

# 大型LNG储罐的吹扫干燥技术

成永强 崔婧 中国石油大连液化天然气有限公司

**摘要：**储罐的干燥和氮气置换方式主要有两种形式，一种是采用持续吹扫的方式进行，一种是采用压涨的方式进行。大连LNG接收站LNG储罐的干燥和氮气置换采用的介质同为氮气，所以储罐的干燥和置换同时进行，其干燥置换步骤主要分为储罐升压、A区干燥置换、B区干燥置换、C区干燥置换和D区干燥置换。采用压涨式干燥吹扫储罐时，需要注意增压和泄压的速度，一般要求增压速度小于1 kPa/h，泄压速度控制在0.8 kPa/h。大型LNG储罐由于在干燥和置换作业前需要进行水压试验，如储罐内的湿度较大，可先利用热的干空气进行吹扫干燥，当露点达到一定值后，改为氮气干燥和置换。

**关键词：**LNG储罐；干燥置换；持续吹扫；压涨式吹扫；氮气

doi:10.3969/j.issn.1006-6896.2013.1.013

## 1 大型常压LNG储罐简介

大型常压LNG储罐是LNG接收站的重要设备单元，其造价往往能占到整个接收站的投资额度的40%左右，其功能是储存液化天然气。一般大型常压LNG储罐结构型式有单包容罐、双包容罐、全容罐及膜式罐等。

大型全容式LNG储罐机械竣工后，需要对其进行水压试验、除明水、气密试验、储罐干燥和氮气置换等预调试工作，之后再行LNG储罐预冷等调试工作，当所有调试工作完成后标志着LNG储罐真正意义上投入运行。由于大型全容式LNG储罐容积大，结构复杂，储罐的干燥和氮气置换过程风险较大，一旦操作不当可能造成储罐变形，影响储罐的正常安全使用，储罐变形过大还有可能使储罐完全报废。

## 2 干燥和氮气置换方案

### 2.1 干燥置换方式

储罐的干燥和氮气置换方式主要有两种形式，一种是采用持续吹扫的方式进行，一种是采用压涨的方式进行。持续吹扫是指在储罐干燥置换过程中保持氮气充入量和排放量基本相同，维持储罐在一恒定的压力。压涨式吹扫是指首先关闭储罐排放口，对储罐进行充压，当达到一定压力后关闭氮气入口，开启出口进行泄压，当泄压至一定压力关闭排放口，打开氮气入口再次充压，反复进行。

### 2.2 干燥置换区域划分及要求

由于大型全容式LNG储罐分为内外两层，且中间夹层在储罐投用后将允许填充由内罐蒸发出的

BOG气体，所以在储罐干燥和置换过程中不仅需要对内罐进行干燥和氮气置换，而且需要对储罐夹层进行干燥和氮气置换作业。根据储罐不同区域干燥顺序的不同，又将储罐干燥和氮气置换的区域分为4个部分，由于4个区域功能不同，所以干燥和置换的要求也有所不同，具体的要求见表1。

表1 储罐氮气干燥置换目标

区域	氧含量	露点
A 圆顶空间和内罐	4%以下	-20 以下
B 环形空间	4%以下	-10 以下
C 罐底保冷	4%以下	无要求
D 保冷/热角保护区和罐底底层保冷	4%以下	无要求

### 2.3 干燥置换流程

大连LNG接收站LNG储罐的干燥和氮气置换采用的介质同为氮气，所以储罐的干燥和置换同时进行，其干燥置换步骤主要分为储罐升压、A区干燥置换、B区干燥置换、C区干燥置换和D区干燥置换，具体干燥置换流程如图1所示。首先由储罐的N8口引入氮气，其他出口全部关闭，对储罐进行升压作业；当储罐压力升高至9 kPa时，开启N23出口手阀进行放空，调节氮气流量和N23出口手阀的开度，使储罐压力维持在8 kPa左右，开始A区的干燥置换；当N23出口排除气体中的氧含量低于8%时，直接打开B区出口N10和N11处的手阀进行排气，由于A区和B区相通，A区的气体通过罐顶空间进入环形空间进行干燥置换作业；当B区出口N10和N11处排出气体的露点低于-10且氧含量低于8%时，直接打开C区出口N13处的手阀，B区的气体将通过间隙渗透进罐底混凝土层，



开始C区干燥置换作业；当N13处排出的气体的氧含量低于8%时，打开N5、N7、N12和N14处的阀门，使B区的氮气进入D区，打开N6处阀门进行排气，开始D区的干燥吹扫。在4个区域干燥置换过程中，需要定期对排出口的氧含量和露点进行监测，达到要求后即可停止此区域的作业。

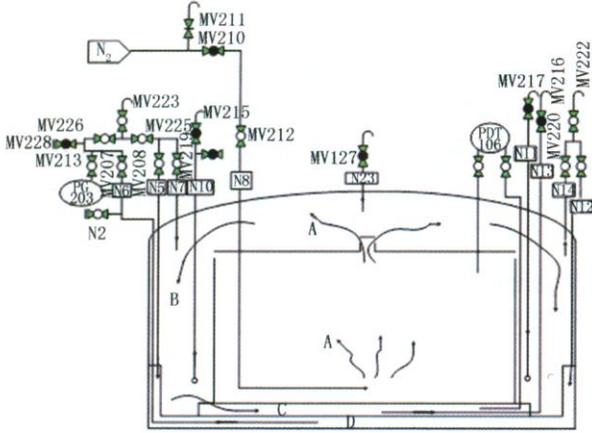


图1 储罐干燥和置换流程示意图

#### 2.4 注意事项

(1) 在储罐干燥置换过程中需注意观察储罐的压力(PG203)，通过控制氮气的流量和排放口阀门的开度，确保储罐压力在 $8( \pm 0.5)$  kPa。

(2) C区的干燥过程中需要格外注意内罐A区和混凝土层C区的压差(PDT106)，如果C区压力高于A区0.4 kPa以上，储罐底部可能损坏。

(3) 采用压涨式干燥吹扫储罐时，需要注意增压和泄压的速度，一般要求增压速度小于1 kPa/h，泄压速度控制在0.8 kPa/h。

### 3 干燥置换数据分析及讨论

大连LNG接收站LNG储罐全部为全容式混凝土顶储罐，罐容为160 000 m<sup>3</sup>，如此大型的储罐干燥置换所需求的氮气量更大，干燥置换时间更长，技术要求更高，干燥置换合格的难度更大。氮气用量大需要与氮气供应合理协调，并需要合理配置液氮储罐和临时汽化器的数量；干燥置换时间长，需要做好各种应急准备；技术要求高，要求合理采用吹扫方式，控制吹扫速度；干燥置换合格的难度大，要求在干燥置换过程中注意储罐干燥置换数据的反复。

#### 3.1 数据分析

大连LNG接收站1#储罐4个区域的干燥置换流程如前所述，虽然干燥置换的顺序是由A区至D区，但是由于B区、C区和D区的空间小，储罐运行后存在的介质为蒸发渗透的BOG气体，干燥置换的要求低于A区，所以在实际操作过程中B、

C、D区的干燥只是在A区干燥过程中穿插进行即可，因此本文仅对A区的干燥数据进行相关探讨。

从A区干燥时的压力趋势图可以看出，在干燥置换整个过程可以分为几个步骤：首先是对储罐进行增压，增压至9 kPa时打开排气口进行持续吹扫干燥，此时保持罐压在8 kPa左右；中间阶段利用压涨式干燥置换方法进行作业；随后又采用持续吹扫干燥方式进行作业，罐压仍然保持在8 kPa左右；最后达到干燥置换要求后，将储罐压力升高至10 kPa左右。整个干燥置换过程需510 h左右，消耗的氮气约为900 t。

从A区干燥时露点和氧含量趋势图可以看出，在干燥置换的初期，持续吹扫干燥方式效果较好，但是当露点降至-10℃，氧含量降至8%左右时，持续吹扫干燥方式效果不明显。后采用压涨式进行吹扫干燥，起到了很好的效果。当干燥置换基本合格时，改为持续吹扫方式进行。由于压涨式吹扫干燥在储罐升压过程中不能对露点和氧含量进行测量，所以在露点和氧含量趋势图中有数据中断的地方。此外，从露点趋势图末端可以看出，储罐的露点又有所增加，这是由于储罐容量较大，干燥时不可能完全均匀，因此储罐露点出现反复情况属于正常。这就要求在储罐干燥结束后仍需要对储罐定期进行露点和氧含量的检测，如果测量发现露点不合格，需要再次进行干燥吹扫作业。

#### 3.2 讨论

根据实际的操作经验可以看出，当内罐的露点降至-10℃，氧含量降至8%左右时，可以果断地切换成压涨式干燥吹扫方法，而此时也是C区开始干燥置换的条件，因此当采用压涨式干燥吹扫方法时需格外注意储罐增压和泄压的速度，保证C区与A区的压差始终不能高于0.4 kPa，且C区出口一直处于打开的状态。当储罐干燥置换合格后，可以改为持续吹扫的方式继续再干燥吹扫一段时间，防止数据的反复。

大型LNG储罐由于在干燥和置换作业前需要进行水压试验，而储罐内部属于密闭空间，如果水压试压和干燥置换作业间隔时间较短，储罐内的湿度较大，储罐干燥的难度会增加。如果出现此种情况，可先利用热的干空气进行吹扫干燥，当露点达到一定值后，改为氮气干燥和置换。此种方式已经在小型容器的干燥置换过程中得到了应用，不仅提高了干燥置换的速度，而且减少了氮气的使用量，节约了成本。

(栏目主持 杨 军)

