

综合污染指数法在胶东调水水质评价中的应用

王国涛, 苏艳辉, 秦 浩

(山东省水网运行调度中心烟威分中心, 山东 烟台 264003)

【摘 要】文章以胶东调水工程水质情况为研究方向, 基于综合污染指数法对胶东调水工程水质现状以及空间和时间维度下的水质变化趋势进行分析。结果表明, 胶东调水工程水质现状达标, 工程下游水质情况略优于上游, 历年工程水质情况呈现为“总体达标, 各年差异”, 结果可为胶东调水工程水质管理工作提供参考。

【关键词】胶东调水; 水质评价; 综合污染指数法

【中图分类号】X824

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2026)-03-0001-04

Application of Comprehensive Pollution Index Method in Water Quality Evaluation of Water Diversion to Jiaodong Area Project

WNAG Guotao, SU Yanhui, QIN Hao

(Yanwei Branch, Water Grid Operation and Dispatching Center of Shandong Province, Yantai, Shandong 264003, China)

Abstract: Taking the water quality of the Water Diversion to Jiaodong Area Project as the research object, this paper adopts the comprehensive pollution index method to analyze the current water quality status as well as the temporal and spatial variation trends of water quality in the project. The results show that the current water quality of the Project meets the standard; the water quality in the downstream is slightly better than that in the upstream. The annual water quality presents an overall qualified status with inter-annual differences. The findings can provide a reference for water quality management of the Project.

Key words: Water Diversion to Jiaodong Area Project; Water quality evaluation; Comprehensive pollution index method

胶东调水工程是为解决胶东地区供水问题而建设的大型战略性、公益性调水工程, 承担着向胶东地区“送足水、送好水”的职能, 其供水水质受社会各界关注。文章以胶东调水工程水质情况为研究方向, 基于综合污染指数法对上一运行年度胶东调水工程水质监测数据进行计算和分析, 得出该工程供水水质情况现状以及空间维度下的水质变化情况; 进一步对实施水质监测以来近 5 年水质监测数据进行计算和分析, 得出该工程在时间和空间维度下供水水质情况多年的变化趋势。

1 综合污染指数法

1.1 简介

综合污染指数法是通过整合多种水质参数

数据, 量化水体污染程度的水质评价方法。其核心是将不同污染物的实测浓度与标准值进行对比, 通过加权或综合计算得出一个无量纲的指数值, 从而直观反映水体的整体污染水平。该方法在水质评价中应用较广泛。

1.2 原理

将若干个水质指标(如生化需氧量、氨氮、重金属等)的污染程度进行归一化处理, 结合各指标的权重, 综合计算得到代表水质整体状况的指数值。

$$CPI = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{S_i} \times W_i \right) \quad (1)$$

式中: CPI 为某断面综合污染指数, 无量纲

收稿日期: 2025-05-28

作者简介: 王国涛(1991—), 男, 工程师

数; C_i 为第*i*项污染物的实测浓度,mg/L; S_i 为第*i*项污染物的评价标准值,mg/L; W_i 为第*i*项污染物的权重,%,通常情况下, $\sum W_i=1$;n 为参与评价的污染物种类数。

1.3 步骤

首先选定待测水体的关键污染物,一般包括化学需氧量(COD)、生化需氧量(BOD₅)、氨氮(NH₃-N)、总磷(TP)、总氮(TN)、重金属、溶解氧(DO)等。实际应用中,指标选择需根据研究目的、水体功能(饮用水源、渔业、工业等)及地方标准动态调整。然后确定评价标准,以此得出各污染物的评价标准值,并进行数据的标准化处理,消除量纲。下一步进行各污染物权重分配,根据式(1)进行计算。最后运用数据分析和比对的手段进行水质评价。

2 指标与样本的选取

2.1 指标的确定

胶东调水工程烟台段目前设置 2 处检测断

面,分别位于莱州段代古庄闸站前、龙口段黄水河泵站前池处,该 2 处断面施行委托第三方检测机构进行检测的模式,送检项目包括水温、pH 值、溶解氧等共 30 项。

结合胶东调水工程输水渠道周边环境情况,遵循代表性、危害性、数据可得性及区域特征 4 项指标选择依据,确定化学需氧量(COD)、氨氮(NH₃-N)、总磷(TP)、氟化物(TN)、汞(Hg)、铅(Pb)、挥发酚共 7 项污染物指标作为研究用污染物指标,以计算并分析胶东调水工程空间及时间维度水质情况及变化趋势。

2.2 数据提取与整理

以选取的 7 项污染物指标为依据,将 2019 年、2020 年、2021 年、2022 年、2024 年共计 5 年中 3 月、4 月、5 月的胶东调水工程委托检测报告进行数据提取、整理(2023 年工程未运行,2024 年 5 月运行已结束,无水质检测资料),可得胶东调水工程近 5 年水质情况 7 项污染物指标统计表,见表 1。

表 1 近 5 年 7 项污染指标统计表 mg/L

样本年份	取样时间	化学需氧量		氨氮		总磷		氟化物		汞		铅		挥发酚	
		代古庄闸站	黄水河泵站	代古庄闸站	黄水河泵站	代古庄闸站	黄水河泵站	代古庄闸站	黄水河泵站	代古庄闸站	黄水河泵站	代古庄闸站	黄水河泵站	代古庄闸站	黄水河泵站
2019 年	3 月	/	15	/	0.025	/	0.02	/	0.518	/	0.000 04	/	0.002 5	/	0.000 3
	4 月	/	16	/	0.025	/	0.03	/	0.57	/	0.000 04	/	0.002 5	/	0.000 3
	5 月	/	13	/	0.025	/	0.02	/	0.52	/	0.000 04	/	0.002 5	/	0.000 3
2020 年	3 月	8	16	0.135	0.032	0.03	0.37	0.47	0.32	0	0.000 04	0	0.002 5	0	0.000 3
	4 月	10	16	0.494	0.049	0.05	0.16	0.32	0.24	0	0	0	0	0	0
	5 月	7	13	0.368	0.176	0.05	0.09	0.32	0.36	0	0	0	0	0	0
2021 年	3 月	12	13	0.405	0.11	0.04	0.08	0.35	0.44	0	0	0.000 65	0	0	0
	4 月	8	14	0.091	0.156	0.04	0.03	0.15	0.51	0	0	0.006 7	0	0	0
	5 月	11	15	0.164	0.145	0.05	0.03	0.55	0.45	0	0	0	0	0	0
2022 年	3 月	12	14	0.108	0.202	0	0.03	0.47	0.45	0	0.000 04	0	0.002 5	0	0.000 3
	4 月	12	12	0.119	0.156	0.03	0.03	0.47	0.47	0	0.000 04	0	0.002 5	0	0.000 3
	5 月	11	13	0.071	0.108	0.02	0.03	0.33	0.46	0	0.000 04	0	0.002 5	0	0.000 3
2024 年	3 月	18	12	0.764	0.206	0.02	0.04	0.37	0.55	0	0.000 04	0	0.01	0	0.000 3
	4 月	17	14	0.723	0.183	0.03	0.03	0.30	0.63	0	0.000 04	0	0.01	0	0.000 3

注:表中“/”表示该年未在此站点进行取样。

2.3 样本选取

考虑到胶东调水工程春季运行时无极端天气、运行相对平稳等因素,同时考虑数据的计算、分析便捷,选择各年份 4 月份代古庄闸站、黄水河泵站 7 项污染物指标组成数据矩阵以讨论文本,见表 2。

3 标准与权重的确定

3.1 评价标准值确定

根据《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)中地表水Ⅲ类标准值,7 项指标的评价标准值见表 3。

表 2 近 5 年 7 项污染指标样本数据表 mg/L

样本 年份	取样 时间	化学需氧量		氨氮		总磷		氟化物		汞		铅		挥发酚	
		代古庄	黄水河	代古庄	黄水河	代古庄	黄水河	代古庄	黄水河	代古庄	黄水河	代古庄	黄水河	代古庄	黄水河
		闸站	泵站	闸站	泵站	闸站	泵站	闸站	泵站	闸站	泵站	闸站	泵站	闸站	泵站
2019 年	4 月	/	16	/	0.025	/	0.03	/	0.57	/	0.000 04	/	0.002 5	/	0.000 3
2020 年	4 月	10	16	0.494	0.049	0.05	0.16	0.32	0.24	0	0	0	0	0	0
2021 年	4 月	8	14	0.091	0.156	0.04	0.03	0.15	0.51	0	0	0.006 7	0	0	0
2022 年	4 月	12	12	0.119	0.156	0.03	0.03	0.47	0.47	0	0.000 04	0	0.002 5	0	0.000 3
2024 年	4 月	17	14	0.723	0.183	0.03	0.03	0.30	0.63	0	0.000 04	0	0.01	0	0.000 3

表 3 指标对应评价标准值 mg/L

指标	化学 需氧量	氨氮	总磷	氟化物	汞	铅	挥发酚
标准 限值	20	1	0.2	1	0.000 1	0.05	0.005

3.2 熵权法确定权重

为提高权重的合理性和分析结论的可信度，采用“熵权法”进行污染物指标权重分配。利用表 2 数据,按照“数据标准化、计算比重矩阵、计算信

息熵值、计算信息效用值、得出指标权重”的步骤分步进行计算。因“熵权法”计算过程过于繁杂，在此不再赘述其具体计算过程。权重分配结果见表 4。

4 水质现状分析

4.1 指数计算

利用胶东调水工程烟台段 2 个监测断面 7 项污染物指标 2024 年 4 月监测数据,用式(1)可

表 4 权重分配比例

断面	化学需氧量	氨氮	总磷	氟化物	汞	铅	挥发酚
代古庄闸站	0.129 0	0.172 6	0.210 8	0.097 8	0	0.389 8	0
黄水河泵站	0.065 7	0.085 4	0.377 8	0.057 1	0.119 9	0.174 2	0.119 9

得出 2 个断面的指标污染指数,见表 5。

表 5 胶东调水工程监测断面单因子污染指数计算结果

断面	化学 需氧量	氨氮	总磷	氟化 物	汞	铅	挥发酚
代古庄 闸站	0.85	0.723	0.15	0.3	0	0	0
黄水河 泵站	0.7	0.183	0.15	0.63	0.4	0.2	0.06

根据表 4、表 5 和式(1),可以计算 2024 年 4 月份烟台段各断面水质综合污染指数,见表 6。

表 6 胶东调水工程各断面综合污染指数计算结果

断面	综合污染指数	是否达标
代古庄闸站	0.295 4	达标
黄水河泵站	0.244 3	达标

4.2 结论分析

由上述计算可知,选定 7 项污染物指标数据利用综合污染指数法进行计算所得结果均远小于 1,可得出结论为胶东调水工程 2024 年运行时水质情况达到地表水Ⅲ类标准。以代古庄闸站断面所测数据计算出的综合污染指数略高于黄水河泵站前池断面,说明黄水河泵站前池断面处水

质情况要优于代古庄闸站断面处。结合胶东调水工程实际试分析其原因，代古庄闸站桩号是 K41+488，黄水河泵站前池桩号是 K159+817,代古庄闸站至黄水河泵站前池渠道长 118 km,所调引的客水流经此区间输水渠道时受水体自净、污染物来源的空间分布差异、对特定污染物的降解能力差异等因素影响引起水质情况变化。

以选定的 7 项污染物指标分项来分析,化学需氧量(COD)指数偏高,说明调引客水水体中有机物含量较高，水体自身的自净能力要求高;氨氮(NH₃-N)指数呈输水渠道上游向下游递减态势但上游指数偏高;总磷(TP)指数偏低且上下游一致;氟化物呈输水渠道上游向下游递增态势但 2 处断面指数均偏低;汞(Hg)和铅(Pb)2 类重金属元素因含量极低可忽略不计,在代古庄闸站未检出,在黄水河泵站指数偏低;挥发酚仅存在于黄水河泵站前池断面监测结果中且指数极低。

5 水质变化特征分析

5.1 指数计算

以表 2 整理出的胶东调水工程 2019—2024

年各年4月份水质监测记录数据为计算样本,选定黄水河泵站前池断面为研究对象(黄水河泵站位于胶东调水工程线路中间位置,一定程度上能够代表整个输水渠道线路水质情况),运用前文中提及的方法进行了计算分析和结果运用,得出近5年该断面单因子污染指数和综合污染指数,以此数据来反映胶东调水工程水质情况历年变化趋势,见表7、表8。

表7 黄水河泵站断面单因子污染指数计算结果

年度	化学需氧量	氨氮	总磷	氟化物	汞	铅	挥发酚
2019年	0.8	0.025	0.15	0.57	0.4	0.05	0.06
2020年	0.8	0.049	0.8	0.24	0	0	0
2021年	0.7	0.156	0.15	0.51	0	0	0
2022年	0.6	0.156	0.15	0.47	0.4	0.05	0.06
2024年	0.7	0.183	0.15	0.63	0.4	0.2	0.06

表8 黄水河泵站断面综合污染指数计算结果

年度	综合污染指数	是否达标
2019年	0.207 8	达标
2020年	0.372 7	达标
2021年	0.145 1	达标
2022年	0.200 1	达标
2024年	0.244 3	达标

5.2 结果分析

由表8可以看出,自2019—2024年共5年胶东调水工程通水运行的情况下,综合污染指数均小于1,且均不超过0.4,各年度调引客水水质情况均达到地表水Ⅲ类标准,与实际监测结果契合。同时应注意,计算所得的各年度综合污染指数存在差异,2021年度所得指数0.145 1为最小值,2020年度所得指数0.372 7为最大值,指数的差异反映了胶东调水工程各年度通水运行时水体水质情况存在波动性。

2019—2024年,各年度综合污染指数呈现“先升后降,再小幅度上升”的趋势,对应反映出胶东调水工程近5年通水运行时水体水质呈现一种“总体达标,各年差异”的变化特征。

5.3 波动性及溯源分析

1)2020年水质情况在样本年份中达污染峰值,其主要原因是选定7项污染物指标中的总磷指数异常升高。2020年选取样本中总磷单因子污染指数为0.8,远超其余年份数据0.15。推测其

原因,应与2020年春季雨水增多有关。2020年之前胶东地区干旱少雨,直到2020年气候转向丰雨态势,雨水将地表以及土壤中富集的磷元素带入胶东调水工程,从而引起磷元素指标异常。这种农业面源污染在调引水工程中比较常见。

2)2021年水质情况较2020年显著提升,其直接原因是磷含量回归正常水平,加之重金属元素和挥发酚含量保持在不可监测的低位值。总磷指数从2020年的0.8回落至0.15。分析其原因,降水因素仍然是主因。2020年至今胶东地区为丰水期周期,枯水期地表及土壤中富集的磷元素经2020年春季降水期被大面积消耗,故2021年同期仍有降水导致的水流进入胶东调水工程,但总磷含量已不高。

3)2022—2024年水质情况小幅度下降,其主要原因是氨氮持续缓慢上升,以及2024年铅指数有所升高。氨氮指数从2021年的0.156持平至2022年,再升至2024年的0.183;铅指数在2024年升至0.2。氨氮的主要污染来源于生活污水,随着胶东调水工程沿线经济社会的不断发展,生活污染源防控的压力也随之加大。铅元素含量的升高值得关注,推测与近年来新能源产业发展迅猛所带来的工业性污染有关。

6 结 论

胶东调水工程近年及历年来所调引的客水水质呈现一种“总体达标,各年差异”的变化特征,但均达到地表水Ⅲ类标准。分析计算各年份综合污染指数均较低,反映出胶东调水工程近年来对水质问题越发重视,相应的管理水平也在不断提高。

参考文献

- [1] 王学忠,王鹏.不同水质评价方法在怀柔水库水质评价中的应用与分析[J].北京水务,2011(1):31-33.
- [2] 王月敏,矫佳丽.改进综合污染指数法在徒骇河水质评价中的应用[J].山东水利,2024(11):48-50,54.
- [3] 国家环境保护总局,国家质量监督检验检疫总局.地表水环境质量标准:GB 3838-2002[S].北京:中国标准出版社,2002.
- [4] 王国涛,张志华.胶东调水烟台段水质监测工作探究[J].水电站机电技术,2022(6):93-95.

(责任编辑 崔春梅)