

DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20220851

黄河流域水质时空变化特征与原因分析

朱志鹏^{1,2}, 司 源¹, 董 飞¹, 郭文献²

(1. 中国水利水电科学研究院流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038;
2. 华北水利水电大学水利学院, 河南 郑州 450046)

摘要: 为探究黄河流域水质时空分布规律及污染成因, 系统收集了2015~2019年黄河干流8个省界站点7项基本水质指标逐月监测数据, 采用季节性 Kendall 趋势检验法等统计方法系统分析了黄河水质时空分布和趋势变化特征, 基于现行地表水环境质量标准评价了水质状况确定了主要污染指标, 并应用线性回归模型探究了污染成因。结果表明, 多数水质指标浓度空间分布特征表现为中游>下游>上游, 潼关站各项水质指标浓度显著高于其他站。趋势检验结果显示, 多数站点水质指标浓度呈(高度)显著下降或无明显趋势, 中下游河段部分站点 TP 浓度则为(高度)显著上升趋势, 尤以高村、利津站上升速率最为显著; 从空间差异性来看, 潼关站水质较差与该断面多条污染严重的支流汇聚有关。从季节差异性来看, TP 浓度季节分布特征表现为非汛期<汛期, 在汛期降雨冲刷作用下, 支流携带的农业含磷元素随降雨形成的地表径流入河, 导致 TP 浓度增加。NH₃-N 浓度汛期<非汛期, 其季节性变化与气温相关性较强, 汛期较高的流速和气温有助于促进 NH₃-N 稀释降解。

关键词: 水质时空变化; 季节性 Kendall 趋势检验; 污染原因; 黄河流域

中图分类号: TV211.1⁺1

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)03-0039-05

1 概况

黄河发源于青藏高原巴颜喀拉山北麓, 流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、山西、陕西、河南、山东9省区, 于山东省垦利区注入渤海。黄河干流分为上、中、下游三部分, 河源至河口镇为上游, 河口镇至桃花峪为中游, 桃花峪至入海口为下游。黄河流域地形地貌复杂多样, 自然条件因地制宜, 不同区段土地利用、人口、社会经济等差异较大。黄河流域作为我国重要的粮食、能源、化工、原材料和基础工业基地, 战略地位十分突出, 是连接青藏高原、黄土高原、华北平原的生态廊道, 其水质关系到沿黄各省饮用水安全和工农业用水保障等问题, 研究流域水质时空分布特征和变化规律, 对于提高流域水资源安全保障能力具有重要意义。目前, 关于黄河流域水质研究的相关成果较丰富, 但多针对黄河流域局部区段或短时间序列, 针对

黄河全河段、长序列、多指标水质时空分布特征和原因分析的研究尚不多见。为全面分析黄河流域水质时空分布规律及污染成因, 本文系统收集了黄河干流全河段8个重要省界站点近5年7项基本水质指标监测数据, 结合季节性 Kendall 趋势检验法等统计方法分析黄河流域水质时空分布和趋势变化特征, 基于地表水环境质量标准评价得出主要污染指标, 在此基础上, 通过建立水质—自然因子之间的线性回归模型识别流域内不同河段主要污染指标呈现时空异质性的原因, 旨在通过评估黄河干流水质现状为流域水环境治理提供依据。

2 数据与方法

2.1 数据来源及处理

选取的黄河干流主要省界水质监测站自上游至下游依次为大河家(S1)、下河沿(S2)、麻黄沟(S3)、河曲(S4)、潼关(S5)、南村(S6)、高村(S7)、

收稿日期: 2022-04-26, **修回日期:** 2022-06-17

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFC0407702); 中国水科院基本科研业务费项目(WE110145B0072021, WR0145B022021); 安徽省重大科技项目(YJJH-ZT-ZX-20210315378)

作者简介: 朱志鹏(1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向为水生态与水环境模拟, E-mail: 2412002409@qq.com

通讯作者: 董飞(1983-), 男, 博士、高级工程师, 研究方向为水环境过程机理与模拟调控等, E-mail: dongfei@iwhr.com

利津(S8),各水质站临近的控制性水文站分别为刘家峡入库、下河沿、石嘴山、府谷、潼关、小浪底、高村、利津,站点位置见图 1。收集 2015~2019 年黄河流域水质、水文气象、社会经济等相关数据。黄河干流水质站水质监测数据来源于国家水资源监控能力建设信息系统,包括化学需氧量(COD)、溶解氧(DO)、总磷(TP)、氟化物(F⁻)、氨氮(NH₃-N)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、五日生化需氧量(BOD₅)等 7 项基本水质指标逐月监测数据。其中,部分站点缺少 2015 年 TP 监测数据,采用 IBM SPSS Statistics 26.0 软件中临近点线性趋势插值方法进行缺失数据插补;黄河干流气象站逐月降雨、气温数据来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>);沿黄各省区逐年污染排放数据来源于《中国统计年鉴》,包括化肥施用量、废水排放量等指标。

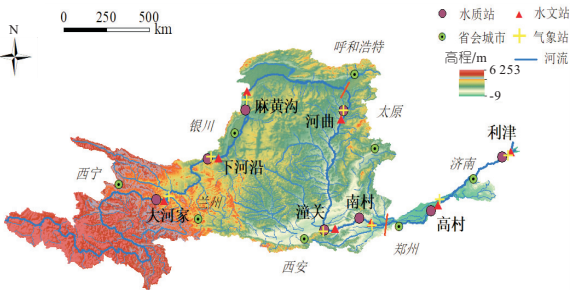


图 1 研究区及站点分布示意图

Fig. 1 Schematic diagram of research area and site distribution

2.2 研究方法

季节性 Kendall 趋势检验法^[1-3]是水质评价和预测领域的重要方法,其原理是比较历年相同月或季的水质资料,从而避免季节性影响。取显著性水平 α 为 0.1、0.01,标准方差为 Z ,则当 $\alpha \leq 0.01$ 时, $|Z| > 2.567$,说明检验结果具有高度显著性水平;当 $0.01 < \alpha \leq 0.1$ 时, $1.645 < |Z| < 2.567$,说明检验结果显著。 τ 为相关系数, τ 为正,则表明趋势上升; τ 为负,表明趋势下降。 r 为变化速率,判断趋势变化程度大小。水质变化趋势分析结果分为三类五级,三类为上升、下降和无

趋势,五级为高度显著上升、显著上升、无明显趋势、显著下降和高度显著下降。具体公式见文献[4]。该方法主要优势为能够分析序列资料的非正态分布特征变化趋势,同时,由于数据只考虑相对排列而不考虑其大小,故可避免水质资料中常见的漏测值问题,分析所需数据系列长度一般为 5~8 年。

3 结果与分析

3.1 水质空间变化特征

黄河干流省界水质站基本水质指标(COD、DO、TP、F⁻、NH₃-N、COD_{Mn}、BOD₅)浓度变化范围依次为 0.01~34.53、2.40~13.90、0.01~0.59、0.06~0.95、0.02~2.80、0.10~10.20、0.20~4.60 mg/L,统计特征值见表 1。多数水质指标浓度平均值空间分布特征表现为上游<下游<中游,F⁻平均浓度则为上游(0.28 mg/L)<中游(0.52 mg/L)<下游(0.64 mg/L)。DO 以大河家站浓度为最低(7.89 mg/L)、BOD₅ 以河曲站浓度为最高(1.95 mg/L)外,其余水质指标浓度均以潼关站为最高且波动范围相对较大。

3.2 水质趋势变化特征

采用季节性 Kendall 趋势检验法分析 2015~2019 年黄河干流水质站 7 项水质指标(COD、DO、TP、F⁻、NH₃-N、COD_{Mn}、BOD₅)趋势变化特征,检验参数见表 2。可以看出,COD 浓度总体呈下降趋势,麻黄沟、河曲、南村站呈高度显著下降趋势,下降速率分别为 0.58、1.37、0.64 mg/(L·a)。多数站点 DO 指标呈高度下降趋势,下河沿、河曲站呈高度显著下降趋势。F⁻ 浓度总体呈下降趋势,麻黄沟、潼关站呈高度显著下降趋势,下降速率分别为 0.04、0.07 mg/(L·a)。NH₃-N 浓度总体呈下降趋势,大河家、下河沿、河曲、利津站呈高度显著下降趋势,下降速率分别为 0.03、0.05、0.04、0.10 mg/(L·a)。COD_{Mn} 浓

表 1 黄河干流省界站基本水质指标浓度统计值

Tab. 1 Statistics of basic water quality indicators at provincial boundary monitoring stations on the main stream of Yellow River

指标	$\rho(\text{COD})$				$\rho(\text{DO})$				$\rho(\text{TP})$				$\rho(\text{F}^-)$				$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$				$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$				$\rho(\text{BOD}_5)$			
	min	max	ave	std	min	max	ave	std	min	max	ave	std	min	max	ave	std	min	max	ave	std	min	max	ave	std	min	max	ave	std
大河家	0.01	11.70	7.38	2.62	6.50	9.10	7.89	0.69	0.01	0.02	0.01	0.01	0.09	0.31	0.18	0.04	0.05	0.54	0.17	0.10	0.90	2.50	1.81	0.29	1.30	2.60	1.94	0.26
下河沿	3.40	17.20	9.69	3.24	6.60	12.50	8.55	1.44	0.02	0.37	0.08	0.06	0.17	0.61	0.29	0.08	0.05	1.41	0.28	0.30	0.10	3.50	2.08	0.52	0.20	2.60	1.23	0.45
麻黄沟	6.00	21.50	13.60	3.38	6.00	11.30	8.05	1.25	0.04	0.26	0.11	0.05	0.20	0.66	0.36	0.11	0.07	1.08	0.34	0.26	1.50	3.70	2.42	0.51	0.60	2.90	1.42	0.54
河曲	7.00	34.53	13.95	4.34	4.30	11.90	8.34	1.74	0.01	0.38	0.08	0.08	0.32	0.66	0.44	0.07	0.08	0.74	0.31	0.19	1.70	3.40	2.58	0.41	0.50	3.40	1.95	0.61
潼关	10.00	25.00	15.43	2.62	4.40	12.20	8.19	1.97	0.03	0.57	0.22	0.09	0.06	0.94	0.62	0.15	0.06	2.80	0.50	0.49	2.30	7.10	4.15	0.97	0.20	4.60	1.62	0.86
南村	10.00	27.50	13.99	2.49	4.40	11.50	8.04	1.33	0.02	0.12	0.07	0.02	0.29	0.84	0.54	0.12	0.02	0.66	0.18	0.12	1.90	10.20	2.66	1.10	0.60	4.60	1.91	0.68
高村	1.60	20.00	13.94	3.46	2.40	12.90	9.34	1.99	0.02	0.45	0.12	0.09	0.34	0.95	0.63	0.11	0.11	0.49	0.29	0.09	2.00	3.30	2.56	0.28	0.33	2.90	1.37	0.58
利津	2.73	20.00	14.56	3.36	2.50	13.90	9.69	2.37	0.02	0.59	0.11	0.09	0.40	0.90	0.65	0.11	0.16	0.59	0.30	0.09	1.90	3.50	2.52	0.33	0.28	3.50	1.59	0.91

表 2 季节性 Kendall 趋势检验参数

Tab. 2 Parameters of seasonal Kendall trend test

测站	水质指标	τ	Z	r	趋势	测站	水质指标	τ	Z	r	趋势
大河家	COD	-0.01	-0.934	0	无明显趋势	下河沿	COD	-0.05	-0.622	0	无明显趋势
	DO	-0.14	-2.542	-0.19	显著下降		DO	-0.35	-3.891	-0.3	高度显著下降
	TP	-0.04	-0.538	0	无明显趋势		TP	0.15	-1.440	-0.007	无明显趋势
	F ⁻	-0.06	-0.723	0.005	无明显趋势		F ⁻	-0.01	-1.105	-0.009	无明显趋势
	NH ₃ -N	-0.24	-2.623	-0.03	高度显著下降		NH ₃ -N	-0.34	-3.719	-0.08	高度显著下降
	COD _{Mn}	-0.20	-2.127	-0.08	显著下降		COD _{Mn}	-0.09	-1.024	0	无明显趋势
麻黄沟	BOD ₅	-0.17	-1.595	0	无明显趋势	BOD ₅	-0.25	-2.788	-0.15	高度显著下降	
	COD	-0.34	-3.320	-0.58	高度显著下降	河曲	COD	-0.25	-2.727	-1.37	高度显著下降
	DO	-0.01	-1.382	0	无明显趋势		DO	-0.29	-3.175	-0.32	高度显著下降
	TP	-0.33	-3.195	-0.02	高度显著下降		TP	0.22	2.170	0.02	显著上升
	F ⁻	-0.27	-2.593	-0.04	高度显著下降		F ⁻	-0.01	-1.555	0	无明显趋势
	NH ₃ -N	-0.21	-2.032	-0.01	显著下降		NH ₃ -N	-0.25	-2.711	-0.04	高度显著下降
COD _{Mn}	-0.01	-1.434	0	无明显趋势	COD _{Mn}		-0.21	-2.359	-0.1	显著下降	
潼关	BOD ₅	-0.39	-3.891	-0.24	高度显著下降	BOD ₅	0.07	-1.815	-0.09	显著下降	
	COD	-0.02	-0.232	0	无明显趋势	南村	COD	-0.3	-2.807	-0.64	高度显著下降
	DO	-0.01	-1.471	0	无明显趋势		DO	-0.18	-2.341	-0.041	显著下降
	TP	0.21	2.053	0.01	显著上升		TP	-0.21	-2.024	-0.01	显著下降
	F ⁻	-0.24	-2.612	-0.07	高度显著下降		F ⁻	-0.20	-2.260	-0.035	显著下降
	NH ₃ -N	-0.01	-1.640	0	无明显趋势		NH ₃ -N	-0.09	-1.036	0	无明显趋势
COD _{Mn}	-0.23	-2.512	-0.13	显著下降	COD _{Mn}		-0.091	-1.045	0	无明显趋势	
高村	BOD ₅	-0.12	-1.313	0	无明显趋势	BOD ₅	-0.094	-0.475	0	无明显趋势	
	COD	-0.08	-0.934	0	无明显趋势	利津	COD	0.01	-1.472	0	无明显趋势
	DO	-0.01	-1.429	0	无明显趋势		DO	-0.01	-1.416	0	无明显趋势
	TP	0.27	2.619	0.03	高度显著上升		TP	0.41	3.890	0.05	高度显著上升
	F ⁻	-0.18	-2.033	-0.02	显著下降		F ⁻	-1.77	-1.936	-0.019	显著下降
	NH ₃ -N	-0.09	-1.047	0	无明显趋势		NH ₃ -N	-0.28	-3.090	-0.07	高度显著
COD _{Mn}	-0.07	-0.841	0	无明显趋势	COD _{Mn}		-0.26	-2.878	-0.24	高度显著下降	
下降	BOD ₅	-0.24	-2.726	-0.16	高度显著下降	BOD ₅	-0.19	-2.063	-0.10	显著下降	

度总体呈下降趋势,其中利津站呈高度显著下降趋势,下降速率为 0.24 mg/(L·a),大河家、河曲、潼关站呈显著下降趋势,其余站点无显著升降趋势。BOD₅ 浓度总体呈下降趋势,下河沿、麻黄沟、高村站呈高度显著下降趋势,下降速率分别为 0.15、0.24、0.16 mg/(L·a)。部分站点 TP 浓度则呈上升趋势,其中,高村、利津站呈高度显著上升趋势,上升速率分别为 0.03、0.02 mg/(L·a)。

根据《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)^[5]评价黄河干流省界站各水质指标,2015~2019 年期间各项水质指标超标(不符合Ⅲ类水标准)月个数见表 3。由表 3 可知,各站点的 COD、DO、F⁻、COD_{Mn}、BOD₅ 绝大多数月份满足Ⅲ类水要求(超标月个数≤5%),而 TP、NH₃-N 超标月个数较多,其中,潼关站 TP、NH₃-N 超标月个数最多,分别达到 24、8 次。

综上所述,黄河干流主要污染指标为 NH₃-N、TP。其中,NH₃-N 时空分布特征与刘鸿志等^[6,7]的结论基本一致,本研究重点增加了对黄河流域典型污染物 TP 特征的分析。近年来,随着黄河流域水污染防治工作的深入,沿黄省区废污水减

排、农业化肥施用量减少,黄河干流多数水质指标浓度呈(高度)显著下降趋势或无明显升降趋势,而中下游站点 TP 浓度仍呈上升趋势,并以黄河入海口利津站上升率为最高,应予重点关注。

表 3 2015~2019 年黄河干流省界站水质指标超标月个数统计

Tab. 3 Number of months with water quality indicators failing to reach standard in provincial boundary monitoring stations on the main stream of Yellow River from 2015 to 2019

测站	各水质指标超标月个数						
	COD	DO	TP	F ⁻	NH ₃ -N	COD _{Mn}	BOD ₅
大河家	0	0	0	0	1	0	0
下河沿	0	0	2	0	3	0	0
麻黄沟	0	0	2	0	1	0	0
河曲	2	0	4	0	0	0	0
潼关	3	2	24	0	8	2	0
南村	1	0	0	0	0	0	2
高村	0	1	5	0	0	0	0
利津	0	1	4	0	0	0	0

3.3 水质空间差异性原因分析

研究发现,黄河干流水质自上游至下游存在显著空间差异,多数水质指标浓度空间分布特征表现为上游<下游<中游,其中,尤以潼关站水质指标浓度为最高,利津、高村站浓度也相对较高。水质空间差异性的产生主要与黄河流域不同区域

社会经济发展、人口密度、土地利用和产业布局有关。根据《中国统计年鉴》，2015~2017年沿黄各省区多年平均废水排放量和化肥施用量见图2，图2中，W1~W8依次代表青海、甘肃、宁夏、内蒙古、山西、陕西、河南、山东8个沿黄主要省区。可以看出，黄河流域主要省区工农业污染物排放量总体呈自上游至下游沿程增加的特征。潼关站所处地理位置特殊，汾河、渭河等多条污染严重的支流交汇于此^[8]，其中汾河作为黄河第二大支流，境内有山西省重要化工、能源基地，根据2015~2019年《山西省统计年鉴》，汾河流域内忻州、临汾、运城等城市废水排放量位于全省前五，采矿业、煤化工等重工业企业导致氮污染严重，降水径流及农业化肥施用导致磷污染严重^[9]。黄河主要支流汾河NH₃-N浓度年均值为劣V类，渭河NH₃-N为IV类^[10]，黄河中下游河段支流污染治理是黄河流域水资源保护的重点。

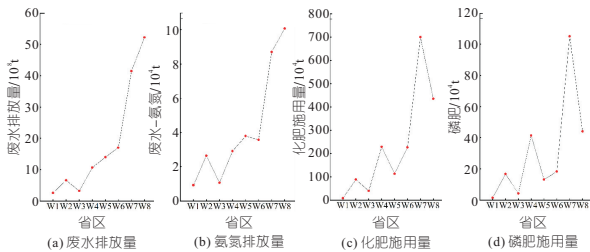


图2 沿黄主要省区污染排放量

Fig. 2 Pollution emission of main provinces along Yellow River

3.4 水质季节差异性原因分析

6~9月为汛期，其余月份为非汛期，统计发现黄河干流NH₃-N浓度平均值季节分布特征表现为汛期(0.21 mg/L) < 非汛期(0.35 mg/L)，而TP浓度平均值则为非汛期(0.09 mg/L) < 汛期(0.14 mg/L)。建立水质与自然因子(降雨、气温)的线性回归模型，见图3。总体来看，TP与降雨、气温均呈正相关关系，且与降雨的相关性强于与气温的相关性。黄河流域内季节性降水特征显著，降雨量呈现非汛期下降、汛期增加的规律^[11]，如图2(c)、(d)所示，化肥施用量多集中于黄河下游，农业污染源作为面源污染的一部分^[12]，在汛

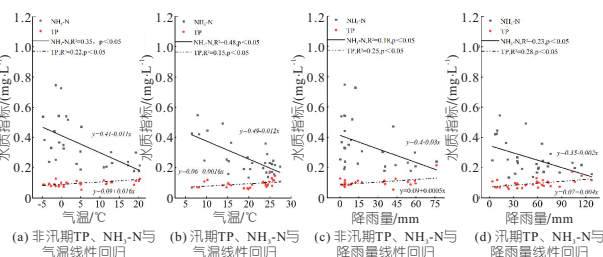


图3 自然因子与主要水质指标线性回归

Fig. 3 Linear regression between natural factors and main water quality indicators

期降雨冲刷作用下，支流携带更多的农业含磷元素随降雨形成的地表径流入河，导致河流中TP浓度值急剧增加。NH₃-N则与气温相关性较高，汛期较高的流速和气温有助于促进NH₃-N稀释降解^[13,14]。

4 结论

a. 黄河流域水质良好，多数水质指标在Ⅲ类水范围内，但其时空变化特征差异显著。沿黄河干流8个省界水质站点中以中游潼关站污染最为严重。近5年，多数水质指标浓度呈(高度)显著下降或无明显趋势，部分站点TP浓度呈显著或高度上升趋势。根据地表水环境质量评价结果得出黄河干流主要污染指标为NH₃-N、TP。

b. 从空间差异性来看，潼关站水质较差与该断面多条污染严重的支流汇聚有关。从季节差异性来看，TP浓度平均值非汛期 < 汛期，在汛期降雨冲刷作用下，支流携带的农业含磷元素随降雨形成的地表径流入河，导致河流中TP浓度值急剧增加；NH₃-N浓度平均值汛期 < 非汛期，其季节性变化与气温相关性较强，汛期较高的流速和气温促进NH₃-N稀释降解。

参考文献:

- [1] KIM M A, LEE S, MUN H, et al. A nonparametric trend tests using TMDL data in the Nakdong River[J]. Journal of Korean society on water environment, 2017, 33(1):40-50.
- [2] 彭珂,董晓钢,张晓范,等.季节性 Kendall 检验分析湘江长沙段水质变化趋势[J]. 中国环境监测, 2014, 30(1):82-85.
- [3] 夏桂敏,张思瑶.基于季节性 Kendall 检验法的白石水库水质变化趋势[J]. 南水北调与水利科技, 2015, 13(6): 1069-1074,1079.
- [4] HELSEL D R, FRANS L M. Regional Kendall test for trend[J]. Environmental science & technology, 2006, 40(13): 4066-4073.
- [5] 国家环境保护总局. 地表水环境质量标准:GB 3838-2002[S]. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [6] 刘鸿志,王光镇,马军,等. 黄河流域水质和工业污染源研究[J]. 中国环境监测, 2021, 37(3): 18-27.
- [7] 刘彦龙,郑易安. 黄河干流水质评价与时空变化分析[J]. 环境科学, 2022, 43(3): 1332-1345.
- [8] ZHAO M M, WANG S M, CHEN Y P, et al. Pollution status of the Yellow River tributaries in middle and lower reaches[J]. Science of the total environment, 2020, 722: 137861.
- [9] MENG Z, YANG Y, QIN Z, et al. Evaluating tem-

poral and spatial variation in nitrogen sources along the lower reach of Fenhe River (Shanxi Province, China) using stable isotope and hydrochemical tracers[J]. *Water*, 2018, 10(2):231.

- [10] 张彦, 梁志杰, 邹磊, 等. 黄河干流及主要支流水质时空差异性及其变化特征研究[J]. *灌溉排水学报*, 2021, 40(9): 125-133.
- [11] 黄建平, 张国龙, 于海鹏, 等. 黄河流域近 40 年气候变化的时空特征[J]. *水利学报*, 2020, 51(9):

1048-1058.

- [12] 孙慧, 张建锋, 单奇华, 等. 宜兴太湖防护林对农业面源污染的减源增汇作用浅析[J]. *湖泊科学*, 2015, 27(2): 227-233.
- [13] 宋天伟, 盛晓琳, 王家德, 等. 夏季高温下污水处理厂生物处理系统的硝化性能及强化方法[J]. *环境科学*, 2019, 40(2): 768-773.
- [14] 张学青, 夏星辉, 杨志峰. 黄河水体氨氮超标原因探讨[J]. *环境科学*, 2007, 28(7): 1435-1441.

Analysis of Spatial-temporal Variation Characteristics and Causes of Water Quality in the Yellow River Basin

ZHU Zhi-peng^{1,2}, SI Yuan¹, DONG Fei¹, GUO Wen-xian²

(1. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 2. School of Water Conservancy, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450046, China)

Abstract: In order to explore the spatial and temporal distribution of water quality in the Yellow River basin and the causes of pollution, the monthly monitoring data of 7 basic water quality indicators at 8 provincial boundary stations of the Yellow River from 2015 to 2019 were systematically collected, and the spatial and temporal distribution characteristics and trend changes of water quality of the Yellow River were systematically analyzed by seasonal Kendall trend test method. Based on the surface water quality standard, the status of water quality was evaluated and the main pollution indicators were determined. The linear regression model was used to discuss the causes of pollution. The results show that the spatial distribution characteristics of most water quality indicators are middle reaches > lower reaches > upper reaches. The concentration values of water quality indicators at Tongguan station are significantly higher than those at other stations. TP concentration values at some stations in the middle and lower reaches of the river show a significant upward trend, especially at Gaocun and Lijin stations. From the perspective of spatial variability, the poor water quality of Tongguan station is related to the convergence of several seriously polluted tributaries in this section. From the perspective of seasonal variability, the seasonal distribution characteristics of TP concentration show that the non-flood season is less than the flood season. Under the effect of rainfall erosion in the flood season, agricultural phosphorus carried by tributaries flow into the river with the surface runoff formed by rainfall, resulting in the increase of TP concentration. The seasonal variation of NH₃-N concentration in flood season is less than that in non-flood season, which is strongly correlated with air temperature. Higher flow rate and air temperature in flood season contribute to the dilution and degradation of NH₃-N.

Key words: spatial-temporal variation of water quality; seasonal Kendall trend test; pollution causes; the Yellow River basinn

(上接第 210 页)

Simulation and Improvement of Temperature Field of Miter Gate Considering Solar Radiation

YANG Guang-ming, YAO Jia-hui, LUO Guang-yu, SUN Peng, HUANGFU Xiao-ying, HUANG Jia-cheng
(College of Energy and Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 211100, China)

Abstract: As a large steel structure in the open environment, the miter gate will form a non-uniform time-varying temperature field under the solar radiation, resulting in complex temperature effect on the structure. If not paid attention to the project, it may lead to safety problems such as weld cracking and structure instability. The temperature field of the structure was analyzed by changing the surface coating and using finite element software. The results show that under solar radiation, the gate panel and the top beam form a multi-temperature area array distribution of temperature field, and the beam system temperature distribution is relatively uniform. The surface coating has great influence on the temperature field of the gate. The coating with low radiation absorption rate can reduce the temperature rise of the gate components, and the maximum temperature can be reduced by about 25%. The distribution of temperature field is greatly improved, which can effectively prevent local stress concentration or excessive deformation in the stress field and deformation field of the gate.

Key words: miter gate; solar radiation; ASHRAE clear-sky model; temperature field; coating