

流域生态补偿理论探讨

赵银军^{1,3}, 魏开湄², 丁爱中¹, 李爱花²

1. 北京师范大学水科学研究院教育部水沙科学重点实验室, 北京 100875; 2. 水利部水利水电规划设计总局, 北京 100120;
3. 广西师范学院资源与环境科学学院, 广西 南宁 530001

摘要: 流域生态补偿是协调流域生态环境保护 and 经济发展之间矛盾, 调整流域内区域间损益关系的有效手段。文章从流域内人类活动产生的损益入手, 论述了流域生态补偿的概念、理论基础和运行机制, 并利用经济学原理, 对生态补偿的必要性和补偿标准进行了理论解析, 给出了流域生态补偿必要性的理论依据和需要补偿量的理论值。在此基础上, 根据流域人类活动的正负外部性等原则, 对流域生态补偿进行了分类。依据流域生态补偿分类, 梳理出了我国流域生态补偿重点区域。通过对流域生态补偿理论探讨, 以期作为进一步研究和应用实践的参考和启示。

关键词: 生态补偿; 流域; 外部性; 分类

中图分类号: F062.2

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2012) 05-0963-07

近年来, 随着人口急剧膨胀和社会经济快速发展, 人类为了满足自身对水资源和良好生态环境需求的需要, 在流域范围内修筑各类水利工程开发和利用水资源, 并从全局出发保护和修复流域生态环境。据统计全球高于 15 m 的大坝超过 45 000 座, 蓄水量占全球径流量的 15%, 全球 2/3 大型河流系统受大坝和水库影响处于中度到强度隔断中^[1]。这些活动在为流域内局部区域提供水能、水资源和良好生态环境的同时, 改变了河流水文情势、河道内外水量分配, 损害或增强河流生态系统服务功能, 引起流域内区域间损益变化。通过经济和市场手段调整流域内损益关系, 实现流域协调可持续发展, 流域生态补偿(Ecological compensation)应运而生, 并很快成为国内外研究热点。流域生态补偿源于生态补偿。国内外学者普遍认为, 流域生态补偿是调节流域社会公平、建立和谐社会, 尤其是实现流域内人与自然和谐相处的重要经济手段。但是, 流域生态补偿涉及经济学、生态学、管理学、法学、水文与水资源学等多个学科, 其概念、理论基础、补偿标准测算等许多问题亟待解决。本文对流域生态补偿理论进行探讨, 以期为进一步研究和应用实践提供参考和启示。

1 流域生态补偿

1.1 流域内区域间损益关系

流域内人类活动主要以自身需求和区域发展为导向。人类在上游的活动可以传导到下游区域, 而下游的活动也会影响上游区域, 使得流域上、下游具有区域整体性。活动产生的收益不仅包括

经济利益, 还包括生态环境利益。流域内部分地区污染使流域水生态系统受损, 本地区经济受益, 而流域整体利益受损; 对流域内污染地区的治理可惠及整个流域; 流域内部分地区的开发建设, 破坏和消化了本流域大量资源, 本地区经济受益, 流域整体利益受损; 流域内部分地区后期保护建设, 本地区经济利益受损, 而流域整体受益。例如, 在上游建库进行水电开发, 电力开发企业和受电区域受益, 但增加了库区地质灾害风险, 对下游地区产生额外的洪峰, 减少水量, 影响和阻碍物种迁移; 上游生产生活用水, 满足了上游区域的需要, 但减少了流入下游地区的水量, 且增加了污染; 上游农业种植, 种植区域受益, 但增加了下游地区沉积物和 N、P 等元素; 上游砍伐森林, 砍伐者受益, 但增加下游沉积物、径流, 使得整个流域生态系统受损; 上游侵占湿地, 增加了上游可利用土地资源, 但减少了下游区域的生态承载力, 增加了洪水大小; 上游植树造林, 退耕还林, 退耕还湿等生态建设, 涵养了水源, 保持了水土, 增加了流域生态承载力, 使全流域受益; 局部地区进行矿产资源开发, 开发企业受益, 但严重破坏了周围地区的生态环境, 提高了周围地区生存成本。

流域内人类活动按照其目的不同大体可归纳为保护与修复治理和开发与建设两大类。保护与修复类活动主要以改善和提供生态环境为目的, 而开发与建设主要以追求局部经济利益为目的。受上述人类活动影响, 破坏了流域内区域间的损

基金项目: 水利部委托项目“建立和完善与水有关生态补偿机制研究”; 国家水体污染控制与治理科技重大专项基金项目(2008ZX07012-002-004); 水利部中央水资源费试点项目(20100012)

作者简介: 赵银军(1979年生), 男, 副教授, 博士研究生, 从事流域生态补偿研究。E-mail: crpp0104@163.com

收稿日期: 2012-04-03

益平衡,影响了流域区域间的公平和协调关系。因此,需要以流域为单位,按照公平效率原则,综合考虑流域内区域间损益。在力争实现流域效益最大化的情况下,合理定位流域内各区域发展目标和发展方式,分配各区域间的损益。对利益受损地区,由受益地区通过补偿关系对其进行补偿,促使区域协调可持续发展。

1.2 流域生态补偿概念

生态补偿最初源于对自然生态补偿,看作是生态系统对外界干预的一种自我调节,以维持系统结构、功能和系统稳定。随着人类环境意识增强和对生态环境价值的认可,生态补偿概念得到不断发展。一般认为生态补偿是保护资源的经济手段。通过对损害(或保护)资源环境的行为进行收费(或补偿),提高该行为的成本(或收益),从而激励损害(或保护)行为的主体减少(或增加)因其行为带来的外部不经济性(或外部经济性),达到保护资源的目的^[2]。从外部性理论,生态补偿可定义为:引起生态服务消费负的外部性行为者通过合理的方式补偿其承受者和生态服务享有者通过适当的方式补偿其供给者^[3]。从经济学、生态学等综合角度,生态补偿可定义为:是用经济的手段达到激励人们对生态系统服务功能进行保护和保育,解决由于市场机制失灵造成的生态效益的外部性并保持社会发展的公平性,达到保护生态与环境效益的目标^[4]。

流域生态补偿是生态补偿应用领域的拓展,是以水生态系统为媒介,研究流域内区域间由水引起的损益变化引发的补偿问题。流域内行为主体活动影响水文循环和泥沙过程,损害了水生态系统服务功能,并通过水生态系统传导给利益相关者,从而需要行为主客体之间进行利益协调。从更为直观角度看,流域生态补偿是对流域内由于人类活动加强了上、中、下游生物和物质成分循环、能量流通和信息交流而引起的流域内区域间利益关系失衡的调节。

1.3 流域生态补偿理论基础

流域生态补偿与生态补偿有着相同的理论基础。目前普遍认为生态补偿理论基础主要包括:外部性理论、公共产品理论、生态资本理论、生态系统服务功能与价值理论等。

外部性是指当一个人或一家公司的消费或生产选择在没有得到另外一个实体许可或补偿的情况下就进入到这个实体的效用函数或生产函数中^[5],但无须对实体产生的收入付费,对损失无法得到补偿。流域内水生态系统服务外部性可以分为两类:一是水生态系统服务消费的外部性效用,如对清洁水的消费,一个消费者饮用的清洁水受

到另一个经济行为影响。二是生态系统服务供给的外部效用,例如对水源地进行生态保护,可使得整个流域受益。

公共产品理论。社会产品可分为公共产品和私人产品。水生态系统作为公共产品与私人产品相比具有两个基本特征:非竞争性和非排他性。每个人对水生态系统的消费不会导致其他消费者对该产品消费的减少。水生态系统具有非排他性,价格系统对此失灵,很多容易导致对水生态系统过度利用,产生“公地悲剧”和“搭便车”现象,最终使的整个水生态系统受损。政府管制与政府买单是有效解决公共产品的有效机制之一。

生态资本理论。流域内的生态资本主要包括:进入社会生产与再生产过程的水、矿产等资源以及水体等环境具有的纳污能力;水等资源的生态潜力;水等生态因子是人类生命和社会消费必需的环境资源^[6]。生态环境资源具有价值和稀缺性,向自然的索取与投资要平衡,使得生态资本不断增值,才能实现区域可持续发展。

水生态系统服务功能,始于自然系统的长期演变、循环与转化形成的水及水域直接关联的生物与非生物体,对人类提供的生命支持与服务功效。水生态系统对人类的有用性,即人类从河流、湖泊、水库和湿地以及地下水生态系统获得的直接的和间接的、有形的和无形的物质享受和满足。根据联合国千年生态系统评估(Millennium Ecosystem Assessment, MA),淡水生态系统的服务功能具体分为:(1)基础的支持功能,包括支持水文平衡、地质自然演化、维护生物多样性、输送营养物质、提供地面植被的根系需水、补给地下水、防止地面沉降、防止土质恶化、防止岸线侵蚀和冲沙防淤功能等;(2)供给功能,包括提供生产生活用水、发电、地热发电、提供矿泉水和温泉、保证航运、水产养殖等;(3)调节功能,包括调节洪涝、稀释净化、调节气候等;(4)文化功能,包括景观、娱乐旅游、美学教育功能等。

1.4 流域生态补偿运行机制

生态补偿经过几十年的发展,已经逐渐从最初惩治负外部性(环境破坏)行为转向激励正外部性(生态保护)行为^[7]。相继出现了“谁污染,谁付费”污染者付费原则(Polluter Pays Principle, PPP),“谁保护,谁受益”保护者受益原则(Provider Gets Principle, PGP),“谁受益,谁补偿”受益者付费原则(Beneficiary Pays Principle, BPP)。此处,保护和受益是指通过对生态系统的保护,使得行为主体受益。获得生态系统服务的受益者,即是补偿主体,需对生态系统的保护者补偿。长期以来,生

态系统服务看作公共产品，不计入价格，市场规律不能有效的配置这种公共资源。受生态环境问题日益突出影响，人类开始关注生态系统服务功能的价值，并出现了很多价值估算方法，力图量化生态系统服务的价值。对生态系统系统服务功能价值付费逐渐被人们所接受，很多地方进行生态补偿的实践^[8-10]，并取得了一定效果。

流域生态补偿运行机制是流域生态补偿关键问题，需要在上述原则的指导下回答“补什么”，“谁补谁”，“补多少”，“怎么补”和“补的效果”这“五个补”问题。具体到流域生态保护与修复活动，补的是受益的生态系统服务功能价值，由生态系统服务功能受益者补偿生态保护与修复活动参与者，补额外的生态建设费用和损失的发展机会成本，通过资金、产业、技术等形式补偿，实现流域生态补偿持续有效与区域可持续发展。

如果把流域生态补偿看作一个运行的系统，则流域生态补偿运行机制就是这个系统的动力装置。围绕“造血式”补偿目标^[7]，对照“五个补”问题，以流域生态保护与修复活动补偿为例，其运行机制可设计如下(图1)。

图1中，流域生态补偿运行主要受外内动力作用。内动力主要体现在水生态系统服务受益者对生态保护与修复参与者物质刺激，产生强大的动力，使得生态保护与修复参与者积极参与，发挥主观能动性进行生态建设，调整产业结构，推动本地区生态经济快速发展，同时，也使得流域生态系统功能良好，降低了流域其他地区生产生活成本，如图1中的循环A和循环B所示。理想状态

下，循环A和循环B不短路，周而复始，生态补偿系统良好持续运行。在流域生态补偿中，补偿客体往往处于弱势地位，当与生态系统服务受益者的补偿标准不能达成一致时，循环A和循环B就会出现短路，流域生态补偿系统就会瘫痪。政府是流域生态补偿系统的外动力因素，可以作为流域生态补偿客体的代表，为补偿客体主张利益，并通过标准、政策等促使生态系统服务受益者做出补偿，给流域生态补偿系统以外动力，使得循环A和循环B继续运转。当政府作为利益代表或裁判出现冲突时，可寻求上一级政府仲裁。

2 流域生态补偿理论解析

2.1 生态保护与修复活动生态补偿

从整个流域来看，生态保护与修复活动具有正外部性，并对整个流域的生态安全起着决定性作用。保护与修复区内主要以生态保护与建设、生态修复活动和发展生态经济为主，限制大规模、高强度的工业化、城镇化活动。具体讲，假定保护与修复区的生产活动由下式给出：

$$O_{local} = f_o(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad \dots \quad (1)$$

式(1)中 O_{local} 表示保护与修复区的产出，包括生态和经济收益。 x_1, x_2, \dots, x_n 是 n 种不同的投入，包括生态工程建设与维护、生态修复与治理、转变经济发展模式、发展生态经济等投入。

$$w = f_w(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad \dots \quad (2)$$

$$O_{catchment} = f_w(z_1, z_2, \dots, z_m, w) \quad \dots \quad (3)$$

式(2)中 w 是 O_{local} 流出保护与修复区的清洁水、空气等生态资源，是 O_{local} 产生的外部性。 w

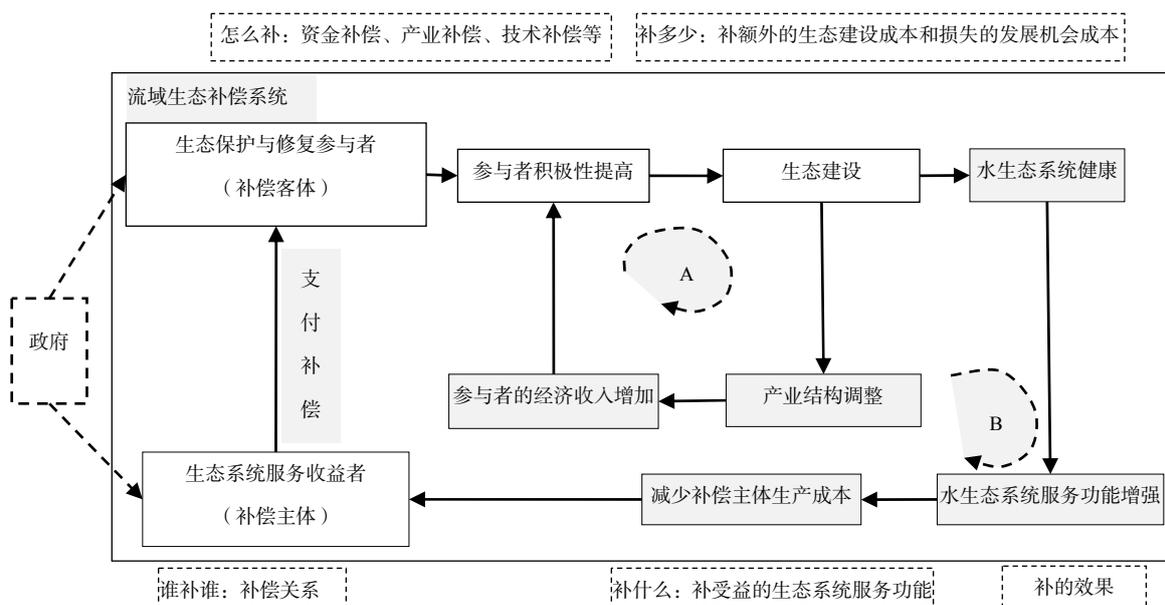


图1 流域生态保护与修复活动补偿运行机制

Fig.1 The compensation mechanism of activities of watershed ecological protection and restoration

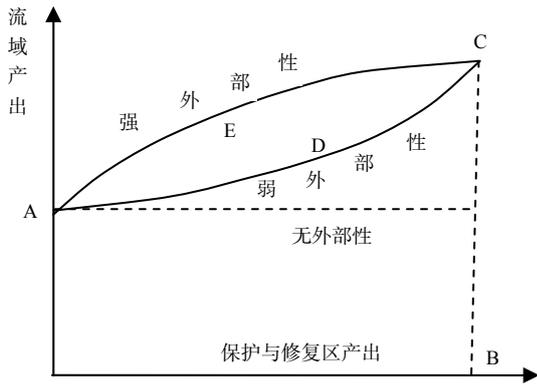


图2 保护与修复区产出曲线

Fig.2 The Output curve of zone with conservation and restoration

的大小反应了保护与修复区生产活动外部性的强弱。式(3)中 $O_{catchment}$ 表示流域的产出, 包括生态和经济收益。 z_1, z_2, \dots, z_m 是 m 种不同的投入, 包括各类经济建设和管理投入。我们看到, 由于外部性, w 进入了流域生产函数, 但 w 的水平是否进入流域生产函数不受流域生产控制。

图 2 中, 如果不考虑外部性, O_{local} 最优点位于 B 点, $O_{catchment}$ 最优点位于 A 点。当 w 较小时, O_{local} 与 $O_{catchment}$ 正相关, $O_{catchment}$ 的生产曲线为 ADC 线, 即受区域保护与修复活动外部性影响, 整个流域产出有所增加。当 w 较大时, O_{local} 与 $O_{catchment}$ 正相关, $O_{catchment}$ 的生产曲线为 AEC 线, 即受区域保护与修复活动外部性影响, 整个流域产出显著增加。

图 3 中, MC_{local} : 区域保护与修复边际成本, 包括生态建设投入、发展生态经济等成本; MR_{local} : 区域生态保护与修复在本区域的边际收益, 包括生态和经济收益; $MR_{catchment}$ 区域保护与修复在整个流域的边际收益, 包括生态和经济收益。

采用经济学成本-效益分析方法, 建立保护与修

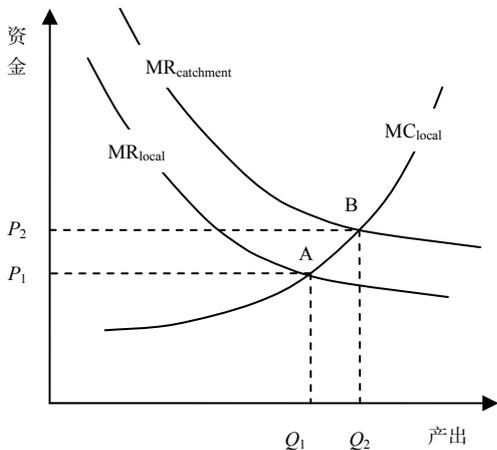


图3 保护与修复类成本效益曲线

Fig.3 The cost efficiency curve of the class of protection and restoration

复累成本效应曲线(图 3)。在不考虑外部性情况下, 区域保护与修复活动与流域收益互相独立, 区域保护与修复最优状态是区域保护与修复边际成本等于区域保护与修复边际收益(MC_{local} 与 MR_{local} 交于 A)。事实上, 区域保护与修复活动具有很强的经济正外部性, 其活动对整个流域有益, 其在整个流域的收益远远高于在本区域的收益, 即 $MR_{catchment}$ 远大于 MR_{local} 。区域保护与修复者为了实现流域产出利益最大化, 积极进行生态保护建设与修复, 使得区域保护与修复边际成本等于区域保护与修复在整个流域的边际收益(MC_{local} 交于 $MR_{catchment}$ 交于 B 点)。区域保护与修复产出从 Q_1 提高到 Q_2 。而 P_2-P_1 则是区域保护与修复者额外的投入, 包括生态保护与修复费用以及损失的发展机会。为实现区域协调发展, 整个流域收益最优, 应补偿区域修复与保护者, 而 P_2-P_1 即为理论补偿量。如果保护与修复区参与者得不到 P_2-P_1 补偿, 积极性受挫, 将影响流域其它地区水生态环境安全, 影响并提高流域其它地区生产生活成本。如果保护与修复区参与者得到流域其它受益地区适当补偿, 用于解决保护与修复区生态保护与建设和社会发展任务, 兼顾效益与公平, 将实现双赢。

2.2 开发与建设活动生态补偿

流域范围内, 矿产资源和水能资源开发与建设区相对较小, 与周围地区水力、生态环境联系紧密。开发区在合法经营的情况下, 获得经济收益的同时, 对周围区域产生负外部性。具体讲, 假定矿产资源与水资源开发的生产活动由下式给出:

$$O_{factory} = f_o(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad \dots \quad (4)$$

式(4)中 $O_{factory}$ 是矿产资源与水能资源开发企业的经济收益。 x_1, x_2, \dots, x_n 是 n 种不同的投入, 包括人员、设备和资源等的投入。

$$w = f_w(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad \dots \quad (5)$$

$$O_{region} = f_w(z_1, z_2, \dots, z_m, w) \quad \dots \quad (6)$$

式(5)中 w 是 $O_{factory}$ 生产过程对本地区水资源损害以及排放的废水等, 是 $O_{factory}$ 产生的外部性。式 6 中 O_{region} 是企业周边区域产出, 包括生态和经济收益。 z_1, z_2, \dots, z_m 是 m 种不同的投入, 包括各类生活、经济建设和管理投入。我们看到, 在式 6 中, 由于外部性的存在, w 进入了企业周边区域生产函数, 但 w 的水平是否进入企业周边区域生产函数不受企业周边区域控制。

图 4 中, $O_{factory}$ 在 B 点达到最大, O_{region} 在 A 点达到最大。如果不考虑外部性, 资源开发企业与周围地区相对独立, 资源开发企业和周围区域的产出都能达到最大值 D 点。当资源开发生产涉

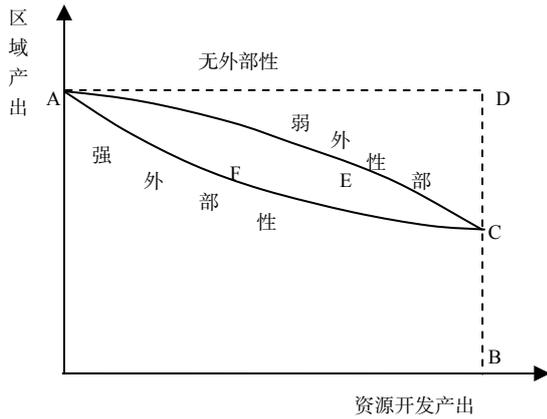


图4 资源开发与建设企业生产曲线

Fig.4 The production curve of the enterprise with resource development and construction

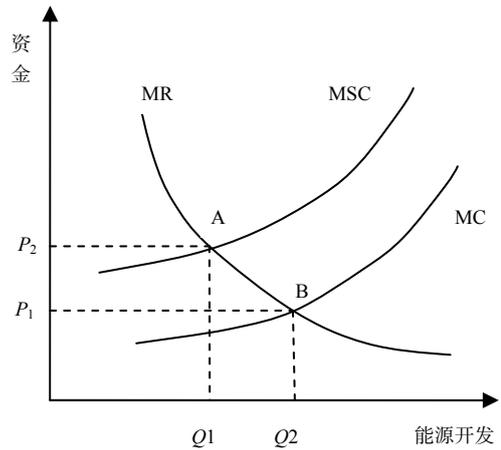


图5 开发与建设类成本效应曲线

Fig.5 The cost efficiency curve of the class of development and construction

及弱的外部性时，即 w 较小时， $O_{factory}$ 与 O_{region} 正相关， $O_{catchment}$ 的生产曲线变为 AEC 线，即受资源开发企业生产影响，周围地区产出减少。当 w 较大时， O_{local} 与 $O_{catchment}$ 正相关， $O_{catchment}$ 的生产曲线为 AFC 线，即受资源开发企业生产影响，周围地区产出显著减少。

图 5 中，MC：资源开发企业边际成本(不含社会成本)；MR：资源开发企业边际边际收益，包括经济收益；MSC：资源开发企业边际成本(含社会成本)。

采用经济学成本-效益分析方法，建立开发与建设类成本效益曲线图(图 5)。如果只考虑资源开发企业的利益，不考虑其生产外部性，企业利润的最优点位于 MR 与 MC 的交点 B，即企业生产边际成本(不含社会成本)等于企业生产边际收益。受企业生产开采水资源和排放废水等活动产生的负外部性

影响，提高了企业周围区域生产生活成本，即提高了周围区域的社会成本，这部分成本应该计入资源开发企业成本当中。那么，资源开发企业利润最大化位于 MR 与 MSC 交点 A。则 P_2 、 P_1 点之差就是资源开发企业转嫁到周边地区的成本。为了使整个区域协调可持续发展，使整个区域产出最优，资源开发企业应改造生产工艺，缩小 P_2 与 P_1 之间的差距，并对周围地区进行生态补偿，补偿 P_2-P_1 之间的差值。

3 流域生态补偿分类

流域内人类活动与水生态系统作用形式多样，因此补偿方式与形式也具有多样性。对流域生态补偿进行分类，有利于分类剖析人类活动对水生态系统产生的具体影响类型，明确补偿行为产生的原因和理由，易于界定流域生态补偿主客

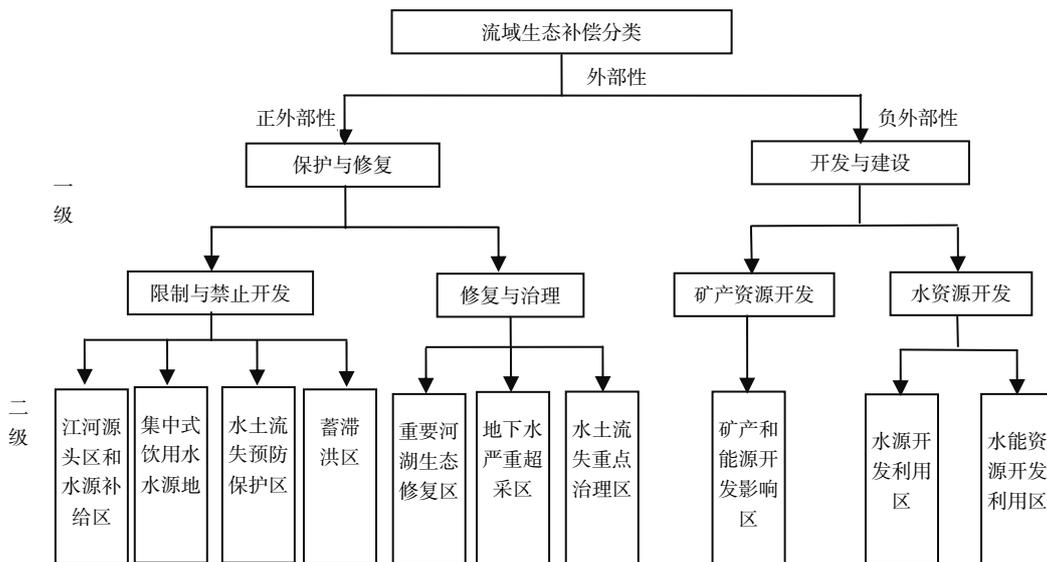


图6 流域生态补偿分类体系

Fig.6 the classification system of watershed ecological compensation

体、分析补偿标准与科学确定适宜补偿方式。

按照流域内行为主体活动产生的正、负外部性,可把流域生态补偿分为保护与修复类以及开发与建设类。按照行为主体动作性质不同,保护与修复类可分为限制与禁止开发类和修复与治理类。按照开发能源类型不同,可把开发与建设类分为矿产资源开发类和水能资源开发类。在此基础上,按照行为主体所作用的水生态系统类型和区域即不同的客体来划分,划分出10类重点补偿区域。限制与禁止开发类主要有江河源头和水源补给区、集中式饮用水水源地、水土流失预防保护区和蓄滞洪区等;修复与治理类主要为重要河湖生态修复区、地下水严重超采区和水土流失重点治理区;矿产资源开发类主要有矿产和能源开发影响区;水资源开发利用类主要有水源开发利用区和水能资源开发利用区(图6)。

4 全国流域生态补偿重点区域

建立全国层面的流域生态补偿是保护大江大河水生态系统服务功能,促进人水和谐,调节区域内损益关系,实现全国区域协调可持续发展的必然要求。中央为实现国家整体利益最大化,已划定了各类保护区、修复治理区等。在此基础上,按照图6流域生态补偿分类,对全国范围保护与修复类流域生态补偿区进行梳理,建立流域生态补偿重点区域(图7),补偿其进行生态保护、修复与建设的费用和损失的发展机会成本。其补偿主体以中央政府为主,补偿客体为保护与修复区内企业、团体和个人。以同等资源条件地区为参照,补偿保护与修复区损失的发展机会成本。以财政转移支付、直接补贴等形式实施补偿。

5 结论与展望

本文对流域生态补偿理论进行了探讨,得到以

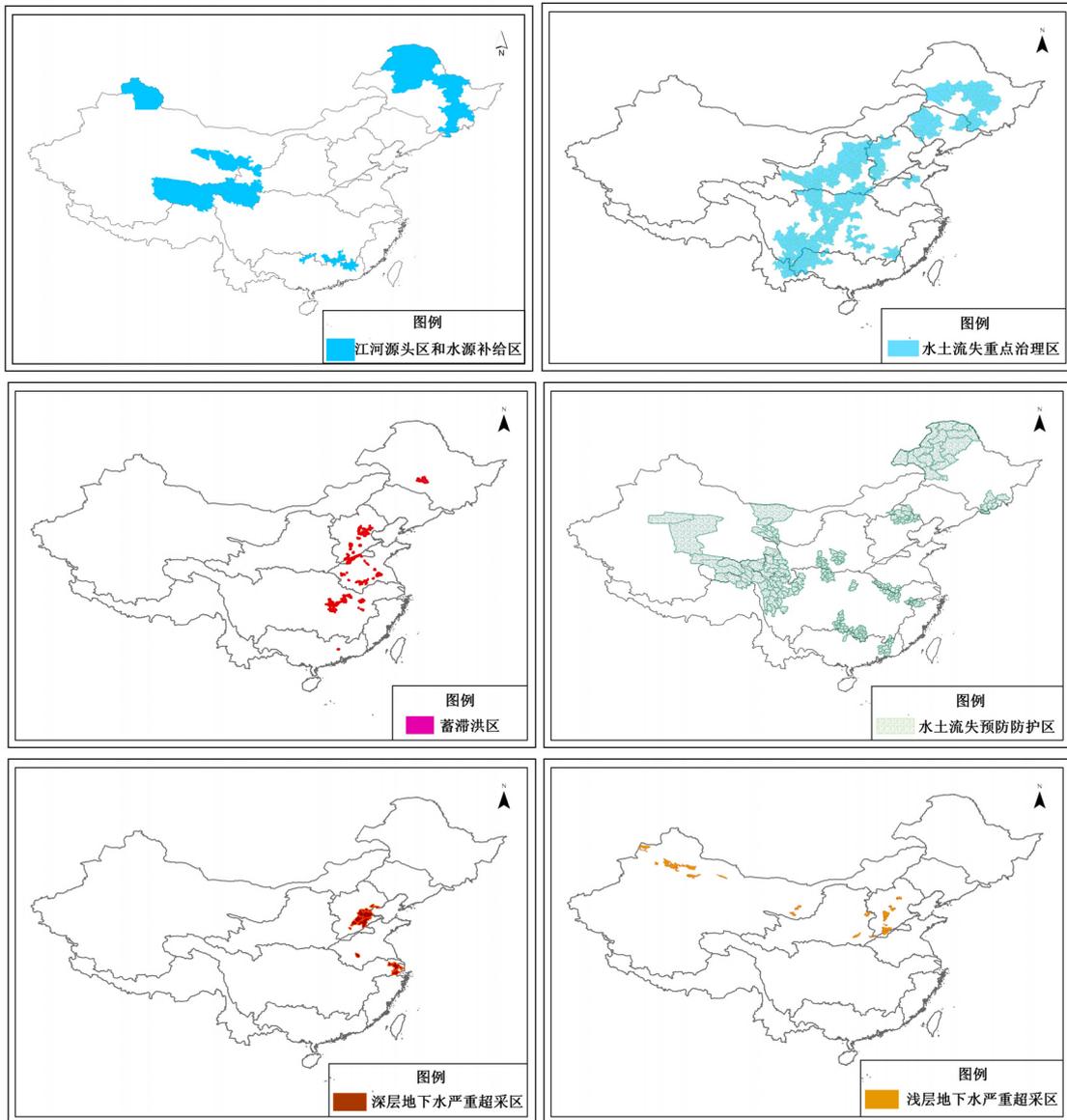


图7 保护与修复类流域生态补偿重点区域

Fig.7 The key areas of watershed ecological compensation of the class of protection and restoration

下几点认识: (1)流域内主要人类活动可以分保护与修复治理和开发与建设两大类, 其中保护与修复治理类人类活动具有正外部性, 开发与建设类人类活动具有负外部性, 所以必须建立生态补偿机制, 调整流域内区域间的损益关系; (2)围绕“造血式”补偿目标, 设计流域生态补偿运行机制; (3)流域生态补偿量理论值应为图 3、图 5 中的 P_2-P_1 ; (4)流域生态补偿分类是研究流域生态补偿的关键问题, 可分成 2 大类 10 小类; (5)从国家层面, 梳理出了保护与修复类流域生态补偿重点区域。

目前, 流域生态补偿的理论研究和实践活动越来越多, 且逐渐进入了国家考虑层面。但流域生态补偿还需在以下方面加强: (1)流域生态补偿基础理论。流域生态补偿分类、补偿层面、补偿时空尺度、以及“造血”式补偿机制等问题是关键, 亟需解决。(2)流域生态补偿标准的确定。流域生态补偿标准以计算水生态系统服务功能价值、机会成本等方法比较多见。以测算的水生态系统服务功能价值作为补偿标准, 会出现重复计算, 结果偏大, 且不同方法计算结果差异较大等问题。以机会成本来补偿损失的发展机会成本, 虽然简单明了, 但仍需加强理论支撑研究。(3)建立流域生态补偿评价体系。流域生态补偿效果好坏直接关系到流域生态补偿系统的持续有效运行。通过建立流域生态补偿评价体系, 不断调整补偿关系、标准等, 实现流域区域协调可持续发展。

参考文献:

- [1] NILSSON C, REIDY C A, DYNESIUS M, et al. Fragmentation and flow regulator of the world's large river systems[J]. *Science*, 2005, 308: 405-408.
- [2] 毛显强, 钟瑜, 张胜. 生态补偿的理论探讨[J]. *中国人口 资源与环境*, 2002, 12(4): 38-41.
MAO Xianqiang, Zhong Yu, ZHANG Sheng. Conception, theory and mechanism of eco-compensation[J]. *China population, resources and environment*, 2002, 12(4): 38-41.
- [3] 完颜素娟, 王翊. 外部性理论与生态补偿[J]. *中国水土保持*, 2007, 12: 17-19.
WANYAN Sujuan, WANG Yi. Externality theory and eco-compensation[J]. *Soil and Water Conservation In China*, 2007, 12: 17-19.
- [4] 李文华, 李芬, 李世东, 等. 森林生态效益补偿的研究现状与展望[J]. *自然资源学报*, 2006, 21(5): 677-687.
LI Wenhua, LI Fen, LI SHIDong, et al. The status and prospect of forest ecological benefit compensation[J]. *Journal of natural resources*, 2006, 21(5): 677-687.
- [5] 查尔斯 D 科尔斯塔德. 环境经济学[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2011.
Charles D K. *Environmental economics*[M]. Beijing: China Renmin university publishing.
- [6] 张建肖, 安树伟. 国内外生态补偿研究综述[J]. *西安石油大学学报: 社会科学版*, 2009, 18(1): 23-28.
ZHANG Jianxiao, AN Shuwei. Research Summarization of Ecology Compensation at Home and Abroad[J]. *Journal of Xi'an Shiyou University: social science edition*, 2009, 18(1): 23-28.
- [7] 秦艳红, 康慕谊. 国内外生态补偿现状及其完善措施[J]. *自然资源学报*, 2007, 22(4): 557-567.
QIN Yanhong, KANG MUYI. A review of ecological compensation and its improvement measures[J]. *Journal of natural resources*, 2007, 22(4): 557-567.
- [8] 彭晓春, 刘强, 周丽旋, 等. 基于利益相关方意愿调查的东江流域生态补偿机制探讨[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(7): 1605-1610.
PENG Xiaochun, LIU Qiang, ZHOU Lixuan, et al. Study of ecological compensation mechanism of Dongjiang river based on contingent valuation method[J]. *Ecology and environmental science*, 2010, 19(7): 1605-1610.
- [9] 阮本清, 许凤冉, 张春玲. 流域生态补偿研究进展与实践[J]. *水利学报*, 2008, 39(10): 1220-1225.
RUAN Benqing, XU Fengran, ZHANG Chunling. Review of research and practice of river basin ecological compensation[J]. *Journal of Hydraulic engineering*, 2008, 39(10): 1220-1225.
- [10] 吴箐, 汪金武. 完善我国流域生态补偿制度的思考——以东江流域为例[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(3): 751-756.
WU Qing, WANG Jinwu. Consideration on how to well-establish the basin ecological compensation system in China: case analysis of Dongjiang river basin[J]. *Ecology and environmental science*, 2010, 19(3): 751-756.

Discussing of the theory of river basin ecological compensation

ZHAO Yinjun^{1,3}, WEI Kaimei², DING Aizhong¹, LI Aihua²

1. College of Water Sciences, Key Laboratory for Water and Sediment Sciences of Ministry of Education Beijing Normal University, Beijing 100875, China;
2. General Institute of Water Resources and Hydropower Planning and Design, Ministry of Water Resources, Beijing 100120, China;
3. Faculty of Resources and Environment Sciences, Guangxi Teachers Education University, Nanning, Nanning 530001, China

Abstract: River basin ecological compensation is an effective measure that harmonizes the contradiction between the ecological environment protection and the economic development, and adjusts the relationship of the profits and losses of a basin area. Through the analysis of profits and losses caused by human activities in a basin area, the paper discusses the concept, theoretical foundation and operational mechanisms of basin ecological compensation. The necessity and the standard of ecological compensation are analyzed using the theories of economics and the calculation of theoretical value of the compensative amount is suggested. A two-level classification system of watershed ecological compensation is set up in this paper. In this system, the compensation is firstly classified into two categories according to the positive and negative externality of human activities; At the second level, ten types of compensation areas are classified. Based on the classification system, some key watershed ecological compensation areas are identified in the country.

Key words: ecological compensation; river basin; externality; classification