

炼化基地大气特征污染物的管控与减排

魏颖^{1,*}, 詹华斌¹, 肖雯¹, 潘峰², 仝纪龙²

1. 江西省气象服务中心, 南昌 330029

2. 兰州大学 环境影响评价研究中心, 兰州 730000

摘要 石化工业区的大气无组织排放是不容忽视的环境问题。以西固炼化基地为例, 根据2014年特征污染物NMHC、H₂S、NH₃的区域质量浓度监测值, 采用地面浓度反推法对西固炼化基地的特征污染物无组织源强进行估算, 其中以炼油厂为最大, 分别为NMHC 258.54 kg·h⁻¹、H₂S 4.76 kg·h⁻¹、NH₃ 37.18 kg·h⁻¹。基于AERMOD模式预测特征污染物对区域敏感点的影响, 根据污染物的相应环境质量标准反算出相应的管控方案, 结果显示炼油厂的各项特征污染物削减量最大, 分别为NMHC 1 086 t·a⁻¹、H₂S 33 t·a⁻¹、NH₃ 172 t·a⁻¹, 为主要管控对象。针对西固炼化基地特征污染物主要排放源, 按近、中、长期提出相应的减排措施, 为城区大型炼化基地大气无组织排放的治理工作提供一种思路。

关键词 西固炼化基地; 大气特征污染物; 无组织源; 减排措施

中图分类号 X511 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2017)02-1055-06 DOI 10.12030/j.cjee.201510022

Particular air pollutants control and reduction in refining base

WEI Ying^{1,*}, ZHAN Huabin¹, XIAO Wen¹, PAN Feng², TONG Jilong²

1. Meteorological Services Centre of Jiangxi, Nanchang 330029, China

2. Research Center for Environmental Impact Assessment, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

Abstract Air polluting fugitive emissions from petrochemical industry parks is an environmental problem that cannot be ignored. Taking the Xigu refining base as an example, the estimated fugitive emissions using the ground concentration reverse calculation method based on the regional concentration monitoring results of particular pollutants (NMHC, NH₃, and H₂S in 2014) and the refinery's fugitive emissions maximum were determined to be 258.54 kg·h⁻¹, H₂S 4.76 kg·h⁻¹, and NH₃ 37.18 kg·h⁻¹. The influence of particular pollutants was predicted for certain points in the region using the AERMOD Model. Air quality control programs were established according to air quality standards, and the results showed the highest reduction amounts of three particular pollutants from the refinery: NMHC 1 086 t·a⁻¹, H₂S 33 t·a⁻¹, and NH₃ 172 t·a⁻¹. Therefore, the refinery was determined to be the main control object. Corresponding measures were offered as immediate, mid-term, and long-term solutions to reduce emissions from the main pollutant discharge devices of the Xigu refining base in hopes of providing a reference for the urban refining base's control of atmospheric fugitive emissions.

Key words Xigu refining base; particular air pollutants; fugitive emissions; reduction measures

西固炼化基地地处兰州市西固区, 是我国西部最大的石化产业基地, 也是国内少有的位于城市主城区的大型石化基地。基地在为区域经济腾飞提供重要助力的同时, 也随之产生了明显的环境问题, 其中大气环境问题尤为突出。如何有效的解决西固炼化基地的大气环境问题, 让城市环境与工业和谐发展, 已成为周边居民和兰州市政府关注的重大问题。自2006年修订版《兰州市实施大气污染防治法办法》出台, 随着兰州市大气污染防治工作的不断深入, 整个兰州城区的空气质量有了明显的改善, 但从区域监测数据来看, 兰州市的工业核心区——西固区的空气质量离良好还有一段距离。

2014年10月西固炼化基地的区域大气环境质量监测资料显示, 区域常规污染因子SO₂、NO₂浓度较

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金(861450)

收稿日期: 2015-10-07; 录用日期: 2015-12-09

第一作者: 魏颖(1990—), 女, 博士研究生, 研究方向: 空气质量预报预警, E-mail: weiy12@lzu.edu.cn

* 通信作者, E-mail: weiy12@mail.iap.ac.cn

低,大气质量较好,其中 SO_2 小时浓度范围为 $0.006 \sim 0.045 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, NO_2 小时浓度范围为 $0.011 \sim 0.085 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。而特征污染因子(H_2S 、 NH_3 和 NMHC)超标情况明显,在 14 个监测点为期 7 d 的连续监测中, H_2S 小时浓度范围为 $0.003 \sim 0.044 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,仅有 2 个监测点未出现超标现象,最大超标倍数 3.4 倍; NH_3 小时浓度范围为 $0.011 \sim 0.471 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,全部监测点均出现超标现象,最大超标倍数 1.4 倍;NMHC 小时浓度范围为 $0.4 \sim 2.99 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,仅有 2 个监测点未出现超标现象,最大超标倍数 0.5 倍。因此,对特征污染物的管控亟需得到有关环保部门和企业的重视。

本研究采用地面浓度反推法确定研究区域的特征污染物无组织源强,并结合兰州市重污染气象条件,采用 AERMOD 模式预测特征污染物对区域关心点的影响,反算合理的大气管控方案,并分别提出相应的减排措施,为炼化基地的无组织排放治理工作提供一种实用的参考思路。

1 无组织源强估算

1.1 案例简介及监测资料

西固炼化基地位于兰州市西固盆地的中心,由于地处河谷地带,“两山夹一河”的地形极不利于污染物扩散,上世纪 80 年代西固地区就曾出现长时间的“光化学烟雾事件”。进入 21 世纪后大气污染得到一定程度控制,但随着城市发展,西固区从一个偏僻单一的工业区发展成为工业区、居民区混杂的城市主城区,人口密集,居民区众多,炼化基地周边距离最近的居民区仅 100 m 不到,大气污染对居民健康的影响十分显著。

基地分为东西两部分,东面为炼油区,西面为化工区,其中化工区又分为两部分,北面为橡胶厂和石化厂(后简称橡胶厂),南面为化肥厂。因此,将西固炼化基地无组织面源划分为以下 3 部分:炼油厂、化肥厂和橡胶厂,各面源具体分布及范围如图 1 所示。

文中使用的监测数据为 2014 年区域大气质量状况监测结果,根据区域内敏感点的分布情况,共布设 14 个监测点分别为 1#原水上公园、2#原兰炼石油学校、3#寰球设计院、4#兰化职工医院、5#兰州第一水厂、6#原兰州铝厂、7#兰州第二水厂、8#建国宾馆、9#炼油污水处理厂、10#桃园中学、11#兰州齿轮厂、12#中川公路段、13#崔家大滩和 14#安宁堡,涵盖学校、医院、居民区以及工业区等,下文中对区域大气环境影响的预测仍以这 14 个监测点作为关心点,各监测点位置详见图 1。

1.2 计算方法

1.2.1 地面浓度反推法

无组织源强的确定方法有类比法、物料衡算法、通量法、设计资料法、经验公式计算法和地面浓度反推法等,其中以物料衡算法、通量法和地面浓度反推法等 3 种较为常用。物料衡算法需调查全厂的物料平衡,需要大量资料;通量法需设定垂直断面进行实测,这两种方法都不易实现,因此,在国内的大量研究中推荐采用地面浓度反推法^[1-2]。

地面浓度反推法是基于高斯扩散模式的一种无组织面源源强计算方法,认为排放源下风向地面大气中有害物质浓度与源的排放量成正比。地面浓度反推法计算公式如式 1 所示^[3-7]。胡更新^[8]和杨旭^[9]曾对地面浓度反推法进行了相关的理论及应用研究,并通过实验测定对模型的适用性进行了验证,实验结果良好。

$$Q_c = 11.3CU_{10}\sigma_z(\sigma_y^2 + \sigma_{y0}^2)^{0.5}\exp(\frac{H^2}{2\sigma_z^2}) \times 10^{-3}$$

(1)

式中: Q_c 为无组织污染源排放量($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$); C 为下风向地面轴心质量浓度($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$),其中, $C = C_1 -$



图 1 研究区域无组织面源与监测点位示意图
Figure 1 Schematic diagram for fugitive emissions and monitoring points of research region1

C_2, C_1 为下风向监测值($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$), C_2 为本底值($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$); H 为污染源平均排放高度(m); σ_z 为铅直扩散参数(m); σ_y 为垂直于平均风向的水平扩散参数(m); U_{10} 为采样时地面风速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); σ_{y_0} 为污染源的初始扩散标准(m), $\sigma_{y_0} = 4.3 L$, L 为面源宽度(m)^[8]。

1.2.2 AERMOD 预测模式

大气污染物扩散预测模型采用《环境影响评价技术导则》(HJT2.2-2008)中推荐的 AERMOD 模式。AERMOD 是一个适用于定场的烟羽模型的模型系统,该系统以扩散统计理论为出发点,假设污染物的浓度分布在一定程度上服从高斯分布。该模式经过反复验证和适用性研究,已得出可适用于多种排放源(包括点源、面源和体源)的排放和多种排放扩散情形的模拟和预测^[9-11]。

对 2012 年兰州市 AQI 指数统计数据进行筛选,选取 1 月 23 日—2 月 5 日期间的连续气象资料作为重污染天气的 AERMOD 气象资料输入,在 1 月 23 日—2 月 5 日这 14 d 期间共出现了 1 次重污染和 10 次轻度污染天气。

1.3 参数设置

1.3.1 面源参数

污染源平均排放高度 H 为 15 m,面源宽度 L 由谷歌地图测距工具测定,由于研究区域内的 3 处面源为不规则多边形,在面源参数的确定过程中进行了适度的标准化处理。

1.3.2 气象条件参数

胡更新^[12]指出,影响地面浓度反推法计算准确性的主要因素是扩散参数的选取,通过实测验证,对于地形有较大起伏的丘陵地区,扩散参数按照 Pasquill-Turner 方法确定大气稳定度类级后,提高半级取值效果较好。因此,考虑区域的河谷地形和城市建筑影响,文中在根据兰州市常年气象条件确定扩散参数时,以相应稳定度类级查阅 P-G 扩散参数曲线并以提高半级的结果为最终确定扩散参数值^[13]。地面风速 U_{10} 取 $1.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

1.3.3 下风向监测浓度的确定

源强计算中的下风向监测浓度和本底浓度采用本次区域监测结果替代,区域监测布点与面源的位置关系见图 1。具体替代方案为:兰州地区主导风向为东北风,因此,选取 5[#]、6[#]和 8[#]监测点的各监测因子小时平均浓度分别作为化肥厂、橡胶厂和炼油厂的下风向监测值,并分别选取区域最小监测浓度作为各监测因子的本底浓度。由于区域监测结果包含了研究区域内的所有工业源、交通源和生活源,因此,在本次计算中,需要根据西固炼化基地特征污染源强所占区域总污染物的比例对 C 值进行处理。2014 年西固炼化基地面源无组织排放 NMHC $12\,477.64 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$,占区域 NMHC 排放总量的 82.18%^[14],考虑到其他不确定性因素,本文的 C 值在下风向监测值与本底值之差的基础上再乘以系数 80%。 H_2S 和 NH_3 受其他污染源影响较小,此处忽略不计。

1.4 计算结果

经计算,西固炼化基地无组织面源源强结果见表 1。由表 1 可知,NMHC、 H_2S 和 NH_3 的主要贡献面源均为炼油厂。

2 管控方案设计

2.1 无组织源对区域大气贡献预测

将 2012 年 1 月 23 日—2 月 5 日兰州站(52889)的地面气象观测资料和榆中站(52983)的高空气象资料和表 1 中的面源源强参数输入 AERMOD 模式,计算得到西固炼化基地无组织面源对区域特征污染物的贡献情况(见表 2)。

表 1 无组织源强估算结果
Table 1 Estimate result of fugitive

	emissions		/($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$)
面源	NMHC	H_2S	NH_3
化肥厂	176.97	2.36	22.30
橡胶厂	52.20	2.12	14.56
炼油厂	258.54	4.76	37.18

2.2 管控方案设计

考虑经济和环保的协调发展,需要找出满足区域环境质量标准的前提下,让西固炼化基地削减的特征污染物较少的控制方案。在标准值的设定上,考虑到区域内居民区密集的情况,从保障人群健康的角度出发,有必要对居民区的控制标准有更高的要求。按照监测点对污染物的敏感程度,将 14 个监测点分为人群聚集区(包括学校和居民区)和非人群聚集区,将人群聚集区污染物允许浓度设定为标准值的 80%,非人群聚集区污染物允许浓度设定为标准值的 100% (H_2S 和 NH_3 采用《工业企业设计卫生标准》(TJ 36-79),分别为 0.01 和 $0.2\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$,NMHC 依据《大气污染物综合排放标准详解》, $2\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ [15-16]。经识别,属于人群聚集区的监测点有 1[#]、2[#]、3[#]、4[#]、8[#]、10[#]、13[#]和 14[#],非人群聚集区的监测点有 5[#]、6[#]、7[#]、9[#]、11[#]和 12[#]。

表 2 无组织面源对区域贡献预测结果
Table 2 Prediction contribution of fugitive emissions for the region

监测	NMHC		NH ₃		H ₂ S	
	预测浓度/ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	占标率/%	预测浓度/ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	占标率/%	预测浓度/ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	占标率/%
1 [#] 原水上公园	1.537	76.84	0.221	110.68	0.028	284.76
2 [#] 原兰炼石油学校	0.384	19.22	0.027	13.37	0.003	34.25
3 [#] 寰球设计院	0.369	18.46	0.058	28.92	0.007	74.08
4 [#] 兰化职工医院	0.500	25.00	0.070	35.17	0.009	90.10
5 [#] 兰州第一水厂	1.594	79.71	0.108	53.81	0.013	131.19
6 [#] 原兰州铝厂	3.747	187.36	0.224	111.78	0.029	291.05
7 [#] 兰州第二水厂	0.490	24.51	0.065	32.63	0.008	83.60
8 [#] 建国宾馆	0.802	40.12	0.073	36.27	0.009	92.92
9 [#] 炼油污水处理厂	0.583	29.13	0.091	45.63	0.012	116.89
10 [#] 桃园中学	2.227	111.33	0.349	174.38	0.045	446.70
11 [#] 兰州齿轮厂	0.631	31.53	0.032	15.90	0.004	41.01
12 [#] 中川公路段	0.350	17.48	0.042	20.90	0.005	53.54
13 [#] 崔家大滩	0.061	3.05	0.006	3.14	0.001	7.60
14 [#] 安宁堡	0.630	31.52	0.073	36.47	0.009	85.30

管控方案的设计借助 AERMOD 模式预测占标率进行调整,初始削减比例在设定上考虑特征污染物的主要贡献面源为炼油厂,并根据表 2 的占标率,确定各厂削减比例分别为 50%、50% 和 70%。根据削减后源强对各关心点的预测占标率,将削减比例每次增加(或减少)10%、5% 和 2.5%,直到逐步逼近 100% 占标率,则不再做进一步调整,各次削减比例的设定见表 3。在修正了 3 次污染物削减比例后,第 4 次削减方案的源强满足了各关心点占标率接近且低于 100% 的要求,最终确定出的管控方案污染物削减情况见表 3。

表 3 逐次削减比例设定及最终削减量
Table 3 Successive reduction proportion and final reduction

污染因子	面源名称	方案一(初始)	方案二	方案三	方案四(最终)	
		削减比例/%	削减比例/%	削减比例/%	削减比例/%	削减量/($\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$)
NMHC	化肥厂	50	40	30	30	446
	橡胶厂	50	40	30	30	132
	炼油厂	70	60	50	50	1 086
H ₂ S	化肥厂	50	60	60	60	12
	橡胶厂	50	60	60	60	11
	炼油厂	70	80	85	82.5	33
NH ₃	化肥厂	50	40	40	40	75
	橡胶厂	50	40	40	40	49
	炼油厂	70	60	50	55	172

如表 3 所示,为满足区域环境空气质量标准,针对炼化基地特征污染物的管控方案以 H_2S 的削减比例为最大,其中各无组织面源削减比例在 60% 以上;而以 NMHC 的削减量为最大,其中炼油厂的削减量在 $1\,000\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ 以上。各无组织面源的管控方案中,以炼油厂为主要削减对象,3 种特征污染物的削减比例均为最大。

2.3 不确定性分析

文中区域特征污染源强的计算结果是基于地面浓度反推法的估算,模型的假设条件和参数设定对模拟结果会产生误差。在参数设定方面,文中扩散参数采用胡更新提出的非平坦地形提高半级的修正结果,在其对比实验中,估算值和实测值的一致性较好,各点各次估算值与实测值的比值 R 的平均数和中位数中,估算误差小于两倍值的百分率都在 80% 以上,且估算误差大于 10 倍值的样品占总样品数的 10% 以下^[12]。由于监测资料有限,文中采用的监测资料在布点方案上作了近似,同时对区域内的众多无组织源进行了零化整的近似处理。因此源强的估算结果有一定的偏差,更为准确的无组织源强有待进一步研究。

另外,文中的预测分析采用 AERMOD 模式,目前国内研究大多认为 AERMOD 模式预测结果较为稳定可靠,本文在参数设定、地形数据输入等方面也避开了可能导致预测结果不稳定的敏感条件^[17-20]。

3 减排措施建议

从 14 年的区域监测数据来看,兰州西固区的 H_2S 、 NH_3 和 NMHC 排放亟需得到控制,而从预测结果来看,达标削减量最大的污染物为 NMHC,因此,需要对主要污染源——西固炼化基地的无组织排放实施一系列的减排措施。

3.1 特征污染物主要污染源分析

炼化基地的特征污染物主要通过无组织方式向外环境排放,其无组织排放主要分为储罐区、装卸区、生产区和污水处理装置区等 4 个部分。

对西固炼化基地内现有装置设施的污染物排放情况进行调查统计,结果显示西固炼化基地的特征污染物主要排放源集中在炼油区,其中 NMHC 的主要排放源为油品储运厂的油品装卸栈桥, H_2S 和 NH_3 的主要排放源为“两酸”装置(酸性水汽提装置、酸性气脱硫装置、硫磺回收装置)和污水处理厂。

3.2 减排措施

目前,西固炼化基地的油品装卸栈桥设施老化严重,且未设置油气回收装置,造成 NMHC 粗放型排放,有较大的减排空间,对于完成区域 NMHC 的达标减排具有显著意义。而“两酸”装置和污水处理厂等其他装置则相对有一定的环保措施,需要更高水平、更进一步的措施才能达到减排效果。因此,针对西固炼化基地的特征污染物减排措施本文建议将油品装卸栈桥改造放在首位。从基地各装置目前的运行情况来看,可以将减排措施分为近期针对油品装卸栈桥、中期针对以“两酸”装置和污水处理厂为主的其他装置和远期进行战略减排这 3 个阶段来实现:

- 1) 近期。根据各栈桥油品介质的具体情况采用合理的油气回收技术,对栈桥加装油气回收装置。另外,对西固炼化基地的油品装卸量进行统计估算得出,油气回收装置的油气回收率按 95% 计。采取油气回收措施后,可减排 NMHC 约 $874\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ 。该措施可显著降低 NMHC 无组织排放量,对区域近期无组织减排起到至关重要的作用;
- 2) 中期。对“两酸”装置、污水处理厂的管线、装置采取更为严格的密闭封堵措施,对恶臭气体进行收集净化和清除治理^[21-23];对储罐区则尽量将全部拱顶罐改造为浮顶罐^[24]。中期减排措施的减排效果需根据各装置的规模和运行负荷,以及装置的具体升级改造效果,进行进一步的统计和计算后得出,本文不再做进一步分析;
- 3) 远期。以全过程管理和综合防治为原则,加强对西固炼化基地的环保管理,构建预防为主,防治结合的减排管理体系,最终通过搬迁西固炼化基地的方式,达到“治本”的目的。

4 结论

近年来,西固炼化基地所在的区域大气环境质量有好转的趋势,但特征污染物浓度超标的情况较为明

显,需引起相关部门的重视。通过地面浓度反推法对西固炼化基地特征污染物无组织排放量进行估算,并基于 AERMOD 模式进行管控减排的情境设计,为城市主城区的大型炼化基地大气无组织污染物的管控提供一种具有实用价值的工作思路。

1) 西固炼化基地的特征污染物无组织排放以炼油厂为主,其中 NMHC $258.54 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 H_2S $4.76 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 NH_3 $37.18 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$;另外,化肥厂的排放量为 NMHC $176.97 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 H_2S $2.36 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 NH_3 $22.30 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$;橡胶厂排放量为 NMHC $52.20 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 H_2S $2.12 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 NH_3 $14.56 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

2) 特征污染因子区域大气质量要满足达标,需对炼油厂削减 NMHC $1.086 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 、 H_2S $33 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 NH_3 $172 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$,化肥厂削减 NMHC $446 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 、 H_2S $12 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 NH_3 $75 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$,橡胶厂削减 NMHC $132 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 、 H_2S $11 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 NH_3 $49 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

3) 在近期对炼油厂的油品装卸栈桥加装油气回收设施,根据目前的油品装卸量,可减排 NMHC $874 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$,使区域 NMHC 超标的情况得到有效控制。再通过中期对“两酸”装置、污水处理厂和储罐区的升级改造,可进一步减排 NMHC、 H_2S 和 NH_3 ,使区域空气质量进一步好转,提高全年达标率。

4) 从长期发展来看,西固炼化基地位于兰州市主城区,黄河上游,周边人口密集,居民区错布其中,无论是从大气环境治理、水环境污染风险和其他环境风险的角度考虑,区内的石化产业都需要尽早实现搬迁。

参考文献

- [1] 张鹏,赵东风,牛麦针.石化企业无组织排放源强核算方法综述[J].四川环境,2012,31(6):115-121
- [2] 李红旭,张鹏.石化企业储罐区无组织排放的源强核算研究[J].广东化工,2013,40(7):115-117
- [3] 安伟铭,杨宏,潘峰,等.炼油污水处理装置恶臭气体源强估算方法的比较[J].化工环保,2014,34(6):566-570
- [4] 张秀青.石化企业废气无组织排放源及排放量估算简介[J].装备环境工程,2010,5(5):74-77
- [5] 崔积山,张鹏,欧阳振宇.地面浓度反推法计算无组织排放废气的应用研究[J].广东化工,2013,40(5):3-5
- [6] 李冰晶.提高焦化行业大气环境影响预测水平的有关方法研究[D].兰州:兰州大学,2014
- [7] 赵东风,张鹏,戚丽霞,等.地面浓度反推法计算石化企业无组织排放源强[J].化工环保,2013,33(1):71-75
- [8] 胡更新.无组织排放量测定方法的实验研究[J].卫生研究,1985,14(3):34-39
- [9] 张旭.AERMOD 模式在大气环境影响评价中的规范使用[D].兰州:兰州大学,2010
- [10] PERRY S G, CIMORELLI A J, PAINE R J, et al. AERMOD: A dispersion model for industrial source applications. Part II: Model performance against 17 field study databases[J]. Journal of Applied Meteorology, 2005, 44(5): 694-708
- [11] SEANGKIATYUTH K, SURAPIPITH V, TANTRAKARNAPA K, et al. Application of the AERMOD modeling system for environmental impact assessment of NO_2 emissions from a cement complex[J]. Journal of Environmental Sciences, 2011, 23(6): 931-940
- [12] 胡更新.炼油厂大气污染浓度估算模式的探讨[J].环境工程,1986(4):17-20
- [13] 蒋维楣,孙鉴泞,曹文俊,等.空气污染气象学教程[M].北京:气象出版社,2004
- [14] 付金杯.兰州市西固化工园区大气环境容量变动及总量控制研究[D].兰州:兰州大学,2014
- [15] 中华人民共和国卫生部.TJ 36-79 工业企业设计卫生标准[M].北京:人民卫生出版社,1979
- [16] 国家环境保护局科技标准司.大气污染物综合排放标准详解[M].北京:中国环境科学出版社,1997
- [17] 李煜婷,金宜英,刘富强.AERMOD 模型模拟城市生活垃圾焚烧厂二噁英类物质扩散迁移[J].中国环境科学,2013,33(6):985-992
- [18] 丁峰,李时蓓,蔡芳.AERMOD 在国内环境影响评价中的实例验证与应用[J].环境污染与防治,2007,29(12):953-957
- [19] 张智锋,刘雪锦,贾佳,等.地形数据输入范围对 AERMOD 预测结果的影响[J].环境科学与技术,2014,37(5):182-186
- [20] 夏思佳,王勤耕.基于 AERMOD 模式的大气扩散参数方案比较研究[J].中国环境科学,2009,29(11):1121-1127
- [21] 魏颖,全纪龙,潘峰,等.“两酸”装置大气污染源分析及治理[J].化工环保,2013,33(6):540-544
- [22] 李何.石化企业无组织排放废气的减排对策及案例分析[J].北方环境,2011,23(11):34-35
- [23] 朱佳,董文艺,杜红.污水厂恶臭控制技术进展[J].水处理技术,2006,32(2):5-8
- [24] 霍玉侠,李发荣,全纪龙,等.石化企业储罐区无组织排放大气环境影响及对策研究[J].环境科学与技术,2011,34(7):195-199