

自然资源资产负债表编制中生态损益核算

张婕^{1,2}, 刘玉洁^{1,2}, 潘韬^{1,3}, 封志明^{1,2}, 杨艳昭^{1,2}, 葛全胜^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049; 3. 中国科学院发展规划局, 北京 100864)

摘要: 生态损益核算是自然资源资产负债表的重要组成部分, 是对自然资源分类核算的扩展和补充。本文梳理生态损益核算的总体思路, 系统总结生态损益核算技术, 以围场县为例进行实证, 遵循先实物后价值的核算原则, 选择森林、草地、湿地生态系统, 按不同的生态服务指标进行实物量和价值量的核算, 并在已有的核算基础上计算各类型生态系统的实物量参数和价值量参数, 以便根据面积统计数据快速简洁的核算比较。研究发现: 围场县 2015 年生态系统服务功能价值量总值为 338.99 亿, 与 2013 年相比增加了 0.04%。生态系统服务功能价值量从大到小依次为草地、森林、湿地, 核算期间森林和草地生态系统价值量分别下降 0.06% 和 0.22%, 湿地生态系统价值量增加 4.47%。研究成果有助于全面理解和量化自然资源数量变化和质量变化带来的生态效应, 并为自然资源资产负债表中的负债核算提供数据基础。

关键词: 自然资源资产负债表; 生态损益核算; 围场县

十八届三中全会以来, 我国大力推进生态文明建设, 明确提出“把资源消耗、环境损害、生态破坏纳入经济社会发展评价体系, 建立反映生态文明建设的目标体系、考核方法、奖惩机制”。传统的国民经济核算只注重经济的增长和物质财富的增加, 忽视了经济社会发展中自然生态系统为其提供的服务价值, 未将环境污染和自然资本的耗损贬值计算在内^[1]。为了更科学地推进生态文明建设, 开展以生态效益为基础的政绩考核制度, 自然资源资产负债表编制工作在各地陆续启动^[2,3]。就各地的实践来看, 将生态破坏纳入负债范畴已在学术界达成共识^[4,5], 但由于目前缺乏人类活动对生态系统影响的监测体系, 生态损失的价值衡量也缺乏统一的指标^[6,7], 如何反映生态破坏对自然资源的负债就成了一个难解的问题。

生态损益是指生态系统各类生态功能的实物量与价值量变化 (破坏与恢复情况), 属于自然资源的质量衡量指标, 能够揭示人类在自然资源的开发、利用、保护、修复等活动中对生态产生的影响。生态损益核算缘起于生态系统服务价值评估, Costanza 等^[8]率先估算出全球生态系统服务的年度价值约为同期国民生产总值 1.8 倍, 此后生态系统服务价值及其评估的研究在学界起广泛关注。近年来, 基于生态系统服务的概念, 欧阳志云等^[9]首先对中国陆地生态系统的多种服务功能价值进行了评估, 得出中国陆地生态系统的服务价值为 30.49 万亿元/年。谢高地等^[10]依据 Costanza 划分的 17 类生态系统服务功能, 评

收稿日期: 2018-12-26; 修订日期: 2019-11-15

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFC0503504); 国家自然科学基金项目 (41671037); 中国科学院青年创新促进会会员项目 (2016049)

作者简介: 张婕 (1996-), 女, 新疆伊犁人, 硕士, 主要从事自然地理综合研究。E-mail: zhangj.18s@igsrr.ac.cn

通讯作者: 刘玉洁 (1982-), 女, 甘肃天水人, 博士, 副研究员, 主要从事气候变化影响与粮食安全研究。

E-mail: liuyujie@igsrr.ac.cn

估得到中国草地生态系统服务价值为每年0.15万亿美元。王莉雁等^[11]运用影子工程法、市场价值法、替代成本法等研究方法对阿尔山市生态系统产品提供、调节服务、文化服务三大类服务功能进行核算。依托生态系统服务价值评估,生态资产的概念逐步在自然资源管理及决策中应用^[12],对生态资产的量化是将生态系统服务理论应用于实践的重要举措。

生态损益核算在自然资源资产负债表中有着不可或缺的地位^[13],将生态损益核算纳入自然资源资产负债表既具现实意义,又具理论价值。首先,生态损益核算衔接了自然资源资产负债表的功能定位,即“为自然资源有效管理摸清家底,为有效保护修复和集约开发利用自然资源提供生态损益信息”^[14]。其次,由于各类自然资源与生态系统存在内在联系,仅对某类资源的质量和数量进行编报无法契合自然资源资产负债表揭示区域自然资源资产总体“家底”的功能定位,通过计量资源消耗过程中生态系统服务功能价值的变化,有助于全面理解和量化自然资源数量和质量变化的生态效应,补充自然资源分类核算并进一步完善总表^[4]。最后,生态损益核算结果可以作为生态保护红线和生态环境质量底线的参考,这增强了自然资源资产负债表在决策支持中的可信度和使用效果。在我国对自然资源资产负债表编制的尝试中,探索出了不同的编制体系。其中,由中科院地理所提出的承德模式中的“总表—分类表—扩展表”三级报表体系是目前最具代表性的编制体系之一^[14]。因此本文基于“总表—分类表—扩展表”的报表体系,将生态损益核算作为扩展表的重要组成部分展开讨论。

基于上述背景,结合我国国情与自然资源资产负债表的编制要求,本文系统梳理自然资源资产负债表中生态损益核算的思路与方法,在国内外现有的生态价值核算基础上,以国家重点生态建设区围场县为例,按照先实物后价值的顺序定量评估2013-2015年生态损益情况,进一步总结研究区单位面积生态系统的实物量参数和价值量参数,为自然资源资产负债表的生态损益核算以及推广应用提供一定的参考。

1 自然资源资产负债表中的生态损益核算方法体系

1.1 自然资源资产负债表中的生态损益核算的主要内容

资源与资产、损益与负债之间的区别与联系如图1所示。自然资源是指能够为人类带来惠益的自然生成物,自然资源资产是具有稀缺性、有用性以及产权明确的自然资源。目前大多数学者主张认为资源负债是核算期内由于人类对资源的过度消耗导致核算主体应该偿还的责任^[15],资源(生态)损益反映的是核算期内资源(生态系统服务功能)实物量与价值量的增减变动情况。对于核算期内的资源变动,由于经济社会的发展和进步离不开对自然资源的合理开发利用,这部分被称为基础消耗,将其认定为损益。核算期内资源的消耗超过某一特定阈值即为过度消耗,这部分既为损益,也为负债。对于资源的过度消耗,由于生态环境是复杂的自然综合体,而核算期的确定由人为控制,对生态环境的破坏过程具有渐变性和破坏结果具有滞后性,核算期的截止并不会立即停止过度利用带来的破坏,这类消耗有可能在未

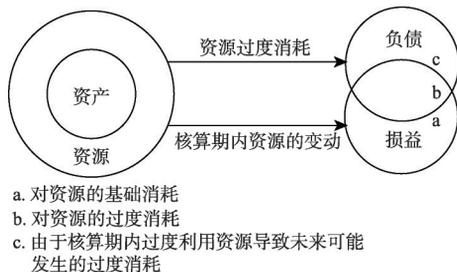


图1 自然资源、资产以及负债与损益的关系

Fig. 1 Relationship between natural resources, assets, liabilities and profit and loss

来显现。因此对于即使没有发生在核算期，但是由核算期不合理利用导致的资源过度消耗，也应纳入核算主体的负债。

从类型来看，生态系统包含森林、湿地、草地、荒漠、海洋、农田等类型，而在自然资源资产负债表的生态损益核算中，一般需要结合区域自然资源禀赋情况，突出核算重点，因此在生态系统的类型上我们重点关注森林、草地、湿地自然生态系统。从功能上讲，生态服务功能可以分为供给、调节、支持与文化功能。结合自然资源资产负债表的编制目标，在本研究的生态损益核算中，考虑到供给服务涉及到的产品例如提供的木材、食品等已在已在GDP中计算过，支持功能（例如，土壤有机质的生成、生物多样性的维持等）属于中间服务，对人类福祉的贡献为间接作用^[16]。因此为了避免重复计算，重点核算生态系统在一定时间内调节功能的实物量和价值量。

1.2 生态损益核算方法

前人对生态系统服务价值的计算大多数是参考谢高地等^[10]和 Costanza 等^[8]的评价参数，经过指标修正后得到对应的当量因子，然后与对应的面积相乘得到生态系统服务价值^[17]。而本研究依据区域实际生态质量参数，分实物量与价值量核算两个阶段，依次计算出生态系统实物量参数和价值量参数，从而得到生态损益估算结果，有助于提高自然资源资产负债表中负债项的准确性。除此之外，结合自然资源资产负债表的业务化需求，为了便于直接根据核算对象的面积统计数据进行简洁快捷的比较，本研究引入了案例研究区的生态系统实物量参数与价值量参数。具体的核算思路如下：（1）获取基础数据，包括每项生态系统的面积、结构及健康水平等基础数据。其次，明确每项生态系统的生态功能。根据自然资源资产负债表编制的目的和结构，确定每项生态系统需要核算的生态功能。（2）测定每项生态功能的实物量参数。数据来源于地方生态环境监测部门的监测结果或公开文献中与研究区生态特点类似的相关参数。（3）根据每项生态功能的核算公式进行实物量核算。（4）明确每项生态功能的价值量参数。（5）通过实物量与价值量参数的乘积，获得每项生态功能的价值量。

1.2.1 森林生态系统损益核算

森林实物量核算内容主要包括涵养水源、保育土壤、固碳释氧和净化大气四项生态服务功能（表1）。涵养水源的实物量和价值量分别用区域水量平衡法和影子工程法，影子工程法是指建造与生态系统相同功能的工程所需的花费^[18]，在本研究中，假设按照森林的涵养水源实物量修建相同库容的水库，再用修建水库的成本估算森林涵养水源的价值量。保育土壤功能按照固土和保肥分别核算，固土是指森林生态系统的保持土壤、防止土壤流失功能，用潜在土壤侵蚀量与实际土壤侵蚀量的差值进行计算^[19]。潜在土壤侵蚀是指在没有地表植被覆盖及人为管理的条件下可能发生的侵蚀量，现实土壤侵蚀是指当前植被覆盖情况下发生的土壤侵蚀，固土的价值量核算采用市场价值法，针对生态系统物质产品在市场上的价格进行评估^[20]，是应用最广的生态系统服务功能价值评估方法。本研究中固土的价值量是指挖取等量土方所需要的市场费用。保肥的实物量是在固土实物量的基础上进行核算，即固土实物量与土壤中氮磷钾等营养元素含量的比例相乘，保肥的价值量即购买氮、磷、钾等营养物质（折算为化肥）的市场价格。固碳释氧功能的实物量采用净生产力换算法，价值量用固定等量的碳/氧需要的费用来衡量；净化大气的实物量根据单位林地净化能力核算，价值量核算采用恢复成本法，即用生产生活过程中治理等量的污染物所消耗的价值来替代。

表1 森林生态功能实物量、价值量核算公式及参数说明

Table 1 Explanation of the physical quantity and value calculation formula and parameters of forest ecological function

生态功能	核算指标	计算公式	参数说明
涵养水源	涵养水源	$M_w = (S_1 \times U_1 + S_2 \times U_2) \times 10^{-8}$ $V_w = M_w \times \gamma 1 \times 10^3$	M_w 为涵养水量 (亿 t); U_1 为有林地单位面积涵养水源量 ($t/hm^2 \cdot a$); U_2 为灌木林地单位面积涵养水源量 ($t/hm^2 \cdot a$); S_1 为有林地面积 (hm^2); S_2 为灌木林地面积 (hm^2); $\gamma 1$ 为水库建设单位库容投资 (元/t)
保育土壤	固土	$M_s = \{S_1 \times (D_0 - D_1) + S_2 \times (D_0 - D_2)\} \times 10^{-6}$ $V_s = (M_s / \rho) \times \gamma 2$	M_s 为土壤侵蚀减少量 (万 t); D_0 为无林地侵蚀模数 ($t/km^2 \cdot a$); D_1 为有林地侵蚀模数 ($t/km^2 \cdot a$); D_2 为灌木林地侵蚀模数 ($t/km^2 \cdot a$); $\gamma 2$ 为挖取单位体积土方费用 (元/ m^3)
	保肥	$M_{oi} = S_1 \times (D_0 - D_1) \times C_{i1} + S_2 \times (D_0 - D_2) \times C_{i2}$ $V_{oi} = M_{oi} \times \gamma 3$	$i=1, 2, 3, 4$, 依次为土壤有机质、氮、磷、钾四类营养物质; C_{i1} 、 C_{i2} 分别为有林地、灌木林地土壤中各类营养物质的含量 (mg/kg); $\gamma 3$ 为各类营养物质的市场价格 (元/t)
固碳释氧	固碳	$M_c = (S_1 \times C_{d1} + S_2 \times C_{d2}) \times 1.63 \times 0.2727 \times 10^5$ $V_c = M_c \times \gamma 4$	M_c 为固碳量 (万 t); M_o 为释氧量 (万 t); C_{d1} 为有林地干物质生产量 (t/hm^2); C_{d2} 为灌木林地干物质生产量 (t/hm^2); $\gamma 4$ 为固碳价格 (元/t); $\gamma 5$ 为制造氧气价格 (元/t)
	释氧	$M_o = (S_1 \times C_{o1} + S_2 \times C_{o2}) \times 1.19 \times 10^5$ $V_o = M_o \times \gamma 5$	
净化大气	吸收 SO_2	$M_s = (S_1 \times C_{s1} + S_2 \times C_{s2}) \times 10^3$ $V_s = M_s \times \gamma 6 \times 10^{-2}$	M_s 为吸收 SO_2 量 (t); C_{s1} 为有林地吸收 SO_2 能力 ($kg/hm^2 \cdot a$); C_{s2} 为灌木林地吸收 SO_2 能力 ($kg/hm^2 \cdot a$); $\gamma 6$ 为单位 SO_2 治理费用 (元/kg)
	滞尘	$M_z = (S_1 \times C_{z1} + S_2 \times C_{z2}) \times 10^{-4}$ $V_z = M_z \times \gamma 7 \times 10^3$	

1.2.2 草地生态系统损益核算

草地核算主要包括涵养水源、保育土壤、固碳释氧和净化大气四项生态服务功能(表2)。涵养水源的实物量采用水量平衡法进行核算,在价值量计算过程中,运用影子工程法,即将草地涵养水源实物量转化为储存同等水量的水库,再用修建储存同等水量的水库消耗的成本来替代草地涵养水源价值量。保育土壤功能分为固土和保肥分别进行核算,固土价值量核算采用市场价值法,即挖取等量土方所需要的市场费用。保肥价值量运用商品替代法和市场价值法,即购买氮、磷、钾等营养物质(折算为化肥)的市场价格。固碳释氧的实物量采用干物质量换算法,价值量核算采用影子工程法,用固定等量的碳/氧需要的费用来反映。净化大气的实物量根据单位草地净化能力核算,价值量核算采用恢复成本法,即核算治理等量污染物(SO_2 、烟粉尘)所消耗的费用。

1.2.3 湿地生态系统损益核算

湿地核算主要包括涵养水源、调蓄洪水、保育土壤和净化水质四项生态服务功能(表3)。涵养水源的实物量以土壤蓄水来表征,即单位面积的土壤调蓄能力与湿地面积相乘,价值量采用影子工程法进行核算,即将湿地涵养水源实物量转化为储存同等水量的水库,再用修建储存同等水量的水库消耗的成本来替代湿地涵养水源价值量;调蓄洪水的实物量以地表滞水来表征,即用滞水深度乘以湿地面积。价值量采用影子工程法进

表2 草地生态功能实物量、价值量核算公式及参数说明

Table 2 Explanation of physical quantity and value calculation formula and parameters of grassland ecological function

生态功能	核算指标	计算公式	参数说明
涵养水源	涵养水源	$G_w = A \times (1 - \theta) \times R \times 10^{-7}$ $V_w = G_w \times \beta 1 \times 10^3$	G_w 为涵养水量 (亿 m^3); R 为多年平均降水量 (mm); θ 为径流系数; A 为草地面积 (hm^2); $\beta 1$ 为水库建设单位库容投资 (元/t)
保育土壤	固土	$G_s = A \times (D_1 - D_2) \times 10^{-6}$ $V_s = (G_s / \rho) \times \beta 2$	G_s 为土壤侵蚀减少量 (万 t); D_1 为潜在侵蚀模数 ($t/km^2 \cdot a$); D_2 为现实侵蚀模数 ($t/km^2 \cdot a$); ρ 为平均密度值 $2.65 g/cm^3$; $\beta 2$ 为挖取单位体积土方费用 (元/ m^3)
	保肥	$G_{oi} = G_s \times C_i$ $V_{oi} = G_{oi} \times \beta 3$	$i=1, 2, 3, 4$; G_{oi} 为保肥实物量; C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 分别为土壤有机质含量、氮含量、磷含量、钾含量 (%); G_s 为固土量 (万 t); $\beta 3$ 为各类营养物质价格 (元/t)
固碳释氧	固碳	$G_c = A \times C_e \times 1.63 \times 0.2727 \times 10^3$ $V_c = G_c \times \beta 4$	C_e 为草地干物质生产量 (t/hm^2); G_c 为固碳量 (万 t); G_o 为释氧量 (万 t); $\beta 4$ 为固碳价格 (元/t); $\beta 5$ 为制造氧气价格 (元/t)
	释氧	$G_o = A \times C_e \times 1.19 \times 10^5$ $V_o = G_o \times \beta 5$	
净化大气	吸收 SO_2	$G_s = A \times C_s \times 10^{-3}$ $V_s = G_s \times \beta 6 \times 10^{-2}$	G_s 为吸收 SO_2 量 (t); C_s 为草地吸收 SO_2 能力 ($kg/hm^2 \cdot a$); $\beta 6$ 为单位 SO_2 治理费用 (元/kg)
	滞尘	$G_z = A \times C_z \times 10^{-5}$ $V_z = G_z \times \beta 7 \times 10^3$	G_z 为滞尘量 (万 t); C_z 为草地滞尘能力 ($t/hm^2 \cdot a$); $\beta 7$ 为单位降尘清理费用 (元/kg)

行核算, 将调蓄水的价值量转化为水库储存等量的水所需要的成本, 这里是假设在已有水库基础上, 加固防洪等消耗的价值量, 成本要远低于修建水库成本, 与涵养水源中的修建水库价值量区别开来; 保育土壤中固土的实物量通过有无植被土壤侵蚀差异量与湿地面积相乘来计算, 固土的价值量核算采用市场价值法, 即挖取等量土方所需要的市场费用。保肥实物量即固土量与土壤中有有机质及氮、磷、钾比例的乘积, 保肥价值量即购买氮、磷、钾等营养物质 (折算为化肥) 的市场价格; 净化水质 (N、P) 的实物量即单

表3 湿地生态功能实物量、价值量核算公式及参数说明

Table 3 Explanation of physical quantity and value calculation formula and parameters of wetland ecological function

生态功能	核算指标	计算公式	参数说明
涵养水源	涵养水源	$W_w = Z \times V \times 10^{-8}$ $V_w = W_w \times \delta 1$	W_w 为涵养水量 (亿 m^3); V 为单位面积土壤调蓄能力 (m^3/hm^2); Z 为湿地面积 (hm^2); $\delta 1$ 为水库建设单位库容投资 (元/t)
调蓄洪水	调蓄洪水	$W_l = Z \times C_j \times 10^{-4}$ $V_l = W_l \times \delta 1$	W_l 为调蓄洪水量 (亿 m^3); C_j 为滞水深度 (m)
保育土壤	固土	$W_g = Z \times \delta \times \rho \times 10^{-3}$ $V_g = (W_g / \rho) \times \delta 2$	W_g 为土壤侵蚀减少量 (万 t); δ 为侵蚀差异量 ($mm \cdot a$); ρ 为土壤容重 (g/cm^3); ρ 为平均密度 $2.65 g/cm^3$; $\delta 2$ 为挖取单位体积土方费用 (元/ m^3)
	保肥	$W_{gi} = W_g \times C_i$ $V_{gi} = W_{gi} \times \delta i$	$i=1, 2, 3, 4$; C_1 为土壤氮含量 (%); C_2 为土壤磷含量 (%); C_3 为土壤钾含量 (%); W_g 为固土量 (万 t); δi 为各类营养物质的市场价格 (元/t)
净化水质	净化水质	$G_s = Z \times C_s \times 10^{-2}$ $G_z = Z \times C_z \times 10^{-2}$ $V_s = G_s \times \delta 3 \times 10^{-5}$ $V_z = G_z \times \delta 4 \times 10^{-5}$	G_s 为氮净化量 (t); G_z 为磷净化量 (t); C_s 为氮净化能力 (t/km^2); C_z 为磷净化能力 (t/km^2); $\delta 3$ 为单位氮的处理费用 (元/kg); $\delta 4$ 为单位磷的处理费用 (元/kg)

位湿地净化氮、磷的能力与湿地面积的乘积。价值量核算采用恢复成本法,即用实物量乘以氮、磷的处理费用。

2 围场县自然资源资产负债表编制中生态损益核算案例

2.1 数据来源

围场县位于河北省承德市北部,作为国家级生态文明建设示范区和“塞罕坝精神”的发源地,是京津重要的水源涵养功能区,同时,该县自然资源种类丰富,发展程度和资源禀赋在全国具有一定的代表性。因此开展围场县2013-2015年生态损益核算,并将核算结果纳入自然资源资产负债表,具有一定的典型性和代表性,也为其他国家级生态县做出示范,有助于完善县级生态文明考核评价体系。森林、草地、湿地实物量参数(表4)计算过程中的相关指标主要来源于围场县国土局和林业局,依据公式计算不同类型生态系统实物量参数的数据来源于相关文献和地方部门的生态环境监测结果,价值量参数(表5)源自《中华人民共和国林业行业标准——森林生态系统服务功能评估规范》《生态文明制度构建中的中国森林资源核算研究》等。

表4 围场县生态系统实物量参数
Table 4 Ecosystem function parameters of Weichang county (t/hm²)

生态功能	核算指标	单位面积森林生态 实物量参数	单位面积草地生态 实物量参数	单位面积湿地生态 实物量参数
涵养水源	水源涵养量	1945.07	4012.08	8107.87
保育土壤	固土	17.80	103.80	192.44
	保肥:有机质	0.41	0.33	—
	保肥:氮	0.03	0.08	0.17
	保肥:磷	0.001	1.65	0.06
	保肥:钾	0.01	7.66	0.42
固碳释氧	固碳	2.28	0.80	—
	释氧	6.10	2.14	—
净化大气环境	吸收SO ₂	0.15	0.15	—
	滞尘	21.66	21.66	—
调蓄洪水	地表滞水	—	—	10019.01
净化水质	净化:氮	—	—	0.04
	净化:磷	—	—	0.02

2.2 生态损益核算结果

2013年和2015年围场县森林面积分别为590858.19 hm²和590530.53 hm²,森林生态系统服务功能实物量分别为117789.41万t和117724.09万t,对应的价值量分别为146.62亿元和146.54亿元,占该县2013年和2015年生态系统总价值的43.27%和43.23%。2015年,围场县单位面积森林生态系统服务功能价值为24815.43元/hm²,而全国平均为8850元/hm²^[21],约为全国的2.8倍。森林生态系统的涵养水源功能价值量最高,之后依次是固碳释氧、净化大气、保育土壤。核算期间,各项核算指标的实物量和价值量均有下降,其中涵养水源功能价值减少量占总价值减少量的47.90%,这种现象可能与围场县森林覆盖率较高,涵养水源价值量基数较大有关,核算期间森林生态系统结构中乔木林面

表5 围场县生态系统价值量参数

Table 5 Ecosystem value parameters of Weichang county

生态功能	核算指标	类目	价值量参数	参数来源
涵养水源	水源涵养量	水库建设单位库容投资	6.11 元/t	国家林业局公布的《森林生态系统服务价值评估公共数据表》
保育土壤	固土	单位体积土方费用	63 元/m ³	中科院地理所实地调研获得
		平均密度值	2.65 g/cm ³	中科院地理所实地调研获得
	保肥：有机质	有机质价格	800 元/t	中国化肥网
		保肥：氮	磷酸二铵含氮量	14%
	保肥：磷	磷酸二铵化肥价格	3300 元/t	中国化肥网
		磷酸二铵含磷量	15%	中国化肥网
	保肥：钾	磷酸二铵化肥价格	3300 元/t	中国化肥网
		氯化钾含钾量	50%	中国化肥网
固碳释氧	固碳	氯化钾化肥价格	2800 元/t	中国化肥网
		固碳价格	48.18 元/t	中华人民共和国卫生部网站
净化大气环境	释氧	释氧价格	1108 元/t	中华人民共和国卫生部网站
	吸收 SO ₂	单位 SO ₂ 治理费用	1.55 元/kg	围场县环保局提供
	滞尘	降尘清理费用	0.19 元/kg	围场县环保局提供
调蓄洪水	地表滞水	水库建设单位库容投资	6.11 元/t	国家林业局公布的《森林生态系统服务价值评估公共数据表》
净化水质	净化：氮	单位氮的处理费用	1500 元/t	围场县环保局提供
	净化：磷	单位磷的处理费用	2500 元/t	围场县环保局提供

积比例下降，同时林地斑块的破碎化程度、森林土壤的物理性质等因素也会影响森林涵养水源功能的变化（表6）。

2013年和2015年围场县草地面积分别为138216.10 hm²和137868.96 hm²，草地生态系统服务功能实物量分别为57072.04万t和56928.72万t，对应的价值量为178.60亿元和178.20亿元，占该县2013年和2015年生态系统总价值的52.71%和52.57%，在整个生态系统中草地生态系统的价值量占有相当大的比例，这与围场县草地资源丰富的资源特点相符。草地生态系统的保育土壤价值量最高，之后依次是涵养水源、净化大气、固碳释氧。核算期间，各项核算指标的实物量和价值量均有下降，其中保育土壤功能的下降是主要原因（表7）。

2013年和2015年围场县湿地面积分别为11070.34 hm²和11565.43 hm²，湿地生态系统服务功能实物量分别为20289.51万t和21187.92万t，增加了4.43%，对应的价值量为13.64亿元和14.25亿元，增加了4.47%，其中涵养水源和调蓄洪水的价值量增加是主导因素，可见围场县近年来对塞罕坝、滦河上游的湿地保护工程成效明显，提升了湿地的生态功能（表8）。

生态综合核算全面体现了核算期内区域生态质量，反映资源开发利用的生态效应，其实物量和价值量表式结构如表9所示。2013年和2015年，围场县生态系统服务功能价值量分别为338.86亿元和338.99亿元，增加了0.04%。就不同类型生态系统而言，草地的生态价值最高，占生态系统总价值的52.57%，森林生态价值次之，虽然湿地生态系统的价值量不及草地和森林，但湿地作为陆地和水体的过渡体，在生态系统中的重要地位无可替代。

表6 森林生态系统损益核算表

Table 6 Forest ecosystem asset loss and growth accounting

生态功能	核算指标	实物量/万t		变化量/万t	价值量/万元		变化量/万元
		2013年	2015年	2013-2015年	2013年	2015年	2013-2015年
涵养水源	水源涵养量	114926.33	114862.60	-63.73	702280.33	701890.89	-389.44
保育土壤	固土	1051.73	1051.14	-0.59	25003.33	24989.47	-13.86
	保肥: 有机质	24.08	24.07	-0.01	19266.70	19256.02	-10.68
	保肥: 氮	2.00	2.00	0	47074.52	47048.41	-26.11
	保肥: 磷	0.21	0.21	0	4676.48	4673.89	-2.59
	保肥: 钾	0.84	0.84	0	4698.50	4695.90	-2.60
固碳释氧	固碳	134.73	134.66	-0.07	6491.45	6487.86	-3.59
	释氧	360.70	360.50	-0.20	399656.93	399435.3	-221.63
净化大气	吸收SO ₂	8.99	8.98	0	13929.78	13922.05	-7.73
	滞尘	1279.80	1279.09	-0.71	243161.78	243026.93	-134.85

表7 草地生态系统损益核算表

Table 7 Grassland ecosystem asset loss and growth accounting

生态功能	核算指标	实物量/万t		变化量/万t	价值量/万元		变化量/万元
		2013年	2015年	2013-2015年	2013年	2015年	2013-2015年
涵养水源	水源涵养量	55453.45	55314.17	-139.28	338859.37	338008.30	-851.07
保育土壤	固土	1434.68	1431.08	-3.60	34107.56	34021.90	-85.66
	保肥: 有机质	4.52	4.51	-0.01	3614.63	3605.55	-9.08
	保肥: 氮	1.12	1.12	0	26389.40	26323.12	-66.28
	保肥: 磷	22.74	22.68	-0.06	499931.59	498675.98	-1255.61
	保肥: 钾	105.85	105.58	-0.27	592760.20	591271.44	-1488.76
固碳释氧	固碳	11.03	11.01	-0.02	531.61	530.27	-1.34
	释氧	29.54	29.47	-0.07	32729.82	32647.61	-82.21
净化大气环境	吸收SO ₂	8.99	8.98	-0.01	13929.78	13922.05	-7.73
	滞尘	0.13	0.13	0	243161.78	243026.93	-134.85

表8 湿地生态系统损益核算表

Table 8 Wetlands ecosystem asset loss and growth accounting

生态功能	核算指标	实物量/万t		变化量/万t	价值量/万元		变化量/万元
		2013年	2015年	2013-2015年	2013年	2015年	2013-2015年
涵养水源	水源涵养量	8975.69	9377.10	401.41	54847.75	57300.64	2452.89
调蓄洪水	地表滞水	11100.00	11587.42	487.42	67776.14	70807.23	3031.09
	固土	213.04	222.57	9.53	5064.68	5291.18	226.50
保育土壤	保肥: 氮	0.19	0.20	0.01	4522.15	4724.39	202.24
	保肥: 磷	0.06	0.07	0.01	1406.77	1469.68	62.91
	保肥: 钾	0.47	0.49	0.02	2625.44	2742.86	117.42
净化水质	净化: 氮	0.04	0.05	0.01	66.09	69.05	2.96
	净化: 磷	0.02	0.02	0	51.48	53.78	2.30

表9 围场县生态损益综合核算表

Table 9 Comprehensive accounting table of ecological loss and growth in Weichang county

生态类型	生态功能	实物量/万t		变化量/万t	价值量/万元		变化量/万元
		期初	期末		期初	期末	
森林	涵养水源	114926.33	114862.60	-63.73	702280.33	701890.89	-389.44
	保育土壤	1078.86	1078.26	-0.60	100719.53	100663.69	-55.84
	固碳释氧	495.43	495.16	-0.27	406148.38	405923.16	-225.22
	净化大气	1288.79	1288.07	-0.72	257091.56	256948.98	-142.58
	合计	117789.41	117724.09	-65.32	1466239.80	1465426.72	-813.08
草地	涵养水源	55453.45	55314.17	-139.28	338859.37	338008.30	-851.07
	保育土壤	1568.91	1564.97	-3.94	1156803.39	1153897.99	-2905.40
	固碳释氧	40.57	40.47	-0.10	33261.42	33177.89	-83.53
	净化大气	9.11	9.11	0	257091.56	256948.98	-142.58
	合计	57072.04	56928.72	-143.32	1786015.74	1782033.16	-3982.58
湿地	涵养水源	8975.69	9377.10	401.41	54847.75	57300.64	2452.89
	调蓄洪水	11100.00	11587.42	487.42	67776.14	70807.23	3031.09
	保育土壤	213.76	223.33	9.57	13619.04	14228.11	609.07
	净化水质	0.06	0.07	0.01	117.57	122.82	5.25
	合计	20289.51	21187.92	898.41	136360.50	142458.80	6098.30
总计	195150.96	195840.73	689.77	3388616.04	3389918.68	1302.64	

3 结论与讨论

本文将自然资源的生态服务价值纳入自然资源资产负债表体系，构建了生态系统服务功能实物型和价值型分类账户以及生态损益综合核算账户，总结了自然资源资产负债表中的生态损益核算的主要内容及相关核算方法，并以国家级生态文明建设示范区围场县作为案例，在已有的核算基础上计算了案例研究区单位面积森林、草地、湿地生态系统的实物量参数和价值量参数，便于根据森林、草地、湿地等生态系统的面积统计数据快速简洁的核算比较，也为自然资源资产负债表的业务化应用提供支撑。本文提出的自然资源资产负债表中生态损益核算的方法体系、核算指标及表式结构符合生态系统服务功能的变化特点，满足自然资源资产负债表的实际需求，以典型地区围场县为例可为京津以及全国其他地区的核算提供思路。需要注意的是，在应用生态系统的实物量参数和价值量参数时，一般需要结合区域自然资源禀赋等实际情况进行修正。本文认为，在将生态损益纳入自然资源资产负债表的过程中，还有以下几点需要关注：

(1) 完善价值量核算参数。生态系统服务功能的价值不是一成不变的，生态系统服务的价值与社会经济发展对生态系统的依赖程度、人类的认知程度、生态系统服务功能的可替代产品等因素相关^[2]，因此在实际的核算过程中，不仅要考虑生态系统自身的结构和健康水平，还要考虑生态过程与经济过程之间的变化关系，及时更新核算参数。

(2) 规范基础数据，衔接自然资源资产负债表编制周期。自然资源资产负债表编制的理想状态是按年度编制报表，相应地生态损益核算也应同步进行，那么如何保证数据的连续就是关键所在。统计数据按年度发布，而自然资源数据一般通过资源普查获得，非普查年份就会存在年度指标缺失的问题，例如森林资源，以五年为周期的国家森林资

源清查体系,难以满足按年度编报的需求。建议依托已有数据资料建立资源增减变化统计台账,针对缺失的数据制定统一的标准进行填补,例如通过系统动力学模拟资源动态变化、基于遥感技术开展资源监测等手段逐步完善数据,为自然资源资产负债表编制提供连续可追溯、取数口径一致的数据支撑。

(3) 明晰影响生态损益变化机制。在自然资源资产负债表中的生态损益核算中,生态系统各项核算指标的实物量和价值量变化一定程度上能够揭示生态问题。由于人类—自然系统是典型的复杂系统,因此理解生态系统各项功能变化的原因及人类活动的干预性质是解决生态问题、改善生态环境的前提。随着国家对自然资源核算重视程度的增加以及数据基础的逐步完善,或许能依据细化的数据区分和量化自然原因与人为原因对生态损益的贡献程度,或基于情景模拟剔除温度、降水、日照等气候因子的作用,以便更好地评价人类的资源利用活动对生态系统的影响。

(4) 提升生态决策功能。量化不同类型的生态系统在不同时期的经济价值,有助于直观地揭示资源过度使用对生态环境的影响,提高人们的生态意识。但在对生态系统服务功能价值化的过程中,可能会存在价值量虚高的现象^[23],这会导致公众对评价结果的认知存在一定偏差,因此在发挥生态决策支持功能方面作用有限。在实际应用中,有必要结合生态承载力、脆弱性等评价结果分析生态系统整体情况及问题隐患,为发挥生态决策功能提供可靠支撑。

参考文献(References):

- [1] 黄溶冰,赵谦.自然资源资产负债表编制与审计的探讨.审计研究,2015,(1):37-43. [HUANG R B, ZHAO Q. Discussion on the preparation and audit of natural resources balance sheet. *Audit Research*, 2015, (1): 37-43.]
- [2] 闫慧敏,封志明,杨艳昭,等.湖州/安吉:全国首张市/县自然资源资产负债表编制.资源科学,2017,39(9):1634-1645. [YAN H M, FENG Z M, YANG Y Z, et al. Huzhou/Anji: The first national/county natural resource balance sheet compilation. *Resources Science*, 2017, 39(9): 1634-1645.]
- [3] 杨艳昭,封志明,闫慧敏,等.自然资源资产负债表编制的“承德模式”.资源科学,2017,39(9):1646-1657. [YANG Y Z, FENG Z M, YAN H M, et al. "Chengde Model" for the preparation of natural resources balance sheet. *Resources Science*, 2017, 39(9): 1646-1657.]
- [4] 封志明,杨艳昭,闫慧敏,等.自然资源资产负债表编制的若干基本问题.资源科学,2017,39(9):1615-1627. [FENG Z M, YANG Y Z, YAN H M, et al. Some basic issues in the preparation of natural resources balance sheets. *Resources Science*, 2017, 39(9): 1615-1627.]
- [5] 陶建格,沈镭,何利,等.自然资源资产辨析和负债、权益账户设置与界定研究:基于复式记账的自然资源资产负债表框架.自然资源学报,2018,33(10):1686-1696. [TAO J G, SHEN L, HE L, et al. Analysis of natural resource assets and liabilities, equity account setting and definition research-natural resources balance sheet framework based on double entry accounting. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(10): 1686-1696.]
- [6] 张志涛,戴广翠,郭晔,等.森林资源资产负债表编制基本框架研究.资源科学,2018,40(5):929-935. [ZHANG Z T, DAI G C, GUO Y, et al. Basic framework research on the preparation of forest resources balance sheet. *Resources Science*, 2018, 40(5): 929-935.]
- [7] 焦志倩,王红瑞,许新宜,等.自然资源资产负债表编制设计及应用II:应用.自然资源学报,2018,33(10):1715-1724. [JIAO Z Q, WANG H R, XU X Y, et al. Design and application of natural resources balance sheets II. *Journal of Applied Natural Resources*, 2018, 33(10): 1715-1724.]
- [8] COSTANZA R, DARGE R, DEGROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [9] 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.生态学报,1999,19(5):19-25. [OUYANG Z Y, WANG X K, MIAO H. China's terrestrial ecosystem service function and its ecological economic val-

- ue. *Preliminary Journal of Ecology*, 1999, 19(5): 19-25.]
- [10] 谢高地, 张镱铎, 鲁春霞, 等. 中国自然草地生态系统服务价值. *自然资源学报*, 2001, 16(1): 47-53. [XIE G D, ZHANG Y L, LU C X, et al. The value of China's natural grassland ecosystem services. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(1): 47-53.]
- [11] 王莉雁, 肖隰, 欧阳志云, 等. 国家级重点生态功能区县生态系统生产总值核算研究: 以阿爾山市为例. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(3): 146-154. [WANG L Y, XIAO Y, OUYANG Z Y, et al. Study on the accounting of ecosystem value of national key ecological function districts and counties: A case study of Arshaan city. *China Population, Resources and Environment*, 2017, 27(3): 146-154.]
- [12] 欧阳志云, 郑华, 谢高地, 等. 生态资产、生态补偿及生态文明科技贡献核算理论与技术. *生态学报*, 2016, 36(22): 7136-7139. [OUYANG Z Y, ZHENG H, XIE G D, et al. Ecology assets, ecological compensation and ecological civilization science and technology contribution accounting and technology. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(22): 7136-7139.]
- [13] 孔含笑, 沈镭, 钟帅, 等. 关于自然资源核算的研究进展与争议问题. *自然资源学报*, 2016, 31(3): 363-376. [KONG H X, SHEN L, ZHONG S, et al. Research progress and controversy about natural resource accounting. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(3): 363-376.]
- [14] 潘韬, 封志明, 刘玉洁, 等. 自然资源资产负债表编制中的负债核算方法与案例. *国土资源科技管理*, 2019, 36(2): 74-84. [PAN T, FENG Z M, LIU Y J, et al. The methods of accounting for liabilities in the preparation of natural resources balance sheet and case management. *Scientific and Technological Management of Land and Resources*, 2019, 36(2): 74-84.]
- [15] 高敏雪. 扩展的自然资源核算: 以自然资源资产负债表为重点. *统计研究*, 2016, 33(1): 4-12. [GAO M X. Expanded natural resource accounting: Focusing on natural resources balance sheet. *Statistic Research*, 2016, 33(1): 4-12.]
- [16] 刘焱序, 傅伯杰, 赵文武, 等. 生态资产核算与生态系统服务评估: 概念交汇与重点方向. *生态学报*, 2018, 38(23): 8267-8276. [LIU Y X, FU B J, ZHAO W W, et al. Ecological asset accounting and ecosystem service assessment: Conceptual convergence and key directions of ecology. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(23): 8267-8276.]
- [17] 张彪, 徐洁, 王硕, 等. 首都生态圈土地覆被及其生态服务功能特征. *资源科学*, 2015, 37(8): 1513-1519. [ZHANG B, XU J, WANG S, et al. Land cover of the capital ecological circle and its ecological service function characteristics. *Resource Science*, 2015, 37(8): 1513-1519.]
- [18] 缪建群, 杨文亭, 杨滨娟, 等. 崇义客家梯田区生态系统服务功能及价值评估. *自然资源学报*, 2016, 31(11): 1817-1831. [MIU J Q, YANG W T, YANG B J, et al. Ecosystem service function and value evaluation of hakka terraced fields in Chongyi. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(11): 1817-1831.]
- [19] AUSSEIL A G E, DYMOND J R, KIRSCHBAUM M U F, et al. Assessment of multiple ecosystem services in New Zealand at the catchment scale. *Environmental Modelling & Software*, 2013, 43: 37-48.
- [20] 张志强, 徐中民, 程国栋. 生态系统服务与自然资本价值评估. *生态学报*, 2001, 21(11): 1918-1926. [ZHANG Z Q, XU Z M, CHENG G D. Ecosystem service and evaluation of natural capital value. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(11): 1918-1926.]
- [21] 刘树华, 李浩, 陆宏芳. 鼎湖山南亚热带森林生态系统服务价值动态. *生态环境学报*, 2011, 20(Z1): 1042-1047. [LIU S H, LI H, LU H F. Dinghushan south subtropical forest ecosystem service value dynamics. *Journal of Eco-Environment*, 2011, 20(Z1): 1042-1047.]
- [22] RAUDSEPP-HEARNE C, PETERSON G D, TENGÖ M, et al. Untangling the environmentalist's paradox: Why is human well-being increasing as ecosystem services degrade?. *BioScience*, 2010, 60(8): 576-589.
- [23] 张翼然, 周德民, 刘苗. 中国内陆湿地生态系统服务价值评估: 以71个湿地案例点为数据源. *生态学报*, 2015, 35(13): 4279-4286. [ZHANG Y R, ZHOU D M, LIU M. Evaluation of the service value of inland wetland ecosystem in China: Based on 71 wetland case points as data sources. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(13): 4279-4286.]

Ecological profit and loss accounting in the preparation of natural resources balance sheet

ZHANG Jie^{1,2}, LIU Yu-jie^{1,2}, PAN Tao^{1,3}, FENG Zhi-ming^{1,2},
YANG Yan-zhao^{1,2}, GE Quan-sheng^{1,2}

(1. Key Laboratory of Terrestrial Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Development Planning Bureau, CAS, Beijing 100864, China)

Abstract: Ecological profit and loss accounting is an important part of the natural resources balance sheet and it is an extension and supplement to the classification of natural resources. This study combs the general idea of ecological profit and loss accounting, systematically summarizes the ecological profit and loss accounting technology, and takes the Weichang county as an example. Following the principle of accounting for values after the physical quantity, the forest, grassland and wetland ecosystems are selected, the service indicator carries out the accounting of the physical quantity and the value quantity, and calculates the physical quantity parameter and the value quantity parameter of each type of ecosystem based on the existing accounting, so as to make a quick and simple accounting comparison based on the area statistics. The study found that, in 2015, the total value of the ecosystem service function value of Weichang county was 33.899 billion, an increase of 0.04% compared with 2013. The value of ecosystem services functioned from grassland to forest and wetland. The values of forest and grassland ecosystems decreased by 0.06% and 0.22%, respectively, and the value of wetland ecosystem increased by 4.47%. The results contribute to a comprehensive understanding of the ecological effects brought by the changes in the quantity and quality of natural resources, and provide a data base for liability accounting in natural resource balance sheets.

Keywords: natural resources balance sheet; ecological profit and loss accounting; Weichang county