

第 (EU) 2017/2117 号欧委会实施决定

2017 年 11 月 21 日

根据《欧洲议会和欧盟理事会第 2010/75/EU 号指令》确立有机化学品大批量生产的

最佳可行技术 (BAT) 结论

(根据第 C (2017) 7469 号文件通报)

(本文件的规定适用于欧洲经济区)

欧盟委员会，

考虑到《欧洲联盟运作条约》，

考虑到《欧洲议会和欧盟理事会 2010 年 11 月 24 日关于工业排放（综合污染预防和控制）的第 2010/75/EU 号指令》¹，尤其是其中的第 13（5）条，

鉴于：

- (1) 最佳可行技术 (BAT) 结论为《第 2010/75/EU 号指令》第二章所涵盖的设施制定许可条件提供参考标准，主管部门制定的排放限值应确保在正常运行条件下，排放量不超过最佳可行技术结论中规定的最佳可行技术相关排放水平。
- (2) 依照《欧委会 2011 年 5 月 16 日决定》²成立的由成员国、相关行业以及促进环境保护的非政府组织代表组成的论坛，于 2017 年 4 月 5 日向欧委会提交了其对有机化学品大批量生产最佳可行技术参考文件草案内容的意见。该意见可供公众查阅。
- (3) 本决定附件中所列最佳可行技术 (BAT) 结论是该最佳可行技术参考文件的关键要素。
- (4) 本决定中规定的措施符合依照《第 2010/75/EU 号指令》的第 75（1）条成立的委员会的意见，

通过本决定：

第 1 条

附件中所列的有机化学品大批量生产最佳可行技术 (BAT) 结论获准通过。

¹ 《欧盟官方公报》 L 334，2010 年 12 月 17 日，第 17 页。

² 《欧盟官方公报》 C 146，2011 年 5 月 17 日，第 3 页。

第2条

本决定适用于各成员国。

于2017年11月21日在布鲁塞尔签发。

代表欧委会

卡梅奴·维拉 (Karmenu VELLA)

欧委会成员

附件

有机化学品大批量生产的最佳可行技术 (BAT) 结论

适用范围

本最佳可行技术结论涉及《第 2010/75/EU 号指令》附件 I 第 4.1 节中列出的以下有机化学品的生产：

- (a) 简单的烃（直链或环状、饱和或不饱和、脂肪族或芳香族）；
- (b) 含氧烃，例如醇类、醛类、酮类、羧酸类、酯类及酯类混合物、乙酸盐、醚类、过氧化物和环氧树脂；
- (c) 含硫烃；
- (d) 含氮烃，例如胺类、酰胺、氮化合物、硝基化合物或硝酸盐化合物、腈类、氰酸盐/酯、异氰酸盐/酯；
- (e) 含磷烃；
- (f) 卤代烃；
- (g) 有机金属化合物；
- (k) 表面活性剂。

本最佳可行技术结论还涵盖《第 2010/75/EU 号指令》附件 I 第 4.2(e)节中列出的过氧化氢的生产。

本最佳可行技术结论涵盖加热炉/加热器中燃料的燃烧，前提是该类燃烧属于上述活动的一部分。

本最佳可行技术结论涵盖上述化学品的连续加工式生产，前提是采用该生产方式生产上述化学品的总产能超过 2 万吨/年。

本最佳可行技术结论不涉及以下活动：

- 非在加热炉/加热器或热氧化器/催化氧化器中进行的燃料燃烧；针对该类活动的内容可能涵盖在大型燃烧装置（LCP）的最佳可行技术结论中；
- 废物焚烧；针对该类活动的内容可能涵盖在废物焚烧最佳可行技术结论中（WI）；

- 在《第 2010/75/EU 号指令》附件 I 第 6.4(b)(ii)节中活动描述所涵盖的设施上进行的乙醇生产，或作为与该类设施直接相关的活动而被涵盖的乙醇生产；针对该类生产的内容可能涵盖在食品、饮料和乳业（FDM）最佳可行技术结论中。

对本最佳可行技术结论所涉及的活动具有补充作用的其他最佳可行技术结论如下：

- 化工行业常见废水和废气处理/管理系统（CWW）；
- 化工行业常见废气处理（WGC）。

与本最佳可行技术结论所涉及的活动可能有关的其他最佳可行技术结论和参考文件如下：

- 经济和跨介质影响（ECM）；
- 储存阶段的排放（EFS）；
- 能源效率（ENE）；
- 工业冷却系统（ICS）；
- 大型燃烧装置（LCP）；
- 矿物油和气体精炼（REF）；
- 监测“工业排放指令（IED）设施”的空气和水体污染物排放（ROM）；
- 废物焚化（WI）；
- 废物处理（WT）。

总则

最佳可行技术

本最佳可行技术结论中列出和描述的技术既不是强制性的也不是详尽无遗的。可使用任何其它能实现同等或更高环保水平的技术。

除非另有说明，否则本最佳可行技术结论普遍适用。

空气污染物排放平均周期和参考条件

除非另有说明，否则本最佳可行技术结论中给出的空气污染物排放的最佳可行技术相关排放水平（BAT-AELs）是指在标准条件（温度为 273.15 K，压力为 101.3 kPa 的干气）下，以每单位体积废气中排放物的质量表示的浓度，单位为 mg/Nm³。

除非另有说明，否则空气污染物排放的 BAT-AELs 的相关平均周期定义如下：

测量类型	平均周期	定义
连续	日平均值	基于有效每小时或每半小时平均值的全天平均值
定期	采样周期平均值	每次至少 30 分钟的三次连续测量的平均值 ⁽¹⁾ ⁽²⁾

(1) 对于因采样或分析限制而不适用 30 分钟采样的任何参数，应采用合适的采样周期。
(2) 多氯二苯二噁英/多氯二苯并呋喃的测量使用的采样周期为 6 到 8 个小时。

如果 BAT-AELs 是以每单位生产量中排放物质量表示的特定排放量，则应使用公式 1 计算平均特定排放量 l_s ：

公式 1:

$$l_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{c_i q_i}{p_i}$$

其中：

n = 测量周期数；

c_i = 第 i 个测量周期内物质的平均浓度；

q_i = 第 i 个测量周期内的平均流量；

p_i = 第 i 个测量周期内的生产量。

参考氧气水平

加热炉/加热器排放的废气的参考氧气水平（ O_R ）为 3vol-% 体积百分比。

参考氧气水平的换算

使用公式 2 计算参考氧气水平下的排放浓度：

$$\text{公式 2:} \quad E_R = \frac{21 - O_R}{21 - O_M} \times E_M$$

其中：

E_R = 参考氧气水平 O_R 下的排放浓度；

O_R = 参考氧气水平（以体积百分比（vol-%）计）；

E_M = 测得的排放浓度；

O_M = 测得的氧气水平（以体积百分比（vol-%）计）。

排放至水中污染的平均周期

除非另有说明，否则以浓度表示的水体污染物排放的最佳可行技术相关环境绩效水平（BAT-AEPLs）的相关平均周期定义如下。

平均周期	定义
月采样值的平均值	正常运行条件下 1 个月内获取的 24 小时流量比例复合样品的流量加权平均值 ⁽¹⁾
年采样值的平均值	正常运行条件下 1 年内获取的 24 小时流量比例复合样品的流量加权平均值 ⁽¹⁾

⁽¹⁾在能够证明具有足够流动稳定性的情况下，可使用时间比例复合试样。

使用公式 3 计算参数的流量加权平均浓度（ c_w ）：

$$\text{公式 3:} \quad c_w = \frac{\sum_{i=1}^n c_i q_i}{\sum_{i=1}^n q_i}$$

其中：

n = 测量周期数；

c_i = 第 i 个测量周期内参数的平均浓度；

q_i = 第 i 个测量周期内的平均流量。

如果 BAT-AEPLs 是以每单位生产量中排放物质量表示的特定排放量，则应使用公式 1 计算平均特定排放量。

首字母缩略词和定义

以下首字母缩略词和定义适用于本最佳可行技术结论。

使用的术语	定义
BAT-AEPL	《第 2012/119/EU 号欧委会实施决定》中描述的最佳可行技术相关环境绩效水平。BAT-AEPLs 包括《第 2010/75/EU 号指令》第 3(13)条中界定的最佳可行技术相关排放水平 (BAT-AELs)。
BTX	苯、甲苯和邻二甲苯/间二甲苯/对二甲苯或其混合物的统称
CO	一氧化碳
燃烧单元	任何将燃料氧化以利用由此而生成的热能的技术设备。燃烧单元包括锅炉、发动机、汽轮机和加热炉/加热器，但不包括废气处理单元（例如，用于减少有机化合物的热氧化器/催化氧化器）。
连续测量	使用长久安装在现场的自动测量系统进行测量。
连续加工	一种将原料连续送入反应器，然后将由此生成的反应产物送入下游分离和/或回收的连接单元的过程。
铜	铜及其化合物（溶解态或颗粒态）的总和，以 Cu 表示
DNT	二硝基甲苯
EB	乙苯
EDC	二氯乙烷
EG	乙二醇类
EO	环氧乙烷
乙醇胺类	单乙醇胺、二乙醇胺和三乙醇胺或其混合物的统称
乙二醇类	单甘醇、二甘醇和三甘醇或其混合物的统称
现有装置	非新装置的装置
现有单元	非新单元的单元
烟道气	燃烧单元排放的废气
I-TEQ	国际毒性当量——根据国际毒性当量因子计算得出，定义见《第 2010/75/EU 号指令》第 2 部分中的附件 VI。
低级烯烃	乙烯、丙烯、丁烯和丁二烯或其混合物的统称
主要装置升级	对工艺单元和/或减排单元以及相关设备进行重大调整或替换的装置设计或技术方面的重大变化。
MDA	二氨基二苯甲烷
MDI	二苯甲烷二异氰酸酯
MDI 装置	通过 MDA 的光气化反应生产 MDI 的装置。
新装置	在本最佳可行技术结论发布之后，在设施地点首次获准使用的装置或是用于替换全部装置的装置。

使用的术语	定义
新单元	在本最佳可行技术结论发布之后，首次获准使用的单元或是用于替换全部单元的单元。
NO _x 前体	会导致 NO _x 排放的热处理过程中输入的含氮化合物（例如，氨、硝气和含氮有机化合物）。不包括氮元素。
PCDD/F	多氯二苯二噁英/多氯二苯并呋喃
定期测量	使用手动或自动方法按指定的时间间隔进行的测量。
加热炉/加热器	<p>加热炉或加热器是指：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 能够使用自身产生的烟道气对物体或进料物料进行热处理（直接接触加热）的燃烧单元，例如，在干燥过程中或化学反应器中；或者 • 产生的辐射热和/或传导热不使用中间导热流体而是通过实心墙传递到物体或进料物料的燃烧单元，例如，（石油）化工行业中用于加热工艺物料流的加热炉或反应器（如蒸汽裂化炉）。 <p>应注意，有些采用良好能量回收工艺的加热炉/加热器可能配有相应的蒸汽发生/发电系统。该系统被视为加热炉/加热器整体设计的特征之一，不应单独考虑。</p>
工艺废气	特定工艺流程排放的气体，需要经过进一步回收和/或减排处理。
NO _x	一氧化氮（NO）和二氧化氮（NO ₂ ）的总和，以 NO ₂ 表示。
残留物	本文件适用范围涵盖的活动所产生的属于废物或副产物的物质或物体。
RTO	蓄热式热氧化器
SCR	选择性催化还原
SMPO	苯乙烯单体和环氧丙烷
SNCR	选择性非催化还原
SRU	硫回收单元
TDA	二氨基甲苯
TDI	甲苯二异氰酸酯
TDI 装置	通过 TDA 的光气化反应生产 TDI 的装置
TOC	总有机碳，以 C 表示；包括所有有机化合物（在水中）
总悬浮固体总量（TSS）	通过玻璃纤维滤网过滤和重量分析法测得的所有悬浮固体的质量浓度。
TVOC	总挥发性有机碳量；通过火焰离子化检测器（FID）测得并以总碳量表示的总挥发性有机化合物量。
单元	装置中进行特定工艺或操作的阶段/子部分（例如，反应器、洗涤器、蒸馏塔）。单位可以是新单位或现有单位。
有效的每小时或每半小时平均值	自动测量系统在非维护和非故障状态下测得的每小时（或每半小时）平均值被视为有效。
VCM	氯乙烯单体
VOCs	挥发性有机化合物，定义见《第 2010/75/EU 号指令》第 3（45）条。

1. 最佳可行技术一般性结论

除了本节中的最佳可行技术一般性结论外，第 2 至 11 节中包含的特定行业的最佳可行技术结论同样适用。

1.1. 空气污染物排放的监测

最佳可行技术 1： 最佳可行技术是至少以下表中注明的最低频率，根据欧洲标准（EN）监测加热炉/加热器引导性排放的空气污染物。如果没有相关欧洲标准（EN），最佳可行技术则应使用能确保提供同等科学质量数据的国际标准化组织（ISO）、国家或其他国际标准。

物质/参数	标准 ⁽¹⁾	总额定热输入（MW _{th} ） ⁽²⁾	最低监测频率 ⁽³⁾	监测涉及的技术
CO	通用 EN 标准	≥50	连续	表 2.1、 表 10.1
	EN 15058	10 至<50	每 3 个月一次 ⁽⁴⁾	
粉尘 ⁽⁵⁾	通用 EN 标准和 EN 13284-2	≥50	连续	最佳可行技术 5
	EN 13284-1	10 至<50	每 3 个月一次 ⁽⁴⁾	
NH ₃ ⁽⁶⁾	通用 EN 标准	≥50	连续	最佳可行技术 7、 表 2.1
	无可用的 EN 标准	10 至<50	每 3 个月一次 ⁽⁴⁾	
NO _x	通用 EN 标准	≥50	连续	最佳可行技术 4、 表 2.1、 表 10.1
	EN 14792	10 至<50	每 3 个月一次 ⁽⁴⁾	
SO ₂ ⁽⁷⁾	通用 EN 标准	≥50	连续	最佳可行技术 6
	EN 14791	10 至<50	每 3 个月一次 ⁽⁴⁾	

(1) 用于连续测量的通用 EN 标准为 EN 15267-1、EN 15267-2、EN 15267-3 和 EN 14181。定期测量所用 EN 标准如表中所列。

(2) 指所有与发生排放的烟囱相连接的加热炉/加热器的总额定热输入。

(3) 对于总额定热输入小于100MW_{th}的加热炉/加热器而言，如果运行时间少于500小时/年，监测频率则可减少至至少每年一次。

(4) 如果能够证明排放水平足够稳定，定期测量的最低监测频率则可减少至每6个月一次。

(5) 仅燃烧气体燃料时，对粉尘的监测不适用。

(6) 对 NH₃ 的监测仅在使用 SCR 或 SNCR 时适用。

(7) 如果加热炉/加热器燃烧的是含硫量已知的气态燃料和/或油，并且没有进行烟道气脱硫，则可采用至少每 3 个月一次的定期监测或基于具备同等科学质量的数据的计算来代替连续监测。

最佳可行技术 2： 最佳可行技术是至少以下表中注明的最低频率，根据欧洲标准（EN）监测非加热炉/加热器引导性排放的空气污染物。如果没有相关欧洲标准（EN），最佳可行技术则应使用能确保提供同等科学质量数据的国际标准化组织（ISO）、国家或其他国际标准。

物质/参数	工艺/源头	标准	最低监测频率	监测涉及的技术
苯	苯酚生产中异丙苯氧化单元产生的废气 ⁽¹⁾	无可用的 EN 标准	每个月一次 ⁽²⁾	最佳可行技术 57
	所有其他工艺/源头 ⁽³⁾			最佳可行技术 10
Cl ₂	TDI/MDI ⁽¹⁾	无可用的 EN 标准	每个月一次 ⁽²⁾	最佳可行技术 66
	EDC/VCM			最佳可行技术 76
CO	热氧化器	EN 15058	每个月一次 ⁽²⁾	最佳可行技术 13
	低级烯烃（除焦）	无可用的 EN 标准 ⁽⁴⁾	每年一次或每次除焦时（如果除焦频率低于每年一次）	最佳可行技术 20
	EDC/VCM（除焦）			最佳可行技术 78
粉尘	低级烯烃（除焦）	无可用的 EN 标准 ⁽⁵⁾	每年一次或每次除焦时（如果除焦频率低于每年一次）	最佳可行技术 20
	EDC/VCM（除焦）			最佳可行技术 78
	所有其他工艺/源头 ⁽³⁾	EN 13284-1	每个月一次 ⁽²⁾	最佳可行技术 11
EDC	EDC/VCM	无可用的 EN 标准	每个月一次 ⁽²⁾	最佳可行技术 76
环氧乙烷	环氧乙烷和乙二醇类	无可用的 EN 标准	每个月一次 ⁽²⁾	最佳可行技术 52
甲醛	甲醛	无可用的 EN 标准	每个月一次 ⁽²⁾	最佳可行技术 45
气态氯化物，以 HCl 表示	TDI/MDI ⁽¹⁾	EN 1911	每个月一次 ⁽²⁾	最佳可行技术 66
	EDC/VCM			最佳可行技术 76
	所有其他工艺/源头 ⁽³⁾			最佳可行技术 12
NH ₃	使用 SCR 或 SNCR	无可用的 EN 标准	每个月一次 ⁽²⁾	最佳可行技术 7
NO _x	热氧化器	EN 14792	每个月一次 ⁽²⁾	最佳可行技术 13
PCDD/F	TDI/MDI ⁽⁶⁾	EN 1948-1、EN 1948-2 和 EN 1948-3	每 6 个月一次 ⁽²⁾	最佳可行技术 67
PCDD/F	EDC/VCM			最佳可行技术 77
SO ₂	所有工艺/源头 ⁽³⁾	EN 14791	每个月一次 ⁽²⁾	最佳可行技术 12
四氯化碳	TDI/MDI ⁽¹⁾	无可用的 EN 标准	每个月一次 ⁽²⁾	最佳可行技术 66

TVOC	TDI/MDI	EN 12619	每个月一次 ⁽²⁾	最佳可行技术 66
	EO (从洗涤介质中解吸 CO ₂)		每 6 个月一次 ⁽²⁾	最佳可行技术 51
	甲醛		每个月一次 ⁽²⁾	最佳可行技术 45
	苯酚生产中异丙苯氧化单元产生的废气	EN 12619	每个月一次 ⁽²⁾	最佳可行技术 57
	苯酚生产中其他来源的废气 (如果未与其他废气流结合)		每年一次	
	过氧化氢生产中氧化单元产生的废气		每个月一次 ⁽²⁾	最佳可行技术 86
	EDC/VCM		每个月一次 ⁽²⁾	最佳可行技术 76
	所有其他工艺/源头 ⁽³⁾		每个月一次 ⁽²⁾	最佳可行技术 10
VCM	EDC/VCM	无可用的 EN 标准	每个月一次 ⁽²⁾	最佳可行技术 76

(1) 如果根据 CWW BAT 结论中列出的废气流清单认定废气中存在污染物, 该监测则适用。
(2) 如果能够证明排放水平足够稳定, 定期测量的最低监测频率则可减少至每年一次。
(3) 根据 CWW BAT 结论中列出的废气流清单认定废气中存在污染物的所有 (其他) 工艺/源头。
(4) 需要对 -EN 15058 和采样周期进行调整, 以确保测量值能够代表整个除焦周期。
(5) 需要对 EN 13284-1 和采样周期进行调整, 以确保测量值能够代表整个除焦周期。
(6) 如果废气中存在氯和/或氯化化合物并且采用了热处理, 该监测则适用。

1.2. 排放至空气中污染

1.2.1. 加热炉/加热器排放的空气污染物

最佳可行技术 3: 为了减少加热炉/加热器向空气中排放 CO 和未燃烧物质, 最佳可行技术是确保优化燃烧。

优化燃烧是通过良好的设备设计和操作实现的, 包括优化燃烧区内温度和停留时间、燃料和助燃空气的有效混合以及燃烧控制。燃烧控制基于对适当燃烧参数 (例如, O₂、CO、燃料空气比和未燃烧物质) 的连续监测和自动控制。

最佳可行技术 4: 为了减少加热炉/加热器向空气中排放 NO_x, 最佳可行技术是使用以下一种技术或组合使用以下多种技术。

技术	描述	适用性
a. 燃料的选择	见第 12.3 节。这包括在考虑到整体烃平衡的情况下, 从液体燃料转换为气体燃料。	对于现有装置而言, 从液体燃料到气体燃料的转换可能会受到燃烧器设计的限制。

技术		描述	适用性
b.	分级燃烧	分级燃烧器通过在靠近燃烧器的区域分阶段喷射空气或燃料来减少 NO _x 的排放。燃料或空气分级降低了燃烧器主燃区的氧气浓度，从而降低了火焰峰值温度并减少了热力型 NO _x 的形成。	升级小型加热炉时，该技术的适用性可能会受到可用空间的限制，在不削减产能下限制燃料/空气分级系统改造。 对于现有的 EDC 裂化炉而言，适用性可能会受到加热炉设计的限制。
c.	烟道气再循环（外部）	将部分烟道气再循环至燃烧室，替代部分新鲜助燃空气，具有降低氧含量从而冷却火焰温度的作用。	对于现有的加热炉/加热器而言，适用性可能会受到其设计的限制。 对于现有的 EDC 裂化炉不适用
d.	烟道气再循环（内部）	使部分烟道气在燃烧室内再循环，替代部分新鲜助燃空气，具有降低氧含量从而降低火焰温度的作用。	对于现有的加热炉/加热器而言，适用性可能会受到其设计的限制。
e.	低 NO _x 燃烧器（LNB）或者超低 NO _x 燃烧器（ULNB）	见第 12.3 节	对于现有的加热炉/加热器而言，适用性可能会受到其设计的限制。
f.	惰性稀释剂的使用	使用“惰性”稀释剂，例如，蒸汽、水、氮气（通过在燃料燃烧前与燃料预混合或直接注入燃烧室）来降低火焰温度。注入蒸汽可能会增加 CO 的排放。	普遍适用。
g.	选择性催化还原（SCR）	见第 12.1 节	对于现有的加热炉/加热器而言，适用性可能会受到可用空间的限制。
h.	选择性非催化还原（SNCR）	见第 12.1 节	对于现有加热炉/加热器而言，适用性可能会受到温度窗口（900 - 1050° C）和反应所需的停留时间的限制。 对于 EDC 裂化炉不适用。

最佳可行技术相关排放水平（BAT-AELs）：见表 2.1 和表 10.1。

最佳可行技术 5： 为了防止和减少加热炉/加热器向空气中排放粉尘，最佳可行技术是使用以下一种技术或组合使用以下多种技术。

技术		描述	适用性
a.	燃料的选择	见第 12.3 节。这包括在考虑到整体烃平衡的情况下，从液体燃料转换为气体燃料。	对于现有装置而言，从液体燃料到气体燃料的转换可能会受到燃烧器设计的限制。

技术		描述	适用性
b	液体燃料雾化	使用高压来降低液体燃料的液滴粒度。目前的最佳燃烧器设计通常包括蒸汽雾化。	普遍适用。
c.	织物、陶瓷或金属过滤器	见第 12.1 节	仅燃烧气体燃料时不适用。

最佳可行技术 6： 为了防止或减少加热炉/加热器向空气中排放 SO₂，最佳可行技术是使用以下一种技术或两种技术。

技术		描述	适用性
a.	燃料的选择	见第 12.3 节。这包括在考虑到整体烃平衡的情况下，从液体燃料转换为气体燃料。	对于现有装置而言，从液体燃料到气体燃料的转换可能会受到燃烧器设计的限制。
b.	碱洗	见第 12.1 节	适用性可能会受到可用空间的限制。

1.2.2. 使用 SCR 或 SNCR 产生的空气污染物

最佳可行技术 7： 为降低因使用选择性催化还原（SCR）和/或选择性非催化还原（SNCR）技术减排 NO_x 而产生的向空气中排放的氨，最佳可行技术是优化 SCR 或 SNCR 的设计和/或操作（例如，优化试剂与 NO_x 的比例、确保试剂的均匀分布和优化试剂液滴体积）。

使用 SCR 或 SNCR 的低级烯烃裂化炉的排放的最佳可行技术相关排放水平（BAT-AELs）：表 2.1。

1.2.3. 其他工艺/源头的空气污染物排放

1.2.3.1. 减少其他工艺/源头排放的技术

最佳可行技术 8： 为了减少最终废气处理阶段的污染物负荷，提高资源效率，最佳可行技术是使用以下技术的适当组合来处理废气流。

技术		描述	适用性
a.	回收和利用过量或产生的氢气	回收和利用过量的氢气或化学反应产生的氢气（例如，用于氢化反应）。可使用变压吸附或膜分离等回收技术来增加氢含量。	在由于氢含量低而导致回收所需的能源消耗过高或对氢气缺乏需求的情况下，适用性可能会受到限制。

技术		描述	适用性
b.	回收和利用有机溶剂及未反应的有机原料	可以使用压缩、冷凝、低温冷凝、膜分离和吸附等回收技术。技术的选择可能取决于对安全的考虑，例如，其他物质或污染物的存在。	在由于有机含量低而导致回收所需的能源消耗过高的情况下，适用性可能会受到限制。
c.	利用废气	将氧化反应产生的大量废气进行处理并作为低纯度氮气使用。	仅在低纯度氮气具备实际用途且不影响工艺安全的情况下适用。
d.	通过湿法洗涤回收 HCl 以备后续使用	用湿式洗涤器中的水吸收气态的 HCl，然后可对其进行纯化（例如，使用吸附）和/或浓缩（例如，使用蒸馏）（技术描述见第 12.1 节）。最后对回收的 HCl 进行使用（例如，作为酸或用于生产氯）。	如果 HCl 量较低，适用性可能会受到限制。
e.	通过可再生胺法洗涤回收 H ₂ S 以备后续使用	可再生胺法洗涤可用于回收工艺废气流中的 H ₂ S 和酸水汽提单元产生的酸性废气中的 H ₂ S。然后，通常会在炼厂的硫回收单元中将 H ₂ S 转化为元素硫（克劳斯法）。	仅在附近有炼厂的情况下适用
f.	减少固体和/或液体夹带的技术	见第 12.1 节	普遍适用。

最佳可行技术 9： 为了减少最终废气处理阶段的污染物负荷，提高能源效率，最佳可行技术是将具有足够热值的工艺废气流输送到燃烧单元。应优先采用最佳可行技术 8a 和 8b，然后再考虑将工艺废气流输送到燃烧单元。

适用性

将工艺废气流输送到燃烧单元的做法可能会由于特定污染物的存在或出于安全考虑而受到限制。

最佳可行技术 10： 为减少引导性排放至空气中的有机化合物，最佳可行技术是使用以下一种或组合使用以下多种技术。

技术		描述	适用性
a.	冷凝	见第 12.1 节。本技术通常与进一步的减排技术结合使用。	普遍适用。
b.	吸附	见第 12.1 节	普遍适用。
c.	湿法洗涤	见第 12.1 节	仅适用于可被水溶液吸收的 VOCs。

技术		描述	适用性
d.	催化氧化器	见第 12.1 节	催化剂毒物的存在可能会限制适用性。
e.	热氧化器	见第 12.1 节。可以使用能联合处理废液和废气的焚烧炉代替热氧化器。	普遍适用。

最佳可行技术 11： 为减少引导性排放至空气中的粉尘，最佳可行技术是使用以下一种或组合使用以下多种技术。

技术		描述	适用性
a.	旋风除尘器	见第 12.1 节。本技术可与进一步的减排技术结合使用。	普遍适用。
b.	静电除尘器	见第 12.1 节	对于现有单元，适用性可能会受到可用空间或安全考虑的限制。
c.	织物过滤器	见第 12.1 节	普遍适用。
d.	两级滤尘器	见第 12.1 节	
e.	陶瓷/金属过滤器	见第 12.1 节	
f.	湿式除尘	见第 12.1 节	

最佳可行技术 12： 为了减少向空气中排放二氧化硫和其他酸性气体（例如，HCl），最佳可行技术是使用湿法洗涤。

描述：

湿法洗涤的描述见第 12.1 节

1.2.3.2. 减少热氧化器排放的技术

最佳可行技术 13： 为了减少热氧化器向空气中排放的 NO_x、CO 和 SO₂，最佳可行技术是适当组合使用下列技术。

技术		描述	主要污染物目标	适用性
a.	从工艺废气流中去除大量 NO _x 的前体	在热处理前去除（可进行再利用）大量 NO _x 的前体，例如，通过洗涤、冷凝或吸附。	NO _x	普遍适用。

技术		描述	主要污染物目标	适用性
b.	辅助燃料的选择	见第 12.3 节	NO _x 、SO ₂	普遍适用。
c.	低 NO _x 燃烧器 (LNB)	见第 12.1 节	NO _x	对于现有单元，适用性可能会受到设计和/或操作限制的约束。
d.	蓄热式热氧化器 (RTO)	见第 12.1 节	NO _x	对于现有单元，适用性可能会受到设计和/或操作限制的约束。
e.	燃烧优化	用于实现有机化合物去除最大化、CO 和 NO _x 排放最小化的设计和操作技术（例如，通过控制温度和停留时间等燃烧参数）。	CO、NO _x	普遍适用。
f.	选择性催化还原 (SCR)	见第 12.1 节	NO _x	对于现有单元，适用性可能会受到可用空间的限制。
g.	选择性非催化还原 (SNCR)	见第 12.1 节	NO _x	对于现有单元，适用性可能会受到反应所需的停留时间的限制。

1.3. 水体污染物排放

最佳可行技术 14: 为了减少废水量，降低排放到适当的最终处理（通常是生物处理）阶段的污染物负荷和消减水体污染物的排放，最佳可行技术是使用综合废水管理和处理策略，包括根据 CWW BAT 结论中列出的废水流清单中的信息，适当组合使用过程集成技术、从源头回收污染物的技术和预处理技术。

1.4. 资源效率

最佳可行技术 15: 为了在使用催化剂时提高资源效率，最佳可行技术是组合使用以下多种技术。

技术		描述
a.	催化剂的选择	选择能在以下因素之间实现最佳平衡的催化剂： - 催化剂活性； - 催化剂选择性； - 催化剂寿命（例如，催化剂针对毒物的脆弱性）； - 使用毒性较小的金属。
b.	催化剂保护	用于催化剂上游、避免其中毒的技术（例如，原料预处理）
c.	优化工艺	控制反应器条件（例如，温度、压力）以实现转化效率和催化剂寿命之间的最佳平衡。

技术		描述
d.	监测催化剂性能	使用合适的参数（例如，反应热和出现部分氧化反应时会形成的CO ₂ ）监测转化效率以识别催化剂衰变的开始。

最佳可行技术 16： 为了提高资源效率，最佳可行技术是回收和再利用有机溶剂。

描述：

用于特定工艺（例如，化学反应）或操作（例如，萃取）的有机溶剂，使用适当的技术（例如，蒸馏或液相分离）对其进行回收，必要时加以纯化（例如，使用蒸馏、吸附、汽提或过滤），然后将其重新投入到该工艺或操作中使用。可回收和再利用的溶剂量视工艺而异。

1.5. 残留物

最佳可行技术 17： 为了防止产生待处置的废物（如不现实，则减少），最佳可行技术是适当组合使用下列技术。

技术		描述	适用性
防止或减少废物产生的技术			
a.	向蒸馏系统添加抑制剂	选择能防止或减少残留物（例如，胶质或焦油）产生的阻聚剂并优化使用剂量。优化剂量时可能需要考虑到阻聚剂会导致残留物含有更多的氮和/或硫，这可能会影响其作为燃料使用。	普遍适用。
b.	最大限度地减少蒸馏系统中高沸点残留物的形成	降低温度和停留时间的技术（例如，用填料代替塔板来降低压降从而降低温度；采用真空条件代替大气压以降低温度）。	仅在使用新的蒸馏单元或主要装置升级时适用。
回收物质以供再利用或循环利用的技术			
c.	回收物质（例如，通过蒸馏、裂化）	通过分离（例如，蒸馏）或转化（例如，热/催化裂化、气化、氢化）从残留物中回收物质（即原材料、产品和副产品）。	仅在回收的物质有实际用途的情况下适用。
d.	催化剂和吸附剂再生	催化剂和吸附剂再生，例如，使用热处理或化学处理。	如果再生会导致显著跨介质影响，适用性则可能会受到限制。
能量回收技术			
e.	将残留物作为燃料使用	某些有机残留物，例如，焦油，可作为燃料供燃烧单元使用。	如果残留物中存在特定物质可能会限制适用性，使其不适合在燃烧单元中使用，需要当作废物处置。

1.6. 非正常运行条件

最佳可行技术 18: 为了防止或减少因设备故障而导致的排放，最佳可行技术是使用以下所有技术。

技术		描述	适用性
a.	关键设备的识别	根据风险评估（例如，使用故障模式和影响分析）确定对环境保护至关重要的设备（“关键设备”）。	普遍适用。
b.	关键设备的资产可靠性计划	旨在最大限度提高设备可用性和性能的结构计划，包括标准操作程序、预防性维护（例如，防腐蚀）、监控、事故记录和持续改进。	普遍适用。
c.	关键设备的备用系统	建立和维护备用系统，例如，排气系统、减排单元。	如果可以通过使用技术 b 证明适当的设备可用性，则不适用。

最佳可行技术 19: 为了防止或减少非正常运行条件下空气污染物和水体污染物的排放，最佳可行技术是实施与下列情况导致的潜在污染物排放相称的措施：

(i) 启动和停机操作期间；

(ii) 其他情况（例如，单元和/或废气处理系统的定期和特殊维护工作和清洁操作期间），包括可能影响装置正常运行的情况。

2. 低级烯烃生产的最佳可行技术结论

本节中的最佳可行技术结论适用于使用蒸汽裂化工艺生产低级烯烃，第 1 节中的最佳可行技术一般性结论也同样适用。

2.1. 空气污染物排放

2.1.1. 低级烯烃裂化炉向空气中排放污染物的 BAT-AELs

表 2.1: 低级烯烃裂化炉向空气中排放 NO_x 和 NH₃ 的 BAT-AELs

参数	BAT-AELs ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾ (日平均值或采样周期平均值) (mg/Nm ³ , O ₂ 体积百分比在 3 vol-%)	
	新熔炉	现有熔炉
NO _x	60 - 100	70 - 200
NH ₃	< 5 - 15 ⁽⁴⁾	

(1) 当两个或多个熔炉的烟道气通过一个共用烟囱排放时，该 BAT-AEL 适用于该烟囱的联合排放。
 (2) 在进行除焦操作期间，该 BAT-AELs 不适用。
 (3) 没有对 CO 适用的 BAT-AEL。作为指导，CO 排放水平通常为 10 - 50mg/Nm³，以日平均值或采样周期平均值表示。
 (4) 该 BAT-AEL 仅在使用 SCR 或 SNCR 时适用。

相关监测见最佳可行技术 1。

2.1.2. 减少除焦时污染物排放的技术

最佳可行技术 20: 为了减少裂化器管除焦过程中向空气中排放的粉尘和 CO，最佳可行技术是适当组合使用下列用于降低除焦频率的技术，同时使用以下一种或组合使用以下多种减排技术。

技术	描述	适用性	
降低除焦频率的技术			
a.	选用延缓焦炭形成的管材	存在于管表面的镍会催化焦炭的形成。因此，采用镍含量较低的材料，或用惰性材料涂覆内管表面，可延缓焦炭堆积的速度。	仅在使用新单元或主要装置升级时适用。
b.	在原料进料中掺杂硫化物	因为硫化镍不催化焦炭的形成，所以在硫化物尚未达到所需水平时在进料中掺杂硫化物也有助于延缓焦炭的堆积，该做法有助于促进管表面的钝化。	普遍适用。

c.	优化热除焦	优化整个除焦周期的运行条件，即气流、温度和蒸汽含量，实现焦炭去除最大化。	普遍适用。
减排技术			
d.	湿式除尘	见第 12.1 节	普遍适用。
e.	干式旋风除尘器	见第 12.1 节	普遍适用。
f.	在加热炉/加热器中燃烧除焦产生的废气	将除焦过程中产生的废气流输送至加热炉/加热器，对其中的焦炭颗粒（和 CO）进行进一步燃烧。	对于现有装置，适用性可能会受到管道系统设计的限制或防火要求的限制。

2.2. 水体污染物排放

最佳可行技术 21： 为了防止或减少排放至废水处理系统的有机化合物和废水量，最佳可行技术是最大限度地从初级分馏阶段的急冷水中回收烃，并将急冷水再次用于稀释蒸汽发生系统。

描述：

该技术包括确保有机相和水相的有效分离。回收的烃再循环到裂化器或作为原料供其他化学过程使用。可以提高有机物回收率，例如，通过使用蒸汽或气体汽提，或使用再沸器。处理过的急冷水在稀释蒸汽发生系统中重复使用。急冷水的弛放流则被排放到下游的最终废水处理处，以防止系统中盐分的堆积。

最佳可行技术 22： 为了减少排放到废水处理系统中的用于裂化气脱 H₂S 的碱洗涤液废液中的有机负荷，最佳可行技术是使用汽提。

描述：

汽提的描述见第 12.2 节。使用气流对洗涤液进行汽提，然后对其进行燃烧（例如，在裂化炉中）。

最佳可行技术 23： 为了防止或减少排放到废水处理系统中的用于从裂化气中脱除酸性气体的碱洗涤液废液中的硫化物量，最佳可行技术是组合使用以下一种或多种技术。

技术		描述	适用性
a.	在裂化进料中使用低硫原料	使用硫含量低或已脱硫的原料。	如果需要掺杂硫来减少焦炭堆积，适用性则可能会受限。
b.	最大限度地使用胺法洗涤来去除酸性气体	用可再生（胺）溶剂洗涤裂化气体来脱除酸性气体（主要是 H ₂ S），以减少下游碱洗涤器的负荷。	如果低级烯烃裂化炉与 SRU 的距离过远，则不适用。对于现有装置，适用性可能会受到 SRU 容量的限制。

c.	氧化作用	将废洗涤液中存在的硫化物氧化成硫酸盐，例如，在高压和高温条件下与空气反应（即湿式空气氧化），或使用氧化剂（例如，过氧化氢）。	普遍适用。
----	------	--	-------

3. 芳烃生产的最佳可行技术结论

本节中的最佳可行技术结论适用于使用蒸汽裂化炉产生的裂化汽油副产品生产的苯、甲苯、邻二甲苯、间二甲苯和对二甲苯（通常称为轻质芳烃）和环己烷，以及使用催化重整单元产生的重整油/石脑油生产的上述物质。第 1 节中的最佳可行技术一般性结论也同样适用。

3.1. 空气污染物排放

最佳可行技术 24: 为了减少工艺废气给最终废气处理阶段带来的有机负荷，提高资源效率，最佳可行技术是利用最佳可行技术 8b 回收有机物质；或者，如该做法不现实，则为从工艺废气中回收能量（另见最佳可行技术 9）。

最佳可行技术 25: 为了减少加氢催化剂再生向空气中排放粉尘和有机化合物，最佳可行技术是将催化剂再生产生的工艺废气送至适当的处理系统。

描述:

通过湿式或干式除尘设备对工艺废气进行除尘，然后将其送入燃烧装置或热氧化器燃烧，去除有机化合物，以避免直接向空气中排放或放空燃烧。仅使用除焦转鼓不足以达到效果。

3.2. 水体污染物排放

最佳可行技术 26: 为了减少芳烃萃取单元排放到废水处理系统中的有机化合物和废水量，最佳可行技术是使用干溶剂，或者在使用湿溶剂的同时使用封闭系统进行水的回收和再利用。

最佳可行技术 27: 为了减少排放到废水处理系统的废水量和有机负荷，最佳可行技术是适当组合使用以下技术。

技术		描述	适用性
a.	无水真空	在闭路系统中使用机械泵，只排放少量水供泄压用，或使用干泵。在某些情况下，可以通过将产品作为机械真空泵中的阻隔液使用，或使用生产过程中的气流来实现无废水真空。	普遍适用。
b.	废水的源头分离	将芳烃装置的废水与其他来源的废水分离，以便于原材料或产品的回收。	对于现有装置，适用性可能会受到特定生产地点排水系统的限制。

技术		描述	适用性
c.	通过液相分离回收烃	通过适当的设计和操作（例如，足够的停留时间、相界检测和控制）分离有机相和水相，以防止夹带任何未溶解的有机物质。	普遍适用。
d.	通过汽提回收烃	见第 12.2 节。汽提可用于单流或合流。	如果烃的浓度较低，适用性可能会受到限制。
e.	再利用水	通过进一步对特定废水流进行处理，可将汽提产生的水作为工艺用水或锅炉给水使用，替代其他水源。	普遍适用。

3.3. 资源效率

最佳可行技术 28： 为了有效利用资源，最佳可行技术是通过使用最佳可行技术 8a，最大限度地利用联产氢，例如，将脱烷基反应产生的烃作为化学试剂或燃料使用；或者，如该做法不现实，则从上述工艺排放口处回收能量（见最佳可行技术 9）。

3.4. 能源效率

最佳可行技术 29： 为了在进行蒸馏时有效利用能源，最佳可行技术是使用以下一种技术或组合使用以下多种技术。

技术		描述	适用性
a.	优化蒸馏	优化每个蒸馏塔的塔板数量、回流比、进料位置，以及优化萃取蒸馏的溶剂与进料比。	对于现有装置，适用性可能会受到设计、可用空间和/或操作限制的约束。
b.	从塔顶气流中回收热量	重复利用甲苯和二甲苯蒸馏塔的冷凝热，为设施的其他地方供热。	
c.	单塔萃取蒸馏	在传统的萃取蒸馏系统中，分离需要依次进行两个单独的步骤（即，主蒸馏塔配以侧塔或汽提器）。在单塔萃取蒸馏中，溶剂的分离是在一个较小的蒸馏塔中进行的，该蒸馏塔位于主塔的塔壳内。	<p>仅在使用新装置或主要装置升级时适用。</p> <p>对于小容量单元而言，适用性可能会受到限制，因为将多种工艺并入同一设备可能会限制可操作性。</p>
d.	间壁式蒸馏塔	在传统的蒸馏系统中，将三种物质的混合物分离成纯馏分至少需要使用两个蒸馏塔（或配有侧塔的主塔）依次进行。使用间壁塔设计，只需一台设备即可进行分离。	

技术		描述	适用性
e.	热耦合蒸馏	如果蒸馏在两个塔中进行，可以对两个塔之间的能量流进行耦合。可将第一座塔顶部的蒸汽送入位于第二座塔底部的热交换器。	仅在使用新装置或主要装置升级时适用。 适用性取决于蒸馏塔的设置和工艺条件，例如，操作压力。

3.5. 残留物

最佳可行技术 30: 为防止产生（或减少）待处置的废粘土，最佳可行技术是使用以下一种技术或两种技术。

技术		描述	适用性
a.	对重整油或裂化气油进行选择性氢化	通过氢化降低重整油或裂化气油中的烯烃含量。使用充分氢化的原材料，粘土处理器的工作周期可以更长。	仅适用于使用烯烃含量高的原料的装置。
b.	对粘土材料进行选择	使用在给定条件下持续时间最长的粘土（即具有能延长工作周期的表面/结构性特性的粘土），或使用与粘土具有相同功能但可以再生的合成材料。	普遍适用。

4. 乙苯和苯乙烯单体生产的最佳可行技术结论

本节中的最佳可行技术结论适用于使用沸石或 AlCl_3 催化烷基化工艺生产乙苯，以及通过乙苯脱氢或与环氧丙烷联产生苯乙烯单体。第 1 节中的最佳可行技术一般性结论也同样适用。

4.1. 工艺选择

最佳可行技术 31: 为了防止或减少有机化合物和酸性气体排放到空气中，以及防止或减少使用乙烯的苯烷基化工艺产生的废水和产生的待处置的废物量，新装置和主要装置升级时应采用的最佳可行技术是使用沸石催化工艺。

4.2. 排放至空气中污染

最佳可行技术 32: 为了减少 AlCl_3 催化乙苯生产工艺的烷基化单元给最终废气处理阶段带来的 HCl 负荷，最佳可行技术是使用碱洗。

描述:

碱洗的描述见第 12.1 节。

适用性

仅适用于使用 AlCl_3 催化乙苯生产工艺的现有装置。

最佳可行技术 33: 为了减少 AlCl_3 催化乙苯生产工艺中催化剂更换操作给最终废气处理阶段带来的粉尘和 HCl 负荷，最佳可行技术是使用湿法洗涤，然后将废洗涤液作为烷基化反应器洗涤阶段的洗涤水使用。

描述:

湿法洗涤的描述见第 12.1 节。

最佳可行技术34: 为了减少SMPO生产工艺的氧化单元给最终废气处理阶段带来的有机负荷，最佳可行技术是使用以下一种技术或组合使用以下多种技术。

技术		描述	适用性
a.	减少液体夹带的技术	见第 12.1 节	普遍适用。
b.	冷凝	见第 12.1 节	普遍适用。
c.	吸附	见第 12.1 节	普遍适用。
d.	洗涤	见第 12.1 节。用合适的溶剂（例如，冷却的再循环乙苯）进行洗涤以吸收乙苯，然后将其再循环到反应器。	在现有装置中，对于再循环的乙苯流的使用可能会受到装置设计的限制。

最佳可行技术35： 为了减少SMPO生产工艺中的苯乙酮氢化单元在非正常运行条件下（例如，启动时）向空气中排放的有机化合物，最佳可行技术是将工艺废气发送至适当的处理系统。

4.3. 水体污染物排放

最佳可行技术36： 为了减少乙苯脱氢产生的废水和最大限度地回收有机化合物，最佳可行技术是适当组合使用以下技术。

技术		描述	适用性
a.	优化液相分离	通过适当的设计和操作系统（例如，足够的停留时间、相界检测和控制）分离有机相和水相，以防止夹带任何未溶解的有机物质。	普遍适用。
b.	蒸汽汽提	见第 12.2 节	普遍适用。
c.	吸附	见第 12.2 节	普遍适用。
d.	再利用水	反应生成的冷凝物可以作为工艺用水使用或在经过汽提（见技术 b.）和吸附（见技术 c.）后作为锅炉进水使用。	普遍适用。

最佳可行技术 37： 为了减少 SMPO 生产工艺中氧化单元向水中排放的有机过氧化物，以及保护下游生物废水处理装置，最佳可行技术是使用水解对含有有机过氧化物的废水进行预处理，然后再将该处理过的废水与其他废水流结合并排放至最终生物处理系统。

描述：

水解的描述见第 12.2 节。

4.4. 资源效率

最佳可行技术 38： 在乙苯脱氢工艺中，为了在回收氢气（见最佳可行技术 39）前回收有机化合物，最佳可行技术是使用以下一种技术或两种技术。

技术		描述	适用性
a.	冷凝	见第 12.1 节	普遍适用。
b.	洗涤	见第 12.1 节。吸收剂由商业有机溶剂（或来自乙苯装置的焦油）组成（见最佳可行技术 42b）。通过汽提洗涤液回收 VOCs。	

最佳可行技术 39： 为了提高资源效率，最佳可行技术是回收乙苯脱氢联产的氢气，并将其用作化学试剂或燃烧脱氢废气的燃料（例如，在蒸汽过热器中使用）。

最佳可行技术 40： 为了提高 SMPO 生产工艺中苯乙酮氢化单元的资源效率，最佳可行技术是尽量减少过量氢气的产生或使用最佳可行技术 8a 来回收氢气。如果最佳可行技术 8a 不适用，最佳可行技术则是回收能量（见最佳可行技术 9）。

4.5. 残留物

最佳可行技术 41： 为了减少 AlCl_3 催化乙苯生产工艺中废催化剂中和产生的废物量，最佳可行技术是通过汽提回收残留的有机化合物，然后浓缩水相得到可用的 AlCl_3 副产品。

描述：

首先使用蒸汽汽提去除 VOCs，然后通过蒸发浓缩废催化剂溶液以得到可用的 AlCl_3 副产品。蒸气相被冷凝后得到 HCl 溶液，该溶液可在该工艺中循环使用。

最佳可行技术 42： 为防止（或减少）乙苯生产工艺中的蒸馏单元产生待处置的废焦油，最佳可行技术是使用以下一种技术或组合使用以下多种技术。

技术		描述	适用性
a.	回收物质（例如，通过蒸馏、裂化）	见最佳可行技术 17c	仅在回收的物质有实际用途的情况下适用。
b.	将焦油作为洗涤吸收剂使用	见第 12.1 节。在采用乙苯脱氢生产苯乙烯单体的洗涤器中将焦油作为吸收剂使用，替代商业有机溶剂（见最佳可行技术 38b）。焦油的使用程度取决于洗涤器的容量。	普遍适用。
c.	将焦油作为燃料使用	见最佳可行技术 17e	普遍适用。

最佳可行技术 43： 为了减少采用乙苯脱氢生产苯乙烯的单元产生的焦炭（既是催化剂毒物又是废物），最佳可行技术是在安全可行的前提下使用最低压运行。

最佳可行技术 44： 为了减少苯乙烯单体生产（包括其与环氧丙烷的联产）产生的有机残留物，最佳可行技术是使用以下一种技术或组合使用以下多种技术。

技术		描述	适用性
a.	向蒸馏系统添加抑制剂	见最佳可行技术 17a	普遍适用。
b.	最大限度地减少蒸馏系统中高沸点残留物的形成	见最佳可行技术 17b	仅在使用新的蒸馏单元或主要装置升级时适用。
c.	将残留物作为燃料使用	见最佳可行技术 17e	普遍适用。

5. 甲醛生产的最佳可行技术结论

除了本节中的最佳可行技术结论以外，第 1 节中的最佳可行技术一般性结论也同样适用。

5.1. 排放至空气中污染

最佳可行技术 45： 为了减少甲醛生产向空气中排放的有机化合物，有效利用能源，最佳可行技术是使用以下一种技术。

技术		描述	适用性
a.	将废气流输送到燃烧装置	见最佳可行技术 9	仅适用于银法。
b.	具有能量回收功能的催化氧化器	见第 12.1 节。能量以蒸汽形式回收。	仅适用于使用金属氧化物的工艺。小型独立装置的能量回收能力可能会受到限制。
c.	具有能量回收功能的热氧化器	见第 12.1 节。能量以蒸汽形式回收。	仅适用于银法。

表 5.1： 甲醛生产过程中向空气中排放 TVOC 和甲醛的 BAT-AELs

参数	最佳可行技术BAT-AEL (日平均值或采样周期平均值) (mg/Nm ³ , 无氧含量校正)
TVOC	< 5 - 30 ⁽¹⁾
甲醛	2 - 5

(1) 如果采用银法时使用热氧化器，则可达到该范围的下限。

相关监测见最佳可得技术 2。

5.2. 水体污染物排放

最佳可行技术 46： 为了防止或减少废水的产生（例如，来自清洁、泄漏和冷凝物），以及防止和减少向进一步废水处理工序排放有机负荷，最佳可行技术是使用以下一种或两种技术。

技术		描述	适用性
a.	再利用水	将水流（例如，来自清洁、泄漏和冷凝物）再循环回生产过程中，主要用于调节甲醛产品浓度。水的再利用程度取决于所需的甲醛浓度。	普遍适用。
b.	化学预处理	将甲醛转化为其他毒性较小的物质，例如，通过添加亚硫酸钠或通过氧化。	仅适用于甲醛含量高到可能对下游生物废水处理产生负面影响的废水。

5.3. 残留物

最佳可行技术 47： 为了减少待处置的含多聚甲醛的废物，最佳可行技术是使用以下其中一种技术或组合使用以下多种技术。

技术		描述	适用性
a.	尽量减少多聚甲醛的产生	通过改进加热、隔热和流动循环，将多聚甲醛的形成降至最低。	普遍适用。
b.	回收物质	对多聚甲醛的回收是通过将其溶解在热水中，进行水解和解聚，得到甲醛溶液，或者将其直接输送至其他工艺，以供重复使用。	回收的多聚甲醛有污染而无法使用时则不适用。
c.	将残留物作为燃料使用	将多聚甲醛回收并作为燃料使用。	仅在技术 b.不适用时适用。

6. 环氧乙烷和乙二醇类生产的最佳可行技术结论

除了本节中的最佳可行技术结论以外，第 1 节中的最佳可行技术一般性结论也同样适用。

6.1. 工艺选择

最佳可行技术 48： 为了减少乙烯的消耗，以及减少向空气中排放有机化合物和 CO₂，新装置和主要装置升级时应采用的最佳可行技术是在将乙烯直接氧化成环氧乙烷时，使用氧气代替空气。

6.2. 排放至空气中污染

最佳可行技术 49： 为了回收乙烯和能源，以及减少 EO 装置向空气中排放有机化合物，最佳可行技术是使用以下两种技术。

技术	描述	适用性
<i>回收有机物质以供再利用或循环利用的技术</i>		
a.	使用变压吸附或膜分离从惰性弛放气中回收乙烯 关于膜分离，见第 12.1 节	如果乙烯的质量流量低，造成能源消耗过高，适用性则可能会受到限制。
<i>能量回收技术</i>		
b.	将惰性弛放气流输送至燃烧装置	见最佳可行技术 9 普遍适用。

最佳可行技术 50： 为了减少对乙烯和氧气的消耗，以及减少 EO 单元向空气排放的 CO₂，最佳可行技术是组合使用最佳可行技术 15 中列出的技术并使用抑制剂。

描述：

向反应器进料中加入少量有机氯抑制剂（例如，氯乙烷或二氯乙烷），以减少完全氧化成二氧化碳的乙烯比例。监测催化剂性能的适当参数包括反应热和每吨乙烯进料生成的 CO₂。

最佳可行技术 51: 为了减少 EO 装置使用的洗涤介质解吸 CO₂ 时向空气中排放的有机化合物, 最佳可行技术是组合使用以下技术。

技术	描述	适用性	
工艺集成技术			
a.	CO ₂ 分级解吸	该技术包括分两步（而非一步）进行必要减压, 以便从吸收介质中释放二氧化碳。该做法让原始的富烃流得以被隔离, 以便进行潜在再循环, 同时获得相对干净的二氧化碳流以供进一步处理。	仅在使用新装置或主要装置升级时适用。
减排技术			
b.	催化氧化器	见第 12.1 节	普遍适用。
c.	热氧化器	见第 12.1 节	普遍适用。

表 6.1: EO 装置使用的洗涤介质解吸 CO₂ 时向空气中排放的有机化合物的 BAT-AEL

参数	最佳可行技术 BAT-AEL
TVOC	1 - 10 克/每吨（生产的）EO ⁽¹⁾ ⁽²⁾ ⁽³⁾
⁽¹⁾ BAT-AEL 以年采样值的平均值表示。 ⁽²⁾ 如果排放中含有大量甲烷, 应从结果中减去根据 EN ISO 25140 或 EN ISO 25139 监测获得的甲烷量。 ⁽³⁾ 生产的 EO 是指为销售和作为中间体使用而生产的 EO 的总和。	

相关监测见最佳可得技术 2。

最佳可行技术 52: 为了减少向空气中排放 EO, 最佳可行技术是对含有 EO 的废气流进行湿法洗涤。

描述:

湿法洗涤的描述见第 12.1 节。先用水洗涤废气流以从中去除 EO, 然后再进一步减少其含有的有机化合物或将其直接释放。

最佳可行技术 53: 为了防止或减少 EO 回收单元中 EO 吸收剂冷却过程中向空气中排放的有机化合物, 最佳可行技术是使用以下一种技术。

技术	描述	适用性	
a.	间接冷却	使用间接冷却系统（带热交换器）而不是开放式冷却系统	仅在使用新装置或主要装置升级时适用

b.	通过汽提完全去除 EO	保持适当的运行条件，在线监控 EO 汽提器运作，以确保 EO 的完全汽提；并建立妥善的保护系统，以避免在非正常运行条件下排放 EO	仅在技术 a.不适用时适用
----	-------------	---	---------------

6.3. 水体污染物排放

最佳可行技术 54： 为了减少废水量，以及减少产品提纯工艺排放到最终废水处理系统的有机负荷，最佳可行技术是使用以下一种或两种技术。

技术		描述	适用性
a.	在 EG 装置中使用来自 EO 装置的弛放流	将 EO 装置的弛放流输送到 EG 工艺，而不是作为废水排放。弛放流在 EG 工艺中再利用的程度取决于对 EG 产品质量的要求。	普遍适用。
b.	蒸馏	蒸馏是一种通过部分蒸发和再冷凝来分离具有不同沸点的化合物的技术。 该技术在 EO 和 EG 装置中的使用是为了浓缩水流以回收乙二醇或对其进行处置（例如，进行焚烧，而不是作为废水排放），并使部分的水可以被再利用/再循环。	仅在使用新装置或主要装置升级时适用。

6.4. 残留物

最佳可行技术 55： 为了减少 EO 和 EG 装置产生的待处置的有机废物，最佳可行技术是组合使用以下多种技术。

技术		描述	适用性
a.	优化水解反应	优化水与 EO 的比例，这样既可以减少联产的较重质乙二醇，也可以避免乙二醇脱水消耗过多能源。最佳比例取决于二甘醇和三甘醇的目标产量。	普遍适用。
b.	分离 EO 装置的副产品然后加以利用	对于 EO 装置而言，将 EO 回收的废液脱水后获得的浓缩有机馏分进行蒸馏，得到有价值的短链乙二醇和较重质的残留物。	仅在使用新装置或主要装置升级时适用。
c.	分离 EG 装置的副产品然后加以利用	对于 EG 装置而言，较长链的乙二醇馏分可以直接使用或进一步分馏生成有价值的乙二醇。	普遍适用。

7. 苯酚生产的最佳可行技术结论

本节中的最佳可行技术结论适用于使用异丙苯生产苯酚，第 1 节中的最佳可行技术一般性结论也同样适用。

7.1. 排放至空气中污染

最佳可行技术 56： 为了回收原材料并减少异丙苯氧化单元给最终废气处理阶段带来的有机负荷，最佳可行技术是组合使用以下技术。

技术	描述	适用性
工艺集成技术		
a. 减少液体夹带技术	见第 12.1 节	普遍适用。
对有机物质进行回收再利用的技术		
b. 冷凝	见第 12.1 节	普遍适用。
c. 吸附（再生）	见第 12.1 节	普遍适用。

最佳可行技术 57： 为了减少向空气的排放的有机化合物，最佳可行技术是使用下列技术 d 处理异丙苯氧化装置排放的废气。对于任何其他废气流（单流或合流），最佳可行技术是使用以下一种技术或组合使用以下多种技术：

技术	描述	适用性
a. 将废气流输送到燃烧装置	见最佳可行技术 9	仅在废气可以作为气体燃料使用的情况下适用。
b. 吸附	见第 12.1 节	普遍适用。
c. 热氧化器	见第 12.1 节	普遍适用。
d. 蓄热式热氧化器（RTO）	见第 12.1 节	普遍适用。

表 7.1： 生产苯酚时向空气中排放 TVOC 和苯的 BAT-AELs

参数	源头	最佳可行技术 BAT-AEL (日平均值或采样周期平均值) (mg/Nm ³ , 无氧含量校正)	条件
苯	异丙苯氧化单元	< 1	如果排放量超过 1g/h, 左列 BAT-AEL 则适用
TVOC		5 - 30	-

相关监测见最佳可得技术 2。

7.2. 水体污染物排放

最佳可行技术 58: 为了减少氧化单元向水中排放的有机过氧化物，以及（如有必要）保护下游生物废水处理装置，最佳可行技术是使用水解对含有有机过氧化物的废水进行预处理，然后再将该处理过的废水与其他废水流结合并排放至最终生物处理系统。

描述:

水解的描述，见第 12.2 节。对废水（主要来自相分离后的冷凝剂和吸附剂再生）进行热处理（在温度高于 100 °C 和高 pH 值的条件下）或催化处理，以将有机过氧化物分解为无生态毒性且更易于生物降解的化合物。

表 7.2: 过氧化物分解单元出口处的有机过氧化物的 BAT-AEPL

参数	BAT-AEPL (最低采集次数为三次的个别试样的平均值，每次试样采集之间应至少间隔半小时)	相关监控
总有机过氧化物，以过氧化氢异丙苯表示	<100mg/l	无可用的 EN 标准。最低监测频率为每天一次，如果通过控制工艺参数（例如，pH、温度和停留时间）证明水解性能良好，则可减至每年四次

最佳可行技术 59: 为了减少裂化单元和蒸馏单元排放到进一步废水处理工序的有机负荷，最佳可行技术是通过先萃取后汽提的方式回收苯酚和其他有机化合物（例如，丙酮）。

描述:

通过将 pH 值调节至 <7，实现从含苯酚的废水流中回收苯酚，然后用适当溶剂萃取并汽提废水以去除残留溶剂和其他低沸点化合物（例如，丙酮）。处理技术的描述见第 12.2 节。

7.3. 残留物

最佳可行技术 60: 为防止或减少苯酚提纯产生的待处置的焦油，最佳可行技术是使用以下一种技术或两种技术。

技术	描述	适用性
a. 回收物质 (例如，通过蒸馏、裂化)	见最佳可行技术 17c。使用蒸馏回收异丙苯、α-甲基苯乙烯苯酚等。	普遍适用。
b. 将焦油作为燃料使用	见最佳可行技术 17e。	普遍适用。

8. 乙醇胺类生产的最佳可行技术结论

除了本节中的最佳可行技术结论以外，第 1 节中的最佳可行技术一般性结论也同样适用。

8.1. 排放至空气中污染

最佳可行技术 61: 为了减少向空气中排放的氨并减少乙醇胺水溶液生产过程中消耗的氨，最佳可行技术是使用多级湿法洗涤系统。

描述:

湿法洗涤的描述见第 12.1 节。从氨汽提器的废气中回收未反应的氨，同时也从蒸发单元中通过至少两级的湿法洗涤回收未反应的氨，然后将氨再循环回工艺中。

8.2. 水体污染物排放

最佳可行技术 62: 为了防止或减少真空系统向空气中排放的有机化合物和向水体中排放的有机物质，最佳可行技术是使用以下一种技术或组合使用以下多种技术。

技术		描述	适用性
a.	无水真空	使用干泵，例如，容积泵。	对于现有装置，适用性可能会受到设计和/或操作限制的约束。
b.	使用具备循环用水功能的水环真空泵	将作为泵密封液使用的水通过闭环循环到泵壳，只进行少量弛放，从而最大限度地减少废水的产生。	仅在技术 a.不适用时适用。 不适用于三乙醇胺的蒸馏。
c.	在工艺中重复使用真空系统产生的水流	将水环泵或蒸汽喷射器产生的水流送回到工艺当中，以便进行对有机物质的回收和水的再利用。水在工艺中可以得到再利用的程度受工艺耗水量的限制。	仅在技术 a.不适用时适用。
d.	对真空系统上游的有机化合物（胺）进行冷凝	见第 12.1 节	普遍适用。

8.3. 原材料消耗

最佳可行技术 63: 为了有效使用环氧乙烷，最佳可行技术是适当组合使用以下技术。

技术		描述	适用性
a.	过量使用氨	在反应混合物中保持高水平的氨是确保所有环氧乙烷转化为产品的有效方法。	普遍适用。

技术		描述	适用性
b.	优化反应中的水含量	在不改变产品分布，也不会与环氧乙烷发生明显的副反应生成乙二醇的前提下，适度添加水来加速主要反应。	仅适用于水基工艺。
c.	优化工艺运行条件	确定并保持最佳运行条件（例如，温度、压力、停留时间），以最大限度地将环氧乙烷转化为所需的单乙醇胺、二乙醇胺、三乙醇胺混合物。	普遍适用。

9. 甲苯二异氰酸酯 (TDI) 和二苯甲烷二异氰酸酯 (MDI) 生产的最佳可行技术结论

本节中的最佳可行技术结论涵盖以下产品的生产：

- 使用甲苯生产二硝基甲苯（DNT）；
- 使用 DNT 生产二氨基甲苯（TDA）；
- 使用 TDA 生产 TDI；
- 使用苯胺生产二氨基二苯甲烷（MDA）；
- 使用 MDA 生产 MDI；

第 1 节中的最佳可行技术一般性结论也同样适用。

9.1. 空气污染物排放

最佳可行技术 64： 为了减少 DNT、TDA 和 MDA 装置给最终废气处理（见最佳可行技术 66）阶段带来的有机化合物、NO_x、NO_x 前体和 SO_x 负荷，最佳可行技术是组合使用以下技术。

技术		描述	适用性
a.	冷凝	见第 12.1 节。	普遍适用。
b.	湿法洗涤	见第 12.1 节。在很多情况下，被吸收的污染物的化学反应（硝酸回收的 NO _x 部分氧化；用氢氧化钠溶液去除酸；用酸性溶液去除胺；苯胺与甲醛在氢氧化钠溶液中反应）能提高洗涤效率。	
c.	热还原	见第 12.1 节。	对于现有单元，适用性可能会受到可用空间的限制。
d.	催化还原	见第 12.1 节。	

最佳可行技术 65： 为了减少最终废气处理阶段的 HCl 和光气负荷，提高资源效率，最佳可行技术是通过适当组合使用以下技术从 TDI 和/或 MDI 装置的工艺废气流中回收 HCl 和光气。

技术		描述	适用性
a.	通过湿法洗涤吸收 HCl	见最佳可行技术 8d。	普遍适用。
b.	通过洗涤吸收光气	见第 12.1 节。用有机溶剂将多余的光气吸收，然后将其并输送回工艺中	普遍适用。
c.	HCl/光气冷凝	见第 12.1 节	普遍适用。

最佳可行技术 66： 为了减少向空气中排放的有机化合物（包括，氯代烃）、HCl 和氯，最佳可行技术是先使用热氧化器处理混合废气流，然后再进行碱洗。

描述：

将 DNT、TDA、TDI、MDA 和 MDI 装置产生的废气流合并为一条或几条废气流进行处理。（热氧化器和洗涤的描述见第 12.1 节。）可用焚烧炉替代热氧化器进行废液和废气的联合处理。碱洗是使用碱液的湿式洗涤，以提高 HCl 和氯的去除效率。

表 9.1： TDI/MDI 工艺向空气中排放 TVOC、四氯化碳、Cl₂、HCl 和 PCDD/F 的 BAT-AELs

参数	最佳可行技术 BAT-AEL (mg/Nm ³ , 无氧含量校正)
TVOC	1 - 5 ⁽¹⁾⁽²⁾
四氯化碳	≤0.5 克/吨（生产的）MDI ⁽³⁾ ≤0.7 克/吨（生产的）TDI ⁽³⁾
Cl ₂	<1 ⁽²⁾⁽⁴⁾
HCl	2 - 10 ⁽²⁾
PCDD/F	0.025 - 0.08 ng I-TEQ/Nm ³ ⁽²⁾
<p>(1) 该 BAT-AEL 仅适用于流量 >1000Nm³/h 的混合废气流。</p> <p>(2) 该 BAT-AEL 以日平均值或采样周期平均值表示。</p> <p>(3) 该 BAT-AEL 以年采样值的平均值表示。生产的 TDI 和/或 MDI 是指无残留物的产品，与用于计算装置产能的定义一致。</p> <p>(4) 如果样本中 NO_x 的值高于 100mg/Nm³，BAT-AEL 可能更高，考虑到分析干扰，最高可达 3mg/Nm³。</p>	

相关监测见最佳可得技术 2。

最佳可行技术 67： 为了减少热氧化器在处理含有氯和/或氯化化合物的工艺废气流时向空气中排放的 PCDD/F（见第 12.1 节），最佳可行技术是使用下列技术 a，如有必要，随后再使用下列技术 b。

技术		描述	适用性
a.	急冷	对废气进行快速冷却以避免 PCDD/F 的从头合成。	普遍适用。
b.	活性炭注入	向废气中注入活性炭，通过活性炭吸附去除废气中的 PCDD/F，然后对其进行除尘。	

最佳可行技术相关排放水平（BAT-AELs）：见表 9.1。

9.2. 水体污染物排放

最佳可行技术 68： 最佳可行技术是至少按以下频率，根据欧洲标准（EN）监测水体污染物排放。如果没有相关欧洲标准（EN），最佳可行技术则应使用能确保提供同等科学质量数据的国际标准化组织（ISO）、国家或其他国际标准。

物质/参数	装置	采样点	标准	最低监测频率	监测涉及的技术
TOC	DNT 装置	预处理单元出口处	EN 1484	每周一次 ⁽¹⁾	最佳可行技术 70
	MDI 和/或 TDI 装置	装置出口处		每月一次	最佳可行技术 72
苯胺	MDA 装置	最终废水处理系统出口处	无可用的 EN 标准	每月一次	最佳可行技术 14
氯化溶剂	MDI 和/或 TDI 装置		多套 EN 标准可用（例如，EN ISO 15680）		最佳可行技术 14

(1) 如果废水排放为非连续性，最低监测频率则为每次排放时监测一次。

最佳可行技术 69： 为了减少 DNT 装置给废水处理系统带来的亚硝酸盐、硝酸盐和有机化合物负荷，最佳可行技术是通过适当组合使用以下技术来回收原材料、减少废水量和对水进行再利用。

技术	描述	适用性
a. 使用高浓度硝酸	使用高浓度 HNO ₃ （例如，约 99%）来提高工艺效率并减少废水量和污染物负荷。	对于现有单元，适用性可能会受到设计和/或操作限制的约束
b. 优化废酸的再生和回收	通过适当组合使用蒸发/蒸馏、汽提和冷凝，实现对硝化反应中的废酸进行再生的同时，也能回收水和有机物以供再利用。	对于现有单元，适用性可能会受到设计和/或操作限制的约束
c. 通过对工艺用水进行再利用来洗涤 DNT	通过对废酸回收单元和硝化单元产生的工艺用水进行再利用来洗涤 DNT。	对于现有单元，适用性可能会受到设计和/或操作限制的约束
d. 对工艺中用于首道洗涤工序的水进行再利用	使用水从有机相中萃取硝酸和硫酸。将酸化水输送回工艺中，进行直接再利用或进一步处理以回收物质。	普遍适用。
e. 对水进行多次使用和再循环	对用于洗涤、漂洗和设备清洁的水进行再利用，例如，用于有机相的逆流多步洗涤。	普遍适用。

最佳可行技术的相关废水量：见表 9.2。

最佳可行技术 70： 为了减少 DNT 装置给进一步废水处理工序带来的难生物降解有机化合物负荷，最佳可行技术是使用以下一种或两种技术对废水进行预处理。

技术		描述	适用性
a.	萃取	见第 12.2 节	普遍适用。
b.	化学氧化	见第 12.2 节	

表 9.2： DNT 装置预处理单元出口处排放（至进一步废水处理工序）的 BAT-AEPLs

参数	BAT-AEPL (月采样值的平均值)
TOC	<1 千克/吨（生产的）DNT
特定废水量	<1 立方米/吨（生产的）DNT

TOC 的相关监测见最佳可行技术 68。

最佳可行技术 71： 为了减少 TDA 装置产生的废水和向废水处理系统排放的有机负荷，最佳可行技术是组合使用下列技术 a、b 和 c，然后使用技术 d。

技术		描述	适用性
a.	蒸发	见第 12.2 节	普遍适用。
b.	汽提	见第 12.2 节	
c.	萃取	见第 12.2 节	
d.	再利用水	在本工艺或其他工艺（例如，在 DNT 装置中）中对水（例如，冷凝物或洗涤产生的水）进行再利用。现有装置中水的再利用程度可能会受到技术限制的约束。	普遍适用。

表 9.3： TDA 装置向废水处理系统排放的污染物的 BAT-AEPL

参数	BAT-AEPL (月采样值的平均值)
特定废水量	<1 立方米/吨（生产的）TDA

最佳可行技术 72: 为了防止或减少 MDI 和/或 TDI 装置给最终废水处理系统带来的有机负荷, 最佳可行技术是通过优化装置的设计和操作来回收溶剂和再利用水。

表 9.4: TDI 或 MDI 装置向废水处理系统排放的污染物的 BAT-AEPL

参数	BAT-AEPL (年采样值的平均值)
TOC	<0.5 克/吨产品 (TDI 或 MDI) ⁽¹⁾
⁽¹⁾ BAT-AEPL 是指无残留物的产品, 与用于计算装置产能的定义一致。	

相关监测见最佳可行技术 68。

最佳可行技术 73: 为了减少从 MDA 装置给进一步废水处理工序带来的有机负荷, 最佳可行技术是通过使用以下一种技术或组合使用以下多种技术来回收有机物质。

技术	描述	适用性
a. 蒸发	见第 12.2 节。用于促进萃取 (见技术 b)	普遍适用。
b. 萃取	见第 12.2 节。用于回收/脱除 MDA	普遍适用。
c. 蒸汽汽提	见第 12.2 节。用于回收/脱除苯胺和甲醇	对于甲醇而言, 适用性取决于纳入废水管理和处理策略中的替代方案评估的结果。
d. 蒸馏	见第 12.2 节。用于回收/脱除苯胺和甲醇	

9.3. 残留物

最佳可行技术 74: 为了减少 TDI 装置产生的待处置的有机残留物, 最佳可行技术是组合使用以下多种技术。

技术	描述	适用性
防止或减少废物产生的技术		
a. 最大限度地减少蒸馏系统中高沸点残留物的形成	见最佳可行技术 17b。	仅在使用新的蒸馏单元或主要装置升级时适用。
回收有机物质以供再利用或循环利用的技术		
b. 通过蒸发或进一步蒸馏提高 TDI 的回收率	对蒸馏的残留物进行额外处理以最大限度的回收回收其中含有的 TDI, 例如, 先使用薄膜蒸发器或其他短程蒸馏单元, 然后再使用烘干机。	仅在使用新的蒸馏单元或主要装置升级时适用。
c. 通过化学反应回收 TDA	通过化学反应 (例如, 水解) 对焦油进行处理以回收 TDA。	仅在使用新装置或主要装置升级时适用。

10. 二氯乙烷和氯乙烯单体生产的最佳可行技术结论

除了本节中的最佳可行技术结论以外，第 1 节中的最佳可行技术一般性结论也同样适用。

10.1. 排放至空气中污染

10.1.1. EDC 裂化炉向空气中排放污染物的 BAT-AEL

表 10.1: EDC 裂化炉向空气中排放 NO_x 的 BAT-AELs

参数	BAT-AELs ⁽¹⁾ ⁽²⁾ ⁽³⁾ (日平均值或采样周期平均值) (mg/Nm ³ , O ₂ 体积百分比在 3 vol-%)
NO _x	50 - 100
<p>(1) 当两个或多个熔炉的烟道气通过一个共用烟囱排放时，该 BAT-AEL 适用于该烟囱的联合排放。</p> <p>(2) 在进行除焦操作期间，该 BAT-AELs 不适用。</p> <p>(3) 没有对 CO 适用的 BAT-AEL。作为指导，CO 排放水平通常为 5 - 35mg/Nm³，以日平均值或采样周期平均值表示。</p>	

相关监测见最佳可得技术 1。

10.1.2. 针对其他源头向空气中排放污染物的技术和 BAT-AEL

最佳可行技术 75: 为了减少给最终废气处理阶段带来的有机负荷，减少原材料消耗，最佳可行技术是使用以下所有技术。

技术	描述	适用性	
工艺集成技术			
a.	进料质量控制	控制进料质量以尽量减少残留物的形成（例如，乙烯中的丙烷和乙炔含量；氯中的溴含量；氯化氢中的乙炔含量）。	普遍适用。
b.	进行氧氯化反应时，使用氧气代替空气		仅在使用新的氧氯化装置或主要氧氯化装置升级时适用。
有机物回收技术			
c.	使用冷冻水或制冷剂进行冷凝	使用冷冻水或制冷剂（如氨或丙烯）进行冷凝（见第 12.1 节），以从各排放气流中回收有机化合物，然后再对其进行最终处理。	普遍适用。

最佳可行技术 76： 为了减少向空气中排放的有机化合物（包括卤化物）、HCl 和 Cl₂，最佳可行技术是使用热氧化器处理由 EDC 和/或 VCM 生产产生的混合废气流，然后再进行两级湿法洗涤。

描述：

热氧化器、湿法洗涤和碱洗的描述见第 12.1 节。可在废液焚烧装置中进行热氧化。在该种情况下，氧化温度超过 1100° C，最短停留时间为 2 秒，随后对废气进行快速冷却以避免 PCDD/F 的从头合成。

分两级进行洗涤：先用水进行湿法洗涤，通常是为了回收盐酸，然后再用碱液进行湿法洗涤。

表 10.2： EDC/VCM 生产向空气中排放 TVOC、EDC 和 VCM 的总和、Cl₂、HCl 和 PCDD/F 的 BAT-AELs

参数	最佳可行技术 BAT-AEL (日平均值或采样周期平均值) (mg/Nm ³ , O ₂ 体积百分比在 11 vol-%)
TVOC	0.5 - 5
EDC 和 VCM 的总和	<1
Cl ₂	<1 - 4
HCl	2-10
PCDD/F	0.025 - 0.08 ng I-TEQ/Nm ³

相关监测见最佳可得技术 2。

最佳可行技术 77： 使用热氧化器处理含有氯和/或氯化化合物的工艺废气流时，为了减少该热氧化器向空气中排放的 PCDD/F（见第 12.1 节），最佳可行技术是使用下列技术 a，如有必要，随后再使用下列技术 b。

技术		描述	适用性
a.	急冷	对废气进行快速冷却以避免 PCDD/F 的从头合成。	普遍适用。
b.	活性炭注入	向废气中注入活性炭，通过活性炭吸附去除废气中的 PCDD/F，然后对其进行除尘。	

最佳可行技术相关排放水平（BAT-AELs）：见表 10.2。

最佳可行技术 78： 为了减少裂化器管除焦过程中向空气中排放的粉尘和 CO，最佳可行技术是使用下列一种用于降低除焦频率的技术，同时使用以下一种或组合使用以下多种减排技术。

技术	描述	适用性	
降低除焦频率的技术			
a.	优化热除焦	优化整个除焦周期的运行条件，即气流、温度和蒸汽含量，实现焦炭去除最大化。	普遍适用。
b.	优化机械除焦	优化机械除焦（例如，喷砂）以最大限度地去除焦炭粉尘。	普遍适用。
减排技术			
c.	湿式除尘	见第 12.1 节	仅适用于热除焦。
d.	旋风除尘器	见第 12.1 节	普遍适用。
e.	织物过滤器	见第 12.1 节	普遍适用。

10.2. 水体污染物排放

最佳可行技术 79： 最佳可行技术是至少按以下频率，根据欧洲标准（EN）监测水体污染物排放。如果没有相关欧洲标准（EN），最佳可行技术则应使用能确保提供同等科学质量数据的国际标准化组织（ISO）、国家或其他国际标准。

物质/参数	装置	采样点	标准	最低监测频率	监测涉及的技术
EDC	所有装置	废水汽提器出口处	EN ISO 10301	每天一次	最佳可行技术 80
VCM					
铜	采用流化床设计的氧化装置	用于固体去除的预处理系统出口处	多套 EN 标准可用，例如，EN ISO 11885、EN ISO 15586、EN ISO 17294-2	每天一次 ⁽¹⁾	最佳可行技术 81
PCDD/F			无可用的 EN 标准	每 3 个月一次	
总悬浮固体总量（TSS）			EN 872	每天一次 ⁽¹⁾	
铜	采用流化床设计的氧化装置	最终废水处理系统出口处	多套 EN 标准可用，例如，EN ISO 11885、EN ISO 15586、EN ISO 17294-2	每月一次	最佳可行技术 14 和最佳可行技术 81

EDC	所有装置	EN ISO 10301	每月一次	最佳可行技术 14 和最佳可行技术 80
PCDD/F		无可用的 EN 标准	每 3 个月一次	最佳可行技术 14 和最佳可行技术 81
(1) 如果通过频繁监测其他参数（例如，连续测量浊度）可以将固体和铜的去除性能控制在适当水平，则最低监测频率可以减少至每月一次。				

最佳可行技术 80： 为了减少进一步废水处理工序的氯化化合物负荷，以及减少废水收集和处理系统排放的空气污染物，最佳可行技术是在尽可能靠近源头的地方使用水解和汽提。

描述：

水解和汽提的描述见第 12.2 节。在 pH 值为碱性的条件下进行水解，以分解氧氯化反应中产生的水合氯醛。该过程会导致氯仿的形成，然后通过汽提将其与 EDC 和 VCM 一并去除。

最佳可行技术相关环境绩效水平（BAT-AEPLs）：见表 10.3。

在最终处理系统出口处直接排入受纳水体的污染物的最佳可行技术相关排放水平（BAT-AELs）：见表 10.5。

表 10.3： 废水汽提器出口处排放的废水中氯代烃的 BAT-AEPLs

参数	BAT-AEPL (月采样值的平均值) ⁽¹⁾
EDC	0.1 - 0.4mg/l
VCM	<0.05mg/l
(1) 月采样值的平均值是根据每天采样值的平均值（最低采集次数为三次的个别试样的平均值，每次试样采集之间应至少间隔半小时）计算得出的。	

相关监测见最佳可行技术 79。

最佳可行技术 81： 为了减少氧氯化反应向水体排放的 PCDD/F 和铜，最佳可行技术是使用下列技术 a.，或者使用下列技术 b 外加适当组合使用下列技术 c.、d.和 e.

技术	描述	适用性	
工艺集成技术			
a.	进行氧氯化反应时采用固定床设计	氧氯化反应设计：在固定床反应器中，塔顶气流中夹带的催化剂颗粒减少。	对使用流化床设计的现有装置不适用。
b.	旋风除尘器或干式催化剂过滤系统	旋风除尘器或干式催化剂过滤系统能降低反应器中的催化剂损失，因而减少其向废水的转移。	仅适用于采用流化床设计的装置。
废水预处理			
c.	化学沉淀	见第 12.2 节。化学沉淀可用于去除溶解态的铜。	仅适用于采用流化床设计的装置。
d.	凝聚和絮凝	见第 12.2 节	仅适用于采用流化床设计的装置。
e.	过滤膜（微滤或超滤）	见第 12.2 节	仅适用于采用流化床设计的装置。

表 10.4: 采用流化床设计、利用氧氯化反应生产 EDC 的装置中用于固体去除的预处理系统出口处排放的水体污染物的 BAT-AEPLs

参数	BAT-AEPL (年采样值的平均值)
铜	0.4 - 0.6mg/l
PCDD/F	< 0.8 ng I-TEQ/l
总悬浮固体总量 (TSS)	10 - 30mg/l

相关监测见最佳可行技术 79。

表 10.5: EDC 生产中直接排入受纳水体的铜、EDC 和 PCDD/F 的 BAT-AELs

参数	最佳可行技术 BAT-AEL (年采样值的平均值)
铜	0.04 - 0.2 克/吨（通过氧氯化反应生产的）EDC ⁽¹⁾
EDC	0.01 - 0.05 克/吨（纯化的）EDC ⁽²⁾ ⁽³⁾
PCDD/F	0.1 - 0.3 微克 I-TEQ/吨（通过氧氯化反应生产的）EDC

(1) 如果使用固定床设计，则通常可达到该范围的下限。
(2) 年采样值的平均值是根据每天采样值的平均值（最低采集次数为三次的个别试样的平均值，每次试样采集之间应至少间隔半小时）计算得出的。
(3) 纯化的 EDC 是指通过氧氯化化和/或直接氯化生产的 EDC 和从 VCM 生产中返回经纯化的 EDC 的总和。

相关监测见最佳可行技术 79。

10.3. 能源效率

最佳可行技术 82： 为了有效利用能源，最佳可行技术是使用沸水反应器对乙烯进行直接氯化。

描述：

用于直接氯化乙烯的沸水反应器系统中的反应通常在低于 85° C 和 200° C 之间的温度下进行。与低温工艺相反，该设备可实现反应热的有效回收和再利用（例如，用于 EDC 的蒸馏）。

适用性

仅适用于新的直接氯化装置。

最佳可行技术 83： 为了降低 EDC 裂化炉的能耗，最佳可行技术是在化学转化中使用促进剂。

描述：

促进剂（例如，氯或其他能产生自由基的物质）可被用于促进裂化反应并降低反应温度，从而降低所需的热量输入。促进剂可以是工艺本身产生的也可以是添加的。

10.4. 残留物

最佳可行技术 84： 为了减少 VCM 装置产生的待处置的焦炭，最佳可行技术是组合使用以下多种技术。

技术	描述	适用性
a. 在裂化中使用促进剂	见最佳可行技术 83	普遍适用。
b. 对 EDC 裂化产生的气流进行急冷处理	通过让 EDC 裂化产生的气流在塔中与冷 EDC 直接接触而让其冷却，以减少焦炭的形成。在特定情况下，在对气流进行急冷处理之前，可先让其与 EDC 进料冷液体进行热交换来冷却。	普遍适用。
c. 对 EDC 的进料进行预蒸发	通过在反应器上游蒸发 EDC 以去除高沸点焦炭前体，从而减少焦炭的形成。	仅在使用新装置或主要装置升级时适用。
d. 平焰燃烧器	熔炉中的一种燃烧器，可减少裂化器管壁上的热点。	仅在使用新熔炉或主要装置升级时适用。

最佳可行技术 85： 为了减少待处置的危险废物量，提高资源效率，最佳可行技术是使用以下所有技术。

技术		描述	适用性
a.	对乙炔进行氢化	EDC 裂化反应生成 HCl，通过蒸馏将其回收。 对该 HCl 流中的乙炔进行氢化以减少氯化反应生成不需要的化合物。建议氢化单元出口处的乙炔值应低于 50ppmv。	仅在使用新装置或主要装置升级时适用。
b.	从废液焚烧中回收和再利用 HCl	通过用水或稀释的 HCl 进行湿法洗涤来从焚烧炉的废气中回收 HCl（见第 12.1 节），并对其进行再利用（例如，在氯化装置中）。	普遍适用。
c.	分离氯化物然后加以利用	分离并在需要时纯化副产物以供使用（例如，氯乙烷和/或 1,1,2-三氯乙烷，后者用于生产 1,1-二氯乙烯）。	仅在使用新的蒸馏单元或主要装置升级时适用。 如果通过分离获得的化合物缺少实际用途，适用性则可能会受到限制。

11. 过氧化氢生产的最佳可行技术结论

除了本节中的最佳可行技术结论以外，第 1 节中的最佳可行技术一般性结论也同样适用。

11.1. 排放至空气中污染

最佳可行技术 86： 为了从所有单元（氢化单元除外）回收溶剂并减少其向空气中排放的有机化合物，最佳可行技术是适当组合使用以下技术。如果氧化单元中使用的是空气，最佳可行技术则至少应包括技术 d。如果氧化单元中使用的是纯氧，最佳可行技术则至少应包括技术 b.使用冷冻水。

技术	描述	适用性	
工艺集成技术			
a.	优化氧化工艺	工艺优化包括提高氧化压力和降低氧化温度，以降低工艺废气中的溶剂蒸气浓度	仅在使用新氧化单元或主要装置升级时适用
b.	减少固体和/或液体夹带的技术	见第 12.1 节	普遍适用。
对溶剂进行回收再利用的技术			
c.	冷凝	见第 12.1 节	普遍适用。
d.	吸附（再生）	见第 12.1 节	对于纯氧氧化产生的工艺废气不适用

表 11.1： 氧化单元向空气中排放 TVOC 的 BAT-AELs

参数	BAT-AEL ⁽¹⁾ (日平均值或采样周期平均值) ⁽²⁾ (无氧含量校正)
TVOC	5 - 25mg/Nm ³ ⁽³⁾
<p>(1) 如果排放量低于 150g/h，BAT-AEL 则不适用。</p> <p>(2) 如果使用吸附，采样周期代表一个完整的吸附周期。</p> <p>(3) 如果排放中含有大量甲烷，应从结果中减去根据 EN ISO 25140 或 EN ISO 25139 监测获得的甲烷量。</p>	

相关监测见最佳可得技术 2。

最佳可行技术 87： 为了减少氢化单元在启动操作期间向空气中排放的有机化合物，最佳可行技术是使用冷凝和/或吸附。

描述：

冷凝和吸附的描述见第 12.1 节。

最佳可行技术 88： 为了防止向空气和水体中排放苯，最佳可行技术是使用不含苯的工作液。

11.2. 水体污染物排放

最佳可行技术 89： 为了减少排放到废水处理系统的废水量和有机负荷，最佳可行技术是使用以下两种技术。

	技术	描述	适用性
a.	优化液相分离	通过适当的设计和操作系统（例如，足够的停留时间、相界检测和控制）分离有机相和水相，以防止夹带任何未溶解的有机物质。	普遍适用。
b.	再利用水	再利用水，例如，对清洁或液相分离用水进行再利用。水在工艺中再利用的程度取决于对产品质量的要求。	普遍适用。

最佳可行技术 90： 为了防止或减少向水体中排放难以生物去除的化合物，最佳可行技术是使用以下一种技术。

	技术	描述
a.	吸附	见第 12.2 节。在将废水流送至最终生物处理系统之前对其进行吸附。
b.	废水焚烧	见第 12.2 节

适用性

该技术仅对含有过氧化氢装置产生的主要有机负荷的废水流适用，前提是对该过氧化氢装置产生的 TOC 负荷进行生物处理时去除率低于 90%。

12. 技术描述

12.1. 工艺废气和废气处理技术

技术	描述
吸附	一种去除工艺废气或废气流中化合物的技术，原理是将化合物吸附在固体表面（通常是活性炭）。吸附包括再生和非再生（见下）。
吸附 (非再生)	在非再生吸附中，用过的吸附剂不能再生，只能被废弃。
吸附 (再生)	在再生吸附中，被吸附物会被解吸（例如，使用蒸汽（通常在现场））以供再利用或废弃，该处理完成后，吸附剂可以再次使用。为了确保连续运行，通常采用两台以上的吸附器同时运行的模式，其中一台处于解吸状态。
催化氧化器	使用空气或氧气在催化剂床中氧化工艺废气或废气流中的可燃化合物的减排设备。与热氧化相比，使用催化剂的氧化能够在更低的温度和更小的设备中进行。
催化还原	通过使用催化剂和还原气体还原 NO _x 。与 SCR 相比，本方法不添加氨和/或尿素。
碱洗	通过使用碱性溶液洗涤来去除气流中的酸性污染物。
陶瓷/金属过滤器	陶瓷过滤材料。去除酸性化合物（如 HCl、NO _x 、SO _x 和二噁英）时，需为过滤材料装配催化剂，同时还可能需要注入试剂。 在金属过滤器中，表面过滤是通过烧结多孔金属过滤元件进行的。
冷凝	一种从工艺废气或废气流中去除有机和无机化合物蒸气的技术，原理是将工艺废气或废气流的温度降低到其露点以下，从而使蒸气液化。取决于操作所需的温度范围，可以采用不同的冷凝方法，例如，冷却水、冷冻水（温度通常在 5° C 左右）或制冷剂（如氨或丙烯）。
旋风除尘器 (干式或湿式)	通过施加离心力（通常在圆锥形腔室内）利用惯性从工艺废气或废气流中去除粉尘的设备。
静电除尘器（干式或湿式）	一种颗粒控制装置，使用电力将工艺废气或废气流中夹带的颗粒捕集到收尘极板上。夹带的颗粒在穿过有气态离子流动的电晕时获得电荷，位于流道中心的高电压电极所产生的电场迫使颗粒向收尘极板移动。
织物过滤器	多孔的机织物或毡织物，利用滤网或其他机制在气体通过时去除颗粒。织物过滤器形式包括滤布、滤芯和滤袋，通常将多个单独的织物过滤器单元集中放置构成过滤器组使用。
膜分离	让经压缩的废气通过膜，取决于有机蒸气的渗透性，物质会有选择性的通过。富集的渗透物可通过诸如冷凝或吸附的方法回收，或者通过诸如催化氧化的方法减少。该工艺最适合蒸气浓度较高的情况。在大多数情况下，还需对废气进行额外处理方可达到可排放的低浓度水平。

技术	描述
除雾过滤器 (Mist filter)	俗称网垫过滤器 (例如, 除雾器、去雾器), 通常由随机或按特定方式排列的机织或针织金属或合成单丝材料组成。除雾过滤器采用深床过滤, 在过滤器的整个深度上进行。固体粉尘颗粒保留在过滤器中, 直到饱和, 然后通过冲洗进行清洁。如果除雾过滤器收集的是液滴和/或气溶胶, 该类形态的物质作为液体排出时会自动清洁过滤器。这是通过机械冲击实现的并且与速度有关。挡板角分离器 (baffle angle separator) 也常用作除雾过滤器。
蓄热式热氧化器 (RTO)	特定类型的热氧化器 (见下), 装有陶瓷填充床, 进入的废气流在通过填充床时被加热, 然后进入燃烧室。净化后的热气离开燃烧室时再次通过一个 (或多个) 陶瓷填充床 (该填充床在较早的燃烧循环中被进入的废气流冷却), 被热气加热的填充床又可以预热新进入的废气流, 开始新的燃烧循环。典型燃烧温度为 800-1000°C。
洗涤	洗涤或吸收是通过让液体溶剂 (通常是水) 与气流接触从而去除污染物 (见“湿法洗涤”) 的方法, 可能涉及化学反应 (见“碱洗”)。在特定情况下, 可以从溶剂中回收化合物。
选择性催化还原 (SCR)	在大约为 300 - 450° C 的最佳操作温度下, 让 NO _x 与氨 (通常为水溶液形式) 在催化床中反应, 将其还原为氮。可以使用一层或多层催化剂。
选择性非催化还原(SNCR)	让 NO _x 与氨或尿素在高温下发生反应, 将其还原为氮。操作温度范围应保持在 900° C - 1050° C 之间。
减少固体和/或液体夹带的技术	通过机械设备 (如沉降室、除雾过滤器、旋风除尘器和气液分离器) 减少气流 (例如, 化学过程、冷凝器、蒸馏塔所产生的气流) 中遗留的液滴或颗粒的技术。
热氧化器	氧化工艺废气或废气流中的可燃化合物的减排设备, 原理为将废气与空气或氧气一并加热到高于其自燃点并保持在高温下持续燃烧, 直至转化成二氧化碳和水。
热还原	在另外的燃烧室中, 加热并使用还原气体还原 NO _x , 该氧化过程在低氧条件/缺氧条件下进行。与 SNCR 相比, 本方法不添加氨和/或尿素。
两级滤尘器	一种使用金属丝网过滤的装置。第一个过滤阶段完成后会形成滤饼, 实际过滤发生在第二个阶段。该系统会根据过滤器的压降情况在两个过滤阶段之间切换, 而且还配有可以清除所收集的粉尘的机制。
湿法洗涤	见上文“洗涤”。用水或水溶液作为溶剂进行的洗涤, 例如, 用于减少 HCl 的碱洗。另见“湿式除尘”。
湿式除尘	见上文“湿法洗涤”。湿式除尘通过将进入的气体与水剧烈混合来分离粉尘, 通常还结合使用离心力来去除粗颗粒。为了实现有效除尘, 需将待洁净的气体沿切线方向除尘器内部释放。去除后的固体粉尘收集在除尘器底部。

12.2. 废水处理技术

所有下列技术也可用于净化水流，以实现水的再利用/循环利用。其中大多数技术还用于从工艺水流中回收有机化合物。

技术	描述
吸附	一种将流体（即废水）中的化合物（即污染物）吸附在固体表面（通常为活性炭）的分离方法。
化学氧化	使用臭氧或过氧化氢对有机化合物进行氧化（还可使用催化剂或紫外线辐射辅助氧化），将其转化为危害较小且更易于生物降解的化合物。
凝聚和絮凝	凝聚和絮凝用于从废水中分离固体悬浮物，通常依次进行。凝聚是通过添加凝聚剂来实现的，凝聚剂带有的电荷应与固体悬浮物所带电荷相反。絮凝是通过添加聚合物来实现的，碰撞会导致微絮凝颗粒的结合，从而产生较大的絮凝物。
蒸馏	蒸馏是一种通过部分蒸发和再冷凝来分离具有不同沸点的化合物的技术。废水蒸馏将废水中的低沸点污染物转移到气相中，然后将其去除。蒸馏在蒸馏塔中进行，蒸馏塔内部装有塔板或填料，且配有下游冷凝器。
萃取	通过诸如逆流柱或混合澄清槽的系统将溶解的污染物从废水相转移到有机溶剂中。相分离后，对溶剂进行净化（例如，通过蒸馏），然后将其重新用于萃取。将含有污染物的萃取物去除或重新用于生产过程。在下游通过适当的进一步处理（例如，汽提）来控制溶剂在废水中的损失。
蒸发	使用蒸馏（见上）浓缩高沸点物质的水溶液，将水转移到气相，以供进一步使用、加工或处置（例如，废水焚烧）。通常在真空度提高的多级装置中进行，以减少能源需求。形成的水蒸气经过冷凝，重新投入使用或作为废水排放。
过滤	通过让废水穿过多孔介质来实现从废水中移除固体，包括不同类型的技术，如砂滤、微滤和超滤。
浮选	通过使固体或液体颗粒附着于细小的（通常是空气的）气泡上将其从废水中移除。该类颗粒会上浮并积聚在水面，随后由撇渣器收集。
水解	有机或无机化合物与水反应的化学反应，通常是为了将不可生物降解的化合物转化为可生物降解的化合物或将有毒化合物转化为无毒化合物。为了实现或促进水解反应，应在加热（也可同时加压）条件下进行（热分解），或加入强碱或酸或使用催化剂。
沉淀	通过让溶解的污染物（例如，金属离子）与添加的沉淀剂发生反应，将其转化为不可溶化合物。形成的固体沉淀物随后通过沉积、浮选或过滤分离。
沉积	通过重力沉降分离悬浮颗粒和悬浮物质。
汽提	通过让气体通过液体将挥发性化合物从水相转入气相（例如，蒸汽、氮气或空气），然后加以回收（例如，通过冷凝），以供进一步使用或处置。增温或减压可能会提高脱除效率。
废水焚烧	在常压和 730° C 至 1200° C 之间的温度下进行的有机和无机污染物的空气氧化和水的蒸发。当 COD 水平超过 50g/l 时，废水焚烧通常可以自持。在有机负荷低的情况下，需要使用辅助燃料。

12.3. 减少由燃烧产生的空气污染物排放的技术

技术	描述
燃料（包括辅助燃料）的选择	使用产生潜在污染化合物较低（例如，燃料中硫、灰分、氮、汞、氟或氯含量较低）的燃料（包括辅助燃料）。
低 NO _x 燃烧器（LNB）和超低 NO _x 燃烧器（ULNB）	该技术的工作原理是降低火焰峰值温度，延迟但完成燃烧并增加热传递（增加火焰发射率）。该技术的使用可能涉及对熔炉燃烧室的设计进行改进。超低 NO _x 燃烧器（ULNB）的设计包括（空气/）燃料分级和废气/烟道气再循环。