

# 某水库工程底孔窄缝方案试验研究

闫路明

(重庆市水利电力建筑勘测设计研究院,重庆 401120)

**摘要:**受条件限制,某水库工程底孔只能将水舌挑入主河槽,而该孔口中心线与主河槽交角较大,同时为避免底孔水舌下缘冲击下游水垫塘二道坝,底孔水舌需越过二道坝。通过相关方案比选,综合考虑流态、挑距、流道无压段水深以及冲沙水位的设置等相关水力学指标,最终提出了只在无压段左边墙贴楔形体的解决方案,较好地解决了该工程底孔的泄洪消能问题。

**关键词:**窄缝挑坎;体型参数;水舌流态;挑距

**中图分类号:**P343.3;TV551.1+3;TV653+.4

**文献标识码:**B

**文章编号:**1001-2184(2017)02-0144-03

## 1 工程概述

某工程拦河大坝为抛物线型碾压混凝土双曲拱坝,坝体基本呈对称布置,最大坝高为85 m,坝顶宽8 m,坝底厚21.5 m。坝身泄洪系统由4个溢流表孔和1个泄洪冲沙兼放空底孔组成,均采用挑流消能方式。溢流表孔布置于主河床,堰顶与正常蓄水位同高,采用自由溢流方式,不设闸门;底孔(兼顾放空与冲沙)布置于左岸,进口处孔口尺寸为3×4 m(宽×高),出口为3×3 m(宽×高),设弧形工作闸门,最大下泄流量260 m<sup>3</sup>/s。

工程的主要难点在于:由于底孔末端与水垫塘二道坝距离相对较近,无法将底孔水舌完全挑入水垫塘而不对二道坝造成冲击,因此,需要将底孔水舌完全挑越过二道坝并且不对下游河道造成过强冲刷;而又要实现水舌的大幅挑射和纵向拉伸,需要在底孔无压段设置一定的侧收缩或者斜坡挑坎以实现水流的偏转并越过二道坝,但是这样做又将增大无压段水深并对弧形工作闸门牛腿造成部分淹没。因此需要综合考虑各个因素,权衡利弊,找出最优的解决方案,工程布置见图1。

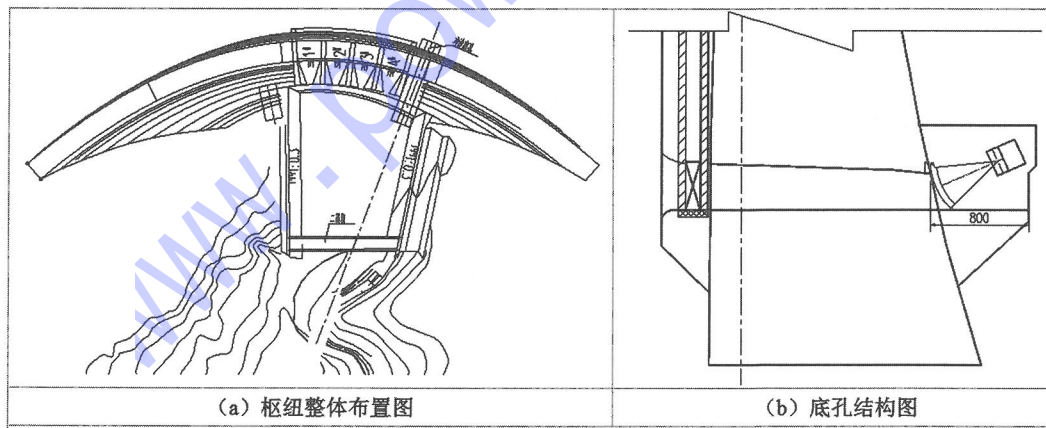


图1 工程布置图

## 2 体型参数

窄缝同宽尾墩一样,都是较为新式的消能型式,事实上,当前二者的差异已经相当小,二者之间的界限已经较为模糊。实际工程显示,窄缝的总体效果相对较好<sup>[1][2][3]</sup>。

窄缝挑坎有异于等宽挑坎,它是凭借过流边壁的束窄,迫使水流竖向扩散和纵向拉伸,同时加剧水体的紊动掺气,使两侧水流实现碰撞,提高消能效率并降低水体对于下游的掏刷。由于边墙的束窄,致使水面壅高,边墙水深沿程逐渐向上爬升,形成中间低、两侧高的凹形水面形态。

收稿日期:2017-02-25

试验模型为比尺 1:50 的正态模型,按重力相似准则设计。试验设计了 7 种方案(为增加出挑水舌下缘挑距,考虑在将方案 1、2、3 的底板增设一定高度的楔形体),底孔相关参变量如图 2 所示,具体方案设计见表 1。

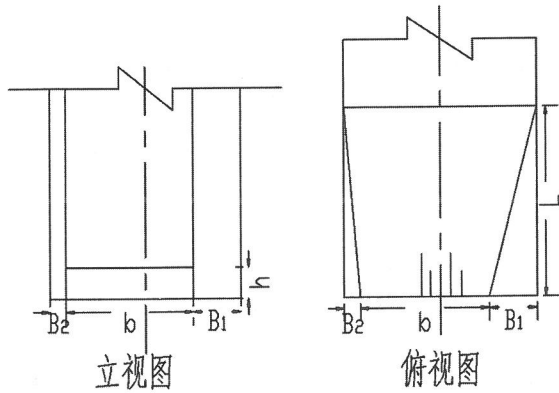


图 2 底孔参变量示意图

表 1 方案设计

方案编号	$L/m$	$h/m$	$B_1/m$	$B_2/m$	$b/m$
1	3.0	1.0	0.75	0.75	1.50
2	3.0	1.0	0.50	0.50	2.00
3	3.0	0.5	0.75	0.25	2.00
4	3.0	0	0.75	0	2.25
5	2.0	0	0.75	0	2.25
6	2.0	0	0.50	0	2.50
7	2.0	0	0.25	0	2.75

### 3 水舌流态及挑距

由于不同工况下,底孔泄流量差异相对较小,其流态以及挑距等均没有明显的差异,所以试验均选取正常工况对应的水头(为方便观察底孔水舌流态,实验过程中关闭表孔,图片中出现的表孔泄水是由于闸门止水不严密所致)对底孔窄缝体型进行试验。

不同方案下底孔水舌挑射形态见图 3,从不同体型时底孔水舌流态可以看出,窄缝的增设实现了出挑水流的竖向挤压与纵向拉伸,使得水舌落点面积增大,实现了能量的分散;极大程度地增加了底孔水舌的挑距,使水舌落点远离坝身,减小了对于大坝的不利影响。

方案 1、2、3 由于增设底部楔形体的缘故,其水舌下缘挑距较远,这一方面有利于大坝以及水垫塘的防冲,但是也在一定程度上减弱了窄缝的拉伸效果。

同时,试验观测表明,不需底板楔形体底孔水舌拉伸程度更好;方案 7 出射水舌纵向拉伸不明显,其落点相对集中,距泄洪消能建筑物也相对较近,而且水舌左缘转向相对微弱,出射水体几乎完全落在左岸凸起山体,其流态与完全不设置窄缝条件下差异较小;方案 5 侧向收缩速率相对于方案 6 为快,其水舌下缘极不稳定,这对于下游河道的防冲有不利影响。

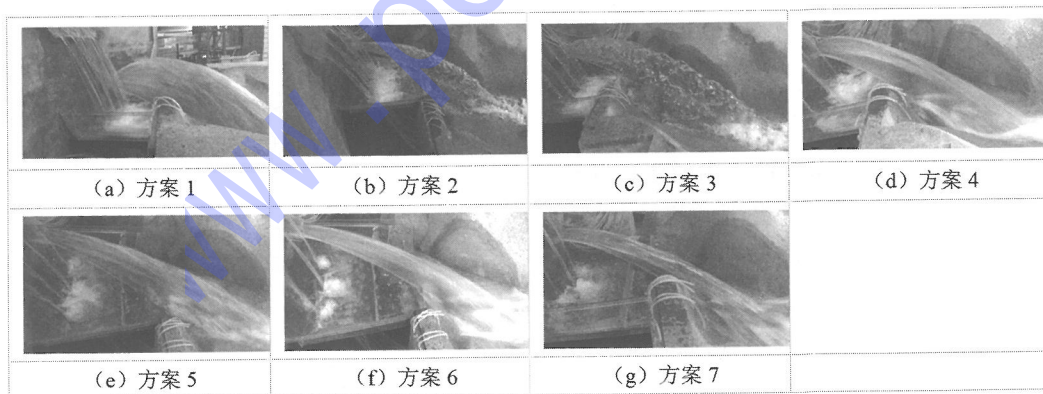


图 3 底孔出射水舌形态

### 4 无压段沿程水深

底孔有压段出口设置一弧形闸门,而其有压段后接无压段部分相对较短,故而设计要求其沿程水深不能过高,以免造成设计牛腿等方面的难题。所以,底孔无压段沿程水面曲线是一个需要重点研究的问题。同时,水舌挑距是一个衡量窄

缝消能防冲效果的重要指标,由于水垫塘设置尾坎的缘故,底孔水舌下缘需满足不能冲刷尾坎的条件,实验过程中也对库区水位逐渐下降直至底孔水舌运动至尾坎的库区水位进行了记录。

各方案下底孔无压段沿程水面曲线见图 4,试验同时测得了挑射水舌近端挑距  $L_1$ 、远端挑距

$L_2$  以及库区冲沙水位  $H$  (由于底孔兼具冲沙功能,所以需要测定能够实现冲沙的最低水位),相关试验数据见表2。

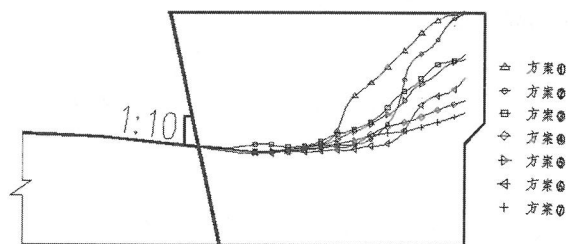


图4 底孔无压段沿程水面曲线  
表2 试验结果

方案	$L_1/m$	$L_2/m$	$H/m$
1	78.6	123.3	433.25
2	74.4	119.7	426.15
3	70.0	115.0	423.35
4	41.5	102.5	407.85
5	40.0	100.0	418.35
6	43.0	90.5	408.35
7	48.0	81.0	399.85

可以看到由于出口窄缝的缘故,方案1、2以及3虽然水舌最远挑距均较大,同时水舌落点偏离左岸凸起山体,这些都有利于避免出射水体冲击到河道左岸凸起山体,但是其无压段沿程水深均较大幅度地超过了设计弧形工作闸门牛腿,方案3由于底板设置有沿程抬升的挑坎的缘故,水面甚至几乎完全淹没牛腿;方案4由于取消底板挑坎以及右边墙收缩的缘故,水面有较大幅度的下降,但是依旧较大幅度地淹没了部分牛腿;方案5维持出口宽度不变,将收缩段长度由原来的3m缩减为2m,使得牛腿淹没幅度更剧,同时由于收缩比过大的原因,出射水体下缘极不稳定,使得库区水位在418.35m时水舌下缘就已经运动至尾坎;方案7由于仅在左边墙收缩了0.25m,所以沿程水深变幅较小,但是依旧对牛腿有轻微的冲击,从牛腿体型改动幅度大小方面考虑,可选择该方案,但是其不足之处是对下游河道冲刷相对较强;方案6水舌纵向拉伸相对较好,落点一定程度上偏离左岸凸体,位于河道中心线附近,虽然底孔无压段沿程水深一定程度上淹没了牛腿,但在试验过程中发现即使是完全不设置出口窄缝的情况下,依旧有轻微幅度的冲击牛腿现象,综合考虑各

项因素,最终采用了方案6。

## 5 结论

针对某工程底孔的泄洪消能问题,综合考虑流态、挑距、流道无压段水深以及冲沙水位的设置等相关水力学指标,最终提出了只在无压段左边墙贴楔形体的解决方案,较好地解决了该工程底孔的泄洪消能问题,同时得出如下结论:

(1)通过对不同体型的窄缝方案的研究发现,窄缝挑坎可以实现水流的竖向挤压与纵向拉伸,两侧水流在空中交汇碰撞,增强了水流的能量耗散;其出挑水舌落点分散,能够实现水流能量较为高效的分散,达到对下游河床与岸坡防冲的目的。

(2)不对称窄缝将原本对称设置的侧收缩结构根据工程的实际状况改为两边侧墙具有不同收缩宽度的型式,从而同步实现水流的拉伸与转向的目的。试验观察以及数据表明,不对称窄缝可以解决论文所述类似水库底孔水舌绕开下游河道岸边凸体的问题,并且实现了水流良好归槽以及分散落点的目的。

(3)常规窄缝挑坎由于侧壁收缩产生的冲击波问题,使得流道内水深变得较高,从而对挑坎边墙的高度提出了更高的要求,而且随着侧墙的提高,挑坎的倾覆危险系数也随着升高。

(4)不对称窄缝可以实现水流的自由转向,保证水舌顺利归槽的目的,但是由于挑坎结构的不对称,流道内水流将产生较为强烈的偏心作用,从而对挑坎结构的稳定提出了更高的要求。

### 参考文献:

- [1] 高季章.窄缝式消能工的消能特性和体型研究[C].水利水电科学研究院科学研究论文集(第13集).北京:水利电力出版社,1983,2;
- [2] 肖兴斌,王业红.高坝挑流消能设计研究与应用现状评述[J],长江水利教育,1998年第4期;
- [3] 高季章.伊朗坝工建设中一些值得借鉴的经验和教训[J],水力发电,1999年第4期.

### 作者简介:

闫路明(1982-),男,内蒙古通辽人,河海大学水文与水资源工程专业(本科),工程师,从事水文、规划工作。

(责任编辑:卓政昌)