

原油储罐温室气体平均排放因子研究

孙东¹ 郑炜博¹ 周广响² 林日亿² 苗明强² 韩超杰² 王新伟²

摘要：原油储罐是油气上游生产环节中不可忽略的温室气体逸散排放源。为探究原油储罐温室气体排放情况，根据胜利油田86座储罐排出气体成分和流量的实地监测结果，利用统计学方法对监测数据进行处理，获得储罐温室气体平均排放因子。其中，一次沉降罐的平均排放因子为0.121 5 kg/t，95%的置信区间为0~0.384 6 kg/t；二、三次沉降罐的平均排放因子为0.027 4 kg/t，95%的置信区间为0~0.097 2 kg/t；净化罐的平均排放因子为0.016 4 kg/t，95%的置信区间为0~0.073 0 kg/t。一次沉降罐温室气体排放量远大于二、三次沉降罐和净化罐的排放量，是储罐温室气体排放的主要来源。

关键词：原油储罐；温室气体；排放因子；实地监测

Doi:10.3969/j.issn.1006-6896.2016.11.007

Greenhouse Gas Average Emission Factor for Crude Oil Storage Tanks

Sun Dong, Zheng Weibo, Zhou Guangxiang, Lin Riyi, Miao Mingqiang, Han Chao-jie, Wang Xinwei

Abstract: Crude oil storage tank is an important greenhouse gas (GHG) fugitive emission source in the upstream oil and gas production process. In order to understand the GHG emission of crude oil tanks, the chemical composition and flow rate of gas that emitted from 86 tanks were monitored. The average GHG emission factors for primary condensate tanks, second condensate tanks and oil tanks were 0.121 5 kg/t, 0.027 4 kg/t and 0.016 4 kg/t, respectively. Where the 95% confidence intervals of the means were 0~0.384 6 kg/t, 0~0.097 2 kg/t and 0~0.073 0 kg/t, respectively. Primary condensate tanks are the biggest GHG source in the all types of tank.

Key words: crude oil tank; greenhouse gas; emission factors; field monitoring

石油石化行业是我国能源消耗和温室气体排放的主要行业之一，其进行节能减排行动对我国实现碳排放目标具有重要意义。油田企业实行温室气体减排首先应对温室气体排放进行量化，即碳核算。碳核算能够帮助企业了解温室气体排放状况，为制定减排策略以及实施绿色低碳项目提供坚实的数据支撑。

在油气上游生产环节中，原油储罐是主要的温室气体逸散排放源，其排放量约占总逸散排放量的40%^[1-2]。储罐挥发出的气体中含有大量的甲烷(CH₄)，甲烷是一种高效燃料，同时也是一种主要的温室气体，以单位分子数而言，甲烷的温室效应比二氧化碳(CO₂)的温室效应大21倍^[3]。大量的甲烷逸散到环境中，造成温室效应的同时也浪费了大量的能源。

为了解原油储罐温室气体排放状况，对胜利油田86座储罐排出气体成分和流量进行实地监测，利用统计学方法对数据进行处理，得到储罐温室气体排放因子。目前，国内尚未有基于实测值获取储罐温室气体排放因子的实例，该研究可为油田进行节能减排以及碳排放量的核算提供依据。

1 储罐温室气体排放形式

储罐温室气体排放是一种无组织的逸散排放，由于影响因素较多，规律性不强，核算较为困难。原油储罐气体的排放可大致分3种形式：闪蒸排放(Flashing loss)、大呼吸排放(Working loss)和小呼吸排放(Breathing loss)^[4-5]。

1.1 闪蒸排放

闪蒸排放是指当原油从分离器进入到储罐时，

¹中国石化胜利油田技术检测中心能源站 ²中国石油大学(华东)储运与建筑工程学院

由于压力突然降低,高压下溶解在原油里的天然气逸出的过程。闪蒸排放量与油气比、分离器温度和分离器压力等因素相关。

1.2 大呼吸排放

大呼吸排放是指储罐收发油过程中油液面改变所导致的排放。储罐收油时,油液面升高,罐内气相压力增大,当超出呼吸阀设定压力时,气体便从呼吸阀逸出;储罐发油时,油液面降低,罐内气相压力减小,当压力小于呼吸阀设定压力时,储罐吸入空气,吸入的新鲜空气促使油品蒸发,使气相压力再次上升呼出气体。

1.3 小呼吸排放

小呼吸排放是指储罐在静止储存状态下,随着外界气温、压力的变化所导致的排放。影响小呼吸排放的因素主要有原油性质、气象条件和储罐容积等。

在储罐的实际运行过程中,闪蒸排放、大呼吸和小呼吸排放这3种形式通常是同时发生并相互影响的。由于影响因素复杂,在碳核算过程中现有计算公式所需参数较多,为此本文采用实地监测方法,基于实测数据获取储罐温室气体排放因子。

2 测试方法与过程

2.1 样本选取

测试样本主要在中石化胜利油田下属联合站进行选取。根据原油性质、储罐日转油量、处理工艺等参数,共选取了86座典型储罐进行测试,其中一次沉降罐31座,二、三次沉降罐26座,净化油罐29座。储罐样本的基本情况见表1。

表1 储罐样本基本情况

站点	最大值	最小值	平均值
原油 API 重度	45.05	16.70	27.35
转油量/(t·d ⁻¹)	9 573.43	199.24	1 454.56
储罐容积/m ³	5 000	1 000	2 540.00

2.2 测试方法

图1为原油储罐温室气体排放测试及采样试验流程图。原油储罐的罐顶一般对称分布2个呼吸阀,气体主要由这2个呼吸阀逸出。在测试时首先密封其中1个呼吸阀,在另1个呼吸阀上安装气体采集装置,使呼出的气体全部经由流量计流出。由于呼出气体中含有大量甲烷及其他可燃气体,出于安全考虑,流量计选用高精度的机械式玻璃转子流量计。流量计示数稳定后,开始读数,每隔10 min记录1组数据,每座储罐记录5组数据。气体流量测试(测试所需主要仪器见表2)结束后,采用气

袋取样,在实验室利用气相色谱仪对气样进行成分分析。

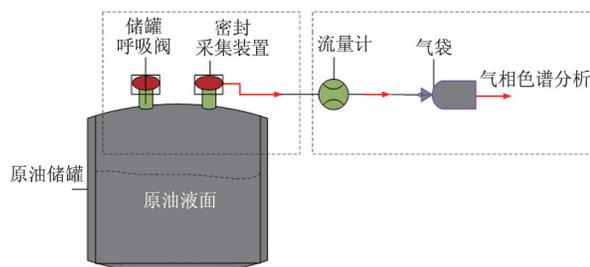


图1 原油储罐温室气体排放测试及采样试验流程图

表2 测试所需的主要仪器

仪器仪表名称	型号及准确度要求
气体采样器	KB-6A
气相色谱仪	美国瓦里安公司 GC3800FID/TCD
秒表	0.1 s
流量计	LZ系列玻璃转子流量计

3 数据处理及分析

3.1 呼出气体流量

储罐日呼出气体流量统计结果如表3所示。一次沉降罐平均每天呼出气体607.35 m³,二、三次沉降罐平均每天呼出气体374.78 m³,净化罐平均每天呼出气体335.75 m³。

一次沉降罐与分离器通常存在较大的压差,在一次沉降罐内会发生闪蒸现象,所以呼出的气量比二、三次沉降罐和净化罐呼出的气量多。二、三次沉降罐和净化罐发生的多为大、小呼吸排放,其呼出气体量相差不大。

表3 储罐呼出气体流量数据统计结果

统计项目	呼出气体流量/(m ³ ·d ⁻¹)		
	一次沉降罐	二、三次沉降罐	净化罐
算术平均值	607.35	374.78	335.75
标准差	837.67	300.54	386.91
最小值	150.71	51.71	46.08
最大值	3 565.10	1 001.62	1 445.20
中位数	399.30	282.22	178.76

3.2 呼出气体成分

采用气相色谱仪对储罐呼出气体进行成分分析。以胜利油田某联合站一次沉降罐呼出气体组分(表4)为例,其呼出气体中甲烷体积分数最高,为63.9%;二氧化碳体积分数为7.2%。由于单位分子数甲烷的温室效应是二氧化碳的21倍,且在呼出的气体中二氧化碳平均含量较少,因此在计算储罐温室气体排放因子过程中,忽略了二氧化碳的含量。

在86座储罐中,一次沉降罐呼出气体中甲烷

的平均体积分数为 29.16%，二、三次沉降罐呼出气体甲烷的平均体积分数为 12.15%，净化罐呼出气体中甲烷的平均体积分数为 7.35%（表 5）。

表 4 某联合站一次沉降罐呼出气体成分

气体组分	体积分数/%
CO ₂	7.2
CH ₄	63.9
C ₂ H ₆	10.6
C ₃ H ₈	10.5
C ₄ H ₁₀	2.6
n-C ₄ H ₁₀	4.8
C ₅ H ₁₂	0.4

表 5 储罐呼出气体甲烷体积分数统计结果 %

统计项目	一次沉降罐	二、三次沉降罐	净化罐
算术平均值	29.16	12.15	7.35
标准差	24.08	15.29	7.89
最小值	71.08	68.09	27.45
最大值	0.30	0.10	0.00
中位数	28.92	9.95	4.65

3.3 平均排放因子

将储罐监测数据代入式（1）和式（2）可得各类储罐甲烷气体平均排放因子（表 6）。

$$E_{CH_4} = \frac{Q_q \cdot X_{CH_4} \cdot M_{CH_4}}{V_M} \quad (1)$$

$$E_{CH_4} = Q \cdot EF_{CH_4} \quad (2)$$

式中： E_{CH_4} 为甲烷排放量，kg； Q_q 为储罐呼出气量，m³/d； X_{CH_4} 为呼出气体甲烷的体积分数，%； M_{CH_4} 为甲烷相对分子质量； V_M 为气体摩尔体积，22.4 L/mol； Q 为储罐转油量，t/d； EF_{CH_4} 为排放因子，kg/t。

表 6 储罐甲烷平均排放因子

统计项目	排放因子/(kg·t ⁻¹)		
	一次沉降罐	二、三次沉降罐	净化罐
算术平均值	0.121 5	0.027 4	0.016 4
标准差	0.159 9	0.035 6	0.028 9
95%置信区间	0~0.384 6	0~0.097 2	0~0.073 0
最小值	0.001 0	0.000 2	0.000 1
最大值	0.618 4	0.110 7	0.111 6
中位数	0.054 6	0.010 0	0.004 8

一次沉降罐的平均排放因子为 0.121 5 kg/t，95%的置信区间为 0~0.384 6 kg/t；二次沉降罐的平均排放因子为 0.027 4 kg/t，95%的置信区间为 0~0.097 2 kg/t；净化罐的平均排放因子为 0.016 4 kg/t，95%的置信区间为 0~0.073 0 kg/t。可见，一次沉降罐是储罐温室气体排放的主要来源。对于胜利油田

范围内的储罐，在缺少具体装置的工艺参数情况下，可以利用平均排放因子对储罐的甲烷排放量进行估算。

4 结论

对胜利油田某联合站储罐呼出气体进行实地监测，一次沉降罐呼出气体中甲烷的体积分数平均为 29.16%，二、三次沉降罐呼出气体中甲烷的体积分数平均为 12.15%，净化罐呼出气体中甲烷的体积分数平均为 7.35%。在碳核算过程中，各类储罐呼出的温室气体不可忽略。

一次沉降罐的甲烷平均排放因子为 0.121 5 kg/t，二次沉降罐的甲烷平均排放因子为 0.027 4 kg/t，净化罐的甲烷平均排放因子为 0.016 4 kg/t。一次沉降罐甲烷气体的平均排放因子最高，这是由于一次沉降罐与上一级处理装置分离器之间存在压力差，原油进入一次沉降罐时会发生闪蒸反应，高压情况下溶解在原油中的气体逸散出来，从而大大增加了气体的排放量。

参考文献

- [1] 崔翔宇, 邓皓, 刘光全, 等. 油气田温室气体排放测试与评估方法[J]. 天然气工业, 2011, 31 (04): 117-120.
- [2] 贾志慧. 石油储运过程罐区风险分析与储罐油气蒸发损耗估算研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 2014.
- [3] 曹杰山. 地球温室效应气体甲烷的测定[J]. 污染防治技术, 1992 (2): 31-35.
- [4] HUANG W, BAI J, ZHAO S, 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.
- [5] TAMADDONI M, SOTUDEH-GHAREBAGH R, NARIO S, et al. Experimental study of the VOC emitted from crude oil tankers[J]. Process Safety and Environmental Protection, 2014, 92 (6): 929-937.

作者简介

孙东：高级工程师，博士，2009年毕业于上海交通大学精密仪器及机械专业，主要从事碳盘查和油田节能检测技术研究，13964293848，sundong.slyt@sinopec.com，山东省东营市济南路2号胜利油田技术检测中心能源站，257000。

收稿日期 2016-01-25

(栏目编辑 杨军)