

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2015.04.002

LNG加气站低温离心泵气蚀控制与预防

□ 通达能源股份有限公司 (200030) 姜磊

摘要: 分析了LNG加气站低温离心泵气蚀发生的原因和不利影响。通过对NPSHA和NPSHR的论述,提出了低温离心泵气蚀判定方法。最后,提出了LNG加气站低温离心泵气蚀控制与预防的技术措施。

关键词: 低温离心泵 气蚀 可用气蚀余量NPSHA 必需气蚀余量NPSHR

Cryogenic Centrifugal Pump Cavitation Control and Prevention of LNG Filling Station

Tongda Energy Co. Ltd., Jiang Lei

Abstract: Analysis of LNG filling station causes cryogenic centrifugal pump cavitation and adverse effects. Based on the NPSHA and NPSHR are discussed, presents cryogenic centrifugal pump cavitation determination method. Finally, put forward the technical measures of LNG filling station cryogenic centrifugal pump cavitation control and prevention.

Keywords: cryogenic centrifugal pump cavitation net positive suction head available net positive suction head required

气蚀是LNG加气站离心泵常发生的现象,对LNG加气站设备设施(尤其是离心泵)损害很大,对LNG加气站生产运行可靠性、安全性、经济性产生巨大不利影响的现象。LNG加气站离心泵发生气蚀时,离心

泵的扬程、流量、功率、效率等都会发生大幅下降,甚至是离心泵断流停止运转。更为严重的是,如果离心泵长期在气蚀的情况下运转,离心泵的叶轮、泵轴、轴承等将发生严重磨损和损害,甚至造成离心泵

新与改进。

6 总结

国家主席习近平指出:“唯改革者进,唯创新者

强,唯改革创新者胜”。在新一轮全球经济环境下,只要紧跟科技创新,锐意前进,奋发向上,不断促进能源设备进步,推动能源行业发展,大力发展绿色经济,就一定能实现“蓝天常在,青山常在,绿水常在”的绿色中国梦。

报废。因此，LNG加气站在设计、制造、安装、运行过程中应当采取积极措施预防其发生。

1 气蚀发生的原因和后果

由低温离心泵的工作机理我们知道，离心泵在运转过程中，液化天然气在叶轮的带动下，不断从离心泵叶轮入口处向叶轮边缘快速流动，在此期间，离心泵吸入口至叶轮进口处因液化天然气的突然转移而造成压力相对降低。正是源自于这些部位压力的降低，才使得泵池中的液化天然气在相对高压的作用下源源不断进入这些部位，保障了离心泵连续运转。但是问题是，如果这些部位（尤其是叶轮进口处）的压力降低到液化天然气的饱和压力（也是开始汽化的临界压力）之下时，液化天然气将发生一定程度的气化。一定量的液化天然气发生气化后，产生的天然气气泡在液化天然气的带动下向叶轮边缘移动。但是，在液化天然气向叶轮边缘流动的过程中，叶轮不断向其做功，因此液化天然气的压力是不断增大的。当液化天然气的压力重新大于其饱和压力时，先前气化的天然气气泡将会重新凝结液化。天然气气泡在凝结溃灭的过程中会形成大量的空穴，使得气泡周边的液化天然气高速补充而来。这些不同方向高速而来的液体，互相撞击，在空穴周边产生很高的压力，严重阻碍了其他液化天然气的正常流动。同时，如果所谓的空穴是在叶轮周边产生的，相当比例的高速补充而来的液化天然气会向“弹雨”一般，连续击打叶轮表面。如果长期击打，叶轮表面会不可避免的产生破坏，形成蜂窝状麻点，甚至导致叶轮剥蚀、破裂，造成严重事故。上述这种因液化天然气气化、凝结、撞击而产生的高频率、高压、高强度冲击，伴随一定程度振动和噪音，并对离心泵造成损害的现象，统称为离心泵的气蚀。

离心泵气蚀现象的发生，对液化天然气加气站的正常生产运行影响巨大，并且带来诸多不利影响或后果，笔者特地做了一些总结：

(1) 液化天然气离心泵运行过程中，气蚀刚刚开始发生时，叶轮处压力降相对较低，液化天然气气化数量较少，产生的气泡和影响区域也较小，所以对低温离心泵的运行性能并没有明显的影响；当气蚀发

展到一定程度时，离心泵的扬程、流量、功率、效率等性能明显下降，离心泵发生振动、噪音；当气蚀再进一步发展时，离心泵的扬程、流量、功率、效率等性能剧烈下降，如图1，直至不能满足加气站生产工艺的需求，造成离心泵停止工作。

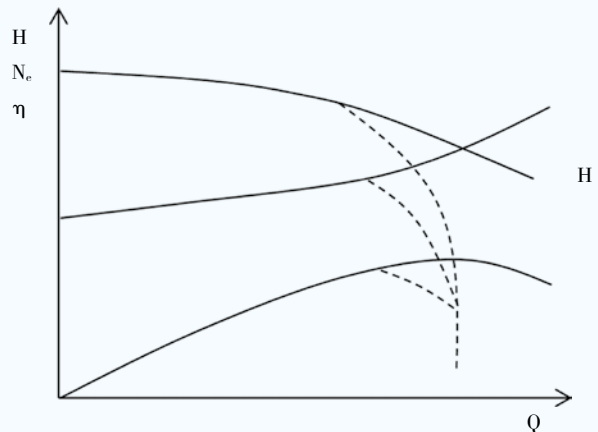


图1 离心泵发生气蚀时的性能曲线（虚线为气蚀时）

a) 发生气蚀之后，多数液化天然气离心泵的流量会进行忽高忽低的振荡，同时伴随泵出口压力忽高忽低。忽高忽低的流量振荡除对管路系统本身造成冲击之外，更重要的是对LNG加气机中的质量流量计造成的冲击和影响。质量流量计进行精确计量的前提之一是：进入质量流量计（内部有两根管）的流体分布要稳定、均匀，否则计量精度受到的影响较大，计量不准确，而且对质量流量计造成冲击损害。另外，如果当低流量振荡时间过长时，离心泵流量有可能低于质量流量计设定的流量下限（低于该值一定时间加气机判定加气结束），加气机提前结束加气，造成车辆加不满气或需要进行多次重复加气。更为不利的是，当出现这种现象时，部分一线操作人员，为减少麻烦，采取降低质量流量计设定的流量下限、延长判定限制时间等措施维持加气站运行，其实这是默认气蚀发生、进一步促进气蚀发生的错误手段，目前这种现象在很多加气站当中都有存在。另外，降低质量流量计设定的流量下限很可能延长加气时间，反而不利于提高生产效率。

b) LNG加气站在加气过程中，如果LNG汽车车载气瓶压力较高且未进行气相回流，此时低温离心泵扬程需要维持较高的水平，以此来克服车载气瓶的气

相压力、管路流动损失,这样才能确保液化天然气的压力“顶开”加气管路中的单向阀门。如果此时发生气蚀,导致离心泵扬程进行忽高忽低的振荡,那么加气压力亦随之振荡,有可能导致流路自动切断,加气自动停止。这类“加气停止”的原因引发的条件不同于流量振荡所引发的,但是其对质量流量计造成不利影响确基本相同,在此不做赘述了。

c) 如果气蚀现象比较严重,那么离心泵的流量会剧烈下降,那么电流也会随着离心泵轴功率的剧烈下降而下降,甚至出现空载。如果电流低于系统设定的保护电流下限值,且持续时间超过允许的延迟时间,离心泵也会自动停机。

d) 国内很多加气站因LNG储罐距离LNG泵池较远且LNG储罐未做加高处理,操作人员基于预防气蚀现象的发生,将LNG加气站低温离心泵的转速设定较低,虽然可以有效预防气蚀,也可以在一定程度上提高LNG储罐的容积利用率,但是根据离心泵的相似定律,流量、扬程势必随之而降,容易导致加气速度慢、加不满气。因此这种方式是以生产效率换生产可靠的方式,存在一定的缺陷。相反,如果提高转速,那么LNG储罐的容积利用率就会有一定程度的下降。国内部分LNG加气站单台储罐的容积上限为60m³,如果容积利用率下降,很可能导致无法一次性卸完一车LNG。

e) 目前LNG运输槽车储罐底部与加气站离心泵顶部基本处于同一水平高度,而且一般采用软管卸车(流动阻力相对较大、距离较大)且需要跨过围堰,同时卸车流路当中的阀门较多,因此多数加气站在运行过程中,卸车接近结束时(液位过低)更易发生气蚀,容易导致卸车不干净,贸易计量误差较大。其实本条与上条容积利用率下降的原因一致,主要是因为LNG液位下降,导致可用气蚀余量下降而产生的。

f) 如果在低温离心泵启动前,没有进行预冷或者预冷没达到要求或者管路系统保温能力下降,进入离心泵叶轮进口处的液化天然气温度要比储罐中的剪度高,意味着叶轮进口处液化天然气的饱和压力相对高于储罐中的液化天然气饱和压力,因此气蚀的预防工作难度相对高一些。所以液化天然气加气站在设计、安装和运行过程中,需要高度重视管路系统的保冷和离心泵启动前的预冷工作。

g) 从气蚀发生的倾向性来看,卸车时容易发生在接近卸车结束时,加气时容易发生在车载气瓶快要加满或者没有气相回流的情况下。

(2) 当发生气蚀时,因气泡溃灭导致的液化天然气撞击叶轮等零部件,会产生各种频率的振动和噪音。因此,现场操作人员除了可以听见泵池内有一定程度的高频噪音外,还能观察到泵池的振动。而高频振动又会进一步促进更多的液化天然气的汽化,造成恶性循环,使得离心泵的振动进一步加重。离心泵在正常运行时,泵轴受到的径向力、轴向力均衡,泵轴基本是做垂直的定轴高速旋转。发生振动后,离心泵泵轴出现偏心旋转,泵轴受力不均匀,其与轴承的摩擦加剧,造成泵轴、轴承磨损严重,使用寿命降低。之前,国内早期(2007年~2010年)的撬装式LNG汽车加气站,多数采用储罐、泵撬、加气机共撬的设计方式,使得储罐和泵池基本在同一水平面上安装,储罐到泵池的液位高度不够。尤其是当储罐中液体剩余不多时,低温离心泵在运转时较易发生气蚀。所以这一批LNG加气站离心泵的泵轴、轴承以及相关零部件,磨损普遍较为严重,部分加气站不得已做了泵轴更换。笔者曾经主持建设、运营的国内第一座撬装式液化天然气加气站(2007年投产),在历经近5年的运行中,饱受气蚀的“折磨”,严重到给LNG公交车加不满气的地步。迫不得已,于2012年春季彻底更换了泵轴和相关配件,为气蚀共计埋单28 365元、停产4天。

(3) 一般情况下,低温离心泵的叶轮进口处,遭受气蚀的时间最早、程度最为严重,叶轮金属表面也容易出现麻点等现象。出现这种现象之后,液化天然气与叶轮的摩擦损失增大,流量也会出现一定程度的下降。

(4) 低温离心泵发生气蚀后,泵池会产生一定频率的振动,而泵池主要是通过螺栓、法兰等与进出口管路系统、安装基座进行刚性固定的。因此,这些振动必然会影响到泵池周边的一些设备,尤其是各类阀门、法兰,容易影响其密封性。

2 气蚀余量与气蚀判断

在液化天然气加气站行业当中,往往出现这样的

情况：两座完全一致的LNG加气站，即相同的规模、相同的设计、相同的管道布局等情况下，仅仅是因选用的低温离心泵品牌或型号不同，而导致气蚀发生的频率和程度不同，这说明气蚀的产生和低温离心泵本身有密切的关系；而同一座LNG加气站中的同一台低温离心泵也可能存在有时发生气蚀有时不发生气蚀的情况，这说明气蚀的产生不仅仅和离心泵本身有关系，还与离心泵之外的因素（储罐液位、阀门开启程度、保温、液体问题等）有关系。由此可见，低温离心泵气蚀现象的发生是由离心泵本身和泵外因素两方面决定的，预防和控制离心泵气蚀的发生也应从这两个方面进行考虑。

2.1 可用气蚀余量NPSHA

气蚀之所以会发生，主要的原因在于低温离心泵叶轮进口处的液化天然气压力小于其饱和压力（全称为饱和蒸汽压力），因此预防气蚀的发生就要采取一定的技术措施，确保离心泵运行时叶轮进口处的液化天然气压力高于其饱和压力。一般情况下，为了使低温离心泵在运转过程中不发生气蚀，将离心泵吸入口处的液化天然气所具有的超过其饱和压力的富裕能量，称之为可用气蚀余量，用NPSHA表示，根据以上定义即有：

$$NPSHA = \frac{P_r}{\rho g} + \frac{v_r^2}{2g} - \frac{P_b}{\rho g}$$

式中： P_r 为低温离心泵吸入口处液化天然气的压力，单位Pa；

P_b 为低温离心泵叶轮进口处液化天然气的饱和压力，单位Pa；

v_r 为低温离心泵吸入口处液化天然气的平均流速，单位m/s；

ρ 为液化天然气液态密度，单位kg/m³；

g 为重力加速度，一般取值9.807，单位m/s²。

根据流体力学伯努利方程，结合图2，可有：

$$\frac{P_r}{\rho g} + \frac{v_r^2}{2g} + H_r = \frac{P_0}{\rho g} + \frac{v_0^2}{2g} + H_0 - \Delta H$$

经过变换：

$$\frac{P_r}{\rho g} + \frac{v_r^2}{2g} = \frac{P_0}{\rho g} + \frac{v_0^2}{2g} + (H_0 - H_r) - \Delta H$$

式中： P_r 为低温离心泵吸入口处液化天然气的压力，单位Pa；

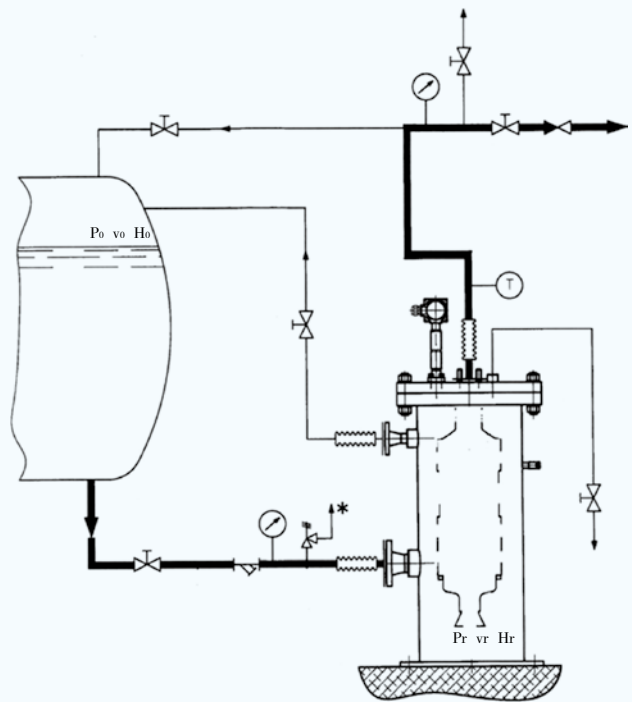


图2 LNG加气站离心泵NPSHA计算示意图

v_r 为低温离心泵吸入口处液化天然气的平均流速，单位m/s；

P_0 为液化天然气储罐中液化天然气的气相压力，单位Pa；

v_0 为液化天然气储罐中气液分界面处液化天然气的平均流速，单位m/s；

H_0 为液化天然气储罐中气液分界面距离地面的垂直高度，单位m；

H_r 为低温离心泵吸入口处距离地面的垂直高度，单位m；

ΔH 为液化天然气自储罐中气液分界面处至离心泵吸入口处的流动损失折合量，单位m；

ρ 为液化天然气液态密度，单位kg/m³；

g 为重力加速度，一般取值9.807，单位m/s²。

在上式中，可以认为 $v_0 \approx 0$ ，同时令 $H_0 - H_r = H_g$ （ H_g 的基本含义为液化天然气储罐中气液分界面至低温离心泵吸入口处的垂直高度，以下简称离心泵吸入口处液位高度），可有：

$$NPSHA = \frac{P_0 - P_b}{\rho g} + H_g - \Delta H$$

式中：

P_0 为液化天然气储罐中液化天然气的气相压力，

单位Pa;

P_b 为低温离心泵叶轮进口处液化天然气的饱和压力, 单位Pa;

H_g 为离心泵吸入口处液位高度, 单位m;

ΔH 为液化天然气自储罐中气液分界面处至离心泵吸入口处的流动损失折合量, 单位m;

ρ 为液化天然气液态密度, 单位 kg/m^3 ;

g 为重力加速度, 一般取值 9.807 , 单位 m/s^2 。

根据上式, 可以得知: 液化天然气低温离心泵可用气蚀余量的大小与以下因素有关:

a) 与液化天然气储罐的气相压力与低温离心泵叶轮进口处液化天然气的饱和压力的差值有关系。一般情况下, 在气液相之间传热、传质达到平衡后, LNG储罐中的气相压力就是储罐中的LNG的饱和压力, 只要LNG的温度、气质构成成分不发生变化, LNG的饱和压力就是稳定的, 因为在密闭的空间当中, 饱和压力的大小是由液体温度决定的。如果LNG储罐至LNG泵池之间的绝热保冷性能较好, 可以视为LNG由储罐气液分界面处至离心泵吸入口处流动的过程中, LNG的温度不发生变化, 即可以认为 $P_0=P_b$ 。但是, 如果LNG储罐至LNG泵池之间的绝热保冷性能较差, LNG由储罐气液分界面处至离心泵吸入口处流动的过程中, LNG的温度将有所上升, 因此可以认为 $P_0<P_b$ 。另外, 如果LNG储罐处于自增压的过程中, 或者是自增压刚刚结束, 则因为液化天然气的气相压力高于储罐中的LNG的饱和压力, 那么有可能出现 $P_0>P_b$ 的情况。因此, 在进行NPSHA的计算过程中, P_0 、 P_b 两者的大小关系要进行具体的分析, 不过多数情况下, 可以认为 $P_0=P_b$ 。

b) 与离心泵吸入口处液位高度 H_g 有关系。 H_g 的大小与液化天然气低温离心泵本身的结构没有必然的关系, 但是同液化天然气储罐的型式(立式、卧式)、液化天然气储罐安装方式(地上式、地下式、半地下式)以及液化天然气储罐中的储存量有密切的关系。根据公式, 这个高度越大越好。首先, 这也是为什么液化天然气加气站在高液位时不容易发生气蚀、而在低液位时容易发生气蚀的根本原因。其次, 如果液化天然气加气站采用立式LNG储罐, 其NPSHA将远大于卧式LNG储罐的NPSHA。因此从技术角度来说, 液化天然气加气站在预防气蚀方面, 采用立式储罐具有明

显的优势。再次, 如果采用卧式LNG储罐, 那么应将LNG储罐抬高一定高度, 以此满足气蚀预防的要求。

c) 与液化天然气自储罐中气液分界面处至离心泵吸入口处的流动损失折合量有关系。所谓流动损失主要包括沿程阻力损失和局部阻力损失, 因此, 流动损失的大小主要同液化天然气储罐至泵池之间的管路长度、管壁光滑程度、弯管数量、阀门数量等因素有关。为减少此段管路的流动损失, 提高离心泵的NPSHA, LNG储罐至泵池之间的管路应尽量缩短, 并且相应的阀门、弯管越少越好。

综上所述, 对液化天然气加气站而言, 为尽量提高低温离心泵的NPSHA, 预防气蚀现象的发生, 应从加气站设计、储罐选型和安装、管道布局和保温等多方面进行考虑。

2.2 必需气蚀余量NPSHR

NPSHA表征的是离心泵吸入口处的液化天然气所具有的超过其饱和压力的富裕能量, 而非离心泵叶轮进口处的液化天然气所具有的超过其饱和压力的富裕能量。而实际情况是, 液化天然气自吸入口进入离心泵后, 在吸入口至叶轮进口处仍然存在着流动损失。这一部分的流动损失主要与离心泵的结构参数和液化天然气在其中的流速有关系, 与离心泵之外的因素无关。NPSHR是表示液化天然气从低温离心泵吸入口处至离心泵叶轮进口处的流动损失。这个损失越小越好, 损失小意味着不必额外考虑这一部分的损失。这个损失越大, 离心泵抵抗气蚀的能力越差, 意味着在运行时需要额外考虑这一部分的损失。一般情况下, NPSHR无法通过计算得出, 均是离心泵制造厂家通过试验测定, 故此NPSHR均有离心泵制造厂家给出。NPSHR标志着低温离心泵本身所具备的抵抗气蚀性能的好坏, 是由离心泵设计和制造水平决定的, 而与操作没有关系。

需要注意的是, NPSHR实质上是因液化天然气流动而带来的阻力损失, NPSHR的大小不仅同离心泵的结构有关系, 而且同液化天然气的流速有关系。而液化天然气的流速由离心泵运行时的流量决定, 因此, 在确定NPSHR的取值时, 必须对应指明离心泵的工作流量。

2.3 气蚀发生的判定

NPSHR表示的是液化天然气在进入吸入口处至

离心泵叶轮进口处这一过程中所要面临的“能量损失”，而NPSHA表示的是为预防气蚀的发生，克服损失，在液化天然气进入离心泵吸入口时的“预备能量”。判读气蚀发生与否，主要是看“预备能量”够不够用，能否抵消“能量损失”，因此可按照下面情况进行具体判定：

(1) NPSHA>NPSHR，低温离心泵运转时不产生气蚀；

(2) NPSHA=NPSHR，低温离心泵运转时恰好处于发生气蚀的临界状态；

(3) NPSHA<NPSHR，低温离心泵运转时发生气蚀，差值越大气蚀越严重。

3 气蚀的预防和控制措施

根据上文的判定方法，液化天然气加气站低温离心泵气蚀的预防和控制，从原理上来说，主要是提高可用气蚀余量、降低必需气蚀余量两种指导思想，具体为提高离心泵本身的抗气蚀能力和尽量提高可用气蚀余量。

3.1 提高离心泵本身的抗气蚀能力

离心泵的NPSHR主要是由离心泵的结构决定的，因此对固定的已经投入运行的离心泵而言，NPSHR没有办法进行降低，反而NPSHR会随着离心泵的不断使用缓慢增加。从这一点来说，液化天然气加气站在进行离心泵选型时，应尽量选用设计合理、制造技术水平高、附带导流器（诱导轮）的质量可靠、技术先进的、而且经过实践考验的低温离心泵。目前，国内外制造液化天然气加气站用低温离心泵的厂家较多，虽然工作原理相近、工作性能参数相近，但是具体在材料选用、精密加工、流路优化等方面存在较大差异。

另外，因NPSHR的大小同离心泵运行时的流量密切相关，可以通过调整低温离心泵的流量适当降低NPSHR。对LNG加气站而言，常见的方式为根据流量相似定律，适当降低离心泵的转速，比如在采用低温离心泵卸车时，低温离心泵的转速通常要比加工况时低1 000转~2 000转。比如，在LNG加气站储罐液位不高的情况下，适当降低低温离心泵的转速也可以有效控制气蚀的发生。

但是，采用这种措施时，需要注意低温离心泵的效率，很可能遇到效率提高NPSHR也提高或效率降低NPSHR也降低的情况。因此，必要时，可以暂时不考虑效率的问题，毕竟低温离心泵运行的安全性和可靠性，要比运行的经济性来的更重要一些。

3.2 提高可用气蚀余量NPSHA

(1) 严格做好LNG储罐至泵池之间的保冷，严格控制LNG储存温度，做好离心泵启动预冷工作。一般情况下，LNG储罐中的气相压力 P_0 就是LNG的饱和压力（不做自增压），所以 P_0 、 P_b 的差值主要是由两者所对应的温度决定。根据笔者的经验，一般情况下，液化天然气自储罐流至离心泵温度大约要升高0.1℃~0.2℃。为方便计算期间，下列计算假定LNG100%为甲烷，并采用内差法，同时LNG温升按照0.15℃考虑：

LNG储罐温度在113K~114K时（低温液）：

$$\frac{P_0 - P_b}{\rho g} = \frac{-(0.12261 - 0.11324) \times 0.15 \times 10^6}{420 \times 9.807} = -0.341\text{m}$$

LNG储罐温度从133K~134K时（高温液）：

$$\frac{P_0 - P_b}{\rho g} = \frac{-(0.46437 - 0.43872) \times 0.15 \times 10^6}{390 \times 9.807} = -1.006\text{m}$$

根据以上计算，如果LNG从储罐至泵池之间的温升在0.15℃，那么因温度变化而产生的NPSHA降低量，会随着储罐中LNG的温度的上升而上升，变化范围为0.341m~1.006m。这也就是为什么在LNG加气站行业中，高温液比较难操作、容易发生气蚀的原因，所以在具体生产过程中笔者一直反对“调温调压调饱和”。另外，如果LNG储罐至泵池之间的保冷措施达不到要求，那么因温度变化而产生的NPSHA值将剧烈变化，其降低量应是0.341m~1.006m的数倍甚至是十几倍。因此，基于以上原因，LNG加气站应尽量供销低温度的液化天然气，同时应严格做好LNG储罐至泵池之间的保冷、严格控制LNG储存温度、做好离心泵启动预冷工作。

(2) 必要时可以进行自增压（调压）。LNG加气站一般都具有“调温调压调饱和”的功能，本文这里不讨论“调温调压调饱和”，但是需要指出的是，LNG加气站有一个功能是将储罐中的少量液态液

化天然气通过一定的形式使其气化，然后以气态的形式返回储罐的气相空间，以此增加LNG加气站储罐中的气相压力 P_0 。原理类似于LNG汽车气瓶的自增压和卸车自增压。提高储罐中的气相压力 P_0 可以有效提高NPSHA。但是，“调温调压调饱和”的初衷不是为了提高NPSHA，这个功能已经随着自增压车载气瓶的逐步推广，而在LNG加气站当中逐渐弱化了。这个控制措施，虽然可以有效提高NPSHA，但是操作复杂，容易造成储罐压力逐步升高，BOG产生量较大；而且不利于储罐内液化天然气温度的控制。

(3) 尽量选用立式LNG储罐或适当抬高卧式LNG储罐的高度。实事求是的说，一旦LNG加气站设备安装定型之后， H_g 离心泵吸入口处液位高度只与LNG加气站储罐中的液位有关系。所以，LNG加气站在刚刚卸车结束时， H_g 离心泵吸入口处液位高度最大，气蚀最不容易发生，即使发生其程度也比较小。在具体的生产运行过程中，为确保LNG储罐的容积利用率，一般无法人为提高 H_g 的数值，除非是卸车提高LNG储罐的液位。所以，LNG加气站在进行设计和安装时，应尽量选用立式LNG储罐或适当抬高卧式LNG储罐的高度。其中，GB50156-2012《汽车加油加气站设计与施工规范》9.1.8条款、NB/T1001-2011《液化天然气(LNG)汽车加气站技术规范》6.3.1条款均作出了同样的规定：LNG储罐的底部(外壁)与潜液

泵池的顶部(外壁)的高差应满足LNG潜液泵的性能要求。据此，行业内普遍的做法是抬高LNG储罐的高度，大致抬高1m~1.5m左右。

(4) 如果条件允许，可以适当提高卸车台的高度，原理同上条。

(5) 设计上尽量缩短LNG储罐至泵池之间的管路并提高管路内壁的光滑程度(减少摩擦损失)，尽量减少不必要的弯管、阀门。同时应尽量选择对液化天然气流体流场干扰程度小、局部阻力损失小的弯管、阀门。目前，国内已经有LNG加气站设备厂家在此段管路使用球阀代替截止阀，可以有效降低阀门对液化天然气流动的影响。在生产运行过程中，一般应将LNG储罐至泵池之间的阀门完全开启，尽量不要采取半开的状态，尤其不能采取控制泵池进液阀门开启程度的方式调节低温离心泵的流量和扬程。另外，在调整转速降低低温离心泵NPSHR的同时，因流量的降低，泵前管路中的流动损失也会随着降低，因此NPSHA也会有所提高。

参考文献

- 1 吴德明. 离心泵应用技术[M]. 北京: 中国石化出版社, 2013

其它消息

付出爱, 传递爱, 分享爱

——秦皇岛市燃气总公司营业管理分公司“学雷锋”活动侧记

2015年3月4日，在第52个的雷锋日来临之际，秦皇岛市燃气总公司营业管理分公司“平安使者服务队”来到海港区 and 安里社区，开展以“聆听助人为乐事迹，感悟践行雷锋精神”为主题的学雷锋活动。

在社区爱心小分队乐于助人精神的感召下，燃气平安使者们与老年志愿者结为一对一服务对象，上门为他们进行燃气安检、更换胶管和灶具检修等

义务服务，并将印有姓名、电话的《平安使者服务队便民服务卡》送给她们，方便联系。平安使者服务队共计对8户居民家中进行了室内燃气安全检查。针对社区出现的隐患和安全意识淡薄的情况，社区爱心小分队队长胡桂芬也表示，在以后的巡逻和义务服务中，会常提醒居民注意燃气的安全使用，传播燃气使用知识，提高社区居民的燃气安全意识。

(赵楠 侯旭 姜欣)