

对河道生态需水与水电开发的认识和思考

张振师

(中国水电顾问集团西北勘测设计研究院 中国 西安 710065)

摘要 :为保护河流生态环境 ,科学、合理地开发水电资源 ,通过对国内外生态需水研究的回顾及其概念的探析 ,揭示河道内生态缺水的实质是因河流流量和流态的变化导致栖息地减少或丧失 ,使得鱼类等水生生物不能顺利完成其生命周期、河流生物多样性减少、生态系统遭到破坏。认为对河道生态需水的科学理解是 :满足鱼类和水生生物正常繁衍的水量及其分配过程与天然河流流态相似。提出从加强基础研究、保护支流水系的天然流态、科学规划和梯级联合调度等方面保护河流生态环境 ,协调水电开发与鱼类保护的关系。

关键词 水电开发 ;生态需水 ;河道 ;鱼类

中图分类号 :X143 ;TV742

文献标识码 :A

文章编号 :1006-764X(2010)S1-0001-04

水是生命之源 ,没有水就没有生命 ,也就没有生态系统的存在。然而 ,随着人类社会跨入 20 世纪。特别是进入工业化时代以来 ,人类在享受自己创造的辉煌文明的同时也在一次次地遭受着大自然的无情报复 ,这是用“人类中心主义”思想架构起来的科技文明“异化”的必然结果。水电资源开发利用过程也不例外。尽管水电站建成后带给人类的是源源不断的“清洁能源” ,然而在其建设和运行过程中都可能导致河段出现不同程度的脱(减)水现象 ,这将给河流生态系统的生命健康和稳定性带来显著的不利影响 ,而且这种影响具有潜在性、累积性和不可逆性。如何在遵循自然规律、保护生态系统稳定的基础上有序开发水电资源 ,保护和维持河流生态系统的健康、稳定和可持续性 ,将是规划决策部门、水资源管理机构、环境保护部门和环保工作者必须面对和亟待解决的问题。为此 ,国外有关组织和研究者进行了一些长期的观测和跟踪调查 ,取得了一定的有益成果。我国一些研究者也进行过一定的探索 ,但大都局限在宏观领域 ,或者是对国外研究成果的照搬 ,缺乏针对性 ,对实践的指导作用不强。

生态环境需水量的研究始于 20 世纪 40 年代 ,美国渔业和野生动物保护组织为避免河流生态系统退化 ,规定需保持河流最小的生态流量 ,这是关于生态环境需水流量最早的概念^[1]。到 80 年代 ,美、英、法等国先后提出了各自的生态环境需水流量计算方

法和标准。美国 Tennant^[2]于 1976 年提出了计算河道内生态用水的 Tennant 法 ,根据鱼类生活史中不同阶段用年平均流量的百分比来描述鱼类所需的不同质量的生存环境。英国相继提出了 Q_{95} 法^[3] ,即 95% 以上时间出现的流量。法国颁布了《法国 1984 年淡水捕鱼法》^[4] ,要求河流支流部分保留的流量必须不低于现有计划中平均流量的四十分之一、不低于新计划中平均流量的十分之一 ,河流最低环境流量不应小于多年平均流量的十分之一 ,对于所有河流或者部分河流 ,如果其多年平均流量大于 $80 \text{ m}^3/\text{s}$,政府可以给每条河制定法规 ,但最低流量的下限不得低于多年平均流量的二十分之一。Angle 等^[5]提出 :“新的方法应当以天然水流流态为基础 ,把它作为维持河流特征形态所需的环境条件的指南”。尽管涉及河流生态水流这一领域较晚 ,南非和澳大利亚的河流学家却后来居上 ,走在了美国本土的河流学家的前面^[6]。

与此同时 ,我国在 90 年代也开始了生态用水的研究工作 ,主要集中在以下几个方面 :流域生态需水^[7-14]、植被生态用水^[15-19]、河道生态需水量^[20-23]等。而在流域梯级水电站开发过程中 ,围绕河道生态需水开展的研究工作很少 ,雅砻江锦屏二级水电站减水河段生态需水量研究^[24]、黄河大河家水电站生态需水专题^[25]等研究为水电站建设、运行确定合理的生态需水量进行了有意的探索。但就具体的计

算方法仍在套用国外有关规定和研究结论,没能与我国各地的实际情况紧密结合。同时,在概念上国内外还没有一个统一的认识,给研究工作和实际应用带来不便。因此,很有必要统一认识。

1 概念的探析

目前,关于这一领域的概念主要有生态用水、生态需水、环境用水、环境需水、生态环境用水、生态环境需水等,暂且称生态需水。不难看出,其区别主要在于“生态”与“环境”、“需水”与“用水”之间的差异。

1.1 生态与环境

生态即生态系统的简称。广义上的生态系统是指由生物及其非生物环境构成的有机整体。通常所指的生态是指对狭义生态系统的简称,即生态系统中的生物组分。一般意义上的环境是指生态系统中的非生物成分。也就是说,广义上的生态本身就包含着环境的概念。

在环境科学里,环境是相对某一中心事物而言的,中心事物以外的一切总称环境。在“自然中心主义”中,生态与环境是高度统一的,而在“人类中心主义”中则把人类作为高于自然界的存在,人以外的其他事物都称为环境。

《中华人民共和国环境保护法》所称环境,是指“影响人类生存和发展的各种天然的和经过人工改造的自然因素的总体,包括大气、水、海洋、土地、矿藏、森林、草原、野生生物、自然遗迹、人文遗迹、自然保护区、风景名胜区、城市和乡村等。”尽管这一概念带有鲜明的“人类中心主义”色彩和生态伦理偏见,与当下“以人为本”构建和谐社会的背景有着千丝万缕的联系,但其包含了除人以外的各种生物和非生物组分。

综上所述,对于这个领域的学术研究而言,广义上的“生态”概念要比“环境”更经得起推敲,这与《水电水利建设项目河道生态用水、低温水和过鱼设施环境影响评价技术指南(试行)》中的概念一致。因此,称之为“生态”更为严谨。

1.2 用水量与需水量

用水量是指在现有的条件下,生态系统中的生物成分为进行或完成某些生命活动过程实际消耗的水量,强调是最终的结果,但这个量却不一定能够满足其正常生命过程的需要。如果这个需要长期得不到满足,将可能产生2种截然相反的结果:要么主动适应环境胁迫,像长期生长在沙漠中的耐旱植物一样,为了适应干旱的环境条件,它的某些器官通过变态而使整个植株存活下来,对维持和调节区域小气候起着重要的作用,但这是一个漫长的演化过程,要

么被动受害,其个体生命活动因得不到所需水分而逐渐衰亡,最终导致种群衰弱,群落退化,生态失调。

需水量指根据生物有机体生理特性和生态习性,保证其顺利完成生命过程中每个阶段所需要的水量,强调的是每个过程是否满足了其生理、生态需求。然而,问题的焦点是,由于人为过度的干预,往往使得这一水量需求处于亏缺状态。

从经济社会可持续发展和保护生态系统健康的层面出发,称需水量更为贴切。

通过上述分析,可以将有关这一领域的诸概念统一到“生态需水”上来,以便于研究和运用。

2 河道生态缺水的分析判断

2.1 河段脱(减)水的分析判别

一个梯级水电站的开发建设是否会导致河段脱(减)水问题,不仅与其水能开发方式有关,还与水电站建成后的运行方式有关。水能开发方式按集中落差,可分为坝式、引水式和混合式^[26]。这3种开发方式也反映了水电站厂房位置和拦河坝在河道间的距离关系。不难看出,坝式水电站厂房与拦河坝之间距离很短,引水式和混合式水电站厂房与拦河坝之间河道具有一定的距离。水电站建设过程中施工截留、围堰蓄水、水库初期蓄水期间将造成下游河道脱(减)水,但持续时间有限,不会造成大的生态问题,关键在于电站建成运行后是否长期存在河道脱(减)现象,对河流生态系统健康产生潜在的不利影响。

在正常运行工况下,引水式水电站和混合式水电站坝下至厂房河段必将产生脱(减)水现象,而坝式水电站一般不会造成河段脱(减)水,尽管坝后式水电站大坝到厂房之间有一定距离,但厂房尾水通常可以回到坝下,也不会出现脱(减)水河段。在非正常工况下,机组检修或系统调度机组停机不发电时,对于径流式电站,只要上游来水有保证,库内水体将会从坝体泄水设施向坝下泄,保障下游河道水体的连续性;对于调节性能好的水电站,即使上游来水有保障,但由于水库调节库容的作用,在一定时段内可能不向坝下泄水或泄水量很小,造成下游河段脱(减)水。

2.2 河流生态系统缺水的判断

按照生态系统的定义,河流生态系统是由河流和依赖河流而存在的生物成分构成的有机整体。按存在的空间可以把河流生态系统中的生物成分分为河道内和河道外两大类,河道内组分以鱼类和其他水生生物为主,河道外则以人的需求和植被生存为主,由此把生态需水分为河道内生态需水和河道外生态需水。本文重点分析河道内生态需水。

在河道内,鱼类作为河流生态系统的顶级群落,从生态系统能量传递规律来推断,只要满足顶级群落正常繁衍的生境条件,那么作为水生生物链中的低等水生生物就能够正常生存,因此将鱼类作为道内生态需水的指示生物^[27]。那么,河流流量处于何种状态就可以认为鱼类生态缺水?用那些指标加以判断?如何判断?首先需要弄清河流流量变化以后,影响鱼类生存的栖息环境将会发生那些变化,通过描述和表征栖息地环境间接反映水量。鱼类栖息地是指在鱼类整个生命周期内,能够为其产卵繁殖、育幼、生长发育活动等生命过程直接或间接地提供饵料、避难所、洄游路线等的场所^[28]。

只要是由于河流流态的变化导致栖息地减少或丧失而使得鱼类不能顺利完成其生命周期内的重要环节,使河流生物多样性减少,使原本健康的河流生态系统受到破坏即视为河道内生态缺水。当然,这里不考虑水体污染的影响。

3 对河道生态需水量的科学理解

保持河流的天然流态比人为的给河流一个固定的流量可能更重要。天然河流流态受制于气候气象自然节律的变化,鱼类和其他水生生物能够正常生存和繁衍正是对这种变化的适应,在漫长的进化过程中其生态习性逐渐被固定下来,比如洄游性鱼类的洄游习性已经成为其特有的性状遗传下来。

河流生态需水量应该是一个动态的变量,而不应该是目前所说的多年平均流量的某个百分比的概念。以多年平均流量作为评价的基准导致的严重后果是,水流流态的均势化使枯水期河流流量较天然状态偏高,丰水期则相反,这可能与鱼类和其他水生生物完成其生命周期中正常活动所需要的河流流态恰恰相反。那么,一个与天然河流流态相反的生态需水量对保护河流生物多样性和生态系统健康会起到什么样的作用是可想而知的。

因此,河流生态需水量评价的基准至少应该是多年平均月平均流量。河流生态需水至少应该具备2个最基本的特点:满足鱼类和水生生物正常繁衍的水量和这个水量的分配过程与天然河流流态相似。

对一具体鱼类而言,其产卵特性一般来说是特定的,例如产粘性卵鱼类,如粘着在岸边或水生植物上,产卵期须有一定持续时间相对稳定的水位,确保粘着的卵孵化、幼稚成活。这样就出现了一个复杂的问题:水电站在设计过程中必须考虑各种鱼类在其生命周期的不同阶段对水量的要求,设计一个自动控制系统进行调节。当然,这会对水电站的运行带来极大的不便,但各方都应本着辨证的态度看待

这个问题。

4 建议与思路

4.1 加强基础研究,为生态需水量的确定提供理论依据

2006年初,国家环保总局制定了《水电水利建设项目河道生态用水、低温水和过鱼设施环境影响评价技术指南(试行)》,其中推荐了一些确定生态需水量的方法,对环境影响评价工作来说无疑是一大发展和进步,但客观讲,这些方法几乎是照搬国外的方法或规定,没有和我国的具体国情相结合。一个国家对环境质量标准的制定和要求与该国的经济发展水平和社会文化进步密切相关。因此,国家应该加大基础科学研究,鼓励水电开发企业、行业、部门开展有关“水电建设对鱼类影响和保护对策措施”方面的研究,组成由政府决策机构、科研院所、政策法规的研究和制定机构、设计单位、行业主管部门、业主、社会团体、公众代表等多方参与的综合性课题组,共同攻克这个困扰水电开发的难题。对于我国而言,确定水电开发中河道生态需水量不能直接套用国外的方法或法规要求,而应立足于开发河段或区域(流域)内鱼类区系组成、群落历史动态的追溯、现状调查和监测的基础上,进一步开展对保护种类的生物学特性及生态学习性的长期观测和试验研究。由于水量的减少不仅影响与之相关的流速、水深、水面面积等因素,而且间接影响水体水温、饵料的丰富度、水中溶解氧的含量等栖息地指标,因此研究的重点应集中在鱼类与水量、水温、流速、水深、水面面积、流程、饵料和营养物质、溶解氧、河床形态(浅滩或深潭)等要素之间的关系上。这样,生态需水量的确定才更科学、合理。

4.2 保护支流河道的天然状态是水电开发中鱼类保护的终极途径

生物对其生境的适应性、生态因子对生物体的影响往往表现为一定的范围即生态幅。比如温度的“三基点”现象。那么,在多年的水电开发过程中,随着流域、地区乃至全球环境特别是气候的变化,鱼类的生态学习性是否随之形成新的适应性?类似的现象,在植物界当中非常普遍。例如,大多数生长在干旱和沙漠地区的植物某些器官的变态现象就是对环境胁迫的适应。当然,这是一个漫长的演化过程。存在这样的现象对生物多样性保护来说是有积极意义的,如果人为不去干扰和破坏,至少不会灭绝。对于鱼类来说,如果现有栖息地受到外界干扰或遭到彻底破坏,某些种类能够主动寻找那些未被占用的存在生态位作为新的生境而生存下来。比如,丹江

口水利枢纽兴建后在汉江上游支流还形成了一批新的产卵场^[29];葛洲坝截流后,长江中华鲟则在葛洲坝下游约 7 km 的主河道内觅得了唯一的新产卵场^[30]。从某种意义上来说,这是对环境的主动适应,而不同于植物的被动适应。但前提是存在天然状态的河流水系(特别是支流),且能满足鱼类产卵繁殖的生境。

大江大河梯级水电站建成后应对河流流态进行回顾性调查,探寻鱼类资源的减少与河流流态改变之间的内在联系。目前,由于拦水坝的建设,真正的洄游性鱼类几乎不存在了,大多数只能称得上是半洄游性鱼类,只要在流域规划中保留一定的天然河段或支流作为鱼类的天然栖息地,这些鱼类是可以完成其正常的生活史的,江河上建坝后在其支流出出现新的产卵场正好说明了这一点。为减轻水电工程建设及运行对鱼类资源的影响,人工增殖放流成为当下流行的保护措施。但是,可供放流的天然河流及其支流所剩无几,且逐日减少,被改变了的天然河流已经失去了为珍稀濒危物种提供栖息地的特性,增殖放流无异于“人工养鱼”。因此,从我国水电开发的现状看,保护支流的天然状态是水电开发中鱼类保护的终极途径。

4.3 流域规划与梯级调度运行应遵循自然规律

我国的大江大河水电梯级开发规划编制的时间较早,带有鲜明的历史局限性。随着规划的实施,所暴露出的生态问题越来越突出,特别是高坝、大库、龙头水库在抵御自然灾害、保护人民生命财产的同时,也在违背河流的天然流态进行调度运行,人为地将天然河流的流态均势化,这种流域梯级联合调度对河流流态的改变进而对鱼类资源的影响不亚于坝体本身的阻隔影响。因此应该用辩证的思维 and 发展的眼光重新审视现有的流域梯级开发规划的缺陷。对于河道生态需水问题来说,尽管项目环境评价在一定程度上弥补了规划的历史缺陷,对流域生态保护起到了积极的作用,但它缺乏宏观性、系统性和整体性。因此,必须从规划入手,在保护生态的基础上合理论证上下游梯级间的衔接关系,充分发挥规划环境评价的宏观性、系统性和整体性功能,用科学的发展观来指导水电的可持续发展,从根本上解决流域梯级开发中的生态保护问题。

建议国家尽快启动流域水资源综合利用规划修编和重编工作,协调各类规划之间的冲突。从生态保护的角度来看,流域梯级开发规划至少应该明确流域开发的时间、空间尺度,应该遵循相似性原理,以不改变整个河流天然流态的自然规律为目标,客观地预见规划实施后流域生态环境的演变趋势,定

期开展跟踪评价和回顾评价,验证规划的合理性。流域梯级电站调度运行应该在规划阶段统一考虑,规划实施后能够保持河流的枯水水流、中等水流和洪水与自然节律相似。一些水电枢纽工程建成后进行了人造洪峰,对河流建坝后洪水的恢复是有意义的尝试,问题在于在什么时间、多大的洪水总量及洪峰流量、什么样的洪水过程及频次等对河流生态是有利的?如何控制?效果如何验证?电站的损失由谁来承担?这些问题还有待认真研究。

参考文献:

- [1] 崔树彬. 关于生态环境需水若干问题的探讨[J]. 中国水利, 2001(8): 71-74.
- [2] TENNANT D L. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources[J]. Fisheries, 1976, 1(4): 6-10.
- [3] MEGAN D, GER B, JOHN S. 环境流量——河流的生命[M]. 张国芳等, 译. 郑州: 黄河水利出版社, 2006.
- [4] SOUCHON Y, KEITH P. Freshwater fish habitat: science, management and conservation in France[M]. Aquatic Ecosystem Health and Management, 2001, 4: 401-412.
- [5] ANGELA H, ARTHINGTON R L. Logan river trial of the building block methodology for assessing environmental flow requirements[M]. Queensland, Australia: Griffith University, 1988.
- [6] SANDRA P, BRIAN R. 河流生命——为人类和自然管理水[M]. 武会先, 等, 译. 郑州: 黄河水利出版社, 2005.
- [7] 杨志峰, 刘静玲, 松涛, 等. 流域生态需水规律[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [8] 李丽娟, 郑红星. 海滦河流域河流系统生态环境需水量计算[J]. 地理学报, 2000, 55(4): 495-500.
- [9] 王让会, 宋郁东, 樊自立. 塔里木流域“四源一干”生态需水量的估算[J]. 水土保持学报, 2001(增刊 I): 19-22.
- [10] 严登华, 何岩, 邓伟, 等. 东辽河流域河流生态系统生态需水研究[J]. 水土保持通报, 2001, 15(1): 46-49.
- [11] 王玉敏, 冯民权, 周孝德, 等. 渭河干流(陕西段)生态需水量研究[J]. 人民黄河, 2006, 28(2): 41-42.
- [12] 丰华丽, 王超, 李勇. 流域生态需水量的研究[J]. 环境科学动态, 2001(1): 27-37.
- [13] 杜晓舜, 夏自强. 流域生态需水量计算方法的研究[J]. 商丘师范学院学报, 2004, 20(2): 81-88.
- [14] 李俊峰, 樊曙光, 叶茂, 等. 玛纳斯河流域生态与环境需水研究初探[J]. 石河子大学学报: 自然科学版, 2005, 23(4): 503-509.
- [15] 王礼先. 植被生态建设与生态用水——以西北地区为例[J]. 水土保持研究, 2000, 7(3): 5-7.
- [16] 王礼先, 张志强. 生态用水与黄土高原地区植被建设[J]. 西北生态环境论坛. 北京: 中国林业出版社, 2001.

(下转第9页)

最大 Lyapunov 指数越大,混沌特征越强。

图 3 为根据小数据量法绘制的最大 Lyapunov 指数曲线。计算得到最大 Lyapunov 指数以 2 为底数时等于 1.954 7,以 e 为底数时等于 1.354 9。最大 Lyapunov 指数大于零,进一步说明月径流量时间序列是混沌的,可以对其进行混沌分析和预测。

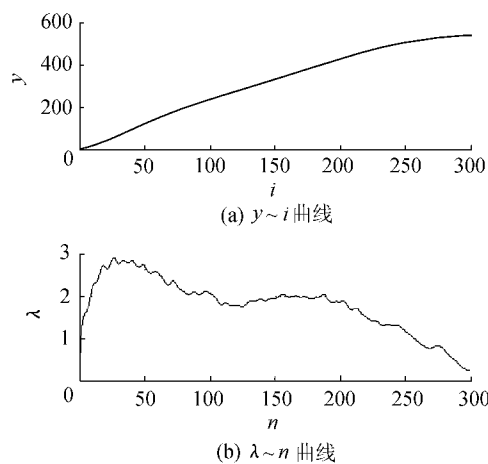


图 3 根据小数据量法绘制的最大 Lyapunov 指数曲线

2.2 Volterra 级数自适应预测

以混沌时间序列为例研究 Volterra 级数一步预测的有效性。图 4 为对混沌时间序列进行 Volterra 级数一步预测的结果。

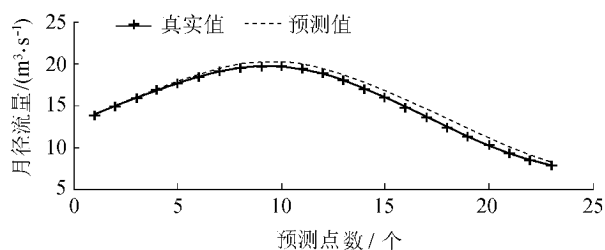


图 4 Volterra 级数一步预测结果

Volterra 级数一步预测结果的相对误差绝对值的最大值和最小值分别为 8.96% 和 0.33%,其平均相对误差为 3.92%。这说明对混沌时间序列进行 Volterra 级数一步预测效果较好,预测精度较高。在实际预测中,可用 Volterra 级数自适应预测进行泾河月径流量的一步预测。

3 结 语

采用功率谱分析法、小数据量法和 C-C 法对泾河流域 1933 年 1 月至 2000 年 12 月的月径流量进行混沌特征识别和分析,并采用 Volterra 级数展开式来构造混沌时间序列进行一步预测。结果表明:月径流量存在一定的混沌特征,其频谱曲线均未出现明显的峰值或峰连成一片的现象,并且最大 Lyapunov 指数大于零;Volterra 级数自适应一步预测的精度较高,可用于泾河月径流量的预测。

参考文献:

- [1] 黄国如,芮孝芳.流域降雨径流时间序列的混沌识别及其研究进展[J].水科学进展,2004,15(2):225-260.
- [2] 汪丽娜,陈晓宏,李粤安,等.月径流时间序列的混沌特征分析[J].生态环境,2008,17(6):36-39.
- [3] 白建东,叶德谦,李春兴.混沌时间序列的 Volterra 级数多步预测研究[J].计算机仿真,2008,25(6):274-277.
- [4] 高强,王洪礼,管火志.基于混沌时间序列的变电站设备温度预测[J].系统工程,2009,16(1):36-40.
- [5] 林汝颜.降水时间序列的混沌特征分析[J].水利水电,2007(1):39-45.
- [6] 蒋延臣,朱海宁.基于最大 Lyapunov 指数的变形预测模式研究[J].工程勘探,2009(10):50-54.
- [7] 陈关荣,汪小帆.动力系统的混沌化:理论、方法与应用[M].上海:上海交通大学出版社,2006.
- [8] 张玉梅,曲仕茹,温凯歌.基于混沌和 RBF 神经网络的短时交通流量预测[J].系统工程,2007,25(11):27-30.

(收稿日期:2009-09-29 编辑:高建群)

(上接第 4 页)

- [17] 何永涛,李文华,李贵才,等.黄土高原地区森林植被生态需水研究[J].环境科学,2004,25(3):35-39.
- [18] 汤洁,麻素挺,林年丰,等.吉林西部植被生态环境需水量供需平衡研究[J].环境科学研究,2005,18(1):5-8.
- [19] 何永涛,闵庆文,李文华.植被生态需水研究进展及展望[J].资源科学,2005,27(4):8-13.
- [20] 严军,苗卉,柴洪敏,等.永定河下游河道生态需水量[J].人民黄河,2006,28(2):51-53.
- [21] 张玫,贾新平,魏洪涛.南水北调西线一期工程调水地区河道内生态环境需水的分析与计量[J].资源科学,2005,27(4):180-184.
- [22] 徐志侠,陈敏建,董增川.基于生态系统分析的河道最小生态需水计算方法研究(Ⅰ)[J].水利水电技术,2004,35(12):15-18.
- [23] 孙涛,杨志峰.基于生态目标的河道生态环境需水量计算[J].环境科学,2005,26(5):43-48.
- [24] 王玉蓉,李嘉,李克锋,等.雅砻江锦屏二级水电站减水河段生态需水量研究[J].长江流域资源与环境,2007,16(1):81-85.
- [25] 张保定,张振师.黄河大河家水电站生态需水研究专题报告[R].西安:中国水电顾问集团西北勘测设计研究院,2006.
- [26] 田士豪,陈新元.水利水电工程概论[M].北京:中国电力出版社,2004.
- [27] PERRY J A, VANDERKLEIN E. Water quality of a natural resource[M]. Cambridge: Blackwell Science, 1996.
- [28] PAULA, PIRSA Marine Habitat Program. The Fish Habitat Handbook[M]. Adelaide: Custom Press Pty Ltd, 2001.
- [29] 余志堂,邓中眠,许蕴,等.丹江口水利枢纽兴建以后的汉江鱼类资源[M].北京:科学出版社,1981.
- [30] 四川省长江水产资源调查组.长江鲟鱼类生物学及人工繁殖研究[M].成都:四川科学技术出版社,1988.

(收稿日期:2010-04-29 编辑:方宇彤)