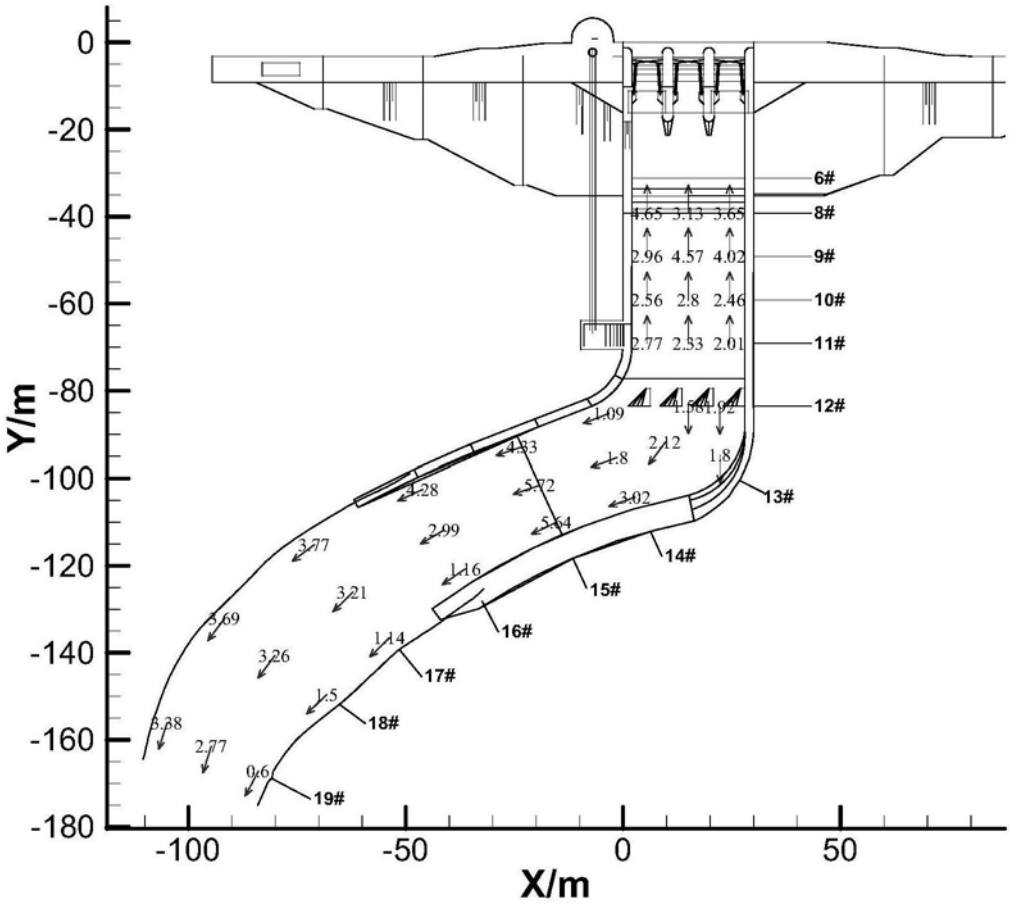

0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
-180
Y/m
-100
-50
0
50
X/m
6#
8#
9#
10#
11#
12#
13#
14#
15#
16#
17#
18#
19#
4.65 3.13 3.65
2.96 4.57 4.02
2.56 2.8 2.46
2.77 2.53 2.01
1.09
4.33
1.8
2.12
1.8
4.28
5.72
3.02
2.99
5.64
3.77
1.16
3.21
3.69
1.14
3.26
1.5
3.38
2.77
0.6

图5

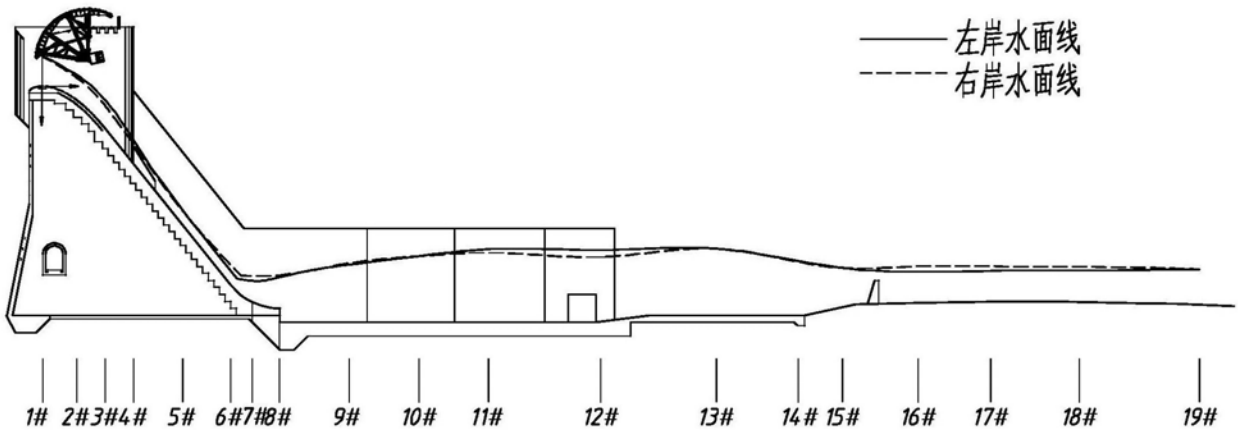


图6



图7

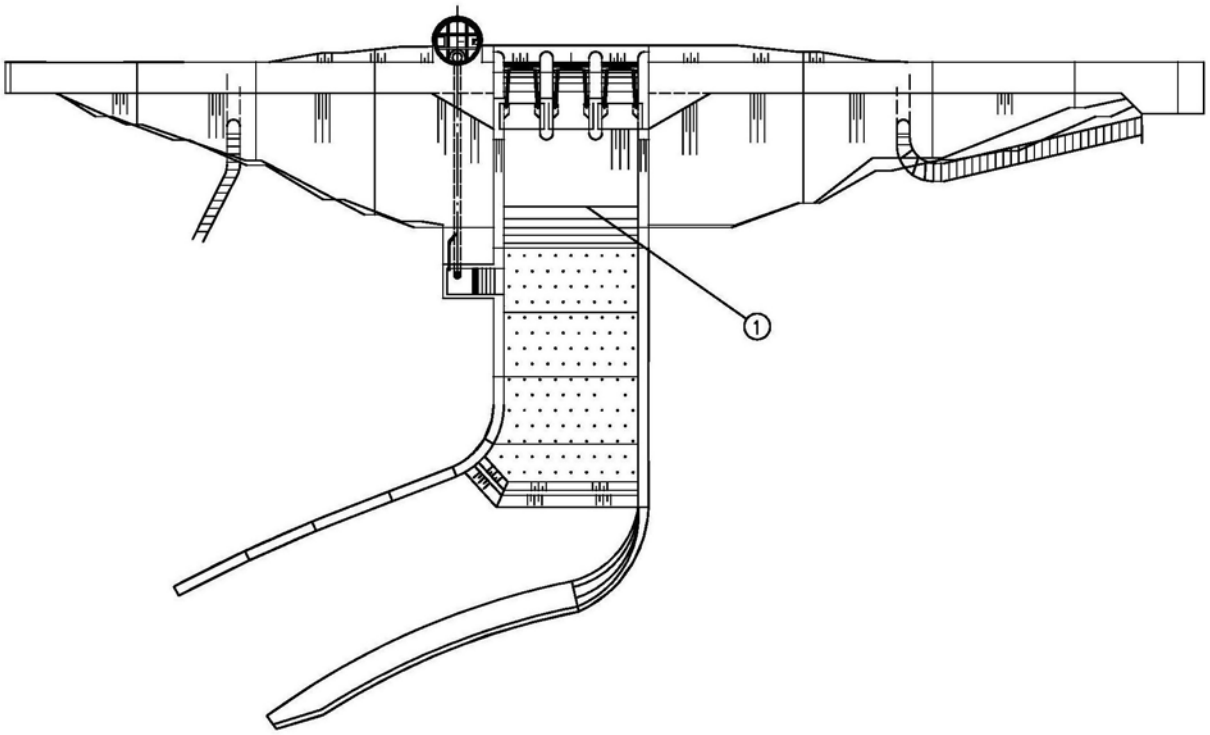


图8

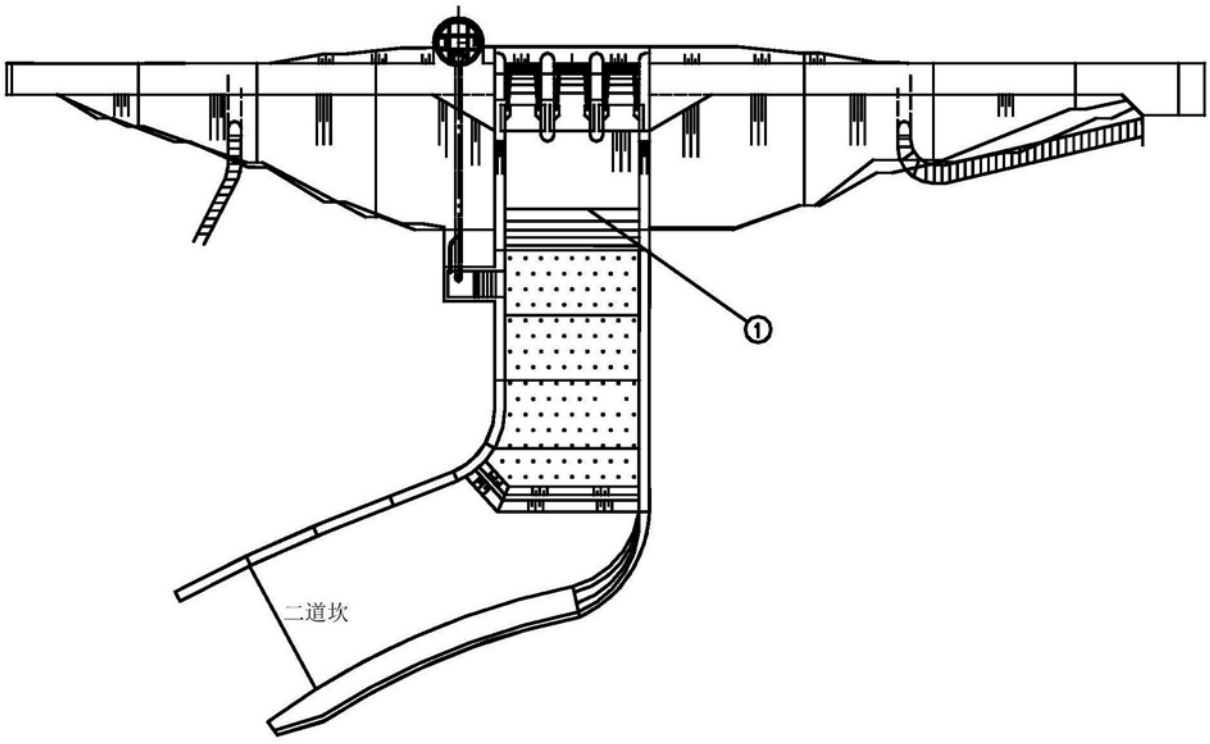


图9

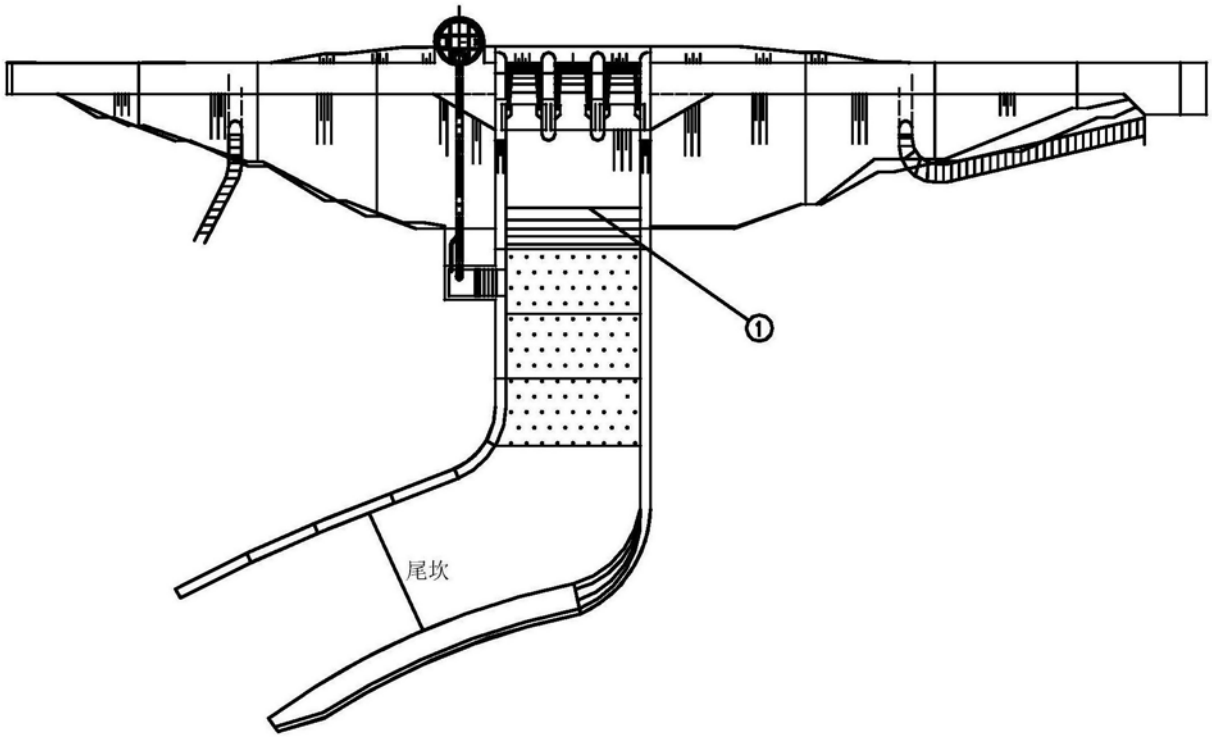


图10