

榆林市环境负荷的动态分析与预测

赵国平^{1,2}, 李晖^{1,4}, 李旭祥³, 张洪江¹, 麻保林²

(1. 北京林业大学水土保持学院, 100083, 北京; 2. 陕西省治沙研究所, 719000, 陕西榆林;
3. 西安交通大学人居环境与建筑工程学院, 710049, 西安; 4. 国家林业局, 100714, 北京)

摘要: 为了协调经济发展与区域环境之间的关系, 利用 IGT 模型及其推导方程, 并以榆林市为例, 建立了区域大气环境、水环境及能源能耗负荷 3 项指标与 GDP 的关系模型, 分析了榆林市“十一五”期间资源和环境负荷的发展情况, 并用 4 种情景方案预测了 2011 年~2020 年期间该地区的 3 项指标. 结果表明:“十一五”期间, 区域大气中 SO_2 的负荷相对较小, 水环境和能源能耗负荷较大; 在 GDP 年均递增 0.2 情况下, 如不采取任何措施降低单位 GDP 环境负荷, 即环境负荷下降率 $t=0$, 则环境负荷将与 GDP 同步增长; 当 $t=0.1$ 时, 3 项指标随着 GDP 的增长逐年上升, 但是上升趋势明显减缓; 当 $t=0.15$ 时, 3 项指标的环境负荷趋于稳定, 基本保持在 2010 年的水平, 年均递增率在 2% 左右; 当 $t=0.2$ 时, 3 项指标的环境负荷将穿越“环境高山”, 达到经济与环境可持续发展状况. 根据研究结果建议, 在未来 10 年中, 榆林市 GDP 增长率应控制在 0.2 以下, t 控制在 0.1~0.15 之间, 资源环境与经济才能协调发展.

关键词: 环境负荷控制方程; 环境负荷; 动态分析

中图分类号: X821 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2012)03-0126-07

Dynamic Analysis and Prediction Forecast of Environment Load for Yulin Region

ZHAO Guoping^{1,2}, LI Hui^{1,4}, LI Xuxiang³, ZHANG Hongjiang¹, MA Baolin²

(1. School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Shaanxi Research Institute for Sand Control, Yulin, Shaanxi 719000, China; 3. School of Human Settlement and Civil Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 4. State Forestry Administration of China, Beijing 100714, China)

Abstract: The IGT model was applied to establish the relationship between the economic development and the loads of the environment including atmosphere, water, and energy consumption for the Yulin region. The analysis was performed on the development of the resources and the environmental loads in the Yulin region by the IGT model, and the atmosphere, water, and energy consumption in the period 2011-2020 were predicted for four cases. The results show that, during the 11th five-year period, the environmental load of atmosphere was relatively small while those of water and energy consumption were significant. When the average increase rate of GDP is 0.2 per year, the environmental loads will increase with the increase in GDP if there is no measure to reduce the environmental loads per unit GDP (i. e., $t=0$). If $t=0.2$, the development of both the environmental protection and the economic growth will be sustainable. These results suggest that the increase rate of GDP should be below 0.2 and t is 0.1-0.15 for the Yulin region in order to balance environment against economy.

Keywords: IGT; environmental load; dynamics analysis

陕北能源化工基地位于黄土高原和毛乌素沙漠的交界处,地属榆林市,总面积为 43 578 km²,人口总数为 351.63 万,能源矿产资源富集一地,是正在建设的国家级能源化工基地.2005 年,榆林市 GDP 仅为 447.63 亿元,2010 年达 1 756.67 亿元,年均增长 31.45%,增速全省第一,人均 GDP 达到 7 960 美元,大大超过全国、全省的平均水平,目前经济保持着良好的发展势头.“十二五”期间,榆林市经济规模预计达 4 000 亿元,比 2008 年翻两番.但是,榆林经济快速发展的同时,还潜藏着单纯靠资源消耗带来的一系列问题:产业结构矛盾突出,生产要素利用效率低,资源和环境化价值较大^[1-2].由此可见,榆林市需要协调经济发展与环境之间的关系,在可持续发展的框架下建立能源-经济-环境一体化系统,从能源、经济和环境协调发展的角度来探讨发展过程中面临的难题.

纵观国内外的相关文献,采用 IGT(环境负荷控制方程)模型可以将环境负荷与经济增长之间的关系有机地结合起来^[1-3],国外对此展开了大量的相关研究,国内陆钟武等在大尺度上对中国的环境负荷与经济发展展开了宏观研究,而在小尺度上却鲜有报道^[3-8].因此,本文采用 IGT 模型以及由它派生出的修正公式,结合榆林市“十一五”期间的发展情况,对榆林市 GDP 现状及今后 10 年的经济增长趋势与环境负荷之间的定量关系进行了研究,以期为榆林市经济发展规划提供理论依据和借鉴.

1 环境负荷控制方程

环境负荷控制方程是由 Rao 和 Graede 提出的,用其可以揭示经济活动中的资源消耗和污染物排放对环境的影响.环境负荷可以是单种污染物产生,也可以是具有相同环境效应的一类污染物共同产生^[9-11].参考环境负荷控制方程、环境高山理论方程^[3-5,9-13],本文构建了如下的环境负荷控制方程

$$I = PAT$$

(1)

式中: I 为环境负荷,含资源、能源消耗及废弃物排放等; P 为人口数; A 为人均国内生产总值; T 为单位 GDP 的环境负荷.

若令 $PA=G$,则式(1)可转换为^[4-8]

$$I = GT$$

(2)

式中: G 为国内生产总值.

当 GDP 和单位 GDP 环境负荷分别呈指数上升、下降时,假设二者基准年的值分别为 G_0 和 T_0 ,GDP 的年增长率和单位 GDP 环境负荷的年下降率

分别为 g 和 t ,则第 n 年的 GDP^[3-4] 为

$$G_n = G_0(1 + g)^n$$

(3)

第 n 年单位 GDP 的环境负荷为

$$T_n = T_0(1 - t)^n$$

(4)

第 n 年的环境负荷为

$$I_n = G_nT_n$$

(5)

将式(3)、式(4)代入式(5),则有^[5-6,11-12]

$$I_n = G_0(1 + g)^nT_0(1 - t)^n$$

(6)

对式(6)整理后得

$$I_n = G_0T_0(1 + g - t - gt)^n$$

(7)

由式(7)可知,当 GDP 呈指数增长、单位 GDP 的环境负荷呈指数下降时,令函数 $F(t) = g - t - gt$,则以单位 GDP 环境负荷下降率 t 为自变量的函数为

$$F(t) = -(1 + g)t + g$$

(8)

当 I_n 保持不变时, $F(t) = 0$ 为临界条件.依据式(8)可以求得单位 GDP 环境负荷的年降低率的临界值

$$t_k = g/(1 + g)$$

(9)

相应的有

$$F(t) > 0, \quad t < g/(1 + g) \quad I_n \text{ 逐年上升}$$

(10)

$$F(t) < 0, \quad t > g/(1 + g) \quad I_n \text{ 逐年下降}$$

(11)

当 $t > t_k$ 时,环境负荷逐年下降,环境状况逐年好转;反之,环境状况逐年恶化^[3-4].

2 榆林市 GDP 与环境负荷现状

2.1 GDP 和污染排放的现状

2005 年,榆林市国民生产总值为 447.63 亿元;2010 年,榆林市国民生产总值为 1 756.67 亿元,年均增长率为 31.45%.“十一五”期间,榆林市 GDP 如表 1 所示.从表 1 可以看出,该期间榆林市经济飞速发展.2006 年~2009 年,榆林市污染物排放及其治理情况如表 2 所示.从表 2 可以看出,榆林市在经济迅速发展的同时,SO₂ 和化学需氧量(COP)大幅增加,在每年的减排任务中,新增量的削减占总减排任务的 70%以上.从 2008 年起,榆林市主要污染物排放逐年下降.截至 2009 年底,国家核定的累计减

表 1 “十一五”期间榆林市的 GDP

年份	2005	2006	2007
G/万元	4 476 260	5 923 420	7 959 790
g/%		32.3	34.4
年份	2008	2009	2010
G/万元	11 727 600	13 023 100	17 566 700
g/%	47.3	11.0	34.9

表 2 2006 年~2009 年榆林市污染物排放及其治理情况

年度	T	目标任务			国家核定完成情况		
		排放量/万t	t/%	减排量/万t	新增量/万t	净减排量/万t	排放量/万t
2006	SO ₂	13.857 0	—12.6	0.043 0	1.600 000	—1.557 00	13.857 0
	COD	1.370 0	—2.2	0.006 0	0.036 000	—0.030 00	1.370 0
2007	SO ₂	12.375 0	10.0	4.200 0	2.718 000	1.482 00	12.375 0
	COD	1.393 9	—1.7	0.059 3	0.083 200	—0.023 90	1.393 9
2008	SO ₂	12.190 0	1.5	2.300 0	2.107 400	0.192 60	12.182 4
	COD	1.340 0	3.9	0.163 4	0.086 800	0.076 60	1.317 3
2009	SO ₂	11.782 5	3.4	1.153 5	0.801 733	1.071 85	11.928 4
	COD	1.264 6	4.0	0.130 2	0.185 200	0.241 60	1.260 8

排的 SO₂ 达 7.613 万t,2009 年的排放量为 11.928 4 万t,比 2005 年下降了 3.1%;累计减排化学需氧量达 4 703 t,2009 年的排放量为 12 608 t,比 2005 年下降了 5.76%.

2.2 GDP 和环境负荷的现状

利用式(1)~式(3)计算了“十一五”期间(2006 年~2010 年)榆林市的环境负荷和经济发展指标,以探讨经济发展对生态环境的影响.环境负荷主要包括能耗(标煤量,简称 EN)、大气环境(SO₂ 排放量)和水环境(COD),下面用 $t(EN)$ 、 $t(SO_2)$ 及 $t(COD)$ 分别代表能耗、SO₂ 排放和 COD 排放的年下降率.

“十一五”期间,榆林市 t_k 与 t 对比如图 1 所示.从图 1 可以看出,2006 年~2010 年期间, $t(EN)$ 、 $t(SO_2)$ 及 $t(COD)$ 均小于相应的 t_k ,说明“十一五”期间榆林市经济发展对大气环境、水环境以及能耗带来了负作用,从而导致能耗逐年上升,大气环境和水环境恶化.

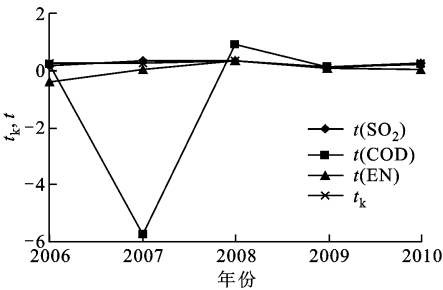


图 1 “十一五”期间榆林市 t_k 与 t 对比

在 2006 年、2010 年,榆林市大气环境中 SO₂ 的环境负荷相对较小,在 2007 年~2009 年期间,环境负荷较大(见图 2). COD 的环境负荷除了 2008 年以外,其余各年均大于 $F(t)=0$ 的情况(见图 3),说明“十一五”期间,榆林市水环境受到了很大的影响,

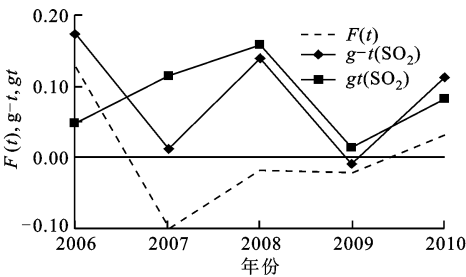


图 2 SO₂ 的 $g-t$ 与 gt

COD 环境负荷较大;EN 的环境负荷除了 2008 年以外,其余各年均远大于 $F(t)=0$ 的情况(见图 4),说明榆林市经济发展对能耗的影响最大.

由此可见,“十一五”期间,榆林市经济在高速发展的同时,资源环境也付出了一定的代价.

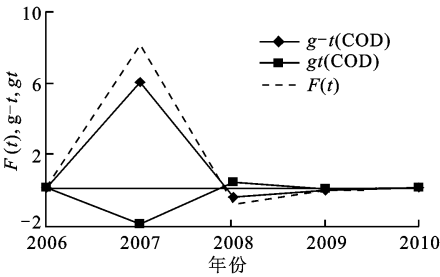


图 3 COD 的 $g-t$ 与 gt

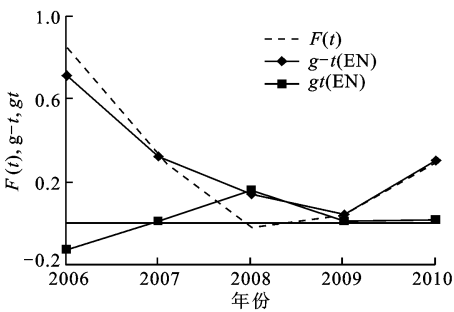


图 4 能耗的 $g-t$ 与 gt

3 2011 年~2020 年榆林市环境负荷预测

3.1 预测方案及结果

根据 IGT 模型,以 2010 年的数据为基础,以《榆林市国民经济和社会发展的第十二个五年规划》及《榆林市“十二五”主要污染物总量控制规划》为导向,对榆林市未来(2011 年~2020 年)的经济与环境负荷协调发展进行了预测分析。

由于世界性的金融危机等原因以及国家对于榆林市经济与环境发展的宏观调控,所以该地区未来的 GDP 年均增长率将有所下降.假设今后 10 年内的 GPD 小于 31.45%,即以 20%递增.为了便于讨论,设 2010 年的 GDP 为 G_0 ,环境负荷为 I_0 ,单位 GDP 环境负荷分别为 $T_0(\text{SO}_2)$ 、 $T_0(\text{COD})$ 和 $T_0(\text{EN})$, t 分别为 0、0.1、0.15($t=t_k$)、0.2 的 4 种发展方案如下。

方案 1 $t=0$ 时,根据式(3)~式(5)计算获得的 2011 年~2020 年期间在 $T \cdot T_0^{-1}=1$ 时的 G 、 I 如表 3 所示。

表 3 2011 年~2020 年期间在 $T \cdot T_0^{-1}=1$ 时榆林市的 G 和 I ($t=0, g=0.2$)

年份	$G \cdot G_0^{-1}$	$I \cdot I_0^{-1}$
2010	1	1
2011	1.200	1.200
2012	1.440	1.440
2013	1.728	1.728
2014	2.074	2.074
2015	2.488	2.488
2016	2.986	2.986
2017	3.583	3.583
2018	4.300	4.300
2019	5.160	5.160
2020	6.192	6.192

2010 年,榆林市大气环中 $T_0(\text{SO}_2)=0.007 \text{ t}$ 、 $T_0(\text{COD})=0.00076 \text{ t}$ 、 $T_0(\text{EN})=2.002 \text{ t}^{[2,14]}$, $G_0=1756.67$ 亿元,由此算得 2011 年~2020 年期间 T 变化趋势如图 5 所示.从图 5 可以看出,在 GDP 年均递增 20%的情况下,如不采取任何措施来降低 T ,即 $t=0$, $T(\text{SO}_2)$ 、 $T(\text{COD})$ 、 $T(\text{EN})$ 将与 G 同步增长.到 2015 年, G 增长至 5245.45 亿元, SO_2 总量将超过榆林市理想环境容量,达到 30.61 万 t,增长率为 8.97%;到 2020 年, G 增长至 10876.84 亿元,

SO_2 总量将达到 76.16 万 t,超出理想环境容量的 171.13%.2011 年 COD 总量达到 1.61 万 t,超出 5.23%;2011 年 EN 总量达到 4.22 万 t,2015 年达到 8.75 万 t,2020 年达到 21.78 万 t.据西北大学 2009 年在陕北地区环境容量、污染物排放总量控制及发展对策研究报告知,榆林市 SO_2 理想环境容量为 28.09 万 t,COD 为 1.53 万 t,可见环境容量、污染物排放总量远远超出了本地区的环境承载力。

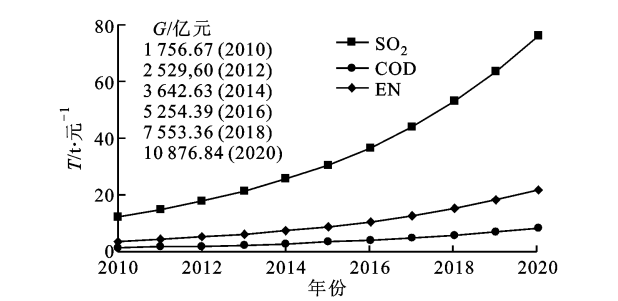


图 5 $t=0$ 时环境负荷的动态变化

方案 2 $t=0.1$ 时,根据式(3)~式(5)计算获得的 2011 年~2020 年期间的 G 、 I 和 T 如表 4 所示。

表 4 2011 年~2020 年期间榆林市的 G 、 I 和 T ($t=0.1, g=0.2$)

年份	$G \cdot G_0^{-1}$	$I \cdot I_0^{-1}$	$T \cdot T_0^{-1}$		
			SO_2	COD	EN
2010	1	1	1	1	1
2011	1.200	1.080	0.900	0.900	0.900
2012	1.440	1.166	0.810	0.810	0.810
2013	1.728	1.260	0.729	0.729	0.729
2014	2.074	1.360	0.656	0.656	0.656
2015	2.488	1.469	0.590	0.590	0.590
2016	2.986	1.587	0.531	0.531	0.531
2017	3.583	1.714	0.478	0.478	0.478
2018	4.300	1.851	0.430	0.430	0.430
2019	5.160	1.999	0.387	0.387	0.387
2020	6.192	2.159	0.349	0.349	0.349

当 $t=0.1$ 时,2011 年~2020 期间榆林市 SO_2 、COD 及 EN 的环境负荷变化如图 6 所示.从图 6 可以看出,当 $t=0.1$ 时, $t < t_k$, SO_2 、COD 及 EN 的产生量将随着 G 的增长而逐年上升,但是上升趋势明显减缓.预计 2011 年, SO_2 的产生量将随着经济的发展超出基准年 2010 年的产生量,达到 13.28 万 t,

2015 年达到 19.51 万t,2020 年达到 26.55 万t,虽然该量还在 SO₂ 环境容量范围之内,但是其上升速度很快,年递增率达到 8%~12%;2011 年 COD 的产生量将达到 1.90 万t,已超出 COD 环境容量的 24.00%,2015 年为 2.79 万t,超出约为 82%,2020 年将达到 3.74 万t,超出 147%,年均递增率为 8%~16%,可见水环境承载力将处在超高压状态;2011 年 EN 为 3.80 万t,2015 年达到 5.58 万t,2020 年达到 7.59 万t,说明 GDP 的发展远远超出了环境负荷下降的速度,故能耗将会继续逐渐增长,直至超过环境的承受能力。

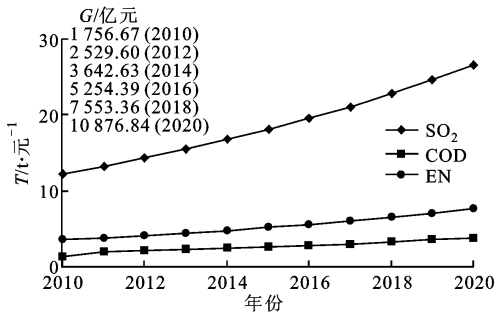


图 6 $t=0.1$ 时环境负荷的动态变化

方案 3 $t=t_k=0.15$ 时,根据式(3)~式(5)计算获得的 2011 年~2020 年期间的 G 、 I 和 T 如表 5 所示。

表 5 2011 年~2020 年期间榆林市的 G 、 I 和 T ($t=0.15, g=0.2$)

年份	$G \cdot G_0^{-1}$	$I \cdot I_0^{-1}$	$T \cdot T_0^{-1}$		
			SO ₂	COD	EN
2010	1	1	1	1	1
2011	1.200	1.020	0.850	0.850	0.850
2012	1.440	1.040	0.723	0.723	0.723
2013	1.728	1.061	0.614	0.614	0.614
2014	2.074	1.082	0.522	0.522	0.522
2015	2.488	1.104	0.444	0.444	0.444
2016	2.986	1.126	0.377	0.377	0.377
2017	3.583	1.149	0.321	0.321	0.321
2018	4.300	1.172	0.272	0.272	0.272
2019	5.160	1.195	0.232	0.232	0.232
2020	6.192	1.219	0.197	0.197	0.197

当 $t=t_k=0.15$ 时,2011 年~2020 年期间榆林市的 SO₂、COD 及 EN 的环境负荷如图 7 所示。从

图 7 可以看出,SO₂、COD 及 EN 的环境负荷趋于稳定,其产生量基本保持在 2010 年的水平。预测 2011 年 SO₂ 的产生量为 12.54 万t,2015 年为 13.85 万t,2020 年达到 14.99 万t,年均递增率在 2%左右,增幅在可控的范围内;2011 年 COD 的产生量为 1.79 万t,2015 年为 1.98 万t,2020 年为 2.14 万t,年均递增率 2%左右;EN 环境负荷的变化较为平缓,可保持在 2010 年 3.53 万t 左右。

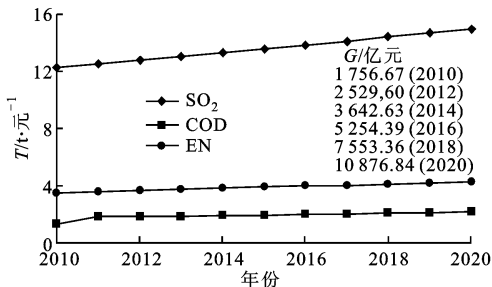


图 7 $t=t_k=0.15$ 时环境负荷的动态变化

方案 4 $t=0.2$ 时,根据式(3)~式(5)计算获得的 2011 年~2020 年期间的 G 、 I 和 T 如表 6 所示。

表 6 2011 年~2020 年期间榆林市的 G 、 I 和 T ($t=0.2, g=0.2$)

年份	$G \cdot G_0^{-1}$	$I \cdot I_0^{-1}$	$T \cdot T_0^{-1}$		
			SO ₂	COD	EN
2010	1	1	1	1	1
2011	1.200	0.960	0.800	0.800	0.800
2012	1.440	0.922	0.640	0.640	0.640
2013	1.728	0.885	0.512	0.512	0.512
2014	2.074	0.849	0.410	0.410	0.410
2015	2.488	0.815	0.328	0.328	0.328
2016	2.986	0.783	0.262	0.262	0.262
2017	3.583	0.751	0.210	0.210	0.210
2018	4.300	0.721	0.168	0.168	0.168
2019	5.160	0.693	0.134	0.134	0.134
2020	6.192	0.665	0.107	0.107	0.107

当 $t=0.2$ 时, $t>t_k$,SO₂、COD 及 EN 的环境负荷将顺利穿越“环境高山”^[5],达到经济与环境可持续发展状况。预测 2011 年 SO₂ 的产生量将为 11.80 万t,2015 年为 10.03 万t,2020 年为 8.18 万t;COD 产生量将于 2014 年降至 2010 年水平,为 1.49 万t,2020 年为 1.17 万t;EN 可一直处于降低状态至 2020 年达到 2.34 万t,其变化趋势如图 8 所示。

3.2 预测方案对比分析

4 种预测方案对比如图 9~图 11 所示. 从中可以看出,2011 年~2020 期间年在 GDP 年均递增 20%的情况下,方案 1 中的环境负荷呈现出增加趋势,榆林市将面临巨大的资源环境压力,是一种粗放式的经济发展模式,也是一种不可取的发展模式. 方案 3 中的环境负荷出现了增速减缓的情况,但环境负荷仍然较高,是一种不可持续发展模式,其追求经济和环境最优、最大化利益,所以环境负荷依然有所升高,因为榆林市的经济发展正处在“非正常”高速发展阶段. 事实表明, GDP 的年均增幅已经超过 20%,甚至达到 30% 以上, GDP 增幅一旦超过 20%,环境负荷仍有较大的上升空间,所以仍然不能满足当前榆林市发展的需要. 方案 4 中环境负荷明显降低,在一定程度上减缓了 GDP 的高速发展对资源环境的压力,因此在当前的榆林市发展模式下, g 与 t 合理匹配是实现榆林市可持续发展的模式.

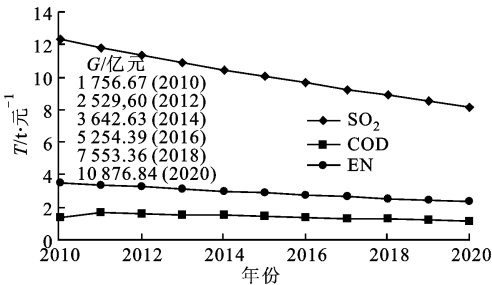


图 8 $t=0.2$ 时环境负荷的动态变化图

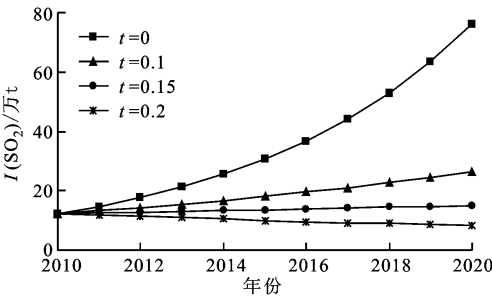


图 9 $I(\text{SO}_2)$ 的 4 种预测方案对比

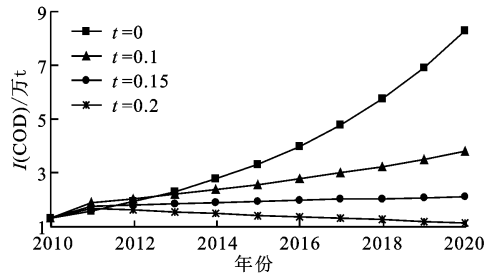


图 10 $I(\text{COD})$ 的 4 种预测方案对比

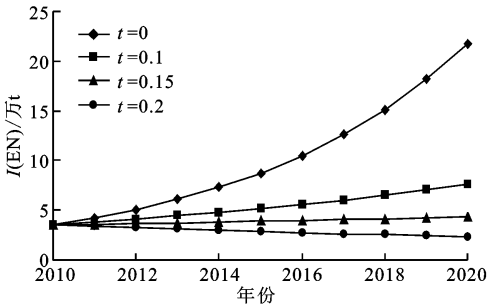


图 11 $I(\text{EN})$ 的 4 种预测方案对比

4 结论与建议

通过对陕北能源化工基地环境负荷的现状分析及预测,得出以下结论.

(1)由 2006 年~2010 年期间 SO_2 、COD 及 EN 中 t 与 t_k 的关系表明,“十一五”期间,榆林市经济发展对大气环境、水环境以及能耗带来的负作用大于科学进步的作用,从而引起能耗逐年上升,大气环境和水环境继续恶化.

(2)由 $F(t)$ 与 I 的关系表明,“十一五”期间 SO_2 的环境负荷相对较小,COD 及 EN 的环境负荷均比较大.

(3)从 2011 年~2020 年期间环境负荷预测结果来看,在 GDP 年均递增 20%的情况下,如不采取任何措施来降低单位 GDP 环境负荷,即 $t=0$, SO_2 、COD 及 EN 将与 GDP 同步增长. 当 $t=0.1$ 时, $t < t_k$, SO_2 、COD 及 EN 的产生量将随着 GDP 的增长而逐年上升,但是上升趋势明显变缓,对环境负荷下降率的干涉初见成效;当 $t=t_k=0.15$ 时, SO_2 、COD 及 EN 的环境负荷将趋于稳定,其产生量基本保持在 2010 年的水平,预计 SO_2 、COD 及 EN 的产生量年均递增率在 2% 左右,增幅在可控制的范围内;当 $t=0.2$ 时, $t > t_k$, SO_2 、COD 及 EN 的环境负荷将顺利穿越“环境高山”,达到经济与环境可持续发展的状况.

(4)预测模型计算结果与榆林市经济发展和环境负荷变化的实际情况相符,说明以 IGT 模型为基础建立的预测评价模型是可靠、可行的,可用于评价分析区域的经济发展与环境负荷之间的关系.

根据本文研究结果建议,未来 10 年中,榆林市 GDP 增长率应控制在 20% 以下,环境负荷下降率应控制在 10%~15% 之间,这样资源环境与经济才能协调发展.

参考文献:

- [1] 榆林市委员会. 榆林市国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要 [R]. 榆林: 榆林市第三届人民代表大会, 2011.
- [2] 西北大学. 陕北地区环境容量、污染排放总量控制及发展对策研究报告 [R]. 西安: 西北大学, 2009.
- [3] 陆钟武. 以控制资源消耗量为突破口做好环境保护规划 [J]. 环境科学研究, 2005, 18(6):1-6.
LU Zhongwu. Striving for better environmental protection plan by controlling resource use as its breach [J]. Research of Environmental Sciences, 2005, 18(6):1-6.
- [4] 陆钟武, 毛建素. 穿越“环境高山”——论经济增长过程中环境负荷的上升与下降 [J]. 中国工程科学, 2003, 5(12):36-42.
LU Zhongwu, MAO Jiansu. Crossing “environmental mountain”—on the increase and decrease of environment impact in the process of economic growth [J]. Engineering Science, 2003, 5(12):36-42.
- [5] 高成康, 焦文彬, 蔡九菊, 等. 基于 IGT 对中国环境负荷的动态分析与预测 [J]. 东北大学学报, 2010, 31(3):1644-1647.
GAO Chengkang, JIAO Wenbin, CAI Juiju, et al. IGT based dynamics analysis/forecast of environmental load in china [J]. Journal of Northeastern University, 2010, 31(3):1644-1647.
- [6] 王丽萍, 朱玉丽, 王春, 等. 江苏省环境负荷预测分析 [J]. 环境科学研究, 2008, 21(1):208-211.
WANG Liping, ZHU Yuli, WANG Chun, et al. The prediction and control approach to environmental load in Jiangsu province [J]. Research of Environmental Sciences, 2008, 21(1):208-211.
- [7] 孙林, 谭晶荣. 循环经济: 浙江突破资源和环境约束的现实选择 [J]. 生产力研究, 2007(13):72-73.
SUN Lin, TAN Jingrong. Cycle economy: resources and environmental constraints break the realistic choice in Zhejiang [J]. Productivity Research, 2007(13):72-73.
- [8] 支海宇. 将环境负荷应用于排污权交易政策研究 [J]. 科技进步与对策, 2007, 24(5):16-17.
ZHI Haiyu. Environmental load of emissions trading policy will be applied to study [J]. Science & Technology Progress and Policy, 2007, 24(5):16-17.
- [9] RAO P K. Sustainable development: economics and policy [M]. Malden, MA, USA: Blackwell Publisher, 2000:97-100.
- [10] GRAEDEL T E, ALLENBY B R. Industrial ecology [M]. 2nd ed. New Jersey, USA: Prentice Hall, 2002: 5-7.
- [11] GRAEDEL T. The evolution of industrial ecology [J]. Environmental Science & Technology, 2000, 34(1): 28-31.
- [12] COMMONER B. A bulletin dialogue on “the closing circle”: response [J]. Bulletin of the American Scientists, 1972, 28(5):1742-1756.
- [13] DIETZ T, ROSA E. Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology [J]. Human Ecology Review, 1994(1):277-300.
- [14] 榆林市环境保护局. 榆林市环境保护第十二个五年规划报告 [R]. 榆林: 榆林市环境保护局, 2011.

[本文相关文献链接]

- 延安石油开采对周边黄土污染的调查分析. 2011, 45(7): 123-128.
- 石油中萘对黄土种植玉米的污染生态效应研究. 2010, 44(11):119-124.
- 西安冬季可吸入颗粒物中多环芳烃的组成及风险评价. 2009, 43(11):114-120.
- 西安冬季大气亚微米颗粒物的化学特征及来源解析. 2008, 42(11):1418-1423.
- 二次喷油优化直喷汽油机冷启动排放特性的研究. 2012, 46(1):13-18.
- 环境温度对甲醇/汽油发动机冷启动排放影响的研究. 2011, 45(11):6-10.
- 缸内直喷天然气/氢气混合燃料配合废气再循环的性能与排放. 2011, 45(7):4-8.
- 天然气缸内直喷发动机在不同喷射和点火时刻下的排放与燃烧特性. 2011, 45(5):12-16.
- 液氮洗工艺的多目标遗传算法优化. 2011, 45(5):114-118.
- 预混充量压缩着火和直接喷射对发动机性能影响研究. 2011, 45(3):44-47.
- 甲醇汽油发动机醇醛排放特性及其影响因素研究. 2011, 45(1):1-4.
- 联合循环电站改造为整体煤气化联合循环的粗煤气冷却. 2010, 44(11):71-76.
- 缸内直喷汽油机复合燃烧技术. 2010, 44(7):14-18.
- 冷启动时甲醇掺烧液化气发动机的甲醛和未燃甲醇排放. 2010, 44(5):21-25.
- 乙醇汽油发动机非常规排放及其催化转化的研究. 2010, 44(1):13-16.
- 深度废气再循环对二甲醚发动机性能及排放的影响. 2009, 43(11):27-31.
- EGR 和冷 EGR 对柴油机燃烧和排放的影响. 2009, 43(9): 23-26.
- 天然气掺氢配合废气再循环发动机的性能及排放研究. 2009, 43(5):18-21.
- 天然气掺氢配合废气再循环发动机燃烧过程的数值模拟. 2009, 43(5):22-25.
- (编辑 苗凌)