

# 水电站配套鱼类增殖站养殖废水水质估算模型

郎建<sup>1</sup>, 李桥<sup>2</sup>

(1. 中国水电顾问集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610072;

2. 重庆大学城市建设与环境工程学院, 重庆 400030)

**摘要:**通过对鱼类增殖站的物料平衡和水平衡研究,建立其养殖废水水质估算模型,探讨鱼类增殖站养殖废水的分析方法。废水中总氮(TN)、总磷(TP)、悬浮物(SS)与饵料重量( $W$ )和进水量( $Q$ )的估算公式为 $C_{TN} = 0.01024 W \cdot Q^{-1}$ 、 $C_{TP} = 0.00045 W \cdot Q^{-1}$ 、 $C_{SS} = 0.277 W \cdot Q^{-1}$ 。估算泸定鱼类增殖站养殖废水中, $C_{TN} = 0.395 \text{ mg/L}$ 、 $C_{TP} = 0.017 \text{ mg/L}$ 、 $C_{SS} = 10.68 \text{ mg/L}$ ;与实测水质进行验证结果表明, Sig. (双侧)  $> 0.05$ , 表明实测值与估算值之间没有显著差异,说明2组数据具有一定的吻合性。该模型可以作为鱼类增殖站养殖废水水质的一种估算方法。

**关键词:**水电站;鱼类增殖站;估算模型;养殖废水

**中图分类号:** X703.1    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1674-3075(2014)03-0048-04

随着我国经济的迅猛发展及西部大开发战略的实施,能源需求量迅速增长,水电站建设成为热点,但其建设对河流生态产生了潜在的影响,特别是大坝对各种洄游性鱼类繁衍构成了很大的威胁(牛天祥等,2007;申景芳等,2009;张家福等,2010;王锐和李嘉,2010;刘晓兰,2011;陈云华,2012;简生龙,2012;阴鹤剑等,2012)。为了保护水电站开发流域的鱼类,水电站工程一般采取修建鱼类增殖站的措施(汤优敏等,2012;熊顺锋等,2012;王刚等,2012);然而,鱼类增殖站作为一个配套的环境保护措施,其自身也会产生一定的养殖废水。

本文通过对鱼类增殖站的水平衡和物料平衡进行分析,提出一种用于鱼类增殖站废水水质估算模型,旨在分析养殖废水污染物的组成与特性,为循环水养殖中的废水处理系统设计提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 工艺流程

水电站配套鱼类增殖站主要工艺流程包括:野生亲鱼收购→亲鱼培育→催产授精→人工孵化→鱼苗培育→增殖放流→效果监测与评价→放流调整。

主要有流水养殖和循环水养殖2种模式,流水养殖即为所有养殖单元均采用新鲜水养殖,各养殖单元废水直接外排;而循环水养殖则是对各个养殖单元的废水通过废水处理系统处理后,重新返回养殖单元。目前,由于缺乏对鱼类增殖站养殖废水相关水质研究,造成鱼类增殖站循环水养殖模式运行过程中的废水处理效果不佳,亟需对废水处理工艺进行改进。

### 1.2 水质监测

为了对水质估算公式进行验证,对泸定鱼类增殖站进出水水质进行了监测。悬浮物(SS)采用重量法(GB 11901-1989),使用电子天平FC 204,感量值为0.1 mg;总磷(TP)采用钼酸铵分光光度法(GB 11893-89),使用722分光光度计,检出限为0.01 mg/L;总氮(TN)采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(GB 11894-89),使用紫外可见分光光度计,检出限为0.05 mg/L。

## 2 结果与分析

### 2.1 水平衡和物料平衡

鱼类增殖站废水来源于饲养过程中带入的大量N、P元素及有机物,饲料大部分被鱼类直接摄入,用于自身营养生理需求的同化作用,然后排泄粪便,少量饲料溶解在水中;此外,还有部分残饵未能被鱼类所摄取,直接沉入水中。从图1可以看出,废水中溶解性污染物主要来源于残饵溶失物和鱼类排泄物,而悬浮物主要来源于粪便和饵料残渣,这也与杨宇峰和费修绶(2003)的研究结果相符。

收稿日期:2013-12-26

**基金项目:**西南山地生态安全型村镇社区与基础设施建设关键技术与示范(2013BAJ10B07)。

**通讯作者:**李桥,1985年生,男,博士。E-mail: chidilq@163.com

**作者简介:**郎建,1979年生,男,硕士,高级工程师,主要从事环境生物技术、废水处理技术、固体废弃物处理与资源化研究。  
E-mail: star859495@163.com

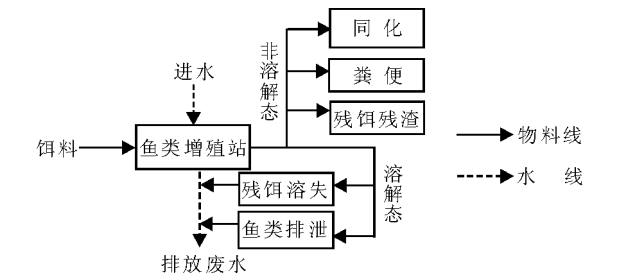


图 1 水平衡和物料平衡

Fig. 1 Diagram of water balance and mass balance

2.2 水质估算模型推导

有研究表明,进入水体的鱼类代谢产物(含残饵)占总投饵量的 80% 左右 (Growen, 1992); 据 Rosenthal & Bradburg (1995) 的报道,在 20 世纪 80 年代的欧洲网箱养鲑过程中,投入饲料中约 80% 的氮被鱼类直接摄食,而摄食的部分中仅有 25% 的氮用于鱼类生长,其余的 65% 被排泄,10% 作为粪便排出体外; Bergheim 等 (1991) 研究发现,以饲料中氮含量 100% 计,贝类、鲍鱼、鲑鳟和虾类排放到水体中的氮占总投入氮的 75%、60% ~ 75%、70% ~ 75% 和 77% ~ 94%; 刘立鹤等 (2006) 指出,饲料在溶于水 1.5 h 之后,氮磷溶失率达到最大值并保持稳定,溶失率在 13% ~ 15%。

假设鱼类增殖站在运行过程中进出的水量不变,鱼类排泄物主要为氮物质,磷元素主要由残饵溶失产生。令:进水量为  $Q$ ,饵料重量为  $W$ ,残饵产率为  $\eta_1$ ,溶失率为  $\eta_2$ ,氮排泄率为  $\eta_3$ ,粪便产率为  $\eta_4$ ,对饵料中氮和磷元素百分含量分别设定为  $\alpha$ 、 $\beta$ ,则有废水水质估算公式:

$$C_{TN} = \alpha \cdot W \cdot (\eta_1 \cdot \eta_2 + \eta_3) \cdot Q^{-1}$$
$$C_{TP} = \beta \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot W \cdot Q^{-1} \tag{1}$$
$$C_{SS} = W \cdot [\eta_1 \cdot (1 - \alpha\eta_2 - \beta\eta_2) + \eta_4] \cdot Q^{-1}$$

残饵产率  $\eta_1$  可取 0.2,残饵溶失率为  $\eta_2$  取 0.15,排泄率为  $\eta_3$  取 0.52,粪便产率为  $\eta_4$  取 0.08,代入公式(1)可得,

$$C_{TN} = 0.55\alpha \cdot W \cdot Q^{-1}$$
$$C_{TP} = 0.33\beta \cdot W \cdot Q^{-1} \tag{2}$$
$$C_{SS} = [0.2(1 - 0.15\alpha - 0.15\beta) + 0.08] W \cdot Q^{-1}$$

刘立鹤等(2006)对不同饲料成分进行分析,发现饲料中主要成分粗蛋白含率约为 40%,脂肪约为 12%,水分约为 10%,磷约为 1.5%,其余为灰分。蛋白质一般含碳 50% ~ 55%、氢 6.0% ~ 8.0%、氧 20% ~ 23%、氮 15% ~ 17%、硫 0.3% ~ 2.5%,各种蛋白质的含氮量比较恒定,平均值为 16%。取蛋白质中氮含量 16%、碳 55%,粗蛋白换算成蛋白质系

数取 6.25,近似有:

$$\alpha = 40\% \times 16\% \div 6.25 = 0.064$$
$$\beta = 1.5\% = 0.015$$

代入公式(2)得到废水水质估算公式:

$$C_{TN} = 0.01024 W \cdot Q^{-1}$$
$$C_{TP} = 0.00045 W \cdot Q^{-1} \tag{3}$$
$$C_{SS} = 0.277 W \cdot Q^{-1}$$

2.3 饲养情况

泸定水电站鱼类增殖站主要饲养齐口裂腹鱼 (*Schizothorax prenanti*) 和重口裂腹鱼 (*Schizothorax davidi*),详见表 1。

表 1 泸定鱼类增殖站裂腹鱼的饲养情况  
Tab. 1 Basic information for culture of *Schizothorax* in Luding fish breeding station

| 鱼池<br>编号 | 鱼名    | 类型    | 饲养数/<br>尾 | 尾均重/<br>g |
|----------|-------|-------|-----------|-----------|
| 亲鱼 2     | 齐口裂腹鱼 | 亲鱼    | 280       | 2 500     |
| 亲鱼 3     | 重口裂腹鱼 | 亲鱼    | 170       | 2 000     |
| 亲鱼 4     | 重口裂腹鱼 | 大规格鱼苗 | 4 000     | 60        |
| 后备 7     | 重口裂腹鱼 | 鱼苗    | 80 000    | 30        |
| 后备 9     | 重口裂腹鱼 | 大规格鱼苗 | 20 000    | 30        |
| 后备 10    | 重口裂腹鱼 | 大规格鱼苗 | 25 000    | 30        |
| 后备 11    | 重口裂腹鱼 | 大规格鱼苗 | 30 000    | 30        |
| 后备 12    | 重口裂腹鱼 | 大规格鱼苗 | 5 000     | 30        |
| 后备 15    | 齐口裂腹鱼 | 大规格鱼苗 | 35 000    | 40        |
| 后备 16    | 齐口裂腹鱼 | 大规格鱼苗 | 28 000    | 40        |
| 后备 17    | 齐口裂腹鱼 | 大规格鱼苗 | 37 000    | 40        |
| 后备 18    | 齐口裂腹鱼 | 大规格鱼苗 | 20 000    | 40        |

2.4 模型验证

根据运行方中国水电顾问集团北京勘测设计研究院提供的运行情况数据对模型进行验证。

增殖站养殖鱼类共 28 4450 尾、10 880 kg,其中亲鱼重 1 040 kg,鱼苗重 9 840 kg。每天饵料投加量约 300 kg,每天进水量 7 776 m<sup>3</sup>。由公式(3)可得:

$$C_{TN} = 0.395 \text{ mg/L}$$
$$C_{TP} = 0.017 \text{ mg/L}$$
$$C_{SS} = 10.68 \text{ mg/L}$$

对泸定鱼类增殖站进出水的水质与公式估算值进行了对比,监测结果见表 2。

表 2 水质监测结果  
Tab. 2 Monitoring results of water quality mg/L

| 监测指标    | 进水口   | 排水口   | 污染物增加量 |
|---------|-------|-------|--------|
| 悬浮物(SS) | 7.0   | 18.0  | 11.0   |
| 总磷(TP)  | 0.015 | 0.030 | 0.015  |
| 总氮(TN)  | 0.074 | 0.436 | 0.362  |

将估算值与监测数据进行对比,结果见图 2。采用 SPSS19.0 统计软件对 2 组数据进行了  $T$  检验,

结果见表3。Sig. (双侧) > 0.05, 表明2组数据之间没有显著差异; 说明鱼类增殖站废水的公式(3)估算值与实际值具有一定的吻合性, 可作为鱼类增殖站废水水质估算方法。

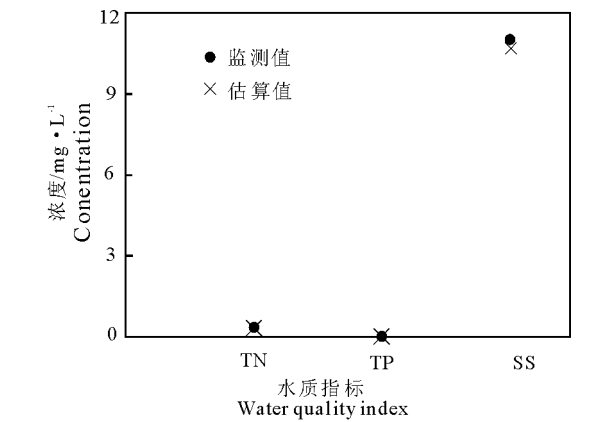


图2 估算值与监测值对比

Fig.2 Comparison of estimation values and monitoring values

表3 估算值与监测值成对样本检验

| 成对差分  |       |       |               |       | t     | df    | Sig.<br>(双侧) |
|-------|-------|-------|---------------|-------|-------|-------|--------------|
| 均值    | 标准差   | 标准误   | 95% 置信区间      |       |       |       |              |
| 0.096 | 0.195 | 0.113 | 0.389 ~ 0.580 | 0.850 | 2.000 | 0.485 |              |

3 小结

通过对鱼类增殖站养殖水平衡和物料平衡分析,提出了废水水质估算模型,并通过  $T$  检验,分析了估算模型与实际情况的差异,表明该模型可以用于鱼类增殖站废水水质估算,可以为目前鱼类增殖站设计中的养殖废水处理单元设计提供理论依据。本估算模型是首次探讨鱼类增殖站养殖废水水质特性理论的计算方法,鉴于与实际对比分析案例有限,还需进一步验证此估算模型。

参考文献

陈云华. 2012. 雅砻江锦屏大河湾水生生态环境保护研究

[J]. 水力发电, (10):5-7.

简生龙. 2012. 青海黄河上游水电站建设对鱼类资源影响及保护对策[J]. 青海农林科技, (2):44-46.

刘立鹤, 侯永清, 郑石轩, 等. 2006. 不同饲料中氮和磷溶失率的比较研究[J]. 饲料研究, (12):57-60.

刘晓兰. 2011. 汤旺河干流伊春红山水电站建设对鱼类资源的影响[J]. 环境科学与管理, (7):160-162.

牛天祥, 黄玉胜, 王欣. 2007. 黄河上游龙羊峡-青铜峡水电站建设对鱼类资源的影响预测及保护对策[J]. 陕西师范大学学报:自然科学版, (S1):56-61.

申景芳, 潘轶敏, 黄玉芳, 等. 2009. 河口水电站对鱼类资源的影响及保护措施研究[J]. 人民黄河, (8):50-52.

汤优敏, 王蕾, 蒋波, 等. 2012. 江边水电站环境保护措施[J]. 水力发电, (6):5-7.

王刚, 张鹏, 李名川. 2012. 锦屏、官地水电站鱼类增殖站建设工程项目[J]. 项目管理技术, (4):26-28.

王锐, 李嘉. 2010. 引水式水电站减水河段的水温、流速及水深变化对鱼类产卵的影响分析[J]. 四川水力发电, (2):76-79.

熊顺锋, 陈连军, 汪泽斌. 2012. 潘口水电站鱼类增殖放流站设计研究[J]. 人民长江, (16):100-102.

杨宇峰, 费修缙. 2003. 大型海藻对富营养化海水养殖区生物修复的研究与展望[J]. 青岛海洋大学学报:自然科学版, (1):53-57.

阴鹤剑, 任军安, 郑亚江. 2012. 观音峡水电站蓄水大坝对鱼类和其它野生动物的影响及对策[J]. 北京农业, (24):77-79.

张家福, 黄汉禹, 郑国权. 2010. 滙江梯级水电站开发对鱼类的影响及对策[J]. 广东水利水电, (2):12-14.

Bergheim A, Tyvold T, Seymour E A. 1991. Effluent loading sand sludge removal from land based salmon farming tanks [M]. Special Publication: 14-27.

Grown R J. 1992. Aquaculture and environment [M]. Ghent: European Aquaculture Society Special Publication.

Rosenthal H, Bradburg N B. 1995. International aquaculture: trends and perspective [M]. Ghent (Belgium): European Aquaculture Society Special Publication.

(责任编辑 万月华)

Estimation Model of Aquaculture Wastewater Quality for Fish  
Breeding Station in Hydropower Station

LANG Jian<sup>1</sup>, LI Qiao<sup>2</sup>

(1. Hydro China Chengdu Engineering Corporation, Chengdu 610072, P. R. China;  
2. Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University,  
Chongqing 400030, P. R. China)

**Abstract:** An aquaculture wastewater quality model, based on the analysis of the mass balance and water balance of the fish breeding station, was developed as an evaluative tool to estimate the water quality of fish breeding stations. The estimation formulas of total nitrogen(TN), total phosphorous(TP) and suspended solids(SS) with the bait weight(W) and the water inflow(Q) were shown as follows:  $C_{TN}=0.01024W \cdot Q^{-1}$ ,  $C_{TP}=0.00045W \cdot Q^{-1}$ ,  $C_{SS}=0.277W \cdot Q^{-1}$ , and the estimation values of TN, TP and SS in the wastewater of Luding fish breeding station were  $C_{TN}=0.395\text{ mg/L}$ ,  $C_{TP}=0.017\text{ mg/L}$ ,  $C_{SS}=10.68\text{ mg/L}$ , respectively, which agree well with the monitoring results (Sig. >0.05), indicating that there were no significant difference between the estimation values and monitoring values. Therefore, the model was an effective estimation tool of aquaculture wastewater quality for fish breeding stations

**Key words:** hydropower station; fish breeding station; estimation model; aquaculture wastewater