DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2016.03.014

大藤峡水利枢纽工程设计中的水生态优化措施

王 丽[1],朱远生[1],杨晓灵[1],梁晓华[2]

(1.珠江水资源保护科学研究所,广东 广州 510610;2.广西壮族自治区环境保护技术中心,广西 南宁 530028)

摘要:针对水利水电工程对环境的影响和大藤峡水利枢纽工程所在江段的水生生态敏感性,探讨大藤峡水利枢纽工程设计中的水生态优化措施:优化运行水位;采取保护鱼类、优化施工方案的多种水生态保护措施;实施生态调度。分析这些水生态保护措施的可行性及有效性,认为这些措施技术上可行,可有效减缓水利工程对鱼类产卵场及鱼类资源的影响。

关键词:大藤峡水利枢纽工程;水生态敏感性;水生态优化;生态调度;鱼类产卵场;鱼类资源

中图分类号:X820.3;TV61 **文献标志码**:A **文章编号**:1004-6933(2016)03-0074-05

Measures for aquatic ecological optimization in design of Datengxia Water Project

WANG Li[1], **ZHU Yuansheng**[1], **YANG Xiaoling**[1], **LIANG Xiaohua**[2]

(1. *Scientific Institute of Pearl River Water Resources Protection*, *Guangzhou* 510610, *China*

2. *Environmental Protection Technology Center of Guangxi Zhuang Autonomous Region*, *Nanning* 530028, *China*)

Abstract: With consideration of the influence of hydraulic and hydro-power projects on aquatic environments and the sensitivity of the aquatic ecosystem in the river reach of the Datengxia Water Project, measures for aquatic ecological optimization in the design of the Datengxia Water Project are discussed in this paper. These measures include optimizing the operating water level, protecting the aquatic ecosystem through fish conservation and optimization of construction schemes, and aquatic ecological operation. The feasibility and effectiveness of the measures are analyzed. The results show that the measures are technically applicable and can effectively reduce the influence of water projects on fish spawning sites and fish resources.

Key words: Datengxia Water Project; sensitivity of aquatic ecosystem; aquatic ecological optimization; ecological operation; fish spawning site; fish resources

珠江流域具有较强的水体自净能力和生态环境自我修复能力,流域总体开发利用程度约 17.9%,生境多样性条件丰富,水质良好。为切实保护珠江,大力推进流域水生态文明建设,为子孙后代留下一条健康优美的河流,水利部珠江水利委员会(以下简称珠江委)在分析珠江特点和总结多年治江实践经验的基础上,于 2005 年提出了“维护河流健康,建设绿色珠江”的治理总体目标[1-2]。建设绿色珠江,要把生态文明理念融入流域水资源开发、利用、配置、节约、保护的各方面以及水利规划、建设、管理的各环节中,在合理利用河流为人类服务的同时,更加注重水资源承载力对经济社会发展的约束,注重维护河流健康。

近年来,珠江委一直致力于将绿色珠江的理念贯彻到各项流域管理实践中,在流域控制性工程大藤峡水利枢纽的设计中充分融入生态保护理念,从生态保护的角度,对工程设计进行一系列优化,以达到保护生态环境、维护河流健康的目的。本文分析水利水电工程对环境的影响,以及大藤峡水利枢纽工程所在江段的水生生态敏感性,认为大藤峡水利枢纽工程设计中的水生态优化措施已较好地将绿色珠江建设理念贯彻到工程设计过程中。

作者简介:王丽(1974—),女,高级工程师,博士,主要从事水资源保护、水利工程环境影响评价工作。E-mail:79846493@qq.com

1 水利水电工程建设对环境的影响

水利水电工程建设对环境的影响主要体现在两个方面：①大坝阻隔对水文情势、河流泥沙、局地气候、水生生物、水体自净能力等方面的影响，其中受到较多关注的是对水文情势及水生生物的影响；②水库淹没产生的影响，主要体现在对重要生境、陆生生物的影响及移民安置带来的社会影响等[3-4]。

在水生生态影响方面，修建水利工程会改变河流的自然形态，引起局部河段水流的水深、含沙量等发生变化，进而引起河流上下游的水文、泥沙情势发生变化。而水文、泥沙的改变是影响河流生态环境变化的原动力，并将进一步影响河流的水温、水质、地质环境以及局部地区的气候。上述变化对水生生物特别是鱼类将产生较明显的影响，水深、水温的改变将导致底栖生物的种类变化，并影响鱼类的产卵环境；大坝的修建也将直接影响洄游鱼类的基因交流，改变鱼的种类等。

2 工程概况及水生态敏感性分析

2.1 大藤峡水利枢纽工程概况

大藤峡水利枢纽工程坝址位于珠江水系西江流域黔江干流大藤峡出口，距下游桂平市黔江彩虹桥6.6 km，坝址以上控制流域面积19.86万km^2，约占西江水系流域总面积的56.2%；坝址处多年平均径流量1 340亿m^3，多年平均流量4 240 m^3/s；工程正常蓄水位61.0 m，死水位47.6 m，防洪起调水位47.6 m，水库总库容34.3亿m^3，防洪库容15亿m^3；电站总装机容量1 600 MW（8台机组），多年平均年发电量61.30亿kW·h；规划航道等级为Ⅰ级，多年船闸设计通航最大船舶等级3 000 t。根据工程任务要求，大藤峡水利枢纽每年6—8月按照防洪水位47.6 m运行，4、5、9月按59.6 m运行，10月至次年3月按照正常蓄水位61.0 m运行。

大藤峡水利枢纽工程开发任务以防洪、航运、发电和水资源配置为主，结合灌溉等综合利用任务，是西江北江中下游防洪体系中不可替代的控制性工程，具有显著的航运、压咸、灌溉等综合效益，在珠江流域防洪减灾和水资源综合利用中具有不可或缺的作用和地位[5-6]。

2.2 大藤峡所在江段的水生态敏感性

大藤峡水利枢纽工程所在江段的水生生态敏感程度非常高，库尾有红水河来宾段珍稀鱼类自治区级自然保护区；库尾到坝下分布有12个产漂流性卵的鱼类产卵场，其中大藤峡坝下10 km处的东塔鱼类产卵场为西江水系主要产卵场之一，亦被称为全国第二大产卵场[7]，该江段鱼类资源丰富，记录各种鱼类270种，其中记录有国家级保护鱼类中华鲟、花鳗鲡、唐鱼、广西壮族自治区重点保护鱼类鲥鱼等珍稀特有鱼类33种。

从整个流域来看，大藤峡江段是高原山地急流性鱼类向江河平原鱼类过渡区，是流水性鱼类的重要生境之一，也是珠江洄游鱼类的重要通道，鱼类多样性丰富。在流域鱼类资源保护中，大藤峡江段具有重要地位。

3 水生态优化措施探讨

为了减缓大藤峡水利枢纽工程建设对水生生态的不利影响，践行“维护河流健康，建设绿色珠江”的要求，在大藤峡水利枢纽工程的设计过程中采取一系列的水生态优化措施。

3.1 优化运行水位

大藤峡库尾分布有红水河来宾段珍稀鱼类自治区级自然保护区。保护区分2段，西段西起上滩（N23°40′08″、E109°02′39″），东至召平出口下三门（N23°42′02″、E109°08′35″）；东段西起红河农场渡口下行1.8 km处（N23°43′38″、E109°23′55″），东至三江口（N23°47′53″，E109°31′54″），保护区所涉河段总长度为44.5 km，水域面积约582 hm^2。每年4—9月的丰水期、平水期，保护区上滩下游2.2 km处至召平出口下三门上游0.8 km处的7.5 km河段为季节性核心区，其余河段为实验区；每年10月至次年3月枯水期，保护区所有河段为实验区。保护区内分布有定子滩和大步2个鱼类产卵场，其中定子滩产卵场位于季节性核心区内。根据该产卵场2013年5月20日—7月18日的监测结果，在红水河来宾江段共采集鱼卵5 727颗，鱼苗10尾。根据产卵径流公式推算该江段鱼卵（苗）总量为1.8亿颗（尾），鱼卵主要种类为银鲴，鱼苗已鉴定种类有鳜虎、鳜、鳊、大眼华鳊等，其中定子滩产卵场的产卵规模占该江段的38.9%，即鱼卵（苗）量为0.7亿颗（尾）。

为避免水库回水对保护区季节性核心区的不利影响，工程设计在水库汛期水位已经降至47.6 m的基础上，继续以损失0.26亿kW·h电量的代价，将4月运行水位从61.0 m降低至59.6 m，使得水库回水位置处于保护区季节性核心区下游（图1）。

运行水位优化后，根据该江段鱼类自然繁殖所需的水文水力学特征，在漂流性卵鱼类的主要产卵季节5—7月，水温18～24℃条件下，鱼卵从受精卵到孵化出膜约需要36 h，达到鳔一室期约需139 h，才能发育成具有主动游泳能力的幼鱼。定子滩产卵场鱼卵经过36 h孵化出苗的漂程见图2。由图2可

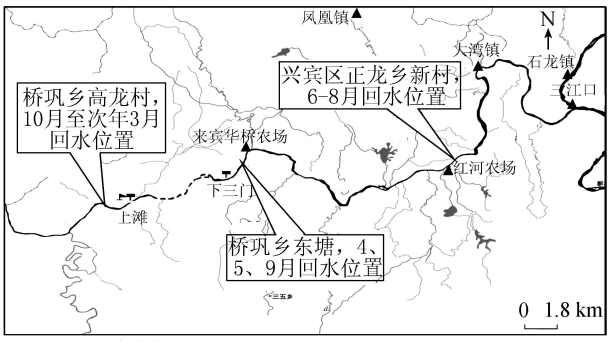

图1 4月水位调整后大藤峡水库回水位置示意图

以看出,定子滩产卵场5、7月份产出的鱼卵在大藤峡库区孵化出苗但不能达到鳔一室成为具有主动游泳能力的仔稚鱼,6月份产出的鱼卵要通过大坝在坝下孵化出苗。因此,定子滩产卵场5—7月4大家鱼鱼卵及同时库区孵化出的仔鱼均要通过大坝才能发育成具有主动游泳能力的仔稚鱼。利用葛洲坝21#水轮机组进行鱼类通过水轮机的标志回捕实验,结果表明,106尾不同长度的鳙鱼在通过水轮机后,仍保持92% ~100%的成活率;且20~30 cm组的活体回捕率和24 h成活率均大于30~50 cm组。可以推断,在一定流量条件下,体长小于50 cm的鱼类个体在通过水轮机组时受水轮机影响较小,且个体越小,受水轮机的影响越小。而大藤峡坝下江段多年渔获物调查资料显示,坝下江段鱼类体长分布中,小于50 cm的个体占绝大多数,因此预计卵苗通过大藤峡发电机组后所受影响相对较低,成活率较大。

图2 定子滩产卵场鱼卵孵化漂程示意图

3.2 采取水生态保护措施

3.2.1 鱼类保护措施

大藤峡水利枢纽工程是珠江水系西江干流红水河规划的最末一个梯级。为了保护工程所在江段乃至流域的鱼类资源,提出了由生境保护、过鱼设施、生态调度、增殖放流、科学研究和渔政管理等组成的鱼类保护措施体系,见表1。

表1 大藤峡水利枢纽鱼类保护措施体系

措施名称	保护对象	主要作用
栖息地保护	因库区水文情势的改变,流水生境减少而受影响的鱼类斑鳠、光倒刺鲃、南方白甲鱼、东方墨头鱼、单纹似鱊、乌原鲤、长臀鮠、长鳍光唇鱼、稀有白甲鱼、唇鲮、暗色唇鲮等	通过保护鱼类生境,保护鱼类资源
过鱼设施	鳗鲡、花鳗鲡以及短距离洄游鱼类	减缓大坝阻隔的影响
南木江生态通道	因电站调峰而受影响的鱼类	减缓枢纽调度对鱼类的影响
鱼类增殖放流	因产卵场淹没而受影响的产漂流性卵鱼类四大家鱼、银鲴、黄尾鲴等和产黏性卵鱼类长臀鮠、斑鳠、唇鲮、暗色唇鲮、南方白甲鱼等。	补充鱼类种群数量,恢复鱼类资源
科学研究	受影响的珍稀保护鱼类	研究人工驯养和繁殖技术,为鱼类增殖放流提供技术支持
渔政管理	江段所有鱼类	加强管理,保护鱼类资源及其重要生境

a. 栖息地保护。野生动物及其栖息环境(如森林、河流、湿地和草原等)是大自然赋予人类最为宝贵的资源,保护好栖息地是生物多样性保护的一种有效手段。在目前的水生生态保护中,栖息地保护是正被逐渐使用且行之有效的措施之一。通过对大藤峡库区、坝下河段及支流水文条件、水质状况、河流开发现状及规划、鱼类资源现状及保护情况、管理可行性等因素进行筛选,划定桥巩坝下至柳江河口、柳江红花水电站至三江口以及洛清江江口电站以下至柳江汇口两段、南木江黔江汇口至浔江河口河段、大藤峡坝下至桂平东塔河段为大藤峡江段鱼类栖息地保护范围(图3)。采取设置人工鱼巢、人工产卵场、加强渔政管理等多种措施对栖息地范围内鱼类资源进行保护。

栖息地保护河段总长256.8 km,涵盖了鱼类自然保护区、鱼类产卵场等重要水生生境。从栖息地的生境条件及鱼类资源现状可以看出,通过栖息地的保护,可以有效保护大藤峡库区及坝下江段的鱼类资源。

b. 过鱼设施。鱼道是针对人类活动破坏鱼类洄游通道而采取的补救措施,通常是通过设置隔板将上下游水位差分为若干级,利用消能减速以及控制水流流量等措施,来创造适合于鱼类上溯的流态,一般适用于中低水头的大坝。我国修建的过鱼设施中鱼道运用最多。

根据大藤峡的坝高、所处河段自然条件、河段鱼

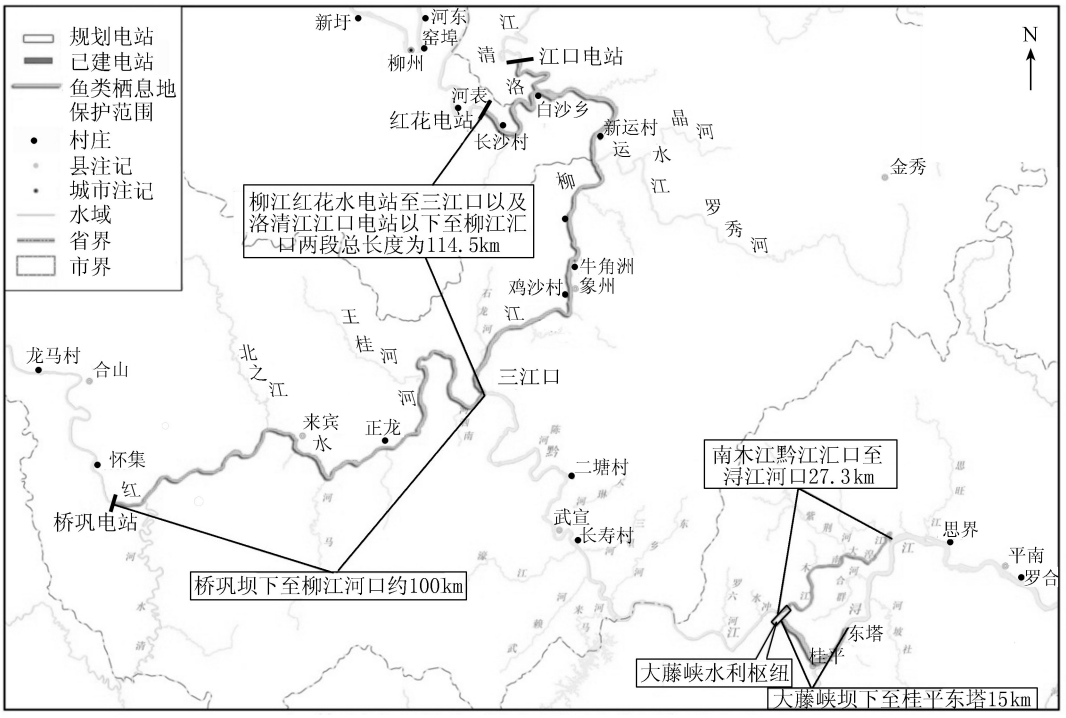

图 3　大藤峡江段鱼类栖息地保护范围

类特点等,结合大藤峡水利枢纽工程可能对鱼类产生的影响,拟在黔江主坝右岸设置过鱼通道。由于鱼道的过鱼季节涵盖水库运行的主汛期和非汛期,因此在过坝时分设两个出口,其中主汛期鱼道长 1 999 m,非主汛期鱼道长 1 238 m,鱼道长度总计 3 237 m。由于大藤峡下游长洲水利枢纽已建鱼道,从近几年长洲鱼道的过鱼效果,可推测大藤峡鱼道的建设对上下游鱼类的交流将起到重要的连通功效。

c. 南木江生态通道。仿自然通道是在岸上人工开凿的类似于自然河流的小型溪流,通过溪流底部、沿岸由石块堆积成的障碍物的摩阻起到消能、减缓流速的目的,适应河流生态恢复的原则。

鉴于黔江支流南木江对大藤峡坝址上下游河段具有天然水力联通作用,可以为大藤峡大坝建设后坝上坝下的营养物质和能量、生物群落连通提供基础,因此,规划在南木江采取工程措施建设鱼道和仿自然通道,工程鱼道布置在左岸,总长 1 254 m,同时在南木江构筑人工仿生态河道,增加大藤峡上下游的水力连通;同时实行生态流量泄放、禁渔保护等管理措施,使其作为大藤峡枢纽建成后的水力、生态联通通道和鱼类的栖息地。

d. 鱼类增殖放流。鱼类人工增殖放流是补偿水利水电工程开发造成鱼类资源衰退、保护珍稀濒危鱼类种群延续以及补充经济鱼类资源的一种重要手段[8]。我国已先后建成乌江索风营、大渡河瀑布沟、金沙江向家坝、澜沧江糯扎渡、雅砻江锦屏、红水河桥巩等近 20 座鱼类增殖站,并相继开展大规模的放流活动[8],对保护、恢复和增殖珍稀濒危鱼类种群,增强鱼类种群生存和延续能力,提高天然水域的鱼类资源量有着重要意义[9]。

为缓解大藤峡枢纽工程建设对鱼类种群、资源量的不利影响,拟于大藤峡业主营地布置占地 4 hm^2 的鱼类增殖放流站,进行受影响珍稀特有鱼类的野生亲本捕捞、运输、驯养,实施人工繁殖和苗种培育,提供苗种进行放流等。近期人工增殖放流对象主要是 4 大家鱼、长臀鮠、斑鳠、光倒刺鲃、三角鲂、赤眼鳟、银鲴、黄尾鲴、卷口鱼等珍稀特有和经济鱼类。

e. 建设红水河珍稀鱼类保育中心。为更加有效地保护红水河流域鱼类资源,大藤峡水利枢纽工程将与珠江流域其他梯级水电工程共建红水河珍稀鱼类保育中心。该中心不承担增殖放流任务,主要任务是基于流域水生生物保护的需要,组织开展红水河流域范围内珍稀濒危及特有鱼类的调查、监测、繁育、救护及科研等多方面的工作,组织开展黔江及浔江江段中华鲟应急救护能力建设,逐步开展珍稀、濒危种类种群、个体、精卵、胚胎、细胞、基因等多层次的种质资源保护技术及应用实践研究,建造红水河珍稀鱼类保护平台。红水河珍稀鱼类保育中心的建设将为红水河流域的鱼类资源做技术储备,为鱼类的保护进行前期研究,对鱼类保护具有不可估量的作用。

3.2.2　施工方案优化

根据早期设计,大藤峡水利枢纽工程有两个主要砂砾石料场,即铜鼓滩料场和江口料场(图 4),但

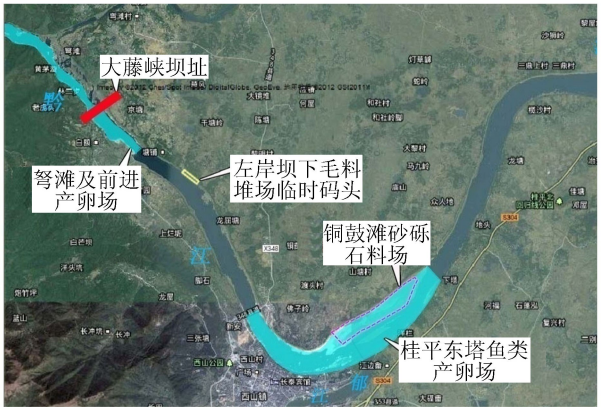

图 4　铜鼓滩料场与东塔鱼类产卵场位置关系

铜鼓滩料场所在位置为东塔鱼类产卵场，该产卵场是珠江水系西江段最主要的草、青、鲢、鳙、鲮、鳊、�termin等鱼类天然产卵场之一，是江河鱼类一个天然的基因库。为更好地保护东塔鱼类产卵场的生态环境，工程设计阶段对料场方案进行修改，重新寻找新的料场。同时，为了保护江口料场所在区域的鱼类产卵活动不受影响，对江口料场的开采范围及开挖时序也进行了优化。

3.3　实施生态调度

生态调度是一种主要的河流生态修复措施，国际上许多国家开展了生态调度实践。自 2000 年以来，我国珠江、黄河、嫩江、海河、太湖、淮河各大流域都陆续开展了生态调度实践。针对大藤峡所在流域水生生态保护目标的生态需水要求及大藤峡水利枢纽工程的水生生态影响特点，在工程方案设计时要制定生态调度措施。

a. 在大藤峡水库营运期，通过泄水低孔结合发电下泄 700 m^3/s 的生态流量；在流域压咸期，通过利用发电机组发电下泄压咸流量，服从流域水资源配置调度要求。

b. 在鱼类产卵期，当流域来水偏枯，无明显洪水时，采用人造洪峰调度方式来刺激鱼类洄游产卵。

c. 在 4—7 月入库流量大于 3 000 m^3/s 时，电站不参与电网调峰调频调度，保留水流对鱼类产卵的刺激作用，满足鱼类产卵育幼要求。

3.4　水生态保护措施的可行性及有效性分析

大藤峡水利枢纽工程设计时采取的各项水生态保护措施，多为目前已经应用且较成熟的措施，经过优化调整，从技术上来看是可行的。

通过主要产卵期低水位运行、栖息地保护、制定禁渔区和禁渔期、建设南木江鱼道、建设人工产卵场、增殖放流及珍稀鱼类保育等措施，大藤峡水利枢纽工程对产漂流性卵鱼类的产卵场及鱼类资源的影响能够得到有效减缓。采取保护措施后，定子滩、老城厢、大步、里壅、运江鱼类产卵场产卵功能可以得到发挥，原分布于衣滩、石龙三江口、大藤峡、前进产卵场的鱼可以上溯至这些产卵场繁殖；东塔、盆龙及观音阁产卵场基本不受影响。红水河来宾段、柳江红花电站下游、大藤峡坝下桂平江段鱼类资源丰富，鱼类多样性高，且以流水性鱼类为主，将此 3 个河段作为栖息地保护，可有效保护大藤峡库区及坝下江段现有的各种鱼类。大藤峡鱼道下游的长洲水利枢纽已建设有鱼道，根据水利部中国科学院水工程生态研究所 2011—2013 年连续对长洲鱼道的观测结果，鱼道过鱼效果良好。大藤峡主坝鱼道与长洲鱼道相似，南木江生态通道为近仿自然通道，它们的建设将对上下游鱼类的交流起到重要的连通功效。大藤峡鱼类增殖站建成后人为放流受工程影响较大的鱼类，可以补充鱼类资源量，对稳定大藤峡库区及坝下的鱼类种群资源数量起到有效的作用。

4　结　语

识别及调查大藤峡水利枢纽工程所在河段的水生生态敏感保护目标，分析预测大藤峡水利枢纽工程对水生生态特别是鱼类资源的影响，从协调工程建设和鱼类保护的角度出发，笔者提出采取多种水生态保护措施，以有效减缓水利工程对鱼类产卵场及鱼类资源的影响。

在下一阶段工程的建设实施中，应进一步研究如何将水生态保护措施落实并充分发挥其效用，使大藤峡水利枢纽工程真正成为珠江流域人水和谐的生态保护工程典范。

参考文献：

[1] 岳中明. 建设绿色珠江的内涵与实践[C]//中国水利学会. 中国水利学会 2013 年学术年会论文集. 北京：中国水利水电出版社，2013.

[2] 水利部珠江水利委员会. 绿色珠江建设战略规划[R]. 广州：水利部珠江水利委员会，2013

[3] 邹家祥，朱党生. 环境影响评价技术手册：水利水电工程[M]. 北京：中国环境科学出版社，2009

[4] 张东亚，牛天祥. 水电工程鱼类增殖放流站工艺设计[J]. 西北水电，2010(4)：9-13.（ZHANG Dongya，NIU Tianxiang. Process design of fish proliferation and releasing station for hydropower project [J]. Northwest Hydropower，2010(4)：9-13.（in Chinese））

[5] 朱三华，沈汉堃. 珠江三角洲咸潮治理研究[J]. 人民珠江，2010（增刊 1）：7-8.（ZHU Sanhua，SHEN Hankun. Study of salt water governance in Pearl River Delta [J]. Pearl River，2010(sup1)：7-8.（in Chinese））

（下转第 83 页）

治理与生态修复[J]. 中国给水排水,2013,29(4):64-67. (YU Jianming, WU Chenming, CHEN Zhe, et al. Improvement and ecological remediation of Malodorous River, Zhongtang River tributary in Ningbo City[J]. China Water and Wastewater, 2013,29(4): 64-67. (in Chinese))

[5] WOLTEMADE C J. Ability of restored wetlands to reduce nitrogen and phosphorus concentrations in agricultural drainage water [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2000,53(3):303-309.

[6] LINA T, DIEDERIK P L, ROUSSEAU S S. Application of the gas tracer method for measuring oxygen transfer rates in subsurface flow constructed wetlands [J]. Water Research,2010,44(14):4217-4225.

[7] 王鹤霏,贾艾晨,张晓东,等. 人工浮岛对城市景观用水水质净化效果的研究[J]. 环境保护科学,2013,39(5): 14-17. (WANG Hefei, JIA Aichen, ZHANG Xiaodong, et al. Study on purification effect of artificial floating island on urban landscape water [J]. Environmental Protection Science, 2013, 39(5): 14-17. (in Chinese))

[8] 王金丽,颜秀勤,宁冰,等. 浮岛植物净化水质效果研究[J]. 环境科学与技术,2011,34(10):14-18. (WANG Jinli, YAN Xiuqin, NING Bing, et al. Effect of floating-island plant on water purification [J]. Environmental Science and Technology, 2011, 34(10): 14-18. (in Chinese))

[9] 童国璋,叶旭红. 生态浮岛技术概述及应用前景[J]. 江西科学,2010,28(4):470-472. (TONG Guozhang, YE Xuhong. Artifical ecological floating fed overviews and the application prospect[J]. Jiangxi Science,2010,28(4): 470-472. (in Chinese))

[10] 刘霄,黄岁樑,唐婷芳子,等. 人工湿地植物生长特性及其对氮磷富集能力研究[J]. 水资源与水工程学报,2011,22(5):1-5. (LIU Xiao, HUANG Suiliang, TANG Tingfangzi, et al. Growth characteristic and nitrogen phosphorous accumulation ability of artificial wetland plants [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering,2011,22(5):1-5. (in Chinese))

[11] 吴建之,葛滢. 过硫酸钾氧化吸光光度法测定植物总氮[J]. 理化检验:化学分册, 2000,36(4):166-167. (WU Jianzhi, GE Ying. UV absorptiophotometric determination of total nitrogen in plant after $K_2S_2O_8$ oxidation [J]. Physical Testing and Chemical Analysis: Chemical Analysis,2000,36(4):166-167. (in Chinese))

[12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2000:207-237.

[13] 李建娜,胡曰利,吴晓芙,等. 人工湿地污水处理系统中的植物氮磷吸收富集能力研究[J]. 环境污染与防治,2007,29(7): 506-509. (LI Jianna, HU Yueli, WU Xiaofu, et al. Nitrogen and phosphorus removal capacity of plant species in constructed wetland for treating municipal wastewater[J]. Environmental Pollution and Control, 2007,29(7):506-509. (in Chinese))

[14] 陈永华,吴晓芙,蒋丽娟,等. 处理生活污水湿地植物的筛选与净化潜力评价[J]. 环境科学学报,2008,28(8):1549-1554. (CHEN Yonghua, WU Xiaofu, JIANG Lijuan, et al. Screening and evaluation of plant purification potential for phytoremediation of sanitary sewage[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2008, 28(8): 1549-1554. (in Chinese))

[15] ADCOCK P W, GANF G G. Growth characteristics of three macrophyte species growing in a natural and constructed wetland system [J]. Water Science and Technology,1994,29(4):95-102.

(收稿日期:2015-06-03 编辑:熊水斌)

(上接第 78 页)

[6] 刘喜燕,席望潮. 珠江流域水资源调配骨干体系研究[J]. 人民珠江,2010 (增刊 1): 4-6. (LIU Xiyan, XI Wangchao. Study on the core system of water resources allocation in the Pearl River Basin [J]. Pearl River,2010 (sup1):4-6. (in Chinese))

[7] 黎小正,吴祥庆,秦振发,等. 基于秩相关系数法评价东塔鱼类产卵场浮游植物生物量变化趋势[J]. 广东农业科学,2011(12):121-122. (LI Xiaozheng, WU Xiangqing, QIN Zhenfa, et al. Evaluation based on the rank correlation coefficient for pland palnkton biomass change tendency of fish reporuction spot in Dongta[J]. Guangdong Atricultural Sciences,2011(12):121-122. (in Chinese))

[8] 周瑞雪. 增殖放流与生态修复[J]. 生物学教学,2011,36(9): 7-9. (ZHOU Ruixue. Proliferation and releasing and ecological restoration[J]. Biology Teaching,2011,36(9): 7-9. (in Chinese))

[9] 中国水电工程顾问集团公司. 增殖放流站[N]. 中国能源报,2013-01-21(24).

(收稿日期:2015-04-26 编辑:彭桃英)