

FSRU改装危险区域划分设计要点

邱 锦

上海中远海运重工有限公司 上海 201913

摘 要: 随着清洁能源使用比例增加,更多的浮式储存及再气化装置(FSRU)将投入到实际应用中,为了保障施工作业人员的生命安全,FSRU危险区域的划分尤其重要,本文从规范和标准要求、危险区的概念、气体类别、危险区的分类、气体压力影响等方面进行了阐述。给出了一套针对FSRU危险区划分的设计方法。

关键词: FSRU; 危险区域; 防护型机械处所; 高压气体

浮式储存及再气化装置(Floating Storage and Regasification Unit, FSRU)。集液化天然气(LNG)接收、储存、运输、再气化外输等多种功能于一体的特种装备,配备推进系统,功能兼具液化天然气运输船(LNGC)功能。^[1]浮式储存及再气化装置一般长期固定在码头进行气化天然气作业,新造FSRU工期需要3年左右,而采用一定年限的LNGC船增加电力模块和再气化模块改装成浮式储存及再气化装置既能满足功能需求,而且建造周期短,更能节省建造成本。

由LNGC改装建造的FSRU需要同时满足LNGC和FSRU项目对于危险区域规范要求,而危险区域划分是一个涉及到整个项目安全性的指导文件,危险区域分类为正在进行的设计工作提供了基础,以确保电气设备的正确选择、认证和布置位置以及通风入口、排气口和开口的位置。危险区域的划分的设计必要性和合理性直接关系到整个项目的安全和建造成本,因此项目的特点,分析概念,指出分类方式,明确覆盖范围,并针对不同级别的危险区域,正确定义以及提出相应的安全设计措施是至关重要的。

1 危险区域基本概念

对于危险区域的概念,常规来讲就是能对人员或设备造成伤害的区域。如果从广义上来讲,危险区域包含爆炸危险区域、火灾危险区域、电磁辐射危险区域和高空坠物危险区域^[2];而对于爆炸的产生原因:一是因为化学反应产生气体的急速扩张引起的爆炸,二是由于物理压缩气体引起的爆炸。对于FSRU等专用于处理甲烷气体的海洋工程而言,按其工作特性,发生甲烷气体与氧气的翻译引起的爆炸的可能性更大,也更难以防范,而且产生的危害更大,所以需要专业机构审查的危险因素和区域主要是这类状况,因此本文中论述的也主要是这类危险区。

2 FSRU 危险区设计

对于FSRU危险区域的定义,首先明确由LNGC改装后的FSRU既要满足LNGC的规范要求也需要满足FSRU的规范要求,LNGC一般需满足国际海事组织(IMO IGC)章节的要求,而FSRU归纳为海洋工程设施需要满足国际电工组织(IEC)美国石油协会(API)以及各入级船级社的要求。不同的规范要求对于危险区的定义,危险区的绘制也有着不同的设计。典型改装FSRU的危险区域划分如图1。

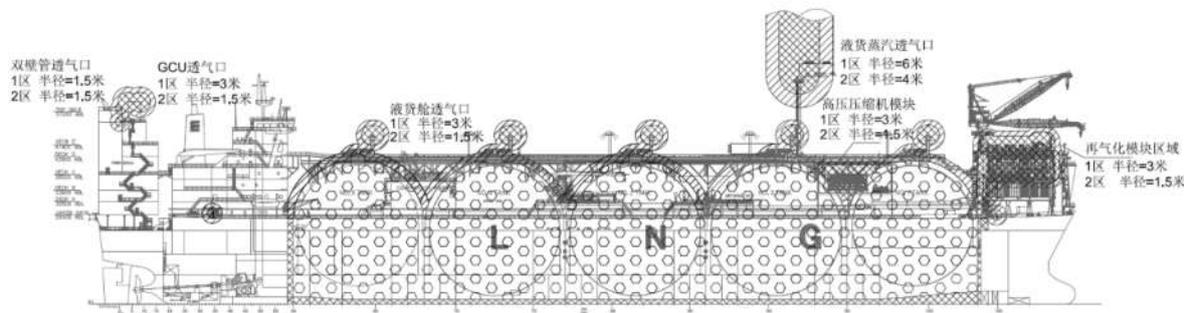


图1 典型改装FSRU的危险区域划分

2.1 FSRU存在的危险源

轻于空气的易燃物质将从甲板上扩散的重于空气的物质中上升。空气的分子量(mw)为28克/摩尔。潜在泄漏流体/气体的分子量决定了泄漏流体中的蒸汽比空气重

或者轻。当相对(空气)气体密度低于0.75($m_w < 21$ 克/摩尔)时,易燃物质被认为比空气轻,当相对密度高于1.25($m_w > 35$ 克/摩尔),易燃物质更重。分子量在21至35克/摩尔之间的易燃物质被视为比空气轻和重。如果这

些物质释放到周围环境中，将产生易燃环境。再气化设备意外释放的易燃液体/气体将超出设备范围。范围的大小和形状将取决于区域内的通风率、化学性质、再气化设备内外的压力和温度。表1正常再气化操作期间FSRU上可能存在的易燃物质。

表1 正常再气化操作期间FSRU上可能存在的易燃物质

序号	可燃气体	类别
1	甲烷 > 85摩尔%	气体组别IIA温度级别T1.比空气轻.
2	氢气	气体组别IIC温度级别T1.比空气轻.

相关规则 and 标准没有将柴油和润滑油归类为易燃物质，因为预计不会在高于其闪点的温度下储存或处理。因此，任何区域中存在这些液体都不会对区域分类提出要求，本文件也不会进一步考虑。然而，需要注意的是如果工作温度接近50摄氏度，柴油可能会变得易燃。

2.2 危险区域划分类别

易燃气体释放等级和存在的识别：（IEC 60079-10第3节定义）。

- 连续释放（C）
- 一次释放（P）
- 二次释放（S）

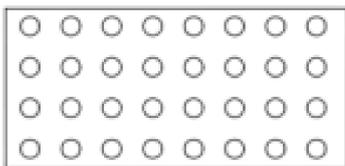
当确定了易燃液体或气体的释放等级、化学性质时，区域分类将基于通风条件。危险区域将细分为以下四个区域：（IEC 60079-10第3节定义）。

- 0区
- 1区
- 2区
- 非危险区域

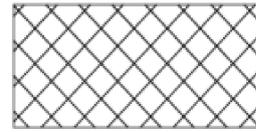
一般区域与释放等级直接相关：连续：为0区；一次释放产生1区；二次释放产生2区。然而，应注意的是，释放等级和区域并非同义词。尽管连续的、主要的和次要的释放通常会分别导致区域0、1和2，但这可能并不总是正确的。例如，通风不良可能会导致更严格的区域，而在高通风条件下，反之亦然。

2.3 危险区图例

船级社对于危险区分区图例的审查没有具体的要求，而国际电工组织（IEC）对于危险区域标记给出了标准图例，因此设绘人员应其要求进行绘制以统一图纸格式，图2危险区图例。



(a) 0类危险区域 (ZONE 0)



(b) 1类危险区域 (ZONE 1)



(c) 2类危险区域 (ZONE 2)

图2 危险区图例

2.4 危险区范围划分

2.4.1 0类危险区域

对于FSRU此类环境集中在液货舱罐的空间，由于自然温度引起的可燃气体蒸发。图3为LNGC和FSRU项目对于0类危险区的划分要求

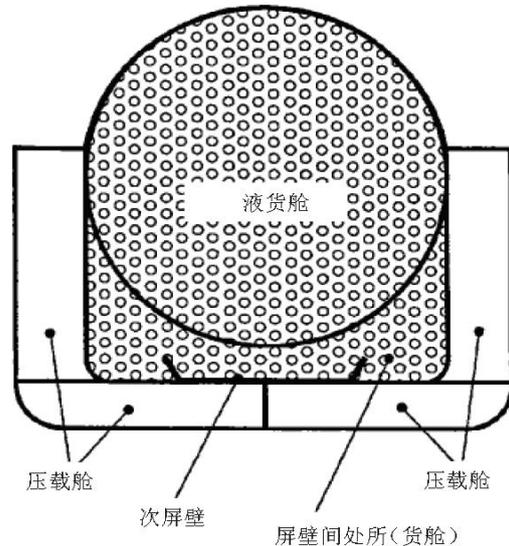


图3 典型0类危险区的划分

2.4.2 1类危险区划分

根据工作过程中气体释放和分类原则，FSRU项目1类危险区可以按以下区域定义：

- 1) 存储或本身释放易燃易爆气体的区域；
- 2) 紧邻液货舱的压载舱和空仓等区域；
- 3) 定义为1区的机械出风口周围1.5m区域；
- 4) 定义为1区的自然出风口周围0.5m区域；
- 5) 低压燃气工作管路法兰及设备周围1.5m露天区域
- 6) 燃气工作管路法兰及设备所处的密闭房间
- 7) 液货舱透气口半径3m的区域；
- 8) 高压压缩机周围半径3m的区域；
- 9) 防海生物处理装置透气口周围1.5m区域，重点注意防海生物装置泄放可燃气体为氢气，设备防爆级别应

为IIC T3;

- 10) 外输气体阀组法兰周围半径3m的区域;
- 11) 液货蒸汽出口半径6m的区域。

常规危险区一般可以根据规范的要求定义, 比如燃

气管路法兰, 透气管路, 涉气设备, 但对于FSRU特殊的设备如: 高压压缩机, GCU, GVT, 低压压缩机等, 由于设备和燃气管路压力不同等因素需要进行分析后合理划分危险区域。

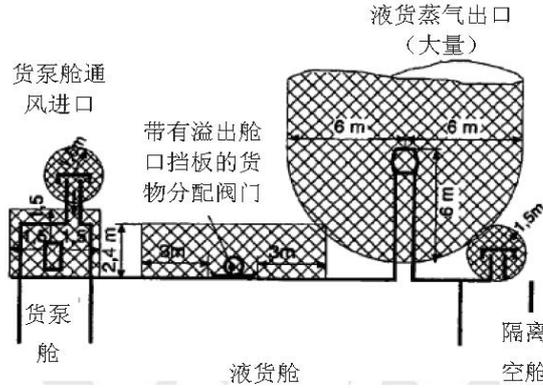


图4 典型1类危险区的划分

2.4.3 2类危险区划分

根据工作过程中气体释放和分类原则, 2类危险区如下:

- 1) 可能会有少量可燃气体溢出的透气口周围3m的区域;
- 2) 柴油和润滑油补给储存装置周围3m的区域;
- 3) 液货舱外露天区域2.4m的区域;
- 4) 定义为1区机械出风口的1区周围延伸1.5m区域;
- 5) 定义为1区自然出风口的1区周围延伸0.5m区域;
- 6) 定义为1区周围延伸1.5m区域;

- 7) 液货蒸汽出口1类区域以外4m的区域。

危险区的划分需要确定FSRU再气化设施操作中存在的潜在碳氢化合物释放源, 并定义与这些易燃释放相关的适用危险区域分类。通过列出潜在的烃源释放和其他易燃/易爆物质来实现的。在这些区域可能发生此类潜在释放的地方, 规定了危险区域。区域类型及其范围将取决于释放等级(释放频率和持续时间的函数)根据分析结果绘制危险区域分级清单及绘制图纸。表2 典型危险区域分级清单

表2 典型危险区域分级清单

	i) 系统 ii) 设备 iii) 设备 编号	位置	释放点	可燃气体类型	释放等级	通风条件	危险区等级	区域范围
1	i) GCU ii) GVT	GVT 房间	阀组法兰	甲烷	初级	机械通风	1类区域	整个房间
2	i) GCU ii) 燃烧室	GCU 房间	燃烧室	不适用	不适用	机械通风	非危险区	注意燃气管路布置需按IGC要求采用双壁管。
3	i) GCU & GVT ii) 燃气透气口	室外燃气透气口	透气口	甲烷	初级	自然通风	1类区域 2类区域	半径= 1.5m 半径= 1.5 m
4	i) 货舱蒸汽透气口 ii) 主透气口	室外	透气口	甲烷	连续	自然通风	1类区域 2类区域	半径= 1.5m 半径= 1.5 m
5	i) GVU ii) 燃气透气口	室外燃气透气口	透气口	甲烷	初级	自然通风	1类区域 2类区域	半径= 1.5m 半径= 1.5 m
6	i) 货舱蒸汽透气口 ii) 主透气口	室外	透气口	甲烷	连续	自然通风	1类区域 2类区域	半径= 1.5m 半径= 1.5 m

3 防护型机械处所

防护型机械处所在FSRU的设计过程中主要是针对于机舱的设计，FSRU项目由于其特殊性进行天然气的处理和储存，而天然气储存会存在自然蒸发，因此所有的FSRU项目均会采用双燃料的主机作为推进和电力供应，涉及到燃气的设备就需要进行危险区的定义，而主机的结构复杂，配套设备种类繁多，对于机舱的危险区定义就格外重要。因此在FSRU项目上防护型机械处所主要指主机舱。

如果将主机舱定义为危险区，那么机舱所有的设备都需要采用防爆型设备，成本将大大增加，操作流程也不利于设备的运行，因此合理的按照规范要求增加辅助的防护措施将机舱定义为安全区是目前较为成熟的设计方式。为了减少用气设备所在的机器处所发生气体泄露导致爆炸的可能性，一般采用以下两种设计：

1) 气体安全机器处所：机器处所的布置应使该处所在所有情况下，包括正常和异常情况下，均可视为气体安全，即本质气体安全；该类处所要求发生任何单一故障时都不会产生可燃气体泄漏到机舱内。

2) 应急关断（ESD）防护型机器处所：机器处所的

布置应使该处所在正常情况下可视为非危险处所，但在特定的异常情况下，其可能成为潜在的危险处所。在出现涉及气体危险的异常情况时，应自动关闭（ESD）非安全设备（着火源）和机器，而在这些情况下处于使用或活动状态的设备或机器应为合格防爆型。

综上所述，如果定义为本质气体安全处所，机舱内所有设备将采用常规设备，而定义为ESD防护型机械处所，对于在ESD情况下无法关闭的设备需要采用防爆型设备，这类设备主要是：应急灯具，喇叭，报警灯和探头灯小型电气设备。

4 燃气压力影响

不同的压力对于可燃气体的泄露影响是不同的，更高的压力表示更大的释放和可能增加的易燃混合物区域可以在实现这种释放之后存在。而FSRU工作性质是将液化的天然气加压气化输送到陆地用气设施，为了实现长距离的气体输送压力一般维持在90bar以上，根据美国石油协会的要求，不同压力的气体处理装置和输送管路需要在基本危险区域范围的基础上增加一定的系数，具体气体压力和考虑系数见表3。

表3 压力调整系数

描述	服务处所	压力等级	建议系数
低压力	低压气体处理、油舱、蒸汽回收装置、燃料系统等	0 bar to 51 bar	1.0
中压力	中压气体压缩装置	51bar to 99bar	1.5
高压力	高压压缩设备、高压输送管路、高压输送设备等	99bar	2.5

对于FSRU项目高压气体的处理和输送需要注意的是，再气化模块会布置在船的艏部区域，该区域存在大量其他常用设备，如锚绞车，吊机，桅杆等，再气化模块处理气体压力一般会在90bar以上，在气体泄漏的过程中将产生气体团雾现象，造成可燃气体扩散距离增加，因此建议，在靠近再气化模块设施区域的锚绞车和其他电气设备采用液压装置，尽量减少防爆电气设备的布置，对于吊机建议采用无吊机控制室设计，操作采用液压手柄，避免吊机控制室中的通讯设备无法在可能出现气体扩散的情况下无法应急切断产生爆炸危险。

结束语

1) 通过对FSRU项目的可燃气体成分和类别进行研究，对该类型FSRU项目危险区域进行汇总整理，为该类型FSRU及气体处理装备的危险区域的定义和划分设计提供依据；

2) 双燃料主机舱室尽可能采用本质气体安全性设计，节省成本，施工方便；

3) 对于气体压力对危险区的延伸和扩展定义提供参考依据。

参考文献

[1]崔益嵩，LNG-FSRU一种新型天然气运输和储存装置；上海海事大学商船学院航海技术200706：47~49。
 [2]吴凤辉.舰船危险区域划分及相关设计要点[J].航海工程,2015,44(1):86-88.
 [3]IEC. IEC Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres Part 10[S].2019.
 [4]ABS. ABS Rules for Building and Classing Mobile Offshore Drilling Units[S].2020.
 [5]ABS. ABS Rules for Building and Classing Steel Vessels[S].2020.