

十三陵抽水蓄能电站地下水污染与水质恢复的研究*

庭华 王绍堂 宋秀杰 苑文颖

(北京市环境保护科学研究院, 北京 100037)

摘要 十三陵抽水蓄能电站施工期间排放废水, 造成了对周围地下水的污染. 本工作沿地下水流动方向 4.4 km^2 的范围内, 进行了地下水的环境质量调查、分析和评价, 查明了地下水污染因子和污染程度及范围. 通过消除污染源, 建设污水处理站等一系列水质恢复措施后, 该地区地下水水质明显好转.

关键词 地下水污染, 水质恢复, 污染物迁移, 水质模型.

The Research on Groundwater Pollution and Recovering of Water Quality around the Ming Tombs Power Station

Ding Tinghua Wang Shaotang Song Xiujie Yuan Wenyong

(Beijing Municipal Research Academy of Environmental Protection, 100037)

Abstract In the period of building the Ming Tombs Power Station, a lot of wastewater discharged and the groundwater around the station had been polluted. Along the flow direction of groundwater, area of 4.4 km^2 had been investigated. In the area, groundwater quality investigation and analysis and assessment had been carried out. The pollution factors and extents and ranges about groundwater had been ascertained. By means of a series quality recover ways, such as eliminating pollution resource and establishing wastewater treatment station, the groundwater quality in this region had turned better apparently.

Keywords groundwater pollution, quality bioremediation, pollutant transport, quality models.

十三陵抽水蓄能电站施工期间, 坑道爆破施工的岩隙水以及洞中生活污水均从交通洞和中支洞流出, 排入水库坝下的低洼处, 形成一天然污水库, 污水溢流成为对周围环境形成威胁的主要污染源. 由于地质防护条件差和污水的连续下渗, 致使该地区地下水受到不同程度的影响. 为查清污水库对地下水的污染程度及范围, 确定主要污染物的来源、污染途径和影响污染的各种因素及污染物的迁移变化规律, 笔者从 1992 年开始对当地地下水污染现状进行监测分析, 并对造成地下水污染的污水库和交通洞排水进行处理, 研究地下水污染防治与水质恢复的措施, 以期达到保护十三陵水库地区环境和该地区地下水源的目的.

1 地下水污染现状

1.1 主要污染因子的确定及排放量

通过污水库和交通洞排水的监测结果(表 1)可以看出, 交通洞污水和污水库污水中, pH 值、油、三硝基甲苯和悬浮物超标, 并确定为主要污染因子.

1993-04-06 连续对电站废水(交通洞和中支洞污水)中主要污染因子进行了 56 次监测, 并据此计算出主要污染物年排放量(见表 2).

从表 1 可以看出, 污水库中污水下渗, 对地

* 获 1995 年北京市科技进步二等奖
丁庭华: 女, 47 岁, 高级工程师
收稿日期: 1997-09-09

下水产生的主要污染物是三硝基甲苯(Trinitrotoluene, TNT)和石油类. 因此, 确定对地下水中TNT 和油进行重点监测分析.

表 1 电站废水监测数据/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项 目	交通洞排水	污水库水	北京市污水排放标准
pH	9.8	9.1	6.0– 8.5
$\text{NO}_3^- - \text{N}$	0.635	0.497	
$\text{NO}_2^- - \text{N}$	0.385	0.522	
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	2.064	2.942	25
COD_{Cr}	2.064	2.942	50
BOD_5		0.19	20
Cr^{6+}	0.005	< 0.005	0.02
石油类	9.22	5.35	4
TNT	2.13	1.09	0.5
SS	1714	102	50

表 2 电站废水主要污染物浓度及年排放量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项 目	油	SS	TNT	COD	pH
平均浓度	5.86	2985	2.16	73.72	9.54
最高浓度	47.4	9106	6.53	131.4	11.73
最低浓度	0.32	337	0.35	6.90	7.33
年排放量/ $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$	4.28	2179.05	1.58	53.82	

1.2 地下水污染现状

(1) 地下水监测网的布置 根据十三陵地区污染源类型和特点以及地下水文特征, 顺地下水流方向布置扇形监测网, 见图 1. 共布设 2 组 10 个监测点, 监测区总面积为 4.4km^2 .

(2) 地下水监测结果 1993-09~11 分别在 1–10 号监测点采样, 监测结果列于表 3.

表 3 各监测井监测数据¹⁾/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

监测井	TNT	油	COD	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	pH
1#	ND	ND	ND	0.33	0.92
2#	0.02	ND	0.61	6.32	6.92
3#	0.002	ND	ND	5.12	6.93
4#	ND	0.041	ND	2.44	6.96
5#	ND	ND	ND	1.93	7.04
6#	0.013	0.06	ND	1.91	6.91
7#	ND	0.03	ND	2.65	6.96
8#	0.006	ND	ND	2.71	6.93
9#	ND	ND	ND	3.51	7.03

1) $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 均未检出

1.3 地下水污染的现状评价

选择主要污染物油、TNT、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 作为评价因素, 采用国家饮用水卫生标准(GB5749-85) 作为评价标准, TNT 没有

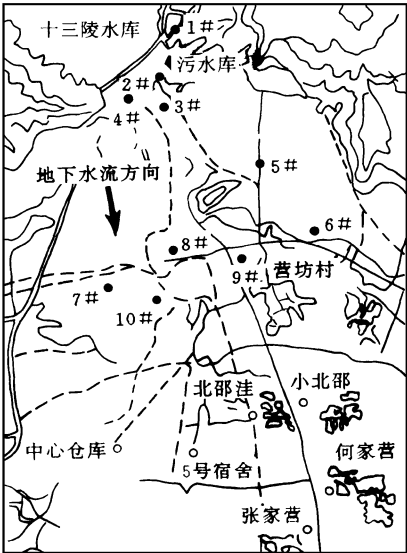


图 1 十三陵水库地区地下水监测点位置

国家标准, 将最低检出限 0.01mg/L 作为地下水评价中 TNT 的标准. 采用综合水质指数评价法对 10 眼监测井进行水质现状评价, 各监测点的水综合质量指数见表 4. 根据水综合指数的计算, 结合十三陵水深地区地下水现状, 确定该地区地下水评价分级, 见表 4、表 5.

2 地下水污染防治

对污水库污水进行净化处理, 污水处理站处理水量 $2000\text{m}^3/\text{d}$, 工艺为化学混凝、沉淀、过滤和活性炭过滤, 工艺流程如图 2.

从表 6 可看出, 十三陵蓄能电站污水处理站建成运行后, 地下水中 TNT、油和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的浓度大大下降, 油减少 $45\% - 100\%$, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 减少 100% .

3 水质恢复措施

3.1 污染物输入量

在废水处理站投入运行前历时 2 年多的时间里, 施工废水中污染物随废水库、溢流水流下渗水进入土层和潜水(包括上层水)中. 潜水受影响范围主要在长 1200m 、宽 700m 的面积内. 累积入渗水量约为 80.3万 m^3 , 约含矿物油 361.35kg , TNT 120.45kg .

表 4 各监测点的综合质量指数

项 目	监测点								
	1	2	3	4	5	6	8	9	10
NO ₃ ⁻ -N	0.017	0.316	0.256	0.122	0.097	0.096	0.133	0.136	0.176
油	0.000	0.109	0.000	0.818	0.000	1.291	0.236	0.000	0.000
TNT	0.000	2.000	0.200	0.000	0.000	1.290	0.000	0.582	0.000
NO ₂ ⁻ -N	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NH ₄ ⁺ -N	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
综合污染指数	0.017	2.425	0.456	0.940	0.097	2.671	0.369	0.718	0.176

表5 十三陵水库地区地下水评价分级表

级 别	污 染 指 数	监 测 点	说 明
非污染	< 0.5	1 [#] 、3 [#] 、5 [#] 、8 [#] 、10 [#]	监测 11 次中 TNT、油基本未检出
轻度污染	0.5- 1.0	4 [#] 、9 [#]	11 次监测 TNT 和油偶尔检出
中度污染	1.0- 2.7	2 [#] 、6 [#]	11 监测 TNT 和油经常检出, 但浓度不高

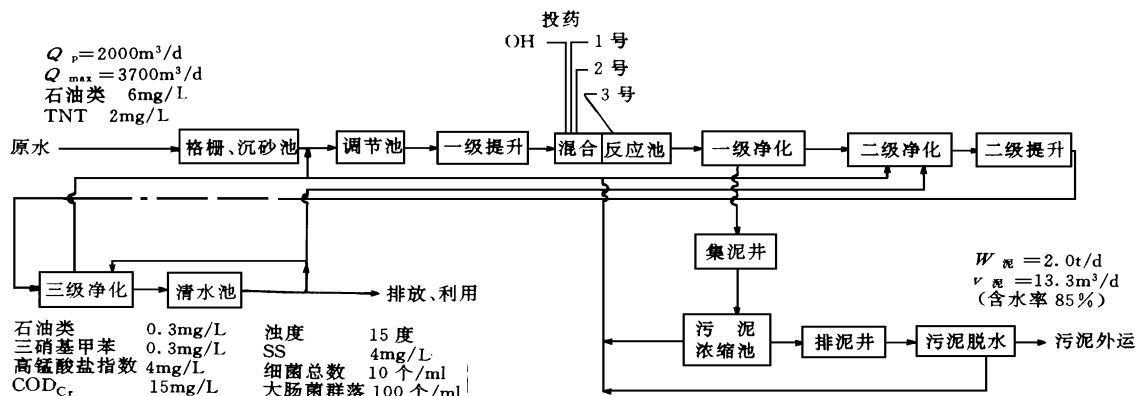


图 2 工艺流程

表 6 1992 年与 1993 年监测结果比较/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

监测井	日期/ a	TNT	油	COD	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N
1	1992	0.014	ND	1.53	0.058	ND	0.209
	1993	ND		ND	0.33	ND	ND
2	1992	0.543	ND	0.84	0.166	0.002	0.178
	1993	0.02	ND	0.61	6.32	ND	ND
3	1992	0.537	0.11	1.24	1.106	0.004	0.137
	1993	0.002	ND	ND	5.12	ND	ND
5	1992	0.001	ND	0.40	0.026	0.001	0.053
	1993	ND	ND	ND	1.93	ND	ND
6	1992		0.11	0.14	1.682	0.007	0.053
	1993	0.013	0.06	ND	1.91	ND	ND
8	1992	0.104	0.15	0.54	0.242	0.001	0.090
	1993	ND	0.035	ND	2.65	ND	ND
9	1992		0.06	0.07	0.081	0.054	13.60
	1993	0.006	ND	ND	2.71	ND	ND
10	1992		ND	0.18	7.70	0.009	0.037
	1993	ND	ND	ND	3.51	ND	ND

3.2 污染物在土层和潜水中的行为

土壤对污染物有截留、吸附作用, 但该地区的土层薄, 颗粒粗, 所以防护能力差, 潜水层水质明显受其影响. 尤其在水源井的水力半径范围内, 废水因短路被抽升出来, 致使部分井水水质恶化. 由于废水中主要污染物可生化性差, 在土壤微生物尚未充分驯化和生物量未积累到一定程度前, 可暂不计降解作用, 即主要污染物大部分含在地表面土层中, 一部分进入潜水扩散和随井水抽取出来.

工作区内有 4 个含水层组, 本次工作除观测潜水孔(孔深 9–16m) 和监测上层滞水孔(3–4m) 为单独采样外, 其余均为几个含水层组混合采样.

3.3 恢复措施

(1) 避免短路 废水库、溢流水是污染物进入土壤、地下水的主要污染源, 废水的原流经路线和井水大量抽取是促成短路的主要途径. 改变处理后排放水的水流路线, 可以减缓已进入土层和地下水中污染物迁移、扩散速度, 与此同时, 在一段时间内停止污染地区水源井大量抽

取地下水, 使水位上升, 污染物处于托浮状态, 可进一步遏止污染物的迁移.

(2) 强化污染物的降解 间歇性抽取地下水, 使上层滞水的水位有明显的变化, 以便促使微生物活性的恢复和基质(污染物) 的更新.

(3) 大量抽取地下水 前 2 种措施进行 7 个月以后, 地下水水位上升, 水质已有明显改善. 为了防止部分残留污染物和大部分降解产物的滞留和扩散, 在污染地区尽可能大量抽升地下水, 时值冬灌缺水时期, 附近亦需要农灌水源, 可以较好地解决水的出路.

实践证明, 上述因地制宜的措施是有效和可靠的.

参 考 文 献

- 1 刘兆昌, 张兰生等. 地下水系统的污染与控制. 北京: 中国环境科学出版社, 1991: 419–430, 499–506
- 2 蔡绪贻, 陈静生. 华北城市地区潜水中主要离子含量变化的反应途径模拟. 环境科学学报, 1995, 15(3): 12–15
- 3 孙训正. 地下水污染——数学模型和数值方法. 北京: 地质出版社, 1989: 24–49
- 4 霍明远. 地下水资源系统勘查技术与综合评价方法. 北京: 科学出版社, 1992: 29–33

(上接第 30 页)

$$W_{\text{Cl}} = 40000 \times \frac{10}{1000}^2 \times 77\% \times 3000 \\ = 924 \text{ 元/d}$$

(5) 节约运行费用 综合考虑动力和药剂费增、减后, 每 d 节约运行费为:

$$W_{\text{运}} = 924 + 280 - 542 = 662 \text{ 元/d}$$

则每 t 水降低运行成本费用为:

$$\frac{662}{40000} = 0.0166 \text{ 元/m}^3 = 1.66 \text{ 分/m}^3$$

(6) 节约成本费用 综合改建投资费用和节约的运行费用, 生化工艺系统降低成本费为:

$$W_{\text{成}} = 1.66 - 1.25 = 0.41 \text{ 分/m}^3$$

若采用新建的生化工艺系统, 则可进一步降低水处理成本.

4 结 论

(1) 改进后的生化工艺系统可明显节省加

矾、加氯量, 不仅具有一定的经济效益, 而且大大减少了三卤甲烷等可疑致癌物质在加氯消毒过程中的生成量.

(2) 传统工艺改建为生化工艺系统具有易于改建、投资省、运行费用低、操作管理方便等优点.

参 考 文 献

- 1 许建华等. 微污染原水的生物接触氧化预处理技术研究. 同济大学学报, 1995, 23(4): 376–380
- 2 魏宏斌. 氧化法去除水中有机物的研究与应用现状. 中国给水排水, 1996, 12(5): 19–21
- 3 K. Ho Lim and H. Sik Shin. Operating Characteristics of Aerated Submerged Biofilm Reactors for Drinking Water Treatment. Wat. Sci. Tech., 1997, 36(12): 101–108
- 4 Criddle C S. The Kinetics of Cometabolism. Biotech. & Bioeng., 1993, 41(11): 1048–1055
- 5 Hoek J P et al. In Modern Methods of Potable Water Treatment Proc. Int. Conf., Czechoslovakia: Pribram, 1990: 22–24
- 6 余淦申. 受污染水源的生物预处理技术及工程实例. 给水排水, 1996, 22(4): 19–21
- 7 李家就等. 富营养化湖泊水源生物预处理研究. 中国给水排水, 1992, 8(6): 4–6