

液化天然气加工业环境、健康与安全指南

简介

《环境、健康与安全指南》（简称《EHS指南》）是技术参考文件，其中包括优质国际工业实践（GIIP）所采用的一般及具体行业的范例。¹。世界银行集团的成员在做项目的过程中，可根据各自不同的政策与行业标准来应用EHS指南。具体产业部门的《环境健康安全指南》应当与《通用环境健康安全指南》一起使用。《通用环境健康安全指南》在常见的环境健康安全问题上向用户提供指导，适用于所有产业部门。在复杂的项目中，可能需要使用多个行业指南。您可以登录<http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines> 获取各行业《环境健康安全指南》完全列表。

通常，在新的企业采纳价格合理的现有技术可以实现《环境、健康与安全指南》中的绩效水平和措施。要在现有企业采用《环境、健康与安全指南》，应确定其具体目标，以及合适的达成目标的时间表。《环境健康安全指南》的适用性应在环境评估的基础上，根据已确定的具体项目的危险和风险来适当调整。环境评估需要考虑具体的可变因素，如地主国的国情、环境同化能力及其他项目因素等。

具体技术建议的适用性应根据专家意见确定。当国家的法规与《环境健康安全指南》规定的水平和措施不一致时项目应当依据更为严格的标准而进行。如果根据项目的具体情况而采用比《环境健康安全指南》要求低的水平和措施更为合适，应当就该备选提案进行替代水平和措施的全面而具体的论证，以此作为特定场地环境评估的一部分。该论证应能证明其对性能水平的选择将有益于保护人类健康和环境。

适用性

液化天然气（LNG）生产设施环境、健康与安全（EHS）指南包含的信息包含了 LNG 生产装置、海运、再气化及调峰终端相关的信息。针对包括港口、码头及常规沿岸设施等在内的沿岸 LNG 生产设施（如沿岸码头船舶补给基地、装卸码头）的附加指南请参阅港口与码头的 EHS 指南。与船舶相关的 EHS 问题，其指南请参阅海运 EHS 指南。本指南不包括与 LNG/凝液产品及其在液化装置的存储相关的问题。本文由以下几个部分组成：

¹ 国际产业良好实践的定义是：在全球同样或类似的环境下从事同样事业的，被认为懂技术有经验的专业人员可以发挥好他们的专业技能和聪明才智，体现他们的勤奋、审慎和远见品质，他们在评估可用于某项目的污染防治技术的水平时，可能包括但不限于环境退化的不同程度、环境同化能力及不同程度的财政和技术可行性。



- 1 特定行业的影响与管理；
 - 2 性能指标与监测；
 - 3 参考文献与其他资料来源；
- 附录 A 行业活动概述。

1 特定行业的影响与管理

这一节总结了与液化天然气加工相关的 EHS 问题，以及对其管理的建议。这些问题可能与列举出的适用于这些指南的任何活动相关。对处于建设期间的大多数大型工业设备来说，如何应对 EHS 对其产生的影响，EHS 通用指南中给出了指导意见。

1.1 环境指南

以下环境问题应作为涉及具体项目风险和潜在影响的综合评估与管理工作的部分内容。与液化天然气加工业相关的潜在环境问题包括：

- 海上及海岸线环境威胁
- 危险物料管理
- 废水
- 废气排放
- 废物管理
- 噪声
- 液化天然气运输

海上及海岸线环境威胁

建造及维护性疏浚、疏浚物处置及桥墩、码头、防波堤和其他近水建筑的建造，以及侵蚀作用，会造成短期或长期的海上及海岸线环境影响。直接影响包括海床、海岸或陆侧栖息地的物理移除或覆盖，而悬浮物沉积或雨水及污水排放造成的水质改变则会带来间接影响。此外，LNG码头装运作业期间船舶排放的船舶压载水及沉积物则会引入水生侵袭物种。针对靠近海岸的LNG生产设施（如沿岸码头船舶补给基地、装卸码头）的指南，请参阅港口与码头EHS指南。

危险物料管理

LNG 存储、传输及运输可造成泄漏或意外溢漏，通常发生于陆上装置内或 LNG 运输船舶内的储罐、管线、软管及泵等设备。LNG 的存储及运输还存在火灾危险，如果是在加压状态下，还会因其蒸发气体的可燃性而具有爆炸危险。

除了在 EHS 通用指南中给出的物料及油品管理建议外，针对这类危险物质管理的推荐措施包括：

- LNG储罐及组件（如管线、阀门及泵）应符合建造设计完整性及操作性能方面的国际标准，以避免灾难性事故的发生，并防止在常规操作及自然危害发生期间发生火灾或



爆炸。适用的国际标准包括：防止装载过满的规定，二级安全壳、计量与流量控制、防火（包括阻燃设施）及接地的规定（防止静电荷积累）¹。

- 应定期检测储罐及组件（如罐顶及密封件）的腐蚀情况和结构完整性，并进行设备（如管道、密封件、连接件及阀门）的定期维修与更换²。安装阴极保护系统防止或尽量减少腐蚀也是一项必要的措施。
- 装卸作业（如LNG装载工具与码头间的货物转移）应按预先制定的正规程序由受过正规培训的人员操作，以防意外泄漏及火灾/爆炸风险的发生。操作规程应包括从LNG装载工具到达至离开期间配送或装载作业的所有内容、接地系统的连接、对软管连接与拆卸操作正确性的验证、对员工及访客禁烟规定的遵守、禁止员工及访客持裸露灯火的规定等³。

溢漏

LNG是一种液体状态下不易着火的低温液体（-162℃ [-259°F]）。然而，LNG受热会变为蒸气形式（甲烷），特定条件下可因泄漏形成气云。当存在点火源时，LNG的无意泄漏可造成喷火或池火，或形成约束或非约束状态的易燃甲烷气云。LNG直接溢漏到热表面（如水⁴）会发生快速相变（RPT）⁵。

除了在EHS通用指南中给出的应急准备与应对方面的建议外，防止及应对LNG溢漏的推荐措施包括：

- 对所有设施及相关的运输/海运作业进行溢漏风险评估；
- 制订正式的溢漏防控计划，其内容应包括有效方案及对泄漏等级的划分。该计划应有必要的资源和培训作为基础。适用所有类型溢漏（包括小规模溢漏）的溢漏响应设备应便于获得⁶；
- 应与相关的地方管理部门配合，共同制订溢漏控制应对计划；
- 生产设施应配备可在气体泄漏初期监测到泄漏的系统，该系统应设计用于确认泄漏的存在并应有助于精确定位泄漏源，以便快速激活人工控制的停车系统，从而尽量减小泄漏气体的积存；
- 应配备应急停车系统，以便在发生明显的LNG溢漏时，可自动切断传输；
- 对于涉及海上船舶及码头的装卸作业，应依据相应的专门针对货物接收码头先进通讯及规划的国际标准及指南，制定并执行油船装卸作业防溢漏程序⁷；

¹ 参见美国联邦法规标准第4049卷第193章：联邦安全标准（2006）及欧洲标准1473章：《液化天然气装置与设备——岸上装置设计》（1997），美国消防协会关于液化天然气生产、存储及装卸的59A标准（20012006）。

² 几种罐检测方法。目视检查可以发现罐上的裂缝与泄漏。X射线或超声波分析可用于检测壁厚并精确定位裂缝的位置。静压试验可以检测出由压力导致的泄漏，而磁场涡流与超声波结合可用于检测点蚀。

³ 液化天然气装载/卸载有效实践的范例包括《船舶及终端设备液化天然气装卸指南》第三版（2000）、国际气体运输船和码头经营者协会，以及《美国联邦法规标准（CFR）》第33卷第127章：液化天然气及液化有害气体的水边处理设施。

⁴ 暴露于水等环境热源时，液化天然气会快速蒸发，每立方米液体产生大约在标准状态下600立方米的天然气。

⁵ LNG船舶运输过程具有潜在的重大环境与安全风险，这与LNG快速意外溢漏至水面而发生的快速相变（RPT）有关。从水转移到溢漏LNG的热量会迅速使LNG从液相转化为气相。在快速相变过程中释放的大量能量可导致无燃烧或化学反应发生的物理性爆炸。快速相变的潜在风险可能会非常严重，但通常仅限于溢漏区。

⁶ LNG或冷冻剂的少量溢漏通常不需要在人工应对过程中使用溢漏应对设备，因为其可以快速蒸发。

⁷ 参见美国环境保护署联邦法规标准第4049卷第193章：《液化天然气设施：联邦安全标准》（2006）及欧洲标准1473条：



- 确保为岸上 LNG 储罐设计有效的二级安全壳（如高镍焊接钢内罐和加强型水泥外罐；单壁罐外加防护盆，全密封罐），以应对突发性泄漏；
- 工厂应提供分级、排放、蒸气储存、处理或转移区，所述区域应足以容纳单根输送管线 10 分钟内可能泄漏的 LNG 或其他易燃液体的最大量¹；
- 应按国际设计标准的要求选择低温条件下管线或设备所用材料²；在发生气体泄漏时，泄漏的气体应可以安全扩散；通风区域应尽可能大，并应尽量减少发生密闭或部分密闭空间内气体积存的可能。如可能，应允许溢漏的 LNG 蒸发并减小蒸发速率，如采取用发泡泡沫覆盖的措施；
- 应对设施的排放系统进行设计，使意外泄漏的危险物质可被收集，以减少火灾和爆炸风险及环境排放量。应优化 LNG 溢漏排放系统（槽仓系统）的设计，降低蒸发速率从而限制整个蒸气扩散区的大小。

废水

EHS 通用指南中给出了废水管理、水资源节约及再利用、废水和水质监测程序方面的信息。以下指南则针对 LNG 生产设施的特定废水。

冷却水及低温水

LNG 液化设施工艺冷却及 LNG 接收终端的加热再汽化用水会造成大量水消耗及废水排放。控制冷却水和低温水的使用及排放的建议包括：

- 针对 LNG 冷却系统，应考虑节约用水的机会（如用气冷换热器取代水冷换热器，以及考虑将低温水与类似工业设施或电力设施排水加以整合）。选择优选系统应能平衡环境效益与拟定选择³的安全影响。其他节水指南请参阅 EHS 通用指南；
- 如本指南第 2.1 节表 1 所示，冷却水或低温水排入地表水时，应选择能最大限度地使冷却水与环境水体混合并冷却的排放地点，以确保指定混合区边缘（或排放点周边 100 米内）环境水温变化不超过 3℃；
- 如果必须使用杀菌剂/化学品，应从剂量浓度、毒性、生物可吸收性及潜在生物积累等方面慎重选择化学添加剂。应采用风险评估等技术，考虑排放后的残余影响。

其他废水

LNG 生产设施日常产生的其他污水包括工艺废水、生活污水、罐底水（如 LNG 储罐的冷凝水）、消防用水、设备与车辆冲洗用水及含油污水。对于这些污水应考虑采取下述预防和措施：

- 生活污水：淋浴、厕所及厨房设施所产生的灰色及黑色污水，应按 EHS 通用指南中的方法进行处理；
- 工艺废水及雨水：鉴于加工区会被碳氢化合物（密闭排水系统）及非加工区废水（露

《液化天然气装置与设备——岸上装置设计（1997）》，美国消防协会关于液化天然气生产、存储及装卸的 59A 标准（2006）。

¹ 欧洲标准 1 473 条标准建议在风险评价的基础上考虑采用蓄水系统。

² 美国消防协会关于液化天然气生产、存储及装卸的 59A 标准（2001）。

³ 例如，在空间有限的区域（如海上），爆炸风险是在确定优先方案时所要考虑的关键点。建议选择使 HSE 风险尽可能低的方法。



天排水系统)进一步污染,应尽可能为工艺废水设计独立的排水系统。应加堤保护所有的加工区,以确保废水可排入密闭的排水系统并避免非受控表面径流的产生。污水罐及溢出罐的设计处理能力应能满足各种可预见操作条件,并加装防溢系统。对于非加堤防护区的设备,应采用滴盘或其他控制手段收集其所产生的径流,并将其排入封闭式排水系统。雨水流通渠及收集池是开式排水系统的一部分,应为其配备油水分离器。分离器可以是挡板式分离器,也可以是聚结板式分离器,并应定期对其进行维修。应采用油水分离系统处理雨水径流,并按本指南第 2.1 节表 1 中的要求,使油脂浓度小于 10 mg/L。关于雨水管理的其他指南请参阅 EHS 通用指南。

- 消防用水:如果测试用消防用水受到碳氢化合物污染,应将其收集后排入设施排水系统或存储池,并进行污水处理;
- 冲洗用水:设备及车辆冲洗用水应直接排入封闭式排水系统或生产设施的污水处理系统;
- 常规含油污水:工艺设备及管线的滴盘及液槽中的含油污水应排入污水处理系统;
- 静压试验用水:LNG 设备(如储罐、生产设施的管线系统,输送管线连接件及其他设备)的静压试验是指在建设或试运营阶段用水对其进行测试,以验证其完整性并检测潜在的泄漏。可能需要加入化学添加剂以防止内腐蚀。对于低温管线及部件,可能要用干燥的空气或氮气进行静压试验。在静压试验用水管理中,可能需要考虑以下污染防控措施:
 - 尽量减少静压实验持续时间,以减少化学品用量;
 - 从剂量、毒性、生物可降解性、生物可吸收性及生物潜在积累等角度慎重选择化学添加剂;
 - 试验用水应被循环用于多次试验。

如果必须采用排入地表水或地面的方式处理静压试验用水,应制定静压试验用水处理计划,该计划应考虑到排放点源、排放速率、化学品使用及扩散、环境风险及监测等因素。应在使用或排放静压实验用水前,监测其水质,并对其进行处理,使之符合本指南第 2.1 节中表 1 所列的排放限值¹。关于管线静压实验用水管理的其他建议请参阅岸上碳氢化合物开发EHS指南及海上碳氢化合物开发EHS指南。

废气排放

LNG 生产设施的废气排放(连贯的和非连贯的)包括压缩机、泵及往复式发动机(如锅炉、涡轮机及其他发动机)和用于热电生产的燃烧源(如在 LNG 液化终端进行的干燥、液化作业,LNG 接收终端进行的再气化)。LNG 液化及再气化终端都有可能因点燃及排空、短时排放源等产生气体排放。这些排放源产生的废气主要有氮氧化物(NO_x)、一氧化碳(CO)、二氧

法。

¹ 要求废水排放至地表水时不能造成对人类健康和敏感栖息地的显著影响。制订一个对排放点、排放速率、化学品使用和扩散,及环境风险等因素做全面考虑的处置计划是有必要的。应将排放点规划在远离环境敏感区域的地方,尤其要注意高(地下)水位、易含水层、湿地及社区接收体(包括水井、水的吸入口及农业用地)。



化碳 (CO₂)，在产生酸性废气的情况下，还会有二氧化硫 (SO₂)。

对于配备有重要燃烧源的 LNG 生产装置，应按 EHS 通用指南的规定，在设计及运营规划阶段采用基准空气质量评估及大气扩散模型评价其对空气质量的影响，并用确定潜在的地面环境空气浓度水平。以上研究应确保对人体健康及环境没有负面影响。

应采用一切合理的措施尽量提高能源利用率并设计能耗尽可能低的生产设施。总体目标应定位于减少废气排放物并评估技术上可行且符合成本效益的减排措施。其他节能建议请参阅 EHS 通用指南。

对所有设施及辅助作业所产生的大量温室气体 (GHG) 排放 (大于 100 000 吨二氧化碳当量每年) 应按年度累积排放量的形式进行定量，并采用国际公认的方法与报告程序¹。

废气

LNG 生产设施所形成的废气排放物的最主要来源是用于热电生产的涡轮机、锅炉、压缩机、泵及其他热机中天然气或液烃燃烧所产生的废气。在所有设备的选择及采购过程中应考虑其在废气排放方面的性能规格。

针对热能消耗不超过 50 兆瓦 (MW) 的小型燃烧源的排放物管理指南，包括废气排放指南收录于 EHS 通用指南。针对热能消耗大于 50 兆瓦的燃烧源的排放物管理指南则收录于火电行业 EHS 指南。

在再汽化终端，选用浸没燃烧式汽化器 (SCV)、开架式汽化器² (ORV)、管壳式汽化器及空气汽化器时，应在考虑基准环境条件及环境敏感度的基础上进行评估。如可在近距离内 (如邻近的精炼厂) 获得其他热源，则可考虑采用废热回收装置 (WHR) /管壳式汽化器。

排空与点燃

点燃或排空是在发生紧急事故、电力或设备故障及其他装置失常情况时，LNG 生产设施为确保其对废气进行安全处置所采取的重要安全措施。排空与点燃应仅在紧急事故或装置失常的情况下使用。对常规操作产生的蒸发废气采取连续性排空或点燃措施并非有效的行业惯例，应予以避免。关于排空与点燃的有效行业惯例的指南请参阅岸上碳氢化合物开发 EHS 指南。

蒸发废气 (BOG)

天然气液化后，除气压变化外，由于其吸收环境及储罐用泵形成的热量，会导致存储的 LNG 释放出甲烷蒸气，即“蒸发废气” (BOG)。应采用合适的蒸气回收系统 (如压缩系统) 回收蒸发废气。对于 LNG 装置 (除了 LNG 容器的装载作业外)，应将蒸气回收至工艺内并进行液化或作为燃料就地使用；船载 LNG 容器的蒸发废气应被再液化并回流至储罐或作为燃料使用；对于再液化设施 (接收终端)，收集到的蒸气应被输回加工系统作为燃料就地使用，或被压缩并输入待售液流/管线，也可被点燃。

短时排放

冷式排空、管道泄漏、阀门、连接件、凸缘、密封圈、末端开口的管线、泵密封、压缩机密封、减压阀，以及常规的装卸操作过程可能会导致 LNG 生产设施的短时排放。在生产设施的

¹ 关于定量方法的附加指南请参阅国际金融机构指南注释 3，附录 A，可登录 www.ifc.org/envsocstandards 查询相关信息。

² 如采用开架式汽化器进行 LNG 蒸发，除了富含甲烷气体的短时排放外，通常 LNG 再气化终端不会有其他气体排放。



设计、操作和维修过程中应考虑并执行针对短时排放的控制和削减措施。适用的阀门、配件、密封件及填料的选择，应考虑其在减少气体泄漏和短时排放方面的性能。¹此外，还应执行泄漏监测及维修计划。

关于储罐短时排放的其他防控措施收录于原油及石化生产终端 EHS 指南。

废物管理

LNG 生产设施日常产生的危险废物和非危险废物包括常规的办公及包装垃圾、废油、油污碎布、液压液、废电池、空油漆罐、废弃化学品及其容器、废弃过滤器、废弃脱硫脱水介质（如分子筛）、油水分离器产生的含油污泥，及酸性气体去除装置产生的废胺、废金属、医疗废品及其他废弃物。

应把废物分为危险废物和非危险废物，与最终处置相比，优先考虑对其采用回用/循环使用的处置途径。应制订废物管理计划，该计划应包含从废物产生地至废物最终接收地的废物全程追踪管理机制。对于危险废物和非危险废物的存储、装卸及处置，应采用与 EHS 通用指南中的与关于废物管理的有效 EHS 实践相一致的方式。

噪声

LNG 生产设施的主要噪声源包括：液化设施中的泵、压缩机、发动机、压缩机吸气/排气口、循环管线、空气干燥机、加热器、空冷机、再汽化过程中使用的汽化器以及 LNG 容器的常规装卸作业等。

可能影响噪声等级的大气环境包括：湿度、风向及风速等。植物（如树）及墙等可降低噪声等级。必要时可安装隔音屏障。最大可允许环境噪声等级及一般性噪声防控措施收录于 EHS 通用指南。

液化天然气运输

与船舶及海运相关的常规环境事件（危险物料管理、废水及其他废液、废气排放，以及与 LNG 油船/运输船相关的固体废物的产生与管理）及其推荐管理措施请参阅海运 EHS 指南。LNG 运输船舶及拖轮的排放物，尤其是在码头离岸边非常近时，可能会对空气质量产生重要影响。

LNG 运输船舶的设计、建造及操作应遵循与船体需求（如在每层间设置具有一定隔离距离的双层船体）、货物装载、压力/温度控制、压载水舱、安全系统、防火、人员培训及其他事项²相关的国际标准与规则³。关于减缓快速相变过程的具体建议包括：

- LNG 货罐所能承受的压力等级应尽可能大；

¹ 参见美国环境保护署联邦法规标准第 4 049 卷第 193 章：《液化天然气设施：联邦安全标准》（2006）及欧洲标准 1 473 条：《液化天然气装置与设备——岸上装置设计》（1997），美国消防协会关于液化天然气生产、存储及装卸的 59A 标准（2006）。

² 应按国际规则（《国际防止船舶造成污染公约》73/78b 附则附录 I 第 26 条）要求，为 LNG 运输船舶制定“船上应急计划”。LNG 应急计划应涵盖装卸操作，并按国际海事组织的要求包括船岸之间的通讯与协调。

³ 国际标准与规则的实例包括国际海事组织发布的《液化气散装船舶建造与装备国际规则》，该规则通常称 IGC 规范国际气体装运工具规范。其他指南请参阅国际气体运输船和码头经营者协会（SIGTTO）发布的标准、操作规范、原则及指南。可登录 www.sigtto.org 查询相关信息。



- 为了释放由于快速相变产生的大量蒸气，应尽可能减少 LNG 货罐减压系统启动所需时间。

1.2 职业健康与安全指南

职业健康和安全问题的研究应视为包括危害源识别分析[HAZID]、危害和可操作性研究[HAZOP]或其他风险评估研究在内的综合危害或风险研究体系的一部分，其研究结果用于健康安全计划、设计生产设备和安全工作体系以及安全工作规程的制订和交流中。

生产设施的设计应消除或减少因事故造成的伤害与事故风险，并应考虑设施所在地的主导环境条件（包括潜在的诸如地震、飓风等极端自然灾害）。

健康与安全管理规划应包含：采用系统、有组织的健康与安全管理方法，采取用到位的控制措施，以将风险降低到最低可行程度；员工应经过充分的培训；设备应始终处于安全状态。本指南建议在工厂组建健康和安委会。

应为上述生产设施制订正式工作许可制度。该制度将确保所有具有潜在风险的工作得以安全完成，确保对特定工作的有效许可，以及工作开始前的有效工作交流（包括涉及到的风险及需要遵守的安全隔离规程）。应执行设备闭锁规程，以保证所有设备在检修或拆除前与其能量来源相隔离。

生产设施至少应配备专业的急救人员（专业的住院前护理人员）及短期远程医护措施。应考虑配备场内医疗点及医生，这取决于人员数量及生产设施的复杂程度。在特定情况下，远程医疗设施可能会是一种替代方案。

EHS 通用指南中收录了针对职业健康安全的主要风险的一般设备设计与操作措施。EHS 通用指南中还包含关于设备建设和退役阶段的通用指南和适用于所有行业的健康安全培训、个人防护设备以及物理、化学、生物和放射物危害的指南。

与液化天然气加工业有关的职业健康与安全问题包括：

- 火灾与爆炸
- 翻滚
- 冷表面接触
- 化学危险品
- 受限空间

LNG 船运的职业健康与安全影响及其相关管理建议收录于海运 EHS 指南¹。

火灾与爆炸

由于装卸作业中可燃气体与液体、氧气及点火源的存在，以及/或易燃产品的溢漏，LNG 生产设施可能会有火灾与爆炸的危险。可能的点火源包括与静电积聚相关的火花放电²、雷电

¹ 液化气散装船舶及气体运输工具的建造应符合国际海事组织发布的《国际液化气运输工具规则》。其他指南请参阅国际气体运输船和码头经营者协会（SIGTTO）发布的标准、操作规则、原则及指南。

² 液体与其他物质（包括管线、产品装卸中用到的燃料罐）接触并相对移动可能会产生静电。此外，产生于罐及设备清洗过程的水雾及蒸汽也可能带有电荷，尤其是在存在化学清洗剂时。



及明火。LNG意外泄漏可能会形成易挥发液体池，并可能引发池火或池体内液体蒸发所形成天然气气云的扩散。

除了 EHS 通用指南中提供的危险物料与油料管理建议、应急准备与响应建议外，下述措施专门针对 LNG 生产设施：

- 应根据火灾及爆炸风险防控相关的国际标准¹（包括生产设施中的储罐之间、生产设施与临近建筑物²间的安全距离方面的规定），进行LNG生产设施的设计、建造及操作。
- 执行运输系统（如铁路及罐车、船舶等³）货物装卸安全规程，其中包括被动安全控制阀、紧急切断与探测设备的使用；
- 制订正式的火灾应对计划，该计划应有必要的资源与培训（包括灭火设备的使用及疏散等方面的培训）作为支撑。相关规程可能包括与当地管理部门或邻近生产设施的协作。关于应急准备与响应的其他推荐措施请参阅 EHS 通用指南；
- 防止潜在点火源的措施，如：
 - 采用适当的接地措施避免静电积聚和雷电风险（包括接地部件使用与维修的正式规程）⁴；
 - 使用安全的电器装置和无火花工具⁵；
 - 在维修作业（包括适当的清罐和通风）期间，进行任何热作业都应执行许可制度和正式的操作规程⁶；
 - 在电器设备设计过程中对危险区域进行划分。
- 生产设施应妥善配备火险检测和灭火设备，这些设备应符合国际认可的针对设施内存储的易燃、可燃物料的技术标准。所述灭火设备包括机动/便携式设备，诸如灭火器及专用运输车辆等。固定式灭火措施包括泡沫塔及大流量泵的使用。安装卤基灭火系统并非有效的行业惯例，应予以避免。固定系统可能还包括连接在罐上的泡沫灭火器及装卸区的自动或手动防火系统。由于水会增加LNG的蒸发速率，因此水不适于LNG火灾的扑救⁷。
- 所有防火系统应位于设施的安全区内，与火灾现场保持安全距离或以防火墙隔离。
- 确保空间处于惰性状态，以防在受限空间形成易爆环境；
- 对于生活区，应采用设置安全距离或加装防火墙的方式予以防护。应防止黑烟从通风口进入生活区；

¹ 有效的操作惯例包括美国消防协会第 59A 规则：关于液化天然气生产、存储及装卸的 59A 标准（2006）及欧洲标准 1473。关于用于尽量减少静电及雷电接触的更多指南请参阅《国际电工技术委员会推荐规范：防止由于静电、雷电及杂散电流造成的点火源》（2003）。

² 如无法确保各区域间保持充足的空间，应考虑设置防爆墙将加工区与工厂的其他区域分隔开，并/或加强建筑物强度。

³ 请参阅船上及接收终端的液化天然气装卸准则——第三版（2000），国际气体运输船和码头经营者协会（SIGITTO）及美国环境保护署联邦法规标准第 33 卷第 127 章：滨水地区设施的液体天然气及液化危险气体的装卸，及美国消防协会关于液化天然气生产、存储及装卸的 59A 标准（2006）。

⁴ 例如，请参阅国际油船和石油终端站安全指南（ISGOTT）（1995）第 20 章。

⁵ 例如，请参阅国际油船和石油终端站安全指南（ISGOTT）（1995）第 19 章。

⁶ 点火源的控制直接与潜在易燃气体混合区（如罐内蒸汽空间、铁路罐、卡车罐装卸期间的罐内蒸汽空间，邻近蒸发处置/回收系统、常压罐排放口的区域，泄漏或溢漏源附近）。

⁷ 良好的行业惯例包括美国国家防火协会 59A 标准或其他等效标准。



- 执行运输系统（如油船、铁路及罐车、船舶等¹）货物装卸安全规程，其中包括被动安全控制阀、紧急切断设备/结构的使用²；
- 制订火灾应急计划，并应用必要的资源支持其执行；
- 应把火险安全培训与应急（包括灭火装置的使用培训与疏散培训）规定为员工健康与安全教育/培训的部分内容，对于专门的救火队员，应进行高级火险安全培训。

翻滚

储罐内大量 LNG 的存储可能会引发一种被称为“翻滚”的现象。如果 LNG 在储罐内按密度分为不同的层，则可能会发生“翻滚”现象，其在未正确操作安全卸压阀的情况下，可能会由于压力变化造成结构损伤。防止“翻滚”的推荐措施包括：

- 监测 LNG 储罐内整个液柱各位置的压力、密度及温度；
- 考虑安装可以使 LNG 在罐内循环的系统；
- 为储罐安装专门设计的调节操作条件的压力安全阀，以防止“翻滚”发生；
- 考虑到罐内不同密度 LNG 的分布，在罐的不同高度安装多个装载点，以防止分层现象的发生。

冷表面接触

LNG 的存储或装卸可能会使员工接触到温度极低的产品。由于低温条件的存在，装置可能会导致职业风险，应对这些风险进行详尽的识别和防护并减少员工与低温的意外接触。应进行培训，针对低温表面的接触风险（如冻伤）对员工进行教育；如必要，应提供个人防护设施（如手套及隔热服装）。

化学危险品

设计岸上生产设施时，应减少员工对化学品、燃料、含有害物质的产品的接触。应对剧毒、致癌、致过敏、致畸或强腐蚀性的物质及产品的使用予以识别，并在可行的情况下用低危险物品替代。对使用的所有化学品，应提供化学品安全说明书，并易于在厂内获得。关于防止化学危险品影响的常规分级方法请参阅 EHS 通用指南。

生产设施应配备可靠的系统进行气体探测，以便隔离泄漏源并减少积存的可泄漏气体。压力设备应首先降低系统压力，以便减少泄漏速率。批准密闭空间作业前也应使用气体监测设备进行监测。进行气体处理操作的液化设施可能会有潜在的硫化氢（H₂S）泄漏风险。在 H₂S 可能积聚的地方，应考虑采取以下措施：

- 制定 H₂S 泄漏事件应急计划，该计划应包括从疏散到恢复正常操作在内的各方面的必要内容。
- 安装监控装置，每当检测到的硫化氢浓度超过 7mg/m³ 时，监控装置会启动并发出警报信号。监控装置的数量与位置的确定，应取决于对装置潜在硫化氢泄漏及职业接触

¹ 油船装卸作业的良好行业惯例的实例包括有国际油船和石油终端站安全指南（ISGOTT）。

² 良好的行业惯例包括美国国家防火协会（NFPA）59A 标准或其他等效标准。



进行的评估。

- 为高风险硫化氢接触区的员工配备个人硫化氢监测器、独立的呼吸装置及应急氧气供应装置，以上设备应位于适当的区域，以便员工可以安全中断工作并进入临时避难所。
- 为占用区提供足够的通风和安全系统（如气锁，由气体探测结果控制的通风切断系统）以防止硫化氢积聚；
- 应为员工提供安全设备使用与泄漏事件应急培训。

受限空间

和其他工业部门一样，受限空间可能会对员工产生潜在的致命风险。员工进入受限区域，以及事故发生的可能性可能会因工厂设计、现场设备及基础设施而异。储罐、二级防护区及雨水/废水管理基础设施等都可能成为受限空间。根据 EHS 通用指南的规定，应为设施制订受限空间进入规程并予以执行。

1.3 社区健康与安全

液化天然气生产设施的建造和退役阶段的社区健康与安全影响与其他大多数工业设备相同，在 EHS 通用指南中有论述。

LNG 生产设施运营期间的社区健康与安全影响与潜在的天然气意外泄漏（气体或液体形式）相关。虽然设计和管理恰当的设施基本不会直接引发大规模泄漏¹，易燃气体或热辐射及超压仍可能会对生产设施边界外的社区造成潜在的影响。LNG 生产设施的布置及自身边界外的公共区域和/或邻近设施的间隔距离的设置，应基于对 LNG 火灾（热辐射防护）、气云（针对易燃蒸气扩散的防护）及其他风险的评估。

应为 LNG 生产设施制订应急准备与应对计划，并考虑到在 LNG 泄漏或爆炸发生时，社区及社区基础设施所起到的作用。应考虑与 LNG 生产设施相关的船舶运输（包括装卸码头），以及当地海运方式与具体操作。船舶装卸设施的地点设置应考虑所在区域其他航运航线及其他海上活动（如渔业、娱乐业等）。有关应急计划要素的其他信息请参阅 EHS 通用指南。一般性船舶运输安全管理策略也适用于 LNG 海上运输，关于其信息请参阅船舶运输 EHS 指南。

通过在生产设施周边设置围墙及受控进入点（设有警戒的门），禁止未经允许的人员进入。应采取手段控制公众的进入。在适当的边界处设置足够的标记及密闭区，以标示安全控制措施开始的地点。交通运输标志应为卡车、运货车辆及访客、员工明确划分出各自的入口。应考虑采用侵入监测系统（如闭路电视）。为尽可能增加监测几率，并减少侵入的可能，应为生产设施提供充足的照明。

¹ 社区风险评价与控制应遵守国际认可的标准，如欧洲标准 1473。应考虑设定 LNG 贮罐及其他设施保护距离，以便采用如美国联邦法规标准第 49 卷第 193.16 章的要求（周边区域的保护）。



2 性能指标与监测

2.1 环境指南

废气排放和废水排放指南

表 1 介绍了该行业的废水排放指南。应采用本指南第 1.1 章节介绍的技术来控制 LNG 生产设施的废气排放。该行业的工艺废水排放指导值是各国的相关标准在公认的法规框架内所体现的国际行业惯例。与热能消耗不高于 50 兆瓦的热电生产相关的燃烧源排放物管理指南，请参见 EHS 通用指南。能耗更高的燃烧源排放物管理指南，请参见火电行业 EHS 指南。

资源利用和能耗

表 2 列举了该行业资源和能源消耗的指标的范例，行业基准值仅供参考，个体项目应致力于在这些领域的不断提高。本指南列举这些指标以作为对比用参考资料，以使 LNG 生产管理者能确定其项目的相对效率，并便于对设备在一定时期内的性能变化进行评估。

表 1 LNG 生产设施废水排放标准

参数	指导值
试压水	<p>根据本文件第 1.1 章节的指南进行处理与处置。对于排入地表水或地面的水：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 碳氢化合物总含量：10 mg/L ● pH：6~9 ● BOD：25 mg/L ● COD：125 mg/L ● 总固体悬浮物：35 mg/L ● 酚类：5 mg/L ● 硫化物：1 mg/L ● 重金属：（总）5 mg/L ● 氯化物：600 mg/L（均值），1 200 mg/L（峰值）
有害雨水排放	应采用油水分离系统处理地面雨水，并使油脂质量浓度不超过 10 mg/L
冷却水	废水排放应保证初始混合区及稀释区边界处的升温幅度不超过 3℃。如混合区未被划定，取距离排放点 100 米处为控制区域。冷却/低温水排放（在排放点取样）中游离氯体积分数不应超过 0.2×10^{-6}
生活污水	根据 EHS 通用指南（包括排放要求）进行处理。可能需要提供相应设施接收 LNG 油船废液（参阅港口 EHS 指南）



表 2 资源及能源消耗

参数	单位	行业基准
LNG 运输的能源消耗 ¹	MJ/100 km 或 GJ/100 km	19~20 ¹
能源消耗——再气化装置（以 C 计）	MW	20~30 ²
水消耗——开架式气化器系统 ³	m ³ /h	30 000

注释：1 国际能源署，1999。

2 海上重力式构筑物或年产量为 8 GSm³ 的漂浮式再气化装置。

3 年产量为 8 GSm³ 的再气化装置，温度变化幅度控制在 5℃。

环境监测

该行业的环境监测项目的执行应当面向在正常操作和异常条件下可能对环境产生重大潜在影响的所有生产活动。环境监测活动应当以适用于特定项目的废气、废水和资源利用的直接或间接指标为基础。

环境监测的频率应当足以监测参数提供具有代表性的数据。环境监测应由受过系统训练的人员使用经正确校准的、维护良好的设备按照检测和记录程序进行。监测得出的数据应经定期分析和检查，并与操作标准相对比，以便采取合适的矫正行动。EHS 通用指南中介绍了环境监测项目的其他指南信息。

2.2 职业健康与安全指南

职业健康与安全指南

职业健康与安全性能应按国际公认的接触风险指南进行评估，包括美国政府工业卫生学家会议（ACGIH）¹发布的阈值（TLV®）职业接触风险指南和生物接触限值（BEI®）、美国职业安全健康研究所（NIOSH）²发布的危险化学品的袖珍指南、美国职业安全健康局（OSHA）³发布的允许接触极限（PEL）、欧盟成员国⁴发布的指示性职业接触限值以及其他类似资源。

事故率和死亡率

各种项目均应尽全力保证项目工人（不管是直接雇佣或是间接雇佣的工人）的生产事故为零，尤其是那些会导致误工、不同等级残疾或甚至死亡的事故。设备生产率可以参考相关机构（如美国劳工部劳动统计局和英国健康与安全执行局）⁵发布的信息，按照发达国家的设备性能设定基准。

¹ 可登录 <http://www.acgih.org/TLV/>和 <http://www.acgih.org/store/>查询相关信息。

² 可登录 <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>查询相关信息。

³ 可登录 http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992 查询相关信息。

⁴ 可登录 http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/查询相关信息。

⁵ 可登录 <http://www.bls.gov/iif/>和 <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm> 查询相关信息。



职业健康与安全监测

应当对工作环境进行监测，以发现特定项目的职业危险物。作为职业健康与安全监测项目的一部分，监测操作应当委派有适当资质的专业人员¹制定并执行。厂方还应维护一份有关职业事故、疾病和危险事件及事故的记录。EHS通用指南中介绍了职业健康与安全监测项目的其他指南信息。

3 参考文献和其他资料来源

- [1] 美国石油学会 (API). 推荐作法. 防止静电、闪电和杂散电流引燃的措施. API RP 2003. 华盛顿特区: DC: API, 2003.
- [2] ABS 咨询. 关于液化天然气船释放的事故后果评价方法. 美国联邦能源管理委员会 (FERC) 报告. 德克萨斯州休斯顿: ABS 咨询, 2004.
- [3] Aspen 环境小组. 国际和国家对进口液化天然气的安全风险解决方案: 简述. 为加州能源委员会准备. 加利福尼亚州: 萨克拉曼多: Aspen 环境小组, 2005.
- [4] 加州能源委员会. 加州液化天然气: 历史、风险和选址. 员工白皮书. 700-03-005 号. 加利福尼亚州: 萨克拉曼多: 加州能源委员会, 2003. 可登录 <http://www.energy.ca.gov/naturalgas/index.html> 查询相关信息.
- [5] 能源经济研究中心 (CEE). LNG 介绍. 液化天然气 (LNG) 概述、属性、LNG 工业、安全问题. 德克萨斯州糖地市: CEE, 2003a. 可登录 <http://www.beg.utexas.edu/energyecon/> 查询相关信息.
- [6] CEE. 《LNG 安全》. 德克萨斯州糖地市: CEE, 2003b. 可登录 <http://www.beg.utexas.edu/energyecon/> 查询相关信息.
- [7] 欧盟. 欧洲标准 (EN). EN 1473. 液化天然气装置和设备-陆上装置设计. 最新版. 布鲁塞尔: 欧盟.
- [8] Kidnay, A J, 和 W.R. Parrish. 2006. 天然气工艺的基本原则. 佛罗里达州博卡拉顿: 化学橡胶公司出版社.
- [9] 国际能源署 (IEA). 汽车燃油信息服务. 未来车辆燃油: 替代品研究. 巴黎: 国际能源署, 1999. 可登录 <http://www.iea.org/dbtwwpd/textbase/nppdf/free/1990/autofuel99.pdf> 查询相关信息.
- [10] 国际海事组织 (IMO). 国际气体载运船章程 (IGC Code). IMO 782E. 最新版. 伦敦: IMO, 1983.
- [11] 油船及码头国际安全指南 (ISGOTT). 第 4 版. ICS & OCIMF. 伦敦: Witherbys 出版社, 1995.
- [12] IMO. MARPOL 73/78. 国际防止船舶造成污染公约. 1973, 1978 年的协议对公约进行了修改. 伦敦: IMO, 1978.
- [13] 美国国家防火协会 (NFPA). NFPA 59A. 液化天然气 (LNG) 生产、储存和装运标准. 马萨诸塞州昆西: NFPA, 2006.
- [14] 新斯科舍省能源部. 行为规范. 液化天然气设备. 新斯科舍省哈利法克斯: 能源部, 2005. 可登录 <http://www.gov.ns.ca/energy> 查询相关信息.

¹ 有合格资质的专家包括执证的行业卫生学家、注册职业卫生学家、执证安全专家或有同等资质的人员。



- [15] 桑迪亚国家实验室. 大型液化天然气向水体溢漏的风险分析和安全启示指南. SAND2004-6258, 2004.12. 新墨西哥州阿布奎基. 和加州利弗莫尔: 桑迪亚国家实验室, 2004.
- [16] 国际气体运输船和码头经营者协会 (SIGTTO). 《液化天然气港口和码头的选址和设计》. 伦敦: SIGTTO, 1997. 可登录 <http://www.sigtto.org> 查询相关信息。
- [17] SIGTTO. 《液化天然气海运和终端操作》. 伦敦: SIGTTO, 2000. 可登录 <http://www.sigtto.org> 查询相关信息。
- [18] 美国环保署 (EPA). 联邦法规汇编第 49 卷第 193 章. 《液化天然气设备: 联邦安全标准》. 最新版. 华盛顿特区: 美国环保署. 可登录 http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/textidx?c=ecfr&tpl=/ecfrbrowse/Title49/49cfr193_main_02.tpl 查询相关信息。
- [19] 美国环保署 (EPA). 联邦法规汇编第 33 卷第 127 章: 《运输液化天然气和液化有毒气体的沿岸设施》. 最新版. 华盛顿特区: 美国环保署。

附录 A：行业活动概述

天然气液化可使其体积大幅度减小，这增加了其存储能力，以及用船舶对其进行大量运输的能力。

LNG 产业链包括下述作业阶段：

- 第 1 阶段：天然气生产（上游作业与设施）；
- 第 2 阶段：将天然气运输到加工/液化装置；
- 第 3 阶段：天然气处理（脱水、去除硫化氢等）；
- 第 4 阶段：天然气液化；
- 第 5 阶段：将 LNG 装入 LNG 运输船舶并运至接收终端；
- 第 6 阶段：接收终端进行 LNG 卸货与存储；
- 第 7 阶段：通过热交换使 LNG 再气化；
- 第 8 阶段：通过气体输送管网将 LNG 配送至气网。

未经加工的天然气在使用前，应接受“调节”以去除重质碳氢化合物及杂质。气体调节可在单独的或独立的设施内进行，也可整合至 LNG 液化装置中进行，通常包括重质碳氢化合物的提取（如液化石油气及丙烷、丁烷类的天然气液）。调节后的气体（富含甲烷气体）会经 LNG 液化装置处理。为便于运输，LNG 被冷却到大约-162℃，此时其可在大气压力下冷凝为液体，体积减小为原来的 1/600，密度达到 420~490 kg/m³。

天然气液化

典型的天然气液化装置流程图如图 A1 所示。对工艺及公用设施的要求取决于当地环境、进料气体的质量及产品规格。在非典型的流程中，进料气体在高压下（高达 90 巴）从上游气田被输送过来，而所有伴生冷凝液则被稳定并移除。气体经计量，其压力控制在装置的设计操作压力范围内。

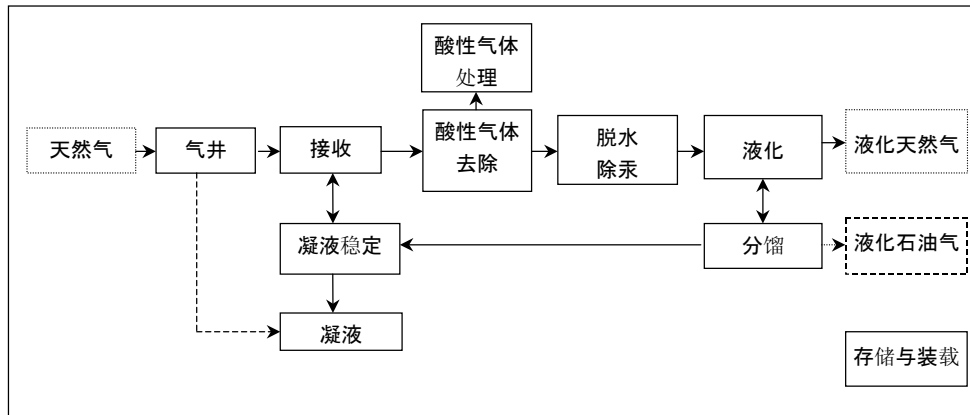


图 A1 液化天然气生产

气体经预处理去除所有影响工艺过程的杂质及不希望在终端产品中存在的成分。上述处理包括脱硫及脱水，相关工艺由酸性气体及硫化物的脱除工艺（如二氧化碳、硫化氢及硫醇）、汞及其他微量污染物的去除（不是必须）及水的去除工艺组成。

对干燥的脱硫气体用冷冻液冷却，分离出其中的重质碳氢化合物。处理后的气体用一种或多种冷却剂采用间接换热的办法进行多级冷却，其间气体温度逐渐下降，直至完全液化。对加压 LNG 做进一步膨胀处理并在一级或多级存储设施内进行低温冷却，最终在稍高于大气压力的条件下存储。闪蒸及蒸发气体在工艺内被循环利用。所得 LNG 在常压罐内存储以备船舶运输。

重质碳氢化合物可能会在冷却阶段被分离出来，并在分馏处理后被回收。乙烷通常被再次回注入气流进行液化。丙烷、丁烷可被再次回注入气流也可作为液化石油气产品外输，且丙烷（或更重的成分）也可作为汽油产品外输。液化工艺主要采用机械冷冻的办法，其间热量被从天然气中通过换热表面转移到闭路循环的冷却剂液体中。冷却系统利用回路液体膨胀的冷却效应实现冷却，并需借助压缩机输入。目前已经开发了多种 LNG 工艺，最常见的几种包括：

- 串联，其中用到数个装载有单成分液体（如丙烷、乙烯及甲烷）的冷却环路；
- 混合冷却剂，其中用到氮气和轻质碳氢化合物的混合物。

其所需的用以支撑处理单元的关键设施包括：

- 用于产生电力的燃料气体（由工艺气流获取）；
- 冷却介质（水或油）；
- 加热介质（蒸气或热油系统）。

LNG 运输

使用专门设计的LNG运输工具将LNG从液化装置所在地输送到再气化终端，通常其装载能力为 80 000 到 260 000m³。船载储罐是一种大型绝热容器（伪杜瓦瓶），可以使LNG在运输期间保持液体状态。期间罐内会有少量气体产生，应收集这些气体，以防止其积聚造成压力升高，



并可将其用作运输工具的燃料。新型LNG运输工具¹可使用五种装载系统，并能对所用系统的气体及温度变化进行全程监测。

- 两种自支撑型设计：
 - 球罐
 - 棱柱罐
- 双膜型设计（TGZ Mark III 及GT96）。薄膜储罐采用两个可弯曲钢膜容纳货物。

LNG 岸上再气化终端

LNG 再气化终端通常包括以下系统：

- 包括码头和泊位在内的 LNG 卸货系统；
- LNG 储罐；
- 装罐及外输 LNG 罐；
- 蒸气处理系统；
- LNG 气化器

通过船载泵将 LNG 输送到卸货线并输入岸上 LNG 储罐。在船舶卸货期间，由于驱替在储罐内产生的蒸气通过蒸气回路及臂打会回流到船舶货罐，以保持船舶内的正压。应安装一个或多个大容量储罐接收并存储 LNG。

在常规操作期间，由于环境热传递，会在罐内及装满液体的管线内产生蒸发气体。通常将蒸发气体收集并在 LNG 液流中予以再冷凝。在船舶卸货期间会产生大量的蒸气。从压缩机真空圆鼓，蒸气排入蒸气回路，被输入船舶或蒸发气体压缩机。不回流到船舶的蒸气应接受压缩处理或直接冷凝。

储罐内 LNG 通过罐内泵被输送并再冷凝。装置运行期间产生的蒸发气体也被排入该容器，在此处蒸发气体与低温冷却 LNG 混合并被冷凝。

多级高压头外输泵从再冷凝器处吸取 LNG 并将其送入蒸发器，由于 LNG 和加热介质间热传递的存在，允许将 LNG 在高压下气化，所产生的气体会被直接送入外输管线。最常见的气化器类型包括：

- 开架式气化器，用海水加热并气化 LNG；
- 浸没燃烧式气化器，利用外输气体加热器产生热量以备气化；
- 管壳式气化器（或内介质液体），其需要外部热源。

点燃与排空系统

在管线停输或紧急条件下，可大量产生蒸发气体以致超过再冷凝器的处理能力。在这种情况下，蒸发气体应被输送到点燃与排空系统。如采用紧急通风措施，应考虑排放后的低温甲烷的积聚，以避免低温甲烷浓度超过燃烧下限。

¹ 关于储罐的相关详尽特征请参阅国际气体运输船和码头经营者协会制定的指南文件与设计规范。



海上 LNG 接收终端

以下是海上 LNG 生产设施的设计类型：

- 重力式结构
- 浮动式再气化及存储单元
- 浮动式再气化装置
- 带有再气化功能的停泊系统

重力式结构为置于海床上的固定式水泥结构，所有加工设施位于重力式结构的顶端。

浮动式再气化及存储装置是经改良的、包括再气化系统的 LNG 运输船舶。该类型为通过转塔式系泊系统系泊于海床的浮动式结构。该系统用于 LNG 泵送、气化、蒸发气处理及将天然气外输至岸上的设施全部位于该浮动式再气化及存储装置的平台。

浮动式再气化装置由原油运输船舶改造而成，原油运输船舶被改装为再气化平台，并使之可以系泊及卸载 LNG。由于浮动式再气化装置不具备 LNG 存储能力，或容量有限，因此从 LNG 运输船舶接收的 LNG 应立即气化并输送出去。具备大气量存储能力的该类装置可用作调峰设施。

再气化能力的系泊系统可由下述结构组成：

- 单点系泊塔，其水线以上部分为安装在固定塔式结构上的再气化装置。LNG 运输船舶应通过固定塔式结构上的转动臂系泊。LNG 运输船舶缓慢地将 LNG 输入单点系泊塔，同时在单点系泊塔内 LNG 被气化并通过气管线输送出去；
- 可解脱立管转台式系泊，其是一种系泊与卸载系统，可使 LNG 在高压状态下从配备船载再气化装置的运输船舶输入其设备内。