

中国软科学研究丛书

“十一五”国家重点图书出版规划项目

丛书主编：张来武

# 可持续经济增长的 实现机理

陈艳莹 刘经珂 著



科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

中国软科学研究丛书

丛书主编：张来武

“十一五”国家重点图书出版规划项目  
国家软科学研究计划资助出版项目

# 可持续经济增长的 实现机理

陈艳莹 刘经珂 著

科学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书主要包括四个方面的内容。第一部分在总结前人有关经济增长极限、可持续经济增长可行性及其实现条件等方面研究成果的基础上,从经济和环境两方面对可持续经济增长的概念进行界定。第二部分从假设驱动出发,集中探讨如何才能实现可持续经济增长,结果证明,经济增长路径向可持续经济的收敛由规模效应、结构效应和技术效应的相对强弱决定。第三部分通过实证研究得出环境库兹涅茨曲线并不能说明可持续经济增长具有自发性的结论,并分析了厂商采纳绿色技术的微观机制。第四部分则立足于上述研究,提出了可持续经济增长的政策体系和政策工具的选择原则。

本书丰富了可持续经济增长的研究内容,希望能够为政府工作人员提供决策支持,为广大科研工作者提供研究参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

可持续经济增长的实现机理/陈艳莹,刘经珂著. —北京:科学出版社,2016.

(中国软科学研究丛书)

ISBN 978-7-03-049112-1

I. ①可… II. ①陈… III. ②刘… IV. ①中国经济-经济增长-研究  
IV. ①F124

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第140530号

丛书策划:林 鹏 胡升华 侯俊琳

责任编辑:石 卉 程 凤/责任校对:郑金红

责任印制:张 倩/封面设计:黄华斌 陈 敬

编辑部电话:010-64035853

E-mail:houjunlin@mail.sciencep.com

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京厚诚则铭印刷科技有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2006年7月第一版 开本:720×1000 1/16

2016年7月第一次印刷 印张:9

字数:182 000

POD定价:58.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# “中国软科学研究丛书”编委会

主 编 张来武

副主编 李朝晨 王 元 胥和平 林 鹏

委 员 （按姓氏笔画排列）

于景元 马俊如 王玉民 王奋宇

孔德涌 刘琦岩 孙玉明 杨起全

金吾伦 赵志耘

编辑工作组组长 刘琦岩

副组长 王奋宇 胡升华

成 员 王晓松 李 津 侯俊琳 常玉峰



软科学是综合运用现代各学科理论、方法，研究政治、经济、科技及社会发展中的各种复杂问题，为决策科学化、民主化服务的科学。软科学研究是以实现决策科学化和管理现代化为宗旨，以推动经济、科技、社会的持续协调发展为目标，针对决策和管理实践中提出的复杂性、系统性课题，综合运用自然科学、社会科学和工程技术的多门类多学科知识，运用定性和定量相结合的系统分析和论证手段，进行的一种跨学科、多层次的科研活动。

1986年7月，全国软科学研究工作座谈会首次在北京召开，开启了我国软科学勃兴的动力阀门。从此，中国软科学积极参与到改革开放和现代化建设的大潮之中。为加强对软科学研究的指导，国家于1988年和1994年分别成立国家软科学指导委员会和中国软科学研究会。随后，国家软科学研究计划正式启动，对软科学事业的稳定发展发挥了重要的作用。

20多年来，我国软科学事业发展紧紧围绕重大决策问题，开展了多学科、多领域、多层次的研究工作，取得了一大批优秀成果。京九铁路、三峡工程、南水北调、青藏铁路乃至国家中长期科学和技术发展规划战略研究，软科学都功不可没。从总体上看，我国软科学研究已经进入各级政府的决策中，成为决策和政策制定的重要依据，发挥了战略性、前瞻性的作用，为解决经济社会发展的重大决策问题作出了重要贡献，为科学把握宏观形

势、明确发展战略方向发挥了重要作用。

20 多年来，我国软科学事业凝聚优秀人才，形成了一支具有一定实力、知识结构较为合理、学科体系比较完整的优秀研究队伍。据不完全统计，目前我国已有软科学研究机构 2000 多家，研究人员近 4 万人，每年开展软科学研究项目 1 万多项。

为了进一步发挥国家软科学研究计划在我国软科学事业发展中的导向作用，促进软科学研究成果的推广应用，科学技术部决定从 2007 年起，在国家软科学研究计划框架下启动软科学优秀研究成果出版资助工作，形成“中国软科学研究丛书”。

“中国软科学研究丛书”因其良好的学术价值和社会价值，已被列入国家新闻出版总署“‘十一五’国家重点图书出版规划项目”。我希望并相信，丛书出版对于软科学研究优秀成果的推广应用将起到很大的推动作用，对于提升软科学研究的社会影响力、促进软科学事业的蓬勃发展意义重大。

科技部副部长



2008 年 12 月

中国改革开放近 40 年来取得了举世瞩目的成就，年均增长率连续多年维持在 10% 左右，6.6 亿国人（相当于世界总人口的 1/10）摆脱了贫困，这被称为“中国奇迹”。但与此同时，我们也付出了巨大的资源环境代价，粗放型的发展模式导致不可再生能源过度消耗、污染废弃物排放量猛增、循环利用水平低下。换句话说，我国经济的高速发展在很大程度上是依赖生产要素的高投入实现的。

这种高投入、高消耗、高污染、低水平、低效益的发展方式虽然实现了当前利益但牺牲了长远发展，由此带来的生态环境恶化是短时间内难以根除的。因此，各国政府纷纷寻找在经济增长的同时环境质量也能得到改善的可持续发展之路——如日本、德国等发达国家对循环经济的打造，中国、巴西等发展中国家的科学发展观、“绿色法庭”等尝试，联合国环境与发展大会更是早在 1992 年就通过了《21 世纪议程》，将可持续发展战略确定为全球长期发展战略。那么可持续经济增长是否真的可行？若可行，实现机理是怎样的？在实践中经济增长路径是否具有向可持续路径收敛的自发性？依据本国的经济发展阶段，政府应如何选择合适的政策工具？本书将通过理论和实证研究对上述问题一一进行解答。

首先，本书在两方面定义可持续经济增长——经济层面的真实储蓄率为正和环境层面的环境功能稳定。在分析了经济增长与环境可持续的协调途径、经济增长过程中环境压力的决定因素，以及如何才能使保持环境可持续的努力不制约经济增长之后，得到了使经济增长路径向可持续路径收敛的条件和机制：从动态角度来看，促使经济增长路径向可持续经济增长

路径收敛的根本途径是通过纠正经济当中的双重市场失灵和双重政府失灵来减轻环境压力，而这种收敛能否发生，归根结底要取决于经济增长过程中有利于环境的技术效应和结构效应是否能够抵消规模效应。

其次，虽然近十年来大量经验研究发现环境压力和收入之间的关系是倒 U 形的环境库兹涅茨曲线 (EKC)，但这并不能说明经济增长路径向可持续路径的收敛具有自发性。除了数据的问题之外，现有经验研究所用的回归模型暗含着长期均衡、同质性和趋势平稳三个假设。本文通过对这三个假设的检验证实，EKC 经验研究所用的回归模型不是一个优质的计量模型，以此为基础得到的环境压力与收入之间的倒 U 形曲线不能解释为经济增长有利于环境的改善。观察到的部分环境压力指标随经济增长而下降的现象主要归因于环境保护固有的规模收益递增性质，与经济增长的内生变化没有关系，可持续经济增长的收敛并不具有自发性。此外，对绿色技术进步中厂商决策的分析进一步支持了上述观点。在市场环境下，由于厂商按照私人的成本和收益来决定是否采纳绿色技术，绿色技术收益的不确定性导致厂商为了获得后动优势而推迟采纳绿色技术，技术的互补性则造成了绿色技术扩散的低效率，如果不通过政策的干预纠正这种双重市场失灵，经济增长路径就很难收敛到可持续路径。

最后，在对可持续经济增长的政策体系、政策工具进行分析的基础上，本书还探讨了我国可持续经济增长的政策选择。

本书的主要创新点如下。

(1) 引入生态学中的自然资本概念，从经济和环境两个维度系统界定了可持续经济增长的内涵，没有使用传统的基于替代性假设的可持续标准，而是将环境可持续定义为重要的环境功能的稳定性，并利用真实储蓄率和自然资本消耗率界定了强可持续经济增长路径和弱可持续经济增长路径。

(2) 采用假设驱动的方式，以环境压力为核心分析经济增长路径向可持续经济增长路径的动态收敛，证明了经济增长与环境可持续存在着协调的空间。考察了保护环境可持续所需支出的成本与经济增长之间的关系，弥补了现有研究只考虑经济增长对环境可持续单方面影响的不足，通过分析可持续经济增长的经济条件，指出实现可持续经济增长需要依靠消除经济中普遍存在的双重政府失灵和双重市场失灵。



(3) 从回归模型的有效性这一全新的视角考察经验研究得到的环境库兹涅茨曲线与可持续经济增长能够自发实现这一重要假说的相关性,突破了现有研究只注重指标和数据选取的单一研究思路,指出 EKC 经验研究所用的回归模型不是一个优质的计量模型,使用该模型得到的环境压力与收入之间的倒 U 形关系不能解释为经济增长有利于环境的改善。通过构建微观模型,将观察到的部分环境压力指标随经济增长而下降的现象主要归因于环境保护固有的规模收益递增性质,对 EKC 曲线的成因提出了一种全新的解释,进一步证明了可持续经济增长的实现不具有自发性。

(4) 考察厂商的绿色技术采纳决策,弥补了现有文献中对此项决策微观发生机制研究的欠缺,通过构建技术采纳博弈模型和两部门经济模型,分析了收益的不确定性和技术的互补性对厂商绿色技术采纳决策的影响,指出厂商不愿意投资绿色技术并不单纯是因为环境成本的外部性,而是在市场环境下,由绿色技术本身的特点引致的一种策略行为。

# 目 录

## CONTENTS

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| ◆ 总序（张来武）                      |    |
| ◆ 前言                           |    |
| ◆ 第一章 绪论                       | 1  |
| 第一节 环境的可持续与经济增长                | 1  |
| 第二节 相关研究综述                     | 4  |
| 第三节 研究思路与篇章结构                  | 14 |
| ◆ 第二章 可持续经济增长概念的界定             | 18 |
| 第一节 绿色经济增长、环保型经济增长与可持续经济增长     | 18 |
| 第二节 可持续经济增长的经济维度               | 19 |
| 第三节 可持续经济增长的环境维度               | 23 |
| ◆ 第三章 可持续经济增长的收敛机制             | 31 |
| 第一节 经济增长路径向可持续路径收敛的条件          | 31 |
| 第二节 可持续经济增长收敛的内在机制             | 40 |
| 第三节 可持续经济增长收敛机制引出的两个重要问题       | 44 |
| ◆ 第四章 环境库兹涅茨曲线与可持续经济增长收敛自发性的检验 | 49 |
| 第一节 环境库兹涅茨曲线的经验研究              | 49 |
| 第二节 环境库兹涅茨曲线模型的有效性检验           | 58 |
| 第三节 可持续经济增长的非自发性与环境库兹涅茨曲线的成因   | 71 |

- ◆ 第五章 厂商的技术决策与可持续经济增长 ..... 81
  - 第一节 厂商的技术决策与可持续经济增长的作用机制 ..... 81
  - 第二节 收益的不确定性与绿色技术采纳的后动优势 ..... 85
  - 第三节 技术的互补性与绿色技术扩散的低效率 ..... 93
- ◆ 第六章 可持续经济增长的政策选择 ..... 102
  - 第一节 可持续经济增长的政策体系 ..... 102
  - 第二节 可持续经济增长政策工具的选择 ..... 107
  - 第三节 中国可持续经济增长的政策选择 ..... 113
- ◆ 第七章 结论 ..... 116
- ◆ 参考文献 ..... 117

实现可持续发展需要协调环境、经济和社会三个系统的运动，尤其是经济增长与环境之间的矛盾。虽然激进的环保主义者主张为了环境的可持续而停止经济增长，但从各国实践来看，经济增长仍然是解决人口、收入分配和失业问题最为有效的方法，尤其是对于发展中国家来说。正因为如此，在实践当中，可持续发展目标首先具体化为可持续经济增长，如何实现可持续经济增长也成为当前急需解决的难题。

## 第一节 环境的可持续与经济增长

可持续发展是 21 世纪人类社会面临的首要问题。实现可持续发展需要协调环境、经济和社会三个系统的运动，尤其是经济增长与环境之间的关系。

在 20 世纪 60 年代之前的书籍文献中，我们很少能看到“环境保护”这个词汇，充斥人们眼球的无非是“向大自然宣战”“征服大自然”之类的口号，这反映出人类将自身置于大自然对立面的立场，以及与之和谐相处意识的匮乏。尤其是工业革命后的一个多世纪以来，经济增长作为各国政府追求的目标始终在宏观经济调控目标中占据着首要位置。产出的迅速增长通过增加收入、减少失业、促进收入分配公平、缓和政治冲突增加了各国的福利，但一味追求物质财富积累的经济增长模式却对环境造成了巨大的破坏。一方面，经济活动对自然资源的需求迅速增加，大量不可再生资源濒临枯竭，森林、水、土地、鱼类等可再生资源因为再生能力受到破坏，存量急剧减少，整个生态系统的生产能力严重下降。另一方面，伴随着经济增长，排放到环境中的污染物和废弃物不断增加，威胁着生态系统自身的净化能力，温室效应、酸雨、公害污染等环境问题越来越严重，排污量迅速增长与环境承载力下降的矛盾日益尖锐。用世界资源研究所（world resource institute, WRI）和《联合国环境方案》中的话来说，“世界正走向一个不可持续的未来”（WRI, 1992），“我们不是借用了父辈

的地球，而是借用了子孙的地球”（刘思华，1997）。

人类对环境问题的全民关注始于 1962 年美国生态学家蕾切尔·卡森（Rachel Carson）出版的著作《寂静的春天》（*Silent Spring*），该书后被称为“生态运动”的起跑信号，书中真切地描述了愈演愈烈的环境污染状况，震惊了长期以来沉浸在对经济增长极度崇拜和贪婪追求中的人们，引发了此后世界范围内对资源环境危机和发展观念的讨论。

一些学者进行了相关理论的研究，如肯尼思·鲍尔丁（Kenneth E. Boulding）于 1966 年发表了《即将到来的宇宙飞船地球经济学》一文并提出生态经济学的概念，他把地球比作茫茫太空中的一艘宇宙飞船，人口和经济的不断增长会耗尽飞船内优先的资源，同时人类生产消费所排出的废弃物会污染飞船最终导致社会的崩溃。保罗·艾里奇（Paul R. Ehrlich）于 1968 年在《人口爆炸》中提出，如果不对人口增长加以控制，大约 900 年后，地球人口将达到  $6 \times 10^{16}$  人，人类将无立足之地。另有一些学者对工业革命以来为实现经济增长所付出的环境代价从不同角度进行了估算（王岩和赵海东，2001；De Bruyn，2000；陈国权，1999；刘思华，1997）。总体来说，西方发达国家年均环境损失的经济价值约为国内生产总值（GDP）的 2%~4%，东欧国家占 5%~10%，发展中国家则超过了 10%。非洲国家仅土地退化一项造成的损失就占 GDP 的 5% 以上。据科学家按照“生物圈 2 号实验室”的造价推算，要建造适宜目前人类生存的生态环境，至少需要耗费相当于目前全世界 GDP 15 万倍的物质财富，也就是说，人类目前生产的物质财富是以损失很多倍的环境财富为代价的。如果人类为了生产十五万分之一的物质财富而使地球的环境财富濒临毁灭，显然是极不经济的。在这种背景下，如何降低化石燃料依赖、减少温室气体排放、建立生态友好型经济成为人们在社会发展中面临的巨大挑战（Plip，2015）。更有甚者，激进的环保主义者从 20 世纪 70 年代就开始呼吁，应该为了环境的可持续而停止经济增长。

然而，经济增长是否应当停止？放弃经济增长又是否必然会提高环境的可持续性呢？首先，不管环境保护的支持者和生态学家如何反对经济增长，从各国的实践来看，经济增长仍然是解决人口、收入分配和失业问题最为有效的方法，尤其是对发展中国家来说。除非经济个体对环境质量拥有无穷大的偏好，否则停止经济增长对经济其他方面造成的损失会远远超过环境可持续性提高而带来的收益。其次，在现实中，很难让一个经济主动放弃增长。按照 Thurow（1980）从文化角度的解释，“只有人们的欲望都得到了满足，一个没有增长的社会才能保持和平。虽然在逻辑上可以假定有一种文化，能够使人们看着世界其他国家享受更高的生活水平而仍然对自己的现状感到满足，但目前却不存在这种文化。渴望提高生活水平是人的共性。”期待一个经济为了保持环境的可持



续性而自愿放弃经济增长几乎是不可能的。最后,认为停止或降低经济增长速度有助于提高环境可持续性的观点实质上是假定,产出和环境资源消耗量正相关,只要有产出,就要消耗环境资源,因此减少产出会减少环境资源的消耗量,提高环境的可持续性。但是,大量研究表明,与经济增长相比,贫穷对环境的负面影响更大(Stokey, 1998; Grossman and Krueger, 1995; Duchin and Lange, 1994)。由于环境质量的奢侈品性质,当收入水平较低时,经济个体的环境意识一般较弱,在渴望致富的动机的驱使下,价格被低估甚至没有价格的环境资源作为一种廉价生产要素往往被过度使用,这是发展中国家普遍存在的问题。从这一角度来看,停止经济增长至少对发展中国家来说并不是提高环境可持续性的一种最优选择。正是由于这几个方面的原因,环保主义者为了环境的可持续可停止经济增长的主张只能是道德层面的一种呼吁,在现实中很难具有操作性。

经济增长的本质是一个经济产出的增长,而产出的形成则是劳动、资本、环境资源等多种生产要素共同作用的结果。由于生产要素的组合比例可以变化,产出的增长并不总是要消耗更多的环境资源,完全有可能在环境资源消耗量不变,甚至环境资源消耗量减少的情况下,实现产出的增长。只有当一个经济粗放地使用环境资源,靠增加环境资源的投入来支撑产出的增长时,经济增长才会恶化环境。因此,对环境可持续构成威胁的并不是经济增长本身,而是经济增长的方式。过去一个世纪,人类的经济增长之所以引致了巨大的环境成本,主要是在价格信号的指引下,市场机制朝着节约劳动和资本等有价生产要素的方向运行,而忽视了价格被低估甚至没有价格的环境资源,正如 Pearce 和 Barbier (2000) 所认为的,“重要的环境价值一般没有被反映在市场内,所以,尽管它是社会舆论热点,但政策往往还是对其视而不见”。大量实证研究表明,随着近几年环境管制的加强,发达国家经济增长的环境成本呈现出下降趋势,一些国家的环境质量已经接近或达到可持续的要求。这足以证明,经济增长与保持环境的可持续是可以同时实现的。

既然经济增长与环境可持续并非必然存在矛盾,协调经济系统与环境系统之间关系的最为可行也最为理想的方式,自然就是将经济增长的环境压力限制在环境所能承受的范围之内,实现可持续经济增长。虽然近几十年来,经济增长与环境可持续的关系作为“最关键的经济问题”(Goldin and Winters, 1995) 得到理论界的普遍关注,但多数研究仍局限在可持续经济增长是否可行的争论上,缺乏对可持续经济增长的具体实现途径及内在机理的深入研究。由于对可持续经济增长的内涵尚无一致的界定,所以不同研究的结论也存在很大差异。例如,Goldin 和 Winters (1995) 认为,经济增长与环境保护完全一致,而 Daly (1990) 却认为,可持续经济增长压根就是一种幻觉。“哪一种观点正确,没有

人知道，理性的人完全有理由对这个问题持不同看法。”(Common, 1995)

事实上，争论可持续经济增长是否可行等于重复回答“是否要为了环境的可持续而放弃经济增长”的老问题。在无法停止经济增长这一前提条件的约束下，这种争论对现实并无多大指导意义，更重要的应当是通过积极有效的措施减轻经济增长的环境压力，力争实现可持续经济增长。与之相适应，如何准确界定可持续经济增长方式；什么因素决定着经济增长的环境压力；经济增长路径向可持续经济增长路径收敛的条件是什么；当经济增长到一定程度之后，进一步的经济增长是否能够自发地减轻环境压力；一国政府需要制定哪些政策才能促使经济增长路径向可持续增长路径收敛，也成为当前急需研究的问题。

作为发展中国家，我国近些年来经济一直高速增长，但由经济增长所引发的环境问题也越来越突出。以 1978~2011 年为例，GDP 累计增加了 32.8 倍，年均增长率高达 9.8%，但这种建立在粗放型增长模式上的“中国经济奇迹”也付出了资源锐减、环境污染、生态失衡等众多环境代价和贫富分化、腐败蔓延、道德滑坡等社会代价，仅 21 世纪开局五年，我国平均每年因资源浪费、环境污染和生态破坏造成的经济损失就高达 4000 亿元之巨，据 2006 年世界银行发布的《世界发展指标》数据显示，全球空气污染最严重的 20 个城市中，中国就占据了 13 个席位。经济增长与环境可持续之间的矛盾日益激化。如何降低经济增长的环境压力，实现可持续经济增长，是我国迫切需要解决的问题。

## 第二节 相关研究综述

作为由可持续发展派生出的一个概念，可持续经济增长涉及经济系统与环境系统的复杂关系。从内容上看，有关经济增长和环境可持续关系的研究主要集中在三个方面：一是环境对经济增长的制约作用，该领域的研究形成了多种不同的经济增长极限理论；二是经济增长与环境可持续的协调空间，即可持续经济增长是否可行；三是利用经济增长模型分析可持续经济增长的条件。

### 一 经济增长极限理论

环境按照对经济活动的贡献可以细分为环境资产和自然资源两部分，环境资产（狭义的环境）直接创造效用，自然资源则参与生产。虽然马尔萨斯、李嘉图等古典经济学家很早就指出了自然资源对经济增长的制约作用，但并没有引起足够的重视 (Malthus, 1974; Ricardo, 1973)。直到 20 世纪 70 年代，随

着环境问题的日益突出及发达国家对不可再生资源依赖性的增强,越来越多的学者对持续经济增长的可能性和合意性提出了质疑。他们从资源的可获性、热力学、生态系统、经济福利等不同角度研究经济增长的制约因素,形成了多种不同的经济增长极限理论,并直接引发了经济学家和生态学家对可持续经济增长是否可行的争论。

### 1. 经济增长的资源极限

1972年,以德内拉·梅多斯(Donella H. Meadows)为首的四位学者签署出版了《增长的极限:罗马俱乐部关于人类困境的研究报告》,向人们展示了一个资源有限的星球上无止境单纯追求经济增长可能带来的后果,在空气、水资源、生物多样性等方面敲响了警钟,最先提出了经济增长极限的概念。1992年,第二版报告《超越极限:正视全球性崩溃,展望可持续的未来》出炉,与第一版相比,内容和模型有所更新,揭示出人类已经在个别方面超出地球承载力极限的危险现状,发人深省。2004年第三版报告《增长的极限》沿袭之前的基本观点,使用“生态足迹”等概念,在全球范围内掀起了一场旷日持久、影响深远的人类发展前景大争论。

与马尔萨斯、李嘉图等古典经济学家的分析相似,梅多斯的模型假定人口和工业资本以指数方式增长,导致对食物和不可再生资源的需求也呈指数增长,而食物和不可再生资源的供给是有限的,因此在长期中,有限的食物和资源会为人口和产出设置一个极限,随着自然资源的耗竭,经济系统最终会趋于崩溃。技术进步只会使人类的经济系统在崩溃前达到更多的人口和更高的产出水平,却不可能避免这一极限。避免极限的唯一方法就是停止经济增长。Barney(1980)等也做出过类似的世界末日式的预言。总之,就像Ayres和Warr(2009)所指出的那样,在增长理论方面,生态经济学家始终认为,经济增长依赖于物质的投入和消耗,尤其是能源吞吐量。

基于资源可获性的增长极限理论一经提出就遭到了很多经济学家的反对。Cole等(1973)在梅多斯的模型中引入新资源勘探、资源回收利用等因素,使可利用的不可再生资源保持指数增长,结果表明,只要资源增长的速度快于人口和消费的增长速度,梅多斯所预言的经济崩溃就可以被无限地推迟。Nordhaus(2010)调整了模型中有关人口行为和储蓄的假设,并引进了技术进步和替代因素,重新运行模型得到了完全不同于梅多斯的结论,不但可以避免经济系统崩溃,还有可能使经济增长速度加快。Simon(1981)认为,罗马俱乐部的预测中所用的资源稀缺性是技术意义上的稀缺性,而不是经济意义上的稀缺性。技术意义上的稀缺性针对的是土地、矿藏的总量,显然是有限的。但作为经济学家和消费者,人们更感兴趣的是这些资源所能提供的服务,而不是这些资源本身。当一种资源的价格上升时,人们会用其他资源替代这种资源,并

通过技术创新对其更有效地开采、使用和回收。由于技术进步，资源对人类经济增长的极限将不存在。常子晨和常东旭（2012）也认为，罗马俱乐部所倚重的系统动态模型仅仅选择了五个方面来设计变量，这只能看做是研究现实世界中经济增长特定问题的一个“理想模型”，虽有推演模拟过程简单易行的优点，但也很容易在所忽略的要素中存在漏洞，“所研究的相互作用也只是局部的”，“现在的模型只考虑到人的物质系统方面，没有设计和提出有效的社会因素”，是有缺口的、不完善的理论。

## 2. 经济增长的热力学极限

Georgescu-Roegen（1971，1976）和 Daly（1977）认为，不仅自然资源的稀缺性能推出经济增长的极限，从热力学的角度也可得出同样的结论。在热力学中，用熵作为系统有序程度大小的度量。热力学第一定律表明，能量既不能创造，也不能毁灭，只能转移。第二定律则指出，衡量不可利用能量的熵总是在不断增加并趋于极大，最后达到平衡态，亦即能量的百分百循环是不可能的。当把这两个定律应用于经济过程时，意味着生产所需的物质和能量转换必定会导致熵的损失，一部分能量会转换为无法利用的废弃物。由于注入地球的太阳能是有限的，所以人类所能利用的低熵物质也是有限的。消费和产出的增长必定要引起熵的增加，恶化环境，绝对稀缺性会越来越突出，经济的增长最终会趋于停止。

与 Nordhaus 和 Simon 等的观点相反，Georgescu-Roegen（1971）认为，替代和技术进步并不能消除上述的稀缺性约束。替代只能发生在低熵的物质和能量之间，而低熵的物质和能量本身是不可替代的。同样，自然资源和资本之间的替代程度非常有限，因为资本的生产本身也需要自然资源。技术虽然能够提高自然资源转换为消费品和资本品的效率和速率，但并不能摆脱热力学定律。由于当前的自然资源价格建立在对替代性和技术进步的不现实的预期上，所以并不能产生正确的激励，改变经济个体的行为。在他们看来，解决增长的热力学极限唯一的办法就是控制整个经济中流通的物质流和能量流，至于要不要降低经济增长速度，他们并不太清楚。如果通过技术进步，一定的物质和能量能够提供更多的服务，经济就还可以保持增长。但关键是，只要经济增长与物质和能量消费间存在固定的比例，热力学极限迟早都会限制人类的经济增长。

经济增长的热力学极限也遭到了部分质疑。例如，Prigogine 等（2009）看到了系统可以从无序转化为有序的积极一面，认为对于一个与外界有分子和能量交换的开放系统来说，熵的变化可以分为两部分，即  $ds = des$ （熵流）+  $dis$ （熵源），熵源是系统本身由不可逆过程引起的，永远为正，熵流是系统与外界交换分子和能量引起的，可正、可负、可为零。若  $des > 0$ ，则物质和能量的交换增加了系统的总熵，加速了系统取向平衡态的运动；若  $des = 0$ ，则表示系统平衡态受