

# 上海市石化行业 VOCs 排放量计算方法

(试行)

上海市环境保护局

# 目 次

目 次.....	I
前 言.....	II
1 适用范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	2
4 计算方法.....	2
4.1 设备动静密封点泄漏.....	4
4.2 有机液体储存与调和挥发损失.....	8
4.3 有机液体装载挥发损失.....	10
4.4 废水集输、储存、处理处置过程逸散.....	14
4.5 燃烧烟气排放.....	15
4.6 工艺有组织排放.....	16
4.7 工艺无组织排放.....	19
4.8 采样过程排放.....	20
4.9 火炬排放.....	20
4.10 非正常工况（含开停工及维修）排放.....	22
4.11 冷却塔、循环水冷却系统释放.....	23
4.12 事故排放.....	24
附录 A 固定顶罐总损失计算.....	28
附录 B 浮顶罐总损失计算.....	36
附录 C 单位换算表.....	41

## 前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国大气污染防治法》、《上海市大气污染防治条例》等法律、法规，保护环境，防治污染，促进上海市石化行业的技术进步和挥发性有机物（VOCs）减排，制定本方法。

本方法规定了石化行业VOCs排放量计算方法。

本方法根据《石油化工有限公司VOCs排放量计算办法》（财税〔2015〕71号）编制。

本方法由上海市环境保护局组织制订。

本方法由上海环境科学研究院起草。

# 上海市石化行业 VOCs 排放量计算方法

## 1 适用范围

本方法适用于连续性生产的石化行业（包括但不限于：石油炼制工业、石油化学工业和合成树脂工业）VOCs 排放量计算。

本方法适用于石化行业企业或生产设施的 VOCs 排放管理。

## 2 规范性引用文件

本方法内容引用了下列文件或其中的条款。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本方法。

GB 20950	储油库大气污染物排放标准
GB 20951	汽油运输大气污染物排放标准
GB 31570	石油炼制工业污染物排放标准
GB 31571	石油化学工业污染物排放标准
GB 31572	合成树脂工业污染物排放标准
GB/T 8017	石油产品蒸气压的测定雷德法
GB/T 16157	固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法
HJ 494	水质采样技术指导
HJ 495	水质采样方案设计技术规定
HJ 501	水质总有机碳的测定 燃烧氧化—非分散红外吸收法
HJ 637	水质石油类和动植物油类的测定 红外分光光度法
HJ 639	水质挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱—质谱法
HJ 686	水质挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱法
HJ 732	固定污染源废气挥发性有机物的采样 气袋法
HJ 733	泄漏和敞开液面排放的挥发性有机物检测技术导则
HJ 734	固定污染源废气挥发性有机物的测定 固相吸附-热脱附/气相色谱-质谱法
HJ/T 38	固定污染源排气中非甲烷总烃的测定 气相色谱法
HJ/T 55	大气污染物无组织排放监测技术导则
HJ/T 75	固定污染源烟气排放连续监测技术规范（试行）
HJ/T 397	固定源废气监测技术规范

SH/T 3002 石油库节能设计导则

SH/T 3007 石油化工储运系统罐区设计规范

《污染源自动监控管理办法》（国家环境保护总局令第 28 号）

《环境监测管理办法》（国家环境保护总局令第 39 号）

《挥发性有机物排污收费试点办法》（财税〔2015〕71 号）

《石化行业 VOCs 污染源排查工作指南》（环办〔2015〕104 号）

《设备泄漏挥发性有机物排放控制技术（泄漏检测与修复）规程（试行）》（沪环保防〔2014〕327 号）

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本方法。

#### 3.1 石油炼制工业 Petroleum Refining Industry

以原油、重油等为原料，生产汽油馏分、柴油馏分、燃料油、润滑油、石油蜡、石油沥青和石油化工原料等的工业。

#### 3.2 石油化学工业 Petroleum Chemistry Industry

以石油馏分、天然气等为原料，生产有机化学品、合成树脂、合成纤维合成橡胶等的工业。

#### 3.3 合成树脂工业 Synthetic Resin Industry

以低分子化合物——单体为主要原料，采用聚合反应结合成大分子的方式生产合成树脂的工业，或者以普通合成树脂为原料，采用改性等方法生产新的合成树脂产品的工业。也包括以合成树脂为原料，采用混合、共混、改性等工艺，通过挤出、注射、压制、发泡等方法生产合成树脂制品的工业，或者以废合成树脂为原料，通过再生的方法生产新的合成树脂过合成树脂制品的工业。

#### 3.4 挥发性有机物 Volatile Organic Compounds, VOCs

参与大气光化学反应的有机化合物，或者根据规定的方法计算或测量确定的有机化合物。

a) 20℃时蒸汽压不小于10 Pa，或者101.325 kPa标准大气压下沸点不高于260℃的有机化合物；或者实际生产条件下具有以上相应挥发性的有机化合物；但是不包括甲烷。

b) 采用规定方法测定的非甲烷总烃，或者上述a)项有机化合物。

#### 3.5 非甲烷总烃 Non-methane Hydrocarbon, NMHC

采用规定的监测方法，监测器有明显响应的除甲烷外的碳氢化合物的总称（以碳计）。

### 4 计算方法

石化行业VOCs排放来自于物料生产、输送和加工等过程。

主要VOCs的排放源项有：

- (1) 设备动静密封点泄漏
- (2) 有机液体储存与调和挥发损失
- (3) 有机液体装载挥发损失
- (4) 废水集输、储存、处理处置过程逸散
- (5) 燃烧烟气排放
- (6) 工艺有组织排放
- (7) 工艺无组织排放
- (8) 采样过程排放
- (9) 火炬排放
- (10) 非正常工况（含开停工及维修）排放
- (11) 冷却塔、循环水冷却系统释放
- (12) 事故排放

根据石化行业VOCs排放特点，采用源项归类解析法计算VOCs排放量，VOCs排放量为各源项VOCs排放量总和，见公式1。

$$E_{\text{石化}} = \sum_{m=1}^{12} (E_{0,m} - D_{0,m}) \quad (\text{公式1})$$

式中：

$E_{\text{石化}}$ ——统计期内VOCs排放量，千克；

$E_{0,m}$ ——统计期内源项m的VOCs产生量，千克；

$D_{0,m}$ ——统计期内源项m污染控制设施的VOCs去除量，千克。

各源项VOCs产生量为该源项每一种VOCs组份产生量的加和，见公式2：

$$E_{0,m} = \sum_{i=1}^n E_{0,i} \quad (\text{公式2})$$

式中：

$E_{0,i}$ ——统计期内单个源项VOCs组份i的产生量，见公式3，千克。

$$E_{0,i} = \sum_{n=1}^N \left( E_{\text{排放源n,i}} \times \frac{WF_i}{WF_{VOC}} \right) \quad (\text{公式3})$$

式中：

$E_{\text{排放源},i}$ ——统计期内含VOCs组份i的第n个排放源的VOCs产生量，千克；

N——含VOCs组份i的排放源总数；

$WF_i$ ——流经或储存于排放源的物料中VOCs组份i的平均质量分数；

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

#### 4.1 设备动静密封点泄漏

设备泄漏是指设备组件密封点的密封失效致使内部物料逸散至大气中，造成VOCs排放的现象。设备组件密封点通常指泵/搅拌器、压缩机、泄压设备、放空阀或放空管、阀门、法兰及其连接件或仪表等动、静密封点。

设备动静密封点泄漏的VOCs产生量计算方法有实测法、公式法和系数法。

设备泄漏VOCs产生量计算见公式1-1：

$$E_{0,\text{设备}} = \sum_{i=1}^n \left( e_{\text{TOC},i} \times \frac{WF_{\text{VOC},i}}{WF_{\text{TOC},i}} \times t_i \right) \quad (\text{公式 1-1})$$

式中：

$E_{0,\text{设备}}$ ——统计期内设备泄漏环节VOCs产生量，千克；

$t_i$ ——统计期内密封点i的运行时间，小时；

$e_{\text{TOC},i}$ ——密封点i的TOCs泄漏速率，千克/小时；

$WF_{\text{VOC},i}$ ——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  $\frac{WF_{\text{VOC},i}}{WF_{\text{TOC},i}}$  按1计。

##### 4.1.1 泄漏速率

###### 4.1.1.1 实测法

采用包袋法和大体积采样法对密封点进行实测，所得泄漏速率最接近真实VOCs产生情况。

###### 4.1.1.2 公式法

###### (1) 相关方程法

相关方程法规定了默认零值泄漏速率、限定泄漏速率和相关方程。当密封点的净检测值小于1时，用默认零值泄漏速率作为该密封点排放速率；当净检测值大于50000  $\mu\text{mol/mol}$ ，用限定泄漏速率作为该密封点泄漏速率。净检测值在两者之间，采用相关方程计算该密封点的泄漏速率，详见表1-1。若企业未记录低于泄漏定义浓度限值的密封点的净检测值，可将泄漏定义浓度限值作为检测值代入计算。

$$e_{TOC} = \sum_{i=1}^n \begin{cases} e_{0,i} (0 \leq SV < 1) \\ e_{p,i} (SV \geq 50000) \\ e_{f,i} (1 \leq SV < 50000) \end{cases} \quad (\text{公式 1-2})$$

式中：

$e_{TOC}$ ——密封点的 TOC 泄漏速率，千克/小时；

SV——密封点的泄漏浓度净检测值， $\mu\text{mol/mol}$ ；

$e_{0,i}$ ——密封点 i 的默认零值泄漏速率，千克/小时；

$e_{p,i}$ ——密封点 i 的限定泄漏速率，千克/小时；

$e_{f,i}$ ——密封点 i 的相关方程计算泄漏速率，千克/小时。

各类型密封点的泄漏速率按表 1-1 计算。

表 1-1 相关方程计算泄漏速率<sup>a</sup>（单位：千克/小时/排放源）

密封点类型	默认零值泄漏速率	限定泄漏速率 >50000 $\mu\text{mol/mol}$	相关方程 <sup>b</sup>
石油炼制工业（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	$2.20\text{E-}06 \times \text{SV}^{0.704}$
石油化学工业			
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 产生量（千克）。

a：数据摘自美国环保署，1995b 报告。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”的泄漏速率；如采样瓶未与采样口连接，则使用“开口管线”的泄漏速率。

b：轻液体泵系数也可用于压缩机、泄压设备和重液体泵。

## （2）筛选范围法

筛选范围法用于计算某套装置不可达法兰或连接件的 VOCs 泄漏速率时，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  $10,000\mu\text{mol/mol}$  的点。以  $10,000\mu\text{mol/mol}$  为界，分析已检测法兰或连接件净检测值可能  $\geq 10,000\mu\text{mol/mol}$  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  $10,000\mu\text{mol/mol}$  的不可达点个数向上取整，采用表 1-2 系数并按公式 1-3 和公式 1-4 计算泄漏速率。

石油炼制工业泄漏速率计算见公式 1-3：

$$e_{TOC} = \sum_{i=1}^n \left( FA_i \times \frac{WF_{TOC,i}}{WF_{TOC,i} - WF_{m,i}} \times WF_{TOC,i} \times N_i \right) \quad (\text{公式 1-3})$$

石油化学工业泄漏速率计算见公式 1-4:

$$e_{TOC} = \sum_{i=1}^n (FA_i \times WF_{TOC,i} \times N_i) \quad (\text{公式 1-4})$$

式中:

$e_{TOC}$ ——密封点的 TOC 泄漏速率, 千克/小时;

$FA_i$ ——密封点 i 泄漏系数, 见表 1-2;

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

$WF_{m,i}$ ——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 1-2 筛选范围法泄漏系数<sup>a</sup> (单位: 千克/小时/排放源)

设备类型	介质	石油炼制工业 <sup>b</sup>		石油化学工业 <sup>c</sup>	
		≥10,000μmol/mol	<10,000μmol/mol	≥10,000μmol/mol	<10,000μmol/mol
法兰、连接件	所有	0.0375	0.00006	0.113	0.000081

注: a: 数据摘自美国环保署, 1995b 报告。

b: 此处系数针对非甲烷有机化合物的产生。

c: 此处系数针对总有机化合物的产生。

#### 4.1.1.3 系数法

未检测的密封点, 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), 采用表 1-3 系数按公式 1-3 和公式 1-4 计算泄漏速率。如无具体密封点计数, 可参照表 1-4 和表 1-5 取值。

表 1-3 平均泄漏系数<sup>a</sup> (单位: 千克/小时/排放源)

设备类型	介质	石油炼制工业 <sup>b</sup>	石油化学工业 <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，采用系数法计算 VOCs 产生量。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”泄漏系数分别计算并相加；如果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”泄漏系数进行计算。

- a: 摘自美国环保署，1995b 报告；
- b: 石油炼制泄漏系数用于非甲烷有机化合物泄漏速率；
- c: 石油化工泄漏系数用于 TOC（包括甲烷）泄漏速率；
- d: 轻液体泵密封的系数可以用于估算搅拌器密封的泄漏速率。

表 1-4 大型石油炼制企业密封点参考计数<sup>a</sup>（单位：个）

工艺单元	阀			泵		压缩机	安全阀			法兰			开口管线	采样连接
	气体	轻液体	重液体	轻液体	重液体		气体	轻液体	重液体	气体	轻液体	重液体		
原油蒸馏	204	440	498	15	14	2	7	5	12	549	982	1046	75	9
烷基化（硫酸）	192	597	0	21	0	2	13	4	0	491	1328	600	35	6
烷基化（氢氟酸）	104	624	128	13	8	1	9	11	1	330	1300	180	40	14
催化重整	310	383	84	12	2	3	8	11	0	653	842	132	48	9
加氢裂化	290	651	308	22	12	2	10	12	0	418	1361	507	329	28
加氢处理/精制	224	253	200	7	6	2	9	4	8	439	581	481	49	8
催化裂化	277	282	445	12	12	2	11	9	13	593	747	890	59	15
热裂化（减粘）	110	246	130	7	6	1	6	3	15	277	563	468	30	7
热裂化（焦化）	190	309	250	12	11	1	8	5	10	627	748	791	100	10
制氢	301	58	0	7	360	3	4	139	0	162	148	0	59	21
沥青	76	43	0	4	0	0	3	7	0	90	90	0	24	24
产品调和	75	419	186	10	10	2	9	16	6	227	664	473	24	8
硫回收	100	125	110	8	3	1	4	4	4	280	460	179	22	7
减压蒸馏	229	108	447	2	12	1	5	1	4	473	136	1072	0	7
全馏程蒸馏	160	561	73	14	2	2	7	8	2	562	1386	288	54	6
异构化	164	300	78	9	5	2	15	5	2	300	540	265	36	7
聚合	129	351	82	6	2	0	7	12	28	404	575	170	17	9
MEK 脱蜡	419	1075	130	29	10	4	33	6	18	1676	3870	468	0	7
其它润滑油工艺	109	188	375	5	16	3	8	6	20	180	187	1260	18	9

注：数据摘自美国环保署，1998a 报告 *Locating and Estimating Air Emissions from Sources of Benzene*。

a: 大型石油炼制企业指工作日日均产量超过（包括等于）50000 桶（约 7962 立方米）的石油炼制企业。

表 1-5 小型石油炼制企业密封点参考计数<sup>a</sup>（单位：个）

工艺单元	阀			泵		压缩机	安全阀			法兰			开口管	采样连
	气体	轻液体	重液体	轻液体	重液体		气体	轻液体	重液体	气体	轻液体	重液体		
原油蒸馏	75	251	216	8	8	2	6	6	5	164	555	454	39	10
烷基化（硫酸）	278	582	34	18	10	1	12	15	4	705	1296	785	20	16
烷基化（氢氟酸）	102	402	62	13	3	2	12	13	0	300	1200	468	26	8
催化重整	138	234	293	8	5	3	5	3	3	345	566	732	27	6
加氢裂化	300	375	306	12	9	2	9	4	4	1,038	892	623	25	10

加氢处理/精制	100	208	218	5	5	2	5	3	5	290	456	538	20	6
催化裂化	186	375	450	13	14	2	8	8	7	490	943	938	8	8
热裂化(减粘)	206	197	0	7	0	0	4	0	0	515	405	0	0	4
热裂化(焦化)	148	174	277	9	8	2	7	16	13	260	322	459	13	8
制氢	168	41	0	3	0	2	4	2	0	304	78	0	8	4
沥青	120	334	250	5	8	2	5	10	9	187	476	900	16	6
产品调和	67	205	202	6	11	1	10	6	22	230	398	341	33	14
硫回收	58	96	127	6	6	3	3	88	15	165	240	345	50	3
减压蒸馏	54	26	84	6	6	2	2	5	2	105	121	230	16	4
全馏程蒸馏	157	313	118	7	4	2	5	4	6	171	481	210	20	6
异构化	270	352	64	9	2	2	7	10	1	432	971	243	7	8
聚合	224	563	15	12	0	1	10	5	3	150	450	27	5	7
MEK 脱蜡	145	1,208	200	35	39	3	10	14	4	452	1486	2645	19	17
其它润滑油工艺	153	242	201	7	5	2	5	5	5	167	307	249	60	6

注：数据摘自美国环保署，1998a 报告 *Locating and Estimating Air Emissions from Sources of Benzene*。

a：小型石油炼制企业指工作日日均产量小于 50000 桶（约 7962 立方米）的石油炼制企业。

#### 4.1.2 运行时间

由于各个密封点的检测时间和检测周期不同，因此在计算各个密封点泄漏量时，可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。

#### 4.2 有机液体储存与调和挥发损失

有机液体储存与调和通常采用储罐，常见的储罐类型有：固定顶罐（包括卧式罐和立式罐）与浮顶罐（包括内浮顶罐和外浮顶罐）。

固定顶罐VOCs的产生主要来自于储存过程中蒸发静置损失（俗称小呼吸）和接受物料过程中产生的工作损失（俗称大呼吸）。

浮顶罐VOCs的产生主要包括边缘密封损失、浮盘附件损失、浮盘盘缝损失和挂壁损失。其中边缘密封损失、浮盘附件损失、浮盘盘缝损失属于静置损失，挂壁损失属于工作损失。

##### 4.2.1 实测法

采用布袋法和大体积采样法对固定顶罐进行实测，所得逸散速率最接近真实排放情况。

##### 4.2.2 公式法

固定顶罐和浮顶罐的 VOCs 产生量采用公式 2-1 计算。

$$E_{0, \text{储罐}} = \sum_{i=1}^n L_{\text{固}, i} + \sum_{i=1}^m L_{\text{浮}, i} \quad (\text{公式 2-1})$$

式中：

$E_{0, \text{储罐}}$ ——统计期内储罐的 VOCs 产生量，千克；

$L_{固,i}$ ——统计期内固定顶罐 i 的 VOCs 产生量，参见附录 A，千克；

$n$ ——固定顶罐的数量；

$L_{浮,i}$ ——统计期内浮顶罐 i 的 VOCs 产生量，参见附录 B，千克；

$m$ ——浮顶罐的数量。

#### 4.2.3 系数法

在公式法使用条件无法满足时，采用系数法计算储罐的 VOCs 产生量，见公式 2-2。

$$E_{0,储罐} = EF \times Q \quad (\text{公式 2-2})$$

式中：

$E_{0,储罐}$ ——统计期内储罐的 VOCs 产生量，千克；

$EF$ ——产污系数（单位体积周转物料的材料挥发损失），见表 2-1，千克/立方米；

$Q$ ——统计期内物料周转量，立方米。

表 2-1 储罐 VOCs 产污系数

存储物料	产污系数	存储物料	产污系数
正戊烷	1.366	丁醇	0.120
异戊烷	8.809	二级丁醇	0.278
己烷	0.539	三级丁醇	0.522
环己烷	0.416	环己醇	0.075
庚烷	0.851	乙醇	0.427
正癸烷	0.078	异丁醇	0.176
正十二烷	0.495	异丙醇	0.558
十五烷	0.102	甲醇	0.572
1-戊烯	1.749	丙醇	0.252
戊二烯	1.006	二次乙基二醇	0.010
环戊烯	0.934	二甘醇	0.359
十二烯	0.617	丙二醇	0.839
异戊二烯	1.402	乙二醇	0.246
苯	1.228	乙硫醇	1.222
乙苯	0.271	氯醇	0.348
甲苯	0.499	酚	0.737
间二甲苯	0.243	甲酚	0.615
邻二甲苯	0.201	乙醚	1.426
对二甲苯	0.256	甲基四丁醚	1.110
混合二甲苯	0.190	二次乙基二醇单丁醚	0.010
异丙苯	0.187	乙二醇单丁醚	0.030
二异丙基苯	0.030	二次乙基二醇单甲醚	0.010
甲基苯乙烯	0.083	乙二醇单甲醚	0.031
苯乙烯	0.188	双-β-羟基-n-丙醚	0.010

存储物料	产污系数	存储物料	产污系数
氯苯	0.343	乙酸	0.209
邻一二氯苯	0.089	丙烯酸	0.086
对一二氯苯	0.105	己二酸	0.036
苯甲氯	0.010	蚁酸	0.380
四氯化碳	2.756	丙酸	0.083
二溴乙烷	0.679	乙酸丁酯	0.328
二氯乙烷	1.318	丙烯酸丁酯	0.214
氯仿	1.030	乙酸乙酯	1.294
1.1.1—三氯乙烷	0.546	丙烯乙脂	0.755
四氯乙烯	0.700	丙烯酸异丁酯	0.050
三氯乙烯	1.678	醋酸异丙酯	1.091
丙烯晴	0.947	醋酸甲酯	2.301
硝基苯	0.055	丙烯酸甲酯	1.246
苯胺	0.044	甲基丙烯酸甲酯	0.539
乙醇胺	0.491	醋酸乙烯酯	1.450
乙烷胺	1.151	正乙酸丙酯	0.140
丙酮	0.551	异丁酸异丁酯)	0.040
丁酮	0.395	甲苯二异氰酸酯	0.101
甲基异丁酮	0.277	丁醛	0.407
环己酮	0.228	异丁醛	0.288
庚酮	0.010	丙醛	0.707
石油脑	0.739	醋酸酐	0.159
炼油	0.739		

注：数据摘自台湾《公私场所固定污染源申报空气污染防制费之挥发性有机物操作单元排放系数》

#### 4.3 有机液体装载挥发损失

有机液体物料在装载过程中，收料容器内的有机液体蒸汽被物料置换，产生 VOCs。

##### 4.3.1 实测法

实测法计算其 VOCs 产生量，见公式 3-1。

$$E_{0, \text{装载}} = Q \times C \quad (\text{公式 3-1})$$

式中：

$E_{0, \text{装载}}$ ——统计期内装载的 VOCs 产生量，千克；

$Q$ ——统计期内物料装载量，立方米；

$C$ ——物料装载时的蒸汽浓度，千克/立方米。

##### 4.3.2 公式法

无实测数据时，装载 VOCs 产生量按公式 3-2 计算。

$$E_{0, \text{装载}} = EF_L \times Q \quad (\text{公式 3-2})$$

式中：

$E_{0, \text{装载}}$ ——统计期内装载的 VOCs 产生量，千克；

$EF_L$ ——装载损失产污系数，千克/立方米，详见 4.3.2.1 节及 4.3.3.3 节；

$Q$ ——统计期内物料装载量，立方米。

#### 4.3.2.1 公路、铁路装载损失产污系数

$$EF_L = C_0 \times S \quad (\text{公式 3-3})$$

$$C_0 = \frac{P_T M}{RT} \quad (\text{公式 3-4})$$

式中：

$EF_L$ ——装载损失产污系数，千克/立方米；

$S$ ——饱和因子，代表排出的 VOCs 接近饱和的程度，见表 3-1；

$C_0$ ——装载罐车气、液相处于平衡状态，将物料蒸汽视为理想气体下的物料密度，千克/立方米；见公式 3-4；

$T$ ——实际装载时物料蒸汽温度，开氏度；

$P_T$ ——温度  $T$  时装载物料的真实蒸气压，千帕；

$M$ ——物料的分子量，克/摩尔；

$R$ ——理想气体常数，8.314 焦耳/（摩尔·开氏度）。

表 3-1 公路、铁路装载损失计算中饱和因子

	操作方式	饱和因子
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

#### 4.3.2.2 船舶装载损失产污系数

(1) 船舶装载原油时：

$$EF_L = EF_A + EF_G \quad (\text{公式 3-5})$$

式中：

$EF_L$ ——装载损失产污系数，千克/立方米；

EF<sub>A</sub>——已有产污系数，千克/立方米，见表 3-2；

EF<sub>G</sub>——生成产污系数，千克/立方米，按公式 3-6 计算。

表 3-2 装载原油时的已有产污系数 EF<sub>A</sub>

船舱情况	上次装载	已有产污系数 EF <sub>A</sub> (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：指真实蒸气压大于 10 千帕的物质。

$$EF_G = (0.064P_T - 0.42) \times \frac{MG}{RT} \quad (\text{公式 3-6})$$

式中：

EF<sub>G</sub>——生成产污系数，千克/立方米；

P<sub>T</sub>——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；

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产污系数 EF<sub>L</sub> 见表 3-3。

表 3-3 船舶装载汽油时损失产污系数 EF<sub>L</sub>

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）表现出产污水平与油轮相似。

b：驳船（船舱深度 3.0-3.7 米）则表现出更高的产污水平。

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：

装载损失产污系数  $EF_L$  采用公式 3-4 计算，饱和因子  $s$  取值见表 3-4。

表 3-4 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

### 4.3.3 系数法

在实测法和公式法使用条件均无法满足时，采用系数法计算装载的 VOCs 产生量，见公式 3-7。

$$E_{0, \text{装载}} = EF \times Q \quad (\text{公式 3-7})$$

式中：

$E_{\text{装载}}$ ——统计期内装载的 VOCs 产生量，千克；

$EF$ ——产污系数（单位体积装载物料的物料挥发损失），见表 3-5 和表 3-6，千克/立方米；

$Q$ ——统计期内物料装载量，立方米。

表 3-5 铁路和公路装载 VOCs 产污系数（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。

表 3-6 船舶装载 VOCs 产污系数<sup>a</sup>（千克/立方米）

船舶	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 3-4	0.073	0.060	0.00063	0.00055	0.000004
驳船	表 3-4	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：汽油损失产污系数从表 3-4 中选取。

#### 4.4 废水集输、储存、处理处置过程逸散

在废水集输、储存、处理处置过程中，废水中 VOCs 向大气中逸散。

废水集输、储存、处理处置过程 VOCs 产生量计算方法主要包括公式法和系数法。

##### 4.4.1 公式法

废水环节的 VOCs 产生量为水面油层中和水中 VOCs 产生量的加和，见公式 4-1。

$$E_{0,废水} = E_{0,油相} + E_{0,水相} \quad (\text{公式 4-1})$$

式中：

$E_{0,废水}$ ——统计期内废水的 VOCs 产生量，千克；

$E_{0,油相}$ ——统计期内收集系统集水井、处理系统浮选池和隔油池中油层的 VOCs 产生量，千克，按储罐的公法法计算，详见附录 A，无浮油真实蒸气压的，按 85 千帕计算；

$E_{0,水相}$ ——统计期内废水收集支线和废水处理厂水相中 VOCs 产生量，千克，见公式 4-3。

$$E_{0,水相} = \sum_{i=1}^n (Q_i \times (C_{\text{进水},i} - C_{\text{出水},i}) \times 10^{-3} \times t_i) \quad (\text{公式 4-2})$$

式中：

$E_{0,水相}$ ——统计期内废水的 VOCs 产生量，千克；

$Q_i$ ——废水收集、处理系统 i 的废水流量，立方米/小时；

$C_{\text{进水},i}$ ——废水收集、处理系统 i 进水中的逸散性挥发性有机物 (EVOCS) 浓度，毫克/升；

$C_{\text{出水},i}$ ——废水收集、处理系统 i 出水中的逸散性挥发性有机物 (EVOCS) 浓度，毫克/升；

$t_i$ ——统计期内废水收集/处理设施 i 的运行时间，小时。

##### 4.4.2 系数法

$$E_{0,废水} = \sum_{i=1}^n (EF_i \times Q_i) \quad (\text{公式 4-3})$$

式中：

$E_{0,废水}$ ——统计期内废水的 VOCs 产生量，千克；

$EF_i$ ——废水收集/处理设施 i 产污系数，千克/立方米，见表 4-1；

$Q_i$ ——统计期内废水收集/处理设施 i 的废水流量，立方米。

表 4-1 废水收集/处理设施 VOCs 产污系数

适用范围	产污系数（千克/立方米）
废水收集系统及油水分离	0.6
废水处理厂-废水处理设施 <sup>a</sup>	0.005

注：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。

#### 4.5 燃烧烟气排放

各类加热炉、锅炉、内燃机和燃气轮机等燃烧烟气排放环节产生 VOCs。

##### 4.5.1 实测法

通过测定燃烧烟气的流量和浓度等数据，采用实测法计算 VOCs 产生量，见公式 5-1。

$$E_{0, \text{燃烧}} = \sum_{i=1}^n (Q_i \times C_i \times 10^{-6} \times t_i) \quad (\text{公式 5-1})$$

式中：

$E_{0, \text{燃烧}}$ ——统计期内燃烧烟气排放的 VOCs 产生量，千克；

$Q_i$ ——燃烧烟气排放设施 i 实测气体流量，立方米/小时；

$C_i$ ——燃烧烟气排放设施 i 实测 VOCs 浓度，毫克/立方米；

$Q_i \times C_i \times 10^{-6}$ ——燃烧烟气排放设施 i 实测 VOCs 排放速率，千克/小时；

$t_i$ ——统计期内燃烧烟气排放设备 i 的生产小时数，小时。

##### 4.5.2 系数法

燃烧烟气无实测数据时，采用系数法计算 VOCs 产生量，见公式 5-2。

$$E_{0, \text{燃烧}} = \sum_{i=1}^n (EF_i \times Q_i) \quad (\text{公式 5-2})$$

式中：

$E_{0, \text{燃烧}}$ ——统计期内燃烧烟气的 VOCs 产生量，千克；

$EF_i$ ——燃料 i 产污系数，千克/单位燃料消耗，见表 5-1；

$Q_i$ ——统计期内燃料 i 的消耗量，煤（吨）、天然气（立方米）、液化石油气（立方米，液态）。

表 5-1 燃料燃烧 VOCs 产污系数

燃料类型	锅炉形式	产污系数	单位
烟煤和亚烟煤 <sup>a</sup>	煤粉炉，固态排渣	0.030	千克/吨-煤
	煤粉炉，液态排渣	0.020	千克/吨-煤
	旋风炉	0.055	千克/吨-煤
	抛煤机链条炉排炉	0.025	千克/吨-煤
	上方给料炉排炉	0.025	千克/吨-煤

燃料类型	锅炉形式	产污系数	单位
	下方给料炉排炉	0.650	千克/吨-煤
	手烧炉	5.000	千克/吨-煤
	流化床锅炉	0.025	千克/吨-煤
褐煤 <sup>a</sup>	煤粉炉, 固态排渣, 切圆燃烧	0.020	千克/吨-煤
	旋风炉	0.035	千克/吨-煤
	抛煤机链条炉排炉	0.015	千克/吨-煤
	上部给料链条炉排炉	0.015	千克/吨-煤
	常压流化床锅炉	0.015	千克/吨-煤
无烟煤 <sup>b</sup>	炉排炉	0.150	千克/吨-煤
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: 此处产污系数以总非甲烷有机物 (TNMOC) 代替 VOCs;

b: 此处产污系数以总有机化合物 (TOC) 代替 VOCs。

#### 4.6 工艺有组织排放

工艺有组织排放是指工艺生产过程中通过排气筒排放产生 VOCs 废气/尾气。

##### 4.6.1 实测法

通过测定工艺有组织排气筒出口的气体流量和浓度, 使用实测法计算 VOCs 排放量, 见公式 6-1。

$$E_{\text{有组织}} = \sum_{i=1}^n (Q_i \times C_i \times 10^{-6} \times t_i) \quad (\text{公式 6-1})$$

式中:

$E_{\text{有组织}}$ ——统计期内工艺有组织排放的 VOCs 排放量, 千克;

$Q_i$ ——工艺有组织排放设施 i 排气筒出口实测气体流量, 立方米/小时;

$C_i$ ——工艺有组织排放设施 i 排气筒出口实测 VOCs 浓度, 毫克/立方米;

$Q_i \times C_i \times 10^{-6}$ ——工艺有组织排放设施 i 排气筒出口实测 VOCs 排放速率, 千克/小时;

$t_i$ ——统计期内该工艺有组织废气排放设备 i 的生产小时数, 小时。

##### 4.6.2 系数法

工艺有组织排放无实测数据时, 采用系数法计算 VOCs 产生量, 见公式 6-2。系数法计算结果包含工艺有组织和无组织的 VOCs 产生量。

$$E_{0,工艺} = E_{0,炼制} + E_{0,化学} \quad (\text{公式 6-2})$$

式中：

$E_{0,工艺}$ ——统计期内工艺生产过程的 VOC 产生量，千克；

$E_{0,炼制}$ ——统计期内石油炼制工业工艺生产过程 VOCs 产生量，千克；

$E_{0,化学}$ ——统计期内石油化学工业工艺生产过程 VOCs 产生量，千克。

$$E_{0,炼制} = \sum_{i=1}^n (EF_i \times Q_i) \quad (\text{公式 6-3})$$

式中：

$EF_i$ ——生产工艺 i 的产污系数，千克/单位原料用量或产品产量，见表 6-1；

$Q_i$ ——统计期内生产工艺 i 的原料用量或产品产量，单位原料用量或产品产量（吨、立方米）。

表 6-1 石油炼制工业生产工艺 VOCs 产污系数

工艺名称 <sup>a</sup>	产污系数	估算基础	
	千克	原料用量或产品产量	单位
流化催化裂化（FCC）	0.63	原料用量	立方米
生产设备吹扫	0.002（每次）	原料用量	立方米
减压蒸馏塔塔顶冷凝器	0.14	原料用量	立方米
催化重整	0.0007	原料用量	立方米
焦化装置	0.003	产品产量	吨
润滑油生产	0.077	产品产量	立方米
沥青氧化	0.031	产品产量	立方米
催化汽油氧化脱硫	0.065	产品产量	立方米
芳烃抽提	0.009	产品产量	立方米
工艺名称 <sup>b</sup>			
真空蒸馏制造	0.097	原料用量	立方米
硫磺回收处理	3.735	产品产量	吨
原油常压蒸馏	0.46	产品产量	立方米
加氢脱硫处理	0.118	产品产量	立方米
烷化	0.003	产品产量	立方米
氢气制造	0.005	产品产量	立方米
触媒重组	0.038	产品产量	立方米
其他石油制品制造	0.140	产品产量	立方米

注：a：此处产污系数摘自环保部《石油炼制、石油化学工业 VOCs 排放量简化核算方法》；

b：此处产污系数摘自台湾《公私场所固定污染源申报空气污染防治费之挥发性有机物行业制程排放系数》。

$$E_{0,化学} = \sum_{i=1}^n (EF_i \times Q_i) \quad (\text{公式 6-4})$$

式中：

$EF_i$ ——生产产品  $i$  的产污系数，千克/吨，见表 6-2；

$Q_i$ ——统计期内生产产品  $i$  的产品产量，吨。

表 6-2 石油化学工业生产产品 VOCs 产污系数

产品名称 <sup>a</sup>	产污系数	产品名称	产污系数
3-氯丙烯	22.21	聚酯纤维	0.6
乙二醇	0.133	丙烯酸纤维	125.138
乙苯	0.005	聚烯烃纤维	37.107
乙酐	2.753	高级芳香族聚酰胺纤维	2.15
乙烯	0.5	合成乳胶	2.678
乙酸乙酯	0.555	合成橡胶	2.603
乙酸（以甲醇为原料）	1.814	合成纤维加工	0.36
乙酸（以丁醇为原料）	6.35	低密度聚乙烯	3.85
乙酸（以乙醛为原料）	9.979	脲醛树脂	5.95
乙醇	0.951	抗氧化/促进剂	1.872
乙二胺	0.2	烷基铅	0.501
乙醛	3.239	氟碳/氟氯碳化物	7.258
丁二烯	11.51	表面活性剂	0.983
二氯乙烷	0.108	耐冲击级聚苯乙烯	0.05
二氯乙烯（直接氯化法）	0.65	苯乙烯	0.039
二氯乙烯（氯化法）	12.05	苯	0.55
二氯乙烯	1.75	苯胺	0.1
三聚氰胺树脂	13.892	马来酸酐	0.001
己二酸	21.374	高密度聚乙烯	18
己内酰胺	2.866	异二氰甲苯	9.661
丙烯	0.5	异丙苯	0.551
丙烯腈	0.35	烷基苯	0.052
丙烯腈-丁二烯-苯乙烯 共聚物（ABS）	0.094	酚醛树脂	7.3
丙烯腈-苯乙烯共聚物 （AS）	0.153	酚类	7.708
丙烯酸及丙烯酸脂类	0.174	氯乙烯	0.056
丙烯酸树脂	0.6	氯苯	1.486
丙烯醇	0.326	发泡剂聚苯乙烯	1.282
四乙基铅	3.125	硝基苯	1.35
四甲基铅	96.75	氰甲烷	0.35
四氯化碳	0.155	过氧化氢	9.429
甘油	8.87	丁酮	1.201

产品名称 <sup>a</sup>	产污系数	产品名称	产污系数
甲基丙烯酸酯类	25.47	脂类	5.85
甲醇	5.95	对苯二甲酸/二甲酯	2.039
甲醛	5.95	聚丙烯	0.35
合成有机纤维	5.133	聚脲树脂	0.978
聚酰胺尼龙纤维	2.15	聚酯树脂(饱和及不饱和树脂)	0.25
醋酸乙烯	4.705	聚氯乙烯	8.509
聚醚树脂	25.03	醋酸纤维	145.2
聚酰胺树脂	0.8	环己烷	0.003
制药(原料药生产)	114.14	环己酮	22.224
醛酸树脂	2.878	环氧乙烷	3.9
邻苯二甲酐(以邻二甲苯氧化生产)	1.201	环氧树脂	2.553
邻苯二甲酐(以萘氧化生产)	5.006	离子交换树脂	1.175
邻苯二甲酸二辛脂	0.037	其他化学品(使用或反应产生挥发性有机物)	0.021
化妆品	0.144	哥罗普林	5.591
夫酸酯类	3.404	氨	4.825
木炭	157	接着剂	6.418
尿素	0.006	氢氟酸	0.01
尿素甲醛树脂	5.95	硫磺	1.521
抗(臭)氧化/促进剂	1.872	普通级聚苯乙烯	5.55
氰化氢	7.008	农药	0.001
磷酸铵	0.015	醚	0.08
亚克力	2.972	硫酸铵	0.741
碳黑	50.255		

注：此处产污系数摘自台湾《公私场所固定污染源申报空气污染防治费之挥发性有机物行业制程排放系数》。

#### 4.7 工艺无组织排放

工艺有组织排放采用实测法计算 VOCs 产生量时，工艺无组织排放的 VOCs 产生量计算方法如下。

延迟焦化装置切焦过程的 VOCs 产生量按系数计算，见公式 7-1。

$$E_{0, \text{无组织}} = \sum_{i=1}^n (EF \times Q_i) \quad (\text{公式 7-1})$$

式中：

$E_{0, \text{无组织}}$ ——统计期内延迟焦化装置切焦过程的 VOCs 产生量，千克；

$Q_i$ ——统计期内延迟焦化装置 i 的进料量，千克；

EF——产污系数，千克/千克-装置进料，取 1.63E-04；

n——延迟焦化装置个数。

#### 4.8 采样过程排放

采样过程排放的 VOCs 产生量计算依据设备动静密封点的计算方法。

密闭式采样或等效设施的泄漏速率可采用公式法中的相关方程法。采样瓶与采样口连接的，采用“连接件”系数计算产生量；采样瓶不与采样口连接的，采用“开口管线”系数计算产生量。

开口式采样的泄漏速率应采用系数法。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”系数分别计算产生量；置换残液或气排入收集处理设施的，采用“开口管线”系数计算产生量。

#### 4.9 火炬排放

火炬在石油化工厂中通常用于燃烧过量燃料气、部分清除产物或是开停工和故障产生的废气。大多数火炬均有天然气的预燃火。火炬产生的 VOCs 通常会包括未被燃烧的碳氢化合物。

##### 4.9.1 实测法

通过对进入火炬气体的成分和流量进行连续测量，计算火炬的 VOCs 产生量，见公式 9-1。

$$E_{\text{火炬},i} = \sum_{n=1}^N \left[ Q_n \times t_n \times C_n \times \frac{M_n}{22.4} \times (1 - F_{\text{eff}}) \right] \quad (\text{公式 9-1})$$

式中：

$E_{\text{火炬},i}$ ——统计期内火炬 i 的 VOCs 产生量，千克；

n——测量序数，第 n 次测量；

N——统计期内测量次数或火炬每次工作时的测量次数；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；

$Q_n$ ——第 n 次测量时火炬气的流量，立方米/小时；

$t_n$ ——统计期内第 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，%；取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 9-1。

表 9-1 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%

#### 4.9.2 公式法

##### (1) 基于热值的公式法

依据火炬气的热值，计算火炬的 VOCs 产生量，见公式 9-2。

$$E_{\text{火炬},i} = \sum_{n=1}^N (Q_n \times t_n \times \text{LHV}_n \times \text{EF}) \quad (\text{公式 9-2})$$

式中：

$E_{\text{火炬},i}$ ——统计期内火炬 i 的 VOCs 产生量，千克；

$n$ ——测量序数，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；

$t_n$ ——统计期内第  $n$  次测量时火炬的工作时间，小时；

$\text{LHV}_n$ ——第  $n$  次测量时火炬气的低热值，兆焦耳/立方米；

$\text{EF}$ ——总烃（以甲烷计）产污系数，千克/兆焦，取  $6.02 \text{ E-}05$ 。

测量气体体积应和测定气体热值的条件相同。

火炬停用或故障时，公式 9-2 应乘以  $1 / (1 - \text{Feff})$ ，其中  $\text{Feff}$  默认值取 98%。

当采用基于热值的公式法计算火炬 VOCs 产生量时，事故中的容器超压排放 VOCs 产

生量（4.12.2）未包含在内，需另行计算<sup>1</sup>。

## （2）基于装置的公式法

未对火炬进行实际测量时，火炬 VOCs 产生量计算，见公式 9-3。

$$E_{0,火炬} = \sum_{n=1}^N [Q_n \times (1 - Feff)] \quad (\text{公式 9-3})$$

式中：

$E_{0,火炬}$ ——统计期内火炬的 VOCs 产生量，千克；

$N$ ——火炬排放次数，次/年；

$n$ ——火炬排放序数，第  $n$  次排放；

$Q_n$ ——统计期内第  $n$  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，取 80%。

## 4.10 非正常工况（含开停工及维修）排放

非正常工况（含开停工及维修）排放的 VOCs 产生量包括气相单元的产生量和液相单元的产生量。气相单元是指开停工时泄压、吹扫等动作产生的 VOCs；液相单元是指容器内残留的积液等逸散产生的 VOCs。当非正常工况排放的 VOCs 进入火炬，且火炬 VOCs 产生量按实测法和基于热值的公式法计算时，非正常工况的 VOCs 产生量可不重复计算，除此之外均应单独计算。

### 4.10.1 公式法

气相、液相单元的 VOCs 产生量均采用公式法计算。

$$E_{0,开停工} = E_{0,容器泄压吹扫} \quad (\text{公式 10-1})$$

#### 4.10.1.1 气相工艺设备泄压与吹扫排放

如容器内没有液体物料，气体遵守理想气体定律，见公式 10-2。

$$E_{0,气相} = \sum_{i=1}^n \left[ 10^{-6} \times \frac{P_V + 101.325}{101.325} \times \frac{273.15}{T} \times (V_V \times f_{空置}) \times C \right]_i \quad (\text{公式 10-2})$$

式中：

$E_{0,气相}$ ——统计期内开停工过程气相单元的 VOCs 产生量，千克；

$P_V$ ——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；

<sup>1</sup>美国 *Emission Estimation Protocol for Petroleum Refineries 2015*

$f_{\text{空置}}$ ——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；

$i$ ——统计期内的开停工次数。

#### 4.10.1.2 液相工艺设备泄压与吹扫排放

假设在容器中剩余的液体质量远大于气相空间污染物的量，则按公式 10-3 计算产生量。

$$E_{0,\text{液相}} = \sum_{i=1}^n \left[ V_v \times (1 - V') \times f_1 \times d \times WF \times \left[ f_2 \times (1 - Feff) + (1 - f_2) \right] \right]_i \quad (\text{公式 10-3})$$

式中：

$E_{0,\text{液相}}$ ——统计期内开停工过程的 VOCs 产生量，千克；

$V_v$ ——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；

$f_2$ ——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；

$E_{\text{eff}}$ ——火炬或 VOCs 污染控制设施的效率%，其中火炬效率可参见 4.9 火炬排放，VOCs 污染控制设施的效率采用实测值。

#### 4.11 冷却塔、循环水冷却系统释放

冷却水是热交换系统和冷凝器中载热介质，通过冷却塔冷却降温而循环使用。

由于热交换系统等设备管路的泄漏，有机物通常由高压一侧于裂缝中泄漏至冷却循环水中，而产生 VOCs。

冷却塔、循环水冷却系统的 VOCs 产生量计算方法主要包括公式法和系数法。

##### 4.11.1 公式法

$$E_{0,\text{冷却塔}} = \sum_{i=1}^n \left( Q_i \times (C_{\text{入口},i} - C_{\text{出口},i}) \times 10^{-3} \times t_i \right) \quad (\text{公式 11-1})$$

式中：

$E_{0,\text{冷却塔}}$ ——统计期内冷却塔 VOCs 产生量，千克；

$Q_i$ ——统计期内冷却塔  $i$  的循环水流量，立方米；

$C_{\text{入口},i}$ ——冷却水暴露空气前逸散性挥发性有机物（EVOCs）的浓度，毫克/升；

$C_{\text{出口}, i}$ ——冷却水暴露空气后逸散性挥发性有机物（EVOCs）的浓度，毫克/升。

上式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量不变。

冷却水暴露空气后 EVOCs 浓度无法获取时，则认为冷却水中的 EVOCs 全部排放，即 EVOCs 出口浓度为零。

#### 4.11.2 系数法

$$E_{0, \text{冷却塔}} = \sum_{i=1}^n (EF \times Q_i) \quad (\text{公式 11-2})$$

式中：

$E_{0, \text{冷却塔}}$ ——统计期内冷却塔的 VOCs 年产生量，千克；

$Q_i$ ——统计期内冷却塔  $i$  的循环水量，立方米；

EF——产污系数，千克/立方米-循环水，取 7.19E-04。

#### 4.12 事故排放

工艺生产过程的设备元件发生故障或是排放控制装置的故障而造成的突发性排放称之为事故排放。事故产生的 VOCs 通常要比正常情况产生的 VOCs 浓度要高出很多。事故排放对于年排放量和短期排放的贡献非常大。

事故排放通常有三种情景：排放控制装置故障或产生某种情况导致 VOCs 不经过控制设施直接排放；容器超压；喷溅。

$$E_{0, \text{事故}} = E_{0, \text{装置事故}} + E_{0, \text{容器超压}} + E_{0, \text{喷溅}} \quad (\text{公式 12-1})$$

##### 4.12.1 工艺装置事故排放

工艺装置事故造成的 VOCs 产生量是正常情况下产生量的数倍，则事故状态或停机状态下的非控制产生量采用实测速率通过公式 12-2 进行计算。

$$E_{0, \text{装置事故}} = e_{\text{事故}, i} \times EM_i \times t \quad (\text{公式 12-2})$$

式中：

$E_{0, \text{装置事故}}$ ——事故状态或停机状态下的 VOCs 组份  $i$  产生量，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 VOCs 组份  $i$  的排放速率，千克/小时；

$EM_i$ ——事故乘数，见表 12-1；

$t$ ——事故持续时间，小时/事件。

表 12-1 工艺装置的效率及事故乘数

污染源/工艺装置描述	污染物种类	工艺装置控制效率	事故乘数
催化裂化或焦化/静电除尘	VOCs、有机 HAP	0	1
催化裂化或焦化/锅炉	VOCs、多数有机 HAP	98%	50

#### 4.12.2 容器超压排放

容器超压排放气体通常送入火炬，不单独计算容器超压排放。

#### 4.12.3 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，采用以下公式法产生量计算。

##### (1) 闪蒸量估算

过热液体闪蒸量估算，见公式 12-3：

$$Q_1 = \frac{F \times W_T}{t_1} \quad (\text{公式 12-3})$$

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；按公式 12-4 计算：

$$F = C_p \frac{T_L - T_b}{H} \quad (\text{公式 12-4})$$

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  $Q_2$  按公式 12-5 计算：

$$Q_2 = \frac{\lambda S \times (T_0 - T_b)}{H \sqrt{\pi \alpha t}} \quad (\text{公式 12-5})$$

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，平方米/秒，见表 12-2；  
 $t$ ——蒸发时间，秒。

表 12-2 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	$11.0 \times 10^{-7}$

### (3) 质量蒸发估算

质量蒸发速度  $Q_3$  按公式 12-6 计算：

$$Q_3 = \alpha \times P \times M / (R \times T_0) \times u^{(2-n) \times (2+n)} \times r^{(4+n)/(2+n)} \quad (\text{公式 12-6})$$

式中：

$Q_3$ ——质量蒸发速度，千克/秒；  
 $\alpha, n$ ——大气稳定度系数，见表 12-3；  
 $P$ ——液体表面蒸汽压，帕；  
 $R$ ——气体常数，8.314 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。

表 12-3 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	$5.285 \times 10^{-3}$

(4) 液体蒸发总量计算

液体蒸发总量按公式 12-7 计算：

$$E_{0, \text{喷溅}} = Q_1 t_1 + Q_2 t_2 + Q_3 t_3 \quad (\text{公式 12-7})$$

式中：

$E_{0, \text{喷溅}}$ ——喷溅液体蒸发总量，千克；

$Q_1$ ——闪蒸蒸发液体量，千克；

$Q_2$ ——热量蒸发速率，千克/秒；

$Q_3$ ——质量蒸发速率，千克/秒；

$t_1$ ——闪蒸蒸发时间，秒；

$t_2$ ——热量蒸发时间，秒；

$t_3$ ——从液体泄漏到液体全部处理完毕的时间，秒。

## 附录 A 固定顶罐总损失计算<sup>2</sup>

固定顶罐总损失是静置损失与工作损失之和。

$$L_{\text{固}} = L_S + L_W \quad (\text{公式 A-1})$$

式中：

$L_{\text{固}}$ ——固定顶罐总损失，磅/年；

$L_S$ ——静置损失，磅/年；

$L_W$ ——工作损失，磅/年。

### A.1 静置损失

静置损失是指由于罐体蒸汽空间呼吸导致的储存气相损耗。

通常不考虑地下卧式罐的静置损失，因为地下土层的绝缘作用使得地下储罐的昼夜温差的变化较小。

固定顶罐的静置损失采用公式 A-2 计算。

$$L_S = 365V_V W_V K_E K_S \quad (\text{公式 A-2})$$

式中：

$L_S$ ——静置损失，磅/年；

$V_V$ ——蒸汽空间容积，立方英尺，见公式 A-3；

$W_V$ ——蒸汽密度，磅/立方英尺；

$K_E$ ——蒸汽空间膨胀因子，无量纲；

$K_S$ ——外排蒸气饱和因子，无量纲；

365——常数，取自一年中工作天数 365 天，年<sup>-1</sup>；

#### A.1.1 蒸汽空间容积 $V_V$

立式罐蒸汽空间容积按公式 A-3 计算。

$$V_V = \left( \frac{\pi}{4} D^2 \right) H_{VO} \quad (\text{公式 A-3})$$

式中：

$V_V$ ——蒸汽空间容积，立方英尺；

---

<sup>2</sup>固定顶罐总损失计算资料摘自美国环保署 AP 42 Fifth Edition, Volume I, Chapter 7: Liquid Storage Tanks (<http://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch07/index.html>)

D——罐径，英尺；

H<sub>VO</sub>——蒸汽空间高度，英尺；

$$H_{VO} = H_S - H_L + H_{RO} \quad (\text{公式 A-4})$$

式中：

H<sub>S</sub>——罐体（柱体）高度，英尺；

H<sub>L</sub>——液体高度，英尺；

H<sub>RO</sub>——罐顶折算高度，英尺；（注：罐顶容积折算为相等容积的罐体高度）

锥顶罐罐顶折算高度：

$$H_{RO} = 1/3H_R \quad (\text{公式 A-5})$$

式中：

H<sub>R</sub>——罐顶高度，英尺；

$$H_R = S_R R_S \quad (\text{公式 A-6})$$

式中：

S<sub>R</sub>——罐锥顶斜率，英尺/英尺；  
无数据时，取 0.0625；

R<sub>S</sub>——罐壳半径，英尺。

拱顶罐罐顶折算高度：

$$H_{RO} = H_R \left[ \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left[ \frac{H_R}{R_S} \right]^2 \right] \quad (\text{公式 A-7})$$

式中：

R<sub>S</sub>——罐壳半径，英尺；

H<sub>R</sub>——罐顶高度，英尺；

$$H_R = R_R - (R_R^2 - R_S^2)^{0.5} \quad (\text{公式 A-8})$$

式中：

R<sub>R</sub>——罐拱顶半径，英尺；

R<sub>R</sub> 的值一般介于 0.8D-1.2D 之间，其中 D=2R<sub>S</sub>。  
如果 R<sub>R</sub> 未知，则用罐体直径代替。

R<sub>S</sub>——罐壳半径，英尺；

由公式 A-3，公式 A-2 简化为：

$$L_s = 365K_E \left( \frac{\pi}{4} D^2 \right) H_{VO} K_S W_V \quad (\text{公式 A-9})$$

如果是卧式罐，公式 A-3 中的罐径 D 则为有效罐径 D<sub>E</sub>：

$$D_E = \sqrt{\frac{L \times D}{\frac{\pi}{4}}} \quad (\text{公式 A-10})$$

式中:

L——卧式罐(含封头)总长,英尺;

D——卧式罐垂直剖面的直径,英尺。

### A.1.2 蒸汽空间膨胀因 $K_E$

气相空间膨胀因子  $K_E$  的计算取决于罐中液体的特性和呼吸阀的设置。

若已知储罐位置,罐体颜色和状况,  $K_E$  计算方式如下:

#### A.1.2.1 油品(如汽油、柴油)

$$K_E = \frac{\Delta T_V}{T_{LA}} + \frac{\Delta P_V - \Delta P_B}{P_A - P_{VA}} > 0 \quad (\text{公式 A-11})$$

式中:

$\Delta T_V$ ——日蒸汽温度范围,兰氏度;

$$\Delta T_V = 0.72\Delta T_A + 0.028\alpha \times I \quad (\text{公式 A-12})$$

式中:

$\Delta T_A$ ——日环境温度范围,兰氏度;

$$\Delta T_A = T_{AX} - T_{AN} \quad (\text{公式 A-13})$$

式中:

$T_{AX}$ ——日最大环境温度,兰氏度;

$T_{AN}$ ——日最小环境温度,兰氏度。

$\alpha$ ——罐漆太阳能吸收率,无量纲,见表 A-1/7.1-6;

$I$ ——太阳辐射强度,英热/(平方英尺·天)。

$\Delta P_V$ ——日蒸汽压范围,磅/平方英寸;

$$\Delta P_V = \frac{0.50BP_{VA}\Delta T_V}{T_{LA}^2} \quad (\text{公式 A-14})$$

式中:

$B$ ——蒸汽压公式中的常数,兰氏度,见 A.1.6

$P_{VA}$ ——日平均液体表面温度下的蒸汽压,磅/平方英寸,见 A1.1.6

$T_{LA}$ ——日平均液体表面温度,兰氏度,见公式 A.1.5

$\Delta T_V$ ——日蒸汽温度范围,兰氏度,见公式 A-12/1-8

$\Delta P_B$ ——呼吸阀压力设定范围,磅/平方英寸;

$$\Delta P_B = P_{BP} - P_{BV} \quad (\text{公式 A-15})$$

式中:

$P_{BP}$ ——呼吸阀压力设定,磅/平方英寸;

$P_{BV}$ ——呼吸阀真空设定,磅/平方英寸;

如果呼吸阀压力设定和真空设定信息缺乏,则假定  $P_{BP}$  为 0.03 磅/平方英寸、 $P_{BV}$  为 -0.03 磅/平方英寸。如果固定顶罐是螺栓固定或铆接的,其中罐顶和罐体是非密封的,则不管是否有呼吸阀,

都设定 $\Delta P_B=0$ 。

$P_A$ ——大气压力，磅/平方英寸；

$P_{VA}$ ——日平均液体表面温度下的蒸汽压，磅 / 平方英寸，见 A.1.6；

$T_{LA}$ ——日平均液体表面温度，兰氏度，见 A.1.5。

表 A-1 罐漆太阳能吸收率 ( $\alpha$ )

漆罐颜色	喷漆色光	罐漆吸收率 ( $\alpha$ )	
		罐漆状况	
		好	差
银白色	高光	0.39	0.49
银白色	散射	0.60	0.68
铝罐	光面，不涂漆	0.10	0.15
米色/乳色	/	0.35	0.49
黑色	/	0.97	0.97
棕色	/	0.58	0.67
灰色	淡	0.54	0.63
灰色	中等	0.68	0.74
绿色	暗	0.89	0.91
红色	底漆	0.89	0.91
锈色	红色氧化铁	0.38	0.50
茶色	/	0.43	0.55
白色	/	0.17	0.34

#### A.1.2.2 纯化学品及其混合物（如苯、对二甲苯）

$$K_E = 0.0018\Delta T_V = 0.0018[0.72(T_{AX} - T_{AN}) + 0.028\alpha I] \quad (\text{公式 A-16})$$

式中：

$K_E$ ——蒸汽空间膨胀因子，无量纲；

$\Delta T_V$ ——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，见表 A-1；

$I$ ——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；

0.028——常数，兰氏度·平方英尺·天 / 英热。

### A.1.3 外排蒸汽饱和因子 $K_s$

$$K_s = \frac{1}{1 + 0.053 P_{VA} H_{VO}} \quad (\text{公式 A-17})$$

式中：

$K_s$ ——外排蒸汽饱和因子，无量纲；

$P_{VA}$ ——日平均液面温度下的饱和蒸气压，磅/平方英寸（绝压），或参照 A.1.6 章节；

$H_{VO}$ ——蒸汽空间高度，英尺，见公式 A-4；

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

### A.1.4 蒸汽密度 $W_v$

$$W_v = \frac{M_v P_{VA}}{R T_{LA}} \quad (\text{公式 A-18})$$

式中：

$W_v$ ——蒸汽密度，磅/立方英尺；

$M_v$ ——蒸汽分子质量，磅/磅-摩尔；

$R$ ——理想气体状态常数，10.731 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），或参照 A.1.6 章节；

$T_{LA}$ ——日平均液体表面温度，兰氏度，取年平均实际储存温度，见表 A-2；如无该数据，或参照 A.1.5 章节。

表 A-2 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）。

### A.1.5 日平均液体表面温度 $T_{LA}$

$$T_{LA} = 0.44 T_{AA} + 0.56 T_B + 0.0079 \alpha I \quad (\text{公式 A-19})$$

$$T_{AA} = \left( \frac{T_{AX} + T_{AN}}{2} \right) \quad (\text{公式 A-20})$$

$$T_B = T_{AA} + 6\alpha - 1 \quad (\text{公式 A-21})$$

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，见表 A-1；  
 $I$ ——太阳辐射强度，英热/（平方英尺·天）。

#### A.1.6 真实蒸气压 $P_{VA}$

(1) 对于特定的石油液体储料的日平均液体表面温度下的蒸汽压按公式 A-22 计算。

$$P_{VA} = \exp \left[ A - \left( \frac{B}{T_{LA}} \right) \right] \quad (\text{公式 A-22})$$

式中：

$A$ ——蒸汽压公式中的常数，无量纲；  
 $B$ ——蒸汽压公式中的常数，兰氏度；  
 $T_{LA}$ ——日平均液体表面温度，兰氏度。

对于油品：

$$\begin{aligned}
 A &= 15.64 - 1.854S^{0.5} - (0.8742 - 0.3280 S^{0.5}) \ln(RVP) \\
 B &= 8742 - 1042S^{0.5} - (1049 - 179.4 S^{0.5}) \ln(RVP)
 \end{aligned} \quad (\text{公式 A-23})$$

对于原油：

$$A = 12.82 - 0.9672 \ln(RVP), \quad B = 7261 - 1216 \ln(RVP) \quad (\text{公式 A-24})$$

式中：

$S$ ——10%蒸发量下 ASTM 蒸馏曲线斜率，华氏度/体积百分比；

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

$RVP$ ——雷德蒸汽压，磅/平方英寸。

(2) 对于纯物质（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。

$$\lg P_{VA} = A - \left( \frac{B}{T_{LA} + C} \right) \quad (\text{公式 A-25})$$

式中：

A、B、C——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。

## A.2 工作损失

工作损失与储料的装卸作业相关，固定罐的工作损失按公式 A-26 计算。

$$L_W = \frac{5.614}{RT_{LA}} M_V P_{VA} Q K_N K_P K_B \quad (\text{公式 A-26})$$

式中：

$L_W$ ——工作损失，磅/年；

$M_V$ ——蒸汽分子量，磅/磅-摩尔；

$P_{VA}$ ——日平均液体表面温度下的蒸气压，磅/平方英寸（绝压），或参照 A.1.1.6 章节；

$Q$ ——物料周转量，桶/年；

$K_P$ ——工作损失产品因子，无量纲，原油  $K_P=0.75$ ，其他  $K_P=1$ ；

$K_N$ ——工作损失周转（饱和）因子，无量纲；

当周转数  $>36$ ， $K_N = (180+N) / 6N$ ；

当周转数  $\leq 36$ ， $K_N=1$ ；

$N$  为年周转数量，无量纲；

$$N = \frac{5.614Q}{V_{LX}} \quad (\text{公式 A-27})$$

式中：

$V_{LX}$ ——储罐的最大液体容量，立方英尺；

$R$ ——理想气体状态常数，10.731 磅/（磅-摩尔·英尺·兰氏度）；

$T_{LA}$ ——日平均液体表面温度，兰氏度，见 A.1.1.5。

$K_B$ ——呼吸阀设定校正因子，呼吸阀开启压力设置在  $\pm 0.03$  磅/平方英寸范围内时， $K_B=1$ 。

呼吸阀开启压力设置在  $\pm 0.03$  磅/平方英寸范围以上时， $K_B$  计算如下：

$$\text{当 } K_N \left[ \frac{P_{BP} + P_A}{P_I + P_A} \right] > 1.0 \quad (\text{公式 A-28})$$

$$K_B = \left[ \frac{\frac{P_I + P_A}{K_N} - P_{VA}}{P_{BP} + P_A - P_{VA}} \right] \quad (\text{公式 A-29})$$

式中：

$P_I$ ——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） $P_I=0$ ；

$P_A$ ——大气压，磅/平方英寸（绝压）；

$P_{VA}$ ——日平均液面温度下的蒸气压，磅/平方英寸（绝压），或参照 A.1.1.6 章节；

$P_{BP}$ ——呼吸阀设定压力，磅/平方英寸（表压）。

## 附录 B 浮顶罐总损失计算<sup>3</sup>

浮顶罐的总损失是边缘密封、出料挂壁、浮盘附件和浮盘缝隙损失的总和，计算式见公式 B-1。

但密闭的内浮顶罐或穹顶外浮顶罐（只通过压力/真空阀排气的储罐）、或边缘使用了密封材料封闭或浮盘附件已老化或被储料浸渍的情况不适用。

$$L_{\text{浮}} = L_R + L_{WD} + L_F + L_D \quad (\text{公式 B-1})$$

式中：

$L_{\text{浮}}$ ——浮顶罐总损失，磅/年；

$L_R$ ——边缘密封损失，磅/年；

$L_{WD}$ ——挂壁损失，磅/年；

$L_F$ ——浮盘附件损失，磅/年；

$L_D$ ——浮盘缝隙损失（只限螺栓连接式的内浮盘或浮顶），磅/年。

### B.1 边缘密封损失 $L_R$

$$L_R = (K_{Ra} + K_{Rb}v^n)DP^*M_VK_C \quad (\text{公式 B-2})$$

式中：

$L_R$ ——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 B-1；

$K_{Rb}$ ——有风时边缘密封损失因子，磅-摩尔/（迈<sup>n</sup>·英尺·年），见表 B-1；

$v$ ——罐区平均环境风速，英里/小时；

$n$ ——密封相关风速指数，无量纲，见表 B-1；

$D$ ——罐体直径，英尺；

$M_V$ ——平均蒸汽分子质量，磅/磅-摩尔；

$K_C$ ——产品因子，原油为 0.4，其他有机液体为 1；

$P^*$ ——蒸汽压函数，无量纲；

---

<sup>3</sup>浮顶罐总损失计算资料摘自美国环保署 AP 42 Fifth Edition, Volume I, Chapter 7: Liquid Storage Tanks (<http://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch07/index.html>)

$$P^* = \frac{\frac{P_{VA}}{P_A}}{\left[1 + \left(1 - \frac{P_{VA}}{P_A}\right)^{0.5}\right]^2} \quad (\text{公式 B-3})$$

式中:

$P^*$ ——蒸气压函数, 无量纲;

$P_{VA}$ ——日平均液体表面温度下的蒸气压, 磅/平方英寸 (绝压), 或参照 A.1.1.6 章节

$P_A$ ——大气压, 磅/平方英寸 (绝压)。

表 B-1 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

## B.2 挂壁损失 $L_{WD}$

$$L_{WD} = \frac{(0.943)QC_sW_L}{D} \left[1 + \frac{N_cF_c}{D}\right] \quad (\text{公式 B-4})$$

式中:

$L_{WD}$ ——挂壁损失, 磅/年;

Q——年周转量, 桶/年;

$C_s$ ——罐体油垢因子, 见表 B-2;

$W_L$ ——有机液体密度, 磅/加仑;

D——罐体直径，英尺；

0.943——常数，1000 立方英尺·加仑/平方桶；

N<sub>C</sub>——固定支撑柱数量（对于自支撑固定浮顶或外浮顶罐：N<sub>C</sub>=0），无量纲；

F<sub>C</sub>——有效柱直径，英尺，取值 1。

表 B-2 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
有机液体	0.0015	0.0075	0.15

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。

### B.3 浮盘附件损失 L<sub>F</sub>

$$L_F = F_F P^* M_V K_C \quad (\text{公式 B-5})$$

式中：

E<sub>F</sub>——浮盘附件损失，磅/年；

F<sub>F</sub>——总浮盘附件损失因子，磅-摩尔/年；

$$F_F = [(N_{F1} K_{F1}) + (N_{F2} K_{F2}) + \dots + (N_{Fn} K_{Fn})] \quad (\text{公式 B-6})$$

式中：

N<sub>Fi</sub>——i 类浮盘附件数，无量纲；

K<sub>Fi</sub>——i 类附件损失因子，磅-摩尔/年，见公式 B-1；

n<sub>F</sub>——不同类浮盘附件的总数，无量纲；

P\*，M<sub>V</sub>，K<sub>C</sub> 的定义见公式 B-2。

F<sub>F</sub> 的值可由罐体实际参数中附件种类数 (N<sub>F</sub>) 乘以每一种附件的损失因子 (K<sub>F</sub>) 计算。

对于浮盘附件，K<sub>Fi</sub> 可由公式 B-7 计算：

$$K_{Fi} = K_{Fa_i} + K_{Fb_i} (K_v v)^{m_i} \quad (\text{公式 B-7})$$

式中：

K<sub>Fi</sub>——浮盘附件损失因子，磅-摩尔/年；

K<sub>Fai</sub>——无风情况下浮盘附件损失因子，磅-摩尔/年，见表 B-3；

K<sub>Fbi</sub>——有风情况下浮盘附件损失因子，磅-摩尔/((英里/小时)<sup>m<sub>i</sub></sup>·年)，见表 B-3；

m<sub>i</sub>——某类浮盘损失因子，无量纲，见表 B-3；

K<sub>v</sub>——附件风速修正因子，无量纲（外浮顶罐，K<sub>v</sub>=0.7；内浮顶罐和穹顶外浮顶罐，K<sub>v</sub>=0）；

v——平均气压平均风速，英里/小时。

表 B-3 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/(英里/小时) m·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	/	/
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

附件	状态	$k_{fa}$ 磅-摩尔/ 年	$k_{fb}$ 磅-摩尔/(英里/小时) m·年	m
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

#### B.4 浮盘缝隙损失 $L_D$

螺栓固定的浮盘存在盘缝损失, 由公式 B-8 计算:

$$L_D = K_D S_D D^2 P^* M_V K_C \quad (\text{公式 B-8})$$

式中:

$K_D$ ——盘缝损耗单位缝长因子, 焊接盘为 0, 螺栓固定盘为 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, 无数据时参见表 B-4;

$D$ 、 $P^*$ 、 $M_V$  和  $K_C$  的定义见公式 B-2。

表 B-4 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

注: 表中的浮盘缝隙长度因子只适用于螺栓连接时浮盘, 焊接式浮盘没有盘缝损耗。

表中的双层板式浮盘系数是根据典型 5000m<sup>3</sup> 内浮顶储罐的相关实测值和构造参数计算得出。

浮筒式浮盘的盘缝损耗约是双层板式的 6 倍。

## 附录 C 单位换算表

美制转为国际单位制换算见表C。

表 C 单位换算表

类别	单位换算
长度	1 米 = 3.2808 英尺
体积	1 立方米 = 264.1721 加仑 1 立方米 = 6.2898 桶 1 立方米 = 35.3147 立方英尺
质量	1 千克 = 2.2046 磅
密度	1 千克/立方米 = 0.008345 磅/加仑 1 千克/立方米 = 0.06242 磅/立方英尺
压力	1 千帕 = 7.5006 毫米汞柱 1 千帕 = 0.145 磅/平方英寸 (绝压)
风速	1 米/秒=2.2369 英里/小时
边缘密封损失系数	1 千克-摩尔/ (米·年) = 0.6720 磅-摩尔/ (英尺·年)
油垢因子	1 立方米/1000 平方米 = 0.5843 桶/1000 平方英尺
太阳辐射因子	1 瓦/ (平方米·天) = 0.00008 英热/ (平方英尺·天)