

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2016.06.002

LNG储罐预冷的热力学研究

□ 武汉市天然气有限公司 (430033) 王子敬 肖嵩 黄英

摘 要: 预冷作为储罐运行前最为重要的步骤,能否顺利的预冷对储罐将来的安全运行至关重要。本文以一台150m³的立式储罐为例,对其建立热力学模型,计算预冷所需时间,并与实际预冷作对比,为制定符合我公司储罐的预冷方案提供模型支持和改进措施,提高安全生产系数。

关键词: LNG储罐 预冷 热力分析

Thermodynamic Analysis of Precooling LNG Storage Tanks

Wang Zijing, Xiao Song, Huang Ying Wuhan Natural Gas Co., Ltd

Abstract: As the most important procedure before working of storage tanks, whether precooling could adopt smoothly is vital to storage tanks motion. This essay give an example of 150m³ vertical tank, built a thermodynamic mode for rhe tank, calculated precooling time and compared it to the reality one, to provide the model support and improvement measures for the precooling scheme of the storage tank of our company and improve the safety factor of production.

.Keywords: LNG storage tanks precooling thermodynamic analysis

1 引言

LNG储罐材料多采用低温性能优异的奥氏体不锈钢,但是奥氏体不锈钢的膨胀系数较大,温度变化较大时会因为应力过大而导致罐体材料或连接部位产生损坏,所以在LNG进入罐体之前应进行预冷。据有关文献的统计,LNG储罐绝大部分事故的发生都是在预冷和装料的过程中,所以一个合理的预冷方案是确保安全预冷的前提。本文对LNG储罐的预冷过程进行热力计算,通过分析预冷过程中温度和冷却速度随时间的变化趋势,为LNG储罐的预冷提供数据支持和相关注意事项。

2 物理模型

武汉市天然气有限公司LNG气化站共有6台LNG储罐,其结构形式为立式圆筒形双层壁结构,两层中间采用真空粉末绝热并采用四支腿支撑的方式,储罐的主要参数如表1。

3 数学模型

3.1 预冷计算的假设

在整个预冷过程中,几乎包含了所有的传热形式,若要完全准确的计算储罐的换热过程几乎是不可

表1 LNG储罐参数

全容积	157.9 m ³	容器内径		3 200/3 700mm		容器高	~ 22 000mm	
材料	内壳体	06Cr19Ni10	厚度	内壳体	12/10mm	壳体重量	53 449kg	
	内封头	06Cr19Ni10		内封头	12/10mm	内件重量	/	
	外筒体	Q345R		外筒体	10/12mm	充装重量	117 949kg	
	外封头	Q345R		外封头	14/12mm	最高允许工作压力	内容器	
设计压力	内容器	0.66MPa	设计温度	内容器	-196℃		外壳	0.6MPa
	外壳	-0.1MPa		外壳	50℃		夹套	真空
	夹套	/		夹套	/	夹套	/	

能的，为简化计算，现对预冷过程做几点假设：

(1) LNG储罐在预冷的过程中压力是不断变化的，但如果时间节点无限细化，并在编程的过程中将时间节点编辑的足够小，可以认为在整个过程中一直处于恒压过程。

(2) 储罐外壁温度与环境温度相同，储罐内壁与介质的温度相同。

(3) 热流沿着储罐半径方向密度远远大于垂直于半径方向的热流，因而假设只有半径方向上有温度梯度，热量按照一维径向传导。

整个传热过程可以分为3个阶段。第一个阶段：环境中的空气与储罐通过对流换热进行能量交换；第二阶段：储罐外壁的热量通过辐射和传导的方式与内壁进行能量交换；第三阶段：储罐内壁的热量通过对流换热的方式与储罐内部的介质进行能量交换。（见图1）



图1 LNG储罐的传热模型图

3.2 预冷计算

有实际气体状态方程：

$$dm = \frac{Pv}{ZRT^2} dT \quad (1)$$

式中： P —储罐内的绝对压力，Pa； V —储罐体积，m³； m —储罐内气体的质量，kg； Z —压缩因子； R —气体常数，J/(k·kg)； T —储罐内温度，K。

由质量守恒定律，进入储罐的质量等于储罐内氮气的变化量加上流出的质量：

$$Gdt = G_0dt + dm \quad (2)$$

式中： G —液氮的质量流量，kg/s； G_0 —排气口的质量流量，kg/s； τ —储罐的预冷时间，s。

将(1)式带入(2)得：

$$Gdt = G_0dt - \frac{Pv}{ZRT^2} dT \quad (3)$$

在瞬时状态下，储罐内的热量保持平衡，设的 $d\tau$ 时间内温度降低了 dT ：

液氮气化吸收的热量：

$$Q_1 = c_1 G d\tau \quad (4)$$

氮气升温吸收的热量：

$$Q_2 = c_2 G d\tau (T - T_f) \quad (5)$$

储罐升温吸收的热量：

$$Q_3 = -Ac_3 m_3 dT \quad (6)$$

储罐气体降温放出的热量：

$$Q_4 = -c_4 m dT = -c_4 \frac{Pv}{ZRT} dT \quad (7)$$

式中： C_1 —液氮的气化潜热，kJ/(kg·k)； C_2 —氮气的比热容，kJ/(kg·k)； C_3 —储罐内壁材质的比热容，kJ/(kg·k)； C_4 —储罐内气体的比热容，kJ/(kg·k)； A —储罐保温材料放热的当量系数。 T_f —氮气的沸点； m_3 —储罐材料的质量。

由热量平衡方程: $Q_1+Q_2=Q_3+Q_4$ 得:

$$dT = \frac{c_1 G + c_2 (T - T_f) G}{Am_3 c_3 + c_4 \frac{Pv}{ZRT}} d\tau \quad (8)$$

将(8)式带入(3)式得出液氮流量和储罐温度的关系式:

$$G = \frac{Am_3 c_3 T^2 + \frac{Pv}{ZR} c_4 T}{Am_3 c_3 T^2 + \frac{Pv}{ZR} (c_2 T_f - c_1)} G_0 \quad (9)$$

将(9)式带入(8)式得储罐温度和预冷时间的关系:

$$dT = \frac{[c_1 + c_4 (T - T_f)] T^2}{Am_3 c_3 T^2 + \frac{Pv}{ZR} (c_2 T_f - c_1)} G d\tau \quad (10)$$

4 储罐预冷实际数据的验算分析

根据以上物理模型和数学模型对预冷过程中的受热进行分析,采用计算机编程的方法进行动态模拟,可以预测出储罐的预冷时间和储罐的耗氮量,不仅可以节约成本和时间,也能为制定储罐的预冷方案提供理论依据,并与站控真实数据进行对比,来检验模型的正确性,为储罐容积为150m³左右的小型储罐提供理论和现实依据。

从图2可以看出,在储罐预冷的过程中,大致可

以分为3个阶段,在第一个初始阶段中是低温的氮气与罐内常温气体和罐体的换热,这一过程模拟和实际都在合理的误差范围内。

在第二紊流阶段中却出现了不一样的现象,通过理论计算的模型中,储罐的温度是一直在下降的,而储罐实际下降的温度与模拟的数值是在合理的误差范围内,但是有一个区间段,储罐的实际温度与模拟的温度出现较大的偏差,我们分析这是因为通过上进液的方式将液氮从上至下的过程在空间中已经气化,而不是在到达储罐的底部后再升温气化,因而在一段比较长的时间内,液氮吸热产生的气体在储罐内形成了回流,即低温气体在下沉的过程中又被后一股更加低的气体所排挤,并从储罐上部排除,这种回流阻碍了储罐底面与内部低温液体的对流换热,而此时储罐底面的空间还在继续与周围的环境换热,因而使得中间的较长时间段内,储罐的温度一直无法下降。所以此时,我们如果改用下进液的方式来取代上进液的方式,可以缩短预冷的时间,这是因为低温液体进入储罐后在底部慢慢吸热,气体温度越低则密度越大,因而下部的液体永远比上部的液体低,这样一层一层的往储罐上端挤压,再通过储罐上端的气相阀排除,使得整个预冷过程中在这一时间段内就可以大大的节约时间、节约液氮,降低了预冷成本,提高安全系数。

在第三个平稳阶段中低温的液氮与罐体已经完全融合,罐体的温度也已经基本降低到-120℃左右,可

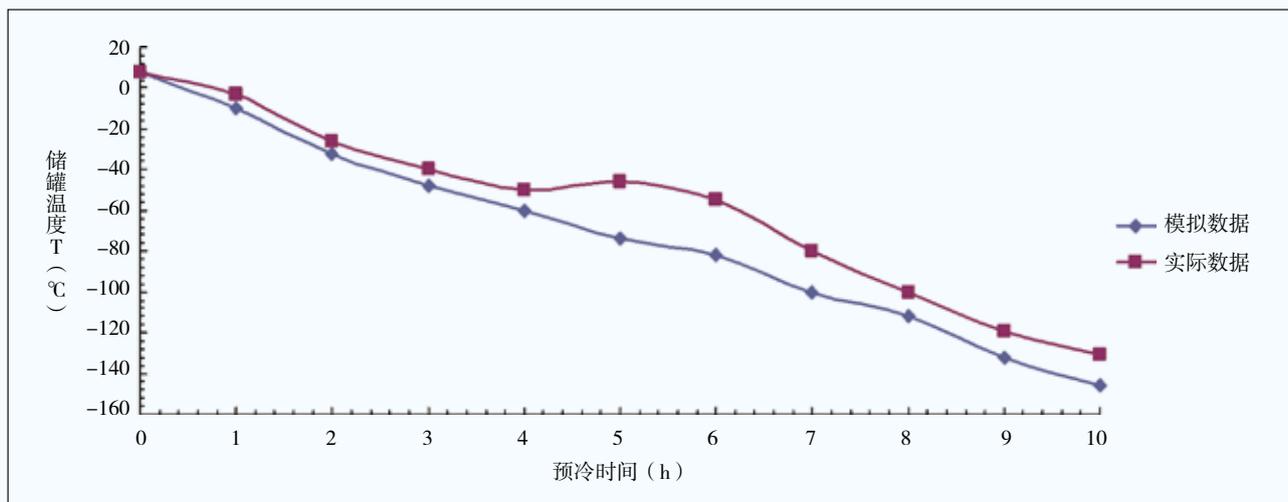


图2 储罐温度变化表

天然气市场短期负荷预测技术特点与发展方向探讨

□ 中国石油天然气股份有限公司规划总院 (100083) 郝迎鹏 孙春良 赵忠德 陈进殿

摘 要: 天然气短期负荷波动受气象变化、节假日、重大社会活动以及企业检修、停产等多种因素影响,不同供气企业对未来短期负荷的关注点不同。随着计算机的快速发展,在传统预测理论上,人工智能预测、组合预测方法的出现,提高了短期负荷预测的精度。结合国内外天然气市场发展及预测技术应用现状,分析了当前国内天然气市场预测面临的问题,指出细分历史负荷数据、多角度建立预测模型进行组合预测,完善关键信息上报渠道是未来我国天然气市场短期预测的发展方向。

关键词: 短期负荷预测 精度 组合预测 应用 发展方向

1 引言

预测是对事物未来的演化预先做出科学的推测,

其关键在于选取合适的数学模型描述事物自身的发展规律,并结合外在因素变化,对事物发展做出定性或定量判断^[1]。随着计算机技术的快速发展及大数据时

以缓慢充装液氮,预冷完成。

5 结论

(1) 由于LNG储罐在充装LNG之前需要用液氮对储罐进行一次预冷过程,在目前没有一个可靠的预冷模型之前,本文建立了LNG储罐预冷计算模型,模拟了预冷过程中储罐的温度变化情况,并与实际的进行对比,找出预冷过程中可以改进的地方。

(2) 将储罐的预冷过程分成三个阶段,分别为初始阶段、紊流阶段、平稳阶段,而紊流阶段将比较与以往的预冷手段提出了一种新的方法,把上进液改成下进液可以有效的节约时间,提高预冷效率,节约成本提高安全系数。

参考文献

- 1 顾安忠. 液化天然气技术[M]. 机械工业出版社, 2004
- 2 陶文铨. 数值传热学(第二版)[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2001
- 3 梁平. 天然气操作技术与安全管理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012
- 4 付明宇, 李恒星. LNG储配站的预冷[J]. 煤气与热力, 2009; 29(6): 17—21
- 5 张新建, 陈美全, 姚佐权. 大型LNG单容罐保冷结构设计及绝热验算[J]. 化工设备与管道, 2012; 49(3): 20—23
- 6 兰书彬. 液化天然气气化站的预冷技术[J]. 城市燃气, 2006; 12(3): 19—22