

浅析潜在失效模式与后果分析（FMEA） 在LNG储罐泄漏失效分析中的应用

□ 深圳市燃气集团股份有限公司（518000）安成名 陈运文 王晨 彭杨

摘 要：潜在失效模式与后果分析（Failure Mode and Effects Analysis，以下简称FMEA）通常是用于质量管理的一种手段，本文尝试使用该方法应用于安全生产领域中，对导致液化天然气（LNG）储罐泄漏的失效进行定性的分析。通过分析，找出导致LNG储罐泄漏的薄弱环节，并针对这些薄弱环节提出控制措施。

关 键 词：液化天然气（LNG） 潜在失效模式与后果分析（FMEA） 安全生产

1 概述

1.1 方法简介

潜在失效模式与后果分析（Failure Mode and Effects Analysis，以下简称FMEA），起源于上世纪60年代中期的美国，起初被用于航天工业；到70年代，美国的海军和国防部开始相继应用这项技术，并制定了相关的标准；在90年代初期引入汽车制造业，现在FMEA已经应用到包括燃气行业在内的诸多行业和领域的质量管理中。

FMEA是在不断的实践中成熟发展起来的一种通过对潜在失效模式及失效原因的分析提高系统可靠性的方法^[1]。该法可以将复杂系统分解为各单元甚至于各个元器件，并逐一找出薄弱环节，为控制风险提供依据。FMEA通常有两种计算方式，一种为计算风险R，另一种为计算风险优先数RPN（Risk Priority Number）。相比于风险R计算，RPN值计算能综合现有风险后果严重性、发生频度及现行探测措施对于风险的可控性，对控制措施的制定提供优先性建议。

本次分析采用风险优先数RPN来进行分析，RPN值主要由S、O、D值计算得到：

$$RPN = S \times O \times D$$

S—后果严重性；

O—一种故障模式在预先确定时间段内发生的频度；

D—故障难检度。

1.2 储罐基本情况

本次分析的LNG储罐位于深圳市某储配站，该场站共有2个相同规格的储罐，储罐布局如图1所示。

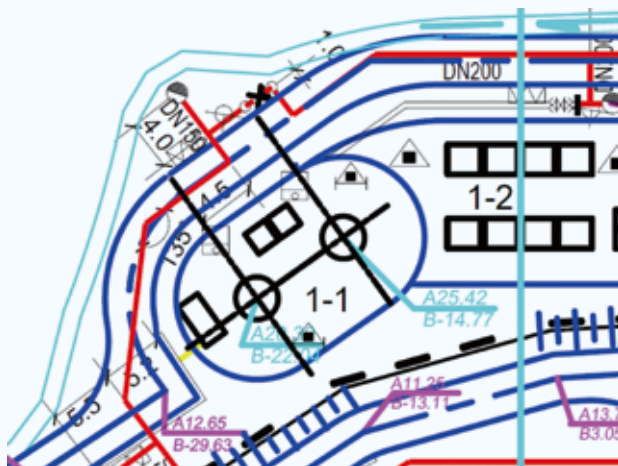


图1 储罐布局图

储罐基本参数如表1。

1.3 物质危险性

LNG储罐包含的危险化学物品主要是低温LNG液体和低温天然气，即甲烷。甲烷是无色无臭气体，闪点-188℃。易燃，火灾危险性甲类，与空气混合能形成爆炸性混合物，遇热源和明火有燃烧爆炸的危险，爆炸上限5.3%，爆炸下限为15%。甲烷对人基本无毒，但浓度过高时，使空气中氧含量明显降低，使人窒息。当空气中甲烷达25%~30%时，可引起头痛、头晕、乏力、注意力不集中、呼吸和心跳加速、共济失调。若不及时脱离，可致窒息死亡。主要危险特性如表2所示。

表2 物质危险特性

危险物质	闪点	爆炸极限	火灾危险性	毒性
甲烷	-188℃	5.3%~15%	甲类	无毒

2 FMEA分析过程

2.1 划分单元

在分析中，以LNG储罐系统自储罐与管道连接的第一道阀门作为分界，将储罐本体及与管道连接部分及阀门定为分析单元，识别该单元，风险优先度高的元器件。

2.2 失效分析准则确定

失效分析准则主要通过由行业专家、企业设备操作人员、检维修人员以及工艺人员等组成工作组，利用头脑风暴方法结合企业实际的事故后果承受能力、设备元器件失效的历史记录、目前的对失效模式的侦测方式方法以及同行业的相关数据制定。

2.2.1 严重度衡量准则

传统的FMEA定义的严重程度，后果一般从系统运行的角度衡量，在安全生产领域，我们通过事故导致的财产损失、人员伤亡等后果定义严重程度，分级

如表3所示。

表3 严重度(S)分级定义

值	后果	说明
1	无	无后果
2	很轻微	对生产、财产或者人员生命无影响
3	轻微	对生产、财产或者人员生命影响可以忽略
4	很低	对生产、财产或者人员生命几乎无影响
5	低	生产产生影响、财产产生低损失或者个别人员受影响
6	中等	影响生产、财产产生中度损失或者多数人员受影响
7	高	严重影响生产、财产产生高度损失或者个别人员受轻伤
8	很高	停产但短时间内可恢复、财产产生很高损失或者多数人员受轻伤或者个别人员受重伤
9	危害	停产须长时间内可恢复、财产产生巨大损失或者多数人员受重伤或者出现人员死亡
10	极端危害	完全停产不可恢复、财产产生不可承担损失或者人员可能出现群死群伤

2.2.2 频度衡量准则

频度衡量准则确定如表4所示。

表4 频度(O)分级定义

值	可能性	说明
1	罕见	基本未发生过
2	极少	同类设备发生过
3	低	本设备曾经发生过
4	偶尔	几年中有一次
5	偶尔	一年中有一次以上
6	偶尔	一个季度中有一次以上
7	反复出现	一个月中有一次以上
8	高	一个星期中有1次以上
9	很高	1天中有1次以上
10	不可避免	1天中有多次

表1 罐体基本参数

部件	筒体	夹套	容器规格	介质	主体材料
参数	- 模拟压力：0.8MPa - 最高工作压力：0.7MPa - 设计温度：-196℃	- 设计压力：-0.1MPa - 最高工作压力：真空 - 设计温度：50℃	- 内径：3 000mm - 高度：16 980mm - 容积：105.3m³ - 两罐距离6m	- 夹套：珍珠岩 - 筒体：LNG	- 外壳：16MnR - 内胆：0Cr18Ni9

2.2.3 可探测度衡量准则

可探测度衡量准则确定如表5所示。

2.3 失效分析结果

失效分析结果如表6所示。

通过以上分析,风险优先数(RPN)排序如表7所示,风险相对高的为罐体材质失效、罐体应力变化、操作程序不完善、罐体支撑、结构力变化、消防设施失效等。

表5 可探测度(D)分级定义

值	自信度	说明
1	几乎肯定	现行控制能100%探测出失效模式,已知相似过程的探测控制是可靠的,没理由漏掉缺陷
2	很高	现行控制能很有效探测出失效模式,90%、100%自动检测
3	高	现行控制能很有效探测出失效模式,80%、100%自动检测
4	中上	现行控制能很有效探测出失效模式,>70%测量方便,应用SPC
5	中等	现行控制可能探测出失效模式,>60%测量不方便,应用SPC
6	低	现行控制可能探测出失效模式,>50%测量不方便,未使用SPC
7	很低	现行控制可能探测出失效模式,>40%测量不方便,未使用SPC
8	微小	现行控制不太可能探测出失效模式,<40%目测
9	很微小	现行控制不太可能探测出失效模式,<25%目测
10	几乎不可能	无现行控制,现行控制方法不能探测出失效原因或模式

表6 LNG储罐失效分析表

编号	潜在失效模式	潜在失效后果	严重程度S	潜在失效起因/机理	频度O	现行探测过程控制	探测度D	风险系数RPN	建议措施
1	连接焊缝失效	泄漏	8	腐蚀,本体缺陷,外力冲击	2	无损探伤,真空度检测	2	32	无
2	压力测量失效	不能监测超压	4	压力表本体失效,雷击(二次仪表),引压管冰堵、维护不当	4	压力表采购质量控制、定期校验、巡检巡查、防雷模块	2	32	加强巡查、加强防雷模块检测
3	液位计失效	不能监测超装	4	液位计本体失效、维护不当	4	定期维保、检查、排液	2	32	无
4	罐体应力变化	变形、停用	6	失真空、地基下沉、预冷不充分	2	真空度检测、垂直度检测、操作规程	6	72	严格执行操作规程
5	罐体支撑,结构力变化	罐体倾斜、拉断管、泄漏	8	地震、地基下沉、支撑腐蚀	2	垂直度检测,一年一次	4	64	加大垂直度检测频次
6	罐体材质失效	裂纹、泄漏、超压、减少使用寿命	7	金属脆化,疲劳	2	定期进行压力容器检测	8	112	无
7	根部阀失效	泄漏	8	腐蚀、填料松动、本体质量、操作维护不当	2	巡查、目视	2	32	无
8	夹套真空失效	超压	8	外层失效	2	压力监测、真空度检测	2	32	巡查到位
9	消防设施失效	灭火受限制、事故状态下发生连锁反应	8	维护调试不当、未定期检查	4	定期维保、测试	2	64	无
10	罐区日常管理	装卸车操作、倒罐操作、供气产生风险	8	/	3	/	3	72	必要时进行作业危害分析,按照分析结果制定操作规程

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2017.03.002

LNG加气站、气化站EAG产生量计算方法分析

□ 泰安开元环保成套设备有限公司(271000) 何启友 史玉芹 王云雨

摘 要: 本文主要论述采用固定式真空绝热深冷容器的LNG加气站、气化站中产生的EAG量计算方法,并以工程实例举例说明了如何选择EAG加热器,以避免二次危害。

关 键 词: LNG加气站 气化站 泄放量 翻滚 EAG加热器 二次危害

在LNG加气站、气化站中蒸发气称为BOG,而其中通过安全阀放散及其工艺放散无法回收利用的天然气统称为EAG,为保证安全EAG需经加热成比空气轻的气体后(-107℃以上)经汇集总管放空。EAG加热的设备多为空浴式加热器,EAG产生量计算方法

选择、EAG加热器工程选择对于整站安全至关重要。

1 EAG放散量理论分析及计算

在正常工作条件下LNG加气站、气化站,只有在

表7 RPN排序

序号	RPN值	潜在失效模式
1	112	罐体材质失效
2	72	罐体应力变化
3	72	操作程序不完善
4	64	罐体支撑,结构力变化
5	64	消防设施失效
6	32	连接焊缝失效
7	32	压力测量失效
8	32	液位计失效
9	32	根部阀失效
10	32	夹套真空失效

3 建议的对策措施

综合以上分析,针对风险优先度相对较高的失效

模式,应执行如下的对策措施以降低风险优先度:

(1) 针对罐体:应严格执行对罐体的无损检测、真空度检测、垂直度检测及防雷检测等,必要时增加检测频次,及时发现罐体的问题。

(2) 针对附件:严格执行采购、验收等制度,把控附件质量,同时定期对附件进行维保、检测等,保证附件的可靠性。

(3) 在管理方面应加强巡查、巡检,完善装卸车、倒罐、供气等操作的操作规程;对现有作业进行作业危险性分析,评估操作规程的可行性和合理性,并根据分析结果对规程进行修订。

参考文献

- 1 刘正高,李福秋.工艺FMEA技术研究[J].质量与可靠性,2005;20(1):42—46