

古仙洞拱坝消能防冲设计模型试验研究

张升堂¹, 梁引乐¹, 刘儒博¹, 郭传金², 刘 音¹, 成全之¹

(1. 西北农林科技大学职业技术学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 山东省水利学校, 山东 曲阜 273100)

摘要:以陕西省平利县古仙洞浆砌石双曲薄拱坝的坝顶溢流消能防冲设计为试验对象, 建立水工模型进行原消能方案及几种改进方案的对比试验研究, 以此为基础提出宽尾墩加分流墩综合式消能工. 该消能工可使古仙洞拱坝在校核洪水时的下游冲坑深度减小 40%, 是一种实用高效的新型消能形式.

关键词:拱坝; 消能; 模型试验

中图分类号:TV135.2+3 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7647(2003)01-0032-03

1 工程概况

古仙洞水库大坝坐落于陕西省平利县冲河乡冲河村, 位于县城上游 11 km 处的冲河上段. 大坝为浆砌石双曲拱坝, 坝顶弦长 161.33 m, 最大坝高 61.4 m. 坝顶高程为 516.4 m. 坝顶中部设有 5 孔净宽各 10 m 的 WES 曲线型实用堰泄洪, 堰顶装 6 × 10 m 弧形闸门, 溢流堰顶高程 510.0 m, 水库大坝正常挡水位 516.0 m, 总库容 2834 万 m³, 有效库容 2024 万 m³. 工程按 50 年一遇洪水设计, 500 年一遇洪水校核; 设计洪水位 514.88 m, 校核洪水位 516.4 m, 设计最大下泄流量 1662 m³/s, 相当下泄洪水功率 82 252 kW, 泄洪方式主要为坝面自由溢流, 采用挑流方式消能^[1].

大坝所处地区属南秦岭加里东褶皱带, 地层岩性主要为下古生界火山建造及类复理石建造. 岩性为一套浅变质的片岩、千枚岩, 少量灰岩及炭质岩系, 库区及坝趾均为震旦系陕西群下亚群地层, 岩性为绢云母石英片岩、钠长石英片岩、凝灰质斜长石砂岩等. 右坝肩山体单薄, 坝后有一蠕变体山包, 三面凌空, 溢流堰右边孔下泄水流很可能冲击这一临空山包, 同时水库位于县城上游, 安全至关重要, 因而提出消能防冲问题. 在初设完成后, 安排进行了古仙洞拱坝坝体消能防冲水工模型试验.

2 模型设计

模型按重力相似准则设计, 根据原型数据、试验场地及供水条件选取模型比尺为 1:60, 对河床岩石的冲刷的模拟, 根据委托单位提供的岩石节理块尺

寸资料, 采用与原型岩块密度相同的动床材料, 由几何尺寸缩制法^[2]、再适当考虑岩块之间的“咬合力”, 以及类比同类工程最后确定动床材料模型砂粒径 $d = 20 \sim 25$ mm. 根据地形资料, 模拟坝下游河道长度取 220 m, 上游库区按地形沿河道流向干砌出 240 m 库区地形. 溢流堰采用有机玻璃加工制作, 右边孔和中孔溢流坝面各布置 9 个测压孔 (见图 1, 从左至右编号分别为 1, 2, …, 9 号测压孔), 用以观测坝面压强分布情况.

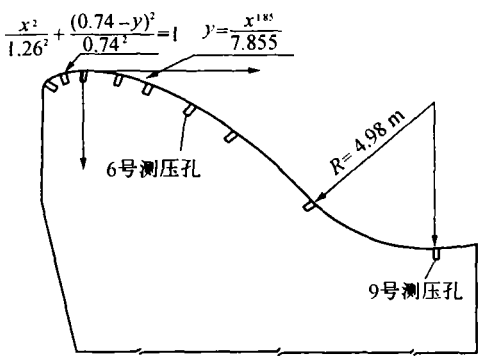


图 1 溢流堰剖面图

3 原设计消能方案模型试验

原设计消能方案采用连续式鼻坎挑流消能, 如图 1 所示, 定型水头 $H = 5$ m, 反弧半径 $R = 4.98$ m, 鼻坎挑射角 $\theta = 15^\circ$, 反弧角度 51.12° , 挑流鼻坎高程 $Z = 504.05$ m. 对原设计消能方案的泄流能力和消能效果通过试验进行了分析研究, 试验数据见表 1.

由表 1 可以看出, 连续式鼻坎挑流消能有以下不足:

作者简介: 张升堂(1970—), 男, 陕西西安人, 副教授, 博士, 主要从事农业水土工程研究.

表 1 原消能方案模型试验数据

试验次序	库水位 /m	流量 / (m³·s⁻¹)	冲坑深 /m	挑距 /m	冲坑上游坡	水舌入水角 / (°)	入水宽度 /m	最大压强 /kPa	最小压强 /kPa
1	516.31	1665.9	24.7	50	1:2.0	50	48.6	74.15	-4.12
2	515.79	1468.1	22.2	50	1:2.3	50	48.0	70.27	-0.39
3	514.83	1090.0	18.1	47	1:2.6	55	46.2	58.80	0.88
4	512.93	493.0	6.9	40	1:5.8	65	37.8	29.69	4.02
5	512.08	303.3	4.2	36	1:8.6	65	33.9	18.52	3.23
6	511.01	97.0	3.4	35	1:10.3	70	31.8	10.29	6.17

注:最大压强出现在 9 号测孔,最小压强出现在 6 号测孔。

a. 挑射水流水舌纵向入水集中,对下游河床冲刷剧烈,校核洪水流量时冲坑深达 24.7 m,冲坑上游坡度达到 1/2,严重威胁到坝体安全。

b. 其堰剖面反弧半径不能适应流量大于设计洪水时的挑射水流的要求,堰面水流在反弧处不形成下凹起跳的趋势,致使水流直接跌落,射程不随流量加大而增大。

c. 大流量泄流时,堰失去对水流的导向约束作用,水流归槽性差,边孔水流横向扩散,致使右边孔挑射水流直接冲击坝后临空山包。

d. 溢流堰堰面有负压出现。

由于存在上述不足,原消能方案的消能效果并不理想,应加以修改。同时,通过试验观测发现拱坝挑射水流由于向心集中作用,入水单宽流量大于溢流堰上的单宽流量,下游水垫的消能作用微弱,所以改善拱坝挑流消能效果的有效措施是解决好水流集中入水问题,修改方案应以能促使挑射水流纵向错开,分散入水点,提高挑射水流的空中掺气消能效果,减轻对河床的冲刷为目的。

4 修改方案模型试验

考虑到宽尾墩与分流墩这两种辅助消能工能使水流纵向散开,提高挑射水流空中掺气消能效果^[3],又无须对原方案作大规模变动,因此对各溢流孔加设宽尾墩消能工和分流墩消能工分别进行模型试验研究。宽尾墩的形式和尺寸确定主要有以下两个体型参数^[4]:

闸室宽度收缩比:

$$\beta = \frac{B'}{B} = \frac{B - (b' - b)}{B} \quad (1)$$

墩尾扩大角:

$$\theta = \arctan \frac{b' - b}{2L} \quad (2)$$

式中符号含义见图 2。

选取若干组体型参数取值分别进行模型试验,对消能效果进行比较分析。结果表明 $\theta = 15^\circ$, $\beta = 0.825$ 时,宽尾墩消能工取得最佳消能效果,在校核洪水条件下,冲坑深度 $T = 18.46$ m 为最小值。同理

进行分流墩体型设计,为了简化结构便于施工,采用如下设置:每闸孔中央设置一分流墩,位于挑流鼻坎之上,宽度为闸室宽度的 1/3,分流墩顶部水平,分流墩高度 h 系由挑坎最低点到顶部的垂直距离(见图 3),分别取若干组墩高进行模型试验。试验表明:分流墩高度 $h = 3.1$ m 时,其下游冲坑深度最小,校核洪水条件下为 $T = 16.73$ m。

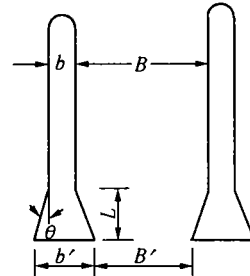


图 2 宽尾墩断面

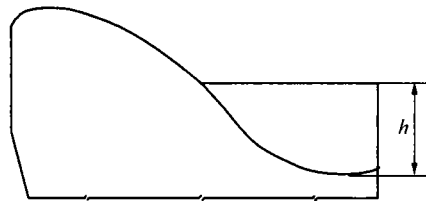


图 3 分流墩体型

但宽尾墩与分流墩这两种辅助消能工单独应用于本工程时,分别存在以下缺陷:分流墩挑射水流归槽性很差;宽尾墩消能工在大流量时消能效果不显著。同时在试验中发现宽尾墩和分流墩存在很强的互补性:分流墩对挑射水流导向性差而宽尾墩很强;宽尾墩在本工程中,当出现大流量时未能纵向拉开挑射水流,使水流落点集中,而分流墩能在纵向上充分拉开水舌,提高水舌在下游水面的入水面积,降低单位面积入水量。于是提出综合采用二者的宽尾墩加分流墩综合式消能方案。

5 宽尾墩加分流墩综合式消能方案

利用宽尾墩对水流有较强的导向作用这一特点,左右边孔布设宽尾墩,提高水流归槽性;二、四孔布设分流墩纵向拉开水舌;通过对比分析宽尾墩和分流墩模型试验实测数据发现,如中孔采用宽尾墩可使中孔水舌落点与二、四孔水舌落点更进一步纵向拉开,所以中孔采用宽尾墩。其具体布置如下:一、三、五孔采用直线型宽尾墩,墩尾扩大角 $\theta = 15^\circ$,闸室收缩比 $\beta = 0.825$;二、四孔采用分流墩,墩宽为闸室宽度的 1/3,墩高 3.1 m,分别设置在每孔中央(见图 4),建立模型进行试验,数据见表 2。

综合式消能方案与原方案、宽尾墩方案和分流墩方案在校核流量下消能效果比较见表 3。

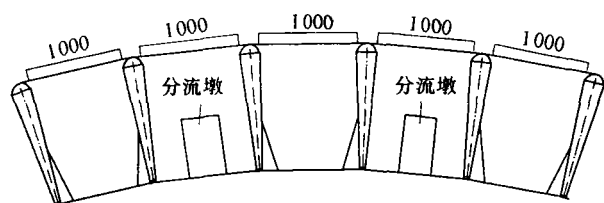


图4 综合式消能方案布设

表2 综合式消能方案模型试验观测数据

流量 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	库水位 /m	冲坑深 /m	挑距 /m	水舌宽 /m	水舌厚 /m	冲坑范围 /m	最大压强 /kPa	冲坑上游坡	流量系数
1664.2	516.34	14.12	47	38.4	10.8	15~75	82.32	1:3.33	0.477
1458.7	515.87	11.93	42	37.8	10.8	15~65	76.44	1:3.52	0.488
1085.0	514.85	10.61	37	34.8	8.4	20~60	76.44	1:3.49	0.483
500.1	512.98	2.85	35	30.6	7.2	25~45	32.34	1:12.30	0.472
99.9	511.06	*	*	33.0	8.4	*	15.68	*	0.434

注: * 号表示流量小时,模型无明显冲坑,致使相关量无法测定;最大压强出现在9号测孔。

表3 校核流量下四种消能方案效果比较

方案	流量 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	冲坑深 /m	挑距 /m	冲坑上游坡	最大压强 /m	负压 /kPa	水舌入水厚度/m
原方案	1665.9	24.70	50	1:2.00	7.74	4.12	
宽尾墩	1679.0	18.80	50	1:2.66	8.10	无	4.8
分流墩	1680.0	17.12	46	1:2.69	2.80	无	10.8
综合式	1664.2	14.12	47	1:3.33	8.40	无	10.8

注:表中水舌入水厚度指水舌落入下游水面时,水舌前缘到后缘的距离。在原方案下挑射水流呈透明层状流出,无明显纵向扩散,故在模型试验时并未测量其水舌入水厚度。

由表3可见,综合式消能方案的冲坑、挑距、冲

坑上游坡等指标与其它消能方案比较更为合理,在校核流量下使冲坑上游坡达到1:3.33,符合工程安全要求。

6 结 论

a. 原方案的消能效果达不到工程安全要求标准,须加以改进。

b. 宽尾墩加分流墩综合消能工具有较强的水流归槽性,能有效地在竖向和顺水流方向使水流充分扩散,显著减轻下游河床冲刷,是古仙洞拱坝理想的推荐消能布置方案。

c. 结合实际灵活地利用消能原理,采取各种综合措施,可以有效地解决薄拱坝泄洪消能问题。

参考文献:

- [1] 陈青生.高拱坝泄洪方式的分类及坝身泄水建筑物的设计[J].水利水电科技进展,2001,21(5):17~19.
- [2] 艾克明.拱坝泄洪与消能的水力设计和计算[M].北京:水利电力出版社,1987.
- [3] 郭子中.消能防冲原理与水力设计[M].北京:科学出版社,1982.
- [4] 黄启明.利用宽尾墩提高溢流坝消能效果试验研究[A].泄水建筑物消能防冲论文集[C].北京:水利出版社,1980.501~512.

(收稿日期:2002-01-30 编辑:熊水斌)

(上接第13页)

的一个重要环境参数.对于一般水样,其氧化率可达90%左右,对于大多数类型的工业废水,其测定很有效.在1998年以前,黄河仅在污染严重的支流实施 COD_{Cr} 监测,而干流普遍应用 COD_{Mn} 和 BOD_5 等反应水体有机污染. COD_{Mn} 对一般水样的氧化率为40%左右.随着黄河水质的污染逐年加重,有些污染参数(如 COD_{Mn}),由于方法所限,对污染的反应并不是十分敏感,同时因为国家逐步实施主要污染物排放浓度控制和总量控制的两轨制制度,以及水资源保护管理规划的需要, COD_{Cr} 作为最主要的控制参数,于1998年在黄河干流省界水体断面实施监测.因 COD_{Cr} 是一个涉及水中和悬浮物有机污染总量的监测参数,因此同样遇到黄河泥沙的影响问题.鉴于 COD_{Cr} 监测在黄河水质评价与管理中的重要性,针对黄河 COD_{Cr} 监测所遇到的问题,设置专题研究项目,就黄河 COD_{Cr} 监测的样品采集、保存、前处理和分析进行了深入细致的研究,并就泥沙对 COD_{Cr} 测定影响机理进行了探讨.研究内容包括:①不同保存条件(不同加酸量)不同含沙量对 COD_{Cr} 测定的影响;②不同水样(原状河水水样,澄清去除泥沙水样,离

心去除泥沙水样,加保存剂后的澄清水样) COD_{Cr} 测定结果分析;③不同样品 COD_{Cr} 测定对其污染代表性分析;④泥沙有机质对 COD_{Cr} 测定的影响及相关关系;⑤泥沙对不同外来有机污染物的吸附实验;⑥黄河非汛期不同水样 COD_{Cr} 监测结果对比分析;⑦黄河 COD_{Cr} 监测及评价的代表性水样建议;⑧黄河水环境监测亟待解决问题及建议。

4 结 语

黄河泥沙对水环境监测与评价管理带来了一般河流所不具有的特殊问题.对于这样一条河流,研究水沙与水环境的关系,黄河水沙运动特点以及泥沙对污染物的污染化学行为、迁移转化规律的影响,是黄河水资源保护研究的重要工作。

(收稿日期:2002-06-13 编辑:傅伟群)

