

## 附 2

### 石油化工业 VOCs 排放量计算办法

本办法所涉及监测和检测方法应符合相关标准规范要求。

石化行业的 VOCs 排放源分为：设备动静密封点泄漏；有机液体储存与调和挥发损失；有机液体装卸挥发损失；废水集输、储存、处理处置过程逸散；燃烧烟气排放；工艺有组织排放；工艺无组织排放；采样过程排放；火炬排放；非正常工况（含开停工及维修）排放；冷却塔、循环水冷却系统释放；事故排放等 12 类源项。

企业某个核算周期（以年计）VOCs 排放量为：

$$E_{\text{石化}} = \sum_{m=1}^{11} E_m \quad (\text{公式 1})$$

式中：

$E_m$  石化行业各源项污染源 VOCs 排放量，千克/年。

各源项污染源的 VOCs 排放量应为该源项每一种污染物排放量的加和，见公式 2：

$$E_m = \sum_{i=1}^n E_i \quad (\text{公式 2})$$

式中：

$E_i$  某源项污染源排放的污染物  $i$  的排放量，千克/年

$$E_i = \sum_{n=1}^N \left( E_{\text{排放源}n,i} \times \frac{WF_i}{WF_{\text{VOCs}}} \right) \quad (\text{公式 3})$$

式中：

$E_i$  污染物  $i$  的排放量，千克/年；

$E_{\text{排放源}n,i}$  含污染物  $i$  的第  $n$  个排放源的 VOCs 排放量，  
千克/年；

$N$  含污染物  $i$  的排放源总数；

$WF_i$  流经或储存于排放源的物料中污染物  $i$  的平均  
质量分数；

$WF_{\text{VOCs}}$  流经或储存于排放源的物料中 VOCs 的平均质  
量分数。

有机液体储存与调和、装卸过程中涉及附表 1 中单一物质的，应按本办法进行单一污染物排放量核算，并可在 VOCs 总量中予以扣除。鼓励有条件的企业进行全过程单一污染物排放量核算。

进入气相的 VOCs，可按以下方法进行核算：VOCs 排放量=废气处理设施未投用的排放量+废气处理设施投用但未收集的排放量+废气处理设施投用收集后未去除的排放量=VOCs 产生量总量-废气处理设施投用收集且去除的量。

## 一、设备动静密封点泄漏

排放量核算结果的准确度从高到低排序为：实测法、相关方程法、筛选范围法、平均排放系数法。前三种方法是基于检测的核算方法，需获得检测仪器对物料的（合成）响应因子，见附录一。企业可根据自身 LDAR 开展情况，选择核算方法。

$$E_{\text{设备}} = \sum_{i=1}^n \left( e_{\text{TOC},i} \times \frac{WF_{\text{VOCs},i}}{WF_{\text{TOC},i}} \times t_i \right) \quad (\text{公式 4})$$

式中：

$E_{\text{设备}}$  密封点的 VOCs 年排放量，千克/年；

$t_i$  密封点 i 的运行时间段，小时/年；

$e_{\text{TOCs},i}$  密封点 i 的 TOCs 排放速率，千克/小时；

$WF_{\text{VOCs},i}$  运行时间段内流经密封点 i 的物料中 VOCs 的平均质量分数；

$WF_{\text{TOC},i}$  运行时间段内流经密封点 i 的物料中 TOC 的平均质量分数

如未提供物料中 VOCs 的平均质量分数，则  $\frac{WF_{\text{VOCs}}}{WF_{\text{TOC}}}$  按 1 计。

（一）排放速率。

1. 实测法。

采用包袋法和大体积采样法对密封点进行实测，所得排

放速率最接近真实排放情况，企业可选用该方法对密封点排放速率进行检测。

2.相关方程法。

$$e_{TOC} = \sum_{i=1}^n \begin{cases} e_{0,i} & (0 \leq SV < 1) \\ e_{p,i} & (SV \geq 50000) \\ e_{f,i} & (1 \leq SV < 50000) \end{cases} \quad (\text{公式 5})$$

式中：

$e_{TOC}$  密封点的 TOC 排放速率，千克/小时；

$SV$  修正后的净检测值， $\mu\text{mol/mol}$ ；

$e_{0,i}$  密封点  $i$  的默认零值排放速率，千克/小时；

$e_{p,i}$  密封点  $i$  的限定排放速率，千克/小时；

$e_{f,i}$  密封点  $i$  的相关方程核算排放速率，千克/小时。

各类型密封点的排放速率按表 1 计算。

表 1 石油炼制和石油化工设备组件的设备排放速率<sup>a</sup>

密封点类型	默认零值排放速率(千克/小时/排放源)	限定排放速率(千克/小时/排放源)	相关方程 <sup>b</sup> (千克/小时/排放源)
		>50000 $\mu\text{mol/mol}$	
石油炼制的排放速率(炼油、营销终端和油气生产)			
阀门	7.8E-06	0.14	$2.29\text{E-}06 \times \text{SV}^{0.746}$
泵	2.4E-05	0.16	$5.03\text{E-}05 \times \text{SV}^{0.610}$
其它	4.0E-06	0.11	$1.36\text{E-}05 \times \text{SV}^{0.589}$
连接件	7.5E-06	0.030	$1.53\text{E-}06 \times \text{SV}^{0.735}$
法兰	3.1E-07	0.084	$4.61\text{E-}06 \times \text{SV}^{0.703}$
开口阀或开口管线	2.0E-06	0.079	$2.20\text{E-}06 \times \text{SV}^{0.704}$
石油化工的排放速率			
气体阀门	6.6E-07	0.11	$1.87\text{E-}06 \times \text{SV}^{0.873}$
液体阀门	4.9E-07	0.15	$6.41\text{E-}06 \times \text{SV}^{0.797}$
轻液体泵 <sup>c</sup>	7.5E-06	0.62	$1.90\text{E-}05 \times \text{SV}^{0.824}$
连接件	6.1E-07	0.22	$3.05\text{E-}06 \times \text{SV}^{0.885}$

注：表中涉及的千克/小时/排放源 = 每个排放源每小时的 TOC 排放量(千克)。

a: 美国环保署, 1995b 报告的数据。对于密闭式的采样点, 如果采样瓶连在采样口, 则使用“连接件”的排放系数; 如采样瓶未与采样口连接, 则使用“开口管线”的排放系数。

b: SV 是检测设备测得的净检测值 (SV,  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ );

c: 轻液体泵系数也可用于压缩机、泄压设备和重液体泵。

### 3. 筛选范围法。

石油炼制工业排放速率计算公式:

$$e_{\text{TOC}} = \sum_{i=1}^n \left( F_{A,i} \times \frac{WF_{\text{TOC},i}}{WF_{\text{TOC},i} - WF_{\text{甲烷},i}} \times WF_{\text{TOC},i} \times N_i \right) \quad (\text{公式 6})$$

石油化学工业排放速率计算公式:

$$e_{\text{TOC}} = \sum_{i=1}^n (F_{A,i} \times WF_{\text{TOC},i} \times N_i) \quad (\text{公式 7})$$

式中:

$e_{\text{TOC}}$  密封点的 TOC 排放速率, 千克/小时;

$F_{A,i}$  密封点 i 排放系数;

$WF_{\text{TOC}}$  流经密封点 i 的物料中 TOC 的平均质量分数;

$WF_{\text{甲烷}}$  流经密封点 i 的物料中甲烷的平均质量分数, 最大取 10%;

$N_i$  密封点的个数。

表 2 筛选范围排放系数<sup>a</sup>

设备类型	介质	石油炼制系数 <sup>b</sup>		石油化工系数 <sup>c</sup>	
		> 10000 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 排放系数 (千克/小时/排放源)	<10000 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 排放系数 (千克/小时/排放源)	> 10000 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 排放系数 (千克/小时/排放源)	<10000 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 排放系数 (千克/小时/排放源)
法兰、连接件	所有	0.0375	0.00006	0.113	0.000081

注: a: EPA, 1995b 报告的数据。

b: 这些系数是针对非甲烷有机化合物排放。

c: 这些系数是针对总有机化合物排放。

筛选范围法用于核算某套装置不可达法兰或连接件的 VOCs 排放速率, 需至少检测 50% 该装置的可达法兰或连接

件，并且至少包含 1 个净检测值大于等于 10000  $\mu\text{mol/mol}$  的点，以 10000  $\mu\text{mol/mol}$  为界，分析已检测法兰或连接件净检测值可能  $\geq 10000 \mu\text{mol/mol}$  的数量比例，将该比例应用到同一装置的不可达法兰或连接件，且按比例计算的大于等于 10000  $\mu\text{mol/mol}$  的不可达点个数向上取整，采用表 2 系数并按公式 6 和公式 7 计算排放速率。

#### 4. 平均排放系数法。

未开展 LDAR 工作的企业，或不可达点（除符合筛选范围法适用范围的法兰和连接件外），应采用表 3 系数并按公式 6 和公式 7 计算排放速率。

表 3 石油炼制和石油化工组件平均排放系数<sup>a</sup>

设备类型	介质	石油炼制排放系数 (千克/小时/排放源) <sup>b</sup>	石油化工排放系数 (千克/小时/排放源) <sup>c</sup>
阀	气体	0.0268	0.00597
	轻液体	0.0109	0.00403
	重液体	0.00023	0.00023
泵 <sup>d</sup>	轻液体	0.114	0.0199
	重液体	0.021	0.00862
压缩机	气体	0.636	0.228
泄压设备	气体	0.16	0.104
法兰、连接件	所有	0.00025	0.00183
开口阀或开口 管线	所有	0.0023	0.0017
采样连接系统	所有	0.0150	0.0150

注：对于表中涉及的千克/小时/排放源 = 每个排放源每小时的 TOC 排放量（千克）。对于开放式的采样点，采用平均排放系数法计算排放量。如果采样过程中排出的置换残液或气未经处理直接排入环境，按照“取样连接系统”和“开口管线”排放系数分别计算并加和；如果企业有收集处理设施收集管线冲洗的残液或气体，并且运行效果良好，可按“开口阀或开口管线”排放系数进行计算。

a: 摘自 EPA, 1995b;

b: 石油炼制排放系数用于非甲烷有机化合物排放速率；

c: 石油化工排放系数用于 TOC（包括甲烷）排放速率；

d: 轻液体泵密封的系数可以用于估算搅拌器密封的排放速率。

## （二）排放时间。

采用中点法确定该密封点的排放时间，即第 n 次检测值代表时间段的起始点为第 n-1 次至第 n 次检测时间段的中点，终止点为第 n 次至第 n+1 次检测时间段的中点。发生泄漏修复的情况下，修复复测的时间点为泄漏时间段的终止点。

## 二、有机液体储存与调和挥发损失

### （一）实测法。

设有 VOCs 有机气体控制设施的储罐或罐区，其排放量应采用实测法核算，监测频次不少于 1 次/月。

$$E_{\text{储罐}} = \sum_{i=1}^n \left[ E_{\text{计算量},i} - 10^{-6} \times (C_{\text{入口},i} - C_{\text{出口},i}) \times Q_i \times t_i \right] \quad (\text{公式 8})$$

式中：

$E_{\text{储罐}}$  含有机气体控制设施的储罐 VOCs 年排放量  
千克/年；

$E_{\text{计算量},i}$  连接在有机气体控制设施 i 上的储罐的排放量，由公式法计算，千克/年；

$C_{\text{入口},i}$  有机气体控制设施 i 的入口 VOCs 浓度年平均值，毫克/标立方米；

$C_{\text{出口},i}$  有机气体控制设施 i 的出口 VOCs 浓度年平均值，毫克/标立方米；

$Q_i$  有机气体控制设施  $i$  的出口流量，标立方米/小时；

$t_i$  有机气体控制设施  $i$  的运行时间，小时/年。

## (二) 公式法。

该核算方法可应用于固定顶罐和浮顶罐。不适用于以下情况：所储物料组分不稳定或真实蒸汽压高于大气压、蒸汽压未知或无法测量的；储罐浮盘设施失效的；其他不符合相关环保要求的。

公式法核算过程采用美制单位。完成核算后，可将排放量的美制单位（磅）转为国际单位制（千克）。

$$E_{\text{储罐}} = \sum_{i=1}^n (E_{\text{固},i} + E_{\text{浮},i}) \quad (\text{公式 9})$$

式中：

$E_{\text{储罐}}$  储罐的 VOCs 年排放量，千克/年；

$E_{\text{固}}$  固定顶罐  $i$  的 VOCs 年排放量，千克/年；

$E_{\text{浮}}$  浮顶罐  $i$  的 VOCs 年排放量，千克/年。

1. 固定顶罐总损失。

$$E_{\text{固}} = E_S + E_W \quad (\text{公式 10})$$

式中：

$E_{\text{固}}$  固定顶罐总损失，磅/年；

$E_S$  静置损失，磅/年，见公式 11；

$E_W$  工作损失，磅/年，见公式 28。

(1) 静置损失,  $E_S$ 。

$$E_S = 365V_V W_V K_E K_S \quad (\text{公式 11})$$

式中:

$E_S$  静置损失 (地下卧式罐的  $E_S$  取 0), 磅/年;

$V_V$  气相空间容积, 立方英尺, 见公式 12;

$W_V$  储藏气相密度, 磅/立方英尺;

$K_E$  气相空间膨胀因子, 无量纲量;

$K_S$  排放蒸气饱和因子, 无量纲量。

立式罐气相空间容积  $V_V$ , 通过公式 12 计算:

$$V_V = \left( \frac{\pi}{4} D^2 \right) H_{VO} \quad (\text{公式 12})$$

式中:

$V_V$  气相空间容积, 立方英尺;

$D$  罐径, 英尺;

$H_{VO}$  气相空间高度, 英尺。

卧式罐气相空间容积  $V_V$ , 通过公式 13 核算:

$$V_V = \frac{\pi}{4} D_E^2 H_{VO} \quad (\text{公式 13})$$

式中:

$V_V$  固定顶罐蒸气空间体积, 立方英尺;

$H_{VO}$  蒸气实际空间高度 ( $H_{VO}=D$ ), 英尺;

$D_E$  卧式罐有效直径, 英尺;

$$D_E = \sqrt{\frac{LD}{0.785}} \quad (\text{公式 14})$$

A. 气相空间膨胀因子  $K_E$

$$K_E = 0.0018 \Delta T_V = 0.0018 \left[ 0.72 (T_{AX} - T_{AN}) + 0.028 \alpha I \right] \quad (\text{公式 15})$$

式中:

- $K_E$  气相空间膨胀因子, 无量纲量;
- $\Delta T_V$  日蒸气温度范围, 兰氏度;
- $T_{AX}$  日最高环境温度, 兰氏度;
- $T_{AN}$  日最低环境温度, 兰氏度;
- $\alpha$  罐漆太阳能吸收率, 无量纲量, 见表 4;
- $I$  太阳辐射强度, 英热 / (平方英尺 · 天);
- 0.0018 常数, (兰氏度)<sup>-1</sup>;
- 0.72 常数, 无量纲量;
- 0.028 常数, 兰氏度 · 平方英尺 · 天 / 英热。

表 4 罐漆太阳能吸收率 ( $\alpha$ )

序号	罐漆颜色	太阳能吸收因子	序号	罐漆颜色	太阳能吸收因子
1	白色	0.34	4	浅灰色	0.63
2	铝色	0.68	5	中灰色	0.74
3	黑色	0.97	6	绿色	0.91

B. 气相空间高度,  $H_{VO}$

$$H_{VO} = H_S - H_L + H_{RO} \quad (\text{公式 16})$$

式中:

- $H_{VO}$  气相空间高度, 英尺;
- $H_S$  罐体高度, 英尺;
- $H_L$  液体高度, 英尺;

$H_{RO}$  罐顶计量高度，英尺，锥顶罐见注释 a，拱顶罐见注释 b。

公式 16 注释：

a. 对于锥顶罐，顶高度  $H_{RO}$  核算方法如下：

$$H_{RO} = 1/3H_R \quad (\text{公式 17})$$

式中：

$H_{RO}$  罐顶计量高度，英尺；

$H_R$  罐顶高度，英尺；

$$H_R = S_R R_S \quad (\text{公式 18})$$

式中：

$S_R$  罐锥顶斜率，英尺/英尺；如未知，则取 0.0625；

$R_S$  罐壳半径，英尺。

b. 对于拱顶罐，罐顶计量高度  $H_{RO}$  核算方法如下：

$$H_{RO} = H_R \left[ \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left[ \frac{H_R}{R_S} \right]^2 \right] \quad (\text{公式 19})$$

式中：

$H_{RO}$  罐顶计量高度，英尺；

$R_S$  罐壳半径，英尺；

$H_R$  罐顶高度，英尺；

$$H_R = R_R - (R_R^2 - R_S^2)^{0.5} \quad (\text{公式 20})$$

$R_R$  罐拱顶半径，英尺；

$R_S$  罐壳半径，英尺；

$R_R$  的值一般介于  $0.8D-1.2D$  之间，其中  $D=2R_S$ 。如果  $R_R$  未知，则用罐体直径代替。

C. 气相空间饱和因子， $K_S$

$$K_s = \frac{1}{1 + 0.053 P_{VA} H_{VO}} \quad (\text{公式 21})$$

式中：

$K_S$  气相空间饱和因子，无量纲量；

$P_{VA}$  日平均液面温度下的饱和蒸气压，磅/平方英寸（绝压），或参照公式 26 计算；

$H_{VO}$  气相空间高度，英尺，见公式 16；

0.053 常数，（磅/平方英寸（绝压）·英尺）<sup>-1</sup>。

D. 气相密度， $W_V$

$$W_V = \frac{M_V P_{VA}}{RT_{LA}} \quad (\text{公式 22})$$

式中：

$W_V$  气相密度，磅/立方英尺；

$M_V$  气相分子质量，磅/磅-摩尔；

$R$  理想气体状态常数，10.741 磅/（磅-摩尔·英尺·兰氏度）；

$P_{VA}$  日平均液面温度下的饱和蒸气压，磅/平方英寸（绝压），见公式 26；

$T_{LA}$  日平均液体表面温度，兰氏度，取年平均实际储存温度，如无该数据，用公式 23 计算。

公式 22 注释:

a. 日平均液体表面温度,  $T_{LA}$

$$T_{LA} = 0.44T_{AA} + 0.56T_B + 0.0079\alpha I \quad (\text{公式 23})$$

$$T_{AA} = \left( \frac{T_{AX} + T_{AN}}{2} \right) \quad (\text{公式 24})$$

$$T_B = T_{AA} + 6\alpha - 1 \quad (\text{公式 25})$$

式中:

$T_{LA}$  日平均液体表面温度, 兰氏度;

$T_{AA}$  日平均环境温度, 兰氏度;

$T_{AX}$  计算月的日最高环境温度, 兰氏度;

$T_{AN}$  计算月的日最低环境温度, 兰氏度。

$T_B$  储液主体温度, 兰氏度;

$\alpha$  罐漆太阳能吸收率, 无量纲量, 见表 4;

$I$  太阳辐射强度, 英热/(平方英尺·天)。

当  $T_{LA}$  值无法取得时, 可用表 5 计算。

表 5 年平均储藏温度计算表

罐体颜色	年平均储藏温度, $T_s$ (华氏度)
白	$T_{AA}+0$
铝	$T_{AA}+2.5$
灰	$T_{AA}+3.5$
黑	$T_{AA}+5.0$

注: 此表格中  $T_{AA}$  为年平均环境温度 (华氏度)。

E. 真实蒸气压,  $P_{VA}$

对于石油液体储料的日平均液体表面蒸气压, 可通过公式 26 计算:

$$P_{VA} = \exp \left[ A - \left( \frac{B}{T_{LA}} \right) \right] \quad (\text{公式 26})$$

式中：

- A 蒸气压公式中的常数，无量纲量；  
B 蒸气压公式中的常数，兰氏度；  
 $T_{LA}$  日平均液体表面温度，兰氏度；  
 $P_{VA}$  日平均液体表面蒸气压，磅/平方英寸（绝压）。

对于油品：

$$A = 15.64 - 1.854S^{0.5} - (0.8742 - 0.3280 S^{0.5}) \ln(RVP)$$

$$B = 8742 - 1042S^{0.5} - (1049 - 179.4 S^{0.5}) \ln(RVP)$$

对于原油：

$$A = 12.82 - 0.9672 \ln(RVP)$$

$$B = 7261 - 1216 \ln(RVP)$$

式中：

- RVP 雷德蒸气压，磅/平方英寸；  
S 10% 蒸发量下 ASTM 蒸馏曲线斜率， $\text{°F}/\text{vol}\%$ 。

$$S = \frac{15\% \text{ 馏出温度} - 5\% \text{ 馏出温度}}{15 - 5}$$

单一物质（如苯、对二甲苯）的日平均液体表面蒸气压，采用安托因方程计算。

$$\lg P_{VA} = A - \left( \frac{B}{T_{LA} + C} \right) \quad (\text{公式 27})$$

式中：

A、B、C 为安托因常数；

$T_{LA}$  日平均液体表面温度，摄氏度；

$P_{VA}$  日平均液面温度下的饱和蒸气压，毫米汞柱。

(2) 工作损失， $E_w$ 。

$$E_w = \frac{5.614}{RT_{LA}} M_V P_{VA} Q K_N K_P K_B \quad (\text{公式 28})$$

式中：

$E_w$  工作损失，磅/年；

$M_V$  气相分子量，磅/磅-摩尔；

$T_{LA}$  日平均液体表面温度，兰氏度；

$P_{VA}$  真实蒸气压，磅/平方英寸（绝压），见公式

26；

$Q$  年周转量，桶/年；

$K_P$  工作损失产品因子，无量纲量；

对于原油  $K_P=0.75$ ；

对于其它有机液体  $K_P=1$ ；

$K_N$  工作排放周转（饱和）因子，无量纲量；

当周转数  $> 36$ ， $K_N = (180+N) / 6N$ ；

当周转数  $\leq 36$ ， $K_N=1$ ；

$K_B$  呼吸阀工作校正因子。

呼吸阀工作时的校正因子， $K_B$  可用公式 29 和公式 30 计

算:

当

$$K_N \left[ \frac{P_{BP} + P_A}{P_I + P_A} \right] > 1.0 \quad (\text{公式 29})$$

时

$$K_B = \left[ \frac{\frac{P_I + P_A - P_{VA}}{K_N}}{P_{BP} + P_A - P_{VA}} \right] \quad (\text{公式 30})$$

式中:

- $K_B$  呼吸阀校正因子, 无量纲量;
- $P_I$  正常工况条件下气相空间压力, 磅/平方英寸 (表压);
- $P_I$  是一个实际压力 (表压), 如果处在大气压下 (不是真空或处在稳定压力下),  $P_I$  为 0;
- $P_A$  大气压, 磅/平方英寸 (绝压);
- $K_N$  工作排放周转 (饱和) 因子, 无量纲量, 见公式 28;
- $P_{VA}$  日平均液面温度下的蒸气压, 磅/平方英寸 (绝压), 见公式 26;
- $P_{BP}$  呼吸阀压力设定, 磅/平方英寸 (表压)。

2. 浮顶罐总损失。

$$E_{\text{浮}} = E_R + E_{WD} + E_F + E_D \quad (\text{公式 31})$$

式中:

- $E_{\text{浮}}$  浮顶罐总损失，磅/年；
- $E_R$  边缘密封损失，磅/年，见公式 32；
- $E_{\text{WD}}$  挂壁损失，磅/年，见公式 34；
- $E_F$  浮盘附件损失，磅/年，见公式 35；
- $E_D$  浮盘缝隙损失（只限螺栓连接式的浮盘或浮顶），磅/年，见公式 38。

(1) 边缘密封损失， $E_R$ 。

$$E_R = (K_{Ra} + K_{Rb}v^n)DP^*M_VK_C \quad (\text{公式 32})$$

式中：

- $E_R$  边缘密封损失，磅/年；
- $K_{Ra}$  零风速边缘密封损失因子，磅-摩尔/英尺·年，见表 6；
- $K_R$  有风时边缘密封损失因子，磅-摩尔/(迈<sup>n</sup>·英尺·年)，见表 6；
- $v$  罐点平均环境风速，迈；
- $n$  密封相关风速指数，无量纲量，见表 6；
- $P^*$  蒸气压函数，无量纲量；

$$P^* = \frac{\frac{P_{VA}}{P_A}}{\left[1 + \left(1 - \frac{P_{VA}}{P_A}\right)^{0.5}\right]^2} \quad (\text{公式 33})$$

式中：

- $P_{VA}$  日平均液体表面蒸气压，磅/平方英寸（绝

压)，见公式 26；

$P_A$  大气压，磅/平方英寸（绝压）；

$D$  罐体直径，英尺；

$M_V$  气相分子质量，磅/磅-摩尔；

$K_C$  产品因子，原油 0.4，其它挥发性有机液体

1。

表 6 浮顶罐边缘密封损失系数

罐体类型	密封	$K_{Ra}$ (磅-摩尔/英尺·年)	$K_{Rb}$ (磅-摩尔/(迈 <sup>n</sup> ·英尺·年))	n
焊接	机械式鞋形密封			
	只有一级	5.8	0.3	2.1
	边缘靴板	1.6	0.3	1.6
	边缘刮板	0.6	0.4	1.0
	液体镶嵌式（接触液面）			
	只有一级	1.6	0.3	1.5
	挡雨板	0.7	0.3	1.2
	边缘刮板	0.3	0.6	0.3
	气体镶嵌式（不接触液面）			
	只有一级	6.7	0.2	3.0
	挡雨板	3.3	0.1	3.0
	边缘刮板	2.2	0.003	4.3
	铆接	机械式鞋形密封		
只有一级		10.8	0.4	2.0
边缘靴板		9.2	0.2	1.9
边缘刮板		1.1	0.3	1.5

注：表中边缘密封损失因子  $k_{ra}$ ,  $k_{rb}$ , n 只适用于风速 6.8 米/秒以下

(2) 挂壁损失， $E_{WD}$ 。

$$E_{WD} = \frac{(0.943)QC_S W_L}{D} \left[ 1 + \frac{N_C F_C}{D} \right] \quad (\text{公式 34})$$

式中：

$E_{WD}$  挂壁损失，磅/年；

$Q$  年周转量，桶/年；

- $C_S$  罐体油垢因子，见表 7；
- $W_L$  有机液体密度，磅/加仑，部分物料参数见附表 2；
- $D$  罐体直径，英尺；
- 0.943 常数，1000 立方英尺·加仑/桶<sup>2</sup>；
- $N_C$  固定顶支撑柱数量（对于自支撑固定浮顶或外浮顶罐： $N_C=0$ 。），无量纲量；
- $F_C$  有效柱直径，取值 1。

表 7 储罐罐壁油垢因子

介质	罐壁状况 (桶/1000 平方英尺)		
	轻锈	中锈	重锈
汽油	0.0015	0.0075	0.15
原油	0.006	0.03	0.6
其它油品	0.0015	0.0075	0.15

备注：

储罐内壁平均 3 年以上（包括 3 年）除锈一次，为重锈；平均两年除锈一次，为中锈；平均每年除锈一次，为轻锈。

### (3) 浮盘附件损失， $E_F$ 。

$$E_F = F_F P^* M_V K_C \quad (\text{公式 35})$$

式中：

$E_F$  浮盘附件损失，磅/年；

$F_F$  总浮盘附件损失因子，磅-摩尔/年；

$$F_F = \left[ (N_{F1} K_{F1}) + (N_{F2} K_{F2}) + \dots + (N_{Fn} K_{Fn}) \right] \quad (\text{公式 36})$$

式中：

$N_{Fi}$  某类浮盘附件数，无量纲量；

$K_{Fi}$  某类附件损失因子，磅-摩尔/年，见公式 37；

$n_f$  某类的附件总数，无量纲量；

$P^*$ ,  $M_V$ ,  $K_C$  的定义见公式 26。

$F_F$  的值可由罐体实际参数中附件种类数 ( $N_F$ ) 乘以每一种附件的损失因子 ( $K_{Fi}$ ) 计算。

对于浮盘附件,  $K_{Fi}$  可由公式 37 计算:

$$K_{Fi} = K_{Fai} + K_{Fbi} (K_v v)^{m_i} \quad (\text{公式 37})$$

式中:

$K_{Fi}$  浮盘附件损失因子, 磅-摩尔/年;

$K_{Fai}$  无风情况下浮盘附件损失因子, 磅-摩尔/年, 见表 8;

$K_{Fbi}$  有风情况下浮盘附件损失因子, 磅-摩尔/(迈<sup>m</sup>·年), 见表 8;

$m_i$  某类浮盘损失因子, 无量纲量, 见表 8;

$K_v$  附件风速修正因子, 无量纲量 (外浮顶罐,  $K_v=0.7$ ; 内浮顶罐和穹顶外浮顶罐,  $K_v=0$ );

$v$  平均气压平均风速, 迈。

表 8 浮顶罐浮盘附件损失系数表

附件	状态	$k_{fa}$ (磅-摩尔/年)	$k_{fb}$ (磅-摩尔/ (迈 <sup>n</sup> ·年))	$m$
人孔	螺栓固定盖子, 有密封件	1.6	0	0
	无螺栓固定盖子, 无密封件	36	5.9	1.2
	无螺栓固定盖子, 有密封件	31	5.2	1.3
计量井	螺栓固定盖子, 有密封件	2.8	0	0
	无螺栓固定盖子, 无密封件	14	5.4	1.1
	无螺栓固定盖子, 有密封件	4.3	17	0.38
支柱井	内嵌式柱形滑盖, 有密封件	33	/	/
	内嵌式柱形滑盖, 无密封件	51	/	/
	管柱式滑盖, 有密封件	25	/	/
	管柱式挠性纤维衬套密封	10	/	/

附件	状态	$k_{ra}$ (磅-摩尔/年)	$k_{rb}$ (磅-摩尔/ (迈 <sup>n</sup> ·年))	m
取样管/井	有槽管式滑盖/重加权, 有密封件	0.47	0.02	0.97
	有槽管式滑盖/重加权, 无密封件	2.3	0	0
	切膜纤维密封 (开度 10%)	12		
有槽导杆和取样井	无密封件滑盖 (不带浮球)	43	270	1.4
	有密封件滑盖 (不带浮球)			
	无密封件滑盖 (带浮球)	31	36	2.0
	有密封件滑盖 (带浮球)			
	有密封件滑盖 (带导杆凸轮)	41	48	1.4
	有密封件滑盖 (带导杆衬套)	11	46	1.4
	有密封件滑盖 (带导杆衬套及凸轮)	8.3	4.4	1.6
	有密封件滑盖 (带浮球和导杆凸轮)	21	7.9	1.8
有密封件滑盖 (带浮球、衬套和凸轮)	11	9.9	0.89	
无槽导杆和取样井	无衬垫滑盖	31	150	1.4
	无衬垫滑盖带导杆	25	2.2	2.1
	衬套衬垫带滑盖	25	13	2.2
	有衬垫滑盖带凸轮	14	3.7	0.78
	有衬垫滑盖带衬套	8.6	12	0.81
呼吸阀	附重加权, 未加密封件	7.8	0.01	4.0
	附重加权, 加密封件	6.2	1.2	0.94
浮盘支柱	可调式 (浮筒区域) 有密封件	1.3	0.08	0.65
	可调式 (浮筒区域) 无密封件	2.0	0.37	0.91
	可调式 (中心区域) 有密封件	0.53	0.11	0.13
	可调式 (中心区域) 无密封件	0.82	0.53	0.14
	可调式, 双层浮顶	0.82	0.53	0.14
	可调式 (浮筒区域), 衬垫	1.2	0.14	0.65
	可调式 (中心区域), 衬垫	0.49	0.16	0.14
	固定式	0	0	0
边缘通气阀	配重机械驱动机构, 有密封件	0.71	0.1	1.0
	配重机械驱动机构, 无密封件	0.68	1.8	1.0
楼梯井	滑盖, 有密封件	98		
	滑盖, 无密封件	56		
浮盘排水	/	1.2		

注: 表中浮盘附件密封损失因子  $k_{ra}$ ,  $k_{rb}$ ,  $n$  只适用于风速 6.8 米/秒以下

#### (4) 浮盘缝隙损失, $E_D$ 。

螺栓固定的浮盘存在盘缝损失, 由公式 38 计算:

$$E_D = K_D S_D D^2 P^* M_V K_C \quad (\text{公式 38})$$

式中：

$K_D$  盘缝损耗单位缝长因子，0.14 磅-摩尔/（英尺·年）；

$S_D$  盘缝长度因子，英尺/平方英尺，为浮盘缝隙长度与浮盘面积的比值，见表 9；

$D$ ， $P^*$ ， $M_V$  和  $K_C$  的定义见公式 32。

表 9 盘缝长度因子

序号	浮盘构造	盘缝长度因子
1	浮筒式浮盘	4.8
2	双层板式浮盘	0.8

### 三、有机液体装卸挥发损失

（一）实测法。

$$E_{\text{装卸}} = E_0 - E_1 + E_2 \quad (\text{公式 39})$$

$$E_0 = Q \times C_0 \quad (\text{公式 40})$$

$$E_1 = 10^{-6} \times Q_1 \times C_1 \times t_{\text{投用}} \quad (\text{公式 41})$$

$$E_2 = 10^{-6} \times Q_2 \times C_2 \times t_{\text{投用}} \quad (\text{公式 42})$$

$$C_0 = \frac{P_T M}{RT} \quad (\text{公式 43})$$

式中：

$E_{\text{装卸}}$  装载过程 VOCs 年排放量，千克/年；

$E_0$  装载物料的 VOCs 理论挥发量，千克/年；

$E_1$  进入有机气体控制设施的 VOCs 量，千克/年；

- $E_2$  从有机气体控制设施出口排入大气的 VOCs 量，千克/年；
- $Q$  物料年周转量，立方米/年；
- $Q_1$  有机气体控制设施入口气体流量，标立方米/小时；如未检测，可等同于出口流量；
- $Q_2$  有机气体控制设施出口气体流量，标立方米/小时；
- $C_0$  装载罐车气、液相处于平衡状态，将挥发物料看做理想气体下的物料密度，千克/立方米；
- $C_1$  有机气体控制设施入口 VOCs 浓度，毫克/标立方米；
- $C_2$  有机气体控制设施出口 VOCs 浓度，毫克/标立方米；
- $t_{\text{投用}}$  有机气体控制设施实际年投用时间，小时；
- $T$  实际装载温度，开氏度；
- $P_T$  温度  $T$  时装载物料的真实蒸气压，千帕；
- $M$  油气的分子量，克/摩尔；
- $R$  理想气体常数，8.314 焦耳/(摩尔·开氏度)。

若无法监测有机气体控制设施进、出口浓度时，对于挥发油气进行回收再利用的回收设施，可采用收集的物料量表示经油气处理系统处理掉的物料量（即： $Q_1 - Q_2$ ）。

(二) 公式法。

$$E_{\text{装卸}} = \frac{L_L \times Q}{1000} \times (1 - \eta_{\text{总}}) \quad (\text{公式 44})$$

$$\eta_{\text{总}} = \eta_{\text{收集}} \times \eta_{\text{处理}} \times \eta_{\text{投用}} \quad (\text{公式 45})$$

$$\eta_{\text{收集}} = E_1 \div E_0 \quad (\text{公式 46})$$

$$\eta_{\text{处理}} = (E_1 - E_2) \div E_1 \quad (\text{公式 47})$$

$$\eta_{\text{投用}} = t_{\text{投用}} \div t_{\text{理论}} \quad (\text{公式 48})$$

式中：

$L_L$  装载损失排放因子，千克/立方米；

$\eta_{\text{总}}$  总控制效率，%，见表 10；

$\eta_{\text{收集}}$  收集效率，%；

$\eta_{\text{处理}}$  处理效率，%；

$\eta_{\text{投用}}$  投用效率，%；

$t_{\text{投用}}$  有机气体控制设施实际年投用时间，小时；

$t_{\text{理论}}$  伴随油气装载过程理论运行时间，小时。

表 10 装载总控制效率取值表

取值条件	效率
装载系统未设蒸气平衡/处理系统	0 (总控制效率)
真空装载且保持真空度小于-0.37 千帕	100% (收集效率)
罐车与油气收集系统法兰、硬管螺栓连接	100% (收集效率)
其他情况	按公式 45 计算

1. 公路、铁路装载损失排放因子。

$$L_L = C_0 \times S \quad (\text{公式 49})$$

式中：

$S$  饱和因子，代表排出的挥发性有机物接近饱和的程度，见表 11；

$C_0$  装载罐车气、液相处于平衡状态，将挥发性物

料视为理想气体下的密度，千克/立方米；见公式 43。

表 11 公路、铁路装载损失计算中饱和因子

操作方式		饱和因子 s
底部/液下装载	新罐车或清洗后的罐车	0.5
	正常工况（普通）的罐车	1.0
喷溅式装载	新罐车或清洗后的罐车	1.45
	正常工况（普通）的罐车	1.0

## 2. 船舶装载损失排放因子。

(1) 船舶装载原油时：

$$L_L = L_A + L_G \quad (\text{公式 50})$$

式中：

$L_A$  已有排放因子，千克/立方米，见表 12；

$L_G$  生成排放因子，千克/立方米，见公式 51。

表 12 装载原油时的已有排放因子  $L_A$

船舱情况	上次装载	已有排放因子 $L_A$ (千克/立方米)
未清洗	挥发性物质 <sup>a</sup>	0.103
装有压舱物	挥发性物质	0.055
清洗后/无油品蒸气	挥发性物质	0.040
任何状态	不挥发物质	0.040

注：a：指真实蒸气压大于 10 千帕的物质。

生成排放因子  $L_G$ ：

$$L_G = (0.064P_T - 0.42) \frac{MG}{RT} \quad (\text{公式 51})$$

式中：

$L_G$  生成排放因子，千克/立方米；

$P_T$  温度 T 时装载原油的饱和蒸气压，千帕；

$M$  蒸气的分子量，克/摩尔；

$G$  蒸气增长因子 1.02，无量纲量；

$T$  装载时蒸气温度，开氏度；

R 理想气体常数，8.314 焦耳/(摩尔·开氏度)。

(2) 船舶装载汽油时：

船舶装载汽油的损失排放因子  $L_L$  见表 13。

表 13 船舶装载汽油时损失排放因子  $L_L$

舱体情况	上次装载物	油轮/远洋驳船 <sup>a</sup> (千克/立方米)	驳船 <sup>b</sup> (千克/立方米)
未清洗	挥发性物质	0.315	0.465
装有压舱物	挥发性物质	0.205	驳船不压舱
清洗后	挥发性物质	0.180	无数据
无油品蒸气 <sup>c</sup>	挥发性物质	0.085	无数据
任何状态	不挥发物质	0.085	无数据
无油品蒸气	任何货物	无数据	0.245
典型总体状况 <sup>d</sup>	任何货物	0.215	0.410

注：a：远洋驳船（船舱深度 12.2 米）表现出排放水平与油轮相似。

b：驳船（船舱深度 3.0-3.7 米）则表现出更高的排放水平。

c：指从未装载挥发性液体，舱体内部没有 VOCs 蒸气。

d：基于测试船只中 41% 的船舱未清洁、11% 船舱进行了压舱、24% 的船舱进行了清洁、24% 为无蒸气。驳船中 76% 为未清洁。

(3) 船舶装载汽油和原油以外的产品时：

装载损失排放因子  $L_L$  可利用公式 49 计算，饱和因子  $s$  取值见表 14。

表 14 船舶装载汽油和原油以外油品时的饱和因子  $s$

交通工具	操作方式	饱和因子 $s$
水运	轮船液下装载（国际）	0.2
	驳船液下装载（国内）	0.5

(三) 排放系数法。

按公式 44 核算排放量，典型的公路及铁路装载特定情况下装载损耗排放因子  $L_L$  的取值见表 15 和表 16。

1. 公路及铁路装载。

表 15 铁路和公路装载损失排放因子（千克/立方米）

装载物料	底部/液下装载	喷溅装载
------	---------	------

	新罐车或清洗后的罐车	正常工况(普通)的罐车	新罐车或清洗后的罐车	正常工况(普通)的罐车
汽油	0.812	1.624	2.355	1.624
煤油	0.518	1.036	1.503	1.036
柴油	0.076	0.152	0.220	0.152
轻石脑油	1.137	2.275	3.298	2.275
重石脑油	0.426	0.851	1.234	0.851
原油	0.276	0.552	0.800	0.552
轻污油	0.559	1.118	1.621	1.118
重污油	0.362	0.724	1.049	0.724

注：基于设计或标准中雷德蒸气压最大值计算，装载温度取 25 摄氏度。

## 2. 船舶装载。

表 16 船舶装载损失排放因子<sup>a</sup> (千克/立方米)

排放源	汽油 <sup>b</sup>	原油	航空油 (JP4)	航空煤油 (普通)	燃料油 (柴油)	渣油
远洋驳船	表 13	0.073	0.060	0.00063	0.00055	0.000004
驳船	表 13	0.12	0.15	0.0016	0.0014	0.000011

注：a：排放因子基于 16 摄氏度油品获取，表中汽油的雷德蒸气压为 69 千帕。原油的雷德蒸气压为 34 千帕。

b：汽油损失排放因子从表 13 中选取。

## 四、废水集输、储存、处理处置过程逸散

废水集输、储存、处理处置过程 VOCs 排放量核算方法主要包括实测法、物料衡算法和排放系数法，见表 17。核算过程需各种方法配合使用。

表 17 废水收集和处理设施 VOCs 排放量核算方法

核算方法	适用范围
实测法	加盖并设废气处理设施的废水收集和处理设施（不包括生化处理装置）
物料衡算法	未加盖或加盖但废气未收集处理、加盖处理但排气口未监测的废水收集和处理设施（不包括生化处理装置）
排放系数法	未加盖或加盖并设废气处理设施的废水收集和处理设施

### (一) 实测法。

适用于加盖并设废气处理设施的废水收集和处理系统，通过测定废气处理设施出口废气流量、VOCs 浓度、废气回收处理装置的收集效率、去除效率、设施投用率等计算 VOCs 排放量。

$$E_{\text{废水}} = \left[ \sum_{j=1}^n Q_{w,j} \times (VOCs_{j, \text{进水}} - VOCs_{j, \text{出水}}) \times t_{j, \text{总}} - \sum_{j=1}^m Q_{w,j} \times (VOCs_{j, \text{进水}} - VOCs_{j, \text{出水}}) \times \eta_{\text{收集效率}} \times \eta_{\text{去除效率}} \times t_{j, \text{投用}} \right] \times 10^{-3} \quad (\text{公式 52})$$

$$\eta_{\text{收集效率}} = \frac{Q_g \times VOCs_{\text{进气}} \times 10^{-3}}{\sum_{j=1}^m Q_{w,j} \times (VOCs_{j, \text{进水}} - VOCs_{j, \text{出水}})} \times 100\% \quad (\text{公式 53})$$

$$\eta_{\text{去除效率}} = \frac{Q_g \times (VOCs_{\text{进气}} - VOCs_{\text{出气}})}{Q_g \times VOCs_{\text{进气}}} \times 100\% \quad (\text{公式 54})$$

式中：

$E_{\text{废水}}$  挥发性有机物逸散量，千克/年；

$Q_{w,j}$  废水收集、处理系统  $j$  工段的废水流量，立方米/小时；

$VOCs_{j, \text{进水}}$  废水收集、处理系统  $j$  工段进水中的挥发性有机物浓度，毫克/升；

$VOCs_{j, \text{出水}}$  废水收集、处理系统  $j$  工段出水中的挥发性有机物浓度，毫克/升；

$t_{\text{未投用}}$   $j$  工段未被废气处理设施收集处理的小时数，小时；

$t_{\text{投用}}$   $j$  工段被废气处理设施收集处理的小时数，

小时;

$n$  废水收集、处理系统工段个数;

$m$  加盖并设废气处理设施的收集和处埋系统工段个数;

$Q_g$  废气处理设施进口废气处理流量, 立方米/小时;

$VOCs_{\text{进气}}$  废气处理设施进口挥发性有机物浓度, 毫克/立方米;

$VOCs_{\text{出气}}$  废气处理设施出口挥发性有机物浓度, 毫克/立方米;

$\eta_{\text{收集效率}}$  加盖收集进入废气处理设施挥发性有机物的收集效率, %;

$\eta_{\text{去除效率}}$  废气处理设施挥发性有机物的去除效率, %。

## (二) 物料衡算法。

$$E_{\text{废水}} = E_{\text{油相}} + E_{\text{水相}} \quad (\text{公式 } 55)$$

式中:

$E_{\text{油相}}$  收集系统集水井、处理系统浮选池和隔油池中油层的 VOCs 排放量, 千克/年, 见公式 10, 无浮油真实蒸气压的, 按 85 千帕计算;

$E_{\text{水相}}$  废水收集支线和废水处理厂水相中 VOCs 排放

量，千克/年，见公式 56。

$$E_{\text{水相}} = \sum_{i=1}^n \left[ 10^{-3} \times Q_i \times (EVOCs_{\text{进水},i} - EVOCs_{\text{出水},i}) \times t_i \right] \quad (\text{公式 56})$$

式中：

- $E_{\text{水相}}$  废水收集或处理设施的挥发性有机物年排放量，千克/年；
- $Q_i$  废水收集或处理设施  $i$  的废水流量，立方米/小时；
- $EVOCs_{\text{进水},i}$  废水收集或处理设施  $i$  进水中的逸散性挥发性有机物浓度，毫克/升；参照《水质 总有机碳的测定 燃烧氧化-非分散红外吸收法》HJ 501 - 2009 中可吹脱有机碳（POC）的测试和计算方法，其中 POC 为总有机碳（TOC）与不可吹脱有机碳（NPOC）的差值；
- $EVOCs_{\text{出水},i}$  废水收集或处理设施  $i$  出水中的逸散性挥发性有机物浓度，毫克/升；
- $t_i$  废气处理设施  $i$  的年运行时间，小时/年。

（三）排放系数法。

$$E_{\text{废水}} = \sum_{i=1}^n (S \times Q_i \times t_i) \quad (\text{公式 57})$$

式中：

- $S$  排放系数，千克/立方米，见表 18；

$Q_i$  废水处理设施  $i$  的处理量，立方米/小时；

$t_i$  废水处理设施  $i$  的年运行时间，小时/年。

表 18 石化废水处理设施 VOCs 排放量排放系数法

适用范围	单位排放强度 (千克/立方米)	备注
废水收集系统及油水分离	0.6	排放量(千克)=排放系数×废水处理量(立方米)
废水处理厂-废水处理设施 <sup>a</sup>	0.005	排放量(千克)=排放系数×废水处理量(立方米)

注：a：废水处理设施指除收集系统及油水分离外的其他处理设施。

## 五、燃烧烟气排放

### (一) 实测法。

$$E_{\text{燃烧}} = \sum_{n=1}^N (10^{-6} \times C_n \times Q_n \times t) \quad (\text{公式 58})$$

式中：

$E_{\text{燃烧}}$  燃烧烟气 VOCs 的排放速率，千克/年；

$N$  每年测量次数，次/年，（如自动检测仪每 1 小时记录 1 次测量值，则  $N=8760$ ）；

$n$  测量次数，第  $n$  次测量；

$Q_n$  第  $n$  次测量时的烟气流量（干基），  
标立方米/小时；

$C_n$  第  $n$  次测量时排放口的 VOCs 浓度，毫克/标立方米；

$t$  两次测量之间间隔的时长，小时。

(二) 排放系数法。

$$E_{\text{燃烧}} = \sum_{i=1}^n (10^{-3} \times Q_{\text{fuel},i} \times EF_i \times t) \quad (\text{公式 } 59)$$

式中：

$Q_{\text{fuel},i}$  燃料 i 的消耗量，煤（吨/小时）、天然气（立方米/小时）、液化石油气（立方米/小时，液态）；

$EF_i$  燃料 i 的排放系数，千克/单位燃料消耗，见表 19；

t 装置的年运行时间，小时/年。

表 19 燃料 VOCs 排放系数

燃料类型	锅炉形式	排放系数（千克/吨-煤）
烟煤和亚烟煤 <sup>a</sup>	煤粉炉，固态排渣	0.030
	煤粉炉，液态排渣	0.020
	旋风炉	0.055
	抛煤机链条炉排炉	0.025
	上方给料炉排炉	0.025
	下方给料炉排炉	0.650
	手烧炉	5.000
	流化床锅炉	0.025
褐煤 <sup>a</sup>	煤粉炉，固态排渣，切圆燃烧	0.020
	旋风炉	0.035
	抛煤机链条炉排炉	0.015
	上部给料链条炉排炉	0.015
	常压流化床锅炉	0.015
无烟煤 <sup>b</sup>	炉排炉	0.150
燃油 <sup>a</sup>	电站锅炉	0.038（千克/吨-油）
	工业燃油锅炉	0.140（千克/吨-油）
	工业燃馏分油锅炉	0.100（千克/吨-油）
天然气 <sup>b</sup>	-	1.762E-04（千克/立方米天然气）
丁烷 <sup>b</sup>	-	0.132（千克/立方米液化石油气，液态）
丙烷 <sup>b</sup>	-	0.120（千克/立方米液化石油气，液态）

注：a：此处排放系数以总非甲烷有机物（TNMOC）代替 VOCs；

b：此处排放系数以总有机化合物（TOC）代替 VOCs。

## 六、工艺有组织排放

### (一) 实测法。

$$E_{\text{有组织}} = \sum_{n=1}^N (10^{-6} \times Q_n \times C_n \times t) \quad (\text{公式 60})$$

式中：

- $E_{\text{有组织}}$  有组织排放工艺废气的 VOCs 年排放量，  
千克/年；
- $N$  每年测量次数，次/年，（如自动检测仪每 1 小时记录 1 次测量值，则  $N=8760$ ）；
- $n$  测量次数，第  $n$  次测量；
- $Q_n$  第  $n$  次测量时排放口的废气流量（干基），标  
立方米/小时；
- $C_n$  第  $n$  次测量时排放口的 VOCs 浓度（干基），  
毫克/标立方米；
- $t$  两次测量之间间隔的时长，小时。

### (二) 物料衡算法。

没有化学反应的操作单元或过程的 VOCs 排放量可用核  
算：

$$\Sigma G_{\text{排放}i} = \Sigma G_{\text{进料}i} - \Sigma G_{\text{产(副)品}i} - \Sigma G_{\text{废物}i} - \Sigma G_{\text{回收}i} \quad (\text{公式 61})$$

式中：

$\Sigma G_{\text{排放}}$  单元或过程 VOCs 年排放量，千克/年；

$\Sigma G_{\text{进料}}$  单元或过程进料量，千克/年；

$\Sigma G_{\text{产(副)品}}$  单元或过程产品和副产品量，千克/年；

$\Sigma G_{\text{废物}}$  单元或过程排放液体及固体废物量，千克/年；

$\Sigma G_{\text{回收}}$  单元或过程回收的物料量，千克/年。

采用物料平衡法核算 VOCs 排放量时，需分析生产工艺过程、物料组成、产品（副产品）转化率、污染物控制指标基本运行参数。

### （三）排放系数法。

用于延迟焦化装置开焦炭塔之前的 VOCs 排放量核算。

$$E_{\text{焦炭塔}} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{t_i}{r_i} \times EF \times N_i \right) \quad (\text{公式 62})$$

式中：

$E_{\text{有组织}}$  延迟焦化装置焦炭塔 VOCs 年排放量，  
千克/年；

$t_i$  延迟焦化装置 i 的年运行时间，小时/年；

$r_i$  延迟焦化装置 i 的生焦周期，次/小时；

$EF$  排放系数，千克/（单塔·单次循环），取  
25.9；

$N_i$  延迟焦化装置 i 的单次循环焦炭塔个数。

## 七、工艺无组织排放

排放系数法适用于延迟焦化装置切焦过程的 VOCs 排放量核算。

$$E_{\text{无组织}} = \sum_{i=1}^n (EF \times Flow_{\text{进料}i} \times t_i) \quad (\text{公式 63})$$

式中：

$E_{\text{无组织}}$  延迟焦化装置切焦过程 VOCs 年排放量，  
千克/年；

$Flow_{\text{进料}i}$  延迟焦化装置 i 的进料量，吨/小时；

$EF$  VOCs 排放系数，吨/吨-装置进料，取  
1.63E-04；

$t_i$  延迟焦化装置 i 的年运行时间，小时/年。

## 八、采样过程排放

采样过程的排放量核算依据设备动静密封点的核算方法。

密闭式采样或等效设施的排放速率可采用相关方程法，见公式 5 和表 1。采样瓶与采样口连接的，采用“连接件”系数核算排放量；采样瓶不与采样口连接的，采用“开口管线”系数核算排放量。

开口式采样的排放速率应采用平均排放系数法，见表 3 和公式 6。采样过程中排出的置换残液或气未经处理直接

排入环境的，采用“采样连接系统”和“开口管线”系数分别核算排放量；置换残液或气排入收集处理设施的，采用“开口管线”系数核算排放量。

## 九、火炬排放

(一) 基于火炬的物料衡算法。

$$E_{\text{火炬}, i} = \sum_{n=1}^N \left[ Q_n \times t_n \times C_n \times \frac{M_n}{22.4} \times (1 - F_{\text{eff}}) \right] \quad (\text{公式 64})$$

式中：

$E_{\text{火炬}, i}$  火炬  $i$  的 VOCs 排放量，千克/年；

$n$  测量序号，第  $n$  次测量；

$N$  年测量次数或火炬每次工作时的测量次数；

$Q_n$  第  $n$  次测量时火炬气的流量，立方米/小时；

$t_n$  第  $n$  次测量时火炬的工作时间，小时；

$C_n$  第  $n$  次测量时 VOCs 的体积分数；

$M_n$  第  $n$  次测量时 VOCs 的分子量，千克/千摩尔；

22.4 摩尔体积转换系数，立方米/千摩尔；

$F_{\text{eff}}$  火炬的燃烧效率，%。

本方法需对进入火炬气体的成分和流量进行连续测量。当火炬非连续工作时，在火炬工作状态下应至少每 3 小时取样分析一次。本方法假定火炬正常操作过程中  $F_{\text{eff}} > 98\%$ 。部分条件下需修正火炬排放效率，见表 20。

表 20 火炬的燃烧效率取值

火炬工况	助燃气体类型	火炬操作条件	火炬燃烧效率
正常	无助燃	A. 火炬气体的净热值 $\geq 7.45\text{MJ/m}^3$ ; B. 当直径 $\geq \text{DN}80\text{ mm}$ 、氢含量 $\geq 8\%$ (体积百分数) 时, 出口流速 $< 37.2\text{ m/s}$ 且 $< V_{\text{max}}$ ; C. 出口流速 $< 18.3\text{ m/s}$ , 但当燃烧气体的净热值 $> 37.3\text{ MJ/m}^3$ 时, 允许排放流速 $\geq 18.3\text{ m/s}$ , 但应 $< V_{\text{max}}$ 且 $< 122\text{ m/s}$	98%
	蒸汽助燃	A. 火炬气体的净热值 $\geq 11.2\text{MJ/m}^3$ B. 出口流速 $< 18.3\text{ m/s}$ , 但当燃烧气体的净热值 $> 37.3\text{ MJ/m}^3$ 时, 允许排放流速 $\geq 18.3\text{ m/s}$ , 但应 $< V_{\text{max}}$ 且 $< 122\text{ m/s}$ ; C. 蒸汽/气体 $\leq 4$	98%
	空气助燃	A. 火炬气体的净热值 $\geq 11.2\text{MJ/m}^3$ ; B. 出口流速 $< V_{\text{max}}$	98%
非正常	无助燃	不满足火炬气净热值、出口流速的条件	93%
	蒸汽助燃	不满足火炬气净热值、出口流速的条件	93%
		不满足蒸汽与气体比值的条件	80%
空气助燃	不满足火炬气净热值、出口流速的条件	93%	
故障		火炬气流量超过设计值、火炬故障停用或未投用	0%

(二) 基于装置的物料衡算法。

$$E_{\text{火炬}} = \sum_{n=1}^N [Q_n \times (1 - Feff)] \quad (\text{公式 } 65)$$

式中:

$E_{\text{火炬}}$  火炬系统的 VOCs 年排放量, 千克/年;

$N$  每年排放次数, 次/年;

$n$  排放次数, 第  $n$  次排放;

$Q_n$  第  $n$  次排放时的排入火炬的总废气量(干基), 千克;

$Feff$  火炬燃烧效率。

本方法适用于未对火炬进行实际测量的情况, 假定火炬燃烧效率为 80%。

(三) 基于热值的排放系数法。

$$E_{\text{火炬}, i} = \sum_{n=1}^N (Q_n \times t_n \times LHV_n \times EF) \quad (\text{公式 66})$$

式中:

$E_{\text{火炬}, i}$  火炬  $i$  的 VOCs 排放量, 千克/年;

$n$  测量序号, 第  $n$  次测量;

$N$  年测量次数或火炬每次工作时的测量次数;

$Q_n$  第  $n$  次测量时火炬气的体积流量, 立方米/小时;

$t_n$  第  $n$  次测量时火炬的工作时间, 小时;

$LHV_n$  第  $n$  次测量时火炬气的低热值, 兆焦耳/立方米;

$EF$  VOCs 的排放系数, 千克/兆焦, 成分是总烃 (以甲烷计) 的情况下, 系数取  $6.02 \text{ E-}05$ 。

测量气体体积应和测定气体热值的标准条件相同。火炬停用或故障时, 公式 66 应乘以  $1/(1-F_{\text{eff}})$ , 其中  $F_{\text{eff}}$  默认值取 98%。

## 十、非正常工况 (含开停工及维修) 排放

除火炬系统按公式 64 和公式 66 核算 VOCs 排放量时, 开停工过程的 VOCs 排放量可不重复核算外, 均应单独核算。

(一) 公式法 (气体加工容器)。

$$E_{\text{开停工}} = \sum_{i=1}^n \left[ 10^{-6} \times \frac{P_V + 101.325}{101.325} \times \frac{273.15}{T} \times (V_V \times f_{\text{空置}}) \times C \right]_i \quad (\text{公式 67})$$

- $E_{\text{开停工}}$  开停工过程的 VOCs 排放量, 千克/年;
- $P_V$  泄压气体排入大气时容器的表压, 千帕
- $T$  泄压气体排入大气时容器的温度, 开氏度;
- $V_V$  容器的体积, 立方米;
- $f_{\text{空置}}$  容器的体积空置分数, 除去填料、催化剂或塔盘等所占体积后剩余体积的百分数, 在容器中不存在内构件时, 取 1;
- $C$  泄压气体中 VOCs 的浓度, 毫克/标立方米;
- $i$  每年的开停工次数。

(二) 公式法 (液体加工容器)。

$$E_{\text{开停工}} = \sum_{i=1}^n \left[ V_V \times (1 - V') \times f_1 \times d \times WF \times \left[ f_2 \times (1 - F_{\text{eff}}) + (1 - f_2) \right] \right]_i \quad (\text{公式 68})$$

式中:

- $E_{\text{开停工}}$  开停工过程的 VOCs 排放量, 千克/年;
- $V_V$  容器的体积, 立方米;
- $V'$  容器内填料、催化剂或塔盘等所占体积分  
数, 在容器中不存在内构件时, 取 0;
- $f_1$  容器吹扫前液体薄层或残留液体的体积分

数，取值在 0.1% 至 1% 之间；

d 液体的密度，千克/立方米；

WF 容器内 VOCs 的质量分数；

f<sub>2</sub> 液体薄层或残留液体被吹扫至火炬或其它处理设施的质量分数；

E<sub>eff</sub> 火炬或处理设施的效率%，其中火炬效率可在九火炬排放中查找，处理设施的效率采用实

测值。

## 十一、冷却塔、循环水冷却系统释放

### (一) 物料衡算法。

$$E_{\text{冷却塔}} = \sum_{i=1}^n \left[ 10^{-3} \times Q_i \times (EVOCs_{\text{入口}i} - EVOCs_{\text{出口}i}) \times t_i \right] \quad (\text{公式 69})$$

式中：

E<sub>冷却塔</sub> 冷却塔 VOCs 排放量，千克/年；

Q<sub>i</sub> 冷却塔 i 的循环水流量，立方米/小时；

EVOCs<sub>入口</sub> 冷却水暴露空气前 EVOCs 的浓度，毫克/升；

EVOCs<sub>出口</sub> 冷却水暴露空气后 EVOCs 的浓度，毫克/升；

t<sub>i</sub> 冷却塔 i 的年运行时间，小时/年；

EVOCs<sub>入口</sub> 和 EVOCs<sub>出口</sub> 有多组检测数据的，取平均值。

公式 69 假定冷却水补水与蒸发损失、风吹损失相等且冷却

塔进出流速不变。

## (二) 排放系数法。

无循环水检测数据时，可采用排放系数法进行核算：

$$E_{\text{冷却塔}} = \sum_{i=1}^n (Flow_{\text{冷却水},i} \times EF \times t_i) \quad (\text{公式 70})$$

式中：

$E_{\text{冷却塔}}$  冷却塔 VOCs 年排放量，千克/年；

$Flow_{\text{冷却水},i}$  冷却塔 i 的循环水量，立方米/小时；

$EF$  VOCs 排放系数，千克/立方米-循环水，  
取 7.19E-04；

$t_i$  冷却塔 i 的年运行时间，小时/年。

## 十二、事故排放

### (一) 工艺装置事故。

在工艺装置处于正常运行状态下使用特定排放系数或本书提供的其他方法进行排放量计算时，均应考虑工艺装置的去除效率。表 21 提供了催化裂化装置和焦化装置默认去除效率和事故状态下的修正系数。如果控制状态的排放量数据已知，则事故状态或停机状态下的非控制排放量可使用公式 71 进行计算。

$$E_{\text{事故},i} = e_{\text{事故},i} \times EM_i \times t \quad (\text{公式 71})$$

式中：

$E_{\text{事故},i}$  事故状态或停机状态下污染物  $i$  的排放量，千克/事件；

$e_{\text{事故},i}$  根据测量数据或现场的排放测试数据得出的控制状态下的污染物  $i$  的排放速率，千克/小时；

$EM_i$  基于 21 工艺装置中污染物  $i$  的受控排放乘数；

$t$  事故持续时间，小时/事件。

表 21 工艺装置的效率及工艺装置事故乘数

污染源/工艺装置描述	污染物种类 <sup>a</sup>	工艺装置效率 <sup>b</sup> /%	受控排放的乘数 <sup>c</sup>
催化裂化或焦化/静电除尘	PM、金属 HAP	92	12.5
	VOCs、有机 HAP	0	1
催化裂化或焦化/锅炉	VOCs、多数有机 HAP	98%	50
	PAH、甲醛	~100%	0.5

注：a 污染物种类。仅列出受工艺装置影响的污染物。对其他污染物，假定工艺装置的去除效率为 0% 且排放倍数为 1。

b 工艺装置效率。负值表示工艺装置会造成某种污染物的增加。

c 受控排放的乘数。提高控制状态排放系数使之能反应事故状态的排放，该乘数=1/(1-工艺装置效率)。

## (二) 容器超压排放。

如容器超压排放气体送入火炬，并且对进入火炬气体进行监测，并选择合适的方法进行排放量估算，则可不单独计算容器超压，否则需单独计算容器超压排放的 VOCs。

## (三) 喷溅。

喷溅出的液体蒸发分为闪蒸蒸发、热量蒸发和质量蒸发三种，其蒸发总量为这三种蒸发之和，可用以下公式进行排

放量计算。

(1) 闪蒸量的估算。

过热液体闪蒸量可按下式估算：

$$Q_1 = \frac{F \times W_T}{t_1} \quad (\text{公式 72})$$

式中：

$Q_1$  闪蒸量，千克/秒；

$W_T$  液体泄漏总量，千克；

$t_1$  闪蒸蒸发时间，秒；

$F$  蒸发的液体占液体总量的比例；按下式计算：

$$F = C_p \frac{T_L - T_b}{H} \quad (\text{公式 73})$$

式中：

$C_p$  液体的定压比热，焦耳/(千克·开氏度)；

$T_L$  泄漏前液体的温度，开氏度；

$T_b$  液体在常压下的沸点，开氏度；

$H$  液体的气化热，焦耳/千克。

(2) 热量蒸发估算。

热量蒸发的蒸发速度  $Q_2$  按下式计算：

$$Q_2 = \frac{\lambda S \times (T_0 - T_b)}{H \sqrt{\pi \alpha t}} \quad (\text{公式 74})$$

式中：

$Q_2$  热量蒸发速度，千克/秒；

- $\lambda$  表面热导系数，瓦/（米·开氏度）；
- $T_0$  环境温度，开氏度；
- $T_b$  沸点温度，开氏度；
- $S$  液池面积，平方米；
- $H$  液体气化热，焦耳/千克；
- $\alpha$  表面热扩散系数（见表 22），平方米/秒；
- $t$  蒸发时间，秒。

(3) 质量蒸发估算。

质量蒸发速度  $Q_3$ ：

$$Q_3 = \alpha \times P \times M / (R \times T_0) \times u^{(2-n) \times (2+n)} \times r^{(4+n)/(2+n)} \quad (\text{公式 75})$$

式中：

- $Q_3$  质量蒸发速度，千克/秒；
- $\alpha, n$  大气稳定度系数，见表 23；
- $P$  液体表面蒸汽压，帕；
- $R$  气体常数，焦耳/摩尔·开氏度；
- $M$  分子量，克/摩尔；
- $T_0$  环境温度，开氏度；
- $u$  风速，米/秒；
- $r$  液池半径，米。

有围堰时，以围堰最大等效半径为液池半径；无围堰时，设定液体瞬间扩散到最小厚度时，推算液池等效半径。

(4) 液体蒸发总量的计算。

$$W_P = Q_1 t_1 + Q_2 t_2 + Q_3 t_3 \quad (\text{公式 76})$$

式中:

$W_P$  液体蒸发总量, 千克;

$Q_1$  闪蒸蒸发液体量, 千克;

$Q_2$  热量蒸发速率, 千克/秒;

$t_1$  闪蒸蒸发时间, 秒;

$t_2$  热量蒸发时间, 秒;

$Q_3$  质量蒸发速率, 千克/秒;

$t_3$  从液体泄漏到液体全部处理完毕的时间, 秒。

表 22 某些地面的热传递性质

地面情况	$\lambda$ [瓦/(米开氏度)]	$\alpha$ (平方米/秒)
水泥	1.1	$1.29 \times 10^{-7}$
土地(含水 8%)	0.9	$4.3 \times 10^{-7}$
干阔土地	0.3	$2.3 \times 10^{-7}$
湿地	0.6	$3.3 \times 10^{-7}$
砂砾地	2.5	$11.0 \times 10^{-7}$

表 23 液池蒸发模式参数

稳定度条件	$n$	$\alpha$
不稳定(A, B)	0.2	$3.846 \times 10^{-3}$
中性(D)	0.25	$4.685 \times 10^{-3}$
稳定(E, F)	0.3	$5.285 \times 10^{-3}$

## 附录

### 附录一 响应因子确定

根据物料的组分及浓度，查阅仪器制造商提供的数据或按照 HJ 733 中 3.2.1 规定的方法通过实验确定仪器对各组分的响应因子。如果各组分的响应因子在泄漏定义浓度到仪器最大测量值范围内均小于 3，则不需要修正检测值；如果有一种或多种组分的响应系数大于等于 3，则需要按照公式 77 计算检测仪器对物料的合成响应因子。 $RF_m < 3$ ，不需要修正检测值； $3 \leq RF_m < 10$ ，需要修正检测值；如果  $RF_m \geq 10$ ，则需要更换仪器或选择其它校准气体校准仪器，并测定新响应因子，直到物料响应因子  $RF_m < 10$  为止。

$$RF_m = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{X_i}{RF_i}} \quad (\text{公式 77})$$

式中：

$RF_m$  物料合成响应因子；

$RF_i$  组分 i 的响应因子；

$X_i$  组分 i 占物料中 TOC 的摩尔百分数。

$$SV = SV_0 \times RF_m \quad (\text{公式 78})$$

式中：

$SV$  修正后的净检测值， $\mu\text{mol}/\text{mol}$ ；

$SV_0$  净检测值， $\mu\text{mol}/\text{mol}$ ；

## 附录二 废气流量干基、标准状态转化

$$Q_n = Q_{act} \times [1 - (f_{H_2O})_n] \times \left(\frac{T_0}{T_n}\right) \times \left(\frac{P_n}{P_0}\right)$$

- $Q_n$  第  $n$  次测量时的气体流量（干基），  
标立方米/小时；
- $Q_{act}$  第  $n$  次测量时的气体流量，立方米；
- $f_{H_2O}$   $(f_{H_2O})_n$  第  $n$  次测量时烟气的含水量，体积分数  
(% V)；
- $T_0$  标准状态下温度，273.15K；
- $T_n$  第  $n$  次测量时的温度，开氏度；
- $P_n$  第  $n$  次测量时的平均压力，千帕；
- $P_0$  标准状态下压力，101.325 千帕；

## 附表

### 附表 1 需单独核算的污染物

序号	污染物	污染当量值 (千克)
1	苯	0.05
2	甲苯	0.18
3	二甲苯	0.27
4	丙烯醛	0.06
5	甲醇	0.67
6	酚类	0.35
7	苯胺类	0.21
8	氯苯类	0.72
9	硝基苯	0.17
10	丙烯氢	0.22
11	二甲二硫	0.28
12	苯乙烯	25
13	二硫化碳	20
14	苯并[a]芘	0.000002

### 附表 2 存储物料理化参数 (部分)

油品名称	液体密度 (吨/立方米)	温度 (°C)	真实蒸气压 (千帕)	15.6 °C 时油气分子量 (克/摩尔)
轻质原油	0.86	37.8	65	50
重质原油	0.86	37.8	45	50
汽油	0.77	37.8	85	68
轻石脑油	0.72	37.8	100	80
重石脑油	0.72	37.8	40	80
航煤	0.78	37.8	30	140
柴油	0.84	37.8	7	140
烷基化油	0.7	37.8	80	68
抽余油	0.67	37.8	80	80
污油	0.77	37.8	85	68
热蜡油	0.88	100	0.67	190
热渣油	0.92	100	0.39	190

注：表中的真实蒸气压取值为理论计算的最大值

### 附表 3 单位换算表

类别	单位换算
长度	1 米=4.2808 英尺
体积	1 立方米=264.2 加仑
	1 立方米=6.28 桶

类别	单位换算
	1 立方米=45.41 立方英尺
质量	1 千克=2.20 磅
密度	1 克/立方米=8.44 磅/加仑
	1 克/立方米=0.00006 磅/立方英尺
压力	1 千帕=7.5 毫米汞柱
	1 千帕=0.145 磅/平方英寸 (绝压)
风速	1 米/秒=2.24 迈
边缘密封损失系数	1 摩尔/(米·年)=0.67 磅-摩尔/(英尺·年)
油垢因子	1 立方米/1000 平方米=0.58 桶/1000 平方英尺
太阳辐射因子	1 瓦/平方米= 4.711 英热/(平方英尺·天)