

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2016.09.003

液化天然气储罐内BOG存量 及产生速率计算方法

□ 华南理工大学化学与化工学院 (510640) 王炳淇
□ 深圳中燃哈工大燃气技术研究院 (518033) 聂廷哲 高华伟 解东来

摘 要: 目前液化天然气场站监控系统缺乏对BOG存量及产生速率的监控模块。对这两个变量的监控,可提高场站运行的经济性和安全性。本文提出了一种基于储罐气相空间温度、压力以及液位计算罐内BOG存量及产生速率的方法。步骤包括:计算BOG临界压力、临界温度、对比压力、对比温度、压缩因子、BOG水容积以及最终的BOG存量。本文通过对一段时间内BOG存量的线性拟合,得到BOG的产生速率,以一个实例演示了计算过程。

关 键 词: LNG储罐 监控数据 BOG存量 BOG产生速率

A Method to Calculate the Volume and Generation Rate of BOG in LNG Storage Tanks

Wang Binqi, Nie Tingzhe, Gao Huawei, Xie Donglai

Abstract: Currently the LNG station control system lacks the monitor module of BOG volume and generation rate. Monitoring of these two variables can improve the economy and safety operation of the station. A calculation method is proposed to calculate the volume and generation rate of BOG in LNG storage tanks based on vapor space temperature, pressure and liquid level. The calculation steps include: calculating BOG critical pressure, critical temperature, relative pressure, relative temperature, the compressibility factor, water volume of BOG, and the final standard volume of BOG. By linear fitting the BOG volume to time, BOG generation rate can be obtained. The method is showcased by a typical case.

Keywords: LNG storage tank monitoring data volume generation rate

1 概述

液化天然气(LNG)储罐是液化天然气运输和储存必不可少的装备。由于LNG储存时的温度特别低,对储罐的保温性要求特别高^[1]。当储罐进行储气运行

时,无论保温层做得多好,都无法避免热量从外界传入罐内,导致罐内LNG气化及气体温度升高,使储罐内气体压力增加。当压力超过安全设定值时会使安全排气阀打开排除气体,造成大量天然气的浪费。如果罐内气体压力增长过快,还会造成非常重大的安全事

故^[2]。因而对储罐内BOG的状态进行监测,计算BOG实时存量及产生速率,可以为生产运营提供数据,从而降低运营成本、避免安全事故。

目前的LNG场站监控系统所测数据大同小异,主要监测潜液泵池温度,潜液泵进出口压力,储罐液位、体积、重量,储罐进出口压力温度,储罐内温度压力以及其它附属设备的参数信息,缺乏对BOG存量及产生速率计算和显示的模块^[3]。如果能够通过现有的监控数据计算出储罐内BOG存量及产生速率^[4],对于储罐的安全运行以及合理调度,是极其有益的。

2 BOG存量及产生速率的计算方法

计算BOG存量及产生速率所需的数据包括:储罐内天然气的组分及体积百分数 $y_1, y_2, \dots, y_n$, 采样时间 t 时刻的站控数据:气相空间温度 T_{BOG} 、储罐压力 P (表压)、储罐液位 L 。计算BOG实时存量方法如下:

①根据储罐内LNG各组分体积组成,按式(1)和式(2)分别计算其临界压力 P_c (绝压)、临界温度 T_c :

$$P_c = y_1 P_{c1} + y_2 P_{c2} + \dots + y_n P_{cn} \quad (1)$$

$$T_c = y_1 T_{c1} + y_2 T_{c2} + \dots + y_n T_{cn} \quad (2)$$

式中: P_{c1}, P_{c2}, P_{cn} ——天然气各组分的临界压力,可从相关文献中查阅^[5];

T_{c1}, T_{c2}, T_{cn} ——天然气各组分的临界温度,可从相关文献中查阅^[5];

y_1, y_2, y_n ——天然气各组分的体积分数。

②根据式(3)计算对比压力 P_r ,式(4)计算对比温度 T_r 。

$$P_r = \frac{P}{P_c} \quad (3)$$

$$T_r = \frac{T_{BOG}}{T_c} \quad (4)$$

③查阅相关文献^[6],根据 P_r, T_r 查得混合气体压缩因子 Z 。

④计算实时BOG水容积 V_{BOG} 。根据储罐厂家提供的换算表格,可得液位 L 与实时LNG体积 V_{LNG} 对应关系,然后根据式(5):

$$V_{BOG} = V_{总} - V_{LNG} \quad (5)$$

计算得到实时BOG水容积 V_{BOG} ,式中 $V_{总}$ 为储罐总容积。

⑤根据式(6)将 V_{BOG} 转换为标准状态下体积,可得LNG储罐内BOG存量 V_N :

$$V_N = V_{BOG} \frac{P}{P_0} \frac{T_0}{T_{BOG}} \frac{1}{Z} \quad (6)$$

式中 P_0, T_0 分别为标准状态下的压力(绝压)、温度。

⑥通过以上5个步骤,可通过站控数据计算得出每个采样时刻对应的 V_N 。据此进一步计算BOG的产生速率,方法如下:

选取采样时刻前 m 个时间点的 V_N 数据。为了平衡数据的实时性及稳定性,过滤采样误差对数据的影响, m 以10分钟时间段内超过10个数据为宜,即采样频率高于1次/分钟的10个以上数据,并且该采样时间段内,储罐无BOG排放、加液等操作。

采用最小二乘法,对 $V_N(1 \sim m), t(1 \sim m)$ 进行线性拟合如式(7):

$$[a, b] = \text{linerfit}(V_N, t) \quad (7)$$

表1 储罐液位与 V_{LNG} 对照表

液位/mm	LNG体积 V_{LNG}/m^3	液位/mm	LNG体积 V_{LNG}/m^3
0	0	550	29.8317
50	0.914	600	33.3808
100	2.5731	650	36.9150
150	4.6973	700	40.4050
200	7.1781	750	43.9427
250	9.9369	800	47.1273
300	12.8888	850	50.2973
350	16.0865	900	53.2784
400	19.3934	950	56.0381
450	22.8078	1 000	58.8210
500	16.2976	1 020	59.4170

可得 V_N 随时间变化的线性关系如式(8):

$$V_N = a \times t + b \quad (8)$$

其中得到的 a 即为该时刻下BOG产生速率。

3 计算实例

以某场站一个 60m^3 的储罐系统为例,储罐总容积 $V_{\text{总}}=60\text{m}^3$,厂家提供的该储罐液位与LNG体积对照关系如表1所示:

根据上游液化天然气供应商提供的数据,储罐内天然气的组分及体积百分数如表2所示:

表2 罐内天然气组分及体积分数

组分名称	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	N ₂	CO ₂
体积分数 y_i	0.975	0.002	0.002	0.016	0.005

根据站内监控数据,在2015-5-2 9:44:00这个时刻,其气相空间温度 T_{BOG} 为 -135.23°C ,压力 P 为 0.43MPa (表压),液位计示数 L 为 671.3mm 。

根据以上数据,计算该时刻下BOG存量的过程及结果如表3所示:

表3 实例计算项目及结果

计算项目	公式	单位	结果
临界压力 P_c	(1)	MPa	4.63
临界温度 T_c	(2)	K	191.16
对比压力 P_r	(3)	—	0.115
对比温度 T_r	(4)	—	0.706
压缩因子 Z	查压缩因子图 ^[6]	—	0.86
BOG水容积 V_{BOG}	(5)	m^3	21.60
BOG存量 V_N	(6)	Nm^3	261.52

由表3可得此时刻2015-5-2 9:44:00下,该储罐内BOG存量为 261.52Nm^3 。

从2015-5-2 9:35:00到2015-5-2 9:44:00以分钟为间隔选取10个点的站控数据如表4所示,此时间段内无BOG排放和加液等操作,计算所需的监控数据储罐压力、储罐温度、储罐液位分别列于表4的第二、三、四列,对10个时间点的数据分别重复①~⑤的计算过程,计算得到相应的BOG存量列于表4第五列。

然后根据式(7)(8)对表中BOG存量数据进行

表4 时间与站控数据及BOG存量对应表格

日期 时间	储罐压 力/MPa	储罐 温度/K	液位 L	BOG存量 V_N/Nm^3
2015/5/2 9:35	0.43	-135.23	685.5	256.81
2015/5/2 9:36	0.43	-134.89	684.2	256.94
2015/5/2 9:37	0.43	-135.76	684.0	258.56
2015/5/2 9:38	0.43	-134.84	681.3	258.43
2015/5/2 9:39	0.43	-134.64	680.7	258.96
2015/5/2 9:40	0.43	-134.59	677.6	259.47
2015/5/2 9:41	0.43	-134.65	676.7	259.53
2015/5/2 9:42	0.43	-134.47	673.9	260.08
2015/5/2 9:43	0.43	-134.58	672.9	260.67
2015/5/2 9:44	0.43	-134.28	671.3	261.52

线性拟合,得到:

$$V_N = 0.484 \times t + 256.40 \quad (9)$$

即在该时间段内,BOG实时产生速率为 $0.484\text{Nm}^3/\text{min}$ 。

4 结论

阐明了一种利用现有LNG储罐站控系统数据计算储罐中BOG存量及产生速率的方法,结合实际案例对该计算方法进行了展示。如果这种方法能集成于现有LNG储罐站控系统中,对于LNG场站的安全运行、经济运行将有重要意义。

参考文献

- 1 朱学熹. 大型LNG储罐漏热分析及模拟研究[D]. 西南石油大学, 2012
- 2 陈雪, 李明. LNG储罐内BOG动态模拟研究[J]. 油气储运, 2008; 27(11): 36-40
- 3 房树萍. LNG储罐的监测和控制系统[J]. 化工自动化及仪表, 2010; 37(5): 114-117
- 4 深圳中燃哈工大燃气技术研究院有限公司. 一种计算LNG储罐内BOG存量及产生速率的方法, 中国 201610225 058.2[P]
- 5 朱自强. 化工热力学[M]. 化学工业出版社, 2010
- 6 段常贵. 燃气输配[M]. 4版, 北京: 中国建筑工业出版社, 2011