

doi:10.3969/j.issn.1674-8530.13.0158

引黄灌区侧向取水口泥沙淤积和入渠特性

赵琳琳^{1,2}, 马太玲¹, 于健³, 李超¹, 胡生⁴, 李泉⁴

(1. 内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 2. 三亚学院管理学院, 海南 三亚 572022; 3. 内蒙古水利科学研究院, 内蒙古 呼和浩特 010020; 4. 内蒙古磴口扬水灌区管理局, 内蒙古 包头 014045)



赵琳琳

摘要: 以内蒙古磴口引黄扬水灌区为研究对象, 根据4个灌水期泵站开、停泵时取水口前的泥沙淤积厚度以及运行期间取水流量和入渠含沙量的检测结果, 研究了取水口泥沙淤积特性和入渠特性。结果表明, 流速比和取水口分流宽度是影响泥沙入渠的主要因素。流速比越小, 取水口分流宽度越大, 横向环流作用越强, 推移质入渠量越大。侧向取水的泵站, 取水主流区偏向下游, 当流速比增大时, 取水主流区更偏向下游。在平面回流和横向环流的共同作用下, 取水口推移质入渠量呈现下游大于上游的分布。取水口前设置拦沙坎可以有效地阻止推移质入渠, 拦沙坎顶部设在距自由水面1.6 m以下, 既可以极大地减少泥沙入渠, 又可以获得较好的水流流态, 防止水泵空化、气蚀。

关键词: 取水口; 淤积特性; 入渠特性; 流速比; 分流宽度

中图分类号: S277.9; TV14 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-8530(2014)08-0685-06

赵琳琳, 马太玲, 于健, 等. 引黄灌区侧向取水口泥沙淤积和入渠特性[J]. 排灌机械工程学报, 2014, 32(8): 685-690.

Zhao Linlin, Ma Tailing, Yu Jian, et al. Siltation features and into canal characteristics at water intake of lateral for Yellow River irrigation area[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering(JDIME), 2014, 32(8): 685-690. (in Chinese)

Siltation features and into canal characteristics at water intake of lateral for Yellow River irrigation area

Zhao Linlin^{1,2}, Ma Tailing¹, Yu Jian³, Li Chao¹, Hu Sheng⁴, Li Quan⁴

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot, Inner Mongolia 010018, China; 2. School of Management, Sanya University, Sanya, Hainan 572022, China; 3. Water Resources Research Institute of Inner Mongolia, Huhhot, Inner Mongolia 010020, China; 4. Inner Mongolia Dengkou Pumping Irrigation Area Authority, Baotou, Inner Mongolia 014045, China)

Abstract: Inner Mongolia Dengkou pumping irrigation area was considered as the research object, of which channel water from Yellow River. The thickness of silting in front of the intake pumping station before opening and after stopping pump in four irrigation period was measured, and water draw rate and sediment concentration into the canal was tested during the pump working. The siltation features and into canal characteristics at water inlet were studied. Results show that the velocity ratio and diversion width of the Yellow River upstream of the intake are the main factors of influence on sediment into the canal, when the flow velocity is reducing, and diversion width is increasing, the influence of cross current is more intense when more bed sediment is brought into water intake. For the lateral intake, the water mainstream area is moving to the downstream. Under both effects of flat backflow and cross cur-

收稿日期: 2013-06-24; 网络出版时间: 2014-07-19

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.3969/j.issn.1674-8530.13.0158.html>

基金项目: 内蒙古自然科学基金资助项目(2012MS0719)

作者简介: 赵琳琳(1989—), 女, 黑龙江佳木斯人, 硕士研究生(zhaolinlinxi@163.com), 主要从事泵站优化运行研究。

马太玲(1957—), 女, 内蒙古呼和浩特人, 教授(通信作者, nmg-hippo@163.com), 主要从事泵站优化运行研究。

rent, the bed sediment distribution thickness in front of water intake appears greater at intake upstream than downstream. The block sand bar in front of intake can effectively prevent the bed load into the canal, the results indicate that the top of the block sand bar is below the free surface within 1.6 m, not only the sediment into the canal can be greatly reduced, and the better flow regime can be obtained to prevent pump cavitation.

Key words: water intake; siltation features; into the canal characteristics; velocity ratio; diversion width

取水口的分流分沙问题是水力学中的经典问题,早在19世纪二三十年代就有德国、苏联、意大利、日本和我国的学者对不同边界条件和水动力学条件下分流比与底沙分配的关系,及取水口前的水面变化、分流能量损失等内容进行了不少的试验研究工作^[1]. 20世纪60年代,我国学者佟二勋^[2]、杨松泉^[3]对外国学者的研究成果进行了分析和综述,介绍了分流水力学问题、取水防沙等问题,为后人的研究奠定了基础. 在实际的取水工程中,取水角的选择是非常重要的,它的改变会引起整个取水水域的水流条件和进沙条件发生变化. 童朝峰^[4]曾在实验室中对不同分叉角的侧向分叉水流进行泥沙试验,证实不同角度对分沙比是有影响的. 引黄灌溉等实际工程经验也表明,取水角越大,进入渠道的泥沙也越多^[5].

包头磴口取水泵站为黄河岸边泵站,取水口轴线与黄河主流呈 90° ,为侧向垂直进水. 水流不仅产生平面回流,也造成强烈的横向环流,产生横轴旋涡,使取水口处底层流速大于表层流速,带动推移质向取水口移动,进而导致渠道淤积^[6-8]. 为了阻止取水口前淤积泥沙和推移质泥沙入渠,在泵站取水口前设置了1.2 m高的拦沙坎,对渠道泥沙淤积产生了一定的抑制作用,但并未从根本上解决问题.

本次研究于2012年分别在4个灌水期灌水前后开、停泵时对取水口前不同距离处的泥沙淤积厚度进行了测量. 从取水口泥沙淤积和入渠的角度,分析取水口前泥沙淤积厚度的分布,结合各灌水期泵站流量的变化,研究取水口泥沙淤积特性和入渠特性,确定影响取水口泥沙淤积和入渠的主要因素,并提出理论上的工程解决措施.

1 取水口泥沙淤积特性分析

图1为取水口平面布置图.

由图可知,黄河水流由图中右侧向左侧流动,进水口设置与水流方向一致.

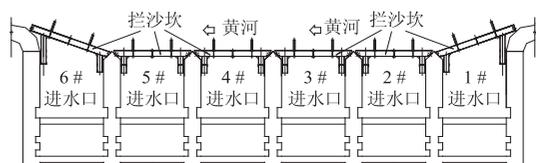


图1 取水口平面布置图
Fig. 1 Water inlet plan

1.1 运行期取水口前泥沙淤积分布特性分析

1.1.1 泥沙淤积横向分布特性

由于水流在取水口处呈 90° 急转弯,产生强烈的横向环流,横向环流运动导致底层泥沙向取水口方向横向流动. 因此在泵站运行期,始终有推移质向取水口移动. 取水流量越大,取水口的分流宽度越大,横向环流作用越强,底部流速大于上部流速的趋势越明显^[6],推移质泥沙入渠量越多.

图2-5分别为一水、二水、三水、四水开、停泵前后取水口淤积厚度,其中 T 为淤积厚度. 由图可以看出,停泵时,第三灌水期取水口前 $0\sim 10$ m处泥沙淤积厚度呈现由远及近的降低趋势;其他各灌水期取水口前淤积厚度由远及近呈现先增高再降低的变化过程;第一、二、三、四灌水期各取水口前 $0\sim 10$ m处淤积厚度平均降低值分别为0.07, 1.32, 1.53, 1.10 m,表明第三灌水期的横向环流作用最强,入渠推移质最多. 这主要是由于第三灌水期的引水流量最大,取水口分流宽度大(多数情况6个取水口均进水),横向环流作用强,因此运行期间向取水口移动的推移质泥沙较多,停泵时由远及近泥沙淤积厚度差值较大. 第一灌水期取水口前淤积厚度平均降低值最小,表明其横向环流作用最弱,主要因其取水流量较小,部分水泵运行,水流分流宽度小(3,4#取水口进水)所致. 第二灌水期引水流量虽然不大,但其分流宽度较大(如1,3,4,6#取水口进水),第四灌水期分流宽度较大(多数情况5个取水口进水),取水流量较大(多数情况5台泵运行),因此第二、四灌水期横向环流作用居中,入渠推移质较多.

由上述现象可以知道,取水流量越大,取水口的分流宽度越大,则横向环流作用越强,取水口前

淤积厚度越小,淤积厚度由远及近的降低趋势越明显,入渠推移质越多.

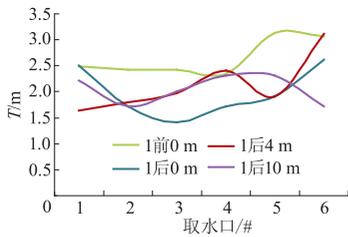


图2 一水开停泵前后取水口淤积厚度
Fig. 2 Sediment thickness of water intake during the first irrigation period before open and after stop pump

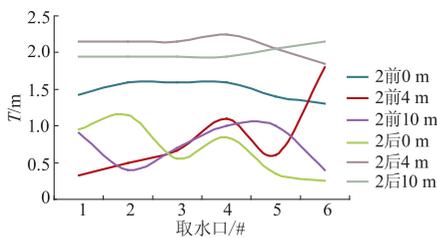


图3 二水开停泵前后取水口淤积厚度
Fig. 3 Sediment thickness of water intake during the second irrigation period before open and after stop pump

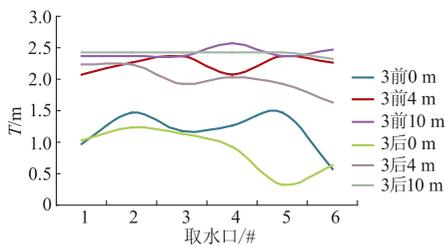


图4 三水开停泵前后取水口淤积厚度
Fig. 4 Sediment thickness of water intake during the third irrigation period before open and after stop pump

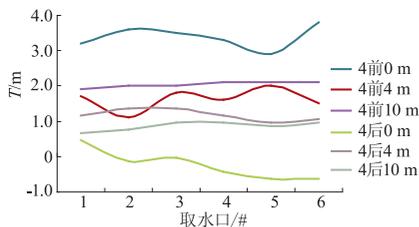


图5 四水开停泵前后取水口淤积厚度
Fig. 5 Sediment thickness of water intake during the fourth irrigation period before open and after stop pump

注:1前、2前、3前和4前分别表示各灌水期开泵前,1后、2后、3后和4后分别表示各灌水期停泵后;一水、二水、三水和四水分别表示各灌水期.

1.1.2 泥沙淤积纵向分布特性

停泵时取水口前淤积状况可反映运行期取水口前泥沙淤积的纵向(顺黄河主流方向)分布特性.

图6为各灌水期开、停泵取水口0 m处淤积厚度.

由图可以看出,停泵时,各取水口0 m处呈现不同的淤积状况.1-6#各取水口4个灌水期的平均淤积厚度分别为1.24, 0.99, 0.77, 0.77, 0.49, 0.72 m,可见,上游取水口淤积厚度大于下游取水口,表明取水主流区偏向下游.

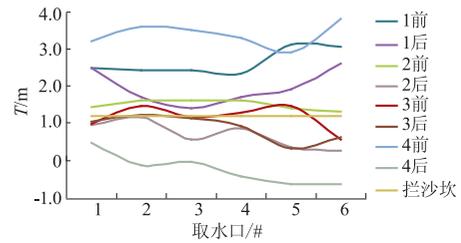


图6 各灌水期开停泵取水口0 m处淤积厚度
Fig. 6 Sediment thickness of 0 m from water intake on each pump open and stop period

根据水力学原理,由于侧向取水(且取水角为 90°),取水口处产生平面回流,从上游取水口到下游取水口,回流流速逐渐增大,取水主流区偏向下游,因而下游取水口淤积厚度小于上游取水口.随着流速比 η (河道主流平均流速与取水平均流速的比值)的增大,取水主流区向下游取水口推移的趋势更为明显^[7].第三、四灌水期5,6#取水口淤积厚度最小,即取水主流区分别位于5,6#取水口,其主要原因为取水流量较大(运行过程中大部分时间为6台泵全部运行),流速比 η 相应较高.

同时可见,在平面回流和横向环流的共同作用下,下游取水口的推移质入渠量明显大于上游取水口.除了第一灌水期,其他灌水期0~10 m处淤积厚度最大差值 Δh_{max} 均出现在下游取水口.如第二、四灌水期取水口前 Δh_{max} 出现在6#取水口,分别为1.9, 1.6 m;第三灌水期 Δh_{max} 出现在5#取水口,为2.1 m.最小差值 Δh_{min} 出现在1#取水口(第四灌水期)和2#取水口(第二、三灌水期).第一灌水期3#取水口淤积厚度最小, Δh_{min} 出现在3,4#取水口, Δh_{min} 出现在1#取水口,这主要是由于该灌水期多数情况下3,4#泵运行所致,不适用于上述理论.

1.2 开泵前取水口泥沙淤积分布特性

开泵时取水口前的泥沙淤积状况对灌水期前期泥沙入渠特性有一定影响.泵站停泵时间越长,取水口前淤积厚度越大,在一定的流速比下,开泵后通过取水口进入渠道的泥沙越多.其中第一、四灌水期开泵前停泵时间最长,取水口前淤积厚度最大.由图2-5可见,从纵向看,开泵前同一灌水期各取水口前泥沙淤积厚度差别不大,1-6#各取水口

前淤积厚度平均值分别为 2.03, 2.28, 2.18, 2.13, 2.23, 2.19 m; 从横向看, 由于黄河主流的推动作用^[9], 当停泵时间较长时, 淤积厚度呈现由近及远的降低趋势, 靠近主流处淤积厚度降低; 当停泵时间较短时, 黄河主流未来得及带走淤积在取水口前的淤积泥沙, 淤积厚度延续运行期由近及远的增加趋势(第三灌水期)。

上述表明, 泵站非运行时期, 取水口泥沙淤积厚度分布与取水口位置无关, 与停泵时间长短相关。

2 泥沙入渠特性分析

2.1 开泵前取水口淤积泥沙对泥沙入渠的影响

开泵时有大量泥沙淤积在取水口^[10-12], 其淤积厚度较停泵时大, 说明开泵前淤积在取水口的泥沙在运行前期被抽送入渠, 使渠道含沙量增大。根据各灌水期开、停泵时各取水口的淤积厚度计算, 可知 1-6 # 各取水口累积进入渠道的泥沙厚度分别为 3.15, 5.15, 5.65, 5.46, 6.95, 5.89 m, 可见 5 # 取水口泥沙入渠量最大, 6 # 次之, 1 # 取水口泥沙入渠量最小, 表明下游取水口进入渠道的泥沙多于上游。

各灌水期开泵前取水口前的泥沙淤积状况对运行期前期泥沙入渠有影响, 但不是唯一影响因素。如第一、四灌水期开泵前取水口淤积厚度均较大, 但第一灌水期前期入渠含沙量并不大, 如图 7 所示, 图中 S 为含沙量, Q 为流量, 且停泵后取水口前淤积厚度仍较高(大于拦沙坎的高度 1.2 m, 见图 6); 而第四灌水期前期入渠含沙量较大, 且停泵后取水口前出现了较深的冲坑。由此可见, 造成泥沙入渠状况差别的原因, 除了开泵前取水口前的泥沙淤积状况, 还与抽水流量、流速比、取水口分流宽度、横向环流作用和拦沙坎的设置等因素相关。

2.2 取水流量对取水口泥沙入渠特性的影响

图 7-10 为各灌水期泵站出水口含沙量和流量的变化过程。

根据泵站出水口所测含沙量^[13]和取水流量的变化过程, 可确定取水流量对取水口淤积泥沙入渠的影响。由图 7-10 可看出, 各灌水期前期, 入渠的泥沙主要是开泵前淤积在取水口前的泥沙, 因而各灌水期前期含沙量均随流量增大而增大。各灌水期后期, 含沙量与流量呈现不同的变化趋势, 流量越大, 横向环流作用越强, 灌水后期含沙量下降越小。第一灌水期(流量小)后期在维持流量不变的情况

下, 含沙量明显下降; 第二灌水期(流量居中)、第三、四灌水期(流量大)后期在流量减小的情况下, 含沙量维持不变或略有降低。

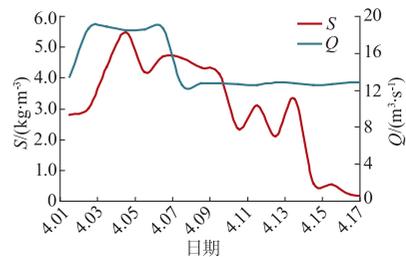


图 7 一水泵站出水口含沙量和流量变化过程

Fig. 7 Changing process of sediment concentration and flow rate and flow rate at outlet during the first irrigation period

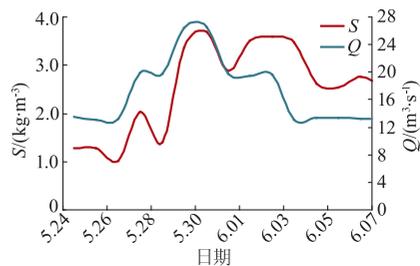


图 8 二水泵站出水口含沙量和流量变化过程

Fig. 8 Changing process of sediment concentration at outlet during the second irrigation period

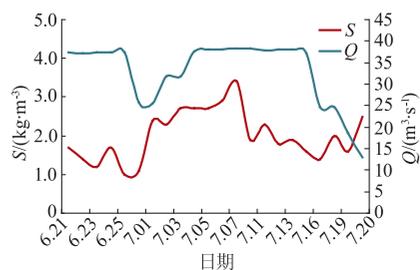


图 9 三水泵站出水口含沙量和流量变化过程

Fig. 9 Changing process of sediment concentration and flow rate concentration and flow rate at outlet during the third irrigation period

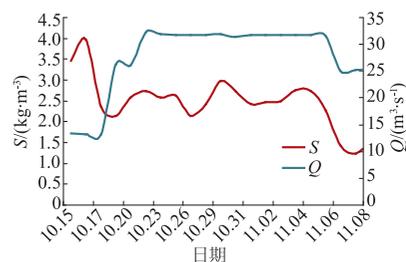


图 10 四水泵站出水口含沙量和流量变化过程

Fig. 10 Changing process of sediment at outlet during the fourth irrigation period

第一灌水期停泵后取水口前的泥沙淤积厚度仍高于 1.2 m(见图 6),表明因取水流量较小,横向环流作用较弱,因而仅将开泵前淤积在取水口前的部分泥沙抽送入渠,无力再将取水口前一定范围内的推移质推向取水口;而第二、三、四灌水期流量较大,横向环流作用较强,不仅将开泵前淤积在取水口前的部分泥沙抽送入渠,还将取水口前一定范围内的推移质推动入渠。

2.3 流速比和取水口分流宽度对泥沙入渠的影响

流速比 η (河道主流平均流速与取水平均流速的比值)是影响取水口泥沙入渠的重要因素。流速比越小,取水口分流宽度越大,横向环流作用越强,泥沙入渠量越多^[14]。

当流速比 η 较大,取水口分流宽度较小时,黄河流速大于取水流速较多,取水流速对泥沙入渠的影响减小,横向环流作用变弱,泥沙入渠量较少;反之当流速比减小,分流宽度增大时,黄河流速与取水流速相差较小,取水流速对泥沙入渠的影响增大,横向环流作用增强,泥沙入渠量增多。第一灌水期因黄河流量较大,取水流量较小,故流速比 η 较大,且分流宽度较小,淤积泥沙和推移质入渠量少;而第二、三、四灌水期因取水流量较大,且分流宽度较大,淤积泥沙和推移质入渠量大。

2.4 拦沙坎对泥沙入渠的控制

各灌水期开、停泵前后取水口前泥沙淤积高度变化说明,拦沙坎的设置阻止了部分淤积泥沙入渠。停泵时取水口前泥沙淤积厚度分布说明,拦沙坎的设置阻止了部分推移质入渠。虽然如此,仍有较多推移质越过拦沙坎入渠,表明本项目取水口前设置 1.2 m 的拦沙坎高度偏低。若抬高拦沙坎高度,则可拦截更多淤积泥沙和推移质,降低取水口前横向淤积厚度差,减弱横向环流,进而减小推移质入渠量。但抬高拦沙坎高度,将引起拦沙坎后水流流态恶化,甚至导致水泵气蚀。因此拦沙坎高度的确定需综合拦沙效果和拦沙坎后水流流态,进行数学模拟和物理模型试验。

本课题组前期研究阶段,对拦沙坎顶部距自由水面不同高度(分别取 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6 m)时拦沙坎后的水流流态进行了数值模拟^[14]。分析表明,随着拦沙坎高度的逐渐降低,水流的流态越来越平稳。图 11 为通过数值模拟的方法得到的拦沙坎顶部距自由水面 1.6 m 时的流速矢量图和水气体积分数图,图中红色代表空气的比重为 1,水的比重为 0,也即全部都是空气;蓝色代表水的比重为 1,红色

和蓝色之外的颜色表示空气和水的混合体。由图可见,当拦沙坎顶部距自由水面高度为 1.6 m 时,在其上方聚集的空气明显减少,水、气混合区域基本消失,只有 1 个很小的气泡存在于水流中,拦沙坎后和进水流道之间的 2 个环流合并成 1 个。故将叠梁闸门的顶部设置在距自由水面 1.6 m 以下,既可以极大地减少泥沙进入泵站,又可以获得较好的水流流态,防止水泵的空化、气蚀。

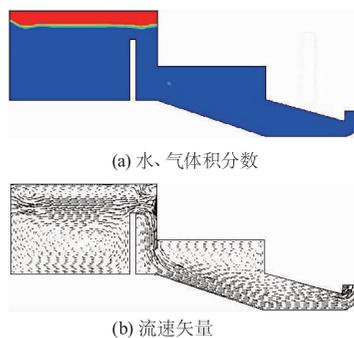


图 11 1.6 m 水深时水、气体积分数、流速矢量图

Fig. 11 Water, gas volume and velocity vector distribution under 1.6 m depth

3 结 论

1) 开泵时取水口前的淤积状况、黄河流量、取水流量(两者对泥沙入渠的综合影响用流速比 η 体现)以及取水口分流宽度是造成泥沙入渠的主要原因。流速比 η 越小,取水口分流宽度越大,推移质入渠量越大。

2) 由于侧向取水所产生的平面回流作用,取水主流区偏向下游,因而取水口前泥沙淤积厚度呈现下游取水口小于上游取水口的纵向分布。当流速比 η 增大时,取水主流区更偏向下游。在横向环流的作用下,底层的推移质流进取水口,流速比 η 越小,取水口分流宽度越大,横向环流作用越强,推移质入渠量越大。在平面回流和横向环流的共同作用下,下游取水口的推移质入渠量明显大于上游取水口,因此应采取措施加强下游取水口的防沙。

3) 取水口前设置拦沙坎可有效阻止推移质入渠。实际泵站取水口前拦沙坎高度偏低,仍有较多推移质入渠。若将取水口前的平板闸门改为高度可变的叠梁闸门,根据水位的变化,将叠梁闸门的顶部设置在距自由水面 1.6 m 以下,既可以极大地减少泥沙入渠,又可以获得较好的水流流态,防止水泵空化、气蚀。

参考文献 (References)

- [1] 杨帆. 明渠岸边侧向取水的“取水角效应”研究[D]. 北京:中国水利水电科学研究院,2007.
- [2] 佟二勋. 关于目前分流分沙的研究成果综述[J]. 水利水电技术,1962(9):39-48.
Tong Erxun. Research summary on diversion flow and sand on the current[J]. Water Resources and Hydropower Engineering,1962(9):39-48. (in Chinese)
- [3] 杨松泉. 侧面取水中的几个问题[J]. 武汉水利电力学院学报,1963(4):44-58.
Yang Songquan. Several issues of lateral intake flow[J]. Journal of Wuhan University of Hydraulic and Electric Engineering,1963(4):44-58. (in Chinese)
- [4] 童朝峰. 分汉口水沙运动特征及三维水流数学模型应用研究[D]. 南京:河海大学港口海岸与近海工程学院,2005.
- [5] 宋祖诏,张思俊,詹美礼. 取水工程[M]. 北京:中国水利水电出版社,2002.
- [6] 杨帆. 明渠岸边侧向取水的“取水角效应”研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2008,6(1):43-50.
Yang Fan. Study on diversion angle effect on lateral intake flow[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research,2008,6(1):43-50. (in Chinese)
- [7] 曹继文,陈惠泉,贺益英. 明渠岸边横向取水口水力特性的试验研究[J]. 水利学报,2003,34(10):32-36.
Cao Jiwen, Chen Huiquan, He Yiyang. Experimental study on hydraulic characteristics of lateral intake in open channel[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2003,34(10):32-36. (in Chinese)
- [8] 金炜,杨胜发,周华君. 川维厂取水口泥沙淤积研究[J]. 重庆交通大学学报:自然科学版,2007,26(4):132-137.
Jin Wei, Yang Shengfa, Zhou Huajun. Research on suspended sediment of Chuanwei inlet[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science,2007,26(4):132-137. (in Chinese)
- [9] 孙东坡,朱岐武,张耀先,等. 弯道环流流速与泥沙横向输移研究[J]. 水科学进展,2006,17(1):61-66.
Sun Dongpo, Zhu Qiwu, Zhang Yaolian. Study of circulating velocity profile and lateral sediment transport in curved channels[J]. Advances in Water Science,2006,17(1):61-66. (in Chinese)
- [10] 徐存东,崔晓艳,王小振. 泵站侧向进水前池淤积机理及减淤措施研究[J]. 新技术新工艺,2010(10):5-8.
Xu Cundong, Cui Xiaoyan, Wang Xiaozhen. Research on the reasons of the sediment deposition and the measures of anti-sedimentation in the side-direction inflow forebay of pumping station[J]. New Technology & New Process,2010(10):5-8. (in Chinese)
- [11] 徐月江,冯建刚,陈毓陵. 侧向进水多机组泵站进水流态改善措施研究[J]. 排灌机械,2004,22(4):5-8.
Xu Yuejiang, Feng Jiangang, Chen Yuling. Research on the measures to improve inlet flow pattern for multi-sets pumping station with side-inlet[J]. Drainage and Irrigation Machinery,2004,22(4):5-8. (in Chinese)
- [12] 刘超,成立,汤方平. 水泵站前池三维流动计算和试验[J]. 农业机械学报,2001,32(6):41-44.
Liu Chao, Cheng Li, Tang Fangping. Numerical simulation of three-dimensional turbulent flow inside a pumping forebay[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001,32(6):41-44. (in Chinese)
- [13] 张瑞瑾,谢鉴衡,王明甫,等. 河流泥沙动力学[M]. 北京:水利电力出版社,2002.
- [14] 胡生. 内蒙古磴口扬水站叠梁闸门水力特性研究[J]. 内蒙古水利,2010(5):10-11.
Hu Sheng. The research on hydraulic characteristics of stoplog gate in Inner Mongolia Dengkou pumping[J]. Inner Mongolia Water Resources,2010(5):10-11. (in Chinese)

(责任编辑 朱漪云)