

中国高新技术产业能源消耗与碳排放分析*

楚春礼 郭彩霞 鞠美庭 王雁南

(南开大学环境科学与工程学院, 天津 300071)

摘要 基于2000—2007年中国高新技术产业经济发展与能源消耗(简称能耗)数据,统计分析了中国高新技术产业能耗强度变化趋势,并采用“学习曲线”方法论证了高新技术产业能耗的特征;在此基础上,采用政府间气候变化专门委员会(IPCC)温室气体指导方针的方法核算了中国高新技术产业的碳排放量及排放强度。结果表明:(1)中国高新技术产业能耗总量逐年增加,从2000年的1 818万t上升到2007年的3 633万t,增加了99.8%,年均增长率10.5%;中国高新技术产业能耗总量占全国总能耗的比例略有增加。(2)中国高新技术产业能耗强度随人均产业增加值呈幂指数衰减。(3)中国高新技术产业2007年碳排放总量为10 934.1万t,比2000年增加了111.6%,年均增长11.5%。高新技术产业碳排放强度逐年下降,从2000年1.87 t/万元下降到2007年的0.94 t/万元,下降了49.7%,年均下降9.2%。(4)中国高新技术产业的碳排放主要来源于医药制造业、电子及通讯设备制造业。

关键词 高新技术产业 能耗强度 碳排放强度 学习曲线

Analysis of energy consumption and low carbon strategies on the high-tech industry of China CHU Chunli, GUO Caixia, JU Meiting, WANG Yunnan. (College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300071)

Abstract: Accelerating the development of the hi-tech industry has been an important way of the industrial structure optimization and transformation in China. Based on time series analysis of the development and energy consumption of hi-tech industry during 2000–2007, the characteristics of energy consumption intensity for hi-tech industry were investigated with the learning curve, and the emission amount and emission intensity of CO₂ of the hi-tech industry were analyzed with the method introduced by IPCC. Results show that the annual energy consumption of hi-tech industry increased 10.5% annually from 2000 of 18 180 thousand tons to 2007 of 36 330 thousand tons; besides, energy consumption intensity of the hi-tech industry changed in the exponent attenuation. The learning curve shows that learning efficiency of hi-tech industry is getting lower, compared with other countries, there was still more room for energy saving. 109 341 thousand tons of CO₂ were emitted in 2007 by hi-tech industry, which was 111.6% higher than that of 2000, given the annually increase of 11.5%, while the CO₂ emission intensity has decreased by 9.2% annually, from 2000 of 1.87 t per ten thousand yuan to 2007 of 0.94 t per ten thousand yuan. The CO₂ emission of the hi-tech industry was mainly contributed by medicine manufacturing industry and the industry of electronic and communication equipment manufacturing.

Keywords: hi-tech industry; energy consumption intensity; CO₂ emission intensity; learning curve

高新技术产业是一种集技术密集型、资本密集型和风险密集型为一体的新型经济产业扩张形式,其前沿技术创新与实践应用对各国经济发展起到了战略性、先导性作用。进入21世纪,各国积极发展高新技术产业,以在未来竞争中抢占一席之地。

近年来,中国高新技术产业发展迅速,2008年高新技术产业增加值占全部工业增加值的10.2%。新能源、新材料、电子信息、现代生物与医药等高新技术产业领域,已经成为国家和各地区发展的重点^[1-5]。

同时,国际能源署(IEA)初步估计中国已经成

为世界第一大能源消费国^[6],第二大温室气体排放国。能源危机与全球气候变暖使中国面临着巨大节能与碳减排压力^[7],为此中国政府提出到2020年单位产值碳排放强度比2005年减少40%~45%的目标,能源消耗(简称能耗)和碳排放主要贡献者的工业将是未来节能减排的重点。那么,快速发展的高新技术产业碳排放强度如何变化,与国民经济发展是何种关系,对中国节能以及碳减排具有哪些意义?因此,急需对中国高新技术产业的能耗和碳排放特征进行分析,探究其对于推动节能减

第一作者:楚春礼,男,1980年生,博士研究生,研究方向为环境规划与管理。

*国家自然科学基金资助项目(No. 70873065)。

排进程的意义^[8]。

笔者基于2000—2007年中国高新技术产业发展和能耗数据,运用时间序列分析,研究了高新技术产业能耗以及能耗强度的变化趋势,利用学习曲线探讨了能耗强度随经济发展的变化趋势,分析了高新技术产业碳排放量与碳排放强度的变化趋势与构成特征,以为未来高新技术产业政策提供依据。特别说明,本研究中的碳排放均指二氧化碳排放。

1 中国高新技术产业经济发展特征

高新技术产业是以高新技术发展为基础、以创新为主要内容、通过高新技术企业间的智力密集、优势互补、范围经济、环境导向形成的产业组织^[9]。高新技术产业已经成为中国经济飞速发展的引擎、发展方式的“转换器”和产业升级的“助推器”。中国高新技术产业主要包括医药制造业、航空航天器制造业、电子及通讯设备制造业、电子计算机及办公设备制造业、医疗设备及仪器仪表制造业。本研究中如无特别说明,所有引用数据皆来源于历年中国统计年鉴、中国高新技术(高技术)产业统计年鉴和中国能源统计年鉴。

统计表明,2007年中国高新技术产业总企业数达到21 517家,比2000年增加了120.5%,产业吸纳的从业人员从2000年390万人增加到2007年843万人。企业数量不断增加和就业人数增长带动了高新技术产业经济的快速发展。由图1可知,2000—2007年高新技术产业增加值年均增长速率约18.7%,增加值占GDP的比例年均增长速率约7.4%,增加值占GDP的比例到2007年达到了4.5%。2006年前,中国高新技术产业增加值年均增长速率大于GDP年均增长速率,于2003年达到30.7%的最大值,2005年后开始逐年下降,2007年开始低于GDP年均增长速率,达到最小值7.1%。

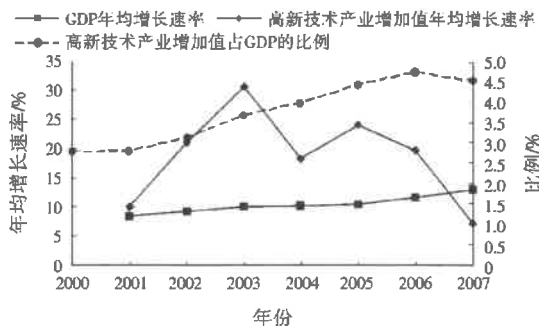


图1 中国高新技术产业增加值与GDP变化趋势及关系
Fig. 1 The variation trend and correlation of hi-tech industry added value and GDP

2 中国高新技术产业能耗情况分析

2.1 能耗总量

能耗包括煤、石油、天然气、电力等的消耗,为了便于计算和比较,本研究采用综合能耗为指标。综合能耗是对实际消耗的各种能源按热值进行综合计算所得的消耗量,即将各种能源折算为标准煤。

由图2可见,中国高新技术产业能耗总量逐年增加,从2000年的1 818万t上升到2007年的3 633万t,增加了99.8%,年均增长率10.5%;中国高新技术产业能耗总量占全国总能耗的比例(简称能耗比例)略有增加,从2000年的1.25%逐年升至2003年的1.37%,2004突然下降到1.25%,后又缓慢攀升至2007年的1.30%。由于国家推出“863计划”和“火炬计划”,并出台了一系列优惠政策,大力发展高新技术产业,从1990年开始,中国高新技术企业一直处于迅猛发展态势,从而带动了能耗比例的不断增长。但是,2003年,在“非典”影响下,中国工业发展几乎处于半停滞状态,高新技术产业也同样受到了很大影响,能耗比例骤减,到2004年达到最低点。从2005年开始,国家开始着力优化产业结构,陆续出台了《关于发布实施〈促进产业结构调整暂行规定〉的决定》、《关于调整部分商品出口退税率和增补加工贸易禁止类商品目录的通知》、《关于当前经济形势下做好环境影响审批工作的通知》等政策文件,不断推动“两高一资”行业污染减排和产业结构优化调整,鼓励高新技术产业发展,因此从2005年后,能耗比例又重新稳定增加。随着中国高新技术产业开发区、亚太经济合作组织(APEC)科技工业园区、高新技术产品出口基地的发展以及《高新技术产业发展“十二五”规划》、《中国电子信息产业调整和振兴规划》等措施的制定和实施,中国高新技术产业必将得到更快的发展,能耗比例也将继续提高。

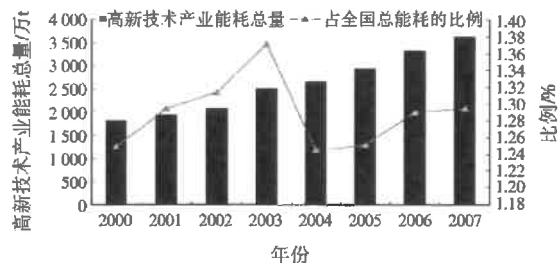


图2 中国高新技术产业能耗总量及占全国总能耗的比例变化趋势

Fig. 2 The variation trend of hi-tech industry energy consumption and its contribution to national total energy consumptions

2.2 能耗强度

工业能耗占全国总能耗的比例不断上升,对中国能源需求变化起着支配性作用,因此受到了广泛关注。能耗强度是反映工业行业能源效率的重要指标,研究工业行业能耗强度变化趋势及影响因素,有助于更好地把握中国工业行业未来的能耗特征,制定有效提高工业行业能源效率的产业政策,促进节能和碳减排目标的实现。近年来,国内外学者开展大量关于能耗强度问题的研究,MIKETA^[10]用39个国家1971—1996年的部分制造行业数据分析了部门经济行为、资本形成额、工业能源价格对能耗强度的影响,认为能耗强度受资本形成额的影响,随着部门产出的增加而影响增强。齐志新等^[11]分析了1993—2003年中国36个部门的能源效率变化趋势,认为技术变化是工业部门能耗强度下降的主要原因。杭雷鸣等^[12]利用时间序列数据分析了能源价格对中国制造业能耗强度的影响。刘畅等^[13]利用中国29个工业行业的面板数据对中国工业部门及各工业行业的能耗强度变动及影响因素进行了实证分析,认为增加科技经费支出有助于提高高能耗行业能源效率,企业产权结构和出口贸易对工业行业的能耗强度有显著影响,提高能源相对价格明显促进工业行业节能降耗。本研究选取万元产值能耗为能耗强度指标,分析高新技术产业能耗强度变化特征。万元产值能耗指每万元工业产值所消耗的能源总量,用产业能耗总量与产业增加值的比值来表示,万元产值能耗越低,说明能源使用经济效益越高,利用效率越高。

由图3可见,2000年以来,中国高新技术产业能耗强度逐年下降,由2000年的0.66 t/万元下降到2007年的0.31 t/万元,下降了53.0%,年均下降

约10%。高新技术产业能耗强度远小于工业、全国能耗强度,2007年,3者的能耗强度分别为0.31、1.81、1.09 t/万元。这说明,中国高新技术产业的能源效率水平高于工业整体水平,也高于全国能源效率总体水平,因此提高高新技术产业所占比例有助于提高中国工业和国家整体能源效率水平。

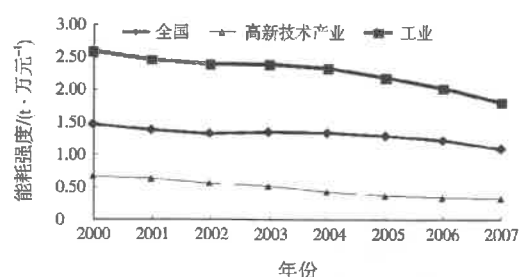


图3 中国高新技术产业、工业、全国能耗强度对比分析
Fig. 3 Comparison of hi-tech industry, industrial and national energy consumption intensity

根据数据的可获得性,本研究选取高新技术产业的电子及通讯设备制造业能耗强度进行国际对比分析。由图4可见,中国电子及通讯设备制造业能耗强度远高于美国、日本、加拿大。2007年,中国电子及通讯设备制造业能耗强度为0.05 t/万元,而美国和加拿大均低于0.02 t/万元,表明该行业仍存在一定的节能空间。充分利用发达国家制造业产业转移环境,积极引入国外先进技术和管理理念,扩大融资,改进国内高新技术产业生产方式,培育自身产业的创新能力,是中国提高高新技术产业能源效率的重要途径。

2.3 能耗强度的学习曲线

在技术经济学中,企业(或行业)在生产过程中经验积累和技术改进导致单位产品(产值)所消耗的成本(或工时)越来越少,这种平均成本(或工时)与

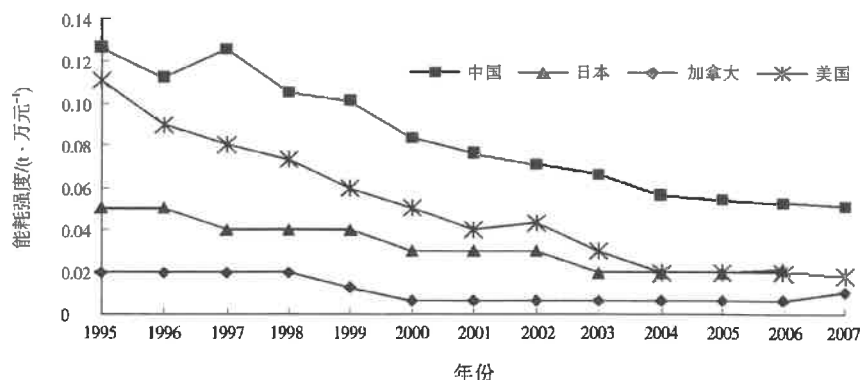


图4 主要国家电子及通讯设备制造业能耗强度对比
Fig. 4 Energy consumption per ten thousand yuan output value for electronic and telecom equipments manufacturing industry of different countries

累计产量增加之间的边际函数称为学习曲线。1936 年, WRIGHT 首次在制造业中用学习曲线描述了飞机生产中的单位产品劳动时间随着产量积累而下降的规律, 其函数见式(1)^[11]。张旭等^[15]研究发现, 在电力工业发展中人均工业产值与能耗间也存在着学习曲线效应, 并将之称为环境学习曲线。

$$Y_i = Y_1 x^{-b} \quad (1)$$

式中: Y_1 、 Y_i 为生产第 1 个、第 i 个单位产品所需的工作时间或生产成本, h 或万元; i 为序数; x 为计算到 i 个单位的生产总数; b 为学习常数, 与工人或技术学习效率有关。

本研究选取 1995—2008 年的时间序列数据, 建立高新技术产业能耗强度随人均产业增加值变化的学习曲线。从图 5 可以看出, 模拟曲线与实际散点的趋势基本一致, 中国高新技术产业能耗强度随人均产业增加值呈幂指数衰减, 模拟曲线的前半部分下降趋势较为明显, 后半部分下降趋势趋于缓和, 行业的学习效率在逐步降低。从中国高新技术产业发展来看, 自 20 世纪 90 年代产业数量急剧增加, 中国不断为高新技术产业发展完善制度建设, 探索融资渠道, 落实国家优惠政策, 完善技术创新体系, 促进国际交流合作, 加大人才投入力度, 有效地促进了高新技术产业的成熟和健康发展, 高新技术产业集群效益不断增强, 产业研发效率不断提高, 因此高新技术产业学习曲线不断下降, 单位人均产业增加值的能耗强度不断降低。同时, 随着产业发展的内部和外部环境不断优化, 产业成熟度不断提高, 高新技术产业的技术进步和产业效率提升的幅度越来越小, 产业发展逐渐趋于平稳, 行业的学习效率逐渐降低, 单位人均产业增加值的能耗强度降低的空间越来越小, 模拟曲线最终趋于水平。此外, 高新技术产业具有前期投入大、回报期长的特点, 在 20 世纪 90 年代中国高新技术产业大发展的初始阶段, 与产业发展息息相关的外部政策和市场环境尚不完善, 产业投入和回报不稳定, 因此模

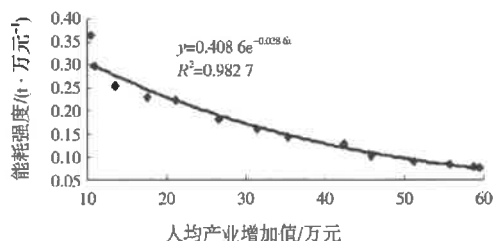


图 5 中国高新技术产业能耗强度随人均产业增加值的变化趋势

Fig. 5 The variation trend of hi-tech industry energy consumption intensity with economic development

拟曲线开始阶段, 人均产业增加值和能耗强度的变化出现了一定的波动性特征。

3 中国高新技术产业碳排放情况分析

碳排放的计量引起了学者的广泛关注与讨论。余慧超等^[16]采用各国实际的主要能源品种碳排放强度及能源消费构成加权的方法计算中美两国能源消费的平均碳排放因子。湛伟等^[17]将各种能源折算成标准煤, 乘以标准煤排放系数计算碳排放量, 其中系数采用政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 以及达卡尔 (Dhakal) 的计算值。曲艳敏等^[18]采用 IPCC 提供的温室气体排放计算方法, 对湖北省交通碳排放进行预测研究。王强等^[19]依据 IPCC 碳排放估算方法对中国工业部门能源消费、碳排放量、经济增长趋势及其之间的脱钩关系进行了分析。从这些研究可以看出, 碳排放计量的核心是能耗总量的获得以及与之对应的碳排放系数的确定, 而 IPCC 推出的方法应用最为广泛。

本研究采用 IPCC 介绍的关于温室气体指导方针的方法计算高新技术产业消耗能源的碳排放量^[20], 计算公式为:

$$C_i = \sum E_i f_i \quad (2)$$

式中: C_i 为能源使用的碳排放量, kg; E_i 为能源的实物消费量, kg 或 m^3 ; f_i 为能源的碳排放系数, kg/kg 或 kg/ m^3 。

在本研究中, 高新技术产业终端消耗的能源实物考虑煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、天然气、焦炉煤气、其他煤气、其他焦化产品、液化石油气及电力能源和热力能源等。

对于电力和热力能源, 本研究根据 IEA 2009 年碳排放报告选取近似值^[21], 热力碳排放系数为 0.255×10^{-3} kg/kJ, 电力碳排放系数为 0.920 kg/(kW·h)。对于其他类别能源, 能源的碳排放系数计算公式为:

$$f_i = NCV_i \times e_i \times (1 - cs_i) \times o_i \quad (3)$$

式中: NCV_i 为能源的平均低位发热量, 代表该能源的品质和消耗燃料的工艺水平, kJ/kg 或 kJ/ m^3 ; e_i 为能源的碳排放系数, kg/kJ; cs_i 为碳固定化率, 本研究不涉及有碳固定化率类能源; o_i 为碳的氧化分数, 采用 IPCC 缺省值 1。

各能源的具体 NCV_i 和 e_i 见表 1。

由图 6 和图 7 计算表明, 中国高新技术产业 2007 年碳排放总量为 10 934.1 万 t, 比 2000 年增加

表 1 碳排放估算参数
Table 1 Estimated parameters of CO₂ emission

能源种类	$e_i/(10^{-9} \text{ kg} \cdot \text{kJ}^{-1})$	NCV _i ¹⁾
煤炭	94 600	20 908
焦炭	107 000	28 435
原油	73 300	41 816
汽油	70 000	43 070
煤油	71 900	43 070
柴油	74 100	42 652
燃料油	77 400	41 816
天然气	56 100	38 931
焦炉煤气	44 400	17 254
其他煤气	44 400	17 254
其他焦化产品	80 700	33 453
液化石油气	63 100	50 179
炼厂干气	57 600	46 055

注: ¹⁾天然气、焦炉煤气和其他煤气的 NCV 单位为 kJ/m³, 其他能源均为 kJ/kg。

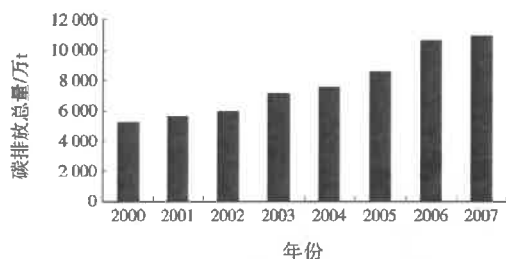


图 6 中国高新技术产业碳排放总量变化
Fig. 6 Variation of total CO₂ emission amount for hi-tech industry

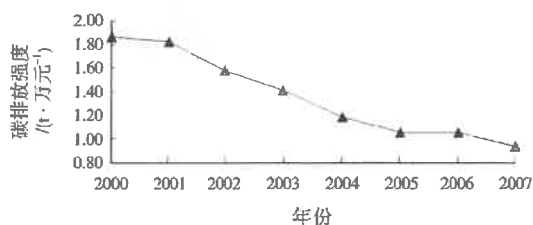


图 7 中国高新技术产业碳排放强度变化
Fig. 7 Variation of CO₂ emission intensity for hi-tech industry

了 111.6%，年均增长 11.5%。高新技术产业碳排放强度逐年下降，从 2000 年 1.87 t/万元下降到 2007 年的 0.94 t/万元，下降了 49.7%，年均下降 9.2%。可见，2000—2007 年，中国高新技术产业较好地控制了二氧化碳排放，虽碳排放总量逐年增加，但碳排放强度下降明显。

由图 8 可见，中国高新技术产业的碳排放主要来源于医药制造业、电子及通讯设备制造业。2007 年，两者的碳排放量占高新技术产业碳排放总量的 84.0%，另外 3 个行业的碳排放量递减顺序依次为医疗设备及机器仪表制造业、电子计算机及办公设备制造业、航空航天器制造业。同时，分析表明，

2007 年医药制造业的碳排放强度最高，达到了 1.73 t/万元，然后依次为航空航天器制造业、电子及通讯设备制造业、医疗设备及机器仪表制造业，电子计算机及办公设备制造业碳排放强度最低，为 0.30 t/万元。可见，医药制造业是中国高新技术产业碳减排的重点行业，具有较大的减排空间。

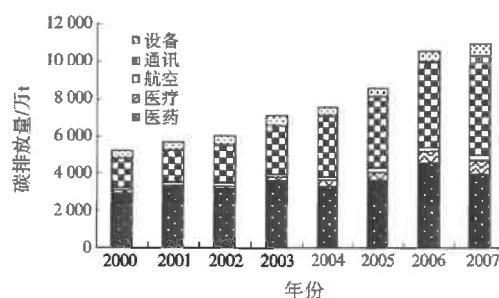


图 8 中国高新技术产业碳排放分行业结构分布

Fig. 8 The contribution of different hi-tech industries for CO₂ emission

注：设备、通讯、航空、医疗、医药分别表示高新技术产业的电子计算机及办公设备制造业、电子及通讯设备制造业、航空航天器制造业、医疗设备及机器仪表制造业、医药制造业。

4 结 语

(1) 中国高新技术产业能耗总量逐年增加，从 2000 年的 1 818 万 t 上升到 2007 年的 3 633 万 t，增加了 99.8%，年均增长率 10.5%；中国高新技术产业能耗总量占全国总能耗的比例略有增加。由于中国高新技术产业的能源效率水平高于工业整体水平，也高于全国能源效率总体水平，因此提高高新技术产业所占比例有助于提高中国工业和国家整体能源效率水平。

(2) 中国高新技术产业能耗强度随人均产业增加值呈幂指数衰减。因此，在国家未来的产业发展政策中，应该继续通过制定合理政策、加大研发投入、推动技术进步、发挥该产业集群效应等方式，推动高新技术产业能源效率的进一步提高。

(3) 中国高新技术产业 2007 年碳排放总量为 10 934.1 万 t，比 2000 年增加了 111.6%，年均增长 11.5%。高新技术产业碳排放强度逐年下降，从 2000 年 1.87 t/万元下降到 2007 年的 0.94 t/万元，下降了 49.7%，年均下降 9.2%。可见，中国高新技术产业随着发展成熟度不断提高，以及政府制定的各种节能减排政策，特别是“十一五”制定的国内生产总值能耗降低 20% 的目标以及相关政策，有效地促进了高新技术产业碳排放强度的降低。中国政府承诺，到 2020 年，单位国内生产总值碳排放比 2005 年下降 40%，对于高新技术产业来说，要实现碳减

排目标,需要通过推动技术进步、制定提高能源效率政策、营造市场环境。

(4) 中国高新技术产业的碳排放主要来源于医药制造业、电子及通讯设备制造业。2007年,两者的碳排放量占高新技术产业碳排放总量的84.0%。2007年医药制造业的碳排放强度最高,达到了1.73 t/万元。在未来为了实现高新技术产业低碳发展,一方面,要积极促进医药制造业、电子及通讯设备制造业的关键领域和重要环节的技术进步,提高产业能源效率,降低产业碳排放强度;另一方面,要积极推动高新技术产业各行业的产业结构优化,通过合理规划,利用政策倾斜和市场手段,倡导发展节能环保、生物制药、新能源新材料等相对低碳的产业。

参考文献:

- [1] 贾丽娟.促进河北省高新技术产业发展的策略研究[J].特区经济,2010(3):48-49.
- [2] 周义龙.海南高新技术产业发展探讨[J].开放导报,2010(5):27-30.
- [3] 刘宇.湖北省高新技术产业发展体系构建[J].江苏商论,2010(5):136-138.
- [4] 丁海青.深圳市高新技术产业发展研究[J].特区经济,2010(5):30-31.
- [5] 蔡继明,王楠,莫晓梅,等.四川省高新技术产业发展分析研究[J].软科学,2010,24(7):75-77.
- [6] IEA. World energy outlook 2010 executive summary [EB/OL]. [2010-12-30]. http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2010/WE02010_es_english.pdf.
- [7] 赵学功.循环经济国际趋势与中国实践[M].北京:人民出版社,2006:15-18.
- [8] 于敬磊,鞠美庭,刘伟.信息产业的低碳明天[J].环境保护,2010(1):71-73.
- [9] 刘晓明,章卫民,李湛.高新技术产业发展的一般规律浅析[J].科技管理研究,2009(10):47-50.
- [10] MIKETA A. Analysis of energy intensity developments in manufacturing sectors in industrialized and developing countries[J]. Energy Policy, 2001(29):769-775.
- [11] 齐志新,陈文颖.结构调整还是技术进步[J].上海经济研究,2006(6):8-16.
- [12] 杭雷鸣,屠梅曾.能源价格对能源强度的影响[J].数量经济技术经济研究,2006(12):93-100.
- [13] 刘畅,孔宪丽,高铁梅.中国工业行业能源消耗强度变动及影响因素的实证分析[J].资源科学,2008,30(9):1290-1298.
- [14] 陈志祥.学习曲线及在工业生产运作研究中的应用综述[J].中国工程科学,2007,9(7):82-94.
- [15] 张旭,孙根华.中国电力工业环境学习曲线与节能减排潜力分析[J].哈尔滨工业大学学报,2008,10(4):89-95.
- [16] 余慧超,王礼茂.中美商品贸易的碳排放转移研究[J].自然资源学报,2009,24(10):1837-1846.
- [17] 湛伟,诸大建,白竹岚.上海市工业碳排放总量与碳生产率关系[J].中国人口·资源与环境,2010,20(9):24-29.
- [18] 曲艳敏,白宏涛,徐鹤.基于情景分析的湖北省交通碳排放预测研究[J].环境污染与防治,2010,32(10):102-110.
- [19] 王强,伍世代,李婷婷.能源消费与碳排放变动关联特征及其

Tapio效应研究[J].福建师范大学学报:哲学社会科学版,2010(4):17-22.

- [20] IPCC. Climate change 2007: the physical science basis [EB/OL]. [2010-01-03]. <http://www.pnud.cl/recientes/IPCC-Report.pdf>.
- [21] IEA. CO₂ emissions from fuel combustion highlights [EB/OL]. [2010-01-03]. <https://www.iea.org/co2Highlights/co2highlights.pdf>.

编辑:黄苇 (修改稿收到日期:2011-03-21)

(上接第22页)

(4) 生产性试验结果表明,在水温为13~27℃、泥龄为20 d、水力停留时间为9 h、DO为2 mg/L、外回流比为80%、内回流比为200%的条件下,COD、NH₃-N和TN去除率分别为74.7%~87.8%、87.2%~98.6%、51.8%~67.4%,与上一年同期运行效果比较,NH₃-N和TN平均去除率增幅相对明显,分别提高了9.4、9.9百分点,有机物去除没有改善。

参考文献:

- [1] 乔勇,赵国志.垃圾渗滤液接入城市污水处理厂存在的问题探讨[J].给水排水,2006,32(2):13-16.
- [2] CHRISTENSEN T II, KJELDSEN P, BJERG P L, et al. Biogeochemistry of landfill leachate plumes[J]. Appl. Geochem., 2001,16(2): 659-718.
- [3] CONNOLLY R, ZHAO Y, SUN G, et al. Removal of ammonia-nitrogen from an artificial landfill leachate in downflow reed beds[J]. Process Biochem., 2004,39(1):1971-1976.
- [4] 陈瑜.成都地区垃圾渗滤液-城市污水合并处理可行性研究[D].成都:西南交通大学,2008:28-30.
- [5] 林绍葵,崔松阳,饶欠平.优化A/O工艺合并处理城市污水及垃圾渗滤液[J].市政技术,2007,25(4):279-280,333.
- [6] 余建恒,赵淑贤,夏耿东,等.接入垃圾渗滤液对城市污水厂运行的影响与对策[J].中国给水排水,2010,26(4):95-97.
- [7] 沈耀良,王宝贞,杨餘大,等.厌氧折流板反应器处理垃圾渗滤混合废水[J].中国给水排水,1999,15(5):10-12.
- [8] 何晶晶,付强,邵立明,等.渗滤液与城市污水合并处理过程的有机物去除特征[J].环境科学学报,2005,25(7):954-958.
- [8] 郑兴灿,李亚新.污水除磷脱氮技术[M].北京:中国建筑工业出版社,1998:57-58.
- [9] GORONSZY M C. Course notes on intermittently operated activated sludge plants [D]. Queensland: University of Queensland,1992.
- [10] 冯兆继,石明岩,莫东华.倒置A²/O工艺氮平衡与脱氮效率的分析[J].化工环保,2008,28(5):388-390.
- [11] 石明岩,冯兆继,余建恒,等.垃圾渗滤液与城市污水同步脱氮影响因素分析[J].广州大学学报:自然科学版,2010,9(3):56-59.
- [12] BUT E P, MORSE G K, GUY J A, et al. Co-recycling of sludge and municipal waste: a cost-benefit analysis[J]. Environ. Technol., 1998,19(5):1163-1175.

编辑:陈泽军 (修改稿收到日期:2011-03-31)