

# 多元侵蚀下黄河(内蒙古段)水生态问题探究与分析

李超<sup>1</sup> 汪晓华<sup>2</sup> 侯聚峰<sup>3</sup>

**摘要:**黄河是举世闻名的多泥沙河流,其泥沙来源主要在水力侵蚀、风力侵蚀、冻融侵蚀和重力侵蚀等多种侵蚀模式交错并存下发生。尤其是黄河(内蒙古段)受其特殊的地理位置和气候特征影响,多种侵蚀模式共存的现象尤为明显。本文通过对黄河(内蒙古段)典型的泥沙特征和冻融特征分析,指出近年来受气候变化和人工控导工程影响,黄河(内蒙古段)区间风沙和“十大孔兑”来沙占总来沙量的70%以上,该部分来沙多以水力侵蚀和冻融侵蚀作用而进入黄河,为保障黄河流域生态环境,应加大其流域保护,尤其是黄河南岸“十大孔兑”、乌兰布和沙漠、库布其沙漠等沙地的治理工作,同时开展黄河干流水文、气象、泥沙、冰情、地形等监测工作,应用数值模式、理论分析、模型试验等多方法开展黄河生态水利方面的研究,从而建设黄河数值水利和智慧水利工程。

**关键词:**黄河(内蒙古段)多元侵蚀 生态水利 泥沙 冻融

## 一、黄河(内蒙古段)概况及泥沙特征

黄河是我国仅次于长江的第二大河,她发源于昆仑山脉南支青藏高原巴颜喀拉山,干流全长5464公里,落差4480米,流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、山西、陕西、河南、山东九省(自治区),在山东省垦利县注入渤海。黄河流域位于东经96°~119°、北纬32°~42°之间,东西长约1900公里,南北宽约1100公里,流域面积79.5万平方公里。

黄河流域(内蒙古段)地处黄河最北端,介于北纬39°~41°、东经106°~112°之间,从宁夏的石嘴山入内蒙古境内,流经乌海市、阿拉善盟、鄂尔多斯



市、巴彦淖尔盟、包头市、呼和浩特市、乌兰察布市7个盟市的40个旗(县、区),于准格尔旗马栅乡榆树湾出境流入山西和陕西。河道流向分别为从石嘴山至巴彦高勒为由西南流向东北,巴彦高勒至包头市为自西向东,包头市至清水河县的喇嘛湾为由西北流向东南,喇嘛湾至出境为由北向南。其河道形状呈形大弯

曲,全长840余公里,占黄河干流总长度的15.74%,落差240米,约占黄河总落差的5%,图1给出了黄河(内蒙古段)地理位置图。

黄河是举世闻名的多泥沙河流,其水沙基本特点是水少沙多,含沙量高;水沙异源,分布不均;水沙年际变化大,年内分配不均匀,尤其是近年来黄河(内蒙古段)受上游水库、河道控导工程和气候变化等因素影响,导致河道萎缩和泥沙淤积严重,河道形态演变剧烈,黄河(内蒙古段)部分河段淤高了近2米多,形成了200余公里的地上“悬河”。

黄河(内蒙古段)泥沙的主要来源包括上游河段源区、河东沙地、乌兰布和沙漠、库布齐

资助项目:国家自然科学基金项目(51669024)

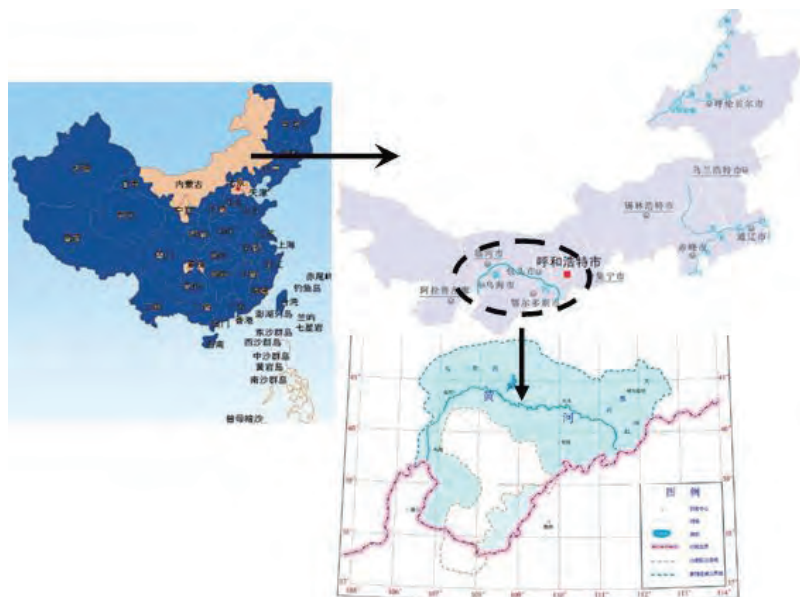


图1 黄河(内蒙古段)地理位置图

沙漠和十大孔兑,黄河(内蒙古段)中游以上5个沙源的贡献率分别为31.38%、3.78%、3.52%、16.69%和44.63%。杨根生对黄河风巧段沿岸(沙坡头—河曲段)的风成沙入黄量进行了研究,结果表明,以风沙流和坍塌两种方式进入黄河的风成沙总量为 $5.32 \times 10^7$ 吨/年,再加上发源和流经风沙区的几大支流 $5.00 \times 10^7$ 吨/年的泥沙入黄量,每年这个区域大约有1.32亿多吨风成沙进入黄河干流。

黄河(内蒙古段)共有石嘴山水文站、巴彦高勒水文站、三湖河口水文站、包头水文站和头道拐水文站。其中,位于宁夏的石嘴山水文站为黄河(内蒙古段)入境站,头道拐水文站为黄河(内蒙古段)出境站,根据水利部黄河水利委员会泥沙公报统计,1987—2015年石嘴山水

文站断面年输沙量为0.718亿吨,而头道拐水文站年输沙量为0.432亿吨,每年从上游河段源区淤积在黄河(内蒙古段)的泥沙为0.286亿吨,加之黄河(内蒙古段)流域河东沙地、乌兰布和沙漠、库布齐沙漠和十大孔兑的区间来沙约为1.28亿吨,每年淤积在黄河(内蒙古段)的泥沙约为1.57亿吨左右,年平均淤积厚度约为0.046米。

## 二、黄河(内蒙古段)冻融侵蚀特征

同时,黄河(内蒙古段)每年有4个多月的冰期,黄河封河冰盖形成后,河道水流除受河床糙率影响外,还受到冰盖糙率的影响,河道的综合糙率明显大于无冰盖时的河道糙率。同时,冰盖的存在增加了

过流断面的湿周,减小了水流过流断面,从而在同流量下封河时河道水位较敞流期上升1/3左右,黄河(内蒙古段)封河时水位较未封河时增加近1.5米。随着水位的上升,堤岸表面含水量迅速升高,并且水体不断渗入堤内,使堤岸土体由非饱和状态转化至饱和状态,从而引起土的基质吸力消失以及抗剪强度的减小。同时,在水的浸泡作用下,边坡土体内的胶凝物质逐渐溶解,颗粒之间的润滑作用得以增强,导致土体的内摩擦角与黏聚力降低,再加上张裂缝的产生,最终导致堤岸的自身稳定性减弱。但在高纬度地区河流冬季,堤岸饱和土体经过2—3个月的冰期,堤岸土体逐渐冻结,形成冻土,其力学特性和剪切强度又显著增加。

开河期冰盖融化、破裂,河道内槽蓄水量释放,水位下降,堤岸冻土逐渐融解而存在滞水性,致使坡内水位下降速率低于坡外,此时坡内的孔隙水压力还未消散,产生指向坡外的渗透压力。同时,堤岸土体经过冰期冻融循环后,土体内部孔隙率增大,土体抗剪破坏力学物理指标明显下降,原本作用在坡体表面为整个坡体提供支撑作用的静水压力迅速消失,以及坡脚部分受流水淘刷影响,导致堤岸崩塌、失稳破坏。河流崩岸具有短时性、突发性、剧烈性



图2 黄河(内蒙古段)开河期河岸坍塌

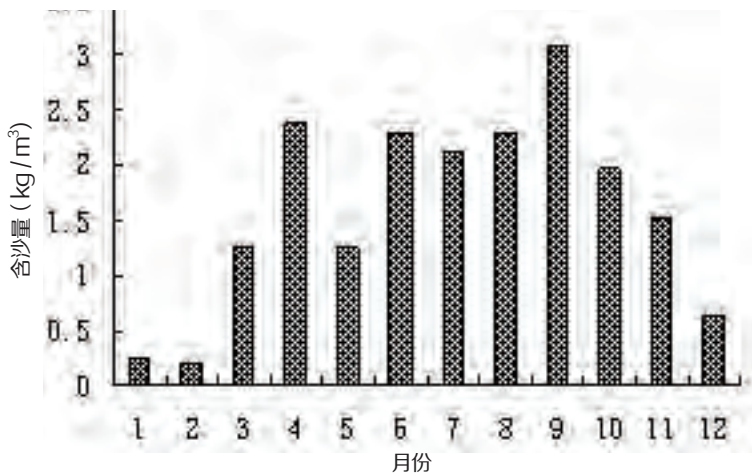


图3 包头水文站 2010-2015 年月平均含沙量

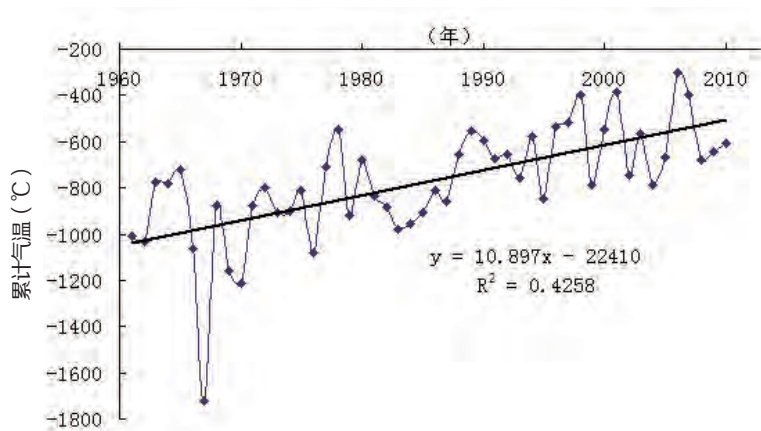


图4 1961-2011年三湖河口断面 11月1日至3月31日累计日平均气温

等特点,加之河冰因素影响,使其破坏过程更加严重,如图2所示。

统计数据表明,河流崩岸有30%的概率发生在水位上涨初期,约50%发生在水位下降期间。崩滑体落入河道内,会增加河流的泥沙含量,造成大量淤积,影响河道过流,进而加剧河道的淤积与演化。图3给出了黄河(内蒙古段)包头水文站2010—2015年月平均含沙量,可以看出:冰封期含沙量为汛期含沙量的1/10,但进入开河期,含沙量明显增加,尤其是开河4月份水流含沙量是仅次于汛期9月份含沙量次高的月份,因此,开河期河流来沙主要是堤岸崩塌泥沙入河,堤岸崩塌已成为黄河(内蒙古段)泥沙的主要沙源之一。

### 三、气候变化下黄河冰情及泥沙新特征

近年来,受全球气候变暖和人类活动的影响,黄河(内蒙古段)冰情出现一些新的特征,图4显示了1961年—2011年11月1日至3月31日累计日平均气温的变化。

从图中可以看出,近50年来,虽然在个别年份出现了冷冬,但冬季气温呈明显的上升趋势,冬季日平均累计气温减少了300—400。气温的升高导

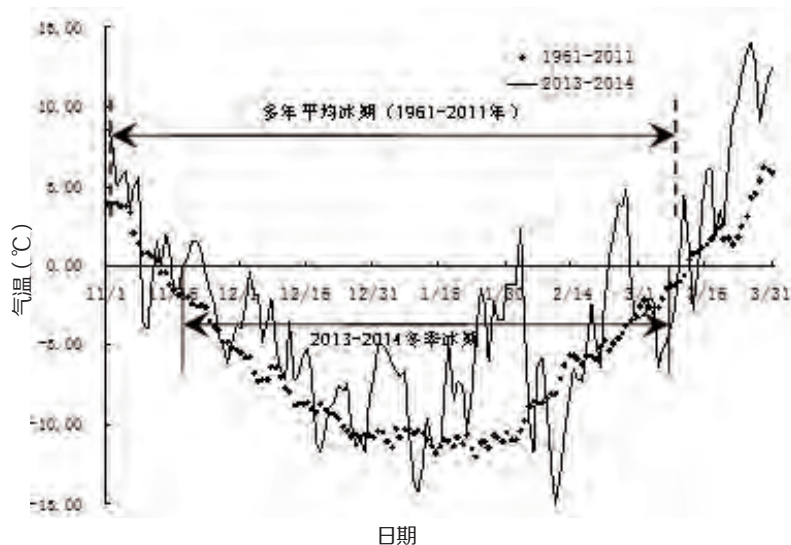


图5 1961-2011和2013-14冬季日平均气温变化图

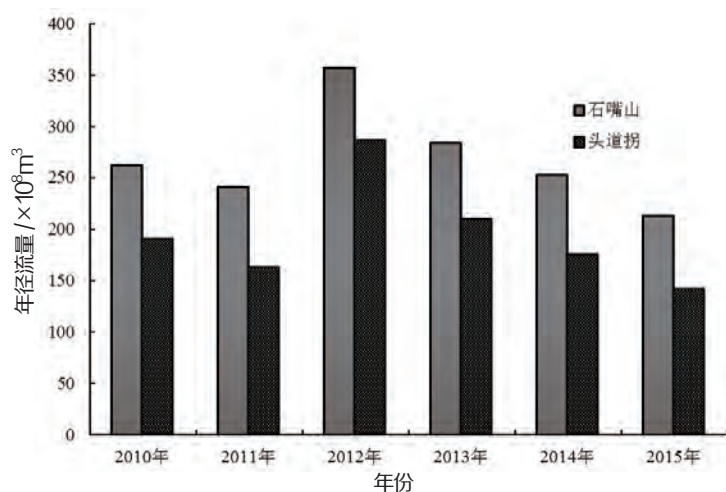


图6 石嘴山和头道拐水文站2010-2015年径流量

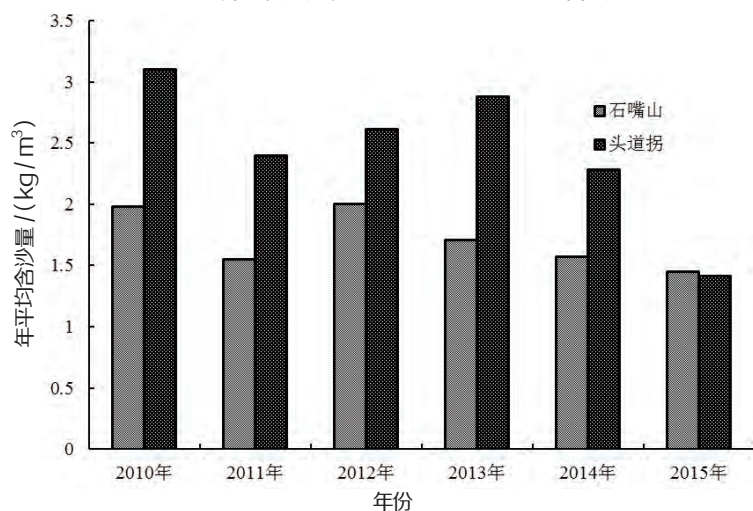


图7 石嘴山和头道拐水文站2010-2015年平均含沙量

致黄河(内蒙古段)冰期缩短,产冰量减少,冰厚变薄。图5给出1961年—2011年和2013年—2014年11月1日至3月31日日平均气温变化。可以看出,2013年—2014年冬季气温明显高于历年,流凌日期较往年推后15天,冰期缩短将近20天。同时,由于河道建筑物的作用,使得卡冰位置、封河形态都发生较大的变化,黄河的泥沙和冰情呈现出新的特征:

一是黄河(内蒙古段)河道水沙异源特征越发明显;

二是反复的冻融循环作用使得黄河(内蒙古段)河岸崩塌频繁,河道演变越来越剧烈;

三是气温的升高导致整个冰期缩短,冰厚变薄;

四是产冰量的减少,使得封河位置向下游移动;

五是河道中公路桥、铁路桥及其它河工建筑物的存在导致卡冰结坝的发生,使得封河过程出现分段封河的现象;

六是上游水库、水闸等河道控导工程对封河流量的控制导致封河过程更加平缓;

七是下游水库(万家寨水利枢纽)的建设,使上游河道流速变小,产冰量增加,原来的不封冻河段变成封冻河段。

八是气温升高使得封河位置下移,封河时下游段极易发生冰坝、冰塞;开河时,上游和下游同时开河,中游段因流

量增大,易形成卡冰结坝危险。

图6分别给出了石嘴山和头道拐水文站2010年—2015年径流量,从图中可以看出,出境站头道拐断面的平均年径流量为194.65亿米<sup>3</sup>,小于入境站石嘴山断面的平均年径流量268.36亿米<sup>3</sup>,头道拐断面的年均径流明显小于石嘴山断面的年均径流73.71亿米<sup>3</sup>。图7给出石嘴山和头道拐水文站2010-2015年平均含沙量,头道拐断面年均含沙量为2.46千克/米<sup>3</sup>,石嘴山断面年均含沙量为1.71千克/米<sup>3</sup>,头道拐断面的年均含沙量明显大于石嘴山断面的年均含沙量0.75千克/米<sup>3</sup>。黄河(内蒙古段)呈现明显的水少沙多的水沙特征,加之河道比降小,水流流速低,导致该河段淤积严重。

#### 四、讨论

通过以上分析可以看出,由于黄河(内蒙古段)水力侵蚀、风力侵蚀、冻融侵蚀和重力侵蚀交错并存,导致该河段的泥沙、生态问题尤为严重。加之气候变化的影响,使得在研究河道生态安全、用水安全及防洪安全时需要综合考虑气象、地形、水文及河道建筑物等因素,针对各种侵蚀的源头展开机理研究,提出各项保护黄河干流及其流域范围生态治理措施,按照习近平总书记

提出的“表象在黄河,根子在流域”的方针,在治理黄河干流的同时,加大其流域保护力度,尤其是加强黄河南岸“十大孔兑”、乌兰布和沙漠、库布其沙漠的治理工作,减少由于水力侵蚀和风力侵蚀导致的沙量。大力发展沙漠、山洪沟渠绿色产业,在生态保护为根本,以绿色产业为带动,以经济提升为附加,形成新型生态产业,带动地方经济发展。

在黄河干流上要开展黄河水文、冰情、气象、地形等方面的野外观测,将传统的黄河水利转变为数字水利和智慧水利,采用理论分析、数学模拟等方面揭示黄河冻融侵蚀和重力侵蚀的规律,提出治理黄河干流生态的工程和管理措施,维护黄河的防凌、河道、生态安全,保证河道的生态健康和可持续发展。■

#### 参考文献:

- [1] 李超.黄河(内蒙古段)河冰生消演变特性及数值模拟研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2015.
- [2] 马睿,马良,张罗号,等.黄河流域典型沙质河段冲淤量预估方法及应用[J].水利学报,2016,(10).
- [3] 汪岗,范昭.黄河水沙变化研究(第二卷)[M].郑州:黄河水利出版社,2002.
- [4] 李畅游,李超.黄河内蒙古段河冰生消演变特性及数值模拟技术[M].北京:科学出版社,2018.
- [5] 张翔,李鹏,张洋,等.东柳沟沉积泥沙粒径空间分布与特征[J].水土保持学报,2015,(1).
- [6] 刘乘麟.黄河内蒙河段泥沙来源分析[D].兰州:兰州大学,2015.
- [7] 杨根生,刘阳宣,史培军.黄河沿岸风成沙入黄沙量估算内[J].科学通报,1988,(13).
- [8] 秦毅,张晓芳,王凤龙,等.黄河内蒙古河段冲淤演变及其影响因素[J].地理学报,2011,(3).
- [9] 师长兴,范小黎,邵文伟,等.黄河内蒙河段河床冲淤演变特征及原因[J].地理研究,2013,(5).
- [10] Thakur P K,Laha C,Aggarwal S P.River bank erosion hazard study of river Gangaupstream of Farakka barrage using remote sensing and GIS[J].Natural Hazards,2012,(3).
- [11] Kronvang B,Andersen H E,Larsen S E,etal.Importance of bank erosion for sediment input storage and export at the catchment scale[J].Journal of Soils and Sediments,2013,(1).
- [12] 许炯心.黄河内蒙古段支流“十大孔兑”侵蚀产沙的时空变化及其成因[J].中国沙漠,2014,(6).

(作者单位:1.内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院;2.内蒙古大学生态与环境学院;3.乌海市水务局)

责任编辑:代建明