

深圳石岩水库周边环境点源污染特征分析

宁建凤, 邹献中, 巫金龙

(广东农业科学院土壤肥料研究所, 广东 广州 510640)

摘要 石岩水库由于周边环境污染造成库体水质变差的问题日益突出,影响库体水质的点污染源主要有 10 处。对污染源进行动态监测的结果表明:入库污水主要超标项目为 Mn、TP、Fe、NH₃-N、TN、BOD₅、COD_{Cr},且其污染负荷比依次升高,其中 COD_{Cr}污染负荷比为 0.594,远高于其他污染物;上述污染物浓度与取样时间之间没有明显的规律性变化,说明污染物排放存在随机性,由于人工湿地系统对于污染物净化具有选择性从而使得通过人工湿地系统的污水排入水库后对库体水质仍有一定影响;人工湿地入水口处未进入人工湿地而直接排入水库的污水是库体水质污染的主要来源。分析结果表明,石岩水库周边的生活排污是水库点源污染的主要来源,应成为污染治理的重点。

关键词 石岩水库;点源污染;生活排污

中图分类号:X524 文献标识码:A 文章编号:1004-693X(2007)S1-0037-04

1 水库概况

石岩水库位于深圳市宝安区石岩镇西北角,茅洲河上游干流。水库坝址以上干流长 12.2 km,集雨面积 44 km²,总库容 3 200 万 m³,正常水位 36.59 m,相应库容 1 690 万 m³。1960 年该库基本建成并开始蓄水运行,水库原设计目标主要以农田灌溉为主,自 1990 年以后逐渐转为向城镇供水,农业用水逐年减少,至 1994 年 11 月全部转为工业与居民用水。目前,随着深圳市东部取水工程建设完成,石岩水库已成为深圳市城市供水网络骨干工程之一,也是宝安区重要调蓄水库,担负着向宝安区西部石岩、公明、沙井、松岗、福永等镇的供水重任,2004 年的供水量已猛增至 2.3 亿 m³,日供水量最大达到 75 万 m³,对宝安区的社会稳定和经济发展起着重要作用。

近年来,随着工农业的迅速发展、人口规模扩大以及土地开发利用速度的加快,石岩水库周边环境污染问题日益突出。2002 年石岩水库水质监测结果表明,库体水质处于富营养化状态^[1-2];据报道,2003 年石岩水库接纳石岩河两岸污水排放量约为 1 600 万 m³,占水库正常库容的 94.7%^[1];2004 和 2005 年的水质监测数据也表明,导致库体水质较差的主要污染物为总氮、氨氮、总磷、粪大肠杆菌群

等^[1]。石岩水库污染物主要来自库区周边的点源污染。点源污染是指工业废水和生活污水的集中排放对水体造成的污染。2003 年实行截污工程以来,对石岩水库水质有一定程度的改善,但由于库区周边排污设施不完善,仍有大量的生活污水和工业污水未经任何处理直接排入水库,成为水库的主要污染源。石岩水库直接担负着居民供水重任,水质污染必将对安全供水和居民身体健康构成严重威胁。因此,以石岩水库为主体,研究水库周边环境对水库库体水质的影响,通过对水库周边自然环境因素和工农业生产布局情况的调查分析,找出导致库体水污染的主要污染源和污染物类型,为水库点源污染防治及水库水资源的可持续开发和利用提供借鉴。

2 水库周边污染源调查

通过对库体周边环境详细调查,发现水库周边排污沟共 7 处,污水直接或间接排入石岩水库。同时,考虑到石岩水库从铁岗水库提水,由于铁岗水库库尾有一入库冲沟,可能会对石岩水库引水产生一定影响,因此将铁岗水库中部(W10)、铁岗水库库尾冲沟(W7)、铁岗—石岩水库引水道(W6)作为水质监测点。各污染源具体位置如图 1 中 W1~W9 所示,W10 点由于位于铁岗水库中部,在图 1 中无显示。

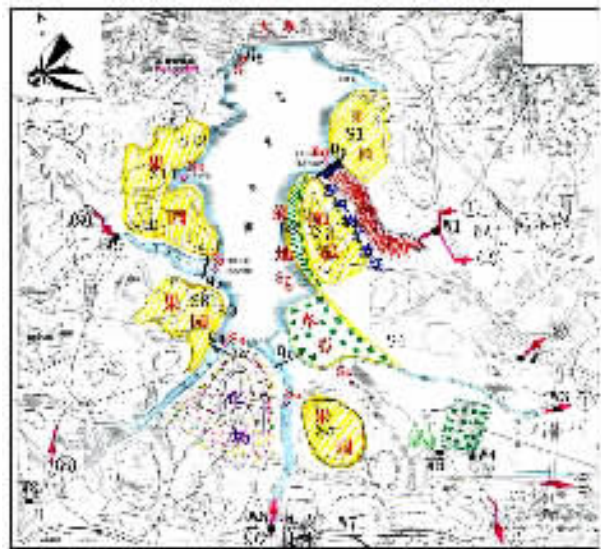


图1 污染源位置

各污染源基本情况描述:①W1:松石公路旁,为一排污坑,主要由公路旁排污沟集水形成。②W2:石岩镇加油站垃圾场旁边,系上游生活污水和工业废水汇合而成的排水沟。③W3:石岩河大桥下,污水主要由上游污水流量过大时溢出拦污闸形成,直接排入石岩水库。④W4:位于王家庄,为人工湿地入水口,由两条生活、工业废水排水道汇合而成,由于水量较大,部分污水未经人工湿地直接排入水库。⑤W5:人工湿地出水口,位于W4样点下游,污水经人工湿地处理后直接排入水库。⑥W6:铁岗—石岩引水道。⑦W7:为铁岗水库库尾冲沟,距离石岩水库引水口约100 m。⑧W8:洲石公路旁,为一排水沟,污水直接排入石岩水库。⑨W9:水库大桥下,主要为生活排污。⑩W10:铁岗水库中部。

3 污染物监测结果分析

2006年1月、3月、4月、5月、6月份对各污染源共进行5次取样,对各样点的水样分析指标主要包括:pH值、TN、NH₃-N、TP、BOD₅、COD_{Cr}以及重金属等。由于石岩水库是供水型水库,污水排放直接污染库体水质,如采用污水综合排放标准对污水水质进行污染评价,可能很多污染物浓度都在排放标准范围内,但不能认为这些污水不会对水库造成污染。因此,各样点水样测定方法及水质污染评价标准按照GB3838—2002《地表水环境质量标准》评价。

3.1 不同污染源 pH 值变化

图2反映了不同污染源水样pH值多数在地表水环境质量标准限值(6~9)之间。W5样点的3月、5月、6月份水样pH值低于6,偏酸性。由于W5样点位置处于人工湿地出水口,水质呈微酸性可能与人工湿地系统在分解有机污染物过程中产生的酸性

有关。从图2中还可以看出,W1、W2、W3、W4、W8样点不同取样时间pH值变化相对较小,其他样点pH值变化较大。

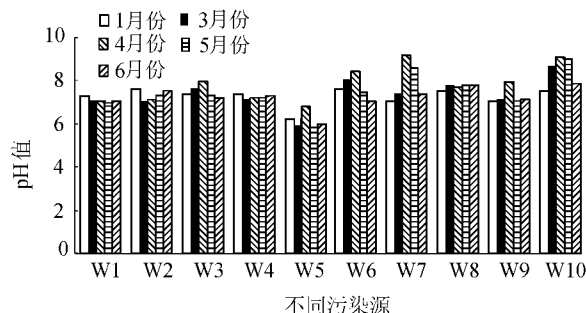


图2 不同污染源的 pH 值

3.2 各污染源总氮浓度变化

总氮浓度过高是导致水库水质富营养化的主要因素之一。图3中,各污染源水样总氮质量浓度几乎均超过地表水环境质量标准规定的Ⅴ类水质标准限值(2.0 mg/L),其中人工湿地进水口(W4)和人工湿地出水口(W5)以及洲石公路旁的排水沟(W8)处样点的水样总氮浓度较高,而铁岗—石岩水库提水道(W6)和铁岗水库中部(W10)两处样点水样总氮浓度较其他样点相对较低。3月、4月、6月份的取样结果表明,人工湿地系统出水口总氮浓度高于进水口浓度,而1月份和5月份的取样结果显示出水口总氮浓度低于进水口,说明人工湿地系统对于污水中总氮的去除效果不佳,其中原因有待进一步探讨;另外从图3中可以看出,各污染源的总氮浓度与取样时间之间没有明显的规律性变化。

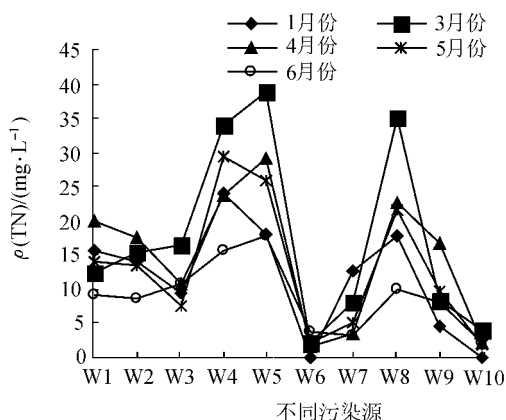


图3 不同污染源总氮浓度变化

3.3 各污染源氨氮浓度变化

与总氮浓度分析结果类似,铁岗—石岩水库提水道(W6)和铁岗水库中部(W10)水样的氨氮质量浓度较其他排污点低,不同的是两处水样各次氨氮质量浓度均在地表水环境质量标准规定的Ⅴ类水质标准(2.0 mg/L)范围内,而其他各样点氨氮质量浓度均高于Ⅴ类水标准限值(图4);人工湿地进水口

(W4)和洲石公路旁排水沟(W8)氨氮质量浓度相对高于其他各样点且变幅较大,变化范围分别为 9.00~30.15 mg/L 和 9.95~29.02 mg/L;与总氮浓度变化不同,人工湿地出水口氨氮浓度均低于进水口浓度,表明人工湿地系统对于污水中氨氮的去除效果相对优于总氮;W2、W3、W4 及 W8 样点 3 月份的氨氮浓度明显高于其他几次结果,总体上各污染源水样氨氮浓度与取样时间没有明显的相关性。

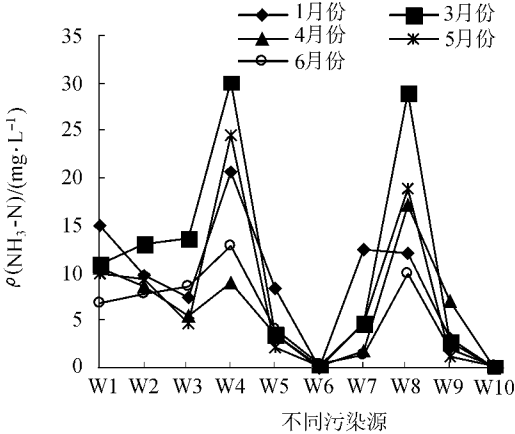


图 4 不同污染源氨氮浓度变化

3.4 各污染源总磷浓度变化

磷含量过高是导致水体富营养化的另一主要因素。从图 5 中可以看出,多数样点各次取样的水样总磷浓度高于地表水环境质量标准中的 V 类水质标准(0.4 mg/L);同一污染源总磷浓度同取样时间之间没有规律性变化,说明污染物排放存在一定的随机性。铁岗—石岩水库提水道(W6)和铁岗水库中部(W10)两处水样,总磷浓度仅 5 月份取样结果高于 V 类水质标准,其他各次水样总磷浓度均在 V 类水质标准限制范围内,说明从铁岗水库提水对于增加石岩水库磷营养盐的浓度的贡献率相对较小;同氨氮浓度变化类似,人工湿地系统进水口(W4)和洲石公路旁排水沟(W8)样点总磷浓度变化范围较大,分别为 1.58~4.08 mg/L 和 0.78~3.82 mg/L;石岩镇加油站垃圾场旁边的排污沟(W2)和人工湿地出水

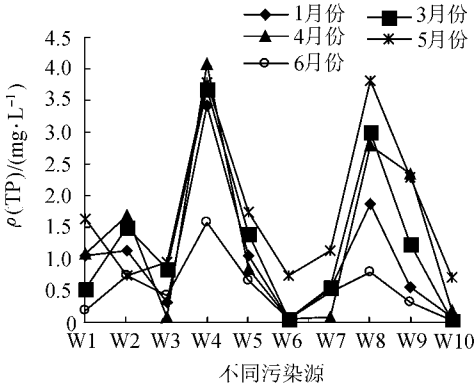


图 5 不同污染源总磷浓度变化

口(W5)各次取样的总磷浓度均高于 V 类水质标准,但人工湿地出水口的总磷浓度明显低于进水口浓度,说明人工湿地系统对于污水中总磷净化效果较好。

3.5 各污染源 BOD₅ 浓度变化

水体中 BOD₅ 质量浓度在一定程度上反映了水体有机污染程度。图 6 中可以看出,人工湿地出水口(W5)铁岗—石岩水库提水道(W6)及铁岗水库中部(W10)各次水样 BOD₅ 浓度均处于地表水环境质量的 V 类水质标准(10 mg/L)范围内,说明污水经过人工湿地系统处理后可以明显减低 BOD₅ 对水库污染的贡献率,而铁岗水库提水对于增加石岩水库水体 BOD₅ 污染负荷的贡献率较小。其他各取样点 BOD₅ 浓度均有不同程度超标(大于 V 类水标准)现象;人工湿地进水口(W4)和石岩水库大桥下污水沟(W9)不同取样时间 BOD₅ 浓度变幅较大,分别为 19.4~162.0 mg/L 和 0.58~47.4 mg/L;松石公路旁的污水坑(W1)水样仅 1 月份 BOD₅ 浓度在 V 类水质标准范围内,其他各次样均超出 V 类水标准限值。

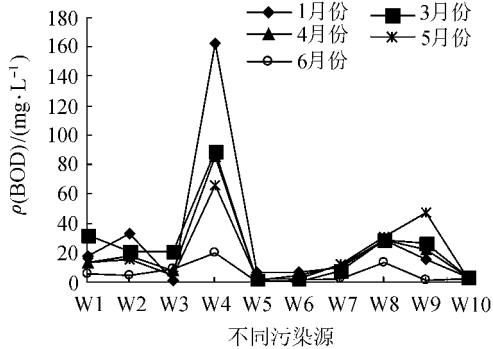


图 6 不同污染源 BOD 浓度变化

3.6 各污染源 COD_{Cr} 浓度变化

化学需氧量也是水体有机污染指标之一。与 BOD₅ 含量变化类似,人工湿地出水口(W5)和铁岗—石岩水库提水道(W6)两处水样几乎各次 COD_{Cr} 质量浓度均在地表水环境质量标准规定的 V 类水(40 mg/L)范围内,与之相对应的是 W1、W2、W4、W8 样点各次 COD_{Cr} 质量浓度均高于 V 类水标准(图 7);人工湿地进水口

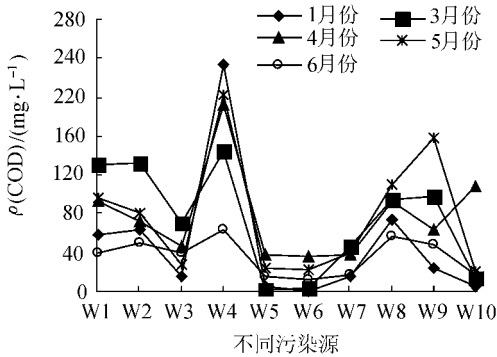


图 7 不同污染源 COD 浓度变化

(W4)和石岩水库大桥下污水沟(W9)不同取样时间 COD_{Cr}质量浓度变幅较大,分别为 64~234.47 mg/L 和 23.25~158 mg/L;W5 样点各次 COD_{Cr}浓度均低于 W4 样点,说明人工湿地系统对于 COD_{Cr}具有较好的去除能力;铁岗水库中部(W10)水样 4 月份 COD_{Cr}质量浓度为 108 mg/L,远高于Ⅴ类水标准。

3.7 各污染源重金属浓度变化

对各污染源水样 Cr⁶⁺、Fe、Mn、Cu、Zn、Pb、Cd、Ni、Hg、As 等重金属浓度的监测结果表明,各次取样各点均未检出 Ni,而多种重金属存在的浓度均在地表水环境质量标准Ⅴ类水控制的范围内,仅 Fe、Mn 两种重金属存在不同程度的超标(图 8)。从图 8 中可以看出,W5、W6、W10 三处样点 Fe 浓度均在地表水环境质量标准限值(0.3 mg/L)范围内,而 W1、W2、W3、W9 样点的 Fe 浓度均高于 0.3 mg/L 的标准限值,其中 W1 样点浓度变幅最大,为 0.718~7.39 mg/L,是标准浓度限值的 2.39~24.63 倍。W1、W2、W3、W4 样点 Mn 质量浓度均高于地表水环境质量标准限值(0.1 mg/L),其中 W1 样点 Mn 质量浓度变幅最大,在 0.124~1.300 mg/L 之间,为标准浓度限值的 1.24~13 倍,而 W6 和 W10 样点的 Mn 质量浓度均在 0.1 mg/L 的标准限值范围内;其余各点均存在不同程度超标现象。上述分析结果表明,人工湿地系统对于 Fe 的去除效应明显优于对 Mn 的去除效应,同时,铁岗水库提水对于石岩水库水质重金属污染的贡献率较小。

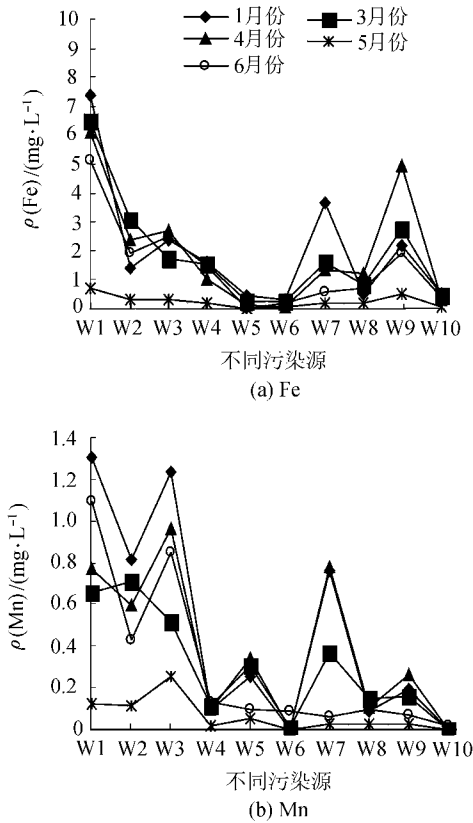


图 8 不同污染源铁、锰浓度变化

4 入库主要污染物及主要污染源评价

根据各污染源水样污染物监测结果及以下公式(根据文献[3]的公式作相应调整),计算出入库主要污染物及主要的污染源。

$$P_{ij} = C_{ij}/C_{si} \quad P_j = \sum_{i=1}^n P_{ij} \quad P_i = \sum_{j=1}^m P_{ij}$$
$$P = \sum_{j=1}^m P_j = \sum_{i=1}^n P_i \quad K_{ij} = P_{ij}/P$$
$$K_j = P_j/P \quad K_i = P_i/P$$

式中: P_{ij} 为第 j 个污染源第 i 种污染物的等标污染负荷,mg/L; C_{ij} 为第 j 个污染源第 i 种污染物的排放浓度,mg/L; C_{si} 为第 i 种污染物的评价标准值,mg/L,其中总氮、氨氮、总磷、BOD、COD 评价标准采用Ⅴ类水标准,Fe、Mn 评价标准采用标准限值; P_j 为第 j 个污染源的污染负荷,mg/L; P_i 为 10 个污染源中第 i 种污染物总的污染负荷,mg/L; P 为 10 个污染源中所有污染源的等标污染负荷之和,mg/L; K_{ij} 为第 j 个污染源中第 i 种污染物的污染负荷比; K_i 为 10 个污染源中第 i 种污染物的污染负荷比; K_j 为 10 个污染源中第 j 个污染源的污染负荷比; n 为参加评价的污染物个数; m 为参加评价的污染源的个数^[3]。

4.1 入库主要超标项目评价

从表 1 中可以看出,入库主要污染物指标中,COD_{Cr}污染负荷比远高于其他污染物,其次为 BOD₅、TN 和 NH₃-N;TP 及重金属中 Fe、Mn 的污染负荷较低,对于库体水质污染的贡献率相对较小。江天久等的研究表明^[4],由于深圳市人口超常规发展,城市生活污水的处理量增长速度不能满足于深圳市城市生活排污的需要,深圳市近 10 年来进入环境中的 COD 总量中有 2/3 以上是通过生活污水排放的。在点源污染中,城市生活污水已成为主要污染源,工业废水排污在点源污染中的比重有较大幅度的降低。石岩水库近年来水质监测结果及赵孟绪等^[5]对石岩水库富营养化现状的评价结果表明,石岩水库污染物主要来自城镇生活污水排放,库体 COD 浓度超标,有机污染严重。表 1 中 COD_{Cr}污染负荷比最高,同时通过对各污染源进行调查,推断库体污染物主要来自于周边生活排污。

表 1 入库主要污染物

主要超标项目	污染负荷比/ K_i	超标项目排序	主要超标项目	污染负荷比/ K_i	超标项目排序
COD _{Cr}	0.594	1	Fe	0.015	5
BOD ₅	0.181	2	TP	0.011	6
TN	0.124	3	Mn	0.003	7
NH ₃ -N	0.073	4			

(下转第 44 页)

门间的协作与配合 ,建立健全流域水资源联合保护的长效机制。

总之 ,长江流域的水资源保护是关系中国可持续发展、实现循环经济的一个迫切需要解决的重要问题 ,必须从流域整体的角度出发 ,综合管理 ,统一协调 ,加强科研和行政保护力度 ,改善长江流域水质状况 ,实现流域水资源的可持续开发和利用。

参考文献：

[1] 杨美卿. 1998 年长江洪灾分析[R]. 天灾与人祸科技导

报 ,1998 3-6.

[2] 史学正 ,梁音 ,于东升. 调用“ 土壤水库 ”是防洪减灾的根本之策[N]. 中国科学报 ,1998 ,10.
[3] 王苏民 ,龚鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京 :科学出版社 ,1998 580.
[4] 毛德华 ,夏军. 洞庭湖湿地生态环境问题及形成机制分析[J]. 冰川冻土 2002 ,24(4) :443-450.

(收稿日期 2007-04-13 编辑 舒 建)

(上接第 40 页)

4.2 主要污染源评价

对污染源的分析评价表明 ,人工湿地入水口污水污染负荷比最高 ,同时由于其污水排放量较其他污染源大 ,因此对库体水质污染最重 ,其次是洲石公路旁排水沟 ,而污染负荷比在 0.1 以上的 W1、W2 及 W9 样点对库体水质污染的贡献率均较高 ;W5 样点作为人工湿地出水口 ,污染负荷比明显低于进水口 ,图 4 ~ 图 8 说明人工湿地系统对于 NH₃-N、TP、BOD₅、COD_{Cr} 和 Fe 的净化作用相对较好 ,但仍存在其他污染物超标现象 ,对库体水质存在污染 ;W3 和 W7 样点即石岩大桥下排污沟和铁岗—石岩提水道入水口两处对水库污染贡献率相对较低 ,而 W6 和 W10 样点即铁岗—石岩水库提水道和铁岗水库中部水样的污染负荷比明显低于其他样点 ,对水库污染贡献率最小。

表 2 主要污染源排序

主要污染源	各样点污染负荷比/ K_j	污染源排序	主要污染源	各样点污染负荷比/ K_j	污染源排序
W4	0.284	1	W3	0.066	6
W8	0.144	2	W7	0.051	7
W1	0.124	3	W5	0.048	8
W2	0.118	4	W10	0.036	9
W9	0.111	5	W6	0.019	10

5 结 论

通过对石岩水库周边点污染源各污染物指标浓度监测结果进行分析研究 ,主要有以下结论：

a. 在所监测的 10 个污染源中 ,多数污染源水样 pH 值符合地表水环境质量标准 ,但不同程度地存在 TN、NH₃-N、TP、BOD₅、COD_{Cr}、Fe、Mn 等项目超标 (即超过地表水环境质量标准 V 类水限值) 现象 ,且 7 种主要入库污染物指标中 COD_{Cr} 的污染负荷比最高 ,依次为 BOD₅、TN、NH₃-N、Fe、TP、Mn ,重金属中除 Fe、Mn 外 ,其他重金属未检出或均在地表水环境质

量标准控制的 V 类水浓度范围内。以上结论说明水库周边生活排污可能是水库点源污染的主要来源 ,库区周边生活排污应成为点源污染治理的重点。

b. 各污染源污染物的浓度与取样时间之间没有明显的规律性变化 ,说明各污染源污染物排放具有一定的随机性。人工湿地系统入水口和洲石公路旁排水沟污水中有机和无机污染物浓度远高于地表水环境质量标准的 V 类水质标准限值 ,且浓度变幅较大 ,松石公路旁的污水坑污水 Fe、Mn 浓度分别为标准浓度限值的 2.39 ~ 24.63 倍和 1.24 ~ 13 倍。

c. 人工湿地系统入水口污水是石岩水库主要污染源 ,其污染负荷比远高于其他污染源 ,洲石公路旁排水沟、松石公路旁的污水坑、石岩镇加油站垃圾场旁边的排污沟、石岩水库大桥下污水沟对库体水质污染的贡献亦不容忽视 ,铁岗—石岩水库提水道、铁岗库尾冲沟和铁岗水库中部 3 处水样的污染物浓度和污染负荷比相对其他污染源较低 ,但从铁岗水库提水仍有一定的污染风险。人工湿地系统对于污水中污染物的去除作用具有选择性 ,从而使得排入库体的污水对库体水质污染具有一定的影响。

参考文献：

[1] 汪朗峰. 石岩水库污染防治措施探讨[J]. 人民珠江 2005 (5) :64-65 ,69.
[2] 谢涤非. 广东省大中型水库富营养化评价及水质管理信息系统研制[D]. 广州 :暨南大学 2002.
[3] 晏桂娥. 江南运河(苏州段) 水质监测分析[J]. 水资源保护 2002(3) :63-65.
[4] 江天久 ,牛涛 ,陈菊芳. 深圳农业面源污染与近岸水体富营养化关系研究 III. 水产养殖排污分析[J]. 海洋环境科学 2006 35(3) :33-36.
[5] 赵孟绪 ,林秋奇 ,章群 ,等. 广东石岩、大镜山和大水桥三座水库的富营养现状[J]. 生态科学 ,2002 ,21(4) :333-337.

(收稿日期 2006-11-16 编辑 高渭文)