

邛崃天台山景区水质现状分析与评价

黄方千^{1*}, 肖秀婵^{2#}, 江向炫², 游春燕², 李桑莞²

¹成都纺织高等专科学校, 四川 成都

²成都工业学院, 四川 成都

收稿日期: 2021年11月21日; 录用日期: 2021年12月23日; 发布日期: 2021年12月30日

摘要

为了解旅游开发和人类活动对天台山景区水环境的影响, 选取景区内文井江、金龙河、白沫江3条主要河流的地表水及高何镇、天井村2个代表性村镇的地下水为研究对象, 对其水质现状进行了采样分析, 并采用内梅罗污染指数法分别对地表水和地下水进行水质评价。分析结果表明, 3条主要河流的COD、BOD均 \leq I类地表水限值, 但金龙河下游(W₂)的COD、BOD均接近I类地表水限值, 主要原因可能是金龙河是在景区主干线上, 河岸两侧有多处酒店和憩息点, 生活污染等人为影响明显; 六个监测位点的总磷超标1.83~2.5倍, 可能是由于农用磷肥和含磷农药面源污染及含磷洗衣服粉污水排放所致; 文井江下游(W₆)重金属铜含量达0.08 mg/L, 而金龙江和白沫江下游汞超标分别为1.1倍和1.8倍, 且白沫江下游(W₄)有砷检出, 可能是景区多处路面升级改造和河道加固等土建施工, 河道周边土壤和岩石在河水中溶解所致。景区三条河流水质的内梅罗指数 $P_{\text{内}}$ 为1.52, 系轻污染。由此可见, 天台山的水质环境明显受到破坏, 需要对该区域的水体进行进一步严格治理与保护。同时也为我国其他同类景区水环境调查提供一定的方法借鉴。

关键词

天台山, 景区, 水质分析, 水质评价, 污染成因

Analysis and Evaluation of Water Quality in Tiantai Mountain Scenic Area

Fangqian Huang^{1*}, Xiuchan Xiao^{2#}, Xiangxuan Jiang², Chunyan You², Sangguan Li²

¹Chengdu Textile College, Chengdu Sichuan

²Chengdu Technological University, Chengdu Sichuan

Received: Nov. 21st, 2021; accepted: Dec. 23rd, 2021; published: Dec. 30th, 2021

*第一作者。

#通讯作者。

Abstract

In order to understand the impact of tourism development and human activities on the water environment quality of Tiantai Mountain scenic spot, the surface water of Wenjing River, Jinlong River and Baimo River and the groundwater of Gaohe town and Tianjing village were selected as the research objects. The water quality of surface water and groundwater was analyzed, and evaluated by Nemero pollution index method. The results show that the COD and BOD of the three main rivers are less than the I class surface water limit value, but the COD and BOD of the lower reaches of Jinlong River (W_2) are close to the class I surface water limit. The main reason may be that Jinlong river is on the main line of the scenic spot, and there are many hotels and rest spots on both sides of the river bank, so the human influence of domestic pollution is obvious. The total phosphorus of the six monitoring sites exceeded the standard by 1.83~2.5 times, which may be caused by the non-point source pollution of agricultural phosphorus fertilizer and phosphorus containing pesticide and the discharge of wastewater containing phosphorus laundry powder. The heavy metal copper content in the lower reaches of Wenjing River (W_6) is 0.08 mg/l, while the mercury content in the lower reaches of Jinlong River and Baimo river is 1.1 and 1.8 times higher than the standard, respectively. And arsenic is detected in the lower reaches of Baimo River (W_4), which may be caused by the dissolution of soil and rock around the river during the construction of road upgrading and river reinforcement. The Nemero index of the three rivers in the scenic spot is 1.52, which is light pollution. Therefore, the water quality environment of Tiantai Mountain is obviously damaged, and it is necessary to further strictly control and protect the water body in this area. At the same time, it also provides some methods for other similar scenic spots in China.

Keywords

Mount Tiantai, Scenic Area, Water Quality Analysis, Water Quality Evaluation, Causes of Pollution

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来, 景区环境问题对景区的影响逐渐加重, 甚至会产生不可逆转的破坏, 因而对景区环境的调查、分析、评价对景区环境的治理和保护至关重要。天台山风景区位于四川省邛崃市, 是国家森林公园、国家 AAAA 级旅游景区和世界自然遗产四川大熊猫栖息地, 吸引了大量的中外游客参观[1]。天台山景区水源主要来自冰雪融化和降雨, 随着旅游业的迅速发展, 人类频繁的旅游及开发活动对天台山景区水环境产生影响。然而, 目前关于天台山景区水环境的现状分析鲜见报道, 人类活动对景区水环境的影响程度也尚不清晰, 探讨该景区的地表水和地下水环境现状、成因并提出改善措施, 对其景区生态环境的可持续发展具有重要的借鉴意义。

本研究选取天台山风景区内文井江、金龙河、白沫江 3 条主要河流的地表水以及高何镇、天井村 2 个代表性村镇的地下水为研究对象, 对其水质现状进行了分析, 并选用内梅罗污染指数法对水质现状进行了评价, 分析了天台山改造规划和旅游行业对天台山水环境的影响, 通过水环境现状的成因分析, 提出有利于风景区持续安全健康发展的对策, 以期为天台山风景区的居民和游客提供水环境状况的数据支撑, 保证居民和游客的生活质量不受影响, 同时也为我国其他景区水环境调查提供一定的方法借鉴。

2. 研究区域概况

天台山风景区位于四川省成都市邛崃市的西南端，与雅安名山县、芦山县和雨城区接壤，隶属于邛崃山系。天台山矗立于白沫江和文井江之间，山体抬升剧烈，相对高差 1200 多米，主峰海拔 1812 米，低谷河面海拔 596 米。天台山风景区内有 3 条主要河流，天台山上金龙河，山之北面有文井江、南面有白沫江，皆属邛崃县境内南河水系，向东注入岷江之中。南河有二源：发源于邛崃市境西部镇西山的，称为文井江；发源于天台山的，称白沫江，至马湖齐口汇流后，始称南河[2]。该景区水系图如图 1 所示。

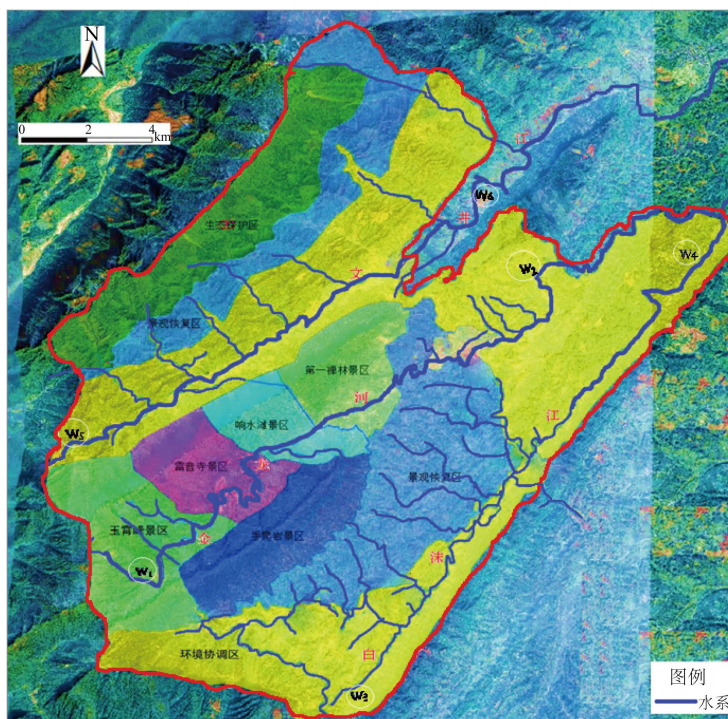


Figure 1. River System Map of Tiantai Mountain Scenic Area in Qionglai City

图 1. 邛崃天台山景区水系图

3. 研究方法

3.1. 布点方法

地表水采样布点：根据《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)及规划区河流水系分布、功能区规划内容及检测项目的实际情况，在景区内金龙河、白沫江、文井江三条河流的上游和下游共设置了 6 个监测点位，如图 1 和表 1 所示。

Table 1. Surface water spots of Tiantai Mountain scenic area

表 1. 天台山景区地表水采样布点

编号	采样水体	断面位置	坐标
W ₁	金龙河上游	金龙河出核心景区边界	30°17'6.23"N 103°7'56.58"E
W ₂	金龙河下游	出景区北边界	30°19'50.76"N 103°11'55.73"E

Continued

W ₃	白沫江上游	景区内白沫江上游	30°13'56.37"N 103°6'9.22"E
W ₄	白沫江下游	出景区东北边界	30°20'16.79"N 103°14'41.75"E
W ₅	文井江上游	入景区西侧边界	30°16'44.34"N 103°3'38.78"E
W ₆	文井江下游	出景区北侧边界	30°19'24.40"N 103°9'11.49"E

地下水采样布点：景区地下水布点选择在有地下水井的 2 个代表性区域——高何镇和天井村的地下水井采集水样，具体点位设置如表 2 所示。

Table 2. Groundwater spots of Tiantai Mountain scenic area
表 2. 天台山景区地下水采样布点

编号	监测点位	位置	坐标
G ₁	天井村	规划区内上游	30°14'14.80"N 103°7'32.52"E
G ₂	高何镇	规划区内下游	30°19'50.76"N 103°11'55.73"E

3.2. 采样方法

水样采集采用《国家环境保护标准水质采样技术指导》(HJ494-2009)中规定的地表水、地下水采样方法进行，具体为：采用聚乙烯采集桶沉到水面下 0.3~0.5 m 处采集地表水样，澄清 30 min 以沉淀水中的颗粒物，移取上层水样分装于采样瓶，根据测试项目做好标记。用来测定水质 COD、NH₃-N、TP 的水样加入适量 H₂SO₄ 溶液使水样 pH ≤ 2；用来测定 Cu、Zn、As 等金属离子的水样加入适量 HNO₃ 溶液使 pH 为 1~2；用来测定 Hg 的水样加入盐酸溶液 5 mL；用来测定 Cr(VI)的水样中加入 NaOH 溶液；用来测定 BOD₅的水样使用单独的采样瓶采集。将加入保存剂后的水样用胶带密封，送往实验室 4℃ 低温保存待测。地下水采集于当地居民井水，保存方法同地表水样。

地表水采集与 2020 年 4 月，本季节为枯水季节，水量水质相对稳定。采样频次为每周三采样 1 次，连续三周。地下水采样时间为 2020 年 4 月 15 日 11 时，天气晴朗，共采样 1 次。

3.3. 分析项目及方法

地表水水样水质监测项目包括：pH、COD、BOD₅、NH₃-N、DO、TP、Cu、Zn、As、Hg、Cr(VI)。地下水水样水质监测项目包括：pH、总硬度、NH₃-N、As、Hg、Fe、Cr(VI)、高锰酸盐指数[3]。水样在采集后 5 d 内完成所有检测，所用试剂全部采用分析纯，用水全部采用去离子水。每个水样做 3 次平行测试，取平均值作为结果，水质检测方法及其对应检出限见表 3。

Table 3. Water quality detection methods and corresponding detection limits (mg/L)
表 3. 水质检测方法及其对应检出限(mg/L)

检测指标	检测方法	方法检出限(mg/L)
pH	便携式 pH 计法	--
COD	重铬酸盐法	4

Continued

BOD ₅	稀释与接种法	0.5
氨氮	纳氏试剂分光光度法	0.025
溶解氧	便携式溶解氧仪法	--
总磷	钼酸铵分光光度法	0.01
总硬度	EDTA 滴定法	1
高锰酸盐指数	酸性高锰酸钾滴定法	0.05
As	原子荧光法	0.0003
Hg	原子荧光法	0.00004
Cu	原子吸收分光光度法	0.05
Fe	邻菲罗啉分光光度法	0.03
Cr(VI)	二苯碳酰二肼分光光度法	0.004
Zn	原子吸收分光光度法	0.05

3.4. 水质评价方法

天台山景区作为国家自然风景区，采用《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)中的 I 类标准作为地表水的评价标准，采用《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017)中的 III 类标准作为地下水的评价标准。

单因子标准指数法的 pH 评价模式[3]:

$$P_{\text{pH}} = (\text{pH}_j - 7.0) / (\text{pH}_{\text{su}} - 7.0) \quad \text{pH}_j > 7.0$$

$$P_{\text{pH}} = (7.0 - \text{pH}_j) / (7.0 - \text{pH}_{\text{su}}) \quad \text{pH}_j \leq 7.0$$

式中: pH_j —第 j 取样点的 pH 值;

pH_{su} —评价标准的上限值。

DO 评价模式[3]:

$$\text{当 } \text{DO}_j \geq \text{DO}_s \quad S_{\text{DO},j} = | \text{DO}_f - \text{DO}_j | / (\text{DO}_f - \text{DO}_s)$$

$$\text{当 } \text{DO}_j < \text{DO}_s \quad S_{\text{DO},j} = 10 - 9 * \text{DO}_j / \text{DO}_s$$

式中: $S_{\text{DO},j}$ —DO 的标准指数;

DO_f —某水温、气压条件下的饱和溶解氧浓度, mg/L, 计算公式常采用 $\text{DO}_f = 468 / (31.6 + T)$, T 为水温, °C。

其它指标评价模式:

$$P_i = C_i / S_i \quad (1)$$

式中: C_i —第 i 项污染物的实测值, mg/L;

S_i —第 i 项污染物的评价标准值, mg/L。

单因子指数只能反映各个指标的污染程度, 不能全面地反映水质的污染状况。水质综合污染指数评价能较全面地考虑各个指标的综合影响, 它比单因子标准指数法更能客观地比较不同研究对象的污染程度。

内梅罗指数法是当前国内外进行综合污染指数计算的最常用的方法[3]。该方法先求出各因子的分指数 P_i (超标倍数), 然后求出个分指数的平均值 \bar{P} , 取最大分指数 $P_{i\text{max}}$ 和平均值 \bar{P} 计算。内梅罗指数法计

算公式:

$$P_{\text{综}} = \sqrt{\frac{(\bar{P})^2 + P_{i\text{max}}^2}{2}} \quad (2)$$

式中: $P_{\text{综}}$ 是采样点的综合污染指数; $P_{i\text{max}}$ 为 i 采样点污染物单项污染指数中的最大值; $\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$ 为单因子指数平均值。

内梅罗水质指数将污染划分为五个等级, 如表 4。

Table 4. Nemero index pollution classification standard

表 4. 内梅罗指数污染等级划分标准

P	<1	1~2	2~3	3~5	>5
水质等级	清洁	轻污染	污染	重污染	严重污染

内梅罗指数法兼顾了单因子污染指数的平均值和最高值, 可以突出超标较重的指标对水质污染的影响。

4. 结果分析与讨论

4.1. 地表水水质分析

从表 5 中可以看到天台山景区内部的水质大都呈现弱酸性($\text{pH} < 7$), 可能是由于大气中的 CO_2 溶于水中中和腐殖酸的积累所造成的。只有其中的文井江的水质偏碱性($\text{pH} > 7$), 偏碱性的原因: 由于文井江的源头以天然泉水和天然山泉水汇聚, 会溶有微量金属矿物质, 而金属矿质大都会电离为离子的形态留在泉水中, 而这些硅酸根、碳酸根、磷酸根等弱酸根离子因水解后缔合 H^+ 都会显微弱的碱性, 从而就留下更多游离的碱性 OH^- , 因此, 富含金属矿物质的水经常显碱性[4]。景区地表水 pH 有明显波动, 但规律不显著, 可能是由于天气和水质杂质变化所致。

Table 5. pH of surface water

表 5. 地表水 pH 分析数据

检测日期	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅	W ₆
2020-4-7	6.82	6.64	6.83	6.83	6.88	7.15
2020-4-15	6.85	6.67	6.69	6.91	6.83	7.11
2020-4-23	6.81	6.51	6.76	6.84	6.85	7.09
平均值	6.83 ± 0.02	6.61 ± 0.05	6.76 ± 0.07	6.86 ± 0.05	6.85 ± 0.03	7.12 ± 0.04
P_{pH}	0.17	0.39	0.24	0.14	0.15	0.06

从表 6 可知, 金龙河和白沫江中下游水质的 COD 和 BOD_5 明显高于上游, 且金龙河下游水质中的 COD 和 BOD_5 都已接近 I 类标准限值。这表明有外来的有机污染物进入河流, 这可能是在河流流经的途中有人为因素影响和与动物粪便直排等因素所导致[5] [6]。而文进江中 COD 和 BOD_5 都还未检出, 说明该类污染几乎可以忽略。

Table 6. COD/BOD₅ analysis data of surface water (mg/L)**表 6.** 地表水 COD/BOD₅ 分析数据(mg/L)

检测日期	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅	W ₆
2020-4-7	ND/ND	15/3	4/0.7	7/1.4	ND/ND	ND/ND
2020-4-15	ND/ND	15/3	4/0.8	7/1.5	ND/ND	ND/ND
2020-4-23	ND/ND	14/2.7	4/0.8	7/1.4	ND/ND	ND/ND
平均值	-	14.67/2.90	4/0.77	7/1.43	-	-
$P_{\text{COD/BOD}}$	0/0	0.98/0.97	0.27/0.26	0.47/0.48	0/0	0/0
平均 $P_{\text{COD/BOD}}$	0.49/0.49		0.37/0.37		0/0	

注: 1) 限值 COD_S 为 15 mg/L, BOD_S 为 3 mg/L; 2) ND 表示未检出。

从表 7 看出, 地表水中的溶解氧 DO 值随时间变化并不显著, 但白沫江(下游)出景区北边界和文井江(上游)入景区西侧边界的溶解氧值明显高于限值(7.5 mg/L)。在自然情况下, 空气中的含氧量变动微小, 故水温是影响水体中溶解氧含量的主要的因素, 水温愈低, 水中溶解氧的含量愈高。水中溶解氧的多少是衡量水体自净能力的一个指标。水里的溶解氧被消耗, 要恢复到初始状态, 所需时间短, 说明该水体的自净能力强, 或者说水体污染不严重。反之说明水体污染严重, 自净能力弱, 甚至失去自净能力。

Table 7. Data of DO in surface water with time (mg/L)**表 7.** 地表水中溶解氧 DO 值(mg/L)

检测日期	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅	W ₆
2020-4-7	6.5	6.5	6.6	6.9	6.9	6.7
2020-4-15	6.5	6.8	6.5	8.5	8.4	8.5
2020-4-23	7.9	7.8	7.8	5.6	5.6	5.7
平均值	6.97 ± 0.47	7.03 ± 0.53	6.97 ± 0.4	7.00 ± 1.5	6.97 ± 1.4	6.97 ± 1.5
P_{DO}	1.64	1.56	1.64	1.6	1.64	1.64
平均 P_{DO}	1.60		1.62		1.64	

注: I 级限值 DO_S > 7.5 mg/L。

由表 8 看出, 地表水中的氨氮含量随时间变化非常显著。其中, 金龙河、白沫江的氨氮含量变化显著; 文井江中的氨氮变化相对较小。由于氨氮来源主要是景区内洗衣水、生活污水直排和树叶等生物质腐败等因素引起, 氨氮值波动显著, 说明生活污水直排的现象非常显著。

Table 8. Ammonia Nitrogen Content in Surface Water (Limit 0.15 mg/L)**表 8.** 地表水中氨氮含量(限值 0.15 mg/L)

检测日期	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅	W ₆
2020-4-7	0.108	0.128	0.153	0.073	0.083	0.114
2020-4-15	0.122	0.094	0.044	0.149	0.111	0.057
2020-4-23	0.136	0.145	0.139	0.114	0.119	0.116
平均值	0.122 ± 0.014	0.122 ± 0.023	0.112 ± 0.041	0.112 ± 0.038	0.104 ± 0.015	0.096 ± 0.02
$P_{\text{NH}_3\text{-N}}$	0.81	0.82	0.75	0.75	0.70	0.64
平均 $P_{\text{NH}_3\text{-N}}$	0.815		0.85		0.67	

注: I 级限值氨氮(NH₃-N) ≤ 0.15 mg/L。

同时,由表 8 看出,上、下游地表水中的氨氮含量也显著不同。其中,金龙河和文井江中的氨氮随着流经的距离,其中的氨氮的含量在减少,金龙河上游水氨氮含量比下游高 1.5 倍,文井江上游比下游高 1.2 倍;而白沫江下游氨氮比上游高 1.2 倍。由此说明,金龙河和文井江上游人口聚居较多,而且排放较多,而白沫江上游比下游人口聚居少,而且排放也较少。但总体来看,氨氮含量不超标。

从表 9 可以看出,景区水体中的总磷含量超过了国家限值 2 倍左右,而金龙河和白沫江水总磷含量高于国家限值 2.5 倍。并且总磷的含量随时间波动非常明显,在 20%~40% 范围内波动。总磷是水体富营养化的主要物质之一。景区水体中的磷主要来源于土壤中的磷的迁移和农用氮肥、含磷农药等面源污染和生活污水中磷的排入所致[7]。上、下游地表水中的总磷含量变化较氨氮变化小。但可以看出,金龙河上游总磷比下游高 1.2 倍,而白沫江下游水氨氮比上游高 1.5 倍;文井江上下游变化较小。

Table 9. Total phosphorus content in surface water (limit 0.02 mg/L)

表 9. 地表水中总磷含量(限值 0.02 mg/L)

检测日期	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅	W ₆
2020-4-7	0.06	0.05	0.04	0.05	0.05	0.03
2020-4-15	0.04	0.06	0.05	0.06	0.05	0.05
2020-4-23	0.03	0.01	0.02	0.04	0.02	0.04
平均值	0.043 ± 0.017	0.04 ± 0.02	0.037 ± 0.013	0.05 ± 0.01	0.04 ± 0.01	0.04 ± 0.01
<i>P</i> _{TP}	2.17	2.00	1.83	2.50	2.00	2.00
平均 <i>P</i> _{TP}	2.09		2.17		2.00	

注: I 级限值总磷(TP) ≤ 0.02 mg/L。

表 10 看出,锌和六价铬在景区地表水中均未检出,而铜、砷、汞在河流上游均为检出,而在下游有检出甚至超标。其中,白沫江下游和文井江下游的铜的含量接近地表水 I 类标准限值,而上游水体中却未检出铜。这表明了这两条河在流经途中有铜元素进入水体,造成了铜含量严重超标,其中铜的主要来源可能是当地的建设施工时将土石倾倒入河流水体中,而这些含铜的土石被水侵蚀而将铜溶出。

Table 10. Analysis data of heavy metal content in surface water (mg/L)

表 10. 地表水重金属含量分析数据(mg/L)

检测项目	限值	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅	W ₆
铜	0.1	ND	ND	ND	0.07 ± 0.01	ND	0.08 ± 0.01
锌	0.05	ND	ND	ND	ND	ND	ND
测定值	0.05	ND	ND	ND	$7 \pm 1 \times 10^{-4}$	ND	ND
汞	5×10^{-5}	ND	$5.3 \pm 0.1 \times 10^{-5}$	ND	$9 \pm 0.1 \times 10^{-5}$	ND	ND
铬(VI)	0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>P</i> _i	-	0	0	0	0.7	0	0.8
	-	0	0	0	0	0	0
	-	0	0	0	0.014	0	0
	-	0	1.1	0	1.8	0	0
	-	0	0	0	0	0	0

备注: 1) 采用日期 2020 年 4 月 15 日; 2) ND 表示未检出。

从表 5 可以看到金龙河和白沫江下游水体中汞含量超标分别为 1.1 倍和 1.8 倍，而上游水体中未检出汞，说明在流经途中有汞流入水体，这可能是河流流经的流域中有一些区域的底泥中含有汞，而且进入水体中，随流而下；还可能是水体流经了 Hg 的地球化学背景值较高的区域所致。汞作为有剧毒的重金属，会严重危害人类的健康，白沫江下游的汞含量已经超过了 I 类标准的限值，需要加大对汞的治理，避免对人们健康造成影响。

4.2. 内梅罗指数法对地表水水质评价

采用内梅罗指数法对地表水水质状况进行评价，评价结果见表 11。

Table 11. Nemerow evaluation index results of surface water

表 11. 内梅罗指数法对地表水的评价结果

监测位点	金龙河上游 W ₁	金龙河下游 W ₂	白沫江上游 W ₃	白沫江下游 W ₄	文井江上游 W ₅	文井江下游 W ₆
P_{pH}	0.17	0.39	0.24	0.14	0.15	0.06
P_{COD}	0	0.9	0.27	0.47	0	0
P_{BOD}	0	0.97	0.26	0.48	0	0
P_{DO}	1.64	1.56	1.64	1.6	1.64	1.64
$P_{\text{NH}_3\text{-N}}$	0.81	0.82	0.75	0.75	0.7	0.64
P_{TP}	2.17	2	1.83	2.5	2	2
P_{Cu}	0	0	0	0.7	0	0.8
P_{Zn}	0	0	0	0	0	0
P_{As}	0	0	0	0.014	0	0
P_{Hg}	0	1.1	0	1.8	0	0
$P_{\text{Cr(VI)}}$	0	0	0	0	0	0
$P_{\text{平均}}$	0.44	0.70	0.45	0.77	0.41	0.47
$P_{\text{综}}$	1.57	1.50	1.33	1.85	1.44	1.45
水质等级	轻污染	轻污染	轻污染	轻污染	轻污染	轻污染
地表水 $P_{\text{综}}$	1.52					
水质综合等级	轻污染					

由表 11 可以看出，景区三条河流的综合内梅罗指数在 1.33~1.85 之间，三条河流的污染指数均值为 1.52，均受轻污染。污染相对较严重的是白沫江，其次是金龙河。而金龙河上游污染指数略高于下游，而白沫江和文井江的污染指数均是下游略高于上游，这是因为金龙河是这该景区的旅游主干线，上游酒店和旅游设施较密集，生活污染较明显所致。总体来说，邛崃天台山的地表水总体状况是受轻污染，部分指标值已超过 GB3838-2002 相应指标 I 级标准限值，其水体功能明显受到制约，要充分发挥水体的原有功能需采取一定的工程性或非工程性措施。

4.3. 地下水水质分析与评价

从表 12 看出，天台山天井村和高何镇的地下水水质有明显差异。天井村水硬度高于何镇水硬度，可能是天井村地下水矿化更显著，故其地下水需要进行软化后使用。而高何镇水体中的氨氮含量略高于地

下水 III 级标限值 0.2 mg/L, 表明高何镇地下水受到一定污染, 需要进行净化处理后才能使用。另外, 天井村地下水中含微量汞, 可能是地表水等在渗透到地下时, 溶解了土壤中的汞元素导致的, 虽然没有超标, 但是也应该引起足够重视。

Table 12. Testing data of groundwater quality (mg/L)

表 12. 地下水水质检测数据(mg/L)

检测项目	检测地点		地下水三级标限值 mg/L
	天井村	高何镇	
pH	6.77 ± 0.13	6.72 ± 0.12	\
总硬度	285 ± 6	183 ± 8	450
氨氮	0.089 ± 0.03	0.203 ± 0.14	0.2
砷	0.4 ± 0.11 × 10 ⁻³	0.3 ± 0.09 × 10 ⁻³	0.05
汞	0.05 ± 0.01 × 10 ⁻³	ND	1 × 10 ⁻³
铁	ND	ND	0.05
六价铬	ND	ND	0.3
高锰酸盐指数	0.84 ± 0.15	0.41 ± 0.12	3

从表 13 看出, 天台山天井村和高何镇的地下水内梅罗指数为 0.54, 总体属于清洁水质, 但两个地点的地下水水质也有明显差异, 天井村水质明显优于高何镇。其数值较高的污染指标依次为氨氮、总硬度和汞污染, 因此要重点监测这三个指标。

Table 13. Nemerow evaluation index of groundwater quality

表 13. 地下水水质评价指数

检测项目	检测地点		综合平均 P_i
	天井村	高何镇	
总硬度	0.63	0.41	0.52
氨氮	0.45	1.02	0.73
砷	0.08	0.06	0.07
汞	0.053	0	0.027
铁	0	0	0
六价铬	0	0	0
高锰酸盐指数	0.28	0.14	0.21
平均值	0.21	0.23	0.22
地下水 $P_{综}$	0.47	0.74	0.54

5. 结论

1) 地表水受到轻污染。生/化需要量接近地表水 I 级标准限值。天台山的金龙河、白沫江的源头在天

台山景区, 由于生活污水和腐殖酸的影响使其下游的 COD、BOD₅ 明显高于上游, 而且下游 COD、BOD₅ 值已经接近地表水 I 级标准限值。氨氮和总磷偏高。N-NH₄⁺ 大致是下游含量低于上游, 反映了水体在流经途中有明显的自净能力, 并且其自净能力大于污染速率。同一区域氨氮含量随时间变化波动显著。景区水体中的总磷含量超过了国家限值 2 倍左右, 而金龙河和白沫江水总磷含量高于国家限值 2.5 倍, 并且总磷的含量随时间波动明显。

2) 地表水重金属 Hg 超标, As、Cu 有检出。三条河流的上游均未检出重金属汞, 在金龙河和白沫江下游汞含量已经超过了国家限值分别为 1.1 倍和 1.8 倍, 随着水体的流动汞含量升高, 说明在流经途中有汞流入水体, 这可能是河流流经的流域中有一些区域的底泥中汞含量较高, 并溶解入水体中, 说明景区的建筑施工和人们的活动对水质影响明显。

3) 邛崃天台山景区三条河流的综合内梅罗指数为 1.52, 其地表水总体状况是受轻污染, 部分指标值已超过 GB3838-2002 相应指标 I 级标准限值, 其水体功能明显受到制约, 要充分发挥水体的原有功能需采取一定的工程性或非工程性措施。

4) 天台山天井村和高何镇的地下水水质有明显差异。天井村水硬度高于何镇水硬度, 而高何镇地下水氨氮高于地下水 III 级标准限值, 受到一定程度污染; 天井村地下水中发现含微量汞, 虽然没有超标, 但是也应该引起足够重视。

研究表明, 天台山景区内水质因人们的各种活动对水体造成一定破坏, 有氨氮、总磷、汞等指标超标现象, 需要进行净化处理后才能使用。本文对景区水质保护与旅游发展提出以下建议:

1) 在规划建设景区及周边时, 应加强环境保护, 严格控制污染物的排放, 减少污染。在建设过程中可建设生态湿地净化水质。将景区的旅游住宿区和居民生活区整合集中, 对产生的“三废”集中处理达标后再排放。

2) 加强对自然灾害的防治。景区内部建立灾害预警系统, 建造时考虑山体滑坡、泥石流、路基塌陷等因素修建道路, 设定合理的旅游观光路线, 建设观光缆车。

3) 加强宣传、教育, 提高景区从业人员和游客的环境意识。

基金项目

国家自然科学基金青年基金(21705011)。

参考文献

- [1] 赵永涛, 于慧, 罗勇, 等. 大熊猫栖息地自然遗产保护理论探讨[J]. 山地学报, 2014, 32(3): 357-364.
- [2] 庞婷. 风景名胜区治理模式的实证研究-以四川邛崃天台山为例[D]: [硕士学位论文]. 成都: 四川师范大学, 2009.
- [3] 武俐, 王祖恒, 王亮, 等. 基于主成分分析和模糊数学的黄河小浪底水质监测与评价[J]. 水土保持通报, 2020, 238(5): 124-130.
- [4] 李月兴, 曾颖, 方振兴, 等. 五大连池景区西南部浅层地下水水质分析及评价[J]. 黑龙江科学, 2016, 7(6): 10-12.
- [5] Khatamian, M., Divband, B. and Shahi, R. (2019) Ultrasound Assisted Co-Precipitation Synthesis of Fe₃O₄/Bentonite Nanocomposite: Performance for Nitrate, BOD and COD Water Treatment. *Journal of Water Process Engineering*, **31**, 100870-100879. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100870>
- [6] 周巾枚, 蒋忠诚, 徐光黎, 等. 崇左响水地区地下水水质分析及健康风险评价[J]. 环境科学, 2019, 40(6): 2675-2685.
- [7] 杨易辰, 顾彩红. 浅谈浊度对地表水总磷含量测定的影响[J]. 上海水务, 2016, 32(4): 39-40.