
中国经济系统的物质流及其模式转变内涵的初步分析

张天柱·徐明

〈清华大学〉

摘要

物质流分析对识别、调控来自经济系统的资源消耗与废物排放等环境压力具有重要作用。本文在中国社会经济发展的背景下，对经济系统的物质代谢过程及其模式转变内涵进行初步分析。文章首先给出1990—2002年间中国经济系统的物质输入、输出以及消费流等指标的测算。并结合人口与经济增长等社会经济指标进行了物质流强度的国际比较，以及中国物质流的构成及其变化特征分析。在此基础上，针对所识别的中国高投入、低产出、高排放的物质代谢方式，提出以产业结构转型为核心进行产业系统生态化建设、围绕绿色市场进行制度（包括观念）创新作为发展循环经济的两项基本对策，以此促进经济与资源环境一体化的发展，转变传统的物质代谢模式。

关键词 物质流分析、资源、环境、循环经济、中国

引言

中国正处于全面建设小康社会、深化经济发展的重要历史时期。随着工业化、城镇化进程的不断加快，以及人口的持续增长，中国的经济增长与发展正面对日益严重的资源短缺和环境问题的挑战。资源禀赋上，虽然中国的总量相对较大，但人均自然资源拥有量却十分有限，远低于世界平均水平。人均淡水资源占有量仅为世界平均水平的1/3，人均耕地占有量不到世界平均水平的2/5，石油、天然气和煤炭人均探明储量为世界平均水平的11%、4.4%和55.7%，铁矿石、铜和铝土矿储量分别为世界平均水平的1/6、1/6、和1/9，45种矿产资源人均占有量不到世界平均水平的一半。生态环境上，中国的生态破坏严重，环境总体恶化趋势尚未得到根本扭转。江河断流、地面沉降不仅发生在缺水的北方地区，而且出现在水资源相对丰富的南方地区。矿产开采无序、占用和破坏的土地面积持续增加。七大江河水系均受到不同程度的污染，700

多个重点监测断面中，2/5以上的断面水质超过地表水环境质量的第V类标准要求。由于氮、磷的污染，主要湖泊富营养化十分突出。近2/3的城市未达到空气质量二级标准。酸雨已影响到四川盆地与长江以南、青藏高原以东的广大区域，并在北方吉林、辽宁和陕西等省的一些地区出现较强的酸性降雨，部分地区近年继续呈现着酸雨污染不断加重的趋势。中国有限的资源基础与脆弱的环境承载能力正经历着社会经济快速发展的空前压力与冲击。

产业革命以来的发展历史表明，随着人类社会经济活动规模与强度的不断增大，有限的地球空间已经不能再像以前那样为人类提供无限、充足的资源储备和废物消纳能力。传统经济学理论忽视了自然界对社会经济系统运行的巨大贡献，发生在社会经济子系统与环境大系统之间不断增大的物质交换数量和规模，使得这种忽视越来越无法满足可持续发展的要求。为了促进经济社会与自然界的协调相容，分析研究联系人类社会经济系统和环境系统的物质流动过程，已经成为国际社会广为关注的热点

领域。从社会经济系统作为环境系统的子系统，进行中国经济系统物质代谢过程的研究，识别分析中国经济系统对资源环境施加的压力特征，以及经济增长模式的转变内涵，对推动中国建设资源节约和环境友好型社会，促进中国可持续发展有着重要意义。

1 物质流分析

为降低资源能源特、别是不可再生资源能源的大量消耗，减小废物产生排放对环境的压力，以经济系统整体为对象，从资源采掘、生产、消费、直到废物的产生与循环使用，及其最终处置排放进行经济系统的物质流分析（Economic Wide—Material Flow Analysis, E-MFA）及其核算正在国际上兴起，并在20世纪90年代来得到了极大的发展。

对于经济系统层次物质流分析，其基本思想如图1-1所示。在这个框架图中，社会经济系统是自然环境系统的子系统，社会经济系统与其周围自然环境系统由物质流与能量流相联接。为了描述这两个系统的关系，工业代谢（industrial metabolism）（Ayres, 1989）和社会代谢（societal metabolism）（Fischer-Kowalski and Haberl, 1993）的概念被提出。作为自然环境系统中一个具有代谢功能的有机体，社会经济子系统对自然环境的影响作用可以用其代谢程度，即其从自然环境中提取的资源与排放到自然环境中的废物量来表征衡量。

物质流分析方法以重量为单位，追踪物质从自然界开采进入人类经济体系、经过经济活动在社会中运动、并最终回到自然环境中的状况。它对识别经济系统的物质输入与输出量及其利用效率特征，展示构成经济活动全部物质流动与储存的情景，从而为系统认识、调控经济系统施加给自然界的压力，以及经济活动与资源环境的关系提供分析基础。物质流分析方法已经成为研究人类社会经济子系统与自然环境之间作用动力机制的重要工具手段。当前，物质流分析方法在发达国家已经得到了较为广泛的应用，并继续在深化研究与发展中。丰硕的成果可参见国内外有关文献，如Adriaanse *et al.* (1997)、Matthews *et al.* (2000)、EUROSTAT (2001, 2002)等。我国物质流分析的研究开始于2000年，并正在逐步推进过程中，已有的研究如陈效速与乔立佳(2000)、Chen and Qiao (2001)、陈效速等 (2003)、徐明与张天柱 (2004, 2005)、徐一剑等 (2004)、敬智等 (2005) 等。

2 中国经济系统物质流分析的基本方法

对中国经济系统与其外部环境间发生的物质流计算，总体根据欧盟物质流分析方法框架进行。分析时段为1990年至2002年，包括由自然环境和外国进入国内经济系统的物质流输入，以及由本国经济系统对自然环境与他国的物质流输出。在此基础上，计算得到相应物质输入、输出、消费指标，进

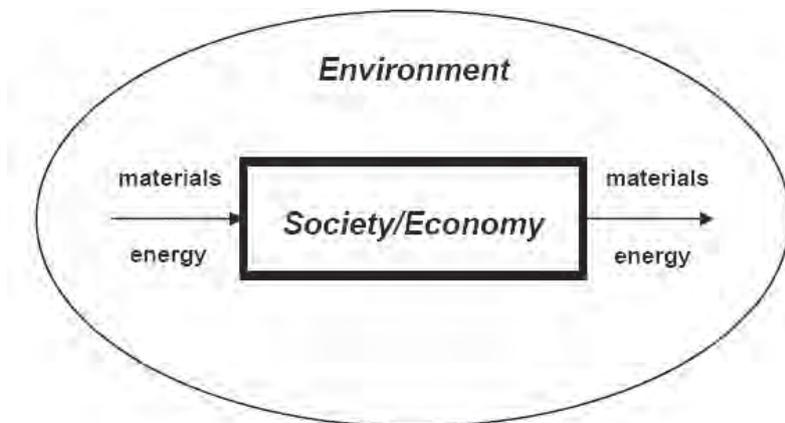


图1-1 经济—环境系统 (EUROSTAT, 2001)

一步与有关社会经济统计指标相结合, 进行物质强度和效率等综合分析。

分析研究中, 对由国内自然界输入到经济系统的化石燃料、金属矿物、非金属矿物、以及由经济系统输出到本国自然界中的直接废物排放 DPO (Domestic Processed Output) 的计算, 各种原始数据均取自有关统计年鉴, 如中国统计年鉴、中国能源统计年鉴、中国环境年鉴等。对于生物量, 主要根据联合国粮食和农业组织提供的在线数据库 (FAO, 2005) 测算。对于其它难以直接获得原始数据和/或少量缺失数据的部分流量项, 通过相应方法进行估计, 其中: 化石燃料的隐流, 根据德国乌伯塔尔研究所 (Wuppertal Institute) 提供的隐流估算系数测算 (Wuppertal Institute, 2003); 金属矿物及冶金工业相关非金属矿物所对应的隐流, 根据中国钢铁工业年鉴和中国有色金属工业年鉴所提供的数据进行测算; 直接进入国内经济系统的建筑材料和相关的隐流, 根据历年生产的水泥和平板玻璃量等进行估算 (莫华, 2003; 陈永梅, 2005); 进出口物质主要包括食品、钢铁、煤炭、石油等大宗物质, 主要根据中国对外经济贸易年鉴, 而对一些少量的进出口物质, 由于其数量较少且估算过程比较复杂, 本文暂忽略不计; 与进出口相关的间接物质, 对其中利用目前数据来源和研究成果难以估计的部分数值, 考虑到其在综合指标中所占比例较小, 本

次计算分析中暂不考虑; 根据联合国统计署提供的在线数据库可以得到中国历年二氧化碳的排放量, 据此可计算得出其中的含氧量 (UNSD, 2005); 不进入市场的动物饲料, 根据中国畜牧业年鉴数据计算得到; 考虑到水在输入、输出物质流总量中具有较高的数量级, 如果将水量包含在物质流核算指标中, 将会极大地掩盖其他物质的作用, 因此本研究中不考虑水量问题; 此外, 对极少的缺失数据采用数学插值估算得到。

3 物质投入分析

3.1 总量分析

自1990年至2002年间中国输入物质流核算结果及历年实际 GDP (本研究中如无特别说明, 所有经济指标均转换为以2002年价格为基准的实际价格指标) 统计如表3-1, 同时自1990年以来输入经济系统的物质流量测算指标结果见图3-2。

上述结果表明: 90年代末前, 由于整体上中国经济在国际市场中参与程度不高, 进口物质流在输入物质流总量中所占比例较低。但是, 自1999年后, 进口物质流量开始增长。它反映了在经济全球化过程中, 中国正在通过国际资源支持经济发展的大体状况。来自国内开采的自然资源 (Domestic Extraction, DE), 是支持中国经济系统所需直接物

表3-1 中国经济系统输入物质流指标 (十亿吨) 及实际 GDP (十亿元, 2002年价格)

Year	DEU	Imports	UDE	DMI	TMR	GDP
1990	2.81	0.11	10.26	2.92	13.18	3447.98
1991	2.94	0.14	10.61	3.07	13.69	3765.19
1992	3.17	0.16	11.14	3.32	14.46	4299.85
1993	3.52	0.22	12.09	3.74	15.83	4880.35
1994	4.01	0.26	12.97	4.27	17.24	5495.25
1995	4.64	0.32	14.99	4.96	19.95	6072.25
1996	4.92	0.34	15.37	5.27	20.63	6655.21
1997	5.00	0.37	15.52	5.38	20.90	7240.84
1998	4.91	0.34	15.06	5.25	20.31	7807.10
1999	4.97	0.41	14.11	5.38	19.49	8364.51
2000	5.17	0.54	14.21	5.71	19.93	9033.66
2001	5.72	0.61	16.11	6.33	22.44	9711.22
2002	6.41	0.73	18.32	7.15	25.47	10517.24

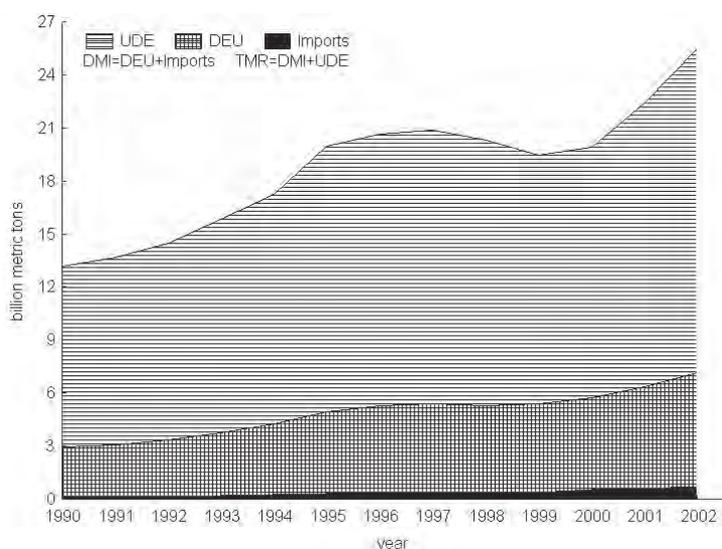


图3-2 中国经济系统物质投入量

质投入 (Direct Material Input, DMI) 的基本构成, 与之对应的隐流约为国内开采量的 3 至 4 倍。除了出现在 1998 至 2000 年间的小幅下降外, 整体上看, 自 1990 年至 2002 年间输入中国经济系统的物质流量正呈不断上升趋势。对于上述短期物质输入量的下降, 联系同期经济数据并没有出现类似趋向, 可以推测这一变化与发生在 1997 年的亚洲金融危机可能直接有关。当然, 对于这种物质指标中所明显反映出来的具体作用影响, 还需要进一步研究。

如果以 1995 年和 2000 年作为分界点, 可以将所研究的时段分为三个阶段。在第一和第三个阶段中, 物质投入指标均呈现出较稳定的上升。在第二个阶段中, 物质投入指标变化并不规律。由于这三个阶段分别处于中国国民经济和社会发展第八、第九和第十个五年计划期间, 这有助于进一步考察宏观经济政策对系统物质代谢的影响作用关系。

图 3-3 和图 3-4 给出了直接物质输入 DMI 的组成及各组成成份的变化过程, 其中金属矿物包括了金属以及冶金工业中涉及到的各种非金属矿物 (以下如无特殊说明, 均指包含了非金属矿物的总量), 后者没有包括在工业和建筑矿物中。由图中可以看出: 金属矿物用量在 1995 年增长达到了最高点, 进入“九五”之后开始逐渐下降, “十五”之后变化不大, 稳定在 DMI 的 8% 左右; 生物量自 1990

年以来均在不断增长, 1993 年之后增长速度更高, 但相对比例却一直稳定在 25% 左右; 化石燃料在 1997 年前均是 DMI 各组中所占比例最高的一项, 其绝对数量的变化过程也与前面 DMI 的变化过程类似。自 1990 年以来化石燃料所占比例一直呈下降趋势, 然而进入 2000 年的“十五”期间, 这一比例又开始重新上升; 不论从绝对数量还是从相对比例来考察, 工业和建筑矿物用量自 1990 年以来一直呈上升趋势, 1998 年之后已经成为 DMI 各组中最主要的部分。与此同时, 中国建筑行业的年均 GDP 增长率几乎接近 19%。建筑行业的快速增长对工业和建筑的矿物用量贡献巨大。

3.2 强度分析

与人口指标结合, 图 3-5 给出了中国与部分其他国家的人均总物质需求 TMR (Total Material Requirement) 的比较。这些国家有美国、英国等发达国家, 也有匈牙利和捷克等经济转型国家。由图中可以看出, 虽然中国近年来经济发展所需物质投入量在世界消费总量中占据很大比例, 但是以人均计, 中国消耗的物质投入量远远低于发达国家, 甚至也低于匈牙利和捷克这样的经济转型国家。

将物质指标与经济指标结合来看, 以单位 TMR 投入所产生的 GDP 代表物质资源投入生产

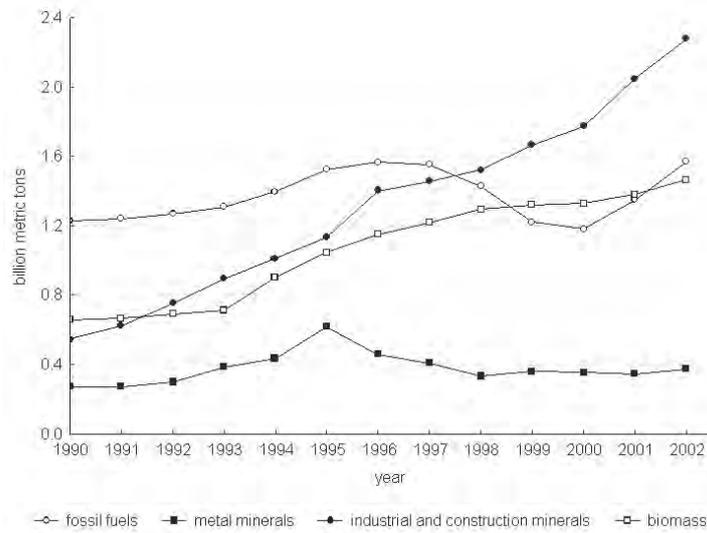


图3-3 直接物质输入 DMI 组成及变化过程

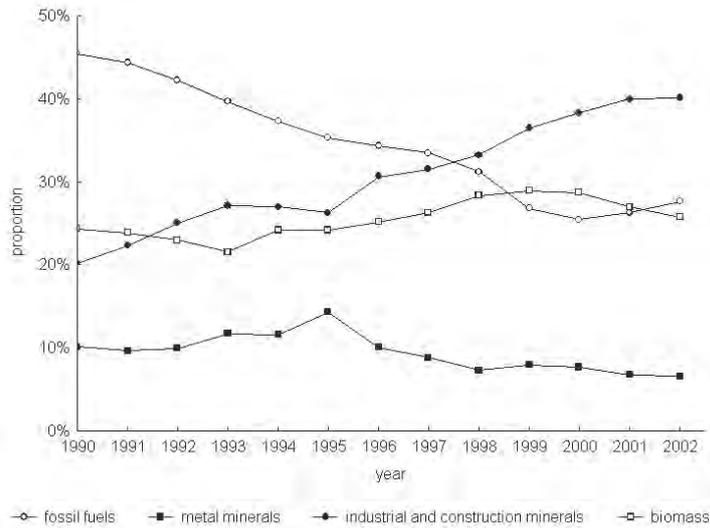


图3-4 直接物质输入 DMI 各组成成份所占比例变化过程

力，与部分其他国家的研究成果对比如图3-6所示。可以看出，中国单位物质投入所产生的GDP虽然呈现了一些上升趋势，但仍然远远低于其他国家，大体为发达国家平均水平的十分之一左右。在资源总量没有显著增加的条件下，不断提高资源生产力是降低资源环境压力的必然要求。对照发达国家，显然，中国的资源生产力如果仅停留在目前的改进水平上，将难以支持经济的可稳定发展。中国经济增长的资源生产力需要得到大幅度的提高，需要发生质的改进。

由于TMR指标包含了不产生经济效益的隐流，

如果用DMI代替TMR，衡量直接投入经济系统的物质生产力，并且与日本和欧盟15国平均水平比较，结果如图3-7所示。可以看出，在此条件下的直接物质投入生产力约为欧盟15国平均水平的四分之一。显然，中国经济系统产生了过多的对经济增长没有贡献的隐流。虽然采用DMI的生产力高于以GDP/TMR衡量的物质生产力结果，但仍然远低于发达国家。

当然，在上述比较分析中，一个重要的问题是各个国家的产业结构存在的很大差异，进一步结合产业结构等问题的分析，将是有益的。

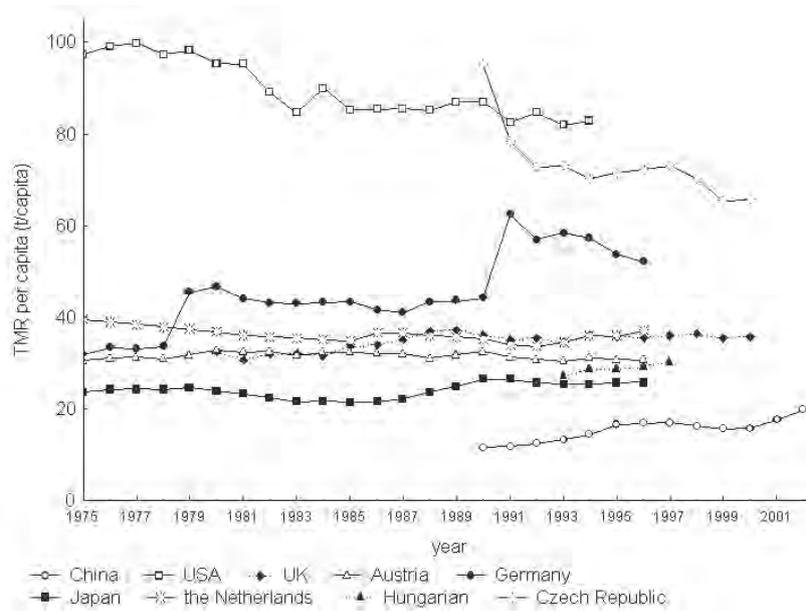


图3-5 人均总物质需求 TMR 对比

数据来源：奥地利、德国、日本、荷兰（1975-1996）: Matthews *et al.* (2000), 捷克（1990-2000）: Ščasný *et al.* (2003), 匈牙利（1993-1997）: Hammer and Hubacek (2002), 英国（1980-2000）: Sheerin (2002), 美国（1975-1994）: Adriaanse *et al.* (1997).

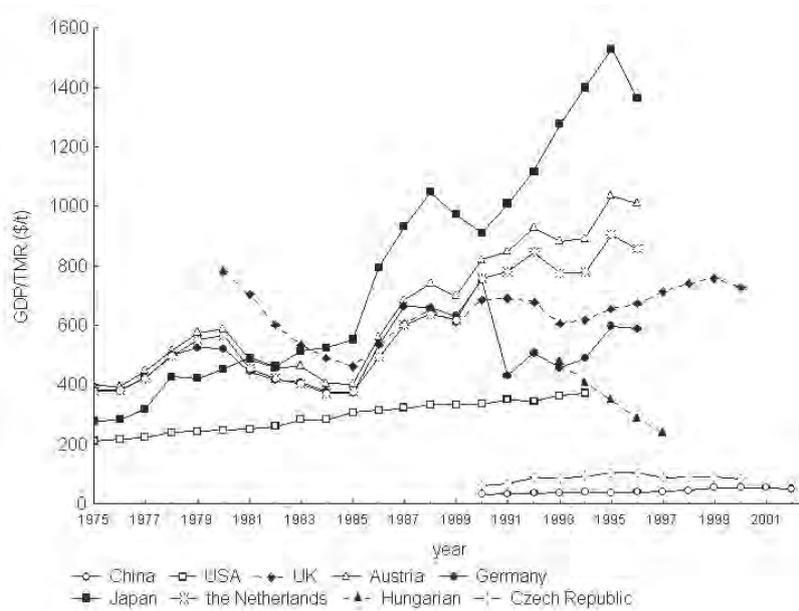


图3-6 GDP/TMR 对比

数据来源：同图3-5。

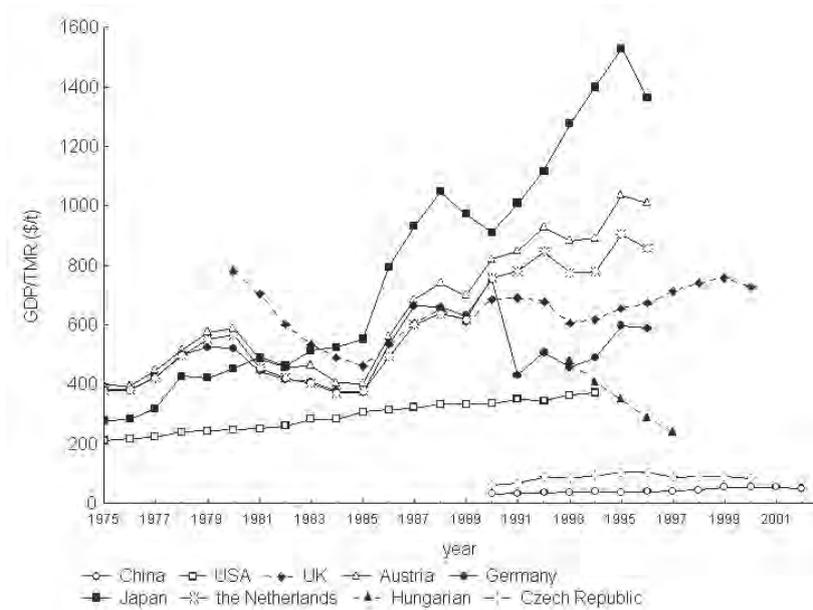


图3-7 GDP/DMI 对比

数据来源：日本 (1975-1996): Matthews *et al.* (2000), 欧盟 15 国 (1980-2000): EUROSTAT (2002).

4 物质输出分析

按照物质流分析，物质输入经过经济系统的转化，一部分成为蓄积在经济系统内部的物质累积，如基础设施、耐用商品等，另外一部分则成为输出到自然环境的 DPO。自 1990 年至 2002 年间的中国经济系统的输出物质流结果如表 4-1 所示。其中输

出到大气中的物质包含了一部分由于燃烧和生物呼吸所产生的二氧化碳，由于二氧化碳中的氧在输出输入两端均不发生变化，同时也因为氧的质量相比其他核算项目来说数量级要大，因此在计算 DPO 时一般不包含二氧化碳中的氧。

图 4-1 和图 4-2 描述了 DPO 各组成部分的比例关系及变化过程。由图可以看出，即使不考虑二氧

表 4-1 中国经济系统输出物质流指标 (十亿吨)

Year	Dissipative flows	Emission to water	Waste land filled	Emission to air		DPO		Exports
				Including oxygen	Excluding oxygen	Including oxygen	Excluding oxygen	
1990	0.03	0.02	0.05	2.43	0.68	2.53	0.77	0.12
1991	0.03	0.02	0.03	2.55	0.71	2.64	0.79	0.14
1992	0.03	0.02	0.03	2.68	0.74	2.76	0.82	0.16
1993	0.03	0.02	0.02	2.82	0.78	2.90	0.86	0.18
1994	0.03	0.02	0.02	2.99	0.83	3.07	0.90	0.25
1995	0.04	0.02	0.02	3.23	0.89	3.32	0.98	0.32
1996	0.04	0.02	0.02	3.37	0.93	3.45	1.01	0.34
1997	0.04	0.02	0.02	3.32	0.92	3.40	0.99	0.40
1998	0.04	0.02	0.07	3.15	0.87	3.28	1.01	0.39
1999	0.04	0.02	0.04	2.84	0.79	2.94	0.89	0.41
2000	0.04	0.02	0.03	2.80	0.78	2.90	0.87	0.53
2001	0.04	0.02	0.03	3.04	0.84	3.13	0.93	0.60
2002	0.04	0.02	0.03	3.54	0.98	3.63	1.07	0.70

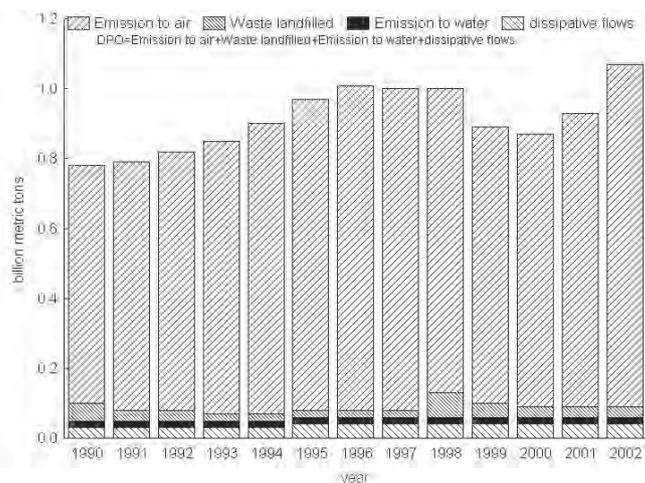


图4-1 DPO 组成及变化 (不含氧)

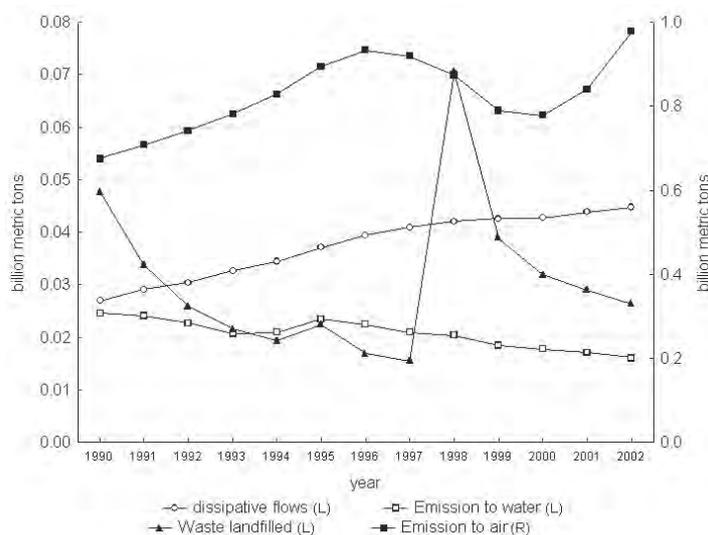


图4-2 DPO 组成变化过程

化碳中的氧，输出到大气中的物质质量在DPO的四部分组成中也占绝大多数，这主要是由于二氧化碳中的碳组分造成的。此外，与输入物质流类似，DPO的变化过程似乎也可能由于受到亚洲金融危机等因素的影响，在1997年之后曾发生了下降，直到2000年后又在不断增加。

5 物质消费分析

物质流分析方法提供了一系列考察物质消费的指标，其中比较重要的是国内物质消费DMC (Domestic Material Consumption) 和实物净蓄积量

NAS (Net Additions to Stock)。DMC被定义为直接物质输入DMI和出口物质质量之差，可用来衡量经济系统对物质的消费量。NAS被定义为DMC与DPO的差，可用来衡量当年蓄积在经济系统内部的物质质量。描述了DMC和NAS自1990年至2002年间的变化过程。可以看出，与本文前面已述及的物质输入、输出指标变动趋势类似，DMC和NAS除了在1998年有所下降之外，其他时间均呈不断上升趋势，在2000年之后这一趋势更为明显。

根据分解分析方法(DA: Decomposition Analysis)的思想(Hoekstra and van den Bergh, 2002)，可将由物质流分析过程所得到的测算结果

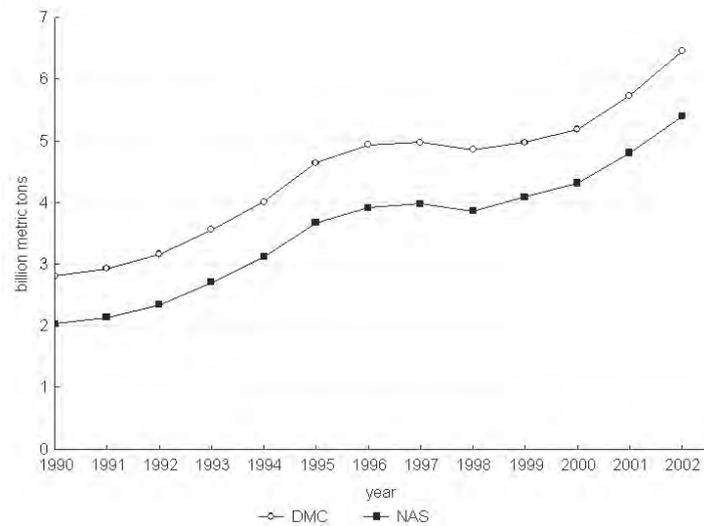


图5-1 DMC及NAS变化过程

表5-1 自然资源投入分解分析

时间	DMI	P	GDP/P	DMI/GDP
1990-2002	1.07	1.01	1.09	0.98
1990-1995	1.11	1.01	1.11	0.99
1995-1999	1.02	1.01	1.07	0.94
1999-2002	1.10	1.01	1.07	1.02

表5-2 自然资源消耗分解分析

时间 (a)	DMC	GDP	P/GDP	DMC/P
1990-2002	1.07	1.10	0.92	1.06
1990-1995	1.11	1.13	0.90	1.09
1995-1999	1.01	1.08	0.93	1.01
1999-2002	1.09	1.10	0.93	1.08

DMI及DMC,分解为表征社会、经济、技术的因子,并通过这些因子的变化考察其对物质流的不同贡献。

$$DMI = P \times (GDP/P) \times (DMI/GDP) \quad (1)$$

式中:DMI代表由于人类社会及其经济活动对自然环境造成的物质压力;P为人口;GDP/P为人均GDP,可以体现社会富裕和国民福利的程度;DMI/GDP表示经济系统的资源生产效率,用以衡量技术水平。

$$DMC = GDP \times (P/GDP) \times (DMC/P) \quad (2)$$

式中:DMC代表了经济运行和居民消费方式

对自然资源的需求;GDP可以衡量经济活动;P/GDP为单位GDP所支持的人口数,代表了该国的经济承载力;DMC/P代表了该国国民生活对自然资源的人均消耗强度。

由式(1)将影响自然资源投入(DMI)的因素分解为人口压力(P),国民福利(GDP/P)和技术水平(DMI/GDP)等3个指标,计算各指标年均变化率,用以表征各因素在自然资源投入量变化中所起的作用。按照对物质需求与消耗总量分析所划分的3个阶段,对1990-2002年以及上述3个阶段分别进行分析,得到各时段不同因子的年均变化率(以各时间段开始年份为1),结果如表5-1所示。可以认为,在1990-2002年间,由于中国经济系

统技术水平的提高（其倒数 DMI/GDP 年均下降 2 %），应当会对自然资源投入的增长程度产生一定的降低作用，但是由于国民福利和人口压力的增大（分别年均 9 % 和 1 %），总体上自然资源的投入仍呈上升状态（年均 7 %）。1995—1999 年间自然资源投入增长较少（年均 2 %），主要是由于同一时期国民福利增长较小（仅为年均 7 %）。自 1999 年之后，技术水平有了一定程度的下降（DMI/GDP 年均下降 2 %），但是由于人口压力和国民福利保持了较低速率的增长（分别为年均 1 % 和 7 %），因而自然资源的投入并没有出现相对较高的增长速率（年均 10 %）。

与对 DMI 的分解类似，根据式 (2)，将影响自然资源消耗（DMC）的因素分解为经济活动总量（GDP），经济负担（P/GDP），以及自然资源消耗强度（DMC/P）。按与表 5-1 同样的时段分别计算各因素的年均变化率，并以各时间段起始年份为 1，结果如表 5-2 所示。可以认为，在 1990—2002 年间，虽然经济负担的下降（年均 8 %）能够降低自然资源消耗量的增加，但是由于经济活动总量和自然资源消耗强度的增加（分别年均 10 % 和 6 %），其结果仍导致了自然资源消耗的不断增长（年均 7 %）。1990—1995 年间自然资源消耗量增长最快（年均 11 %），主要是由于高速增长的经济活动总量（年均 13 %）所致。1995—1999 年间自然资源消耗量基本保持不变，得益于经济活动总量的较低速率增长（年均 8 %）和自然资源消耗强度的有所下降（年均 1 %）。与上述 DMI 的情况类似，虽然经济负担对物质消耗的增长会发挥平抑作用，但来自经济活动总量和自然资源消耗强度方面的因素作用似乎相对更大，致使 1999 年后的自然资源消耗量重新又开始增长（年均 8 %）。

DMI 和 DMC 的分解分析表明，在全部分析时段内，一方面由于 1995 年至 1999 年间经济发展速度总体平缓，另一方面由于人口因素，在国民福利保持增长的同时而使得最终消费对物质资源需求相对不高，以致最终自然资源投入和消耗并未呈现出高度增长的结果。相反，从 1999 年后，虽然人口

压力和经济活动总量保持了相对较低速率的增长，但是由于人口基数较大，使得自然资源消耗强度有了一定的增加，加之生产技术水平一定程度的下降，从而反映在自然资源投入和消耗上的重新增加态势。

6 物质平衡分析

利用物质流分析结果，可对给定时间点的经济系统建立一物质平衡情景。如以 2002 年为例，中国经济系统的物质平衡图 6-1 所示。平衡图显示，在输入端，包含了隐流的非生物物质质量占有极高比例，其次为化石燃料燃烧与生物呼吸所需要的空气量，去除了水分的生物物质投入和进口物质质量分别居第三和第四位。这些输入物质经过中国经济系统的转换，约五分之一的物质以基础设施或耐用商品的形式蓄积在经济系统内部，其余约五分之四的物质则分别以固体废物、大气排放物、水体排放物、耗散物质流（Dissipative Flows）和出口物质的形式从系统输出。

7 趋势变化分析

为了进一步考察经济指标 GDP、社会指标人口数量、与各物质流分析核算指标的共同变动趋势，以 1990 年为基准量 100 进行分析，结果如图 7-1。可以看出：GDP 和人口数量均呈较为明显的线性增长过程。而对于物质流指标，1997 年前，五个主要的物质核算指标均呈较高速度的增长。但自 1997 年后，不同物质输入与输出指标变动状况不一。以 1995 和 2000 年为分界点将所研究的时段分为三个阶段，在第一和第三个阶段物质指标均呈现出稳定的线性增长过程，在第二个阶段物质指标的变化过程则较为曲折，或增长速度减缓，或不升反降。进一步辨识分析三个阶段的影响因素，将有助于深入认识物质流的变化机理。虽然在第二阶段一度出现过各种指标减降的状况，但结合前面的物质输入输出分析结果总体来看，中国经济系统始终表

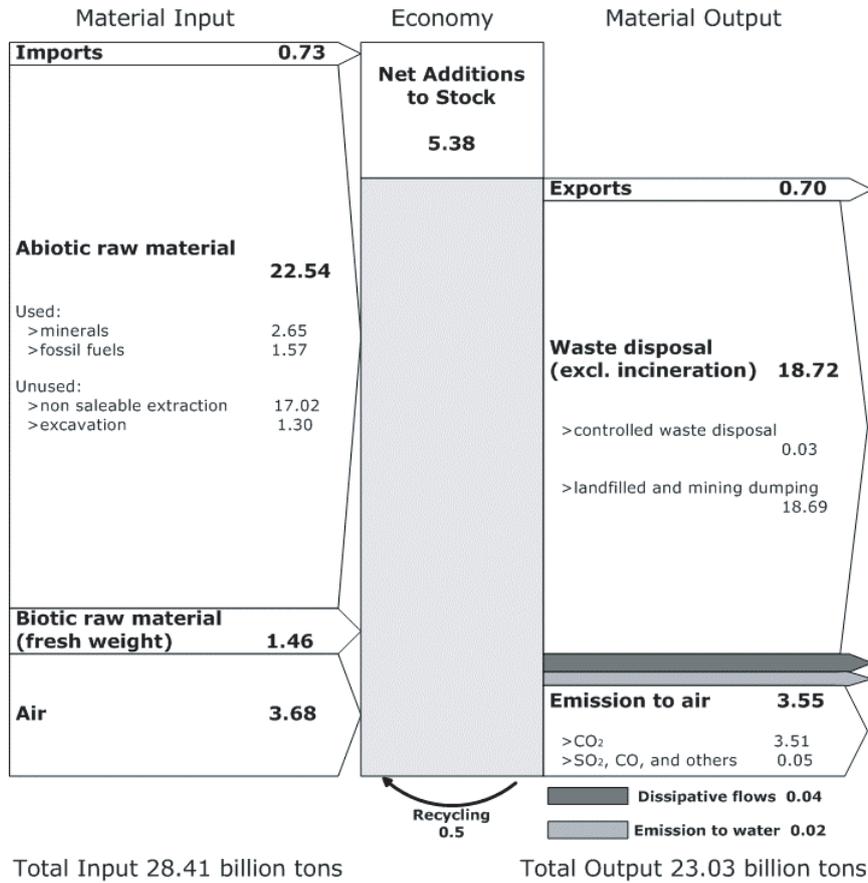


图6-1 中国经济系统2002年物质平衡 (十亿吨)

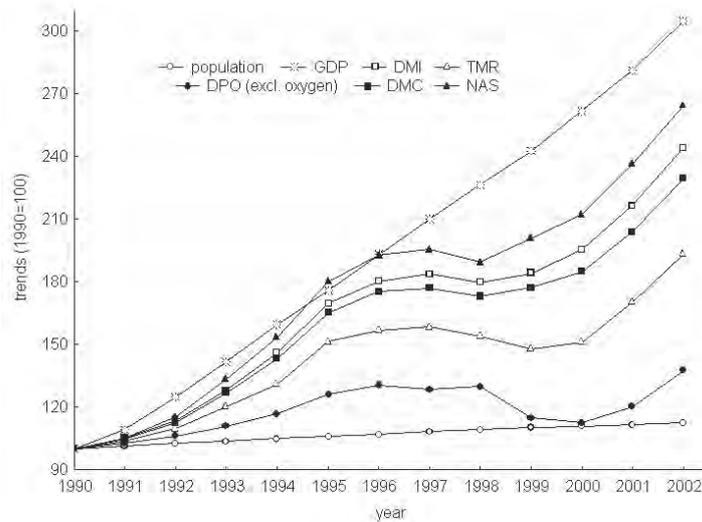


图7-1 经济、社会 and 物质指标趋势变化过程

现着资源高投入、经济低产出、以及废物高排放的明显特征，并呈现着这一状况继续增强的态势。

8 转变传统的物质代谢模式

未来一段时期内，中国将处于以重工业为表征的经济加速发展过程。国际以往经验表明，这是一个资源消耗强度大污染严重的阶段。事实上，2003年，中国GDP和出口总额分别仅为全球的4%和6%，但却消耗了全球48%的水泥、27%的钢铁、35%的铁矿石、以及近20%的铜和铝。毫无疑问，如果中国经济的发展继续沿袭传统的高消耗、低产出、高排放的粗放式物质代谢方式，不仅会遭遇更大的资源能源制约，而且会对生态环境构成更大的冲击。特别是近年来，在经济全球化中发达国家对中国的产业转移，更会加剧中国的资源环境问题。因此，切实变革传统的物质代谢模式，时不我待。

伴随着以新型工业化推进经济发展、全面建设小康社会这一战略任务的实施，当前，中国正着力全面启动以发展循环经济，建设资源节约与环境友好型社会为重要内容的十一五规划。循环经济，它是为变革传统的资源—产品（服务）—废物这一物质代谢模式，依据资源—产品（服务）—再生资源的物质代谢模式建立的既具有自身内部物质的高效利用与循环反馈机能、又能合理融入生态大系统物质循环过程中的经济发展体系形态。在该体系中，它将资源环境作为经济增长的内涵要素，通过资源环境与经济综合一体化的发展方式，依靠资源环境生产力的优化改进，不断降低产品（服务）生命周期全过程中的资源消耗与废物产生排放，提高经济的产出与效益，促进人类社会的发展与生态系统的协调相容。

从物质流概念模型不难看出，产品问题是将传统的物质代谢线性模式转向循环模式的核心。任何经济系统的物质代谢过程都是围绕产品（在市场运行条件下，即为商品）展开的。产品是经济系统中产业过程及其连接社会消费活动最基础的微观单元。正是由全部产品的生命周期代谢过程所构成的

“物质流网络系统”，支撑着以生产消费作用为驱动力的价值流的循环增值。同时，也使该“网络系统”不断地与其外部生态系统发生着物质能量交换，直接影响着生态系统的质量功能。因此，以产品功能形态及其结构为基础的生态化调整转型，将会从根本上减少产品生命周期过程网络中的资源消耗与环境负荷，从而对有效扭转产业系统乃至整个经济体系高消耗、低产出、高排放的结构质态具有决定性作用。所以，针对支配资源—产品—废物这一传统物质代谢系统的核心，即产品，大力实施生态设计，进行产品的绿色结构调整与升级换代，将是转变传统物质代谢模式、发展循环经济的关键。但是，将以产品为核心的线性物质代谢模式转向循环经济模式时，必须看到产品背后的支配变量。从微观经济层面上讲，这就是围绕产品的生产与消费行为。在宏观经济层面上看，则就是反映经济产出总量的增长与发展方式。因此，所谓变革传统的线性物质代谢模式、发展循环经济，本质就是转变传统的生产与消费方式，或说转变传统的经济增长方式。实现这一转变，根本在于将资源环境纳入经济体系并作为经济增长与发展的内涵要素，实施将经济与资源环境一体化的发展战略。

在推进经济与资源环境一体化的经济发展、进行循环经济建设，实施以产业结构生态转型为核心的产业系统生态化建设，围绕建立绿色市场进行制度（包括观念）创新是两项基本任务。

产业结构变化是经济增长的内在动因。中国正处于以重化工为特征加速进行工业化建设的历史阶段，对产业系统进行生态化结构重组转型，推动产业系统的生态质变，朝着生态产业系统演进，是适应中国经济发展阶段基本特征与走新型工业化道路的集中体现。所谓产业结构生态重组转型，是指对由产品（包括服务）、技术、规模、布局结构等组成的产业系统，重点围绕产品生态设计及其技术支撑体系进行的结构性升级转变。以产业结构生态重组转型为核心的产业生态化建设，将内在地支撑着传统经济增长方式的转变与循环经济体系的建设，有力地提升着产业与经济竞争力，同时也是支持可

持续消费、建立资源节约环境友好型社会的有力依托。因此，循环经济的核心内容就是产业生态化，推动产业系统沿着新型工业化的道路发展，建立起以“科技含量高，经济效益好，资源消耗低，环境污染少”为基本质态特征的新型工业化产业体系。

在旧有的制度框架中发展循环经济，存在着根本性的制度安排上的制约与障碍。伴随将资源环境因素纳入经济系统，转变增长与发展方式的过程，必然会对促进转变、建设循环经济的制度条件提出新的要求。因而循环经济的概念中，一个隐含着、必不可少的有机组成就是围绕“绿色”市场的培育发展，开展资源环境与社会经济发展一体化的法律、政策、以及全社会投入参与的制度（包括观念）创新，构建适应支持循环经济建设发展的体制和机制。循环经济的建设发展过程，同时又是制度创新的过程。某种意义上，成功的循环经济建设，关键就取决于制度创新建设的成功。循环经济的制度创新，归根结底是围绕市场经济条件，将生态规律结合到市场体系中，营造“绿色”市场机制，让市场讲出生态学的真理。当前国内外正努力推动或研究实施的环境税、综合环境的国民经济核算（绿色GDP）、政府绿色采购、产品环境标志、扩展的生产者责任、环境会计、绿色金融乃至渗透到WTO中的绿色贸易规则等一系列手段措施，都会程度不同地从各个层次侧面推动“绿色”市场的建立，进而催生着循环经济制度体系的形成。

9 结束语

中国经济系统的物质流分析结果表明，物质输入输出总量规模大，资源生产力水平低，伴随经济快速发展中资源能源消耗与环境负荷不断增加，这是中国经济系统物质代谢过程的基本特征。

面对中国资源短缺与严重的环境污染局面，压缩式地沿袭经济发展的传统模式与道路，不仅在当今国际政治经济格局下已难以为继，更重要的是这种依靠透支自然资源，以破坏生态环境为代价的传统经济发展模式从根本上是不可持续的。

转变传统的线性物质代谢模式，推进经济与资源环境一体化的发展战略，发展循环经济，建立资源节约与环境友好型社会，是促进中国可持续发展的唯一正确的选择。

参考文献

- Adriaanse, A., Bringezu, S., Hamond, A., Moriguchi, Y., Rodenburg, E., Rogich, D., Schütz, H. (1997): Resource flows: The material base of industrial economies. World Resource Institute, Washington.
- Ayres, R. (1989): Industrial metabolism. In: Ausubel, J. (Ed.) Technology and Environment. National Academy Press, Washington, D.C.
- Chen, X., Qiao, L. (2001): A preliminary material input analysis of China. *Population and Environment*, 23(1), 117-126.
- EUROSTAT. (2001): Economy-wide material flow accounts and derived indicators: A methodological guide. Statistical Office of the European Union, Luxembourg.
- EUROSTAT. (2002): Material use in the European Union 1980-2000: Indicators and analysis. Statistical Office of the European Union, Luxembourg.
- FAO (2005): FAO Statistical Databases. Available at <http://faostat.fao.org/>.
- Fischer-Kowalski, M. and Haberl, H. (1993): Metabolism and colonization: Modes of production and the physical exchange between societies and nature, *Schriftenreihe Soziale Ökologie*, Band 26, Wien.
- Hammer, M., Hubacek, K. (2002): Material flows and economic development: Material flow analysis of the Hungarian economy. Interim Report. No. 02-057. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg.
- Hoekstra, R., van den Bergh, J.C.J.M. (2002): Structural decomposition analysis of physical flows in the economy. *Environmental and Resource Economics*, 2002, 23(3):357-378.
- Matthews, E., Bringezu, S., Fischer-Kowalski, M., Huettler, W., Kleijn, R., Moriguchi, Y., Ottke, C., Rodenburg, E., Rogich, D., Schandl, H., Schuetz, H., van der Voet, E., Weisz, H. (2000): The weight of nations: Material outflows from industrial economies. World Resources Institute, Washington.
- Scheerin, C. (2002): UK material flow accounting. *Economic Trends*, No. 583 June 2002. Office for National Statistics,

- London.
- Ščasný, M., Kovanda, J. Hák, T. (2003): Material flow accounts, balances and derived indicators for the Czech Republic during the 1990s: results and recommendations for methodological improvements. *Ecological Economics*, 45(1), 41–57.
- UNSD (2005): Millennium Indicators Database. Available at <http://millenniumindicators.un.org/>.
- Wuppertal Institute (2003): MIPS online. Available at http://www.wupperinst.org/Projekte/mipsonline/download/MIT_v2.pdf.
- 陈永梅. 建筑行业物质流核算与分析. 工学硕士学位论文. 北京. 清华大学, 2005.
- 陈效速, 乔立佳. 中国经济—环境系统的物质流分析. *自然资源学报*, 2000, 15 (1): 17–23.
- 陈效速, 赵婷婷, 郭玉泉, 等. 中国经济系统的物质输入与输出分析. *北京大学学报 (自然科学版)*, 2003, 39 (4): 538–547.
- 刘敬智, 王青, 顾晓薇, 丁一, 刘建兴. 中国经济的直接物质投入与物质减量分析. *资源科学*, 2005, 27 (1): 46–51.
- 莫华. 建筑材料生命周期分析. 工学硕士学位论文. 北京. 清华大学, 2003.
- 徐明, 张天柱. 中国经济系统中化石燃料的物质流分析. *清华大学学报 (自然科学版)*, 2004, 44 (9): 1166–1170.
- 徐一剑, 张天柱, 石磊, 陈吉宁. 贵阳市物质流分析. *清华大学学报 (自然科学版)*, 2004, 44 (12): 1688–1691.
- 徐明, 张天柱. 中国经济系统的物质投入分析. *中国环境科学*, 2005, 25 (3): 324–328.
- 张天柱. 循环经济的概念框架. *环境科学动态*. 2004.2: 1–3.