

水坝对河流生态系统服务功能影响评价

肖建红¹, 施国庆¹, 毛春梅¹, 王 敏², 邢贞相¹

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 南京 210024 2. 河海大学商学院, 南京 210024)

摘要 客观评价水坝对河流生态系统服务功能的影响问题, 对完善我国水利工程环境影响评价和保护河流生态系统具有重要意义。根据水坝对河流生态系统服务功能影响的特点, 建立了评价指标体系, 以 2002 年为评价基准年份, 对全国水坝对河流生态系统服务功能影响进行了评估。结果表明, 防洪和水力发电是水坝的主要功能, 两者分别占其正面影响的 53.94% 和 26.77%; 供水、减少有害气体排放和内陆航运等, 也是水坝的重要功能。水库泥沙淤积的负面影响最大, 年损失值为 -508.63×10^8 元; 其次是水库淹没, 从生态系统的角度进行核算, 年损失值为 -56.65×10^8 元; 水坝对河流生态系统的占据也是其重要的负面影响, 年损失值为 -10.43×10^8 元。

关键词 水坝, 河流生态系统, 河流生态系统服务功能, 河流生态系统产品, 河流生态系统服务, 影响评价

文章编号: 1000-0933(2007)02-0526-12 中图分类号: F062.2, P343.3, Q147 文献标识码: A

Evaluation of effects of dams on river ecosystem service functions in China

XIAO Jian-Hong¹, SHI Guo-Qing¹, MAO Chun-Mei¹, WANG Min², XING Zhen-Xiang¹

¹ State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210024, China

² Business School of Hohai University, Nanjing 210024, China

Acta Ecologica Sinica 2007, 27(2): 0526 ~ 0537.

Abstract: River ecosystem service functions imply the natural environmental conditions and their effectiveness formed and sustained by river ecosystem and its ecological processes. River ecosystem service functions were divided into two groups by their types and effectiveness: river ecosystem products and river ecosystem services. River ecosystem products consist of the products and services harvested firsthand from river ecosystem, including water supply, fish resources, inland navigation, hydropower, recreation and cultural, and raw materials. River ecosystem services are functions to sustain the natural environmental conditions and ecological processes which are necessary for the human survival, including flooding control, soil and sand transfer, water resource storage, soil conservancy, environmental purification, nutrient cycling, and providing wildlife habitat.

The accurate valuation of effects of dams on river ecosystem service functions is very important to environmental impact assessment of water conservancy projects and the maintain river ecosystem in China. On the basis of the effects features, an indicators system has been established to assess the effects of dams on river ecosystem service functions. Then, the effects of dams on river ecosystem service functions in China have been assessed and evaluated in the base year 2002. As a result, flooding control and hydropower generation were main functions of dams, and were up to 53.94% and 26.77% of positive

基金项目: 国家 863 资助项目 (2003AA601080-1), 国家自然科学基金资助项目 (30400275), 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室基金资助项目

收稿日期: 2005-11-28; 修订日期: 2006-06-21

作者简介: 肖建红 (1979 ~) 男, 内蒙古通辽人, 博士生, 主要从事生态水利工程研究. E-mail: xiaojian_hong@163.com

Foundation item: This work was financially supported by National 863 Project (No. 2003AA601080-1), National Natural Science Foundation of China (No. 30400275), State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University

Received date 2005-11-28; **Accepted date** 2006-06-21

Biography: XIAO Jian-Hong, Ph. D. candidate, mainly engaged in ecological water conservancy. E-mail: xiaojian_hong@163.com

effects on dams. Water supply, harmful gases release reduction, and inland navigation were also important functions of dams, and the value of each annually was 561.38×10^8 Yuan RMB, 141.25×10^8 Yuan RMB and 133.95×10^8 Yuan RMB. The total values annually of the dam's positive effects on the river ecosystem service functions was 4410.98×10^8 Yuan RMB. The biggest negative effect of the dam was the reservoir sedimentation which lost annual values with -508.63×10^8 Yuan RMB. The second negative effect was reservoir inundation which lost annual values with -56.65×10^8 Yuan RMB. The occupation of the dam to the river ecosystem was also an important negative effects which lost annual values with -10.43×10^8 Yuan RMB. The total loss annually of the dam's negative effects on the river ecosystem service functions was -575.71×10^8 Yuan RMB.

Key Words : dams ; river ecosystem ; river ecosystem service functions ; river ecosystem products ; river ecosystem services ; evaluation of effects

河流生态系统服务功能是指河流生态系统与河流生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用^[1],包括对人类生存和生活质量有贡献的河流生态系统产品和河流生态系统功能^[2]。近年来,许多学者从不同角度对河流生态系统服务功能进行了研究^[3~5],但是,研究成果较多地集中在美学和娱乐功能评价上,方法主要为旅行费用法和意愿调查法^[6,7]。1997年,Constanza等人对全球生态系统服务的价值进行了评估^[8],是目前最有影响的对生态系统服务的研究结果^[9],其中对湖泊/河流生态系统进行了价值评估。近几年来,我国学者开始对河流生态系统服务功能进行评价,其中较有代表性的有,欧阳志云,赵同谦等^[10,11]对全国水生态系统服务功能价值的研究,张志强,徐中民等^[12,13]对黑河流域生态系统的研究,许中旗,李文华等^[4]对锡林河流域的研究,杨凯,赵军^[15]对城市河流生态系统服务的研究等。

水坝在防洪、灌溉、供水和发电方面起着重要作用^[16],在改善水资源利用、处理和减轻中国所面临的问题和挑战方面,水坝建设仍将是有效的方法^[17]。但是,水坝对生态环境的影响仍存在着持续的争论^[18,19]。目前,与对森林、草原生态系统服务功能的研究相比,对河流生态系统服务尤其是水利工程对河流服务功能影响的关注与研究甚少^[20]。国内外有关水利工程对河流生态系统影响研究,主要以案例研究为主,且较多侧重于对河流生态系统某一方面影响的评价^[21~27]。目前,从河流生态系统服务功能的视角,对这一问题进行研究的成果很少见。本文在借鉴国内外相关研究成果的基础上,以2002年为基准年份,评估了我国修建水坝对河流生态系统服务功能的几个主要影响,以为水坝建设与河流生态系统的和谐发展提供依据。

1 河流生态系统服务功能及水坝影响的评价指标体系

1.1 河流生态系统服务功能

关于生态系统服务功能的分类问题,至今还没有全面、系统、科学的分类理论^[28]。为了对生态系统服务功能价值进行核算,Constanza^[8],Daily^[1]等都曾提出过分类,但是,所包含的内容基本相同。河流生态系统包括河源、河源至大海之间的河道、河岸地区、河道、河岸和洪泛区中有关的地下水、湿地、河口以及其他依赖于淡水流入的近岸环境^[29],是由陆地河岸生态系统、水生生态系统、湿地及沼泽生态系统等在内的一系列子系统组合而成的复合系统^[30]。根据河流生态系统提供服务的类型和效用,将河流生态系统服务功能划分为河流生态系统产品和河流生态系统服务两大类,河流生态系统产品是指由河流生态系统产生的,通过提供直接产品或服务维持人的生产、生活活动的功能,它包括供水、提供水产品、内陆航运、水力发电、休闲文化和提供原材料等;河流生态系统服务是指河流生态系统维持的人类赖以生存的自然环境条件和生态过程的功能,它包括调蓄洪水、河流输沙、蓄积水分、土壤保持、净化环境、养分循环和提供生境等(表1)。

1.2 水坝影响的评价指标体系

根据水坝对河流生态系统服务功能影响的特点和基础资料的可收集性,相对应地建立了影响评价指标体系(见表1)。

表 1 水坝对河流生态系统服务功能影响评价指标体系

Table 1 The indicators system of effects assessment of dams on river ecosystem service functions

项目 Item	河流生态系统服务功能分类 Classification of river ecosystem service functions	水坝对河流生态系统服务功能影响评价指标体系 The indicators system of effects assessment of dams on river ecosystem service functions
河流生态系统产品 River ecosystem products	供水 Water supply	水库供水 Water supply of reservoir
	提供水产品 Fish resources	水库养鱼 Pisciculture of reservoir
	内陆航运 Inland navigation	水库航运 Navigation of reservoir
	水力发电 Hydropower	水力发电 Hydropower
	休闲文化 Recreation and cultural	水利风景区旅游、水库淹没 Water recreation area tourism, Reservoir inundation
	提供原材料 Raw materials supply	水库淹没 Reservoir inundation
	调蓄洪水 Flooding control	水库调蓄洪水 Flooding control of reservoir
河流生态系统服务 River ecosystem services	河流输沙 Soil and sand transfer	水库泥沙淤积 Reservoir sedimentation
	蓄积水分 Water resource storage	水库淹没 Reservoir inundation
	土壤持留 Soil conservancy	水库淹没 Reservoir inundation
	净化环境 Environmental purification	水力发电减少有害气体排放、水库淹没 Reduced harmful gases by hydropower, Reservoir inundation
	养分循环 Nutrient cycling	水库淹没 Reservoir inundation
	提供生境 Providing wildlife habitat	水坝对河流生态系统的占据、水库淹没 River ecosystem occupied by dams, Reservoir inundation

2 水坝对河流生态系统服务功能影响评价

2.1 水坝对河流生态系统服务功能影响评价的整体思路

在进行影响评价时,采用的是有无水坝进行对比的。对于水坝的正面影响进行核算时,用 2002 年水坝修建后引起变化的物质质量乘以它们各自的单价(或用间接方法进行核算时的单位价值),因为若不修建水坝,将不会提供上述功能,所以在 2002 年这一年可以形成一种有无水坝的对比。对于水坝的负面影响进行核算时,采用的是负面影响的累计效应,用截止 2002 年(50 多年)水库泥沙淤积总量、水坝占据总面积和水库淹没总面积通过间接方法折算的物质质量乘以它们用间接方法进行核算时的单位价值,因为若不修建水坝,这些泥沙将不会被淤积、河流生态系统将不会被占据、陆地将不会被淹没,2002 年,它们仍将发挥着自己的功能价值;但是,由于修建水坝使其失去了在 2002 年提供功能价值的机会,所以计算 2002 年的损失值,其实质是计算若不修建水坝,这些总量在 2002 年这一年能提供的功能价值,这样在 2002 年这一年可以形成一种有无水坝的对比。

2.2 水坝对河流生态系统产品影响评价

2.2.1 数据资料来源

(1) 水库供水 根据《2003 中国统计年鉴》^[B1]中的数据,2002 年,全国总供水量为 $5497.28 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中生活和工业用水约占 32%,农业生产及其他用水约占 68%。每年全国水库供水量约占总供水量的 30%^[20],按照上述比例计算可得,水库为生活和工业供水 $527.74 \times 10^8 \text{ m}^3$,为农业生产及其他供水 $1121.46 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

(2) 水库养鱼 根据《2003 中国统计年鉴》^[B1]中的数据,2002 年,全国水库已养殖的水面面积为 $1516 \times 10^3 \text{ hm}^2$,全国水库养殖鱼类的单产约为 85 kg/hm^2 ^[B2],则水库养鱼的总产量为 $12.89 \times 10^4 \text{ t}$ 。

(3) 水库航运 根据《2002 年公路水路交通行业发展统计公报》^[B3]中的数据,2002 年,全国内陆航运货物周转量为 $27510.6 \times 10^8 \text{ t} \cdot \text{km}$,旅客周转量为 $81.8 \times 10^8 \text{ 人} \cdot \text{km}$;全国内河航道里程 121557 km,其中库区航道 9743 km,占 8.02% (这只是保守的估计,未考虑航道等级)。按照上述比例计算可得,水库提供航运的货物周转量 $2206.35 \times 10^8 \text{ t} \cdot \text{km}$,旅客周转量 $6.56 \times 10^8 \text{ 人} \cdot \text{km}$ 。

(4)水力发电 根据《2003 中国电力年鉴》^[64]中的数据 2002 年,全国水力发电量为 $2745.65 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

(5)水利风景区旅游 根据《2003 年水利统计公报》^[65]中的数据(2002 年没有相关数据,故用 2003 年的数据)2003 年,全国水利已建水利风景区 822 个,旅游收入为 5.60×10^8 元。

2.2.2 水坝对河流生态系统产品影响评价结果见表 2。

表 2 水坝对河流生态系统产品影响评价结果

Table 2 The result in the evaluation of effects of dams on river ecosystem products

功能类型 Service functions type	物质量 Materialization amount	单位价值* Unit value	年总价值量 Annual value in total ($\times 10^8$ Yuan RMB)
水库供水(生活、工业)($\times 10^8 \text{ m}^3$) Water supply of reservoir (living, Industrial)	527.74	1.00 (元/ m^3) ^[6] (Yuan RMB/ m^3)	527.74
水库供水(农业生产)($\times 10^8 \text{ m}^3$) Water supply of reservoir (Agricultural)	1121.46	0.03 (元/ m^3) ^[6] (Yuan RMB/ m^3)	33.64
水库养鱼($\times 10^4 \text{ t}$) Pisciculture of reservoir	12.89	7000 (元/t) ^[6] (Yuan RMB/t)	9.02
水库航运(货)($\times 10^8 \text{ t} \cdot \text{km}$) Navigation of reservoir (Freight)	2206.35	0.06 (元/ $\text{t} \cdot \text{km}$) ^[6] (Yuan RMB/ $\text{t} \cdot \text{km}$)	132.38
水库航运(客)($\times 10^8 \text{ 人} \cdot \text{km}$) Navigation of reservoir (Passenger)	6.56	0.24 (元/ $\text{人} \cdot \text{km}$) ^[6] (Yuan RMB/ $\text{人} \cdot \text{km}$)	1.57
水力发电($\times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$) Hydropower	2745.65	0.43 (元/ $\text{kW} \cdot \text{h}$) ^[6] (Yuan RMB/ $\text{kW} \cdot \text{h}$)	1180.63
水利风景区旅游 Water recreation area tourism	—	—	5.60

* 单位价值选自文献 [11] Unit value come from document [11]

2.3 水坝对河流生态系统服务影响评价

2.3.1 数据资料来源及核算方法

(1)水库调蓄洪水 根据《2002 年水利统计公报》^[66]中的数据 2002 年,全国已累计建成各类水库 8.5×10^4 座,水库总库容 $5594 \times 10^8 \text{ m}^3$,已建成江河堤防 $27.4 \times 10^4 \text{ km}$,保护人口 5.0×10^8 人,保护耕地 $0.43 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 。水库调蓄洪水功能的价值,可利用其保护耕地而避免产生的综合农业损失来进行计算^[10,11],单位平均综合农业受灾损失值取 $5532.90 \text{ 元}/\text{hm}^2$ ^[67]。

(2)水库泥沙淤积 水土保持、泥沙控制工程、建库等会引起河流输沙量的减少,但是建库的影响最大^[68]。根据《2002 年中国河流泥沙公报》^[69]和《2003 年中国河流泥沙公报》^[40]中的数据,计算了部分水库的年均泥沙淤积量(见表 3),计算的方法是用河流多年输沙量的平均值减去河流 2001~2003 年输沙量调整后的平均值(即认为河流输沙量的减少主要是由水库淤积引起)径流量与河流输沙量存在着非常复杂的关系^[68],在对黄河、松花江、辽河和海河等径流量减小幅度较大的河流进行输沙量调整时,只是简单地认为径流量与输沙量成正相关,最后,计算可得水库年均泥沙淤积量为 $5.67 \times 10^8 \text{ t}$,总淤积量为 $283.50 \times 10^8 \text{ t}$ (按 50a 计算)。

采用机会成本法计算泥沙淤积年损失值,取土壤表土平均厚度 0.5 m,土壤平均容重 $1.28 \text{ t}/\text{m}^3$ ^[61],可计算出造地 $442.97 \times 10^4 \text{ hm}^2$,取土地单位价值收益为 $11482.31 \text{ 元}/\text{hm}^2$ (根据文献^[61]计算)。

(3)水力发电减少有害气体排放 用水力发电代替燃煤的火力发电,可以减少 CO_2 和 SO_2 等有害气体的排放。按照发 $1 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 电需要 0.33 kg 煤,1 t 标准煤燃烧排放 2 t CO_2 和 0.02 t SO_2 计算(按照文献^[7]中的数值折算)^[7]。则 2002 年全国水力发电共减少了 $0.50 \times 10^8 \text{ t C}$ ($1.82 \times 10^8 \text{ t CO}_2$) 和 $0.018 \times 10^8 \text{ t SO}_2$ 的排放。治理 C 的单位价值取 $260.9 \text{ 元}/\text{t} \cdot \text{C}$ ^[62],治理 SO_2 的单位价值取 $600 \text{ 元}/\text{t}$ ^[63]。

(4)水坝对河流生态系统的占据 由于水坝对河流生态系统的占据、分隔等作用,影响了河流生态系统提供生境及其他服务功能,本研究用水坝坝底的面积来代表其对河流生态系统的占据面积。根据 Constanza

等人的研究成果^[8], 河流提供服务的年单位价值为 70337.95 元/ hm² (取 100USD 等于 827.7RMB), 用水坝坝底占据面积乘以河流提供服务的年单位价值, 估算水坝占据对河流生态系统提供生境及其他服务功能造成的影响。

表 3 水库年均泥沙淤积量

Table 3 The reservoir average sedimentation amount

流域水文站 Basin hydrological station	多年平均值 Long-period average		2001 ~ 2003 年平均值 Average annual amount during 2001 ~ 2003		调整 2001 ~ 2003 年平均值 Adjusted amount of annual average during 2001 ~ 2003		年均淤积量 Average annual amount of sedimentation ($\times 10^8$ t)
	输沙量 Sand-transported amount ($\times 10^8$ t)	径流量 Run-off amount ($\times 10^8$ m ³)	输沙量 Sand-transported amount ($\times 10^8$ t)	径流量 Run-off amount ($\times 10^8$ m ³)	输沙量 Sand-transported amount ($\times 10^8$ t)	径流量 Run-off amount ($\times 10^8$ m ³)	
长江大通 Datong of Yangtze River	4.33	9051	2.52	9141	2.52	9141	1.81
黄河利津 Linjin of Yellow River	8.39	331	1.48	94	5.21	331	3.18
淮河蚌埠 Bengbu of Huaihe River	0.10	264	0.04	315	0.04	315	0.06
珠江* Zhujiang River	0.80	2866	0.47	2962	0.47	2962	0.33
松花江哈尔滨 Harbin of Songhuajiang River	0.07	438	0.03	268	0.05	438	0.02
辽河六间房 Liuqianfang of Liaohe River	0.06	37	0.001	4	0.01	37	0.05
钱塘江兰溪 Lanxi of Qiantang River	0.02	167	0.01	174	0.01	174	0.01
闽江竹岐 Zhuqi of Minjiang River	0.06	538	0.01	548	0.01	548	0.05
海河** Haihe River	0.21	24	0.01	5	0.05	24	0.16
合计 Total	—	—	—	—	—	—	5.67

* 珠江的输沙量和径流量是西江的高要水文站、北江的石角水文站和东江的博罗水文站数据之和; ** 海河的输沙量和径流量是桑干河的时厘里水文站、洋河的响水堡水文站、永定河的雁翅水文站、潮河的下会水文站和白河的张家坟水文站数据之和

* The Sand-transported amount and run-off amount of Zhujiang River were composed of Gaoyao of Xijiang River, Shijiao of Beijiang River and Boluo of Dongjiang River; ** The Sand-transported amount and run-off amount of Haihe River were composed of Shixiali of Sangganhe River, Xiangshuibao of Yanghe River, Yanchi of Yongdinghe River, Xiahui of Chaohe River and Zhangjiafen of Baihe River

水坝主要分为土石坝、重力坝和拱坝 3 种, 在我国已建成的 30m 以上的大坝中, 土石坝约占 80%^[44], 拱坝约有 300 多座^[45], 其余基本为重力坝。本研究只估算了 30m 以上大坝的占据面积, 2003 年, 我国已建、在建 30m 以上的大坝 4694 座 (因 2002 年数据不完整, 故用 2003 年数据; 因在建的水坝也会对河流生态系统造成影响, 故包含在内), 其中 100m 以上的大坝 108 座, 30 ~ 100m 之间的大坝 4586 座^[46], 则按照上述数据和比例可得, 土石坝约 3669 座, 取拱坝为 300 座, 则重力坝约 617 座。计算土石坝和重力坝坝底面积时, 用的是棱台公式:

$$V = h (F + F' + \sqrt{FF'}) / 3 \quad (1)$$

式中, F 和 F' 分别为上、下底面积^[47], 计算拱坝坝底面积时, 用中厚度拱坝拱体的最大厚度乘以它的坝顶长来计算。

在设计中, 我国土石坝要求最小顶宽为 10 ~ 15m^[48], 取均值 12.5 m; 重力坝顶宽一般取坝高的 8% ~ 10%, 且不小于 2m^[48], 取均值 9%, 且 30m 以上的大坝顶宽大于 2m; 中厚度拱坝拱体最大厚度相当于高的 0.2 ~ 0.35 倍^[48], 取均值 0.275 倍。

用上述方法计算了 100m 以上的大坝 94 座, 其中土石坝 45 座、重力坝 26 座和拱坝 23 座; 计算了 30m ~ 100m 的大坝 170 座, 其中土石坝 94 座、重力坝 39 座和拱坝 37 座, 基础数据选自文献^[46, 49, 50], 以此为基础, 估算了 30 ~ 100m 大坝中, 土石坝、重力坝和拱坝的占据面积 (见表 4)。

表 4 水坝占据河流生态系统面积

Table 4 The river ecosystem areas occupied by dams

类别 Type	占据面积 (hm ²) Occupation area
45 座 100m 以上土石坝的占据面积 Occupation area of dam height more than 100m of 45 earth-rock dams	642.94
26 座 100m 以上重力坝的占据面积 Occupation area of dam height more than 100m of 26 gravity dams	118.20
23 座 100m 以上拱坝的占据面积 Occupation area of dam height more than 100m of 23 arch dams	46.58
94 座 30 ~ 100m 土石坝的占据面积 * Occupation area of dam height 30 ~ 100m of 94 earth-rock dams *	325.65
39 座 30 ~ 100m 重力坝的占据面积 * Occupation area of dam height 30 ~ 100m of 39 gravity dams *	76.33
37 座 30 ~ 100m 拱坝的占据面积 * Occupation area of dam height 30 ~ 100m of 37 arch dams *	13.41
3669 座 30 ~ 100m 土石坝的估算占据面积 Estimated Occupation area of dam height 30 ~ 100m of 3669 earth-rock dams	12710.74
617 座 30 ~ 100m 重力坝的估算占据面积 Estimated Occupation area of dam height 30 ~ 100m of 617 gravity dams	1207.58
300 座 30 ~ 100m 拱坝的估算占据面积 Estimated Occupation area of dam height 30 ~ 100m of 300 arch dams	108.73
合计 (不含 *) Total (* wasn't contained)	14834.77

2.3.2 水坝对河流生态系统服务影响评价结果表 5 给出。

表 5 水坝对河流生态系统服务影响评价结果

Table 5 The result in the evaluation of effects of dams on river ecosystem services

功能类型 Service function type	物质量 Materialization amount	单位价值 Unit value	年总价值量 Annual value in total ($\times 10^8$ Yuan RMB)
水库调蓄洪水 ($\times 10^8$ hm ²) Flooding control of reservoir	0.43	5532.90 (元/hm ²) ⁽¹⁾ (Yuan RMB / hm ²)	2379.15
水库泥沙淤积 ($\times 10^4$ hm ²) Reservoir sedimentation	442.97	11482.31 (元/hm ²) ⁽²⁾ (Yuan RMB / hm ²)	-508.63
水力发电减少 C 排放 ($\times 10^8$ t) Reduced C by hydropower	0.50	260.90 (元/t) ⁽³⁾ (Yuan RMB / t)	130.45
水力发电减少 SO ₂ 排放 ($\times 10^8$ t) Reduced SO ₂ by hydropower	0.018	600.00 (元/hm ²) ⁽⁴⁾ (Yuan RMB / hm ²)	10.80
水坝对河流生态系统的占据 (hm ²) River ecosystem was occupied by dams	14834.77	70337.95 (元/hm ²) ⁽⁵⁾ (Yuan RMB / hm ²)	-10.43

单位价值的 (1) 选自文献 [37]; (2) 为自己计算, 用 2002 年农业总产值/2002 年耕地总面积; (3) 选自文献 [42]; (4) 选自文献 [43]; (5) 选自文献 [8] 中的 "Lakes/rivers" 的 Total value (per hm²) 一项, 取 100USD 等于 827.7 Yuan RMB

Unit value (1) come from document [37], and unit value (2) was calculated by gross output value of farming / total area of cultivated land in 2002, and unit value (3) come from document [42], and unit value (4) come from document [43], and unit value (5) come from total lakes/rivers value of document [8], and 100USD equal to 827.7 Yuan RMB

2.4 水库淹没损失

2.4.1 数据来源及核算方法

在估算淹没的植被类型时,根据现有的资料,很难按照典型的区域进行划分,本研究只是粗略地从全国范围对其进行了估算。根据《2003 中国统计年鉴》^[31]中的数据,可以得到我国森林、草原和耕地面积占全国陆地总面积的比率(覆盖率)分别为 16.56%、41.67% 和 13.54%,同时可以得到我国水库水面的总面积为 $2302 \times 10^3 \text{ hm}^2$,根据陈仲新等人^[51]的研究成果,计算出我国湿地(含沼泽)面积占全国陆地总面积的比率(覆盖率为) 1.65%。修建水库淹没的陆地面积大于水库正常蓄水时水库水面面积的 50%,在本研究中,全国水库淹没陆地的总面积按水库水面总面积的 50% 计,并按照上述类型的比率进行分类,可以估算出,截止 2002 年,我国由于修建水库共淹没森林 $190.61 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、草原 $479.62 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、耕地 $155.85 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、湿地(含沼泽) $18.99 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 。

河流生态系统是由陆地河岸生态系统、水生生态系统、湿地及沼泽生态系统等在内的一系列子系统组合而成的复合系统,修建水坝对河流生态系统的森林、草原、湿地及沼泽等的淹没,不只是淹没了他们本身,而是淹没了森林生态系统、草原生态系统、湿地及沼泽生态系统,甚至更高一级的复合生态系统,应从生态系统服务功能的角度对其进行核算。根据 Constanza 等人^[8]的研究成果,对淹没损失进行了分功能核算。

2.4.2 淹没损失的河流生态系统产品评价结果见表 6。

表 6 淹没损失的河流生态系统产品评价结果

Table 6 Losses of river ecosystem products by reservoir inundation

损失服务功能的类型 Loss of service function type	物质量 ($\times 10^3 \text{ hm}^2$) Materialization amount	单位价值 (元/ hm^2) Unit value (Yuan RMB / hm^2)	年总价值量 ($\times 10^8$ 元) Annual amount in total ($\times 10^8$ Yuan RMB)
水库淹没损失 休闲文化(森林) Loss of Reservoir inundation :Recreation and cultural (Forest)	190.61	562.84 ⁽¹⁾	-1.07
水库淹没损失 休闲文化(草原) Loss of Reservoir inundation :Recreation and cultural (Grass)	479.62	16.55 ⁽²⁾	-0.08
水库淹没损失 休闲文化(湿地) Loss of Reservoir inundation :Recreation and cultural (Wetland)	18.99	12043.04 ⁽³⁾	-2.29
水库淹没损失 提供原材料(森林) Loss of Reservoir inundation :Raw materials (Forest)	190.61	1498.14 ⁽⁴⁾	-2.86
水库淹没损失 提供原材料(草原) Loss of Reservoir inundation :Raw materials (Grass)	479.62	554.56 ⁽⁵⁾	-2.66
水库淹没损失 提供原材料(湿地) Loss of Reservoir inundation :Raw materials (Wetland)	18.99	2996.27 ⁽⁶⁾	-0.57
水库淹没损失 提供原材料(耕地) Loss of Reservoir inundation :Raw materials (Cropland)	155.85	11482.31 ⁽⁷⁾	-17.90
合计 Total	—	—	-27.43

单位价值 (1)~(6) 选自文献 [8], 其中 (1)~(3) 分别为森林、草原、湿地的 "Recreation" 和 "Cultural" 两项之和, (4)~(6) 分别为森林、草原、湿地的 "Food production" 和 "Raw materials" 两项之和; (7) 为自己计算, 用 2002 年农业总产值/2002 年耕地总面积, 数据来源于文献 [31]; 取 100USD 等于 827.7 Yuan RMB

Unit value (1)~(6) come from document [8], and unit value (1)~(3) come separately from the sum of recreation and cultural of forest, grass and wetland; and unit value (4)~(6) come separately from the sum of food production and raw materials of forest, grass and wetland; and unit value (7) was calculated by gross output value of farming /total area of cultivated land in 2002, the data come from document [31]; 100USD equal to 827.7 Yuan RMB

2.4.3 淹没损失的河流生态系统服务评价结果见表 7。

表 7 淹没损失的河流生态系统服务评价结果

Table 7 Losses of river ecosystem services by reservoir inundation

损失服务功能的类型 Loss of service function type	物质量 ($\times 10^3 \text{ hm}^2$) Materialization amount	单位价值 (元/ hm^2) Unit value (Yuan RMB/ hm^2)	年总价值量 ($\times 10^8$ 元) Annual value in total ($\times 10^8$ Yuan RMB)
水库淹没损失 蓄积水分 (森林) Loss of Reservoir inundation :Water resource storage (Forest)	190.61	24.83 ⁽¹⁾	-0.05
水库淹没损失 蓄积水分 (湿地) Loss of Reservoir inundation :Water resource storage (Wetland)	18.99	31452.60 ⁽²⁾	-5.97
水库淹没损失 土壤持留 (森林) Loss of Reservoir inundation Soil conservancy (Forest)	190.61	794.59 ⁽³⁾	-1.52
水库淹没损失 土壤持留 (草原) Loss of Reservoir inundation Soil conservancy (Grass)	479.62	240.03 ⁽⁴⁾	-1.15
水库淹没损失 净化环境 (森林) Loss of Reservoir inundation :Environmental purification (Forest)	190.61	1887.16 ⁽⁵⁾	-3.60
水库淹没损失 净化环境 (草原) Loss of Reservoir inundation :Environmental purification (Grass)	479.62	778.04 ⁽⁶⁾	-3.73
水库淹没损失 净化环境 (湿地) Loss of Reservoir inundation :Environmental purification (Wetland)	18.99	35673.87 ⁽⁷⁾	-6.77
水库淹没损失 养分循环 (森林) Loss of Reservoir inundation :Nutrient cycling (Forest)	190.61	2988.00 ⁽⁸⁾	-5.70
水库淹没损失 提供生境 (森林) Loss of Reservoir inundation :Providing wildlife habitat (Forest)	190.61	132.43 ⁽⁹⁾	-0.25
水库淹没损失 提供生境 (湿地) Loss of Reservoir inundation :Providing wildlife habitat (Wetland)	18.99	2516.21 ⁽¹⁰⁾	-0.48
合计 Total	—	—	-29.22

单位价值选自文献 [8], 其中 (1)~(2) 选自森林、湿地的“Water supply”; (3)~(4) 选自森林、草原的“Erosion control”; (5)~(6) 分别为森林、草原、湿地的“Gas regulation”, “Climate regulation”和“Waste treatment”三项之和; (8) 选自森林的“Nutrient cycling”; (9)~(10) 分别为森林、湿地的“Habitat/refugia”和“Genetic resource”两项之和。取 100USD 等于 827.7 Yuan RMB

Unit value come from document [8], and unit value (1)~(2) come separately from water supply of forest and wetland; and unit value (3)~(4) come separately from erosion control of forest and grass; and Unit value (5)~(6) come separately from the sum of gas regulation, climate regulation and waste treatment of forest, grass and wetland, and unit value (8) come from nutrient cycling of forest, and unit value (9)~(10) come separately from the sum of habitat/refugia and genetic resource of forest and wetland; 100USD equal to 827.7 Yuan RMB

2.5 水坝对河流生态系统产品和河流生态系统服务正负面影响评价结果

2.5.1 水坝对河流生态系统产品正负面影响评价结果见表 8。

表 8 水坝对河流生态系统产品正负面影响评价结果

Table 8 The result in the evaluation of positive and negative effects of dams on river ecosystem products

正面影响 Positive effect		负面影响 Negative effect	
功能类型 Service function type	年总价值量 ($\times 10^8$ 元) Annual value in total ($\times 10^8$ Yuan RMB)	功能类型 Service function type	年总价值量 ($\times 10^8$ 元) Annual value in total ($\times 10^8$ Yuan RMB)
水库供水 Water supply of reservoir	561.38	水库淹没损失 : 休闲文化 Loss of Reservoir inundation : Recreation and cultural	-3.44
水库养鱼 Pisciculture of reservoir	9.02	水库淹没损失 : 提供原材料 Loss of Reservoir inundation :Raw materials supply	-23.99
水库航运 Navigation of reservoir	133.95	—	—
水力发电 Hydropower	1180.63	—	—
水利风景区旅游 Water recreation area tourism	5.60	—	—
合计 Total	1890.58	合计 Total	-27.43

2.5.2 水坝对河流生态系统服务正负面影响评价结果见表 9。

表 9 水坝对河流生态系统服务正负面影响评价结果

Table 9 The result in the evaluation of positive and negative effects of dams on river ecosystem services

正面影响 Positive effect		负面影响 Negative effect	
功能类型 Service function type	年总价值量 ($\times 10^8$ 元) Annual value in total ($\times 10^8$ Yuan RMB)	功能类型 Service function type	年总价值量 ($\times 10^8$ 元) Annual value in total ($\times 10^8$ Yuan RMB)
水库调蓄洪水 Flooding control of reservoir	2379.15	水库泥沙淤积 Reservoir sedimentation	-508.63
水力发电减少有害气体 Reduced harmful gases by hydropower	141.25	水坝对河流生态系统的占据 River ecosystem was held by dams	-10.43
—	—	水库淹没损失 :蓄积水分 Loss of Reservoir inundation :Water resource storage	-6.02
—	—	水库淹没损失 :土壤持留 Loss of Reservoir inundation :Soil conservancy	-2.67
—	—	水库淹没损失 :净化环境 Loss of Reservoir inundation :Environmental purification	-14.10
—	—	水库淹没损失 :养分循环 Loss of Reservoir inundation :Nutrient cycling	-5.70
—	—	水库淹没损失 :提供生境 Loss of Reservoir inundation :Providing wildlife habitat	-0.73
合计 Total	2520.40	合计 Total	-548.28

2.6 水坝对河流生态系统服务功能影响评价结果

水坝对河流生态系统服务功能影响评价结果见表 10 给出。

表 10 水坝对河流生态系统服务功能影响评价结果

Table 10 The result in the evaluation of positive and negative effects of dams on river ecosystem service functions

正面影响 Positive effect		负面影响 Negative effect	
功能类型 Service function type	年总价值量 ($\times 10^8$ 元) Annual value in total ($\times 10^8$ Yuan RMB)	功能类型 Service function type	年总价值量 ($\times 10^8$ 元) Annual value in total ($\times 10^8$ Yuan RMB)
河流生态系统产品 River ecosystem products	1890.58	河流生态系统产品 River ecosystem products	-27.43
河流生态系统服务 River ecosystem services	2520.40	河流生态系统服务 River ecosystem services	-548.28
合计 Total	4410.98	合计 Total	-575.71

3 结果与讨论

(1) 防洪和发电是水坝的主要功能,两者分别占水坝正面影响的 53.94% 和 26.77%,供水、减少有害气体排放和水库航运等,也是水坝的重要功能。

(2) 核算了截止 2002 年 (50 多年),水库泥沙淤积、水坝占据和水库淹没等负面影响的累积效应,其中水库泥沙淤积的负面影响最大,2002 年损失值达 -508.63×10^8 元;其次是水库淹没,从生态系统的角度进行核算,2002 年损失值达 -56.65×10^8 元;水坝对河流生态系统的占据也是其重要的负面影响,2002 年损失值达 -10.43×10^8 元,这是非常保守的估计。

(3) 本研究从河流生态系统服务功能的角度,对水坝引起的部分正负影响予以关注和估算,而对诸如其引起的移民、地质等其他问题,未予以考虑。同时,考虑到修建水坝对河流生态系统服务功能影响,纷繁复杂和涉及巨大的不确定性,作者已注意到本研究还存在许多不足之处,特别是对河流生态系统服务功能负面影响的评估,只是非常粗略和保守的,对诸如水库淹没、水坝对河流生态系统提供生境的影响、水库富营养化、水坝对洄游生物的影响、水坝引起的水文变化对河流生态系统的影响等诸多问题,进行了较为粗略的核算或未进行核算,所以,本次核算的负面影响只是很小的一部分。

(4) 本研究只是做了一些探索性的工作,在指标的选取、定量化方面还有待进一步深入、完善。但是,这一评价对保持水坝建设与河流生态系统的和谐发展,具有参考价值。

References :

- [1] Xiao J H, Shi G Q, Mao C M, *et al.* Pre-evaluation of effects of TGP on river ecosystem services. *Journal of Natural Resources*, 2006 21 (3) : 424 - 431.
- [2] Carins J. Protecting the delivery of ecosystem services. *Ecosystem Health*, 1997 3 (3) : 185 - 194.
- [3] Amigues J P, Boulatoff C, Desigues B, *et al.* The benefits and costs of riparian analysis habitat preservation : A willingness to accept/Willingness to pay using contingent valuation approach. *Ecological Economics*, 2002 43 (1) : 17 - 31.
- [4] Hanley N, Schlpfer F, Spurgeon J. Aggregating the benefits of environmental improvements : distance-decay functions for use and non-use values. *Environmental Management*, 1997 68 297 - 304.
- [5] Loomis J, Kent P, Strange L, *et al.* Measuring the economic value of restoring ecosystem services in an impaired river basin : results from a contingent valuation survey. *Ecological Economics*, 2000 33 (1) : 103 - 117.
- [6] Ward F A, Roach B A, Henderson J E. The economic value of water in recreation : evidences from the California drought. *Water Resources Research*, 1996 32 (4) : 1075 - 1081
- [7] Wilson M A, Carpenter S R. Economic valuation of freshwater ecosystem services in the United States : 1971 - 1997. *Ecological Applications*, 1999 9 (3) : 772 - 783
- [8] Costanza R, d'Arge R, Rudolf de Groot, *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997 387 253 - 260
- [9] Zhang Z Q, Xu Z M, Cheng G D. Valuation of ecosystem services and natural capital. *Acta Ecologica Sinica*, 2001 21 (11) : 1918 - 1926.
- [10] Ouyang Z Y, Zhao T Q, Wang X K. Ecosystem services analyses and valuation of China terrestrial surface water system. *Acta Ecologica Sinica*, 2004 24 (10) : 2091 - 2099.
- [11] Zhao T Q, Ouyang Z Y, Wang X K. Ecosystem services and their valuation of terrestrial surface water system in China. *Journal of Natural Resources*, 2003 18 (4) : 443 - 452.
- [12] Zhang Z Q, Xu Z M, Wang J. Value of the ecosystem services in the Heihe river basin. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2001 23 (4) : 360 - 366.
- [13] Zhang Z Q, Xu Z M, Cheng G D. Contingent valuation of the economic benefits of restoring ecosystem services of Zhangye prefecture of Heihe river basin. *Acta Ecologica Sinica*, 2002 22 (6) : 885 - 893.
- [14] Xu Z Q, Li W H, Wen Q W. Research on change in value of ecosystem services in Xinlin river basin. *Journal of Natural Resources*, 2005 20 (1) : 99 - 102.
- [15] Yang K, Zhao J. Study on the ecosystem services value of urban river using contingent valuation method and bias analysis of the results. *Acta Ecologica Sinica*, 2005 25 (6) : 1391 - 1396.
- [16] Jim T. A Barrage of Criticism. http://www.igreens.org.uk/world_dam_report.htm
- [17] Gao J Z. Establishing an environment friendly hydropower construction system. *China Water Resources*, 2004, (13) : 6 - 9.
- [18] Petts G. Impounded rivers : perspectives for ecological management. New York : Wiley, Chichester, 1984.
- [19] The World Commission On Dams. The Report of The world commission on dams : dams and development. Earthscan publication Ltd., 2000.
- [20] Lu C X, Xie G D, Cheng S K. Approaches to evaluate the effects of hydraulic engineering on river ecosystem services. *Journal of Applied Ecology*, 2003 14 (5) : 803 - 807.
- [21] Aguiar F C, Ferreira M T, Moreira I. Exotic and native vegetation establishment following canalization of a western Iberian river. *Regulated Rivers : Research & Management*, 2001 17 509 - 526.
- [22] Chovanec A, Schiemer F, Waidbacher H, *et al.* Rehabilitation of a Heavily Modified River Section of the Danube in Vienna (Austria) : Biological Assessment of Landscape Linkages on Different Scales. *Internat Rev Hydrobiol*, 2002 87 183 - 195.

- [23] Puff L N , Allan D , Bain M B , *et al.* The natural flow regime , a paradigm for river conservation and restoration. *Bioscience* , 1997 *47* : 769 — 784.
- [24] Li Y M , Shi F Y. The impact analysis of hydraulic engineering in the upper Yellow River on water quality. *Yellow River* , 1998 *20* (11) : 8 — 10.
- [25] Lu C X , Zhang Y J , Cheng S K. Analysis on opportunity cost of Daliushu Project in Yellow River. *Shuili Xuebao* , 2003 , (10) : 124 — 128.
- [26] Yang Z H , Yang C P , Zeng G M. Study on the effect of pivotal project in river Xiangjiang on aquatic organisms and its prevention and treatment. *Shanghai Environmental Science* , 1998 *17* (11) : 30 — 32.
- [27] Dou Y J , Yang W. Effect of water resource projects along Caoe river basin on ecological environments. *Advances in Water Science* , 1996 , (7) 3 : 260 — 267.
- [28] Yu S X , Shang J C , Guo H C. The Economical Assessment of Ecosystem Services and Natural Capital. *China Population Resources and Environment* , 2004 *14* (5) : 42 — 44.
- [29] McCully P. Operation method of water discharge to mitigate effects of environment on dams. *Journal of Water Conservancy and Hydropower* , 2002 , *23* (2) : 1 — 4.
- [30] Lu C X , Xie G D , Cheng S K. Economic evaluation of river ecosystem service in recreation. *Resources Science* , 2001 *23* (5) : 77 — 81.
- [31] National Bureau of Statistics of China. *Chinese Statistics yearbook* , 2003. Beijing : Chinese Statistics Press , 2003.
- [32] Niu X Q. Three Gorges Project and Sustainable Development. Beijing : China Water Resources and Hydropower Press , 2003. 17 — 102.
- [33] The Ministry of Communications of the PRC. Statistical bulletin of Chinese transportations on highway and waterway-2002. <http://www.moc.gov.cn>.
- [34] Editorial Committee of Chinese electric power yearbook. *Chinese Electric Power yearbook-2003*. Beijing : Chinese Electric Power Press , 2003.
- [35] The Ministry of Water Resources of the PRC. Statistical bulletin of Chinese water conservancy-2003. <http://www.cws.net.cn/>
- [36] The Ministry of Water Resources of the PRC. Statistical bulletin of Chinese water conservancy-2002. <http://www.cws.net.cn/>
- [37] Zhang Z J , Zhang S B , Feng T H. Calculation of flood control benefit for economic post-evaluation for Taolinkou Reservoir Project. *China Rural Water and Hydropower* , 2002 , (8) : 6 — 7.
- [38] Walling D E , Fang D. Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers. *Global and Planetary Change* , 2003 *39* (1/2) : 111 — 126.
- [39] The Ministry of Water Resources of the PRC. Statistical bulletin of Water and Sands of Chinese River-2002. <http://www.hydroinfo.gov.cn/>
- [40] The Ministry of Water Resources of the PRC. Statistical bulletin of Water and Sands of Chinese River-2003. <http://www.hydroinfo.gov.cn/>
- [41] Li J C , Jiang W L , Jin L S. *Ecological Value Theory*. Chongqing University Press , 1999.
- [42] Wu L L , Lu J J , Tong C F. Valuation of wetland ecosystem services in the Yangtze River estuary. *Resources and Environment in the Yangtze Basin* , 2003 *12* (5) : 411 — 416.
- [43] Editorial Committee of State Report on Biodiversity of China Committee. *State Report on Biodiversity of China*. Beijing : China Environmental Science Press , 1997.
- [44] Tan J Y. *Hydropower engineering in China (Construction)*. Beijing : China Electric Power Press 2000. 283.
- [45] Xu B L. Dam construction in China. *Advances in Science and Technology of Water Resources* , 1999 *19* (5) : 2 — 6.
- [46] The Statistics on Chinese dams. <http://www.icold-cigh.org.cn/>
- [47] Editorial Committee of mathematics handbook. *The Mathematics Handbook*. Beijing : Higher Education Press , 1979. 79.
- [48] Qi Q H. *Hydraulic Structure*. Beijing : China Water Resources and Hydropower Press , 1997. 78 — 208.
- [49] Jia J S , Yuan Y L *et al.* The situation of China and world in 2003. *China Water Resources* , 2004 , (13) : 25 — 33.
- [50] Pan J Z. *Arch dam*. Beijing : Water Resource and Power Press , 1982. 11 — 14.
- [51] Chen Z X , Zhang X S. The value of ecosystem benefits in China. *Chinese Science Bulletin* , 2000 *45* (1) : 17 — 22.

参考文献 :

- [1] 肖建红 施国庆 毛春梅 等. 三峡工程对河流生态系统服务功能影响预评价. *自然资源学报* 2006 *21* (3) : 424 — 431.
- [9] 张志强 徐中民 程国栋. 生态系统服务与自然资本价值评估. *生态学报* 2001 *21* (11) : 1918 — 1926.
- [10] 欧阳志云 赵同谦 王效科 等. 水生态服务功能及其间接价值评价. *生态学报* 2004 *24* (10) : 2091 — 2099.
- [11] 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. *自然资源学报* 2003 *18* (4) : 443 — 452.
- [12] 张志强 徐中民 王建 等. 黑河流域生态系统服务的价值. *冰川冻土* 2001 *23* (4) : 360 — 366.
- [13] 张志强 徐中民 程国栋 等. 黑河流域张掖地区生态系统服务恢复的条件价值评估. *生态学报* 2002 *22* (6) : 885 — 893.
- [14] 许中旗 李文华 闵庆文 等. 锡林河流域生态服务价值变化研究. *自然资源学报* 2005 *20* (1) : 99 — 102.
- [15] 杨凯 赵军. 城市河流生态系统服务的 CVM 估值及其偏差分析. *生态学报* , 2005 *25* (6) : 1391 — 1396.
- [17] 高季章. 建立生态环境友好的水电建设体系. *中国水利* 2004 , (13) : 6 — 9.

- [20] 鲁春霞, 谢高地, 成生魁, 等. 水利工程对河流生态系统服务功能的影响评价方法出探. 应用生态学报, 2003, 14 (5) : 803 ~ 807.
- [24] 李玉梅, 史复有. 黄河上游水利工程对水质的影响浅析. 人民黄河, 1998, 20 (11) : 8 ~ 10.
- [25] 鲁春霞, 张耀军, 成升魁, 等. 黄河大柳树水利工程开发的机会成本分析. 水利学报, 2003, (10) : 124 ~ 128.
- [26] 杨朝晖, 杨春平, 曾光明. 湘江枢纽工程对水生生物的影响及防治研究. 上海环境科学, 1998, 17 (11) : 30 ~ 32.
- [27] 窦贻俭, 杨茂. 曹娥江流域水利工程对生态环境影响的研究. 水科学进展, 1996, 7 (3) : 260 ~ 267.
- [28] 于书霞, 尚金城, 郭怀成. 生态系统服务功能及其价值核算. 中国人口·资源与环境, 2004, 14 (5) : 42 ~ 44.
- [29] M. P. 麦卡内. 减轻水坝环境影响的泄洪调度方法. 水利水电快报, 2002, 23 (2) : 1 ~ 4.
- [30] 鲁春霞, 谢高地, 成升魁. 河流生态系统的休闲娱乐功能及其价值评估. 资源科学, 2001, 23 (5) : 77 ~ 81.
- [31] 中华人民共和国国家统计局. 2003 中国统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2003.
- [32] 钮新强主编. 三峡工程与可持续发展. 北京: 中国水利水电出版社, 2003. 17 ~ 102.
- [33] 中华人民共和国交通部综合规划司. 2002 年公路水路交通行业发展统计公报. <http://www.moc.gov.cn>
- [34] 中国电力年鉴编委会. 2003 中国电力年鉴. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [35] 中华人民共和国水利部. 2003 年水利统计公报. <http://www.cws.net.cn/>
- [36] 中华人民共和国水利部. 2002 年水利统计公报. <http://www.cws.net.cn/>
- [37] 张凉皎, 张世宝, 冯田华, 桃林口水库工程经济后评价防洪效益计算. 中国农村水利水电, 2002, (8) : 6 ~ 7.
- [39] 中华人民共和国水利部. 2002 年中国河流泥沙公报. <http://www.hydroinfo.gov.cn/>
- [40] 中华人民共和国水利部. 2003 年中国河流泥沙公报. <http://www.hydroinfo.gov.cn/>
- [41] 李金昌, 姜文来, 靳乐山, 等. 生态价值论. 重庆: 重庆大学出版社, 1999.
- [42] 吴玲玲, 陆健健, 童春富. 长江口湿地生态系统服务功能价值的评估. 长江流域资源与环境, 2003, 12 (5) : 411 ~ 416.
- [43] 中国生物多样性国情研究报告编写组. 中国生物多样性国情研究报告. 北京: 中国环境科学出版社, 1997.
- [44] 谭靖夷主编. 中国水力发电工程 (施工卷). 北京: 中国电力出版社, 2000. 283.
- [45] 许百立. 中国的坝工建设. 水利水电科技进展, 1999, 19 (5) : 2 ~ 6.
- [46] 中国大坝委员会. 中国大坝统计情况及资料. <http://www.icold-cigb.org.cn/>
- [47] 数学手册编写组. 数学手册. 北京: 高等教育出版社, 1979. 79.
- [48] 祁庆和主编. 水工建筑物. 北京: 中国水利水电出版社, 1997. 78 ~ 208.
- [49] 贾金生, 袁玉兰. 2003 年中国及世界大坝情况. 中国水利, 2004, (13) : 25 ~ 33.
- [50] 潘家铮主编. 拱坝. 北京: 水利电力出版社, 1982. 11 ~ 14.
- [51] 陈仲新, 张新时. 中国生态效益的价值. 科学通报, 2000, 45 (1) : 17 ~ 22.