

穿越“环境高山”

——论经济增长过程中环境负荷的上升与下降

陆钟武, 毛建素

(东北大学 国家环境保护生态工业重点实验室, 沈阳 110004)

[摘要] 把描绘发达国家经济增长过程中的环境负荷曲线比喻成“环境高山”。强调了发展中国家, 尤其是中国, 发展经济的正确之路是: 从“环境高山”的半山腰穿过去, 走新型工业化道路。推导了环境负荷与 GDP 之间的关系式, 其中 GDP 年增长率 g 和单位 GDP 环境负荷年下降率 t 是两个关键变量。以一些国家和中国的一些省份为实例, 分析了经济增长与能源消费量之间的关系。在不同的假设条件下, 计算了 2005, 2010, 2020 年中国的环境负荷, 并以能源消耗为例, 做了进一步的说明。

[关键词] “环境高山”; 环境负荷; GDP 年增长率; 单位 GDP 环境负荷; 单位 GDP 环境负荷的年下降率

[中图分类号] F061.3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2003)12-0036-07

1 前言

新中国成立以来, 尤其是改革开放以来, 我国经济持续高速增长。目前的经济总量已相当可观。与此同时, 随之而来的环境负荷总量也相当巨大, 环境形势相当严峻。

近些年来, 我国在环境保护方面, 采取了一系列重大措施, 取得了比较显著的效果。“全国环境状况正在由环境质量总体恶化、局部好转, 向环境污染加剧趋势得到基本控制、部分城市和地区环境质量有所改善转变”^[1]。

但是, 应该看到, 我国还正在工业化的进程中, 为了最终完成工业化的全过程, 还有很长一段路要走。这条路究竟怎样走才能实现经济和环境“双赢”, 是现在就必须做出选择的重大问题。因为: a. 经济高速增长的势头可能还将延续多年, 今后只有走对了路, 才能避免环境负荷的快速上升; 否则, 不出几年, 我国的环境问题就可能非常严重。b. 我国是最大的发展中国家, 经济和环境负荷总量, 在世界上都已占有一定份额, 将来还会愈来愈大。环境负荷总量若得不到有效控制, 不仅我国自身承受不了, 而且对于世界都会有较大影响。

党的十六大指出, 我国必须走出一条经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源得到充分发挥的新型工业化路子来^[2]。这是高瞻远瞩的宏伟战略目标, 它给全国人民指明了方向, 意义十分重大。环保和经济工作者的任务, 是把这条新型工业化道路进一步具体化, 并把它落到实处。

环境和发展, 二者必须联系起来, 才能看清问题的本质。这个观点, 是从 20 世纪 80 年代起人们才逐渐认识到的。近来国内外出版了一些有份量的专著^[3~6], 很有参考价值。例如文献 [4] 利用模型运算的结果, 展示了今后几十年内世界人口、资源和环境变化的各种情景预测。

本文将在参考国内外文献的基础上, 论述在我国工业化的后半段时间内, 避免出现严重环境问题的原则思路; 对经济增长过程中环境负荷的上升和下降问题进行必要的理论分析; 以能源消耗量为例, 分析一些国家和我国一些省份在经济增长过程中环境负荷的变化情况; 并对我国未来的环境负荷进行预测。

2 基本思想

一二百年来, 西方各发达国家的经济增长与环

境负荷的升降过程以及未来的趋势，如图 1 (a) 所示^[7]。图中横坐标是“发展状况”，它比经济状况的涵义更广泛些；纵坐标是“资源消耗”，强调的是环境负荷的源头方面。由图可见，在经济增长的过程中，环境负荷的升降分为三阶段：工业化阶段：环境负荷不断上升；大力补救阶段：环境负荷以较慢的速度上升，达到顶点后，逐步下降；远景阶段（尚未完全实现）：环境负荷继续下降，直到很低的程度。在前两个阶段的一部分时间里，有些国家的环境问题曾经十分严重。今后的任务是不断地降低环境负荷，沿着图中的虚线往前走。

发展中国家的经济增长，起步较晚，至今仍在工业化的征途中。这些国家应以发达国家的历史为鉴，认真吸取其经验教训，不去重复它们的错误。也就是说，不要等到工业化的后期，才采取补救措施，而要当机立断，从现在起就采取有力措施，争取早日进入第二和第三阶段，如图 1 (b) 所示^[8]。这样，就可以在工业化进程的后半段时间内，避免出现十分严重的环境问题。

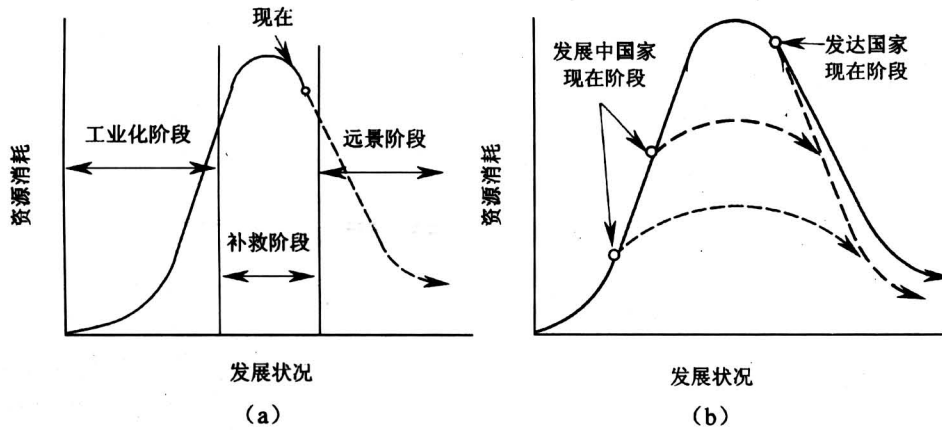


图 1 资源消耗与发展状况的关系

Fig. 1 The relationship between resource consumption and the state of development

3 理论分析

环境负荷的控制方程可写成如下形式^[9,10]：

$$I = P \times A \times T, \quad (1)$$

式中 I —环境负荷，含资源、能源消耗及废弃物排放等； P —人口； A —人均国内生产总值； T —单位国内生产总值的环境负荷。

若令 $P \times A = G$ ，则式 (1) 变为

$$I = G \times T, \quad (2)$$

式中 G —国内生产总值。

如果把图 1 中描绘发达国家环境负荷的曲线看成是一座高山，那么发展经济就是一次翻山活动。发达国家已经基本上翻过了这座“环境高山”，经济大幅度发展了，但是也曾付出过沉重的环境代价。所以，发展中国家最好不要再走发达国家从山顶上翻过去的老路，而需另走一条新路，那就是在半山腰上开凿一条隧道，从其中穿过去。这样，翻山活动变成了穿山活动，付出的代价（环境负荷）较低，而前进的水平距离（经济增长）却没变。

如果我国今后继续走传统的工业化老路，往山顶上爬，那么可以预料，未来的环境问题必将十分严重。所以，这条路是走不得的，也是走不通的。我国唯一的正确选择是下决心在“环境高山”的山腰穿过去，走出一条新型工业化的道路，避开环境问题最严重的阶段，这个决心下得越早越好。这是属于“机不可失，时不再来”的一种选择。如果错过当前的时机，等若干年后再下决心，就可能为时已晚。

式 (2) 是环境负荷与国内生产总值之间的基本关系式。

在式 (1) 两侧同除以 P ，则得

$$\frac{I}{P} = A \times T,$$

或写作

$$E = A \times T, \quad (3)$$

式中 $E = \frac{I}{P}$ ，是人均环境负荷。

式 (3) 是人均环境负荷与人均国内生产总值之间的基本关系式，其中各参数之间的关系与式

(2) 相同。

下文中将从式(2)出发展开分析,其结果同样适用于人均环境负荷与人均国内生产总值之间的关系。

国内生产总值 GDP 是经济发展的主要指标,以下将用 GDP 表示经济发展程度*。

由式(2)可见,如果单位 GDP 的环境负荷 T 值在 GDP 变化过程中保持不变,那么环境负荷 I 与 GDP 之间的关系很简单,即二者同步变化。好比 GDP 翻一番,那么环境负荷也跟着翻一番。但是,如果在 GDP 上升或下降的过程中, T 值也变化,而且二者又都是按各自不同的规律在变化,那么经济增长与环境负荷之间的关系,就比较复杂了。为了简明起见,本文仅分析 GDP 呈指数增长,而单位 GDP 的环境负荷呈下降的情况。

设基准年份的 GDP 和单位 GDP 环境负荷分别为 G_0 和 T_0 ; GDP 的年增长率和单位 GDP 环境负荷的年降低率分别为 g 和 t 。

第 n 年的 GDP 等于

$$G_n = G_0(1+g)^n, \quad (4)$$

第 n 年单位 GDP 的环境负荷等于

$$T_n = T_0(1-t)^n, \quad (5)$$

第 n 年的环境负荷等于

$$I_n = G_n T_n,$$

将式(4)、式(5)代入上式:

$$I_n = G_0 T_0 (1+g)^n (1-t)^n,$$

化简后,得到

$$I_n = G_0 T_0 (1+g-t-gt)^n, \quad (6)$$

式(6)是在 GDP 呈指数增长,而 T 呈指数下降的条件下,在 GDP 增长过程中第 n 年环境负荷的计算式。

由式(6)可见,当 GDP 呈指数增长,而单位 GDP 的环境负荷呈指数下降时,在 GDP 增长过程中,环境负荷的变化可能出现逐年上升、保持不变、以及逐年下降三种情况。其条件分别是:

1) 环境负荷 I_n 逐年上升:

$$g-t > gt. \quad (7a)$$

2) 环境负荷 I_n 保持原值不变:

$$g-t = gt. \quad (7b)$$

3) 环境负荷 I_n 逐年下降:

$$g-t < gt. \quad (7c)$$

其中,式(7b)是临界条件,从中可求得单位 GDP 环境负荷年降低率的临界值为

$$t_k = g/(1+g). \quad (8)$$

如实际的 t 值大于 t_k 值,环境负荷必逐年下降,环境状况逐年好转;反之,环境状况必逐年恶化。在规划工作中,式(7)是判断环境负荷将来会上升还是下降的依据。

请注意, t_k 值与 g 值之间并不相等。由式(8)可见, t_k 略小于 g ,见表1。

表1 $t_k = g/(1+g)$ 的计算值

Table 1 The calculated values of $t_k = g/(1+g)$

g	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15
t_k	0.009 9	0.019 6	0.029 1	0.038 5	0.047 6	0.056 6	0.065 4	0.074 1	0.082 6	0.090 9	0.099 1	0.107 1	0.115 0	0.122 8	0.130 4

4 实例及其分析

以能源消耗量为例,分析一些国家和我国一些省份在经济增长过程中环境负荷的升降实况。

4.1 国家级实例及分析

在1980—1999年间,一些国家人均国民生产总值 GNP** 增长过程中人均年能源消耗量变化的实况,如图2所示^[11]。图中的每根折线代表一个国家,每根折线上的3个点分别是1980,1990,1999年该国的坐标点。每根折线第三个点上的箭头表明线的走向。

图2的整个画面,好像是一幅群山图,“环境

高山”的轮廓显现得比较清楚。图中加拿大、挪威、瑞典、荷兰4国,人均能源消耗量1990年开始下降;其他发达国家则在1980—1999年间基本保持稳定,或稍有上升;发展中国家,就完全是另一种情况,它们的箭头全都直指上方。对各国数据进行必要的计算后,可得到以下看法:

1) 在上世纪90年代,加拿大、挪威、瑞典、荷兰的共同点是: $t > t_k$, 所以人均能源消费量 E

* 即使用国民生产总值 GNP 作为经济发展指标,以下分析结果也同样有效。

** 1999年 GNP 数据为2000年值,详见文献[11]附表4-13。

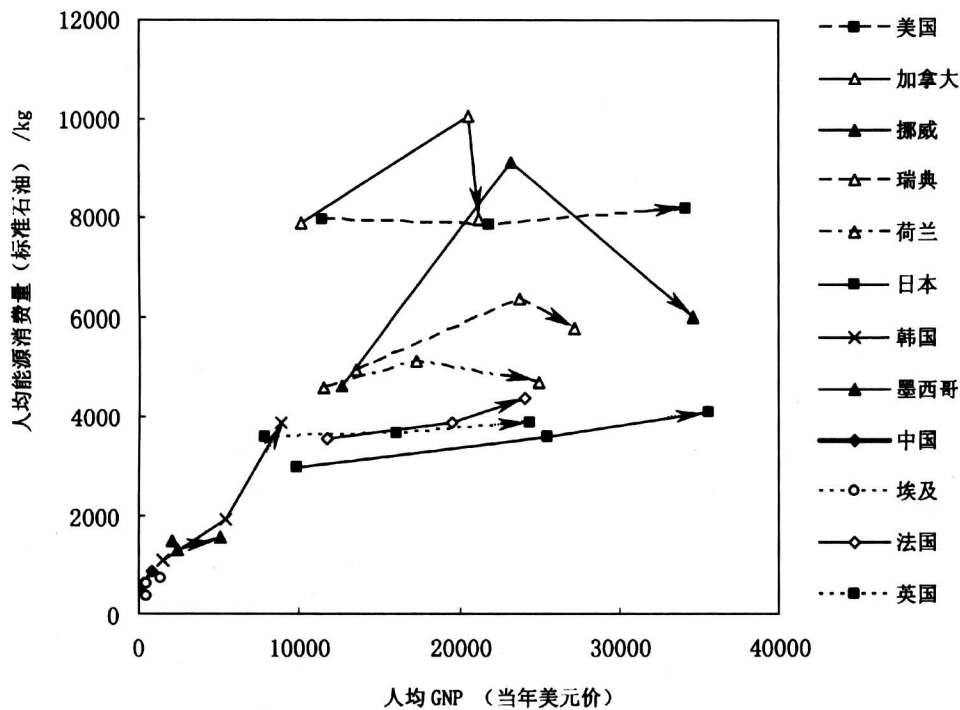


图 2 几个国家的人均能源负荷—人均 GNP 变化曲线

Fig.2 The curves of per capita energy consumption—per capita GNP for several countries

值下降。例如，挪威， $g = 4\%$ ， $t_k = 3.85\%$ ，而 $t = 8\%$ ，所以， E 值（标准石油）从 9 083 kg/a 降为 5 965 kg/a；又例如，加拿大 $g = 1\%$ ， $t_k = 0.99\%$ ，而 $t = 3\%$ ，所以， E 值（标准石油）从 10 009 kg/a 降为 7 929 kg/a；

2) 其他发达国家的 t 值比较接近、或等于于它们各自的 t_k 值，所以，人均年能源消费量稍有上升，或基本不变；

3) 发展中各国的情况是：单位 GNP 能源消费

量的下降，远远跟不上人均 GNP 的增长，所以人均能源消费量大幅度上升。例如，韩国在 1980—1990 年间，单位 GNP 能源消费量以每年 7% 的速度下降，但人均 GNP 以每年 14% 的速度上升，前者比后者低得多，所以人均能源消费量（标准石油）从 1 087 kg/a 上升为 1 898 kg/a；

4) 从一些国家单位 GNP 能源消费量的比较（表 2）可见，各国之间的差异相当大。能源利用最好的国家是日本，利用很差的是中国。

表 2 一些国家的千美元能源消费量（以标准石油计）

Table 2 The energy consumption per thousand US dollars for several countries kg/千美元

年份	日本	挪威	荷兰	美国	加拿大	墨西哥	韩国	中国
1980	300	363.6	400.5	698	774.4	711	715	1 452
1990	140	392.8	295.8	359	489.0	522	351	1 616
1999	114	127.7	187.7	239	357.3	304	434.5	1 033

图 3 是中、美、日三国在过去的半个世纪里，经济增长与能源消耗的实况^[12]。由图可见，近 30 年来，美国和日本的年能源消耗量都已基本稳定。中国则不然，能源消费量与 GDP 同步增长，只是近几年来能源消费量上升的速度才慢下来。中、美两国的曲线连起来看，中国还正在往“环境高山”

上爬。日本的情况很不一样，能源消费量从来就不曾上升到很高的数量。可以认为，在能源消耗问题上，日本所走的路子就是穿越“环境高山”。

4.2 省级实例及分析

1980—1999 年间，我国一些省、自治区和直辖市人均 GDP 增长过程中人均年能源消耗量变化

的实况,如图4所示^[13]。图中的每一根折线代表一个省、自治区、直辖市,每根折线上的三个点分

别是1980,1990,2000年该省或市的坐标点。经必要计算后,可以见到以下几点。

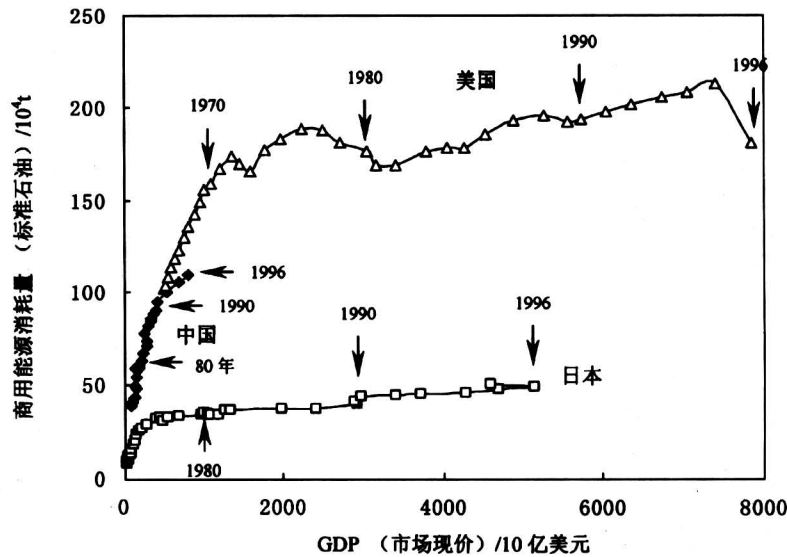


图3 中、美、日三国商用能源消耗量—GDP关系曲线

Fig.3 The curves of commercial energy consumption—GDP for China, USA and Japan

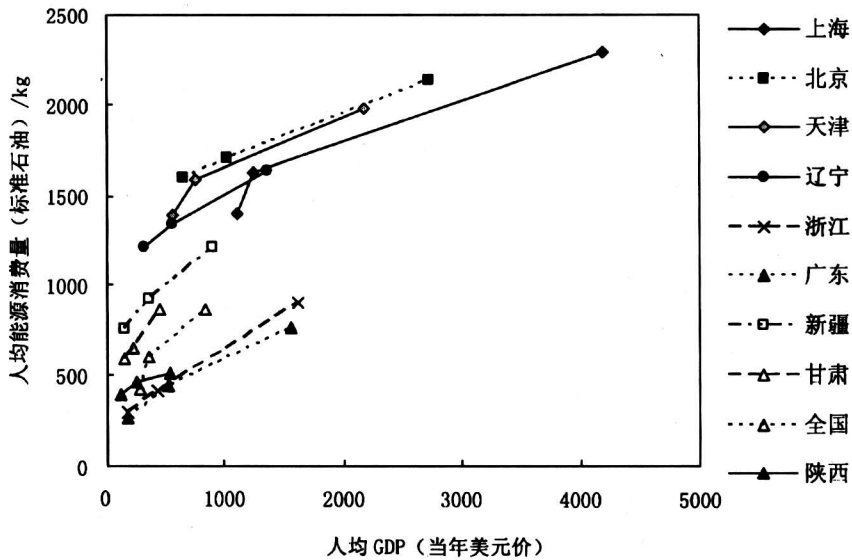


图4 中国几个省、市的人均能源消耗量—人均GDP变化曲线

Fig.4 The curves of per capita energy consumption—per capita GDP for several provinces and cities

1) 各省、自治区和直辖市的共同特点是： $t < t_k$ ，人均能源消费量随人均GDP的增长而上升。浙江省最突出，1990—2000年间，单位GDP能源消费量每年递减约5%，但人均GDP每年递增约14%，所以人均年能源消费量（以标准石油计）从411 kg/a上升到907 kg/a。经济发展较快的其他省、市，如广东省、上海市，也大致如此。

2) 各省、自治区和直辖市单位GDP能源消费

量的差别较大，见表3。以2000年为例，广东省单位GDP能源消费量为491 kg/千美元，而甘肃省高达1866 kg/千美元，二者的比值为1:3.8。各省、市情况不同，但相互交流经验看来十分重要。

5 中国环境负荷预测

中国2001年GDP增长率为7.3%^[14]；在下面的预测中，假设今后20年内GDP按 $g = 0.07$

递增。

表 3 中国几个省、市的单位 GDP 能源消费量 (以标准石油计)

Table 3 The energy consumption per unit GDP for several provinces and cities in China

kg/千美元						
年份	广东	上海	浙江	辽宁	新疆	甘肃
1980	1364	1257	1529	3655	4533	3760
1990	825	1311	926	2369	2452	2843
2000	491	550	557	1203	1337	1866

为了便于讨论问题, 设中国 2001 年的 GDP 为 G_0 , 环境负荷为 I_0 , 单位 GDP 环境负荷为 T_0 ; 单位 GDP 环境负荷的年下降率 (t 值) 按 $t=0.0$, $t=0.04$, $t=t_k=0.0654$ 三种情况考虑。在上述条件下, 按式 (4)、(5)、(6) 计算 2005, 2010, 2020 年的 G , I 及 T 值, 计算结果如表 4 所示。

表 4 中国 2005, 2010, 2020 年 G , I 及 T 的计算值

Table 4 The calculated values of G , I and T in 2005, 2010, 2020 for China

年份	GDP(G)	环境负荷(I)	单位 GDP 环境负荷(T)
2001	G_0	I_0	T_0
$g=0.07, t=0.00$			
2005	$1.311G_0$	$1.311I_0$	T_0
2010	$1.838G_0$	$1.838I_0$	T_0
2020	$3.617G_0$	$3.617I_0$	T_0
$g=0.07, t=0.04$			
2005	$1.311G_0$	$1.113I_0$	$0.849 T_0$
2010	$1.838G_0$	$1.273I_0$	$0.693 T_0$
2020	$3.617G_0$	$1.665I_0$	$0.460 T_0$
$g=0.07, t=t_k=0.0654$			
2005	$1.311G_0$	I_0	$0.763 T_0$
2010	$1.838G_0$	I_0	$0.544 T_0$
2020	$3.617G_0$	I_0	$0.277 T_0$

表 4 可用于中国各种环境负荷的 2005, 2010, 2020 年的预测。

以能源消耗为例, 2001 年能源消耗量 (以标准煤计) 为 $I_0 = 13.2 \times 10^8 \text{ t}^{[15]}$, GDP 为 $G_0 = 95\,933.3$ 亿元人民币 (当年价)^[16], 由此算得单位 GDP 的环境负荷为 $T_0 = 1.376 \times 10^4 \text{ t/亿元人民币}$ 。

将以上 G_0, I_0, T_0 值代入表 4 后得表 5。

表 5 中国 2005, 2010, 2020 年 GDP、能耗、单位 GDP 能耗的计算值 (以标准煤计)

Table 5 The calculated values of GDP, energy consumption, energy consumption per unit GDP in 2005, 2010, 2020 for China

年份	GDP /亿元人民币	能耗 / $\times 10^4 \text{ t}$	单位 GDP 能耗/ $\times 10^4 \text{ t} \cdot (\text{亿元人民币})^{-1}$
2001	95 933.3	132 000	1.376
$g=0.07, t=0.00$			
2005	125 749.0	173 025.1	1.376
2010	176 369.5	242 676.6	1.376
2020	346 945.4	477 381.6	1.376
$g=0.07, t=0.04$			
2005	125 749.0	146 958.3	1.169
2010	176 369.5	168 061.8	0.953
2020	346 945.4	219 795.7	0.634
$g=0.07, t=t_k=0.0654$			
2005	125 749.0	132 000	1.050
2010	176 369.5	132 000	0.749
2020	346 945.4	132 000	0.381

由表 5 可见, 在 GDP 年递增率 0.07 的情况下, 如不采取措施降低单位 GDP 能源消耗量, 即 $t=0.00$, 总能源消耗量将与 GDP 同步增长, 2005, 2010 和 2020 年将分别达到 $17.3 \times 10^8 \text{ t}$, $24.3 \times 10^8 \text{ t}$ 和 $47.7 \times 10^8 \text{ t}$ 标准煤。如此巨大的能源消耗量, 不仅供应困难, 而且环境也承受不了。

当 $t=0.04$ 时, 因 $t < t_k$, 总能源消耗量将逐年上升, 2005, 2010 和 2020 年将分别达到 $14.7 \times 10^8 \text{ t}$, $16.8 \times 10^8 \text{ t}$ 和 $22.0 \times 10^8 \text{ t}$ 标准煤, 年递增率为 2%~3%。这对于能源供应和环境状况的压力仍不小。

若将 t 值提高到临界值 0.0654, 则能源消耗量将一直保持 2001 年的水平。为此单位 GDP 能源消耗量在 2005, 2010 和 2020 年必须分别达到 10 500, 7 490, 3 810 t 标准煤/亿元人民币 GDP, 分别相当于 2001 年的 0.763, 0.544, 0.277 倍。只要努力, 那么中国将顺利地穿过“能源高山”, 走出一条经济增长和能源节约的新路。

6 结论

1) 穿越“环境高山”, 虽然是个比喻, 但它能很形象地说明新型工业化道路在环境与发展二者关

系方面的基本特征。

2) 要当机立断,下决心走穿越“环境高山”之路,否则,未来十分严重的资源和环境问题是无论如何也避免不了的。

3) 要千方百计使万元 GDP 环境负荷的年下降率 t 值接近、等于甚至大于 GDP 的年增长率 g 值;要随时监控万元 GDP 的环境负荷 T 值和环境负荷总量 I 值。

4) 要因地制宜,从实际情况出发,制定环境与发展规划,科学地确定各阶段的 g , t , T , I 等指标的目标值。

参考文献

- [1] 国家环境保护总局等部委. 国家环境保护“十五”计划 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001
- [2] 江泽民. 全面建设小康社会, 开创中国特色社会主义事业新局面——在中国共产党第十六次全国代表大会上的报告 [N]. 人民日报, 2002-11-18 (1-4)
- [3] 莱斯特·R·布朗. 生态经济——有利于地球的经济构想 [M]. 林自新等译, 北京: 东方出版社, 2002
- [4] 唐奈勒·H·梅多斯等. 超越极限——正视全球性崩溃, 展望可持续的未来 [M]. 赵旭等译, 上海: 上海译文出版社, 2001
- [5] 中国科学院可持续发展战略研究组. 中国现代化进程战略构想 [M]. 北京: 科学出版社, 2002
- [6] 瑞典斯德哥尔摩国际环境研究院. 绿色发展, 必选之路(中国人类之发展报告 2002) [M]. 北京: 中国财政经济出版社, 2002.
- [7] Graedel T E, Allenby B R. Industrial Ecology [M]. New Jersey. Prentice Hall, 1995. 7
- [8] Graedel T E, Allenby B R. Industrial Ecology [M]. New Jersey. Prentice Hall, 1995. 31
- [9] Rao P K. Sustainable Development: Economics and Policy [M]. New Jersey. Blackwell, 2000. 97~100
- [10] Graedel T E, Allenby B R. Industrial Ecology [M]. 2nd edition. New Jersey. Prentice Hall, 2002. 5~7
- [11] 中国现代化战略研究课题组, 中国科学院中国现代化研究中心. 2003 中国现代化报告——现代化理论、进展与展望 [R]. 北京: 北京大学出版社, 2003, 193~194
- [12] 世界银行. 99' 世行发展指标 [EB/OL]. 北京: 中经网数据中心, 北京大学教育学院. <http://www.gse.pku.edu.cn/dataset/cei/worlddate/wdbxaw.htm>, 1999-6-24
- [13] 中国现代化战略研究课题组, 中国科学院中国现代化研究中心. 2003 中国现代化报告——现代化理论、进展与展望 [R]. 北京: 北京大学出版社, 2003. 253~254
- [14] 世界经济年鉴编辑委员会. 世界经济年鉴——2002/2003 [J]. 2002, 32
- [15] 中华人民共和国国家统计局编. 中国统计年鉴——2002 [J]. 2002: 249
- [16] 中华人民共和国国家统计局编. 中国统计年鉴——2002 [J]. 2002: 53

Crossing “Environmental Mountain”

——On the Increase and Decrease of Environment Impact in the Process of Economic Growth

Lu Zhongwu, Mao Jiansu

(SEPA Key Laboratory on Eco-industry, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

[Abstract] The curve of environmental impact in the process of economic growth in developed countries was likened to “environmental mountain”. For developing countries, particularly China, the right way of economic development is going through the “environmental mountain” on the halfway up the mountain – a new way for industrialization. The formulas of the relationship between environmental impact and GDP were derived, in which there are 2 key variables: g —growth rate of GDP; t —decreasing rate of environmental impact per unit GDP. Taking several countries and provinces in China as examples, the relationships between economic growth and energy consumption were studied. The environmental impacts of China in the years 2005, 2010 and 2020 were anticipated under different assumptions, and further discussion was given in terms of energy consumption.

[Key words] “environmental mountain”; environmental impact; growth rate of GDP; environmental impact per unit GDP; decreasing rate of environmental impact per unit GDP