

Study on Analytical Method of Reservoir Pollution Source: A Case Study of a Reservoir in South-China

Bangmi Xie, Jian Zhang, Xin Zhao*, Taotao Sun, Tingting Zhu, Shenghua Peng

State Environmental Protection Key Laboratory of Drinking Water Source Management and Technology, Shenzhen Research Academy of Environmental Sciences, Shenzhen Guangdong
Email: *zhaoxin@mail.bnu.edu.cn

Received: Sep. 21st, 2019; accepted: Oct. 9th, 2019; published: Oct. 16th, 2019

Abstract

Analyzing the sources of pollution in reservoir and mastering the main pollution sources that affect water quality, is the basis for improving the reservoir water environment and ensuring the safety of drinking water sources. At present, there are relatively few studies on the source analysis of water environmental pollutants in water sources in China. This paper takes a reservoir in South-China as an example to analyze the source of reservoir pollution and explore the method of reservoir pollution source analysis. The results show that the main pollution sources of NH₃-N, TN and TP in the reservoir are external water diversion, with a contribution ratio of 81.9%, 95.7% and 92%. Inflow tributaries, scattered inflows, atmospheric deposition, or sediment release pollution load contribution is small.

Keywords

Water Environment, Pollution Source, Source Analysis, TN

水库污染来源解析方法研究——以南方某水库为例

谢帮蜜, 张 建, 赵 鑫*, 孙滔滔, 朱婷婷, 彭盛华

深圳市环境科学研究院国家环境保护饮用水水源地管理技术重点实验室, 广东 深圳
Email: *zhaoxin@mail.bnu.edu.cn

收稿日期: 2019年9月21日; 录用日期: 2019年10月9日; 发布日期: 2019年10月16日

*通讯作者。

摘要

开展水源地水库的污染源解析, 掌握影响水质的主要污染源, 是改善水库水环境和保障饮用水源安全的基础。目前, 国内关于水源地水环境污染源解析的研究相对较少。本文以南方某水库为例开展水库污染源解析, 探索水库污染源解析方法。研究表明, 南方某水库 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TN 、 TP 主要污染来源是外来引水, 贡献占比高达81.9%、95.7%和92%, 入库支流、散流入库、大气沉降、底泥释放污染负荷贡献均较小。

关键词

水环境, 污染源, 源解析, 总氮

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

水源地水安全是衡量一个国家和地区生活质量和发展水平的重要标志, 直接关系到广大人民群众的身体健康和生命安全。我国由于水源地污染而引起的饮用水安全问题非常突出, 水源地保护已经引起了党中央、国务院的高度重视, 成为关系国计民生的重大问题[1]。然而, 随着城市化的发展, 越来越多的各类营养盐污染源通过不同途径进入水源地, 对水库水质造成污染, 给水库水安全带来潜在风险。开展水源地水库的污染源解析的相关研究, 掌握影响水质的主要污染源, 对于提前采取适宜的控制措施以保护水环境具有重要意义, 是改善水库水环境和保障饮用水源安全的基础[2] [3]。

目前, 国内关于水源地水环境不同类型污染源解析的研究相对较少[4]。为系统梳理水源地水库污染主要来源, 本文以南方某水库为例开展水库污染源解析, 分析水库主要污染来源构成, 为饮用水源地精准管理提供科学依据, 为其它相关研究者提供技术参考。

2. 污染源调查与分析

2.1. 城镇居民生活

水库流域范围绝大部分位于龙岗区, 流域范围内有管理人口约 35.8 万人。根据《2018 年深圳市水资源公报》, 2018 年龙岗区人均居民生活用水量为 191.20 L/d, 居民生活污水产生量按用水量的 0.85 进行折算, 为 162.52 L/人·d。根据第一次全国污染源普查城镇生活源产排污系数手册, 可知深圳市居民生活污水氨氮、总氮和总磷产生系数分别是 9.7 g/人·d、13.9 g/人·d 和 1.16 g/人·d。

经核算, 水库流域内的生活废水产生量为 2123.6 万 t/a, 氨氮、总氮和总磷全年产生总量分别为 1267.5 t/a、1816.3 t/a、151.6 t/a, 如表 1 所示。

2.2. 工业企业分布

根据饮用水水源保护区工业企业调查结果, 水库流域保护区内共有工业企业 221 家, 主要分布在二级保护区中北部部分一级支流区域; 对于东部和南部广大地区, 仅南部零星分布少数工业企业, 该区域主要以居民聚集区和林地为主。

Table 1. Status of domestic pollution sources in a reservoir basin in the south**表 1.** 南方某水库流域内生活污染源状况

污染指标	产生系数	片区人口(人)	产生量(t/a)
生活污水量	162.52 L/人·d	358,000	2123.6 万
氨氮	9.7 g/人·d		1267.5
总氮	13.9 g/人·d		1816.3
总磷	1.16 g/人·d		151.6

根据《国民经济行业分类》(GB/T4754-2011), 这 221 家工业企业共涉及 20 个行业大类。该区域内工业企业行业没有明显的某一类行业大规模集中情况, 其中数量最多的是电气机械和器材制造业, 计算机、通信和其他电子设备制造业和橡胶和塑料制品业, 分别占全部企业数量的 16.7%、16.7%和 14.9%, 如表 2 所示。

Table 2. Statistics of industrial enterprises in reservoir basins**表 2.** 水库流域工业企业统计表

行业代码	行业类型	企业数量
13	农副食品加工业	9
14	食品制造业	4
18	纺织服装、服饰业	14
20	木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业	4
21	家具制造业	9
22	造纸和纸制品业	7
23	印刷和记录媒介复制业	4
24	文教、工美、体育和娱乐用品制造业	4
26	化学原料和化学品制造业	3
27	医药制造业	1
29	橡胶和塑料制品业	33
30	非金属矿物制品业	11
32	有色金属制品业冶炼和压延加工业	2
33	金属制品业	23
34	通用设备制造业	4
35	专用设备制造业	12
38	电气机械和器材制造业	37
39	计算机、通信和其他电子设备制造业	37
40	仪器仪表制造业	2
49	建筑安装业	1
	合计	221

2.3. 面源污染

水库流域面积为 58.98 km², 其中建成区面积较大, 约 14.74 km², 占整个保护区面积的 25.0% (图 1), 建成区面源为流域内面源污染最主要来源。此外, 水库保护区内菜地面积为 1.11 km², 占整个保护区面

积的 1.9%，主要分布于 W 河沿线南侧，全部位于二级水源保护区，产生的面源污染物主要通过 W 河与 L 河两条支流进入水库。

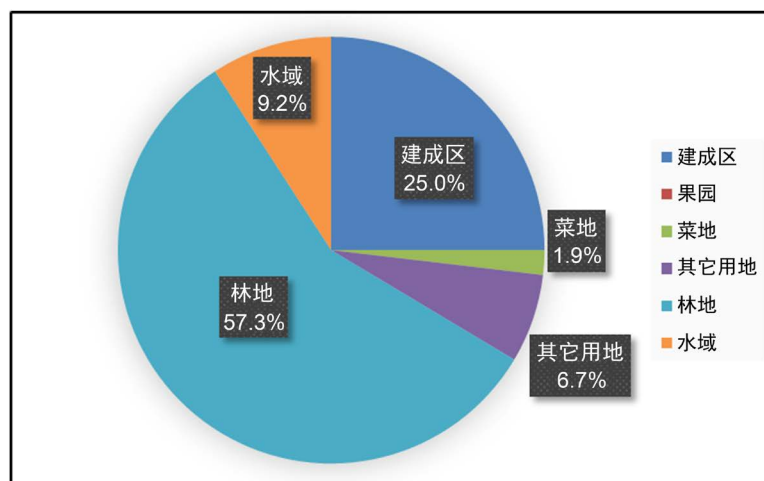


Figure 1. Distribution of land use in a reservoir basin in the south
图 1. 南方某水库流域各类用地占比分布

面源污染负荷为排入支流径流量与对应面源污染物平均浓度的乘积，如公式(1)所示：

$$m = 10^{-3} \phi p F C_j \quad (1)$$

式中： m 为第 j 种面源污染物的年污染负荷，t/a； ϕ 为径流系数； p 为年降雨量，mm/a； F 为水库流域面积， km^2 ； C_j 为第 j 种面源污染物的评价浓度，mg/L。

面源污染物浓度主要受土地利用类型影响，本研究采用综合 EMC 作为各水库流域内面源污染物的平均浓度。参考南方相关文献资料[5]-[10]研究成果，确定对不同土地利用类型面源污染物浓度计算系数 K 取值如表 3 所示。

Table 3. Calculation coefficient of surface source pollutant concentration K

表 3. 面源污染物浓度计算系数 K 取值

污染物浓度系数(mg/L)	农田菜地	果园	建成区	林地	其它用地	水域
NH ₃ -N	3.2	1.76	3.70	0.32	1.25	0
TN	7.6	4.81	9.24	2.01	4.50	0
TP	1.5	0.93	0.61	0.37	0.50	0

各水库流域的面源污染物平均浓度(综合 EMC)采用土地利用类型加权平均计算，如公式 2 所示：

$$C_j = \frac{\sum K_{ij} A_i}{\sum A_i} \quad (2)$$

式中： K_{ij} 为用地类型 i 的第 j 类污染物浓度计算系数，mg/L； A_i 为该水库流域用地类型 i 的面积， km^2 ； C_j 为该水库流域第 j 类污染物综合 EMC，mg/L。

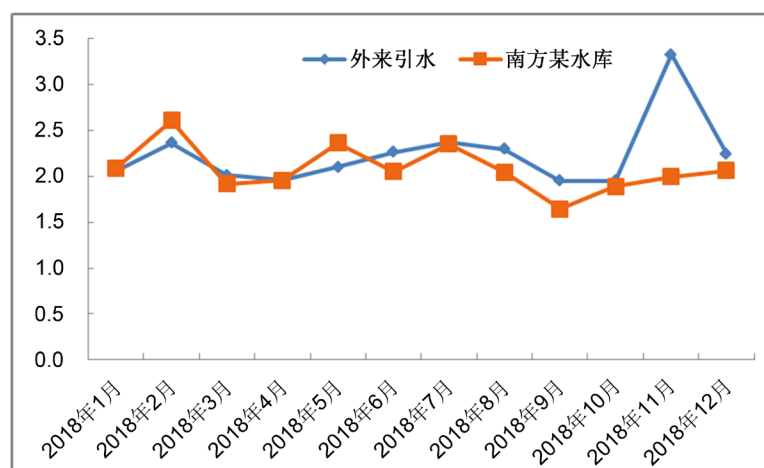
综上，计算得水库流域内面源污染氨氮、总氮和总磷全年产生总量分别为 85.41 t/a、266.4 t/a 和 29.06 t/a，如表 4 所示。

Table 4. Amount of non-point source pollution in a reservoir basin in the south**表 4.** 南方某水库流域内面源污染产生量

污染负荷	NH ₃ -N	TN	TP
计算结果(t/a)	85.41	266.4	29.06

2.4. 外来水源污染

水库通过饮水工程向东江引水，引水比例高达 97%。外来引水的水质对其水质有非常大的影响，最主要的影响体现在 TN 这一指标上。由图 2 可以看出，外来引水 TN 浓度与水库 TN 平均浓度变化趋势基本一致，且外来引水 TN 浓度较高，大多数时候超过 2 mg/L，使得水库 TN 浓度也较高。

**Figure 2.** External diversion and average TN value of a reservoir in the south**图 2.** 外来引水及南方某水库平均 TN 值

2.5. 大气沉降

大气沉降也是污染负荷入库的途径之一。水库研究范围处于中国沿海发达城市，近年来随着城市化和工业化的高度发展，化石燃料使用量迅速增长，导致大气污染物沉降的强度、影响范围持续增加[11]。本文基于现有相关研究和文献资料[12] [13]，确定研究区氮磷干湿沉降通量取值如表 5 所示。

Table 5. Nitrogen and phosphorus monthly dry and wet deposition flux values**表 5.** 氮磷月干湿沉降通量取值

污染物	NH ₃ -N	TN	TP
月通量均值(kg/(km ² *月))	134.6	299	4.12

2.6. 底泥释放

泥沙淤积在库内沉积了大量的氮、磷等污染物，是水体中潜在的内源性污染源，对水体污染会持续一段相当长的时间[14]。底泥中营养盐的释放，主要是由于存在着从沉积物向上覆水的营养盐浓度梯度[15]。水库的泥沙淤积物和各类污染物混存，含有大量的氮、磷等污染物，根据测算，其底泥污染物释放通量如表 6 所示。

Table 6. Release of pollutants from reservoir sediments**表 6.** 水库底泥污染物释放量

污染物	NH ₃ -N	TN	TP
释放通量(mg·m ⁻² ·d ⁻¹)	14.94	17.34	3.04

3. 入库污染贡献分析

水库的污染物有五个来源(表 7)，一是入库支流，包括 S 河、W 河、L 河；二是 9.61 km² 的集雨区，该区域不属于任一入库支流的流域范围，区域汇水通过散流入库；三是外来引水；四是大气沉降；五是底泥释放。其中，入库支流、散流入库和外来引水通过来水携带负荷入库。

Table 7. Division of a reservoir basin in the south**表 7.** 南方某水库流域划分

流域分区	沙湾河	梧桐山河	落马石河	散流入库	水库水面
面积(km ²)	26.1	12.75	6.78	9.61	3.74

3.1. 来水入库污染负荷

3.1.1. 入库水量计算

散流入库水量通过降雨径流计算获得，外来引水采用实测引水量，支流入库水量根据入库支流是否存在截排工程，分别采用不同方法计算支流入库水量及入库污染负荷。

若存在截排工程，需综合考虑不同降雨情景下，支流上游来水情况及截排能力，分析是否存在溢流，以计算溢流量。入库水量 Q 按如下公式计算：

$$Q \begin{cases} Q_2 + Q_0 - Q_1, & Q_2 + Q_0 > Q_1 \\ 0, & Q_2 + Q_0 \leq Q_1 \end{cases} \quad (3)$$

式中， Q_0 为支流旱季水量， Q_1 为截排工程的截排水量， Q_2 为降雨径流量，单位均为 m³。

3.1.2. 入库污染物浓度计算

2018 年 3 月、5 月、8 月及 10 月份分别对入库支流、外来引水进行了采样监测，并对旱季、雨季监测结果分别取均值计算出支流旱季基流、降雨径流、散流、外来引水污染物平均浓度，如表 8 所示。

Table 8. The amount of water in the reservoir and the average concentration of pollutants in a reservoir in the south**表 8.** 南方某水库入库水量及污染物平均浓度

	入库水量(万 m ³)	污染物浓度(mg/L)		
		NH ₃ -N	TN	TP
S 河入库	92	1.13	2.82	0.17
W 河(降雨径流)	1619	0.54	2.50	0.39
W 河(旱季基流)	248	0.16	0.97	0.13
L 河(降雨径流)	861	0.54	2.49	0.39
L 河(旱季基流)	186	0.16	1.74	0.13
散流入库	1220	0.47	2.32	0.40
外来引水	135,658	0.16	2.24	0.17

3.2. 其它入库污染负荷

根据 2.5 节计算得水库流域内大气沉降污染氨氮、总氮和总磷全年产生总量分别为 6.04 t/a、13.42 t/a 和 0.18 t/a。根据 2.6 节计算得水库流域内底泥释放污染氨氮、总氮和总磷全年产生总量分别为 20.39 t/a、23.67 t/a 和 4.16 t/a。

3.3. 入库污染负荷计算结果

根据 3.1 和 3.2 节核算 2018 年水库入库污染负荷总量, 结果如表 9 所示。可以看出, 水库 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP 污染负荷基本来源于外来引水, 占污染物总负荷的比例分别为 81.9%、95.7%和 92%, 其次是入库支流和底泥释放, 散流入库和大气沉降污染贡献极小。

Table 9. Reservoir storage pollution load

表 9. 水库入库污染负荷

来源	入库水量 (万 m^3)	$\text{NH}_3\text{-N}$		TN		TP	
		入库总量(t)	占比	入库总量(t)	占比	入库总量(t)	占比
S 河	92	1.04	0.4%	2.59	0.1%	0.16	0.1%
W 河	1867	9.21	3.5%	42.95	1.4%	6.59	2.7%
L 河	1047	4.92	1.9%	24.70	0.8%	3.57	1.5%
散流入库	1220	5.73	2.2%	28.30	0.9%	4.92	2.0%
外来引水	135658	214.59	81.9%	3037.51	95.7%	225.69	92.0%
大气沉降	--	6.04	2.3%	13.42	0.4%	0.18	0.1%
底泥释放	--	20.39	7.8%	23.67	0.7%	4.16	1.7%
合计	139884	261.92	100.0%	3173.14	100.0%	245.27	100.0%

4. 结语

本文选取南方某水源地水库作为研究案例, 进行了水源地水库污染源解析方法研究。

1) 通过对南方某水库进行现场调研, 摸清了该水源保护区内的土地利用状况、建成区以及工业污染源、生活污染源、面源污染源情况。

2) 通过对研究区入库支流、散流入库、外来引水、大气沉降、底泥释放开展水质水量监测以及污染负荷核算, 解析了南方某水库主要污染源及构成。

3) 研究结果表明, 水库 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP 污染负荷主要来源于外来引水, 污染负荷贡献比例分别为 81.9%、95.7%和 92%, 入库支流、散流入库、大气沉降、底泥释放污染贡献均较小。

基金项目

深圳市科技计划项目(基础研究/自由探索)(项目号: JCYJ20170307105356548)。

参考文献

- [1] 姜龙杰, 等. 溧水水库型饮用水水源地水环境现状及污染源分析[J]. 水资源与水工程学报, 2017, 28(5): 93-99.
- [2] 周文婷, 等. 高州水库集水区污染源分布特征及污染负荷研究[J]. 水生态学杂志, 2017, 38(3): 23-31.
- [3] 杨育红, 于福荣, 刘中培. 长春市新立城水库氮磷污染源与污染负荷分析[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2013, 28(5): 697-701.

-
- [4] 马岚, 等. 晋江流域水体污染源解析研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2012, 48(5): 471-475.
- [5] 向速林, 陶术平, 王逢武. 不同土地利用类型降雨径流氮磷特征分析——以赣江下游地区为例[J]. 人民长江, 2015, 46(16): 80-82+100.
- [6] 段圣辉, 等. 杭州市余杭区典型农村暴雨径流污染特征[J]. 环境科学, 2015, 36(10): 3697-3705.
- [7] 邱玲玲. 惠州市城市降雨径流氮、磷污染特征研究[J]. 环境, 2012(S2): 8-9.
- [8] 马英, 等. 东莞不同下垫面降雨径流污染输移规律研究[J]. 中国环境科学, 2011, 31(12): 1983-1990.
- [9] 董欣, 等. 城市降雨屋面、路面径流水文水质特征研究[J]. 环境科学, 2008(3): 607-612.
- [10] 惠二青, 黄钰铃, 刘德富. 城市次降雨径流污染负荷计算方法[J]. 水文, 2006(5): 29-32.
- [11] 周婕成, 等. 上海大气氮湿沉降的污染特征[J]. 环境污染与防治, 2009, 31(11): 30-34.
- [12] 刘爱萍, 李来胜, 任秀文, 等. 珠三角地区大气氮磷干湿沉降通量及其组成特征[C]//2013 中国环境科学学会学术年会. 昆明: 中国环境科学学会学术年会, 2013: 8.
- [13] 陈中颖, 等. 珠江口大气氮磷干湿沉降通量及其污染特征[J]. 环境污染与防治, 2010, 32(11): 53-57.
- [14] 李永进. 深圳水库泥沙淤积对水质的影响及其对策[J]. 中国农村水利水电, 2002(11): 74-76.
- [15] 秦伯强, 等. 大型浅水湖泊沉积物内源营养盐释放模式及其估算方法——以太湖为例[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2005(S2): 33-44.