

文章编号:1001-8166(2008)07-0723-09

水—生态—经济系统中人文因素作用研究进展^{*}

徐中民, 钟方雷, 焦文献

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所黑河生态水文与流域集成管理研究实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘要:水资源系统的状态受人文因素与自然因素的影响,人文因素也受水资源系统的状态和自然因素的影响。要从中辨析人文因素的作用,需将人文因素和自然因素纳入统一的框架中分析。目前采用的统一框架主要有统一的分析尺度和时空尺度两种。在辨析当前国内外人文因素作用研究的趋势和热点的基础上,从分析尺度和时空尺度的角度系统全面的总结了相关研究的国内外进展,并针对我国典型内陆河流域的特征,提出了研究水—生态—经济系统中人文因素作用的几点展望。

关键词:水—生态—经济系统;人文因素;展望

中图分类号:P33;F062.2 **文献标志码:**A

由于人类活动对人地系统影响作用的不断增强,原本以纯粹物质流和能量流整合而成的自然生态系统单元,在叠加了人类经济社会活动之后,就变成了一种由物质流、能量流、信息流和价值流等各种流耦合而成的自然生态与经济社会复合系统单元^[1]。随着人文因素对水资源系统影响的日益显著,制约西北地区经济发展和导致生态环境问题的最重要因素——水资源问题^[2],已经广泛延伸至社会经济系统中,可采用的对策措施范围集也由水利工程等技术措施迅速扩大至更广阔的社会经济领域,迫切需要研究社会、经济、制度、组织和文化等人文因素对水资源系统的影响。由于不同的历史背景、文化特征、水资源的数量及不同的社会经济条件,不同时空尺度上的用水利益团体对水资源评价的角度、观点、使用的技术、甚至是语言都不同。因此,定性定量地研究水—生态—经济系统中人文因素的作用,是促进水土资源优化配置、流域生态建设、经济社会发展的必然要求。本文述评了当前国内外研究进展,提出了开展水—生态—经济系统中人文因素作用研究的几点构想。

1 辨析人文因素作用是当前的热点

在人地系统的研究中,分析人文因素的作用在国际地圈生物圈计划(IGBP)和全球环境变化的国际全球环境变化人文因素计划(IHDP)支持的关键前沿领域之一,这在IGBP和IHDP支持的核心计划土地利用/覆盖变化(LUCC)中表现得最为明显。LUCC计划的工作目标中就要求将土地利用/土地覆盖变化与社会、政治和经济问题紧密结合起来,辨析人文因素对土地利用/覆盖变化的影响。

在水资源管理的研究中,由于水资源的多功能性及采用多目标方法会忽视目标相互之间的联系,采用传统的方法很难解决水资源开发过程中引起的生态—环境—社会系统之间的冲突^[3]。水资源管理规范已从传统的以水为中心的命令控制型水资源开发、保护转向重视公众参与协调的集成水资源管理。集成的水资源管理被定义为一个促进水、土及相关资源的协调发展和管理的过程,在该过程中不仅最大化经济和社会福利,而且能确保公平和可持续性^[4]。集成的水资源管理是一种环境健全、公平和可持续的开发利用水资源方式,是当前水资源管

* 收稿日期:2008-05-15;修回日期:2008-06-11.

* 基金项目:中国科学院西部行动计划项目“流域集成水资源管理战略研究”(编号:KZCX-B2-04-04);国家自然科学基金项目“中国西北地区虚拟水战略研究”(编号:40671076)联合资助。

作者简介:徐中民(1973-),男,湖南华容人,研究员,主要从事生态经济方面的研究. E-mail: xzmin@lzb.ac.cn

理研究最前沿的范式。2002 年召开的可持续发展世界峰会要求所有的国家在 2005 年底精心编制集成的水资源管理和水效益战略^[4]。赢得的共识是水资源管理需要与效益、公平和环境保护等一起综合集成考虑。从干旱地区内陆河流域水短缺和水资源在生态经济系统中的核心纽带地位来看言,水资源管理的目标直接指向可持续发展,其视点也从聚焦于水扩展到与水资源系统紧密相连的社会经济系统,从制度、组织、经济和社会文化等角度增加了对策措施集。而且集成的水资源管理范式主要强调过程,将问题广泛延伸到了社会经济领域,面临怎样寻找切入点,怎样确定问题、设置问题的优先性及在那些领域进行变革、怎样变革等问题,这些都与人文因素的作用有紧密的联系。*Nature* 杂志最近出版的水研究专集(2008 年 3 月 415 卷)强调可以采用很多新的水资源管理办法来缓解和解决当前面临的水危机,其中蓝水和绿水的评价与利用,虚拟水的利用就包含对人文因素作用的重视。

2 人文因素作用研究的国内外进展

水资源系统的状态受人文因素与自然因素的影响,人文因素也受水资源系统的状态和自然因素的影响。要从中辨析人文因素的作用,需将人文因素和自然因素纳入统一的框架中分析。目前采用的统一框架主要有统一的分析尺度和时空尺度两种。通常,自然因素主要是根据分析对象的时空尺度定义的,人文因素一般是根据分析对象的分析尺度(功能属性)来定义^[5]。下面分别从分析尺度和时空尺度角度阐述国内外的研究进展。

2.1 分析尺度上研究的国内外进展

2.1.1 分析尺度上人文因素的识别

尽管在时空尺度上耦合人文因素和自然因素取得了一定的进展,但人文因素的作用研究大多是在分析尺度上取得的,而且大多研究对人文因素考虑不全面,仅偏重关注其中的几个方面(如社会资本和文化类型)或某一方面(如制度)。因此对人地系统中人文因素作用的研究需要一个系统的结构解析框架。徐中民等^[6]在总结人文科学理论和方法的思考范式和演变规律。认为可将人文科学理论的探索分为 3 个步骤:① 辨析结构性成分(要素);② 辨析结构性成分之间的关系;③ 在参照系中检验结构性成分之间的关系。同时注意到人文科学理论和方法的演变规律为:旧理论是新理论的一种特殊情形。从而认为人文因素的识别及人文科学理论和方法的

探索一般需要从已有的理论框架出发,采用简化的方法,从简单到复杂,深入展开。因此从评价人类活动对环境影响的经典等式 IPAT 等式出发^[7],辨析了人口、富裕、消费、技术和制度等关键的人文因素,并按照等级层次系统的分解方法,可以将这些识别的人文因素进一步分解成更多的结构性子成分,如将富裕分解成自然资本、金融资本、人力资本和社会资本等结构性子成分,制度可以分解成水制度及水制度环境等结构性子成分^[6]。

2.1.2 研究进展

(1) 水账户与水资源的社会经济循环规律。理解不同尺度上的水资源迁移转化过程,即核算不同尺度上水资源在生态经济系统中的流向、流量和存量,是提高流域水资源生产效率,辨明节水机会,实现水资源可持续高效利用与管理的基础性工作。

1997 年国际灌溉管理研究所 Molden^[8]从水资源平衡开始,提出了水资源利用与核算账户(简称水资源账户)的研究方法和一些新的衡量水资源生产效率的指标(如水资源过程性损耗率和非过程性损耗率),并分流域、灌区和田间三个尺度建立了水资源账户的核算框架,为水资源管理研究开发一套通用语言。随后 Molden 等^[8]在印度 Bhakra 流域等地开展了水资源账户核算的实证研究。由于 Molden 提出的水资源账户框架主要是基于水资源的自然循环过程,因此其研究得出的结论主要集中在提高水资源利用的技术效益方面。由于目前水资源账户的建立主要集中在水资源的自然循环过程上,因而据此提出的对策措施大多集中在技术效益的层面上。而人文因素对水资源系统的影响通常是以一种间接的方式体现在水资源系统中,人类直接消耗的水资源量并不多,对水资源系统的影响大多是通过消耗商品和服务间接体现出来的。类似如生命周期评价,诊断人文因素对水资源系统的影响,显然需要追踪和记录水资源在自然系统和社会经济循环规律。虚拟水概念较好的解决了社会经济系统水循环的核算问题。虚拟水是指包含在产品中“看不见”的水,指生产商品和服务所需要的水资源数量,该概念通过水—粮食—贸易之间的紧密联系——使水资源问题进入社会经济系统中,其实质是以贸易为纽带将人类活动与空间格局联系在一起,使水和粮食之间的关系空间化^[6]。现在虚拟水已经成为国际上的一个前沿研究领域^[9],2002 年和 2003 年分别在荷兰和日本召开了以虚拟水为主题的国际专题讨论会。最新的研究表明 1995—1999 年间,世界人类

总用水($6.6 \times 10^{12} \text{ m}^3/\text{a}$)中的15%($1.0 \times 10^{12} \text{ m}^3/\text{a}$)通过贸易的方式参与了全球经济循环,以间接的方式平衡了局部地区水资源稀缺,其中约旦利用高达60%~90%的外部虚拟水资源来满足国内的水资源需求^[10]。在虚拟水概念的基础上,可借鉴生态足迹的研究思路进一步延伸,在从生产和消费的角度核算水足迹的基础上,将水资源的自然循环过程与社会经济循环过程融为一体,建立完整的水资源核算账户,并采用纵向综合集成技术,分析总结虚拟水和实体水在部门内部、部门间及研究区与研究区外相互之间的迁移转化规律,为系统探索水资源可持续利用方式提供基础。水社会经济循环的研究目前也已经引起了国内研究者的重视,贾绍凤等^[11]概述了社会经济系统中水循环的研究进展,强调加强水资源的需求管理尤其是提高水资源的利用效率方面的研究。

(2) 人文因素作用的研究进展。识别人文因素后,就需要分析人文因素对水资源系统的影响,目前的研究主要集中在分析单个的关键人文因素对水资源系统的影响,如技术性节水、水制度变化对水资源系统的影响,还有很多研究集中在分析单个关键的人文因素对环境的影响上。下面简述了社会资本和水制度(两种关键的人文因素)的研究进展。

自1987年Coleman将社会资本发展成为社会科学的一个综合概念后,社会资本的概念已广泛出现在可持续发展研究的文献中,充分肯定了社会资本在可持续发展中所具有的关键作用^[12]。诸多研究表明,社会资本与流域的管理效果正相关,清晰规则的制定能增强人民的参与意识,并同时提高社会资本;同时发现社会资本具有降低贸易交易成本的作用,具有缓解贫困的作用^[13]。同时社会资本与环境的关系也日益引起了研究人员的重视,研究表明人力资本和社会资本的改进是自然资本改进的必要条件,也有研究从利益团体参与式管理的角度探讨了社会资本的形成,及如何投资社会资本等问题^[14]。

当前国际上从制度经济学角度研究水资源管理也取得了一定的成果。在North^[15]制度交易成本理论的基础上,进一步考虑了非经济因素和制度联系的运行和交易成本的影响,开发了了一个制度分析和开发框架(IAD)。提出了水制度变迁过程的四阶段模式:①参与者心理的变化;②政治的清晰度;③制度的变化;④实际的影响(包括经济、环境和社会影响)。并采用比较分析和三阶段最小二乘法

(3SLS),以世界上39个国家为例,对水制度与水部门运行效益之间的关系进行了定量的实证分析,诊断了水制度和运行之间的联系途径及这些联系对水部门运行效益的贡献。Livingston^[16]建议这种方法经过适当的扩充和修改可以用来评价不同尺度上的制度变化。通常,政治经济学理论和交易成本方法的分析可以用来分析制度变化的合理性,然而,从设计和实施的改革政策的角度来看,四阶段方法更有应用前景,因为其可以用来分析怎样和何时干预变化过程。

国内关于水制度方面的研究也已经开展很多,大多是围绕水权、水价和节水型社会的制度建设展开,但缺乏系统全面的研究,尤以实证工作为主,而理论研究为辅。

(3) 人文因素演化的评价目标。人文因素演化的目标也就是发展的最终目标。GDP是一个流行的诊断国家经济增长情况的指标,但作为衡量人类福利的指标存在许多问题,如没有考虑发展的环境成本、社会成本、收入的分配等。随后研究者对GDP进行调整做了很多尝试,建立了如绿色GDP的概念和测量经济福利(MEW)和可持续经济福利指数(ISEW)这样的指标。但这些指标仍然是基于消费能带来更大的福利的假设,根据消费的多少来测量经济福利,因而存在明显的缺陷。Easterlin^[17]研究发现发达国家尽管收入的增加非常大,但人们的幸福的变化却非常稳定。这等于是拒绝了这样的假设,绝对收入是效用函数的唯一成分。对此的一个解释是人类的发展不仅仅有收入的成分。考虑到人类需求的多层次性,越来越多的人认识到反映人类福利的客观指标(如消费)与人类福利的主观测量值(幸福)之间并没有明显的直接联系,提出应以幸福或生活质量作为人类福利的测量指标。从20世纪70年代以来,不丹国王坚持以实现幸福为政策目标,并创造性地提出了由政府善治、经济增长、文化发展和环境保护四级组成的“国民幸福总值”(Gross National Happiness, GNH)指标。追求GNH最大化是不丹政府至高无上的发展目标,实践的结果是在人均GDP为700多美元的不丹,人民生活得很幸福。我国政府提出的落实以人为本的科学发展观和建立和谐社会也是为了追求这一终极目标。幸福的概念非常容易理解,但包含的影响因素太多,可以说生活包含那些方面,幸福就应该包括那些内容。自幸福理念提出以来,已经引起了国际社会和研究人员的广泛关注,相关的研究成果不断涌现。研究表

明,人们能就自己的福祉状况做出一贯的评估,自我报告的幸福是测量幸福的最好成绩指标^[18]。当前关于幸福的研究主要集中在①了解人们的幸福程度;②辨认幸福的决定因素;③阐释产生幸福的心理机制;④分析幸福对行为的影响;⑤如何提高幸福程度。2000年UNEP专门提供资金研究不丹的GNH的发展战略的含义。相关研究人员在不丹(2004年)、加拿大(2005年)召开了两次关于GNH的国际讨论会,会议内容涉及幸福的含义、测量、及实施GNH战略的对策措施等诸多方面,其中测度幸福的程度及开发促进提高人们幸福程度的发展政策是讨论的焦点问题^[19,20]。

(4)具体的市场调控措施对水资源系统的影响。人文因素对水资源系统的影响大多是间接的,是通过具体的市场措施体现出来的。从目前国内外的研究状况来看,主要的市场调控措施主要有水价、水权和虚拟水战略三种。

水价、水权是依靠市场机制提高水资源的内部分配效益的两种重要工具。国际上关于水价的研究文献已经是浩如烟海,研究前沿主要是讨论水价的制度建设和水分配的政治经济社会影响。可计算均衡模型(CGE)是一种广泛采用的研究工具。如Dupout等^[21]采用CGE模型分析了加拿大水价变动(水权和容量收费)对工业、农业和家庭影响及潜在的福利和成本效应。Diao等^[22]采用CGE模型分析了摩洛哥贸易和水市场改革的效应。该研究的亮点是提供了改革措施实施的优先顺序。目前在水价领域的应用中,CGE模型已扩展到空间均衡、考虑内生经济增长的影响及公平效应。有研究表明水价的变动对农业内部的收入分配影响较小,主要取决于农民各自的土地禀赋^[23],但对不同部门间的收入分配具有较大的影响^[22]。同时也有文献讨论水价变动对收入分配的影响及用水户的承受能力问题,研究了供水改进的支付意愿,考虑到人们的承受能力的差异,并推荐采用交叉补贴的技术来帮助穷人。

国际上有关水权管理的研究主要集中在总结水市场建立的经验,初始水权配置(公平问题)、模拟地表水和地下水水权交易,不确定性管理(效益问题)以及水权交易对经济、生态系统、社会系统的影响,及水权交易的制度保障和对策研究上^[24,25]。如在总结智利、墨西哥和美国加州等地水权管理个案的经验后,研究了水权交易系统的设计以及有效配置问题,分析了农业水权向工业、家庭部门转移对食物安全和农村地区发展的影响。由于水权交易市场存

在交易成本及外部性问题,因而实际的水权交易常步履艰难。考虑到水权交易的外部性,Tisdell^[26]模拟了水权交易对河流生态系统的影响,并讨论了环境用水与提取用水需求间的损益关系。同时还有文献依据流域的水文特征建立综合模型,采用最大化提取用水和河道留水的总效益的方法来得到水权和河道留水间理论分配上的最优解^[27,28]。

因相关的政治和经济成本的存在,从水权延伸到水市场通常很难得到优化结果,这需要水市场的充分培育。实践中,水管理政策措施执行得好坏与制度安排、水营运部门的组织结构特征、规则机理、信息和研究技术能力等有很大的关系。如用水户协会的存在能有助于减少水权交易成本、减少用水户间信息的不对称及水费的收集成本。良好的水市场需要合适的交易规则及恰当的制度安排来保证。

目前国内关于水价、水权交易理论研究的文献已有很多。在水价研究上,国内大部分研究围绕水价的形成、运行机制而展开,而相对缺乏水价变动的经济和环境的影响研究,尤其缺少水价变动对社会就业和福利的研究,研究方法则主要集中于社会调查和经济学中的一些方法。水权方面的大多数文献只是研究交易地表水的水权市场,定性为主、定量为辅地讨论水权市场的组织体系建设、水权市场的主体建设、完善水权登记制度、水权的交易成本、水权的交易效率等问题,暂未发现综合考虑水权交易的环境和经济综合影响文献。

对比国内外的水权、水价的研究进展状况发现,国外已经广泛开展水权水价的经济、环境和社会影响分析,并重视相应的社会、制度等方面保障政策措施的研究,其目标直接指向了可持续发展。国内在此方面落后甚多,因而存在开展社会、制度等保障措施研究的基础上,研究水权、水价等对社会、环境和经济影响研究的急迫性。结合研究区的实际情况,水价的研究需要考虑农户的承受能力,考虑收入分配的CGE模型建设;水权的研究需要考虑研究区地表水和地下水相互之间的转化关系及生态需水的约束。

国内虚拟水的研究领域,方向和思路是正确的,但需要有更具体、更深刻的实际对策和措施研究来支持。除了考虑虚拟水战略是否可行外,还需要评价分析虚拟水战略的社会、经济和环境的影响。其中虚拟水战略的可行性研究显然需要充分考虑人文因素演变的影响,而虚拟水战略的影响评价,就需要充分考虑其对人文因素的影响。

2.2 时空尺度上人文因素作用的研究进展

2.2.1 时空尺度上景观变化研究面临的主要问题

随着人类活动对环境影响的日益深刻,景观变化被普遍认为是过去的自然过程和人为干扰共同作用的结果。景观变化的研究工作,面临的主要挑战有^[29]:

(1) 研究景观过程而不仅仅是空间模式。目前关于景观变化的研究多集中于空间模式的描述和分析,较少关注景观功能和变化过程。而理解景观变化需要人们彻底地了解其潜在过程。由于景观变化的过程明显具有时间的成分,因此利用历史的方法有助于分析其变化过程。

(2) 在时空尺度上外推研究结果。通常景观研究在不同的背景、参与者、主要过程、尺度和分辨率下具有不同的结果。不同时间和空间尺度上占主导地位的格局和过程都不同,单一尺度上的观测结果只能反映该尺度上的格局和过程。在尺度推绎时,不同尺度上组分之间的非线性关系、相互之间的反馈作用及各组成成分的空间异质性都会使尺度推绎的结果缺乏有效性和可靠性。

(3) 连接不同质量的数据。景观变化研究通常面临处理不同质量的数据问题。自然科学搜集的数据通常具有地理参考信息,而社会科学的数据通常很难与某一地理位置相关联,因此社会经济数据的空间化就是在时空尺度上耦合自然数据与社会经济数据面临的首要问题。

目前随着对地观测技术和地理信息科学的飞速发展,如何精确地进行人文因素的空间化成为了研究的难点和热点。人口的空间化是目前研究较多的人文因素之一,但采用的研究方法大多需要大量的先验知识来建立人口和影响因子数据之间的数学关系,并且在建模过程中过多地注重影响因子的选择和量化,很少顾及被选因子之间的相关性。另外人口和影响因子之间的关系因地而异,这导致很难用统一的模型结构来准确估计不同区域的人口分布。尽管同时在研究方法上有所扩展,如廖一兰等^[30]设计了遗传规划、遗传算法和GIS相结合的方法,成功建立了山西省和顺县的人口数据格网分布表面。相对而言,因为居住单元具有明确的空间坐标,人口数据的空间化还存在可以检验的客观的标准,其他人文因素(如社会资本、文化等)的空间化的难度就可想而知。

(4) 把文化作为景观变化的驱动力。在不同区域之间景观变化的比较研究中,研究者大多意识到

文化的影响。然而,目前还很难把文化维度集成到景观变化的研究中。因为文化是环境变化中最复杂的维度,目前还没有一个明确的概念。狭义上文化主要关注态度、信仰、规范和知识,广义上文化包括人口发展、经济、技术和政治程序等内容。显然要独立指定文化对于环境的直接影响,需要将其概念集中到狭义的范畴上^[31]。然而狭义的文化概念又与社会资本的概念有许多共同之处,都关注态度、信仰和规范等内容,如何区分这是当前研究需要解决的关键问题之一。

2.2.2 时空尺度上景观变化研究的主要方向

在景观变化研究中,必须建立并检验景观要素、参与者和驱动力之间的关系。统计方法在检测相关关系时比较有用,但是不能用来检测因果关系。而景观变化与驱动力之间因果关系的鉴别是模拟和预测土地利用/覆被变化的必要条件。为了更好地理解驱动力对景观变化的作用机制,可以从以下几个方面开展研究工作:

(1) 跨区域对比研究景观变化。跨越行政边界或沿着横断面对比研究景观变化,可以深入理解特定驱动力对景观变化的作用。通过对比研究相邻的行政单元,尤其有助于发现规章制度、津贴、政治系统对景观变化的显著作用。

(2) 景观变化和景观的持久性。显然,研究景观的持久性、景观变化的限制和约束因素,应该像景观变化的研究那样受到同样的重视。景观持久性的存在并不意味着没有驱动力存在。特别地,如果适当的驱动力,比如规章制度和津贴,抵消了其他驱动力的作用,景观可能就会在一定时间内保持稳定。

如果系统是路径依赖的,那么系统目前的状态和变化轨迹还依赖它的发展历史,而不仅是目前驱动力的状态。引起路径依赖性的原因可能有很多,但重要的两点是:自强化性和投资刚性。这两者并不互相排斥:自强化过程是基础,导致了不可逆性和不变性,至少在短期内是如此。

(3) 景观变化的速度。景观发生变化时,人类、植物和动物会去适应它。变化越平稳,适应的过程越长,人类等对景观变化的适应就会越好。人类适应景观变化的方式可以用社会科学的方法较好地理解。例如,缓慢的景观变化可以被外地的游客而不是当地人感觉到;快速突然的变化可能会导致判断力丧失或者下降。

(4) 相关关系和因果关系。在所有的景观变化中,辨明相关关系和因果关系的区别十分重要。即

使研究目标是增加关于因果关系的知识,研究人员通常还是受限于考察相关关系。为了机械地理解景观变化,可以使用独立的数据检验驱动力和景观变化之间的假设因果关系。通常,因果关系的研究需要集成的方法,把定量数据与定性信息和描述性的要素结合起来使用。有时,基于环境证据的叙述性解释和推论性推理可以足够好地解释景观变化发生的原因。

2.2.3 时空尺度上景观变化研究利用的主要方法

为了更全面地理解黑河流域的水资源问题,研究人员需要采用集成工具来分析、描述正在进行的已知过程。基于过程的分布式生态过程模型更有助于理解不同尺度上景观变化的时空模式对水资源利用的影响。在统一的时空尺度上,目前的研究取得了较大的进展,理论和方法也不断推陈出新,如 Lucc 计划中就提倡采用社会化像元和像元化社会的方法将土地利用和覆盖变化与社会、经济和政治问题统一起来;一些分布式景观模拟模型的开发也增加考虑了人文因素的作用^[32];国际上目前正在开展的“集成人在地球上的历史和将来 (IHOPE)”计划就明确提出依靠集成历史,通过测试“人在环境中”这个系统模型,来理解人类和地球的关系和动态^[33]。综合来看,在时空尺度上考虑人文因素作用的模型可以分为集成的全球模型,元胞自动机模型,代理人基础的模型和空间显式的模型四种。

(1) 集成的全球模型。人类活动对生态生命支持系统的影响日益深刻和复杂^[35],科学研究的重点也转向了多学科交叉的综合集成研究。集成的全球模型试图在全球尺度上定量地理解人类—环境系统相互作用的动态历史和未来。在过去的 30 年里,集成的全球模型在全球变化研究领域得到了快速发展^[35]。然而,真正考虑了系统中自然和人文因素及其相互作用的模型仍然很少。另外,集成的全球模型的空间尺度大多是全球或区域范围的,很难基于过程理解人类—环境系统相互作用的机理。

(2) 元胞自动机模型。元胞自动机 (CA) 是一种时间、空间状态都离散,空间的相互作用及时间上的因果关系皆局部的网格动力学模型,其特点是可以利用一些很简单的局部规则来产生复杂的系统。虽然 CA 在城市空间变化和土地利用方面得到了广泛应用,但是这些应用都没有考虑人文因素的主观决策行为^[36],更没有考虑到社会主体与动态经济环境之间的宏观与微观作用^[37]。

(3) 代理人基础的模型。代理人基础的建模

(ABM) 采用自下而上的模拟方法,注重对系统中微观主体行为的模拟^[38],能够更好地表征社会、经济、环境系统的复杂性、适应性。从 1990 年起 ABM 被越来越多的用于社会科学领域。现有的 ABM 模型应用实例都是在一个国家范围内选择一个区域进行模拟分析,小的区域尺度代表一个乡镇,大的则包括几个县市,乃至整个省份。但模型在栅格尺度范围内的应用研究很少,在中国类似研究更少。这种小尺度上的研究往往十分重要,可以帮助我们了解生态经济系统的过程机理。因此,ABM 模型的尺度转化问题是一个值得探讨的问题。

(4) 空间显式的模型。20 世纪 90 年代, Voinov 等^[39]利用模块化的建模方法,开发了基于过程的 Patuxent 景观生态模型 (PLM) 和 Everglades 景观生态模型 (ELM),它们为复杂的生态经济系统的过程模拟研究提供了很好的范例。PLM 景观模拟模型从景观角度出发,在栅格单元上开发通用的生态过程模型。针对不同的生态系统过程分别开发不同的模块,采用基于过程的方法分别描述流域的水文、营养运动与循环、植物增长和死亡有机物的情况。这种带有通用结构的模块能够解决模型开发中老是“重新做轮子”的问题^[39]。

PLM 的各个模块可以在空间建模环境 (SME) 中有有机地组合起来,实现单元模型向空间模型的转换^[40]。SME 是一种高性能的空间模型集成环境,它能够将图形基础的建模环境与高性能的计算机资源连接起来,有效地解决模型建立的概念复杂性和计算复杂性问题。

PLM 模型以土地利用变化反应人类活动对生态、环境的影响。但是,在 PLM 模型中土地利用变化只是一种情景,没有把人类的经济活动空间化并与生态过程模型耦合。Bockstael^[41]空间化了 Patuxent 流域的土地利用价值。空间化的土地价值被作为因变量,描述区位特征的变量被用来解释土地价格的空间差异性。

综合而言,集成的全球模型在全球尺度上定量地理解人地系统的相互作用,但是模型的空间尺度太大,不能在过程上较好地理解人地系统相互作用的机理。采用元胞自动机方法可以用简单的局部规则描述复杂的系统,但是很少考虑人文因素的主观决策行为。代理人基础的模型注重对系统中微观主体行为进行模拟,但其研究尺度是区域性的,很少在栅格尺度上描述人类的活动。而空间显式的建模方法,可以在栅格基础上建立空间显式的模拟模型,通

过模块化的建模方法描述复杂的生态经济系统。采用这种方法,一方面可以基于过程理解自然生态系统,另一方面通过空间化人文因素并分析其对土地利用变化的影响,可以把反应土地利用变化的人类活动耦合到生态模型中,实现生态经济的集成建模工作。这更有助于理解生态经济系统复杂的相互作用。

3 水—生态—经济系统中人文因素作用研究展望

为理解西北干旱区内陆河流域水生态经济系统中人文因素的作用,从上述研究进展的总结来看,需要从分析尺度和时空尺度上开展研究。下面幸福的水资源管理和分布式模型中人文因素的作用就分别是分析尺度和时空尺度的角度研讨人文因素的作用。

3.1 幸福的水资源管理

辨明关键人文因素(社会资本、制度等)的时空分布规律,在建立水账户的基础上,分析总结商品和服务中虚拟水的运行规律,以单方程和联立的计量经济模型为主探讨人文因素对水资源系统和生态系统的影响;分析人文因素对具体的市场调控措施的影响,及具体的市场调控措施对水资源系统的影响;分析人文因素对居民幸福生活程度的贡献,探讨构建幸福的水资源管理战略体系的途径。

其主要研究内容如下:

- (1) 水资源的社会经济循环规律。
- (2) 人文因素的时空分布规律。
- (3) 人文因素对水资源系统的影响及其生态效应。
- (4) 社会经济调控措施(水权、水价和虚拟水战略)的影响分析。
- (5) 幸福的水资源管理战略研究。

3.2 分布式过程模型中的人文因素

作为景观状态变化的驱动力之一,人文因素因为通常缺乏明显的空间属性,因而需要采用社会化像元的方法将关键的人文因素(人口、GDP、社会资本等)空间化,然后与自然因素一起来驱动土地利用的变化。在此基础上,可以将土地利用变化作为情景纳入 PLM 的模型框架体系当中,分析人文因素对水资源系统和景观格局变化的影响。同时,需要开发基于科学模型的决策支持系统,以便更好地为水资源管理决策服务。

其主要研究内容如下:

- (1) 人文因素的空间化。

- (2) 景观格局状态变化的模拟。

- (3) 决策支持系统。

参考文献(References):

- [1] Fang Chuanglin, Bao Chao. The coupling model of water-ecology-economy coordinated development and its application in Heihe river basin[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(5): 781-790. [方创琳, 鲍超. 黑河流域水—生态—经济发展耦合模型及其应用[J]. 地理学报, 2004, 59(5): 781-790.]
- [2] Cheng Guodong, Xiao Honglang, Xu Zhongmin, et al. Water issue and its countermeasure in the inland river basins of Northwest China—A case study in Heihe river basin[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2006, 28(3): 406-413. [程国栋, 肖洪浪, 徐中民, 等. 中国西北内陆河水问题及其应对策略——以黑河流域为例[J]. 冰川冻土, 2006, 28(3): 406-413.]
- [3] Hooper B. Integrated River Basin Governance, Learning from International Experience[M]. London: IWA Publishing, 2005: 1-276.
- [4] Global Water Partnership (GWP). Catalyzing Change: A Handbook for Developing Integrated Water Resources Management (IWRM) and Water Efficiency Strategies[M]. Elanders, 2004.
- [5] Gibeson C C, Ostrom E, Ahn T K. The concept of scale and the human dimensions of global change: A survey[J]. *Ecological economics*, 2000, 32(2): 217-239.
- [6] Xu Zhongmin, Cheng Guodong. Framework to address human factors in a human-earth system[J]. *Science & Technology Review*, 2008, 26(3): 86-92. [徐中民, 程国栋. 人地系统中人文因素作用的分析框架探讨[J]. 科技导报, 2008, 26(3): 86-92.]
- [7] Ehrlich P R, Holdren J P. The impact of population on growth[J]. *Science*, 1971, 171: 1 212-1 217.
- [8] Molden David. Accounting for water use and productivity[C]. SWIM Paper 1. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute, 1997.
- [9] Hoekstra A Y. Virtual Water trade between nations: A global mechanism affecting regional water systems [EB/OL]. http://www.igbp.kva.se/uploads/NL_54_1_Hoekstra.pdf, International Geosphere Biosphere Programme, 2003.
- [10] Hoekstra A Y. Virtual water trade: An introduction[C]//Hoekstra A Y, ed. Virtual Water Trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade—Value of Water Research Report Series No12. The Netherlands: IHE DELFT, 2003: 13-23.
- [11] Jia Shaofeng, Wang Guo, Xia Jun, et al. Research progress in socio-economic water cycle[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(2): 255-262. [贾绍凤, 王国, 夏军, 等. 社会经济系统水循环研究进展[J]. 地理学报, 2003, 58(2): 255-262.]
- [12] Pretty J. Social Capital and the collective management of resources[J]. *Science*, 2003, 302: 1 912-1 914.
- [13] Grootaert C, Bastelaer T. The Role of Social Capital in Development; An Empirical Assessment[M]. New York: Cambridge University Press, 2002.

- [14] Pretty J, Ward H. Social capital and the environment[J]. *World Development*, 2001, 29(2):209-227.
- [15] Douglass C North. Institutions, Institutional Change and Economic Performance [M]. New York: Cambridge University Press, 1990.
- [16] Livingston, Marie Leigh, Thomas A Miller. A framework for analyzing the impact of western instream water rights on choice domains: Transferability, externalities and consumptive use [J]. *Land Economics*, 1986, 62(3):269-275
- [17] Easterlin, Richard A. Does money buy happiness? [J]. *The Public Interest*, 1973, 30:3-10.
- [18] Cheng Guodong, Xu Zhongmin, Xu Jinxiang. Vision of integrated happiness accounting system in China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(6): 883-893. [程国栋, 徐中民, 徐进祥. 建立中国国民幸福生活核算体系的构想 [J]. 地理学报, 2005, 60(6):883-893.]
- [19] Prakke D. The Buddhist Truth of Happiness Spirituality and Development- the case of governance in Bhutan [J]. *Journal of Bhutan Studies*, 2005, 12:119-165.
- [20] Dixon F. Improving unsustainable western economic systems [C] //Ura k, Galay K, ed. Gross National Happiness and Development, Proceedings of the First International Seminar on Operationalization of Gross National Happiness. Thimphu, Bhutan, 2004: 105-121.
- [21] Dupont D, Renzetti S. An Assessment of the Impact of a Provincial Water Charge [J]. *Canadian Public Policy*, 1999, 25(3): 361-378.
- [22] Diao X, Roe T. The win-win effect of joint water market and trade reform on interest groups in irrigated agriculture in Morocco [C]//Dinar A, ed. The Political Economy of Water Pricing Reform. Oxford University Press, 2000.
- [23] Tsur Y, Dinar A. Efficiency and equity considerations in pricing and allocating irrigation water [R]. The World Bank: Policy Research Working Paper Series 1460, 1995.
- [24] Griffin, Ronald C, Shih-Hsun Hsu. the potential for water market efficiency when instream flows have value [J]. *American Journal of agricultural economics*, 1993, 75(2):292.
- [25] Bauer J. Bringing water markets down to Earth: The political economy of water rights in Chile, 1976-1995 [J]. *World Development*, 1997, 25:5 639-5 656.
- [26] Tisdell J, Ward J. An Experimental Evaluation of Water Markets in Australia [C] //Paper Presented at the 8th International Water and Resource Economics Consortium. Agadir, Morocco, 2001.
- [27] Cai X, McKinney D C, Lasdon L S. Integrated hydrologic- agroeconomic-economic model for river basin management [J]. *Journal of water Resources Planning and Management*, 2003, 129(1): 4-17.
- [28] Weber L. Markets for water rights under environmental constraints [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2001, 42(1):53-64.
- [29] Bürqi M, Hersperger A M, Schneeberger N. Driving forces of landscape change—Current and new directions [J]. *Landscape Ecology*, 2004, 19:857-868.
- [30] Liao Yilan, Wang Jinfeng, Meng Bin, et al. A Method of Spatialization of Statistical Population [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(10):1 110-1 119. [廖一兰, 王劲峰, 孟斌, 等. 人口统计数据空间化的一种方法 [J]. 地理学报, 2007, 62(10): 1 110-1 119.]
- [31] Proctor J D. The meaning of global environmental change: Rethorizing culture in human dimensions research [J]. *Global Environmental Change*, 1998, 8: 227-248.
- [32] Costanza R, Jorgensen S E. Understanding and Solving Environmental Problems in the 21st Century, Toward a New, Integrated Hard Problem Science [M]. Amsterdam: Elesiver, 2002. [徐中民, 张志强, 张齐兵, 等译. 理解和解决 21 世纪的环境问题——面向一个新的、集成的硬问题科学 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2004.]
- [33] Costanza R, Graumlich L J, Steffen W. Sustainability or Collapse—An Integrated History and Future of People on Earth [M]. MIT Press, 2006.
- [34] Gallagher R, Carpenter S. Human-dominated ecosystems [J]. *Science*, 1997, 277: 485-490.
- [35] Meadows D H, Randers J, Meadows D L. Limits to Growth: The 30-year Update [M]. Post Mills, VT: Chelsea Green, 2004.
- [36] Ligtenberg A, Bregt A K, Lammeren R. Multi-actor-based land use modelling: spatial planning using agents [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2001, 56(1/2):21-23.
- [37] Sanders L, Pumain D, Mathian H. SIMPOP: A multiagent system for the study of urbanism [J]. *Environment and planning B*, 1997, 24:287-305.
- [38] Holland J H. Complex adaptive systems [J]. *Daedalus*, 1992, 121:17-30.
- [39] Voinov A, Costanza R, Wainger L, et al. Patuxent landscape model: integrated ecological economic modeling of a watershed [J]. *Environmental Modeling & Software*, 1999, (14):473-491.
- [40] Voinov A, Costanza R. Landscape Simulation Modeling: A Spatially Explicit Dynamic Approach [M]. Heidelberg: Springer, 2004.
- [41] Bockstael N. Economics and ecological modeling: The importance of a spatial perspective [J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 1996, 78(5): 1 168-1 180.

Expectation of the Research on Human Factors' Function in Water-Ecology-Economy System

XU Zhongmin, ZHONG Fanglei, JIAO Wenxian

(Heihe Laboratory of Ecohydrology and Integrated Basin Management, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The function of human factors in Water-Ecology-Economy System is becoming more outstanding. The practice of water resource management is also crying for more and more researches on human factors' function and its effect in aspects of different space time and analysis dimension. Hence, more countermeasures from broad social-economic vision will be found to resolve the water resource problem. The paper analyses the main trend and focus in Human-Earth System research, reviews the correlative progress at home and abroad and finally puts forward some expectation on the function of human factors in Water-Ecology-Economy System of typical inland river basin in Northwest China.

Key words: Water-Ecology-Economy System; Human factor; Expectation.

2008年第8期要目

水力类泥石流起动机理与预报研究进展与方向	唐川, 章书成
云南种子植物区系地理成分分布格局及其意义	朱华
我国雷电灾害及相关因素分析	马明, 吕伟涛, 张义军, 孟青
氮输入对陆地生态系统碳循环关键过程的影响	彭琴, 董云社, 齐玉春