

ICS 13.020.20

CCS Z 04

CPCIF

中国石油和化学工业联合会团体标准

T/CPCIFXXXX—2022

膜分离耦合含苯系物废气治理 工程技术规范

Technical specifications of Membrane method for industrial organic emissions with
benzene treatment project

(征求意见稿)

2022-XX-XX 发布

2022-XX-XX 实施

中国石油和化学工业联合会 发布

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国石油和化学工业联合会提出。

本文件由中国石油和化学工业联合会标准化工作委员会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

膜分离耦合含苯系物废气治理工程技术规范

1 范围

本标准规定了膜分离耦合含苯系物废气治理工程的设计、施工、验收和运行的技术要求。

本标准适用于膜分离耦合含苯系物废气治理工程，可作为苯系物废气的达标排放、环境影响评价、工程咨询、设计、施工、验收及建成后运行与管理的技术依据。

2 规范性引用文件

下列文件对于本标准的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB 150.1	压力容器 第一部分：通用标准
GB 12348	工业企业厂界环境噪声排放标准
GB/T 12474	空气中可燃气体爆炸极限测定方法
GB/T 13347	石油气体管道阻火器
GB/T 16157	固定污染源排气中颗粒物测定和气态污染物采样方法
GB/T 20103	膜分离技术 术语
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/T 35579	油气回收装置通用技术条件
GB/T 38301	可燃气体或蒸气极限氧浓度测定方法
GB 50016	建筑设计防火规范
GB 50019	工业建筑供暖通风与空气调节设计规范
GB 50057	建筑物防雷设计规范
GB 50058	爆炸危险环境电力装置设计规范
GB/T 50087	工业企业噪声控制设计规范
GB 50140	建筑灭火器配置设计规范
GB 50160	石油化工企业设计防火标准
GB 50187	工业企业总平面设计规范
HG/T 20229	化工设备、管道防腐蚀工程施工及验收规范
HJ/T 1	气体参数测量和采样的固定装置
HJ/T 253	环境保护产品技术要求 微孔过滤装置
HJ/T 386	环境保护产品技术要求 工业废气吸附净化装置
HJ/T 387	环境保护产品技术要求 工业废气吸收净化装置
HJ/T 389	环境保护产品技术要求 工业有机废气催化净化装置
HJ/T 583	环境空气 苯系物的测定 固体吸附/热脱附-气相色谱法
JJF 1049	温度传感器动态响应校准
HJ 1093	蓄热燃烧法工业有机废气治理技术规范
HJ 2026	吸附法工业有机废气治理工程技术规范

HJ 2027 催化燃烧法工业有机废气治理工程技术规范
SH/T 3029 石油化工排气筒和火炬塔架设计规范
SH/T 3162 石油化工液环真空泵和压缩机工程技术规范
《建设项目环境保护管理条例》 中华人民共和国国务院令 2017 第682号
《建设项目（工程）竣工验收办法》 国家计划委员会 1990年
《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》 国环规环评[2017]4 号

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

含苯系物废气 waste gas containing BTEX

含有苯、甲苯、乙苯、二甲苯等苯系物组分的有机挥发气态污染物。

3.2

气体膜分离 membrane gas separation

在一定压力驱动下，利用气体分子在膜内溶解和扩散性质的不同，产生渗透速率上的差异，将渗透速率较快的气体在渗透侧富集，将渗透速率较慢的气体在渗余侧富集。对于含苯系物废气的气体膜分离，推荐使用苯系物等 VOCs 分子优先透过的分离膜，在渗透侧形成含苯系物等 VOCs 组分富集气（简称“富集气”），在渗余侧形成渗透速率相对较慢的如空气等的其它组分气体（简称“贫气”），从而实现不同气体在膜两侧富集分离的过程。

3.3

膜分离耦合法 method of membrane separation coupling processes

将膜分离工艺技术与其它废气处理工艺技术组合使用的气体分离方法。

3.4

膜分离耦合装置 device of membrane separation coupling processes

使用膜分离耦合法建成的废气处理装置。

3.5

膜组件 membrane module

由膜、壳体、内联接件、端板和密封圈等组成的实用膜器件。

3.6

膜分离单元 membrane separation unit

由精密过滤器、膜前预热器、膜组件、阀门、管路和控制仪表等共同组成的气体分离装置单元。

3.7

预处理单元 pretreatment unit

膜分离单元之前的气体处理装置单元，包括压缩、冷凝装置或吸收装置等，使处理气体满足进入膜分离单元的条件。

3.8

富集气后处理单元 post-treatment unit of VOCs rich gas

对经过膜分离单元处理后的渗透侧的含苯系物 VOCs 组分富集气，再进行满足回收要求处理的装置单元，包括冷凝装置和精馏装置等。

3.9

贫气后处理单元 post-treatment unit of lean gas

对经过膜分离单元处理后的渗余侧贫气，再进行满足排放要求处理的装置单元，包括吸附和燃烧等净化装置。

3.10

凝缩液 liquid condensate

指含有可凝组分的混合气体在工艺设备或管道收集系统中因压力、温度等操作参数的变化而冷凝形成的液体。

4 污染物与污染负荷

4.1 膜分离耦合合法适用于含苯系物废气的治理。

4.2 应根据工程设计的需要收集含苯系物废气的理化性质资料，主要包括以下内容：

- (a) 废气风量（正常值、最大值、最小值）；
- (b) 废气温度（正常值、最大值、最小值）；
- (c) 废气压力、湿度；
- (d) 废气中苯系物VOCs、氧气及其它气体的全组分及浓度（正常值、最大值、最小值）；
- (e) 废气中颗粒物浓度；
- (f) 产生污染物设备情况及工作制度；
- (g) 废气排放方式（连续、间歇、波动周期）

4.3 对于含有易反应、易聚合和易腐蚀废气，需经预处理后，确保废气在膜分离单元内不发生反应和腐蚀等，否则不宜采用膜分离耦合装置处理。

4.4 进入膜分离耦合装置的废气流量、压力、浓度和温度等尽量稳定，或添加缓冲罐、背压阀等设备保证进入膜分离耦合装置的废气流量等相对稳定。

4.5 膜分离耦合装置的运行温度应高于废气中各组分的结晶温度，膜分离单元的运行温度应高于废气的露点温度。

5 总体要求

5.1 一般规定

5.1.1 膜分离耦合合法含苯系物废气治理工程（以下简称“治理工程”）的建设应当按照国家的相关基本建设程序或技术改造审批程序进行，总体设计应当满足《建设项目环境保护管理条例》的规定。

5.1.2 治理工程应遵循综合治理、循环利用、达标排放、总量控制的原则。治理工艺的设计

应当坚持成熟可靠、技术先进、经济适用的原则，并考虑节能、安全以及操作简便。

5.1.3 治理工程应当与生产工艺水平适应。生产企业应当把治理设备作为生产系统的一部分进行管理，治理设备应当与废气源头设备同步运转，并且先于废气源头设备启动，晚于废气源头设备关停。

5.1.4 治理后污染物排放应符合国家或地方相关大气污染物排放标准的规定。

5.1.5 治理工程在建设、运行过程中产生的少量废气、废水、废渣及其它污染物，应执行国家或地方相关环境保护法规和标准的规定，防止二次污染。

5.1.6 治理工程应按照国家相关法律法规和标准要求安装在线连续监测设备。

5.1.7 治理工程中包括吸附法时，应符合HJ 2026-2013的要求。

5.1.8 治理工程中包括催化燃烧法时，应符合HJ 2027-2013的要求。

5.1.9 治理工程中包括蓄热燃烧法时，应符合HJ 1093-2020的要求

5.2 工程构成

5.2.1 治理工程由主体工程和辅助工程组成。

5.2.2 主体工程包括废气收集、预处理单元、膜分离单元、富集气后处理单元和贫气后处理单元。

5.2.3 辅助工程包括检测与过程控制、电气仪表和给排水等。

5.3 场址选择和总图布置

5.3.1 场址选择和总图布置应参照标准GB 50187规定执行。

5.3.2 场址选择应遵从降低环境影响、方便施工及运行维护等原则，并按照消防要求留出消防通道和安全保护距离。

5.3.3 治理设备布置应考虑主导风向，减少有害气体、噪声等对环境的影响。

6 工艺设计

6.1 一般规定

6.1.1 在选择含苯系物废气的治理工艺路线过程中，应按照国家排放标准、回收价值、社会效益和处理费用的顺序进行技术经济评估，优先选用回收工艺。

6.1.2 治理工程的处理能力应根据废气处理量确定，设计风量一般应按照常见工况废气排放量的120%以上进行设计，适当考虑最大和最小排放量。

6.1.3 膜分离耦合装置稳定运行后，出装置废气应达到国家排放标准GB 31570和GB31571的要求：非甲烷总烃 $\leq 120\text{mg}/\text{m}^3$ ，苯浓度 $\leq 4\text{mg}/\text{m}^3$ ，甲苯浓度 $\leq 15\text{mg}/\text{m}^3$ ，二甲苯浓度 $\leq 20\text{mg}/\text{m}^3$ ，乙苯浓度 $\leq 100\text{mg}/\text{m}^3$ 。如果地方排放标准高于国家排放标准，参照本地区标准。

6.1.4 排气筒的设计应满足SH/T 3029的规定。

6.2 工艺路线的选择

6.2.1 工艺路线的选择应充分考虑废气来源、组分、流量、压力和温度等因素。

6.2.2 根据含苯系物废气的特点，将膜分离工艺与其他治理工艺进行耦合，可选用的典型治理工艺有：

a) 压缩+冷凝工艺+膜分离工艺+吸附回收工艺；

b) 压缩+冷凝工艺+膜分离工艺+燃烧工艺；

c) 压缩+吸收工艺+膜分离工艺+吸附回收工艺；

d) 压缩+吸收工艺+膜分离工艺+燃烧工艺;

注: 上述燃烧工艺包括高温焚烧工艺、催化燃烧工艺或蓄热燃烧工艺等典型的以膜分离为核心的含苯系物废气耦合治理工艺流程图见附录A。

6.2.3 通过调节含苯系物废气压力和温度容易达到其露点时, 预处理单元宜选用冷凝工艺处理, 除去部分含苯系物废气凝缩液组分, 随后进入膜分离单元进一步回收净化。

6.2.4 当治理工程现场具备充足的吸收介质供应和吸收剂再生条件时, 预处理单元可选用吸收工艺处理, 除去部分含苯系物废气组分, 随后进入膜分离单元进一步回收净化。

6.2.5 废气经过膜分离单元后得到的含苯系物等VOCs组分富集气, 可送入预处理单元进行循环处理或做其它回收利用。

6.2.6 当废气经过膜分离单元后得到的贫气达不到排放标准, 但仍有回收价值或容易被吸附时, 宜对贫气采用吸附回收工艺进行深度净化, 脱附产生的气体可返回废气收集单元进行循环处理。

6.2.7 当废气经过膜分离单元后得到的贫气达不到排放标准, 但不宜回收时, 宜采用燃烧工艺进行深度处理, 达标后排放。

6.3 工艺设计要求

6.3.1 废气收集

6.3.1.1 废气收集系统的设计应符合GB 50019和行业相关规定。

6.3.1.2 废气收集系统应尽可能利用主体生产装置本身的集气系统。废气收集应当与主体工艺协调一致, 不对主体生产装置的运行产生负面影响。在保证收集能力的前提下, 废气收集系统应当结构简单, 便于安装和维护管理。

6.3.1.3 确定集气罩的吸气口位置、结构和气体流速时, 应保证罩口呈微负压状态, 同时罩内压力均匀。

6.3.1.4 集气罩的吸气方向应尽可能与废气流动方向一致, 避免或减弱干扰气流和送风气流对吸气气流的影响, 防止吸气罩周围气流紊乱。

6.3.1.5 当废气产生点较多且彼此距离较远时, 应适当分设多套收集系统。

6.3.2 预处理单元

6.3.2.1 预处理单元的选择应充分考虑废气组分、性质, 以及废气中颗粒与液态污染物的含量。

6.3.2.2 对于非稳态系统, 宜在预处理单元增设缓冲罐或背压阀等设备使进气平稳。

6.3.2.3 当废气温度较高时, 应当通过换热等方式降温至回收单元适宜操作温度。

6.3.2.4 当废气含有酸、碱类气体时, 宜采用中和吸收等工艺进行去除, 使其满足进入膜分离耦合装置的运行条件。

6.3.2.5 当进入膜分离耦合装置的废气中颗粒物浓度含量高于 10 mg/m^3 时, 应采用过滤、洗涤等方式进行净化预处理, 含有焦油、漆雾等黏性物质时应从严控制。

6.3.2.6 当含苯系物废气压力低于工艺操作要求时, 应选用满足防爆要求的增压设备, 如液环式压缩机等。

6.3.3 膜分离单元

6.3.3.1 膜分离耦合装置中膜分离单元的设计压力应符合GB150.1的要求, 膜分离单元的工作压力应不高于设计压力。

6.3.3.2 膜组件的规格尺寸和数量应充分考虑废气处理量、其中含苯系物废气浓度以及排放标准的规定。

6.3.3.3 膜组件的数量应在满足设计规模的同时，宜并联预留一定数量的接口，使得该单元易于扩容。

6.3.3.4 正常工况下膜组件的连续使用寿命应不低于16 000h。

6.3.3.5 膜组件前应设置过滤装置，过滤装置入口、出口之间应设置差压计，当过滤装置阻力超过规定值时进行清理或更换过滤材料。

6.3.3.6 进入膜组件的废气不宜含有可能损坏膜材料分离功能层的凝缩液及颗粒物，膜组件前宜设置除雾器和精密过滤器，保证进入膜组件的废气中的液雾浓度不超过0.1ppmw，废气中的颗粒物粒径不高于0.01 μm。

6.3.3.7 在膜组件前应设置预热装置，加热后废气的温度应当高于废气露点温度10~20℃，但低于膜的最高使用温度（一般70℃）。

6.3.4 后处理单元

6.3.4.1 充分考虑富集气和贫气的组分、性质等选择适宜的后处理单元。

6.3.4.2 当后处理单元选用吸附回收装置时，吸附回收装置的解析气可以根据其回收价值增压后返回预处理单元进行循环处理，或采用燃烧工艺等进行深度处理后，达标后排放。

6.4 二次污染物控制

6.4.1 预处理和后处理单元产生的少量废水和废液应按照相应的回收需求和排放标准进行集中处理。

6.4.2 预处理产生的少量粉尘和废渣、废弃的过滤材料、膜材料、吸附材料等，应当按照国家固体废弃物处理与处置的相关规定进行处理。

6.4.3 噪声控制应符合GB 12348和GB/T 50087的规定。

6.5 安全措施

6.5.1 治理工程应符合国家、行业有关大气污染物排放、电力、电气、防爆、消防安全、噪声等方面的标准和技术规范。

6.5.2 治理工程应有事故自动报警装置，并符合安全生产、事故防范的相关规定。

6.5.3 治理工程与主体生产装置之间的管道系统应安装阻火器（防火阀），阻火器性能应符合GB/T 13347的规定。

6.5.4 治理工程回收系统整机应取得防爆认证，防爆等级不低于Exd II BT4，出于对安全生产的考虑，系统的设计与选型，应符合国内相关安全防爆标准。

6.5.5 治理工程安装区域应按规定设置消防设施，或者周边消防设施符合要求。

6.5.6 治理工程应具备短路保护和接地保护，接地电阻应小于4 Ω。

6.5.7 室外治理工程应安装符合GB 50057规定的避雷装置。

6.5.8 治理工程的防爆泄压设计应符合GB 50160的要求。

6.5.9 膜分离单元应设置就地及远传压力、温度和流量仪表，并采取相应保护措施。

6.5.10 膜分离单元的入口应设置切断阀。

6.5.11 膜分离单元应设置与设计压力相匹配的安全阀或其他防护措施。

7 主要工艺设备

7.1 主要工艺设备的性能应满足本标准6.3的要求，并有必要的备用。

- 7.2 膜分离耦合装置主体宜选用防腐耐温材料，膜分离单元宜选用不锈钢材料。
- 7.3 膜分离耦合装置真空泵或增压用压缩机宜选择液环式压缩机，液环式压缩机应符合SH/T 3162-2011《石油化工液环真空泵和压缩机工程技术规范》的要求。
- 7.4 吸附装置的基本性能应满足HJ/T 386的要求。
- 7.5 吸收装置的基本性能应满足HJ/T 387的要求。
- 7.6 催化燃烧装置的基本性能应满足HJ/T 389的要求。
- 7.7 当废气中含有腐蚀性介质时，膜分离耦合装置应整体满足相关防腐要求（风机、集气罩、管道、阀门、过滤器和膜分离单元等）。

8 检测与过程控制

8.1 检测

- 8.1.1 治理设备应设置永久性采样口，采样口的设置应符合HJ/T 1，采样方法应满足GB/T 16157的要求。采样频次和检测项目应根据工艺控制要求确定。
- 8.1.2 膜分离耦合装置内部应装设具有自动报警功能的多点温度检测装置。温度传感器应按JJF 1049的要求进行标定后使用。
- 8.1.3 应定期检测膜分离单元原料侧与渗透侧的压力差和精密过滤器前后的压力差。

8.2 过程控制

- 8.2.1 治理工程应先于废气源头工艺设备开启、晚于废气源头工艺设备关停，并在治理工程和主体生产工艺间实现自动控制。

9 主要辅助工程

9.1 电气系统

- 9.1.1 电源系统可直接由主体生产装置配电系统接引，中性点接地方式应与生产主体工程一致。
- 9.1.2 电气系统设计应满足 GB 50058的要求。

9.2 给水、排水与消防系统

- 9.2.1 治理工程的给水、排水设计应符合相关工业行业给水排水设计规范的有关规定。
- 9.2.2 治理工程的消防设计应纳入工厂的消防系统总体设计。
- 9.2.3 消防通道、防火间距、安全疏散的设计和消防栓的布置应符合GB 50016的规定。
- 9.2.4 治理工程应按照GB 50140的规定配置移动式灭火器。

10 工程施工与验收

10.1 工程施工

- 10.1.1 工程设计、施工单位应具有国家相应的工程设计、施工资质。
- 10.1.2 工程施工应符合国家和行业施工程序及管理文件的要求。
- 10.1.3 工程施工应按设计文件进行建设，对工程的变更应取得工程设计单位的设计变更文件后再进行施工。
- 10.1.4 工程施工中使用的设备、材料和部件应符合相应的国家标准。

- 10.1.5 需要采用耐腐蚀材质的设备、管路和管件等的施工和验收应符合HG/T 20229的规定。
- 10.1.6 施工单位除应遵守相关的施工技术规范外，还应遵守国家有关部门颁布的劳动安全及卫生消防等强制性标准的要求。

10.2 工程验收

- 10.2.1 工程验收应根据《建设项目（工程）竣工验收办法》组织进行。
- 10.2.2 工程安装、施工完成后应首先对相关仪器仪表进行校验，然后根据工艺流程进行分项调试和整体调试。
- 10.2.3 通过整体调试，各系统运转正常，技术指标达到设计和合同要求后启动试运行。

10.3 竣工环境保护验收

- 10.3.1 按《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》进行竣工环境保护验收。
- 10.3.2 工程验收前应进行试运行和性能试验，性能试验的内容主要包括：
- (a) 国家或地方排放标准中规定的苯系物废气污染物的排放浓度（至少检测三次）；
 - (b) 风量；
 - (c) 系统压力降；
 - (d) 耗电量；
 - (e) 耗水量；
 - (f) 蒸汽消耗量等。

11 运行与维护

11.1 一般规定

- 11.1.1 治理设备应与产生废气的生产工艺设备同步运行。由于紧急事故或设备维修等原因造成治理设备停止运行时，应立即报告当地环境保护行政主管部门。
- 11.1.2 治理设备正常运行中废气的排放应符合国家、地方和相关行业污染物排放标准的规定。
- 11.1.3 治理设备不得超负荷运行。
- 11.1.4 企业应建立健全与治理设备相关的各项规章制度，以及运行、维护和操作规程，建立主要设备运行状况的台账制度。

11.2 人员与运行管理

- 11.2.1 治理系统应纳入生产管理中，并配备专业管理人员和技术人员。
- 11.2.2 膜组件在使用过程中分离性能下降，当排气中苯系物废气的浓度不满足设计或排放要求时，应及时检修更换膜组件。
- 11.2.3 在治理系统启用前，企业应对管理和运行人员进行培训，使管理和运行人员掌握治理设备及其它附属设施的具体操作和应急情况下的处理措施。培训内容包括：
- a) 基本原理和工艺流程；
 - b) 启动前的检查和启动应满足的条件；
 - c) 正常运行情况下设备的控制、报警和指示系统的状态和检查，保持设备良好运行的条件，以及必要时的纠正操作；
 - d) 设备运行故障的发现、检查和排除；
 - e) 事故或紧急状态下人工操作和事故排除方法；

f) 设备日常运行和定期维护记录的内容;

g) 其他事件的记录和报告的内容。

11.2.4 企业应建立治理工程运行状况、设施维护等的记录制度, 主要记录内容包括:

a) 治理装置的启动、停止时间;

b) 膜材料、过滤材料、催化剂、吸收剂等的质量分析数据、采购量、使用量及更换时间;

c) 治理装置运行工艺控制参数, 至少包括治理设备进、出口浓度和相关温度;

d) 主要设备维修情况;

e) 运行事故及处理、整改情况;

f) 定期检验、评价及评估情况;

g) 污水排放、副产物处置情况。

11.2.5 运行人员应遵守企业规定的巡视制度和交接班制度。

11.3 维护

11.3.1 治理设备的维护应纳入全厂的设备维护计划中。

11.3.2 维护人员应根据计划定期检查、维护和更换必要的部件和材料。

11.3.3 维护人员应做好相关记录。

附录 A

(资料性)

典型的膜分离耦合含苯系物废气治理工艺流程图

A.1 预处理单元 + 膜分离单元 + 后处理单元工艺流程

工艺流程图如图A.1所示：

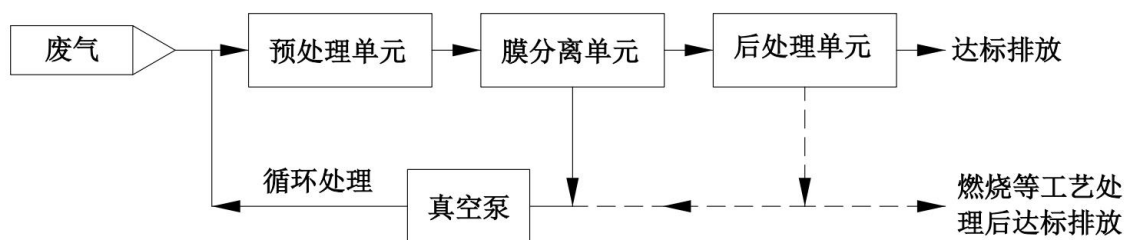


图 A.1 预处理单元 + 膜分离单元 + 后处理单元工艺流程

注：（1）图A.1中后处理单元的循环返回虚线表示吸附回收工艺中的解析气物流；

A.2 预处理单元

预处理单元主要采用：冷凝工艺或吸收工艺，工艺流程简图如图A.2 所示：

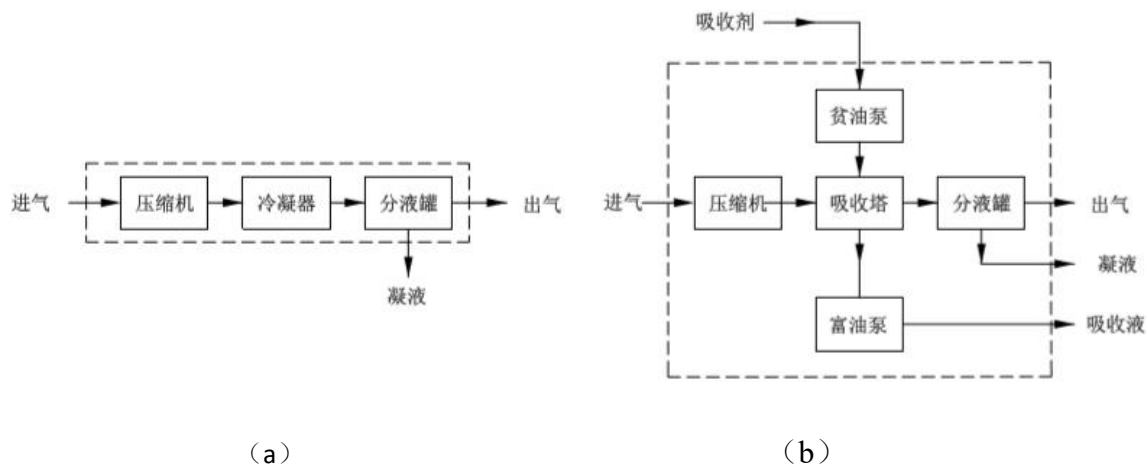


图 A.2 预处理单元工艺流程：(a) 冷凝工艺；(b) 吸收工艺

A.3 膜分离单元

膜分离单元工艺流程图如图A.3 所示：

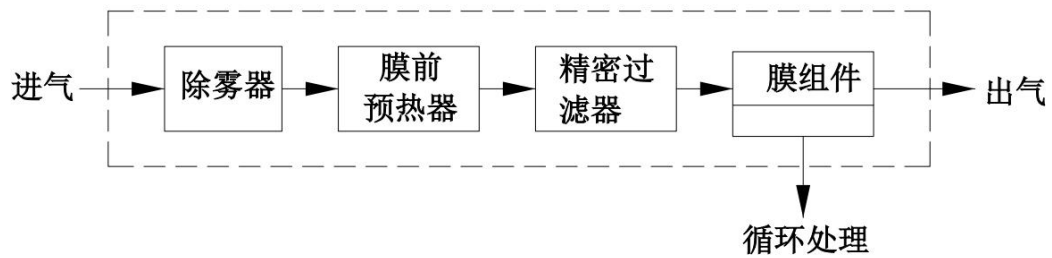


图 A.3 膜分离单元工艺流程

A. 4 预处理单元

贫气后处理单元主要采用：吸附回收工艺或燃烧工艺，工艺流程图如图A. 4 所示：

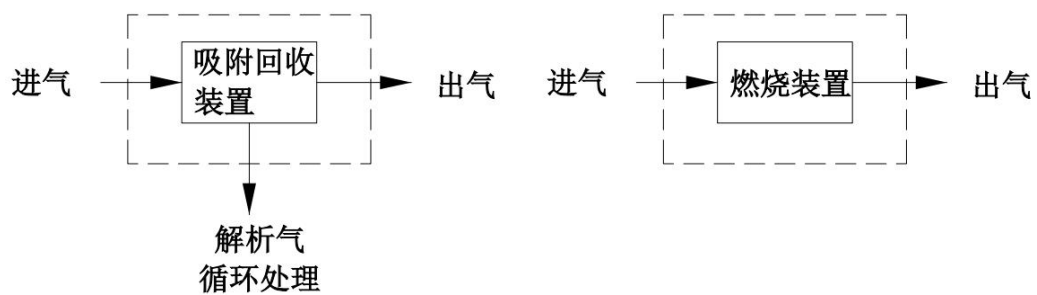


图 A.4 贫气后处理单元工艺流程：(a) 吸附回收工艺；(b) 燃烧工艺

《膜分离耦合含苯系物废气治理工程技术规范》编制说明

（征求意见稿）

《膜分离耦合含苯系物废气治理工程技术规范》编制组

2022 年 2 月

目 录

1 任务来源.....	1
2 标准编制的必要性.....	1
3 工作过程.....	2
4 国内外相关标准研究.....	3
5 膜分离耦合含苯系物废气治理技术.....	4
5.1 相关技术原理.....	4
5.2 工艺流程.....	4
5.3 应用情况（案例分析）.....	6
6 标准主要内容及说明.....	7
6.1 适用范围.....	7
6.2 相关国家标准和行业标准.....	8
6.3 术语和定义.....	8
6.4 污染物与污染负荷.....	9
6.5 总体要求.....	9
6.6 工艺设计.....	9
6.7 主要工艺设备.....	14
6.8 检测与过程控制.....	15
6.9 主要辅助工程.....	15
6.10 工程施工与验收.....	15
6.11 运行与维护.....	16
7 标准实施的环境及经济效益分析.....	16
8 标准实施建议（包括组织措施、技术措施、过渡办法、实施日期等）.....	17

《膜分离耦合含苯系物废气治理工程技术规范》

团体标准编制说明

1 任务来源

为了对膜分离耦合含苯系物废气治理工程进行切实有效地管控，中国石油和化学工业联合会经认真研究，全面启动了膜分离耦合含苯系物废气治理工程技术规范制订工作，通过标准规范膜分离耦合含苯系物废气治理工程，严格控制有关污染物指标，保障项目安全。

根据中国石油和化学工业联合会 2019 年 8 月下发的《关于印发 2019 年第一批中国石油和化学工业联合会团体标准项目计划的通知》（中石化联质函[2019]133 号）的要求，由大连理工大学、大连理工大学盘锦产业技术研究院等单位负责起草《膜分离耦合含苯系物废气治理工程技术规范》（序号 15）团体标准。

2 标准编制的必要性

含苯系物废气（BTEX）在众多行业中分布广泛，主要在石油化工生产过程中产生。苯系物通常包括苯、甲苯、乙苯、二甲苯等是重要的化工原料和溶剂。苯作为有机化学中常用的原料，主要用于制造苯乙烯、苯酚、药物、合成橡胶、塑料、洗涤剂、燃料、炸药等；苯作为溶剂、萃取剂和稀释剂用于多种化工产品的生产；另外，苯用作燃料如工业汽油中苯的含量高达 10%以上。同样甲苯、二甲苯用作化工生产的中间体，作为溶剂或稀释剂用于油漆、喷漆、橡胶、皮革等工业，也可作为汽车和航空汽油的掺加成分。苯系物的污染及其健康危害已成为亟待解决的重大的公共卫生安全健康问题之一。目前，苯、甲苯和二甲苯（又称“三苯”）被列入美国 EPA 的 129 种优先污染物名单中，“三苯”是强血液毒性和致癌物质，苯系物已经被世界卫生组织确定为强烈致癌物质，因此对含苯系物废气的控制迫在眉睫。

目前，针对含苯系物废气排放管理的相关标准有《恶臭污染物排放标准》《大气污染物综合排放标准》、《GB31571 石油化学工业污染物排放标准》和《GB 31570 石油炼制工业污染物排放标准》以及储油库、加油站、油罐车、合成革、

橡胶、炼焦、石油炼制、石油化学等行业排放标准。在 GB31571 和 GB 31570 有机物浓度排放限值要求中，相对于非甲烷总烃的排放限值为 $120\text{mg}/\text{m}^3$ ，苯系物作为毒性物质的排放要求限制更加的苛刻，标准中要求其排放限值分别为苯浓度 $\leq 4\text{mg}/\text{m}^3$ ，甲苯浓度 $\leq 15\text{mg}/\text{m}^3$ ，二甲苯浓度 $\leq 20\text{mg}/\text{m}^3$ ，乙苯浓度 $\leq 100\text{mg}/\text{m}^3$ 。另外，煤化工、干洗、电子、印织印染、农药、制药、涂料、油墨、人造板、涂装等一系列与含苯系物废气排放相关的国家标准正在制定和修订中，我国将形成一套严格的技术标准体系，对含苯系物等有机污染物的排放要求会越来越严格。

近年来，我国的含苯系物废气治理技术和设备已经有了较大的发展，一些新技术，如气体膜分离在治理工程中得到了应用并取得了一定的效果，但仍面临着不少问题：现有的含苯系物废气治理技术众多，目前已经出台了《吸附法工业有机废气治理工程技术规范》（HJ2026-2013）、《催化燃烧法工业有机废气治理工程技术规范》（HJ 2027-2013）和《蓄热燃烧法工业有机废气治理工程技术规范（HJ1093-2020）》，对活性炭吸附、催化燃烧法和蓄热燃烧法的治理工程做了相应的技术要求，而对于含苯系物废气的膜分离耦合治理技术尚缺乏工程技术规范指导。由于相应标准规范的缺失，行业内生产企业缺少计算和设计依据，往往造成含苯系物废气治理工程难以实现长期稳定达标运行。为了规范和指导膜分离耦合合法含苯系物废气治理工程的设计、建设、施工和运行，亟需编制该工程技术规范。

3 工作过程

（1）标准立项

2019 年 6 月 28 日，2019 年石化联合会第一批团标立项计划审查会通过了《膜分离耦合合法含苯系物废气治理工程技术规范》的编制任务。

（2）标准开题

确定了参与编制单位及人员、技术路线、任务分工、时间进度等问题；

成立编制小组：大连理工大学负责指导、协调标准制定、提供相关资料，参与标准制订和讨论；大连理工大学盘锦产业技术研究院负责标准及编制说明初稿、征求意见稿及报批稿的编制；协会负责开展行业调研、协调进度安排，征求意见，召开专家讨论会和标准论证会。表 1 为标准主要起草人及负责主要工作。

表 1：主要起草人及其主要工作

姓名	单位	主要工作
贺高红	大连理工大学	组长，指导、协调标准制定、资料收集、试验验证、审校标准等工作。
庄相宁	中国化工环保协会	副组长，指导建立标准构架，确定方案，审校标准等。
郭明钢	大连理工大学盘锦产业技术研究院	主要起草人，负责现场调研，组织、参加试验验证、审校标准等。
米盼盼	大连理工大学盘锦产业技术研究院	主要起草人，负责现场调研，组织、参加试验验证、审校标准等。
徐晓莉	中国化工环保协会	协调标准起草工作，审校标准。
阮雪华	大连理工大学	参加标准方案确定、审校标准等。
代岩	大连理工大学盘锦产业技术研究院	参加标准方案确定、审校标准等。
肖武	大连理工大学	参加标准方案确定、审校标准等。
杨晓航	大连理工大学盘锦产业技术研究院	参加标准方案确定、审校标准等。

（3）征求意见稿起草

2019 年 10 月，完成征求意见稿和编制说明初稿；

2019 年 12 月，编制组成员组织讨论初稿，提出修改完善的意见；

2020 年 3 月，编制组成员对相关企调研，收集行业的数据，补充完善标准初稿；

2020 年 4 月，完成典型企业膜分离耦合苯系物治理项目的考察调研工作；

2021 年 5 月，补充完善形成征求意见稿草稿，并根据专家意见进行修改；

2021 年 12 月，召开征求意见稿草稿专家评审会，根据专家组意见完成修改形成征求意见稿。

此后，编制组陆续组织相关研讨会（包括征求意见稿审查会、关键参数研讨会等），进一步修改完善后形成征求意见稿。

4 国内外相关标准研究

分离膜作为高新技术，目前国际标准还较少，从涉及的产品标准分析：除了美国试验与材料协会（ASTM）发布的分离膜相关的标准制定的比较细致，修订也很及时以外，有关于分离膜在工程应用方面的标准还是较少，为我国分离膜标准留有极大的发展空间。

我国在 2007 年底发布了中华人民共和国环境保护行业标准《环境保护产品技术要求 工业废气吸附净化装置》（HJ/T386-2007）、《环境保护产品技术要求 工业废气吸收净化装置》（HJ/T387-2007）、《环境保护产品技术要求工业废气催化净化装置》（HJ/T389-2007），分别对工业废气吸附净化装置、吸收净化装置、催化燃烧装置的技术要求、检验方法和检验规则进行了规定，在 2013 年初发布了《吸附法工业有机废气治理工程技术规范》（HJ2026-2013）、《催化燃烧法工业有机废气治理工程技术规范》（HJ2027-2013），进一步提出了对工业有机废气吸附法和催化燃烧法治理工程的设计、施工、验收、运行等方面的技术要求。除了吸附法和催化燃烧法外，近期针对有机废气的又一标准《蓄热燃烧法工业有机废气治理工程技术规范》（HJ1093-2020）刚刚发布实施，其他的治理技术尚未形成相应的工程技术规范。

标准作为行业发展的一个重要步骤，起着肯定已有成果、引导行业发展方向的重要作用，具有很强的指导性。由于我国膜分离行业发展较晚，出台的国家标准和行业标准较少，因此制定相关标准对促进膜产业科学化、规范化管理，引导膜产业朝着健康有序的方向发展，推动膜技术广泛应用起到了重要的技术支撑作用。近年，膜分离耦合装置已被广泛地应用于含苯系物废气的治理工程，行业内对该治理工程的安全设计、安装、操作、监管、检测和运维还未作明确规定。

5 膜分离耦合法含苯系物废气治理技术

5.1 相关技术原理

膜分离耦合法含苯系物废气治理技术。通常采用膜分离+吸收/吸附/冷凝等工艺组合。气体分离膜是基于采用特殊方法和材料制成的，其在一定压力推动下对混合气体中各组分具有不同的渗透速率，从而实现气体的分离，适用于含苯系物废气的回收。与吸收/吸附及冷凝的耦合使用，可有效减少这些技术的负荷，降低能耗，确保达到排放标准。

5.2 工艺流程

大连理工大学贺高红教授课题组建立了有效能损失的通用分析方法，提出多技术耦合流程的拓扑结构设计策略，开发出系列膜基多技术循环级联分离工艺，并广泛应用于实际生产。建立了快速搜寻能效损失关键环节的非平衡热力学通用

分析方法，根据分离性质及产品归属合并组分、简化体系，建立了多技术循环级联的拓扑结构设计方法，解决了工艺流程潜在方案数的“组合爆炸”问题；以膜分离为核心，有机结合冷凝、吸收、吸附、透平制冷和精馏等技术，研发出系列多技术循环级联分离工艺，回收率高、排放达到国家最新标准，能耗较国际先进技术降低 10%~40%，解决了化工行业有机尾气回收减排过程面临的来源复杂、组成多样、分离目的差异化等难题。大连理工大学贺教授团队研发的“油品储运过程油气膜分离-吸附回收技术”作为推广技术，入选环保部 2016 年国家先进污染防治技术目录。以大连理工大学贺高红教授课题组开发的一种膜分离耦合装置（压缩+冷凝+膜分离+吸附）为例说明工艺流程，如图 1 所示。

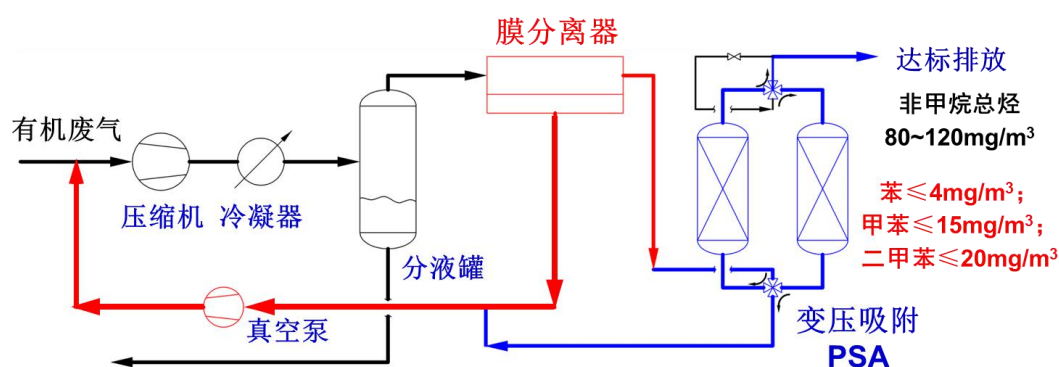


图 5.1 膜分离耦合装置（压缩+冷凝+膜分离+吸附）工艺流程简图

含苯系物废气，汇入废气收集系统中。当总管的压力达到设定的高值时，膜分离耦合装置启动；当总管的压力下降到设定低值时，膜分离耦合装置停止工作。

进入膜分离耦合装置中的含苯系物废气，经压缩机加压至操作压力（通常为 0.4MPaG）。然后通过冷凝器冷凝到 10℃。在此压力温度下，大部分含苯系物等 VOCs 组分冷凝为液体，通过分液罐返回至储罐。

剩下的较低的浓度含苯系物废气，经分液罐顶流出后进入膜分离器。

膜分离器由一系列并联的安装于管路上的膜组件构成（数量取决于装置的设计处理能力）。真空泵在膜的渗透侧产生真空，以提高膜分离的效率。膜分离器将混合气体分成两股：含有少量烃类的尾气和渗透侧的烃类富集气。

含有少量烃类的尾气在系统压力的作用下引入吸附装置进行进一步净化处理，使排放的各种有机物均达到排放标准。如吸附装置由两个吸附床组成，每个吸附床装填有专用吸附剂。两个吸附床按程序自动交替工作，保证系统连续运行。

吸附床的脱附再生是利用前级的真空泵实现的。吸附装置再生的气体可与膜渗透侧的富集气混合在一起，循环至膜分离耦合装置的压缩机入口，与收集的含苯系物废气相混合，进行上述循环。

5.3 应用情况（案例分析）

2018 年由贺高红教授主持完成的科研项目“膜法高效回收与减排化工行业挥发性有机气体”，获国家科学技术进步二等奖。该科研项目建立了具有完全自主知识产权的膜—分离器—工艺的完整研发体系，通过高性能膜及装备回收、浓缩，将含苯系物废气加工成重要的化工原料，对于环境保护和资源利用具有十分重要的意义。该项目研制出高性能、长寿命、低电阻的复合膜，实现工业化稳定生产；研制出本质安全、低流阻、低浓度极化的高效膜分离器，实现工业生产；研发高能效回收与减排循环级联工艺包并成功应用。该科研成果成功转化实现了工业生产和大规模应用，已经建成全球最大的含苯系物废气膜基地，使我国超过美国、德国，成为全球最大的含苯系物废气膜工业生产和应用的国家，为我国含苯系物废气膜分离技术从跟跑到全球领跑作出重要贡献。

（1）膜分离耦合装置（冷凝+膜）的应用



图 5.2 膜分离耦合装置（冷凝+膜）回收有机废气撬块

中石油四川石化 2013 年在厂区芳烃罐区利用膜分离耦合装置（冷凝+膜）回收有机废气，该项目总处理量为 4600m³/h，项目投用后，有机废气回收设施运行平稳，经收集处理后，芳烃罐区大气污染物排放指标达到设计值，其中含苯系物

废气的回收率为 99.5%，排放尾气中苯浓度 $\leq 4 \text{ mg/m}^3$ ，达到《石油炼制工业污染物排放标准》（GB 31570-2015）排放标准的要求。

（2）膜分离耦合装置（吸收+膜+吸附）的应用

图 5.3 为中石油大连石化厂区汽油油气利用膜分离耦合装置（吸收+膜+吸附），投用至今有机废气回收设施运行平稳，实现了达标排放。非甲烷总烃出口浓度小于《石油炼制工业污染物排放标准》（含苯系物废气 排放 $<120 \text{ mg/m}^3$ ，苯 $\leq 4 \text{ mg/m}^3$ ，甲苯 $\leq 15 \text{ mg/m}^3$ ，二甲苯 $\leq 20 \text{ mg/m}^3$ ）。



图 5.3 膜分离耦合装置（吸收+膜+吸附）回收有机废气撬块

6 标准主要内容及说明

6.1 适用范围

膜分离耦合技术主要用于各种含苯系物废气的净化，是目前国内外含苯系物废气治理的主要技术之一，应用范围广。目前我国所使用的含苯系物废气治理工艺设备中，膜分离耦合装置在数量和口碑方面均呈现上升趋势。膜分离耦合装置适用范围广，当废气排放量大、含苯系物废气浓度较高时，冷凝/吸收/吸附+膜耦合技术，对于废气中含苯系物等 VOCs 组分浓度较低的行业来说，废气可以先经

过膜组件进行适当脱除或浓缩后，再进行冷凝/吸收/吸附等耦合处理技术。

因此，根据规范编制原则编制的膜分离耦合含苯系物废气治理工程技术规范，可作为膜分离耦合含苯系物废气治理工程环境影响评价、工程咨询、设计、施工、验收及建成后运行与管理的技术依据。

6.2 相关国家标准和行业标准

现行的国家法律法规、大气环境治理类的环保类标准、相关的行业标准是制定本规范的依据，其中对于膜分离耦合含苯系物废气治理工程中的各类设备和材料的制造（作）、加工、运输、安装、测试、维修等方面的规定，引用现行的国家标准及行业标准。

6.3 术语和定义

为了便于对规范条文的理解，对本规范中涉及的技术名词予以定义。

对在其他法律、法规和技术规范上已经定义的术语如果适用于本规范的，在本规范中不再重新进行定义。对于有关标准和规范上没有标准定义而本规范中需要解释的给予了命名和规范，例如：

（1）气体膜分离

在一定压力驱动下，利用气体分子在膜内溶解和扩散性质的不同，产生渗透速率上的差异，将渗透速率较快的气体在渗透侧富集，将渗透速率较慢的气体在渗余侧富集。对于含苯系物废气的气体膜分离，推荐使用含苯系物 VOCs 分子优先透过的分离膜，在渗透侧形成含苯系物 VOCs 富集气（简称“富集气”），在渗余侧形成渗透速率相对较慢的如空气等的其它组分气体（简称“贫气”），从而实现不同气体在膜两侧富集分离的过程。

（2）膜分离耦合法

将膜分离工艺技术与其它废气处理工艺技术组合使用的气体分离方法。

（3）膜分离耦合装置

使用膜分离耦合法建成的废气处理装置

对于本规范中涉及的一些最为核心的名词，虽然在其它标准中已有定义，在本规范中也重新进行了解释。

6.4 污染物与污染负荷

(1) 本章规定了膜分离耦合法治理含苯系物废气的风量设计原则、资料收集要求、以及进入膜分离耦合装置的进气浓度要求。

(2) 对于含有易反应、易聚合有机物的废气，会对膜组件的渗透性能有所影响，不宜采用膜分离耦合装置直接进行处理，如果使用需进行预处理。

(3) 当废气浓度、流量和温度出现波动时，会影响膜分离耦合装置的运行，因此进入膜分离耦合装置的废气浓度、流量和温度不应出现过大的波动，或在膜分离耦合装置预处理单元增加添加缓冲罐、背压阀等设备保证进入膜分离耦合装置的废气流量等相对稳定。

(4) 当废气中含有易冷凝的组分时，膜分离耦合装置的运行温度应高于废气的露点温度，避免由于结晶而造成的管道及设备堵塞等问题。

6.5 总体要求

6.5.1 一般规定

对治理工程的总体设计、企业生产系统的适用性要求、处理后要达到的目标以及净化设备运行过程中的环境保护要求等，进行了原则性的规定。

关于净化系统产生的二次污染物的控制，在规范 6.4 中进行了详细规定。

6.5.2 工程构成

主要对治理工程的主体工程 and 辅助工程的组成进行了界定。

6.5.3 场址选择与总图布置

治理设备的布置应考虑主导风向的影响，以减少有害气体、噪声等对环境的影响。如果在下风向无居民区，应布置在主导风向的下风向。

对于含苯系物废气的治理，在场址选择中主要考虑有机废气的易燃、易爆、有毒等特点，按照消防要求留出消防通道和安全保护距离。同时要考虑因地制宜地利用厂区空间，降低治理成本。

6.6 工艺设计

6.6.1 一般规定

(1) 在选择含苯系物废气的治理工艺路线过程中，应按照国家排放标准、

回收价值、社会效益和处理费用的顺序进行技术经济评估，优先选用回收工艺。

(2) 在通常的含苯系物废气治理中都会考虑留出一定的设计裕量。根据实际设计经验，对于含苯系物废气的治理设备，设计裕量为 20%左右，在此规定设计裕量为 20%。

(3) 苯系物废气已是肯定的人类致癌物，近年来我国对苯系物废气的危害已高度重视，对含苯系物废气中的非甲烷总烃及苯系物质量指标限值参照 GB31571-2015《石油化学工业污染物排放标准》的要求：非甲烷总烃 $\leq 120\text{mg/m}^3$ ，苯浓度 $\leq 4\text{mg/m}^3$ ，甲苯浓度 $\leq 15\text{mg/m}^3$ ，二甲苯浓度 $\leq 20\text{mg/m}^3$ ，乙苯浓度 $\leq 100\text{mg/m}^3$ 。如果地方排放标准高于国家排放标准，参照本地区标准。

6.6.2 工艺路线的选择

在膜分离耦合治理含苯系物废气的治理中，膜分离装置前后含苯系物废气的浓度不同，可以分为多种工艺路线，应通过对含苯系物废气的来源、组成、温度、压力、苯系物的含量、流量等因素进行综合分析，选择经济适用、安全可靠的治理工艺。

在压差推动下膜分离单元将含苯系物废气分成苯系物等 VOCs 组分富集气和其它组分气体的贫气（分别简称“富集气”和“贫气”）。经膜分离单元后得到的富集气，宜送入预处理单元如冷凝或吸收单元进行循环处理。经膜分离单元后得到的贫气，如达不到排放标准，或仍具有回收价值时，宜对贫气采用吸附回收工艺进行深度净化，脱附产生的气体可返回废气收集单元进行循环处理；尾气达不到排放标准且不宜回收时，可以采用燃烧工艺进行深度处理，达标后排放。具体如下选择：

(1) 通过调节含苯系物废气压力和温度容易达到其露点时，宜对废气先进行冷凝处理，然后进入膜分离单元进行二次净化。典型工艺可分为：

- a) 压缩+冷凝工艺+膜分离工艺+吸附回收工艺；
- b) 压缩+冷凝工艺+膜分离工艺+燃烧工艺；

(2) 当治理工程现场具备充足的吸收介质供应和吸收剂再生条件时，宜对废气先进行吸收处理，然后进入膜分离单元进行二次净化。典型工艺可分为：

- a) 压缩+吸收工艺+膜分离工艺+吸附回收工艺；
- b) 压缩+吸收工艺+膜分离工艺+燃烧工艺；

对于非稳态系统，上述所有流程均可以通过前置缓冲罐或背压阀使进气平稳。（注：上述工艺中催化燃烧工艺可由高温焚烧工艺代替）。

典型的膜分离耦合合法含苯系物废气治理工艺流程图如下所示（见规范附录A）：

A.1. 预处理单元 + 膜分离单元 + 后处理单元工艺流程

工艺流程图如图 6.1.所示：

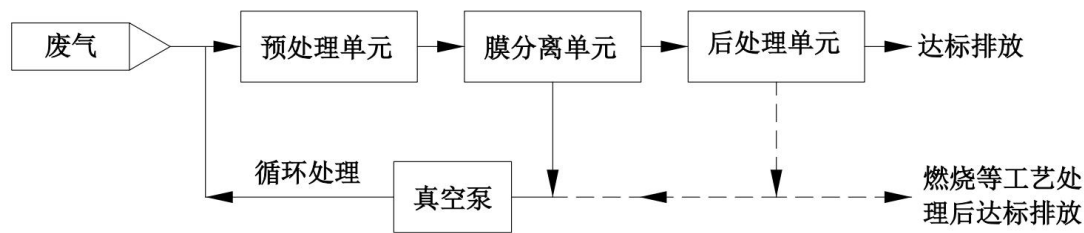


图 6.1. 预处理单元 + 膜分离单元 + 后处理单元工艺流程

注：（1）图 6.1 中后处理单元的循环返回虚线表示吸附回收工艺中的解析气物流

A.2. 预处理单元主要采用：冷凝工艺或吸收工艺

工艺流程图如图 6.2.所示：

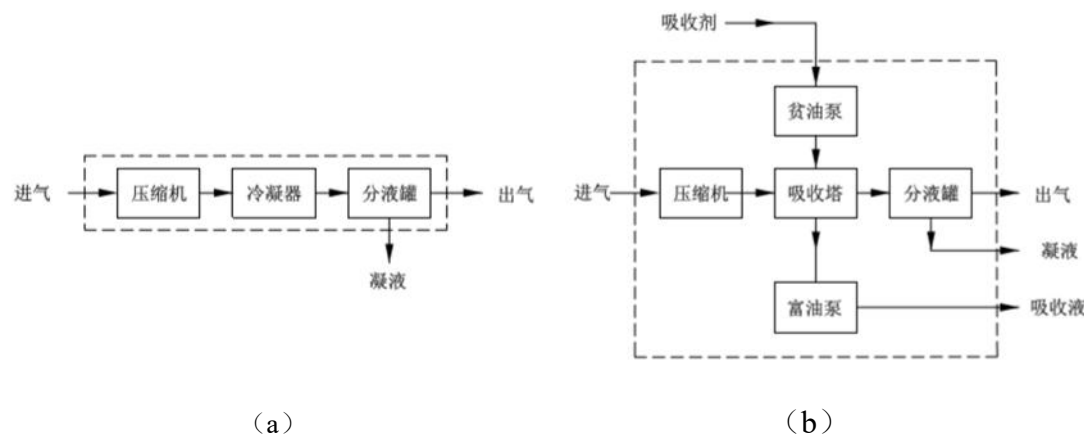


图 6.2. 预处理单元工艺流程：冷凝工艺（a），吸收工艺（b）

A.3. 膜分离单元

工艺流程图如图 6.3.所示：

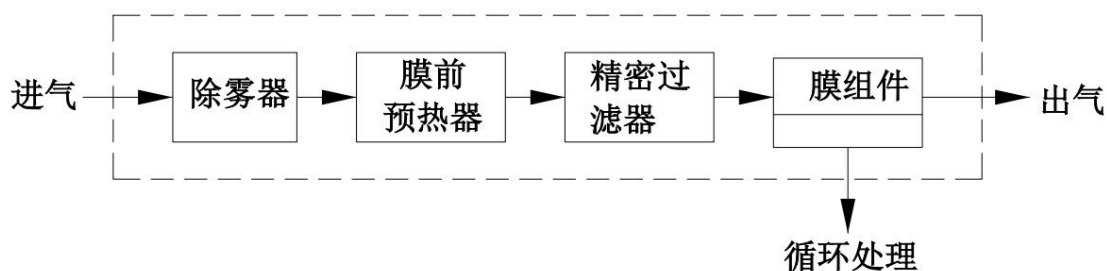


图 6.3. 膜分离单元工艺流程

A.4. 贫气后处理单元主要采用：吸附回收工艺或燃烧工艺

工艺流程图如图 6.4.所示：

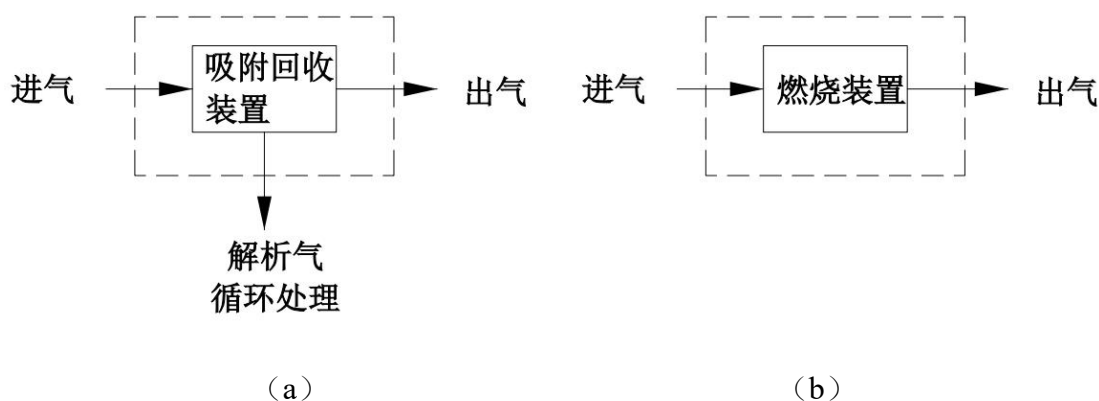


图 6.4. 贫气后处理单元工艺流程：吸附回收工艺（a）、燃烧工艺（b）

6.6.3 工艺设计要求

（一）废气收集

本规范不对排风罩的具体设计做具体规定。只是在保证集气和排风效果的基础上，集气罩应与生产工艺协调一致，尽量不影响工艺操作。同时尽量减少排风量，以减轻膜分离耦合装置的负担。

（二）预处理单元

由于含苯系物废气的来源不同，而膜分离耦合装置对废气中一些易腐蚀的物质要求严格，在规范 6.3.2 中对废气的预处理系统进行了进一步的说明。为避免酸、碱类废气对膜分离耦合装置的腐蚀，要求对含酸、碱的废气进行预处理。

由于膜分离单元是在压差推动力的作用下进行工作的，因此当含苯系物废气压力低于工艺操作要求时，需要选用压缩机对废气进行压缩，由于废气多为易燃易爆气体，宜选用满足防爆要求的压缩机，如液环式压缩机等对废气进行预处理。

（三）膜分离单元

膜分离单元对废气的温度及其中的颗粒物和液雾的要求比较严格，因此含苯系物废气的预处理单元对膜分离耦合装置的影响巨大。在规范 6.3.2 中对含苯系物废气的预处理单元进行了进一步的说明。

膜分离单元前面应设置过滤装置，经过滤装置预处理后，废气中液雾的浓度应不超过 0.1ppmw，废气中的颗粒物粒径不高于 0.01 μm ，膜前过滤装置入口、出口之间应设置差压计，当过滤器阻力超过规定值时，进行清理或更换过滤材料。

在过滤单元和膜分离单元之间应当设置预热器，加热后废气的温度应当高于废气露点温度 10~20℃，但低于膜的最高使用温度（一般 70℃）。

膜分离单元选择适宜的膜材料，主要应从以下方面考虑：能够以较高的选择性优先渗透 BTEX 等挥发性有机物；具有较高的气体渗透性能和抗污染性能。

应充分考虑废气处理量、污染物浓度以及排放标准的规定，确定膜组件的规格尺寸和数量。

（四）后处理单元

应充分考虑富集气和贫气的组分、性质等选择适宜的后处理单元。根据富集气含苯系物等 VOCs 的含量，可以返回废气收集单元进行循环处理。如果贫气中含有微量苯系物等 VOCs 组分达不到标准，应当采用吸附回收工艺或燃烧工艺进行深度处理。

当废气经过膜分离单元后得到的贫气达不到排放标准，但仍有回收价值或容易被吸附时，建议采用吸附回收工艺处理，并应遵循《吸附法工业有机废气治理工程技术规范》规定。

当废气经过膜分离单元后得到的尾气达不到排放标准，但不宜回收时，可以采用燃烧工艺处理。采用催化燃烧法处理膜分离单元后尾气时，应遵循《催化燃烧法工业有机废气治理工程技术规范》规定。

6.6.4 二次污染物控制

（1）在膜分离耦合工艺中，一般情况下不会产生废水，只有当使用冷凝工艺预处理装置时，才会产生少量的含苯系物废气废液，可以进行回收利用或进行处理达标后排放。

（2）治理装置所产生的固体废物主要是膜分离单元装置中过滤所产生的及

少量颗粒物、更换下来的过滤材料和膜材料，都需要收集后进行妥善处理。

(3) 膜分离耦合装置运行时产生的噪声控制应满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB 12348)和《工业企业噪声控制设计规范》(GB/T 50087)的规定。

6.6.5 安全措施

(1) 由于含苯系物废气易燃、易爆、有毒，在进行有机废气治理装置的工艺设计时，安全措施是首先要进行考虑的因素。规定除了符合国家安全生产、事故防范的相关规定以外，工艺系统中必须安装事故自动报警装置。

(2) 必须在治理工程与主体生产装置之间管道系统的适当位置，安装阻火器。阻火器可参考《石油气体管道阻火器》(GB/T 13347)的相关规定。

(3) 对于有机废气的治理必须选用具有防爆功能的整机系统，置于现场的电气、仪表等也应具有防爆功能。

(4) 对于膜分离单元，应在膜分离单元的入口设置切断阀。同时为了监测膜分离单元的进口温度及压力，应在膜分离单元的入口设置现场温度仪表，进出口设现场压力仪表，在膜分离单元的渗透侧应设置就地及远传压力仪表，并采取连锁保护措施。

(5) 治理装置安装区域应按规定设置消防设施，或者周边消防设施符合要求。

6.7 主要工艺设备

不同的生产工艺所产生的含苯系物废气的成分比较复杂，如苯类、酮类、醛类等气体基本没有腐蚀性或腐蚀性较小，有机酸类气体则具有较强的腐蚀性。在有些情况下还会含有一些无机气体，如硫化氢等，腐蚀性非常强。当废气中含有腐蚀性气体时，所有集气罩、管道、阀门和颗粒过滤器均应采用耐腐蚀材料制造，按《化工设备、管道防腐蚀工程施工及验收规范》(HG 20229)进行防腐蚀处理和验收。

膜分离耦合装置所需要的真空泵或增压用压缩机宜选择液环式压缩机，液环式压缩机应符合 SH/T 3162-2011《石油化工液环真空泵和压缩机工程技术规范》的要求。

6.8 检测与过程控制

6.8.1 检测

为便于样品的采集，规定必须设置固定采样口，相关设置与安装、采样条件、采样频次和检测项目应满足相关标准规定和要求。

为了保证膜分离单元的正常运行，应定期检测精密过滤器前后的压力差，膜分离单元原料侧与渗透侧的压力差。

6.8.2 过程控制

在一般情况下，含苯系物废气治理设备与生产工艺相比应该先开后停，前后要有约 10~30min 的时间间隔，但需要与生产车间进行协调。

膜分离耦合含苯系物废气治理系统应采用总线分布控制模式，实现对过程控制及温度、压力和含苯系物废气浓度的远程集中控制及就地控制。

6.9 主要辅助工程

6.9.1 电气系统

在规范 9.1 中提出了对电气系统的一般要求，即电气系统中性点接地方式应与该装置系统主体工程一致；电源可直接由使用装置配电系统接引，并符合《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》（GB 50058）要求。

6.9.2 给水、排水与消防系统

治理系统给水排水设计应符合《建筑给水排水设计规范》（GB50015）和相关工业行业给水排水设计规范的有关规定。

由于含苯系物废气治理系统存在爆炸和着火的风险，治理系统的消防设计应纳入企业的消防系统总体设计。消防通道、防火间距、安全疏散的设计和消防栓的布置应符合《建筑设计防火规范》（GB 50016）的规定，应保证有两支水枪的水柱同时到达治理系统的任何部位，治理系统范围内应按照《建筑灭火器配置设计规范》（GB 50140）的规定配置一定数量的移动式灭火器。

6.10 工程施工与验收

6.10.1 工程施工

规范 10.1 是对治理工程施工的通用和基本的要求。

在膜分离耦合含苯系物废气治理工程的施工过程中出现局部变更的情况时，规范 10.1.3 特别强调工程的变更应取得工程设计单位的设计变更文件后再进行施工。

规范 10.1.4 特别强调工程施工中使用的设备、材料和部件应符合相应的国家标准，并应取得供应商的产品合格证后方可使用。

6.10.2 工程验收

在规范 10.2 中对工程竣工验收环节提出了具体要求，应严格按照《建设项目（工程）竣工验收办法》的要求执行。

6.10.3 竣工环境保护验收

在规范 10.3 中，强调应严格按照环境保护部于 2017 年出台了《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》，对环保类工程验收条件、验收流程等进行了详细规定。

6.11 运行与维护

本章节除了对一般要求进行规定外，特别强调要建立健全与治理设备相关的各项规章制度，以及运行、维护和操作规程，建立主要设备运行状况的台账制度，满足各级环保部门对治理工程的检查要求。

7 标准实施的环境及经济效益分析

本标准是针对含苯系物废气的膜分离耦合技术而制定的。目前膜分离耦合含苯系物废气治理技术已经得到了广泛的应用。与传统使用单一分离技术相比，膜分离耦合含苯系物废气治理技术流程特点：

- 1、不用低温制冷，避免苯结晶（5.5℃），操作费用低。
- 2、进吸附装置苯浓度低，负荷低，吸附热低，爆炸极限外操作。
- 3、操作平稳，使用周期长，确保达标，产生了巨大的经济效益。

近年来，经过不断的积极探索，加快产学研合作，大连理工大学通过对含苯系物废气采取了不同种类的膜分离耦合治理技术路线，使得外排气达标排放，为含苯系物废气处理及资源化利用找到了出路。

本标准制定以后可以更全面的规范我国膜分离耦合含苯系物废气回收治理工程的技术和设备，在工艺设计、设备制造、工程建设、检验检查、运行维护

与管理等各个方面可以全面提高我国膜分离耦合含苯系物废气工程的治理水平，并将极大地推进我国含苯系物废气的治理减排工作。

以某炼化企业为例，根据行业内的初步估算，苯罐区大小呼吸的废气排放量为 $1000\text{Nm}^3/\text{h}$ ，浓度为 20%，采用膜分离耦合技术净化技术按照 95% 的回收效率进行计算，每年含苯废气的排放量为 $4 \times 10^6\text{Nm}^3$ ，对该公司苯罐区大小呼吸排放的含苯废气进行回收治理，则每年至少可形成 2600t 的回收量，回收的苯价值约为 1170 万元。按炼化企业 20 家估算，每年合计回收苯量为 5 亿吨，回收苯价值约为 2.3 亿元。

8 标准实施建议（包括组织措施、技术措施、过渡办法、实施日期等）

推荐使用该标准，建议根据标准技术要求来使用，实施日期为标准通过日期。