

文章编号: 1672-3031 (2003) 04-0300-06

流域开发对水环境累积影响的初步研究

陈庆伟¹, 陈凯麒¹, 梁鹏²

(1. 中国水利水电科学研究院 水环境研究所, 北京 100044; 2. 国家环境保护总局, 北京 100035)

摘要: 流域开发对环境的累积影响日渐受到关注。本文从流域开发环境因素的变化表现和机理分析入手, 列出几种研究的方法, 提出用累积影响系数 (P) 对累积影响程度进行初步估算, 对不同工程间的相互作用产生的累积影响通过交互矩阵法进行计算, 用于解释流域内工程建设在时空范围内累积影响的一种趋势, 最后阐明目前研究的不足及今后加强研究的思路。

关键词 流域开发; 累积影响; 环境影响评价; 水环境

中图分类号: X522

文献标识码: A

1 流域环境问题

1.1 流域环境问题的提出 环境是人类生存和发展的基础, 开发建设是人类维持生存争取发展的基础手段, 是人类影响环境的最重要、最经常的形式。开发活动常常使环境发生重大变化, 在一定条件下由开发建设活动引起的种种环境变化可以影响、甚至危及人类本身, 这就产生了所谓的环境问题。

随着环境问题的提出, 环境评价的概念开始引入我国, 并形成了以建设项目环境影响评价为主的环境影响评价制度。经过二十几年的发展, 环境意识的加强, 技术手段的提高, 特别是《中华人民共和国环境影响评价法》的颁布, 将环评工作推进到新的阶段。

就流域开发来说, 对单个工程或项目的环评工作不能反映出对流域环境问题全面、综合的评价, 存在很大的局限性。例如不能全面考虑流域内多个开发项目的环境影响在时空上的累积作用^[1]; 项目环评中不涉及单个项目范围以外的影响^[2]; 未能分析单独不产生明显影响, 但组合在一起却产生显著影响的情况^[3]; 特别是不仅考虑环境对污染物的可接受程度, 而且要考虑发展与环境的彼此协调, 以可持续发展为旨的对环评工作新的要求等^[4-7], 促使流域范围的环评工作从理论及方法上有新的突破。《环评法》中对规划环评的要求正是对区域、流域等大范围环境问题的重视, 流域开发对环境累积影响的研究正是对这些问题的初步探讨。本文以流域开发中水环境累积影响为例进行初步探讨。

1.2 水环境累积问题 流域开发是一种高度干预河流生态的活动, 它从根本上改变河流和流域的生态系统、资源形式和社会结构, 其环境影响亦具有群体性、系统性和累积性等特征。群体性是流域开发综合效益的体现。根据流域的社会经济与生态环境状况, 在流域的上、中、下游以及支流规划布置一系列工程, 有利于充分发挥流域的综合效益, 即河流的发电、防洪、灌溉、供水、养殖、旅游、环境保护等多种功能。系统性指流域开发为流域建立了一个工程—社会—经济—自然的人类复合生态系统。这个系统相互联系、相互制约、相互作用、相互影响, 组成一个具有整体功能和综合效益的统一体。累积性^[8]指流域开发对环境的影响具有累积效应。生态环境因子的变化, 不仅受到一个工程的影响, 而且还受到其它工程的影响, 这些影响不是简单的叠加。不同工程间的相互影响、叠加作用、连锁反应都十分复杂, 一个流域是一个完整的生态系统, 流域开发破坏了系统的平衡。

比如红水河梯级开发对水温的影响, 就是一例。红水河共分10级开发, 从上游到下游为: 天生桥一级、天生桥二级、平班、龙滩、岩滩、大化、百龙滩、恶滩、桥巩、大藤峡。其中库容最大、水

收稿日期: 2003-06-20

作者简介: 陈庆伟 (1977-), 男, 河南周口人, 硕士, 主要从事流域环境影响评价和水资源规划方面的研究。

库最深、回水长度最长的为龙滩。研究表明天生桥一级库区河段, 多年平均水温为 19.8℃, 8 月最高为 23℃左右, 12 月至次年 1 月、2 月, 水温在 14℃左右。龙滩水库河段, 多年平均水温为 21℃, 8 月最高为 26℃左右, 最低水温的 1 月为 14℃左右。天生桥一级和龙滩, 水库水温都具有稳定分层的特性。各水库间水温的变化不是简单的关系, 天生桥一级水库下泄水流可使龙滩水库(正常蓄水位 375m) 入库年平均水温降低 3.9℃, 3 月份降低最大达 6.3℃, 说明龙滩水库不仅受本身建库的影响, 而且还受天生桥下泄水流水温的影响。而岩滩水库则同时受龙滩和天生桥水库下泄低温水的影响。水温的变化不能简单地由水库水温的分布关系来判断, 而是各水库工程累积因素的复杂关系造成的。表 1 列出一些环境要素变化的案例。

表 1 环境因素变化的机理分析

表现	机理分析	案例
下泄水水温变化	各工程单独作用的同时, 不同工程间累积作用的复杂关系	红水河梯级开发水温的异常分析
较长河段的流速减缓	环境要素改变后对工程的反作用。过度开发将使整个河段被分隔成长条形水库或湖泊, 河流带来的泥沙, 在水库沉积, 缩短水库寿命, 影响水库效益。	黄河干流 20 世纪 80 年代已运行的 7 个大型水库中, 库容淤积达 40%, 有的已达 70%, 如三门峡水库目前淤积情况较严重。
回游鱼类的致命影响	梯级开发各水库工程的联合阻隔作用导致鱼类产卵洄游通道受阻, 水文情势改变使产漂流性卵鱼类的产卵条件消失。坝下原来的洪水不再出现。淹没的草地也相应减少或消失。草上产卵场缩小或消亡。	汉江的水电资源开发对鱼类产生一定的影响, 其中我国特有的白鲟和胭脂鱼都是全江段活动(包括主流)和在上游产卵的鱼类, 回游问题及回游通道成为流域开发的重大问题 ⁹⁾ 。
水质恶化	来水水质超标, 点、面源的持续作用。	黄河万家寨段水质恶化, 出库水质达不到设计要求, 对进一步的引黄工程产生很大的影响。

2 累积影响研究的方法和机理

2.1 累积影响研究的方法 几种累积程度研究方法的介绍。

(1) 交互矩阵法。该方法认为不是任何时候项目之间都发生交互作用, 只有当两个或多个项目的影响区域重叠且同时产生影响时才存在交互作用。交互矩阵法的一个重要特点是依赖于人类对各种累积现象的认识, 对累积过程进行了较好的分析, 才能对相互作用进行很好的分析、计算, 如果对作用的机理有比较清晰的理解, 则对累积影响程度的计算会得到很好的结果, 但现有研究对结构和功能上的累积变化未能考虑, 对累积的时间维未作分析^[10]。

(2) 专家判断。定性分析范畴, 能起到很好的指导作用, 从经验入手, 往往能很快找到问题的实质, 该方法主要侧重于分析累积影响的因果条件。在该方法中, 通过专家的研讨, 主要侧重于分析累积影响的因果规律, 而对于累积的方式(加和或交互的)只能作定性分析, 不具有时空分析的能力和结构、功能方面的分析能力。因此, 此方法只能作为整个影响分析过程中的一部分。

(3) 模型计算法。模拟模型对影响源、累积过程、空间累积、时间累积、结构与功能变化等均能进行较好的分析。该方法的分析功能较全面, 但其应用必须满足以下前提: 对环境系统的结构与行为有足够的认识, 具有足够可信的数据和模型。

(4) 地理信息系统。GIS 用于区域开发环境累积效应分析最明显的优点是其对空间维的透彻分析, GIS 分析的空间可在区域、局域和局地进行任意转换。效应的累积可在不同的空间尺度得到分析。GIS 最大的弱点是不能对累积的过程进行分析, 不能确认和分析累积的因果关系, 不能区分累积的作用方式^[11]。虽然 GIS 也能进行长期的分析, 但常常由于缺乏足够的历史记录而受到限制。

方法综述。几种方法的特点和功能的比较见表 2。由表可见, 模拟模型对累积影响评价的各评价指标均能进行较好的分析, 功能较全面。交互矩阵、地理信息系统、专家咨询能满足一部分评价指标的分析, 但存在依赖足够历史资料的限制。对流域开发累积影响评价应是多种方法的集成。

表 2 累积影响方法的综合比较表

方法	评价指标					
	时间累积	空间累积	影响源	累积过程	功能变化	结构变化
交互矩阵	x	p	s	s	x	x
专家判断	x	x	s	s	x	x
模型计算	s	s	s	s	s	s
地理信息系统	s	s	s	x	p	s

注: s 代表满足要求; p 代表部分满足; x 代表不满足要求。

2.2 累积效应的分析 累积效应是开发活动对环境造成的客观变化, 对累积效应进行主观评价的结果就是累积影响。但在实际系统的分析中, 由于对流域系统中相互作用的认识还不够, 对累积变化还不能进行完全定量的分析和模拟, 目前只是采用定量定性相结合, 主观客观相结合的办法进行累积效应的分析和累积影响的评估。累积影响评价系统过程见图 1。

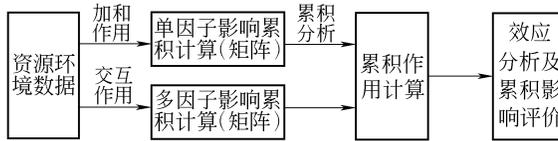


图 1 累积影响评价系统

累积影响程度的分析是流域环境影响评价中最为显著的特点。目前对累积影响机理的研究有两种作用方式: 加和作用和相互作用^[2], 不论是时间上或空间上的累积, 影响的不断累加和不同影响对环境因素的持续作用, 它可由单个项目或多个项目持续“加和”; 单独项目内不同成分的相互作用和多个开发活动的相互作用。对这两种方式分析相互作用是比较难计算和理解的, 累积影响的分析关键是对该方式作用机理进行研究, 对其大小进行估算。下面以一假定流域为例, 初步估算流域开发对环境水质指标的累积影响。

3 累积影响程度的初步估算

对某流域按假设的边界进行流域开发, 各子区域按自然边界划分, A 工程位于下游, B、C 工程位于中游, D、F 工程位于上游, E 工程位于上游支流。流域边界按自然边界划分。各小区域单元的划分以各工程为代表, 即以 A、B、C、D、E、F 各工程为核心划分小单元。

3.1 计算步骤和数据处理

3.1.1 流域时空边界范围划分 在任何累积影响评价中, 时空边界的确定都是关键的一步, 对于累积效应分析评价边界的选择主要是为了确定影响的范围, 综合考虑环境效应的分布。划分可依下列信息作为参考, 拟进行分析的累积影响评价的因子及其分类; 流域的自然特征及自然边界; 流域开发工程的地理位置及其时间次序等因素, 另外对于边界的确定, 也可借助于遥感图象及地理信息系统。

3.1.2 影响因素权重的确定 以工程为核心划分小区域的目的是为计算由于流域内工程开发引起的环境影响(加和)以及不同小区域间的相互影响(交互)。

影响因素权重 w 的确定是分析历史系列水体水质变化的资料, 以 BOD 指标为例, 该流域水质因子 BOD 变化的原因主要受到面源污染、点源污染、水体中生物化学反应、水环境承载力大小(包含水体自净作用)、工程建设等 5 种因素的影响, 将流域中水质因子 BOD 变化的影响因素分解成 5 个变量成分。5 种因素所占权重可用模拟模型的方法, 模型运行的结果能够较好的反映环境因子随时间变化的过程, 预测模型可进行不同方案的效应评价, 在实际计算时也可结合本地域的经验公式和专家判断等形式。

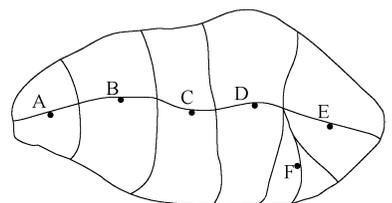


图 2 某流域工程分布

各小区域对某一环境因子所起作用是不一样的,但限于实际所掌握的流域信息,一般在计算中假定流域内水环境特性均一,即各影响因素在流域内各单元以同样比例受到影响,在各小区域内所占权重一样。所以,本次模拟流域 BOD 指标的影响因素 w 的权重确定面源污染为 0.60、点源污染为 0.10、生化反应为 0.02、工程设施为 0.20、承载力影响为 0.08。

3.1.3 指标矩阵的建立 确定划分的小区域内某时间段各单项工程及开发活动对 BOD 影响的指标矩阵,影响指标可根据实际情况进行定量表征。建立各工程对 BOD 影响的指标矩阵,见表 3。

表 3 流域各项工程对 BOD 影响的指标矩阵

工程项目	面源污染 $w = 0.60$	点源污染 $w = 0.10$	生化反应 $w = 0.02$	工程设施 $w = 0.20$	承载力影响 $w = 0.08$	加权影响值
A	40	30	10	20	50	35.20
B	10	20	10	20	30	14.60
C	80	50	80	60	30	69.00
D	40	50	50	50	40	43.20
E	10	50	30	30	20	19.20
F	40	40	50	50	20	40.60

影响因子指标矩阵的确定依据长系列历史监测资料的分析,在进行环境因子变量的描述时,推荐建立流域的水质模型,结合监测资料,建立指标矩阵,可将其无量纲化。

如表 3,以 E 工程为核心的小区域内,收集流域内引起 BOD 变化的所有点源污染的排放量,总量为 500t,面源污染排放量为 100t,对于全流域可以假定引起 BOD 变化的 10t 污染物的量为基准,其余量与之相比得出相对量,作为矩阵内指标值。同理分析得出其它因素的相对指标,以及其它小区域的指标值。

3.1.4 交互矩阵的建立 对划定区域的综合分析过程,对区域其它开发工程及其它因素对水环境的影响进行计算,建立交互矩阵。单项工程区域交互影响指标矩阵见表 4。

表 4 单项工程 D 对 BOD 区域交互影响指标矩阵

工程项目	面源污染 $w = 0.60$	点源污染 $w = 0.10$	生化反应 $w = 0.02$	承载力影响 $w = 0.20$	工程设施 $w = 0.08$	加权影响值
A	0	0	0	0	0	0
B	0	0	0	10	20	3.60
C	0	0	0	20	20	5.60
D	40	50	50	50	40	43.20
E	0	0	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0	0

工程 D 在本区域范围内对 BOD 影响的指标值同表 3,表 4 计算工程 D 对其它区域的 BOD 指标的影响情况,其大小的确定由流域模型模拟结合专家判断确定,数值是将污染物换算成标准量后与标准单位相比,得出无量纲数。D 区域对 B、C 工程在承载力和工程设施上产生影响,加权影响值的代数和就是工程 D 在流域范围内产生的对 BOD 的影响 T_i 。

对其它工程同样重复表 4 的计算,得到各项工程在某一时刻对某一水质因子影响的交互指标矩阵,见表 5。将各工程影响求和,得出流域范围内总的的影响,记作 T 。所得交互矩阵记作 F_{ij} ,矩阵各元素记作 f_{ij} ,它代表各单元间相互影响的相对程度。

表 5 流域各工程对流域 BOD 交互作用影响矩阵

工程 (i)	区域 (j)						区域性影响
	下游 $j = 1$	中下游 $j = 2$	中游 $j = 3$	中上游 $j = 4$	上游支 $j = 5$	上游 $j = 6$	
$i = 1 (A)$	35.20	2.00	1.00	0	0	0	38.20
$i = 2 (B)$	7.00	14.60	0	0	0	0	21.60
$i = 3 (C)$	9.00	17.00	69.00	3.00	0	0	98.0
$i = 4 (D)$	0	3.60	56.00	43.20	0	0	52.40
$i = 5 (E)$	0	0	1.00	3.00	19.20	1.00	24.20
$i = 6 (F)$	0	3.00	1.00	5.00	0	40.60	49.60

3.1.5 累积影响程度估算 将流域开发看作一个系统,按照信息论的有关原理进行计算。信息论原理表明,在任何一个有信息交换的系统中,存在信息相互传递信息流聚合的“熵”,它代表流域开发中各单元相互作用的“最大不确定性”,记作 U_{\max} ,以流域内性质均匀的小区域为单元进行相互传递,综合考虑流域范围内总的影响 T ,则流域内工程开发的相互作用累积影响的上限,记作 C_{\max} 。计算公式原理由信息论有关公式获得。各式用下列公式计算:

$$T = \sum_{i=1}^n T_i \quad (1)$$

$$U_{\max} = - \sum_{i=1}^n [(T_i/T) \ln(T_i/T)] \quad (2)$$

$$C_{\max} = TU_{\max} \quad (3)$$

在任何系统内,各单元间相互作用、相互影响的信息交换都具有属性平均交互作用 I 。

当用流域范围内的总影响 T 来衡量时, $-T \times I$ 表示超出划分单元在整个流域范围内的累积影响,记作 D ,可表示为

$$D = -T \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left\{ f_{ij} (T_i/T)_i \ln \left[f_{ij} (T_i/T)_i / \sum_{i=1}^n f_{ij} (T_i/T)_i \right] \right\} \quad (4)$$

式中: f_{ij} 是在小区域间传递的影响流,其大小表现在各小区域间交互作用矩阵中。

本文提出累积影响程度用 P 来表示,定义为累积影响表示系数,它的大小用下列公式计算:

$$P = D/C_{\max} \quad (5)$$

式中: P 为反应累积影响程度的指标; D 为环境因子到达某时刻时的累积影响程度; C_{\max} 为到达某时刻时流域内可能发生的最大累积环境影响。

累积影响程度是指对由于流域开发引起的流域环境变化的总的趋势,作为进行开发活动累积影响效应的衡量因子和评估依据,其值在 0~1 之间,反映了累积影响的程度,值越大说明工程开发建设对环境产生累积效应的可能性也就越大,累积环境影响也就越明显。关于 P 值求解过程中有关矩阵计算的含义、灵敏度分析、结果验证等问题有待进一步讨论,该指标需和其它反映流域开发情况的数据、资料一起使用,用来综合解释流域开发对环境的累积影响程度。

3.2 累积影响程度初步估算的示例 用上述的计算方法计算的累积影响系数见表 6。

表 6 某一时刻累积影响程度的计算

已计算项	计算项
各小区域的影响 T_i :	对某一评估因子的总影响尺度 T : $T = 284.00$ (无量纲)
$T_1 = 38.20$ $T_2 = 21.60$ $T_3 = 98.0$	
$T_4 = 52.40$ $T_5 = 24.20$ $T_6 = 49.60$	$U_{\max} = 16.60$
各小区域交互作用影响矩阵各元素:	$C_{\max} = 4714.00$; $D = 1162.00$;
$f_{ij} (i, j = 1, 2, \dots, 6)$	累积影响程度: $P = D/C_{\max} = 0.25$

计算得出 $P = 0.25$,属于轻度累积影响范围,即各影响因素开始对该指标产生累积影响,但影响程度还不小。同理,对不同时刻进行模拟计算,可建立全时段的 P 值表。

3.3 存在问题及不足 (1) 理论上的不足。该计算主要是借用生态学及信息论的有关指标和概念,这些概念在水环境问题上的适用性和作用机理是否一致,计算过程中概化问题较多,计算结果表达还较模糊,计算结果的验证等都是有待今后进一步研究的问题。(2) 监测资料不足。需要长系列监测资料的累积,用于反映其自然特征的趋势。应提高监测手段,以达到对监测目标的实时控制,因为环境变化的方式是时刻在变的,因此对累积情况的反映也应该是动态的。

不同人群关注的程度及重点不同,对累积效应判断的方式就会有偏差。在考虑具体的计算方式时应加强对公众意愿的反映,而目前的表达式还是纯粹的数学计算。

指标体系的建立,选取能反映实际累积情况的指标,组成反映流域开发对环境累积影响评价的指标体系。

4 结论

对于累积影响结果尚不能完全用理论进行定量计算。 P 值描述的不是累积效应的具体尺度大小,而是揭示了小区域范围内工程相互作用的一种潜力的大小,最终造成在流域范围内水质及污染物的累积效应。实际上是用代数形式来进行累积影响的定义,用于解释流域内建设项目在时空范围内环境累积影响的一种趋势。

流域开发累积影响的研究是累积效应理论在实践中的应用,累积性是流域开发的重要特征,对流域开发进行累积效应方向的研究,是符合《环评法》中规划环评的要求的,是必须的。

参 考 文 献:

- [1] 陆雍森. 环境评价 [M]. 上海: 同济大学出版社, 1999.
- [2] 李巍, 等. 累积环境影响评价研究 [J]. 环境科学进展, 1995, 3 (6): 71- 76.
- [3] 薛联青. 流域水电梯级开发环境影响成本辨识及其动态评估理论 [D]. 南京: 河海大学, 2001.
- [4] 江华斌, 等. 清江流域旅游资源多层次灰色评价 [J]. 系统工程理论与实践, 2000, (4): 129- 132.
- [5] 卢学强, 等. 环境评价中的赋权问题 [J]. 环境保护, 1998, (6): 26- 28.
- [6] 王西琴. 水环境保护与经济发展决策模型的研究 [J]. 自然资源学报, 2001, 16 (5): 269- 273.
- [7] 国家环境保护总局. 国际环境合作与可持续发展 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1999.
- [8] 方子云, 邹家祥. 中国水电工程环境与生态问题的研究 [J]. 长江流域资源与环境, 1998, 7 (2): 57- 62.
- [9] 蒋固政, 等. 汉江中下游干流梯级开发的环境影响分析 [J]. 环境科学与技术, 1998, 4: 14- 16.
- [10] 梁鹏. 干旱地区流域水利开发的生态环境系统动力学及其累积环境影响评价研究 [D]. 长春: 长春科技大学, 1999.
- [11] 薛联青, 崔广柏. GIS 与 GPS 在流域水电梯级开发环境影响评估中的应用 [J]. 水利水电技术, 2001, 19 (3): 78- 83.

Preliminary study on cumulative impact of basin development on water environment

CHEN Qing-wei¹, CHEN Kai-qi¹, LIANG Peng²

(1. Dept. of Water Environment, IWHR, Beijing 100038, China;

2. State Environmental Protection Administration, Beijing 100035, China)

Abstract: More and more attention has been paid to the cumulative impact of the development of river basins on water environment. Starting with analyzing behavior change and mechanism of environment factors, the authors introduced several study methods and put forward a method of applying cumulative impact index to estimate the extent of cumulative impact. The inadequacy of the study method currently applied was illustrated and the emphasis of future study was pointed out.

Key words: river basin development; cumulative impact; environmental impact assessment; water environment

(责任编辑: 李福田)