

# 狭谷河床泄流与消能设计

吴达昌

(四川省水利水电勘测设计研究院,成都,610072)

**摘要** 本文就弗氏数较低的大河口电站狭谷高坝工程,在设计过程中如何解决泄洪消能问题作一简要介绍。

**关键词** 大河口工程 狭谷河床 高坝 低弗氏数 泄洪消能设计

## 1 概况

大河口电站所在河流——阿蓬江,是乌江一级支流,跨川鄂两省。发源于湖北省利川市毛坝区,流经朝阳寺后入四川省黔江县境,经冯家坝、濯河坝、两河镇、征潭等地至酉阳县龚滩镇注入乌江。干流全长249km,流域面积5140km<sup>2</sup>,坝址处控制流域面积4619km<sup>2</sup>。多年平均流量133m<sup>3</sup>/s,多年平均年径流量41.94亿m<sup>3</sup>。正常蓄水位385.00m,死水位369m,总库容1.15亿m<sup>3</sup>,调节库容0.43亿m<sup>3</sup>,属季调节水库,枯水期调节流量27.8m<sup>3</sup>/s。电站最大水头63.45m,最小水头47m,平均水头57.84m。保证出力1.38万kW,装机容量3×2.3万kW,年发电量3.58亿kW·h。

坝址处于高山狭谷地段,两岸地形对称,呈“V”形河谷,山坡陡峻,自然地形坡角50°~70°,山顶高程600~1200m。河谷狭窄,枯水期水面宽约40m,水深约5m,洪枯水位变幅达25m(一般20m左右)。

阿蓬江洪水多发生于每年5~9月,29年的水文系列中,实测最大洪水峰值为8780m<sup>3</sup>/s,经常发生的洪水为1000~3000m<sup>3</sup>/s,一般洪水历时1~3d,枢纽按五十年一遇洪水设计,五百年一遇洪水校核。经调洪计算洪峰流量值如表1。

坝址位于天馆背斜与威丰背斜间的濯河

坝向斜西南段,走向大致与河流垂直,岩层倾向上游,倾角68°~72°。坝区主要建筑物坐落于奥陶系下统红花园组灰岩及分乡组薄层灰岩夹页岩上,岩层致密坚硬,河床岩石较完整。坝后溢流段至冲刷坑一带,分布奥陶系下统分乡组、南津关组和寒武系上统地层,岩性主要为灰质白云岩、灰岩和白云岩。冲刷坑河段主要为抗冲力较强的灰岩组成,岩层走向与河谷近于正交。工程区内无大的断裂通过,但次级小断层及裂隙较发育,岩溶中等发育,冲刷坑附近还有断层高汇带,其抗冲流速约8~9m/s。

表1

洪水频率(%)	最大入库流量(m <sup>3</sup> /s)	下泄洪峰流量(m <sup>3</sup> /s)
0.2	12800	12500
2.0	8470	8300

## 2 枢纽布置

大河口电站主要建筑物有拦河坝、坝内式厂房、闸墩顶部户内式开关站、施工导流隧洞、排砂底孔等。拦河坝为悬臂式混凝土空腹重力坝,坝顶全长149m,坝顶高程394.00m,最大坝高85m。

河床共设5孔开敞式溢洪道,堰顶高程370m,孔口尺寸11m×16m(宽×高),前缘总宽77m,净宽55m。由于两岸河谷狭窄,为避

免两岸岸坡被冲刷,左、右两边孔为异形曲面 贴角连续鼻坎。见图1。

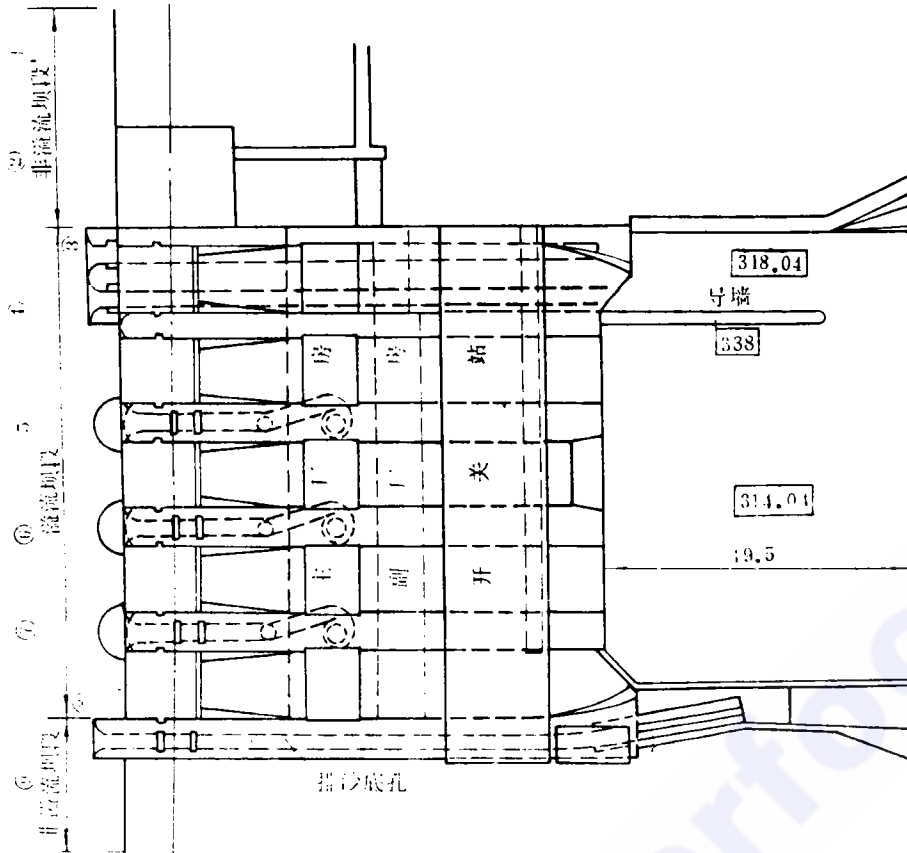


图1 枢纽平面布置图

大河口水库多年平均输砂量为152.6万t,水库30年后淤积州头高程367.2m(距大坝约10km),坝前淤积高程335.00m,为保证电站进水口“门前清”参加水库降水排砂、放空检修和施工后期导流,在溢流堰右侧设排砂底孔一个,进口底板高程330.00m,排砂底孔为无压深孔型,即前段为有压短管呈压板式渐缩形,末端孔口尺寸为2m×4.5m(宽×高),设平板工作门,其后紧接明流段再接反弧挑流段,以异形曲面贴角鼻坎将水流挑入河床中部,明流段断面尺寸为2m×8m(宽×高),排砂底孔长103.6m。当库水位为384.75m时,其泄量为273m<sup>3</sup>/s,当水库水位为377.75m时,泄量为253m<sup>3</sup>/s,当下泄总量超5800m<sup>3</sup>/s(约十年一遇)时,排砂底孔不参加泄洪。

为减缓泄洪水舌对下游河床及两岸的冲刷,避免形成堆丘,抬高尾水位,影响发电效益,1<sup>#</sup>(5<sup>#</sup>)、2<sup>#</sup>(4<sup>#</sup>)、3<sup>#</sup>孔除鼻坎挑角不同,分别为31.992°(扭曲鼻坎的最大挑角)、24.128°和13.6°外并在平面和高程上错开布置,以促使挑流水舌互相碰撞并尽可能使水舌纵向拉开,分散落水点,3<sup>#</sup>孔水舌内外、缘射程最小分别为7.2m,50.4m,1<sup>#</sup>(5<sup>#</sup>)孔内、外缘射程最远分别为48.0m和84m,2<sup>#</sup>(4<sup>#</sup>)孔内、外缘射程为44.4m和60m(以上射程为从鼻坎起至水舌入水面处水平距),可见水舌已纵向拉开。5孔全开时最大泄量为12500m<sup>3</sup>/s,相应上游水位392.47m,中间3孔单宽流量为195.2m<sup>3</sup>/s,两边孔鼻坎单宽流量为210m<sup>3</sup>/s。枢纽各泄洪建筑物的泄洪能力,包括电站引水流量144m<sup>3</sup>/s在内(不含

排砂底孔),当以五十年一遇洪水设计时为  $8300\text{m}^3/\text{s}$ ,相应上游水位  $387.12\text{m}$ ,鼻坎处单宽流量  $130\text{m}^3/\text{s}$ 。

由于河谷狭窄,冲坑附近存在横跨河床的  $f_{313}$  和  $f_{306-1}$  断层及顺河向断层  $f_{306}$ ,左岸岸坡有倾向河心的  $L_9$  裂隙。为防冲坑河段因上述不利因素而造成岸坡失稳;为加深下游冲

坑水垫,减少冲坑堆丘,防止尾水抬高减少发电效益。采用预挖冲刷坑的方式对坝下游  $147\text{m}$  范围内河床加以拓宽挖深(渐扩式),加宽宽度达  $80\text{m}$ ,开挖最低高程达  $307\text{m}$ ,同时对  $340\text{m}$  高程(五十年一遇洪水水位)以下用钢筋混凝土加锚杆护坡护底,并对断层破碎带及溶蚀带用混凝土塞加固。见图2。

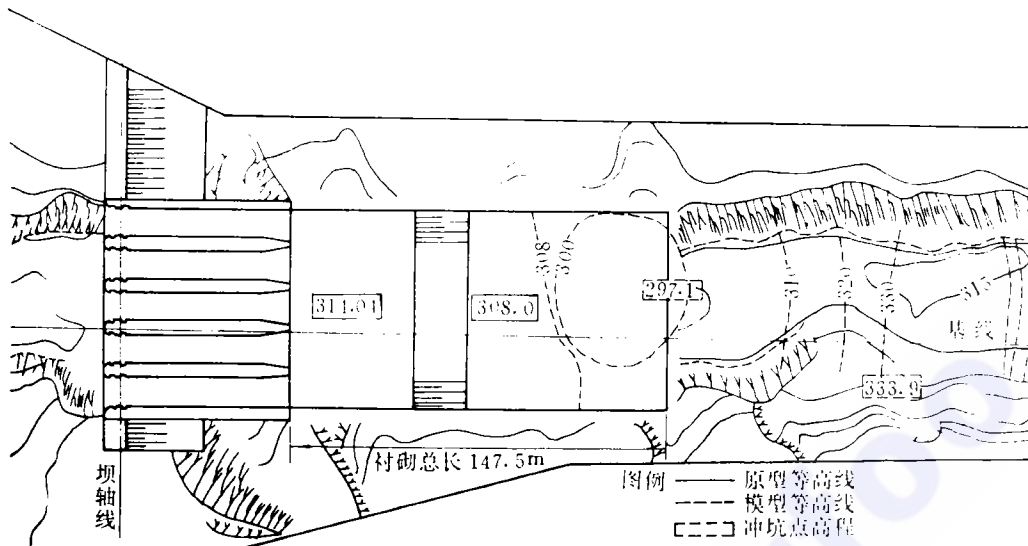


图2 校核洪水冲刷坑平面图  
( $Q_{核}=12800\text{m}^3/\text{s}$  坝下游预挖冲刷坑衬砌)

### 3 泄洪消能设计

大河口工程泄洪消能方案,曾结合总体布置对底流、面流、挑流等消能型式进行过比较研究,底流消能方案,鉴于工程量过大,予以放弃。

#### 3.1 面流消能方案存在的问题

- 不能在所有下泄流量情况下形成面流,面流对岸坡冲刷严重;
- 坝下游水位变幅较大,而鼻坎高程又受到坝内厂房空腹顶部及开关站,尾水检修闸门等的限制,对形成面流的可靠性难于保证;
- 面流水位波动激烈,对电站运行稳定有较大影响。

基于上述原因,故不采用面流消能方案。

挑流消能方案,工程量小,结构简单,施工方便,挑射距离较远,为最终选定方案。

#### 3.2 泄洪消能建筑物的布置原则

- 充分利用河床溢流坝泄洪,不宜布置岸边溢洪道,以减少开挖工程量和缩短工期
- 由于鼻坎处水流的弗氏数偏小,左、右两边孔溢流坝布置滑雪式溢洪道,对挑流水舌虽能在一定程度上纵向拉开,但对减少冲坑堆丘和冲坑深度效果甚微,而工程量增加较大,不宜采用。
- 在岸边布置泄洪隧洞,工程量和投资较大,地方电站难于承受,亦不宜采用。
- 针对河谷狭窄,利用冲坑河段基岩抗冲能力较强的特点,除采用预挖冲刷坑的方式加深水垫外,将挑流鼻坎在平面和高程上错开布置、各溢流孔采用不同的挑射角,使挑

流水舌沿流向纵向扩散。

e. 利用排砂底孔先泄小量洪水,以适当增加下游水深。

f. 尽量减少尾水波动,以免影响电站正常运行。

g. 尽量使冲坑下游的堆积物少、减缓抬高尾水位,少影响电站出力。

到表面光滑。

#### 4.2 消能防冲措施及效果

经上述措施后,再将1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>、4<sup>#</sup>、5<sup>#</sup>孔的中墩尾部分别缩窄1.0m、3<sup>#</sup>孔的内侧中墩缩窄1.97m,即挑流鼻坎处溢流净宽由55m逐渐扩大为58m。从而既减小了单宽流量,又促使各孔泄流水舌横向碰撞纵向拉开,增加了消能效果,改善了河床冲刷形态。

1. 厂房尾水区在冲坑形成后均无大浪起伏,水面比较平稳,但水流紊乱呈较小的回流区,流速仅为1~3m/s。

2. 水工模型对坝下游预挖冲刷坑混凝土衬砌、预挖冲刷坑不衬砌和不预挖(即为天然河床)这三种情况,进行了渲泄校核洪水(12 800m<sup>3</sup>/s)及设计洪水(8 470m<sup>3</sup>/s)的消能冲刷对比试验在五十年一遇设计洪水情况下,第三种情况较第一种情况堆丘高出10.4m,电站尾水位高出2.056m冲坑后坡三种情况分别为1:21.5、1:10.77、1:12.2,均远小于 $t/L=1:3\sim 1:6$ 的允许值,较第二种情况堆丘高出4m,尾水位高出1.064m,可见预挖冲刷坑可以减少堆丘方量和堆丘高程,对降低厂房尾水位、增加发电水头和出力有明显效果。见表2、表3。

### 4 模型试验情况及运行方式

大河口电站的枢纽布置及泄洪消能设计,曾作过多次水工模型试验,反复比较过多种方案,并作过多次改进,排砂底孔亦作过试验比较改进,最后选用了目前这种流态较好的方案。模型试验表明:

#### 4.1 溢流面的空蚀问题

高速水流是否发生空蚀现象,通常用气穴数来判断。一般当气穴数 $\sigma=0.1\sim 0.3$ 时,即须密切注意是否会发生空蚀现象。减免空蚀的主要措施首先是选用了合理的溢流面WES曲线,方程式为 $x^{1.85}=25.521y$ 。通过模型试验表明,在各种水位流量下,闸门全开或局部开启,溢流面均未出现负压或空蚀现象;其次要求施工应严格控制堰面平整度达

表 2 冲刷坑特征值表

试验工况	流量 (m <sup>3</sup> /s)	库水位 (m)	厂尾水位(m)		冲刷坑特征值						堆丘最高 高程 (m)	说 明
			冲 前	冲 后	总挑距 (m)	冲坑最 低点高程 (m)	冲坑深 度 (m)	冲 坑 后 坡	不冲刷 全长度 (m)	基岩顶 高程 (m)		
坝下游预挖冲刷坑衬砌	8470	387.776	338.680	339.464	133.5	308.30	6.2	1:21.5	93	314.5	323.5	坝下游衬砌总 长度(坝踵至预 挖冲坑末端) 为:147.5m。
	12800	392.472	342.176	344.816	149.5	297.10	16.4	1:8.14	93.5	313.5	333.9	
坝下游预挖冲刷坑不衬砌	8470	387.776	338.68	340.456	115.9	303.1	11.4	1:10.77	67.1	314.5	329.9	
	12800	392.472	342.176	345.504	139.5	297.1	16.4	1:8.5	93.0	313.5	334.7	
坝下游天然河床	8470	387.776	338.68	341.52	114.3	305.1	9.4	1:12.2	68.7	314.5	333.9	
	12800	392.472	342.176	346.392	133.5	297.1	16.4	1:8.14	67.1	313.5	337.5	

表 3 联合运行水舌特征值

试验工况	流 量 (m <sup>3</sup> /s)	水舌特征值			水舌距整治岸坡平距(m)		水舌至马道(高程 345m)的平距
		水舌射程(m)		入水宽 (m)	左 岸	右 岸	
		内 缘	外 缘				
全开五孔闸门,发电 150m <sup>3</sup> /s关冲砂底孔。	12800	16.8	84.0	64.0	4.0	9.6	
	8470	20.0	73.6	42.4	16.0	21.6	

(下转第61页)

表 4 仓面保护标准及措施

浇筑温度℃	7°		10°		15°	
仓面暴露时间(d)	<7	>20	<7	>20	<7	>20
表面保护标准(β)	4.8	13.34	3.5	9.21	2.54	5.33
拟采用材料及β值	一层 3.45	不需	一层 3.45	不需	两层 2.51	一层 3.45

注：一层、二层系指单膜单泡气垫薄膜的层数。

表面保护可在每年 11 月份开始实施。上述保温材料亦可用 5cm 厚草帘代替。

### 3.3 综合温控措施

高温季节加冰拌和，4 月、10 月加冰量 20kg/m<sup>3</sup> 左右，5~9 月加冰量 50kg/m<sup>3</sup> 左右。骨料成品全架设棚架，减少日光辐射热，成品堆高最好大于 6m，成品仓至拌和楼皮带机表面覆盖，并于棚架上淋水或喷雾，水池表面设棚架覆盖。减少砼成品转运次数，尽量使运料车装载砼深度大于 40cm，车厢尽可能刷成白色，最大限度减少运输过程中的温度回升。6~8 月应选择 18h 后至翌日 10h 前浇筑砼，以避免高温时段。仓面喷雾或流水养护，所有廊道、孔洞在 11 月至翌年 3 月均应挂草帘封闭。

## 4 体 会

### 1. 空腹坝的横缝设置和实体坝是相同

(收稿日期:19950123)

## Temperature Control for Hollow Gravity Dam at Dahekou Hydropower Station

Zhou Wuping

(Sichuan Hydroelectric Investigation and Design Research Institute)

**Abstract** Based on temperature control design of Dahekou hydropower station, the main methods and measures for temperature control of complex dam type with hyperstatic structure are presented.

**Key Words** hollow gravity dam temperature control design measures for temperature control

(上接第 46 页)

### 5 结束语

综上所述，通过整体水工模型试验表明：选定的大河口泄洪消能布置，消能效果较好，冲刷坑小，冲碴淤积量少。五十年一遇设计洪

的，主要由水工建筑物的布置要求决定。而纵缝布置则和坝体温度应力有直接关系，对坝体的温度控制也有其特殊要求。

2. 在空腹封顶以前，前后腿分开浇筑，大体上可认为是能够自由变形的静定结构，温度应力较小。空腹封顶以后，如果空腹以上不设纵缝，采取通仓浇筑，则从封顶开始，坝体形成整体，变为超静定结构，由于砼温度变化而开始产生较大温度应力。对此，本工程拱顶设置两条斜缝，较好地解决了这一问题。对比风滩、牛路岭、枫树坝、石泉等工程空腹坝的纵缝设置和温度控制，大河口电站空腹坝的纵缝设置和温度控制具备以下特点：仓面面积适中，与砼浇筑水平适应，避免出现冷缝；前仓、中仓、后仓分别上升，对抢渡汛面貌有利，空腹顶拱斜缝的存在，可使上游坝踵，尤其是空腹上游侧有利的自重压应力加大。

3. 空腹重力坝属重力坝的一种特殊坝型。近年来运用较少，其主要原因为结构复杂，工期稍长，温控要求较高等。但其优点亦十分明显。就目前施工水平而言，只要合理组织，充分重视，定能扬长避短，达到费用省，质量高，速度快之目的。

(收稿日期:19950123)

水冲碴淤积后仅壅高电厂尾水 1.0m，十年一遇洪水 5 090m<sup>3</sup>/s 不壅高电厂尾水。挑流水舌横向宽度与预挖河床水面宽度相当，不直接冲砸岸坡。大河口工程以五十年一遇洪水作为消能防冲设计标准，选定的泄洪消能布置，是能够满足要求的。

(收稿日期:19950125)