

# 新疆盖孜河塔什米里克引水枢纽引水防沙试验研究

徐乐, 牧振伟, 蒋健楠, 李锦艳, 赵涛  
(新疆农业大学 水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

**摘要:** 为全面验证盖孜河塔什米里克弯道式引水枢纽工程总体布置的合理性以及二次改建后的整体泄洪能力, 对该工程分别进行了引水、泄洪、输沙试验研究。结果表明: 改建后建筑物结构布置基本合理, 枢纽泄洪能力满足设计要求, 但存在人工弯道进口处以及进水闸前泥沙淤积严重的问题。通过采取提升进水闸底板高程、在人工弯道进口上游整治段右岸增设潜水丁坝的优化措施, 达到良好的引水防沙效果; 强调科学的运行管理调度是保证枢纽顺利泄洪、引水、高效排沙以及安全运行的重要措施。

**关键词:** 弯道式引水枢纽; 泥沙输移; 潜水丁坝; 模型试验

中图分类号: TV131.61      文献标识码: A      文章编号: 1672-643X(2016)04-0162-07

## Experiment on water diversion and sediment control of Täschririck diversion project in Gez river of Xinjiang

XU Le, MU Zhenwei, JIANG Jiannan, LI Jinyan, ZHAO Tao,

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

**Abstract:** In order to fully verify the rationality of bend style diversion project general arrangement and whole flood discharge capacity after the secondary reconstruction, the paper studied the water diversion, flood discharge and sand transport of Täschririck diversion project of Gez River. The results indicated that the project general arrangement and structural layout of buildings after reconstruction are basically rational. The hub's flood discharge ability meets design requirements, but there are the serious problem of sediment accumulation before intake sluice and artificial bend inlet. The effects of water diversion and sediment control can be improved obviously by raising the altitude of sluice sole plate and setting additional submerged groins at the right bank of artificial bend inlet; The scientific operation and management scheduler is the important measure for the guarantee of hub smooth spillway, flood discharge, diversion and highly effective desilting and safe operation.

**Key words:** bend style diversion project; sediment transport; submerged groin; model test

## 1 工程概况

新疆盖孜河塔什米里克弯道式引水枢纽<sup>[1]</sup>工程是盖孜河出山口以下规划的三级引水枢纽中的第一级, 位于疏附县塔什米里克乡境内, 距喀什市 80 km。工程始建于 1961 年, 经过多年运行后于 2001 年 2 月进行改建, 改建后的枢纽仍然存在泄洪闸及冲沙闸前淤积, 人工弯道的磨损和淤积, 枢纽上、下游河床淤高, 泥沙无法顺利下泄等问题。目前欲进行二次改建。该枢纽为弯道式引水枢纽。建筑物

主要有: 人工弯道; 进水闸 4 孔, 单孔净宽 3.0 m, 总净宽 12 m, 闸底板高程 1643.2 m; 冲沙闸 6 孔, 单孔净宽 3.3 m, 总净宽 20 m, 闸底板高程 1643.2 m; 原泄洪闸 6 孔, 单孔净宽 3.5 m, 闸底板高程 1644.3 m; 原新增泄洪闸 2 孔, 单孔净宽 5 m, 闸底板高程 1643.3 m; 二次改建新增泄洪闸 4 孔(代替原梯级溃坝), 单孔净宽 8 m, 闸底板高程 1643.3 m, 现泄洪闸总净宽 63 m; 上游导流堤; 下游防洪堤。人工弯道喇叭口外侧设置上游泄洪闸, 使其起到渠首防沙的一级泥沙处理设施, 即可减少泥沙进入弯道, 又可以

收稿日期: 2016-01-22; 修回日期: 2016-04-19

基金项目: 新疆维吾尔自治区国际科技合作计划资助项目(20136021)

作者简介: 徐乐(1990-), 女, 江苏常熟人, 硕士, 主要从事水力学及河流动力学研究。

通讯作者: 牧振伟(1973-), 男, 河南南阳人, 硕士, 教授, 主要从事水力学及河流动力学研究。

控制大于引水弯道设计流量的洪水引入弯道,确保弯道水流平顺。弯道进口处设置一个挡沙坎,坎高比泄洪闸底板高程高1m。进水闸与冲沙闸的闸底同高,两闸轴线夹角 $55^\circ$ 。进水闸前设置一曲线型挡沙坎<sup>[2]</sup>,其坎顶比进水闸闸底高1m。该枢纽工程设计洪水标准为30年一遇,相应洪峰流量为 $806\text{ m}^3/\text{s}$ 。校核洪水标准为100年一遇,相应洪峰流量为 $1194\text{ m}^3/\text{s}$ ,工程设计引水流量为 $60\text{ m}^3/\text{s}$ ,加大引水流量为 $70\text{ m}^3/\text{s}$ 。

## 2 枢纽工程存在的问题

该引水枢纽工程运行至今已有50余年,枢纽上、下游河道淤积严重,造成枢纽设防标准已不能满足原设计和现行防洪标准要求,运行指标达不到设计标准,同时造成工程不同程度的损坏。原设计方案存在的主要问题:

(1)枢纽原泄洪闸6孔,单孔净宽3.5m,闸底板高程1644.3m,高出上游河床高程近1m,导致冲沙不顺,闸前淤积严重,为了解决该问题,新增2孔单宽5m的泄洪闸,闸底板高程1643.3m,下降了1m。现有泄洪闸8孔,加之左岸梯级溃坝的组合拦河枢纽布置,当大洪水来临时,溃坝击溃,大部分水从溃坝溢流至下游河道,导致右岸引水渠引水得不到保证。

(2)原人工弯道曲率过大,弯道末端曲率半径过小,使水流转弯角度过大,在左侧闸前形成局部回流,闸前水流流速减小,水流挟沙力降低,闸前泥沙淤积严重。

(3)人工弯道进口前设置高1m高的挡沙坎,坎高较低,不能有效拦沙,使大量泥沙进入人工弯道,导致人工弯道内泥沙淤积严重。说明枢纽中的一、二级防沙设施布置不合理,基本失去防沙作用。

(4)原工程设计将进水闸与冲沙闸底板高程设计为同高,对于新疆山溪性卵石河道<sup>[2]</sup>,水流含沙量大,且多以推移质为主,常年处于水少沙多的状态,大量推移质泥沙进入引水渠,造成引水干渠的磨损破坏和泥沙淤积,经常维修和清淤,影响正常引水。

基于上述存在的问题,工程目前处于带病运行状态。针对已建工程无法进行大规模修改的前提下,唯有采取相应的工程措施,对工程进行除险加固或改扩建<sup>[3]</sup>以及结合科学的运行管理才能改善目前工程的病态运行状态,维持工程长期正常运行。本文通过模型试验对引水枢纽进行二次改建方案以及结构优化方案模拟,得出相关结论与建议,以供设计和管理工作者参考。

## 3 模型试验设计

根据模型试验目的、要求、规定<sup>[4]</sup>以及试验场地、供水等条件,采用变态整体模型,依据重力相似准则设计。主要考虑几何相似、水流运动相似和推移质运动相似<sup>[5]</sup>。模型采用基本比尺见表1。该水工模型试验所需造床流量选用频率99%的洪水流量,即造床流量为 $133\text{ m}^3/\text{s}$ 。由于引水枢纽闸址处泥沙资料较为缺乏,根据现有相同年份资料的时段洪水量、推移质输沙量的资料推算确定水工模型试验的推悬比采用设计值15%。

表1 变态模型比尺

平面几何 比尺 $\lambda_l$	垂直几何 比尺 $\lambda_h$	几何变态 率 $D_l$	流速比尺 $\lambda_v$	流量比尺 $\lambda_Q$	水面坡降 尺 $\lambda_j$	输沙时间 比尺 $\lambda_t$	粒径比 尺 $\lambda_d$	输沙率比 尺 $\lambda_p$	河床糙率 尺 $\lambda_n$
80	40	2.0	6.32	20224	0.5	16.95	32.91	15847	1.29

模型长25m,宽12m,即模拟长度范围为2000m,泄洪闸轴线以上上游河道1800m,下游河道200m。引水枢纽工程整体模型布置见图1。

试验模型沙选用天然沙经人工筛分后按天然河床质颗粒组成,计算出模型沙各级粒径,根据河床质颗粒级配配制模型沙,使模型沙和河床质颗粒级配曲线基本平行,推移质模型沙与原型沙粒径级配对比见图2。模型各级流量测定选用水量堰,水位及高程测量采用水准仪配合测尺;流速测定选用多功能旋浆流速仪,其余流态观测使用高清照相机及摄

像机。

## 4 模型试验成果及分析

模型试验按照水文资料选择表2所列引水枢纽典型洪峰流量及典型水文年即枯水、平水、丰水水文年日流量过程,验证各工况下枢纽建筑物的引水效果、泄洪能力、水流流态、流速分布、上下游冲淤情况及河势变化等。并验证现状枢纽布置在不改变设计水位和校核水位的前提下,能否满足引水与泄洪要求,提出结构优化方案。

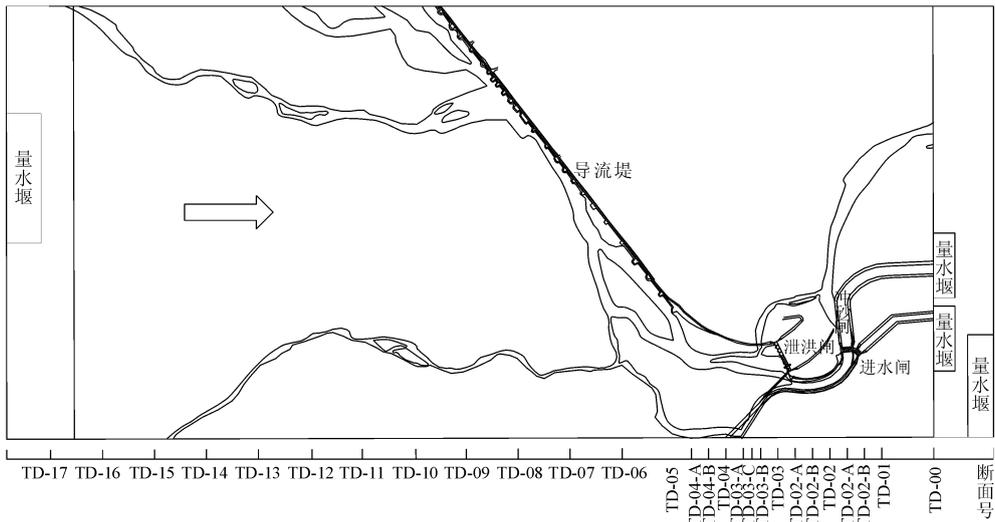


图1 盖孜河塔什米里克引水枢纽工程整体模型布置

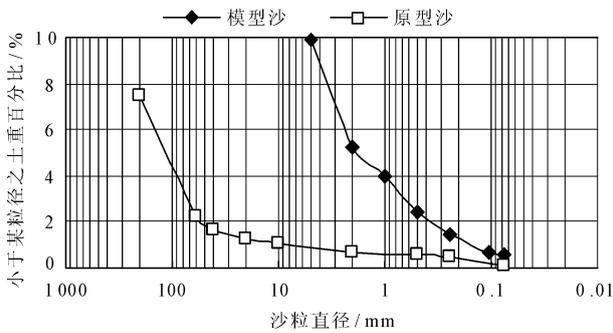


图2 推移质模型沙与原型沙粒径级配对比

表2 引水枢纽典型洪峰流量

频率/%	1	2	3.33	5	10	20	99	100
流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	1194	966	806	684	343	257	133	80

## 4.1 水流流态

### 4.1.1 校核流量及设计流量工况水流流态

(1) 上游整治段。当上游河道发生校核流量  $1194 \text{ m}^3/\text{s}$  时,上游河段左岸导流堤未发生漫溢,即堤顶高程满足设计要求。枢纽上游约  $150 \text{ m}$  处的整治段内,由于河势的原因,当来自左、右岸原河槽的两股水流在此处汇合,相互碰撞产生水跃现象。靠近整治段右岸的水流在枢纽前受到约束,水流方向在弯道进口前与弯道进口轴线呈一大约  $60^\circ$  夹角,因此弯道进口水流流态极不平顺,且弯道进口处设置有高  $1 \text{ m}$  的挡沙坎,水流流经此处形成微弱水跃。整治段内水流动力轴线偏向泄洪闸左侧上游,由于此时泄洪闸全部开启,且靠近左岸的4孔闸门的单孔净宽  $8 \text{ m}$ ,单宽过流流量大于其余闸孔,因此水流

经过泄洪闸之后主流也偏向左岸,过闸后的水流动能较大。当上游发生设计流量  $806 \text{ m}^3/\text{s}$  时,为了保证引水,将闸门运行方式改为泄洪闸1#、2#、3#门关闭,整治段主流因此被引至4~12#闸前区域,此时上游整治段距闸门  $150 \text{ m}$  处发生不完全水跃。闸前整治段右岸靠近弯道进口一侧水流较平稳。

(2) 泄洪闸水流流态。校核流量时,泄洪闸闸门全开,水流集中于1~4#闸孔下泄,3#、4#闸墩受水流冲刷严重,其余5~10#闸孔单孔净宽  $3.5 \text{ m}$ ,水流受较密集闸墩阻力较大,流势急,在11~12#闸前出现漩涡。水流流经泄洪闸后产生水跃。

(3) 弯道段水流流态。校核流量时水流进入弯道以后横向比降较大,弯道末端的主流方向正好指向冲沙闸和进水闸的连接处,造成较大的折冲水流,使两闸连接处的水位升高。分析其原因是由于弯道末端的曲率半径较小,中心长度设计不合理所致。由于弯道离心力作用,水流在弯道内呈现明显的水面横比降,即凸岸水位低而凹岸水位高。设计洪水流量  $806 \text{ m}^3/\text{s}$  下,弯道内水流横向比降较大,弯道末端水流依然较紊乱,尤其是冲沙闸最靠近右岸的一孔和进水闸靠近左岸的一孔,即在冲沙闸和进水闸的连接处存在较剧烈的折冲水流,进水闸前的挡沙坎后水流发生跌落,流态较差。

(4) 进水闸及冲沙闸处水流流态。两种流量工况下,由于进水闸前挡沙坎的存在,且两闸闸底板高程同高,故造成坎后水流(进水闸闸前水流)流态非常紊乱。进水闸左岸边墩受冲刷较严重,进水闸后水流流态较急。冲沙闸闸室水位由左向右依次增大,闸前水流有明显折冲现象。冲沙闸后流态较平



### 4.3 引水与分流试验

当上游河道发生各级典型流量时,泄洪闸和冲沙闸的闸门运行方式配合调度以保证引水渠引入设计引水流量  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ 。在流量达到设计流量  $Q = 806 \text{ m}^3/\text{s}$  以上时亦可加大引水流量至  $70 \text{ m}^3/\text{s}$ 。试验中保证进水闸引入设计流量时各闸分流情况见表3,当河道发生30年一遇设计洪水流量  $806 \text{ m}^3/\text{s}$  时,保证引水,泄洪闸分流比约为71.2%,冲沙闸的分流比约为20.1%。当河道发生百年一遇洪水流量  $1194 \text{ m}^3/\text{s}$  时,保证引水时泄洪闸分流比约为83.3%,冲沙闸的分流比约为11.7%。泄洪闸的分流比随着上游来流量的增大而增大,此现象对于充分利用新增泄洪闸泄洪排沙、稳定闸前河道主河槽更有利。

表3 典型流量下各闸分流情况

总流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	分流情况			分流比/%		
	泄洪闸	冲沙闸	进水闸	泄洪闸	冲沙闸	进水闸
80	0	20	60	0	25	75
133	0	73	60	0	54.89	45.11
257	55.58	141.42	60	21.63	55.03	23.35
343	132.82	150.25	60	38.72	43.80	17.49
684	474.02	150.01	60	69.3	21.93	8.77
806	573.77	162.25	60	71.19	20.13	8.68
966	783.07	122.96	60	81.06	12.73	6.21
1194	994.39	139.62	60	83.28	11.69	5.03

### 4.4 闸底板高程的优化试验

根据原设计方案布置的进水闸闸底板与冲沙闸闸底板高程相同为  $1\ 643.20 \text{ m}$ ,进水闸前设置高出闸底板高程  $1 \text{ m}$  的挡沙坎,水流进入进水闸时流态很差,很有可能会使泥沙进入引水渠。根据一般水工建筑物中进水闸前挡沙坎的设计原则,将进水闸的闸底板高程抬至与挡沙坎一样的高程(即  $1\ 644.20 \text{ m}$ )。

如图5进水闸底板高程优化后水流流态所示,优化后的水流流态得到明显改善,进水闸前水流平顺,有效防止泥沙进入引水渠<sup>[6]</sup>。



图5 进水闸底板高程优化后水流流态

### 4.5 浑水输沙试验

试验模拟了典型水文年下的系列输沙情况,图6为典型水文年输沙及泄洪后冲淤地形,结果表明当一个水文年输沙后,上游主河槽宽度扩宽且位置向左岸偏移,泄洪闸前及人工弯道进口前泥沙淤积严重。当泥沙淤积高度超过人工弯道进口的挡沙坎,大量泥沙便翻越挡沙坎进入弯道,在弯道内和冲沙闸  $1 \sim 3^{\#}$  闸前形成淤积。出现此现象的原因是由于弯道出口凸岸处曲率半径设计不合理,弯道内没有形成稳定的横向环流,致使进入弯道的泥沙不能及时被输送至下游河道。设计流量开闸泄洪后弯道泥沙淤积如图6(c)所示,弯道内及冲沙闸前存有大量泥沙,泄洪闸  $5 \sim 12^{\#}$  闸前淤积较严重,由于该处闸孔单宽较  $1 \sim 4^{\#}$  闸单宽小,水流在此处受阻,导致水流挟沙能力降低,验证了清水试验下此处壅水过高,将导致泥沙淤积的分析。因此,合理确定泄洪闸、冲沙闸、进水闸结构尺寸(单孔净宽不宜过小),是确保汛期推移质泥沙能够顺利通过泄洪闸下泄到下游河床重要前提,恢复上、下游河道的水沙平衡关系,使引水枢纽保持良好的“引水防沙”效果。

### 4.6 增设潜水丁坝的结构优化试验

为了减少人工弯道进口前的泥沙淤积,试将靠近河道右岸的泥沙输沙通道移至河道中部,经反复优化最终在距泄洪闸闸室上游  $200 \text{ m}$  处靠近右岸增设一道潜水丁坝<sup>[7]</sup>(丁坝布置图见图7(a)),丁坝沿右岸夹角  $45^\circ$ ,坝顶高程  $1\ 647.00 \text{ m}$ ,坝长  $160 \text{ m}$ ,坝顶宽  $3 \text{ m}$ ,丁坝横断面为半梯形断面,迎水面为垂直,背水面坝坡系数  $1:1$ 。上游整治段布置潜水丁坝后,大量泥沙被导向河道中部至泄洪闸前,由泄洪闸排到下游河道,减少了人工弯道进口前的泥沙淤积,避免了人工弯道内的泥沙淤积,从而实现顺畅排沙。图7为增设丁坝前后弯道及冲沙闸前冲沙效果,结果表明:整治段丁坝的存在改善了弯道进口前泥沙淤积严重现象,在丁坝末端至泄洪闸前形成了较稳定的主流区,大量泥沙由改变后的输移方向经泄洪闸下泄,使进入弯道内的沙量减少,在设计流量泄洪后,冲沙闸及进水闸闸前基本可以达到“门前清”<sup>[8]</sup>。

### 4.7 引水枢纽的运行管理调度

新疆低水头引水枢纽承担的主要任务是防洪与泄洪,防沙与排沙,以及保证引水,而引水与防沙的任务更艰巨。通过科学的运行管理调度解决“水少沙多”的矛盾尤为重要。经过模型试验得到引水枢纽典型流量下闸门管理调度方式<sup>[9]</sup>,如表4所示。

引水枢纽的运行管理调度的基本原则是在保证

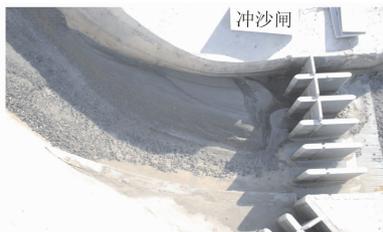
引水的前提下,及时地处理(排除)泥沙。而在“水少沙多”的情况下,需要采取“保证引水”和“间歇冲沙”<sup>[10]</sup>两种运行工况。

当人工弯道内及冲沙闸前(或泄洪闸前)淤积的泥沙较多,将要翻越进水闸前的挡沙坎,或已经翻越人工弯道进口前的挡沙坎,而进入引水干渠(或

人工弯道)时,需采用“间歇冲沙”运行工况,及时打开冲沙闸(或泄洪闸)排沙,在较短时间内排除冲沙闸前(或泄洪闸前)的泥沙,确保进水闸前“门前清”。虽然“间歇冲沙”运行工况短时间内不能保证正常引水,但却是确保引水枢纽“引水防沙”长期安全运行所必须的。



(a) 枢纽整段段冲淤地形

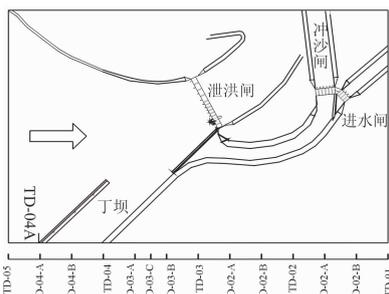


(b) 输沙后冲沙闸前淤积



(c) 设计流量泄洪后弯道泥沙淤积

图 6 典型水文年输沙及泄洪后冲淤地形



(a) 潜水丁坝平面布置图



(b) 加丁坝前冲沙效果



(c) 加丁坝后冲刷效果

图 7 增设丁坝前后弯道及冲沙闸前冲沙效果

表 4 典型流量下闸门管理调度方式

来流量/ ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	泄洪闸												冲沙闸						进水闸 1~4	备注
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6		
80(100%)	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	√	√	√	保证引水
	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	√	√	√	√	间歇冲沙
133(99%)	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	√	√	√	√	√	保证引水
	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	√	√	√	√	√	√	√	间歇冲沙
257(20%)	×	×	×	×	×	×	×	×	×	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	保证引水
	×	×	×	×	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	间歇冲沙
343(10%)	×	×	×	×	×	×	×	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	保证引水
	×	×	×	×	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	间歇冲沙
684(5%)	×	×	×	≠	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	保证引水
	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	间歇冲沙
806(3.3%)	×	×	×	≠	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	保证引水
	×	×	×	≠	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	间歇冲沙
966(2%)	×	×	≠	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	≠	保证引水
	×	×	×	≠	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	≠	间歇冲沙
1194(1%)	≠	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	≠	保证引水
	≠	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	≠	间歇冲沙

注: √表示闸门全开, ≠表示闸门局部开启, ×表示闸门全关;表中数字编号为闸孔编号。

## 5 结论及建议

盖孜河塔什米里克弯道式引水枢纽工程经模型试验验证了在已建原枢纽建筑物不能变动的条件下,通过新增4孔泄洪闸解决安全泄洪(设计洪水和校核洪水)是可行的。通过提高进水闸闸底板高程,使之与挡沙坎坎顶高程同高,改善了进水闸的进流条件,避免了过多泥沙进入引水干渠。通过增设右岸潜水丁坝,将靠近右岸的泥沙导向远离人工弯道进口的泄洪闸,避免了大量泥沙进入人工弯道和引水干渠,确保枢纽的安全运行。采用“间歇冲沙”的闸门优化运行调度方式可以达到安全泄洪、顺利排沙及保证引水的目的。

新疆大多数低水头引水枢纽出现的多年运行后导致枢纽上下游淤积严重是亟待解决的共性问题。需要强调的是:对于“水少沙多”的低水头引水枢纽,确保其安全运行采取一定的工程措施是必要的,而改变“重建设,轻管理”,“重引轻排”理念,采取科学的运行管理调度更为重要,应引起各级相关水利工作者的高度重视。

## 参考文献:

- [1] 李山,卫树藩,严孝达. 新疆的第三代人工弯道式引水渠首[J]. 水利规划设计,2002(4):57-62.
- [2] 王庆,郭德发. 新疆人工弯道式引水枢纽的设计与运行[J]. 西北水资源与水工程,2003,14(4):48-50+53.
- [3] 胡海华,吉祖稳,董占地,等. 北引渠首扩建工程引水防沙的试验研究[J]. 浙江水利科技,2014(5):61-64+86.
- [4] 中华人民共和国水利部. SL155-2012 水工(常规)模型试验规程[S]. 北京:中国水利水电出版社,2012.
- [5] 邱秀云. 水力学[M]. 新疆:新疆电子出版社,2008.
- [6] 李虹瑾,崔忠,赵涛. 冲积河流引水枢纽结构变化对上下游河床冲淤的影响[J]. 水利与建筑工程学报,2012,10(3):111-115.
- [7] 于守兵,陈志昌,韩玉芳. 淹没丁坝端坡对附近水流结构的调整作用[J]. 水动力学研究与进展 A 辑,2012,27(1):39-46.
- [8] 张明义,孙娟,戚印鑫. 新疆叶尔羌河中游渠首整体水工模型试验研究[J]. 中国农村水利水电,2011(1):133-135.
- [9] 白兆亮,李琳,王苗,等. 某渠首工程整体水工模型试验研究[J]. 水资源与水工程学报,2014,25(1):164-168.
- [10] 柯春光. 基于优化的某引水枢纽分水排沙试验研究[J]. 新疆水利,2012(6):29-34.
- [5] Silva A M F D, El-Tahawy T, Tape W D. Variation of flow pattern with sinuosity in sine-generated meandering streams[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2006,132(10):1003-1014.
- [6] DAI Wen-hong. On the Simulation and Prediction of Bed Morphological Adjustments of Equilibrium in Alluvial Meandering Streams[D]. Kingston, Canada: Queen's University, 2008.
- [7] 戴文鸿,唐洪武,闫静译. 河流演变学[M]. 北京:中国水利水电出版社,2015.
- [8] 戴文鸿,苗伟波,高嵩,等. 弯道水流运动及床面变形数值模拟研究进展[J]. 南水北调与水利科技,2014(3):121-126.
- [9] 苗伟波. 水沙变化条件下黄河下游连续弯段水动力特性研究——以伟那里至大田楼段为例[D]. 南京:河海大学,2014.
- [10] Deltares. Delft3D-Flow; Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediment[M]. Delft, the Netherlands, 2009.
- [11] 张罗号. 黄河河槽糙率异常原因及其解决途径[J]. 水利学报,2012,43(11):1261-1270.
- [12] 水利电力部黄河水利委员会革命委员会. 中华人民共和国水文年鉴——黄河流域水文资料,第5、6册[G]. 1984.

(上接第161页)