

基于河道内流量的河流生态系统服务价值评价模型研究

张代青, 沈春颖, 于国荣

(昆明理工大学电力工程学院, 云南 昆明 650500)

摘要: 为了客观有效地评价河流生态系统服务价值, 高效开发利用河流水资源, 基于河道内流量的特征和功能, 揭示了河道内流量的生态系统服务效应; 并根据河流生态系统的构成、特征、效用和功能, 探讨了河流生态系统服务功能(价值)的概念和分类; 最后, 以河道内流量为量化指标, 建立了河流生态系统服务价值评价模型, 介绍了河流生态系统服务价值的价值量评价方法。研究成果以服务效应和评价模型方式揭示了河流生态系统服务价值与河道内流量之间的复杂函数关系, 为河流管理部门高效开发利用和科学规划管理河流水资源提供新思路。

关键词: 河道内流量; 生态系统; 服务效应; 服务功能; 价值评价

中图分类号: P964

文献标识码: A

文章编号: 1003-9511(2019)05-0016-05

过去, 人类不重视河流生态系统服务, 不合理开发利用河流水资源^[1-4], 导致许多河流过度开发^[5], 出现缺水断流、水质污染、河道萎缩和生物多样性破坏等生态系统服务功能破坏现象^[6-7], 严重影响河流淡水资源供给、物质生产、生态支持、生态调节和休闲娱乐等服务功能, 制约了社会经济的发展, 并危及河流自身的健康。因此, 重新认识和深入探讨河流生态系统服务价值评价, 对正确处理河流水资源开发和保护的关系, 有效维护河流生态系统健康, 促进人与河流和谐发展等具有重要意义。

针对河流生态系统服务价值评价已有一些研究^[8-10], 但都未考虑河道内流量变化对河流生态系统服务价值的影响, 而是直接应用价值量评价法进行简单估算, 评价结果难以有效。实际上, 河流生态系统是以河流为主体的流水型复合生态系统, 河道内流量是形成河流的第一要素, 是河流生态系统内部物质和能量输送的主要工具, 是全球水循环不可或缺的重要组成部分, 具有调节、支持和改善全球生态环境, 提供人类水资源, 生产水产品等多种服务功能^[9], 其服务功能的效用价值即为河流生态系统服务价值。河流生态系统服务价值在数值上等于各分类河流生态系统服务功能的效用价值之和, 大小取决于河道内流量及其变化情势, 直接影响河流生态系统健康, 因此河道内流量及其变化对河流生态系

统服务价值的影响是直接的、持续的和不可忽视的, 不考虑河道内流量的影响而评价河流生态系统服务价值, 既不客观, 也不实际。

为此, 本文从分析河道内流量的基本概念和生态系统服务效应入手, 通过探讨河流生态系统的主要特征、服务功能(价值)及其类型, 基于河道内流量建立河流生态系统服务价值评价模型, 介绍模型的价值量评价方法, 以揭示河流生态系统服务价值与河道内流量的复杂函数关系, 探索河流生态系统服务价值有效评价和河流水资源开发利用的新技术、新方法, 为保护河流水环境、利用河流水资源和维护河流生态健康等提供决策支持和技术支撑。

1 河道内流量及其生态系统服务效应

1.1 河道内流量的生态系统服务功效

河流是地表淡水资源的重要载体, 河道内流量是单位时间内通过河道过水断面的水量, 是形成河流的第一要素^[11], 来源于降水、湖泊及地下水等多种水源, 受气候、下垫面及人类活动等多因素影响, 年际及年内变化具有随机性和周期性。河流在形成过程中不断改变着与河流有关的自然环境, 与形成河流本身的自然环境相互影响、密不可分。如若流域的地形、地势、面积及河流的位置发生改变, 河流

基金项目: 国家自然科学基金(51469009)

作者简介: 张代青(1974—), 男, 讲师, 博士, 主要从事水文学及水资源研究。E-mail: dqzhang2014@126.com

流程和流向会受到影响;若河道内流量减小,会降低河流生态系统的服务功能,导致社会经济供水缺乏,河流生态系统服务价值受损。因此,河道内流量既是形成河流的第一要素,是反映河流水文特征的重要因素,也是维持河流生态系统服务功能的主要因子,是决定河流生态系统服务价值的重要指标,具有较高的生态系统服务功效。

1.2 河道内流量的生态系统服务效应

在河流生态系统中,不同生物对河道内的水流速度、水位高低、来水时间等要求各不相同,因此河道内流量在时空上的快慢、深浅、陡缓等变化,直接影响生物是否可以生存或继续生存在某特定河段水环境的能力,影响河流生态系统中大量物种的局部和总体分布,其长期作用将制约河流生态系统物种的分布、繁衍和数量,决定河流生态系统的构成、特征和功能,影响河流生态系统的服务功效。河道内流量的生态系统服务效应包括物质生产效应、生态支持效应、生态调节效应、社会经济供水效应和休闲娱乐效应等5类,且对应不同河流水情,河道内流量变化产生的生态系统服务效应各不相同。

a. 在河道内流量大于适宜生态径流的丰水期:

①如果河道内流量减小,依赖于水流变动的物种将受到较大影响,进而导致水生生物多样性减少,生态系统完整性破坏,河道内流量的生态系统服务效应降低;②如果河道内流量增加,河道-漫滩系统的水力联系将增强,驱使水-陆生物种群间物质循环和能量交换加速,生物群落多样性增加,河道内流量的生态系统服务效应提高;③如果河道内流量增加到汛期洪水流量,洪水脉冲反而会破坏河道-漫滩生物,降低河道内流量的生态系统服务效应。

b. 在河道内流量接近适宜生态径流的平水期:

①如果河道内流量减小,河流水文连接度将下降,多样化的流速水域会减少,河道-漫滩间的水力联系减弱,子生态系统间的物质和能量交换减缓,生物群落迁徙慢慢终止,导致生物多样性减少,河道内流量的生态系统服务效应降低,河流生态系统服务价值受损;②如果河道内流量增加,水文连接度将达到丰水状态,河道内流量的生态系统服务效应及服务价值都将增加。

c. 在河道内流量较小的枯水期:①如果河道内

流量减小,河道内水位将持续下降,急流带不复存在,滞水带变为河漫滩,甚至出现断流,河岸带向河床延伸,水文连接度严重下降,物质和能量交换几乎终止,生物多样性严重降低,生态系统的完整性缺失,河道内流量的生态系统服务效应可能丧失;②如

果河道内流量增加,水文连接度又将恢复到平水状态,河道内流量的生态系统服务效应提高,河流生态系统的服务价值增加。

2 河流生态系统及其服务价值

2.1 河流生态系统及主要特征

河流生态系统是以河流为主体的水生态系统,从源头延伸到河口,包括沿途河岸带,河道及与之相连的水库、湖泊及湿地,河口及相连的近海淡水区域,以及与河流系统相关的地下水环境等^[9]。在河流生态系统中,河流水体与岩土发生作用,形成各种河床地貌;水流与河床构成水生生物赖以生存的空间;水流连续性为与河流相关的水库、湿地和沼泽具有良好的生态环境提供保障,为生物生存提供基本条件。河流生态系统由不同类型的小型生态系统组成,具有纵向成带性、生物群落与生态环境相互统一、受干扰后自我修复能力强等主要特征。河流生态系统中,河道内流量的持续性维持着河流生态系统的连通性、充足的溶解氧、较强的自净能力和较快的恢复速度,是保证河流生态系统健康之命脉。

2.2 河流生态系统服务功能及服务价值

河流生态系统属于水生态系统,根据水生态系统服务功能的概念^[12-13],河流生态系统服务功能定义为河流生态系统与河流生态过程所形成及所维持的人类社会赖以生存的自然环境条件与效用^[9,13],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^[13]。前者是指提供淡水资源、水力发电、渔业水产品和其他植物类物质产品等;后者是指提供贮存水资源、吸收与循环营养、提供生态环境、维持生物多样性、调蓄洪水、净化水质和空气、输送泥沙和休闲娱乐等多种服务功能,两者可概括为淡水供给、物质生产、生态支持、生态调节和休闲娱乐等5个方面。

河流生态系统服务价值就是河流生态系统服务功能的效用价值,包括对人类生存和生活质量有贡献的河流生态系统产品的效用价值和河流生态系统各分项服务功能的效用价值,也包括淡水供给、物质生产、生态支持、生态调节和休闲娱乐等5个方面。河流生态系统各分项服务价值都与其生态系统服务功能一一对应,因此河流生态系统服务价值的类型划分与河流生态系统服务功能完全相同。为了量化分析河流生态系统服务功能(价值),结合河流生态系统的结构组成、功能特征和生态效用^[9-10,14],将河流生态系统服务功能(价值)一级分类为5大类,二级分类为16小类,如表1所示。

表1 河流生态系统服务价值的价值量评价方法

评价内容	河流生态系统服务价值 一级分类	河流生态系统服务价值 二级分类	河流生态系统服务价值 价值量评价方法
河流生态服务价值	淡水供给服务价值	社会经济供水服务价值	直接市场法
		水力发电供水服务价值	直接市场法
		河道航运供水服务价值	直接市场法
		生态环境供水服务价值	直接或替代市场法
	物质生产服务价值	渔业水产品生产服务价值	直接市场法
		其他产品生产服务价值	直接市场法
	生态支持服务价值	贮存水资源服务价值	替代市场法
		吸收与循环营养物质服务价值	替代市场法
		提供生态环境服务价值	影子价格法
		维持生物多样性服务价值	替代市场法
	生态调节服务价值	调蓄洪水服务价值	影子价格法
		水质净化服务价值	替代工程法
空气净化服务价值		碳税法或影子价格法	
输沙造陆服务价值		替代工程法	
文化娱乐服务价值	文化科研服务价值	影子价格法	
	休闲娱乐服务价值	旅行费用法	

3 河流生态系统服务价值评价

河流生态系统健康与否和河流生态系统服务价值的多少主要取决于河道内流量的大小及其阈值变化。以河道内流量为主要量化指标建立河流生态系统服务价值评价模型,可以客观有效地评价河流生态系统服务价值。

3.1 河流生态系统服务价值评价模型

3.1.1 淡水供给服务价值评价模型

河流的淡水供给服务价值为社会经济(包括城乡生活、农业灌溉和工业生产等)、水力发电、河道航运和生态环境等4类淡水供给服务价值之和,评价模型为

$$V_{WS} = V_{UR} + V_{IR} + V_{IN} + V_{HP} + V_{SH} + V_{SE} \quad (1)$$

式中: V_{WS} 为淡水供给服务价值; V_{UR} 、 V_{IR} 和 V_{IN} 分别为河流对城乡生活、农业灌溉和工业生产等的供水服务价值,根据城乡生活、农业灌溉和工业生产等的河流实际供水流量与对应水价计算; V_{HP} 为水力发电供水服务价值,根据提供的河流水力发电量与对应电价计算; V_{SH} 为河道航运供水服务价值,根据提供的河道航运货物及与旅客的周转量相对应的航运价格计算; V_{SE} 为生态环境供水服务价值,其值为河流对物质生产、生态支持、生态调节和文化娱乐等提供的生态环境供水服务价值之和。

3.1.2 物质生产服务价值评价模型

物质生产服务价值主要包括渔业水产品和其他产品(主要指植物)的经济价值,评价模型为

$$V_{MP} = N_{AF}P_{AF} + \sum_{i=1}^n N_{OP,i}P_{OP,i} \quad (2)$$

式中: V_{MP} 为物质生产服务价值; N_{AF} 为渔业水产品产量,根据河道内多年渔业捕捞量与对应的河流生态

径流量计算; P_{AF} 为对应的渔业水产品价格; $N_{OP,i}$ 为河流其他植物产品第*i*种产品产量,通过收割法测定; $P_{OP,i}$ 为河流其他植物产品第*i*种产品价格; n 为其他植物产品种数(如芦苇、蕨类等)。

3.1.3 生态支持服务价值评价模型

生态支持服务价值包括贮存水资源、吸收与循环营养物质、提供生态环境和维持生物多样性等4类服务价值。评价模型为:

$$\begin{cases} V_{SW} = (W_{Ri} + W_{Re})P_{SW} \\ V_{NC} = N_{NC}(C_N + C_P + C_K)P_{NC} \\ V_{EE} = A_{EE}P_{EE} \\ V_{MB} = (V_{AS} + V_{PS}) \\ V_{SF} = V_{SW} + V_{NC} + V_{EE} + V_{MB} \end{cases} \quad (3)$$

式中: V_{SW} 为河流水库贮存水资源的价值; W_{Ri} 和 W_{Re} 分别为研究河段河流与水库的蓄水量,根据河道内生态径流量及水库蓄水容积获得,河流水库贮存水资源的其他如淡水供给、物质生产、生态支持、生态调节和文化娱乐等服务价值,已体现在该模型的淡水供给、物质生产、生态支持、生态调节和文化娱乐等服务价值中; P_{SW} 为河流与水库的单位贮水价值,取水工程的单位库容建设成本(单位库容的影子价格); V_{NC} 为河流生态系统吸收与循环营养物质的价值; N_{NC} 为河道内水生植物和河岸带植物等生物生长量,通过收割法测定; C_N 、 C_P 和 C_K 分别为河道内水生植物和河岸带植物等生物中氮、磷、钾含量的平均参数; P_{NC} 为对应时期的化肥价格^[15]; V_{EE} 为河流提供生态环境服务的价值; A_{EE} 为河流提供的生态环境面积; P_{EE} 为河流提供生态环境单位面积的年生态系统服务效益^[16],参考 Costanza 等^[17]的成果取值; V_{MB} 为维持生物多样性服务价值; V_{AS} 和 V_{PS} 分别

为河流生态系统栖息地自然背景的动物和植物种类经济价值,根据河流生态系统栖息地自然背景的动植物对应种类数量及生物多样性自然背景总体存在价值评估结果^[18]获得; V_{SF} 为生态支持服务价值。

3.1.4 生态调节服务价值评价模型

生态调节服务价值为调蓄洪水、水质净化、空气净化和输沙造陆等4类服务价值之和,评价模型为

$$\begin{cases} V_{RS} = S_{RF}P_{RF} \\ V_{QP} = V_{DP} + V_{SD} \\ V_{AP} = V_{CR} + V_{HG} \\ V_{FT} = V_{TS} + V_{CL} \\ V_{RF} = V_{RS} + V_{QP} + V_{AP} + V_{FT} \end{cases} \quad (4)$$

式中: V_{RS} 为水库调蓄洪水服务价值; S_{RF} 为河流水库保护耕地避免受损的面积; P_{RF} 为单位平均综合农业受灾损失值^[9]; V_{QP} 为水质净化服务价值; V_{DP} 为河流水体稀释自净服务价值,根据入河污水量与污水处理成本计算; V_{SD} 为河流感潮河段防止盐害服务价值,根据感潮河段咸水估算量与单位咸水量盐度平衡治理的影子价格计算; V_{AP} 为空气净化服务价值; V_{CR} 为河流生态系统中各植物的固碳放氧服务价值,根据河流生态径流量及河道内水生植物与河岸带湿性植物等生物量的光合作用,结合造林成本,采用碳税法计算^[19]; V_{HG} 为河流水力发电减少有害气体排放服务价值,根据水力发电用水流量以及 CO_2 和 SO_2 的治理成本,应用影子工程法计算; V_{FT} 为输沙造陆服务价值; V_{TS} 为河流水体输沙服务价值,根据河流输沙需水流量、对应的输沙量及单位泥沙人工清理价格,应用替代市场法计算; V_{CL} 为河流水体造陆服务价值,根据淤积在河口的陆地(泥沙量),由土壤平均密度及土壤表土平均厚度估算所构造陆地折合的土地面积,采用机会成本法计算土地面积的年收益获得; V_{RF} 为生态调节服务价值。

3.1.5 文化娱乐服务价值评价模型

文化娱乐服务价值包括文化科研和休闲娱乐等2类功能的服务价值,评价模型为

$$\begin{cases} V_{BR} = A_{RI}P_{RI} + A_{LA}P_{LA} + A_{WE}P_{WE} + A_{OT}P_{OT} \\ V_{TC} = N_{TC}(C_{TC} + T_{TC} + O_{TC}) \\ V_{CE} = V_{BR} + V_{TC} \end{cases} \quad (5)$$

式中: V_{BR} 为河流生态系统的文化科研价值; A_{RI} 、 A_{LA} 、 A_{WE} 和 A_{OT} 分别为河流生态系统中河流、湖泊、湿地和其他生态系统等的面积,根据水库调节流量或库区河道内生态径流的流量-水位关系与水位-面积关系获得; P_{RI} 、 P_{LA} 、 P_{WE} 和 P_{OT} 分别为河流生态系统中河流、湖泊、湿地和其他生态系统等单位面积的平均文化科研价值,参考国内外研究成果^[17,20-21]确定;

V_{TC} 为河流生态系统的休闲娱乐服务价值,采用旅行费用法计算^[9]; N_{TC} 为河流生态系统景观的平均观光人数,根据研究区域观光人数统计资料获得; C_{TC} 为游客人均旅行支出,为游客旅游相关景点的人均交通费、餐饮费、门票与住宿费之和,参考当前中国居民年均旅游费用资料确定; T_{TC} 为人均旅游时间价值,是一种时间机会成本,等于游客日人均收入与旅游时间天数之积; O_{TC} 为人均其他费用,主要包括游客购买宣传资料、纪念品、摄影等费用,根据中国居民年均旅游费用统计资料确定; V_{CE} 为文化娱乐服务价值。

3.1.6 河流生态系统服务价值评价模型

河流生态系统服务价值包括淡水供给服务价值、物质生产服务价值、生态支持服务价值、生态调节服务价值和文化娱乐服务价值等5类,其值等于这5类服务价值之和,评价模型为

$$V_{ES} = V_{WS} + V_{MP} + V_{SF} + V_{RF} + V_{CE} \quad (6)$$

式中: V_{ES} 为河流生态系统服务价值。

从式(1)~(5)可知,式(6)等号右侧5大类服务价值大小都取决于对应服务功能的河道内流量。其中,淡水供给服务价值取决于城乡生活、农业灌溉和工业生产,以及水力发电、河道航运和生态需水等的河流供水流量;物质生产、生态支持、生态调节和文化娱乐等服务价值取决于河流生态环境供水流量。这些供水流量不管是用于社会经济发展还是用于生态系统保护,都是河流正常工作状态下河道内流量的组成部分。①丰水期,河道内流量较大,河流及与之相连的水库、湖泊、湿地等水位较高,河流生态系统水域面积较大,涵养水源较多,生态环境供水富余,提供给生态支持、生态调节、物质生产和文化娱乐等功能的流量较大,对应的各项服务价值也较大,且有富余的淡水供给为社会经济服务,即丰水期淡水供给服务价值较大。②枯水期,河道内流量较小,河流及与之相连的水库、湖泊、湿地等水位较低,河流生态系统水域面积较小,涵养水源较少,生态环境供水不足,提供给生态支持、生态调节、物质生产和文化娱乐等功能的流量较小,对应的各项服务价值也较小,此时淡水供给流量较小甚至缺乏,即枯水期淡水供给服务价值较小。③平水期呈现的各种状态介于丰水期和枯水期之间。因此,该河流生态系统服务价值评价模型客观反映了河流的生态系统服务价值与其各项服务功能供水流量(共同合成河道内流量)的复杂函数关系,揭示了河流生态系统服务价值的大小主要取决于河道内流量及变化程度的结论。

3.2 河流生态系统服务价值评价方法

客观有效评价河流生态系统服务价值的关键是寻找适合的评价方法。生态系统服务价值评价方法主要有能值分析法、物质质量评价法和价值量评价法等。①能值分析法是采用生态系统为人类提供的服务或产品在形成过程中直接或间接消耗的太阳能值(焦耳总量)计量生态系统服务价值^[22];②物质质量评价法是从物质质量角度定量评价生态系统提供的产品和服务^[23];③价值量评价法是从货币价值量角度定量评价生态系统提供的产品和服务,包括直接市场法、替代市场法和模拟市场法等^[23-24]。它们都可用于河流生态系统服务价值评价,但价值量评价法直接以货币形式表示生态系统服务价值,与三大产业的经济效益比较更方便,且对数据资料要求不严格,计算简单,结果实用,因此在河流生态系统服务价值评价中得到广泛应用^[9-10,12]。

价值量评价方法评价河流生态系统服务价值,需要基于评价模型,选用直接市场法或替代市场法或模拟市场法等分别计算评价模型的经济价值,再求其和即得河流生态系统服务价值。根据河流生态系统服务价值的类型划分,河流生态系统服务价值的价值量评价方法如表1所示。

4 结 语

为了有效解决河流水环境污染问题,维护河流生态系统永续健康,基于河道内流量生态系统服务效应及河流生态系统服务功能,以河道内流量为主要指标,探讨了河流生态系统服务价值评价模型的建立及价值量评价方法,取得主要研究成果如下。

a. 河流生态系统服务价值与河流生态系统的类型划分、结构组成、特征功能、河道内流量和健康程度等密切相关,但主要取决于河道内流量。因此,基于河道内流量建立的各类河流生态系统服务价值评价模型是正确的、可行的、合理的。

b. 河流生态系统服务价值与河道内流量间的模型函数关系表明:河道内流量对维持河流永续健康非常重要,人类开发利用河流水资源要注意正确处理保护和开发的关系,既不能误认为淡水供给是主要服务功能而忽视生态支持和生态调节功能,也不能破坏河流适宜的生态径流,弱化河流生态系统服务功能,降低河流生态系统服务价值。

c. 通过比较能值分析法、物质质量评价法和价值量评价法可知,价值量评价法要求资料较少且计算简单,在缺乏详细生物学数据资料的前提下,应用价值量评价法评价河流生态系统服务价值值得推崇应

用;以服务效用价值评价方式揭示的河流生态系统服务价值与河道内流量大小间的复杂函数关系,可为河流管理部门合理开发利用和科学规划管理水资源提供新思路。

关于河流生态系统服务价值评价,国内外已有一些研究成果,但都忽视了河道内流量的生态系统服务效应。本文基于河道内流量建立河流生态系统服务价值评价模型,采用价值量评价方法评价河流生态系统服务价值,既突出了河道内流量的生态系统服务地位,又揭示了河流生态系统服务功能的巨大效益,以提醒人类社会足够重视和积极保护河流生态系统。

参考文献:

- [1] 王东胜,谭红武. 人类活动对河流生态系统的影响[J]. 科学技术与工程,2004,4(4):299-302.
- [2] 黄显峰,郑延科,方国华,等. 平原河网地区河流生态修复技术研究与实践[J]. 水资源保护,2017,33(5):170-176.
- [3] 毛战坡,王春雨,彭文启,等. 筑坝对河流生态系统影响研究进展[J]. 水科学进展,2005,16(1):134-139.
- [4] 莫创荣. 水电开发对河流生态系统服务功能影响的价值评估初探[J]. 生态环境,2006,15(1):89-93.
- [5] 李东. 浅析水资源开发利用与水电开发率[J]. 中国水能及电气化,2010(5):31-35.
- [6] 张代青. 河流正常流量的确定方法研究[D]. 郑州:郑州大学,2007:1-7.
- [7] 孙景亮. 论对天然河流水资源开发中的水环境问题[J]. 南水北调与水利科技,2003,1(6):33-35.
- [8] 王在校,潘韬,张玉虎,等. 西藏自治区湿地生态系统服务功能损益核算[J]. 水资源保护,2017,33(增刊1):159-162.
- [9] 肖建红,施国庆,毛春梅,等. 河流生态系统服务功能经济价值评价[J]. 水利经济,2008,26(1):9-11.
- [10] 袁俊平. 基于公众满意度的河流生态服务功能评价研究[D]. 徐州:中国地质大学,2013.
- [11] 高玉琴,汤宇强,肖璇,等. 基于改进图论与水文模拟方法的河网水系连通性评价模型[J]. 水资源保护,2018,34(6):33-37.
- [12] DAILY G. C. Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems[M]. Washington DC: Island Press, 1997.
- [13] CARINS J. Protecting the delivery of ecosystem services[J]. Ecosystem Health, 1997, 3(3): 185-194.
- [14] 肖建红,施国庆,毛春梅,等. 水坝对河流生态系统服务功能影响评价[J]. 生态学报,2007,27(2):526-537.
- [15] 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.

(下转第26页)

- [11] RAHATULLAH M K, RAESIDE R. Toward operational excellence in franchising: achieving synergy, adding value, and security competitive advantage by exploiting entrepreneurial traits and core competencies[J]. SAM Advanced Management Journal, 2008, 73(3):25.
- [12] WIKLUND J, SHEPHERD D A. The effectiveness of alliances and acquisitions: the role of resource combination activities [J]. Entrepreneurship Theory and Practice, 2009, 33(1):193-212.
- [13] RADULOVICH L, JAVALGI R R G, SCHERER R F. Intangible resources influencing the international performance of professional service SMEs in an emerging market: evidence from India[J]. International Marketing Review, 2018, 35(1):113-135.
- [14] 李芳,章恒全. 大型水利水电工程信息共享机制研究[J]. 水利经济,2017,35(1):55-60.
- [15] GRANT R M. The resource-based theory of competitive advantage: implications for strategy formulation[J]. California Management Review, 1991, 33(3):114-135.
- [16] EISENHARDT K M, MARTIN J A. Dynamic capabilities: what are they? [J]. Strategic Management Journal, 2000, 21(10-11):1105-1121.
- [17] FOSS N J. The emerging knowledge governance approach: challenges and characteristics [J]. Organization, 2007, 14(1):29-52.
- [18] 丁源,陈洁,余菲菲. 竞争情报工作组织的全员模式研究[J]. 情报理论与实践,2013,36(4):26-29,16.
- [19] 李瑾. 基于知识管理的企业竞争情报工作组织结构创新[J]. 科技进步与对策,2008,25(9):167-170.
- [20] MARCEAU S, SAWKA K. Developing a world-class CI program in telecoms [J]. Competitive Intelligence Review: Published in Cooperation with the Society of Competitive Intelligence Professionals, 1999, 10(4):30-40.
- [21] 姚伟,刘建准. 知识治理视域下竞争情报协同模型构建[J]. 情报杂志,2014,33(4):70-76.
- [22] 刘冰. 我国企业竞争情报力测度实证研究[J]. 情报学报,2009,28(3):459-468.
- [23] 李艳,赵新力,齐中英. 企业技术竞争情报活动对技术创新绩效影响实证研究[J]. 图书情报工作,2013,57(10):87-95.

(收稿日期:2019-02-23 编辑:陈玉国)

(上接第 15 页)

- [10] OECD. Indicators to measure decoupling of environmental pressures from economic growth [R]. Paris:OECD,2002.
- [11] 耿芳,董增川,管西柯. 基于耦合协调度模型的南京市用水效率与经济发展关系[J]. 水利经济,2017,35(1):21-25.
- [12] 孔珂,徐征和,丛鑫,等. 山东省水资源价格波动效应的投入产出分析[J]. 水利经济,2017,35(1):31-35.
- [13] VEHMAS J, KAIVO-OJA J, LUUKKANEN J. Global trends of linking environmental stress and economic growth [J]. Turku: Finland Futures Research Centre, 2003, 12(3):6-9.
- [14] TAPIO P. Towards a theory of decoupling: degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001 [J]. Transport Policy, 2005, 12(2):137-151.
- [15] 王崇梅. 中国经济增长与能源消耗脱钩分析[J]. 中国人口·资源与环境,2010,20(3):35-37.
- [16] 华坚,张瑶瑶,王丹,等. 西北五省水资源消耗对经济增长的影响[J]. 水利经济,2018,36(4):1-6.

(收稿日期:2019-05-09 编辑:陈玉国)

(上接第 20 页)

- [16] COSTANZA R, D'ARGE R, RUDOLFDE G, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Ecological Economics, 1998, 25(1):3-15.
- [17] COSTANZA R, D'ARGE R, RUDOLFDE G, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997, 387:253-260
- [18] 王健民,王如松. 中国生态资产概论[M]. 南京:江苏科学技术出版社,2001.
- [19] 张代青. 基于生态服务价值的水库生态调度研究[D]. 武汉:武汉大学,2011.
- [20] 叶林奇,袁兴中,刘红. 御临河流域河流湿地生态系统服务价值评价[J]. 资源开发与市场,2008,24(1):22-24.
- [21] 陈仲新,张新时. 中国生态系统效益的价值[J]. 科学通报,2000,45(1):17-23.
- [22] 唐宁,廖铁军. 基于能值分析的土地生态经济系统可持续性评价[J]. 安徽农业科学,2007,35(2):345-347.
- [23] 赵欣胜,崔丽娟,李伟,等. 吉林省湿地调蓄洪水功能分析及其价值评估[J]. 水资源保护,2016,32(4):27-33.
- [24] 赵景柱,肖寒,吴刚. 生态系统服务的物质量与价值量评价方法的比较分析[J]. 应用生态学报,2000,11(2):290-292.

(收稿日期:2018-11-28 编辑:胡新宇)