

可持续性评价的 ImPACTS 等式

徐中民¹, 程国栋¹, 邱国玉²

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室, 兰州 730000;

2. 北京师范大学资源学院沙漠与沙区资源研究所, 北京 100081)

摘要: 可持续发展要求必须在一个地球的约束下, 最大限度地满足人类的发展需求。通过分析生态足迹与人类社会发展的关系, 从可更新和不可更新资源利用效益角度来看, 在发展的可持续性上发达国家比发展中国家在利用地球容纳环境和社会期望方面具有明显的优势。同时, 气候变暖的事实说明, 人类对不可更新化石燃料的开采和利用速率已经超过地球上生态系统吸收 CO₂ 的能力。各国要取得社会发展并使之具有可持续性, 应该在地球的可持续性尺度范围内增加自己的全球足迹份额, 而不是简单的减少足迹。以中国的南水北调、北粮南运, 粮食安全及世界石油消费利用为例说明了社会资源在缓解和减轻环境影响方面的作用。在剖析经典的 IPAT 等式及其变种等式 ImPACT 分析框架的基础上, 提出了一个新的可持续性评价研究框架——ImPACTS 等式, 并讨论了新等式的政策含义。在 ImPACTS 等式中, 新增项 S 代表社会资源的状态 (社会发展状态), m 代表管理, 用来强调人类采用协调的方式来解决超过可持续性尺度这一问题的重要性, I 因此变成了集成的影响评价——对环境的影响和社会发展的损益评价。

关键词: ImPACTS 等式; 社会发展; 环境影响; 生态足迹; ImPACT 等式

生态足迹指标是环境可持续性评价的一个热门指标^[1], 世界自然基金会 (Worldwide Fund for Nature, WWF) 的《生活的行星报告 2002》指出人类的足迹已经超过了地球生态承载能力的 20%, 人类需要减少自己的足迹。美国人均生态足迹达到 9.57 全球公顷 (global hm²), 是世界平均水平 (人均生态足迹 2.1 全球公顷) 的 4 倍多, 同时美国人均还拥有高达 4.43 全球公顷的生态赤字^[1,2]。如果地球上的人都过美国人一样生活, 那么需要现在的 4 个多地球^[3]。从生态足迹的分析来看, 美国人的生活不是建立在可持续发展的基础上, 不值得仿效。生态足迹的研究报告都提倡应要减少足迹^[1-5], Rees 也谈到“西瓜”不是越大越好^[6], 但是为什么几乎所有的发展中国家都希望过上发达国家那样的生活, 这不是增加足迹吗? 会不会出现人类需要 4 个多地球的情况呢? 本文从当前生态足迹的研究成果入手, 通过分析生态足迹与社会发展的关系, 回答了上述几个可持续性科学研究方面的关键问题, 并在探讨社会发展对减轻和缓解环境影响作用的基础上, 基于经典的 IPAT 等式提出了一个新的可持续性评价研究的框架 ImPACTS, 这些研究对澄清环境与发展关系的讨论、可持续性评价和可持续性指标的选取等研究具有一定的理论和现实意义。

1 生态足迹与社会发展

1.1 生态足迹与人文发展指数 (HDI)

可持续发展的核心含义就是在一个地球的限制下, 如何最大限度地满足人类的需求。

收稿日期: 2004-08-30; 修订日期: 2004-12-11

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40201019); 国家自然科学基金重点基金项目 (40235053); 多地区和部门的气候变化影响和适应性评价 (AS25) 资助 [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.40201019; Key Project of National Natural Science Foundation of China, No.40235053; The Assessment of Impact and Adaptation of Climate Change (AIACC) Project, No.AS25]

作者简介: 徐中民 (1973-), 男, 博士, 研究员, 中国地理学会会员, 主要从事生态经济方面的研究。

E-mail: xzmin@ns.lzb.ac.cn

环境与发展是人类必须同时兼顾的两个目标。为简化起见，使用生态足迹指标表示人类活动对环境的影响，人文发展指数 (HDI) 表示社会发展状况。为了解当前的形势，利用 WWF 颁布的报告《生活的行星 2002》^[2]和联合国开发计划署 (UNDP) 的《人文发展报告 2001》^[7]中分别提供的 138 个国家生态足迹计算结果和 HDI 的数据，分析了生态足迹与社会发展之间的关系。在实际分析中考虑到化石能源是不可更新资源，增加供给只能使资源存量枯竭。目前的生态足迹计算方法中都认为地球上没有对应能源的生态承载力 (视其为 0)，除化石能源外，生态足迹研究分析主要集中在可更新资源上^[1-6]。因此，在分析中将全部生态承载力都用于可更新资源的供给上，所有能源足迹都当成生态赤字处理，显然这样处理并不影响结果分析。分析中将资源分成不可更新资源 (能源) 和可更新资源两部分，以人口为权重计算了 0.2~0.3, 0.3~0.4, 0.4~0.5, ..., 0.9~1.0 等 8 个区间上的人文发展指数、能源足迹、可更新资源足迹和可更新资源的生态赤字 (用需求减供给)。结果表明 (图 1)，HDI 从最低平均状态 0.27 (0.2~0.3 段) 到最高平均状态 0.93 (0.9~1.0 段) 的过程中，能源的足迹是单调上升的，由 HDI 最低类国家的人均 0.15 全球公顷上升到 HDI 最高类国家的人均 4.05 全球公顷，相差 27 倍。最低类型国家的 HDI，对应可更新资源的足迹为人均 0.83 全球公顷，可更新资源足迹并不是与 HDI 呈单调变化，先是逐渐减少，至 HDI 0.57 后 (对可更新资源的足迹需求为人均 0.52 全球公顷) 逐渐增加，最后达到最高状态人均 2.71 全球公顷。最后计算可更新资源的生态足迹赤字发现，不同的人文发展阶段可更新资源都是生态盈余的，最重要的是随 HDI 的增加可更新资源的生态盈余也逐渐增加，从 HDI 最低状态时人均盈余 0.13 全球公顷逐渐增加到最高状态人均 1.09 全球公顷。

1.2 从资源利用效益看发展的可持续性

从图 1 中的整体趋势来看，随 HDI 的逐渐升高，可更新资源的生态足迹增加，同时可更新资源的生态盈余也逐渐增加。这反映处于不同发展阶段的所有国家其可更新资源的供给增长率都超过了需求的增长率，发达国家比发展中国家人均可更新资源消费的绝对总量大，但可更新资源供给和需求增长的余额也比发展中国家高。

人类社会的发展十分依赖于化石能源，世界 1999 年能源消费中，化石能源的消费数量占总能源消费的 88%^[2]。从图 1 可知，发达国家的能源消费量要高于发展中国家。由于

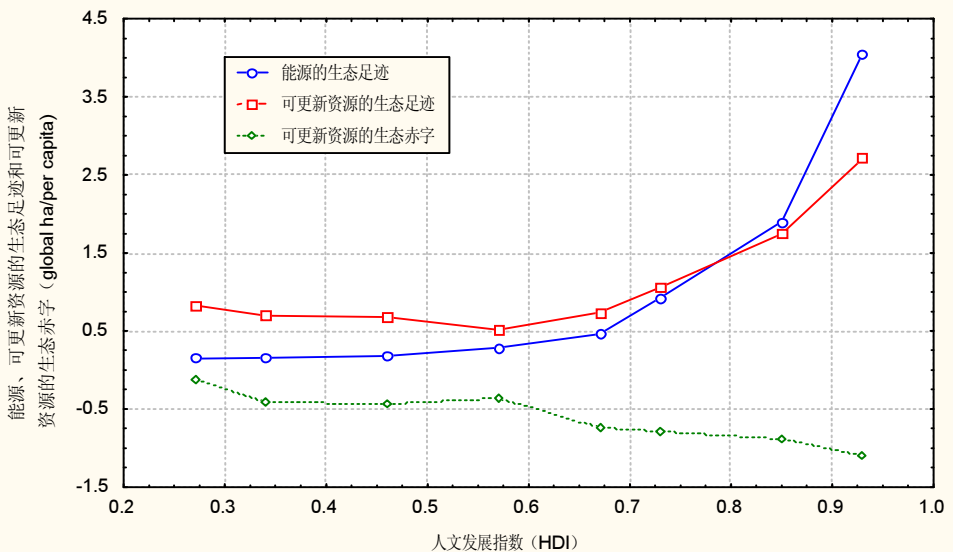


图 1 世界上各国不同发展阶段可更新资源、能源的生态足迹和可更新资源的生态赤字

Fig. 1 The ecological footprint of renewable resources, energy and ecological deficit of renewable resources at different development stages

不可更新,人类无法在人类活动的时间尺度上增加其供给,因此化石能源对人类的价值主要取决于提取利用的时间和效益。能源强度(能源消费量/GDP)是一个重要的反映能源消费随时间变化的指标。《国际能源展望 2004》(International Energy Outlook 2004)显示工业化国家的能源强度在过去的 30 年中明显降低,从 1970 年的每单位 GDP 12.9×10^3 Btu (British thermal units) 降低到 2001 年的 8.4×10^3 Btu(1997 年的美元计量,后面的单位 GDP 都是指按 1997 年的美元计量),但发展中国家从 1970 年至 2001 年间,能源强度却维持在每单位 GDP 22.1×10^3 Btu 的水平上,几乎没有发生变化。显然发达国家有更高的能源利用效率^[8]。在 2001 年发达国家利用同样数量的能源生产的 GDP 数量是发展中国家的 3 倍。

当前全球变暖的事实说明人类 CO₂ 的排放量已经超过全球生态系统的吸收能力。从可持续发展的角度而言,人类只能在地球的可持续尺度范围内提取和利用化石燃料^[9]。显然需要减少 CO₂ 的排放的绝对数量以便回到地球的可持续尺度范围内。《国际能源展望 2004》展示,过去 30 年世界的 CO₂ 强度(CO₂/GDP)明显下降,从 1970 年的每单位 GDP 1100 t,降低到 2001 年的每单位 GDP 739 t。尽管所有国家的改进强度有差异,但所有国家都呈现下降趋势。如美国的 CO₂ 强度从 1970 年的单位 GDP 1154 t 下降到 2001 年的 606 t。中国的 CO₂ 强度从 1970 年的单位 GDP 9703 t 下降到 2001 年的 2539 t^[8]。如果中国在 2001 年拥有美国 2001 年的经济总量,以中国自己的 CO₂ 强度向大气中排放 CO₂,则当年中国向大气中排放的 CO₂ 是美国 2001 年的 4.19 倍。

从上面的分析可知,从可更新资源和不可更新资源利用效益的角度来看,发达国家比发展中国家在地球承载力的范围内容纳环境和社会期望这一点上表现要好。

1.3 生态足迹的增减与发展

生态足迹是测算生产一定人口消费的所有资源和吸纳这些人口所产生的主要废弃物所需要的生物生产型土地面积。从其定义和实际应用来看,其分析主要立足在人类对自然系统的“给”和“拿”的过程^[10],而忽略了人类社会这个重要的组成成分。人类在想方设法从自然环境中多“拿”资源和服务,同时尽量减少“给”自然压力(如排放废弃物)的过程中,人类还利用自然提供的资源和服务培育了一个文明的社会,在这个人类文明社会中不断储存自然资源和生态服务的“足迹”,不仅使我们产生高效率利用资源和减少废弃物排放的技术进步,更重要的是提高了人类社会本身的发展能力,使我们能够理解出现的环境问题,并采取技术、贸易等措施来适应或缓解环境对人类的影响。

从目前生态足迹的分析框架可知,发达国家拥有高的生态足迹及生态赤字主要原因是通过贸易占用了发展中国家的土地,但是发达国家仅是通过贸易占用了发展中国家的土地吗?贸易的产品和服务中不仅嵌入了土地,还嵌入了积累自然资源和人类智慧的社会资源,如生产技术、消费模式、制度和组织安排、教育模式、通常的价值理念和生活类型。国际贸易的影响可能使参与国受益,也可能受损,参与国受益还是受损主要取决于自己国家的政治、社会、制度结构和发展的优先性选择^[11]。尽管非常难以量化国际贸易对参与国的具体影响,但不能否认在国际贸易的商品流中,除了有形的物质流动外,还流动着信息等社会资源。国际贸易的参与者是否能从中获益主要取决于参与国的社会发展状况,取决于参与国是否有能力调用社会资源从国际贸易流中获益。目前生态足迹计算方法中仅考虑对土地的占用显然忽视了国际贸易流中社会资源的隐形流动。

前已述及,从资源利用效率的角度来看,发达国家在资源和环境的约束条件下,在满足人类需求方面做得更好。从社会发展的视点来看(图 1),发展中国家如果要达到美国那样的发展水平,显然需要增加自己的足迹。如果考虑到地球的可持续性尺度,应该是在地球可持续性尺度范围内增加自己的全球足迹份额。考虑到社会发展,增加足迹份额显然不是件容易的事情。如果一个国家想通过贸易占用其他国家的土地,则需要占用国

比被占用国在某些方面具有比较或绝对优势, 也就是占用国首先必须在自己的国家能够做到减少足迹。生态足迹的研究者已经提出了利用各种各样的政策工具来减少足迹, 如改善资源的利用效率、控制人口、促进教育和采用可持续的消费结构^[2]。但是生态足迹的研究者并没有真正阐明采用这些措施的原因, 任何国家或个人并没有驱动力破坏环境, 发展最终的目标只是如何在环境限制范围内生活得更好, 提高自己的生活水平才是采用这些措施的直接驱动力。而提高生活水平将直接导致增加自己的全球足迹份额。减少生态足迹和增加全球足迹份额并不矛盾, 如果一个国家能领导这个世界在全球尺度上降低人类的足迹, 则这个国家必然具有最先进的技术和生产方式, 从而也将拥有最大的世界全球足迹份额。由于各国发展速度和初始条件都不一样, 全球足迹的份额将随这些情况的不同而发生变化。如果想拥有好的生活, 就需要竞争这种全球足迹的份额。考虑到这种竞争关系, 并不需要担心世界上的所有人在同一时刻享有同样的生活标准, 因为我们只有一个地球。我们并没有这样的经历, 这个世界变成一个静态的整体, 将来我们也不会有这样的经历。因此, 从发展的角度来看, 应该提倡在可持续性尺度范围内增加全球足迹的份额。

值得说明的是, 增加全球足迹的份额主要是强调社会发展在环境与发展之间相互作用中的主导地位。由于发展状况的差异, 从环境可持续性角度得出的减少生态足迹的认识显然具有限制发展中国家发展的作用, 发达国家减少生态足迹的最终结果也将是增大全球足迹份额, 伴随的是全球生态占用和环境侵略。这里从发展的角度提出增加全球足迹的份额主要是强调增加全球足迹份额是社会发展的一种必然结果。为了改变目前全球足迹份额占用极度不均衡的状况, 在竞争日益激烈的全球环境中, 对发展中国家而言增加发展能力十分重要。

2 社会资源在缓解和适应环境影响中的作用

由于目前的生态足迹分析框架强调对环境可持续性的评价, 忽略了对社会发展状况的评价, 也就是对可调用的社会资源的数量和质量的的评价, 因而只是得出了减少人类的足迹这样的表面结论。环境问题是社会发展引起的, 尽管社会发展不是解决环境问题的万灵药, 但显然社会发展最可能提供解决环境问题的方法^[12]。从上面的讨论可知, 社会发展才是真正驱动人类采取上述减少足迹措施的直接驱动力。在将社会发展融入环境影响评价框架中之前, 下面以三个例子来分别说明调动社会资源在缓解和适应环境影响中的作用。

2.1 中国南水北调与北粮南运

为了减轻中国北方水资源短缺的问题, 中国政府在 2002 年开始实施大型的南水北调工程, 该项工程计划 50 年完成, 耗资 580 亿美元, 在工程完工之日将达到每年从南方调水 $448 \times 10^8 \text{ m}^3$ 给北方, 用来解决华北和西北水资源的短缺问题。其中, 南水北调东线和中线调水主要是解决华北城市生活用水的短缺问题, 西线调水则主要是用于弥补西北、华北灌溉用水的不足^[13]。但现在中国的粮食是北粮南运, 每年北方调用 $2000 \times 10^4 \text{ t}$ 粮食给南方。从“嵌入水”或“虚拟水”的角度来看, 每年国家又将 $200 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的虚拟水调配给南方^[14]。中国北方由于水资源的短缺已经引起了严重的环境问题。华北地区和西北地区城市利用地下水的比例已经高达 72% 和 66%, 地下水的过度开发利用已经引起严重的地面沉降问题, 形成大面积的地下漏斗, 其中生产全国 1/2 小麦和 1/3 玉米的华北平原就有近 7 万 km^2 的地下漏斗区, 在 2000 年平均地下水位已经下降了 2.9 m ^[15]。造成这样的环境问题当然农业是理所当然的驱动者。在现实背景下, 根据虚拟水的理论^[16], 决策者很容易想到新的替代对策集合, 如北方地区少生产粮食 $2000 \times 10^4 \text{ t}$ 就可以节约 $200 \times 10^8 \text{ m}^3$

的水, 这些节约的水可以用来调剂城市生活用水之需, 还环境债或者从事增加值高, 耗水少的其他行业的生产, 南方需要的粮食可从国外进口一部分 (利用社会资源) 和自己生产一部分^[16-19], 新的对策看似可以减少南水北调的数量, 从而节约巨大的调水成本, 同时还减少了北方地区的生态足迹, 但真能取得预期效果吗? 当前的中国南水北调和北粮南运的配置格局从绝对优势的角度来看有其合理性, 中国南方拥有占全国 80% 的水资源、40% 的耕地和 58% 的人口, 水多地少, 具有水资源方面的绝对优势, 是可以调实体水给北方的城市的, 同时北方土地资源相对丰富、劳动力成本低, 北方农民种粮食卖给南方也是合理的。北方向南方输送粮食, 说明北方还处于被别人占用生态足迹的阶段, 社会发展状况还没有达到占用别人足迹的水平。如果要占用这 $200 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的水用做他途, 原来种 $2000 \times 10^4 \text{ t}$ 粮食的农民, 他们的生活怎么办? 现有的格局说明北方劳动力成本低廉, 在农业生产上还具有比较优势, 从事其他行业意味从事南方具有比较优势的产业, 从比较优势贸易理论来看, 如果采用前面建议的新对策, 解决这些农民的生活问题所引起的社会成本可能比农业使用 $200 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的水引起的环境成本更大, 而且更不容易解决。农民生计问题与前面的生产粮食引起地下水位下降这样的环境问题相比, 其内容和作用范畴都已经发生了变化, 新对策引起的农民生活问题已经是一个社会问题。此案例清晰地呈现了资源环境问题与社会问题之间的转化, 同时还说明了北方不发展难以达到减少区域足迹的效果。

2.2 中国的粮食安全

布朗在 1995 年提出谁来养活中国, 使中国的管理阶层都看到了粮食安全的重要性^[20]。中国的管理者意识到粮食安全问题, 分析粮食问题主要是人口众多, 加上因水资源短缺等问题引起适宜粮食生产的种植面积不够, 产量不高等原因造成。由于 1978 年中国政府已经实行了计划生育政策减缓人口增长速度, 因此新的措施对策集中在其他方面, 北方水不够则实施南水北调; 产量不高, 加快高产作物的研发, 1996 年至 2000 年间, 中国基因工程安全管理办公室批准了申请从事转基因作物研究的 353 份申请中的 251 项^[21]; 同时注意增加外汇储备, 以便紧急时可以通过进口粮食来减缓国内粮食的压力。这些政策的运用都是利用社会资源来减缓粮食短缺的影响。1998~2002 年的 5 年中有 4 年中国粮食总产量是下降的, 由 1998 年的 3.92 亿吨减少到现在的 3.22 亿吨, 粮食的减少量相当于加拿大一年的粮食产量, 但布朗先生这次惊呼的不是谁来养活中国, 而是惊呼中国会买光美国的粮食, 因为中国拥有的 3840 亿美元的外汇储备, 可以买光美国一年粮食总产量 8 次^[22, 23]。从中国粮食的例子中可知道粮食问题与社会问题之间的相互转化, 通过社会发展可以增加可调动的社会资源来缓解和适应粮食的短缺。

2.3 世界能源的消费—以石油消费为例

全球变暖主要是开发利用不可更新的化石能源过程中增加排放 CO_2 所致, 对不可更新资源的开发速率超过了地球的生态系统的吸收能力, 导致了全球变暖这个全球性的问题。考虑石油目前在能源消费中的主导地位, 2001 年世界能源消费中石油消费份额为 39%^[8], 而且对交通部门来说还没有发现有效的替代品。因此, 下面主要从石油消费利用的角度来阐述资源问题与社会问题之间的转化及社会资源在解决因不合理开发利用能源资源引起的全球性问题时的作用。

根据《国际能源展望 2004》预测, 世界上石油的消费将从 2001 年的每天 0.77×10^8 桶增加到 2025 年的每天 1.21×10^8 桶, 每年以 1.9% 的速度增加。同时关于世界石油贸易情况预测的结果表明大多数工业化国家都面临石油生产供给不足的问题, 都需要从石油储存丰富的地区波斯湾进口石油。从 2001 年到 2025 年, 北美从波斯湾每天进口的石油量从 2.9×10^4 桶增加到 5.8×10^4 桶, 西欧从 2.7×10^4 桶增加到 4.5×10^4 桶, 工业化的亚洲每天从 4.1×10^4 桶增加到 5.9×10^4 桶, 其中中国石油消费的增长是最迅速的, 需要从

0.9×10^4 桶增加到 5.7×10^4 桶^[8]。由于石油需求的增长，显然未来中国将卷入波斯湾石油的争端中。同时如果世界石油的生产量真如 Hubbert 曲线所预测的那样，将在 2003~2020 年间下降的话，因石油问题引起的社会冲突和紧张局势会提前和加剧^[24]，资源问题会转化成社会问题。显然需要采取有效的措施来预防发生社会冲突——战争是利用社会资源解决资源问题的极端形式，会引起冲突方经济、社会制度等的崩溃。而且战争通常只改变资源的分配，如果不改变当前的经济增长模式，战争并不能使人类回到可持续的尺度范围内。如何避免将来发生的因石油利用引起的战争或其他形式的社会冲突，这时候不能忽略人类所具有的另外一种功能——协调能力，需要管理者来协调。同时，如果当前的经济模式不能及时地转向依赖于可更新能源，简单的追求经济增长还会恶化全球的气候形式，是解决不了气候变暖——全球性公共问题的。经济增长由于是社会发展的一个主要成分，限制经济增长是一个复杂的政治、经济、环境和伦理问题，如何限制，限制多大的程度，这显然需要协调，已经有 119 个国家和欧共体签署的《京都议定书》就是一个很好的信号^[9]，全球性问题需要全球性的政策，因而需要加快国际政治制度的建设，通过协商牺牲一点经济增长使人类重新回到可持续性尺度范围内。

从上面的三个例子可以明显看出社会发展不仅对环境造成影响，而且社会发展本身除增加福利外，还增加了调动社会资源来减缓和适应环境的影响的能力。上面的三个例子同时也描绘了自然资源问题和社会资源问题之间的相互转化^[9]。调动社会资源来减缓或适应环境影响的能力是累积了自然资源足迹和人类创造的一种能力，显然对产生这些适应性对策措施的社会资源状态进行评价是环境影响评价不可缺少的一个组成部分，需要在新的集成影响评价中分开进行考虑。

3 新的可持续性评价框架：ImPACTS 等式

3.1 环境和发展

图 2 呈现了一个简单的两个国家环境与发展之间的关系略图，第一个特点是清晰地表明了可持续性评价所面临的三个重大问题：① 可持续性尺度问题，社会圈位于自然环境圈之内表明人类社会的发展不能撑破地球承载能力的限制范围，表明人类可持续发展的目标就是在环境可持续的尺度范围内最大限度地满足人类的需求；② 公平问题，国家 a 和国家 b 对资源和环境的占用分配情况（简单的用社会圈中国家 a 和 b 之间虚线所分割的面积大小表示，类似于生态足迹份额）涉及到公平性的问题；③ 效益问题，社会圈中的经济框部分清晰地表明了生产和消费的循环过程，显示经济增长就是为了最高效率的利用自然环境中的物质和能源，并尽量减少向环境中排放废弃物。

图 2 中的另一个特点是单列了社会资源框，并通过管理组分接受自然环境的反馈作用。这样处理是为了强调人类社会发展的最终目的是为了增加人类自己的福利，也就是社会发展或者增加可调用的社会资源的数量和质量，暗含社会资源（制度、技术、教育等）也是一种可以用来适应和缓解环境影响的资源。在社会圈内，经济系统用虚框表示，说明经济系统只是社会系统的一个子系统，是人类用来满足自己需求的手段。经济框和社会资源框之间的双向箭头和一些重叠的内容（如人口，富裕和技术等）表明社会资源在环境和发展关系中的双重属性：一方面，在经济增长的过程中社会发展造成环境影响；另一方面经济增长引起的社会资源的数量和质量增加和提高是提高人类福利状态的一个主要成分。为了更清晰地呈现决策过程，我们从社会资源中分出管理成分。在面对环境的反馈作用时，管理者通常是从社会发展和环境影响这两张图片及其相互作用中找到问题的根源，并从社会资源中找寻对策，前面的南水北调、北粮南运和中国的粮食安全问题的清晰的呈现了这一决策过程。由于提高福利水平都是各个国家的主要目标，因而图 2

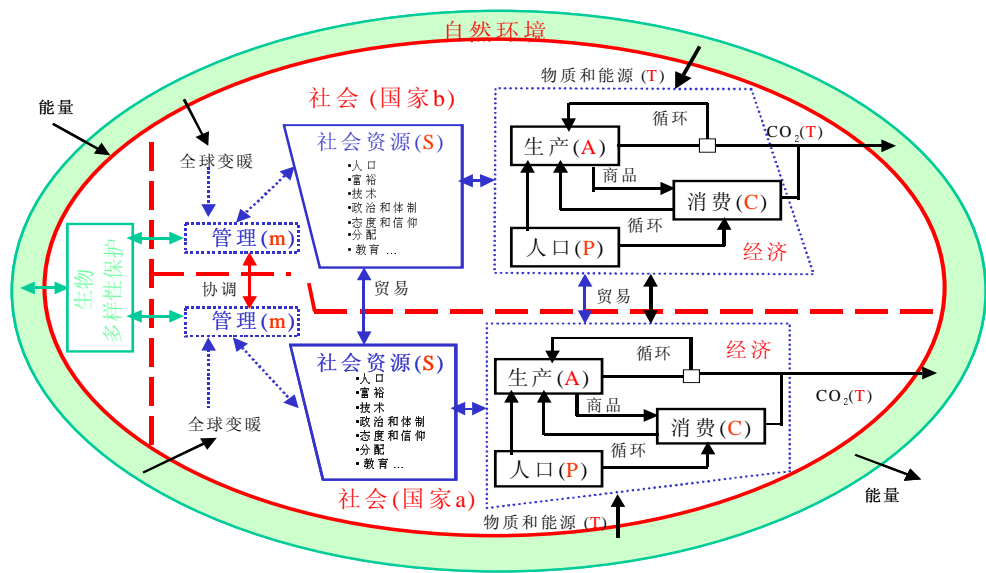


图2 环境与社会

Fig. 2 The environment and society

表1 以生态足迹分析、虚拟水、粮食问题和能源利用问题示例的 ImPACTS

Tab. 1 Symbols for ImPACTS model, exemplified by ecological footprints, virtual water, food safety and energy consumption

分类	符号	生态足迹 的量纲	虚拟水 的量纲	粮食问题 的量纲	能源利用问题 的量纲	备注
集成的影响	I	土地面积	虚拟水量	粮食产量	温室气体排放量	
管理	(m)	无量纲	无量纲	无量纲	无量纲	协调
人口	P	人口总数	人口总数	人口总数	人口总数	
富裕	A	人均GDP	人均GDP	人均GDP	人均GDP	提供了发展影响环境的一个清晰图片
利用强度	C	单位GDP资源 使用量	单位GDP资源 使用量	单位GDP的土 地使用量	单位GDP能源使用量	
技术效率	T	提供单位资源 所需要的土地 面积	单位资源的虚 拟水含量	单位土地面积 的粮食产量	单位能源使用的 温室气体排放量	
社会发展	S	无量纲	无量纲	无量纲	无量纲	引起环境问题和解决环境问题的源泉

注：示例中忽略了目前生态足迹分析框架中提及但没有考虑的废弃物吸收所需的土地面积。

中的两个国家需要竞争自己在全球市场的份额，以获得更多的有利于自己发展的条件。对全球变暖，生物多样性保护等全球性问题，由于还不清楚具体的物理影响机制，对应的国际政治制度《京都议定书》等才刚刚建立，目前还缺乏有效的途径来解决这类全球性问题。前面的世界石油消费的例子解释了有效的管理是当前解决这类问题的关键。

3.2 ImPACTS 等式的含义

可持续性评价的经典等式 IPAT 将人类的环境影响 (I) 分解成人口 (P)、富裕 (A) 和技术 (T) 三种驱动因素的联合影响^[23]，其中富裕通常用生产的 GDP 总量或收入来表示，这也是图 2 中生产部分用 A 表示的原因。Waggoner 和 Ausubel 等 (2002) 将 IPAT 等式革新成 ImPACT 等式，将环境影响 (Im) 进一步分解成人口 (P)，富裕 (A)、消费 (C) 和技术 (T) 的联合影响^[24]。IPAT 的追随者喜欢融入人类活动因素 (如人口、经济活动、技术、政治和经济制度、态度和信仰) 来分析环境影响的驱动力。这样的处理当然有利于理解环

境影响的决定因素^[26-28], 但是忽略了社会发展本身。重新检查生态足迹的分析与经典的 IPAT^[25]及其变种 ImPACT^[26]等式发现, 尽管生态足迹指标的建立者 Rees 说生态足迹的概念是来自颠倒承载力的概念 (承载力计算地球能养活多少人, 生态足迹计算地球上的人需要多少地球来维持自己的消费)^[3], 但生态足迹分析可以还原到经典的 IPAT 和 ImPACT 等式, 表 1 展示了如何将当前的生态足迹分析、虚拟水、粮食安全和能源利用问题还原到 ImPACT 等式。图 2 中经济过程部分也展示了基于 IPAT 或 ImPACT 的环境影响评价分析过程只是集中在人类实现自己发展目标的经济过程上。并没有哪个国家或个人有能力破坏环境, 人类的目标只是如何在环境的限制范围内生活得更好, 而且社会发展本身能产生一种适应和缓解环境影响的能力, 因而在可持续性评价研究中不能忽视对社会发展本身的评价。

基于上述分析和讨论, 当前的环境影响评价框架中忽略了社会发展本身, 及社会发展后调动社会资源缓解和减轻环境影响的能力。因此, 作者建议将熟悉的影响公式 IPAT 改为 ImPACTS, 保留 PACT 成分是由于 ImPACT 等式相比 IPAT 等式能更清晰的呈现了经济系统中生产和消费过程对环境的影响^[26]。新的等式中 S 代表社会发展, 也就是社会资源的整体状态, 对社会资源整体的状态评价也就是社会发展状况的评价。新的 ImPACTS 等式的显著特点是同时融入了环境和发展方面的考虑, 将社会发展影响环境和社会发展增加的福利及适应和缓解环境影响的能力分开进行考虑, 清晰地表明可持续发展的最终目标是使地球能更好地容纳环境和社会期望, I 因此有了新的含义, 可称之为集成的影响, 指环境和发展之间的损益比较。由于人类社会发展不仅增加人类的福利, 而且能提高适应和缓解环境影响的能力, 也就是 S 与 PACT 的关系不应该是乘, 而应该是除, 这也是 Budiansky 认为富裕应该与环境成反比的原因^[29]。同时在新的等式中还有一个 m, 我们赋予管理的含义给 m。由于其难以量化, 而且本身是社会资源的一部分, 因而是个小 m。单独将 m 列出的原因是强调理解环境和发展之间相互作用关系的重要性^[10]; 强调同时看到人类活动对环境的影响和社会发展这两张图片本身对解决环境问题的重要性^[30]; 强调人类的能动性一协调在解决通常的经济增长不能解决的超过可持续性尺度问题, 还有通常发展难以兼顾的生物多样性保护等问题时的重要性^[1, 10-11]。

3.3 ImPACTS 等式的政策含义

由于社会资源的含义本身比较广, 包括经济发展、教育、制度能力、性别平等诸多影响因素, 很难定量的评价社会资源的状态, 特别是其中管理的状态。这里基于当前生态足迹的研究结果, 先忽略管理, 简单地以人文发展指数来代表社会资源的发展状态, 用 ImPACTS 等式 ($I = PACT/S$) 测算了 1975~1999 年集成社会资源考虑的环境影响。为简化将 1975 年的世界生态足迹数据标准化为 1 个地球, 1975 年的 HDI 也标准化为 1。由于采用 HDI 代表社会资源的发展状况并不全面, 如收入分配不公平的改进, 教育质量的改进, 卫生医疗设施的增多等都反映了社会发展, 当前的 HDI 并不能反映这些改进^[31, 32], 所以将 HDI 乘以调整系数 1 和 1.2, 调整系数反映 HDI 单位变化与单位人类环境影响间相互损益的大小。当 HDI 下降时, 调整系数可以取一个小于 1 的数字, 反映发展效用的恶化。表 2 呈现了采用新 ImPACTS 等式的计算结果, 其中世界人文发展数据是利用《人文发展报告 2001》中的 HDI 数据 (序列齐全的共 97 个国家) 并以人口加权计算得到, 生态足迹的数据是直接采用 WWF 关于世界生态足迹研究上的序列数据^[2]。

人类要在可持续发展的道路上前进的话, 这种集成影响的时序值应该小于 1, 而且是呈现为一个下降的趋势。由于人文发展指数用来代表发展状况还有很多需要改进的地方, 加上调整系数的选取存在很大的不确定性, 最终的集成影响评价结果取决于人类的价值判断和人类与环境系统之间复杂的相互交互关系的认识程度。因此, 表 2 中集成影响评价 I_1 和集成影响评价 I_2 中数值只是具有象征意义。集成影响 I_1 的结果显示人类对地球的

表 2 采用 ImPACTS 公式的全球集成影响评价

Tab. 2 Integrated impacts of humanity on the planet by ImPACTS model

Index	1975	1980	1985	1990	1995	1999
世界人文发展指数 (97 个国家的样本)	0.56	0.59	0.62	0.64	0.67	0.69
标准化世界人文发展指数 (1975 = 1)	1.00	1.05	1.11	1.14	1.20	1.23
世界的生态足迹指数(地球的个数)	0.93	1.01	1.06	1.14	1.16	1.20
标准化生态足迹指数 (1975 = 1)	1.00	1.09	1.14	1.23	1.25	1.29
集成影响 (1)	1.00	1.03	1.03	1.07	1.04	1.05
集成影响 (2)	0.83	0.86	0.86	0.89	0.87	0.87

注：其中集成评价 1 调整系数取 1，集成评价 2 调整系数取 1.2。

影响超过了发展的效用，发展处于不可持续的状态。集成影响 I_2 显示发展的效用超过了人类对地球的影响。全球变暖的事实需要我们接受集成影响 I_1 的评价结果。尽管人类是在不可持续的道路上前进，但集成影响 I_1 先上升后下降的数据 (类似环境的 Kuznets 曲线) 特征表明人类正在朝可持续发展的方向前进。

值得注意的是对人类的环境影响和社会发展二者的损益比较结果驱动人类采取措施来和谐与环境的关系。如何让地球容纳环境和社会期望更好? (1) 显然首先需要回到地球的可持续性尺度范围内来谈这个问题。全球变暖的事实说明人类活动已经超过了地球的可持续性尺度 (也就是对 PACT 和 S 的损益分析结果大于 1)，从前面的分析来看，解决可持续性尺度的问题是新 ImPACTS 等式中 m 的任务; (2) 社会资源状态的引入强调了社会发展具有缓解和减轻人类环境影响的作用，在单纯的经济增长使人类超过了地球的可持续性尺度的时候，人类需要强调提高社会福利中的其他成分—如进行社会结构、政治体制的变化，改变态度和信仰，改善不平等性，提高教育、消灭贫困等。从经济成分转向发展的其他成分显然是新的等式中 S 的任务。

由于很难定量核算社会资源的状态，尤其是其中的管理要素，加上环境影响和社会发展之间的损益比较含有较多的人为影响因素，因此推荐的 ImPACTS 等式并不是一个正式的数学模型，而是一个概念框架，在这个框架中详细解析了环境和发展问题的交互作用。显然可以增强对环境问题的理解，并增加我们的对策集。如何定量的核算社会资源的状态，也就成为进一步研究需要解决的关键问题。

4 结语

(1) 在分析生态足迹与社会发展的关系的基础上，指出从资源利用效益的角度来看，发达国家的环境承载力在容纳环境和社会期望方面比发展中国家具有明显的优势。同时指出了生态足迹分析框架中忽略了对社会发展的考虑。与当前流行的减少生态足迹的观点不同的是，从社会发展的角度提出了增加足迹份额的观点。一个国家减少本国的生态足迹，也就是为了更多的占用全球生态足迹份额。同时指出从社会竞争的角度考虑，不可能存在人类需要 4 个多地球的情况。

(2) 由于社会发展 (增加和提高了可调用的社会资源的数量和质量) 不仅增加了福利，而且具有缓解和适应环境影响的作用，因此可持续性评价不能忽略对社会发展状况的评价。以中国的南水北调、北粮南运、中国的粮食安全和世界能源消费为例说明了资源环境问题与社会问题之间的相互转化关系。同时，中国的南水北调、北粮南运的案例说明，不发展难以达到减少生态足迹的目的；中国的粮食安全案例说明，通过发展可以增加调动社会资源的能力来缓解和适应环境的影响；世界能源消费的案例说明，管理 (社会资源的一部分) 是解决能源消费引起的社会问题及全球变暖这类全球性问题的关键。

(3) 在讨论环境与社会关系时，清晰地阐明了可持续性评价所面临的三个重要问题，

① 可持续性尺度; ② 公平问题; ③ 效益问题。在将生态足迹、虚拟水、粮食安全和能源消费利用问题还原到流行的环境影响评价公式 IPAT 的变种 ImPACT 等式之后, 融入社会发展的考虑提出了 ImPACTS 等式作为可持续性评价的框架, 其中新增加项 S 代表社会资源状态, I 变成了环境影响与社会发展之间的损益评价, 同时赋予 m 管理的含义, 用来强调人类采用协调的方式来解决超过可持续性尺度这一问题的重要性。同时结合实证的全局集成影响评价讨论了 ImPACTS 等式的政策含义, 新增项 m 直接针对可持续性尺度的问题, S 针对公平性等问题。最后指出定量的核算社会资源状态是可持续性评价工作下一步研究需要解决的关键问题。

致谢: 中国科学院信息情报中心的张志强研究员, 兰州大学的伍光和教授阅读过原稿, 并提出了建设性的修改意见。在此一并致谢!

参考文献 (References)

- [1] Wackernagel M, Schulz N B, Deuming D et al. Tracking the ecological overshoot of the human economy. Proc. Natl. Acad. Sci., 2002, USA 99: 9266-9271.
- [2] Worldwide Fund for Nature (WWF). Living Planet Report 2002. <http://www.wwf-uk.org/filelibrary/pdf/livingplanet2002.pdf> (accessed 2004)
- [3] Wilson E O. The Future of Life. New York: Alfred A. Knopf. 2002
- [4] Rees W E. Footprint: our impact on Earth is getting heavier. Nature, 2002, 420: 267-268.
- [5] Xu Zhongmin, Zhang Zhiqiang, Cheng Guodong. The calculation and analysis of ecological footprints of Gansu Province. Acta Geographica Sinica, 2000, 55(5): 607-616. [徐中民, 张志强, 程国栋. 甘肃省 1998 年生态足迹计算与分析. 地理学报, 2000, 55(5): 607-616.]
- [6] Rees W E. A bolt on the land. Nature, 2003, 421: 898.
- [7] United Nations Development Programme (UNDP). Human Development Reports 2001, 2002.
- [8] Energy Information Administration. International Energy Outlook 2004. 2004-5-31
- [9] Daly H E, Farley J. Ecological Economics: Principles and Applications. Washington: Island Press, 2004.
- [10] Costanza R, Jorgensen S E. Understanding and Solving Environmental Problems in the 21st Century: Toward a New, Integrated Hard Problem Science. Netherlands, Amsterdam: Elsevier, 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. 郑州: 黄河水利出版社, 2004]
- [11] Todaro M P, Smith S C. Economic Development. 8th edn. New York: Addison Wesley, 2003.
- [12] Goklany I M, Trewavas A. How technology can reduce our impact on the Earth. Nature, 2003, 423: 115
- [13] Pan J Z, Zhang Z Z (eds.). Allocation of Water Resources in Northern China and South-to-North Water Transfer Project. Beijing: China Hydraulic and Hydropower Press, 2001. [潘家铮, 张泽祯 主编. 中国北方地区水资源合理配置和南水北调问题. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.]
- [14] Chen Z K. Water resources in China and the water crisis in northern China. In: The Best Lectures Given at Peking University. Beijing: Peking University Press, 2003. [陈志凯. 中国水资源与华北水危机. 北大最佳讲座. 北京: 北京大学出版社, 2003.]
- [15] Brown L R. Worsening water shortages threaten China's Food security. 2001. http://www.earth-policy.org/Updates/Update1_printable.htm (accessed 2004)
- [16] Hofwegen P V. Virtual water trade--conscious choice, 2004. http://www.worldwatercouncil.org/virtual_water/documents/virtual_water_final_synthesis.pdf (accessed 2004)
- [17] Cheng Guodong. Virtual water: a strategic instrument to achieve water security. Bulletin of Chinese Academy of Science, 2003, (4): 260-265. [程国栋. 虚拟水 - 中国水资源安全战略的新思路. 中国科学院院刊, 2003, (4): 260-265]
- [18] Xu Zhongmin, Long Aihua, Zhang Zhiqiang. Virtual water consumption calculation and analysis of Gansu province in 2000. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(6): 861-869. [徐中民, 龙爱华, 张志强. 虚拟水的理论方法及在甘肃省的应用. 2003, 58(6): 861-869.]
- [19] Xu Zhongmin, Long Aihua. The primary study on assessing social water scarcity in China. Acta Geographica Sinica, 2004, 59(6): 982-988. [徐中民, 龙爱华. 中国社会化水资源稀缺评价. 地理学报, 2004, 59(6): 982-988.]
- [20] Brown L R. Who Will Feed China: Wake up Call for a Small Planet. New York: W W Norton & Company, 1995.
- [21] Jikun Huang, Carl Pray, Scott Rozelle. Enhancing the crops to feed the poor. Nature, 2002, 418: 678-684.

- [22] Brown L R. Wakeup call on the food front, 2003. <http://www.earth-policy.org/Updates/Update31.htm> (accessed 2004)
- [23] Brown L R. China's shrinking grain harvest: how its growing grain imports will affect world food prizes, 2004. <http://www.earth-policy.org/Updates/Update36.htm> (accessed 2004)
- [24] Campbell C J, Laherrere J H. The end of cheap oil. *Scientific American*, 1998, March: 78-83.
- [25] Daily G C, Ehrlich P. Population, sustainability and Earth's carrying capacity. *Bioscience*, 1992, 42: 761-771.
- [26] Waggoner P R, Ausubel J H. A framework for sustainability science: a renovated IPAT identity. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 2002, USA 99: 7860-7865.
- [27] Dietz T, Rosa E A. Effects of population and affluence on CO₂ emissions. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 1997, USA, 94: 175-179.
- [28] York R, Rose E A, Dietz T. Bridging environmental science with environmental policy: plasticity of population, affluence, and technology. *Social Science Quarterly*, 2002, 83(1): 18-34.
- [29] Budiansky S. How affluence could be good for the environment. *Nature*, 2002, 416: 581.
- [30] Xu Zhongmin, Zhang Zhiqiang, Cheng Guodong. *Theory, Method and Application of Ecological Economics*. Zhengzhou: Yellow River Conservancy Press, 2003. [徐中民, 张志强, 程国栋. *生态经济学理论方法与应用*. 郑州: 黄河水利出版社, 2003.]
- [31] United Nations Development Programme (UNDP). *Human Development Reports 2003, 2004*.
- [32] Heckman J J, Krueger A B. *Inequality in America*. Cambridge: The MIT Press, 2003.

ImpACTS Identity of Sustainability Assessment

XU Zhongmin¹, CHENG Guodong¹, QIU GuoYu²

(1. *Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China;*

2. *Chinese Center for Desert Research, College of Resources Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*)

Abstract: Based on formal ImpACT identity which describes environmental impacts (Im) as a function of population (P), affluence (A), intensity use (C) and efficiency (T), a new "ImpACTS" identity as a framework for sustainability science was produced, where S denote the level of social resources, m is assigned to management and I is changed from formal environmental impacts to the trade-off between environmental impacts and development. Finally, we demonstrate the utility of ImpACTS by performing an empirical analysis of our integrated impacts assessment on the Earth by using existing data of Ecological footprint and Human development index. In an attempt to analyse the relationship between ecological footprint and social development using existing data, developed countries showed a great advantage over developing countries in terms of energy resource use efficiency due to their social and technological development. Global warming shows that humanity has gone beyond the sustainable scale of the Earth. We thus suggest that every country should increase its global share of ecological footprints within the sustainable scale of the Earth, rather than simply decrease its ecological footprints. The reason why current analysis contradicts the conventional ecological footprint analysis is that ecological footprint's concept simply considers the land embodied in goods and attributes a high ecological footprint value to high-income countries, and effects of trade on social development and in turn on the environment have not been considered. The ecological footprint analysis ignores the effects of development mainly in the stock of social resources on environment. The critical point in sustainable development is to harmonize environment and development. Examples from water shortage in northern China and China's food security and world energy consumption show that managing and mobilizing social resources should be considered as an alternative to mitigating human impacts on the environment and adapting to these impacts.

Key words: ImpACTS identity; social development; environmental impacts; ecological footprint; ImpACT identity