

原型观测法在确定九龙滩水库污染物降解系数中的应用

刘中峰^{1,2}, 曹玲玲³, 冯镜洁⁴

(1. 广东省水利水电科学研究院, 广东 广州 510635; 2. 广东省水动力学应用研究重点实验室, 广东 广州 510635; 3. 铜梁县水务局, 重庆 铜梁 402560; 4. 四川大学水力学与山区河流开发保护国家重点实验室, 四川 成都 610065)

摘要: 为了确定水体的降解能力, 进行九龙滩电站库区枯水期水质原型观测, 结合水质采样和室内试验计算得到库区特定断面的 BOD_5 、 COD_{Cr} 、 NH_3-N 等水质因子的浓度分布, 并采用 3 种断面特征浓度值计算各水质因子的沿程降解系数。计算结果表明: 按断面中垂线水面浓度值和断面浓度均值计算的平均降解系数比较接近, 而按水面浓度均值计算的结果偏差较大; 当采用原型观测法确定类似沿程无支流及排污口汇入的低坝径流式电站库区水体的降解系数且观测断面较多时, 为提高工作效率, 在先行验证的基础上, 可以仅采集断面中垂线水面处的水样进行分析与计算。

关键词: 水质因子; 降解系数; 断面特征浓度值; 原型观测; 九龙滩电站

中图分类号: TV697.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7647(2014)02-0068-03

Determination of degradation coefficients of pollutants in Jiulongtan Reservoir using prototype observation//LIU Zhongfeng^{1,2}, CAO Lingling³, FENG Jingjie⁴ (1. Guangdong Research Institute of Water Resources and Hydropower, Guangzhou 510635, China; 2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Hydrodynamics Research, Guangzhou 510635, China; 3. Water Affair Bureau of Tongliang Country, Tongliang 402560, China; 4. State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: In order to determine the degradation coefficients of pollutants, field observation of water quality in the Jiulongtan Reservoir was conducted during a low water period; the concentration distributions of main water quality factors, such as BOD_5 , COD_{Cr} , and NH_3-N , in specific sections were obtained through water quality sampling and laboratory experiments; and the longitudinal degradation coefficients of water quality factors in the Jiulongtan Reservoir were calculated using three cross-sectional characteristic concentration values. The results show that the degradation coefficients calculated by the perpendicular bisector surface concentration and section-averaged concentration are close, while the one calculated by the surface-averaged concentration presents a larger deviation, which is considered to be the result of combined influence and interaction of various complicated factors. When prototype observation is used to determine the degradation coefficients of pollutants in reservoirs of low-dam and run-of-river hydropower stations without branches or sewage inlets and there is a large number of monitoring sections, in order to improve the work efficiency, it is feasible to obtain the degradation coefficients only from the water samples at the perpendicular bisector surface of cross-sections based on verification in advance.

Key words: water quality factor; degradation coefficient; cross-sectional characteristic concentration value; prototype observation; Jiulongtan Hydropower Station

为达到防洪、减淤、供水、发电等目的, 世界各地在河道上修建了大量低坝径流式电站。这些工程在带来巨大的经济、社会效益的同时, 也不可避免地会对河流水质产生一定的影响^[1]。与天然河道相比, 水库水深增大, 河道变宽, 流速减小, 水体自净能力下降, 水环境条件发生改变。因此, 通过科学手段确定低坝径流式电站库区内污染物降解系数、建立库区水体水质模型具有重大的理论和实际意义。

目前, 国内外确定污染物降解系数的方法主要

有 3 种, 即实验室估值法、分析借用法和原型观测法。实验室估值法是在实验室 20℃ 恒温下测得降解时间与相应污染物浓度 (本文所称浓度均指质量浓度) 进而推求降解系数, 由于与原型条件不同, 在实验室求得的降解系数一般偏小, 需要进行修正^[2-3]。分析借用法是指当目标水域没有实测资料推求降解系数时, 可借用与其条件相似水体的降解系数 (必要时做适当修正) 来处理目标水域水质的相关问题, 刘中峰等^[4]即采用这种方法确定降解系

数并对建立的大型水库三维水质模型进行了验证。原型观测法是指选取适当河段,测定不同断面各污染物浓度值,并获取流速、地形、水温等有关资料,然后利用合适的计算方法推求降解系数^[5]。

可以看出,不论是实验室估值法还是分析借用法,都需要有足够的原型观测资料对降解系数进行修正。鉴于国内对低坝径流式电站库区水质原型观测开展较少,本文以位于四川省金堂县境内沱江干流上的九龙滩电站为例,在枯水期开展库区水质原型观测,按照有关规范进行水质采样和室内浓度观测试验,并根据测定的浓度结果计算库区各污染物的降解系数。

1 电站概况

九龙滩电站位于沱江上游,控制集雨面积 6 624 km²。沱江上游称绵远河,发源于茶坪山南麓,在金堂赵镇与青白江、昆河汇合后称沱江。沱江在赵镇下游 10 km 处的金龙船进入龙泉山脉,河道呈峡谷型,峡谷长约 11 km,出峡口即为九龙滩电站。九龙滩电站水库为日调节型水库,枯水期平均流量为 58.0 m³/s。水库正常蓄水位 437 m,总库容 1 850 万 m³,回水长度约 14 km,库区水面面积约 2.95 km²,坝前水深约 16.2 m。经调查,该库区河道较顺直,且沿程无支流及排污口汇入,污染物在各断面混合相对比较均匀,是比较理想的水质原型观测对象。

2 观测试验

2.1 原型观测方案

根据 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》^[6]中的主要控制项目,选择 BOD₅、COD_{Cr}、NH₃-N、TP 和 TN 为主要水质因子,于 2010 年 1 月 20—22 日在九龙滩电站库区进行水样采集,每天采样 1 次。

结合九龙滩电站库区实际情况,按照文献^[7]中有关的技术要求,在库区内设置 4 个采样断面,断面布置如图 1 所示,经实地测量得到的各断面基本参数见表 1。由表 1 可以看出,采样断面水面宽度均大于 100 m,深泓点平均深度大于 10 m,按照有关规范要求,在每个采样断面布设左、中、右 3 条采样垂线,在中垂线上布置 3 个采样点,左、右垂线各布置 1 个采样点,断面采样点布置如图 2 所示。为进行平行试验,对每个水质因子均采集 2 个水样,这样每个采样断面就共有 2×5=10 个水样。水样采集以后,在现场进行固定处理并及时送到实验室进行浓度测定。采样的同时,利用浮标法对流速进行同步测定,上游至下游 4 个断面平均流速的 3 日均值分别为 0.075 m/s、0.060 m/s、0.042 m/s 和 0.041 m/s。

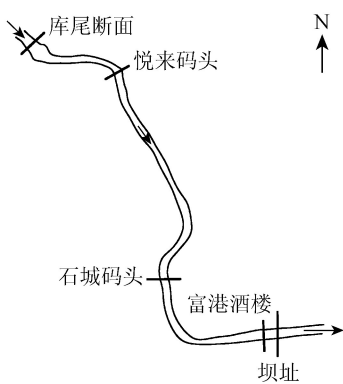


图 1 采样断面布置示意图

表 1 采样断面基本参数

断 面	距坝里程/km	水面宽度/m	深泓点深度/m
库尾断面	12.9	210	5.0
悦来码头	10.4	155	10.0
石城码头	4.2	175	13.0
富港酒楼	0.5	310	16.0

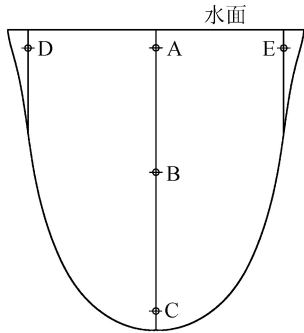


图 2 断面采样点布置示意图

2.2 浓度测定方法

按照文献^[7]的有关技术要求,对各水质因子浓度进行测定。BOD₅ 浓度测定采用稀释接种法,其中当日和 5 日 DO 浓度都采用便携式溶解氧仪进行测量;COD_{Cr} 浓度测定采用重铬酸钾法,严格按照试验操作规范并对每个水样至少进行 3 组平行试验,以提高测定结果的可靠性;NH₃-N 浓度测定采用纳氏试剂光度法;TP 浓度测定采用钼锑抗分光光度法;TN 浓度测定采用过硫酸钾氧化、紫外分光光度法。

3 降解系数计算与分析

根据浓度的测定结果,可由式(1)^[8]计算各水质因子的沿程降解系数:

$$K = \frac{u}{\Delta x} \ln \frac{C_A}{C_B} \tag{1}$$

式中:K 为水质因子的沿程降解系数;u 为流速,计算中采用相邻两断面平均流速的算术平均值;Δx 为相邻两断面的间距;C_A、C_B 分别为相邻上、下游断面相应水质因子的特征浓度值。

为提高计算结果的可靠性,同时为有效提高后

续水质原型观测的工作效率,分别采用水质因子的中垂线水面浓度、水面浓度均值和断面浓度均值这3种断面特征浓度值计算其沿程降解系数。下面以九龙滩电站库区枯水期 NH₃-N 为例分别说明。

a. 采用中垂线水面浓度进行计算。以采样断面中垂线水面处(图2中A点)水样的浓度测定结果作为该断面的浓度,由式(1)计算的 NH₃-N 降解系数见表2。由表2可以看出,个别降解系数的计算结果为零,考虑到沿程无排污口,分析可能是水样采集的随机性或测定误差所致。由3日均值计算得到的平均降解系数为0.062/d。

b. 采用水面浓度均值进行计算。水面浓度均值由采样断面左、中、右3条垂线水面处(图2中D、A、E点)水样的浓度测定结果按照流速加权平均计算得到,以该值按式(1)计算的 NH₃-N 降解系数见表3,由3日均值按水面浓度均值计算得到的平均降解系数为0.087/d。

c. 采用断面浓度均值进行计算。断面浓度均值由采样断面所有水样的浓度测定结果按照流速加权平均计算得到,以该值按式(1)计算的 NH₃-N 降解系数见表4,由3日均值计算得到的平均降解系

数为0.067/d。

由表2~4的计算结果可以看出,按断面中垂线水面浓度和断面浓度均值计算得到的九龙滩电站库区枯水期 NH₃-N 平均降解系数分别为0.062/d和0.067/d,二者比较接近,而按水面浓度均值计算得到的平均降解系数为0.087/d,偏差较大,其他水质因子平均降解系数的计算结果也显示类似的规律(表5)。影响水质因子降解的因素众多,如流速、水温、水动力条件等,按断面中垂线水面浓度和断面浓度均值计算得到的平均降解系数较为接近,而按水面浓度均值计算得到的结果则偏差较大,分析认为这是各种复杂因素综合影响、作用的结果。与目前国内相关研究比较发现,按上述方法确定的降解系数具有一定的代表性和合理性,可以为有关研究提供参考和依据。

当采用原型观测法确定类似的沿程无支流及排污口汇入的低坝径流式电站库区水体的水质因子降解系数且观测断面较多时,为减少原型观测的工作量,可先选取2~3个断面,按本文方法采用3种断面特征浓度值计算沿程降解系数,如计算结果与本文所述规律一致,则可仅采集断面中垂线水面处的水样进行分析计算。

表2 采用中垂线水面浓度计算的 NH₃-N 降解系数

断 面	中垂线水面浓度/(mg·L ⁻¹)				降解系数/d ⁻¹			
	20 日	21 日	22 日	3 日均值	20 日	21 日	22 日	3 日均值
库尾断面	0.71	0.71	0.91	0.78				
悦来码头	0.67	0.70	0.88	0.75	0.120	0.029	0.070	0.073
石城码头	0.54	0.65	0.80	0.66	0.126	0.043	0.056	0.075
富港酒楼	0.54	0.60	0.77	0.64	0.000	0.077	0.037	0.038

表3 采用水面浓度均值计算的 NH₃-N 降解系数

断 面	水面浓度均值/(mg·L ⁻¹)				降解系数/d ⁻¹			
	20 日	21 日	22 日	3 日均值	20 日	21 日	22 日	3 日均值
库尾断面	0.70	0.80	0.92	0.81				
悦来码头	0.63	0.77	0.90	0.77	0.218	0.079	0.046	0.114
石城码头	0.56	0.63	0.79	0.66	0.069	0.117	0.076	0.087
富港酒楼	0.55	0.59	0.71	0.62	0.017	0.063	0.102	0.061

表4 采用断面浓度均值计算的 NH₃-N 降解系数

断 面	断面浓度均值/(mg·L ⁻¹)				降解系数/d ⁻¹			
	20 日	21 日	22 日	3 日均值	20 日	21 日	22 日	3 日均值
库尾断面	0.70	0.74	0.90	0.78				
悦来码头	0.65	0.71	0.88	0.75	0.154	0.086	0.047	0.096
石城码头	0.55	0.61	0.82	0.66	0.098	0.061	0.041	0.067
富港酒楼	0.54	0.61	0.78	0.64	0.018	0.046	0.048	0.037

表5 九龙滩电站库区枯水期各水质因子的平均降解系数计算结果

特征浓度值	BOD ₅	COD _{Cr}	NH ₃ -N	TP	TN
中垂线水面浓度	0.0825	0.1027	0.062	0.0414	0.0619
水面浓度均值	0.1081	0.0785	0.087	0.0324	0.0115
断面浓度均值	0.0825	0.1221	0.067	0.0430	0.0665

(下转第75页)

[24] STRUPCZEWSKI W G, SINGH V P, MITOSEK H T. Non-stationary approach to at-site flood frequency modelling III: flood analysis of Polish rivers [J]. Journal of Hydrology, 2001, 248: 152-167.

[25] CUNDERLIK J M, BURN D H. Non-stationary pooled flood frequency analysis [J]. Journal of Hydrology, 2003, 276: 210-223.

[26] SINGH V P, WANG S X, ZHANG L. Frequency analysis of nonidentically distributed hydrologic flood data [J]. Journal of Hydrology, 2005, 307: 175-195.

[27] RENARD B, GARRETA V, LANG M. An application of Bayesian analysis and Markov chain Monte Carlo methods to the estimation of a regional trend in annual maxima [J]. Water Resources Research, 2006, 42: W12422 (doi: 10.1029/2005WR004591).

[28] NAGESH K D, MAITY R. Bayesian dynamic modeling for nonstationary hydroclimatic time series forecasting along with uncertainty quantification [J]. Hydrol Process, 2008, 22: 3488-3499.

[29] OUARDA T B M J, EL-ADLOUNI S. Bayesian nonstationary frequency analysis of hydrological variables [J]. Journal of the American Water Resources Association,

[30] STRUTHERS I. AND SIVAPALAN M. A conceptual investigation of process controls upon flood frequency: role of thresholds [J]. Hydrol Earth Syst Sci, 2007, 11: 1405-1416.

[31] LECLERC M, OUARDA T. Non-stationary regional flood frequency analysis at ungauged sites [J]. Journal of Hydrology, 2007, 343(3/4): 254-265.

[32] VILLARINI G, SMITH J A, SERINALDI F, et al. Flood frequency analysis for nonstationary annual peak records in an urban drainage basin [J]. Advances in Water Resources, 2009, 32: 1255-1266.

[33] 许月萍, 汤有光, 王锐琛. 尺度模型在水文频率分析中的应用 [J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2009, 48(6): 127-131. (XU Yueping, TANG Youguang, WANG Ruichen. Application of scale model in hydrological frequency analysis [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2009, 48(6): 127-131. (in Chinese))

[34] RAJE D, MUJUMDAR P P. Reservoir performance under uncertainty in hydrologic impacts of climate change [J]. Advances in Water Resources, 2010, 33: 312-326.

(收稿日期: 2013-03-21 编辑: 熊水斌)

(上接第 70 页)

4 结论与展望

a. 在九龙滩电站库区枯水期进行水质原型观测, 结合水质采样和室内试验测得库区特定断面各水质因子的特征浓度值。

b. 采用 3 种断面特征浓度值计算各水质因子的沿程降解系数, 按断面中垂线水面浓度值和断面浓度均值计算的平均降解系数比较接近, 而按水面浓度均值计算的结果偏差较大, 分析认为这是各种复杂因素综合影响、作用的结果。

c. 当采用原型观测法确定类似的沿程无支流及排污口汇入的低坝径流式电站库区水体的降解系数且观测断面较多时, 为提高工作效率, 在先行验证的基础上, 可以仅采集断面中垂线水面处的水样进行分析与计算。

d. 目前关于低坝径流式电站库区水质原型观测的资料较少, 本文计算得到的九龙滩电站库区水质因子降解系数尚未与其他类似水库进行对比分析。综合考虑不同水库的特点从而确定水质因子沿程降解系数的合理取值仍需进一步研究和探索。

参考文献:

[1] 李建坤. 日调节水电站对区域水资源和水环境影响分析

[J]. 湖南水利水电, 2005, 50(1): 38-39. (LI Jiankun. Analysis on effects from daily regulating hydro plant to regional water resources and aquatic environment [J]. Hunan Hydro & Power, 2005, 50(1): 38-39. (in Chinese))

[2] 朱党生, 周奕梅, 邹家祥, 等. 水利水电工程环境影响评价 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006.

[3] WRIGHT R M, MCDONELL A J. In-stream deoxygenation rate prediction [J]. Journal of Environmental Engineering Division, 1979, 105(2): 323-335.

[4] 刘中峰, 李然. 大型水库三维水质模型研究 [J]. 水利水电科技进展, 2010, 30(2): 5-9. (LIU Zhongfeng, LI Ran. Three-dimensional model of water quality for large reservoir [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2010, 30(2): 5-9. (in Chinese))

[5] 陈轶. 九龙江流域漳州河段污染物降解系数测算研究 [J]. 化学工程与装备, 2011, 40(11): 215-218. (CHEN Yi. Study on the degradation coefficient of pollutants in Zhangzhou River of Jiulonghe Basin [J]. Chemical Engineering & Equipment, 2011, 40(11): 215-218. (in Chinese))

[6] GB3838—2002 地表水环境质量标准 [S].

[7] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.

[8] 徐孝平. 环境水力学 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.

(收稿日期: 2013-03-05 编辑: 周红梅)