

海上天然气田大气放空系统的设计和应用

刘建波（中海石油（中国）有限公司陵水崖城作业公司，海南 海口 570311）

摘要：本文主要阐述了天然气海上生产平台泄放系统的选择和应用。一般在海上平台上有两种普通方法处理减压泄放或放空的气体，即火炬或大气放空。从安全性和经济性的角度考虑，相较于火炬，大气放空有其明显的优点，但是仍然存在潜在的危险性。在设计上，通过放空臂的规模以及工艺流程上的设置和控制，海上气田平台将大气放空的危险性减少至令人满意的程度，并创新采用氮气取代天然气作为放空系统的吹扫气，实现安全、环保和经济上的提质增效。

关键词：火炬；大气放空；安全；经济；放空臂；吹扫气

某天然气海上气田最初的生产设施由一个井口平台和一个生产/生活平台组成，其中还包括平台上的相关设备设施和两条海底管线。在海上应急情况下，工艺设备泄压或泄放流体以此保证设备和人员安全，那就需要一个放空装置或火炬。在一些老的平台装有水下高压排放，但是这种做法并不被鼓励，因为无论什么时候出现释放事故，由于加速的海上段塞流会冲击水下管线，对排放产生堵塞或者导致背压过高从而影响排放。事实上，通常具有水下排放的平台，都会有一个高压大气排放作为备用，最初的气体是首先经过备用的大气排放口泄放的。因此，在设计和建造初期，只考虑从大气放空和火炬燃烧两者中选择其一。对于海上天然气生产操作，某气田平台一直采用大气放空，并在后续的开发生产中逐渐改进，创新使用氮气取代天然气作为吹扫气，达到节能低碳的环保效果。

1 海上平台设置放空或火炬的具体原因

一般来说，在陆地上放空或者火炬燃烧往往比海上要安全得多，因为在设备与气体排放点之间可以有一个较大的距离。但是，海上排放相对于陆上排放，也有明显的优点：

海上可以控制军用和民用飞机的飞行，而在陆上废气的突然排放或者燃烧所产生的气体或热辐射，会对低空飞行的飞机产生潜在的危险。由于可能有大量的飞机从陆上的设施上空飞过，要限制飞机的飞行航道是困难的。在海上，军用或民用飞机低空经过的可能性很低，且可只限于平台上使用的直升机。进一步说，由于放空是一种控制性操作，在直升机经过或着陆期间，必要时可以停止排放。

海上人员控制比陆上容易。如果工厂周围是人口密集的地区，陆上人员受排放气或火炬燃烧伤害的可能性要比海上大得多。

海上位置的偏远对保护公共场所使其不受高浓度气体的危害。陆上排放或火炬燃烧关心的一个主要问题是可燃气体延伸至设施外的点火源。当火源出现时，人员可能会由于火球辐射、爆炸或结构破裂等而遭受危险。

另一个观点则是，采用足够的仪表控制来减少海上放空量，以达到将用于管线排放的大流量放空设备安装在陆地上的目的。需要放空的天然气或是用户取走，或是通过用户的排放系统进行泄放。

对于某在产气田来说，这个做法并不可行。根据合同要求，首先需要遵循美国机械工程学会规范（ASME）要求：所有的压力容器（如额定压力超过0.345MPa的）要求有能处理容器可能的最大流量的泄压设备；同样要求所有装有挥发性液体的容器都要提供火灾泄压保护。其次，平台上需要用到离心式压缩机，通常在应急关断情况下要求有大流量的放空以便在密封油失压前给压缩机减压，这同样必需有一个大容量的放空系统。第三，在某种程度上，泄压设备能够弥补仪表可能漏装或者忽略应有的维护、标定带来的缺陷。

因此，在政府法规允许大气放空的情况下，从设计规范、生产实际和排放安全等方面综合考虑，此海上天然气平台选择海上设置大气排放系统。

2 大气放空与火炬的安全性和经济性对比

在海上天然气生产平台上一概不希望有明火存在。基于此点出发，在大气放空还是火炬燃烧的选择上，主要通过安全性和经济性对比，从以下几点进行考虑：

2.1 火炬的投资费用明显高于大气放空

在平台近处或者上空采用开放式燃烧的火炬，较大的天然气放空量或泄露量可能在火炬周围产生一个可燃烧的气团，这可能导致火球或爆炸。一般情况下，

火炬都是置于远离平台处,这是为了防止由于放空而形成可燃气体蔓延到燃烧的火焰,防止所产生的热辐射对人和设备的伤害,避免夹带的液体落到设备上。由于要求火炬距离平台遥远,费用就会增加;如果将火炬安装在单独的平台,需要铺设一条大管径的海底管线或者建造一座平台间的栈桥都会增加费用。

另外,火炬需要一个特殊的火炬头能经得住连续燃烧而引起的高温,并且在高放空流速以及大风的条件下能保持稳定燃烧。由于燃烧稳定性的限制,单个火炬头不能处理在很宽范围内变化的流量(为满足生产安全和保护海上设施、人员的安全需要,在某些事故情况下, $1132 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的泄流量是必要的)。为了处理这种规模的泄放流量,火炬很可能需要几个火炬头,这就大大增加了费用。而大气放空能处理平台满负荷的泄放流量,并且安装费用相对要少。

2.2 进入火炬管中的液体导致烧着的液滴形成“火雨”回落在平台上

液滴被携带到火炬主要有列原因:①高压放空分液罐失效;②分液罐的仪表故障或操作失误导致液位过高;③气体、液体的泄流量超过了分液罐的最大处理能力。这里必须肯定的是,大气放空也可能偶然出现“火雨”。如果放空时携带液滴同时着火,则燃烧的液滴可能回落到平台上。但是无论怎样,采用大气放空可能出现“火雨”情况的概率要比火炬低得多,安全得多。

2.3 如有可燃气和空气混合物进入,在火炬的进口管线安装阻火器

如果没有阻火器,可燃混合物在火炬顶端着火,蔓延返回泄放管线而进入工艺系统或引起爆炸。但是安装阻火器常遇到的一个问题是,由于它的孔口太小很容易被铁锈、结垢等有机物残渣所堵塞,堵塞了的阻火器基本上就把平台设备和泄放系统隔断了。在大气放空管的入口不需要阻火器,因为放空着火的可能与可燃气体混合物泄放的可能同时发生的机率是很低的。相较于火炬,大气放空有其明显的优点。但是在天然气生产平台上安装大气放空装置仍然存在潜在的危险性,主要影响到安全的因素包括:①烃类液滴回落平台;②从放空臂放出的气体,如果流速相对较低,就可能形成可燃气体云覆盖平台;③人员暴露在瞬时高流速燃烧的放空下;④大气放空火焰的蔓延。后两种情况在雷电触击放空臂而导致着火是存在的。在设计、建造和生产过程中采取一系列的措施,可以将上

述四种平台大气放空的危险性降低到令人满意的程度。

3 放空臂规模在天然气田平台的设计准则

放空臂规模所采用的设计准则分为三个部分,分别是泄放系统流量、热辐射和大气扩散。

3.1 泄放系统流量

设备放空泄放量根据以下需要进行确定:首先给离心式压缩机提供快速减压,以防止密封油系统故障时天然气从密封处泄漏;其次当平台火灾时,给装有大量烃类的容器提供快速减压。其目的是尽可能多的将潜在的燃料安全移离火源。放空臂规模设计在这一点上是以气田全平台的生产量为依据的。

3.2 热辐射

放空臂的热辐射考虑下列一些最不利的情况:①从放空管中泄放出来的气体已经被点着,如雷击;②在火灾发生前,平台大流量气体释放;③时速 20 英里的风直接将气流从排放口顶部吹回了平台;④平台上有直升飞机甲板;⑤有关辐射面积的计算取离排放口顶端最近的直升飞机甲板边缘。为了给人员提供更多的防护,在设计上遵循两个原则:首先,在确定放空臂的大小和位置时,应当根据平台上最大的生产流量。假设以 $1132 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的泄流量为最大的生产流量,如果在此流量着火时对平台任何地方所产生的热辐射强度应小于或等于 $56.78 \text{ J}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$,这个热辐射强度可以给人提供几秒钟的逃离时间和保证受热设备的表面温度低于危险温度;其次,对操作人员必须取进行应急操作的地区,最大的热辐射强度应限制在 $28.39 \text{ J}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$ 以下。

3.3 大气扩散

放空臂的大气扩散设计准则是防止从放空系统中放出的可燃气体团被吹回平台,应确保最大的可燃气体团高出平台任一表面十英尺,而且其浓度要低于 50% 可燃下限。并且,放空臂的规模是基于三个扩散参数组合成的最不利情况而设计的,这三个参数分别是放空量、风速和大气的稳定性。为了确定最不利的情况,使用这三个扩散参数的矩阵模型来分析。综上考虑和模拟运算,该气田平台采用的是 48.8m,倾角 45 度的放空臂。

4 大气放空系统在天然气田的具体应用

气田平台所有生产系统的排放阀、吹扫气、三甘醇再生系统的排放气以及手动/自动泄压阀排放的气体,都收集在三个封闭的排放管汇。这是三个分离的

系统：高压、低压和常压系统。所有从泄压阀、手动排放阀、管线上的排放阀以及两个平台上工作压力高于 0.345MPa 的处理设备排放的气体流入高压排放系统；低压排放管汇集所有操作压力低于 0.345MPa 的容器和系统所排放的气体；一个专用的排放管汇用来收集从三甘醇再生系统排放的气体。所有排放管汇的终端都在放空臂顶端。放空臂的规模设计，可以消除天然气生产平台上安装大气放空装置存在的部分潜在危险性，但如前文所述，还有部分的潜在危险，则需要从工艺流程设计上采取相应措施进行消除，以达到将危险性减少至令人满意的程度。气田在大气放空系统的应用上，主要有以下措施达到此目的。

4.1 采用合适的放空分液罐，减少液滴从放空臂回落的可能性

高压排放系统设计有卧式分液罐，高压排放管汇在分液罐处与入口管汇相连。气流分别进入两个位于分液罐罐体顶部两端的入口管线，气体与入口分流器接触，分流器将气体向外分散，最大程度地利用分液罐的体积。依靠重力作用，气体内携带的液体被聚集、分离出来。聚集在罐底的液体通过两台由液位控制器操作的泵输送至废油收集罐再次循环处理。气体从顶部中央的出口管线流出分液罐，通过放空臂的高压排放点排入大气。分液罐装配有高液位开关。在液位达到设计的高液位时，高液位开关会触发生产关停，能自动切断可能流入分液罐的所有容器和设备的入口。

4.2 当放空着火后能很快被熄灭

放空臂设有二氧化碳灭火系统以及一个消防水喷淋系统。当放空臂一个或多个排放端着火时，可以手动触发这些系统灭火。

二氧化碳灭火系统包括至少熄灭两个火焰的能力，由主灭火系统和备用灭火系统组成。它的优点是在放空着火后很快被熄灭，尽量减少燃烧时间；另一方面是在危害放空臂之前，灭火系统很快将火熄灭，因为放空臂通常不能承受持续燃烧而引起的高温。

4.3 用来降低火焰向放空臂内蔓延的可能性的方法

为了防止空气从排放顶端进入高压排放系统，从燃料气系统引入的吹扫气持续不断地吹扫高压排放管汇。吹扫的目的是提供足够的吹扫气流把侵入放空臂的空气吹扫出来，保持放空臂中气体浓度在可燃上限之上，从而火焰不能在放空臂中向下蔓延。

所需的吹扫气流量能够通过设计、安装在放空臂顶端的部件，减少到最低程度来提高吹扫的效率，吹

扫气流速可降低到 0.003 到 0.05m/s。每一个排放顶端都分别有一个排放密封以防止气体回流，称为“分子封”或“空气阻止器”。

4.4 使用氮气取代天然气作为吹扫气的创新实践

吹扫气用来降低火焰向放空臂内蔓延的可能性不可或缺，但作为吹扫气气源的天然气长期持续排放至大气，不仅造成能源浪费、对环境造成污染，而且在雷雨天气容易被引燃，有一定的火灾安全隐患。

气田平台通过流程改造，采用氮气替换现有的天然气作为吹扫气。氮气来自现场制氮机，采用 PSA 变压吸附原理，具有经济、高效、运行成本低、易于操作等特点。据统计，平台年均用于放空系统的吹扫气及部分储罐的覆盖气所消耗的天然气量约 155 万标准 m^3 ，折合成标准煤约 1703t，约值 300 万元。因此采用氮气替换天然气作为吹扫气，在安全、环保和经济等多方面都多有建树，起到提质增效的良好效果。

5 结论

在海上生产平台采用大气放空的方式，既经济又安全。天然气田海上平台在设计建造初期，通过一系列的研究和分析，最终选择大气放空作为泄压释放系统。不仅在放空臂的规模设计上消除了部分潜在危害，在工艺流程上通过分液罐、仪表控制、吹扫气等方式达到将危险性减少至令人满意的程度。而且在生产经营的过程中，大胆创新实践，使用氮气取代天然气作为放空系统的吹扫气，在安全、环保和经济上做出贡献。

参考文献：

- [1] 孙伯娜, 张伟. 某海上平台火灾泄放方案的选择 [J]. 石油和化工设备, 2013(4):72-74.
- [2] 孙金伟, 穆胜军, 许海东. 移动式采油平台的火炬臂设计与优化 [J]. 资源节约与环保, 2012(5):182-183.
- [3] 伊才颖, 等. 海上平台超长火炬臂结构设计及风激振动分析 [J]. 中国海上油气, 2012, 24 (5):58-62.
- [4] 康露, 陈晓宇, 杨志. 海上平台放空火炬热辐射分析方法研究 [J]. 油气田地面工程, 2018, 37(05):36-40.
- [5] 方新, 刘吉飞, 陶平. 固定式海洋石油平台管道应力分析方法 [J]. 广东化工, 2016, 43(12):140-142.
- [6] 张成良. 零阶方法和改进单纯形法的两级优化方法及其在火炬臂桁架上的应用 [D]. 厦门: 集美大学, 2014.
- [7] 丁杰, 等. 南海某海洋平台火炬系统火炬臂长度计算 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2018, 38(10).