

黄河调水调沙对小开河灌区输水输沙影响研究

张宝军, 由国栋, 刘乐*, 张惠萍, 李长鹏, 刘镇
(滨州市引黄灌溉服务中心, 山东 滨州 256600)

摘要: 黄河下游泥沙淤积问题是制约引黄灌区可持续发展的关键问题之一, 理清黄河调水调沙对小开河灌区输水输沙的影响具有重要意义。小开河灌区采用自流远距离输沙技术, 科学地解决了引黄泥沙淤积问题。但近年来黄河水沙在全球气候变化和人类活动影响下, 黄河水沙发生显著性变化, 亟须厘清变化环境下小开河灌区引水引沙特性及泥沙池泥沙冲淤规律, 支撑黄河流域生态保护和高质量发展。本研究基于 1999—2015 年小开河灌区输水输沙资料, 分别对黄河调水调沙后灌区输水量、输沙量以及输沙渠和泥沙池泥分布规律 4 个方面, 系统分析了小开河灌区水沙变化规律。研究表明, 灌区输水和水沙总体呈下降趋势, 泥沙淤积逐渐由支渠变成输沙渠与泥沙池, 亟需开展兼顾泥沙淤积与生态保护的新型泥沙池研究。

关键词: 小开河灌区; 引水引沙; 泥沙池; 冲淤

中图分类号: TV146

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2021425

张宝军, 由国栋, 刘乐, 等. 黄河调水调沙对小开河灌区输水输沙影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(Supp.1): 39-43.

ZHANG Baojun, YOU Guodong, LIU Le, et al. Study on the Influence of Water and Sediment Regulation of the Yellow River on Water and Sediment Transport in Xiaokaihe Irrigation Area[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(Supp.1): 39-43.

0 引言

【研究意义】黄河三角洲地区土地资源丰富, 是我国重要的农业开发区和高效生态经济示范区, 也是黄河流域生态保护和高质量发展的关键区域^[1]。黄河作为唯一可大规模开发的淡水水源, 既决定了该区域农业发展主要是以引黄灌溉为主, 也提出了灌区发展的 2 个制约问题: 水资源短缺和泥沙淤积^[2-3]。黄河含沙量大与三角洲地势平坦使得多数引黄灌区泥沙效率越来越低, 泥沙和放淤改土措施加剧了灌区土壤沙化和生态恶化^[4-5]。如何平衡灌区输水输沙是该区域生态与经济可持续发展的关键问题。【研究进展】面对引黄灌区水沙问题, 小开河灌区 1998 年建成, 采用远距离输沙技术, 实践和理论证明远距离输沙技术是解决灌区泥沙问题的有效措施之一^[6]。戴清等^[7]针对小开河灌区研究后提出了渠道在来水来沙条件、河道干预条件和输水输沙三者作用下, 小开河输沙渠

淤积量稳定在 37.0 万 m^3 , 在这一条件下, 渠道可实现冲淤平衡。毛伟兵等^[8]提出了小开河泥沙的优化配置方式。胡健等^[9]研究认为在设计流量下灌区输沙渠沿程输沙能力变化不大, 多年运行下小开河灌区输沙干渠处于冲淤平衡状态。【切入点】近年来受全球气候变化及以及黄河调水调沙影响, 黄河河床下切, 灌区引水能力下降, 小流量引水成为新常态; 另外黄河泥沙颗粒变粗, 引起灌区水沙分配发生显著变化, 对原有的灌区输沙渠冲淤平衡带来巨大影响。【拟解决的关键问题】本研究以小开河引黄灌区 1999—2015 年输水输沙资料为基础, 研究不同时期引水引沙特性及泥沙池泥沙冲淤规律, 明晰黄河调水调沙对灌区泥沙空间分布影响, 以期对灌区正常运行管理和水沙变化条件下的泥沙治理提供技术支撑。

1 灌区概况

小开河灌区位于山东省滨州市, 灌区设计面积 14.98 万 hm^2 , 设计引水流量 60 m^3/s , 加大引水流量 85 m^3/s , 年设计引水量 3.930 亿 m^3 。采用岸边式无坝引水, 由于渠首无合适泥沙池选址, 因此小开河灌区创造性地将泥沙池设在灌区中游。灌区干渠全长 96.50 km, 其中输沙干渠长 51.30 km, 灌区采用大比降远距离输沙技术。

收稿日期: 2021-09-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(51809105); 黄科院科技发展基金项目(黄科发 202108); 黄河水利科学研究院基本科研业务费专项(HKY-JBYW-2019-06)

作者简介: 张宝军(1970-), 男, 高级工程师, 主要从事水利工程建设管理, 水资源管理。E-mail: zhangbj0543@163.com

通信作者: 刘乐(1977-), 男, 工程师, 主要从事水资源调控优化。E-mail: 1248971411@qq.com

2 调水调沙对灌区输水输沙影响

2.1 引水量

1999—2015 年小开河灌区年引水量情况, 2002 年引水最多达 4.40 亿 m^3 ; 2011 年引水最少仅为 1.29 亿 m^3 。按照小浪底调水调沙开始时间将小开河灌区输水输沙分为 3 个阶段: 第一阶段 1999—2002 年为调水调沙运行之前, 第二阶段 2003—2010 年为调水调沙影响期; 第三阶段 2011—2015 年为调水调沙现状期。3 个阶段小开河灌区引水量呈现出明显阶段性, 灌区总的输水量明显减少, 现状期灌区多年平均引水 1.90 亿 m^3 , 远低于灌区设计总输水量 3.93 亿 m^3 。在长期引水减少下对灌区长距离输沙工程的稳定运行提出了严峻考验。

2.2 灌区输沙规律分析

2.2.1 渠首含沙量

小开河灌区逐年平均含沙量变化见图 1。随着小浪底调水调沙开展, 灌区年均含沙量在 2003—2008 年显著降低, 由 7.24 kg/m^3 降到 1.67 kg/m^3 。2010—2015 年平均含沙量基本呈逐渐下降趋势, 在 2.43~3.64 kg/m^3 之间, 可见灌区的泥沙条件自灌区运行以来, 已发生显著改变。

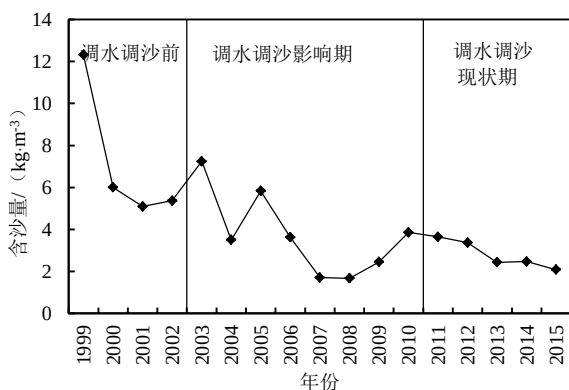


图 1 小开河灌区逐年平均含沙量变化过程

Fig.1 The change process of the annual average sediment content in Xiaokaihe Irrigation Area

灌区在 3 个时期内月平均含沙量概率分布见表 1。不同时段月引水含沙量大于 5 kg/m^3 的概率: 1999—2002 年为 60.6%, 2003—2010 年为 18.1%, 2011—2015 年为 17.39%。因此, 2003 年调水调沙后灌区月引水含沙量也降至 5 kg/m^3 以下, 小的泥沙量成为 2003 年灌区运行的常态。

2.2.2 灌区总输沙量

1999—2015 年逐年输沙量变化过程见图 2。调水调沙前灌区引沙总量较大, 其中引沙量最大为 2002 年 256.50 万 t。2002—2010 年引沙量基本呈下降趋势, 2007 年引沙量最低达到 29.90 万 t。2011—2015 年引沙量保持平稳, 引沙年的降低一方面是由于引水量减

少, 另一方面由于调水调沙后泥沙量降低。水沙变化改变了小开河灌区长距离输沙的边界条件。

表 1 小开河灌区不同时段月平均含沙量概率分布

Table 1 Probability distribution of monthly average sediment concentration in different periods of Xiaokaihe Irrigation District

含沙量/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	1999—2002 年		2003—2010 年		2011—2015 年	
	出现 月数	月数占 总月数/%	出现 月数	月数占 总月数/%	出现 月数	月数占 总月数/%
<5	13	39.4	59	81.9	38	82.61
5~10	14	42.4	6	8.3	8	17.39
10~15	1	3.0	4	5.6	-	-
15~20	3	9.1	1	1.4	-	-
20~30	2	6.1	2	2.8	-	-
30~40	-	-	-	-	-	-
最大值	27.72	3.0	23.36	1.4	8.43	2.17
总月数	33		72		46	

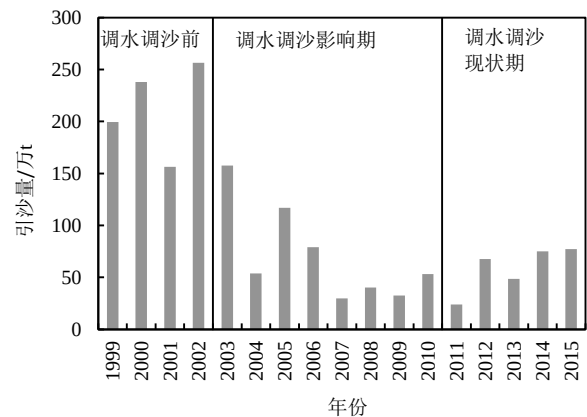


图 2 小开河灌区逐年引沙量变化过程

Fig.2 The changing process of sediment

diversion in Xiaokaihe irrigation area year by year

2.3 灌区年内输水输沙过程

2.3.1 年际含沙量、引沙量变化分析

2002 年开始调水调沙, 不同阶段小开河灌区平均含沙量和引沙量变化情况见表 2。灌区年际间引沙变化特征如下: ①2003 年开始灌区引水含沙量比调水调沙前大幅下降, 2003—2010 年、2011—2015 年分别下降 49.74%、63.37%。②2003—2010 年平均引沙量比调水调沙前降低 106.83 万 m^3 , 降低 53.97%; 2011—2015 年平均引沙量比调水调沙前降低 139.53 万 m^3 , 降低 70.49%。

表 2 调水调沙前后灌区引沙量数据对比表

Table 2 Comparison table of sediment diversion data in the irrigation area before and after water and sediment regulation

年份	含沙量变化率/%	年平均引沙量/万 t	引沙量变化率/%
1999—2002	-	197.93	-
2003—2010	49.74	91.10	53.97
2011—2015	63.37	58.40	70.49

1999—2015 年不同时段逐月含沙量变化过程见

图 3。

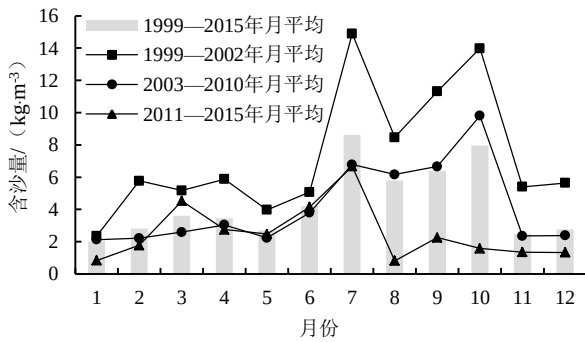


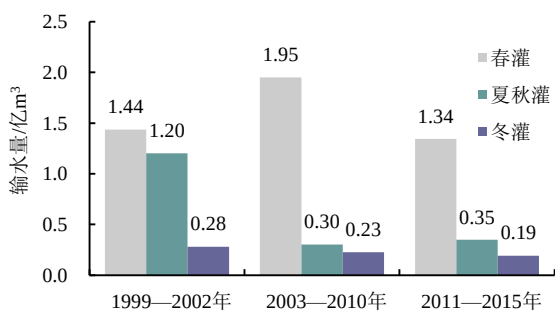
图 3 小开河灌区不同时段月平均含沙量变化过程

Fig.3 Variation process of monthly average sediment content in Xiaokaihe Irrigation District at different times

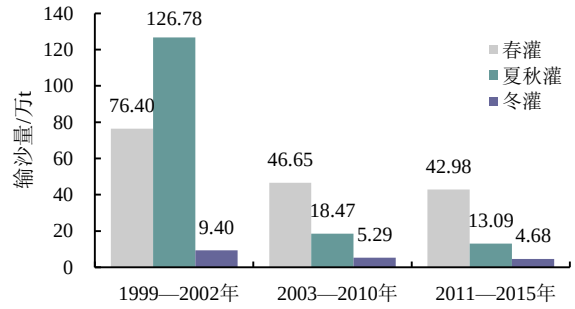
1999—2015 年的 1—6 月、11—12 月含沙量相比 7—10 月较低, 其中最低 1 月为 2.03 kg/m^3 , 最高 7 月为 8.62 kg/m^3 。3 个不同时段内含沙量变化过程可以看出: ①3 个不同时段内的月平均含沙量变过程趋势基本和 1999—2015 年变化过程相同, 含沙量最高月份出现在 7—10 月; ②1999—2001 年每月平均含沙量均大于其余 2 个时段含沙量; 2011—2015 年月平均引沙量相对于其他阶段较低。1999—2015 年内平均 11 月引沙量最小为 2.85 万 t, 7 月引沙量较其他月份最大为 32.96 万 t。

2.3.2 调水调沙前后灌溉季引水量、引沙量变化分析

图 4 为调水调沙运行前后灌区各年灌溉季平均值。由图 4 可知, ①1999—2002 年灌区夏秋引水量占全年灌溉总量的比例最大, 为 1.2 亿 m^3 , 其引沙量占全年引沙总量的比例也是最大的, 为 126.78 万 t (61.75%), 相应于夏秋灌引水含沙量最大; 春灌及夏秋灌的引水、引沙量均大于冬灌。②小浪底水库运行后 2002—2010 年, 春灌引水量占全年灌溉总量的比例明显增高; 各灌季引水含沙量明显减少。③2011—2015 年, 春灌引水量及引沙量占全年值的比例进一步加大, 但已经趋于稳定, 分别为 1.34 亿 m^3 和 42.98 m^3 。说明随着灌区运行和调水调沙的开展, 春灌引水是小开河引黄灌区全年引水任务的主要工作, 春灌也是研究灌区渠道泥沙淤积的重点时期。



(a) 不同灌溉季引水量



(b) 不同灌溉季引沙量

图 4 调水调沙前后灌区各时段不同灌季引水、引沙

Fig.4 Water diversion and sand diversion in different irrigation seasons in the irrigation area before and after water and sediment regulation

3 调水调沙对灌区泥沙淤积影响

随着灌区水沙条件转变, 泥沙在灌区分布直接关系到灌区可持续运行。以输沙渠淤积情况分析, 1999 年和 2002 年有泥沙淤积, 但在 2000—2001 年呈冲刷的趋势, 调水调沙前平均淤积量为 5.45 万 t; 调水调沙影响期年度间有冲有淤, 年均淤积量为 13.97 万 t; 现状期呈淤积加重趋势, 年平均淤积量为 19.86 万 t。调水调沙虽然对黄河整体上具有减少泥沙淤积的作用, 但其加重了灌区输沙渠的淤积。

1999—2015 年灌区支渠引沙量占总引沙量的 49.58%, 是水沙分配的主要形式; 沉沙池的进沙量占总引沙量的 37.64%, 是水沙分配的次要形式; 输沙渠中的累计泥沙淤积量仅占总引沙量的 12.78%。三者之间所占比例关系为支渠>沉沙池>输沙渠。

在调水调沙作用下, 输沙渠淤积逐渐增多, 支渠内泥沙淤积逐渐稳定, 而沉沙池内泥沙淤积逐渐减少, 这表明沉沙池在新的水沙条件下作用逐渐减小, 有威胁灌区稳定运行的可能性。

4 讨论

受气候变化与人类活动影响, 黄河入海水沙情势发生显著变化, 韩沙沙等^[10]根据对黄河 1950—2018 年水沙资料分析, 系统研究了黄河口水沙变化规律, 揭示了黄河下游水沙变化过程逐渐由自然模式转变为人为调控模式。因此, 分析近年来引黄灌区输水输沙影响对未来灌区的高质量发展具有指导意义。毛伟兵等^[8]和戴清等^[7]分别研究了从 1999—2004 年和 1999—2008 年小开河灌区水沙分布规律和泥沙淤积特点, 显然均未涉及调水调沙开展后现状年的变化。本研补充了近年来小开河灌区输水输沙变化规律。分析了小开河灌区 3 个阶段输水输沙变化规律。其中, 第一阶段(调水调沙前)水沙表现出较大变异性, 并

且含沙量也较大,而到第三阶段(调水调沙稳定期),灌区的引水引沙基本趋于稳定。

进入灌区内的泥沙,主要分布于输沙渠、支渠、沉沙池以及田间。研究中第一阶段 1999—2002 年即调水调沙影响前期,结合灌区逐年引水量变化过程可以看出,未进行调水调沙时期引水量明显较大,输沙渠中的累积泥沙被少量冲刷,输沙渠内的泥沙淤积情况的得到明显缓解,但由于支渠内水流放缓,泥沙淤积严重。这一点与毛伟兵等^[8]研究相一致。赵志华等^[11]对尊村引黄灌区的灌渠泥沙迁移特性与渠道挟沙力进行研究,认为含沙量在 2 kg/m^3 内时,一级站来水量在 $8 \text{ m}^3/\text{s}$ 左右,渠道基本实现冲淤平衡。解释了小开河灌区在这一时期表现明显淤积的现象。

第二阶段 2003—2010 年即调水调沙影响期,输沙渠中的累计泥沙淤积量占总引沙量的 15.33%,与调水调沙影响前期相比有较大变化,而沉沙池累计进沙量占总引沙量的 42.26%,较调水调沙前有明显上升。而在戴清等^[7]得出的结论中,输送入沉沙池的泥沙量占总沙量的 52.13%。本研究中沉沙池中淤积明显减少。这是由于在这一时期引水量波动较大,但仍然处于相对较高的水平,大部分泥沙通过输沙渠在沉沙池中沉淀堆积,调水调沙效果明显。而戴清等^[7]是在固定引水引沙条件下得到的结果。

第三阶段 2011—2015 年即调水调沙现状期,输沙渠中的累积泥沙淤积量占总引沙量的 34.01%,与调水调沙影响期相比有了较大增加,而沉沙池累计进沙量仅占总引沙量的 25.10%。表明近年来小开河灌区长距离输沙技术受到了挑战,泥沙进入田间、沉沙池引沙量逐渐减少成为新时期的新特点。虽然,相关研究发现农田掺沙通过改变土壤结构缓解盐碱化危害,但是无序及过量的泥沙进入田间有降低土壤肥力危险,威胁灌区可持续发展。可见,如何进行科学的水沙调控仍然是引黄灌区面临的关键问题。

5 结 论

1) 随着黄河调水调沙,灌区的水沙条件发生明显变化,灌区多年平均引水 2.39 亿 m^3 ,已经远低于

灌区设计总输水量 3.93 亿 m^3 。灌区年平均输沙含沙量维持在 $2.43 \sim 3.64 \text{ kg/m}^3$ 之间,远低于调水调沙前的 12.32 kg/m^3 。

2) 调水调沙前呈冲刷的趋势,计算年平均淤积量为 2.33 万 t ;调水调沙影响期年度间有冲有淤,年平均淤积量为 13.97 万 t ;现状期呈淤积加重趋势,年平均淤积量为 19.86 万 t 。

3) 在调水调沙之前,由于引水量大,输沙渠淤积量减少;调水调沙开始之后,通过放水冲淤,将支渠中的泥沙冲入沉沙池。随着调水调沙工程开始之后,泥沙淤积的主要形式由支渠变成输沙渠与沉沙池。

参考文献:

- [1] 张金萍,肖宏林.黄河流域灌区农业用水研究发展历程与展望[J].灌溉排水学报,2020,39(10):9-17.
- [2] 史红玲,胡春宏,王延贵.黄河下游引黄灌区水沙配置能力指标研究[J].泥沙研究,2019,44(1):1-7.
- [3] 史立红,王云辉,王思勤,等.山东小开河引黄灌区高质量发展的对策措施[J].中国农村水利水电,2021(9):1-8.
- [4] 魏杨.尊村引黄灌区渠道水沙特性研究[D].太原:太原理工大学,2018.
- [5] 郑乾坤.配沙改良对滨海粘质盐土水分和物理性质的影响[D].泰安:山东农业大学,2018.
- [6] 孔珂,徐晶,王昕,等.小开河灌区地表水沙及地下水联合优化配置模型[J].中国农村水利水电,2016(1):71-74.
- [7] 戴清,王景元,曹文洪,等.小开河灌区水沙分布及泥沙长距离输送机理研究[J].泥沙研究,2010(4):45-50.
- [8] 毛伟兵,孙玉霞,王春堂,等.小开河引黄灌区远距离输沙技术研究[J].人民黄河,2007,29(1):56-57.
- [9] 胡健,王景元,戴清,等.小开河灌区渠道的输水输沙特性[J].水利水电科技进展,2009,29(3):41-45.
- [10] 韩沙沙,谈广鸣,赵连军,等.黄河入海水沙情势变化分析[J].中国农村水利水电,2021(7):1-5,19.
- [11] 赵志华,吴文勇,王佳盛,等.引黄灌渠泥沙迁移特性与渠道挟沙力模型试验研究[J].灌溉排水学报,2019,38(10):63-71.

Study on the Influence of Water and Sediment Regulation of the Yellow River on Water and Sediment Transport in Xiaokaihe Irrigation Area

ZHANG Baojun, YOU Guodong, LIU Le^{*}, ZHANG Huiping, LI Changpeng, LIU Zhen
(Binzhou Yellow River Irrigation Service Center, Binzhou 256600, China)

Abstract: 【Objective】 Sediment deposition in the lower reaches of the Yellow River is one of the key problems restricting the sustainable development of irrigation areas from the Yellow River. Xiaokaihe irrigation area has scientifically solved the problem of sediment deposition from the Yellow River by gravity long-distance sediment transport technology. However, in recent years, under the influence of global climate change and human activities, the water and sediment of the Yellow River have changed significantly. It is urgent to clarify the characteristics of water diversion and sediment diversion in Xiaokaihe irrigation area and the law of sediment erosion and deposition in sedimentation basin under the changing environment, so as to support the ecological protection and high-quality development of the Yellow River Basin. 【Method】 Based on the data of Xiaokaihe irrigation area from 1999 to 2015, this study systematically analyzes the variation law of water and sediment in Xiaokaihe irrigation area from four aspects: water delivery volume, sediment transport volume, sediment distribution law of sediment transport channel and sedimentation basin after water and sediment regulation of the Yellow River. 【Result】 It is found that the water conveyance, water and sediment in the irrigation area generally show a downward trend, and the sediment deposition gradually changes from the branch channel to the sediment transport channel and sedimentation basin. 【Conclusion】 It is urgent to carry out the research on a new sedimentation basin that takes into account sediment deposition and ecological protection.

Key words: Xiaokaihe irrigation area; water diversion and sand diversion; grit chamber; scouring and silting

责任编辑：白芳芳

(上接第 33 页)

Effects of Reclaimed Water Irrigation on Crops and Soil

LI Yi¹, LIU Hongquan^{1*}, CHEN Renqiang¹, CHAI Chunling¹, WANG Xinxin^{2,3,4*}

(1. Hebei Agricultural University, College of Urban and Rural Construction, Baoding 071000, China;

2. Agricultural Technology Innovation Center in Mountainous Areas of Hebei Province, Baoding 071001, China;

3. Agricultural Engineering Technology Research Center of National North Mountainous Area, Baoding 071001, China;

4. Hebei Agricultural University Hebei Mountain Research Institute, Baoding 071001, China)

Abstract: Due to the increasingly severe shortage of water resources, reclaimed wastewater has been used as a new water resource. Agriculture is an essential production operation for human survival, and agricultural irrigation water accounts for a huge proportion of water resources utilization. Especially for developing countries with low efficiency of water resources utilization, reclaimed water irrigation has become an effective water-saving technology to alleviate the pressure of water resource. Previous studies mainly focused on the influence of reclaimed water irrigation on a single crop. Now, from the aspects of the influence of reclaimed water irrigation on crop yield and quality, the influence of reclaimed water irrigation on soil and the problems existing in reclaimed water irrigation, this paper summarizes the advantages and disadvantages of the application of reclaimed water in the irrigation of herbaceous crops and woody crops, and puts forward some suggestions, so as to make reclaimed water irrigation more efficient in saving water and increasing production in agricultural production.

Key words: reclaimed water irrigation; herbs plants; woody plants; yield and quality; soil

责任编辑：白芳芳