基于 AERSCREEN 模式的山西省焦化企业苯并[a]芘防护距离估算及影响分析*

伍鹏程[1,2,3]　李洪枚[1]　伯　鑫[2,3#]　周　甜[2,3]　张尚宣[4]　王龙飞[2,3]　徐君妃[5]　封　雪[6]　李时蓓[2,3]

(1.首都经济贸易大学安全与环境工程学院,北京 100070;2.环境保护部环境工程评估中心,北京 100012;
3.国家环境保护环境影响评价数值模拟重点实验室,北京 100012;4.中冶赛迪重庆环境咨询有限公司,重庆 400013;
5.三捷环境工程咨询(杭州)有限公司,浙江　杭州 310012;6.中国环境监测总站,北京 100012)

摘要　以 2012 年山西省焦化企业为研究对象,采用 AERSCREEN 模式估算了 249 个焦化企业的苯并[a]芘(BAP)防护距离,并结合舆情数据分析了焦化企业 BAP 排放对周边人群的影响。结果显示,山西省 11 个地级市都有焦化企业分布,主要集中在中部和西南部地区,其中运城市焦化企业数最多、吕梁市 BAP 年排放量最大、太原市舆情条数最多。山西省土地总面积为 15.98 万 km^2,其中焦化企业 BAP 防护距离内面积为 1.79 万 km^2,占比为 11.20%,其中太原市、临汾市、长治市、晋中市和吕梁市 5 个地级市的 BAP 防护距离内面积占比超过平均水平。舆情点位及条数不仅与本地焦化企业(包括 BAP 年排放量和 BAP 防护距离)分布有关,而且还与人群的环保意识以及周边地区的焦化企业(包括 BAP 年排放量和 BAP 防护距离)分布有关。此外,还对结果的不确定性进行了讨论。

关键词　AERSCREEN　焦化企业　防护距离　苯并[a]芘　山西省

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2018.03.002

Benzo[a]pyrene protection distance estimation and impact analysis for coking plants in Shanxi Province based on AERSCREEN model

WU Pengcheng[1,2,3], *LI Hongmei*[1], *BO Xin*[2,3], *ZHOU Tian*[2,3], *ZHANG Shangxuan*[4], *WANG Longfei*[2,3], *XU Junfei*[5], *FENG Xue*[6], *LI Shibei*[2,3]. (1. *School of Safety and Environmental Engineering, Capital University of Economics and Business, Beijing* 100070; 2. *Appraisal Center for Environment & Engineering, Ministry of Environmental Protection, Beijing* 100012; 3. *State Environmental Protection Key Laboratory of Numerical Modeling for Environment Impact Assessment, Beijing* 100012; 4. *CISDI Chongqing Environmental Consulting Co., Ltd., Chongqing* 400013; 5. *Trinity Consultants, Hangzhou Zhejiang* 310012; 6. *China National Environmental Monitoring Center, Beijing* 100012)

Abstract: Coking plants were studied in Shanxi Province in 2012. Benzo[a]pyrene (BAP) protection distance was estimated for 249 coking plants based on AERSCREEN model. The impacts on peripheral people by coking plants BAP emission were analyzed associated with public opinion data. Results showed that 11 prefecture-level cities in Shanxi Province all had coking plants, converged in the central and southwestern parts. Yuncheng City had the most coking plants, Lyuliang City owned the most BAP annual emission, and Taiyuan City had most public opinion records. The total land area of Shanxi Province was 159 800 km^2. The land area in BAP protection distance covered 17 900 km^2, accounting for 11.20%. The percentage of land area in BAP protection distance to total land area of Taiyuan City, Linfen City, Changzhi City, Jinzhong City and Lyuliang City exceeded mean level. Public opinion records and occurrence locations were associated with not only local coking plants (including BAP annual emission and BAP protection distance) distribution, but also people's environmental protection awareness and peripheral coking plants (including BAP annual emission and BAP protection distance) distribution. Besides, the uncertainty of the results was discussed.

Keywords: AERSCREEN; coking plants; protection distance; benzo[a]pyrene; Shanxi Province

2015 年,山西省焦煤可采储量占全国的 51.3%[1],焦炭年产量约占全国市场的 19%[2]。焦化行业是山西省重要的支柱产业。焦化企业生产过程会向大气排放多种污染物[3],其中苯并[a]芘(BAP)是焦化行业的特征污染物[4-6],具有强致癌作用[7-8],对环境和人体健康存在较大危害[9-12]。

第一作者:伍鹏程,男,1993 年生,硕士研究生,主要从事环境与健康研究。# 通讯作者。

*环境模拟与污染控制国家重点联合实验室开放课题(No.16K01ESPCT);环境保护部基金课题(No.1441402450017-2)。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

关于焦化企业 BAP 的排放因子[13-16]及其对人体健康的影响[17-19]研究较多，但关于焦化企业 BAP 防护距离的研究较少。我国焦化企业 BAP 防护距离的确定方法主要有两种[20]：一是直接参考《焦化卫生防护距离》(GB 11661—2012)；二是采用 SCREEN 3 模式进行估算。但这两种方法均未考虑地形因素，不适用于地形复杂的山西省，而 AERSCREEN 模式弥补了这一缺点[21]，而且还考虑了气象条件。因此，本研究基于 AERSCREEN 模式[22]估算山西省焦化企业 BAP 防护距离，评估其对周边人群的影响，为山西省焦化企业处理邻避问题提供帮助。

1　研究方法

1.1　研究区域与对象

研究范围为山西省全省，包括 11 个地级市；研究对象为山西省内所有焦化企业。

1.2　数据来源

1.2.1　焦化企业及 BAP 排放清单

2012 年山西省焦化企业信息由中国环境监测总站提供，包含每个焦化企业的经纬度坐标、生产规模、活动水平等信息。通过焦化企业建设项目的环境评价报告、验收资料和文献调研确定每个焦化企业的排放高度、初始横向尺寸、初始纵向尺寸、BAP 排放因子等参数，从而估算山西省焦化企业 BAP 年排放量，得到山西省焦化企业的 BAP 排放清单。

1.2.2　舆情数据

舆情数据具有获取途径多样性、信息交互便捷化等特点[23-24]，能表征高时空分辨率人群活动和分布特征，有利于评估环境污染与人群活动的关系[25]。本研究采用的舆情数据来源于环境保护部“12369”环保举报热线(http://219.143.244.187:8888/Hotline/index.jsp)，以关键词“山西省”、“焦化”进行筛选，共获取有效舆情条数 672 条，再进行语义分析。

1.2.3　其他数据

气象数据来源于天气网(http://www.tianqi.com/province/shanxi/)；30 m 分辨率的土地利用数据来源于环境保护部环境工程评估中心的 AERSURFACE 在线服务系统(http://ieimodel.org/aersurfaceapp/custom/login.aspx)；90 m 分辨率的地形高程数据来源于美国国家航空航天局(http://srtm.csi.cgiar.org/index.asp)。

1.3　焦化企业 BAP 防护距离估算

利用 30 m 分辨率的土地利用数据提取山西省每个焦化企业的地表参数(包括反照率、鲍文比、地表粗糙度等)，并调用 90 m 分辨率的地形高程数据，结合 BAP 排放清单和气象数据等，使用 AERSCREEN 模式[26]估算山西省每个焦化企业 BAP 防护距离。

2　结果与讨论

2012 年山西省焦化企业分布及其 BAP 防护距离以及舆情点位分布如图 1 所示。

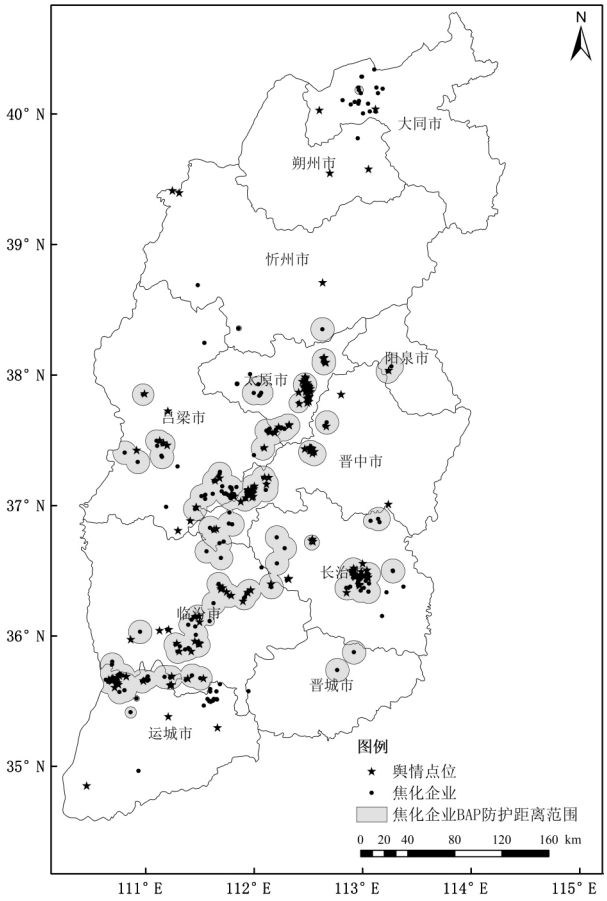


图 1　焦化企业及其 BAP 防护距离与舆情点位

Fig.1　Map of coking plants, BAP protection distance and public opinion occurrence locations

2.1　焦化企业空间分布

由表 1 可见，2012 年山西省共有 249 个焦化企业，所有地级市中都有焦化企业分布，主要集中在中部和西南部地区，特别是运城市北部和吕梁市东南部，与山西省焦煤分布有关[27]。

山西省各地级市焦化企业 BAP 年排放量见表 1，吕梁市的 BAP 年均排放量最大，达到 469.89 kg，占山西省所有焦化企业 BAP 排放总量的 20.73%。虽然运城市的焦化企业数最多，但其BAP年排放量却在

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1　山西省焦化企业、BAP 年排放量和舆情条数统计

Table 1　Statistics of coking plants, BAP annual emission and public opinion records in Shanxi Province

项目	焦化企业数	BAP 年排放量/kg	总舆情条数	防护距离内舆情条数
运城市	52	249.45	25	22
吕梁市	51	469.89	23	18
临汾市	37	450.96	41	35
长治市	36	384.74	60	52
晋中市	25	293.28	116	112
太原市	20	280.36	395	390
大同市	19	41.31	2	0
忻州市	3	36.58	6	0
晋城市	3	28.00	0	0
阳泉市	2	32.48	1	1
朔州市	1	0.10	3	0
总计	249	2 267.15	672	630

表 2　山西省焦化企业 BAP 防护距离内土地面积占比

Table 2　The land area percentage within the BAP protection distance for coking plants in Shanxi Province

项目	总面积/万 km^2	防护距离内面积/万 km^2	防护距离内面积占比/%
太原市	0.71	0.18	25.35
临汾市	2.03	0.45	22.17
长治市	1.41	0.28	19.86
晋中市	1.67	0.27	16.17
吕梁市	2.14	0.34	15.89
运城市	1.40	0.13	9.29
阳泉市	0.47	0.04	8.51
晋城市	0.94	0.06	6.38
忻州市	2.61	0.03	1.15
大同市	1.48	0.01	0.68
朔州市	1.12	0	0
总计	15.98	1.79	

全省排第 6 名，这与焦化厂的工艺流程等因素有关。

值得注意的是，太原市焦化企业数和 BAP 排放量都不高，但总舆情条数和防护距离内舆情条数都远远高于其他地级市，原因在 2.3 中进行讨论。

2.2　焦化企业 BAP 防护距离内土地面积占比分析

在焦化企业 BAP 防护距离范围内，大气 BAP 浓度较高，对周边人群的健康影响较大。山西省焦化企业 BAP 防护距离范围如图 1 所示，对各地市级焦化企业 BAP 防护距离内土地面积进行分析，结果见表 2。山西省土地总面积为 15.98 万 km^2，其中焦化企业 BAP 防护距离内面积为 1.79 万 km^2，占比为11.20%。太原市焦化企业 BAP 防护距离内面积占比最高，达到 25.35%；其次是临汾市，达到 22.17%；长治市、晋中市和吕梁市分别为 19.86%、16.17%、15.89%；以上 5 个地级市的 BAP 防护距离内面积占比均超过平均水平。

2.3　焦化企业对人群的影响分析

舆情数据语义分析结果表明，“污染”、“某钢铁厂”、“严重”、“噪音”、“排放”、“小区”、“环保”等词条出现频率很高。其中，“污染”出现频率最高，达 562 次，说明焦化企业导致的污染问题是公众最关心的问题；“某钢铁厂”出现频率为 519 次，仅次于“污染”。经调查，“某钢铁厂”在山西省内的污染物排放、管理等方面都做的较好，但由于该企业位于太原市，地区经济较发达，公众环保意识较强，导致“某钢铁厂”属于高频词。

图 1 综合分析了焦化企业及其 BAP 防护距离与舆情点位的关系。舆情点位基本都在焦化企业附近，有 94%的舆情点位在焦化企业 BAP 防护距离范围内，表明焦化企业对周边人群产生了一定的影响。但是舆情条数越多并不一定表示该地区焦化企业数多或排放的 BAP 多。从表 1 来看，太原市的总舆情条数和防护距离内舆情条数都最多，但太原市仅有 20 个焦化企业，只占全省焦化企业总数的 8%，并且 BAP 年排放量也不高。根据《山西统计年鉴—2013》显示，2012 年太原市总人口为 425 万，人口数量多，且太原市是山西省的省会，人们的环保意识较强；另一方面，太原市相邻的吕梁市和晋中市的焦化企业很多都靠近太原市，且分布数量多、BAP 年排放量大，因此太原市人群可能受到这些地区的焦化企业影响也较

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

大。晋中市的焦化企业数和 BAP 年排放量也不是很高，但总舆情条数和防护距离内舆情条数也较多，舆情点位主要发生在西南部地区，结合图 1 可看出，晋中市西南部的吕梁市很多焦化企业分布在晋中市边界地区且 BAP 排放量高。由此可见，舆情点位及条数不仅与本地焦化企业（包括 BAP 年排放量和 BAP 防护距离）分布有关，而且还与人群的环保意识以及周边地区的焦化企业（包括 BAP 年排放量和 BAP 防护距离）分布有关。

2.4　不确定性分析

焦化企业信息的不确定性：本研究焦化企业信息以 2012 年为基准年，但近年山西省已根据《关于制订 2014—2015 年淘汰落后产能计划工作的通知》淘汰了一部分焦化企业，因此本研究采用的焦化企业数据未能反映最新的焦化企业信息。

防护距离估算的不确定性：本研究使用的估算模式为 AERSCREEN 模式，计算过程考虑了最不利气象条件，估算结果属于最保守的预测结果，但没有考虑建筑物下洗等情况。

舆情数据的不确定性：本研究的舆情数据来源于环境保护部“12369”环保举报热线，只能代表部分公众的态度，不完全代表焦化企业周边人群的态度，因此全面了解公众对焦化企业的态度需要进一步调查获取第一手资料。

3　结　论

（1）2012 年山西省共有 249 个焦化企业，所有地级市均有分布，主要集中在中部和西南部地区，其中运城市焦化企业数最多、吕梁市 BAP 年排放量最大、太原市总舆情条数和防护距离内舆情条数最多。

（2）山西省土地总面积为 15.98 万 km^2，其中焦化企业 BAP 防护距离内面积为 1.79 万 km^2，占比为 11.20%。太原市、临汾市、长治市、晋中市和吕梁市 5 个地级市的 BAP 防护距离内面积占比超过平均水平，其中太原市最高，达到 25.35%。

（3）舆情点位及条数不仅与本地焦化企业（包括 BAP 年排放量和 BAP 防护距离）分布有关，而且还与人群的环保意识以及周边地区的焦化企业（包括 BAP 年排放量和 BAP 防护距离）分布有关。

参考文献：

[1] 山西省经济和信息化委员会.山西省经济和信息化委员会关于印发《山西省“十三五”焦化工业发展规划》的通知[EB/OL].[2017-06-15].http://www.xzsjxw.gov.cn/threeAction!skip?typeId=127,124,155&id=1776&id1=6&id2=7.

[2] 山西省经济和信息化委员会.山西省传统优势产业三年推进计划(2015—2017 年)[EB/OL].[2017-06-11].http://www.sxsgsylhh.org/policy/1663.htm.

[3] LIU X.Characteristics of organic carbon and elemental carbon in the ambient air of coking plant[J].Aerosol & Air Quality Research,2015,15(4):1485-1493.

[4] 赵静波，姬亚芹，单春艳，等.鞍山市城区夏季 $PM_{2.5}$ 中多环芳烃组成特征及来源解析[J].环境污染与防治，2015，37(11)：72-75.

[5] MU L,PENG L,CAO J,et al.Emissions of polycyclic aromatic hydrocarbons from coking industries in China[J].Particuology,2013,11(1):86-93.

[6] LIU X,LIN P,BAI H,et al.Occurrence and particle-size distributions of polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air of coking plant[J].Environmental Geochemistry & Health,2014,36(3):531-542.

[7] 董继元，刘兴荣，张本忠，等.上海市居民暴露于多环芳烃的健康风险评价[J].生态环境学报，2015，24(1)：126-132.

[8] 郝天，杜鹏飞，杜斌，等.基于 USEtox 的焦化行业优先污染物筛选排序研究[J].环境科学，2014，35(1)：304-312.

[9] 伯鑫，王刚，温柔，等.焦炉排放多环芳烃与人体健康风险评价研究[J].环境科学，2014，35(7)：2742-2747.

[10] DENISSENKO M F,PAO A,TANG M,et al. Preferential formation of benzo[a]pyrene adducts at lung cancer mutational hotspots in P53[J].Science,1996,274(5286):430-432.

[11] HATTEMER F H,TRAVIS C C.Benzo-a-pyrene:environmental partitioning and human exposure[J].Toxicology and Industrial Health,1991,7(3):141-157.

[12] CAO S,DUAN X,ZHAO X,et al.Health risks from the exposure of children to As,Se,Pb and other heavy metals near the largest coking plant in China[J].Science of the Total Environment,2014,472(1):1001-1009.

[13] WANG Y,XU Y,CHEN Y,et al.Influence of different types of coals and stoves on the emissions of parent and oxygenated PAHs from residential coal combustion in China[J].Environmental Pollution,2016,212(14):1-8.

[14] 海婷婷，陈颖军，王艳，等.民用燃煤源中多环芳烃排放因子实测及其影响因素研究[J].环境科学，2013，34(7)：2533-2538.

[15] 蒋秋静，李跃宇，胡新新，等.太原市多环芳烃(PAHs)排放清单与分布特征分析[J].中国环境科学，2013，33(1)：14-20.

[16] PROGRAMME U N E O,ORGANIZATION I L,HEALTH W.Environmental health criteria 202[EB/OL].[2017-06-15].http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc202.htm#SectionNumber:1.1.

[17] 姚渭溪，曹学丽，徐晓白.工业型煤燃烧烟气排放苯并(a)芘的评价[J].环境污染与防治，1992，14(5)：27-30.

[18] 孟川平，杨凌霄，董灿，等.济南冬春季室内空气 $PM_{2.5}$ 中多环芳烃污染特征及健康风险评价[J].环境化学，2013，32(5)：719-725.

[19] SHAKERI A,MADADI M,MEHRABI B.Health risk assessment and source apportionment of PAHs in industrial and bitumen contaminated soils of Kermanshah province,NW Iran[J].Toxicology & Environmental Health Sciences,2016,8(3):201-212.

[20] 王栋成，王静，曹洁，等.大气环境防护距离与卫生防护距离确定技术方法对比研究[J].气象与环境学报，2009，25(4)：66-71.

[21] 伯鑫，丁峰，刘梦.AERSCREEN 计算大气环境防护距离方法对比研究[J].环境工程，2012，30(增刊)：554-556.

（下转第 258 页）

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2.4　Oxone 试剂用量对 Oxone/紫外氧化降解氧乐果的影响

氧乐果初始质量浓度为 10 mg/L、pH＝2.03、反应温度为 30 ℃，考察 Oxone 试剂用量对 Oxone/紫外氧化降解氧乐果的影响，结果如图 4 所示。随着 Oxone 试剂用量的增加，氧乐果降解率不断提高。但当 Oxone 试剂用量达到一定程度时，氧乐果降解率几乎不再提高。如 Oxone 试剂用量为 1.0 mL 时，降解 20 min 的氧乐果降解率为 92.8%；Oxone试剂用量为 1.2 mL 时，降解 20 min 的氧乐果降解率为 96.2%；Oxone 试剂用量为 1.4 mL 时，反应 20 min 的氧乐果降解率为 96.7%。考虑到工程应用中尽可能节省 Oxone 试剂，选择 Oxone 试剂用量为 1.0 mL。

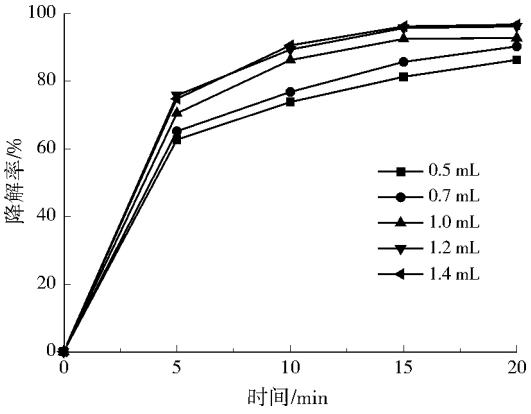


图 4　Oxone 试剂用量对 Oxone/紫外氧化降解氧乐果的影响

Fig.4　Effect of Oxone dosage on omethoate degradation by Oxone/UV

2.5　反应温度对 Oxone/紫外氧化降解氧乐果的影响

氧乐果初始质量浓度为 10 mg/L、pH＝2.03、Oxone 试剂用量 1.0 mL，考察反应温度对 Oxone/紫外氧化降解氧乐果的影响，结果如图 5 所示。反应温度对Oxone/紫外氧化降解氧乐果的影响很大。

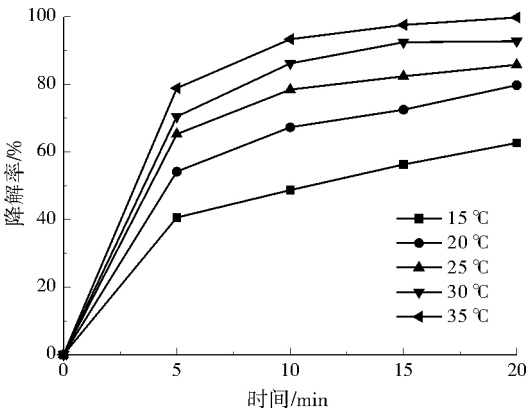


图 5　反应温度对 Oxone/紫外氧化降解氧乐果的影响

Fig.5　Effect of reaction temperature on omethoate degradation by Oxone/UV

反应温度越高，氧乐果的降解率越高。当反应温度为 35 ℃时，降解 20 min 的氧乐果降解率为 99.8%。

3　结　论

选择 Oxone/紫外氧化工艺氧化降解有机磷农药氧乐果。综合考虑降解效果、氧乐果废水处理的实际需要和工程应用的成本，氧乐果初始质量浓度为 10 mg/L、pH＝2.03、反应温度为 35 ℃、Oxone 试剂用量为 1.0 mL 时，降解 20 min 的氧乐果降解率能达到 99.8%。

参考文献：

[1]　孟礼荣.TiO_2基纳米复合材料的合成及其对农药废水的处理与光电检测[D].淮南：安徽理工大学，2015.

[2]　赵丽莉，钟崇林，李有.河南省农业面源污染现状与防治对策[J].广东农业科学，2010，37(7)：186-188.

[3]　庄桂，刘云焕，贺以乐.细胞融合高效菌株对氧乐果生产废水中有机磷的去除[J].环境工程，2008，26(增刊)：13-15.

[4]　邱克强，王廷沣，岳春雨，等.$Mg_{75}Zn_{20}Ca_5$非晶条带对氧乐果农药废水的降解作用[J].沈阳工业大学学报，2016，38(3)：268-273.

[5]　刘志彬.β-环糊精-二氧化钛光催化降解氧乐果的研究[J].哈尔滨商业大学学报(自然科学版)，2017，33(5)：541-544.

[6]　HUSSEIN F H.Comparison between solar and artificial photocatalytic decolorization of textile industrial wastewater[J].International Journal of Photoenergy，2012，2012：793648.

[7]　NFODZO P，CHOI H.Triclosan decomposition by sulfate radicals：effects of oxidant and metal doses[J].Chemical Engineering Journal，2011，174(2)：629-634.

[8]　王卓群.SBR 法与 Oxone/Co^{2+}氧化法联合技术处理 PPCPs 废水的研究[D].新乡：河南师范大学，2012.

[9]　吕贵芬，杨涛，李建国.电化学氧化法降解高浓度氧乐果农药废水的研究[J].江西植保，2011，34(2)：71-74.

[10]　王晨曦.基于硫酸根自由基的不同高级氧化体系降解偶氮染料橙黄 G 的研究[D].广州：华南理工大学，2015.

编辑：陈锡超　(收稿日期：2017-10-09)

(上接第 255 页)

[22]　伯鑫，张玲，刘梦，等.复杂地形下确定钢铁联合企业防护距离研究[J].环境工程，2011，29(增刊)：298-302.

[23]　姜胜洪.网络舆情热点的形成与发展、现状及舆论引导[J].理论月刊，2008(4)：34-36.

[24]　王晰巍，邢云菲，赵丹，等.基于社会网络分析的移动环境下网络舆情信息传播研究——以新浪微博“雾霾”话题为例[J].图书情报工作，2015，59(7)：14-22.

[25]　蔡博峰，王金南，龙瀛，等.中国垃圾填埋场恶臭影响人口和人群活动研究[J].环境工程，2016，34(2)：5-9.

[26]　伯鑫，傅银银，丁峰，等.新一代大气污染估算模式 AERSCREEN 对比分析研究[J].环境工程，2012，30(5)：71-76.

[27]　王振宇.山西省炼焦煤资源与利用[J].洁净煤技术，2006(2)：14-16.

编辑：陈锡超　(收稿日期：2017-07-13)

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net