

文章编号:1672-3031(2017)02-0116-07

流域环境流量管理分区方法研究——以浑河流域为例

张天吉¹, 余 晓², 诸葛亦斯²

(1. 三峡大学 水利与环境学院, 湖北 宜昌 443000; 2. 中国水利水电科学研究院 水环境研究所, 北京 100038)

摘要: 环境流量管理分区对识别流域各地区的环境流量管理要求, 合理配置河流环境流量, 协调社会-生态竞争性用水具有重大意义。本文结合管理结构体系, 统筹考虑社会-自然两大属性, 构建流域分区指标体系; 利用聚类分析算法以及布尔运算法结合指标体系对管理流域进行划分, 建立了一种区划管理分区的方法。以浑河流域为例, 按划分方法将浑河流域划分为5个环境流量管理分区。结果表明: 分区方法切实可行, 利于简化流域整体管理复杂程度; 每个分区具有独立完整的管理结构体系; 环境流量管理分区特征鲜明, 利于各区管理目标的制定。

关键词: 环境流量; 管理分区; 指标体系; 浑河流域

中图分类号: X36

文献标识码: A

doi: 10.13244/j.cnki.jiwhr. 2017.02.006

1 研究背景

水资源本身存在有限性和分布不均匀性, 由于人类对水资源过度开发利用, 流域多处地区需水要求得不到满足, 社会经济发展受到制约, 自然生态环境逐渐退化^[1-3]。为因地制宜地对流域水资源进行管理, 实现水资源持续开发利用, 维护生态平衡, 水资源管理要能够反映各个区域的特征, 分区研究就具有了重要的意义^[4]。目前, 在分区研究领域较为常见的流域管理分区方式主要有两种: 水生态功能分区、水资源管理分区。水生态功能分区是用来识别水生态区域的功能与特征状况, 针对不同流域水生态的特征, 分别制定相应资源开发利用规划与保护措施^[5-6]。为进一步强化我国流域生态系统管理, 孟伟等^[7]与刘星才等^[8]依据发生学原理, 选择植被、土壤、地貌以及土地利用等能够识别河流水生生态系与其周边陆地生态系统相关性的关键性因素, 从上游到下游划分, 形成分区方案。水资源管理分区是在考虑了目标水平年区域水资源可利用量、水域纳污能力与入河污染物排放总量的前提下对流域进行的分区^[9]。柳长顺等^[4]就海河流域面临的水资源管理问题, 构建水资源管理分区的指标体系, 包含年降水量、水资源总量等30项指标, 利用聚类分析方法与地理信息系统进行分区。黄俊铭等^[10]提出将水资源利用状况以及水环境效应相似的区域单元作为管理的一个子区域, 依据不同管理分区的具体特征构建不同的水资源管理模式。综上所述, 基于分区功能与管理目的要求, 选择适当的指标构建指标体系作为依据, 反映区域间管理要求的差异, 从而对管理目标区域进行划分, 强调了指标体系构建对于分区的关键性。本文基于已有的分区研究方法, 采用环境流量控制的管理方式, 提出将分区指标体系与管理结构中的各项重要要素相结合, 构建全面反映区域环境流量需求特征的社会-自然二元指标体系, 利用布尔运算法则 Boolean 对各项指标特征相似的区域进行聚类, 最后叠加各项指标分区的聚类结果得到环境流量管理分区, 为实施环境流量管理分区提供理论基础。

2 环境流量管理分区

目前对环境流量较为普识性的定义是世界自然联盟所采纳的“用水竞争强度较大的河流、湿地以及沿海区域, 兼顾取水的社会以及经济效益的同时, 对有限的水量进行调配以保障生态系统的健康

收稿日期: 2016-11-27

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2013ZX07503.1.2-004-001)

作者简介: 张天吉(1989-), 男, 湖北宜昌人, 硕士生, 主要从事水利生态学研究。E-mail: z61363254@hotmail.com

状况”^[11]。以协调社会经济发展用水与生态系统维持需水之间矛盾为目的,本文采用环境流量调控的管理方式,统筹考虑社会经济发展用水与生态系统维持需水特征,依据流域中反映环境流量状况的相关特征,对该流域的社会与生态用水进行合理调配,实现生态系统健康状况的维持,以及社会经济长远、可持续的发展。

环境流量管理分区指环境流量在生态系统维持以及服务于社会经济发展的过程中,采用有效的评价标准以及分区方法,划分的环境流量状况以及作用功能相似的区域单元,是环境流量管理的基础单元。环境流量管理分区作为一个简单独立的管理结构体系,具备管理主体、管理背景、管理单元、管理方式、管理对象、管理监测以及管理作用对象等关键要素。管理结构内的关键要素是管理分区划分指标选取的依据,通过指标体系与关键要素结合分析,给出一套简单完整的环境流量管理框架,如图1所示。政府机构在流域背景条件(植被分布、地形地貌、子流域分布以及水功能分区)下,通过控制当地水库下泄流量调控环境流量大小,环境流量的变化直接作用于服务对象;水文站对河道的环境流量下放情况进行监测,并将流量实际情况及时反馈到水库,便于调节下泄流量;人类社会、水环境、自然生态作为直接作用的对象,所反映出来的信息(社会经济、水质好坏、水生态健康),直接反馈给政府管理机构,以便对管理对象进行及时的管理政策调整。

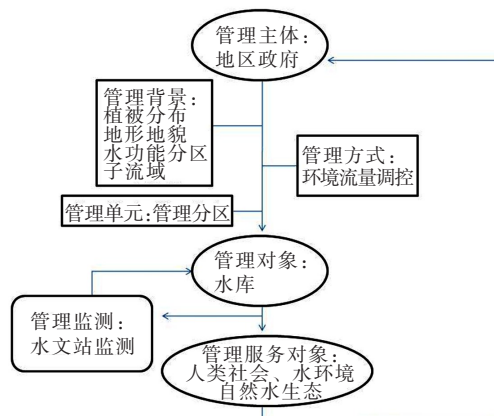


图1 子管理区域的管理结构体系框架

3 环境流量管理分区方法

3.1 构建二元分区指标体系 分区指标是管理结构内关键要素的外延,也是对流域自然、社会特性的表征,是管理分区的依据。为避免重复设置,指标选取时应严格筛选各项特征数据,选取最直观且具有代表性的数据^[10]。分区指标选取遵循以下原则^[12]:①独立原则,指标要求能够独立的,无需其他辅助指标即可反映出各个区域的特征。②主导原则,选择起指导性作用的特征因子作为环境指标,排除非指导性指标的干扰。依据筛选原则,对数据进行筛选,为后期构建指标体系服务。

由于流域水生态系统在空间上的具有连续性,水域生态系统特征与陆域生态系统特征起到相互影响的作用。为确保水陆生态系统的完整性,将指标体系同时划分为水域指标与陆域指标。

结合流域水陆之间的耦合关系,本文从管理结构体系的角度出发,统筹考虑能够反映流域社会属性以及自然属性的两类指标,通过指标筛选构建指标体系。社会属性指标反映了人类活动对流域产生特征变化以及人为活动创造出来的流域特征,本文的选取包括陆域的行政区、社会经济概况以及水域的水功能分区、取水排污口分布及流量状况、水文站分布。自然属性指标不仅反映了流域人类以外其他事物的特征,也可以间接反映了环境流量的生态功能。本文选取了陆域的植被分布、地形地貌、子流域分布以及水域的河道水生态概况、水质作为自然属性类指标,见表1。论文将指标与管理结构体系要素对应,构建每个子管理区域的管理结构,见图1。

3.2 欧氏距离与类平均法组合的指标专题区划方法 为便于指标数据的处理,在构建指标体系时依据指标特性将其分为:量化指标、空间分布指标以及已有分区指标。后两者能够直接通过 Arc GIS 技术以及数字高程模型(DEM)依据空间位置数据生成对应的空间分布专题图(地形地貌、植被分状况、水文站、子流域^[13])和已有分区专题图(水功能分区、行政区);而前者则需要经过一定的处理方法得到。

本文将4项量化指标(取水排污量、社会经济概况、自然水生态概况、水质)的特征因子分配到对应子流域区内,以确保分区精确到子流域单元,保障分区结果的完整性。各量化指标特征因子,见表2。

表1 社会-自然二元环境流量管理分区指标体系

指标属性	空间范围	分区指标	对应管理要素	指标特性	指标说明
社会属性	水域	水功能分区	管理背景	已有分区指标	反映流域各个河段水功能的特征
		取水排污状况	管理作用对象之间的介质	量化指标	反映区域社会取、用水水平以及污水排放状况
		水文站	管理监测	空间分布指标	反映可作为环境流量控制断面的分布位置，具有监测河流水文状况的作用
	陆域	行政区	管理主体	已有分区指标	反映了国家政府的管理区域单元规划现状
		社会经济	管理作用对象	量化指标	通过人均综合用水量水平、万元生产总值用水量2项特征因子反映社会生活、经济用水效益
	自然属性	水域	水生态	管理作用对象	量化指标
水质			管理作用对象	量化指标	通过高锰酸盐年均指数、氨氮浓度2项特征因子反映各个河段的水质状况
陆域		植被分布	管理背景	空间分布指标	植被对陆地的含水能力与蒸发特征产生巨大影响，同时反映陆地生态特征状况
	地形地貌	管理背景	空间分布指标	地形差异导致气候、温度、人类分布等因素都受其影响，较为全面的反映流域概况。	
	子流域	管理背景	空间分布指标	为保障子流域生态系统以及社会系统的完整性，选择子流域是作为环境流量分区的最小单元 ^[15]	

表2 量化指标特征因子

指标	序号	特征因子
取水排污状况	1	取水量 $\times 10^4/(\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1})$
	2	排污量 $\times 10^4/(\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1})$
社会经济	3	人均综合用水量 $(\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1})$
	4	万元GDP取水量 $(\text{m}^3 \cdot \text{万元}^{-1})$
水生态	5	浮游植物密度 (ind/L)
	6	底栖动物密度 (ind/m^2)
	7	鱼类种数/种
水质	8	氨氮 (mg/L)
	9	高锰酸盐指数 (mg/L)

结合欧氏距离(Euclidean distance)与类平均法(Between-groups linkage)，根据赋予子流域的特征因子，对子流域进行聚类计算。欧氏距离与类平均法是一种计算简便，实用性强，方便电脑的编程，且被普遍应用的组合聚类方法^[16]。欧氏距离平方主要计算在 n 个特征因子形成的 n 维空间中，分类样本的之间的距离，从而刻画样本之间的相似度，并将相似度高的并为一类；再通过类平均法计算类与类之间的距离，合并距离相近的类，直至合为一类，并得到由高到低的层次分类；最后依据分类要求，将对象分为若干类。基于社会经济、水生态以及水质指标的聚类分类步骤如下。

(1)构建原始分区阵列。设子流域样本为 $X_1, X_2, \dots, X_n$ ，有 n 个子流域样本，各项指标中特征因子为 $x_1, x_2, \dots, x_m$ ，有 m 项特征因子，则有：
$$X = \begin{matrix} X_1 \\ \vdots \\ X_n \end{matrix} \begin{matrix} x_1 & \cdots & x_m \\ a_{11} & \cdots & a_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nm} \end{matrix}$$
，其中， $a_{ij}(i=1, \dots, n; j=$

$1, \dots, m)$ 为子流域 X_i 的 x_j 特征因子的数据。

(2)特征因子数据标准化。由于各特征因子数据的量纲不同，为避免量级不一对结果产生不良影

响, 本文运用均值标准化法对数据进行无量纲化处理, 因此得到: $a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\bar{a}_j}$, 其中 $\bar{a}_j$ 为 x_j 特征因子的平均值, a'_{ij} ($i=1, \dots, n; j=1, \dots, m$) 为子流域 X_i 的 x_j 特征因子标准化后的数据。

(3) 求子流域样本距离。利用欧氏距离算法, 计算子流域样本间的距离, 样本距离越小, 相似度越高, 即: $d(x_K, x_L) = \sqrt{\sum_{j=1}^m (x_{Kj} - x_{Lj})^2}$ ($K, L=1, \dots, n$), 其中 $d(x_K, x_L)$ 为子流域样本 X_K, X_L 之间的距离。

(4) 求类与类之间的距离。利用类平均法, 计算一次分类后的若干类的距离, 即: $D_{pq}^2 = \frac{1}{n_p n_q} \sum_k \sum_l d_{kl}^2$, 其中 d_{kl} 为类 G_p 中的子流域 X_k , 与类 G_q 中的 X_l 之间的距离; D_{pq} 为类 G_p 与类 G_q 之间的距离。重复第4步, 最终得到一类。

依据各地流域特性以及管理要求, 将样本选择分为若干类。得到量化指标分区专题图。

3.3 基于布尔运算的指标专题分区逻辑叠加 环境流量管理分区逻辑性叠加遵循以下原则: ①流域整体性原则: 应根据流域水文循环特点, 综合分析流域问题的成因, 统一规划流域环境流量管理分区方案; ②子流域完整性原则: 环境流量管理分区在子流域尺度上应保证完整; ③发生学原理: 相似的水生态功能往往具有统一的发生原理和共同的发展过程, 环境流量管理分区的划分将遵循发生原因一致性; ④水陆一致性原则: 要从陆域驱动和水域功能2个方面, 对水体及其周围陆地综合考虑和统一分区, 从而保持水生态功能过程的完整性。

以保持流域水系完整性为前提, 遵循叠加原则, 采用布尔逻辑运算, 对指标专题图的进行叠加:

第1步: 将10项指标专题图叠加到整个流域图上, 得到一个划分较为复杂流域分区图。

第2步: 以同一关键性要素对应指标区域之间的合并为主, A指标与B指标对应同一关键性要素, 依据原则③④, 当A指标与B指标的功能具有统一的发生原理和共同的发展过程时, 或水域指标区域A与陆域指标区域B属于同一生态系统时, A区与B区产生 $A \cup B$ 的关系, 合并为新的指标混合区。例如: 见图2指标A区与指标B区叠加示范。

第3步: 与第2步同理, 以管理结构中不同关键性要素之间的合并为主。

第4步: 以区域边界修饰为主, 依据①②原则存在B区为一个完整流域, 则维持区域B的完整性, 将A区划分。例如: 见图3区域A与区域B边界修整示范。

通过叠加, 最终得到环境流量管理分区图。

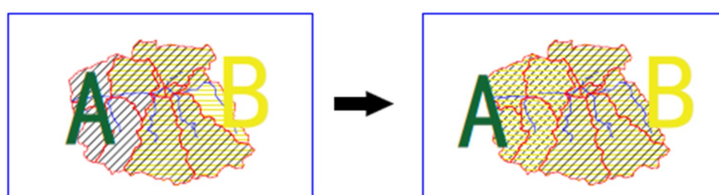


图2 A区与B区合并

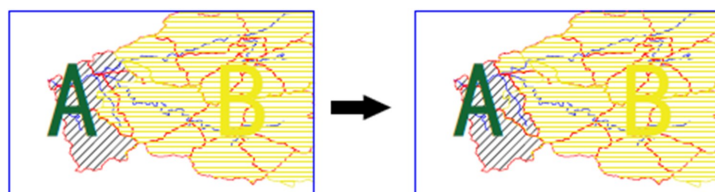


图3 A区与B区边界修整

4 案例分区结果与分析

4.1 研究区域概况 浑河流域位于东经 $122^{\circ}25'$ — $125^{\circ}17'$ 、北纬 $41^{\circ}1'$ — $42^{\circ}15'$ 之间, 属于中国东北

部地区流域,流域面积约为1.15万 km^2 。流域发源于抚顺市东部,由东向西流经抚顺、沈阳、鞍山等市,与太子河交汇于海城古城子之后称之为大辽河,流域中上游地区建有库容超过 $10\times 10^8\text{m}^3$ 的大伙房水库。上游地区以的山地丘陵为主,自然生态环境良好,木本植物物种种类丰富,植被分布主要以蒙古栎林为主。下游地区地形主要以平原为主,人类分布较密,土地开发利用程度高,包含抚顺、沈阳、辽阳等大型城市,属于我国东北部社会经济发展核心区。浑河长系列年均天然径流量约为 $3.13\times 10^9\text{m}^3$,6—9月为流量相对较大的时期,水资源丰富。由于水资源开发利用程度逐渐增长,水污染日益严重,浑河流域的生态环境遭到严重破坏。20世纪50年代,人类为满足对水资源的开发利用需求,开始修建大量水库,导致上游下泄量减少,下游鱼类生存环境受到较大影响,原有的优势鱼种鲈鱼、梭鱼、刀鱼数量急剧减少。随着社会经济的发展需求,流域内的社会经济用水需求与生态用水需求矛盾逐渐加剧,因此如何协社会与生态用水矛盾已成为浑河流域急需解决的问题。

4.2 浑河流域环境流量管理分区结果 按照上述分区方法,依据调查数据,对浑河流域进行分区。流域被划分成5个区,分区依据“特征地理位置-管理分区”进行命名,5个分区分别是:浑河上游管理分区、大伙房水库管理分区、大伙房水库下游管理分区、浑河中游管理分区、浑河下游管理分区,见图4。

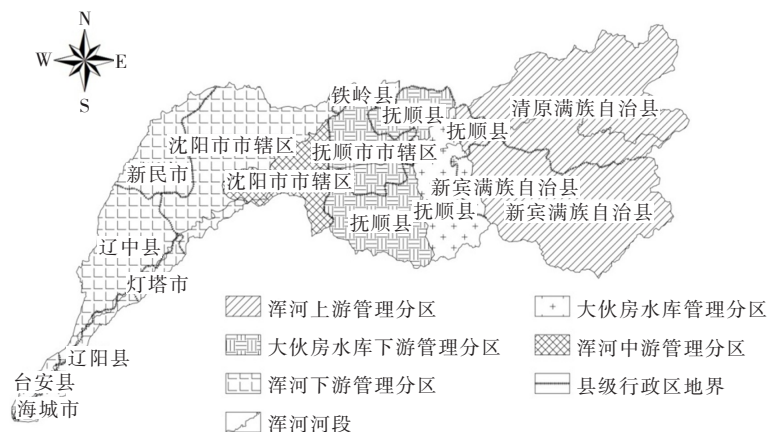


图4 浑河流域环境流量管理分区

结合指标特征与管理关键性要素,归纳5个管理分区的管理结构体系特征,见表3。

5 结论

(1)结合管理结构体系几项关键要素,根据环境流量管理目的,选取10项包含社会属性与自然属性,涉及水陆两域的分區指标,构建二元指标体系。基于指标体系,依据不同的指标特性,得到已有分区指标分区的专题图、空间分布指标的专题图以及利用聚类方法得到的量化指标专题图。遵循叠加原则,对10个指标分区专题图进行叠加,结合区域内指标属性的相似性,划定基于环境流量管理的5个管理分区。每个管理分区具有各自独立的管理结构体系,整个流域管理划分明确,为浑河流域分区管理奠定了基础。

(2)论文以浑河流域为例,完成了流域的环境流量分区,但划分方法尚有不足之处。由于不同流域所处空间位置存在差异,人类活动对流域的影响状况、生态系统天然禀赋的自然条件也不相同。本文所构建的指标体系,虽能够直观并较为普遍的反映各种流域的社会属性特征以及自然属性特征,但若应用到环境条件较为特殊流域,如社会经济发展普遍较为落后的地区,选择社会经济作为分区指标,可能并不能显著反映该流域区域的社会属性特征差异,因此还需针对当地流域具体条件特征,对本指标体系进行细微调整,才能切实反映该流域特征。

表3 浑河各分区管理结构体系特征

管理单元名称	浑河上游管理分区	大伙房水库管理分区	大伙房水库下游管理分区	浑河中游管理分区	浑河下游管理分区
管理背景特征	浑河上游管理区，为山地区域，植被覆盖率接近93%，以蒙古栎林为主。水功能分区以开发利用功能的饮水功能为主。子流域：英额河、苏子河等	低山丘陵区 and 山前过渡区为主，植被覆盖率接近83%，以蒙古栎林为主。水功能分区以开发利用功能的饮水功能为主。子流域：百花河等	低山丘陵区 and 山前过渡区为主，水稻田占植被分布的43%；水功能分区以开发利用功能的工业用水功能为主。子流域：社河、章党河、东洲河等	浑河中游管理分区，以平原为主，水稻田占植被分布的82%，水功能分区以开发利用功能的农业功能为主。子流域：白塔堡河、小沙河等	为平原地区，水稻田占植被分布90%以上，水功能分区以开发利用功能的农业功能为主。子流域：蒲河等
管理主体	清原满族自治县、新宾满族自治县、抚顺县	抚顺县	抚顺市市辖区	沈阳市直辖市	沈阳市辖区、辽中县、灯塔市、辽阳县、海城市
管理对象			大伙房水库	大伙房水库	大伙房水库
管理监测	南口前水文站	大伙房水库监测站	抚顺水文站	沈阳水文站	黄腊坨水文站
服务对象基本特征	在浑河整体经济水平中，属于社会经济低等水平；其水生态环境状况良好，水质达到国家标准的Ⅱ类水质；该区域主要以取水为主，取水口分布密集，取水量大	在浑河整体经济水平中，属于社会经济中低等水平；河道内依据水生态特征因子显示水生态环境状况良好，水质为Ⅱ类水；该区域较上个区取水口量较小	在浑河整体经济水平中，社会经济中高等水平；河道内水生态环境状况一般，水质为Ⅲ类水；该区域取水口较少，存在大流量取水口以及较多的排污口	在浑河整体经济水平中，社会经济中高等水平；河道内水生态环境状况较差，水质为Ⅳ类水；该区域取水口较少，存在超大量取水口，排污口较多，排污量较大	在浑河整体经济水平中，社会经济高等水平；河道内水生态环境状况差，水质为Ⅴ类水；该区域取水口较多，主要分布在支流蒲河上，排污口较多，排污量大

参 考 文 献:

- [1] 白元,徐海量,张青青,等.基于地下水恢复的塔里木河下游生态需水量估算[J].生态学报,2015,35(3):630-640.
- [2] 汤洁,吴佳曦,徐海红,等.二龙山水库水源保护区土地利用变化对生态需水量影响分析[J].环境工程,2014,32(1):46-49.
- [3] 尚小英.渭河宝鸡市区段生态基流调控研究[D].西安:西安理工大学,2010.
- [4] 柳长顺,刘昌明,杨红.海河流域水资源管理分区研究[J].地理学报,2004,59(3):349-356.
- [5] 孟伟,张远,张楠,等.流域水生态功能分区与质量目标管理技术研究的若干问题[J].环境科学学报,2011,31(7):1345-1351.
- [6] 孙然好,汲玉河,尚林源,等.海河流域水生态功能一级二级分区[J].环境科学,2013,34(2):509-516.
- [7] 孟伟,张远,张楠,等.流域水生态功能区概念、特点与实施策略[J].环境科学研究,2013,26(5):465-471.
- [8] 刘星才,徐宗学,徐琛.水生态一、二级分区技术框架[J].生态学报,2010,30(17):4804-4814.
- [9] 孙雪涛.水资源分区管理[M].北京:科学出版社,2013.
- [10] 黄俊铭,解建仓,卢友行,等.水资源红黄蓝分区管理研究[J].水利学报,2013,44(5):527-533.
- [11] DYSON M, BARGKAMP G, SCANLON J.环境流量:河流的生命[M].郑州:黄河水利出版社,2006.
- [12] 张楠,张远,孔维静,等.太子河流域水生态功能Ⅱ级区的划分[J].环境科学研究,2013,26(5):472-479.
- [13] 孔维静,张远,王一涵,等.基于空间数据的太子河河流生境分类[J].环境科学研究,2013,26(5):487-493.
- [14] 唐涛,蔡庆华.水生态功能分区研究中的基本问题[J].生态学报,2010,30(22):6255-6263.
- [15] 高喆,曹晓峰,黄艺,等.滇池流域水生态功能一二级分区研究[J].湖泊科学,2015(1):175-182.

[16] 高祥宝. 数据分析与SPSS应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.

Zoning methods of environmental flow management region: A case study of Hunhe River Basin

ZHANG Tianji¹, YU Xiao², ZHUGE Yisi²

(1. China Three Gorges University, Yichang 443000, China;

2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: Building environmental flow management zones is of vital importance to identification of environmental flow management requirements in various regions of the watershed, to rational allocation of river environmental flow, and to coordination of social ecological competitive water use. Based on the management structure system, a new method for zoning management district is established in this paper, considering the two attributes of society and nature, and using clustering analysis algorithm and Boolean operation method. By taking Hun River Basin for example, the whole basin is divided into five environmental flow management zones by the new method. The result indicates that the new method is feasible and is beneficial to simplification of the complexity of watershed management. Each zone has an independent and complete management structure system with distinct characteristics, which is conducive to the development of management objectives.

Keywords: environmental flow; management partition; index system; Hunhe River Basin

(责任编辑: 韩 昆)

(上接第 115 页)

Influence factor analysis of water environment protection of Huntai River basin based on EKC Curve

ZHANG Aijing¹, FU Yicheng²

(1. Construction and Administration Bureau of South-to-North Water Diversion Middle Route Project, Beijing 100038, China;

2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: Sustainable development becomes an important research field for scholars studying Environmental Kuznets Curve (EKC). Based on two different EKC assumptions, the coordinated relation between water environment protection and social-economic sustainable development in Huntai River watershed during the period of 2003 to 2012 was studied using panel data method. ① Based on the EKC curve, there is an inverted U-shaped relation between water environment deterioration and improvement of socio-economic development level; ② Based on the modified EKC (MEKC) relation curve, there is an inverted U-shaped relation between sustainability of water environment protection and socio-economic development (*HD*). It is restricted by water resource consumption, regional trade openness, GDP per capita and control regulations for total pollutant emission. Based on the fully modified ordinary least square (FMOLS) and dynamic ordinary least squares (DOLS), the mean values for key factors of EKC, *Y* (GDP per capita), *Y*², *E* (water resource consumption per capita), *T* (regional trade openness), *MAN* (production added value) and *MHDI* (modified socio-economic development index) are 2.090, -0.150, 0.720, 0.216, 0.072 and 1.890, respectively. Therefore, EKC assumption, socio-economic development level (*HD*) and sustainability are key factors for the preparation of effective water environment protection strategies.

Keywords: EKC; sustainable development; waste water discharge; Huntai River

(责任编辑: 杨 虹)