

# 贵港市达开水库饮用水水源地污染源分析与保护研究

江祖嘉

广西环投水务集团有限公司, 广西 南宁

收稿日期: 2023年9月4日; 录用日期: 2023年10月4日; 发布日期: 2023年10月12日

## 摘要

贵港市达开水库作为市区第二饮用水水源地, 通过开展达开水库水源地周边污染现状调查, 发现水库周边居住大量居民和种植速生桉树等, 影响水库水源地水质的主要包括生活污水、生活垃圾、农业施肥、农村养殖污水等, 通过对水库水源地现状水质监测结果和污染现状调查分析, 提出水质保护和污染治理的对策建议措施, 保障居民生活饮用水的安全。

## 关键词

饮用水水源地, 达开水库, 污染调查, 治理对策

# Pollution Source Analysis and Protection of Drinking Water Source of Dakai Reservoir in Guigang City

Zujia Jiang

Guangxi Huantou Water Group Co., Ltd., Nanning Guangxi

Received: Sep. 4<sup>th</sup>, 2023; accepted: Oct. 4<sup>th</sup>, 2023; published: Oct. 12<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

Dakai reservoir in Guigang City is the second drinking water source in the urban area. Through the investigation of the pollution status around the water source of Dakai reservoir, it is found that a large number of residents and fast-growing eucalyptus trees are planted around the reservoir. The main factors affecting the water quality of the reservoir water source include domestic

sewage, domestic garbage, agricultural fertilization, rural aquaculture sewage, etc. through the investigation and analysis of the current water quality monitoring results and pollution status of the reservoir water source, put forward countermeasures and suggestions for water quality protection and pollution control to ensure the safety of residents' drinking water.

## Keywords

Drinking Water Sources, Dakai Reservoir, Pollution Survey, Counter Measures

Copyright © 2023 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

水是生命之源、生态之基，随着经济发展和城市化的推进，合理开发和保护水资源，是实现水资源的可持续发展的的重要举措。达开水库位于贵港市港北区、桂平市和来宾市武宣县交界处，原名龙山水库，由于库区在贵港市奇石乡达开村(平圩)那邦，是太平天国将领石达开的故乡，故名达开水库。达开水库主坝位于武宣县桐岭镇 15 km，[1]东距桂平市石龙镇 20 km。达开水库是以灌溉为主，兼顾发电、防洪等综合利用效益的大(II)型水库，[2]是广西第二大水库，灌溉贵港市港北区庆丰、大圩、港城、武乐和桂平市白沙、石龙、厚禄、蒙圩等 8 个乡镇。达开水库集雨面积 427 km<sup>2</sup>，水库正常蓄水位 100.54 m (黄海高程)，死水位 89.9 m，总库容 4.24 亿 m<sup>3</sup>，有效库容 1.981 亿 m<sup>3</sup>，死库容 1.348 亿 m<sup>3</sup>；效灌溉面积 3.5 万 hm<sup>2</sup>。正常蓄水水位为 100.54 m，汛期控制水位为 99.50 m。2011 年经广西壮族自治区人民政府批复，达开水库划定饮用水水源保护区，作为贵港市第二水源地，取水口位置中心经纬度分别为 109.721°、23.3892°，在水库岸边取水。

## 2. 污染现状调查及分析

### 2.1. 水环境质量现状

根据《贵港市水环境功能区划》，达开水库水环境功能为饮用水水源保护区，水质目标为《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) II 类水质标准。

为调查水库的水质情况，2018 年 8 月和 2019 年 10 月分别对水库的地表水进行监测，监测指标为水温、pH 值、溶解氧、高锰酸盐指数、化学需氧量、五日生化需氧量、氨氮、总磷、总氮、铜、锌、氟化物、硒、砷、汞、镉、六价铬、铅、氰化物、挥发酚、石油类、阴离子表面活性剂、硫化物、粪大肠菌群、[3]叶绿素 a。

监测结果表明：达开水库水质除化学需氧量、五日生化需氧量、总氮、总磷超标外，其余监测因子均符合《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) II 类水质标准。达开水库水质评价结果见表 1。

根据监测结果对比《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) II 类水标准，对达开水库水质进行评价，2018 年 8 月，DKSK6 的 COD、总氮、总磷、BOD<sub>5</sub> 超标，超标倍数分别为 0.53、1.32、4.60、1.43 倍；DKSK7 的 COD、总氮、总磷、BOD<sub>5</sub> 超标，超标倍数分别为 0.20、1.26、1.00、1.30 倍；DKSK8 的 COD、总氮、总磷、BOD<sub>5</sub> 超标，超标倍数分别为 0.53、1.40、0.60、1.37 倍；DKSK10 的总氮、总磷、BOD<sub>5</sub> 超标，超标倍数分别为 8.40、0.20、6.40 倍；DKSK11 的 COD、总氮、总磷、BOD<sub>5</sub> 超标，超标倍数分别为 0.07、11.26、0.60、0.40 倍。2018 年达开水库水质现状为 V 类~劣 V 类，水质现状较差。

**Table 1.** Water quality evaluation results of monitoring points in Dakai Reservoir  
**表 1.** 达开水库监测点位水质评价结果

时间	断面名称	水质现状	超标因子	测定值/(mg/L)	超标/倍数	II类标准/(mg/L)
2018.8	DKSK6	V类	COD	23	0.53	15
			总氮	1.16	1.32	0.5
			总磷	0.14	4.60	0.025 (湖、库)
			BOD <sub>5</sub>	7.3	1.43	3
	DKSK7	V类	COD	18	0.20	15
			总氮	1.13	1.26	0.5
			总磷	0.05	1.00	0.025 (湖、库)
			BOD <sub>5</sub>	6.9	1.30	3
	DKSK8	劣V类	COD	23	0.53	15
			总氮	1.2	1.40	0.5
			总磷	0.04	0.60	0.025 (湖、库)
			BOD <sub>5</sub>	7.1	1.37	3
	DKSK10	劣V类	总氮	4.7	8.40	0.5
			总磷	0.03	0.20	0.025 (湖、库)
			BOD <sub>5</sub>	3.7	6.40	0.5
			COD	16	0.07	15
	DKSK11	劣V类	总氮	6.13	11.26	0.5
			总磷	0.04	0.60	0.025 (湖、库)
BOD <sub>5</sub>			4.2	0.40	3	
总氮			2.04	3.08	0.5	
2019.10	DKSK6	劣V类	总磷	0.13	4.20	0.025 (湖、库)
			总氮	0.86	0.72	0.5
	DKSK7	IV类	总磷	0.04	0.60	0.025 (湖、库)
			总氮	1.44	1.88	0.5
	DKSK8	IV类	总磷	0.04	0.60	0.025 (湖、库)
			总氮	0.78	0.56	0.5
	DKSK10	III类	总磷	0.03	0.20	0.025 (湖、库)
			总氮	0.86	0.72	0.5
	DKSK11	V类	总磷	0.03	0.20	0.025 (湖、库)

2019年10月, DKSK6的总氮、总磷超标, 超标倍数分别为3.08、4.20倍; DKSK7的总氮、总磷超标, 超标倍数分别为0.72、0.60倍; DKSK8的总氮、总磷超标, 超标倍数分别为1.88、0.60倍; DKSK10

的总氮、总磷超标，超标倍数分别为 0.56、0.20 倍；DKSK11 的总氮、总磷超标，超标倍数分别为 0.72、0.20 倍。2019 年达开水库水质较 2018 年有所好转，但仍不满足达开水库水环境功能区划要求的Ⅱ类水质目标。

## 2.2. 主要污染源调查

### 2.2.1. 面源调查

#### 1) 农村生活污染

##### ① 居民生活污染

达开水库的汇水范围内主要包括贵港市的中里乡、奇石乡，桂平市的石龙镇及来宾市的铜岭镇，其中石龙镇和铜岭镇在水库下游库区出水范围，生活污染极少汇入水库库区，农村生活污染主要来源于中里乡、奇石乡。根据统计，中里乡、奇石乡暂未建设集中的污水处理设施，农村生产、生活污水未经处理随意排放，就近倾倒在排水沟、小溪，或者直接浇在废弃、空闲的土地上，然后随着地表径流进入水体，对达开水库水质影响较大。

本次农村生活污水调查统计范围主要包括奇石乡 28,104 人、中里乡 83,851 人，合计 111,955 人。根据《广西壮族自治区主要行业取(用)水定额》(试行)进行核算，农村居民用水定额为 120 L/人·d，污水产生系数为 0.6，污染物排放系数参考生态环境部确定的污染源调查源强数据，人均产污系数为 COD 40 g/人·d，氨氮 4.5 g/人·d，总氮 7 g/人·d，总磷 0.44 g/人·d。

农村生活污水未经处理随意排放，随着地表径流直接进入水体。根据污染源入河系数计算公式，计算农村生活污水入河量。式(1)如下[4]：

$$W_{\text{污染源}} = W_{\text{污染源产生量}} \times \beta \quad (1)$$

式(1)中：

$W_{\text{污染源产生量}}$  为污染源产生量；

$\beta$  为污染入河系数。

入河系数根据陈晓峰的广西(区)典型区段纳污能力计算及水质可达性分析，结合现场踏勘结果，确定农村生活污水污染入河系数为 0.3。

通过计算，达开水库农村生活污水中各污染物的总入河负荷为：COD 490.43 t/a，氨氮 55.20 t/a，总氮 85.84 t/a，总磷 5.41 t/a。

##### ② 畜禽养殖污染

据统计数据和现场调查的实际情况，达开水库流域内的畜禽养殖还是以散养形式为主，根据国家《畜禽养殖业污染物排放标准》，将家禽养殖量换算成猪的养殖量，换算比例为：60 只家禽折算成 1 头猪，1 头牛折算成 5 头猪[5]。

根据生态环境部公布的数据，并结合流域内养殖情况，猪的养殖排污系数为：COD 17.9 g/头·d、氨氮 3.2 g/头·d [6]、总氮 5.8 g/头·d、总磷 0.8 g/头·d。根据式(1)，农村畜禽养殖污染入河系数为 0.4。

根据调查统计奇石乡、中里乡畜禽养殖折合猪当量 1032 头。通过计算，达开水库流域畜禽养殖污染总入河负荷为：COD 2.70 t/a，氨氮 0.48 t/a，总氮 0.87 t/a，总磷 0.12 t/a。

#### 2) 农田径流污染

农田径流污染主要是指农田在种植过程中，由于化肥和农药的使用，使部分化肥和农药随着地表径流进入水体，使水体中污染负荷增加，[7]进而造成水体污染。其中，农田施肥造成的氮、磷等营养元素流失是农田径流污染的主要来源[8]。

农田径流污染负荷计算方法采用排污系数和清单分析法进行计算。式(2)如下[9]:

$$\begin{aligned} E &= \sum_i EU_i \rho_i (1 - \eta_i) C_i (EU_i, S) \\ &= \sum_i PE_i \rho_i (1 - \eta_i) C_i E (E_i, S) \\ EI &= E/AL \end{aligned} \quad (2)$$

式(2)中:

$E$  为面源污染物的排放量;

$EU_i$  为第  $i$  种污染源指标的统计数量;

$\rho_i$  为单元第  $i$  种污染物的产污强度系数;

$\eta_i$  为相关资源利用效率的系数;

$PE_i$  为种植业面源污染的产生量;

$C_i$  为第  $i$  种污染物  $j$  的流失系数, 该变量由污染源和空间具体特征( $S$ )决定, 表征区域地理特征、降水、水文、复种指数及管理措施等复杂因素对种植业面源污染的综合影响;  $EI$  为种植业面源污染物的单位排放强度[9];

$AL$  为区域耕地面积。

修正后达开水库范围内农田产污系数见表 2。

**Table 2.** Farmland pollution production coefficient in Dakai Reservoir Basin (Unit: kg/hm·year)

**表 2.** 达开水库流域农田产污系数(单位: kg/hm·年)

污染因子	COD	氨氮	总氮	总磷
修正后农田系数	375.45	75.00	113.65	9.3

根据调查统计奇石乡、中里乡水库周边农田面积 3225.54 hm, 根据公式(1)农田径流入河系数为 0.3。通过计算, 达开水库流域农田径流污染总入河负荷为: COD 369.34 t/a, 氨氮 73.81 t/a, 总氮 110.71 t/a, 总磷 9.15 t/a。

### 3) 桉树种植污染

现场踏勘和调研发现, 达开水库库区种植大量速丰桉, 由于该树种生长较快, 种植过程中所需养分和水分较多, 因此村民往往会施用大量的肥料促进其生长, 但所施肥料中有一部分往往由于地表径流的原因, 无法被桉树吸收, 随着地表径流的冲刷流失, 最终汇入达开水库, 造成水体污染。

桉树种植的源强系数与农田源强系数取值相同, 取值参考 2004 年全国地表水环境容量核定技术规范要求的推荐值为基础, 结合广西具体实际选用。标准农田源强系数为: 废水 7275 t/hm·a, COD 150 kg/hm·a, 氨氮 30 kg/hm·a, 总氮 45 kg/hm·a, 总磷 3.75 kg/hm·a。根据达开水库周边自然地理情况及桉树种植情况, 取下列各项修正系数进行修正: 坡度修正系数取 1.1, 种植类型修正系数取 0.7, 土壤修正系数取 1.0, 化肥修正系数取 1.4, 降雨修正系数取 1.3 [10]。则综合修正系数为 1.40。

根据统计, 水库周边桉树种植面积 18481.95 hm。通过计算, 达开水库桉树种植污染总入河负荷为: COD 1554.04 t/a, 氨氮 310.81 t/a, 总氮 466.21 t/a, 总磷 38.85 t/a。

## 2.2.2. 水产养殖污染

根据调查统计, 达开水库范围内的奇石乡有养鱼户 60 户, 网箱 1704 口, 面积 64,402 m<sup>2</sup>。达开水库划定为饮用水水源地, 为保障饮用水水源安全, 贵港市 2018 年开展了贵港市达开水库备用饮用水水源地环境保护专项整改工作, 对饮用水水源保护区范围内进行网箱养殖拆除清理, 于当年底完成整

治。现达开水库水产养殖情况已整治清理完毕，达开水库流域范围基本无水产养殖污染产生对水体造成影响。

### 2.2.3. 污染源贡献量分析

根据分析，对达开水库造成污染负荷的污染源类型主要包括农村生活污水、农田径流污染、畜禽养殖污染和桉树种植污染。根据对不同污染源产生的污染计算结果，汇总统计达开水库所产生的 COD、氨氮、总氮和总磷的入河排放量，见表 3 所示。

**Table 3.** List of amounts and proportions of different pollution sources entering the river in Dakai Reservoir

**表 3.** 达开水库不同污染源入河量及占比一览表

项目类别	COD		氨氮		总氮		总磷	
	t/a	%	t/a	%	t/a	%	t/a	%
农村生活污水	490	20.29	55.20	12.54	85.84	12.93	5.41	10.11
农田径流污染	369.34	15.28	73.81	16.76	110.71	16.68	9.15	17.09
畜禽养殖污染	2.70	0.12	0.48	0.11	0.87	0.14	0.12	0.22
桉树种植污染	1554.04	64.31	310.81	70.59	466.21	70.25	38.85	72.58
合计	2416.51	100.00	440.30	100.00	663.63	100.00	53.53	100.00

根据统计，达开水库各污染物的总入河负荷分别为：COD 2416.51 t/a，氨氮 440.30 t/a，总氮 663.53 t/a，总磷 53.53 t/a。其中贡献率最高的为桉树种植污染，COD 占比 64.31%、氨氮占比 70.59%、总氮占比 70.25%、总磷占比 72.58%。

## 3. 治理对策

### 3.1. 实施农村环境综合整治工程

达开水库周围无完善排水管网及污水处理厂，村屯周围有可用建设用地。根据《农村生活污水处理工程技术标准》《农村生活污染控制技术规范》(HJ574-2010)、《广西农村生活污水处理技术指南》等文件要求，考虑近期收集并处理农村生活污水，处理后的水排放至水库周边农田用于灌溉，促进农业的发展。

生活污水采用“生物接触氧化法 + 人工湿地”处理工艺，处理后废水排放执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级 B 标准。

### 3.2. 生态修复与保护工程

河道水系湿地是流域生态系统的一部分，流域生态系统修复是一项复杂的系统工程，目的是依靠大自然的自我修复能力，并辅以适当的人工措施，加速被破坏的生态系统的功能恢复[11]。根据建设工程实施区域的地理位置及特点，在保证水利工程作用的前提下，恢复河道水系生态功能，使退化的水系生态系统修复达到与其原有能保持自然潜能状态极相近的状态。

因此，达开水库水源地生态修复工程主要建设内容为岸坡治理及水环境整治、水库入库河口水生态修复与保护。① 稳定塘工程：库区南岸东及屯汇入达开水库的天然池塘，改造成 12,692 m<sup>2</sup> 稳定塘，利用植物和微生物处理居民生活污水和农田退水。② 马来河入库河口生态修复工程：工程位于马来河入库河口

水域和河滩区域建设潜流湿地,共 143,880 m<sup>2</sup>,湿地由防渗膜、填料层、湿地植物、集水系统及导膜管构成。湿地内分别种植再力花、芦苇、美人蕉,浮叶型植物选择萍蓬草,睡莲,沉水植物选择金鱼藻和狐尾藻。植物种植密度可根据植物种类与工程的要求调整,挺水植物的种植密度宜为 9~25 株/m<sup>2</sup>。③ 生态护坡工程:在马来河入库重点河段建设 5 km 的生态护坡,主要建设在马来河居民和农田较多的南岸。

### 3.3. 实施农业面源污染控制工程

根据《中华人民共和国水污染防治法》,禁止在生活饮用水源保护区进行集中养殖,因此,对于水源地二级保护区内已存在的分散畜禽养殖,相关管理部门及村委引导养殖户转变其养殖方式,实行生态养殖,养殖废水和废渣全部资源化利用,不外排,减少分散式养殖污染。

针对农业面源污染的来源、过程及特点,为降低对土壤、水环境和农作物的污染,实现农业清洁生产。对水源地保护区内农业面源控制与治理推广生态种植方式,严格控制农药、化肥等非点源污染,主要措施为:推进精准施肥、调整化肥使用结构、改进施肥方式、有机肥替代化肥、利用生物固氮增加土壤养分、提升耕地质量、逐渐在水源地保护区实行退耕还林[12]。加强宣传力度,引导农户积极改种,替换速生桉种植,增强达开水库二级保护区内林木涵养水源的功能。

### 3.4. 实施水源地保护附属工程

根据《饮用水水源保护区标志技术要求》(HJ/T433-2008)要求,在水源保护区范围内增设一级保护区、二级保护区、准保护区界标,在主要道路、航道增设交通警示牌,在人口活动频繁区增设宣传牌[13]。

根据水源地现状隔离防护设施建设情况,结合实际需要,集中式饮用水水源地一级保护区陆域范围采用镀锌丝护栏网进行隔离。

### 3.5. 加强水库水源地管理制度建设

集中式饮用水水源保护管理工作,由贵港市人民政府统一监督管理,设置专门的管理机构,负责日常监督管理工作。水利局、生态环境局、住房和城乡建设局、自然资源局、农业农村局、交通运输局、卫生健康局、公安局、财政局、河长制办公室,按照各自职责,对饮用水水源地实施监督管理。

为有效防范饮用水水源突发环境事件,加强突发环境污染事故应急管理,规范和强化水环境污染事故应急处置工作,有效预防、及时控制和消除饮用水水源突发环境污染事件的危害,提高政府应对环境污染突发事件的能力,最大程度地预防和减少饮用水水源突发环境事件及其造成的损害,保护环境,保障公众的生命财产安全,维护国家安全和社会稳定,促进经济社会全面、协调、可持续发展,需制定饮用水水源地突发环境事件专项应急预案[12]。

## 4. 结语

通过对贵港市达开水库污染现状调查发现,达开水库水环境功能区不满足 II 类水质目标要求,水体污染较为严重,桉树种植造成生态影响较大。为提升水库水环境质量,改善水库周边的生态环境,针对性提出水源地应进行综合治理措施,开展生态保护和生态修复工程建设,减少污染物向水库排放,确保水库水质符合国家标准要求;制定有效的政策法规制度,保障水库周边居民饮水安全,维护饮用水源地达开水库的生态平衡。

## 参考文献

- [1] 廖春明. 达开水库除险加固施工期运行水位的控制[J]. 广西水利水电, 2010(4): 60-61+64.
- [2] 翟配松. 达开水库主坝混凝土防渗墙设计[J]. 广西水利水电, 2009(3): 43-44+48.

- [3] 徐蕾. 吉林省水质信息管理系统管理与评价功能设计研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2006.
- [4] 夏丽爽. 水环境污染物总量优化分配方法及业务化应用研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨师范大学, 2017.
- [5] 李帆. 小流域总磷输运平衡及释放源追踪模型研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2020.
- [6] 赵纯一, 苏猛, 李山, 等. 绥芬河流域水环境现状分析与建议[J]. 当代化工研究, 2022(22): 105-107.
- [7] 许学鹏. 三峡水库初期蓄水对嘉陵江下游及河口段水体富营养化影响研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2011.
- [8] 肖新成. 重庆三峡库区农业面源污染防治研究: 基于农户参与、政府主导的视角[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 西南大学, 2015.
- [9] 肖新成, 倪九派, 何丙辉, 等. 三峡库区重庆段农业面源污染负荷的区域分异与预测[J]. 应用基础与工程科学学报, 2014, 22(4): 634-646.
- [10] 钟振宇. 洞庭湖生态健康与安全评价研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2010.
- [11] 高之栋, 穆如发. 河道生态修复技术初步构思[J]. 水土保持研究, 2006, 13(6): 32-33.
- [12] 唐铭. 鹿寨县乡镇集中式饮用水水源地环境现状与保护对策[J]. 广西水利水电, 2021(3): 96-99, 111.
- [13] 吕佳芮, 蔡茂. 大连保障饮用水水源安全[N]. 中国环境报, 2023-02-27(05).