

山东省工业废水中石油类污染物排放特征及减排潜力分析*

于璐¹ 吴晓青^{1#} 都晓岩¹ 周保华² 解伏菊²

(1. 中国科学院烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003; 2. 济南大学资源与环境学院, 山东 济南 250022)

摘要 基于环境和经济统计数据, 分析了山东省重点工业行业废水中石油类污染物的排放特征, 并通过情景分析对 2020 年该省重点行业的石油类污染物减排潜力进行了测算。结果表明, 2006—2012 年山东省石油类污染物排放的行业结构特征明显, 包括石化行业在内的 7 个重点行业的排放量占该省排放总量的 85% 以上; 从年际变化来看, 石油和天然气开采业和石油加工、炼焦及核燃料加工业的排放量所占比例出现明显的下降, 由 2006 年的约 48% 下降至 2012 年的 20% 左右; 而煤炭开采和洗选业的排放量所占比例明显上升, 由 2006 年的 0.18% 迅速增加到 2012 年的 23.69%, 成为山东省工业废水石油类污染物排放的主要行业; 在设计的高标准方案下, 2020 年石油类污染物的排放量预计为 485.31 t, 比 2012 年降低了 8%, 其中石化行业的石油类污染物减排潜力最大, 与基准情景相比, 2020 年在高标准方案下石油类污染物的削减量约达 1 006 t, 约占减排总量的 55%。

关键词 工业行业 石油类污染物 排放特征 减排潜力

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2015.07.020

Analysis on discharge characteristics of oil pollutant from industrial wastewater and emission reduction potential in Shandong Province YU Lu¹, WU Xiaqing¹, DU Xiaoyan¹, ZHOU Baohua², XIE Fujun². (1. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai Shandong 264003; 2. School of Resources and Environment, University of Jinan, Jinan Shandong 250022)

Abstract: Based on the statistical information of environmental and economic data, the oil pollutant discharge characteristics of key industries in Shandong Province were analyzed, and the oil pollutant emission reduction potential was estimated by the scenario analysis method in 2020. The results showed that the industry structure characteristic of the petroleum pollutant discharge was obvious. Seven key industries, including petrochemical industry, accounted for more than 85% of the total amount of the petroleum pollutant. From the point of interannual change, the proportion of petroleum pollutant from the oil and natural gas extraction industry and oil processing, coking and nuclear fuel processing industry had decreased obviously from 48% in 2006 to 20% in 2012. But the pollutant proportion from coal mining and washing industry had increased from 0.18% in 2006 to 23.69% in 2012, which had become the main source of petroleum pollutant discharge. Under the high standard scenario for cutting emissions, the total amount of petroleum pollutant discharge in 2020 is expected to be 485.31 t, decreasing by 8% compared with 2012. The petrochemical industry had the greatest potential in cutting petroleum pollutant emissions. Compared with the baseline scenario, the petroleum pollutant discharge under the high standard scenario decrease by about 1 006 t, accounting for about 55% of the total emission reduction.

Keywords: industry; oil pollutant; discharge characteristics; emission reduction potential

石油类污染物是油田开发和石油加工过程中产生的重要污染物, 其危害程度大、污染周期长, 已被列入我国的危险废物名录(在列入的 48 种危险废物中排第 8 位)^[1]。石油类污染物难溶于水且难以自然降解, 进入土壤-水环境系统后, 可能存留几年至数十年。因此, 对石油类污染方面的研究一直是热点。但是, 国内外现有的研究主要关注石油类污染物的末端处理, 即其降解和去除^[2-4]。实际上, 环境

污染治理更关键的是源头控制, 即从行业角度研究污染物排放规律, 有针对性提出控制对策或者排放标准, 从而有利于污染物的实际减排。我国很多学者也已注意到了这一点, 在电力^[5]、钢铁^[6]、水泥^[7]和造纸^[8]等多个行业开展了污染物排放和减排研究, 但对石油类污染物的相关研究还较少^[9]。

山东省作为环渤海地区重要的原油生产基地, 原油年均产量维持在 2 700 万 t 左右, 约占环渤海地

第一作者: 于璐, 女, 1987 年生, 硕士, 研究方向为环境规划与管理。# 通讯作者。

* 中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-14)。

表 1 石油类污染物排放重点行业
Table 1 The major industrial sources sectors of petroleum pollution

行业代码	行业名称	行业代码	行业名称	行业代码	行业名称
06	煤炭开采和洗选业	27	医药制造业	35	通用设备制造业
07	石油和天然气开采业	31	非金属矿物制品业	36	专用设备制造业
08	黑色金属矿采选业	32	黑色金属冶炼及压延加工业	37	交通运输设备制造业
25	石油加工、炼焦及核燃料加工业	33	有色金属冶炼及压延加工业	39	电气机械及器材制造业
26	化学原料及化学制品制造业	34	金属制品业	44	电力、热力的生产和供应业

区原油总产量的 40%。我国重要的石油开采基地胜利油田、千万吨生产能力的炼油基地齐鲁石化,以及国家第一批战略石油储备基地黄岛,均分布在山东省内。然而,石化产业的高度集聚和快速增长也带来了大量石油类污染物的排放,这些石油类污染物会随着工业废水、土壤等迁移进入小清河、胶莱河、大汶河等省内主要流水体和底泥以及莱州湾、胶州湾等海湾,给当地农田灌溉、水产养殖带来了不利影响,对区域生态环境也产生了巨大压力。

本研究基于近年来政府部门公布的环境和经济统计数据,分析了山东省重点工业废水中石油类污染物的排放特征,并通过情景分析法测算其减排潜力,以期为该省工业废水中石油类污染物排放的源头控制与管理提供决策支持。

1 研究方法

1.1 数据来源

本研究所需的工业行业经济增长、工业废水及污染物排放量相关数据来源于 2007—2013 年的《中国统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》、《山东省统计年鉴》。其中,山东省各行业石油类污染物排放数据来源于《山东省统计年鉴》。

1.2 重点行业筛选

根据《全国污染源普查产排污系数手册》所确定的分行业石油类污染物产排污系数以及《中国环境统计年鉴》统计的分行业石油类污染物实际排放量,筛选出 15 个石油类污染物排放的重点行业,结果见表 1。其中,行业 07、行业 25、行业 26 统称为石化行业。

1.3 数据处理及方法

采用排污强度可反映工业行业的环境污染水平,排污强度指单位产值或单位投资额的污染物排放量,是反映区域经济发展与环境保护协调性的重要指标^[10]。可采用情景分析法分析工业行业的石油类污染物减排潜力。该方法最初被应用于国民经济和环境保护等宏观目标的预测分析^[11-12],后来推广应用于水资源利用^[13]及水污染控制领域^[14],是工业减排潜力研究的主要方法之一^[15]。本研究应用

此方法建立工业行业的石油类污染物减排情景分析模型^[16](见式(1))。考虑到数据的可得性,从限制重污染行业经济增长速度和降低排污强度两方面来建立减排情景分析模型,并进行情景设计与分析。

$$G_P = \sum_{i=1}^n G_{Pi} = \sum_{i=1}^n V_{\alpha i} \times (1 + X)^n \times (S_{\alpha i} - S_{Ti}) \quad (1)$$

式中: G_P 为目标年所有工业行业废水中石油类污染物排放量的削减潜力,g; G_{Pi} 为目标年第*i*个工业行业废水中石油类污染物排放量削减潜力,g; $V_{\alpha i}$ 为基准年第*i*个工业行业的总产值,万元; X 为第*i*个工业行业产值的年均增长率,%; n 为目标年与基准年的年度差; $S_{\alpha i}$ 为基准年第*i*个工业行业废水中石油类污染物排污强度,g/万元; S_{Ti} 为目标年第*i*个工业行业废水中石油类污染物的排污强度,g/万元。

2 结果与讨论

2.1 石油类污染物的总体排放特征

环境监测统计数据显示,2006—2012 年山东省工业废水排放量呈先上升后下降的趋势(见图 1),2006 年排放量为 144 365 万 t,2010 年达到最高值(208 257 万 t),而 2012 年又降到 183 634 万 t。2012 年,山东省工业废水排放量占环渤海地区总量的 44%,是环渤海地区的工业废水排放重点源区。

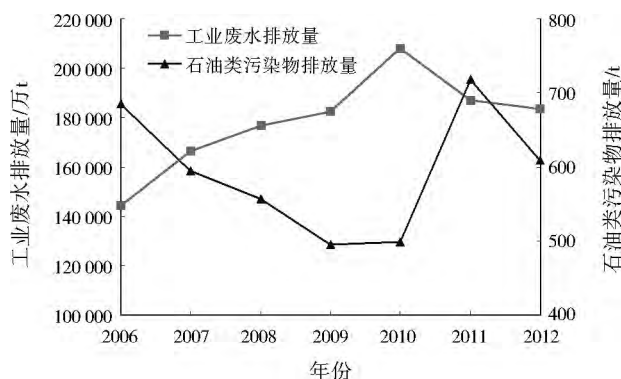


图 1 2006—2012 年山东省工业废水及其中石油类污染物的排放量变化趋势

Fig. 1 The change of industrial wastewater and oil pollutant emissions in Shandong Province in 2006—2012

由图 1 还可见,工业废水中石油类污染物的排

放量与工业废水排放量变化趋势总体相反,大致呈先下降后上升的趋势,2006年的排放量为685 t,然后逐年下降,2009—2010年达到最低水平,仅为初期的1/2左右,2011年又急剧增长,达到718 t,而2012年又回落到609 t。

由图2可见,2006—2012年山东省工业废水中石油类污染物的排污强度呈下降趋势,2006—2008年由2.92 g/万元迅速下降至1.44 g/万元,降幅较大;2009—2012年维持在1.00 g/万元左右,在环渤海地区远低于河北省和辽宁省,并低于全国平均水平^[17]。

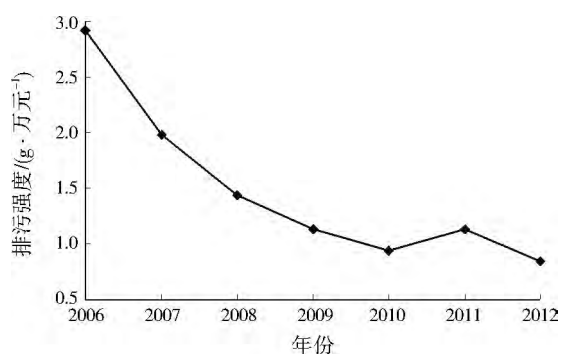


图2 山东省工业废水中石油类污染物的排污强度变化趋势
Fig. 2 The change of discharge intensities of oil pollutant in Shandong Province

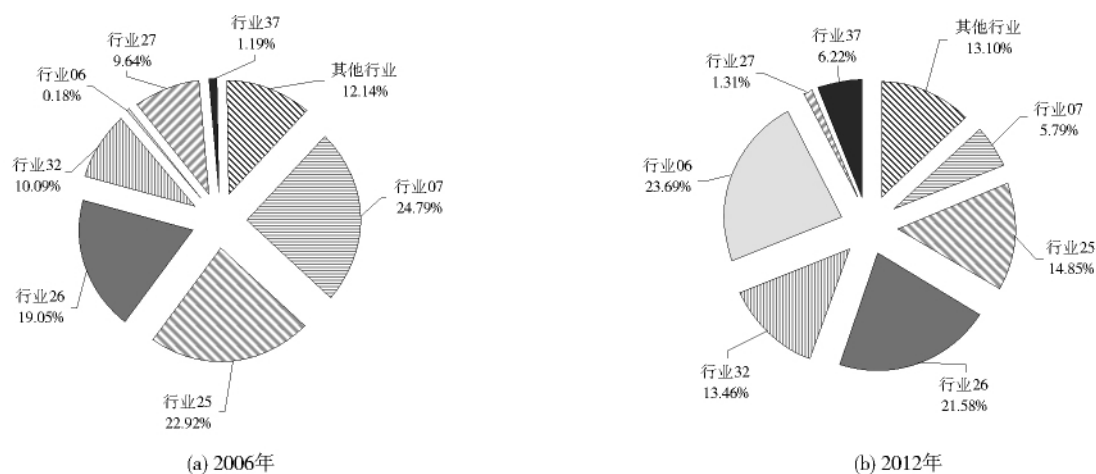


图3 2006年和2012年山东省重点行业工业废水中石油类污染物的排放比例
Fig. 3 The oil pollutant emissions proportion of key industries in 2006 and 2012

表2 山东省重点行业石油类污染物排污强度
Table 2 The oil pollutant emission intensity of key industries in Shandong Province g/万元

项目	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
行业 06	0.10	0.05	0.31	0.39	0.11	5.32	4.74
行业 07	17.89	14.61	10.90	18.79	12.22	3.30	2.66
行业 25	8.66	6.17	4.31	4.13	3.11	1.78	1.44
行业 26	3.78	2.26	1.39	1.03	0.86	1.31	1.04
行业 27	10.44	9.61	6.77	5.11	4.07	0.34	0.30
行业 32	3.08	2.33	1.69	1.05	0.70	1.62	1.46
行业 37	0.49	0.25	0.24	0.11	0.40	0.94	0.61
15个重点行业平均	2.92	1.98	1.44	1.13	0.94	1.13	0.84

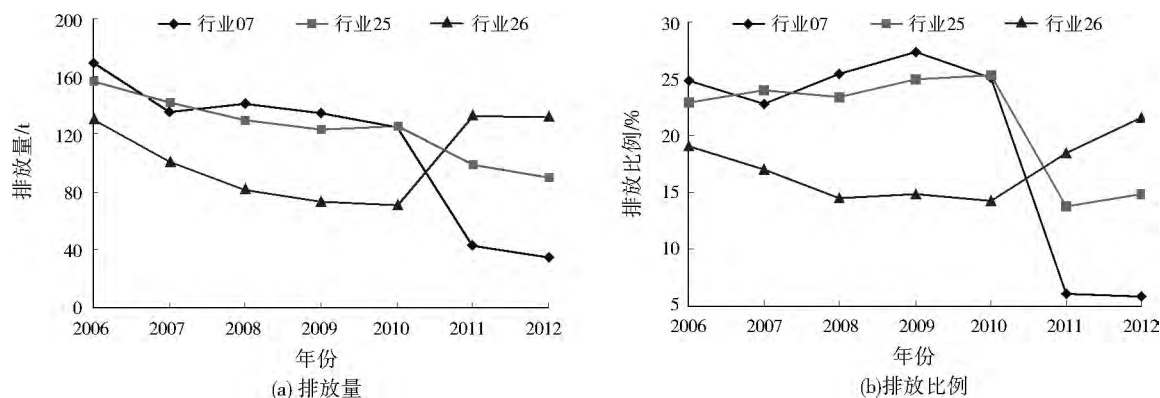


图 4 2006—2012 年山东省石化行业废水中石油类污染物的排放量变化

Fig. 4 The oil pollutant emissions changes of petrochemical industry in Shandong Province in 2006-2012

行业石油类污染物的排污强度年际变化差异性较大。其中,行业 07、行业 25、行业 26、行业 27、行业 32 的石油类污染物排污强度整体呈下降趋势,行业 07 下降最为明显,说明其清洁生产水平大幅提高、污染治理效果明显显现;而行业 06 的排污强度近两年来反而有较大幅度的增加,2011 年的排污强度骤增至 5.32 g/万元,远高于 2006 年水平;行业 37 的排污强度变化幅度相对较小,并始终低于 15 个重点行业平均水平。

2.3 石化行业的石油类污染物排放特征

由图 4(a)可见,2006—2012 年山东省石化行业废水中石油类污染物的排放量由 457 t 下降至 257 t,年均下降幅度为 9.2%;其中,行业 07 的排放量下降幅度最大,由 170 t 下降至 35 t,年均下降幅度达 23.1%;行业 25 的排放量下降趋势相对较为平缓,年均下降幅度为 8.8%;而行业 26 的排放量均呈先下降后上升的变化趋势,2011 年开始排放量超过了行业 07、行业 25,这在一定程度上说明,2010 年以后山东省化学原料及化学制品制造业的发展较快,导致了该行业的石油类污染物排放量增加。

由图 4(b)可见,2006—2012 年山东省石化行业废水中石油类污染物的排放量占工业行业总量的比例由 66.8%下降至 42.2%;其中行业 07 所占比例

在 2011 年出现了明显的下降趋势,行业 07 和行业 25 合计占比由约 48%降至 20%左右,下降幅度较大;行业 26 在 2010 年的所占比例降至 14%左右,此后迅速增加,2012 年达到 21.6%,成为石化行业中石油类污染物排放的主要来源。

3 重点行业的石油类污染物减排潜力分析

3.1 情景设计

综合考虑 2006—2012 年各行业经济发展趋势和今后的发展需求,以及各行业的排污强度现有水平和提升空间,以 2012 年为基准年,2020 年为目标年,设定 3 种排放情景,即基准情景、低标准方案和高标准方案,预测不同情景下山东省工业行业废水中石油类污染物的排放量。其中,基准情景下设定目标年各行业经济增长速率及排污强度保持基准年水平,通过该情景试图找出山东省重点行业石油类污染物的排放上限;低标准方案和高标准方案下目标年行业产值增长率根据对行业发展加以限制后的假定情况设置,排污强度则是在 2012 年的基础上设计出现不同幅度的下降。所有情景均不考虑通货膨胀因素的影响。具体情景设计情况见表 3。基准情景下的行业产值年均增长率根据 2006—2012 年各行业工业生产总产值计算得到,考虑到山东省近几年

表 3 情景设计说明

Table 3 Scenario design description

项目	产值年均增长率基准值/%	产值年均增长率目标值/%	目标年的排污强度变化幅度/%		
			基准情景	低标准方案	高标准方案
行业 06	16.6	10.0	0	-40	-70
行业 07	5.7	5.0	0	-35	-65
行业 25	23.0	12.0	0	-30	-60
行业 26	24.1	13.0	0	-25	-55
行业 27	27.3	15.0	0	-20	-50
行业 32	16.5	10.0	0	-30	-60
行业 37	24.3	13.0	0	-25	-55

表4 各情景下2020年山东省重点行业石油类污染物的排放量及减排量
Table 4 Oil pollutant emissions and reduction potential of key industries under various situations in 2020 t

项目	基准情景	低标准方案		高标准方案	
	排放量	削减量	排放量	削减量	排放量
行业 06	492.90	307.44	185.46	400.17	92.73
行业 07	54.92	21.08	33.84	36.70	18.22
行业 25	474.79	318.16	156.63	385.29	89.50
行业 26	741.05	479.12	261.93	583.89	157.16
行业 27	54.72	35.29	19.43	42.57	12.14
行业 32	277.61	154.67	122.94	207.36	70.25
行业 37	216.35	140.84	75.51	171.05	45.30
合计	2 312.34	1 456.60	855.74	1 827.03	485.31

GDP以10%~15%的速率增长,将2020年重点行业的产值增长率控制在10%~15%,而由于行业07的发展较为缓慢,设定其目标年的产值增长率为5.0%。

经计算,2012年7个重点行业废水中石油类污染物的排污强度在2006年基础上下降了约72%,但随着行业排污强度的持续降低,其下降空间会逐渐减少,因此设定低标准方案下目标年各行业的排污强度在基准年基础上下降20%~40%;而高标准方案下,通过行业开展内部清洁生产、提高技术水平等,设计排污强度在基准年基础上下降50%~70%;对于不同行业,排污强度越高,则设定其下降幅度也越大。

3.2 减排潜力测算

根据式(1)以及表3中设定情景,估算出2020年山东省重点行业石油类污染物相对于基准情景的削减量和排放量,结果见表4。

由表4可见,在基准情景下,山东省2020年重点行业的石油类污染物排放量将大幅增加,排放量合计达2 312.34 t;在低标准方案下,2020年重点行业石油类污染物的排放量预计为855.74 t,比2012年的排放量(约529 t)增加了约62%,仍较高;而在高标准方案下,2020年重点行业石油类污染物的排放量预计为485.31 t,比2012年排放量降低了约8%。

从行业角度来看,石化行业的石油类污染物减排潜力最大,与基准情景相比,2020年高标准方案下石油类污染物的削减量约达1 006 t,约占减排总量的55%;其次是煤炭开采和洗选业,削减量约为400 t,占减排总量的22%左右。

4 结 语

(1) 山东省石油类污染物排放的行业结构特

征明显,包括石化行业在内的7个重点行业的排放量占山东省排放总量的85%以上。从年际变化来看,行业07和行业25的排放量所占比例出现明显的下降,由2006年的约48%下降至2012年的20%左右;而煤炭开采和洗选业的排放量所占比例明显上升,由2006年的0.18%迅速增加到2012年的23.69%,成为山东省工业废水石油类污染物排放的主要行业。

(2) 在基准情景下,山东省2020年重点行业的石油类污染物排放量将大幅增加,排放量合计达2 312.34 t;在低标准方案下,2020年重点行业石油类污染物的排放量预计为855.74 t,比2012年的排放量增加了约62%,仍较高;而在高标准方案下,2020年重点行业石油类污染物的排放量预计为485.31 t,比2012年排放量降低了约8%。从行业角度来看,石化行业的石油类污染物减排潜力最大,与基准情景相比,2020年高标准方案下石油类污染物的削减量约达1 006 t,约占减排总量的55%。

(3) 山东省要实现工业行业废水中石油类污染物的减排目标,一是要加快重点工业行业结构调整,提升石化产业集聚和规模效益。山东省石化行业尤其是化学原料及化学制品制造业的企业数量多、产业布局分散、污染物排放量大,亟待进行行业结构和产品优化升级,并调整工业布局,促进产业集聚向产业集群转变,通过污染集中治理、共享废水处理设施等,在达到规模经济效益的同时控制区域石油类污染物的排放。二是要完善清洁生产标准,推进重点行业清洁生产。针对排污强度较高的石化、煤炭等行业,采用技术起点高、污染物排放量少的清洁工艺。同时,适时出台和完善石油类污染物排放重点行业的清洁生产标

准,提高石油类污染物排放标准和清洁生产评价指标。可以针对石化行业较为集中的淄博和东营市,尝试制定和实施行业的地方排放标准。三是要加大环境保护投入力度,推进重点地区减排重点工程建设。根据世界发达国家的经验,环境保护投入达到 GDP 的 3% 以上,环境质量才会得到改善,而我国 2012 年这一比例才达到 1.59%,山东省仅为 1.48%。该省需要提高石油类污染物减排控制意识,继续加大环境保护投入力度,加快重点行业的污水处理设施及配套管网建设,积极推进减排重点工程建设和清洁生产技术的推广应用。支持胜利油田和齐鲁石化等大型企业大力发展中水回用、污水处理改造、污水深度处理等重点工程建设,进一步降低重点企业和区域石油类污染物的排放。

(致谢:感谢山东省环境保护厅和济南大学在数据资料调查过程中给予的支持和帮助。)

参考文献:

[1] 李慧颖,杜晓明,王洪波,等.东北三省工业废水污染物排放的时空变化规律研究[J].环境科学研究,2008,21(2):168-174.

[2] 黄艺,礼晓,蔡佳亮.石油污染生物修复研究进展[J].生态环境学报,2009,18(1):361-367.

[3] 刘金雷,夏文香,赵亮,等.海洋石油污染及其生物修复[J].海洋湖沼通报,2006(3):48-53.

[4] AYOTAMUNO M J, KOGBARA R B, OGAJI S O T, et al. Bioremediation of a crude-oil polluted agricultural-soil at Port Harcourt, Nigeria[J]. Applied Energy, 2006, 83(11):1249-1257.

[5] 毛显强,邢有凯,胡涛,等.中国电力行业硫、氮、碳协同减排的环境经济路径分析[J].中国环境科学,2012,32(4):748-756.

[6] 刘贞,蒲刚清,施於人,等.钢铁行业碳减排情景仿真分析及评价研究[J].中国人口·资源与环境,2012,22(3):77-81.

[7] 顾阿伦,史宵鸣,汪澜,等.中国水泥行业节能减排的潜力与成本分析[J].中国人口·资源与环境,2012,22(8):16-21.

[8] 马俊花,李迎霞,杨志峰,等.制浆造纸业各工段节水减排技术研究[J].环境污染与防治,2010,32(10):87-90.

[9] 罗先香,张秋艳,杨建强,等.双台子河口湿地环境石油烃污染特征分析[J].环境科学研究,2010,23(4):437-444.

[10] 赵楠,刘毅,陈吉宁.基于微观模拟的企业排污强度差异及区域特征[J].环境科学,2009,30(11):3190-3195.

[11] DUINKER P N, GREIG L A. Scenario analysis in environmental impact assessment: improving explorations of the future[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2007, 27(3):206-219.

[12] DEVESA F, COMAS J, TURON C, et al. Scenario analysis for the role of sanitation infrastructures in integrated urban wastewater management[J]. Environmental Modelling & Soft-

ware, 2009, 24(3):371-380.

[13] PLAYAN E, SLATNI A, CASTILLO R, et al. A case study for irrigation modernization: II scenario analysis[J]. Agricultural Water Management, 2000, 42(3):335-354.

[14] 王建平,苏保林,贾海峰,等.密云水库及其流域营养物集成模拟的情景分析研究[J].环境科学,2006,27(8):1544-1548.

[15] 谢明辉,乔琦,孙启宏.清洁生产减排潜力分析方法研究[J].环境科学与技术,2011,34(12):318-321.

[16] 孙启宏,韩明霞,乔琦,等.辽河流域重点行业产污强度及节水减排清洁生产潜力[J].环境科学研究,2010,23(7):869-876.

[17] 于璐,吴晓青,周保华,等.环渤海地区工业废水石油类排放特征分析[J].环境科学与技术,2014,37(4):198-204.

[18] 谢红彬,刘兆德,陈雯.工业废水排放的影响因素量化分析[J].长江流域资源与环境,2004,13(4):394-398.

编辑:卜岩枫 (收稿日期:2014-12-28)

(上接第 104 页)

(4) 大力发展可再生能源利用。可再生能源对减煤、低碳具有不可替代的作用。在地热利用方面,天津市有资源和技术优势,除规范和加大地热水利用外,还应推广地源热泵等浅层地热利用方式;在太阳能利用方面,天津市有很大潜力,作为太阳能较丰富的二类地区,不仅要建设光伏电站,还应把太阳能光热利用摆在突出位置。对具备太阳能利用条件的住宅建筑和集中供应热水的公共建筑,应借鉴邻近地区经验,强制推行太阳能光热系统与建筑工程设计、施工、验收“三同步”。当前天津市正推进大规模的小城镇建设、新农村建设和旧城改造,应当将其与太阳能建筑一体化结合起来。否则待大规模新建建筑完成后,将错失推广太阳能光热利用的历史机遇。

参考文献:

[1] 刘思峰,党耀国,方志耕,等.灰色系统理论及其应用[M]. 5版.北京:科学出版社,2010:62-71.

[2] 汪东,汲奕君,孙志威,等.天津市能源消费与经济增长的灰色关联分析[J].环境污染与防治,2010,32(12):90-92.

[3] 程建权.城市系统工程[M].武汉:武汉测绘科技大学出版社,2001:46-49.

[4] 邓聚龙.灰色系统基本方法[M].2版.武汉:华中科技大学出版社,2005:82.

[5] 张瑞强,吴新忠,季梅.灰色关联度分辨系数的确定及其在机械故障诊断中的应用[J].煤矿机械,2013,34(3):291-293.

[6] 吕锋.灰色系统关联度之分辨系数的研究[J].系统工程理论与实践,1997,17(6):49-54.

编辑:贺锋萍 (收稿日期:2014-12-02)