

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.05.026

闽江梯级电站对水环境的影响

程永隆¹, 沈 恒¹, 许友勤²

(1. 福建省水利水电勘测设计研究院, 福建 福州 350001; 2. 福建师范大学生命科学学院, 福建 福州 350007)

摘要 :从闽江流域历年主要污染物排放量、控制断面水质浓度和径流量变化三者之间关系入手,针对闽江梯级电站开发程度较高,而且绝大多数电站建成投产于 1993 年以后的特点,根据水体自净机理,分析梯级电站对闽江水环境的影响。结果表明,闽江梯级水库对污染物质的层层拦蓄,在相当程度上减轻了下游与河口地区污染物总量,对缓解下游与河口地区污染危害起到了积极的作用,但过量污染物长期排放,沉积的底泥对水库水质将产生深远的影响,最后提出了保护水生态环境的建议。

关键词 :梯级电站;水环境;水体自净能力;闽江

中图分类号 :X820.3 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-6933(2011)05-0114-05

Preliminary study on effects of Min River cascade hydropower stations on water environment

CHENG Yong-long¹, SHEN Heng¹, XU You-qin²

(1. Fujian Investigation and Design Research Institute of Water Conservancy and Hydropower, Fuzhou 350001, China; 2. College of Life Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract :The development of the Min River cascade hydropower stations has reached a high level, and most of the hydropower stations have been completed since 1993. Starting with the relation between the main pollutants being emitted into the Min River, the water quality concentration in control sections, and the runoff change, the effects of the Min River cascade hydropower stations on the water environment were analyzed based on the water self-purification mechanism. The results show that the pollutant interception by the Min River cascade hydropower stations reduces the pollutant amount in the downstream and estuary areas, and sediment has a profound effect on the reservoir water quality due to long-term excessive emission of pollutants. Some suggestions for protecting the water ecological environment are put forward.

Key words :cascade hydropower stations; water environment; water self-purification capacity; Min River

1 概 述

闽江发源于闽、浙、赣三省交界的武夷山脉,主流总长度 541 km,流域总面积 60 992 km²,为福建省最大河流,上游三大支流沙溪、富屯溪、建溪在南平附近汇合,汇合后主流称闽江干流。南平至水口大坝的库区称中游,水口以下称下游,水口到闽江口河道长 117 km。水口坝址以上流域内主要是三明、南平 2 个设区市共 25 个县市区,人口密度 112 人/km²,因地处山区,是福建省经济最落后的地区之一。

闽江流域属亚热带季风气候,气候温和,雨量充

沛。水口水电站坝址控制流域面积 52 438 km²,占闽江流域面积 86%,水口以上流域多年平均降水量为 1 753.9 mm。年降水主要集中在 3—8 月,占全年降水量的 74.5%。降水年际变化较大,最大年份降水量(2 364.9 mm,1975 年)为最小年份降水量(1 197.0 mm,1971 年)的近 2 倍。河流的径流变化直接受制于降雨量,水口坝址多年平均流量 1 690 m³/s,最大年平均流量 2 670 m³/s(1937 年),最小年平均流量 818 m³/s(1971 年)。闽江下游干流实测最大洪峰流量 33 800 m³/s(1998 年),最小枯水流量 196 m³/s(1971 年)。闽江流域水质总体上达到 GB 3838—

2002《地表水环境质量标准》的Ⅲ类标准,主要污染物为 $\text{NH}_3\text{-N}$ 。

闽江流域是华东地区水力资源蕴藏量最丰富的河流。闽江中上游现有季调节性能以上的大型水库4座。按修建时序排列为:古田溪一级水库(1959年)控制流域面积 $1\,325\text{ km}^2$,调节库容 5.43 亿 m^3 ,不完全多年调节;沙溪流域安砂水库(1975年)控制流域面积 $5\,184\text{ km}^2$,调节库容 4.4 亿 m^3 ,季调节;金溪池潭水库(1980年)控制流域面积 $4\,766\text{ km}^2$,调节库容 6.3 亿 m^3 ,不完全年调节;干流水口水库(1993年4月蓄水),水库总库容 26 亿 m^3 ,调节库容 8.4 亿 m^3 ,不完全季调节;电站装机 140 万 kW ,年均发电量 $49.5\text{ 亿 kW}\cdot\text{h}^{[1]}$ 。

闽江干支流绝大多数梯级电站建成于1993年,特别是2000年以后,目前流域梯级电站开发率达85%,由于受淹没制约,除了上述支流上的龙头水库外,其他基本上是低水头日调节水库电站,正常库容多在 0.6 亿 m^3 以下,调节库容为数十到数百万立方米。水口水库以上流域主要一级支流干流已建梯级水电站24座,二、三级支流上的梯级小水电站有数百座。由于已建水电站调节性能差或者调节能力较好却坝址控制流域面积小,因此,闽江梯级电站对闽江下游径流年内分配总体上影响不大,但枯水期水口坝址以上河流的水体停留交换时间延长。

闽江梯级电站建成以前的1951—1975年,闽江下游竹岐水文站多年平均悬移质输沙量实测为 742 万 t ,水口水库建成之后的1993—2006年,闽江下游多年平均悬移质输沙量减少到 273 万 t ,减少率达63.2%。

梯级水库电站的建设运行对水环境的影响十分复杂,笔者主要利用水口等主要梯级电站建成前后闽江干流主要测验断面均有一定年限的水文水质监测资料等有利条件,通过对比分析闽江梯级电站建设前后水口坝址以上地区,污染物排放总量与水库下游水质监测断面污染物浓度的实际变化情况,阐述闽江流域梯级水库电站建设对水环境的影响。并结合水体物理、化学及生物自净机理,阐释闽江水口等梯级电站建设后流域污染物排放总量增加而出库水体污染物浓度较水库建设前总体降低这一新发现。

2 污染物与水质变化

2.1 污染物变化

水口水电站是闽江干流上最后一座大型水库,可视作闽江梯级电站的终点,其出库断面的水质资料用作分析梯级电站对水环境的累计影响有良好的代表性。

水口坝址上游的三明和南平地区是福建省的老工业区,工业生产带动了社会经济的快速发展,但由于工业产业技术结构的不完善等原因,不可避免地给该地区带来环境污染。福建省环保局历年公布的《福

建省环境状况公报》显示,闽江干流南平段和沙溪的水域功能达标率常年低于全省平均水平。大规模的工业废水排放是闽江中上游水质污染的主要原因。

三明地区工业以重工业为主,90%以上的工业废水排入沙溪,因此沙溪的水污染尤为严重^[2]。2000年后,虽然地方环保部门通过加大点源治理力度,闽江中上游地区水质已有明显改善,但由于环保历史负债较多,加上新一轮经济社会的快速发展,环境面临压力会更大,形势不容乐观。

随着畜牧业的不断发展壮大,规模化畜禽养殖污染也日渐突出。据统计,南平范围内共有规模养殖场793家,目前有82家开展了污染治理,治理率仅为10.3%,就是这些已治理的养殖场也大部分没能达标排放。

另外,农村面源污染问题比较突出,三明、南平是农业大市,化肥的大量使用和进入水体所造成的闽江水环境污染是不容忽视的。

当一个国家经济发展水平较低的时候,环境污染的程度较轻,但是其恶化的程度随经济的增长而加剧,当该国的经济发展达到一定水平后,其环境污染的程度逐渐减缓,环境质量逐渐得到改善^[3]。这种环境污染与经济增长的长期关系呈倒U形现象,被称为环境库兹涅茨曲线^[4](图1)。图1中横轴为国家的经济增长速度,纵轴是环境污染指数,其数值越大环境污染越厉害。

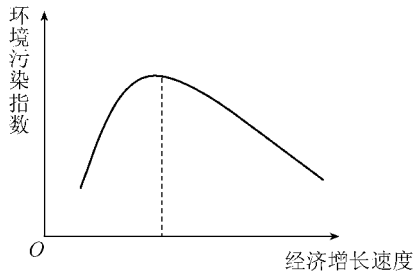


图1 环境库兹涅茨曲线

库兹涅茨曲线的成因主要为:随着工业化的加快,越来越多的资源被开发利用,产生的废弃物数量大幅增加,从而使环境的质量水平下降,而当经济发展到更高的水平,产业结构进一步升级,从能源密集型为主的重工业向服务业和技术密集型产业转移时,环境污染便减少。实际上,产业结构的升级需要有技术的支持,技术进步使得原先那些污染严重的技术为较清洁的技术所替代,从而改善了环境的质量,从而使环境与经济发展的关系呈倒‘U’形曲线。

发达国家人均GDP值在1万美元左右出现拐点,我国的产业技术结构相比发达国家还落后许多,福建省人均GDP仅3000美元左右,这就决定了还未达到库兹涅茨曲线的拐点,尚处于环境污染随经济的增长而加重的阶段。

自 1980—2004 年的 25 年间,水口坝址以上的闽江流域地区国民经济发展迅猛,各项社会经济指标均呈上升趋势,其中 GDP 值、工业总产值甚至翻了 10 番。通过对库茨涅茨曲线的认识,可以判定环境污染情况是连年增加的。

据污染排放量调查,1985—2006 年间,水口坝址以上地区污染物 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的年排放量总体呈上升趋势,符合库兹涅茨曲线的规律。由于流域内经济比较落后,2006 年以前没有进行大规模市政污水截污与污水处理厂建设运行,在此期间污染物入河总量总体上是增加的。

2.2 水生生物变化

经对 2006 年与 1997 年的水生生物调查比较,水口水库与上游的沙溪口水库浮游生物的群落结构、优势种群发生了较大的变化。1997 年时水口、沙溪口水库水体中浮游动物的密度处于很低的水平,不存在优势种群。2006 年,整个流域水体浮游动物的总平均密度达到 3 042.4 个/L,优势种为几种原生动物纤毛类和轮虫类组成,其中纤毛类原生动物主要有绿急游虫、旋回侠盗虫、螳状单缩虫等,前两种是江、河、湖、库中的常见种类,后者是耐污性较强的种类,轮虫的优势种主要有广布多肢轮虫、曲腿龟甲轮虫、舟形龟纹轮虫、尖尾疣毛轮虫、角突臂尾轮虫、暗小异尾轮虫等,这些种类基本上均为耐污较强的种类。1997 年浮游植物的优势种群主要是硅藻门的直链藻、绿藻门空球藻和蓝藻门的大型种类,如颤藻、微囊藻等少数种类,由于当年藻类的总体密度很低(728.28 个/L),所以优势种的相对密度亦有限。目前水库流域优势种群主要由隐藻门的 3 种隐藻、硅藻门的直链藻和绿藻门的栅藻、小球藻等种类组成。除平水期是硅藻类占优势外,其他 2 个水文季节均以隐藻门的卵形隐藻、啮食隐藻和尖尾兰隐藻占绝对优势,藻类的总体密度为(34.255 万个/L),远高于 1997 年时的水平。隐藻属于嗜营养的小型藻类,营养程度较高的湖泊、水库的沿岸带、小型池塘等水体是其最合适的生活环境。

因此,从上述藻类的密度、污染指示生物的种类变化也可以证实,水口、沙溪口水库流域自 1997 年以来,流域入库的污染和营养物质的确在增加。

2.3 水质变化

水口坝址以上有富屯溪、沙溪汇合口的花竹、建溪七里街以及水口水库入库十里庵等省控水质断面,坝前库区有雄江水质断面,坝址下游有格洋口省控水质断面。

通过比较上述省控水质监测断面历年的水质监测资料,可以明显看出:在流域内污染物 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的排放量递增的情况下,水口坝址下游格洋口断面除

水口水库蓄水初期 3—5 年污染物浓度有所增加外,所监测的 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 BOD_5 、TP 的质量浓度值总体呈连年下降的趋势(图 2、图 3),尤其 $\text{NH}_3\text{-N}$ 最明显。格洋口断面与水口坝前的雄江断面水质变化过程相关性良好,可以反映水口库区内的水质变化过程。

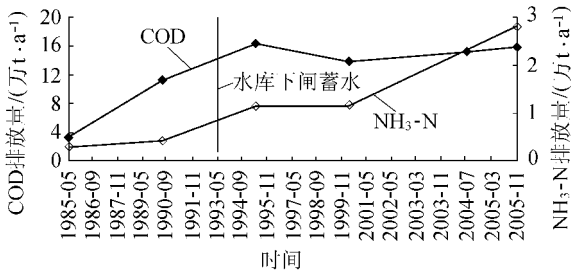


图 2 水口坝址以上流域 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排放量过程线

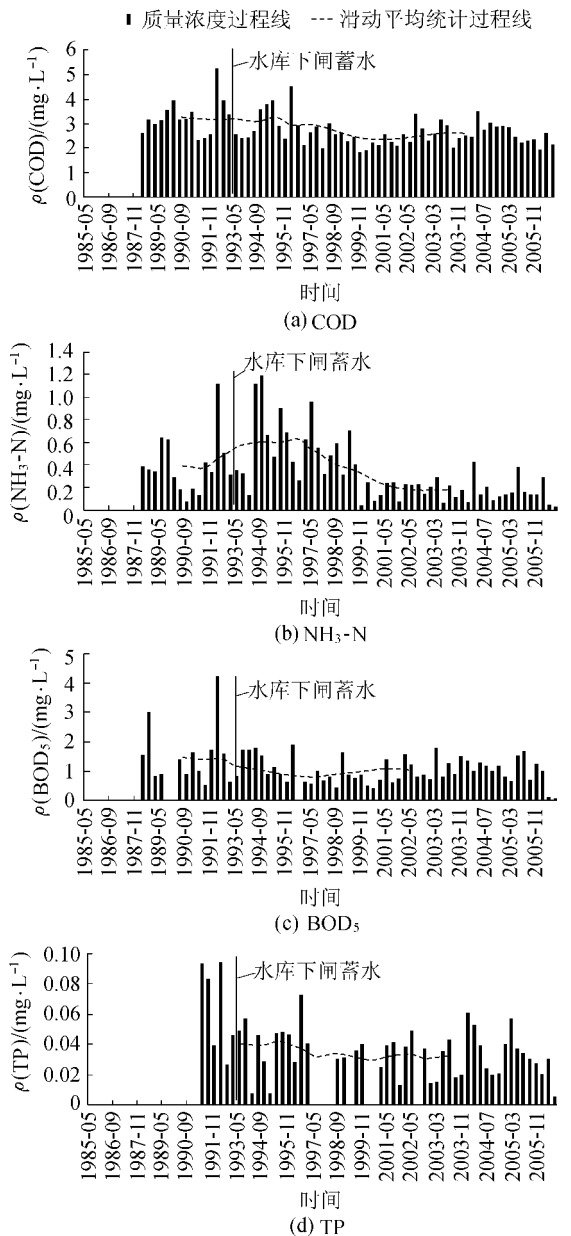


图 3 格洋口(水口水库出库断面)4 种污染物质量浓度过程线

2.4 枯水年对比分析

1991 与 2003 年是闽江流域典型的枯水年份 ,且分布于水口水库蓄水(1993 年 4 月)的前后。通过分析两个枯水典型年内的闽江水口水库以上流域内的污染物排放量与水口水库出库水质监测断面——格洋口断面的污染物浓度监测值 ,可以更加直观地判断出水口等梯级水库蓄水运行对各类污染物质的沉淀降解能力的影响。

a. 水量比较。比较 1991 年与 2003 年水口坝址实测的水文年总来水量、丰水期来水量、平水期来水量、枯水期来水量与年最小月水量(表 1) 2003 年丰水期水量大于 1991 年 ;平、枯水期及年最小月来水量 2003 年明显少于 1991 年 ,其中年最小月来水量 2003 年仅 6.99 亿 m³ ,占全年水量的 2.3%。由此说明 2003 年枯水程度更为严重。

表 1 1991、2003 年来水量比较 亿 m³

年份	年水量	丰水期水量	平水期水量	枯水期水量	最小月水量
1991	334	148	83.1	103	9.51
2003	305	176	72.5	56.7	6.99

b. 出库水质浓度监测值比较。1991 年与 2003 年水口水库流域污染物排放总量、出库断面(格洋口)的 COD、NH₃-N、BOD₅ 与 TP 的浓度监测值见表 2。在流域的污染物排放量较蓄水前增加 ,而来水量除丰水期外均少于 1991 年的前提下 ,2003 年枯水期水口出库断面的COD、NH₃-N 与 BOD₅ 的浓度监测值低于 1991 年 ,NH₃-N 浓度值下降了 64.5% ;丰水期则相反 ,2003 年的监测值要高于 1991 年 ,这主要是闽江梯级水库调节能力差 ,丰水期水流状态更接近天然河流 ,水体停留时间增加有限所致 ;TP 的出库浓度值 ,在丰水期、平水期对比水口水库蓄水前明显下降 ,枯水期较水库蓄水前仅略有增加。

3 水库自净机理分析

水体的自净过程是由物理、化学和生物等因子共同作用的结果。水库的建成和蓄水 ,改变了河道原有的形态结构 ,使水流变缓 ,导致水体的复氧能力有所下降。上游污染物 ,特别是可降解的有机污染物进入库区之后 ,由于水动力学等原因 ,水体中的悬浮物及污染物等在重力作用下 ,沉入库底 ,它们与微

生物、藻类和浮游动物共同形成絮凝状的具有极强生物活性的菌胶团物质 ,即所谓的“ 活性污泥”^[5]。微生物的生命过程是以污染物和有机碎屑等作为营养源 ,它们通过直接或间接的物理和生物化学过程 ,如吸附、氧化、还原、分解和吸收等方式 ,达到分解污染物的目的。有研究显示 ,100 m² 的水体中球衣菌可吸收 3 t 的有机物质。库中的各种藻类 ,特别是直链藻、隐藻、蓝纤维藻等优势种群大量繁殖 ,在利用太阳能、吸收和同化水体中的氮磷等有机营养盐类的同时释放出氧气 ,这在一定程度上弥补了由于水流变缓所带来的含氧量下降的不足。库区细菌和藻类的大量生长 ,推动了浮游动物 ,特别是一些以细菌和碎屑为食的纤毛类原生动物和轮虫的繁殖 ,绝大多数的纤毛类原生动物 ,如螳状单缩虫、大弹跳虫、樽形似铃虫、旋回侠盗虫、筒壳虫、累枝虫等都是专性细菌滤食者 ,许多轮虫 ,如臂尾轮虫、多肢轮虫、龟甲轮虫和龟纹轮虫等都能大量地摄取细菌。纤毛虫和轮虫的强大滤食能力 ,不仅抑制了细菌的过量繁殖 ,它们所分泌的黏液性物质和滤食行为同样具有很强的吸附能力 ,极大地加速了水体中微型悬浮物的沉降 ,从而使库区的出水变得澄清。事实上仅有细菌的分解行为 ,虽然可以使污染物得到分解 ,但不能澄清水质 ,在自然界的水体中 ,奇观单缩虫 (*Carchesium spectabile*)每小时可以滤食 3 万个细菌 ,因此纤毛虫对澄清水质具有决定性的作用。因此 ,水体的自净过程 ,是在适宜的外界环境条件下由细菌、藻类和浮游动物三者共同参与、协同完成的 ,而鱼类、甲壳类生物以浮游生物等为食 ,与库周水生植物一起形成完整的水库生态系统 ,对水库水体自净起重要的作用^[6]。

在自然状态下 ,水库水体的自净过程与运用氧化塘、活性污泥等方法进行污水生物处理的工作机理是相同的 ,水库调节性能越好 ,水体在库区河段停留的时间就越长 ,水库物理与生物自净的作用应更大。水口水库水生态系统中的物理、化学和浮游生物的变动指标也反映了水体在自然状态下的综合自净过程。但是 ,水库的自净能力是有限的 ,其纳污能力同样具有临界点 ,其根本原因在于微生物分解污染物、纤毛类原生动物和轮虫对细菌等微生物的滤食能力不是无限的 ,当超过一定的浓度范围 ,降解和滤食功能都

表 2 水口水库蓄水前后出库断面水质指标浓度对比

年份	流域年 COD 排放 量/万 t	流域年 NH ₃ -N 排 放量/万 t	ρ(COD)(mg·L ⁻¹)			ρ(NH ₃ -N)(mg·L ⁻¹)			ρ(BOD ₅)(mg·L ⁻¹)			ρ(TP)(mg·L ⁻¹)		
			丰	平	枯	丰	平	枯	丰	平	枯	丰	平	枯
1991	11.80	0.924	2.31	2.39	2.56	0.13	0.420	0.330	0.97	0.52	1.72	0.093	0.083	0.039
2003	15.40	2.260	3.02	2.29	2.49	0.14	0.203	0.117	1.02	1.33	1.41	0.039	0.017	0.041
增减率/%	30.5	145.0	30.7	-4.2	-2.7	7.7	-51.7	-64.5	5.2	156.0	-18.0	-58.1	-80.1	3.8

将被削弱 ,甚至完全丧失 ,此时污染物降解都由细菌来完成 ,细菌大量繁殖 ,河流失去水源地的功能。

4 结 论

闽江梯级水库对污染物质的层层拦蓄 ,在相当程度上减轻了下游与河口地区污染物总量 ,对缓解下游与河口地区污染危害起到了积极的作用。

目前国际上大量的研究表明‘拦河建坝、径流调节’将显著减少营养盐向下游及河口的输送^[7],这一观点肯定了拦河坝对水体中诸如营养盐、泥沙以及部分污染物质的沉降作用。国内的‘前置库’、“氧化塘”等污水处理设施的污染物处理技术原理 ,都是在降低进水水流流速、增大停留时间与物理沉降作用的基础上 ,突出利用了水体中的菌藻共生系统对污染物质进行生物净化分解 ,减小出水的水质浓度。因此 ,流速减慢并不等同于自净能力降低。但过量污染物长期排放 ,沉积的底泥对水库水质将产生深远的影响 ,应引起足够的重视。

5 建 议

a. 福建省社会经济发展水平低 ,经济建设的任务十分繁重 ,污染物排放量控制的难度极大。如果没有梯级水库电站的建设 ,下游、河口与近岸海域的水污染将更为严重 ;如果污染物超过河流自净能力无节制地大量排放 ,容易导致水库富营养化 ,甚至会爆发“水华” ,对水资源的利用同样产生重大影响。

因此 ,污染源的治理与控制是关键 ,认为没有梯级水库建设就可以多排放污染物的想法 ,对环境保护没有实际意义 ,建议从源头上狠抓污染源治理不动摇。

b. 水库特别是梯级水库对水环境的影响涉及许多学科 ,十分复杂 ,到目前为止人们对水生生物在水库自净过程中的作用还缺乏足够的认识。建议选择不同地域有代表性的流域梯级水库开展多学科交叉渗透的相关专题研究 ,以便深入研究相互分析比较。

参考文献 :

[1]程永隆,沈恒,黄永福,等.闽江梯级电站对水环境的影响研究报告[R].福州:福建省水利水电勘测设计研究院,2007.

[2]王雅琼.三明市水环境质量变化分析[J].福建环境,2002,19(6):25-26.

[3]陈华文,刘康兵.经济增长与环境质量:关于环境库兹涅茨曲线的经验分析[J].复旦大学学报:社会科学版,2004(2):87-94.

[4]张莉侠,孟令杰.经济增长与环境质量:关于环境库兹涅茨曲线的分析:基于省际横截面的经验分析[J].发展经济学,2004(3):18-23.

[5]张自杰,林荣忱,金儒霖.排水工程:下册[M].3版.北京:中国建筑工业出版社,1996:53.

[6]罗志腾.水污染控制工程微生物学[J].北京:科学技术出版社,1988:242-243,253-257.

[7]水利部国际合作与科技司.当代水利科技前沿[M].北京:中国水利水电出版社,2006.

(收稿日期:2011-04-14 编辑:徐娟)

(上接第100页)

5 结 语

黄河下游防洪工程建设对保护区的影响主要体现在工程占用补水工程和对湿地的影响,对保护植物野大豆的影响,施工期施工活动、工程取土、噪声、夜间灯光等对鸟类栖息、觅食和繁殖的影响等。采取适当措施后,防洪工程的建设不会影响保护区湿地水源的补给关系,不会影响保护区的生态完整性。村庄外迁可以增加保护区鸟类栖息环境,减少人类活动对鸟类的干扰,同时工程所植草、树将为保护区鸟类提供新的栖息场所,有利于鸟类的生存和繁衍。采取减缓措施后,施工期对保护区的影响是可以接受的,不存在制约工程实施的环境因素。

参考文献 :

[1]田金萍,方保华,王春平,等.河南黄河湿地国家级自然

保护区总体规划[R].郑州:河南省林业调查规划院,2004:5,8,15.

[2]张苏莉,徐海珠,秦元昭,等.河南新乡黄河湿地鸟类国家级自然保护区总体规划[R].郑州:豫北黄河故道湿地鸟类国家级自然保护区管理处,2006:6,9.

[3]曲进社,刘铁军,王春平,等.河南开封柳园口省级湿地自然保护区总体设计说明[R].郑州:河南省林业勘察设计院,1996:14-5.

[4]河南省林业调查规划院.河南郑州黄河湿地省级自然保护区总体规划[R].郑州:河南省林业调查规划院,2007:6-7,13.

[5]杨红霞,刘世奎,毕景祥,等.濮阳县黄河湿地省级自然保护区规划方案[R].濮阳:濮阳市林业调查规划队,2005:11,14-15,22.

[6]李振海,刘畅,王世岩,等.黄河下游近期防洪工程建设环境影响报告书[R].北京:中国水利水电科学研究院,2008:171,196,206,216.

(收稿日期:2009-00-00 编辑:徐娟)