

文章编号: 1673-1212(2008)09-0164-05

# 流域水电规划环境影响的经济评价指标与方法探讨

徐巧<sup>1</sup>, 陈伟琪<sup>1</sup>, 方秦华<sup>1,2</sup>

(1 厦门大学环境科学研究中心, 福建 厦门 361005; 2 厦门大学经济学院, 福建 厦门 361005)

**摘要:** 流域水电开发在带来巨大经济效益的同时, 也大范围地影响了流域生态环境。因而, 开展流域水电规划环境影响的经济评价具有明显的现实意义。从社会经济和生态环境角度出发, 在分析流域水电规划实施后可能产生各种影响的基础上, 构建了相应的影响因素识别矩阵, 进而分别探讨了社会经济 10 项评价指标、生态环境 9 项评价指标及其相应的估算方法, 以期为流域水电开发决策提供科学支撑。

**关键词:** 水电规划; 环境影响; 经济评价

中图分类号: X820.3

文献标识码: A

## Economic Appraisal Indexes and Methods of the Environmental Impacts of River Basin Hydroelectric Planning

Xu Qiao<sup>1</sup>, Chen Weiqi<sup>1</sup>, Fang Qinhu<sup>1,2</sup>

(1. Environmental Science Research Centre, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

(2. School of Economics, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract** River basin hydroelectric development will produce a lot of benefits, and it will also influence the ecological environment of river basin to a great extent, so it is quite important to study the economic appraisal of river basin hydroelectric planning. At first the probable various impacts incurred by river basin hydroelectric planning are analyzed and identified, and then the identification matrix is formed from the perspectives of social economy and ecological environment. Ten indexes of social economy appraisal and nine indexes of ecological environment appraisal as well as the corresponding estimation methods are put forward and discussed in expectation of giving the scientific support for the decision-making of river basin hydroelectric development.

**Key words** hydroelectric planning; environmental impacts; economic appraisal

流域水电开发在带来巨大经济效益的同时, 也大范围地影响了流域生态环境。流域水电规划环境影响的经济评价是从生态和环境角度出发, 针对水电规划实施后可能对自然环境和社会环境造成的影响进行预估和货币化的评价。其最大特征在于, 根据资源环境有价的观念, 对环境影响进行货币化并将其结果纳入经济评价过程, 从而将经济发展与环境保护结合起来, 以实现最佳的经济效益和环境效益, 体现真正意义上的可持续发展。

自 20 世纪 80 年代以来, 受现实需要的推动, 环境影响的经济评价在西方国家广泛开展。早在里根

执政期间, 美国政府就要求以费用-效益分析的形式进行环境影响经济评价。英国、法国、瑞典、澳大利亚等其他国家和世界银行等国际机构也纷纷开展了环境影响的经济评价, 并以此作为项目是否可行的一个重要依据<sup>[1]</sup>。1986 年, 约翰 A. 狄克逊等人撰写了《开发项目环境影响的经济分析》这是世界范围内对开发项目预期和不可逆料的环境后果进行系统的经济评价的第一本书<sup>[2]</sup>。1996 年, 亚洲开发银行编著的《环境影响的经济评价: 工作手册》系统阐述了环境影响经济评价的一般步骤, 该书是环境影响经济评价研究领域的代表性论著<sup>[3]</sup>。与国外相比, 中国关于环境影响经济评价的研究起步较晚, 评价内容及方法主要借鉴国外的研究成果。近年来, 虽然一些专家学者对环境影响经济评价的概念、评价资料的收集、价值量的测算方法等作了一些研究, 但是仍不能满足实际评估工作的需要。在水电规划环境影响的经济评价方面, 国内尚未形成一套较完

收稿日期: 2008-05-05

基金项目: 国家自然科学基金(40701178)资助

作者简介: 徐巧(1982-), 女, 厦门大学海洋与环境学院环境管理专业在读硕士研究生, 主要研究方向为流域水电规划环境影响的经济评价。

通讯联系人: 陈伟琪

整的评价指标与方法体系。傅巧萍曾尝试从发电、防洪、航运和地区经济等方面分析清江流域规划实施以来获得的社会经济效益<sup>[4]</sup>，而从环境与资源经济学的角度出发，综合考虑生态环境和社会经济两方面来对流域水电规划的环境影响做出较全面的经济评价，未见相关报导。本文研究的重点在于为流域水电规划的环境影响经济评价构建一套较为完整的评价指标与方法。

## 1 水电开发的影响识别

### 1.1 社会经济方面

流域水电规划实施后水库淹地是不可避免的。水电开发工程的兴建会扩大坝址上游的水域面积，淹没河岸的部分农田耕地或林地，导致这些农田耕地或林地资源丧失提供粮食、果蔬或木材的功能。大型水电工程甚至可能淹没人们的聚居地，因而往往需要移民。另一方面，水电工程不仅可以有效缓解电网调峰容量不足的矛盾，而且河流上筑坝后能提高河流水位，减少抽水扬程，提高供水保证率，增加供水量。新建的水库工程还可能增大河水的灌溉能力，扩大灌溉面积，提高灌溉保证率，有效保证农业用水。

水电开发可能使部分水库成为水产供应基地，有利于发展水产养殖；但有些时候水电工程建设因为改变了输水、输沙的条件以及水中携带营养物的含量，可能引起渔业产量下降；同时水坝可能阻断特定鱼类的溯游通道，导致其数量减少甚至消失。

流域水电开发会改变河流的自然水文过程，水库在汛期可以滞留部分洪水，削减洪峰，对城区起防洪作用，减轻洪灾，并提高下游原有防洪设施的防洪标准。水库调蓄洪水的效益至少体现在保护周边的工农业生产不受损失，水位的提高也可能增强河流的航运能力。由于防洪形势改观以及航运能力的提高，还可能有利于争取外援项目和招商引资。通过水电规划，对大坝、水库进行合理的景观设计和重建，某些可能成为著名的风景区开展旅游业，从而带动多种经营和其他产业的发展。

### 1.2 生态环境方面

流域水电开发将改变江河流域的自然生态环境。水电规划实施后对流域生态环境的影响主要表现在陆生生态、流域地质环境、陆地水文条件、水质、水生生态等方面。

水电的梯级开发往往需要修建大坝水库，这个过程可能淹没原始森林、施工破坏地表植被以及侵占野生动物栖息地，势必导致天然森林、草地、野生动物栖息地的丧失、物种数量的减少和上游集水区

的环境退化，从而导致陆域生态系统服务功能受损。

大坝会阻断天然河道，引发整条河流上下游和河口的水文特征和结构发生改变<sup>[5]</sup>，使上游水流速减缓、水深增大、水体自净能力减弱，水温结构发生变化，对水体密度、溶解氧、微生物和水生生物都产生影响，主要表现为水库水体盐度增高、水库水温分层、流入和流出水库的水在颜色和气味等物理化学性质方面发生改变，库中藻类繁殖加剧等，被淹没的植被和土壤的分解以及腐烂的有机物会大量消耗水中的氧气，水中溶解氧的降低会导致产生厌氧微生物繁殖条件，使水质进一步恶化。

水电开发对河流生态最直接的影响是对水生生物多样性的影响。水生生物(含浮游生物、底栖生物、水生高等植物和鱼类)其繁殖、洄游等生命活动都要求一定的水文条件，对陆地的淹没使得生物栖息环境由激流、浅水环境变为深水、静水环境，对于适于浅水、激流环境的水生生物会产生不利影响；径流的变化，特别是下游水文情势的变化，对生物资源与生物多样性都有不同程度的影响。一系列水电工程的调节作用会使河水的季节变化趋于平缓，打破珍稀洄游性鱼类的生活环境，影响物种交流，严重的会造成其灭绝，直接导致生物多样性的减少等等。

另一方面，水电站发电利用的水能为清洁能源，可减少因燃煤产生的大气污染物和固体废渣，其环境效益显著。水力发电有利于改善局部小气候和生态环境，利用水库蓄水可向湿地、干枯的湖泊补水，随着水面的扩大，蒸发量的增加，水汽、水雾就会增多<sup>[4]</sup>，这种局部气候的改变有利于当地水库周围区域农业和工业化栽培的发展，不少大坝还创造了大型人造湖泊，改变了当地景观。

### 1.3 影响因素识别矩阵表

综上，流域水电开发对社会经济及生态环境的各种影响因素识别汇总于如下矩阵表(见表 1)。

表 1 流域水电规划影响因素识别矩阵表

影响因素	水 电 开 发		
	水库	水电站	拦河坝
社会经济	-		-
粮食果蔬产出	-		-
渔业	+		-
发电	+	++	+
供水	++		+
灌溉	++		
航运			++
调蓄洪水	++		+
移民	-		
旅游景观	+		
文化古迹	-		
其他产业	+	+	+

(续)表 1 流域水电规划影响因素识别矩阵表

影响因素	水电开发		
	水库	水电站	拦河坝
生态环境	-	-	-
陆域生态系统	-	-	-
水土流失	-		-
水库淤积	--		
水质	-		--
水生生物多样性	-	-	-
节煤		++	
气候	+		
系统抗逆力	-		++
有机质生产	-		-

(注:水电开发一般包括水库、水电站、拦河坝的建设。表中+表示可能有正面影响,-表示可能有负面影响;正、负号个数越多表示可能的影响程度越大,空白表示基本无该项影响。)

## 2 环境影响经济评价指标及方法

人类兴建流域水电工程是为了满足经济社会发展对水资源的直接和现实的需要,改善生存环境,为了人类的发展延续,从这个意义上说,水电工程实施后的有利影响显而易见。然而,水电工程设计时,往往单纯考虑眼前的经济效益,而忽视对当地生态环境的长期影响。单个水电站的建设对环境的影响较小,其波及范围有限,而水电规划实施后则可能对整个社会环境产生很大影响。本文尝试从社会经济和生态环境两个方面对流域水电规划的环境影响构建一套综合的经济评价指标及方法。社会经济方面,主要包括种植业、林果业、渔业、乡镇企业的实物产出收益或损失,发电、供水、灌溉、航运等产生的效益,以及水利工程的兴建对土地利用、旅游产业和当地投资项目的影晌等;生态环境方面,主要包括水电开发后,兴建的大坝、水库对水文情势的改变,对陆域生态系统、水库水质、生物多样性以及局地气候的影响等。

### 2.1 社会经济指标与估算方法

#### 2.1.1 粮食果蔬生产

规划后水电开发工程的兴建将扩大水域,淹没河岸的部分农田耕地,导致这些农田耕地资源丧失提供粮食及果蔬的功能,水电开发工程导致粮食果蔬产出减少的价值,可以用单位耕地的平均产值和淹没的耕地面积的乘积表示,其计算公式为:

$$V_r = P_r \times S_r$$

式中,  $V_r$  表示粮食果蔬产出减少的价值,  $P_r$  表示单位耕地的平均产值,  $S_r$  表示淹没的耕地面积。

#### 2.1.2 渔业生产

流域规划中兴建的水库可以促进渔业生产,然

而拦河坝的兴建也可能阻隔鱼类的洄游路线,引起鱼类数量的减少。水电开发对渔业生产的影响可以用电站建成后鱼类年产量增加或减少的价值来表示,由各类水产品生产量与对应市场价格的乘积加总得出。其计算公式为:

$$V_f = \sum_{i=1}^n Q_i \times P_i$$

式中,  $V_f$  表示鱼类年产量增加或减少的价值,  $Q_i$  表示  $i$  种鱼类的年产变化值,  $P_i$  表示  $i$  种鱼类对应的市场价格。

#### 2.1.3 发电效益

流域规划中的水电工程实现了河流的发电功能,发电效益可用电价与年发电量的乘积来表示,计算公式如下:

$$V_e = P_e \times Q_e$$

式中,  $V_e$  表示发电效益,  $P_e$  表示电价,  $Q_e$  表示年均发电量。

#### 2.1.4 供水效益

河流上筑坝会提高河流水位,改变河流原始的取水状态,减少抽水扬程,提高供水保证率,增加供水量。供水的效益可用供水减少抽水扬程的增值来表示<sup>[6]</sup>。计算公式如下:

$$V_w = P_w \times Q_w$$

式中,  $V_w$  表示供水效益,  $P_w$  表示每立方米取水减少抽水扬程的费用,  $Q_w$  表示年取水量。

#### 2.1.5 灌溉效益

自然河流生态系统灌溉农田的功能十分有限,流域规划中水库工程的修建增大了河水的灌溉能力。灌溉的效益可用保证灌溉的耕地产值的增值来表示。其计算公式为:

$$V_i = \sum_{i=1}^n \alpha_i \times Q_i \times S_i$$

式中,  $V_i$  表示灌溉效益,  $\alpha_i$  表示灌溉效益分摊系数,  $Q_i$  表示  $i$  种粮食或蔬果的单位耕地平均产值,  $S_i$  表示  $i$  种粮食或蔬果保证灌溉的耕地面积。

#### 2.1.6 航运效益

水位的提高增强了河流的航运能力,其增值可以用改善或增加航道长度与节省的单位运输费用的乘积来表示<sup>[6]</sup>。其计算公式如下:

$$V_s = \alpha \times P_s \times L_s \times Q_s$$

式中,  $V_s$  表示航运效益,  $\alpha$  表示航运效益的分摊系数,  $P_s$  表示节省的单位运输费用,  $L_s$  表示改善或增加的航道长度,  $Q_s$  表示年货运量。

#### 2.1.7 调蓄洪水效益

流域规划中水电工程建设可以改变河流的自然

水文过程, 水库巨大的库容可以蓄洪调枯, 控制洪水, 水库调蓄洪水的效益可以利用其保护农业以及城镇工业不受损失的价值来进行估算。水库调蓄洪水的农业效益计算公式如下:

$$V_1 = \alpha_1 \times Q_1 \times S_1 \times C_a$$

式中,  $V_1$  表示调蓄洪水农业效益,  $\alpha_1$  表示调蓄洪水的农业效益分摊系数,  $Q_1$  表示单位耕地的粮食平均产值,  $S_1$  表示单位库容保护的耕地面积,  $C_a$  表示水库的库容。

水库调蓄洪水的工业效益计算公式如下:

$$V_2 = \sum_{i=1}^n \alpha_i \times Q_i \times S_i \times C_a$$

式中,  $V_2$  表示调蓄洪水工业效益,  $\alpha_i$  表示调蓄洪水的  $i$  种工业效益分摊系数,  $Q_i$  表示受保护工业区的单位产值,  $S_i$  表示单位库容保护的  $i$  工业区的面积,  $C_a$  表示水库的库容。

### 2.1.8 娱乐价值

许多水库兴建后成为著名的风景区, 吸引了大量旅游者和当地居民参观访问, 创造了娱乐休闲价值, 可用旅游业年收入的增加值简单估算。

### 2.1.9 争取外援项目和招商引资的价值

流域水电规划的实施有利于争取外援项目, 在客观上增加了当地的资金总量, 同时也改善了投资环境, 可吸引更多的国内外投资者, 从而带动当地产业发展, 其价值可用当地产业产生的总利润乘以外资效益分摊系数来计算。

### 2.1.10 带动多种经营和其他产业发展的价值

如果水库成为著名的风景区, 将有利于促进多种经营和其他产业发展, 可以从餐饮业、运输业、服务业、房地产业及建筑业等得到流域水电规划影响的各行业的总产值中, 按照一定比例提取流域水电规划效益的价值。

另外, 通过流域水电规划, 当地居民的收入增加, 生活状况和医疗条件得到改善; 投资办学数量增加, 学龄儿童入学率提高, 平均受教育年限提高。农民收入水平和教育投入水平及受教育人数将体现流域水电规划提高人口素质的价值。

## 2.2 生态环境指标与估算方法

### 2.2.1 陆域生态系统服务功能价值损失

生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成与维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用。水利工程建设淹没了部分农田耕地和林地, 改变了土地原有的利用性质, 对植被和农业生态环境造成破坏, 从而导致陆域生态系统服务功能受损, 这部分损失可依据淹没的农田、耕地和林地面积数进

行估算。计算公式如下:

$$V_w = P_a \times S_a + P_f \times S_f$$

式中,  $V_w$  表示生态系统服务功能价值损失,  $P_a$  表示单位面积农田耕地的生态服务功能平均价值,  $S_a$  表示被淹没的农田耕地总面积,  $P_f$  表示单位面积林地的生态服务功能平均价值,  $S_f$  表示被淹没的林地总面积。

### 2.2.2 水土流失损失

水电开发工程的基础开挖、围堰填筑及拆除、土坝防护堤建设等均会损坏地表土壤和植被, 破坏原地面的汇、排水条件, 诱发水土流失, 可采用恢复费用法对水土流失造成土壤保持服务功能价值的损失进行估算。计算公式如下:

$$V_s = P_s \times S_s$$

式中,  $V_s$  表示水土流失的价值损失,  $P_s$  表示治理单位水土流失面积的费用,  $S_s$  表示新增的水土流失面积。

### 2.2.3 水库淤积价值损失

自然河流有输送泥沙的功能, 修建水库之后, 泥沙在水库中淤积, 减少水库的库容<sup>[6]</sup>。可采用恢复费用法计量泥沙淤积造成的价值损失, 计算公式如下:

$$V_r = P_r \times S_r \times Q_r$$

式中,  $V_r$  表示水库淤积价值损失,  $P_r$  表示每吨泥沙的清除费用,  $S_r$  表示悬移质泥沙干容重,  $Q_r$  表示泥沙的淤积量。

### 2.2.4 水质恶化损失

一般而言, 流域规划中建设的拦河大坝对河水有阻碍作用, 这种阻碍作用会使库区内的水位抬高, 水流变缓, 水体对污染物的稀释、扩散、迁移和净化能力下降。水质净化能力下降, 相当于污水处理量减少, 水质净化功能的价值损失可以由污水处理工程处理这部分污水的成本来表示。计算公式如下:

$$V_t = P_t \times Q_t$$

式中,  $V_t$  表示水质净化的价值损失,  $P_t$  表示污水处理厂单位污水的处理成本,  $Q_t$  表示水体消纳的污水量。

### 2.2.5 生物多样性损失

鱼类资源属于可再生资源, 如果合理利用, 可持续为人类提供效用。水利工程建设使流域内的鱼类物种遭到毁灭性破坏, 由此造成的损失采用补偿意愿调查法进行估算。计算方法如下:

$$V_p = \sum_{i=1}^n P_i \times Q_i$$

式中,  $V_p$  表示生物多样性损失,  $P_i$  表示个人对  $i$  种鱼类遭到破坏愿意接受补偿的平均值,  $Q_i$  表示  $i$  种鱼

类遭到破坏的直接受损人群。

### 2.2.6 节煤效益

水电站发电利用的能源为清洁的水源,与同等规模发电量的火电厂相比,可减少因燃煤产生的 CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 等大气污染物的排放以及固体废渣的堆积,同时能节省大量燃料,降低煤等不可再生资源的使用,此处可粗略采用节省燃料的经济效益来替代,计算公式如下:

$$V_c = P_c \times Q_c \times Y_c$$

式中,  $V_c$  表示节煤效益,  $Q_c$  表示火电厂单位电能平均耗煤量,  $P_c$  表示煤价格,  $Y_c$  表示水电站的年发电量。

### 2.2.7 其他生态环境指标

#### 2.2.7.1 改变小气候的价值

一般情况下,地区性气候状况受大气环流所控制,但修建大、中型水库这些规划工程后,原先的陆地变成了水体或湿地,使局部地表空气变得较湿润,对局部小气候会产生一定的影响,主要表现在对降雨、气温、风等气象因子的影响<sup>[7]</sup>。修建水库会形成大面积蓄水,在阳光辐射下,蒸发量增加,可能导致降雨量有所增加,在有些区域还会导致降雨时间的分布发生改变。比如南方大型水库,夏季水面温度低于气温,气层稳定,大气对流减弱,降雨量减少;但冬季水面较暖,大气对流作用增强,降雨量增加。虽然可能产生一定的气候效应,但是影响相对较小,影响机制复杂,尚难以进行定量估算。

#### 2.2.7.2 改变系统抗逆力的价值

系统抗逆力包括两种:一是防止自然灾害,能从整体上提高某个地区或流域抵抗不利气候、地形等自然条件的能力;二是减少自然灾害,保持生态经济系统相对稳定的能力,包括减少山体崩塌、滑坡、泥石流和干旱、洪涝灾害等。水电规划实施一般能极大地提高系统抗逆力,然而在有些情况下也会起到反作用。例如,兴建三峡工程,其中下游在工程兴建后可以有效地减免洪水灾害的影响,有利于减缓洞庭湖淤积,改善中下游枯水期水质及通航条件,对河口和近海生态环境有长远影响。其不利影响主要集中在库区,库区内泥沙淤积,坝下河道冲刷,水库可能引起少数大型滑坡的复活等。改变系统抗逆力的这种价值难以定量。

#### 2.2.7.3 有机质生产价值

生态系统的生物生产力是生态系统支持功能的表现特征,在初级生产力中,植物的根、茎虽然不直接为人类提供粮食,但可以作为生物质能提供能量来源。水电开发破坏河流生态系统的格局,导致植被生产能力的改变,损失了有机质的生产价值,这部

分价值目前尚无具体计算方法。

## 3 结束语

流域水电规划实施后产生的生态环境效应日益引起人们的重视,水电规划环境影响的经济评价也受到了政府和学术界的广泛关注。一套切实可行、易于操作实施的环境影响经济评价方法在水电规划评价中起着重要作用,有利于在规划实施过程中将水电工程建设带来的负面影响降低到最低限度,发挥其正面效应,有效地保护生态环境,使水利水电工程为人类谋福利。本文从社会经济和生态环境两方面考虑,基于对流域水电规划可能产生的各种影响的识别,分别探讨了社会经济 10 项指标和生态环境 9 项指标及其相应的估算方法,以期为流域水电开发决策提供科学支撑。尽管从社会经济和生态环境两方面进行了综合考虑,评价指标及估算方法还有待于进一步规范和完善,尤其在具体案例中往往涉及某个指标的内部评价因子权重是否合理的问题,应该视实际情况而定。本文从社会经济和生态环境角度出发,在分析流域水电规划实施后可能产生的各种影响的基础上,构建了相应的影响因素识别矩阵,进而分别探讨了社会经济 10 项评价指标、生态环境 9 项评价指标,并提出相应的估算方法,以期为同类及相关研究提供参考借鉴。今后将进一步通过各类实例研究,对提出的评价指标及其估算公式加以修正、补充和完善,使之形成一套具有实用性和可操作性的方法体系。

### 参考文献:

- [1]王冬朴.项目层次环境影响评价与环境影响经济评价的对比分析[J].内蒙古环境保护,2004,16(4):18-20
- [2]约翰·A·狄克逊,理查德·A·卡皮特,路易斯·A·华伦,保罗·B·谢尔曼.开发项目环境影响的经济分析[M].中国环境科学出版社,1990
- [3]V. K Smith. Non-market Valuation of Environmental Resources: An Interpretive Appraisal[J]. Land Economics, 1993, 69(1): 1-26
- [4]傅巧萍.清江流域规划实施的社会经济效益分析[J].水利水电快报,2003,24(10):7-9
- [5]祁继英,阮晓红.大坝对河流生态系统的环境影响分析[J].河海大学学报(自然科学版),2005,33(1):37-40
- [6]莫创荣,李霞,陈新庚,王树功.水电开发对河流生态系统服务功能影响的价值评估方法与案例研究[J].中山大学学报(自然科学版),2005,44:250-253
- [7]姜翠玲,严以新.水利工程对长江河口生态环境的影响[J].长江流域资源与环境,2003,12(6):547-551