

液化天然气(LNG)混装的浅析与探讨

郑州燃气股份有限公司(450000) 马育国

摘要 LNG的特性决定了不同气源的产品不宜混装,但实际生产中可能会遇到不得不混装的情况。目前,这一课题的研究是一个空白,本文通过少量混装的尝试,对相关数据进行了分析,并提出了一些看法。

关键词 液化天然气 混装 安全

The Primary Analysis and Discussion of LNG Mixed Storage

Zhengzhou Gas Co.,Ltd,Zhengzhou MA Yuguo

Abstract The character of LNG results that products come from different place are not right to be stored together. But in the practicality work,you can meet the special condition that they must be stored together.The study of this problem is nothingness now.We attempted to mix a spot of them,analyzed the data and made a number of views.

Keywords LNG mixed storage safety

1 引言

近年来,在我国国民经济持续高速发展的同时,环境问题也日益突出,大气污染已成为我国社会经济进一步发展的制约因素。节能减排、保护环境是我国制定的基本国策,天然气作为公认的清洁能源,其利用将会在改善环境质量、调整能源结构等方面具有显著效益。随着陕北气田的开发和西气东输管线的建成,我国天然气工业进入了大发展时期。然而,在发展过程中,下游的速度明显超出了上游的速度,使得目前天然气的生产远远满足不了需求。尤其在受气源、地理条件限制而输气管网不能到达的地方,用气需求无法得到满足。针对这一问题,发展 LNG 工业是最为有效和经济的方式。同时,随着城市化进程的加快,城市规模快速扩大,燃气企业也需要一个更为有效的调峰、储气措施,LNG 也正好符合这一要求。要实现上述目的都需要对 LNG 进行存储,LNG 的特性决定了不同气源的产品不宜进行混装。然而,在特殊情况下,有时会面对不得不混装的情况。本文是在没有先例的情况下对混装的相关情况

及数据进行粗浅分析,旨在抛砖引玉,引起同行的关注,共同研究。

2 背景介绍

近几年,随着郑州市建设现代化商贸城步伐的加快以及环境治理力度的增大,天然气用量以每年 7 000 万 m³ 的速度猛增。但由于国家发改委对天然气分配指标的调整,造成了郑州市在近 3 年~5 年内指标增量的落空。2005 年入冬后,郑州市曾出现过极为严重的天然气供应紧张局面,郑州燃气公司在积极协调气源的同时,迫不得已启动了应急预案,停限车用气和部分工商业用气。停限事件在社会上造成了较大的影响,为了应对可能再次出现的“气荒”局面,缓解供需矛盾,郑州燃气投资 1.39 亿元建成战略储配站 1 座,储罐由 2 台 1 750m³ 的 LNG 子母罐组成,储量相当于 210 万 m³,主要用作冬季调峰使用。该工程于 2006 年 3 月开工,2006 年 12 月投产。

不同气源的 LNG 不宜混装,否则易导致分层,

继而引发涡旋,严重时造成重大事故。由于此储配站的作用主要是为了冬季调峰,需要在夏季进行存储。在目前气源普遍紧张的情况下,公司面临着可能接收多种气源 LNG 的情况,而储罐只有 2 台,可能会遇到不得不混装的情形。鉴于此,寻求合理的混装方式及安全控制措施,对公司的安全生产就具有十分重要的实际意义和指导作用。而且,LNG 的混装研究目前是一个空白,此项研究的开展对整个 LNG 工业的发展也同样具有积极意义。

3 数据分析

在 2007 年,借助于生产安排的需要,对 LNG 进行了少量的混装尝试,并对混装前后的相关数据进行了记录和分析。

3.1 数据分析的依据

据有关资料显示,当发生涡旋时,下层被抑制蒸发的液体将大量蒸发,且往往同时伴随有表面蒸发率的骤增,BOG(蒸发气体的英文缩写,是由于热量传入储罐导致液体蒸发为气体而产生)大约可以达到正常情况下蒸发率的 250 倍 [1]。由此可见,BOG 的排量突变可以作为涡旋发生的一个判定依据。

故而,将 2007 年 1 月 1 日至 2008 年 5 月 21 日的 BOG 数据(此后由于 BOG 控制系统出现故障,其数据为非有效数据)做成 Excel 图表,以对比观察其排量的变化。见图 1、图 2。

3.2 数据分析

3.2.1 情况说明

2007 年 2 月 24 日以前,由于不断购进新疆广汇 LNG,故经常对储罐进行充液操作。24 日以后未再购进 LNG,储罐处于静置状态。

自 2007 年 9 月 7 日至 2007 年 11 月 8 日,由于工作需要,对 1#LNG 罐(原装有新疆广汇 LNG)充入了绿能高科 LNG。但由于危险性较大,混装量十分有限。

2007 年 11 月 9 日至 2008 年 5 月 21 日,未再购进任何 LNG,储罐处于静置状态。

3.2.2 标准的确定

由 2007 年 BOG 排量图可知,在 2007 年 2 月 24 日以前,BOG 排量基本在 $1\,000\text{Nm}^3$ 或更低水平,其后逐步上升,并维持在 $2\,000\text{Nm}^3$ 上下浮动。其原

因可归结为不断对储罐的充液操作,使储罐液体温度始终处在一个较低的水平,故而蒸发率较低。停止充液后,储罐在静置状态下,温度逐步上升,蒸发率也随之上升,达到 $2\,000\text{Nm}^3$ 时基本处于相对稳定状态。在 2008 年 BOG 排量图上同样可以看出,BOG 排量也维持在这一水平。由此可知,基本可以以这一排放量为标准进行分析。

3.2.3 混装的直观现象

同样由 2007 年 BOG 排量图可知,在 2007 年 9 月 7 日至 2007 年 11 月 8 日进行混装期间,BOG 排量波动较大,且平均水平高于 $2\,000\text{Nm}^3$,更高于非混装充液操作时的 $1\,000\text{Nm}^3$ 。由此可见,混装对 BOG 的排量造成了明显的影响。在停止混装后,BOG 排量又很快回落到 $2\,000\text{Nm}^3$ 的正常水平。

3.2.4 异常数据

在 2007 年 BOG 排量图上可以发现,2007 年 6 月 25 日 BOG 排量仅为 76Nm^3 ,26 日为 757Nm^3 ,远低于正常 $2\,000\text{Nm}^3$ 的水平。随后,在 27 日达到 $8\,327\text{Nm}^3$,28 日达 $7\,440\text{Nm}^3$,29 日达 $10\,816\text{Nm}^3$,30 日达 $11\,118\text{Nm}^3$,都远高于正常水平,7 月 1 日恢复正常。9 月 5 日仅为 319Nm^3 ,而 9 月 6 日高达 $14\,835\text{Nm}^3$ 。在 2008 年 BOG 排量图上也有一个明显的峰线,日期为 1 月 27 日,其量为 $16\,830\text{Nm}^3$,远高于正常水平;而此前 25 日的排放量仅为 781Nm^3 ,则远低于正常水平。

对比来看,3 个峰线的表现形式非常相似,即在爆发前都有一个明显的低量。据有关资料,出现涡旋前通常有一个时期其蒸发速率远低于正常情况。由此,可将 3 个峰线日期视为疑似涡旋点进行下一步分析。

3.2.5 涡旋假设分析

由于在对储罐进行充装时,液体得到了混合,不会发生分层,也就不会发生涡旋。所以在以 3 个疑似涡旋点进行分析时,应除去这部分时间。从停止充液的 2007 年 2 月 24 日至第一个疑似涡旋点的 6 月 27 日,大约经过了 120 天;从恢复到正常水平的 7 月 1 日至第二个疑似涡旋点的 9 月 6 日,仅有 68 天;从停止混装的 2007 年 11 月 9 日至第三个疑似涡旋点的 2008 年 1 月 27 日,则经过了 80 天。由此得出以下结论:

(1)3 次时间间隔相差较大,无规律可循。

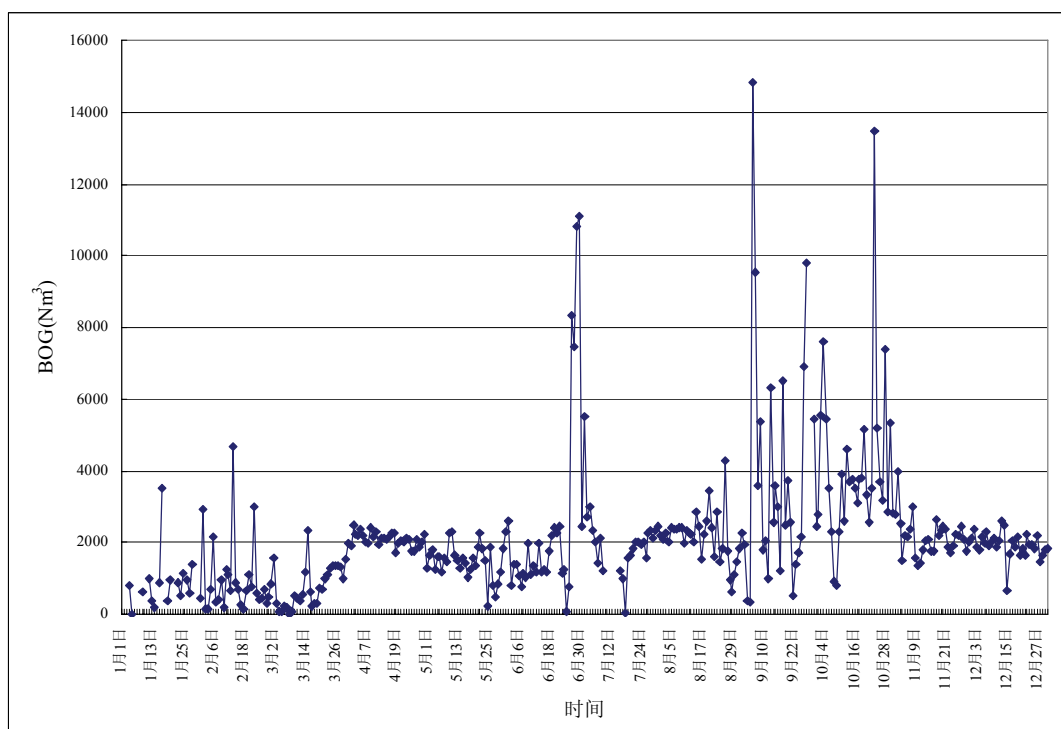


图1 2007年BOG排量图

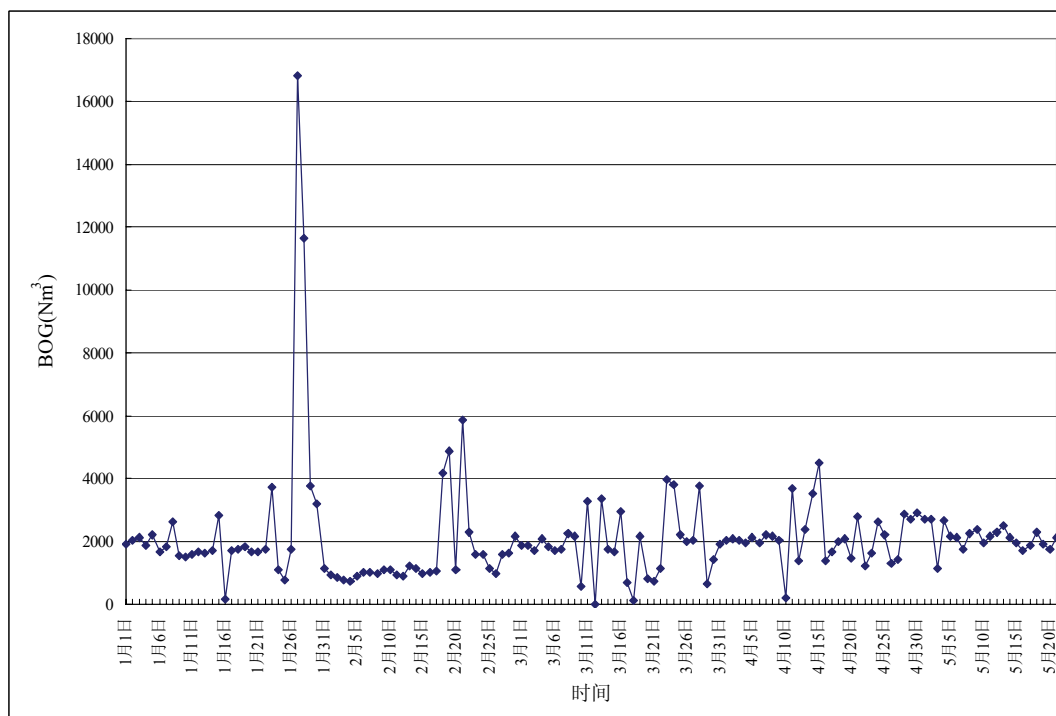


图2 2008年1月-5月BOG排量图

(2)疑似涡旋点的量能都远远低于有关资料所述的正常情况的 250 倍,这一现象不能很好解释。

(3)在三个疑似涡旋点,安全阀并没有打开,与

相关事故案例不符。

(4)1971 年 8 月 21 日的意大利涡旋事故是在充注 18h 后发生的,时间较短,而我们的三个疑似点都

经过了数十天。如果将原因归结为老化所致,则有关资料显示,老化本身导致分层的可能性并不大,也即老化导致涡旋事故的可能性不大。

(5)如果在三个疑似涡旋点实际并未发生涡旋,则突变的 BOG 排量就需要一个合理的解释。

4 结论

4.1 可行性推断

从前述混装的直观现象来看,在混装期间虽然 BOG 的波动较大(这其中有卸车增压的因素),但结束混装后,BOG 很快恢复到以往的正常水平,说明混装实际上并未造成明显的影响,在实践上是可行的。

然而,必须说明的是,由于危险性较大,此次的混装量是十分有限的,数据分析的指导意义也很有限。对于其波动幅度远高于非混装充液操作时 BOG 的波动幅度则不能忽视,说明在混装时应严格进行监控,防止超压。

4.2 BOG 排量解释

由于充注时,将密度小的绿能高科 LNG 以下进液方式注入储罐,这样,两种 LNG 充分混合,不会产生分层。由此推断 3 个峰线产生的原因可能是液体内部因老化出现多个分层(从时间间隔上也可判断分层是老化所致,因为老化的时间一般较长),当其中个别分层之间发生涡旋时,BOG 排量不会达到前述的 250 倍一说。有关分析也表明^[1],一般情况下,密度差大于 0.5kg/m^3 时即认为发生了分层,也即很小的密度差就可导致涡旋的发生,所以存在多个分层的可能性是较大的。

4.3 混装的方法

按有关资料所述^[1],老化造成分层的可能性并不大。但依据前述分析,老化可能导致多个分层的存在,只不过其局部的涡旋所造成的后果完全在可控制范围内,这也许就是为什么有关资料显示老化导致涡旋事故的可能性不大,进而认为老化造成分层的可能性不大的原因。由此看来,导致涡旋事故的分层多产生于不同气源 LNG(密度不同)混装时。所以在混装过程中,选择合适的充装方法就显得至关重要,如果在充装过程中能够使两种 LNG 充分混合,

则在以后的储存过程中可能不会引发涡旋事故。为避免造成事故,这一方面未能通过试验的方式进行更为深入地研究。但依据有关资料,可以采用以下方法^[1]:

(1)密度相近时一般选择底部充注;

(2)将轻质 LNG 充注到重质 LNG 储罐中时,宜选择底部充注;

(3)将重质 LNG 充注到轻质 LNG 储罐中时,宜选择顶部充注。

所以,在充注前,检测两种 LNG 的密度和温度是非常必要的。

4.4 存储的安全控制

无论是否混装,长期存储时都应注意存储量的问题。

用瑞利数进行计算,其公式如下^[1]:

$$Ra = \frac{\rho c_p g \beta \Delta T h^3}{\nu \lambda} = \frac{g \beta \Delta T h^3}{\nu \alpha}$$

其中, ρ 为密度; c_p 为定压比热容; g 为重力加速度; β 为体积热膨胀系数; ν 为运动粘度; λ 为热导率; α 为热扩散率; ΔT 为温度; h 为液体深度。

如果 Ra 小于 2 000,则罐内的自然对流不够充分,会引起分层。通常,装满 LNG 的储罐的 Ra 的数量级为 10^{15} ,远远大于可能导致分层的 Ra 数。

通过瑞利数计算出安全的液体深度 h,确保 Ra 大于 2 000,使储罐内有充分的自然对流。

4.5 分层的消除

这里提供几种方法,仅供参考。

(1)快速输出部分液体:实践表明,这是一种较好的方法^[1]。

(2)搅拌:通过内置的搅拌器进行搅拌^[1],但需视设备情况而定。

(3)充装:通过下进液的方式进行充装,对液体进行扰动,相当于搅拌。

(4)倒罐:操作复杂。

参考文献

- 1 敬加强,梁光川,蒋宏业.液化天然气技术问答[M].北京:化学工业出版社,2007.
- 2 顾安忠,鲁雪生,汪荣顺,等.液化天然气技术[M].北京:机械工业出版社,2006.