

文章编号: 1000-646X(2002)04-0066-04

橡胶坝下消力池的断面试验研究^{*}

奚斌, 周济人, 成立, 陆林广

(扬州大学 水利与建筑工程学院水利系, 江苏 扬州 225009)

摘 要: 橡胶坝下消力池的设计涉及的影响因数很多, 目前尚无成熟的理论方法解决这一问题。结合总沭河王庄闸加固工程断面模型试验对橡胶坝下消力池的相关要素进行了试验研究, 提出了研究该问题的一种可行方法, 并得到可供工程应用的研究结果。该成果不仅为总沭河王庄闸加固工程提供了必要的依据, 同时对开展同类问题的研究具有一定参考价值。

关 键 词: 橡胶坝; 消力池; 试验研究; 塌落度

中图分类号: TV 644 **文献标识码:** A

橡胶坝下消力池的断面模型试验研究不仅需要确定池长、池深, 还需要考虑橡胶坝不同塌落度坝下溢流面压力的分布、橡胶坝不同塌落度与过流量及水位的对应关系、上游水位与下游水位的关联变化等复杂关系。

王庄闸枢纽工程位于徐州新沂市内的总沭河上, 上游距塔山闸 14 km, 下游距新沂河约 18 km, 设计过水流量 $3000 \text{ m}^3/\text{s}$, 闸基础为砂性土。该闸总宽 400 m, 每孔净宽 8 m, 双层结构, 洞顶为节制闸, 底部为双孔箱式涵洞, 共 45 孔。王庄闸的主要作用是稳定上游河床, 保护二岸大堤的安全, 同时担负向新沂市东部地区 2 万 hm^2 农田的送水任务, 建成 30 多年来, 发挥了重要作用, 取得了巨大的社会效益和经济效益。由于该工程年久失修, 老化严重, 加上闸下河床逐年下切, 闸下游护坦末端河底已下降 4 m 多, 每年汛期都出现不同程度的险情, 成为新沂市防洪保安的一大隐患。2000 年汛期出现了重大险情, 直接危及下游二侧翼墙及大堤安全。

为确保王庄闸上、下游的防洪安全和沐东地区的灌溉, 必须对该闸进行加固改造。经过技术经济比较和可行性论证, 最终确定采用橡胶坝挡水方案, 而橡胶坝下游消力池的设计改造是整个工程的关键, 因而进行了断面模型试验研究。

表 1 王庄闸各种流量时的上、下游水位推算值

流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	300	500	800	1000	1500	2000	2500	3000
闸上水位/m	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.45
闸下水位/m	14.0	14.0	14.7	16.73	17.45	18.05	18.66	19.31

1 试验研究的模型设计

1.1 试验目的及要求

试验要求: 在规定的上、下游水位、流量和溢流面条件下, 优化消力池尺寸(池深 d 和池长 L); 测定各种试验流量时溢流堰面和消力池底板的压力分布; 测定坝袋塌落高度和流量的关系曲线; 观察消力池前后的水流流态及水跃表面旋滚尾部距消力尾槛的距离。

王庄闸下游河道的水位是试验中十分重要的试验条件, 但下游河道水位尚缺实测资料, 对推求的水位存在较大不确定性; 另一方面, 由于王庄闸下游距新沂河较远(18 km), 新沂河的水位对王庄闸下游

^{*} 收稿日期: 2002-03-14

作者简介: 奚斌(1968-), 男, 工程师

的水位基本没有影响。因而试验下游河道水位按二种情况分别考虑：下游水位不控制；下游水位按推算水位(见表 1)。

1.2 模型设计及试验方法

试验按照水利部颁布的《水工(常规)模型试验规程(SL 155- 95)》规定的试验标准及方法进行。橡胶坝溢流是雷诺数很大的在重力作用下的水流运动,其流动型态属阻力平方区紊流,决定性的模型相似准则是佛汝德准则。

试验采用的水槽宽度为 0.4 m、长度为 9 m,最大供水能力为 30 L/s。为了在保证供水能力的条件下充分利用水槽现有尺寸、提高试验观测精度,试验采用的模型比为 $\lambda = 30$ $\lambda = 5.48$ $\lambda_y = 4930$ $\lambda_z = 1.76$ 。模型最小雷诺数约为 5000,处于紊流区。试验水槽 0.4 m 的宽度代表的原型宽度为 12 m,由于王庄闸改造后橡胶坝放置在紧靠原自动翻倒门的闸墩处,故此 12 m 宽度取自闸墩的二侧,以顾及闸墩对橡胶坝溢流的影响。由于水槽宽为 40 cm,因而边壁对试验结果的影响很小,模型基本能反映原型水流流态。

橡胶坝塌落后的形状可通过更换一系列不同编号的橡胶坝模型实现(橡胶坝模型按其断面高度由低至高顺序编为 1~ 11#)。橡胶坝原型的断面尺寸由扬州橡胶坝总厂提供,部分不同塌落高度的橡胶坝断面形状见图 1。为便于制作,橡胶坝模型根据其塌落后的高度分别采用红松和薄金属片制成(高度较大的采用红松,较小的采用薄金属片),采用这一方法可以模拟橡胶坝不同塌落高度后的静态形状,满足试验要求。溢流堰面、消力池和下游护坦则分别采用有机玻璃、塑料板和打毛塑料板制作,模型糙率亦满足相似要求。

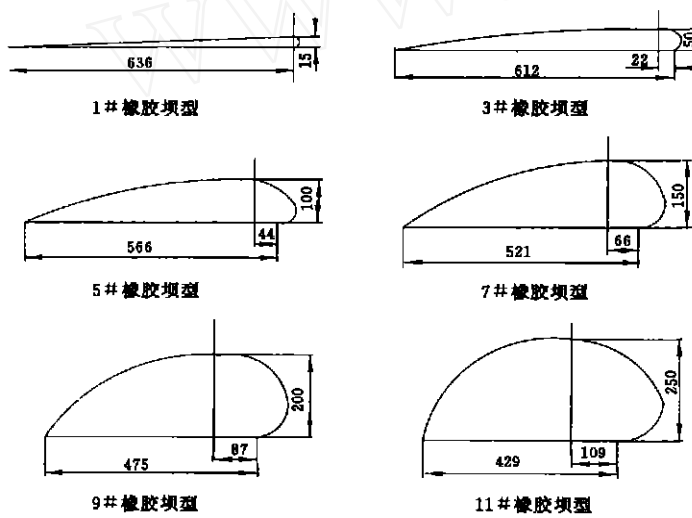


图 1 部分不同塌落高度的橡胶坝断面图

$d = 2.0$ m 时过坝流量与水跃位置关系见表 2(表中 L_x 表示水跃旋滚区尾部与消力池末端间的水平距离,水跃尾部在消力池内时为正,在消力池外时为负,下同)。

当消力池深度 $d = 1.5$ m 时,在各个试验流量下均为淹没式水跃,随着流量逐步加大,水跃逐步移向下游,当流量达到设计流量 $Q = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,水跃已距消力池末端很近,并伴有大量水跃产生的气泡流出消力池。当消力池池深 $d = 1 \sim 1.2$ m 时,小流量工况时水跃在池内,均为淹没式水跃;当橡胶坝袋全塌,流量增大到 $3000 \text{ m}^3/\text{s}$ 左右时,水跃虽然还在消力池内,但已处于临界状态,远驱式水跃的趋势已较明显,稍有扰动水跃便会越出消力池。

试验结果表明:上、下游水位对水跃位置的影响十分显著。上述消力池池深优化试验是在下游水位未加控制的条件下进行的,考虑到大流量条件下实际的下游水位比试验水位高,消力池深度由原来的

2 消力池尺寸试验研究

2.1 消力池深度试验研究

原设计中消力池深度 $d = 2.0$ m,对消力池深度的优化试验共做了 6 个方案,分别是池深 $d = 2.0, 1.7, 1.5, 1.2, 1.0, 0.6$ m,对每个方案都做了大、中、小流量情况下的比较。在池深优化过程中,消力池末端边界不作变动,因而随着池深的减小,消力池池底的实际水平长度会增加。从试验数据及水流流态可看出,在消力池尺寸一定的条件下,小流量工况时水跃位于消力池前端,池后水面波动较小;大流量工况时,水跃位于消力池后部,同时有较多水跃所产生的气泡越过消力池边缘,池后水面波动较大。池深

表 2 池深 $d = 2$ m 时过坝流量对水跃位置的影响(已换算至原型)

流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	4000	3024	2033	1000	512
L_x/m	0.6	1.26	2.25	3.51	6.90

2 m 减为 1.5 m 是可行的。

2.2 消力池长度的试验研究

消力池长度原设计为 $L = 20\text{ m}$ ，在消力池深度定为 1.5 m 的条件下，分下游水位不控制和下游水位按推算值二种情况分别对消力池长度进行了优化试验。

2.2.1 下游水位不控制

在下游水位不控制条件下(将试验水槽下游尾门全部开启)、在池长 $L = 2 \sim 20\text{ m}$ 范围内共做了 9 个消力池长度的优化方案，它们分别是 $L = 2.0, 3.5, 5.0, 9.5, 12.5, 15.5, 18.5$ 和 20 m 。对每个方案都做了大、中、小不同流量的试验，发现小流量工况时，水跃位于消力池前部，池后水面波动很小，而在大流量工况情况下，水跃位于消力池后部，因此对每个方案都重点观察了流量为 $3000\text{ m}^3/\text{s}$ 时的流态。试验表明，消力池长度愈大，水跃越出消力池部分的长度愈小，池后波状水跃的强度也愈小。各试验方案水跃旋滚区尾部距消力池末端的距离列于表 3。

表 3 不同池长对水跃位置的影响(已换算至原型)										当消力池长度 $L = 15.5\text{ m}$ 时，尽管水跃尾部仍伸出消力池外稍许，但此时已经观察不到池后波状水跃，水跃所引起的消力
池长 L/m	2	3.5	5	6.5	9.5	12.5	15.5	18.5	20.0	
L_x/m	-2.49	-2.25	-2.19	-1.50	-1.47	-1.20	-1.05	0	0.60	

池后的水面波动已很小。

当消力池长度 $L = 18.5\text{ m}$ 时，水跃刚好在消力池内，池后也没有波状水跃。

2.2.2 下游水位按推算值

在较大流量条件下按推算值控制下游水位(调节试验水槽下游尾门)，在池长 $L = 2 \sim 15.5\text{ m}$ 的范围内共做了 7 个优化试验方案，它们分别是 $L = 2.0, 3.5, 5.0, 6.5, 9.5, 12.5$ 和 15.5 m ，每个方案都观察了流量为 $3000\text{ m}^3/\text{s}$ 时的流态。试验结果表明，消力池长度对水跃伸出消力池部分的长度及池后波状水跃的强度有明显影响，消力池长度愈大，水跃伸出消力池部分的长度愈小，池后波状水跃的强度也愈小。

当消力池长度 $L = 12.5\text{ m}$ 时，水跃尾部仍有一定长度伸出消力池外，但此时的池后波状水跃已不明显，时有时无。

当消力池长度 $L = 15.5\text{ m}$ 时，尽管水跃尾部仍伸出池外稍许，但此时已经观察不到池后波状水跃，水跃所引起的消力池后的水面波动也已经很小。作为校核，在同样消力池尺寸的条件下，将试验流量增加 20%，即增加到 $3600\text{ m}^3/\text{s}$ ，此时仍然观察不到池后明显的波状水跃，跃后水面波动仍然较小，只是水跃尾部伸出池外部分稍许加大。

通过上述试验，池长可定为不小于 15.5 m ，考虑到下游水位有可能与推算值不完全一致，将消力池长度定为 18.5 m 更为适宜。

2.3 在消力池末端设置尾坎的试验分析

出于增加消力池安全余量的考虑，进行了在消力池末端设置尾坎的试验。在池深 $d = 1.5\text{ m}$ 、池长 $L = 18.5\text{ m}$ 的消力池末端设置了 $50\text{ cm} \times 50\text{ cm}$ 的尾坎，在 $300 \sim 3000\text{ m}^3/\text{s}$ 的范围内，观察了消力池的消能情况。

设置尾坎后，在大流量情况下，消力池内水面略有抬高，水跃向上游方向偏移，水跃已全部位于消力池内，但由于尾坎抬高了池内水位，过坎后水面产生的跌落使坎后水面波动有所增加；在较小流量情况下，水流在消力池内更趋平稳，但在流过尾坎时同样产生了明显的水面跌落。由此可认为在消力池末端设尾坎并非必需。

2.4 消力池下游流速场测试分析

为了进一步了解消力池的消能效果，在控制下游水位的试验条件下，采用 CSY 型直读式多功能测速仪测试了消力池下游的流速分布，在距消力池下游 100 m 远处，铅垂线上的流速已调整恢复为对数式分布，说明消力池的消能效果达到了设计要求。

3 溢流堰面压力分布测试分析

在优化后的消力池尺寸下,采用测压管对不同流量下溢流面压力分布进行了测试。测试结果(见表4)表明,除小流量时($Q=300\text{ m}^3/\text{s}$)仅在溢流面起始位置有较小负压外,较大流量时整个溢流面上均为正压。

表 4 溢流堰面相对压力表

序号	流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	上游水位/ m	下游水位/ m	相对压力水头/m									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	300	21.2	14.8	-0.09	0.15	0.06	0.18	0.09	1.59	2.37	2.58	2.64	2.67
2	500	21.2	15.08	0.72	0.27	0.11	0.18	0.27	1.62	2.55	2.76	2.91	2.97
3	800	21.2	15.3	1.17	0.38	0.21	0.26	0.39	1.74	2.79	2.91	3.06	3.21
4	1000	21.2	16.73	1.29	0.45	0.27	0.75	2.01	3.39	4.20	4.23	4.22	4.26
5	1500	21.2	17.45	1.38	0.63	0.42	1.11	2.40	3.84	4.77	4.95	4.86	4.95
6	2000	21.2	18.05	1.17	0.87	0.60	1.56	2.94	4.35	5.49	5.58	5.40	5.49
7	2500	21.2	18.66	0.93	1.05	0.87	2.13	3.51	4.92	6.09	6.15	5.91	6.00
8	3000	21.45	19.3	1.17	0.99	1.32	2.70	4.05	5.37	6.48	6.60	6.18	6.39

注 表中流量、水位和水头均已换算至原型。

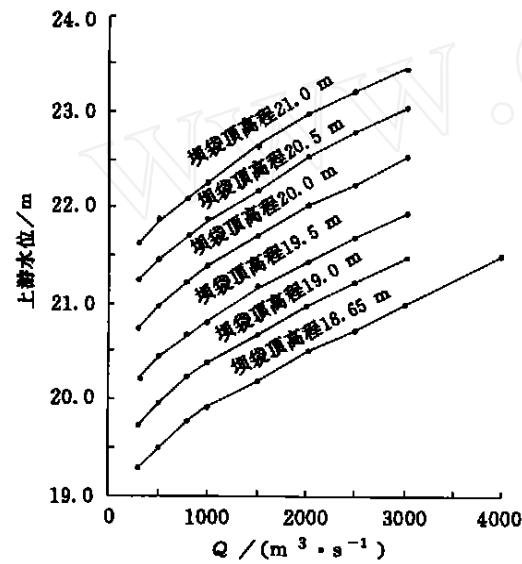


图 2 上游水位、流量与橡胶坝坝高的关系曲线

20 m、池深 2 m,有一定富余,经过优化试验,可将池长定为 18.5 m、池深定为 1.5 m,以充分节省土建投资;

2)实施橡胶坝方案后,王庄闸运行的规范化管理至关重要,坝袋高度必须根据泄流量的大小及时调整;

3)溢流面压力分布较为理想,不会产生空化现象;

4)消力池尾部末端不宜设置尾坎;

5)本次王庄闸断面模型试验,对大流量、下游水位为推算值情况作了比较充分的试验研究,并在此工况下进行了消力池的优化试验,但在小流量($300\sim 500\text{ m}^3/\text{s}$)条件下,由于泄流初始阶段下游无水这种特殊状态,下游水位推算值定为与河底相同,而这种情况在断面模型试验中是无法模拟的,故需在改造后的工程管理中,对小流量、下游无水的工况予以充分重视。

参考文献:

[1] SL 155- 95《水工(常规)模型试验规程》[S]. 北京:中国水力水电出版社,1995
[2] SL 227- 98《橡胶坝技术规范》[S]. 北京:中国水力水电出版社,1999

(下转第 77 页)

- [5] 张建新, 王爱云. 利用咸水灌溉碱茅草的初步研究[J]. 干旱区研究, 1996, (4): 30~33
- [6] 尉宝龙, 邢黎明, 牛豪震. 咸水灌溉试验研究[J]. 人民黄河, 1997, (9): 28~32
- [7] 赵春林, 张彪, 郭培成. 汾河三坝灌区浅层咸水利用的试验研究[J]. 太原理工大学学报, 2000, (5): 593~599
- [8] 张会元. 咸水利用可行性分析[J]. 天津农林科技, 1994, (3): 18~19
- [9] 张启海, 周玉香. 微咸水灌溉发展的基础与措施探讨[J]. 农田水利与小水电, 1998, (10): 12~13
- [10] 褚贵发, 郎素秋, 周新. 水稻微咸水灌溉试验及开发研究[J]. 中国农村水利水电, 1999, (2): 15~18

Application of Saline and Slight Saline Water for Farmland Irrigation

WANG Quan-jiu¹, XU Yin-in², WANG Jin-dong³,

WANG Yong-ping³, JIANG Qing-hua³

(1. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;

2. Xi'an Electric Power College, Xi'an 710032, China;

3. Xinjiang Weiganhe River Watershed Management Bureau, Kuche 842000, China)

Abstract: High-efficient utilization of saline and slight saline water is an effective way of easing up water resources shortage in drought areas. A mount of researches and applications of saline and slight saline water have been conducted worldwide. Relevant research results were summarized, and techniques of reclaiming salt-effected soils with drip irrigation and surface mulch were introduced in this paper.

Key words: saline and slight saline water; water movement and salt transport; drip irrigation

(上接第 69 页)

Study On the Suitable Section of Stilling Basin Front Flexible Dam

XI Bin, ZHOU Ji-ren, CHENG Li, LU Lin-guang

(Hydraulic and Civil Engineering college of Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: The Suitable section of a stilling basin front a flexible dam is affected by many factors, and there are no mature theories or methods to solve the problem. An experiment was carried out to study the influencing factors and the method of determining suitable section of stilling basin front a flexible dam, by taking Wangzhuang Gate as a real sample and combining a model test. A practicable method was put forward to solve the problem and some research results were obtained for the practical engineering application. It is proven that the research results not only settle a necessary ground for the design of Wangzhuang Gate Reinforce Project, but also be helpful for other similar projects.

Key words: flexible dam; stilling basin; experimental research; collapse depth