

车用 LNG 抽真空系统及工艺浅谈

周炳水,章宇庆

(中国联合工程公司,浙江 杭州 310022)

摘要:介绍了车用 LNG 气瓶及其生产工艺流程,重点分析现有抽真空及加热方式存在的问题,提出了加热抽真空系统改进的方案,提高了内外筒节夹层的抽真空效率,缩短了生产周期。

关键词:LNG;气瓶;加热抽真空

中图分类号:U464

文献标识码:B

文章编号:1672-545X(2014)07-0177-03

随着世界性能源结构的调整,天然气在一次能源消费中所占的比例越来越大,天然气具有资源丰富、利用广泛、使用方便、排放清洁等特点,特别是它作为环保型燃料更为人们所青睐,以代替煤、油等污染较重的燃料。天然气在汽车上的应用,大大降低了尾气有害物质的排放,成为城市解决大气污染的重要途径。

近两年笼罩在中国大地上的雾霾天气,极大的加快了 LNG(液化天然气)作为汽车动力燃料的应用进程。LNG 在汽车上的应用具有很多的优点:

(1) LNG 通过净化处理几乎除掉了天然气中的全部杂质,纯度高,甲烷含量为 97.5%~99.5%,LNG 燃料成分的单一性和一致性有利于发动机压缩比等设计参数的确定;

(2) LNG 气瓶为具有绝热夹层的压力气瓶,储存温度为 $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$,储存压力最大为 1.50 MPa,并且因为真空绝热夹层的存在,安全可靠;

(3) 使用 LNG 可以充分利用其低温特性降低混合气的温度,从而降低燃烧温度,提高发动机的热效率,同时降低 NO_x 的排放;

(4) 使用 LNG 易于使发动机对负荷变化获得更好的响应性。

本文针对车用 LNG 储罐制作过程的夹层抽真空系统进行研究,通过实践检验形成一套完整可靠的系统,达到 LNG 气瓶制作关键的抽真空工艺能耗小、成本低、产品质量稳定的目的。

1 车用 LNG 气瓶及工艺简介

车用 LNG 气瓶是作为一种低温绝热压力容器,

设计有双层(真空)结构。内胆用来储存低温液态的液化天然气,在其外壁缠有多层绝热材料,具有超强的隔热性能,同时夹套(两层容器之间的空间)被抽成高真空,共同形成良好的绝热系统。外壳和支撑系统的设计能够承受车辆在行驶时所产生的相关外力。

内胆设计有两级安全阀在超压时起到保护作用。在超压情况下首先打开的是主安全阀(开启压力为 1.59 MPa),其作用是减少由于绝热层和支撑正常的漏热损失导致的压力上升或真空遭破坏后以及在失火条件下的加速漏热导致的压力上升。副安全阀(开启压力为 2.41 MPa)的压力设定点较主安全阀高,在主安全阀失效或发生堵塞时,副安全阀启动。

外壳在内部超压条件下的保护是通过一个环形的抽空塞来实现的。如果内胆发生泄漏(导致夹套压力超高),当压力达到 0.1~0.2 MPa 抽空塞将打开泄压。万一抽空塞发生泄漏将导致真空破坏,这时可以发现外壳出现大面积结水珠甚至结霜现象。

典型的车用 LNG 气瓶工艺如图 1 所示,含 20 多道工序,总的工艺时间为 8 天。

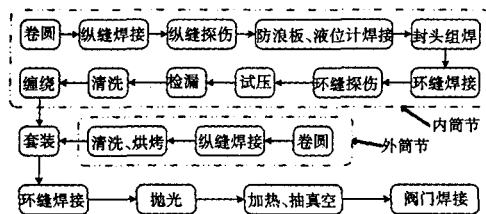


图 1 车用 LNG 气瓶生产工艺流程

2 加热抽真空系统

车用 LNG 气瓶内胆内液体温度为 $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$,外筒节为常温,所以需要低温绝热。高真空加多层绝热

收稿日期:2014-04-18

作者简介:周炳水(1967—),男,汉族,浙江杭州人,高级工程师,学士,主要从事专用设备设计研究。

纸,因绝热性能好、工艺简便获得广泛应用。

在影响多层绝热性能的诸多因素中,真空度起到十分关键的作用。研究表明,当真空度较低,即 $P > 10 \text{ Pa}$ 时,真空度变化对热导率的影响不大;当真空度为 $10^{-1} \sim 10^{-2} \text{ Pa}$ 区间,随着真空度的提高,热导率急速下降;当真空度优于 10^{-3} Pa 时,热导率趋近恒定值。因此,一般夹层的表观真空度要优于 10^{-2} Pa ,多层绝热才能充分发挥效果,达到良好的绝热目的,如图 2 所示。

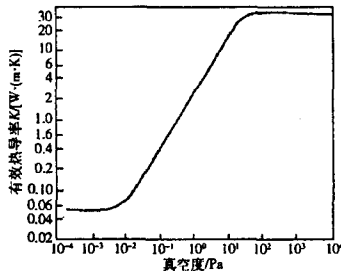


图 2 多层绝热的表观真空度与有效热导率的关系

获取好的真空度成为制造优质高真空多层绝热容器的关键之一,这就对抽真空工艺提出了较高的要求。现有工艺仅有内加热方式或外加热方式。内胆内加热方式从蒸发夹层中隔热材料内的水分及夹层

内不锈钢板表面的水分等角度来讲要比外加热方式好,但是由于进入内胆内部空间的管子是弯曲的且管口非常小,直径只有 $8 \sim 13 \text{ mm}$,最多只有 2 个口子可以利用通入加热空气,因此加热风量非常小,而且由于内胆内部有电容式液位计,瓶内温度一般不超过 $150 \text{ }^\circ\text{C}$,所以要加热内胆及夹层,加热需要较长的时间。而且在夹层抽真空后,成了隔热层,外筒内壁无法获得较高的温度,水分子等气体分子逸出不充分,在工厂内抽真空完成并封瓶后,长期保持真空度性能受到影响。另外内加热方式加热用气体不循环利用,直接排放,能耗高。

纯粹的外部加热方式也是目前较常用的方式,但是从目前各家使用的状况来看,效果也不是太好,加热时间还是比较长的,主要是因为与内胆加热方式相比较,外部加热对内胆上的隔热纸不能形成直接的传热,不如内胆加热方式从绝热纸内表面直接传热给绝热纸使其中的水分逸出效果好,因此加热时间很长,延长了抽真空时间,使得生产效率降低。

根据高真空多层绝热的特点,抽真空系统采用图 3 所示方案,采用加热炉给气瓶外加热和内加热结合的形式,同时采用真空夹层高温氮气自动置换。

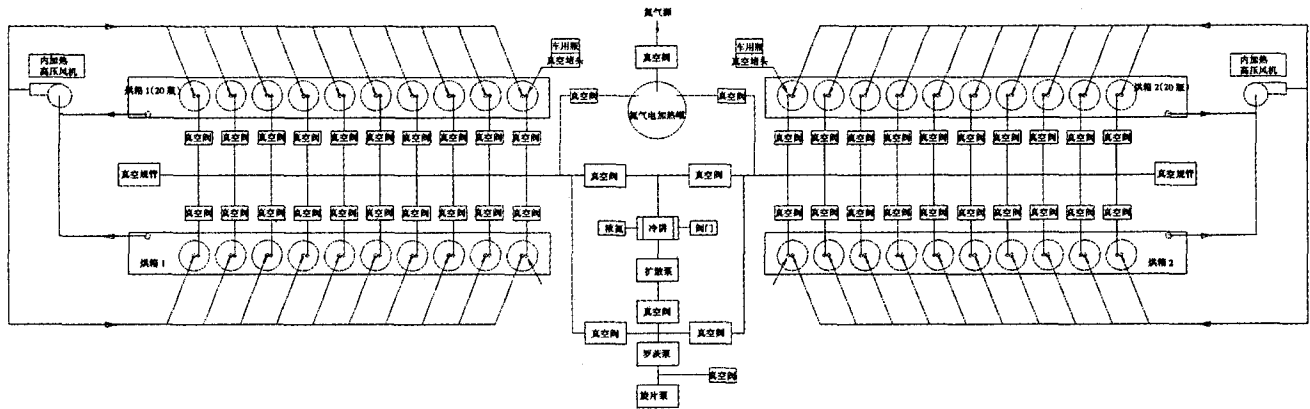


图 3 抽真空工艺流程

2.1 系统组成

如图 3 所示,抽真空系统主要由旋片泵、罗茨泵、扩散泵及相应的高真空阀门组成,扩散泵采用进口泵及高真空油,扩散泵的极限真空可达 $7 \times 10^{-6} \text{ Pa}$,阀门采用高真空阀门,整个系统必须保证漏率 $< 1 \times 10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

图 3 所示的结构使得系统使用比较灵活,采用 1 套抽真空泵组,节约了投资成本,采用左右 2 套加热系统可以使左右 2 套加热系统可以分开使用,也可以一起使用,当其中一套系统泄漏需要检查时,另一套仍然可以工作,当气瓶数量较少时也可以节约使用,并且抽真空系统主机放在中间位置可以减短抽

气管路,提高抽真空效率。

系统分左右 2 个烘箱,每个烘箱放置 20 个气瓶,烘箱热源为燃气直燃气循环加热,使烘箱温度达到 $150 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右加热气瓶外壁,气瓶的内加热通过吸取烘箱内热空气,向气瓶内胆吹气,排出的热气重新回到烘箱内,实现热空气在烘箱内循环。

系统中与气瓶抽真空口连接采用推拉阀,根据比较,推拉阀应采用波纹管密封方式,可大大提高系统的可靠性。自动控制系统实现加热、氮气置换、抽真空全过程自动完成。

2.2 抽真空基本工艺过程

抽真空的基本工艺过程如下:

(1) 首先对连接气瓶后的系统检漏,确保系统密封性能好。

系统检查合格后加热,气瓶内外同时加热,在此过程中,夹层内的气体随温度的升高,从夹层内逸出,并且随着气体膨胀通过抽真空管道自然逸出系统外。在加热一定时间后,粗抽真空,关闭扩散泵前的阀门,开启罗茨泵后的粗抽真空阀门,当达到一定的真空度后,关闭初抽真空阀门,停止抽真空。

(2) 然后开启加氮气管的真空阀,向系统注入热氮气,氮气温度 180℃左右,当系统压力达到约 0.1 MPa 时,停止充气,保压 3 个小时以上。

再重复上述过程,如此反复多次抽真空、冲热氮气,使得氮气充分置换系统及瓶内的残余气体,保证后续精抽真空的顺利进行。

(3) 当完成置换程序后,粗抽真空,真空度达到扩散泵启动的条件后,关闭粗抽真空管路,开启扩散泵管路,精抽真空到要求的系统真空度。最终系统真空压力必须达到 $<5 \times 10^{-4}$ Pa 的要求。

当系统达到封瓶要求后,逐一封瓶,封瓶时应注意系统真空度的变化,确保封瓶时系统真空度稳定。封瓶完成后应向管路系统内冲入 0.1 MPa 氮气,防止水汽进入。

2.3 加热方式

加热可以活化吸附剂,释放被吸附剂吸附的残余气体。在高温下,气体的分子动能加强,有利于逸出,同时高温加速了材料的放气速率,为日后真空度的维持提供了保障。

加热可采用燃气直接加热的方式,热气循环,内外筒体同时加热,热效率高,加热快,通过比较,比其他方式加热成本降低 30%以上。

内胆的加热采用在烘箱内部抽取热空气,通过

高压风机吹到气瓶内胆的内部,逐渐加热内胆筒体表面,并通过内胆钢板传热到缠绕在其外表面的绝热纸上,加速之内水分及其他气体分子的逸出,为缩短抽真空周期创造条件。

这样的内胆加热方式,不需要单独的热源,热空气在烘箱内部与气瓶内部之间循环,简化了加热系统,提高了能量的利用率,降低能耗。

2.4 热氮气置换

高纯度干燥氮气造价低,易于获取,且对环境无害,本系统采用高纯度高温干燥氮气置换夹层气体,可提高抽真空的效果。在向夹层空间通入置换氮气气体时,应注意以下几点:

(1) 置换氮气必须相当干燥;

(2) 置换氮气放进绝热腔时速度要缓慢,否则容易会冲坏多层绝热材料而恶化绝热性能;

(3) 采用经加热的氮气进行置换,可以防止水汽生成,又可以进一步活化吸附剂;

(4) 通入置换氮气后,应关闭各阀门,停止抽真空一段时间,使得夹层内充分换热及置换;

(5) 管路最好有保温层,在主管内,最好加一根加热管,使得氮气进入系统时保持较高的温度;

(6) 采用自动控制系统控制氮气置换过程,减少人为因素,提高质量稳定性,同时减少人力成本。

3 结束语

通过加热方式及抽真空系统优化改进,降低了生产能耗,提高了绝热夹层的抽真空效率,缩短了生产周期,提高了设备利用率,并且对日后使用过程中长期维持夹层的必要真空度,保证很好的隔热效果具有重要意义。

Vacuum System for Automobile LNG Tank and Processing Introduction

ZHOU Bing-shui, ZHANG Yu-qing

(China United Engineering Corporation, Hangzhou Zhejiang, 310022, China)

Abstract: To describe the automobile LNG tank and its processing flow, with intensive analysis on the problems in the existing vacuum system and heating method, form the solutions to the heating vacuum system, therefore, to improve the vacuum efficiency for the space between the internal tank and outer cylinder, and shorten the production cycle.

Key words: LNG; tank; heating vacuum system