

DOI :10.3880/j.issn.1006-7647.2011.01.005

高原湖泊生态系统服务功能及其对水电开发的影响

李朝霞 蒋晓艳

(西藏农牧学院工程学院,西藏 林芝 860000)

摘要 :在分析西藏湖泊特征的基础上,将西藏湖泊生态系统服务功能划分为提供产品功能、调节功能、生命支持功能和科教娱乐功能 4 大类。建立了湖泊生态系统服务功能评价指标体系,包括调蓄洪水、水力发电、提供水(矿)产品、水资源蓄积、土壤持留、净化环境、气候调节、提供生境和生态旅游。以西藏羊卓雍湖为例,估算出该湖的生态系统服务价值为 113.942×10^8 元/a,其中直接使用价值为 3.808×10^8 元/a,间接价值为 110.134×10^8 元/a。分析了由于羊卓雍湖抽水蓄能电站的建设和运行对该湖生态系统服务功能的影响,主要为电站尾水出口至雅鲁藏布江曲水大桥段右岸居民饮用水水质的影响。分析结果表明,水电开发对羊卓雍湖生态服务功能的影响很小。

关键词 :高原湖泊;生态系统服务功能;生态经济价值;羊卓雍湖

中图分类号 :P343.3

文献标识码 :A

文章编号 :1006-7647(2011)01-0020-05

Ecosystem services of highland lakes and their impact on hydropower development//LI Zhao-xia, JIANG Xiao-yan (School of Engineering Science, Tibet Agriculture and Animal Husbandry College, Linzhi 860000, China)

Abstract :Based on analyzing the characteristics of lakes in Tibet, the ecosystem services of lakes in Tibet were divided into 4 categories: product function, regulation function, life support function and education and entertainment function. An evaluation index system for the ecosystem services of lakes was established, including flood storage, hydropower generation, water (mineral) product supply, water accumulation, soil retention, environment purification, climate regulation, habitats and ecological recreation. Take Yamdrok Yum Lake in Tibet as an example, the annual value of its ecosystem services was estimated to be 113.942×10^8 Yuan RMB, with the annual direct and indirect values being 3.808×10^8 Yuan and 110.134×10^8 Yuan, respectively. The impact of construction and operation of Yamdrok Yum Lake Pumped Storage Power Station on the ecosystem services was analyzed, indicating that there was certain effect on the quality of drinking water from the tailrace outlet of Yamdrok Yum Lake Pumped Storage Power Station to the right bank of Qushui Bridge on Yarlung Zangbo River. The results show that the hydropower development of Yamdrok Yum Lake has small impact of its ecosystem services.

Key words : highland lake; ecosystem service; ecological and economic value; Yamdrok Yum Lake

Daily 等将生态系统服务功能定义为:生态系统与生态过程所形成的、维持人类生存的自然环境条件及其效用^[1]。自 20 世纪 70 年代生态系统服务及价值评估成为生态学及生态经济学领域的前沿问题和研究热点以来,相关学者进行了森林^[2]、陆地^[3]、草地^[4]、农田^[5]以及河流^[6]等生态系统服务功能的研究,取得了相应的研究成果。但对湖泊生态系统服务功能及其价值评估研究的报道很少。随着社会的快速进步和人口的不断增长,人类的经济活动已经从不同侧面影响或改变了湖泊生态系统的结构及生态过程,最终必将导致湖泊生态系统服务功能的变化。青藏高原作为众多河流的发源地,生态环境

十分脆弱,其湖泊和河流都有其特殊性,针对其进行的水电开发是集社会、经济、资源、环境等众多因素为一体的重大工程,对生态系统的影响极为深刻。本文拟在分析湖泊生态系统服务功能的基础上,通过建立评价指标体系和评估方法,对羊卓雍湖(以下简称羊湖)进行生态服务价值的估算,以该湖水电工程为例,探讨水电开发对湖泊生态系统服务功能的影响。

1 西藏湖泊类型及特点

西藏的湖泊群是世界上海拔最高、范围最大、数量最多的高原湖泊群,据统计^[7],湖泊总面积为

2.4 万 km² 约占全国湖泊总面积的 30% ,其中藏北约占 88.5% ,10.5% 在藏南 ,仅 1% 分布在藏东南。造成这种分布的不平衡是由于地质历史和自然条件的差异形成的。

湖泊是水系的组成部分 ,按面积统计 ,西藏湖泊中有 97.9% 属内陆湖 ,它们在西藏的内流水系中占有重要的地位。自然地理条件的不同使湖泊在数量、面积、分布及湖水的理化性质等方面都具有明显的地区差异 ,将其分为藏北内陆湖区、藏东南外流湖区、藏南外流-内陆湖区 3 个区^[8]。藏东南外流湖区多为高山峡谷景观 ,地形特点限制了湖泊发育的条件 ,数量少 ,面积也小。许多湖泊是在冰川作用下形成的 ,冰川的作用影响着湖泊的水情。夏季气温高 ,湖泊水位剧增 ,冬季气温骤降 ,水位又急剧下降。藏南外流-内陆湖区的外流湖和内陆湖在分布数量、面积等方面都有显著区别。外流湖泊的特点与藏东南外流湖相似。内陆湖数量多 ,个体较大。藏北内陆湖区划分为南北 2 个部分 ,藏北南部湖区分布的湖泊面积大并且集中 ,由于该区降水量相对较大 ,冰雪融水补给较充足 ,藏北北部湖区湖泊数量多 ,分散并且面积较小。总体而言 ,西藏湖泊水温低、变幅小 ,湖水清澈、透明度高。湖泊矿化度大小表明 ,藏东南是淡水湖 ,藏南是淡水湖和矿化度较低的咸水湖、藏北南部多数是咸水湖、少数是淡水湖或盐湖 ,藏北北部多数是盐湖、少数是咸水湖。

2 高原湖泊生态系统服务功能分类及内涵

根据研究 ,生态系统服务功能大致分为 2 大类 :第 1 类是生态系统产品 ,如为人类提供食物、工业原材料、药品等可以商品化的功能 ,第 2 类是支撑与维持人类赖以生存的环境 ,如生态系统对气候调节、水源涵养、水土保持、土壤肥力的更新与维持、营养物的循环、二氧化碳的固定等难以商品化的功能 ,从而表现为间接价值^[9]。根据水生态系统提供服务的消费与市场化特点 ,把水生态系统的服务功能划分为具有直接使用价值的产品生产功能和具有间接使用价值的生命支持系统功能 2 大类。作为水生态系统的组成之一湖泊生态系统包括湖泊内水域和湖岸带陆域 2 部分 ,因此湖泊内水域与湖岸带地域生态系统产品和生态系统服务的复合体构成了生态系统服务功能。根据水生态系统的组成、结构、生态过程和效用 ,国内外学者^[10-11]把湖泊生态系统服务功能主要划分为提供产品功能、调节功能、生命支持功能和科教娱乐功能 4 大类。高原湖泊由于所处地理位置的特殊性 ,其生态服务功能具有一定的特色。如水力发电功能 ,由于西藏缺乏煤炭、石油等能源 ,丰富

的水能资源是该区主要的可开发能源之一 ,水力发电占有极大的份额 ,此项服务功能是该区湖泊的主要功能之一。有些湖泊与其他湖泊或河流水水平距离很近 ,两者的水面高程却相差悬殊 ,开凿较短的引水隧洞可获得巨大的落差和水量 ,羊卓雍湖抽水蓄能电站(以下简称羊湖电站)就是一个典型例子。有些湖泊含盐、硼等矿 ,且含量高、储量大 ,具有很强的提供产品的服务功能。高原鱼类受海拔高、水温低、饵料少等因素的影响 ,其生长、繁殖较缓慢 ,加上鱼种类型不丰富 ,提供水产品的功能就逊于内地湖泊 ,但由于鱼类生长周期长且湖泊未受到污染 ,鱼肉鲜美 ,具有很高的经济价值。据研究^[8] ,高原湖泊湖体储热量高于平原地区许多大型的湖泊 ,湖泊储热量越大 ,水温越趋稳定 ,且由于高原湖泊地形大多比较封闭 ,更能促进湖-陆风的发展 ,因此高原湖泊对湖滨地区气候的调节作用比平原湖泊更为明显。西藏的许多湖泊景色优美再加上当地神秘的民俗文化 ,所提供的生态旅游功能十分强大。根据以上情况将高原湖泊的生态服务功能主要划分为 :①水力发电和提供产品功能 ,该项功能提供的是直接使用价值 ;②调蓄洪水、水资源蓄积、净化水质、调节气候、土壤持留的调节功能 ;③为动植物提供生境的生命支持功能 ,以及包括生态旅游、科学研究的科教娱乐功能 ,它们所产生的是间接使用价值。

3 高原湖泊生态系统服务功能评价指标体系

评价湖泊生态系统服务功能关键的一步就是建立评价指标体系 ,构建的评价指标体系必须全面、准确 ,突出高原湖泊生态系统的服务功能特点并易于量化 ,以便定量反映湖泊生态系统服务功能的特征。目前多用生态经济学方法进行价值量化 ,通过对湖泊生态系统服务功能影响的价值量评估 ,客观地衡量湖泊生态系统的服务效能。

结合基础数据的可获得性 ,根据西藏高原湖泊的生态系统特征 ,选取的功能指标主要包括调蓄洪水、水力发电、提供产品、水资源蓄积、土壤持留、净化环境、气候调节、提供生境和休闲娱乐。

4 实证研究

4.1 研究区域概况

羊湖为天然高原封闭湖泊 ,是西藏三大圣湖之一 ,位于山南浪卡子县境内。湖面海拔 4 441 m ,东西长 130 km ,南北宽 70 km ,湖岸线总长 250 km ,湖水均深 20~40 m ,最深处达 60 m ,流域面积 6 100 km² ,水面面积 620 km² ,容积 156 亿 m³ ,是喜马拉雅山北麓最大的内陆湖。羊湖湖滨是优良的牧场 ,多牧群及

野生动植物。羊湖中浮游生物种类繁多,为湖中的鱼群提供了丰富的饵料,湖中鱼类以高原裂腹鱼、高原裸鲤为主。据西藏渔业部门统计,羊湖中的鱼类资源蕴藏量达 30 万 t,拥有“西藏鱼库”称号。湖西的宁金抗沙峰等三大雪峰是西藏最重要的神山,也是西藏传统四大神山之一。经调查,近 100 年来湖水位在 4 440 m 左右,湖水位年际变幅 4.28 m,年内变幅约 1.23 m,处于相对稳定状态。湖泊靠地表径流与冰川融水补给,入湖河流主要有卡洞加曲、嘎玛林河、卡鲁雄曲和曲宗浦等四大支流。羊湖主要以降水补给,占流域面积 2% 的冰川每年对湖水的补给量约占总来水量的 1.6%^[12],多年平均入湖径流量 9.54 亿 m³。来水主要消耗于蒸发,且趋于平衡。

羊湖电站位于西藏自治区拉萨市西南 90 km 处,电站首部属浪卡子县,厂房属贡嘎县。电站以羊湖作为上池,以雅鲁藏布江作为下池,利用羊湖与雅鲁藏布江 840 m 的水面差和约 9 km 的水平距离修建引水建筑物发电,总装机容量为 11.25 万 kW。要求发电用水量与抽水量平衡,总体上不动用羊湖水量。电站建成以前,当地居民炊事、取暖烧掉大量木材、草皮、牛粪,对生态平衡造成了很大的破坏。

4.2 湖泊服务功能价值评价

4.2.1 水力发电

羊湖电厂于 1997 年 6 月起 5 台机组相继投入运行,1998 年 9 月投入商业运行,年平均发电量占整个拉萨电网的 50% 左右,年均发电量约为 $5.6 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$,以 0.68 元/(kW·h)计,用市场价值计算法可得水力发电生态经济价值为 3.81×10^8 元/a。

4.2.2 产品生产

羊湖鱼类资源蕴藏量十分丰富,为保护生态环境,目前还未进行过大规模的捕捞。此处不计此项服务功能。

4.2.3 调蓄洪水

利用湖泊的水位年内最大变幅来估算湖泊调蓄洪水能力。根据 1974—2005 年羊湖平均水位分析,羊湖年内水位变幅为 1.23 m,算出其调蓄能力为 $6.39 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 并结合 1988—1991 年全国水库建设投资测算(每建设 1 m³ 库容需要投入的成本为 0.67 元^[9]),可以知道羊湖的调蓄服务价值约为 4.28×10^8 元/a。

4.2.4 水资源蓄积

水资源蓄积指湖泊存储水源、调节径流、补充河流及地下水水量的作用。由于羊湖属于微咸水湖,含盐量较低,区域工农业不发达,人口较少,饮用水取自流入羊湖周边的河流,羊湖水目前基本未用作饮用及工农业供水,但其水质满足农业灌溉和工业

要求。本次研究中将其作为淡水资源考虑,计算其生态经济价值。羊湖总淡水资源量为 $156 \times 10^8 \text{ m}^3$,该功能的生态经济价值估算可采用替代工程法进行。计算结果其生态经济价值约为 104.52×10^8 元。

4.2.5 土壤保持

湖泊的土壤保持功能同时表现为正、负效应,其中调蓄洪水、水资源蓄积等其他服务功能的减弱认为是负效应,而持留土壤、淤积造陆是正效应。由于羊湖本身含沙量较低,其持留土壤、淤积造陆的功能较弱。而作为羊湖电站下库的雅鲁藏布江河段泥沙含量较高,资料表明,其多年平均输沙量为 $1200 \times 10^7 \text{ kg}$,多年平均含沙量为 0.724 kg/m^3 ,汛期(5—10 月)平均含沙量为 0.888 kg/m^3 、含沙量为 $1190 \times 10^7 \text{ kg}$,占全年沙量的 99.2%。为减少蓄能泵过流部件磨损及保持羊湖水位不因发电降低,设置了沉沙池,泥沙拦截标准为粒径大于或等于 0.1 mm,有害粒组沉降保证率大于或等于 80%,说明仍有极少部分泥沙会随着抽水过程进入羊湖。羊湖电站运行 11 年来,由于湖区流域降水量偏多,羊湖水位略有上升,电站常年来基本以发电工况运行,由于抽水给羊湖造成的泥沙量极小,土壤保持服务价值极小。

4.2.6 水质净化

河流、沼泽、湖泊都有一定的自净能力,可以去掉多种排入水体的污染物。由于缺乏足够的系统研究,目前还无法开展大范围的水生态系统净化环境功能的评价工作,有研究者通过研究湖泊的氮磷去除效能,发现 SO₂ 在一定程度上反映湖泊生态系统的水质净化功能和价值^[9,13]。由于羊湖周围无工矿企业,居住的人口很少,因此一般氮磷输入量较少,计算数值很小。

4.2.7 提供生境

各种水体与湿地是地球上最重要的野生生物的栖息地或避难所^[14]。有研究认为,沼泽或泛滥平原提供栖息地或避难所这一服务功能的年生态效益为 439 美元/hm²^[9],折合人民币 2 998.37 元/hm²(以 1 美元兑换人民币 6.83 元计),按羊湖湿地的面积 120 km²进行估算,可得出羊湖沼泽提供野生生物栖息地或避难所这一服务功能的年生态效益为 0.36×10^8 元。

4.2.8 生态旅游

羊湖作为西藏的三大圣湖之一,每年有许多游客前往旅游,其产生的经济效益是可观的。根据 Costanza 等^[15]的研究,全世界河湖生态系统年均提供的休闲娱乐价值为 230 美元/(hm²·a),根据计算得到羊湖休闲娱乐服务价值为 0.974×10^8 元/a(以 1 美元兑换人民币 6.83 元计)。综合计算结果,羊

湖生态系统服务价值为 113.942×10^8 元/a, 其中直接使用价值为 3.808×10^8 元/a, 占总价值的 3.34%; 间接价值为 110.134×10^8 元/a, 占总价值的 96.66%, 可见湖泊的间接使用价值所占份额为绝大多数。

4.3 水电开发对羊湖生态系统服务功能价值的影响分析

4.3.1 水力发电

根据 1974—2005 年羊湖年平均水位的资料分析, 近 32 年来, 羊湖水位呈现“V”字形变化趋势, 1974—1996 年之间, 水位以 -0.19 m/a 的速率显著下降, 自 1997 年发电以来羊湖水位呈较为显著的上升趋势, 每年上升 0.29 m。流域降水量是导致羊湖水位上升的重要原因之一, 据资料分析表明, 1974—1981 年流域平均降水量为 364.0 mm, 大于平衡降水量 P_0 ($P_0 = 360$ mm), 湖水水位较高; 1982—1996 年流域平均降水量为 330.6 mm, 小于平衡降水量, 湖水水位明显偏低; 1997—2005 年流域平均降水量为 409.7 mm, 羊湖水位快速升高。同时, 蒸发量、日照时数和气温变化也是羊湖水位上升的原因, 如羊湖的主要支流卡鲁雄曲流域冰川覆盖率为 20.78% , 冰雪融水是其重要的水源补给, 由于全球气温上升, 近 20 年径流深有明显上升的趋势, 使注入羊湖的冰雪融水增加, 引起水位上升。

羊湖电站设计运行方式为: 在汛期低谷时段利用网内多余的电能从雅鲁藏布江抽水入湖蓄存, 在用电高峰时段从羊湖放水发电, 电站发电总体上不消耗羊湖水量。由于藏中电网持续缺电, 致使羊湖电站不能蓄水与发电并举, 运行一直处于单一泄水发电工况。近年来羊湖水位上升, 电站的运行未影响羊湖水位, 对其水力发电功能没有影响。但未来降水不可预知, 如果电站不能蓄水与发电并举, 持续以单纯发电耗水的工况运行, 长期以来对羊湖水位的影响将不可忽视。

4.3.2 水产品生产

羊湖电站由于发电以来水位有所上升, 水电开发没有改变鱼类的生存条件, 也未进行商业捕捞, 对水产品的生产功能没有影响。

4.3.3 调蓄洪水

电站运行未影响羊湖水位, 其调蓄洪水功能没有受到影响。

4.3.4 水资源蓄积

羊湖电站进水口位于羊湖北岸扎马龙村西侧的扎马龙沟出口右侧山嘴上, 电站兴建前, 扎马龙村的人畜用水主要取自村庄周围的露泉水, 电站兴建后

原有的泉点基本消失, 人畜用水主要取自村东侧约 1.5 km 处的 2 个泉点, 不足部分还需从距村东侧 5 km 的泉点取水。考虑村民生活用水及部分牲畜用水, 选取从村东侧泉眼引水, 修建 2 个有效容积为 10 m³ 的蓄水池, 同时在村外空地建 1 个有效容积为 30 m³ 的蓄水池, 通过压力管道输水。该村的 20 多 hm² 耕地在羊湖引水隧洞贯通后粮食产量呈下降趋势, 因此耕地灌溉以抽取羊湖水和利用地表水相结合来解决, 干旱时节抽湖水灌溉, 雨季通过引水渠引支沟水灌溉和冲洗耕地盐碱, 泵站运行管理费用和补偿粮食减产损失年费用需 1.91 万元。其次由于作为羊湖电站下库的雅鲁藏布江系外流河流, 矿化度为 160 mg/L, 当羊湖电站泄水发电时, 高矿化度湖水对雅鲁藏布江水质将产生影响, 主要表现为对电站尾水出口至曲水大桥段右岸居民生产、生活用水水质的影响。羊湖电站尾水出口至曲水大桥约 12 km 的河段内, 右岸直接从雅鲁藏布江取水的是江塘渠, 该渠为贡嘎县 1 村至 5 村总共近 129 hm² 耕地提供灌溉用水和各村部分居民的生活用水。据研究, 羊湖电站泄水发电时, 最不利情况(枯水期 5 台机发电)的影响未超过《农田灌溉水质标准》中规定的全盐量浓度的限值。因此仅考虑对居民和部分牲畜用水的影响, 江塘灌区内原有约 60% 的居民生活用水取自井水, 为避免或减少水质变化对居民生活及生产的影响, 电站建成后约有 40% 的居民生活用水改为取井水, 在灌区增加 16 口井, 所需费用为 8 万元。以上 2 项合计 9.91 万元, 将这部分费用算作由于电站运行导致水资源蓄积功能的损失价值。

4.3.5 提供生境及休闲娱乐

电站运行后未影响羊湖水位, 且羊湖周围也没有工矿企业, 生活在湖滨的动植物生存条件没有变化, 羊湖周围的景色没有产生变化, 所以没有影响湖泊提供生境的功能和旅游服务功能。

5 结 语

a. 湖泊生态服务功能的价值构成包括直接使用价值与间接使用价值。根据高原湖泊的特性将生态系统服务功能划分为提供产品功能、调节功能、生命支持功能和科教娱乐功能 4 大类, 构建了湖泊生态系统服务功能评价指标体系。

b. 对羊湖生态系统的直接使用价值和间接使用价值进行了初步评价与估算, 结果表明, 其生态系统服务功能价值为 113.942×10^8 元/a, 其中间接使用价值占总价值的 96.66% , 可见羊湖在保持流域

生态环境健康、维持生物多样性、提供生境、防御洪涝灾害、促进当地社会和经济上发挥了极其重要的作用。

c. 羊湖作为羊湖抽水蓄能电站的上库,自建成以来主要以泄水发电为主,气候变化和降雨量的影响未引起湖水位产生较大变化,即水电开发对湖泊的生态服务价值仅产生了很小的影响,主要表现在湖泊周围和雅鲁藏布江水质的影响,计算结果与湖泊直接使用价值相比较,结果表明由水电开发所带来的经济损失为9.91万元,说明水电开发对羊湖生态服务功能的影响很小。水电资源的开发是人类利用自然资源的行为,资源的开发一定会带来对生态环境的影响和改变,这种改变并非都是负面的影响,只要人们在开发过程中注重减轻和避免可能的不利影响,做到开发前进行科学的环境论证和规划,运行期间进行实时监测和处理,就可以使资源利用与环境保护和谐发展。然而,如果羊湖电站一直按发电的方式运行,长此以往对湖水位的影响是不可忽视的,由此带来的对生物生活环境的影响将会是深刻的、复杂的,有待于今后的验证和进一步研究。

d. 目前湖泊生态系统服务功能评价方法还不太成熟,存在着价值标准不太合理及有关数据不够准确等不足,使评价结果的完整性和准确性受到一定影响,同时本研究属探索性工作,在指标的选取、定量化评价方面还有待进一步深入和完善。

参考文献:

- [1] DAILY G. C. Natures services: societal dependence on natural ecosystems[M]. Washington D. C.: Island Press, 1997.
- [2] 赵同谦, 欧阳志云, 郑华, 等. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J]. 自然资源学报, 2004, 19(4): 480-491.

(上接第7页)

参考文献:

- [1] 淮河水利委员会. 淮河志(第一卷): 淮河大事记[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [2] 毛世民, 沈曼莲, 王发信. 淮河中游段河流纵剖面特性[J]. 泥沙信息, 1997(1): 43-47.
- [3] 王学功, 王成. 试论淮河实施河湖分离的必要性及可行方案[J]. 水利水电科技进展, 2005, 25(5): 1-4.
- [4] 淮河水利委员会. 中国江河防洪丛书·淮河卷[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996.
- [5] 谢瑞, 洪大林, 陈长英. 淮河入流对长江水流的影响分

- [3] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 607-613.
- [4] 谢高地, 张钰铨, 鲁春霞, 等. 中国自然草地生态系统服务价值[J]. 自然资源学报, 2001, 16(1): 47-53.
- [5] 孙新章, 周海林, 谢高地. 中国农田生态系统的服务功能及其经济价值[J]. 中国人口资源与环境, 2007, 17(4): 55-60.
- [6] 魏国良, 崔保山, 董世魁, 等. 水电开发对河流生态系统服务功能的影响[J]. 环境科学学报, 2008, 28(5): 234-242.
- [7] 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏自然地理[M]. 北京: 科学出版社, 1982: 64-67.
- [8] 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏河流与湖泊[M]. 北京: 科学出版社, 1982: 115-150.
- [9] 欧阳志云, 赵同谦, 王效科, 等. 水生态服务功能分析及其间接价值评价[J]. 生态学报, 2004, 24(10): 2091-2099.
- [10] 蔡庆华, 唐涛, 邓红兵. 淡水生态系统服务及其评价指标体系的探讨[J]. 应用生态学报, 2003, 14(1): 135-138.
- [11] 栾建国, 陈文祥. 河流生态系统的典型特征和服务功能[J]. 人民长江, 2004, 35(9): 41-43.
- [12] 刘天仇. 西藏羊卓雍错水位动态研究[J]. 地理科学, 1995, 15(1): 55-62.
- [13] 潘文斌, 唐涛, 邓红兵, 等. 湖泊生态系统服务功能评估初探——以湖北保安湖为例[J]. 应用生态学报, 2002, 13(10): 1315-1318.
- [14] 赵同谦, 欧阳志云, 王效科, 等. 中国陆地地表水生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 自然资源学报, 2003, 18(4): 443-452.
- [15] COSTANZA R, d'ARGE R, de GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387: 253-260.

(收稿日期 2010-04-29 编辑 高建群)

杭[J]. 水利水电科技进展, 2008, 28(3): 8-11.

- [6] 淮河水利委员会. 淮河水利简史[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1990.
- [7] 成都科学技术大学水力学教研室. 水力学(上册)[M]. 北京: 人民教育出版社, 1979.
- [8] 段红东. 建设入海水道 造福淮河人民[J]. 治淮, 1999(12): 3-4.
- [9] 武汉水利电力学院水力学教研室. 水力计算手册[M]. 北京: 水利出版社, 1980.
- [10] 毛世民, 许浒. 淮河治理与河湖江海的关系[J]. 水利水电科技进展, 2009, 29(4): 63-66.

(收稿日期 2010-07-27 编辑 高建群)