

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第12期

Vol.34 No.12

**2013**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

序 ..... 郝郑平(4503)

南京北郊大气 VOCs 体积分数变化特征 ..... 安俊琳,朱彬,李用宇(4504)

天津中心城区环境空气挥发性有机物污染特征分析 ..... 翟增秀,邹克华,李伟芳,王亘,翟友存(4513)

南京市北郊夏季挥发性有机物的源解析 ..... 杨辉,朱彬,高晋徽,李用宇,夏丽(4519)

上海市春季臭氧和二次有机气溶胶生成潜势的估算 ..... 崔虎雄(4529)

四川省典型人为污染源 VOCs 排放清单及其对大气环境的影响 ..... 韩丽,王幸锐,何敏,郭卫广(4535)

武汉市秸秆燃烧 VOCs 排放估算及管理对策 ..... 黄碧捷(4543)

北京市冬季灰霾期 NMHCs 空间分布特征研究 ..... 段菁春,彭艳春,谭吉华,郝吉明,柴发合(4552)

广州市中心城区环境空气中挥发性有机物的污染特征与健康风险评价 ..... 李雷,李红,王学中,张新民,温冲(4558)

天津某家具城挥发性有机物健康风险评估 ..... 张银,王秀艳,高爽(4565)

废旧有机玻璃再生利用行业挥发性有机物(VOCs)排放特征研究 ..... 王浙明,徐志荣,叶红玉,许明珠,王晓星(4571)

农药企业场地空气中挥发性有机物污染特征及健康风险 ..... 谭冰,王铁宇,庞博,朱朝云,王道涵,吕永龙(4577)

电子产品加工制造企业挥发性有机物(VOCs)排放特征 ..... 崔如,马永亮(4585)

汽车涂料生产环节 VOCs 的排放特征及安全评价 ..... 曾培源,李建军,廖东奇,涂翔,许玫英,孙国萍(4592)

载人汽车室内空气 VOCs 污染的指标评价 ..... 陈小开,程赫明,罗会龙(4599)

基于 GC-MS 的烹调油烟 VOCs 的组分研究 ..... 何万清,聂磊,田刚,李靖,邵霞,王敏燕(4605)

VOCs 污染场地挖掘过程的环境健康风险评价 ..... 房增强,甘平,杨乐,戴子瑜,祁世鸿,贾建丽,何绪文(4612)

挥发性有机物污染场地挖掘过程中污染扩散特征 ..... 甘平,杨乐巍,房增强,郭淑倩,于妍,贾建丽(4619)

土壤中苯向大气挥发过程的影响因素和通量特征研究 ..... 杜平,王世杰,赵欢欢,伍斌,韩春媚,房吉敦,李慧颖,细见正明,李发生(4627)

土壤组分对四氯乙烯吸附解吸行为的影响 ..... 胡林,邱兆富,何龙,窦颖,吕树光,隋倩,林匡飞(4635)

自来水常规和深度处理工艺中挥发性有机物的变化规律 ..... 陈锡超,罗茜,陈虎,魏孜,王子健,许科文(4642)

杭州市典型企业废水中挥发性有机物排放特征及其评价 ..... 陈峰,徐建芬,唐访良,张明,阮东德(4649)

维生素 C 工业废水处理系统 VOCs 污染特性 ..... 郭斌,律国黎,任爱玲,杜昭,邢志贤,韩鹏,高博,刘淑娅(4654)

新型生物滴滤填料性能评价 ..... 梅瑜,成卓韦,王家德,活泼(4661)

微量臭氧强化生物滴滤降解甲苯性能研究 ..... 张超,赵梦升,张丽丽,陈建孟(4669)

BF 和 BTf 工艺去除 DCM 性能比较 ..... 潘维龙,於建明,成卓韦,蔡文吉(4675)

改性 13X 沸石蜂窝转轮对甲苯的吸附性能研究 ..... 王家德,郑亮巍,朱润晔,俞云锋(4684)

转轮吸附法处理有机废气的研究 ..... 朱润晔,郑亮巍,毛玉波,王家德(4689)

活性炭吸附有机蒸气性能的研究 ..... 蔡道飞,黄维秋,王丹莉,张琳,杨光(4694)

UV-生物过滤联合降解苯乙烯废气的研究 ..... 沙昊雷,杨国靖,夏静芬(4701)

蜂窝状 ZSM-5 型分子筛对丙酮和丁酮吸附性能研究 ..... 杜娟,栾志强,解强,叶平伟,李凯,王喜芹(4706)

内浮顶油罐“小呼吸”对环境影响过程的分析 ..... 吴宏章,黄维秋,杨光,赵晨露,王英霞,蔡道飞(4712)

基于 Tanks 4.0.9d 模型的石化储罐 VOCs 排放定量方法研究 ..... 李靖,王敏燕,张健,何万清,聂磊,邵霞(4718)

铜铈复合氧化物上石化行业典型 VOCs 的氧化行为与动力学 ..... 陈长伟,于艳科,陈进生,何焜(4724)

KrBr<sup>+</sup> 准分子灯直接光解一甲胺气体 ..... 赵洁,刘玉海,韦连梅,叶招莲,张善端(4734)

异味混合物中组分浓度与其强度贡献关系研究 ..... 颜鲁春,刘杰民,付慧婷,孙媛,林文辉(4743)

挥发性有机污染物排放控制标准制订中的关键技术问题研究 ..... 江梅,张国宁,任春,邹兰,魏玉霞(4747)

挥发性有机污染物排放控制标准体系的建立与完善 ..... 江梅,张国宁,邹兰,魏玉霞,张明慧(4751)

我国 VOCs 的排放特征及控制对策研究 ..... 王铁宇,李奇锋,吕永龙(4756)

固定源废气 VOCs 排放在线监测技术现状与需求研究 ..... 王强,周刚,钟琪,赵金宝,杨凯(4764)

石化行业炼油恶臭污染源治理技术评估 ..... 牟桂芹,隋立华,郭亚逢,马传军,杨文玉,高阳(4771)

植物源挥发性有机化合物排放清单的研究进展 ..... 谢军飞,李延明(4779)

基于动态 CGE 的挥发性有机污染物 VOCs 排放预测和控制研究 ..... 刘昌新,王宇飞,郝郑平,王铮(4787)

《环境科学》第34卷(2013年)总目录 ..... (4792)

《环境科学》征订启事(4717) 《环境科学》征稿简则(4742) 信息(4528, 4626, 4693, 4700)

# 内浮顶油罐“小呼吸”对环境的影响过程的分析

吴宏章, 黄维秋\*, 杨光, 赵晨露, 王英霞, 蔡道飞

(常州大学石油工程学院江苏省油气储运重点实验室, 常州 213016)

**摘要:** 内浮顶油罐结合了外浮顶油罐和拱顶油罐的优点, 具有特定的蒸发损耗特点. 利用自制的内浮顶油罐实验平台, 研究了油罐内气体空间里的油气浓度的分布梯度、分子扩散、热扩散、强迫对流等作用对油品蒸发损耗的影响. 结果表明, 内浮顶油罐的“小呼吸”损耗, 主要是受到温度变化引起的油气分子热扩散作用的影响. 在此基础上, 本研究提出了相关的降低蒸发损耗的措施以及内浮顶油罐蒸发损耗的计算公式.

**关键词:** 油气浓度; 浓度梯度; 温度梯度; 分子扩散; 热扩散

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)12-4712-06

## Analysis of the Distribution of VOCs Concentration Field with Oil Static Breathing Loss in Internal Floating Roof Tank

WU Hong-zhang, HUANG Wei-qiu, YANG Guang, ZHAO Chen-lu, WANG Ying-xia, CAI Dao-fei

(Jiangsu Provincial Key Laboratory of Oil & Gas Storage and Transportation Technology, Changzhou University, Changzhou 213016, China)

**Abstract:** Internal floating roof tank has the advantages of external floating roof tank and fixed roof tank and has its own evaporation loss properties. The influences of volatile organic compounds (VOCs) distribution gradient, molecular diffusion, thermal diffusion and forced convection on the evaporation loss of oil were studied in the space of the homemade platform of an internal floating roof tank. The results showed that thermal diffusion with temperature change was the main cause for the static loss in the internal floating roof tank. On this basis, there were some measures for reduction of the evaporation loss and formulas to calculate the evaporation loss of the internal floating roof tank in this research.

**Key words:** VOCs concentration; concentration gradient; temperature gradient; molecule diffusion; thermal diffusion

油品中的轻组分挥发出来形成油气(VOCs), 而油品中的重组分蒸发量极少<sup>[1]</sup>. VOCs 进入大气, 这不仅造成环境污染, 而且还会降低油品的质量和经济效益<sup>[2]</sup>. VOCs 在地面形成臭氧, 破坏动植物的生存环境, 严重地影响了人的呼吸<sup>[3]</sup>. 汽油因蒸发损耗, 造成启动性较差, 抗爆性下降. 航空汽油的蒸发损失量达到 1.2% 时, 其初馏点就将升高 3℃, 其蒸气压下降 20%, 辛烷值减少 0.5 个单位<sup>[1]</sup>. 当原油蒸发损耗 1% 时, 相对密度约增加 0.002<sup>[4]</sup>. 我国作为世界第二大石油消耗国, 更加迫切地需要降低油品蒸发损耗<sup>[5]</sup>. 黄维秋等<sup>[6~8]</sup>研究了多种情况下的油品蒸发损耗, 提出了油气含量测定可以用油气总烃的标准谱图来换算, 并给出了相关的降耗措施和计算公式<sup>[9,10]</sup>. 油品的蒸发损耗与储存油罐的类型有很大关系<sup>[2]</sup>. 从 80 年代至今, 浮顶油罐广泛地被用来降低油品的蒸发损耗<sup>[11]</sup>. 由于内浮顶油罐兼具拱顶油罐和外浮顶油罐的优点, 因此, 内浮顶油罐广泛地被用来储存轻质成品油和质量要求较为严格油品<sup>[12]</sup>. 近年来对浮顶油罐的研究较少, 而且主要集中在对外浮顶油罐相关的研究, 如刘德俊等<sup>[13]</sup>对

外浮顶罐蒸发损耗的计算方法进行了相关研究, 而对内浮顶油罐的研究非常少. 本研究主要目标是对内浮顶油罐“小呼吸”损耗污染环境过程的分析, 考察主要因素对内浮顶油罐“小呼吸”损耗具体的影响过程, 对计算公式进行修正, 使其更加适合在我国气候条件下内浮顶油罐“小呼吸”损耗的计算.

### 1 内浮顶油罐“小呼吸”损耗的特点

油品在内浮顶油罐储存的过程中, 温度一直是“小呼吸”损耗的主要影响因素, 尤其是在夏天, 影响较为明显<sup>[2]</sup>. 在白天, 气体空间上部的温度高于下部, 下部的温度又高于油面温度, 此时, 油气的热扩散只表现在紧靠管壁的一层很薄的上升气流边层<sup>[14]</sup>. 而影响内浮顶“小呼吸”损耗的另一个主要因素是浮盘的密封效果. 内浮顶油罐的油品蒸发损

收稿日期: 2013-07-01; 修订日期: 2013-07-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(21101017); 江苏省高校自然科学基金研究重大项目(11KJA610002); 江苏省科技支撑计划(社会发展)项目(BE2011651)

作者简介: 吴宏章(1987~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为油品蒸发损耗, E-mail: bwdg2011@163.com

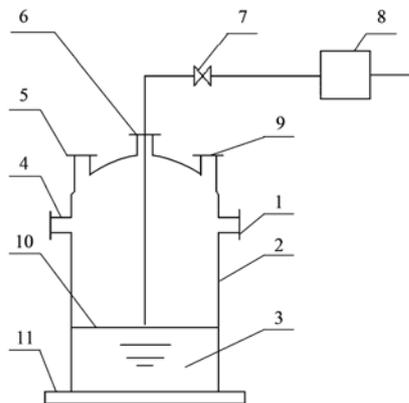
\* 通讯联系人, E-mail: hwq213@cczu.edu.cn

耗主要发生在浮盘与罐壁相接的环形密封圈处<sup>[15]</sup>。随着浮盘使用时间的延长,浮盘密封圈处的密封材料不断地老化损耗,使得密封效果降低,导致大量的油气经过密封圈进入罐内气体空间,进而污染环境,油品质量下降。

## 2 材料与方法

### 2.1 实验装置

本实验采用自制的内浮顶油罐(外边面涂有灰色涂料)放在地磅上面(LP7516E型),用于油品的蒸发损耗实验的中试实验(如图1),油罐置于露天便于与真实的环境相模拟。本实验采用的是液托式单浮顶浮盘,采用软泡沫塑料密封。油罐:Φ1 800 mm×2 000 mm,在油罐顶部中央位置加工成一个测试口,作为对油罐内部气体空间温度场的测试口和罐内的气体取样口。油罐顶部和罐壁,各设有4个通风孔(均匀分布),通过打开不同位置的通风孔,可以研究通风过程对油罐内部气体空间内油气浓度场的影响。采用杆式多路温度计对油罐内气体空间的温度进行监测。从罐顶的中央测试口对油罐内部气体空间的不同高度进行取气,经过气相色谱(日本岛津公司,GC-2010 plus,32 m的毛细管柱,FID检测器)分析,得出罐内气体空间不同高度油气浓度的分布场。



1,4. 罐壁通风孔; 2. 油罐; 3. 油品; 5,9. 罐顶通风孔;  
6. 油气浓度与罐内温度的测量口; 7. 阀门;  
8. 气相色谱分析仪; 10. 浮盘; 11. 地磅

图1 实验装置示意

Fig. 1 Schematic diagram of experimental set-up

### 2.2 研究方法

2012年6月~2012年9月实验在自行搭建的野外平台进行。利用杆式温度计、水银温度计、油罐顶部温度计分别对内浮顶油罐内部温度、测定大气温度、罐顶温度进行测定,利用色谱分析罐内油

气浓度,地磅对损耗量进行称重测量。

2012年11月下旬在九江石化进行,对真实的大型油罐进行实验,测量油罐内不同高度的油气浓度,并在罐区现场对研究成果进行验证。

## 3 结果与分析

### 3.1 油品静储时罐内气体空间的温度场

晴天时由于罐顶和罐壁受到太阳的照射,使得罐顶和罐壁的温度远远高于大气温度,油罐内部气体受到罐壁和罐顶温度的影响,罐内气体的温度也要高于大气温度,距离罐顶越近的罐内气体温度越高(如图2)。从罐顶至浮盘的气体空间中出现了非常明显的温度梯度场。从罐顶至浮盘,罐顶内气体的温度逐渐降低,因此,有阳光时,罐内气体空间的热量是从油罐顶部向底部不断地传递。

由于罐内气体空间的热量不断地经过浮盘向油品传递,同时,罐壁的热量也不断地向油品传递,使得罐内油品的温度也较高,油品分子的平均动能增大,动能较大的油品分子能够克服液体分子之间的引力,导致油品中大量的轻组分从油品表面挥发出来,形成油气。

从图2可以看出,罐内气体温度的变化略滞后于大气温度的变化;并且,大气温度在短时间内小幅度的变化,罐顶温度也跟随变化,但变化幅度比大气的要小,而对油罐内部气体温度的影响却不是很大,越往油罐底部,气体温度随大气温度的变化越不明显。所以,罐内气体温度主要是直接受罐顶温度的影响,而罐顶温度又是受大气温度的影响,所以罐内气体空间的温度是跟着大气温度的变化而变化,但越往罐底变化越不明显,即从罐顶至罐底温度的影响是逐级减弱的。

内浮顶油罐内的气体空间与大气相通,油罐内

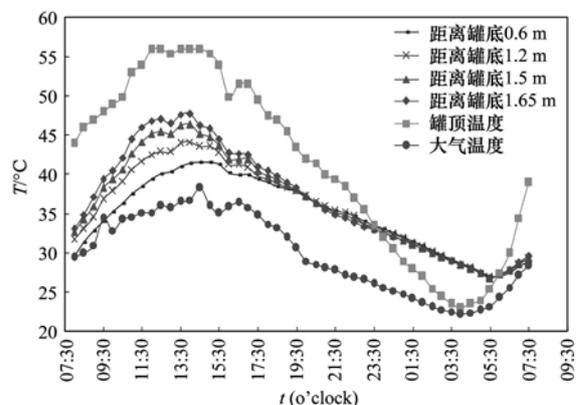


图2 油罐内部的温度分布场

Fig. 2 Temperature distribution field within the tank

部气体空间的压力与大气压力相等,因此油品在内浮顶油罐静储期间,油罐内部的气体与大气之间就不存在强迫对流.但罐内气体温度高于大气温度,罐内的气体向大气进行热扩散.

油罐内部气体空间距离罐顶越近温度越高,即温度梯度越大,油罐顶部气体分子的运动速度较大,气体分子的热扩散量也就越大,即混合气体中的油气分子的热扩散通量也越大;距离罐顶越远则温度越低,即油罐底部气体分子的运动速度较小.

### 3.2 油品静储时罐内气体空间的浓度场

由于油罐顶部的气体与大气之间的热扩散作用和油气的密度比空气的密度大<sup>[9]</sup>,使得油罐顶部的油气浓度要低于底部的油气浓度,所以罐内气体空间的油气浓度分布呈现出浓度梯度.如图3所示:距离罐顶越远,油气浓度越大;距离罐顶越近,油气浓度越小.由于油罐内部气体空间的油气存在着浓度梯度,由费克定律可知,底部油气浓度较高的气体向顶部油气浓度较低的空间扩散.最终,在这三者相互作用之下,油气分子在罐内气体空间中形成一个动态平衡的浓度场.

油罐底部气体中的油气分子不断地向顶部的气体空间扩散,造成底部气体空间的油气浓度降低,回到油品中的油气就减少了,油品中的轻组分与油品表面气体中的油气二相动态平衡被打破,从而油品不断地从液相进入气相,形成油品的蒸发损耗.挥发出来的油气,主要是油品中的轻组分,造成油品不仅在重量上有所损失,而且在品质上也有所降低.

罐内气体中的油气浓度高于大气中的油气浓

度,在晴天油罐内部的气体与大气进行热扩散的同时也进行着分子扩散.热扩散作用的影响远远大于分子扩散<sup>[7]</sup>,因此,主要影响油气扩散速度的是罐内油气分子的热扩散.

内浮顶油罐的油品蒸发是油罐内部气体中的油气与油品之间动态平衡的一个过程,而损耗则是受到一些相关因素的影响.例如,在天气晴朗的时候,白天油罐顶部气体的温度高于油罐底部气体的温度,顶部气体分子向罐外大气做热扩散的同时也向油罐底部进行着热扩散,减慢了底部气体中油气浓度减小的速度,从宏观角度来说,就是抑制了油品的蒸发;但在晚上或者阴雨天,没有阳光照射油罐,油罐顶部气体的温度低于油罐底部气体的温度(如图2),油罐底部的气体分子在向顶部做分子扩散,同时也向顶部做热扩散,因此,加快了底部的油气分子向顶部扩散,所以,油品的蒸发损耗主要是发生在晚上(如表1)或者阴雨天.

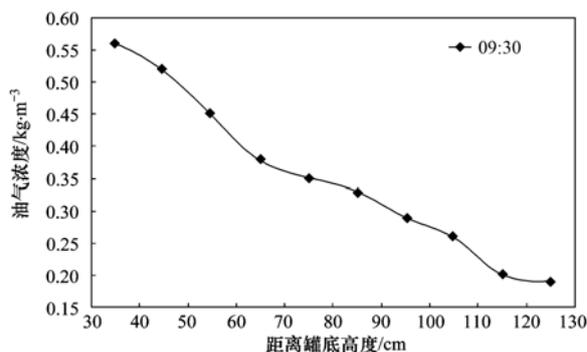


图3 汽油静储过程中罐内油气浓度分布

Fig. 3 VOCs concentration distribution when gasoline is stored in the internal tank

表1 汽油静储一整天油品损耗量/kg

Table 1 Oil loss during gasoline storage in internal tank for a whole day/kg

08:00 时的质量	19:00 时的质量	次日 08:00 时的质量	白天损耗量	夜晚损耗量	总损耗量
1 197.3	1 197.1	1 195.7	0.2	1.4	1.6

### 3.3 罐顶通风与罐壁通风罐内气体空间的浓度场

通风对内浮顶油罐油品蒸发损耗的影响,主要是通过罐顶或者罐壁上开的通风孔对罐内气体中的油气浓度的影响.内浮顶油罐的通风孔主要是对称式分布在罐壁或者罐顶,而各自对油品蒸发损耗的影响又各不相同.图4和图5为油罐密封储存一段时间后,上午09:35,同时打开罐顶通风孔和罐壁通风孔进行的通风实验.从中可以看出,在10:30,罐顶通风时,只有油罐顶部较小空间内的油气浓度有所降低,出现较大的浓度梯度,而底部的浓度场基本不受影响(为此时罐内最大浓度),形成一个浓度相

对较为均匀的浓度层;而罐壁通风时,自通风孔以上罐顶油气浓度都较低,自通风孔以下5 cm左右至浮盘,这一段空间的浓度场基本不受影响(为此时罐内最大浓度),在通风孔附近出现非常大的浓度梯度,通风孔以上5 cm左右至罐顶,这一段空间内形成一个浓度层(为此时罐内最低浓度).

一段时间后(14:00),罐顶通风,浮盘上面浓度层的体积明显减小,由于分子扩散的作用,罐内最大浓度也有所降低,再往上,油气浓度减小速度明显降低,即油气浓度梯度减小;罐壁通风,油气的浓度梯度减小,此时罐内浮盘以上浓度较大的浓度层基本

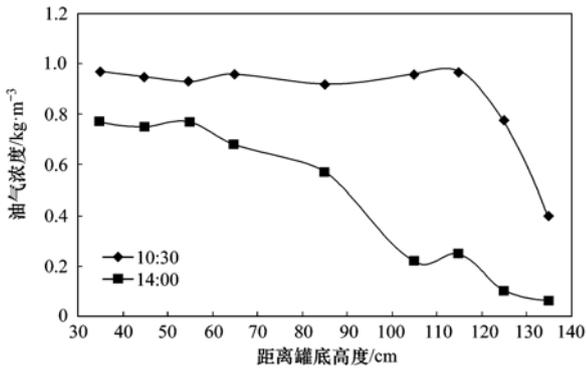


图4 罐顶通风孔通风时罐内中心轴处的油气浓度分布  
Fig. 4 VOCs concentration distribution at the central axis of the tank when the roof was ventilated

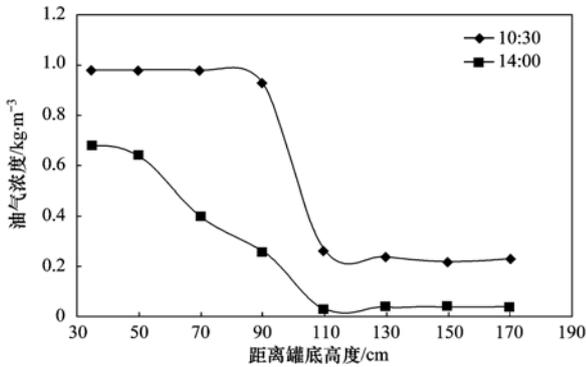


图5 罐壁通风孔通风时罐内中心轴处的油气浓度分布  
Fig. 5 VOCs concentration distribution at the central axis of the tank when the tank wall was ventilated

消失,取而代之的是从浮盘到通风孔以上 5cm 左右,这一段空间纵向距离较大,形成的浓度梯度较小,顶部的低浓度层的体积基本没有变化,只是浓度有所降低. 不管是罐顶通风还是罐壁通风,油罐顶部浓度层的浓度基本相同,都为油罐内气体空间的最低油气浓度.

罐顶通风时,风在垂直方向上的影响很小,从罐顶通风孔进入油罐内部的风就很少,空气就不能在风的作用下强迫进入油罐内部,因此很少发生气体之间的强迫对流. 罐内高浓度的油气得不到很好的稀释,所以,油罐内部的油气进入大气的主要途径还是通过热扩散和油气分子扩散,使得罐内油气浓度降低的速度较小.

罐壁通风时,风直接进入罐内,造成罐内的气体与大气之间的交换是强迫对流起主要作用,而不是热扩散. 此时,空气(不含油气或者油气含量非常低)在风速的作用下,通过通风孔强迫进入油罐内部,使得一部分罐内气体从其他的通风孔进入大气,罐内的气体含有一定量的油气,因此降低了罐内气

体中的油气浓度,加速了底部的油气向顶部扩散;进入罐内的空气有时会向底部流动,破坏了罐内气体空间的浓度场,底部油气浓度较高的气体与顶部油气浓度较低的气体之间进行强迫对流(相当于在罐内气体空间起到一个搅拌的作用),导致从罐内排出的气体带有高浓度的油气,从而增大了油品的蒸发损耗. 九江石化现场采集的数据与实验数据极其吻合(表2). 在罐顶从量油口取出罐内不同位置的气体,经色谱分析得出的气体中油气的浓度.

因此,通风孔设计在罐顶比设计在罐壁,能更好地降低罐内油气的扩散速度,抑制油气从油品表面挥发出来,从而能更好地减少污染,降低损耗.

表2 不同位置的通风孔对油气浓度的影响

Table 2 Effect of the ventilation location on the VOCs concentration

罐号	静处时间 /d	通风孔位置	取样点与罐顶距离/m	油气浓度 /kg·m <sup>-3</sup>
414	1	罐顶	0.5	0.007 4
501	1	罐壁	0.5	0

### 3.4 内浮顶油罐蒸发损耗的计算公式

油品蒸发损耗的计算公式主要是美国的 API 公式,但在实验和调研过程中发现在计算精确程度上存在很大缺陷,本研究根据实验数据和调研结果提出了汽油的计算公式并与实际损耗量进行了相应的比较.

API 旧公式:

$$L_s = \frac{1.166 \times v^{2.2} \times D \times p_y \times \tau}{8\,760\,000 \times \left[1 + \left(1 - \frac{p_y}{101.325}\right)^{0.5}\right]^2} \quad (1)$$

API 新公式:

$$p_y L_s = L_R + L_{WD} + L_F + L_D \quad (2)$$

式中,  $L_s$  为年损耗量,  $t \cdot a^{-1}$ ;  $v$  为年平均风速,  $m \cdot s^{-1}$ ;  $D$  为油罐直径,  $m$ ;  $p_y$  为汽油静储期间的平均饱和蒸气压,  $kPa$ ;  $\tau$  为汽油在罐内静处的时间,  $h$ .

为了更好地适应九江石化公司的损耗计算,在综合实验和九江石化调研的数据基础上,提出了校正的公式如下:

(1) 浮盘为新浮盘时

$$L_s = \left[ (154.7 + 4.45 \times 10^{-4} \times v^{1.5}) \times D + 50\,508.75 \right] \times \frac{0.008\,88 \times P_y}{\left[1 + (1 - 0.008\,88 \times P_y)^{0.5}\right]^2} \times \frac{\tau}{8\,760\,000} \quad (3)$$

(2) 浮盘为旧浮盘时

$$L_s = [(170.2 + 4.45 \times 10^{-4} \times v^2) \times D + 76708.75] \times \frac{0.0109 \times P_y}{[1 + (1 - 0.0109 \times P_y)^{0.5}]^2} \times \frac{\tau}{8760000} \quad (4)$$

在实验和九江石化调研过程中发现风速对内浮顶油罐蒸发损耗量的影响较小,主要是浮盘周边的密封材料的老化程度对内浮顶油罐蒸发损耗量的影响较大(如表3和表4),将风速的指数降低,但浮盘

为旧浮盘时,罐内的油气浓度较大,风速对其影响要大,因此,旧浮盘油罐蒸发损耗的计算公式中风速的指数要比新浮盘油罐蒸发损耗的计算公式中的风速指数要大。

表3 风速对蒸发损耗量的影响

平均风速 /m·s <sup>-1</sup>	起始重量 /kg	24 h后重量 /kg	损耗量 /kg
0.2	1 204.6	1 203.1	1.5
2.3	1 197.3	1 195.7	1.6

表4 浮盘老化程度对蒸发损耗的影响

Table 4 Effect of the aging condition of floating plate on the oil evaporation

罐号	油罐体积 /万 m <sup>3</sup>	静处时间 /d	浮盘使用时间 /a	取气口距罐顶距离 /m	油气浓度 /kg·m <sup>-3</sup>
303	1	1	3.5	2	0.352
302	1	1	1	2	0.0760

浮盘周围的密封材料在油气的多重作用下随着时间而进行不同程度的老化,密封效果就有所改变,在实验和调研过程中发现在2 a内可以用新浮盘计算公式进行计算,2 a以后,可以用旧浮盘计算公式进行计算。经反馈,由公式(3)和(4)计算结果较公式(1)计算结果分别提升65%、66%。

#### 4 降耗措施

(1)采取降温措施降低罐内油气分子的热扩散作用,比如:在罐顶与罐壁采用喷淋、隔热涂料或者隔热层的措施。

(2)尽可能采用液托式浮盘,降低油品与气体接触的面积。

(3)选用较好的密封材料将浮盘与罐壁之间的间隙密封,缩短密封材料的使用时间,或者采用更好的密封方式,降低油品挥发。

(4)尽可能将通风孔设计在油罐顶部,降低油罐内浮气体中的油气浓度梯度,从而减慢油气扩散。

(5)在浮盘的上表面涂上绝热涂料或者隔热层,从而使罐顶向油品传递的热量减少,降低油品的温度,减少油品挥发。

#### 5 结论

(1)油罐内部气体空间的温度主要受到罐顶温度的影响。在白天大气温度较高时,油罐内部油气浓度较高的底部气体空间中的油气主要通过分子扩散进入顶部油气浓度较低的气体空间,油品的蒸发损耗主要是发生在晚上。

(2)通风孔设计在灌顶时,罐内的油气主要是

通过热扩散和分子扩散两个途径与油罐外面的空气进行相互交换,通风孔设计在罐壁时,罐内的油气主要是通过强迫对流途径与油罐外面的空气进行相互交换;通风孔设在罐壁比设在罐顶,对罐内油气浓度减小程度的影响更大。

(3)修订的公式更加符合我国油库内浮顶油罐蒸发损耗的计算。

#### 参考文献:

- [1] 刘军明. 浅论降低油品储运中蒸发损耗的措施[A]. 见: 2004年中国石化炼油节能技术交流会论文集[C]. 北京: 2004年中国石化炼油节能技术交流会, 2004. 234-236.
- [2] Farzaneh-Gord M, Nabati A, Niazmand H. Solar radiation effects on evaporative losses of floating roof storage tanks [J]. International Journal of Oil, Gas and Coal Technology, 2011, 4 (2): 134-135.
- [3] Pasley H, Clark C. Computational fluid dynamics study of flow around floating-roof oil storage tanks [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2000, 86(1): 37-54.
- [4] 张晓东, 陈建平. 浮顶油罐的密封及密封装置[J]. 石油化工设备技术, 2001, 22(2): 11-14.
- [5] 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.
- [6] 黄维秋, 徐效梅, 刘海. 油品蒸发损耗评价软件开发及应用[J]. 油气储运, 2008, 27(4): 14-17.
- [7] 黄维秋, 卢建国, 赵书华. 油气含量测定方法的研究[J]. 油气储运, 2008, 27(11): 31-35.
- [8] 黄维秋, 李峰, 王丹莉, 等. API小呼吸油品蒸发损耗新旧计算式比较与应用[J]. 油气储运, 2011, 30(11): 859-863.
- [9] 周昊, 黄维秋, 饶原刚. 加油站分散式油气回收工艺的研究[J]. 环境工程, 2011, 29(5): 84-87, 91.
- [10] 刘君, 黄维秋, 彭群. 加油站油气扩散与回收效果的数值分

- 析[J]. 环境工程学报, 2009, 3(5): 864-868.
- [11] Gallagher T A. Floating-roof technology advances with lessons learned from an 80-year history [J]. Hydrocarbon Processing, 2003, 82(9): 63-67.
- [12] 郭光臣, 董文兰, 张志愿. 油库设计与管理[M]. 东营: 中国石油大学出版社, 1994: 234-234, 282.
- [13] 刘德俊, 黄金榜, 李志武. 浮顶油罐蒸发损耗计算新方法[J]. 当代化工, 2010, 39(6): 684-685, 692.
- [14] 黄维秋. 油气回收基础理论及其应用[M]. 北京: 中国石化出版社, 2011: 55.
- [15] Sivaraman S. Nomographs estimate floating roof-tank evaporation [J]. Oil and Gas Journal, 1986, 84(4): 114-115.

## 欢迎订阅 2014 年《环境科学》

《环境科学》创刊于 1976 年,由中国科学院主管,中国科学院生态环境研究中心主办,是我国环境科学学科中最早创刊的学术性期刊。

《环境科学》自创刊以来,始终坚持“防治污染,改善生态,促进发展,造福人民”的宗旨,报道我国环境科学领域内具有创新性高水平,有重要意义的基础研究和应用研究成果,以及反映控制污染,清洁生产和生态环境建设等可持续发展的战略思想、理论和实用技术等。

《环境科学》在国内外公开发行,并在国内外科技界有较大影响,被国内外一些重要检索系统收录,如美国医学索引 MEDLINE;美国化学文摘 CA;俄罗斯文摘杂志 AJ;美国生物学文摘预评 BP;美国医学索引 IM;日本科学技术情报中心数据库 JICST;英国动物学记录 ZR;剑桥科学文摘(CSA):Environmental Sciences;剑桥科学文摘(CSA):Pollution Abstracts;剑桥科学文摘(CAS):Life Sciences Abstracts 等;国内的检索系统有中国科技论文统计与引文数据库(CSTPCD);中文科技期刊数据库(维普);中国期刊全文数据库(CNKI);数字化期刊全文数据库(万方);中国科学引文数据库(CSCD);中国生物学文摘等。

全国各地邮局均可订阅,如有漏订的读者可直接与编辑部联系,办理补订手续。

《环境科学》2014 年为 16 开本,90 元/册,全年 12 期。

国内统一刊号:CN11-1895/X 国际标准刊号:ISSN 0250-3301

国外发行代号:M 205 国内邮发代号:2-821

编辑部地址:北京市海淀区双清路 18 号(2871 信箱) 邮编:100085

电话:010-62941102;传真:010-62849343;E-mail:hjcx@rcees.ac.cn;网址:www.hjcx.ac.cn

## CONTENTS

Preface .....	HAO Zheng-ping (4503)
Variation Characteristics of Ambient Volatile Organic Compounds (VOCs) in Nanjing Northern Suburb, China .....	AN Jun-lin, ZHU Bin, LI Yong-yu (4504)
Pollution Characterization of Volatile Organic Compounds in Ambient Air of Tianjin Downtown .....	ZHAI Zeng-xiu, ZOU Ke-hua, LI Wei-fang, <i>et al.</i> (4513)
Source Apportionment of VOCs in the Northern Suburb of Nanjing in Summer .....	YANG Hui, ZHU Bin, GAO Jin-hui, <i>et al.</i> (4519)
Estimation of the Formation Potential of Ozone and Secondary Organic Aerosol in Shanghai in Spring .....	CUI Hu-xiong (4529)
Inventory and Environmental Impact of VOCs Emission from the Typical Anthropogenic Sources in Sichuan Province .....	HAN Li, WANG Xing-rui, HE Min, <i>et al.</i> (4535)
Study on Volatile Organic Compounds Emission of Straw Combustion and Management Countermeasure in Wuhan City .....	HUANG Bi-jie (4543)
Spatial Distribution Characteristics of NMHCs During Winter Haze in Beijing .....	DUAN Jing-chun, PENG Yan-chun, TAN Ji-hua, <i>et al.</i> (4552)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Atmospheric VOCs in the Downtown Area of Guangzhou, China .....	LI Lei, LI Hong, WANG Xue-zhong, <i>et al.</i> (4558)
Health Risk Assessment of VOCs from a Furniture Mall in Tianjin .....	ZHANG Yin, WANG Xiu-yan, GAO Shuang (4565)
Characterization of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission from Recycled Waste Polymethyl Methacrylate (PMMA) Industry .....	WANG Zhe-ming, XU Zhi-rong, YE Hong-yu, <i>et al.</i> (4571)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Atmospheric Volatile Organic Compounds (VOCs) in Pesticide Factory .....	TAN Bing, WANG Tie-yu, PANG Bo, <i>et al.</i> (4577)
Characteristics of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission from Electronic Products Processing and Manufacturing Factory .....	CUI Ru, MA Yong-liang (4585)
Emission Characteristics and Safety Evaluation of Volatile Organic Compounds in Manufacturing Processes of Automotive Coatings .....	ZENG Pei-yuan, LI Jian-jun, LIAO Dong-qi, <i>et al.</i> (4592)
Index Assessment of Airborne VOCs Pollution in Automobile for Transporting Passengers .....	CHEN Xiao-kai, CHENG He-ming, LUO Hui-long (4599)
Study on the Chemical Compositions of VOCs Emitted by Cooking Oils Based on GC-MS .....	HE Wan-qing, NIE Lei, TIAN Gang, <i>et al.</i> (4605)
Health-based Risk Assessment in the Excavating Process of VOCs Contaminated Site .....	FANG Zeng-qiang, GAN Ping, YANG Le, <i>et al.</i> (4612)
Characteristics of Gaseous Pollutants Distribution During Remedial Excavation at a Volatile Organic Compound Contaminated Site .....	GAN Ping, YANG Yue-wei, FANG Zheng-qiang, <i>et al.</i> (4619)
Factors Affecting Benzene Diffusion from Contaminated Soils to the Atmosphere and Flux Characteristics .....	DU Ping, WANG Shi-jie, ZHAO Huan-huan, <i>et al.</i> (4627)
Effects of Soil Compositions on Sorption and Desorption Behavior of Tetrachloroethylene in Soil .....	HU Lin, QIU Zhao-fu, HE Long, <i>et al.</i> (4635)
Occurrence and Distribution of Volatile Organic Compounds in Conventional and Advanced Drinking Water Treatment Processes .....	CHEN Xi-chao, LUO Qian, CHEN Hu, <i>et al.</i> (4642)
Characteristics and Evaluation of Volatile Organic Compounds Discharge in Typical Enterprise Wastewater in Hangzhou City .....	CHEN Feng, XU Jian-fen, TANG Fang-liang, <i>et al.</i> (4649)
Pollution Characteristics of Volatile Organic Compounds from Wastewater Treatment System of Vitamin C Production .....	GUO Bin, LÜ Guo-li, REN Ai-ling, <i>et al.</i> (4654)
Performance Evaluation of Three Novel Biotrickling Packings .....	MEI Yu, CHENG Zhuo-wei, WANG Jia-de, <i>et al.</i> (4661)
Performance of Trace Ozone-augmented Biological Trickling Filter in Toluene Degradation .....	ZHANG Chao, ZHAO Meng-sheng, ZHANG Li-li, <i>et al.</i> (4669)
Removal Characteristics of DCM by Biotrickling Filter and Biofilter .....	PAN Wei-long, YU Jian-ming, CHENG Zhuo-wei, <i>et al.</i> (4675)
Removal of Toluene from Waste Gas by Honeycomb Adsorption Rotor with Modified 13X Molecular Sieves .....	WANG Jia-de, ZHENG Liang-wei, ZHU Run-ye, <i>et al.</i> (4684)
Treatment of Organic Waste Gas by Adsorption Rotor .....	ZHU Run-ye, ZHENG Liang-wei, MAO Yu-bo, <i>et al.</i> (4689)
Study on Adsorption Properties of Organic Vapor on Activated Carbons .....	CAI Dao-fei, HUANG Wei-qiu, WANG Dan-li, <i>et al.</i> (4694)
Degradation of Styrene by Coupling Ultraviolet and Biofiltration .....	SHA Hao-lei, YANG Guo-jing, XIA Jing-fen (4701)
Adsorption Characteristics of Acetone and Butanone onto Honeycomb ZSM-5 Molecular Sieve .....	DU Juan, LUAN Zhi-qiang, XIE Qiang, <i>et al.</i> (4706)
Analysis of the Distribution of VOCs Concentration Field with Oil Static Breathing Loss in Internal Floating Roof Tank .....	WU Hong-zhang, HUANG Wei-qiu, YANG Guang, <i>et al.</i> (4712)
Study on the Quantitative Estimation Method for VOCs Emission from Petrochemical Storage Tanks Based on Tanks 4.0.9d Model .....	LI Jing, WANG Min-yan, ZHANG Jian, <i>et al.</i> (4718)
Oxidation Behavior and Kinetics of Representative VOCs Emitted from Petrochemical Industry over CuCeO <sub>x</sub> Composite Oxides .....	CHEN Chang-wei, YU Yan-ke, CHEN Jin-sheng, <i>et al.</i> (4724)
Direct Photolysis of Methylamine Gas by KrBr* Excilamp .....	ZHAO Jie, LIU Yu-hai, WEI Lian-mei, <i>et al.</i> (4734)
Study on the Relationship Between Odor Intensity and Components Concentrations of Odor Mixture .....	YAN Lu-chun, LIU Jie-min, FU Hui-ting, <i>et al.</i> (4743)
Study on Key Technical Problems in the Development of Volatile Organic Pollutants Emission Standards .....	JIANG Mei, ZHANG Guo-ning, REN Chun, <i>et al.</i> (4747)
Establishment and Improvement of Emission Control Standard System of Volatile Organic Compounds in Industry .....	JIANG Mei, ZHANG Guo-ning, ZOU Lan, <i>et al.</i> (4751)
Characteristics and Countermeasures of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission in China .....	WANG Tie-yu, LI Qi-feng, LÜ Yong-long (4756)
Status and Needs Research for On-Line Monitoring of VOCs Emissions from Stationary Sources .....	WANG Qiang, ZHOU Gang, ZHONG Qi, <i>et al.</i> (4764)
Evaluation of Treatment Technology of Odor Pollution Source in Petrochemical Industry .....	MU Gui-qin, SUI Li-hua, GUO Ya-feng, <i>et al.</i> (4771)
Research Advances on Volatile Organic Compounds Emission Inventory of Plants .....	XIE Jun-fei, LI Yan-ming (4779)
Study of VOCs Emission Prediction and Control Based on Dynamic CGE .....	LIU Chang-xin, WANG Yu-fei, HAO Zheng-ping, <i>et al.</i> (4787)

# 《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军  
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明  
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞  
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

## 环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年12月15日 34卷 第12期(卷终)

## ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 12 Dec. 15, 2013

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science ( HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301  
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行