

黄河下游位山灌区西输沙渠配套改造参数优化研究

卞艳丽, 黄福贵, 曹惠提, 王军涛

(黄河水利科学研究院 引黄灌溉工程技术研究中心, 郑州 450003)

摘要: 研究位山引黄闸改建后位山灌区西输沙渠配套改造参数, 有利于提高渠道输配水能力, 保障灌区用水。利用 HEC-RAS 软件对不同改造方案的西输沙渠开展水力要素分析, 采用不冲不淤流速和水流挟沙能力经验公式分析西输沙渠配套改造后的冲淤平衡状态, 研究对比不同改造方案的水位流量关系和渠道冲淤状态, 分析提出位山引黄闸改建后闸后干渠(西输沙渠)配套改造设计参数如下: 将原梯形断面按复式断面进行改造设计, 渠底下挖 1.5 m, 浅滩设计宽度 3 m, 渠道比降按原比降 1/6 000 改造, 工程其他设计参数不变。优化后的改造参数已在位山灌区西输沙渠上得到应用。

关键词: 位山灌区; 位山闸; 西输沙渠; 改造

中图分类号: S273

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2021426

卞艳丽, 黄福贵, 曹惠提, 等. 黄河下游位山灌区西输沙渠配套改造参数优化研究[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(Supp.1): 44-51, 65.

BIAN Yanli, HUANG Fugui, CAO Huiti, et al. Study on Reconstruction Parameters Optimization of West Sediment Canal in Weishan Irrigation Area of Lower Yellow River[J]. Journal of Irrigation And Drainage, 2022, 41(Supp.1): 44-51, 65.

0 引言

位山灌区设计灌溉面积 36 万 hm^2 , 实灌面积 30.67 万 hm^2 , 改建后位山闸的引水流量与原设计引水流量相同, 为 $240 \text{ m}^3/\text{s}$, 闸后有东西 2 个渠道, 东输沙渠和西输沙渠, 西输沙渠引水流量为 $160 \text{ m}^3/\text{s}$, 长 15 km, 比降 1/6 000, 渠底宽 40 m, 边坡 1:2, 下接西沉沙池, 长 6~7 km, 条池下接总干渠, 长 3.4 km, 总干渠后接二、三干渠^[1-2]。

2000 年以来, 随着小浪底水库的拦沙运用以及调水调沙, 黄河下游河道不断下切, 同流量水位逐年降低, 位山引黄闸所在河段河床平均下切约 2.0 m 左右, 致使位山闸引水水位明显降低, 引水流量大幅下降。在采取闸前闸后清淤、调整引水角度等措施后, 引水效果仍不理想^[3-4]。批复的《黄河下游引黄涵闸改建工程可行性研究阶段勘测设计任务书》中, 位山闸被列入黄河下游引黄涵闸改建项目, 闸底板在现有基础上下降 1.09 m。通过降低闸底板高程提高引水能力。黄河位山断面设计极限冲刷水位 37.19 m (1985 国家高程), 位山闸相应设计引水流量 $120 \text{ m}^3/\text{s}$ (东渠 $40 \text{ m}^3/\text{s}$ 、西渠 $80 \text{ m}^3/\text{s}$), 设计闸底板高程 36 m (1985 国家高程)^[5]。

灌区引输水工程是一个完整的系统, 位山引黄闸改建后, 闸底板高程降低, 涵闸引水能力加大, 闸后输沙渠(干渠)、渠道建筑物等输水系统的输水能力和不同工程状况下灌区水沙资源的变化等问题需要重新研究, 尤其是引黄闸改建后闸后输沙渠面临的一系列问题需要重点研究。开展基于位山闸改建后闸后输沙渠的配套改造参数研究, 不仅是位山灌区亟待解决的生产问题, 对引黄涵闸改建后灌区输水工程配套、优化及良性运行具有重要的现实意义和应用价值。

1 分析计算方法

1.1 渠道水力要素值分析方法

HEC-RAS 是用来进行水力分析的集成程序, 提供了恒定流和非恒定流的水面线计算, 基本原理利用一维能量方程即伯努利方程完成一维恒定流和非恒定流的河流水力计算。

设定不同的渠道参数和渠道建筑物参数, 模拟不同流量级的渠道水流运动表现。位山灌区西输沙渠过水断面规则、衬砌良好、底坡固定, 本次采用恒定流模块开展水力分析计算。基于西输沙渠工程布局, 对位山闸改建后闸后输沙渠进行过水能力分析, 研究西输沙渠改造的合理断面形态、比降、水位、流速等参数范围, 设定不同的渠道断面改造参数, 本研究共设计了 10 个断面改造模拟方案, 每种方案代表一种特定的图形数据和流量数据的组合情况, 基本数据输入

收稿日期: 2021-09-03

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC0407700)

作者简介: 卞艳丽(1983-), 女, 江苏徐州人。高级工程师, 主要从事节水灌溉与水资源高效利用方面的研究工作。E-mail: hhuby1@126.com

到 HEC-RAS，用图形和表格分别比较各种方案的模拟结果。根据西输沙渠不同断面水位、流量、流速的反应，分析位山闸改建与西输沙渠配套改造的引输水水力要素。

1) 模拟断面与初始、边界条件

模拟断面共设置 11 个断面，如表 1 所示。起始断面（渠首断面）的初始流量设置 4 个流量，分别为

表 1 西输沙渠水流运动模拟断面位置桩号

Table 1 Location and stake number of simulated section of flow movement in west sediment transport channel

断面名称	起始断面	关山西	孙清桥	油坊桥	高村桥	-	七级分干	苇铺	西渠末端	总干渠首	周店闸前
桩号/m	120	1 220	2 064	4 090	6 990	9 000	11 000	14 150	15 000	22 600	25 600

表 2 西输沙渠水流运动模拟的初始与末端边界条件

Table 2 Initial and end boundary conditions of flow movement simulation in west sediment transport channel

初始流量/(m ³ s ⁻¹)	20.00	60.00	100.00	160.00
大沽高程水位/m	36.12	37.00	37.52	38.02

2) 参数确定

渠道糙率是反映渠槽边界和水流因素对水流阻力影响的一个综合量。挟沙水流的渠道糙率除与渠槽表面的粗糙程度有关外，还与水流含沙量、水流流量、泥沙的粒径以及沙粒的形态等因素有关。根据《灌溉与排水工程设计标准》GB50288—2018 的规定，并结合灌区已衬砌渠道的运行实践情况，确定本次输沙渠改造方案的衬砌边坡糙率采用 0.014，渠底糙率（无护底时）采用 0.02。由于涉水建筑物对渠道过水断面的侵占，水流流经时上游水流面收窄和下游水流面扩散过程中的能量损失。在 HEC-RAS 中，需考虑流经涉水建筑物时产生的能量损失，本次水流运动模拟分析以渐变流为主（过水断面形态稳定），扩散系数取 0.3，收缩系数取 0.1；若有桥梁的情况下，扩散系数取 0.5，收缩系数取 0.3。考虑水流的能量损失主要是沿程能量损失，局部能量损失不计。

1.2 渠道冲淤平衡分析方法

1) 渠道允许流速

为了保证渠道的正常运行，需要规定渠道通过的断面平均流速上限值和下限值，称为允许流速，用 v 表示，要求 $v_{不淤} < v < v_{不冲}$ 。采用陕西省水利科学研究所的公式：

$$v_{不冲} = CR^{0.4}, \quad (1)$$

式中： R 为水力半径（m）； C 为系数，粉质壤土的 $C=0.96$ ，砂壤土的 $C=0.70$ 。

水流的挟沙能力与平均流速有关， $v_{不淤}$ 可根据经验公式确定：

$$v_{不淤} = C'\sqrt{R}, \quad (2)$$

式中： R 为水力半径（m）； C' 为系数，与悬浮泥

20、60、100、160 m³/s。边界条件以模拟的终止断面周店闸（一、二干渠渠首）的闸前水位作为水位边界条件输入。根据周店闸 2014—2018 年闸前水位、流量资料，分析确定不同流量对应的闸前水位。末端周店闸水位条件见表 2，高程与水位均采用大沽高程，特别标注除外。

沙直径和水力粗度（泥沙颗粒在静水中沉降的速度）有关，还与渠道壁面糙率有关，根据相关监测数据资料，西输沙渠渠道允许流速系数 C' 值取 0.41。

2) 渠道水流挟沙能力计算

黄河下游地区衬砌渠道水流挟沙能力计算式为：

$$\rho = 0.117 \left(\frac{V^2}{gR}\right)^{0.381} \left(\frac{V}{\omega}\right)^{0.91}, \quad (3)$$

式中： ρ 为浑水渠道水流挟沙能力（kg/m³）； V 为断面平均流速（m/s）； ω 为泥沙沉降速度（mm/s）； R 为水力半径（m）； g 为重力加速度（m/s²）。

2 西输沙渠不同改造方案的水沙要素结果分析

根据位山闸下降 1.09 m 的设计值，西输沙渠配套改造方案有：降低渠底高程，在现状渠底高程的基础上分析 1.2、1.5、1.8 m 的 3 种下挖方案的渠道水位流速表现及渠道冲淤表现；将原梯形断面改为复式断面，分析 3 种挖深方案下浅滩宽度分别采用 2.0、2.5、3.0、4.0 m 的渠道水位流速表现及渠道冲淤表现，如表 3 所示。西输沙渠的边坡系数及纵坡等其他设计参数不变。

表 3 3 种挖深方案下西输沙渠不同浅滩宽度配套改造方案

Table 3 Matching reconstruction schemes for different shoal widths of the west sediment transport channel under the three deep excavation schemes

输沙渠下挖方案/m	浅滩宽度/m	方案总数
1.2	2.0	8
	2.5	
	3.0	
1.5	2.0	
	2.5	
	3.0	
1.8	2.0	
	2.5	
	3.0	
	4.0	

2.1 3 种挖深方案的渠道流量水位表现

分析不同挖深的西输沙渠流量水位表现，不考虑浅滩变化，西输沙渠上、中、下段不同过水断面 3 种挖深方案的水位流量关系可以看出（图 1），渠道挖

深深度越大,同流量水位下降越明显,上游断面受挖深影响尤其显著,小流量水位受挖深影响程度更大,挖深越深,渠首断面同流量水位越低,对提高位山闸引水能力越有利。下游断面受下游回水影响显著,水位的顶托作用明显,挖深对水位流量关系的影响明显小于上游断面。挖深 1.2 m 的同流量水位最高,挖深 1.8 m 的同流量水位最低。

根据西输沙渠分别挖深 1.2、1.5、1.8 m 的沿程水位过程可以看出(图 2),渠道挖深深度越大,相同过流断面同流量水位越低,水位沿程下降先快后慢,上游水面比降大于下游。3 种挖深方案在同一断面的水位差上游要远远大于下游。挖深 1.2 m 的水面线最高,挖深 1.8 m 的水面线最低。挖深越有利于位山闸引水。

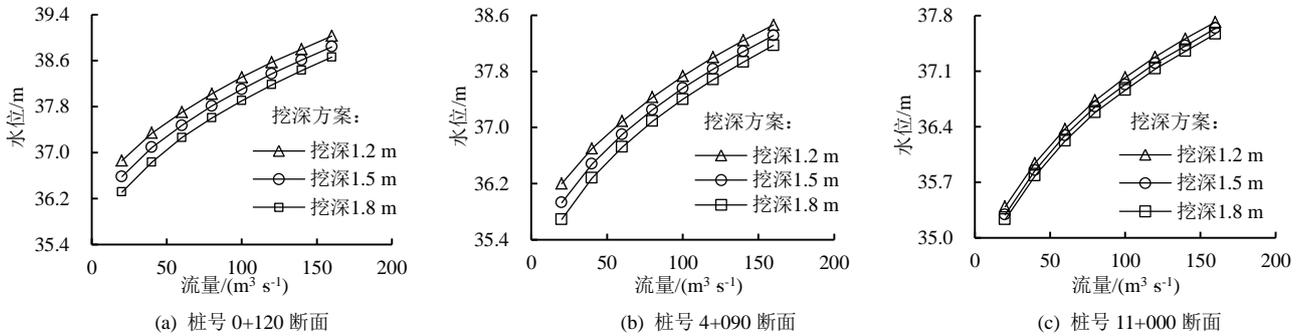


图 1 西输沙渠过水断面 3 种挖深方案的水位流量关系

Fig.1 Relationship between water level and discharge of three excavation schemes for the discharge section of the West sediment transport channel

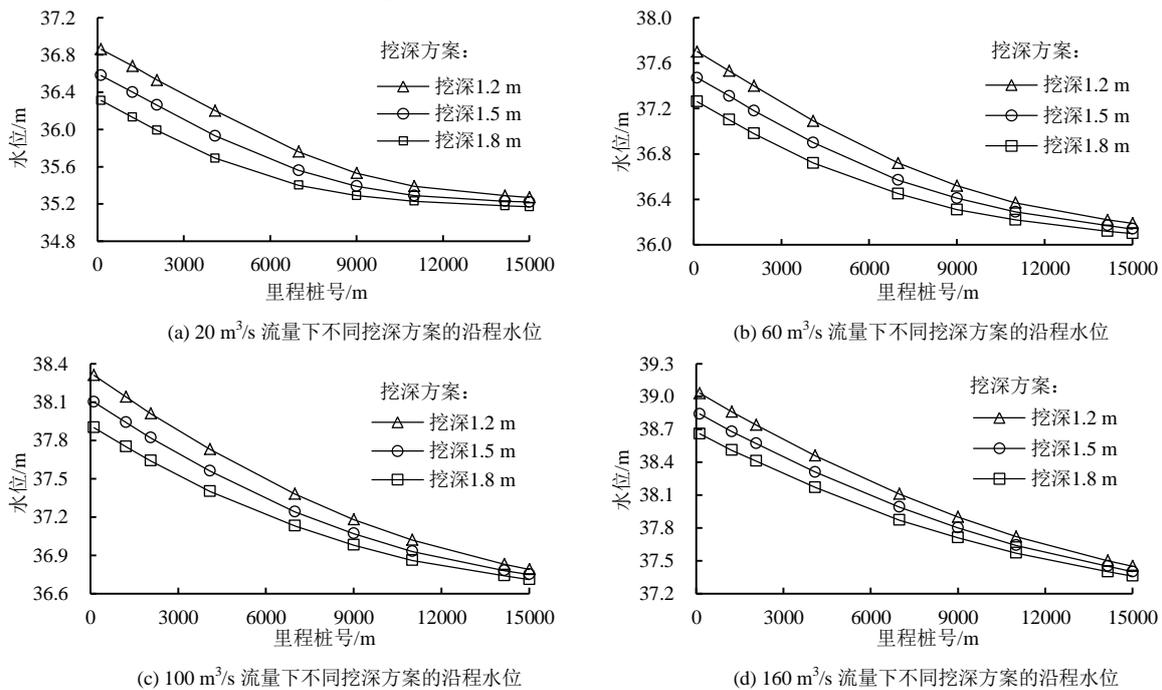


图 2 西输沙渠 20~160 m³/s 流量下不同挖深方案的沿程水位过程

Fig.2 Water level process along the west sand conveying channel under different excavation depth schemes under 20~160 m³/s flow

2.2 3 种挖深不同浅滩宽度的渠道冲淤平衡分析

根据西输沙渠实际情况,3 种挖深深度(1.2、1.5、1.8 m)不同浅滩宽度(2~4 m)组合下的渠道水沙要素计算结果见表 4。由表 4 可知,在西输沙渠过水流量 160 m³/s 的情况下,不同方案下的流速已很难维系在不冲不淤流速之间,渠道设计流量 160 m³/s 下的流速基本刚刚达到不冲流速,不同断面形态的流速均能达到不冲不淤流速。

为减少渠道淤积,建议复式渠道的主槽过流量达到设计引水量的 30%左右,即改造后的西输沙渠复式

渠道主槽过流量要达到 48 m³/s,才能满足小流量尽量过主槽,大流量过大断面的要求,同时最大限度地提高水流挟沙力,减轻渠道泥沙淤积。考虑到西渠常流量为 60 m³/s,分析表中流量为 60、100 m³/s 这 2 种情况下的主槽过流量,很明显挖深 1.2 m 的方案在任何时候的主槽过流量都达不到 48 m³/s,故放弃 1.2 m 挖深方案。

由 1.5 m 和 1.8 m 挖深的主槽过流量数据(表 4)可知,发生漫滩前(即水深小于挖深,主要发生在流量 ≤ 40 m³/s 范围内),水流挟沙力表现为随水深

增加而增大，而此时水深表现为随浅滩宽度增加而水流挟沙能力也越大，故推荐挖深 1.5 m、浅滩 3 m 增大^[6-8]，因此相同挖深情况下，浅滩宽度越大，其和挖深 1.8 m、浅滩 4 m 的改造方案。

表 4 不同改造方案组合下的渠道水沙要素值

Table 4 Channel water and sediment element values under different reconstruction schemes

流量/(m ³ s ⁻¹)	挖深/m	浅滩宽度 a/m	底宽 b/m	水深 h/m	v _{不冲} /(m s ⁻¹)	断面平均流速 V	v _冲 /(m s ⁻¹)	主槽过流量/(m ³ s ⁻¹)	挟沙能力/(kg m ⁻³)
20	1.2	2.0	31.2	0.90	0.38	0.67	0.90	20.00	1.35
		2.5	30.2	0.91	0.38	0.69	0.90	20.00	1.39
		3.0	29.2	0.93	0.38	0.69	0.91	20.00	1.40
		4.0	27.2	0.97	0.39	0.71	0.92	20.00	1.43
	1.5	2.0	30.0	0.92	0.38	0.68	0.90	20.00	1.37
		2.5	29.0	0.93	0.38	0.70	0.91	20.00	1.41
		3.0	28.0	0.96	0.39	0.70	0.92	20.00	1.40
		4.0	26.0	1.00	0.39	0.71	0.93	20.00	1.44
	1.8	2.0	28.8	0.94	0.38	0.69	0.91	20.00	1.40
		2.5	27.8	0.96	0.39	0.70	0.92	20.00	1.41
		3.0	26.8	0.98	0.39	0.71	0.92	20.00	1.43
		4.0	24.8	1.02	0.40	0.73	0.93	20.00	1.49
40	1.2	2.0	31.2	1.38	0.44	0.84	1.02	33.89	1.74
		2.5	30.2	1.41	0.44	0.84	1.01	32.87	1.74
		3.0	29.2	1.44	0.44	0.84	1.01	31.84	1.74
		4.0	27.2	1.51	0.44	0.83	1.01	29.53	1.71
		5.0	25.2	1.57	0.44	0.83	1.01	27.49	1.70
	1.5	2.0	30.0	1.41	0.46	0.90	1.06	40.00	1.86
		2.5	29.0	1.44	0.47	0.91	1.06	40.00	1.88
		3.0	28.0	1.47	0.47	0.91	1.07	40.00	1.90
		4.0	26.0	1.60	0.44	0.84	1.02	36.62	1.74
		5.0	24.0	1.68	0.44	0.84	1.02	33.92	1.73
	1.8	2.0	28.8	1.41	0.46	0.90	1.06	40.00	1.86
		2.5	27.8	1.44	0.47	0.91	1.06	40.00	1.88
3.0		26.8	1.47	0.47	0.91	1.07	40.00	1.90	
4.0		24.8	1.54	0.48	0.93	1.08	40.00	1.94	
5.0		22.8	1.61	0.48	0.95	1.10	40.00	2.00	
60	1.2	2.0	31.2	1.72	0.49	0.97	1.11	39.23	2.04
		2.5	30.2	1.75	0.49	0.97	1.11	38.03	2.03
		3.0	29.2	1.78	0.49	0.97	1.11	36.82	2.03
		4.0	27.2	1.84	0.49	0.97	1.11	34.41	2.03
	1.5	2.0	30.0	1.79	0.50	0.98	1.12	48.48	2.05
		2.5	29.0	1.83	0.49	0.98	1.12	46.89	2.04
		3.0	28.0	1.87	0.49	0.97	1.11	45.31	2.03
		4.0	26.0	1.95	0.49	0.97	1.11	42.16	2.02
	1.8	2.0	28.8	1.86	0.50	0.99	1.12	57.62	2.07
		2.5	27.8	1.91	0.50	0.98	1.12	55.64	2.06
		3.0	26.8	1.96	0.50	0.98	1.12	53.67	2.05
		4.0	24.8	2.05	0.50	0.98	1.12	50.08	2.05
100	1.2	2.0	31.2	2.28	0.56	1.16	1.24	46.96	2.48
		2.5	30.2	2.31	0.56	1.16	1.24	45.50	2.47
		3.0	29.2	2.34	0.56	1.16	1.24	44.03	2.47
		4.0	27.2	2.40	0.56	1.16	1.24	41.11	2.46
	1.5	2.0	30.0	2.36	0.57	1.17	1.25	57.98	2.49
		2.5	29.0	2.40	0.57	1.17	1.24	56.06	2.48
		3.0	28.0	2.43	0.57	1.17	1.24	54.43	2.49
		4.0	26.0	2.51	0.57	1.16	1.24	50.62	2.47
	1.8	2.0	28.8	2.44	0.57	1.18	1.25	68.82	2.51
		2.5	27.8	2.48	0.57	1.18	1.25	66.77	2.52
		3.0	26.8	2.53	0.57	1.18	1.25	64.39	2.50
		4.0	24.8	2.62	0.57	1.17	1.24	59.95	2.49
160	1.2	2.0	31.2	2.96	0.64	1.37	1.37	55.18	2.96
		2.5	30.2	2.99	0.64	1.37	1.37	53.44	2.95
		3.0	29.2	3.02	0.64	1.36	1.36	51.70	2.94
		4.0	27.2	3.07	0.63	1.36	1.36	48.44	2.95
	1.5	2.0	30.0	3.05	0.64	1.38	1.37	68.10	2.97
		2.5	29.0	3.08	0.64	1.38	1.37	66.10	2.98
		3.0	28.0	3.12	0.64	1.37	1.37	63.84	2.96
		4.0	26.0	3.19	0.64	1.37	1.37	59.58	2.96
	1.8	2.0	28.8	3.14	0.64	1.39	1.38	80.78	2.99
		2.5	27.8	3.18	0.64	1.38	1.38	78.28	3.00
		3.0	26.8	3.23	0.64	1.38	1.38	75.47	2.98
		4.0	24.8	3.31	0.64	1.38	1.37	70.46	2.98

2.3 不同种挖深不同浅滩宽度的西输沙渠流量水位表现

1) 西输沙渠挖深 1.5 m 时不同浅滩宽度西输沙渠流量水位表现。西输沙渠挖深 1.5 m 时上、中、下游不同过水断面不同浅滩宽度的西输沙渠水位流量关系见图 3, 由图 3 可知, 不同浅滩宽度 2.0、2.5、3.0 m 对渠首断面的同流量水位影响很小, 对渠道上

中下游的同流量水位影响更小, 浅滩宽度 2.0 m 的设计渠道同流量水位略微偏低 (≤ 2 cm)。

根据西输沙渠挖深 1.5 m 不同浅滩宽度的渠道沿程水位过程可以看出 (图 4), 3 种浅滩宽度下西输沙渠上中下游的水位变化很小, 浅滩 2.0 m 的渠道水位相对较低, 浅滩 3.0 m 的渠道水位相对较高, 但差别很小, 同流量最大水位差 ≤ 4 cm。

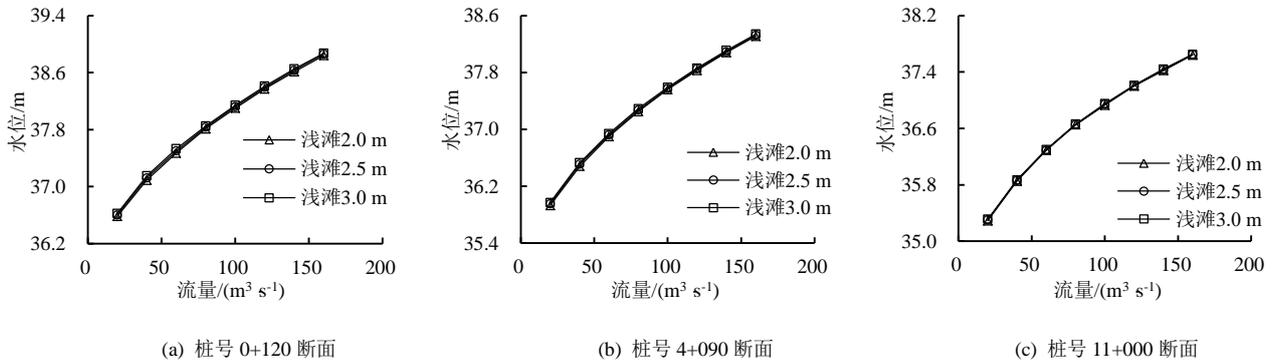


图 3 西输沙渠挖深 1.5 m 不同浅滩宽度设计方案的水位流量关系

Fig.3 Water level discharge relationship of different shoal width design schemes with 1.5 m excavation depth of west sediment transport channel

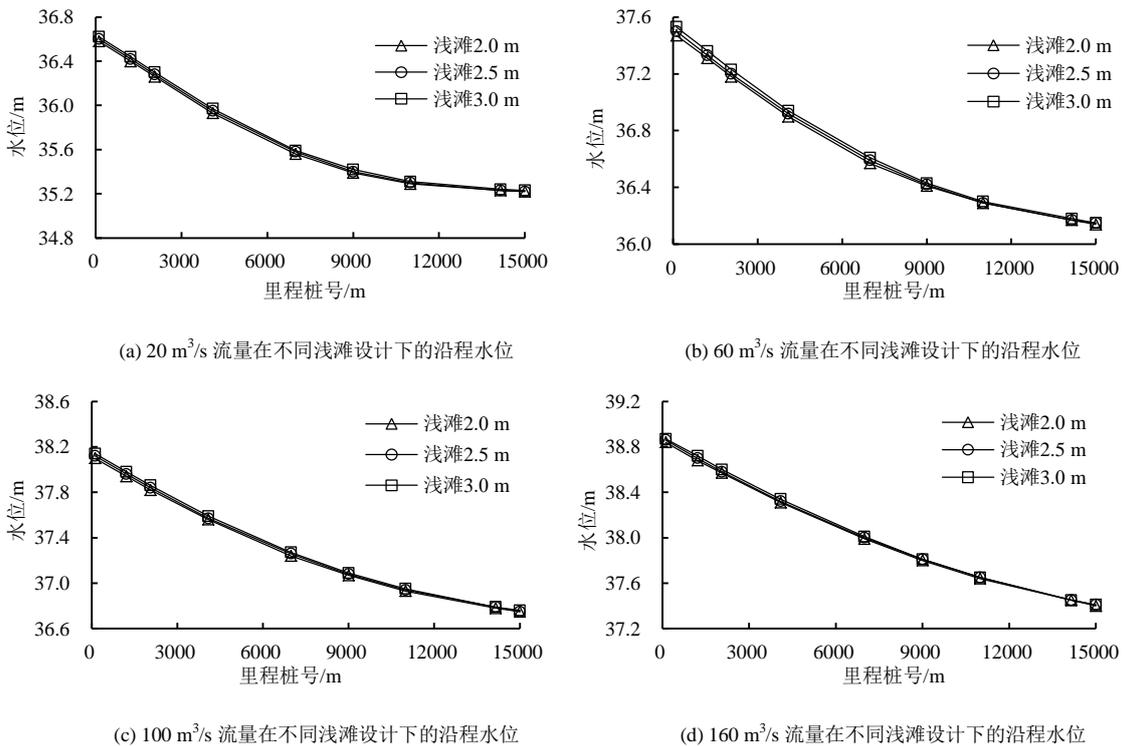


图 4 西输沙渠挖深 1.5 m 不同流量在不同浅滩设计下的沿程水位过程

Fig.4 Water level process along the West sediment transport channel with excavation depth of 1.5 m and different discharge under different shoal designs

2) 西输沙渠挖深 1.8 m 时不同浅滩宽度西输沙渠流量水位表现。西输沙渠挖深 1.8 m 时上、中、下游不同过水断面不同浅滩宽度设计方案的水位流量关系见图 5, 由图 5 可知, 不同浅滩宽度 2.0、2.5、3.0、4.0 m 对渠首断面的同流量水位影响很小, 对渠

道上中下游的同流量水位基本没有影响, 浅滩宽度 2.0 m 的设计渠道水位略微偏低。

根据西输沙渠挖深 1.8 m 不同浅滩宽度的渠道沿程水位过程可以看出 (图 6), 4 种浅滩宽度设计下西输沙渠上中下游的水位变化较小, 浅滩 2.0 m 的渠

道水位相对较低，浅滩 4.0 m 的渠道水位相对较高，但差别很小，浅滩 4.0 m 与浅滩 2.0 m 输沙渠过水的最大水位差 7 cm（渠首断面），考虑到渠道低水位运行有利于位山闸引水，可以将西输沙渠浅滩宽度定为较小值。

综合渠道冲淤平衡分析结果，考虑工程投资和工程量等因素，则挖深越浅、浅滩宽度越大，相应的施工成本也越低，推荐将挖深 1.5 m、浅滩宽度 3.0 m 作为西输沙渠渠道断面设计优选方案。

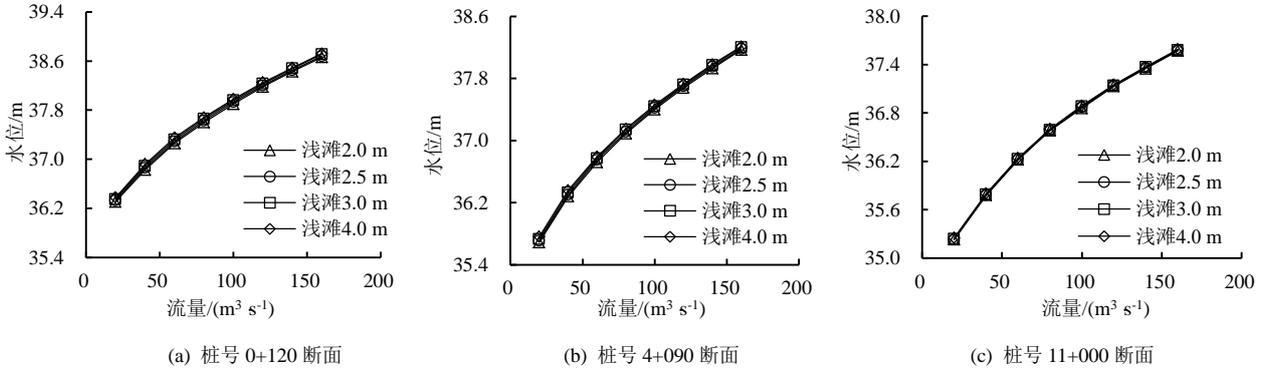


图 5 西输沙渠挖深 1.8 m 不同浅滩宽度设计方案的水位流量关系

Fig.5 Water level discharge relationship of different shoal width design schemes with 1.8 m excavation depth of west sediment transport channel

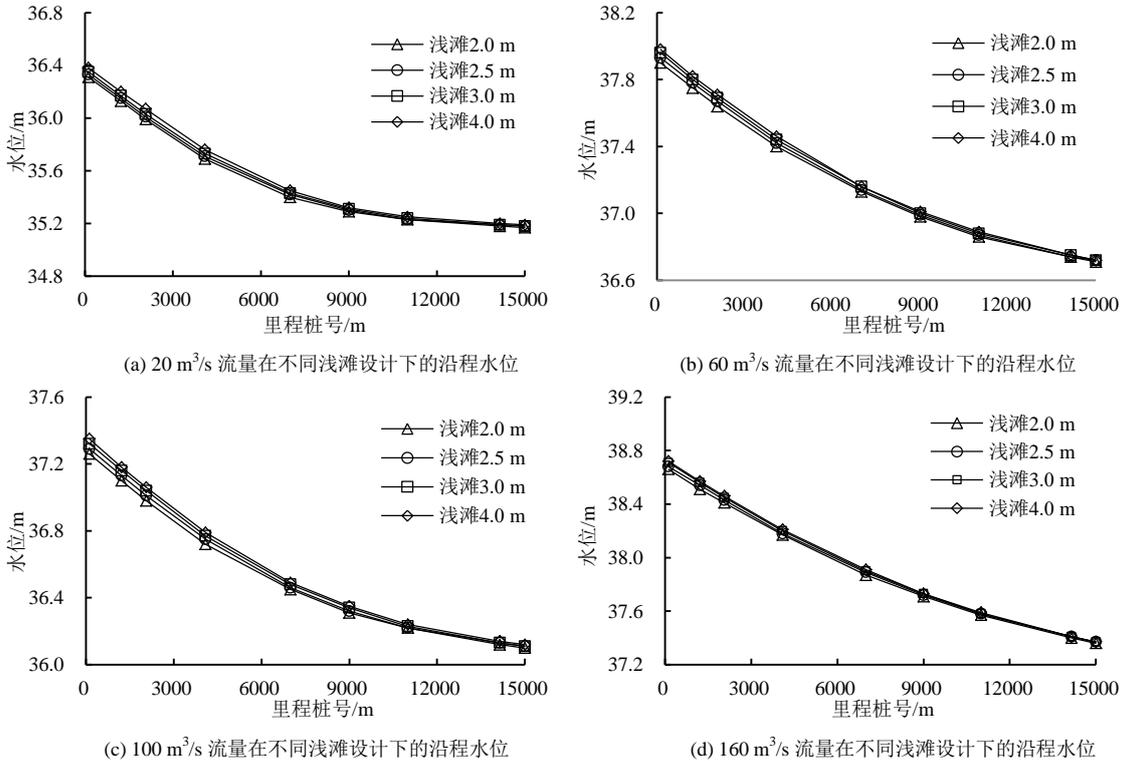


图 6 西输沙渠挖深 1.8 m 不同流量不同浅滩宽度设计方案的沿程水位过程

Fig.6 Water level process along the west sediment transport channel with excavation depth of 1.8 m and design schemes of different flow and shoal width

3 优选方案确定

根据灌区监测资料，输沙渠水温取 0 °C，西输沙渠渠首断面（桩号 0+120）处粒径取 0.007 mm，泥沙沉降速度 ω 为 0.018 5 m/s；油坊桥断面（桩号 4+090）处粒径取 0.006 mm，泥沙沉降速度 ω 为 0.013 6 m/s；七级分干断面（桩号 11+000）处粒径取 0.005 mm，泥沙沉降速度 ω 为 0.009 46 m/s。泥沙粒径与泥沙沉

降速度关系见表 5。

利用 HEC-RAS 软件模拟得到西输沙渠不同过水断面水力要素值（水深、流速、比降），根据挖深 1.5 m、浅滩 3.0 m 和挖深 1.8 m、浅滩 4.0 m 这 2 种改造方案，分别对西输沙渠渠首断面（桩号 120）、油坊桥断面（桩号 4 090）和七级分干断面（桩号 11 000）3 个断面的不冲不淤流速和水流挟沙能力进行计算，详见表 6。

表 5 泥沙粒径与沉降速度关系表

Table 5 Relationship between sediment particle size and sedimentation velocity

粒径/mm	沉降速度/(mm s ⁻¹)			
	水温 0 °C	水温 10 °C	水温 20 °C	水温 30 °C
0.001	0.000 37	0.000 51	0.000 17	0.000 83
0.002	0.001 52	0.002 06	0.002 67	0.003 33
0.003	0.003 41	0.004 63	0.006 01	0.007 48
0.004	0.006 04	0.008 22	0.010 70	0.013 30
0.005	0.009 46	0.012 90	0.016 70	0.020 80
0.006	0.013 60	0.018 50	0.024 00	0.029 90
0.007	0.018 50	0.025 20	0.032 70	0.040 70
0.008	0.024 20	0.032 90	0.042 60	0.053 10
0.009	0.030 60	0.041 60	0.054 00	0.067 40
0.010	0.037 90	0.051 40	0.066 70	0.083 20
0.020	0.152 00	0.206 00	0.267 00	0.333 00
0.030	0.341 00	0.463 00	0.601 00	0.748 00
0.040	0.604 00	0.822 00	1.070 00	1.330 00
0.050	0.946 00	1.290 00	1.670 00	2.060 00
0.060	1.360 00	1.850 00	2.400 00	3.170 00
0.070	1.850 00	2.520 00	3.500 00	4.080 00
0.080	2.420 00	3.410 00	4.410 00	5.130 00
0.090	3.060 00	4.190 00	5.550 00	6.180 00
0.100	3.700 00	4.970 00	6.120 00	7.350 00
0.150	7.690 00	9.900 00	11.800 00	13.700 00

表 6 西输沙渠不同方案下的断面流速和挟沙能力表

Table 6 Section velocity and sediment carrying capacity of West sediment transport channel under different schemes

不同方案	不同断面	流量/(m ³ s ⁻¹)	水深/m	$v_{不冲}/(m^3 s^{-1})$	断面平均流速 $v/(m^3 s^{-1})$	$v_{不冲}/(m^3 s^{-1})$	挟沙能力/(kg m ⁻³)	
挖深 1.5 m、 浅滩 3.0 m	0+120 渠首断面	20	1.03	0.40	0.65	0.94	0.92	
		40	1.56	0.46	0.86	1.06	1.31	
		60	1.94	0.52	0.98	1.15	1.50	
		80	2.26	0.56	1.07	1.22	1.64	
		100	2.55	0.59	1.14	1.28	1.75	
	4+090 油坊桥	20	1.04	0.40	0.64	0.95	1.18	
		40	1.60	0.47	0.83	1.07	1.62	
		60	2.01	0.52	0.93	1.17	1.80	
		80	2.36	0.57	1.01	1.25	1.94	
		100	2.66	0.60	1.09	1.30	2.11	
	11+000 七级分干	20	1.48	0.45	0.44	1.03	0.76	
		40	2.04	0.53	0.61	1.18	1.15	
		60	2.47	0.58	0.72	1.27	1.39	
		80	2.82	0.62	0.81	1.33	1.63	
		100	3.11	0.65	0.89	1.38	1.89	
	挖深 1.8 m、 浅滩 4.0 m	0+120 渠首断面	20	1.06	0.41	0.66	0.95	0.93
			40	1.60	0.49	0.85	1.11	1.23
			60	2.03	0.53	0.99	1.17	1.50
			80	2.37	0.57	1.08	1.25	1.64
			100	2.67	0.60	1.15	1.31	1.74
4+090 油坊桥		20	1.10	0.41	0.63	0.97	1.12	
		40	1.70	0.50	0.79	1.13	1.41	
		60	2.14	0.54	0.92	1.20	1.72	
		80	2.51	0.58	1.00	1.28	1.87	
		100	2.81	0.62	1.08	1.33	2.04	
11+000 七级分干		20	1.70	0.50	0.41	1.13	0.57	
		40	2.26	0.56	0.59	1.22	0.98	
		60	2.69	0.60	0.70	1.31	1.25	
		80	3.05	0.64	0.79	1.37	1.49	
		100	3.34	0.67	0.87	1.42	1.74	

灌区实测数据显示,西输沙渠上游关山西断面(桩号 1 220)和下游苇铺断面(桩号 14 150)的相对含沙量基本介于 $1\sim 6\text{ kg/m}^3$,年平均含沙量在 2 kg/m^3 左右,与表 6 中所计算的挟沙能力相近,满足冲淤平衡。此外,在引水流量 $20\text{ m}^3/\text{s}$ 下,挖深 1.8 m、浅滩 4.0 m 改造方案在七级分干断面处的渠道流速明显小于其不淤流速,会产生明显淤积,挖深 1.5 m、浅滩 3.0 m 改造方案在七级分干断面处的流速基本能达到不淤流速;流量大于 $20\text{ m}^3/\text{s}$ 下时,挖深 1.5 m、浅滩 3.0 m 改造方案的渠道断面输沙渠流速与其不淤流速之差要比挖深 1.8 m、浅滩 4.0 m 改造方案的渠道输沙渠流速与其不淤流速之差大,即后者比前者更容易淤积。

综上所述,推选下挖 1.5 m,浅滩 3.0 m,边坡 1:2 的复式断面为西输沙渠渠道断面改造的最优方案。

4 结论与建议

1)为应对位山闸需下降闸底板的改建方案,渠系配套改造中发现通过挖深降低闸后渠底高程为西输沙渠配套改造的最佳措施,渠底挖深后闸后水位下降明显,通过增加水头差提高位山闸引水能力;将梯形断面改为复式断面,有利于束水攻沙,减少渠底淤积。

2)经不同改造方案优化分析计算得到渠底下挖 1.5 m,浅滩宽度 3.0 m,边坡 1:2 为西输沙渠复式断面改造的最优方案,渠底比降按原比降进行改造,其他设计参数不变。

3)西输沙渠配套改造后,引水流量小于 $40\text{ m}^3/\text{s}$ 时,七级分干断面(桩号 11+000)下游易发生淤积,建议西输沙渠引水流量保持在 $40\text{ m}^3/\text{s}$ 以上。

4)在位山闸改建和西输沙渠配套改造完成后,建议对闸前、闸后及输水干渠水位、流量、含沙量进行持续观测,增加沉沙池前端和末端的水位、流量、含沙量观测断面,观测基础运行数据,用于分析新条件下渠道引水能力和水沙变化规律,不断完善工程运

行管理与维护。

参考文献:

- [1] 田庆奇,卢健,史红玲.黄河下游引黄灌区发展及泥沙治理历程探讨[J].中国水利,2016(1):36-38.
- [2] 徐寅聚.位山引黄灌区面临的问题及对策[J].人民黄河,1990,12(1):55-59.
- [3] 黄河水利科学研究院.黄河下游引黄涵闸引水能力调研报告[R].郑州:黄河水利科学研究院,2015.
- [4] 王茹,刘路,陈双,等.浅析黄河调水调沙对滨州引黄闸引水能力的影响[J].科技信息,2011(11):824-825.
- [5] 黄河勘测设计有限公司.黄河下游引黄涵闸改建工程可行性研究阶段勘测设计任务书[R].郑州:黄河勘测设计有限公司,2019.
- [6] 周宗军,王延贵.引黄灌渠复式断面输水输沙特性研究[J].泥沙研究,2008(5):71-75.
- [7] 黄继文,宫永波,林琳,等.黄河调水调沙对下游山东段的不利影响[J].水资源保护,2012,28(1):9-12.
- [8] 李东阳,赵秀凤.河南黄河涵闸引水能力变化成因及对策分析[J].河南水利与南水北调,2015(16):75-76.
- [9] 袁占军,朱志方,杜华凯.黄河调水调沙对黄河下游引黄供水的影响分析[J].华北水利水电学院学报,2012,33(4):29-31.
- [10] 刘洪川,蒋远顺.位山灌区引水现状与合理引水量探讨[J].人民黄河,1994,16(1):38-40.
- [11] 冯保清.关于黄河下游引黄灌溉的思考:以山东省位山灌区为例[J].中国水利,2008(19):45-47.
- [12] 张巨磊.山东省位山灌区引黄工程泥沙综合治理与效益分析研究[D].长沙:中南林业科技大学,2011.
- [13] 王普庆,王晖,王平.基于位山闸引水能力下降的修复技术措施探讨[J].灌溉排水学报,2018,37(S1):170-174.
- [14] 周玲.基于神经网络的涵闸流量软测量建模研究[D].南京:河海大学,2002.
- [15] 张娜.基于神经网络的水位流量关系率定[D].南昌:南昌大学,2014.

(下转第 65 页)