

文章编号: 1005 - 8893 (2007) 02 - 0030 - 05

汽油装罐蒸发损耗的研究^{*}

黄维秋¹, 刘 海¹, 钟 璟¹, 陶明飞², 王家骏²

(1. 江苏工业学院 江苏省油气储运技术重点实验室, 江苏 常州 213016)

摘要: 建立汽油装罐蒸发损耗测试平台, 测定装油口高度、装油速度 u 对油罐气体空间油气浓度、罐口排气量的影响, 并计算出油罐装油排放气液比及损耗率。实验结果表明, 当 u 从 0.512 mm/s 到 0.75 mm/s, 高装油口装油时采样点 T_1 油气浓度 C_{T1} 从 0.34 g/L 到 1.5 g/L, 之后逐渐平缓; 低装油口装油时, u 对 C_{T1} 影响不大, 约为 0.1 g/L。当 u 从 0.557 mm/s 到 1.114 mm/s 时, 高装油口装油时 为 1.53 ~ 1.80, 低装油口装油时 为 1.13 ~ 1.30。当 u 从 0.371 mm/s 到 1.114 mm/s 时, 高装油口装油时 为 0.51‰~3.51‰, 低装油口装油时 为 0.27‰~0.31‰。对于未清洗油罐, 如当罐内初始油气浓度为 0.3 g/L 时, 高装油口装油时 为 0.73‰~3.80‰, 低装油口装油时 为 0.40‰~0.47‰。实验结果可供生产实践作参考。

关键词: 汽油; 储运; 蒸发损耗; 气液比

中图分类号: TE 85; X 74 **文献标识码:** A

Study of Evaporation Loss in Loading Gasoline into Tank

HUANG Wei - qiu¹, LIU Hai¹, ZHONG Jing¹, TAO Ming - fei², WANG Jia - jun²

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

Abstract: An experimental system of evaporation loss in loading gasoline into a tank was built up to investigate gasoline vapor concentration of gas space inside the tank and the volumetric displacement of the vapor - air mixture from the tank affected by the location of gasoline exit inside the tank and the loading speed u , and the volumetric ratio of the displacement mixture gas to the loaded gasoline and the qualitative ratio of the gasoline evaporation loss to the gasoline were calculated. The test result showed that with u from 0.512 mm/s to 0.75 mm/s, the vapor concentration C_{T1} from the sampling T_1 rises from 0.34 g/L to 1.5 g/L and then slightly for high exit, but C_{T1} 0.1 g/L for low exit; and that with u from 0.557 mm/s to 1.114 mm/s, is in 1.53 - 1.80 and 1.13 - 1.30 for high/low exit respectively; and that with u from 0.371 mm/s to 1.114 mm/s, is in 0.51‰- 3.51‰ and 0.27‰- 0.31‰ for high/low exit respectively, but the rises to 0.73‰- 3.80‰ and 0.40‰- 0.47‰ respectively in gasoline loaded into the "uncleaned" tank with initial vapor concentration 0.3 g/L in the tank gas space. The result can provide base references and guides for the enterprise manager.

Key words: gasoline; storage and transportation; evaporation loss; gas - liquid ratio

我国成品油大部分通过铁路、水路、公路运输 配送。由于铁路罐车、汽车罐车、油船基本上为敞

* 收稿日期: 2006 - 11 - 16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (20406007); 江苏省“六大人才高峰”资助项目 (06 - A - 042)

作者简介: 黄维秋 (1965 -), 男, 福建仙游人, 教授, 博士; 2 - 本院油气储运工程专业 2006 年毕业生。

口式装油, 有些企业还存在高位喷淋装油, 故存在着严重的油品损耗及油气污染, 给企业带来了一系列危害性。国内外对汽油等轻质油蒸发损耗的认识和研究, 做了不少工作^[1-6], 但在具体的实测与定量分析方面, 尤其是装油速度、装油口高度、油气初始浓度对蒸发损耗的影响等方面, 仍需进行系统实验研究。江苏工业学院油气储运技术省重点实验室在中央与地方共建高校专项资金的资助下, 建立了油品蒸发损耗及油气回收测试平台, 并进行了汽油装罐蒸发损耗的实验研究, 获得了一些基础数据, 可供有关人员参考。

1 实验装置与方法

汽油装罐蒸发损耗测试系统如图 1 所示。汽油从储罐用泵从工作油罐上部装入, 工作罐排放的气体由气体流量计计量。该工作罐直径为 600 mm, 壁高为 895 mm, 总高为 1 200 mm, 并在其内布置 3 个不同位置的进油口及 5 个不同位置的油气采样点 (T1 ~ T5), 如图 2。

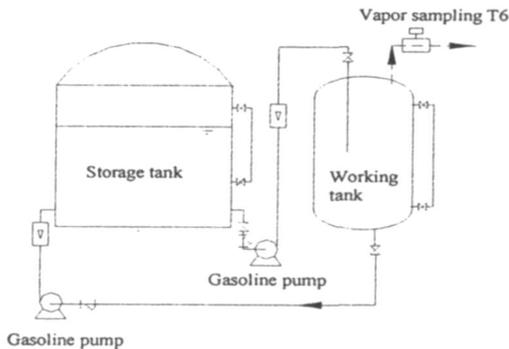


图 1 汽油装罐蒸发损耗测试系统

Fig. 1 Experimental system of evaporation loss in loading gasoline into tank

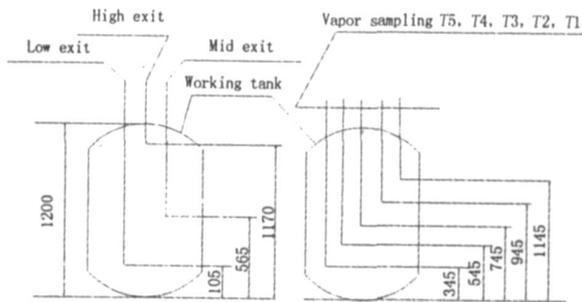
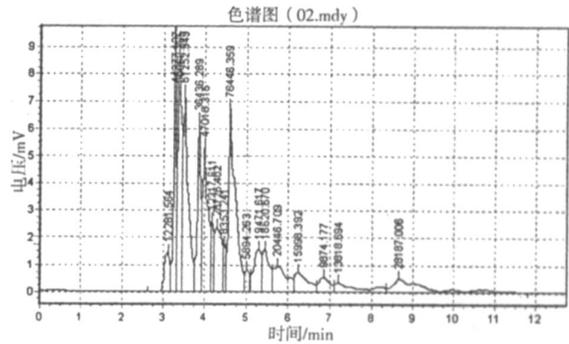


图 2 工作油罐内部布置示意图

Fig. 2 Illustration of gasoline working tank

实验先考察汽油从不同高度装油口、以不同装油速度 u 装入已清洗油罐时, 罐内气体空间油气质量浓度 C 及油罐排放气液比 α 和汽油损耗率

的变化; 而后再考察未清洗罐中存在的初始油气浓度的影响。实验记录数据包括油罐压力、液位、温度、装油流量、排放气流量。装油速度 u 为罐内液面上升速度, 即为装油流量与油罐当量截面积之比值。对于不同形状的油罐, 油罐当量截面积按等体积、等高的立式圆筒形油罐来近似计算。如罐车等卧式圆筒形或椭圆形结构的油罐, 如此当量处理, 可给油气浓度造成一定的偏差, 但对于生产实践更为关注的气液比和损耗率的影响不大。采样点 T1 ~ T5 (图 2) 及总排放管的采样点 T6 (图 1) 采集的油气 - 空气混合气由 1102 GC 气相色谱分析仪 (带 FID 检测器及 SE-54 30 m \times 0.53 μ m \times 0.4 μ m 毛细管柱) 配合 N2000 色谱工作站来分析。实验前配制并标定了一系列标准油气样。图 3 为质量浓度 0.252 75 g/L 的油气样谱图。



时罐内气体空间油气浓度分布如图 5。汽油从低装油口装入清洗罐，在 $u = 0.557 \text{ mm/s}$ 下，不同时刻罐内气体空间油气浓度分布如图 6。图 5、图 6 中，横坐标 C 为罐内气体空间点油气浓度，纵坐标 H 为罐内气体空间点与罐底的距离。

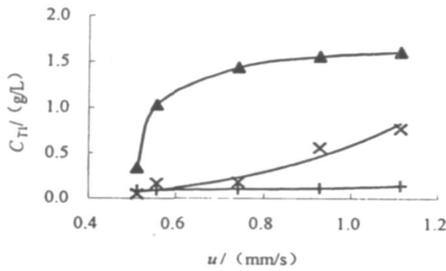


图 4 不同装油速度 u 下采样点 T1 油气浓度 C_{T1} ($t = 400 \text{ s}$)
Fig. 4 Gasoline vapor concentration C_{T1} at different u ($t = 400 \text{ s}$)

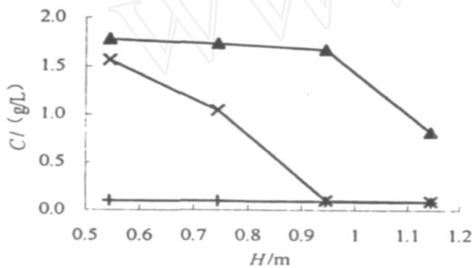


图 5 罐内气体空间油气浓度分布 ($u = 0.557 \text{ mm/s}$, $t = 285 \text{ s}$)
Fig. 5 Gasoline vapor concentration distribution in tank gas space ($u = 0.557 \text{ mm/s}$, $t = 285 \text{ s}$)

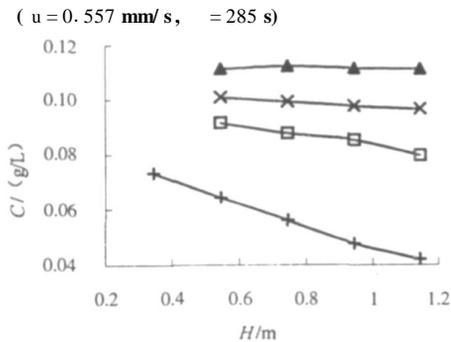


图 6 低装油口装油时罐内油气浓度分布 ($u = 0.557 \text{ mm/s}$)
Fig. 6 Gasoline vapor concentration distribution in tank gas space in loading gasoline by low exit ($u = 0.557 \text{ mm/s}$)

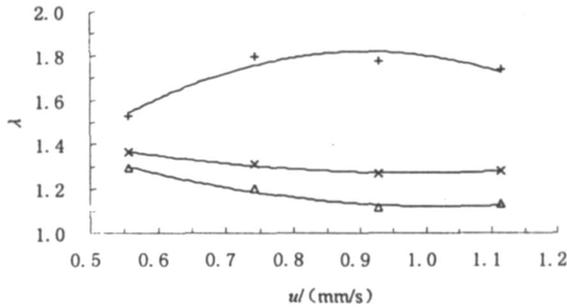
从图 4 可以看出，3 个装油口分别装油时，在同样装油时间，随着 u 的增大，油气浓度 C_{T1} 均呈上升趋势。低装油口装油时， C_{T1} 呈线性小幅度上升。这说明装油口开始装油不久即被油品所浸没，从而在其后的装油过程中，罐内气体空间油气 - 空气之间传质比较慢，并以分子扩散传质为主，

故总体上油气浓度都不高，这一点从图 5、图 6 得到进一步的验证。中装油口装油时，装油口先是在液面上喷溅、后没入液下， C_{T1} 除了受到 u 的影响，也受到油气 - 空气对流扩散的影响，所以随 u 的上升幅度较大。这一点从图 5 也得到进一步的验证。在高装油口装油时，油流是喷溅流下并快速分散成多种液滴，蒸发面积增大，汽油挥发充分；同时，由于油流搅拌作用和空间气流的带动作用，使蒸发和对流加剧。 C_{T1} 主要受到对流扩散的影响，而且装油速度越大，对流扩散越强烈，罐内气体空间油气浓度较快趋向饱和（参见图 5）。在 $u < 0.75 \text{ mm/s}$ 时上升的斜率较大， $u > 0.75 \text{ mm/s}$ 后上升斜率逐渐平缓。

2.2 装油过程气液比变化规律

汽油分别从 3 个不同装油口装入清洗罐，在不同装油速度 u 下油罐排放气液比如图 7。从图 7 可以看出装油速度对油罐排放气液比的影响。低装油口装油时，随 u 的增加而降低。由于此时对流对油气蒸发及扩散的影响较小，装油速度越快，油气来不及附加蒸发扩散，排放出的油气浓度低，因此排放出的混合气也相应少，故 β 变小。这一点与文献 [5, 6] 所建数学模型完全一致。中、高装油口装油时，对流传质逐渐占主导地位，从而对气液比产生影响，尤其对高装油口装油，还出现凸峰形状。这是由于高装油口装油时，当 u 较小时，随着 u 的增大，喷淋装油引起的对流及附加蒸发变得剧烈，气液比随 u 增大而增大；当 u 继续增大时，喷淋装油引起的对流及附加蒸发仍然很剧烈，但罐内下部的油气来不及传递到排放口，装油就结束，故总体上反映出 β 略变小。

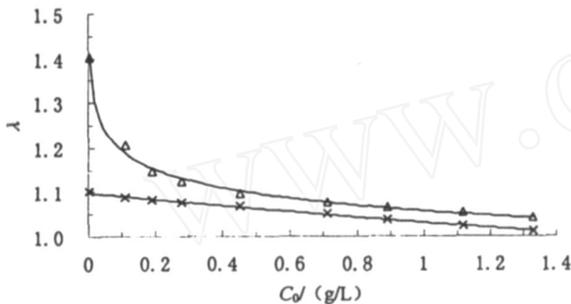
汽油从中装油口装入未清洗罐， $u = 0.512 \text{ mm/s}$ 时油罐排放气液比随罐内初始油气浓度 C_0 的变化如图 8。图 8 还附加了通过文献 [5] 理论公式计算出的曲线。从图 8 可以看出罐内初始浓度对气液比的影响。对于中装油口低速度装油时，初始浓度越低，罐内油品附加蒸发就越大，而且装油时间较长，气液比也就越大。如果初始浓度接近饱和浓度时，则气液比接近 1。实验数据和文献 [5] 理论曲线变化规律基本一致。但文献 [5] 中所建数学模型仅考虑自然扩散影响，而实际中还存在对流扩散引起的附加蒸发的影响，所以实测数据要比理论曲线的气液比大，尤其在高装油口高速装油时（图 8 未示出，可参照图 7）。



+ - High exit; x - Mid exit; o - Low exit

图 7 油罐排放气液比

Fig. 7 Tank emitting gas - liquid ratio



o - Mid exit; x - Theoretical curve from Reference [5]

图 8 C_0 对油罐排放气液比的影响 ($u = 0.512 \text{ mm/s}$)

Fig. 8 Tank emitting gas - liquid ratio with C_0

图 8 中油罐油气空间初始浓度对气液比的影响可回归为式 (3)。式 (3) 与文献 [5] 理论曲线互为补充, 用来指导油罐收发油作业, 也为准确确定油气回收装置的处理量提供基础设计理论依据。

$$= 1.0568 C_0^{-0.053} \quad (R^2 = 0.9949) \quad (3)$$

式中, R^2 为回归方程的线性相关系数。

表 1 式 (4) 中各系数回归值

Table 1 Regression coefficients of formula (4)

Regress coefficient	"Cleaned" tank ($C_0 = 0.01 \text{ g/L}$)			"Uncleaned" tank ($C_0 = 0.3 \text{ g/L}$)		
	Low exit	Mid exit	High exit	Low exit	Mid exit	High exit
a	- 0.063 8	2.450 8	- 7.267 9	0.070 9	4.528 3	- 11.219 0
b	0.170 3	- 2.301 3	14.641 0	- 0.225 1	- 4.660 9	21.600 0
c	0.121 2	0.743 6	- 3.982 8	0.563 8	1.567 2	- 5.778 9
R^2	0.991 1	0.987 3	0.993 4	0.911 5	0.991 1	0.993 3

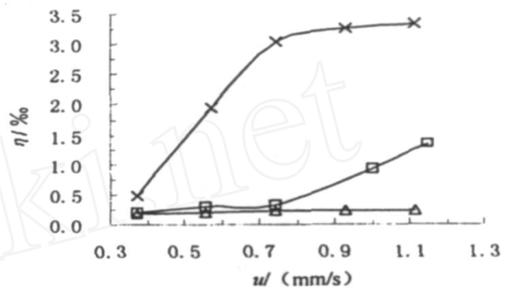
由图 9 和图 10 可以看出: 低装油口装油时, 罐内气体空间油气 - 空气之间传质以自然扩散为主, 油罐排放出的油气浓度低, 从而 η 也相应很低。同时, 随 u 变大, 对流传质会适当加强, 但其装油时间相应变小, 油气来不及扩散到罐口, 故总体上 η 变化不大。高装油口装油时, 装油口一直在液面上, 罐内气体空间油气 - 空气之间传质以对流传质为主, 其损耗率远大于低装油口。同时, u 越大, 其带来的气体空间油气强化对流扩散

2.3 装油过程的损耗量

清洗罐和未清洗罐在不同装油口装油时装油过程总损耗率 η 与装油速度 u 的关系如图 9 和图 10, 并回归为式 (4)。

$$= au^2 + bu + c \quad (4)$$

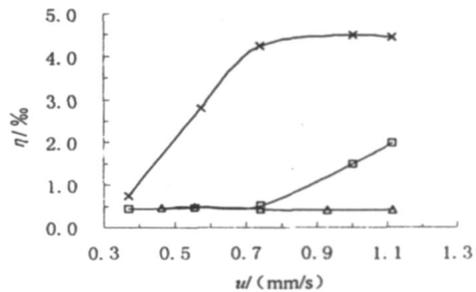
式中, 系数 a , b , c 及相关系数 R^2 列于表 1。



x - High exit; o - Mid exit; o - Low exit

图 9 油罐装油蒸发损耗率 ($C_0 = 0.01 \text{ g/L}$)

Fig. 9 Gasoline evaporation loss rate in filling tank ($C_0 = 0.01 \text{ g/L}$)



x - High exit; o - Mid exit; o - Low exit

图 10 油罐装油蒸发损耗率 ($C_0 = 0.01 \text{ g/L}$)

Fig. 10 Gasoline evaporation loss rate in filling tank ($C_0 = 0.01 \text{ g/L}$)

越剧烈, 故 η 急剧上升。当 $u = 0.75 \text{ mm/s}$ 时, 油罐排放出来的油气趋向饱和, 其 η 也达到较大, 约为 3% 之后 随 u 的变化缓慢。中装油口装油时装油口先在液面上, 此时装油损耗主要是由液面搅动引起的; 之后装油口就被浸没到液面下, 这时装油损耗主要是由液面向上移动引起的, 故 居高、低装油口的 η 之间, 但总体上较低。 u 较低时, 其 η 与低装油口相接近; 当 $u > 0.75 \text{ mm/s}$ 时, 对流传质较明显, η 也明显变大。

3 结 论

高装油口装油时, 随着 u 增大, 罐内油气浓度及总损耗率也增大, 当 $u = 0.75 \text{ mm/s}$ 时, 采样点 $T1$ 在 400 s 时油气浓度约达到 1.5 g/L 并逐渐平缓, 总损耗率约达到 3% 并逐渐平缓。中装油口在低装油速度时接近低装油口的规律; 当 $u > 0.75 \text{ mm/s}$ 时, 随着 u 的增大, 快速上升。低装油口装油时, u 对 C_{T1} 及 影响不大, 且 C_{T1} 及 总体上很低, 分别约为 0.1 g/L 和 0.2% 。油气初始浓度 C_0 通过影响附加油品蒸发量而影响着总体损耗率。在不同装油速度下, 高装油口装油时油罐排放气液比都较大, 约为 $1.53 \sim 1.80$, 低装油口时气液比约为 $1.13 \sim 1.30$ 。实测数据及各回归方程对于生产实践具有参考价值及指导意义。高装油口装油时, 装油速度宜低于 0.37 mm/s , 才可能将损耗率控制在 0.5% 以下。中装油口在装油速度低于 0.75 mm/s 时损耗处于较低水平, 高于此值损耗率会随着装油速度上升而快速上升。在装

油过程中应尽量采用低装油口装油, 才能有效地降低蒸发损耗, 从而有效地克服油气给企业带来的安全隐患、环境污染及能源浪费等一系列危害性。

参考文献:

- [1] API Bull 2514A. Atmospheric hydrocarbon emissions from marine vessel transfer operations [R]. 2nd ed (1981). USA: API, 2001 (Reaffirmed).
- [2] 黄维秋, 赵书华, 徐斌. 石化销售系统油品蒸发损耗的现状 [J]. 石油库与加油站, 2002, 11 (2): 34 - 37.
- [3] Merv F Fingas. Studies on the evaporation of crude oil and petroleum products: . the relationship between evaporation rate and time [J]. Journal of Hazardous Materials, 1997, 56: 227 - 236.
- [4] Merv F Fingas. Studies on the evaporation of crude oil and petroleum products . boundary layer regulation [J]. Journal of Hazardous Materials, 1998, 57: 41 - 58.
- [5] 黄维秋, 钟秦. 非稳态油品蒸发的数值分析 数学模型的建立 [J]. 石油学报 (石油加工), 2003, 19 (6): 58 - 63.
- [6] 黄维秋, 钟秦. 非稳态油品蒸发的数值分析 数值分析及应用实例 [J]. 石油学报 (石油加工), 2004, 20 (1): 52 - 57.