

# LNG 储罐正负压保护系统的应用

陈震 杜凯 庚军 班峰 张翰

(济南和安天然气调峰储配有限公司, 山东 济南 250000)

**摘要:** 大型 LNG 储罐为常压储罐, 在运行过程中压力控制极为重要。以某 LNG 调峰储配站为例, 该站实行四级正压和三级负压保护以确保 LNG 储罐安全运行, 本文对 LNG 储罐正、负压保护系统进行系统介绍, 为 LNG 储罐安全运行提供有力的参考价值。

**关键词:** LNG 储罐; 压力控制; 正、负压保护系统; 安全运行

LNG 储罐采用常压低温储罐, 同时配备相应的储罐安全控制系统、消防系统等。安全控制系统包括正、负压保护系统、温度检测系统、液位检测系统以及防翻滚系统, 而正、负压保护系统是保证 LNG 储罐安全运行的关键。以某 LNG 调峰储配站为例, 对该站 LNG 储罐正、负压保护系统进行介绍。

## 1 LNG 储罐正、负压保护系统

LNG 储罐实行四级正压和三级负压保护, 正压保护即为储罐超压保护, 负压保护即为防止储罐低于常压保护。第一级正压保护通过增大 BOG 压缩机负荷, 第二级正压保护通过将超压气体排放火炬, 第三级超

压保护通过紧急排放阀直接排大气, 第四级正压保护通过安全泄放阀排大气, 维持储罐压力不超过操作值; 第一级负压保护通过减小 BOG 压缩机负荷实现, 第二级负压保护通过天然气或氮气补压, 第三级负压保护通过破真空阀吸入空气来保证储罐的安全。

LNG 储罐设计压力为 20kPa ~ -0.5kPa, 正常运行压力为 7 ~ 17kPa。具体压力控制联锁参数见表 1、正、负压保护系统工艺流程见图 1。

## 2 正压保护系统

### 2.1 一级正压 BOG 压缩系统

当储罐压力到达 17kPa 时, 增大 BOG 压缩机负荷。

表 1 压力控制设置一览表

储罐压力 kPa	报警	储罐压力上升时动作	储罐压力 kPa	报警	储罐压力下降时动作
20		压力安全泄放阀 PSV-149101 ~ 149104 打开	20		
19	高高压 力报警	储罐进料连锁阀门切断 潜液泵 P-149101A/B 停车 放空阀门 BDV-104 打开	19		
18	高压报 警	氮气、天然气紧急切断阀 SDV-101、103 关闭 去火炬压力控制阀门 PV-102 打开	18		压力安全泄放阀 PSV-149101 ~ 149104 关闭
17		增大 BOG 压缩机负荷	17		进料阀连锁解除 潜液泵 P-149101A/B 联锁解除 出料阀连锁解除 放空阀门 BDV-104 关闭 去火炬阀门 PV-102 关闭
正常操作压力范围 7 ~ 17 kPa					
7		BOG 去上游阀 SDV-105 关闭 BOG 压缩机停机连锁解除 出料管道连锁阀联锁解除 P-149101A/B 停车联锁解除	7		
5			5	低压报 警	BOG 去下游阀 SDV-105 关闭 BOG 压缩机停机报警
3			3	低低压 力报警	出料管道连锁阀切断 P-149101B 停车 PV-105、103 打开补充氮气、天然气
1		破真空阀 VSV-149101 ~ 03 关闭	1		
-0.3			-0.3		破真空阀 VSV-149101 ~ 03 打开
-0.5			-0.5		破真空阀 VSV-149101 ~ 03 完全打开

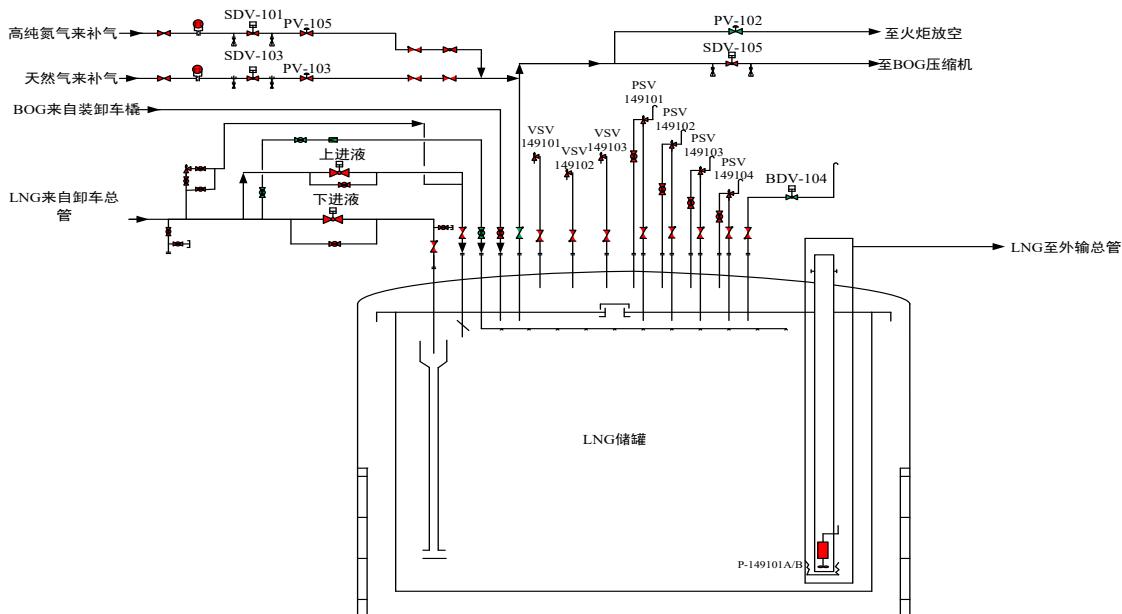


图 1 正、负压保护系统工艺流程图

LNG 储罐中的 BOG 进入 BOG 空温式加热器（如环境温度<5℃串联 BOG 水浴式加热器）与热媒（环境空气、热水）进行热交换升温至约 5℃后进入 BOG 缓冲罐，部分 BOG 进入 BOG 压缩机（K-130101A 或 B/C）增压至 5.7MPa.g 后进入 BOG 增压总管，大部分 BOG 气增压后进入 CNG 加气装置作为 CNG 原料气或进入外输计量设施作为外输气。BOG 压缩系统各设备参数见表 2。

表 2 BOG 压缩系统各设备参数

设备名称	设备参数
BOG 空温式加热器	设计流量 3400Nm <sup>3</sup> /h, 设计压力 0.35MPa, 入口温度 -159.5 ℃, 出口温度 5℃ 或低于环境温度 10℃
BOG 水浴加热器	设计流量 3400Nm <sup>3</sup> /h, 设计压力 0.35MPa, 入口温度 -20 ℃, 出口温度 5℃
BOG 缓冲罐	设计压力 0.35MPa(g), 设计温度 40 ℃
BOG 压缩机 K-130101A 或 B	设计流量 3000Nm <sup>3</sup> /h, 入口压力 0.011~0.015MPa, 出口压力 5.7MPa, 入口温度 5℃, 电机功率 600kW
BOG 压缩机 K-130101C	设计流量 1000Nm <sup>3</sup> /h, 入口压力 0.011~0.015MPa, 出口压力 5.7MPa, 入口温度 5℃, 电机功率 220kW

## 2.2 二级正压火炬放空系统

当储罐压力到达 18kPa 时，放空气去火炬阀门 PV-102 自动打开，经低压放空缓冲罐，进入地面火炬，再经低压燃烧器喷出被长明灯点燃，确保放空气体及时排放并能安全、可靠地燃烧。

## 2.3 三级正压紧急放散系统

当储罐压力到达 19kPa 时，SIS 系统（安全仪表

系统）发生联锁，BDV-104 紧急放散阀门自动打开，直接排放到大气。

## 2.4 四级正压安全泄放阀

当储罐压力到达 20kPa 时，安全泄放阀 PSV-149101 ~ 149104 打开，直接排放到大气。

该站采用先导式安全泄放阀（见图 2）。在设定的开启压力之下，LNG 储罐压力经过阀连接套管的（DN1）的主控制管路（L1）并经过控制阀（D）以及进排气管路输送到主阀腔（M）内。由此贮罐压力作为主阀的封闭压力在主阀膜片（C2）的上部发生作用。由于这个面比阀座面（直径 DN1）大很多，主阀 - 蝶形主阀（C1）在达到开启压力前都是密封的，并且压力越大密封性也越强。在由上下开关膜片（D18.1 和 D18.2）组成的上控制阀腔室（N）和下控制阀腔室（O），储罐压力升高。这个压力通过控制管线（D17）和连接孔（D48）传输。当主阀（C）达到要求设定压力时，该设定压力通过控制阀（D）进行调节，上开关膜片所受向上的力超过弹簧（D40）的反作用力和阀门的开关，因此旋脚（D7）微小开启压力释放。微小的压力释放引起放开口，导致类似上控制阀腔室（N）中的压力也下降。虽然这个压力下降非常小，但是它通过更大的开关膜片（D18.1）能引起强大的向上力，结果是使先导阀迅速处于开启状态。因此主阀腔室（M）通过管线 L2 和下出口（D47.1）排向大气。这样引起主阀的腔室（M）压力降低，在主阀盘（C1）以下阀门管口（DN1）的压力将主阀全行程打开。

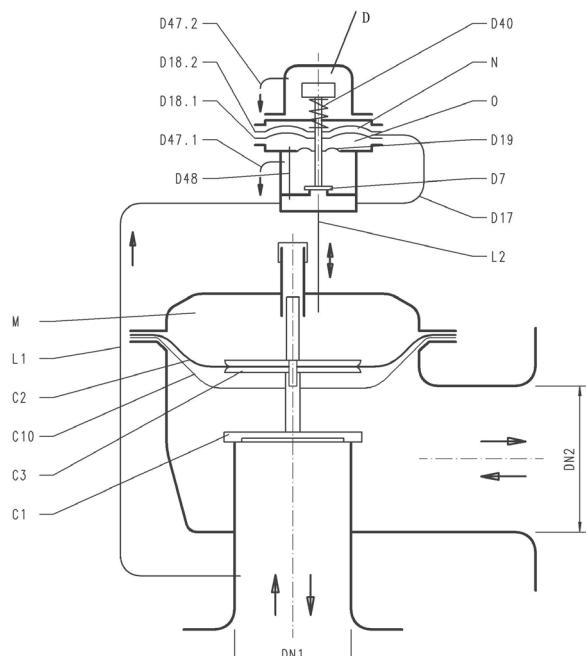


图 2 安全泄放阀工作原理图

### 3 负压保护系统

#### 3.1 一级负压 SIS 系统与 BOG 压缩系统

当储罐压力到达 5kPa 时，BOG 总管上的紧急切断阀 SDV-105 自动关闭（见图 1），BOG 压缩系统自动联锁停机，避免储罐压力通过 BOG 压缩机外泄，启动自动保护作用。

#### 3.2 二级负压氮气和天然气补压系统

(1) 当储罐压力到达 3kPa 时，高纯氮气补气阀门 PV-105 自动打开，通过高纯氮气进行补压。液氮经液氮储罐进入液氮空温气化器，当液氮空温式加热器（如环境温度 < 5℃ 串联液氮水浴式加热器）与热媒（环境空气、热水）进行热交换升温至约 5℃ 后进入高纯氮气储罐，高纯氮气最后经管线进入高纯氮气补气系统（见图 1）。

(2) 当储罐压力到达 2kPa 时，天然气补气阀门 PV-105 自动打开，通过天然气进行补压。储罐补压天然气来自外输计量撬，经储罐补压管线进入天然气补压系统（见图 1）。

#### 3.3 三级负压破真空阀

当储罐压力到达 -0.3kPa 时，破真空阀 VSV-149101 ~ 03 打开；当储罐压力到达 -0.5kPa 时，破真空阀 VSV-149101 ~ 03 完全打开，通过吸入空气来保证储罐安全，避免储罐压力低于储罐的设计压力而导致储罐变形。

重力式破真空阀的工作原理是阀盘本身的质量与罐内外压差产生的上举力相平衡。

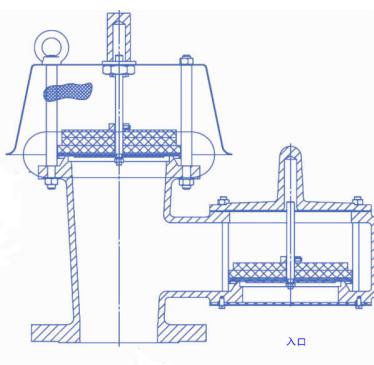


图 3 重力式破真空阀

作用在阀盘上的总外力为  $\Delta F$ ,  $F$  为阀盘自身的重力  $G$ , 上举力为  $\pi D^2(P_2 - P_1)/4$ 。

当阀盘本身的重力大于或者等于上举力时，进气阀盘和进气阀座紧密贴合，此时作用在阀盘上的总外力  $\Delta F = G - \pi D^2(P_2 - P_1)/4$ 。

当储罐内产生小于设定压力的负压时，大气压力直接作用于进气阀盘下侧，并克服阀盘自身重力以及作用在阀盘上侧的储罐压力，从而打开进气阀盘向储罐内补充压力，使储罐内压力与大气压力保持平衡。此时作用在阀盘上的总外力  $\Delta F = G - \pi D^2(P_2 - P_1)/4 < 0$ 。

#### 4 结束语

为保证场站运行安全，我站将 LNG 储罐运行压力设定为 10kPa ~ 15kPa，确保在发生正、负压保护前，及时采取措施开启压缩机降低储罐压力或通过补充氮气、天然气增大储罐压力。

随着科技的发展，储罐正、负压保护系统在 DCS 系统以及 SIS 系统的辅助下越来越成熟，储罐运行也越来越安全，但触发正压保护系统时，BOG 的排放造成天然气浪费以及环境污染以及触发负压保护系统时，储罐内空气的吸入等都存在安全隐患，因此储罐在正、负压保护系统启动前能够提前预警是关键，各储配站可以将储罐压力控制在合理范围内，为正、负压系统启动留一定 BOG 压缩机排压和氮气、天然气补压的空间来确保 LNG 储罐运行安全。

#### 参考文献：

- [1] 冯建东, 李姜楠. 常低压储罐压力泄放装置的选用 [J]. 化肥设计, 2021, 59(02): 16-20+23.
- [2] 韩志萍. 低压储罐三级压力保护的设置与计算 [J]. 石油化工安全环保技术, 2021, 37(05): 22-26+37+6.
- [3] 周琳琳, 刘庆胜. LNG 储罐控制系统设计 [J]. 石油工程建设, 2014, 40(05): 39-41.
- [4] 郑康迪. 化工常压储罐压力平衡系统及其联锁保护分析 [J]. 化工管理, 2020, (12): 176-177.