



Research
Environmental Protection—Article

超越目标 6.3：以一种系统分析方法来重新审视资源匮乏世界中的可持续发展目标

Qiong Zhang^a, Christine Prouty^a, Julie B. Zimmerman^b, James R. Mihelcic^{a,*}

^a University of South Florida, Tampa, FL 33620, USA

^b Yale University, New Haven, CT 06520, USA

ARTICLE INFO

Article history:

Received 22 May 2016

Revised 5 September 2016

Accepted 4 November 2016

Available online 12 December 2016

关键词

系统思考

卫生设施

环境保护

性别

资源回收

因果关系图

可持续性

摘要

《2030年可持续发展议程》概述了17个独立的可持续发展目标(SDGs),用于指导世界范围内包括工程、科研、政策和发展在内的大量专业学科的实践。SDGs致力于减少贫困、饥饿和疾病,同时致力于改善性别歧视、环境恶化以及水和卫生设施匮乏的现状。但是,如果我们采取传统的简化方法研究和优化其中的单一目标,很可能由于在实现其他目标时带来的意外后果,而导致在技术、政策或管理层面的失败。本研究采用系统分析方法研究SDGs之间的动态机理,识别个体目标之间的协同或拮抗作用,构建了一个概念系统模型来说明SDGs之间的因果联系,利用了通用系统基模来检验系统结构,确定了杠杆节点来有效控制系统中的预期变化并最小化非预期变化。SDGs之间相互作用的结构反映了系统行为的三种基模:强化成长、成长上限和成长与投资不足。由概念模型确定的杠杆节点包括:性别平等、水和卫生设施的可持续管理、可替代资源、可持续生活标准和全球伙伴关系。这种对SDGs的概念系统分析能够加深发展社区对资源管理、环境可持续发展和气候变化相关项目带来的潜在协同效应的理解。通过把项目间的影响和反馈与经济收益、妇女平权和教育平等联系起来,利益相关者可以意识到可从整体上改善全球众多贫困群体的生活质量。

© 2016 THE AUTHORS. Published by Elsevier LTD on behalf of Chinese Academy of Engineering and Higher Education Press Limited Company. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. 引言

1987年,联合国(UN)发布了《我们共同的未来》这一报告[1]。该报告将可持续发展定义为“既满足当代人发展的需求,又不损害后代人满足其需求的能力”。2000年,世界各国领导人通过建立千年发展目标(MDGs)重申了可持续发展的原则。在过去的15年中,国际社会在MDGs的指导下为减少贫困、饥饿、疾病和性别歧视,改善环境恶化以及水和卫生设施匮乏的现状做出了共同努力[2]。迄今为止,MDGs已取得了巨大进

展,例如:95个国家于2015年实现了改善环境卫生的具体目标;147个国家于2015年实现了改善饮用水的具体目标[3]。然而,许多问题仍待解决,例如:9.46亿人仍在露天环境下大小便;24亿人仍无法获取改良的卫生设施;6.63亿人仍无法获取改良的饮用水源;15亿人仍使用原始的、未经任何处理的污水收集系统[3,4]。2015年9月25日,联合国通过了《2030年可持续发展议程》[5],以取代在2015年底到期的MDGs。与MDGs类似,《2030年可持续发展议程》也包含明确的目标,这些目标被分为17个可持续发展目标(SDGs)(表1)。

* Corresponding author.

E-mail address: jm41@usf.edu

与环境保护相关的一个重要的SDG是SDG 6, 即“为所有人提供清洁饮水和卫生设施并对其进行可持续管理”[5]。作为这一目标的子目标, 目标6.2旨在于2030年为所有人提供充足而公平的卫生设施, 而目标6.3则致力于在全球范围内通过减少污染物排放、降低未经处理的废水比例以及增加回收和安全再利用的方式改善水质。如果想要实现更加可持续的环境保护, 做到“人类对自然资源的利用不会由于损害未来经济发展机会或对社会、健康和环境产生负面影响而导致生活水平的降低”, 就必须将改进卫生设施和改善水质与资源回收相结合。例如: 一大部分全球总可利用的磷(约 3.4×10^6 t)存在于发展中地区(亚洲和撒哈拉沙漠以南的非洲)的人类排泄物中, 这些地区具有相当多的人口且卫生设施亟待改进[7]。通过集成资源回收系统以可持续的方式可以向这些地区的人提供卫生设施。这种系统能够从人类排泄物中回收磷、氮、能源和其他资源, 抵消基于化石燃料生产这些可解决其他发展目标(如食物短缺等)的资源时所带来的环境影响。

以可持续的方式改善卫生设施和实现环境保护(目标6.2和6.3)同样可以对其他SDGs及其子目标的实现产生积极影响。例如: 通过建立适当的基于卫生设施的资源回收系统[8] (目标6.2和6.3)可以同时实现目标2.4, 即通过利用有助于维护生态系统的弹性农业来提高粮食产量和产率, 进而提高食品安全; 目标12.2, 即实现自然

资源的可持续管理和高效利用; 和目标12.5, 即通过预防、减量、回收和再利用等系列措施减少废物产量。在公立学校建立卫生设施系统是各种SDGs及其子目标具备多方关联性的典型例证, 因为它能够实现SDG 4中的目标4.5, 即提高女童受教育程度以消除性别歧视[9]; 和目标4.7a, 即确保安全、平等地获得对性别敏感的学习环境[10]。此外, 实现教育设置的公平性还可以推动SDG 5 (妇女平权)的实现[10]。

遗憾的是, 在大多数发展议程中, 实现与水质和卫生设施相关的目标(SDGs中的目标6.2和目标6.3)的方法都是简化方法, 即针对单一目标进行区分和优化。简化方法将庞大复杂的系统拆分成部分, 并假定这些孤立部分的总和仍然能够描述整个系统。它的主要优点是将复杂系统拆分后的组成部分更加便于研究[11]。在本研究中, 我们称简化方法为“典型的”或“传统的”方法, 因为它已经长期被用于简化工程和科学等学科的问题, 并且自工业革命以来, 在物理和化学的基础释义方面一直占据主导地位[11,12]。在国际发展领域, 包括联合国在内的诸多国际组织仍然采用简化方法将所构建的共同价值转化为特定目标, 并且进一步转化为一系列可量化的目标, 如MDGs或SDGs [13,14]。但是, 就其本身而言, 简化方法不是可持续发展领域研究的最佳手段, 因为它没有把诸多SDGs间内在的联系与反馈考虑在内, 可能会由于意外后果而导致在技术、政策或管理层面上的失

表1 17个可持续发展目标(SDGs)

No.	SDGs
1	End poverty in all its forms everywhere
2	End hunger, achieve food security and improved nutrition and promote sustainable agriculture
3	Ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages
4	Ensure inclusive and equitable quality education and promote lifelong learning opportunities for all
5	Achieve gender equality and empower all women and girls
6	Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all
7	Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all
8	Promote sustained, inclusive and sustainable economic growth, full and productive employment and decent work for all
9	Build resilient infrastructure, promote inclusive and sustainable industrialization and foster innovation
10	Reduce inequality within and among countries
11	Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable
12	Ensure sustainable consumption and production patterns
13	Take urgent action to combat climate change and its impacts
14	Conserve and sustainably use the oceans, seas and marine resources for sustainable development
15	Protect, restore and promote sustainable use of terrestrial ecosystems, sustainably manage forests, combat desertification, and halt and reverse land degradation and halt biodiversity loss
16	Promote peaceful and inclusive societies for sustainable development, provide access to justice for all and build effective, accountable and inclusive institutions at all levels
17	Strengthen the means of implementation and revitalize the Global Partnership For Sustainable Development

败[15]。理解系统各部分间的关键联系需要系统思考,即一种考虑整个系统的方法,特别是要思考它各部分间的相互作用方式,而不是把系统仅仅视为许多孤立部分的集合[12]。

因此,本文的目的是利用一种系统的方法来说明和理解各个SDG间的基础动态、联系及反馈。一旦确定了系统内部的因果关系,就可以使用系统基模来调整系统的整体结构,从而找出能够对系统产生有效影响的杠杆节点。杠杆节点的识别对于SDGs尤其重要,因为这个全新的发展议程无疑将在今后的数十年里推动世界范围内工程实践、基础研究、政策和发展领域的前进与革新[16]。然而,解决杠杆节点识别的问题需要理解权力动态(如不平等的权力平衡和政治意愿缺失)和系统异质性(如地缘政治失衡以及技术实施和运行的社会文化环境),而这些不属于本研究的范畴。

2. 研究方法

本研究利用因果关系图来构建概念系统模型,该图是系统思考中基于其基础关系联系各因素的工具。图1(a)阐明了整体方法论所涉及的全部步骤。

步骤1描述了一个概念模型(即因果关系图)。在该模型中,箭头连接了每个SDG,并在必要时标明了中间因素(图1(c)和1(d)中的斜体文本)。增加中间因素以避免不足的或间接的联系,从而使模型更加清晰。必须指出的是,本研究中使用的中间因素具有一定程度的主观性,但合理引用的文献可定义并支撑其使用。因素之间的联系由正号或负号标注,从而指明变化是同向或反向发生。例如:两因素间标有正号意味着箭头尾部因素的增加会带动箭头头部因素的增加,而标有负号的情况正好相反。

在步骤2中,步骤1创建的概念模型被用来与现有的系统基模相比较,从而确定概念模型中所应用的系统基模。系统基模是通用结构,用以描述自然、商业和政治系统中产生的不同种类的且被良好描述的行为趋势[12,17]。认识和识别系统基模非常重要,其结构可作为帮助建模者发现缺失或者未定义链接的参考。因此,系统结构(即因素、相互作用、反馈和延迟关系网)决定了系统行为,该行为随着时间推移由系统性能表现出来。例如:增强环路(图1(b)),有时也称为强化成长,是最基本的系统基模之一。当系统性能发生变化时,成长的行为受到刺激(正号),从而在同一方向上(正号)进一步改变系统性能。这种关系的结构导致系统性能呈现指数

增长或衰减。只包含增强环路的系统会不可避免地经历恶性循环,并最终崩溃。另一种基模,被称为“饮鸩止渴”,包含一个调节环路和一个增强环路。在调节环路中,当某个问题愈发明显时,能够暂缓该问题的“修复”措施便会启动;然而,从长远来看,由于增强环路中因“修复”措施产生的意外后果,该问题会更加恶化。

系统基模既可以指导建模者构造系统结构、整理实测形态,也可用来识别那些可以通过解决系统行为的根源来有效实现期望系统性能的杠杆节点。以之前所提到的“饮鸩止渴”基模为例,正是“修复”措施的本质属性导致了反常的行为(如由于意外后果的延迟出现,问题不断恶化)。在此基模中,“修复”措施的性质决定了它只能缓解问题,而不是通过查找根源的方式从制度或结构上彻底解决问题。因此,提高系统性能的有效策略应该是采用双重方案:既致力于解决短期问题,又制定出可以解决根本性问题的长期策略[17]。

这种比较结果也被用来作为迭代过程指导概念模型的细化(步骤3)。当模型中的关系与现有知识(文学、逻辑和建模者的经验)相匹配,并且符合系统基模的结构时,该概念模型即为最终的优化模型。

3. 结果与讨论

图1(c)描述了最终的概念系统模型,阐明了17个SDGs间的因果联系。该模型首创性地展示了各项SDG间直接或间接的联系以及潜在的积极或消极影响。例如:促进国家内部和国家之间的关系平等(目标10)将直接推动和平包容的可持续发展社会的建立(目标16)(此为直接的积极联系);实现粮食安全和改善膳食营养(目标2)将减少营养不良现象,从而实现健康生活、创造宜居环境(目标3)(此为间接的积极联系)。这种理解方式可以帮助发展社区中的利益相关者及他人通过个体目标的广泛联系网络深入了解实现此个体目标所造成的潜在影响。特别地,该模型有助于确定能产生积极、协同和高效变化的杠杆节点,而这正是发展工作应当集中的方向。

当用已知的系统基模分析概念模型时,有三种指导系统行为的基模:①强化成长;②成长上限;③成长与投资不足。图1(d)-3展示了概念模型各部分与三种已确定的基模间的关系。为了更好地理解概念模型,我们将首先讨论三种已确定的基模,随后讨论总体概念模型,最后再探讨SDGs间的联系,找出杠杆节点,给出影响系统变化的策略。

3.1. 强化成长

如图1(d)所示, 通过概念模型确认的系统基模之一是强化成长。这种基模的预期行为是系统性能随着时间推移呈指数增长[18]。本节讨论图1(d)中所示的三个增强环路。我们同时考虑增强环路1 (R1)和增强环路2 (R2), 因为它们共同形成具有弹性的水和卫生设施环路; 而增强环路3 (R3)则形成了可靠的能源基础设施环路。

3.1.1. 增强环路 (R1 和 R2): 具有弹性的水和卫生设施

如图1(d)所示, 建造具有弹性的基础设施(如目标9所示)将改善水及卫生设施的可得性(目标6), 从而可以增加学校招生, 特别是提高女童的入学率(目标4)。因为当卫生设施数量足够且男女分离时, 女童更可能上学[10]。此外, 如果让女性参与到工程的设计和施工中, 她们会更加愿意去使用并维护基础设施系统[19]。在大多数发展中国家, 女性的传统职能是持家、下厨和采水, 因此女性也应该投身于那些能够保护健康和环境的社区基础设施的设计和管理决策中[20]。提升水的可得性可以减少收集水时所需要的时间和劳动力, 从而能更有效地开展教育和创收活动[21–26]。此外, 改善水和卫生设施的可得性还能通过减少水生病菌来实现健康生活(目标3), 实现性别平等和妇女平权(目标5)[27]。此外, 当妇女(和儿童)被迫离开自己家去处置粪便时, 她们更可能遭到骚扰和袭击。达到这些与健康相关的水和卫生设施目标可推动妇女平权和安全, 建设包容可靠的城市(目标11)。如果人们居住在包容、安全、具有弹性和可持续性的城市之中, 他们将住得更舒适并且乐于为城市的局部贸易而投资, 从而提升社区容量, 促进经济增长(目标8), 进一步投资建造具有弹性的基础设施(目标9)[28]。

3.1.2. 增强环路 (R3): 可靠的能源基础设施

对图1(d)的进一步研究显示, 建造具有弹性的基础设施(目标9)也能提高能源基础设施的可得性(目标7)。这可以为医学诊所提供持续的能源, 扩展为孕妇提供的医疗服务, 并由此确保母婴健康。医疗项目也可以汇集由医务人员、教育工作者和工程师组成的多学科团队, 从而在资深医护人员的帮助下提高新生儿存活率, 进而实现健康生活(目标3)[29]。更加健康的母亲将在性别平等(目标5)方面更具权力, 最终也会更多地参与到有助于经济增长(目标8)的创收活动中。

3.1.3. 强化成长的杠杆节点

为了推动持久、包容、可持续的经济增长和建造具有弹性的基础设施(分别为目标8、目标9), 分析表明目标5(实现性别平等和妇女平权)和目标6(为所有人提供水和卫生设施并对其进行可持续管理)应该作为杠杆节点。此建议的根据为目标5与三个增强环路均有联系, 目标6在图1(d)的R1、R2中均有所涉及。实现性别平等和妇女平权的策略之一就是培养积极的利益相关者的参与度, 尤其是与水和卫生设施相关的项目。由于项目的可持续性受到当地观念的影响, 利益相关者的参与体现了以社区为基础的贯穿整个项目周期的社会参与的重要性[30–32]。利益相关者的具体参与方式包括: 公开演讲, 针对个体区域的重点研究组织, 社区参与决策。

发展中国家的许多水和卫生设施项目由国际捐助者及发展机构建造。一旦建造完成, 所有权和管理责任就转移给社区本身, 这个过程被称为“社区管理模式”[33–35]。对于管理这些系统来说, 扩大社区容量, 特别女性的容量, 至关重要。否则, 这些系统会出现拖欠高额税率、缺乏维护管理等问题, 并最终失败[36,37]。在资源稀缺国家, 由于地区决策者会慎重权衡投入于各类项目的有限资金, 这些杠杆节点有助于确定对可持续发展有价值的投资。

3.2. 成长上限

图2显示了本研究中与SDGs相关的成长上限基模。该基模包括一个调节环路和一个增强环路, 随着时间推移, 这两个环路会对系统性能产生相反的影响。例如: 增强环路会产生连续增长, 从而持续改善系统的性能。而调节环路会在一定限制条件的约束下降低改善速率。在成长上限基模下某个系统运行的可预期行为通常是一个有界限的S型增长曲线[18]。

3.2.1. 调节环路: 自然资源枯竭

在图2的调节环路中, 经济增长(目标8)需要自然资源, 因此可能导致自然资源的过度消耗并最终枯竭。随着可用资源的减少, 资源枯竭现象日益频繁, 可用于经济发展的资源量随之减少, 经济增长速度也随之降低。可持续的消费模式(目标12)可以减缓自然资源的枯竭速度。目标12的子目标试图改善资源利用的效率, 在产品的生命周期内减少废物的产生。绿色工程的原则之一是最大限度地提高材料和能源的利用率[38], 这样既可以

节约资源又可以减少废物的产生。随着废物的减少，处理和处置工艺可被简化，从而可降低所需的自然资源和财政资金。通过从污染治理向污染预防的转变，工程社区通过图2所示的间接联系为实现目标12和目标8做出贡献。

3.2.2. 增强环路：资源节约

随着自然资源不断被消耗，对节约和可持续利用海洋资源(目标14)以及保护、恢复和可持续性地利用陆地生态系统(目标15)的需求有所增加，推动了资源保护项目的实施，扭转了资源枯竭的状况。这些项目将增加可供发展的资源，并推动经济持续增长(目标8)。另一方面，女性通常会更加积极地参与到各种保护环境的项目之中[19,27]。因此，这些项目可以实现性别平等和妇女平权(目标5)，增加局部贸易的社区容量，推动经济增长(目标8) [39]。

3.2.3. 成长上限的杠杆节点

对于成长上限基模，杠杆节点的作用是去除限制条件，有时也被称为“消除瓶颈”。在这种情况下，限制条件是可用的资源(图2)。处理这种杠杆节点的策略之一是通过把可再生资源和本地可得资源合并来增加可用资源。具体地说，就是利用符合地理特点的废水资源回收系统来增加可用资源，因为这种系统可以在不占用原始资源的前提下提供水、能源和营养物质的替代资源。推动技术创新以在处理人类产生的废水的同时回收包括水、能源和营养物质在内的资源[8,40-43]。将再生水用于农业灌溉是在全球范围内实施的一项策略，世界上有 $2.0 \times 10^5 - 4.5 \times 10^5 \text{ km}^2$ 的土地采用了再生

水灌溉[16]。废水中还含有人类排泄物和食物中包含的丰富的氮、磷资源[7,44]。发展区域中被农业区包围的小型城市为废水中水和营养物质的回收提供了很好的机会[44]。在能源方面，美国典型城市污水含有的能量约为每立方米1.74-1.93 kW·h或每千加仑0.45-0.50 kW·h(假设化学需氧量COD为 $500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) [45,46]；该数值比报道中用传统方法处理的污水的能量消耗值(每立方米0.3-0.6 kW·h)高数倍 [47,48]。因此，通过采用现场发电技术[46,49]和基于光合作用的净化技术[44]，城市污水的处理过程可能实现能量中性，甚至产生能量。

3.3. 成长与投资不足

成长与投资不足基模(图3)也包含成长上限基模中的调节环路(图2)和强化成长基模中的增强环路(图1(d))。然而，除了这些，这一基模还包含一个额外的调节环路(B2)。

图3中这一额外的调节环路(B2)代表着系统的性能测量，可降低投资的感受性需求。相反地，这种感受性需求也会推动着对系统容量的投资。系统容量投资的增加体现在实际容量增长上的滞后，最终体现在系统性能增加上的滞后。因此，最终结果是系统的改进将经历一个从时间滞后，到适度增长，再到最终平台的过程。

3.3.1. 调节环路：需求、投资、社区容量与经济

在图3中，经济增长和性能标准推动着投资可持续发展的感受性需求。感受性需求因此推动了为局部贸易而进行的社区容量投资。随着容量投资的增长，实际社区容量增长滞后，最终导致经济和就业增长(目标8)的滞后。图中所示的分叉的调节环路和增强环路反映了成

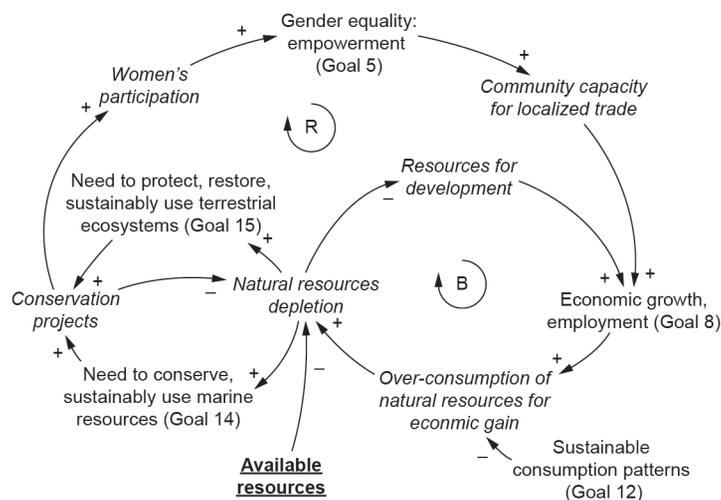


图2. 概念模型中识别的与SDGs相关的成长上限基模。SDGs之间的中间因素用斜体表示，杠杆节点用加粗且加下划线表示。正负号分别代表增强性和平衡性因果关系。R指代增强环路，B指代调节环路。

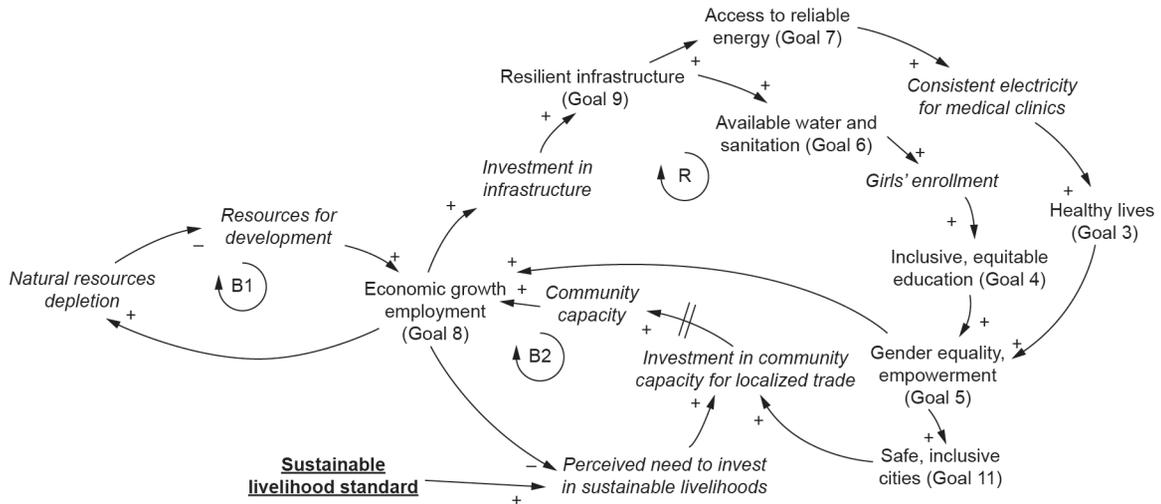


图3. 概念模型中识别的与SDGs相关的成长与投资不足基模。SDGs之间的中间因素用斜体表示，杠杆节点用加粗且加下划线表示。正负号分别代表增强性和平衡性因果关系。R指代增强环路，B指代调节环路。双线代表一个因素作用于另一个因素的时间滞后效应。

长上限所涉及的相同的行为模式；然而，在这个基模中，系统外部性能标准的存在是提供影响系统变化机会的杠杆节点。可持续生活表现标准包括经济、健康、社会和环境方面的生活改善。如果没有这种外在的性能标准，额外的调节环路最终会完全减少人们对社区容量投资的感受性需求，从而使生活水平的提升处于平台阶段。

3.3.2. 应对成长与投资不足的策略

成长与投资不足基模的杠杆节点是外在标准，在这种情况下即为可持续生活标准。处理此杠杆节点的潜在策略是使社区成员更多地暴露于其他社区已体验过的收益中，并通过可负担的培训课程或多媒体宣传使他们熟悉其他社区对可持续生活的成功适应。此外，使社区建立起他们自己对于严格标准的意义的观念，也有利于该策略。

3.4. 总体概念系统模型

本研究对三种系统基模的讨论为前文总体概念模型(图1(c))中SDGs间的大多数联系提供了详细的说明。图1(c)中额外的联系和杠杆节点将在后文讨论。

3.4.1. 额外的联系

图1(c)中的几个额外的联系值得讨论。自然资源枯竭不仅会减少发展所需的资源，而且会减少当前通过吸收和贮存全球碳排放量作为碳汇的海陆资源。因此，以阻止资源枯竭为目的的发展项目(如资源保护或恢复等项目)也会提高社会抗击气候变化及其影响的能力(目标

13)。如此，将会带来更多具有气候变化弹性的当地农业和水产养殖业的的活动，推进其他SDGs的实现，如保障食品安全(目标2)；减少营养不良和实现健康生活(目标3)。更多农、林、渔业的生产管理将带来更多的就业机会(目标8)，这些就业目前已经占据了全球大约一半的工作岗位[50,51]。此外，如果想要减少全世界的自然资源消耗，采用可持续的消费模式(目标12)至关重要。IPAT方程可以通过阐明人口(P)、富裕程度(A)、技术(T)等因素对环境造成影响(I)的方式，来解释可持续消费模式的重要性。虽然环境影响不能由人口、富裕程度、技术等因素通过简单叠加的方式决定，并且关于使用IPAT方程的争论从未停止[53,54]，该方程还是能概念性的表明：尽管工程师们试图逐步提高特定环保技术(T)的性能与效益，但如果消费模式(A)不发生改变，环境影响(I)将不可避免地随着人口增长(P)而放大。可持续的经济增长(目标8)可通过目标10(国家内部和国家之间的平等)的进步促进目标1(消除贫困)和目标16(和平、公正、负责的社会)的实现。目标5(实现性别平等和妇女平权)和目标11(安全、包容性的城市)也将有助于实现目标16(和平、公正、负责的社会)。

3.4.2. 额外的杠杆节点

正如在这里和之前章节中讨论的那样，保护项目的改变(如海洋和陆地资源的恢复)以及设计和建造有弹性的基础设施将导致几个反馈环路的变化。目标17(以可持续发展为目标的全球伙伴关系)的实现有利于资源保护和当地基础设施方面(如水和卫生设施)的投资。因此，解决目标17的策略将成为推动SDGs的另一个杠杆节点。

该杠杆节点可通过游说全球金融机构或地区贷款机构获取财政资源来实现。然而，正如前文所讨论的，通过关注女性权利的利益相关者参与构建社区容量，是实现发展项目长远成功的关键。

4. 结论

本研究采用系统分析方法研究了17个SDGs之间的联系，构建了一个将所有SDGs整合在一起的因果系统图，并通过结构分析得出了三个主要的系统基模：强化成长、成长上限和成长与投资不足。这些基模指导了SDGs的总体变化。依据性别平等、水和卫生设施的可持续管理、包含废物资源化的资源管理的新视角、可持续生活标准和全球伙伴关系，确定了杠杆节点。这种SDGs的概念系统分析会影响环境保护、资源管理、环境可持续发展和气候变化，并且会显著改善世界贫困人口的生活质量。

因此，有必要认识到与SDGs保持一致的解决方案的广泛影响，以及把这些解决方案放置在更大的体系中的重要性。这一点对于工程界尤其重要，因为工程师常常参与SDGs相关的各种工程，并且可能会在没有考虑大背景的情况下执行解决方案，最终导致工程失败。尤其在发展中国家，工程师们还必须理解妇女在实施与环境有关的工程中扮演的关键角色。对SDGs间互动和反馈的认识应当推动跨学科合作，促使发展专业人员认识到利用他们的知识和技能去实施影响(直接或间接)多个SDGs解决方案的能量及潜力。这样的拓展任务为设计出既有利于经济发展，又可大幅度改善自然环境和人类生活的新一代解决方案提供了额外的创新空间。该任务还通过允许工程群体在改善由于意外后果导致不可持续工程的业绩记录时正确地声明自身的贡献超过了狭隘观念中的工程挑战拓宽了“工程成功”的定义。此外，认识到环境可持续性与所有其他挑战之间的联系增强了对跨学科和多学科工作的需求。同样，认识到发展社区是所有SDGs解决方案的关键和紧迫部分，可为其扩展在全球可持续发展论坛中的地位以及增加资金用于支持不局限于SDGs的目标6和目标6.3的努力提供充分的理由，并且，发展社区可以从中受益。

致谢

本文基于由自然科学基金(1243510)资助的研究工作。

Compliance with ethics guidelines

Qiong Zhang, Christine Prouty, Julie B. Zimmerman, and James R. Mihelcic declare that they have no conflict of interest or financial conflicts to disclose.

References

- [1] WCED. *The world commission on environment and development: our common future*. New York: Oxford University Press; 1987.
- [2] Mihelcic JR, Zimmerman JB. *Environmental engineering: fundamentals, sustainability, design*. 1st ed. New York: John Wiley & Sons, Inc.; 2010.
- [3] UNDP. *The Millennium Development Goals report*. New York: United Nations Development Programme; 2015.
- [4] Baum R, Luh J, Bartram J. Sanitation: a global estimate of sewerage connections without treatment and the resulting impact on MDG progress. *Environ Sci Technol* 2013;47(4):1994–2000.
- [5] United Nations. *Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development* [Internet]. [cited 2016 Mar 21]. Available from: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>.
- [6] Mihelcic JR, Crittenden JC, Small MJ, Shonnard DR, Hokanson DR, Zhang Q, et al. Sustainability science and engineering: the emergence of a new metadiscipline. *Environ Sci Technol* 2003;37(23):5314–24.
- [7] Mihelcic JR, Fry LM, Shaw R. Global potential of phosphorus recovery from human urine and feces. *Chemosphere* 2011;84(6):832–9.
- [8] Guest JS, Skerlos SJ, Barnard JL, Beck MB, Daigger GT, Hilger H, et al. A new planning and design paradigm to achieve sustainable resource recovery from wastewater. *Environ Sci Technol* 2009;43(16):6126–30.
- [9] *Mainstreaming gender in water and sanitation: gender in water and sanitation* [Internet]. 2010 Nov [cited 2016 May 4]. Available from: <https://www.wsp.org/sites/wsp.org/files/publications/WSP-gender-water-sanitation.pdf>.
- [10] *Basic education and gender equality: water and sanitation* [Internet]. New York City: UNICEF. [cited 2016 Mar 25]. Available from: http://www.unicef.org/education/index_focus_water.html.
- [11] Gershenson C. *Design and control of self-organizing systems: facing complexity with adaptation and self-organization*. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing; 2010.
- [12] Meadows D. *Thinking in systems: a primer*. Claremont: Chelsea Green Publishing; 2008.
- [13] UN General Assembly. *United Nations millennium declaration, resolution adopted by the General Assembly (A/RES/55/2)*. New York: UN General Assembly; 2000.
- [14] Saith A. From universal values to millennium development goals: lost in translation. *Dev Change* 2006;37:1167–99.
- [15] Houston A. New sustainability: a system is more than a sum of its parts [Internet]. The Hague: IRC. 2016 Jul 18 [cited 2016 Aug 7]. Available from: <http://www.ircwash.org/blog/new-sustainability-system-more-sum-its-parts-0>.
- [16] Mihelcic JR, Naughton CC, Verbyla ME, Zhang Q, Schweitzer RW, Oakley SM, et al. The grandest challenge of all: the role of environmental engineering to achieve sustainability in the world's developing regions. *Environ Eng Sci* 2016. In press.
- [17] Braun W. *The system archetypes* [Internet]. 2002 Feb 27 [cited 2016 May 4]. Available from: http://www.albany.edu/faculty/gpr/PAD724/724WebArticles/sys_archetypes.pdf.
- [18] Sternman JD. *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. Boston: McGraw-Hill Education; 2000.
- [19] Reed B, Coates S, Parry-Jones S. *Infrastructure for all: meeting the needs of both men and women in development projects: a practical guide for engineers, technicians and project managers*. Loughborough: Water, Engineering and Development Centre (WEDC); 2007.
- [20] van Wijk-Sijbesma C. *Gender in community water supply, sanitation and water resource protection: a guide to methods and techniques*. Delft: IRC International Water and Sanitation Centre; 1995.
- [21] Vandemoortele J, Malhotra K, Lim JA. Is MDG 8 on track as a global deal for human development? New York: United Nations Development Programme Bureau for Development Policy; 2003.
- [22] Makoni FS, Manase G, Ndamba J. Patterns of domestic water use in rural areas of Zimbabwe, gender roles and realities. *Phys Chem Earth A/B/C* 2004;29(15–18):1291–4.
- [23] Fisher J. *For her: it's the big issue: putting women at the center of water supply, sanitation, and hygiene: evidence report*. Geneva: Water Supply and Sanitation Collaborative Council; 2006.
- [24] Fisher J. *What is good for women is good for all*. Loughborough: Water and Environmental Health at London and Loughborough; 2006.
- [25] Goetz AM. *Progress of the world's women 2008/2009: who answers to wom-*

- en? Gender and accountability. New York: United Nations Development Fund for Women; 2008.
- [26] Ray K. Water and sanitation in the world's cities: local action for global goals. London: Earthscan Publications Ltd.; 2003.
- [27] Mihelcic JR, Fry LM, Myre EA, Phillips LD, Barkdoll BD. Field guide to environmental engineering for development workers: water, sanitation, and indoor air. Reston: American Society of Civil Engineers Press; 2009.
- [28] Pandit A, Minné EA, Li F, Brown H, Jeong H, James JAC, et al. Infrastructure ecology: an evolving paradigm for sustainable urban development. *J Clean Prod* 2015. In press.
- [29] Noortgate JVD, Maes P. Public health engineering in precarious situations. 2nd ed. Paris: Médecins Sans Frontières; 2010.
- [30] Wells EC, Zarger RK, Whiteford LM, Mihelcic JR, Koenig ES, Cairns MR. The impacts of tourism development on perceptions and practices of sustainable wastewater management on the Placencia Peninsula, Belize. *J Clean Prod* 2016;111(Part B):430–41.
- [31] Holmes PR. Building stakeholder support for success. WWI [Internet]. 2002 Dec [cited 2016 Mar 21];17(6):[about 2 p]. Available from: <http://www.waterworld.com/articles/wwi/print/volume-17/issue-6/features/building-stakeholder-support-for-success.html>.
- [32] Reed MS, Fraser EDG, Dougill AJ. An adaptive learning process for developing and applying sustainability indicators with local communities. *Ecol Econ* 2006;59(4):406–18.
- [33] Behailu BM, Suominen A, Katko TS. Evolution of community-managed water supply projects from 1994 to the 2010s in Ethiopia. *Public Works Manage Policy* 2015;20(4):379–400.
- [34] Lockwood H. Scaling up community management of rural water supply. Delft: IRC International Water and Sanitation Centre; 2004.
- [35] Sy JT. Multi-village pooling project in Indonesia: handbook for community-based water supply organizations. Water and Sanitation Program. Washington, DC: World Bank; 2011.
- [36] Harvey PA, Reed RA. Community-managed water supplies in Africa: sustainable or dispensable? *Community Dev J* 2007;42(3):365–78.
- [37] Schweitzer RW, Mihelcic JR. Assessing sustainability of community management of rural water systems in the developing world. *J Water Sanitation Hygiene Dev* 2012;2(1):20–30.
- [38] Anastas PT, Zimmerman JB. Design through the 12 principles of green engineering. *Environ Sci Technol* 2003;37(5):94A–101A.
- [39] McConville JR, Mihelcic JR. Adapting life cycle thinking tools to evaluate project sustainability in international water and sanitation development work. *Environ Eng Sci* 2007;24(7):937–48.
- [40] Maurer M, Muncke J, Larsen TA. Technologies for nitrogen recovery and reuse. In: Lens P, Hulshoff PL, Wilderer P, Asano T, editors *Water recycling and resource recovery in industry: analysis, technologies and implementation*. London: IWA Publishing; 2002. p. 491–510.
- [41] Daigger GT. New approaches and technologies for wastewater management. *Bridge* 2008;38(3):38–45.
- [42] Verstraete W, Van de Caveye P, Diamantis V. Maximum use of resources present in domestic “used water”. *Bioresour Technol* 2009;100(23):5537–45.
- [43] Mo W, Zhang Q. Energy-nutrients-water nexus: integrated resource recovery in municipal wastewater treatment plants. *J Environ Manage* 2013;127:255–67.
- [44] Verbyla ME, Oakley SM, Mihelcic JR. Wastewater infrastructure for small cities in an urbanizing world: integrating protection of human health and the environment with resource recovery and food security. *Environ Sci Technol* 2013;47(8):3598–605.
- [45] Prieto AL. Sequential anaerobic and algal membrane bioreactor (A2MBR) system for sustainable sanitation and resource recovery from domestic wastewater [dissertation]. Tampa: University of South Florida; 2011.
- [46] McCarty PL, Bae J, Kim J. Domestic wastewater treatment as a net energy producer—can this be achieved? *Environ Sci Technol* 2011;45(17):7100–6.
- [47] Nouri J, Jafarina M, Naddafi K, Nabizadeh R, Mahvi AH, Nouri N. Energy recovery from wastewater treatment plant. *Pak J Biol Sci* 2006;9(1):3–6.
- [48] Curtis TP. Low-energy wastewater treatment: strategies and technologies. In: Mitchell R, Gu JD, editors *Environmental microbiology*. 2nd ed. Hoboken: Wiley-Blackwell; 2009. p. 301–18.
- [49] Mo W, Zhang Q. Can municipal wastewater treatment systems be carbon neutral? *J Environ Manage* 2012;112:360–7.
- [50] United Nations Development Programme, United Nations Environment Programme, World Bank, World Resources Institute. A guide to world resources 2005: the wealth of the poor—managing ecosystems to fight poverty. Washington, DC: World Resources Institute; 2005. 254 p.
- [51] Food and Agriculture Organization of the United Nations. Climate change and food security: a framework document [Internet]. 2008[cited 2016 May 4]. Available from: <http://www.fao.org/forestry/15538-079b31d45081fe9c3dbc6ff34de4807e4.pdf>.
- [52] Chertow MR. The IPAT equation and its variants: changing views of technology and environmental impact. *J Ind Ecol* 2000;4(4):13–29.
- [53] York R, Rosa EA, Dietz T. STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts. *Ecol Econ* 2003;46(3):351–65.
- [54] Fischer-Kowalski M, Amann C. Beyond IPAT and Kuznets curves: globalization as a vital factor in analysing the environmental impact of socio-economic metabolism. *Popul Environ* 2001;23(1):7–47.