

分水闸站枢纽分水池流态改善措施研究

王晓升, 陈毓陵, 孙靖康
(河海大学 农业工程学院, 南京 210098)

摘要:分水闸站枢纽是集分水闸与泵站为一体的枢纽工程,分水池是分水闸站枢纽的核心进水建筑物,其流态的优劣直接关系到泵站与水闸的安全、高效运行。**【目的】**深入研究分水池的流动特性及其对泵站、水闸进流条件的影响。**【方法】**基于物理模型试验,对分水闸站枢纽进水流态进行了研究,分析了分水池产生不良流态的原因,提出了改善分水池流态的整流措施。**【结果】**分水池流态对泵站及水闸进流条件影响显著,当分水池存在偏流和大范围回流区时,水闸进流存在偏流现象,泵站进水口配水流量不均;分水池发生偏流及壁面脱流的主要原因与分水池扩散段局部体型及来流条件相关;分水池扩散段增设V型底坎后,分水池流态得到显著改善,满负荷运行工况下的泵站前池进水口配水流量均匀度提升了近40%。**【结论】**V型底坎可以显著增强分水池水流的侧向扩散能力,消除扩散段的壁面脱流,有效改善分水池中的偏流与局部回流。

关键词:分水闸站;分水池;前池;流态改善;模型试验

中图分类号:TV61

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.20180283

王晓升,陈毓陵,孙靖康. 分水闸站枢纽分水池流态改善措施研究[J]. 灌溉排水学报,2018,37(12):107-113.

0 引言

分水闸站枢纽是集分水闸与泵站为一体的枢纽工程,需实现不同方向水闸的分水和泵站提水需求,在灌溉排水及调水工程中时常采用。分水池是分水闸站枢纽的核心进水建筑物,上游连接引水建筑物,下游连接闸站进水建筑物,分水池流态的优劣直接关系到分水闸站枢纽泵站与水闸的安全、高效运行。目前,针对泵站前池以及平原区闸站合建枢纽的流动特性,国内外学者已经对泵站前池流动特性进行了研究^[1-5],提出了导流墩、底坎、Y型导流墩等一系列整流措施,取得了较好的改善效果;徐辉等^[6]、严忠民等^[7]研究了侧向进水泵站前池的流动特性,分析了导流墩、底坎、配水孔等措施改善侧向进水前池流态的效果;何钟宁等^[8-9]对大型泵站的进水流道进行了深入的数值模拟和试验研究,对竖井流道和钟形流道进行了水力优化,冯建刚等^[10-12]针对城市泵站前池的布置特点,提出了导流墩结合底坎的组合式整流措施,对正向、侧向进水泵站前池流态均有较好的改善效果;王晓升等^[13]、屈磊飞等^[14]、严忠民等^[15]针对平原地区闸站合建枢纽的进水流态进行了数值模拟和模型试验方面的研究,系统分析了导流墩、底坎、泵闸隔墩等措施对泵闸进水流态的影响。分水闸站枢纽与平原区闸站合建枢纽有所不同,由于分水建筑物更多,常需设置分水池,对不同方向的进水建筑物进行配水,进水流态更为复杂。为此,基于物理模型试验,对某典型分水闸站枢纽进水流态进行研究,分析分水池流态对水闸及泵站进流的影响,提出改善分水池流态的整流措施,以为分水闸站枢纽水力优化设计提供一定参考。

1 模型的建立

某典型分水闸站枢纽由分水池、1#分水闸、2#分水闸、退水闸、泵站等建筑物组成。分水池上游与来流隧洞衔接,下游连接分水闸、退水闸及泵站,1#和2#分水闸设计流量均为14.5 m³/s,泵站设计流量为13 m³/s。分

收稿日期:2018-05-17

基金项目:国家自然科学基金面上项目(51779082)

作者简介:王晓升(1983-),男,河南许昌人。实验师,硕士,主要从事泵站模型试验与水动力学计算方面的研究。E-mail: wxsh83@163.com

1.1 物理模型设计

为分析分水池及泵站前池流速分布,在分水池及泵站前池中布置若干流速量测断面,每个测点在垂线方向上平均量测4层,最终给出垂线平均流速。通过典型测点流速量测,分析分水池及前池流态,验证流态改善措施的合理性。分水闸站枢纽模型试验装置见图1。试验中,采用光电旋桨式流速仪对模型流速进行量测,在流场表面施放随水效果较好的泡沫示踪剂,利用高性能相机记录流场表面图像。

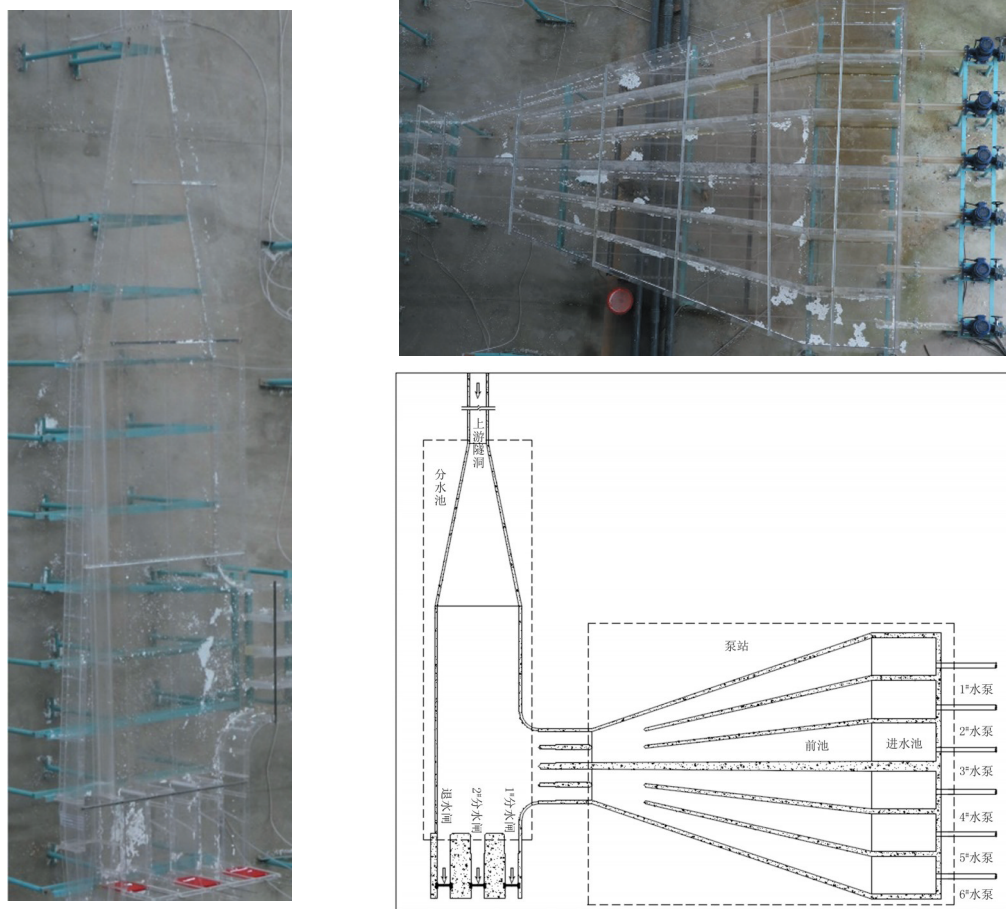


图1 分水闸站枢纽模型试验装置示意图

1.2 试验条件

分水闸站枢纽运行方式复杂文选取满负荷运行和退水闸控制运行2个典型工况研究分水池及泵站的进水流态。试验工况条件见表1所示。

表1 试验工况条件

工况		流量/(m ³ ·s ⁻¹)				分水池水位/m	
		来流流量	1#分水闸	2#分水闸	退水闸		泵站
满负荷运行	原型值	42	14.5	14.5	0	13	531.52
	模型值	0.023 4	0.008 1	0.0081		0.007 2	0.201
退水闸控制运行	原型值	42	14.5	14.5	13	0	531.52
	模型值	0.023 4	0.008 1	0.008 1	0.007 2		0.201

2 分水闸站枢纽进水流态分析

满负荷运行工况下,水流从上游隧洞进入分水池后,在分水池扩散段,主流逐步向一侧偏斜,在另一侧形成一回流区。受水流紊动及模型误差的影响,水流在扩散段二侧壁面的分离存在一定的随机性,水流在右侧壁面分离时,主流偏左,回流区尾部最长可延伸至泵站中心线附近(图2(a));水流在左侧壁面分离时,主流偏右,回流区最长可延伸至泵站进水口右侧(图2(b))。分水池的水流偏流现象具有随机性,但不存在摆动,在扩散段首部给予人工干扰形成偏向后,则一直保持该方向,不会恢复到另一侧。退水闸控制运行性工况下,泵站方向不引水,分水池流态与满负荷运行工况相似,仍存在明显的壁面脱流和大范围回流现象,且同样具有随机性(图3)。可见,分水池壁面脱流主要受分水池体型结构及来流条件控制,壁面脱流进一步加剧了分水池内的水流偏流及回流现象。

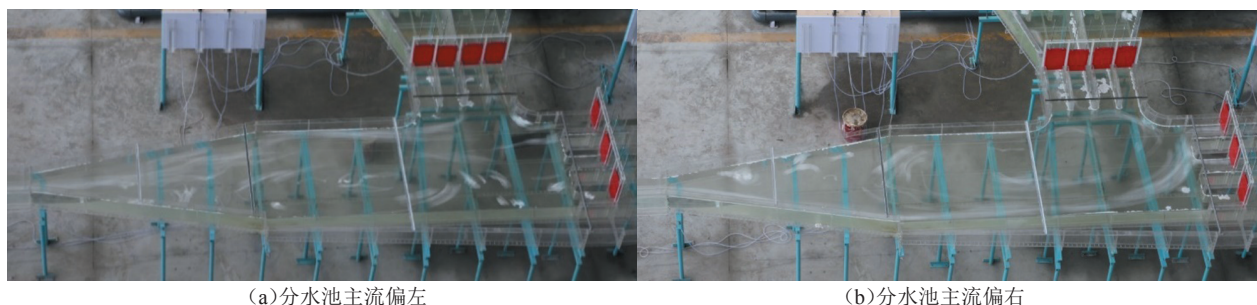


图2 满负荷工况分水池表面流态



图3 退水工况分水池表面流态

受分水池偏流作用影响,满负荷运行工况分水闸内亦存在不同程度的偏流,泵站由于侧向进水,前池进口偏流现象严重。当分水池主流偏左时,泵站进水口进流集中在2#、4#孔,1#、3#孔基本不过流;当分水池主流偏右时,泵站进水口进流集中在1#、4#孔,2#、3#孔基本不过流。在前池首段,水流在平面上存在局部回流,经沿程调整,水流逐步趋于均化。满负荷运行工况前池流速分布见图4所示。

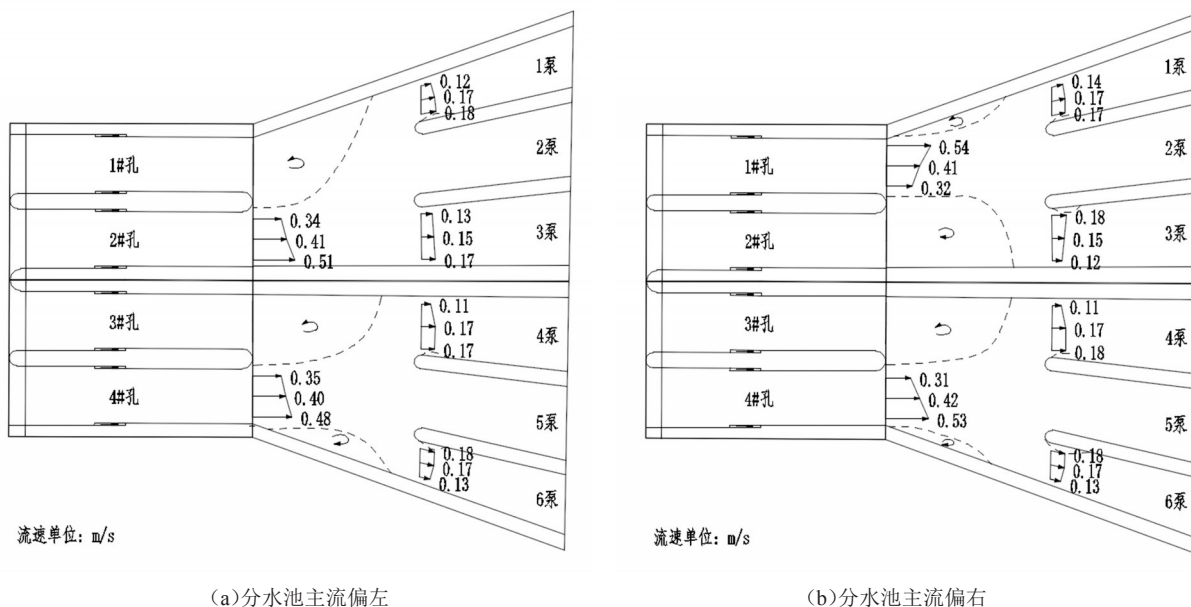


图4 满负荷运行工况前池流速分布

根据分水池及前池试验结果可知,分水池流态直接关系到泵站及水闸的进流条件,进而可能影响泵站及水闸的高效、稳定运行;分水池流态与自身布置形式及流动条件密切相关,当来流流量及进口扩散角较大时,水流在扩散段两侧边壁易产生分离,从而在分水池中形成偏流、回流等水力现象。为改善泵站、水闸的进流条件,对分水池结构体型进行局部优化,均化泵站及水闸的配水效果是分水池站枢纽水力优化的关键。

3 分水池流态改善措施研究

在泵站前池及泵闸进水建筑物中,导流墩整流措施由于布置简单、导流效果好,常用于改善泵闸进水流态。试验中亦对不同位置、数量的导流墩方案进行了流态观测,结果发现,由于分水池扩散段水流分离点距分水池进口较近,进口流速相对较大,导流墩仅能改变池中局部水流方向,难以有效控制二侧壁面的水流分离,分水池内仍存在较大范围的回流及偏流问题。导流墩整流失效的主要原因是,分水池进口水流集中,扩散段壁面逆压梯度过大,壁面脱流现象难以有效控制,而增设V型底坎和V型横梁,在增强水流侧向扩散能力的同时,亦可以调整水流立面方向上的流速分布,减弱壁面的逆压梯度,从而有效控制扩散段的壁面脱流。通过多方案比较,提出如图5所示的分水池整流方案,其中,V型底坎及V型横梁的夹角均为 155° ,底坎和横梁高度均为1.0 m(原型值),宽度为0.8 m,横梁下缘距池底高2.0 m。

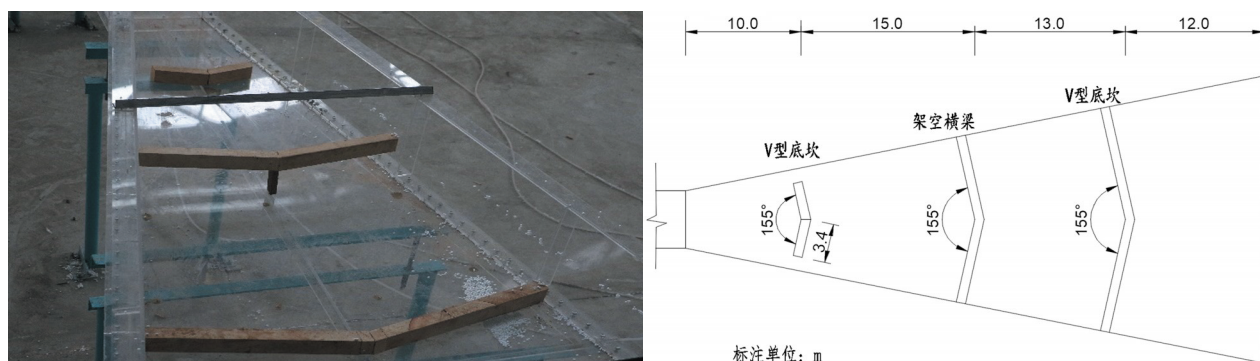


图5 分水池V型底坎整流方案

图6、图7为V型底坎方案的分水池表面流态及流速分布试验结果。在分水池中增设组合式底坎后,由于第一道底坎的作用,一部分水流向两侧无坎区挤压,一部分水流上挑,过坎水流向两侧扩散,主流向一侧偏斜的趋势受到抑制;水流下行至中部架空横梁时,平面上进一步扩散,立面上有所下压;再经第二道底坎作用,至扩散段末端断面流速横向分布呈两侧稍大,中间稍小的分布,进入分水池平直段后沿程逐步均化。经扩散段整流后,分水池最大流速显著降低,分水池无明显偏流及回流现象,水流平稳。在扩散段首部给予人工干扰使主流偏向一侧,当人工干扰取消后,分水池流态很快恢复正常,表明分水池水流稳定,V型底坎对上游来流适应性较好。可见,当分水池由于主流集中产生偏流及回流问题时,增设V型底坎和V型横梁,一方面可以增强水流侧向的扩散能力,另一方面可以调整水流立面方向上的流速分布,从而减弱了扩散段壁面的逆压梯度,有效地抑制了扩散段的边壁脱流。

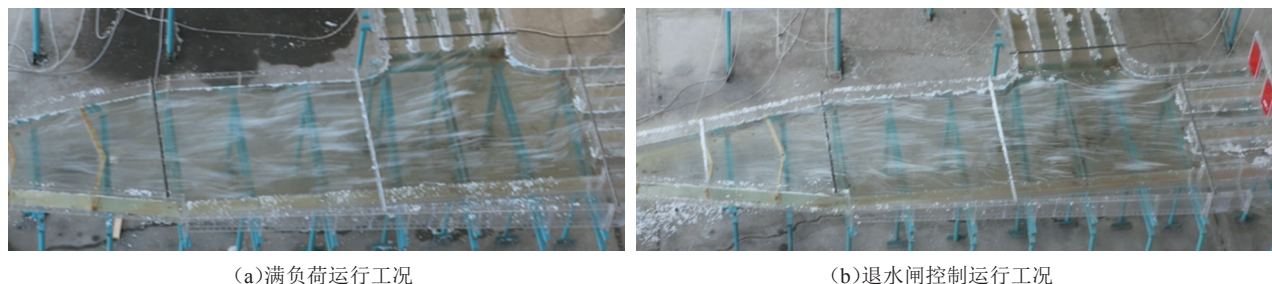


图6 V型底坎方案分水池表面流态

经分水池整流后,分水闸及泵站进流条件得到了明显改善,满负荷运行工况下的泵站前池进水口均有过流,受泵站侧向进流条件影响,各进水孔过流量稍有不均,2#、3#孔流量稍大,1#、4#孔流量稍小。经前池首段调整后,各流槽进口流速分布趋于均匀,较原方案有明显改善。V型底坎方案前池流速分布见图8。为进一步对比分水池整流措施对改善分水池流态、均化泵站侧向配水的效果,将满负荷运行工况下原方案与V型底坎方案的前池进水孔配水流量统计于表2中。由表2可知,分水池增设V型底坎,侧向泵站的进水均匀

度 $\left(1-\frac{Q_{\max}-Q_{\min}}{\sum_{i=1}^4 Q_i}\right)$ 提升了近40%。可见,分水池流态的优化也显著改善了泵站及水闸的进流条件,尤其是

分水池平直段流速分布的均化使泵站进水口的偏流现象明显减弱,侧向泵站进水口的流量配水均匀度明显提高。

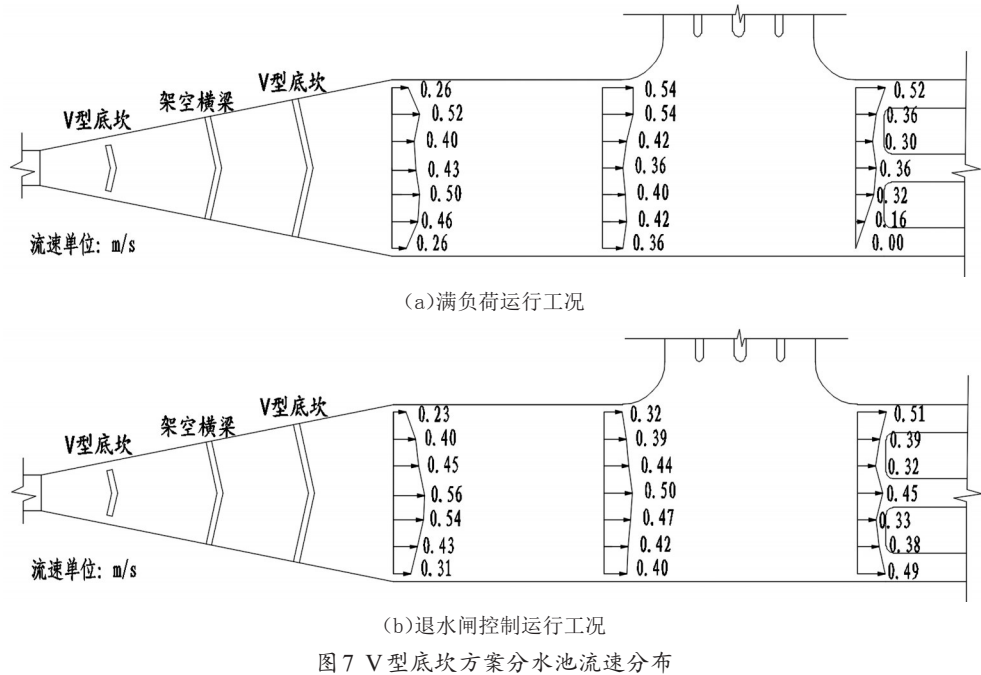


图7 V型底坎方案分水池流速分布

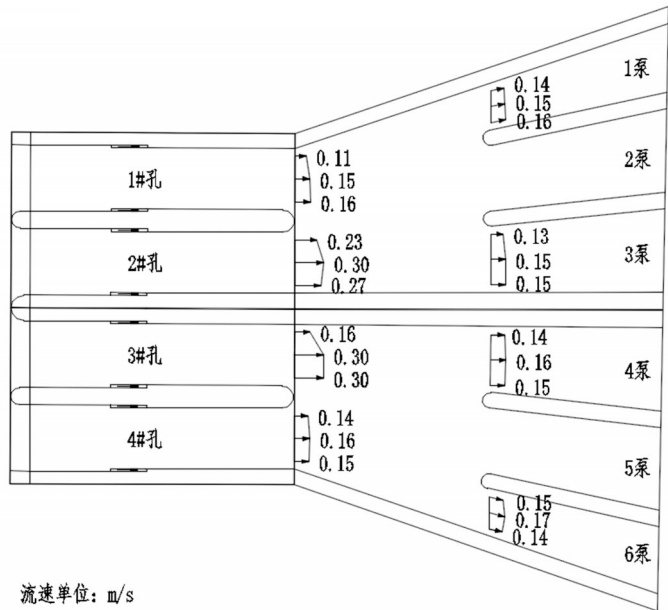


图8 V型底坎满负荷运行工况前池流速分布

表2 满负荷运行工况前池进水孔配水流量对比

方案		原方案		V型底坎方案
		主流偏左	主流偏右	
前池进水孔配水 流量比/%	1#孔(Q_1)	-1.9	52.2	17.2
	2#孔(Q_2)	51.9	-2.2	32.8
	3#孔(Q_3)	-0.6	-1.9	31.3
	4#孔(Q_4)	50.6	51.9	18.7
均匀度		0.463	0.456	0.843

4 讨论

在泵站前池中,当来流流速大于扩散段均匀扩散的临界流速时,扩散段水流产生的逆压梯度易产生壁面脱流现象,通常情况下,在扩散段增设导流墩,可以适度调整两侧水流的方向,减小前池有效扩散角,避免扩散段水流的脱流,从而达到水流均匀扩散的目的。文中的分水池同样由于来流流速较大,在分水池扩散段产生了壁面脱流,使分水池形成大范围的回流区,由于水流分离点靠近扩散段进口,增设导流墩难以调整分离点之前的水流方向,水流分离后造成的回流又进一步加剧了扩散段的水流偏流,使导流墩措施无法有效改善分水池的壁面脱流及回流问题。

底坎亦是泵闸工程中常用的一种整流措施,前人研究中,底坎通常采用一字型布置,通过底坎的绕流扩散作用,均化坎后水流在平面方向和水深方向上的流速分布。但当来流过于集中时,单一的底坎形式难以使水流得到完全扩散,整流效果明显减弱。为此,提出一种V型复合式底坎,一方面,通过前后2个V型底坎以及中间1个V型横梁的综合作用,水流在平面和水深方向上得到了均匀扩散,另一方面,采用V型折线坎形式,有利于水流在平面方向上向两侧扩散,从而有效抑制了扩散段的壁面脱流。

以设计流量的满负荷运行工况和退水闸控制运行工况为例,研究了V型复合式底坎改善分水闸站枢纽分水池流态的效果,未对不同来流流量下的分水池流态进行系统的研究,V型底坎对不同来流条件的适用性以及V型底坎几何参数与流动参数之间的关系仍有待进一步研究。

5 结论

1)分水池流态对泵站及水闸进流条件有明显影响,当分水池存在偏流和大范围回流区时,水闸进流存在偏流现象,泵站4孔进水口过流不均匀,并进一步影响到泵站前池的流速分布。

2)满负荷运行工况和退水闸控制运行工况下,分水池均存在明显的偏流现象,且具有一定的随机性,但不存在摆动。分水池发生偏流及壁面脱流的主要原因与分水池扩散段局部体型及来流条件相关。

3)分水池扩散段增设V型底坎能有效消减分水池中的偏流与局部回流,改善泵站与分水闸进流条件,经分水池整流后,满负荷运行工况下的泵站前池进水口配水流量均匀度提升了近40%。

参考文献:

- [1] 刘梅清,林琦,梁兴,等.泵站前池流态改善效果的数值模拟分析[J].武汉大学学报(工学版),2012,45(2):152-156.
- [2] LUO C, CHENG L, LIU C, et al. Numerical simulation of flow pattern with sill in the front inflow forebay of pumping station[C]//IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2012, 15(5):1-9.
- [3] XU C D, ZHANG H Y, ZHANG X Q, et al. Numerical simulation of the impact of unit commitment optimization and divergence angle on the flow pattern of forebay[J]. International Journal of Heat and Technology, 2015, 33(2):91-96.
- [4] 成立,祁卫军,罗灿,等.Y形导流墩几何参数对泵站前池整流效果的影响[J].水利水电科技进展,2014,34(1):68-72.
- [5] 于磊,顾巍,刘必伟,等.大扩散角泵站前池整流措施的数值模拟[J].扬州大学学报(自然科学版),2017(4):75-78.
- [6] 徐辉,张林.侧向进水泵站前池整流技术研究综述[J].水利水电科技进展,2008,28(6):84-88.
- [7] 严忠民,蒋传丰,周春天,等.侧向进水前池水流特性的试验研究[J].河海大学学报(自然科学版),1991(5):49-54.
- [8] 何钟宁,陈松山,周正富,等.大型泵站竖井进水流道水力优化设计研究[J].灌溉排水学报,2010,29(6):97-99.
- [9] 何钟宁,周正富,陈松山,等.泵站钟形进水流道三维湍流数值模拟与试验研究[J].灌溉排水学报,2007,26(5):79-81.
- [10] 冯建刚,王晓升,佟宏伟,等.大型城市供水泵站前池流态改善措施研究[J].给水排水,2010,46(11):51-54.
- [11] 冯建刚,李杰.大型城市水源泵站前池流态及改善措施试验[J].水利水电科技进展,2010,30(2):70-74.
- [12] 冯建刚,钱向栋,张睿.城市输水泵站前池流态及整流措施[J].水利水电科技进展,2018,38(2):77-83.
- [13] 王晓升,冯建刚,付丽红.感潮河段闸站合建枢纽泵站前池整流措施研究[J].中国农村水利水电,2013(4):140-143.
- [14] 屈磊飞,王林锁,陈松山.闸站枢纽进水前池三维流动计算与研究[J].排灌机械工程学报,2005,23(4):18-20.
- [15] 严忠民,周春天,阎文立,等.平原水闸泵站枢纽布置与整流措施研究[J].河海大学学报(自然科学版),2000,28(2):50-53.

A Modified Method to Improve Flow Pattern in Water Distributing Station

WANG Xiaosheng, CHEN Yuling, SUN Jingkang

(College of Agricultural Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Water distribution station is a multipurpose hydraulic hub consisting of diversion sluices and pumping station. The distributing pool in the hub is a crucial facility, a deterioration of flow pattern in which could affect the efficiency and safe operation of the station and the sluice. **【Objective】** This paper studied the flow characteristics in the distributive pool as well as its consequent effect on the pumping station and the sluice. **【Method】** We used physical models to study the flow pattern in the water distributing station, and analyzed the reasons when inferior flow pattern occurred as well as its consequent impact on the inflow to the sluices and the pumps. A modified method was proposed to improve flow patten in the distributing pool. **【Result】** The flow pattern in the distributing pool had a significant influence on inflow to the pump station and the sluices. Undesirable flow was related to the local body shape and the flow condition in its diffusion section. Biased current and the local circumfluence can be eliminated by setting V-shape sills, which can significantly improve the flow conditions in the pumping station and the sluice. The sills can improve the flow uniformity in the inlet of the pumping station by 40% under a full load operation after hydraulic optimization. **【Conclusion】** The V-shape sills can significantly enhance the lateral diffusion of water flow and eliminate the flow separation in the diffusion section, thereby effectively improving the drift and local back-flow in the distributing pool.

Key words: distributive sluice station; distributive pool; forebay; to improve flow pattern; model test

责任编辑:白芳芳

关于评选优秀论文的公告

为鼓励创新,本刊已开启优秀论文评选活动,每年评选优秀论文10篇,每篇奖励1000元,并颁发获奖证书,届时将在期刊网站首页展示,同时微信公众号推送。欢迎广大读者、作者积极向我刊投稿。

《灌溉排水学报》编辑部