

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, 宴颖, 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炔废气的研究	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 ⁺ 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)	

基于 Tanks 4.0.9d 模型的石化储罐 VOCs 排放定量方法研究

李靖¹, 王敏燕¹, 张健², 何万清¹, 聂磊¹, 邵霞¹

(1. 北京市环境保护科学研究院, 国家城市环境污染控制工程技术研究中心, 北京 100037; 2. 中国石油化工股份有限公司北京燕山分公司, 北京 102500)

摘要: 石化储罐 VOCs 排放是石化行业重要的 VOCs 排放源之一. 为了掌握石化储罐 VOCs 的排放情况, 研究了基于 Tanks 4.0.9d 模型计算各种类型储罐 VOCs 排放量的方法, 并对卧式固定顶罐、立式固定顶罐、内浮顶罐和外浮顶罐的 VOCs 排放量进行了实例计算. 同时, 探讨了在国内使用 Tanks 4.0.9d 模型时需要考虑的所在地气象数据、储罐密封情况、储存物质的参数选择及参数单位换算问题. Tanks 4.0.9d 模型可以作为一种方便且准确性较高的石化储罐 VOCs 排放定量方法在国内推广使用.

关键词: Tanks 4.0.9d; 模型; 石化储罐; 挥发性有机化合物; 排放; 定量方法

中图分类号: X511 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2013)12-4718-06

Study on the Quantitative Estimation Method for VOCs Emission from Petrochemical Storage Tanks Based on Tanks 4.0.9d Model

LI Jing¹, WANG Min-yan¹, ZHANG Jian², HE Wan-qing¹, NIE Lei¹, SHAO Xia¹

(1. Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing 100037, China; 2. Sinopec Beijing Yanshan Company, Beijing 102500, China)

Abstract: VOCs emission from petrochemical storage tanks is one of the important emission sources in the petrochemical industry. In order to find out the VOCs emission amount of petrochemical storage tanks, Tanks 4.0.9d model is utilized to calculate the VOCs emission from different kinds of storage tanks. VOCs emissions from a horizontal tank, a vertical fixed roof tank, an internal floating roof tank and an external floating roof tank were calculated as an example. The consideration of the site meteorological information, the sealing information, the tank content information and unit conversion by using Tanks 4.0.9d model in China was also discussed. Tanks 4.0.9d model can be used to estimate VOCs emissions from petrochemical storage tanks in China as a simple and highly accurate method.

Key words: Tanks 4.0.9d; model; petrochemical storage tanks; volatile organic compounds (VOCs); emission; quantitative estimation method

挥发性有机化合物(volatile organic compounds, VOCs)是一类常见的大气污染物,作为光化学反应的主要反应物,能与 NO_x 反应生成强氧化性的中间产物,如过氧乙酰硝酸酯(PAN)、O₃ 等,同时 VOCs 也是造成城市和区域光化学烟雾及灰霾等复合型污染的重要前体物^[1~3].

城市大气中的 VOCs 主要来自人为源排放,其中,工业源是 VOCs 的主要人为排放源之一,而石化行业排放又占据绝对重要地位. 石化行业生产过程中的无组织排放日益受到人们关注,主要排放源包括设备泄漏、储罐排放以及废水收集和处理系统等. 研究表明,石化行业 VOCs 排放总量中,设备泄漏和储罐排放约占 76%^[4].

储罐是石化生产中的常见装置,在石油炼制过程中,储存物质主要为不同蒸气压的烃混合物,

如原油或者汽油等;在下游化工生产中,主要为挥发性有机液体,可以是纯物质或者蒸气压相近的有机混合物,如苯系物等. 储罐的排放主要来自工作排放(装卸过程)、呼吸排放(存储排放)、闪蒸、密封系统气体去除过程、储罐清洗等^[5,6]. 其中最为常见的是储罐的工作排放和呼吸排放. 有研究表明,我国石化行业油品储运过程损耗总量为原油加工量的 0.4‰~0.8‰,其中储罐蒸发损耗比例最大^[7]. 美国 2003 年的一份调查报告显示,在特拉华州、新泽西州和南宾夕法尼亚州的 10 个石油公司的 VOCs 排放总量中,储存过程所占比例最大,约占 29%^[8]. 加强对于储罐呼吸排

收稿日期: 2013-06-27; 修订日期: 2013-08-09

基金项目: 北京市环境保护科学研究院科技基金项目

作者简介: 李靖(1980~),女,硕士,副研究员,主要研究方向为大气 VOCs 污染控制, E-mail: jing1431@163.com

放的控制,可较为有效地改善石油化工区无组织排放的现状。因此,准确计算储罐呼吸排放量显得尤为重要,它能够为环境管理部门控制储罐无组织排放提供重要数据支撑。

本研究基于美国 Tanks 4.0.9d 模型,对石化储罐 VOCs 排放的定量方法进行了分析,并探讨了模型的适用性问题供其他使用者参考。

1 美国 Tanks 4.0.9d 模型简介

Tanks4 模型是目前在国际上得到广泛认可的储罐 VOCs 排放定量方法。美国国家环保署 (USEPA) 建议其国内各级管理部门、咨询公司和企业采用该软件估算储罐无组织 VOC 的排放量,体现了该方法的权威性。欧盟和澳大利亚等国家也使用 Tanks4 模型对 VOCs 排放量进行精确计算^[9~11]。目前 USEPA 更新的最新版本为 Tanks 4.0.9d。

Tanks 4.0.9d 模型是用 VB 语言编写的,可在 Win95 及以后的操作系统下运行的一款软件模型,设计开发用来估算有机液体储罐的排放。USEPA 空气质量规划和标准办公室 (OAQPS) 负责开发和维护排放估算工具,以帮助联邦、州、地方环境部门、

咨询公司、工业企业估算各类排放源的大气污染物排放。

Tanks 4.0.9d 模型使用的排放因子和计算方法可在文献[12]中查阅。

Tanks 4.0.9d 模型根据使用者输入的储罐物理特征(外形、结构、涂料完好情况等)、储存的液体成分(化学组分和液体温度)以及储罐的地理位置(相距最近的城市、气温等),计算储罐的 VOCs 排放量。模型得到的计算结果为储罐储存的单一或混合的物质的月排放量估计、年排放量估计或者一年中的某段时期的排放量估计。

2 美国 Tanks 4.0.9d 模型应用方法

2.1 软件安装及运行

从美国国家环保署(U. S. EPA)官方网站下载 Tanks 4.0.9d 模型的安装程序^[13],根据安装驱动提示将 Tanks 4.0.9d 程序安装到计算机中。通过开始菜单/所有程序,选择 Tanks 4.0.9d 运行程序。开始进入时,会有美国石油协会(API)的版权说明,点击 OK 后进入 Tanks 4.0.9d 程序的主菜单,模型运行界面和开始界面如图 1 所示。

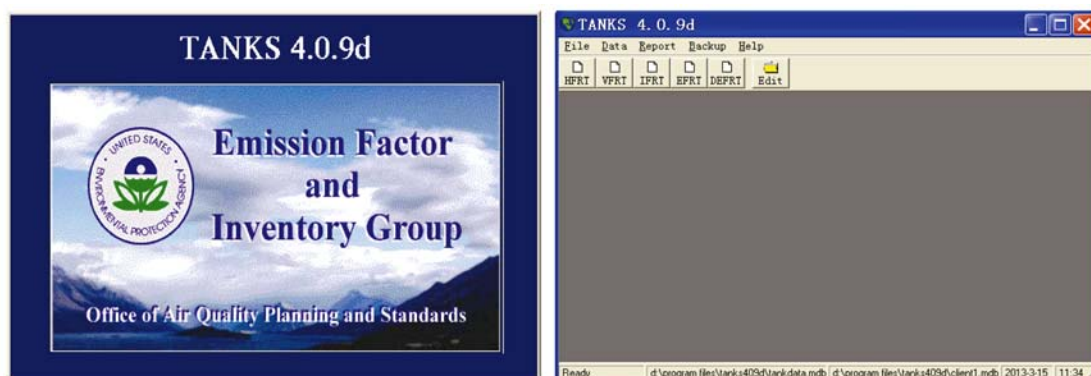


图 1 Tanks 4.0.9d 模型运行界面及主菜单界面

Fig. 1 Running interface and main menu of Tanks 4.0.9d model

2.2 参数输入

Tanks 4.0.9d 模型需要输入储罐和储存液体的各种数据,通过这些数据来计算排放量^[14]。数据输入后储存在每个储罐自己的记录内。需要输入的数据有以下 4 类:①储罐数据(tank information):储罐的编号、结构类型及物理特征。②浮顶组件数据(fitting information):只有浮顶罐有此项,浮盘和浮顶组件有单独的信息输入界面。③地点数据(site information):储罐所在的城市,其气象数据如环境温度、大气压、风速等信息。④储存液体数据(liquid information):储存液体的化学组分和特性以及储存周期。

2.3 计算结果

如图 2 所示,Tanks 4.0.9d 模型输出结果可以按年输出,也可以按月输出,输出结果有简洁、概述和详细这 3 种方式可选。如果按月输出结果,储罐的周转量需要分到每个月份,可以平均分摊到 12 个月,也可以根据实际情况分摊。结果可以输出到 Windows 或打印机,也可以输出到文件,文件格式可以选择 Excel 或 Text 格式。

3 储罐 VOCs 排放定量计算实例

3.1 参数输入值

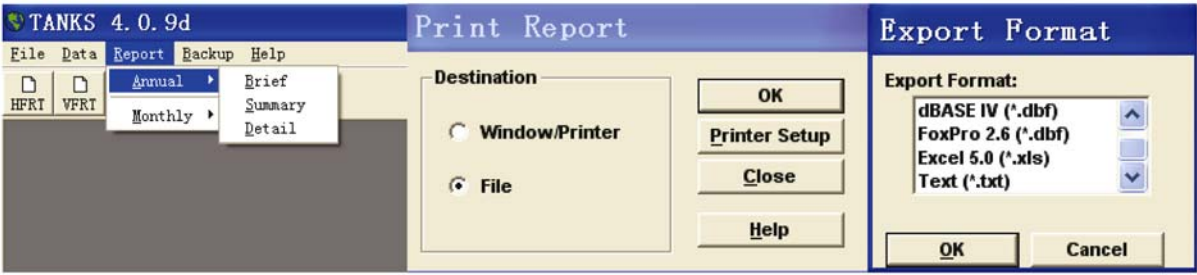


图 2 Tanks 4.0.9d 模型结果输出界面示意

Fig. 2 Screen display of report menu of Tanks 4.0.9d model

类型真实储罐的呼吸排放量进行计算. 本研究中的部分参数由经验获得,可能存在一定误差. 所在地气象数据已总结整理后输入模型. 卧式固定顶罐、立式固定顶罐、内浮顶罐和外浮顶罐(圆形外浮顶罐类似)的参数输入值见表 1~4.

3.2 计算结果

根据以上参数,Tanks 4.0.9d 模型计算的 4 种类型储罐排放量结果见表 5.

表 1 卧式固定顶罐计算输入参数

Table 1 Input parameters of a horizontal tank

储罐类型	卧式固定顶罐
长度/m	21.7
直径/m	3.2
工作容积/m ³	200
年周转次数/次	20
是否加热	否
是否地埋	否
外壳颜色	浅灰
外壳状况	好
呼吸阀真空设置/Pa	0
呼吸阀压力设置/Pa	0
储存物质	正己烷

表 2 立式固定顶罐计算输入参数

Table 2 Input parameters of a vertical fixed roof tank

储罐类型	立式固定顶罐
高度/m	13.6
直径/m	22.6
最大液面高度/m	12.5
平均液面高度/m	8
工作容积/m ³	5 000
年周转次数/次	52
是否加热	是
罐顶颜色	浅灰
罐顶状况	好
罐顶类型	圆顶型
罐顶半径-高度/m	37.1-0.5
外壳颜色	深灰
外壳状况	好
呼吸阀真空设置/Pa	0
呼吸阀压力设置/Pa	0
储存物质	柴油

模型输出结果中,对固定顶罐来说,排放量包括工作排放(W_LOSS/work loss)和自然蒸发排放(S_LOSS/standing loss);对浮顶罐来说,排放量包括密封边缘排放(RIM_LOSS/rim-seal loss)、浮盘下降排放(WD_LOSS/withdrawal loss)、浮盘组件排放(DECKF_LOSS/deck fitting loss)以及浮盘密封排放(DECKS_LOSS/deck seam loss).

表 3 内浮顶罐计算输入参数

Table 3 Input parameters of an internal floating roof tank

储罐类型	内浮顶罐
直径/m	12.1
储罐容积/m ³	3 000
年周转次数/次	110
是否自支撑浮顶	否
立柱数量	2
立柱有效直径	0.15
内壁状况	轻锈
储存物质	汽油
外壳颜色	浅灰
外壳状况	好
浮顶颜色	浅灰
浮顶状况	好
一级密封	弹性材料气体密封
二级密封	无
浮盘安装类型	深灰
浮盘结构	好

表 4 外浮顶罐计算输入参数

Table 4 Input parameters of an external floating roof tank

储罐类型	外浮顶罐
直径/m	81
储罐容积/m ³	100 000
年周转次数/次	200
内壁状况	轻锈
外壳颜色	浅灰
外壳状况	好
浮顶类型	浮仓
安装结构	焊接
一级密封	弹性材料气体密封
二级密封	无
储存物质	原油

表 5 模型计算结果/ $t \cdot a^{-1}$

Table 5 Report of Tanks 4.0.9d model/ $t \cdot a^{-1}$

储罐类型	W_LOSS	S_LOSS	RIM_LOSS	WD_LOSS	DECKF_LOSS	DECKS_LOSS	合计
卧式固定顶罐	1.69	2.0	0	0	0	0	3.69
立式固定顶罐	0	0.22	0	0	0	0	0.22
内浮顶罐	0	0	0.7	0.19	0.76	0	1.65
外浮顶罐	0	0	0.47	8.63	0.22	0	9.32

4 模型应用的适用性问题

4.1 所在地气象数据

气象数据在 Tanks 4.0.9d 模型中是一个比较关键的参数,直接影响 VOCs 排放量计算结果. 模型中默认的气象数据库是美国各大州的大城市的气象数据,因此,如果想用 Tanks 4.0.9d 模型计算我国石化储罐的 VOCs 排放量,一定要将储罐所在(或附近)城市的气象数据收集并按模型要求格式整理好,添加进气象数据库中,否则,可能会造成计算结果与实际排放差异较大.

4.2 储罐密封情况

储罐密封参数在 Tanks 4.0.9d 模型中也是个很关键的参数,它的选择对最后的计算结果影响较大(例如,对某个储罐选择只配有一次密封,或者是同时配有一次密封和二次密封,排放量计算结果最高可达到数量级差别). 但是模型中对储罐的密封情况描述和国内石化行业储罐密封专业术语不一致,所以即使对企业进行调查,也会因为国内外密封情况专业术语的差别,而得不到正确的密封参数. Tanks 4.0.9d 模型的使用手册中,有一些这方面的介绍,并配有各种密封形式的图解,对模型在国内的应用很有帮助^[12].

一级密封分为机械靴式、液体充填密封、气体充填密封这 3 种形式,分别如图 3~5 所示.

二级密封分为边缘靴板和边缘刮板,可以与上面 4 种一级密封进行组合搭配,分别如图 6~9

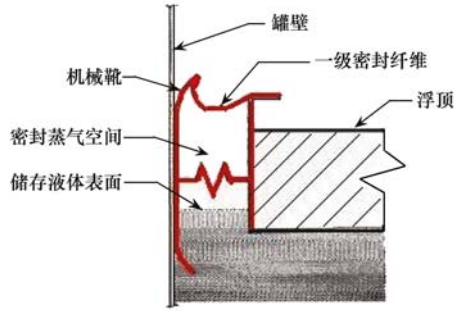


图 3 机械靴式一级密封

Fig. 3 Mechanical shoe-type primary seal

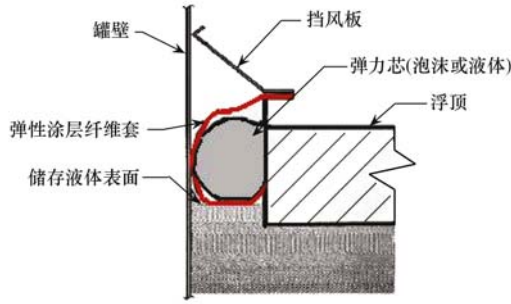


图 4 液体充填一级密封

Fig. 4 Liquid-mounted primary seal

所示.

在对石化企业储罐进行调查的时候,可以以这些密封形式为参考,能够较为准确地掌握储罐的密封情况,选择密封参数.

4.3 储存物质

Tanks 4.0.9d 模型根据美国的经验,在储存物质库中提供了共 177 种物质可供选择,其中原油

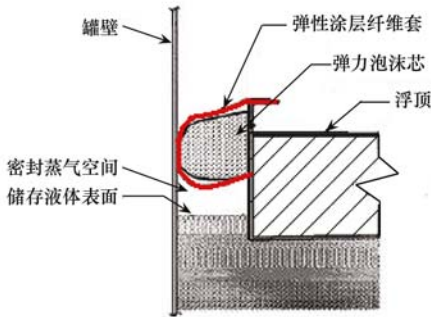
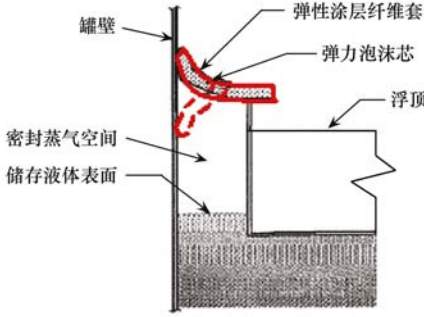


图 5 气体充填密封

Fig. 5 Vapor-mounted primary seals



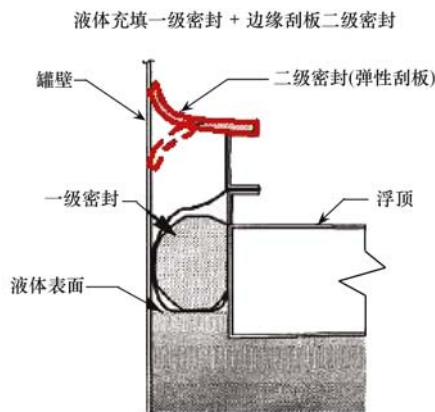


图6 边缘刮板二级密封与液体充填一级密封

Fig. 6 Rim-mounted secondary seal over resilient-filled primary seal

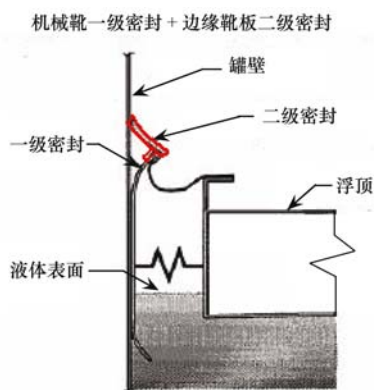


图7 边缘靴板二级密封与机械靴一级密封

Fig. 7 Shoe-mounted secondary seal over mechanical shoe primary seal

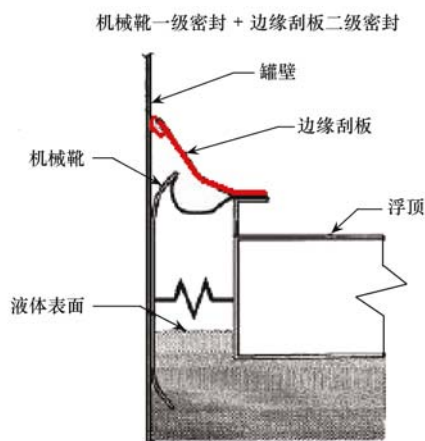


图8 边缘刮板二级密封与机械靴一级密封

Fig. 8 Rim-mounted secondary seal over mechanical shoe primary seal

1 种,石油馏分 17 种,有机化学物质 159 种. 国内可能储罐中储存的物质并不在该数据库中,模型也提供编辑数据库功能,可以加入新的化学物质,不过需

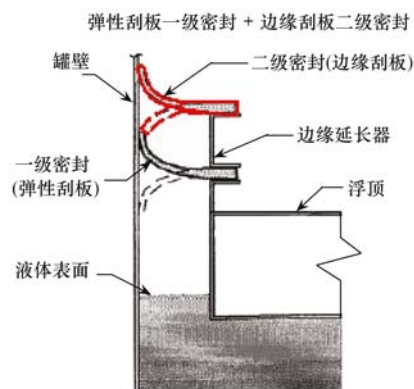


图9 边缘刮板二级密封与气体充填一级密封

Fig. 9 Rim-mounted secondary seal over flexible-wiper primary seal

要输入新加入化学物质的各种化学性质参数,包括:液体摩尔分子量、黏度、蒸气分子量、至少一个温度下的蒸气压数据或安托尼方程的参数、雷氏蒸气压(石油馏分)。

4.4 单位换算

Tanks 4.0.9d 模型中各个参数的单位均是英制单位,如英尺、加仑等,模型计算输出的结果也是英制重量单位磅,而我国则统一使用公制单位,米、立方米、吨等,在使用的时候要注意这些参数的单位换算。

5 结论

(1) Tanks 4.0.9d 是美国国家环保署开发的一款被广泛用于计算储罐 VOCs 排放量的模型,使用者按要求输入储罐的各种参数信息,就可以得到所有储罐的 VOCs 排放量。

(2) 本研究基于该模型对国内某石化企业的 4 种储罐 VOCs 排放量进行了实例计算. 通过实例应用,说明 Tanks 4.0.9d 模型完全可以在国内推广应用,计算石化储罐的 VOCs 排放量。

(3) 在国内使用 Tanks 4.0.9d 模型时,应该考虑模型的适用性. 根据实际情况添加国内的相关参数(如气象数据及储存物质),可以提高模型结果的准确性。

参考文献:

- [1] 唐孝炎,张远航,邵敏. 大气环境化学[M]. 北京:高等教育出版社,2006. 221-231.
- [2] 傅家谟. 二次气溶胶对灰霾贡献大[J]. 环境,2008,(7): 28-29.
- [3] 鲁君,李莉,林立,等. 挥发性有机化合物气体泄漏检测与修复技术[J]. 化工环保,2011,31(4): 323-326.
- [4] Yen C H, Horng J J. Volatile organic compounds (VOCs) emission characteristics and control strategies for a petrochemical

- industrial area in middle Taiwan[J]. Journal of Environmental Science and Health, Part A, Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering, 2009, **44**(13): 1424-1429.
- [5] 陆立群, 伏晴艳, 张明旭. 石化企业储罐无组织排放现状及定量方法比较[J]. 化工之友, 2006, (11): 62-64.
- [6] 林立, 鲁君, 何校初, 等. 中美储罐呼吸排放量计算方法对比[J]. 化工环保, 2012, **32**(2): 137-140.
- [7] 袁小斌. 浅谈油品储运过程中的主要环保问题与对策[J]. 石油化工环境保护, 2000, (1): 48-53.
- [8] Sabo E. Evaluating Petroleum Industry VOC Emissions in Delaware, New Jersey and Southeastern Pennsylvania, Final Report[R]. Baltimore, Maryland: MACTEC Federal Programs, Inc., 2003, 1-6.
- [9] 王鹏. 石化企业挥发性有机物排放源及排放量估算探讨[J]. 石油化工安全环保技术, 2013, **29**(1): 59-62.
- [10] 陆立群. 新建石化企业储罐无组织排放定量方法初探[J]. 广东化工, 2012, **37**(9): 215-216.
- [11] 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.
- [12] U. S. EPA Emissions, Monitoring, and Analysis Division Office of Air Quality Planning and Standards. AP 42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources[EB/OL]. <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch07/index.html>, 2009-12-14.
- [13] U. S. EPA Emissions, Monitoring, and Analysis Division Office of Air Quality Planning and Standards. Emission Estimation Tools-Software [EB/OL]. <http://www.epa.gov/ttn/chief/software/tanks/index.html>, 2006-10-05.
- [14] U. S. EPA Emissions, Monitoring, and Analysis Division Office of Air Quality Planning and Standards. User's guide to tanks-storage tank emissions calculation software version 4.0 [EB/OL]. <http://www.epa.gov/ttn/chief/software/tanks/index.html>, 1999-09-30.

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 _x 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