

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

经济快速发展区场地污染特征、源-汇关系与管控对策专辑

我国经济快速发展区工业VOCs排放特征及管控对策

孟博文, 李永波, 孟晶, 李倩倩, 史斌, 周喜斌, 李金灵, 苏贵金

VOCs



制药



喷涂



橡胶

京津冀 •

• 长三角

珠三角 •

■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2021年3月

第42卷 第3期
Vol.42 No.3

目次

经济快速发展区场地污染特征、源-汇关系与管控对策专辑

我国经济快速发展区工业 VOCs 排放特征及管控对策	孟博文, 李永波, 孟晶, 李倩倩, 史斌, 周喜斌, 李金灵, 苏贵金 (1023)
长江经济带湖北省人为源 VOCs 排放清单及变化特征	代伶文, 孟晶, 李倩倩, 史斌, 苏贵金, 黄利宏 (1039)
经济快速发展区六氯丁二烯的来源与分布特征	陶誉铭, 孟晶, 李倩倩, 史斌, 苏贵金, 郭立新 (1053)
近 20 年中国表层土壤中多环芳烃时空分布特征及源解析	马妍, 程芦, 阮子渊, 史鹏飞, 路超君, 运晓彤, 李璐嫣, 徐雁秋, 史怡 (1065)
电子废物拆解区微塑料与周围土壤环境之间的关系	柴炳文, 尹华, 魏强, 卢桂宁, 党志 (1073)
焦化场地内外土壤重金属空间分布及驱动因子差异分析	顾高铨, 万小铭, 曾伟斌, 雷梅 (1081)
典型石化工业城市土壤重金属源解析及空间分布模拟	孙雪菲, 张丽霞, 董玉龙, 朱林宇, 王政, 吕建树 (1093)
多功能区工业园土壤和地表灰尘重金属污染及生态风险差异分析	曾伟斌, 顾高铨, 万小铭, 雷梅 (1105)
龙岩市某铁锰矿区土壤重金属地球化学空间分布特征与来源分析	王蕊, 陈楠, 张二喜, 李小赛 (1114)
基于全周期场地概念模型的场地环境精准调查应用案例	李培中, 吴乃瑾, 王海见, 张骥, 荣立明, 李翔, 魏文侠, 宋云 (1123)
造纸厂土壤中短链和中链氯化石蜡的污染特征和风险评估	张佩萱, 高丽荣, 宋世杰, 乔林, 徐驰, 黄帝, 王爽, 蒋思静, 郝明辉 (1131)
典型再生铜冶炼厂周边土壤中 PCDD/Fs、PCBs 和 PCNs 的污染特征及健康风险评估	胡吉成, 郭静, 许晨阳, 金军 (1141)
柠檬酸与磷共存对土壤吸附铅的影响	宋子腾, 左继超, 胡红青 (1152)
两种能源草田间条件下对镉和锌的吸收累积	郑瑞伦, 石东, 刘文菊, 孙国新, 侯新村, 胡艳霞, 朱毅, 武菊英 (1158)
钒钛磁铁矿尾矿库复垦土地及周边土壤-玉米重金属迁移富集特征	孙厚云, 卫晓峰, 孙晓明, 贾凤超, 李多杰, 李健 (1166)
盐胁迫下八宝景天不同生态型对土壤中 Cd 积累特征	郭俊梅, 杨俊兴, 杨军, 万小铭, 孟晓飞, 陈同斌, 何孟轲, 周小勇, 徐铁兵 (1177)
水分条件对生物炭钝化水稻土铅镉复合污染的影响	汤家庆, 张绪, 黄国勇, 胡红青 (1185)
壳聚糖改性生物炭对水稻土甲基汞生成及其稻米积累的影响	杨雪玲, 王明星, 徐国敏, 王定勇 (1191)
铬污染对土壤细菌群落结构及其构建机制的影响	于皓, 安益君, 金德才, 靳拓, 王兴润 (1197)
研究报告	
COVID-19 疫情期间京津冀大气污染物变化及影响因素分析	赵雪, 沈楠驰, 李令军, 武高峰, 陶静, 赵文吉 (1205)
2020 年初疫情管控对山东省空气质量影响的模拟	刘厚凤, 徐薇, 魏敏, 隋潇, 许鹏举, 李明燕, 张美根 (1215)
南京北郊 PM _{2.5} 中有机组分的吸光性质及来源	尚玥, 余欢, 茅宇豪, 王成, 谢鸣捷 (1228)
西安市大气棕碳污染特性及发色团种类	陈前, 陈庆彩 (1236)
淄博市道路尘细粒子携带金属元素的来源与健康风险评价	郭清源, 白雯宇, 赵雪艳, 郭丽瑶, 王敬华, 耿春梅, 王晓丽, 王静, 杨文, 白志鹏 (1245)
北京市控制 PM _{2.5} 污染的健康效益评估	杜沛, 王建州 (1255)
西宁市大气污染来源和输送季节特征	刘娜, 余晔, 马学谦 (1268)
青岛近海不同污染过程下大气颗粒态氮磷浓度分布特征	袁刚, 祁建华, 丁雪 (1280)
基于走航监测的长三角工业园区周边大气挥发性有机物污染特征	王红丽, 高雅琴, 景盛翱, 楼晟荣, 胡馨遥, 安静宇, 吴宇航, 高伟, 朱亮, 黄成 (1298)
山地型城市冬季大气重污染过程特征及成因分析	刘伟诚, 牛月圆, 吴婧, 闫雨龙, 胡冬梅, 邱雄辉, 彭林 (1306)
兰-白城市群主要大气污染物网格化排放清单及来源贡献	王文鹏, 王占祥, 李继祥, 高宏, 黄韬, 毛蒲萱, 马建民 (1315)
2012~2019 年北京市储油库 VOCs 去除及排放水平变化监测分析	华岚英, 崔彤, 李金香, 邹本东, 杨妍妍, 程刚 (1328)
生活垃圾无害化处理大气污染物排放清单	马占云, 姜昱聪, 任佳雪, 张阳, 冯鹏, 高庆先, 孟丹 (1333)
长江口邻近海域表层沉积物中的细菌霍多醇及对低氧区的响应判别	尹美玲, 段丽琴, 宋金明, 张乃星 (1343)
鄱阳湖流域水体和水产品中苯酚的暴露特征及人体健康风险评估	徐倩云, 艾舜豪, 高祥云, 王晓南, 刘征涛, 赵师晴, 葛刚, 李霖 (1354)
衡水湖湿地水环境质量时空变化特征及污染源分析	刘魏魏, 郭子良, 王新安, 张曼胤, 张余广 (1361)
丹江口水库及其入库支流水体中微塑料组成与分布特征	潘雄, 林莉, 张胜, 翟文亮, 陶晶祥, 李丹文 (1372)
金盆水库暴雨径流时空演变过程及水质评价	黄诚, 黄廷林, 李扬, 李楠, 齐允之, 司凡, 华逢耀, 赵凌云 (1380)
汛期暴雨径流对饮用水水库溶解性有机质 (DOM) 光谱特征的影响	李程遥, 黄廷林, 温成成, 梁伟光, 林子深, 杨尚业, 李凯, 蔡晓春 (1391)
苏州古城区河道碳氮磷类污染物的分布特征	白冬锐, 张涛, 陈坦, 王洪涛, 金曦, 郑凯旋, 李忠磊, 杨婷, 金军 (1403)
娘子关泉群水化学特征及成因	唐春雷, 赵春红, 申豪勇, 梁永平, 王志恒 (1416)
过氧化钙重塑底泥对水中磷酸盐的吸附作用	徐楚天, 李大鹏, 王子良, 吴宇涵, 许鑫澎, 黄勇 (1424)
亚热带丘陵区绿狐尾藻人工湿地处理养猪废水氮磷去向	王丽莎, 李希, 李裕元, 张满谔, 吴金水 (1433)
紫外/亚硫酸盐高级还原工艺加速降解水中难降解含碘造影剂	刘子奇, 仇付国, 赖曼婷, 李津, 董慧岭, 强志民 (1443)
太阳能热活化过硫酸盐降解染料罗丹明 B 的效能	马萌, 许路, 金鑫, 金鹏康 (1451)
一步法 La@MgFe ₂ O ₄ 的制备及其吸附水中磷的性能	白润英, 宋博文, 张戎, 郝俊峰, 刘建明, 刘宇红 (1461)
工程规模长填龄渗滤液膜生物-纳滤组合设施各单元污染物去除效能	邵立明, 邓樱桃, 仇俊杰, 吕凡, 章骅, 何品品 (1469)
ANAMMOX 培养物中硫酸盐型氨氧化生物转化机制	毕贞, 董石语, 黄勇 (1477)
不同季节城市污水处理厂微生物群落特性	贺赞, 李魁晓, 王佳伟, 王慰, 樊鹏超, 陈行行, 王军静 (1488)
麻黄碱在斑马鱼体内的器官特异性蓄积及毒代动力学	殷行行, 郭昌胜, 邓洋慧, 邱紫雯, 张艳, 滕彦国, 徐建 (1496)
内蒙古白云鄂博矿区土壤稀土元素污染特征及评价	王哲, 赵莹晨, 骆逸飞, 郑春丽, 卞园, 张光宇 (1503)
广西典型岩溶区农田土壤-作物系统 Cd 迁移富集影响因素	马宏宏, 彭敏, 郭飞, 刘飞, 唐世琪, 杨峰, 张富贵, 周亚龙, 杨柯, 李括, 刘秀金 (1514)
超顺磁性纳米材料对镉污染稻田土壤微生物和酶的影响	方丹丹, 张立志, 王强 (1523)
水分管理与施硅对水稻根表铁膜及砷镉吸收的影响	陈佳, 赵秀兰 (1535)
四环素类抗生素对土壤-生菜系统的生物效应及其迁移降解特性	王卫中, 迟苏琳, 徐卫红 (1545)
地膜覆盖对菜地垄沟 CH ₄ 和 N ₂ O 排放的影响	熊维霞, 江长胜, 赵仲婧, 曾唯, 胡曼利, 涂婷婷, 陈俊江, 郝庆菊 (1559)
对比研究生物炭和秸秆对麦玉米轮作系统 N ₂ O 排放的影响	唐占明, 刘杏林, 张晴雯, 李贵春 (1569)
流域生态空间管控下生境监测方法概述	阴琨, 刘海江, 王光, 金小伟 (1581)
《环境科学》征订启事 (1151) 《环境科学》征稿简则 (1342) 信息 (1402, 1415, 1580)	

2012 ~ 2019 年北京市储油库 VOCs 去除及排放水平变化监测分析

华岚英, 崔彤, 李金香*, 邹本东, 杨妍妍, 程刚

(北京市生态环境监测中心, 北京 100048)

摘要: 汽油储油库是城市挥发性有机物(VOCs)的重要来源之一,为减少 VOCs 排放,北京市于 2006 年开始推动储油库安装油气回收装置,每年监测储油库 VOCs 排放情况. 分析了 2012 ~ 2019 年北京市储油库 VOCs 排放变化特征,发现 2012 ~ 2019 年北京市储油库 VOCs 进口浓度经历下降-上升-下降历程,2019 年进口平均浓度为 $165.3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$; 出口浓度趋于下降趋势,2019 年出口平均浓度为 $7.3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$; 北京市储油库 VOCs 去除效率总体趋于稳定,为 45.5% ~ 100%. 但在油气回收装置出口排放浓度达标率大幅提高的同时,出现了储油库回收装置去除效率反而下降现象. 因此,提出加强过程管理,增加检查油气回收装置的运行年限和检查维护保养记录,并将去除效率指标纳入管控范畴,执行“双指标”达标要求等建议. 为未来制定储油库精细化管理措施,进一步改善大气环境质量提供科学依据.

关键词: 储油库; 挥发性有机物(VOCs); 北京市; 去除与排放; 趋势; 分析

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2021)03-1328-05 DOI: 10.13227/j.hjkk.202006244

VOCs Removal and Emission Monitoring of Beijing Bulk Gasoline Terminals in 2012-2019

HUA Lan-ying, CUI Tong, LI Jin-xiang*, ZOU Ben-dong, YANG Yan-yan, CHENG Gang

(Beijing Municipal Ecological and Environmental Monitoring Center, Beijing 100048, China)

Abstract: Bulk gasoline terminals are an important emission source of volatile organic compounds (VOCs) in cities. Beijing started to promote the installation of oil and gas recovery devices at oil storage terminals in 2006 to reduce VOCs emissions, since then VOCs emissions from the terminals have been monitored by the municipal government every year. This paper analyzes the VOCs emission characteristics of oil storage terminals in Beijing from 2012 to 2019. We found that the VOCs import concentration was $165.3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ in 2019 and had experienced a decline-rise-decline pattern during 2012-2019. The emission concentration was $7.3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ in 2019 and had declined continuously during the preceding eight years. The removal efficiency of VOCs of the gas recovery devices tended to be stable and ranged from 45.5% to 100%. Although the emission concentration had decreased significantly, the removal efficiency of the recovery unit at the oil storage terminals had decreased. Therefore, this paper proposed to strengthen process management, the inspection of the service life of the oil and gas recovery units, and check and maintain records. In addition, the removal efficiency index should be included in the scope of law enforcement and “double index” requirements should be implemented. This paper will provide a scientific basis for the future development of atmospheric improvement measures.

Key words: bulk gasoline terminals; volatile organic compounds(VOCs); Beijing; removal and emission; trend; analysis

储油库和加油站排放的挥发性有机气体对环境影响较大. 油气中的较多组分已被公认对人体有致癌作用,汽油产生的挥发气体含有较大比例不饱和和炔,对形成光化学烟雾和臭氧污染有较大作用^[1,2]. 储油库也是城市挥发性有机物的重要来源之一^[3,4]. 根据 2018 年北京市大气污染源排放清单,北京市 2018 年全市汽油消耗量 493.6 万 t,柴油消耗量 178.8 万 t,油气储运源 VOCs 排放总量 248 t,平均单个储油库的排放相当于一个 10t 的工业企业,可见,储油库 VOCs 是重要的排放源. 20 世纪 70 年代,欧美等国已在装车和装船等过程中广泛应用油气回收技术^[5]. 针对储油库 VOCs 排放的研究也全面开展^[6,7],报道的回收效率为 85% 以上. 许多学者对储油库 VOCs 排放开展了研究,从污染控制、源头与治理和处理技术与应用等角度进行阐述^[8~13].

文献[14~18]详细论述了国内外储油库 VOCs 排放现状与控制分析. 文献[19~22]对北京市油气回收装置及油气回收在北京的应用等给予了分析,文献[23~25]阐述了储油库不同回收处置方法在实际使用中的效果等,但一直以来缺少对储油库 VOCs 去除及排放水平研究.

为减少挥发性有机物(VOCs)排放和推动北京市空气质量改善,北京市于 2006 年开始推动储油库安装油气回收装置,要求在 2008 年 5 月前完成油气回收装置的改造和安装工作,实现达标排放. 2012

收稿日期: 2020-06-24; 修订日期: 2020-10-22

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0209903)

作者简介: 华岚英(1974~),女,硕士研究生,高级工程师,主要研究方向为污染源监测与统计, E-mail: hualanying2003@163.com

* 通信作者, E-mail: 874917409@qq.com

~2019 年,由于北京城市规模的扩大、常住人口和机动车保有量的增加,储油库、加油站随之增加,储油库由 22 增加 27 个,加油站由 314 增加到 337 个。虽然储油库出口排放浓度逐年降低,空气质量状况逐步改善,但是储油库 VOCs 排放仍然有超标情况,油气回收装置的安装至今已有近 14 年,笔者试图利用近 8 年的监测数据分析北京市储油库 VOCs 变化特征,以期未来制定大气改善措施提供科学依据。

1 材料与方法

依据《储油库大气污染物排放标准》(GB 20950-2007),储油库监测项目为非甲烷总烃,研究所用污染指标监测数据来源于近年对北京市储油库 VOCs 手工监测。

评价方法为达标排放评价,根据《储油库大气污染物排放标准》(GB 20950-2007)、储油库油气排放控制和限值(DB 11/206-2010)的规定,油气处理装置油气排放浓度限值为 $20 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$,油气处理效率为大于等于 95%。

2 结果与分析

2012~2019 年间,对全部储油库开展了监测。数量有所增加,每年实际监测的储油库数量保持在 20 家左右,对进口浓度、出口浓度和去除效率绘制箱图和达标率变化趋势,见图 1~4。

2.1 出口浓度及达标率

2.1.1 出口浓度

2019 年储油库 VOCs 出口浓度范围为 $0.005 \sim 66 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$,与其他年份相比,其浓度分布范围缩小,极值明显下降,无超标 3 倍以上的异常值。2012~2019 年,出口浓度范围逐渐变窄,出口浓度逐渐降

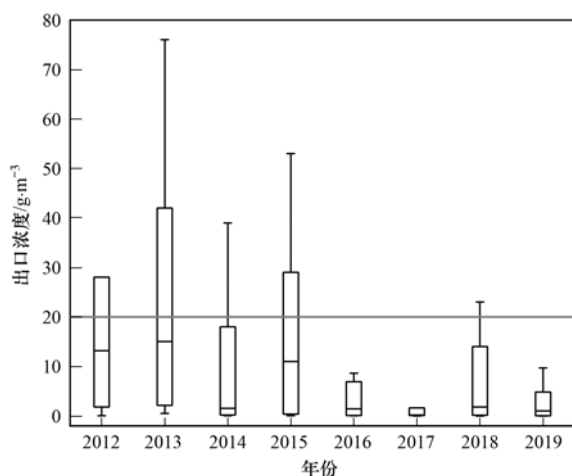


图 1 2012~2019 年储油库 VOCs 出口浓度变化趋势

Fig. 1 Variation trend of VOCs export concentration in oil storage tanks from 2012 to 2019

低,且趋于平稳,图 1 中横线为油气处理装置油气排放浓度的限值($20 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$)。

2.1.2 出口浓度达标率

2012 年来,储油库 VOCs 的排放达标率总体呈上升趋势,从 50% 逐步提高到 80%,2016~2018 年稳定在 80% 以上,而 2019 年非甲烷总烃出口浓度排放达标率明显提高,超过了 90%,2015 年以后,监测企业数相当,储油库 VOCs 的去除效率达标率在 66%~81%,每年不达标企业在 3~7 家,见图 2。

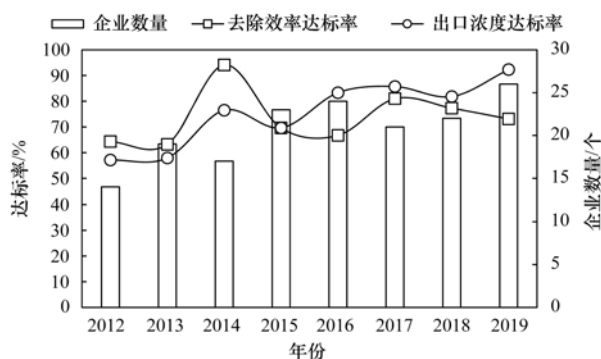


图 2 2012~2019 年储油库出口浓度达标率和 VOCs 去除效率达标率统计

Fig. 2 Statistics on the reaching rate of oil storage tanks outlet concentration and VOCs removal efficiency from 2012 to 2019

2.2 入口浓度及去除效率

2.2.1 入口浓度

与 2012~2014 年相比,回收装置入口非甲烷总烃浓度在 2015、2016、2017 和 2019 年有比较明显的下降,浓度分布范围缩小,2018 年浓度水平有明显的反弹。2019 年入口浓度范围为 $3.44 \sim 550 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$,与 2017 年比较接近,属于近 8 年来的较低水平(图 3)。

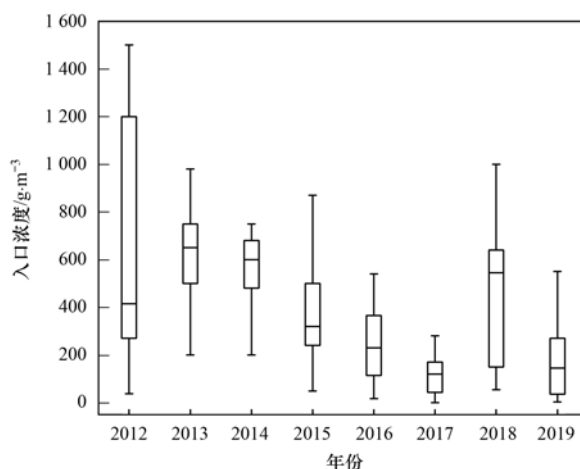


图 3 2012~2019 年储油库 VOCs 入口浓度变化趋势

Fig. 3 Variation trend of VOCs inlet concentration in oil storage tanks from 2012 to 2019

2.2.2 去除效率及达标率

由图 4 可知,回收装置去除效率数据年内较为离散且极值年际变化也较大。但是中位数除了 2014

年较高、2015 年稍低外,2013 年后变化不大.从域外值和分位数来看,2019 年去除效率达标率是相对较低的一年,比 2017 ~ 2018 年明显变差.

综合进出口浓度来看去除效率变化,2015 ~ 2016 年入口浓度水平整体下降,导致去除效率有所下降,不能较好地满足工艺控制的标准要求.2017 年入、出口浓度均较低、2018 年进口浓度较高,因此 2017 ~ 2018 年去除效率有所上升.

值得注意的是,每年监测都发现存在部分企业去除效率不能满足国家标准的要求,尤其是个别企业出现进出口浓度倒挂,说明治理设施可能处于需要加强修护的状态.

2.3 出口浓度、去除效率与储油库净化与管理

北京市储油库大多于 2008 年安装改造完成,据 2020 年统计的储油库回收技术数据显示,现有的 27 家储油库采用活性炭吸附法 18 家,占比较大,见表 1.进一步的统计结果显示,大多浓度或去除效率不达标的储油库其净化设备安装年限从 4 ~ 12 a 不

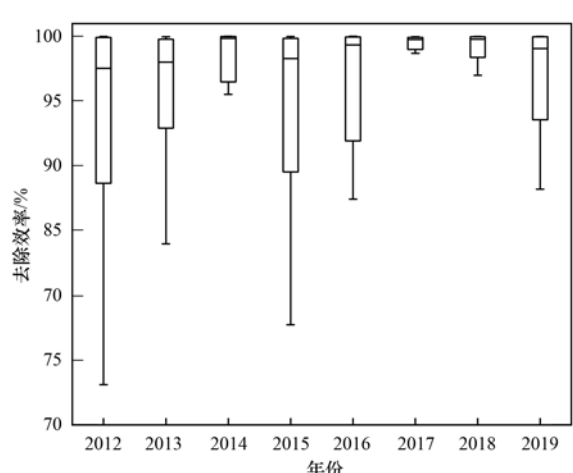


图 4 2012 ~ 2019 年储油库 VOCs 去除效率统计
Fig. 4 Statistics on VOCs removal efficiency of oil storage tanks from 2012 to 2019

等,但采取的油气回收技术大多为活性炭吸附法,且维护状况一般,见表 2.可见,油气回收技术中活性炭吸附法效果一般,在维护状况一般的情况下,其净化效率较低.

表 1 北京市储油库回收技术分布统计

项目	储油库总数	回收技术		
		活性炭吸附法	冷凝 + 活性炭吸附法	膜分离 + 冷凝法
数量(家)	27	18	8	1

表 2 2012 ~ 2019 年超标储油库净化设备、回收技术及维护情况

监测年份	出口浓度 超标数量	净化效率 超标数量	净化设备 安装年限	回收技术	维护情况
2012	5	5	4	活性炭吸附法	一般
2013	8	7	5	活性炭吸附法	一般
2014	4	1	6	活性炭吸附法	一般
2015	7	7	7	活性炭吸附法	一般
2016	4	8	8	活性炭吸附法	一般
2016	4	8	8	冷凝 + 活性炭吸附法	一般
2017	3	4	9	活性炭吸附	一般
2018	4	5	10	冷凝 + 活性炭吸附法	一般
2018	4	5	10	活性炭吸附法	一般
2019	2	7	4 ~ 12	活性炭吸附法	一般
2019	2	7	4 ~ 12	冷凝 + 活性炭吸附法	一般

3 讨论

2012 ~ 2019 数据显示,油气回收装置出口超标企业,其储油库 VOCs 回收装置去除效率必然不达标,出口达标企业,其储油库 VOCs 回收装置去除效率也可能超标.2019 年储油库 VOCs 出口排放浓度达标率虽高达 92.3%,但回收装置净化效率仅为 73.1%,可见虽然储油库 VOCs 入、出口浓度排放范围越来越窄,出口浓度达标率逐渐提高,但由于储油库回收装置净化器存在设备老化、净化设备缺少必

要的维护保养等问题,使得去除效率逐渐降低至超标.

通过 2012 ~ 2019 年储油库 VOCs 去除效率与达标率关系研究发现,储油库 VOCs 出口浓度排放达标,去除效率不一定达标,有的反而因为入口浓度过低,导致去除效率降低的现场,为全面执行排放标准,切实改善北京市空气质量,建议将去除效率指标纳入管控范畴,执行“双指标”达标要求.根据环境统计数据,仅执行浓度达标北京市储油库 VOCs 消减量约为 10 ~ 20t,而执行“双指标”后将会进一步

消减储油库 VOCs 排放量降至 10%~25%。

2012~2019 数据显示,当入口浓度过低时,出口浓度虽然达标,但去除效率会因入口浓度过低导致不达标。因此,在达标评价时,建议将入口浓度过低的情况考虑进去,以便更好地执行“双指标”达标评价。

4 结论

(1)2012~2019 年,北京市储油库 VOCs 进口浓度经历下降-上升-下降历程,总体浓度趋于下降趋势。

(2)2012~2019 年,北京市储油库 VOCs 出口浓度中间经历反弹,但近 4 年出口达标率稳中有升。

(3)2012~2019 年,北京市储油库 VOCs 去除效率总体稳定。但也出现了油气回收装置出口排放浓度达标率大幅提高的同时,储油库回收装置去除效率反而下降现象。

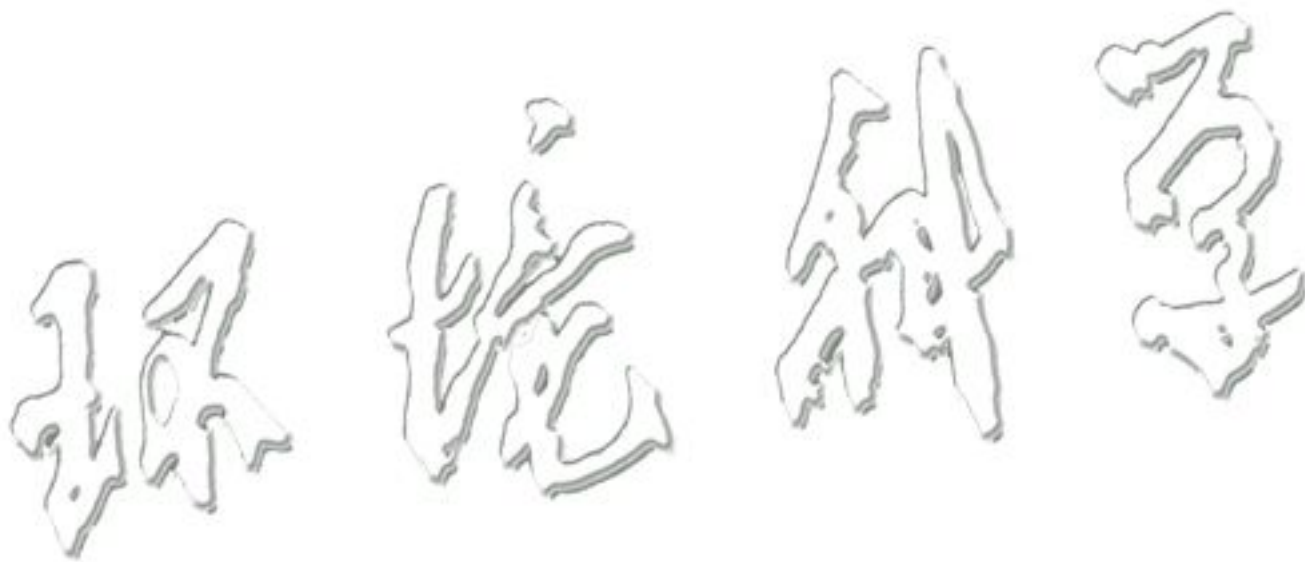
(4)2012~2019 年,北京市储油库 VOCs 在出口浓度总体呈现下降的趋势下,出现进口浓度过低,导致去除效率反而超标的现象。

(5)建议企业改善油气回收处理技术,定期核查油气回收装置的净化器使用状态,降低出口浓度的同时,保障储油库回收装置去除效率达标。建议企业和相关部门在评价达标情况时,关注储油库进口浓度过低现象及去除效率达标情况,执行“双指标”达标要求,切实改善北京市空气质量。

参考文献:

- [1] Zhao Q, Li Y J, Chai X L, *et al.* Interaction of inhalable volatile organic compounds and pulmonary surfactant: potential hazards of VOCs exposure to lung [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2019, **369**: 512-520.
- [2] 张栋,于世杰,王楠,等. 郑州市冬季 VOCs 污染特征、来源及健康风险评估[J]. *环境科学学报*, 2020, **40**(8): 2935-2943.
- [3] Zhang D, Yu S J, Wang N, *et al.* Characteristics, sources and health risk assessment of ambient VOCs in winter of Zhengzhou [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2020, **40**(8): 2935-2943.
- [4] 赵风杰,孙慧,赵东风. 储油库挥发性有机物源头、过程及末端治理技术研究[A]. 见: 2018 全国 VOCs 监测与治理高峰论坛论文集[C]. 上海: 中国环境科学学会, 2018. 20-30.
- [5] 黄玉虎,胡玮,任碧琪,等. 我国挥发性有机液体储库 VOCs 排放标准现状分析[J]. *环境科学研究*, 2018, **31**(12): 1987-1992.
- [6] Huang Y H, Hu W, Ren B Q, *et al.* Analysis of status of VOCs emission standards for volatile organic liquid terminals in China [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2018, **31**(12): 1987-1992.
- [7] 石力. 北京市油库加油站油气回收分析及经济性评价[J]. *价值工程*, 2018, **37**(29): 37-40.
- [8] Shi L. Oil and gas recovery analysis and economic evaluation of oil storage stations in Beijing oil depot[J]. *Value Engineering*, 2018, **37**(29): 37-40.
- [9] Huang W Q, Bai J, Zhao S H, *et al.* Investigation of oil vapor emission and its evaluation methods [J]. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2011, **24**(2): 178-186.
- [10] Jackson M M. Organic liquids storage tanks volatile organic compounds (VOCs) emissions dispersion and risk assessment in developing countries: the case of Dar-Es-Salaam city, Tanzania [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2006, **116**(1-3): 363-382.
- [11] 翁俊,李彬,朱新胜,等. 储油库大气污染物计算及污染控制措施分析[J]. *石油化工安全环保技术*, 2017, **33**(1): 61-64.
- [12] Weng J, Li B, Zhu X S, *et al.* Calculation of air pollutants and analysis of pollution control measures at oil depots [J]. *Petrochemical Safety and Environmental Protection Technology*, 2017, **33**(1): 61-64.
- [13] 许光,张健中,邓万全,等. 储油库油气回收效果的检测及分析[J]. *石油化工安全环保技术*, 2016, **32**(4): 30-34.
- [14] Xu G, Zhang J Z, Deng W Q, *et al.* Detection and analysis of oil and gas recovery effect at storage depot [J]. *Petrochemical Safety and Environmental Protection Technology*, 2016, **32**(4): 30-34.
- [15] 王智俭. 储油库污染综合治理浅谈[J]. *科技资讯*, 2017, **15**(22): 108-109.
- [16] 王倩,黄凌,王杨君,等. 长江三角洲 2017 年机动车 IVOCs 排放清单构建及其对 SOA 的生成影响[J]. *环境科学*, 2020, **41**(1): 125-132.
- [17] Wang Q, Huang L, Wang Y J, *et al.* Emission inventory of intermediate volatility organic compounds from vehicles in the Yangtze River Delta in 2017 and the impact on the formation potential of secondary organic aerosols [J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(1): 125-132.
- [18] 蒲鹤,张博书. 用于油库 VOCs 治理末端的膜法油气回收工艺[J]. *安全、健康和环境*, 2020, **20**(4): 32-35.
- [19] Pu H, Zhang B S. Membrane oil and gas recovery process for VOCs terminal treatment of oil depot [J]. *Safety Health & Environment*, 2020, **20**(4): 32-35.
- [20] 黄维秋,吕成,郭淑婷,等. 油气排放及回收的研究进展[J]. *石油学报(石油加工)*, 2019, **35**(2): 421-432.
- [21] Huang W Q, Lv C, Guo S T, *et al.* Research progress of oil vapor emission and recovery [J]. *Acta Petrolei Sinica (Petroleum Processing Section)*, 2019, **35**(2): 421-432.
- [22] 胡玮,任碧琪,黄玉虎,等. 国内外储油库 VOCs 排放现状与标准分析[J]. *环境科学*, 2020, **41**(1): 139-145.
- [23] Hu W, Ren B Q, Huang Y H, *et al.* Emission status and standards of volatile organic compounds from chinese and foreign bulk petroleum terminals [J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(1): 139-145.
- [24] 沈旻嘉,郝吉明,王丽涛. 中国加油站 VOC 排放污染现状及控制[J]. *环境科学*, 2006, **27**(8): 1473-1478.
- [25] Shen M J, Hao J M, Wang L T. VOC emission situation and control measures of gas station in China [J]. *Environmental Science*, 2006, **27**(8): 1473-1478.
- [26] 王继钦,陈军辉,韩丽,等. 四川省加油站挥发性有机物排放及控制现状[J]. *环境污染与防治*, 2020, **42**(6): 672-677.
- [27] Wang J Q, Chen J H, Han L, *et al.* Emission and control of volatile organic compounds in service stations in Sichuan [J]. *Environmental Pollution & Control*, 2020, **42**(6): 672-677.
- [28] 陈鹏,李珊珊,邢敏,等. 我国加油站 VOCs 污染排放现状及回收控制进展[A]. 见: 2019 中国环境科学学会科学技术年

- 会论文集(第四卷)[C]. 西安: 中国环境科学学会, 2019. 3523-3527.
- [18] Huy L N, Oanh N T K. Emission control for volatile organic compounds from gasoline stations and implication on ozone-forming potential[J]. *Atmospheric Pollution Research*, 2020, **11**(6): 87-98.
- [19] 赵方忠. 北京油气污染治理之实践与启示[J]. *投资北京*, 2008, (7): 25.
- [20] 黄玉虎, 胡玮, 李贝贝, 等. 北京城市副中心(通州区)加油站 VOCs 排放清单[J]. *环境科学*, 2018, **39**(2): 618-625. Huang Y H, Hu W, Li B B, *et al.* VOCs emission inventory of service stations in a subcenter (Tongzhou District) of the city of Beijing[J]. *Environmental Science*, 2018, **39**(2): 618-625.
- [21] 何月, 鲁晓春. 北京市油库油气回收装置优选分析[J]. *环境污染与防治*, 2008, **30**(10): 59-62, 95. He Y, Lu X C. The optimal selection analysis for the gasoline vapor recovery method at fuel depots in Beijing [J]. *Environmental Pollution & Control*, 2008, **30**(10): 59-62, 95.
- [22] 李涛, 冯玉桥. 油气回收技术在北京的应用[J]. *北京汽车*, 2010, (1): 15-17.
- [23] 张家铭, 沈琳. 储油库不同油气回收处理装置使用情况分析[J]. *上海环境科学*, 2017, **36**(4): 167-169. Zhang J M, Shen L. An analysis on the use of various oil and gas recycling devices in Petroleum depots [J]. *Shanghai Environmental Sciences*, 2017, **36**(4): 167-169.
- [24] 王思宇, 黄玉虎, 胡玮, 等. 加油站油气处理装置作用及 VOCs 排放现状[J/OL]. *环境科学研究*, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1827.X.20200723.1042.002.html>, 2020-07-11. Wang S Y, Huang Y H, Hu W, *et al.* Functions and emission status of VOCs from vapor processing devices in gasoline filling stations[J/OL]. *Research of Environmental Sciences*, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1827.X.20200723.1042.002.html>, 2020-07-11.
- [25] 杨鹏飞. 油气回收技术在加油站中的应用[J]. *化工管理*, 2020, (22): 73-74.



CONTENTS

Industrial Emission Characteristics and Control Countermeasures of VOCs in Chinese Rapid Economic Development Areas	MENG Bo-wen, LI Yong-bo, MENG Jing, <i>et al.</i>	(1023)
VOCs Emission Inventory and Variation Characteristics of Artificial Sources in Hubei Province in the Yangtze River Economic Belt	DAI Ling-wen, MENG Jing, LI Qian-qian, <i>et al.</i>	(1039)
Sources and Distribution Characteristics of HCBd in Rapid Economic Development Areas	TAO Yu-ming, MENG Jing, LI Qian-qian, <i>et al.</i>	(1053)
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Soil of China (2000-2020): Temporal and Spatial Distribution, Influencing Factors	MA Yan, CHENG Lu, RUAN Zi-yuan, <i>et al.</i>	(1065)
Relationships Between Microplastic and Surrounding Soil in an E-Waste Zone of China	CHAI Bing-wen, YIN Hua, WEI Qiang, <i>et al.</i>	(1073)
Analysis of the Spatial Distribution of Heavy Metals in Soil from a Coking Plant and Its Driving Factors	GU Gao-quan, WAN Xiao-ming, ZENG Wei-bin, <i>et al.</i>	(1081)
Source Apportionment and Spatial Distribution Simulation of Heavy Metals in a Typical Petrochemical Industrial City	SUN Xue-fei, ZHANG Li-xia, DONG Yu-long, <i>et al.</i>	(1093)
Heavy Metal Contents of Soil and Surface Dust and Its Ecological Risk Analysis in a Multifunctional Industrial Park	ZENG Wei-bin, GU Gao-quan, WAN Xiao-ming, <i>et al.</i>	(1105)
Geochemical Patterns and Source Analysis of Soil Heavy Metals in an Iron and Manganese Ore Area of Longyan City	WANG Rui, CHEN Nan, ZHANG Er-xi, <i>et al.</i>	(1114)
Application Case of Accurate Site Investigation with Life-Cycle Conceptual Site Model Development	LI Pei-zhong, WU Nai-jin, WANG Hai-jian, <i>et al.</i>	(1123)
Levels and Risk Assessment of Short and Medium-Chain Chlorinated Paraffins in Soil from Paper Mill Area	ZHANG Pei-xuan, GAO Li-rong, SONG Shi-jie, <i>et al.</i>	(1131)
Characterization and Health Risks of PCDD/Fs, PCBs, and PCNs in the Soil Around a Typical Secondary Copper Smelter	HU Ji-cheng, WU Jing, XU Chen-yang, <i>et al.</i>	(1141)
Effect of Citric Acid and Phosphorus Coexistence on Cadmium Adsorption by Soil	SONG Zi-teng, ZUO Ji-chao, HU Hong-qing, <i>et al.</i>	(1152)
Uptake and Accumulation of Cadmium and Zinc by Two Energy Grasses: A Field Experiment	ZHENG Rui-lun, SHI Dong, LIU Wen-ju, <i>et al.</i>	(1158)
Bioaccumulation and Translocation Characteristics of Heavy Metals in a Soil-Maize System in Reclaimed Land and Surrounding Areas of Typical Vanadium-Titanium Magnetite Tailings	SUN Hou-yun, WEI Xiao-feng, SUN Xiao-ming, <i>et al.</i>	(1166)
Cd Accumulation Characteristics in Different Populations of <i>Hylotelephium spectabile</i> Under Salt Stress	GUO Jun-mei, YANG Jun-xing, YANG Jun, <i>et al.</i>	(1177)
Effect of Water Regimes on Pb and Cd Immobilization by Biochar in Contaminated Paddy Soil	TANG Jia-qing, ZHANG Xu, HUANG Guo-yong, <i>et al.</i>	(1185)
Effects of Chitosan-modified Biochar on Formation of Methylmercury in Paddy Soils and Its Accumulation in Rice	YANG Xue-ling, WANG Ming-xing, XU Guo-min, <i>et al.</i>	(1191)
Effects of Chromium Pollution on Soil Bacterial Community Structure and Assembly Processes	YU Hao, AN Yi-jun, JIN De-cai, <i>et al.</i>	(1197)
Analysis of Changes and Factors Influencing Air Pollutants in the Beijing-Tianjin-Hebei Region During the COVID-19 Pandemic	ZHAO Xue, SHEN Nan-chi, LI Ling-jun, <i>et al.</i>	(1205)
Impact of Pollutant Emission Reduction on Air Quality During the COVID-19 Pandemic Control in Early 2020 Based on RAMS-CMAQ	LIU Hou-feng, XU Wei, WEI Min, <i>et al.</i>	(1215)
Light-absorbing Properties and Sources of PM _{2.5} Organic Components at a Suburban Site in Northern Nanjing	SHANG Yue, YU Huan, MAO Yu-hao, <i>et al.</i>	(1228)
Pollution Characteristics and Chromophore Types of Brown Carbon in Xi'an	CHEN Qian, CHEN Qing-cai, <i>et al.</i>	(1236)
Source and Health Risk Assessment of PM _{2.5} -Bound Metallic Elements in Road Dust in Zibo City	GUO Qing-yuan, BAI Wen-yu, ZHAO Xue-yun, <i>et al.</i>	(1245)
Health Benefit Assessment of PM _{2.5} Pollution Control in Beijing	DU Pei, WANG Jian-zhou, <i>et al.</i>	(1255)
Seasonal Characteristics of Air Pollutant Sources and Transport Pathways in Xining City	LIU Na, YU Ye, MA Xue-qian, <i>et al.</i>	(1268)
Concentrations and Patterns of Atmospheric Particulate Nitrogen and Phosphorus During Different Weather Conditions in Qingdao Coastal Region	YUAN Gang, QI Jian-hua, DING Xue, <i>et al.</i>	(1280)
Characterization of Volatile Organic Compounds (VOCs) Using Mobile Monitoring Around the Industrial Parks in the Yangtze River Delta Region of China	WANG Hong-li, GAO Ya-qin, JING Sheng-ao, <i>et al.</i>	(1298)
Characteristics and Cause Analysis of Heavy Air Pollution in a Mountainous City During Winter	LIU Zhuo-cheng, NIU Yue-yuan, WU Jing, <i>et al.</i>	(1306)
Gridded Emission Inventories of Major Criteria Air Pollutants and Source Contributions in Lan-Bai Metropolitan Area, Northwest China	WANG Wen-peng, WANG Zhan-xiang, LI Ji-xiang, <i>et al.</i>	(1315)
VOCs Removal and Emission Monitoring of Beijing Bulk Gasoline Terminals in 2012-2019	HUA Lan-ying, CUI Tong, LI Jin-xiang, <i>et al.</i>	(1328)
Emission Inventory of Air pollutants for the Harmless Treatment of Municipal Solid Waste	MA Zhan-yun, JIANG Yu-cong, REN Jia-xue, <i>et al.</i>	(1333)
Response of Bacteriophage Polys to Hypoxic Conditions in the Surface Sediments of the Yangtze Estuary and Its Adjacent Areas	YIN Mei-ling, DUAN Li-qin, SONG Jin-ming, <i>et al.</i>	(1343)
Human Health Risk Assessment of Phenol in Poyang Lake Basin	XU Qian-yun, AI Shun-hao, GAO Xiang-yun, <i>et al.</i>	(1354)
Spatial-Temporal Variation of Water Environment Quality and Pollution Source Analysis in Hengshui Lake	LIU Wei-wei, GUO Zi-liang, WANG Da-an, <i>et al.</i>	(1361)
Composition and Distribution Characteristics of Microplastics in Danjiangkou Reservoir and Its Tributaries	PAN Xiong, LIN Li, ZHANG Sheng, <i>et al.</i>	(1372)
Temporal and Spatial Evolution of Storm Runoff and Water Quality Assessment in Jinpen Reservoir	HUANG Cheng, HUANG Ting-lin, LI Yang, <i>et al.</i>	(1380)
Influence of Storm Runoff on the Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter (DOM) in a Drinking Water Reservoir During the Flood Season	LI Cheng-yao, HUANG Ting-lin, WEN Cheng-cheng, <i>et al.</i>	(1391)
Distribution Characteristics of Carbon, Nitrogen, and Phosphorus Bearing Pollutants in the Ancient Town Rivers of Suzhou	BAI Dong-rui, ZHANG Tao, CHEN Tan, <i>et al.</i>	(1403)
Chemical Characteristics and Causes of Groups Water in Niangziguan Spring	TANG Chun-lei, ZHAO Chun-hong, SHEN Hao-yong, <i>et al.</i>	(1416)
Adsorption Behavior of Phosphate by CaO ₂ Remolded Sediment	XU Chu-tian, LI Da-peng, WANG Zi-liang, <i>et al.</i>	(1424)
Nitrogen and Phosphorus Removal in Surface Flow Constructed Wetland Planted with <i>Myriophyllum elatinoide</i> s Treating Swine Wastewater in Subtropical Central China	WANG Li-sha, LI Xi, LI Yu-yuan, <i>et al.</i>	(1433)
Accelerated Degradation of Aqueous Recalcitrant Iodinated Contrasting Media Using a UV/SO ₃ ²⁻ Advanced Reduction Process	LIU Zi-qi, QIU Fu-guo, LAI Man-ting, <i>et al.</i>	(1443)
Degradation of Dye Rhodamine B by Solar Thermally Activated Persulfate	MA Meng, XU Lu, JIN Xin, <i>et al.</i>	(1451)
One-step Preparation of Lanthanum-Magnesium Ferrite and Its Phosphate Adsorption Capacity in Aqueous Solutions	BAI Run-ying, SONG Bo-wen, ZHANG Yu, <i>et al.</i>	(1461)
Pollutant Removal Efficiency of Different Units Along a Mature Landfill Leachate Treatment Process in a Membrane Biological Reactor-Nanofiltration Combined Facility	SHAO Li-ming, DENG Ying-tao, QIU Jun-jie, <i>et al.</i>	(1469)
Biological Conversion Mechanism of Sulfate Reduction Ammonium Oxidation in ANAMMOX Consortia	BI Zhen, DONG Shi-yu, HUANG Yong, <i>et al.</i>	(1477)
Microbial Community Structure of Waste Water Treatment Plants in Different Seasons	HE Yun, LI Kui-xiao, WANG Jia-wei, <i>et al.</i>	(1488)
Organ-Specific Accumulation and Toxicokinetics of Ephedrine in Adult Zebrafish (<i>Danio rerio</i>)	YIN Xing-xing, GUO Chang-sheng, DENG Yang-hui, <i>et al.</i>	(1496)
Characteristics and Evaluation of Soil Rare Earth Element Pollution in the Bayan Obo Mining Region of Inner Mongolia	WANG Zhe, ZHAO Ying-chen, LUO Yi-fei, <i>et al.</i>	(1503)
Factors Affecting the Translocation and Accumulation of Cadmium in a Soil-Crop System in a Typical Karst Area of Guangxi Province, China	MA Hong-hong, PENG Min, GUO Fei, <i>et al.</i>	(1514)
Effects of Superparamagnetic Nanomaterials on Soil Microorganisms and Enzymes in Cadmium-Contaminated Paddy Fields	FANG Dan-dan, ZHANG Li-zhi, WANG Qiang, <i>et al.</i>	(1523)
Effects of Water Management and Silicon Application on Iron Plaque Formation and Uptake of Arsenic and Cadmium by Rice	CHEN Jia, ZHAO Xiu-lan, <i>et al.</i>	(1535)
Biological Effect of Tetracycline Antibiotics on a Soil-Lettuce System and Its Migration Degradation Characteristics	WANG Wei-zhong, CHI Sun-lin, XU Wei-hong, <i>et al.</i>	(1545)
Effect of Plastic Film Mulching on Methane and Nitrous Oxide Emissions from the Ridges and Furrows of a Vegetable Field	XIONG Wei-xia, JIANG Chang-sheng, ZHAO Zhong-jing, <i>et al.</i>	(1559)
Effects of Biochar and Straw on Soil N ₂ O Emission from a Wheat Maize Rotation System	TANG Zhan-ming, LIU Xing-ren, ZHANG Qing-wen, <i>et al.</i>	(1569)
Overview on Habitat Monitoring Methods Under Watershed Ecological Space Management	YIN Kun, LIU Hai-jiang, WANG Guang, <i>et al.</i>	(1581)