



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2017.03.017

侯凯, 李亚斌, 钱会, 等. 宁夏黄河水系干流水质监测断面优化[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(3): 100-107. HOU Kai, LI Ya bin, QIAN Hui, et al. Optimization of water quality monitoring cross-sections of the main stream of Yellow River in Ningxia[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(3): 100-107. (in Chinese)

## 宁夏黄河水系干流水质监测断面优化

侯凯<sup>1,2</sup>, 李亚斌<sup>1,2</sup>, 钱会<sup>1,2</sup>, 杨咪<sup>1,2</sup>

(1. 长安大学环境科学与工程学院, 西安 710054; 2. 旱区地下水文与生态效应教育部重点实验室, 西安 710054)

**摘要:** 黄河是宁夏地区最重要的地表水资源, 所以整个黄河宁夏段水环境质量的优劣将影响宁夏社会经济的发展。基于2010年-2014年宁夏环境监测站的统计资料, 以污染最严重的指标COD、氨氮、总磷的监测资料为基础, 采取物元分析法、模糊聚类法及WASP模型对黄河干流宁夏段水质监测断面的布设进行优化。结果表明: 现有的6个国家控监测断面对黄河干流水质变化状况的监测不完善, 须增设2个监测断面, 分别位于下河沿与金沙湾国控断面间及叶盛公路桥与银古公路桥国控断面间, 地理位置分别处于石空镇与临河镇, 即 $105^{\circ}40'31''E, 37^{\circ}34'04''N$ 与 $106^{\circ}18'36''E, 38^{\circ}16'11''N$ 。

**关键词:** 水质监测; 断面优化; 物元分析; 模糊聚类; WASP模型

**中图分类号:** X832 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2017)03-0100-08

### Optimization of water quality monitoring cross-sections of the main stream of Yellow River in Ningxia

HOU Kai<sup>1,2</sup>, LI Ya bin<sup>1,2</sup>, QIAN Hui<sup>1,2</sup>, YANG Mi<sup>1,2</sup>

(1. School of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. Key Laboratory of Subsurface Hydrology and Ecology in Arid Areas, Ministry of Education, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** The Yellow River is the most important surface water resource in Ningxia, so the water environment quality will directly affect the social and economic development of Ningxia. Based on the statistical data from the environmental monitoring station in Ningxia from 2010 to 2014, using the monitoring data of the main pollutants such as chemical oxygen demand, ammonia nitrogen, and total phosphorus, we employed matter element analysis, fuzzy clustering, and WASP model to optimize the layout of the Yellow River water quality monitoring cross sections in Ningxia section. The results showed that the present six national monitoring cross sections could not provide sufficient monitoring of the water quality variation of Yellow River, and two additional monitoring cross sections should be added. One should be between Xiaheyan and Jinshawan national monitoring cross sections, and the other should be between Yesheng Road Bridge and Yingu Road Bridge national monitoring cross sections. They are respectively at Shikong county ( $105^{\circ}40'31''E, 37^{\circ}34'04''N$ ) and Linhe county ( $106^{\circ}18'36''E, 38^{\circ}16'11''N$ ).

**Key words:** water quality monitoring; cross section optimization; matter element analysis; fuzzy clustering; WASP model

随着现代社会经济、工业的迅速发展, 水环境保护已经成为社会高度关注的问题, 其中江河作为重要的地表水资源, 它的污染问题倍受关注。为了解我国

河流水质的变化规律及污染物空间分布, 需要对河流水质的监测断面进行合理布置, 使水质监测状况更加合理有效, 保证河流水环境的健康发展<sup>[1]</sup>。蒋艳君

收稿日期: 2016-09-21 修回日期: 2017-01-05 网络出版时间: 2017-05-06  
网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20170506.1114.003.html>  
基金项目: 国家自然科学基金(41172212)

**Fund:** National Natural Science Foundation of China(41172212)

**作者简介:** 侯凯(1991-), 男, 河南郑州人, 主要从事水文地质方面的研究。E-mail: 1123997326@qq.com

**通讯作者:** 钱会(1963-), 男, 陕西咸阳人, 教授, 博士生导师, 主要从事水文地质方面的研究。E-mail: qianhui@chd.edu.cn

等<sup>[3]</sup>运用改进TOPSIS法对浦阳江干流水质监测断面进行优化,将原来9个断面优化为7个,证明此方法成立且计算结果准确有效。王辉等<sup>[4]</sup>运用改进的贴近度法对浑河干流水质监测断面进行优化,其中引入重心距离算法对贴近度法进行改进,优化结果科学准确。蒋艳君等<sup>[5]</sup>也将改进的物元分析法应用到水质监测断面的优化中,对浦阳江干流断面进行优化。目前国内水系干流水质监测断面优化的研究主要采用实测数据进行优化计算,由于个别监测断面间距离过大,污染物在河流中迁移运输规律复杂多变,不能了解其真实情况。故本文采用WASP模型对黄河宁夏段干流进行细分概化处理,对概化后的断面进行优化研究,使结果更加准确合理,从而为宁夏水环境的监测、控制及水网建设提供更科学的保障,同时为宁夏的农业发展提供建设性的指导意义。

## 1 研究区概况

黄河宁夏段是从中卫县南长滩开始,沿程至石嘴山市头道坎,整个流程距离为397 km。由于工业

废水、生活污水和农田退水持续排入黄河,对沿河水环境造成极大污染。流域内河流TDS高、含沙量大,TDS一般为0.5~7.0 g/L,最高可达19 g/L,黄土丘陵区河流年均含沙量为100~380 kg/m<sup>3</sup>,年输沙模数达到2 000~12 000 t/km<sup>2</sup>[2]。根据《2014年宁夏回族自治区环境状况公报》,黄河干流宁夏段Ⅰ类水质断面比例为66.7%,Ⅱ类水质断面比例为33.3%,良好以上水质断面达100%。

黄河宁夏段现有六个国控监测断面,监控中卫、吴忠、银川及石嘴山四市境内黄河水质状况。其中中卫市境内黄河河道长度占总体35.8%,下河沿至金沙湾断面间距较其他断面间距离过大,监测数据不能反映其间水质真实情况;银川市境内存在9条入黄排水沟(中干沟、永二干沟及第二排水沟等)及多个工业园区(宁东能源化工基地、望远工业园区及银川经济开发区等),仅有一个监测断面不能全面反映水质变化情况(见表1及图1)。因此,对黄河宁夏段水质监测断面的优化具有重要的实际意义。

表1 黄河干流宁夏段国控监测断面概况

Tab 1 The national monitoring sections of The Yellow River in Ningxia

过境地市	河道长度/km	长度占比(%)	监测断面名称	地理坐标(E, N)
中卫市	142	35.8	下河沿	105°03'19", 37°27'16"
吴忠市	81	20.4	金沙湾	105°56'34.1", 37°50'13"
银川市	78	19.6	叶盛公路桥、 银古公路桥	106°12'9.8", 38°44'47.7" 106°24'40.2", 38°21'31.8"
石嘴山市	96	24.2	平罗黄河大桥、 麻黄沟	106°39'59", 38°48'44.7" 106°47'23.2", 39°20'59.9"

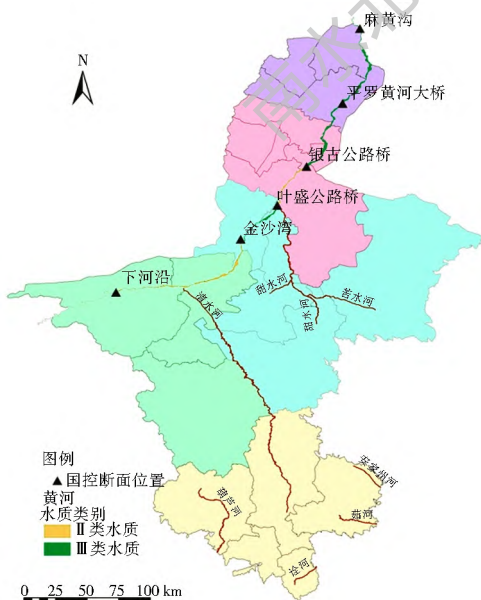


图1 黄河干流宁夏段水质监测断面示意图

Fig. 1 Sketch map of water quality monitoring section of the Yellow River in Ningxia

## 2 研究方法 with 原理

### 2.1 模糊聚类法

聚类分析是采用数学方法判断样品之间的关系,客观的对其进行分类,是数理统计中“物以类聚之”的多元分析方法[6,7]。由于水环境本身就是灰色系统,存在极大的模糊性,故将模糊数学的方法引入到聚类分析中,使分类更符合实际[8]。该方法在很多文献中均有详细介绍,这里不再赘述。

### 2.2 物元分析法

物元分析法是解决矛盾问题的方法,可将复杂问题抽象为形象化模型,并应用这些模型进行研究,提出相应的应用方法[9]。通过建立各点位物元模型和节域分析模型,计算各点位的线性关联函数和综合关联函数,根据计算结果绘制点聚图,根据图中点位分布确定优化的点位。

### 2.2.1 确立各监测断面物元模型

对全部监测断面的污染指标进行对比, 选出每项指标的最优值  $A$ 、最差值  $B$  及期望值  $C$ , 然后选择各监测指标的最大值、最小值和平均值, 用每一项指标的最优值  $A$ 、最差值  $B$  及期望值  $C$  构造出 2 个物元矩阵:

$$R_{AC} = \begin{bmatrix} M_{AC} & Q_1 & (a_1, c_1) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ Q_j & (a_j, c_j) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ Q_m & (a_m, c_m) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$R_{CB} = \begin{bmatrix} M_{CB} & Q_1 & (c_1, b_1) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ Q_j & (c_j, b_j) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ Q_m & (c_m, b_m) \end{bmatrix} \quad (2)$$

通过上述两个物元矩阵写出节域: 每个监测断面可作为一个物元, 通过各项污染指标检测值建立各监测断面的物元矩阵:

$$R_{AB} = \begin{bmatrix} M_{AB} & Q_1 & (a_1, b_1) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ Q_j & (a_j, b_j) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ Q_m & (a_m, b_m) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$R = \begin{bmatrix} M_{AB} & Q_1 & X_{i1} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ Q_j & X_{ij} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ Q_m & X_{im} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中:  $a_1, a_2, \dots, a_m$  为各指标最优值;  $b_1, b_2, \dots, b_m$  为各指标最差值;  $c_1, c_2, \dots, c_m$  为各指标期望值;  $Q_1, Q_2, \dots, Q_m$  为每一项指标;  $X_{i1}, X_{ij}, \dots, X_{im}$  为第  $i$  个监测断面的  $m$  指标的检测值;  $i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, m$ 。

### 2.2.2 计算各监测断面综合关联函数

将各断面监测平均值代入式(5)、式(6), 计算各监测断面污染指标对物元  $A$ 、 $B$  的线性关联函数:

$$K_A(X_{ij}) = \frac{X_{ij} - C_j}{C_j - A_j} \quad (5)$$

$$K_B(X_{ij}) = \frac{X_{ij} - C_j}{C_j - B_j} \quad (6)$$

式中:  $X_{ij}$  为第  $i$  个监测断面的第  $j$  项指标检测值;  $C_j$  为第  $j$  项指标期望值;  $A_j$  为第  $j$  项指标最优值;  $B_j$  为第  $j$  项指标最差值;  $K_A(X_{ij})$ 、 $K_B(X_{ij})$  为物元  $A$ 、

$B$  的线性关联函数值。

表 2 为关联函数值的结果, 可以表示监测断面与物元的相似程度, 数值含义的具体内容见表 2。

表 2 关联函数值的含义

Tab. 2 The meaning of correlation function values

$K(X_{ij})$ 取值	含义
$[0, +\infty)$	表示符合要求, 它的数值越大, 就越符合。
$[-1, 0)$	表示不符合要求, 但可以变为符合, 数值越大, 就越容易转变。
$(-\infty, -1)$	表示不符合要求, 而且也不能变为符合。

通过上述计算结果可以得出各项污染指标对物元  $A$ 、 $B$  的综合关联函数, 根据综合关联函数的数值, 结合监测断面在  $K_A$ 、 $K_B$  平面上的点聚图分布, 即可选出优化监测断面:

$$K_A(X_i) = \sum_{j=1}^m W_j \cdot K_A(X_{ij}) \quad (7)$$

$$K_B(X_i) = \sum_{j=1}^m W_j \cdot K_B(X_{ij}) \quad (8)$$

式中:  $W_j$  为  $j$  项污染指标权值;  $K_A(X_i)$ 、 $K_B(X_i)$  为最后计算的各项污染指标对应物元  $A$ 、 $B$  的综合关联函数。

### 2.3 WASP 水质模型

WASP 水质模型可以对河流、湖泊、河口、水库等多种水体的稳态与非稳态进行模拟, 被称为万能水质模型<sup>[10]</sup>。水质分析模拟程序 WASP 由 EUTRO(富营养化模型)和 TOXI(有毒化学物模型)两大子程序组成, 其中 EUTRO 可模拟氨氮、总磷、COD 等在水中迁移转化规律, 因此本水质模型选取 EUTRO 富营养化模型, 其数学方程如下:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(U_x C) - \frac{\partial}{\partial y}(U_y C) - \frac{\partial}{\partial z}(U_z C) + \frac{\partial}{\partial x}\left[E_x \frac{\partial C}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[E_y \frac{\partial C}{\partial y}\right] + \frac{\partial}{\partial z}\left[E_z \frac{\partial C}{\partial z}\right] + S_L + S_B + S_K$$

本次假定水体的垂向和横向是均匀的, 可得一维水质组分运移方程:

$$\frac{\partial(A C)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left[-U_x A C + E_x A \frac{\partial C}{\partial x}\right] + A(S_L + S_B) + A S_K$$

式中:  $A$  为水体横截面积 ( $m^3$ );  $U_x, U_y, U_z$  为流速 ( $m/s$ );  $C$  为水质指标浓度 ( $mg/L$ );  $E_x$  为河流纵向扩散系数 ( $m^2/s$ );  $S_L$  为点源和非点源负荷, 正为源、负为漏 ( $g/(m^3 \cdot d)$ );  $S_B$  为边界负荷, 包括上游、下游、底部和大气环境 ( $g/(m^3 \cdot d)$ );  $S_K$  为源汇项 ( $g/(m^3 \cdot d)$ )。

### 3 WASP 水质模型构建

基于黄河干流宁夏段地形特征、水环境特征及水动力学条件可知:黄河河道属于宽浅型,水深远小于河宽,且干流流量与污水流量之比远大于 10~20,可认为污染物短时间内在河道中混合均匀,其垂向和横向浓度梯度变化可忽略不计,主要靠断面纵向混合作用向前输移,河流水力要素和水质状况均可采用断面平均值。综合考虑以上水质模型适用性和可行性,选取 WASP 模型建立黄河干流水质模型。

#### 3.1 模型概化

为保证研究的科学准确性,运用 WASP 水质模型将黄河干流宁夏段概化为两部分,即卫宁段(WN)与青石段(QS):卫宁段为下河沿至青铜峡段,划分为 27 个断面,各断面间的距离约为 4 km;青石段为青铜峡至石嘴山河段,划分为 44 个断面,各断面间的距离约为 4 km(其中将卫宁段最后一个断面数据作为青石段初始条件输入模型)。为增加模型精度,运用差值法对部分河段进行适当加密,分别计算出每段水体体积、相邻分区间的特征距离及分区间剖面面积,作为模型输入条件。图 2 和图 3 分别为卫宁段与青石段 WASP 模型概化后的划分情况,其中由下河沿至金沙湾依次为  $WN_1$ 、 $WN_2$ 、...、 $WN_{27}$ ,青铜峡至石嘴山依次为  $QS_1$ 、 $QS_2$ 、...、 $QS_{44}$ 。

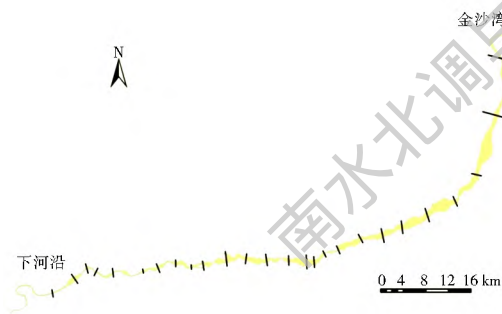


图 2 黄河干流卫宁段模型概化图  
Fig. 2 The model figure of Weining segment

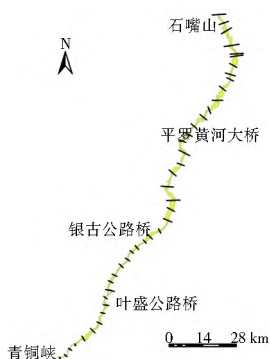


图 3 黄河干流青石段模型概化图  
Fig. 3 The model figure of Qingshi segment

### 3.2 模型建立及参数率定

以 2014 年黄河干流水环境为基础建立水质模型,模型选用 EUTRO 模块,时间步长设为 1,模拟指标为 COD、氨氮、总磷,依次输入河段初始浓度、边界浓度、含氧量及水温等相关参数。模型部分参数参考 WASP 用户手册进行设定,COD、氨氮、总磷自净系数根据黄河上、中、下游水样的室内降解实验求得,分别为 0.05/d、0.015/d 和 0.025/d,污染物纵向离散系数取  $50 \text{ m}^2/\text{s}$ ,卫宁段与青石段河道综合粗糙率分别为 0.045 和 0.036。

#### 3.3 相关性检验

通过 MATLAB 中 corrcoef 函数对实测数据与模拟数据进行相关性分析,表 3 为三种污染物的实测数据与模拟数据进行相关性分析后所得  $r$  值与  $p$  值,其中 3 种水质指标在 6 个监测断面监测频率均为每月一次,监测时间为上午 9 点至 12 点之内,采用水质自动监测技术。由表 3 可知:三种污染物实测数据与模拟数据的  $r$  值分别为 0.978 9、0.993 1、0.986 9,均通过了 95% 的置信水平。图 4、图 5、图 6 分别为 COD、氨氮、总磷的实测数据与模拟数据对比,三幅图中横坐标序号(1 至 6)依次代表 6 个水质监测断面,即下河沿、金沙湾、叶盛公路桥、银古公路桥、平罗黄河大桥与麻黄沟监测断面。由图 4-图 6 可知:WASP 水质模型的模拟结果与实际较符合,证明运用 WASP 水质模型对黄河干流的概化分段是科学的,能够有效模拟河流水质的变化规律。

表 3 实测数据与模拟数据的相关性对比结果

Tab. 3 The correlation of the measured data with simulated data comparison results

污染物种类	$r$ 值	$p$ 值
COD	0.978 9	0.000 7
氨氮	0.993 1	0.000 1
总磷	0.986 9	0.000 3

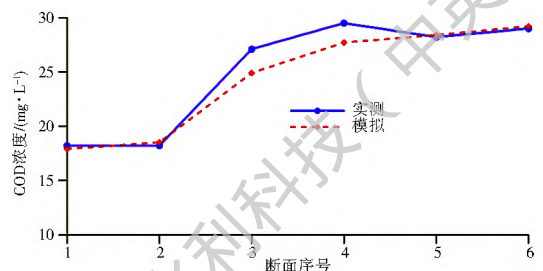


图 4 6 个水质监测断面 COD 模拟结果

Fig. 4 The COD simulation diagram of six water quality monitoring section

## 4 水质监测断面优化过程

### 4.1 卫宁段断面优化

#### 4.1.1 卫宁段物元分析法

根据《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)中污染指标的标准值,运用指数超标法可得污染

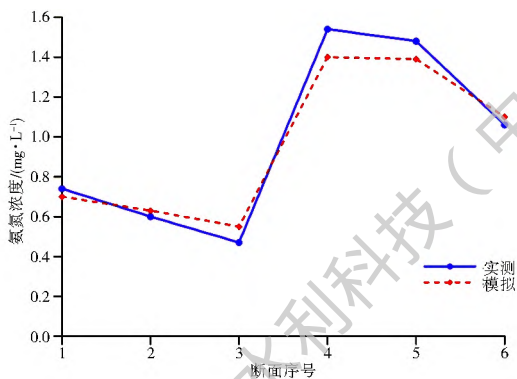


图 5 6 个水质监测断面氨氮模拟结果

Fig. 5 The NH<sub>3</sub>-N simulation diagram of six water quality monitoring section

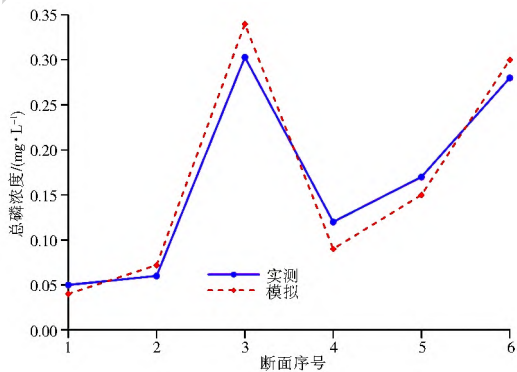


图 6 6 个水质监测断面总磷模拟结果

Fig. 6 The TP simulation diagram of six water quality monitoring section

指标的权值  $W_j$ , 经计算最后得归一化权值的结果, 表 4 为各污染指标的分级标准及归一化权值, 由表 4 可知: 污染指标 COD、氨氮、总磷的归一化权值分

别为 0.100、0.425、0.475。将  $W_j$  代入式 (7)、式 (8), 可得各断面的综合关联函数, 表 5 为代入公式后的各断面综合关联函数。

表 4 分级标准以及归一化权值

Tab. 4 The classification standard and the results of the normalized weights

指标	$I/(mg \cdot L^{-1})$	$II/(mg \cdot L^{-1})$	$III/(mg \cdot L^{-1})$	$IV/(mg \cdot L^{-1})$	$V/(mg \cdot L^{-1})$	$S_j$	$X_j$	$X_j/S_j$	$W_j$
COD	15.000	15.000	20.000	30.000	40.000	24.000	25.033	1.043	0.100
氨氮	0.150	0.500	1.000	1.500	2.000	1.030	0.982	0.953	0.425
总磷	0.020	0.100	0.200	0.300	0.400	0.204	0.164	0.804	0.475

注:  $X_j$  为  $j$  种污染物所有监测断面的平均值;  $S_j$  为  $j$  因子 5 类标准值的平均值;  $X_j/S_j$  为指数超标法计算的权值;  $W_j$  为第  $j$  种污染物的归一化权值

表 5 各断面综合关联函数

Tab. 5 Comprehensive correlation functions of each section

断面序号	$K_A(X_i)$	$K_B(X_i)$	断面序号	$K_A(X_i)$	$K_B(X_i)$
WN <sub>1</sub>	-0.996	1.566	WN <sub>15</sub>	0.442	-0.695
WN <sub>2</sub>	-0.997	1.568	WN <sub>16</sub>	0.452	-0.709
WN <sub>3</sub>	-0.997	1.567	WN <sub>17</sub>	0.459	-0.721
WN <sub>4</sub>	-0.996	1.566	WN <sub>18</sub>	0.469	-0.736
WN <sub>5</sub>	-0.994	1.562	WN <sub>19</sub>	0.484	-0.761
WN <sub>6</sub>	-0.993	1.560	WN <sub>20</sub>	0.536	-0.842
WN <sub>7</sub>	-0.986	1.550	WN <sub>21</sub>	0.551	-0.866
WN <sub>8</sub>	-0.979	1.538	WN <sub>22</sub>	0.551	-0.866
WN <sub>9</sub>	-0.955	1.502	WN <sub>23</sub>	0.574	-0.902
WN <sub>10</sub>	0.360	-0.567	WN <sub>24</sub>	0.603	-0.947
WN <sub>11</sub>	0.363	-0.571	WN <sub>25</sub>	0.625	-0.982
WN <sub>12</sub>	0.406	-0.639	WN <sub>26</sub>	0.637	-1.000
WN <sub>13</sub>	0.416	-0.654	WN <sub>27</sub>	0.535	-0.844
WN <sub>14</sub>	0.439	-0.689			

在以  $K_A$  为横坐标、 $K_B$  为纵坐标的平面上, 绘制 27 个监测断面综合关联函数的点聚图, 所有点均分布于第 II、IV 象限内。图 7(a) 为第 II 象限内散点图, 由图 7(a) 可知: 在第 II 象限内  $K_A > 0$ , 符合最佳断面, 断面从左到右依次为 WN<sub>1</sub> 至 WN<sub>10</sub>, 其中

WN<sub>2</sub>、WN<sub>10</sub> 符合程度最高, 选为最优断面。图 7(b) 为第 IV 象限内散点图, 由图 7(b) 可知: 在第 IV 象限内  $K_B > 0$ , 符合最差断面, 断面从左到右依次为 WN<sub>11</sub> 至 WN<sub>27</sub>, 其中 WN<sub>11</sub> 至 WN<sub>15</sub> 与 WN<sub>24</sub> 最为符合, 是断面中条件最优化的点, 由于 WN<sub>27</sub> 有青铜峡断面作为监测断面, 故可舍去。综上所述, 采用物元分析法将卫宁段优化为以下 8 个监测断面: WN<sub>2</sub>、WN<sub>10</sub>、WN<sub>11</sub>、WN<sub>12</sub>、WN<sub>13</sub>、WN<sub>14</sub>、WN<sub>15</sub>、WN<sub>24</sub>。

#### 4.1.2 卫宁段模糊聚类法

采用 MATLAB 进行模糊聚类分析, 判断各监测断面的相关性。运用聚类函数分析法, 对各监测断面进行聚类分析, 得到聚类树图(图 8), 由图 8 可知: 卫宁段水质监测断面总体上分为三部分。第一部分中的 WN<sub>1</sub> 至 WN<sub>8</sub> 八个断面看作一类, WN<sub>9</sub> 看作一类; 第二部分中, WN<sub>10</sub>、WN<sub>11</sub> 看作一类, WN<sub>12</sub>、作为一类, WN<sub>14</sub> 至 WN<sub>19</sub> 看作一类; 第三部分中, WN<sub>20</sub> 至 WN<sub>22</sub>、WN<sub>27</sub> 作为一类, WN<sub>24</sub> 至 WN<sub>26</sub> 划为一类, WN<sub>23</sub> 属于单独一类。

#### 4.1.3 综合对比

表 6 为综合物元分析法与模糊聚类法得到的优化结果, 综合两种方法最终得到的优化后断面为 WN<sub>2</sub>、WN<sub>11</sub>、WN<sub>13</sub>、WN<sub>15</sub>、WN<sub>24</sub>。

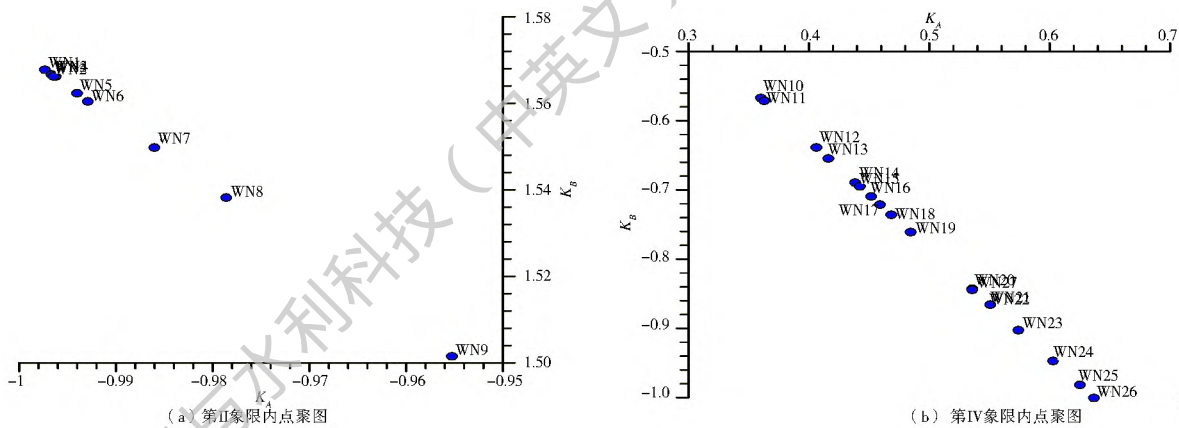


图 7 第 II、IV 象限内综合关联函数点聚图

Fig. 7 The scatter plot of quadrant II and IV of Comprehensive correlation functions

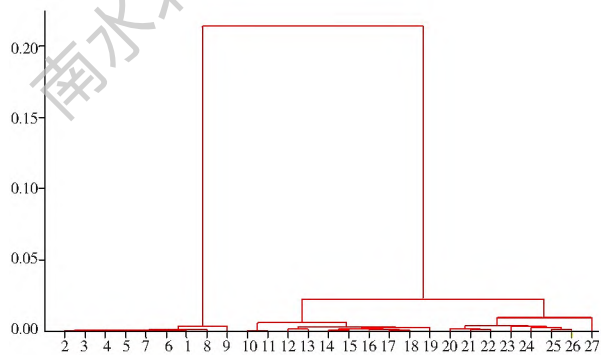


图 8 卫宁段聚类树图

Fig. 8 The clustering tree graph of Weining

表 6 卫宁段对比分析优化结果

Tab. 6 Comparative analysis of optimization results

河段	所属类别	物元分析法	模糊聚类法	优化后保留断面
黄河干流 卫宁段	一类	WN <sub>1</sub> 至 WN <sub>2</sub>	WN <sub>1</sub> 至 WN <sub>8</sub>	WN <sub>2</sub>
	二类	WN <sub>3</sub> 至 WN <sub>8</sub>	WN <sub>9</sub>	
	三类	WN <sub>9</sub> 至 WN <sub>11</sub>	WN <sub>10</sub> 、WN <sub>11</sub>	WN <sub>11</sub>
	四类	WN <sub>12</sub> 至 WN <sub>13</sub>	WN <sub>12</sub> 、WN <sub>13</sub>	WN <sub>13</sub>
	五类	WN <sub>14</sub> 至 WN <sub>15</sub>	WN <sub>14</sub> 至 WN <sub>19</sub>	WN <sub>15</sub>
	六类	WN <sub>16</sub> 至 WN <sub>19</sub>	WN <sub>20</sub> 至 WN <sub>22</sub> 、WN <sub>27</sub>	
	七类	WN <sub>20</sub> 至 WN <sub>24</sub>	WN <sub>24</sub> 至 WN <sub>26</sub>	WN <sub>24</sub>
	八类	WN <sub>25</sub> 至 WN <sub>27</sub>		

表 7 青石段对比分析优化结果

Tab. 7 Comparative analysis of optimization results

河段	所属类别	物元分析法	模糊聚类法	优化后保留断面
黄河干流 卫宁段	一类	QS <sub>1</sub> 至 QS <sub>5</sub>	QS <sub>1</sub> 至 QS <sub>5</sub>	QS <sub>5</sub>
	二类	QS <sub>6</sub> 、QS <sub>7</sub>	QS <sub>6</sub> 、QS <sub>7</sub>	QS <sub>7</sub>
	三类	QS <sub>8</sub> 至 QS <sub>10</sub>	QS <sub>8</sub> 至 QS <sub>13</sub>	QS <sub>10</sub>
	四类	QS <sub>11</sub> 至 QS <sub>13</sub>	QS <sub>14</sub> 至 QS <sub>20</sub>	
	五类	QS <sub>14</sub> 至 QS <sub>20</sub>	QS <sub>20</sub>	
	六类	QS <sub>20</sub>	QS <sub>22</sub> 、QS <sub>23</sub>	
	七类	QS <sub>22</sub> 至 QS <sub>30</sub>	QS <sub>24</sub> 至 QS <sub>42</sub>	QS <sub>25</sub> 、QS <sub>30</sub>
	八类	QS <sub>31</sub> 至 QS <sub>44</sub>	QS <sub>43</sub> 、QS <sub>44</sub>	QS <sub>44</sub>

根据主要入黄排污口分布及排污状况,连续设置几个控制断面;(3)若河段内有较大支流汇入,须在交点上游与干流下游处设监测断面;四、流入或流出行政区边界处应设置监测断面。

对于卫宁段,由于 WN<sub>2</sub> 距下河沿监测断面过近,考虑去掉 WN<sub>2</sub>,保留下河沿断面;因 WN<sub>11</sub>、WN<sub>13</sub>、WN<sub>15</sub> 相邻,且在它们之前有第一、第四排水沟及清水河汇入,考虑选择其中一个断面,鉴于监测的方便,最终选择 WN<sub>13</sub>,即石空镇处设置监测断面;WN<sub>24</sub>距金沙湾监测断面过近,考虑去掉 WN<sub>24</sub>,保留金沙湾断面。对于青石段,由于 QS<sub>5</sub>、QS<sub>7</sub> 距叶盛公路桥断面过近,考虑去掉它们,保留叶盛公路桥断面;鉴于 QS<sub>10</sub>处于临河镇上游,断面之前聚集较多城镇及罗家河排水沟的汇入,为了解此处水质受污染状况,需在此设立监测断面,即 QS<sub>10</sub>(临河镇上游)处设置监测断面;鉴于 QS<sub>25</sub>、QS<sub>30</sub>距平罗黄河大桥较近,考虑去掉 QS<sub>25</sub>、QS<sub>30</sub>,保留平罗黄河大桥断面;因 QS<sub>44</sub>距麻黄沟监测断面较近,考虑去掉 QS<sub>44</sub>,保留麻黄沟断面。

综合上述物元分析法、模糊聚类法、地理因素等,最终确定水质监测断面为 8 个,较原来增设 2

## 4.2 青石段断面优化

青石段水质监测断面优化方法与卫宁段一致。表 7 为最后所得到的优化结果,综合两种方法最终得到的优化后断面为 QS<sub>5</sub>、QS<sub>7</sub>、QS<sub>10</sub>、QS<sub>25</sub>、QS<sub>30</sub>、QS<sub>44</sub>。

## 4.3 优化结果

依据宁夏区域的地形地貌及沿河主要入黄排水沟、支流的分布情况,布置与优化监测断面需考虑如下因素:(1)城镇密集或工业园区流域内,需布设对照断面、控制断面和消减断面;(2)污染严重河段可

个。表 8 为水质监测断面最终优化结果, 增设断面分别位于石空镇(靠近下河沿)与临河镇, 其地理位置分别为  $105^{\circ}40'31''E, 37^{\circ}34'04''N$  与  $106^{\circ}18'36''E, 38^{\circ}16'11''N$  (见图 9)。对于增设的石空镇监测断面, 可弥补因下河沿与金沙湾两监测断面之间距离过大, 且两断面间有清水河及一系列入黄排水沟汇入, 而造成对其间水质真实变化情况监测的空白; 增设的临河镇监测断面, 可弥补因此段较多的城镇及入黄排水沟汇入, 而造成对其间水质真实变化情况掌握的空白。

表 8 最终优化结果

Tab. 8 The final optimization results

断面序号	断面名称	断面性质
1	下河沿	国控断面
2	石空镇	添加断面
3	金沙湾	国控断面
4	叶盛公路桥	国控断面
5	临河镇	添加断面
6	银古公路桥	国控断面
7	平罗黄河大桥	国控断面
8	麻黄沟	国控断面

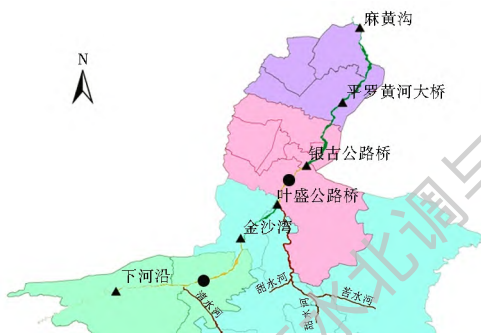


图 9 优化后断面布置示意图

Fig. 9 The optimized layout diagram

## 5 结论

对黄河干流宁夏段国控水质监测断面进行优化设置, 可为宁夏水环境监测控制及水网建设提供建设性意见, 且优化后监测断面能更加科学合理的监测水质变化, 为宁夏农业的发展提供保障。本文运用物元分析法、模糊聚类法及 WASP 水质模型对现有监测断面进行优化布置, 得以下结论。

(1) 采用 WASP 水质模型对黄河宁夏段干流进行概化, 将污染物的实测数据与模拟数据进行对比, 得到其相关性检验的  $r$  值分别为 0.978 9、0.993 1、0.986 9, 均通过 95% 的置信水平, 证明运用 WASP 水质模型对黄河干流宁夏段概化分段是合理有效的。

(2) 为全面了解干流流域水质变化情况, 监测断面最终优化结果为: 将原来 6 个国控水质监测断面增加为 8 个, 增设的水质监测断面分别位于石空镇与临河镇, 其地理位置分别为  $105^{\circ}40'31''E, 37^{\circ}34'04''N$  与  $106^{\circ}18'36''E, 38^{\circ}16'11''N$ 。

## 参考文献 (References):

- [1] 李瑞杰, 王迪, 张颖. 河流水质监测控制断面设置探讨[J]. 内蒙古环境科学, 2008, 20(2): 41-42. (LI Ruojie, WANG Di, ZHANG Ying. Approach on establishment of control section of river water quality monitoring[J]. Inner Mongolian Environmental Sciences, 2008, 20(2): 41-42. (in Chinese))
- [2] 宁夏回族自治区环境保护局. 环境状况公报[R]. 银川: 宁夏回族自治区环境保护局, 2001-2003. (The environmental protection bureau of ningxia hui autonomous region. Environmental bulletin[R]. Yinchuan: The environmental protection bureau of ningxia hui autonomous region, 2001-2003. (in Chinese))
- [3] 蒋艳君, 谢悦波, 黄旻. 基于改进 TOPSIS 法的水质监测断面优化研究[J]. 南水北调与水利科技, 2016(5): 78-82. (JIANG Yarr jun, XIE Yue bo, HUANG Min. Optimization of water quality monitoring sections based on improved TOPSIS method[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2016(5): 78-82. (in Chinese))
- [4] 王辉, 孙家君, 孙丽娜, 等. 贴进度法的改进及在浑河干流水质监测断面优化中应用[J]. 生态学杂志, 2014(12): 3470-3474. (WANG Hui, SUN Jia jun, SUN Li na, et al. Modification of similarity method and its application in optimization design of river quality monitoring section in the mainstream of Hun River[J]. Chinese Journal of Ecology, 2014(12): 3470-3474. (in Chinese))
- [5] 蒋艳君, 谢悦波, 黄旻. 改进的物元分析法在水质监测断面布设优化中的应用[J]. 水资源保护, 2016, 32(4): 136-141. (JIANG Yarr jun, XIE Yue bo, HUANG Min. Application of improved matter element analysis method to optimization of water quality monitoring sections[J]. Water Resources Protection, 2016, 32(4): 136-141. (in Chinese))
- [6] 杜艳君, 孙庆华, 李滔滔. 不同通勤方式下 PM<sub>2.5</sub> 个体暴露与固定站点监测的相关性研究[J]. 环境与健康杂志, 2015(04): 319-323. (DU Yarr jun, SUN Qing hua, LI Tiao tao. Relationship between personal exposure levels in different commuting patterns and corresponding air monitoring data of PM<sub>2.5</sub>[J]. Journal of Environment and Health, 2015(04): 319-323. (in Chinese))
- [7] 安贝贝, 蒋昌潭, 刘兰玉, 等. 水质监测断面优化技术研究[J]. 环境科学与技术, 2015(04): 107-111. (AN Bei bei, JIANG Chang tan, LIU Yr lan, et al. Optimized approach to setting up water quality monitoring cross sections[J]. Environmental Science & Technology, 2015(04): 107-111. (in Chinese))
- [8] 吴文强, 陈求稳, 李基明, 等. 江河水水质监测断面优化布设方法[J]. 环境科学学报, 2010(08): 1537-1542. (WU Wer qiang, CHEN Qiu wen, LI Ji ming, et al. Optimization of river water quality monitoring sections[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2010(08): 1537-1542. (in Chinese))

- [9] 袁正锋. 常见环境质量评价数学模型讨论[J]. 生物技术世界, 2012(02): 90-91. (YUAN Zheng-feng. Common environmental quality evaluation mathematical model for discussion[J]. Biotech World, 2012(02): 90-91. (in Chinese))
- [10] 张荔, 孙程, 林金辉, 等. WASP6 水质模型在渭河流域水环境容量解析中的应用[J]. 水资源与水工程学报, 2006, 17(06): 12-14. (ZHANG Li, SUN Cheng, LIN Jin-hui, et al. Application of WASP6 model to water environmental capacity in Weihe River basin[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2006, 17(06): 12-14. (in Chinese))
- [11] 韦兴荷. 邕江南宁市区段水质时空变化规律分析[J]. 水资源保护, 2005(06): 49-52. (WEI Xing-he. Analysis of the space time variation rule of the water quality in Nanning section of the Yongjiang River[J]. Water Resources Protection, 2005(06): 49-52. (in Chinese))
- [12] 王福伟. 我国环境监测的现状与发展[J]. 黑龙江科技信息, 2016(24). (WANG Fu-wei. Present situation and the development of our country's environmental monitoring[J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2016(24). (in Chinese))
- [13] George Yur-zhu FU. Integration of USEPA WASP model in a GIS platform[J]. Journal of Zhejiang University-Science A (Applied Physics & Engineering), 2010(12).
- [14] 左其亭, 李可任. 最严格水资源管理制度理论体系探讨[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(1): 34-38. (ZUO Qi-ting, LI Ke-ren. Discussion on theoretical system of the strictest water resources management system[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013, 11(1): 34-38. (in Chinese))
- [15] 张志强, 左其亭, 马军霞. 最严格水资源管理制度的和谐论解读[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(6): 133-137. (ZHANG Zhi-qiang, ZUO Qi-ting, MA Jun-xia. Harmony theory interpretation for the strictest water resources management system[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013, 11(6): 133-137. (in Chinese))
- [16] 田静宜, 王新军. 基于熵权模糊物元模型的干旱区水资源承载力研究: 以甘肃民勤县为例[J]. 复旦学报: 自然科学版, 2013, 52(1): 86-93. (TIAN Jing-yi, WANG Xin-jun. Assessment of the carrying capacity of water resources in arid areas based on an entropy fuzzy matter element model: A case study in Minqin county, Gansu province[J]. Journal of Fudan University (Natural Science), 2013, 52(1): 86-93. (in Chinese))
- [17] 王亚尼, 周序协, 张桂蓉, 等. 大茶湖浮游藻类调查与水质初步评价[J]. 华中农业大学学报, 2013, 32(03): 118-123. (WANG Ya-ni, ZHOU Xu-xie, ZHANG Gui-rong, et al. Investigation of phytoplankton and preliminary evaluation of water quality in Dacha Lake[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2013, 32(03): 118-123. (in Chinese))
- [18] 富天乙, 邹志红, 王晓静. 基于多元统计和水质标识指数的辽阳太子河水质评价研究[J]. 环境科学学报, 2014, 34(02): 473-480. (FU Tian-yi, ZHOU Zhi-hong, WANG Xiao. Water quality assessment for Taizi River watershed in Liaoyang section based on multivariate statistical analysis and water quality identification index[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2014, 34(02): 473-480. (in Chinese))
- [19] 崔芳. 基于均值化的灰色关联法在渭河宝鸡段水质评价中的应用[J]. 中国农学通报, 2016, 32(25): 138-141. (CUI Fang. Water quality assessment of Weihe River Baoji section based on equalized grey correlation analysis[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(25): 138-141. (in Chinese))
- [20] 王维, 纪枚, 苏亚楠. 水质评价研究进展及水质评价方法综述[J]. 科技情报开发与经济, 2012, 22(13): 129-131. (WANG Wei, JI Mei, SU Ya-nan. Reviews of the progress in the research of water quality evaluation and the methods for water quality evaluation[J]. Citech Information Development & Economy, 2012, 22(13): 129-131. (in Chinese))
- [21] 章新, 贺石磊, 张雍照, 等. 水质评价的灰色关联分析方法研究[J]. 水资源与水工程学报, 2010, 21(05): 117-119. (ZHANG Xin, HE Shi-lei, ZHANG Yong-zhao, et al. Study on grey relational analysis method for water quality assessment[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2010, 21(05): 117-119. (in Chinese))
- [22] 弓晓峰, 陈春丽, 赵晋, 等. 鄱阳湖乐安河流域水质监测优化布点[J]. 湖泊科学, 2006, 18(05): 545-549. (GONG Xiao-feng, CHEN Chun-li, ZHAO Jin, et al. Optimized points selection of the water quality monitoring in the Le'an River basin of Lake Poyang[J]. J. Lake Sci, 2006, 18(05): 545-549. (in Chinese))
- [23] 翁建中, 李继影, 梁柱, 等. 太湖蓝藻水华时空分布与预警监测响应的分析[J]. 环境监控与预警, 2010, 02(03): 1-4. (WENG Jian-zhong, LI Ji-ying, LIANG Zhu, et al. Spatial and temporal distribution of cyanobacteria bloom in Taihu Lake and analysis of the response to early warning monitoring[J]. Environmental Monitoring and Forewarning, 2010, 02(03): 1-4. (in Chinese))
- [24] 李茜, 张建辉, 罗海江. 区域地表水监测断面优化调整的技术方法[J]. 环境监控与预警, 2012, 04(01): 34-37. (LI Qian, ZHANG Jian-hui, LUO Hai-jiang. The study on the optimization and adjustment of regional surface water environment monitoring sections[J]. Environmental Monitoring and Forewarning, 2012, 04(01): 34-37. (in Chinese))