

# 若干拱网消能工与普通消力池工程实例的经济分析

尹志刚<sup>1</sup>, 左战军<sup>1</sup>, 刘春友<sup>1</sup>, 张旭<sup>2</sup>

(1. 长春工程学院水利与环境学院, 吉林 长春 130012; 2. 通辽市水利科学研究所, 内蒙古 通辽 010010)

**摘要** 针对渠系建筑物涵闸下游水流特点, 认为渠系建筑物涵闸下游可采用一种适合于低弗氏数消能的新型消能结构——拱网消力池, 并对通辽西辽河灌区先锋支渠、孟家段干渠和太平河水库泄洪洞采用拱网消能的工程实例进行了分析。结果表明, 与普通消力池相比, 拱网消力池的池长可缩短 50% 以上, 池深可减少约 30%, 且消能率可提高 20% 以上, 比普通消能措施节省工程造价 30% 以上。

**关键词** 渠系建筑物; 拱网; 消力池; 经济分析; 工程造价

**中图分类号** TV51      **文献标识码** A      **文章编号** 1003-9511(2008)02-0030-03

在众多的低水头水工建筑物中, 特别是渠系建筑物中的涵闸下游, 大多采用底流消能。调查表明, 按传统方法设计的消力池工程造价高, 冲刷严重。如, 仅吉林省各大灌区有 7000 余座涵闸下游采用普通消力池消能, 而因冲刷造成破坏者达 60%<sup>[1]</sup>。关于低弗氏数消能的研究已有很多成果, 如 T 形墩、梳齿等。美国垦务局研究的 USBR 系列消力池也适用于低弗氏数消能。但以往的研究多以大中型工程为重点, 小型工程特别是渠系过水建筑物的消能研究较少。拱网适用于低佛氏数底流消能的辅助消能工, 它特别适合于小型工程尤其是渠系建筑物。侯庆国<sup>[2]</sup>、杨敏等<sup>[3]</sup>对拱网的水力特性、消能效率做了系列模型试验, 得出很多有益结论。但上述研究大多集中在对拱网消能工水力特性的研究上, 对于拱网消能工与普通消力池的经济性比较研究较少。笔者根据几个工程实例, 通过对工程量和投资的比较, 分析了水利工程应用拱网消能工的经济性。

## 1 通辽先锋支渠闸实例

### 1.1 工程概况

西辽河灌区位于西辽河冲积平原西部, 行政区域属内蒙古通辽市开鲁县中南部, 总干渠分水闸位于灌区总干渠下游桩号 0+790 处, 是《通辽市西辽河灌区骨干工程 2002 续建配套与节水改造实施方案》中新建 3 座干渠分水枢纽之一。先锋支渠闸为总干渠分水闸的一部分, 位于设计总干渠分水闸的

节制闸右岸, 设计流量为 3.0 m<sup>3</sup>/s。先锋支渠闸闸室设计为单孔, 闸孔净宽 1.0 m, 闸室总宽为 1.0 m, 闸室长为 1.5 m, 边墩厚 0.4 m, 闸墩通过帽梁与一字板连接, 一字板厚 0.4 m, 深 3.0 m, 闸坎顶高程 279.60 m, 一字板底高程为 276.10 m, 闸墩顶高程为 282.20 m。闸墩中线处设置铸铁平板闸门, 门高 1.80 m, 闸门顶后设置胸墙。闸前水深为 1.65 m, 闸后水深为 0.85 m。

### 1.2 计算所用公式

自由水跃共轭水深、水跃长度、动量方程、消能率的计算公式分别为

$$h'' = 0.5h_c(\sqrt{1 + 8Fr_c^2} - 1) \quad (1)$$

$$L_j = 6.9(h'' - h_c) \quad (2)$$

$$P_1 - R_x - P_2 = \rho q(\alpha_2 V_2 - \alpha_1 V_1) \quad (3)$$

$$K = [(E_1 - E_2)/E_1] \times 100\% \quad (4)$$

式中:  $h''$  为自由水跃的第二共轭水深, m;  $h_c$  为水跃的第一共轭水深 (或收缩水深), m;  $Fr_c = V_c/\sqrt{gh_c}$ , 为收缩断面的弗氏数, 其中  $V_c$  为收缩断面流速, m/s,  $g$  为重力加速度, m/s<sup>2</sup>;  $L_j$  为水跃长度, m;  $P_1 = 0.5\gamma h_c^2$ , 为收缩断面的单宽动水压力, N/m, 其中  $\gamma = \rho g$ , 为水的容重, N/m<sup>3</sup>;  $P_2 = 0.5\gamma h_l^2$ , 为下游断面的单宽动水压力, N/m, 其中  $h_l$  为拱网消力池的临界水深, m;  $R_x$  为网板对水流的单宽动水压力, N/m;  $q$  为单宽流量, m<sup>2</sup>;  $\alpha_1, \alpha_2$  为动量修正系数;  $V_1, V_2$  为水流的流速, m/s;  $K$  为消能率;  $E_1, E_2$  为水流能量 J。

作者简介: 尹志刚 (1972—), 男, 吉林九台人, 讲师, 博士研究生, 主要从事水利工程教学及科研工作。

### 1.3 消能率计算

衡量消能建筑的优劣, 一个重要的指标就是它的消能率。影响消能率的主要因素有弗氏数、相对网高、相对网位。消能率  $K$  的计算可采用如下公式<sup>[5]</sup>

$$K = 66.1 - \frac{366.6}{1 + e^{\frac{\eta+39.24}{19.21}}} \quad (5)$$

其中, 回归系数  $\eta = \frac{Fr(h/h_c)}{L/L_j}$ 。

式中:  $h$  为拱网高度, m;  $h/h_c$  为相对网高比;  $L$  为拱网到收缩断面的距离, m;  $L/L_j$  为相对网位。

经计算, 通辽先锋支渠闸采用拱网消能的消能率为 41.3%, 采用普通式消力池的消能率为 31.8%。拱网消能率比普通消力池的消能率提高 23.8%。

### 1.4 工程量和造价分析

分别计算传统消力池、拱网结构消力池消能防冲结构的主要工程量, 包括钢筋混凝土、钢筋制作与安装、铅丝石笼、碎石垫层和无纺布。经比较可以得出拱网结构消力池与传统设计消力池工程量的节省百分比, 代入各主要工程量的造价, 可以得出拱网结构消力池与传统设计消力池消能防冲结构的工程投资节省综合百分比, 见表 1 和表 2。

通过先锋闸消能方案比较分析可见, 拱网消力池总池长较一般消力池减小 41.4%, 消力池深度减小 70%, 且拱网消力池不用设置尾坎。采用拱网消能方案比传统的消能方案节省工程造价 44.4%, 其经济性是显而易见的, 且消能率可提高 23.8%。该工程于 2005 年底完工, 目前拱网消能工运行良好。

表 1 先锋支渠闸主要工程量比较

设计方式	钢筋混凝土/m <sup>3</sup>			铅丝石笼/m <sup>3</sup>			碎石/m <sup>3</sup>		
	消力池	海漫段	合计	消力池	海漫段	合计	消力池	海漫段	合计
传统设计	29.30	0	29.30	11.21	44.8	56.01	5.01	14.93	19.94
拱网结构	11.53	0	11.53	5.77	42.72	48.49	2.88	14.24	17.12
节省工程量			17.77			7.52			2.82

  

设计方式	无纺布/m <sup>2</sup>			钢筋/t			设计长度/m		
	消力池	海漫段	合计	消力池	海漫段	合计	消力池	海漫段	合计
传统设计	50.14	149.33	199.47	2.34	0	2.34	9.4	12	21.4
拱网结构	31.83	142.39	174.22	0.71	0	0.79	5.5	11	16.5
节省工程量			25.25			1.55	3.9	1	4.9

表 2 先锋支渠闸主要投资比较

材 料	投资额/元		节省投资/元	节省比例/%
	传统设计	拱网结构		
钢筋混凝土	10255	4035.5	6219.5	60.60
铅丝石笼	8401.5	7273.5	1128	13.4
碎 石	1994	17.2	282	14.20
无 纺 布	2393.64	2090.64	303	12.70
钢 筋	10530	3555	6975	66.20
合 计	3357.14	18666.64	14907.5	44.40

## 2 通辽孟家段干渠 1 号分水闸实例

孟家段干渠也是西辽河灌区新建 3 座干渠分水枢纽之一, 设计流量为 4.35 m<sup>3</sup>/s, 闸前水深 0.85 m, 闸前流速为 0.73 m/s。所用计算方法与通辽先锋支渠闸工程实例相同。

从表 3 和表 4 可见, 采用拱网消能工消能段的工程造价比采用普通消力池的工程造价节省 39.2%。按照公式(5)计算, 消能率可提高 25.2%。该工程于 2005 年底完工, 目前拱网消能工运行良好。

## 3 太平河水库泄洪洞实例

太平河水库位于吉林省梅河口市, 该工程为改建工程, 原计划投资 11.0 万元, 采用拱网消能工后仅用 0.2 万元就解决了原来泄洪洞出口急流挑射和冲刷问题。泄洪洞设计泄流量为 23.96 m<sup>3</sup>/s, 其原消能工的主要问题是泄放设计洪水时, 水流在陡槽段发生挑射现象且消力池偏小。虽然挑射水舌外缘落入池内, 但水跃发生在池外。后来在洞出口平台加设拱网消能工, 消除了原来的挑射现象, 同时也将水跃稳定在消力池内。

## 4 结 语

从以上 3 个工程实例分析可知, 在新建、改建、维修中减少消力池池长、池深, 采用拱网消能工消能段的工程造价比采用传统消力池的工程造价至少节省 30%。在中小水利工程特别是渠系建筑涵闸下游消能采用拱网消能工是值得推广的。

表3 孟家段干渠1号分水闸主要工程量比较

设计方式	钢筋混凝土/m <sup>3</sup>			铅丝石笼/m <sup>3</sup>			碎石/m <sup>3</sup>		
	消力池	海漫段	合计	消力池	海漫段	合计	消力池	海漫段	合计
传统设计	14.52	0	14.52	0	24.48	24.48	1.42	8.25	9.67
拱网结构	9.68	0	9.68	0	10.50	10.5	1.05	5.50	6.55
节省工程量			4.84			13.98			3.12

  

设计方式	无纺布/m <sup>2</sup>			钢筋/t			设计长度/m		
	消力池	海漫段	合计	消力池	海漫段	合计	消力池	海漫段	合计
传统设计	23.45	0	23.45	0.85	0	0.85	8.2	9.0	17.2
拱网结构	15.00	0	15.00	0.58	0	0.58	4.5	6.0	10.5
节省工程量			8.45			0.27			6.7

表4 孟家段干渠1号分水闸主要投资比较

材 料	投资额/元		节省投资/元	节省比例/%
	传统设计	拱网结构		
钢筋混凝土	5082	3388	1694	33.30
铅丝石笼	3672	1575	2097	57.10
碎 石	967	655	312	32.30
无 纺 布	281.4	180	101.4	36.00
钢 筋	3825	2610	1215	31.80
合 计	13827.4	8408	5419.4	39.20

## 参考文献:

- [1] 左战军. 拱网消能工研究进展与应用[J]. 工业技术经济, 1996, 15(5): 135-136.
- [2] 侯庆国. 水流对拱形网板水力特性的研究[J]. 吉林水利, 2003(5): 3-4.
- [3] 杨敏, 练继建. 拱网水力特性研究[J]. 水利水电技术, 2001(12): 49-50.
- [4] 杨敏, 左战军. 拱网消能工水力特性的研究[J]. 工业技术经济, 1995, 14(8): 10-12.
- [5] 杨敏, 左战军. 拱网消能工的水利设计条件[J]. 工业技术经济, 1997, 16(1): 13-15.

(收稿日期 2007-04-16 编辑 彭桃英)

## · 简讯 ·

## 2008年引黄济淀开始应急调水

2008年2月25日10时,位于山东省境内的黄河位山闸准时开闸引水,标志着2008年引黄(黄河)济淀(白洋淀)应急调水工作正式拉开序幕。这是国家防汛抗旱总指挥部、水利部自2007年第一次实施引黄济淀应急调水后,再次组织实施从黄河向白洋淀应急调水。

这次引黄济淀应急调水,是保证北京2008年奥运会用水、维护奥运会举办地周边生态环境安全的重要组成部分,同时也是维护华北地区生态平衡、保持白洋淀周边地区社会稳定的重要工作。引黄济淀应急调水线路全长399 km,分为山东、河北两段,其中山东段长约105 km,河北段长约294 km。计划从黄河引水约6亿 m<sup>3</sup>,预计调水结束时,可向白洋淀输水1.56亿 m<sup>3</sup>,保证奥运会期间白洋淀水位维持在5.39 m左右。

白洋淀素有“华北明珠”之称,是华北地区最大的淡水湖泊和重要的天然湿地。近年来由于华北大部持续干旱,白洋淀多次发生干涸,使淀区天然湿地生态系统遭到一定程度破坏,周边群众的生产、生活受到很大影响。党中央、国务院对引黄济淀应急调水工作高度重视,国家防汛抗旱总指挥部、水利部、发展和改革委员会、财政部等中央有关部门密切配合,全力做好实施引黄济淀应急调水的各项工作,黄河水利委员会、海河水利委员会及山东、河北两省有关方面顾全大局,团结协作,做了大量前期准备工作,调水沿线有关地、市和单位克服时间紧、任务重、天气寒冷等不利因素,积极组织干部群众开展渠道清淤、维修加固病险桥涵、加筑临时挡水坝、封堵涵闸,修建壅水挑流工程、更新改造拦冰导冰等设施,为引黄济淀应急调水的顺利实施奠定了基础。

(本刊编辑部供稿)