

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2014.08.003

# LNG槽车与杜瓦瓶组联合运行技术在区域供气站的实践

□ 杭州市燃气集团有限公司 (310007) 高立鸿 王忠平

**摘要:** 介绍区域供气站的特点及应用方向, 阐述几种常规区域供气站的工艺特点, 提出并实践 LNG槽车与杜瓦瓶组联合运行技术。对运行过程中金属软管吹扫、存液估算、两种模式切换、过磅等工作中获得的经验进行了总结。

**关键词:** 区域供气站 槽车 杜瓦瓶组 联合运行

## The Practice of LNG Tankers and Dewar Group Joint Operation Technology in Area Gas Station

Gao Lihong, Wang Zhongping

**Abstract:** This paper introduces the features and application direction of area gas station, describes process characteristic of several conventional area gas station and proposes joint operation technology of LNG tankers and Dewar groups. What's more, it also sums up the experience in metal hose purge, residue estimates and switching between two kinds of mode.

**Keywords:** area gas station tankers dewar group joint operation

### 1 前言

随着我国能源结构调整进程的加快, 天然气市场吸引了国内外各种投资主体争先恐后的涌入。现有大型燃气企业以及民营资本也着力扩大生产规模, 扩大经营领域和范围, 以面对新进竞争对手。近几年, 城市燃气经营权的竞争迅速从一、二线大中城市蔓延至三、四线中小城市及中心乡镇和县级经济开发区。然而, 由于高压输气支线和门站建设投资巨大、建设周

期长, 因此, 在一定时期内, 投资规模小、占地面积小、建设周期短的区域供气站和点对点供气站已成为率先占领市场的主要方式。本文从浙江几个县域城市区域供气站入手, 分析了几种常规区域供气站的特点及应用方向, 探索并实践了槽车与杜瓦瓶组联合运营技术, 该工艺设计合理, 运行安全可靠, 是一种比较新型的LNG场站工艺系统, 特别适用于应急保障供气需求, 该系统已经在杭州周边地区成功实践, 为燃气企业在区域供气站的建设探索出了新的思路。

## 2 区域供气站的特点和应用方向

### 2.1 区域供气站的特点

区域供气站具有占地面积小、建设周期短、操作简单、技术成熟等特点,基本可以实现当年建设当年通气,因此在天然气输气管网暂未敷设的地区,建设区域供气站作为临时供气或者过渡气源是一种非常理想的选择。通常情况下,如果土地指标到位,建设一个供气负荷为 $500\text{m}^3/\text{h}$ 的区域供气站,总投资在1 000万元以内,最快建设周期仅3个月(含设备采购),场站占地面积一般不超过 $600\text{m}^2$ 。

### 2.2 区域供气站的应用方向

在我国,能源消费结构中天然气的占比仅为4%,很多地区仍未通上管输天然气,由于受到地理位置或经济条件的限制,在这些区域大面积敷设燃气管道的成本很高,投资回报周期会很长。以浙江省建德市为例,该市为典型的丘陵地貌,东西狭长,全市围绕G25高速公路形成3个相对集中的区块,如果敷设1条 $66.7\text{km}$ 连通整个区域的DN400中压干管,仅工程建设费用就高达2.98亿元,建设周期长达3年<sup>[4]</sup>。显然,在短期内,这3个区块各建1座区域供气站是最快速的市场进入方式。

从发展、投资与效益角度考虑,区域供气站主要有4个应用方向:一是经济欠发达的中小城市或距离大城市较远的中心乡镇;二是受城市产业结构调整而外迁的高污染高能耗工业园区或单个能耗较大、具有油改气潜力、经济效益较好的工业企业;三是位于山区或远离城市的风光旅游度假区;四是作为城市管网的调峰与应急保障。

## 3 常规区域供气站工艺系统比较

### 3.1 CNG储配站

CNG输配站场站工艺系统由CNG气瓶车、卸气柱、减压计量加臭装置、换热装置等组成,其工艺流程如图1。

压缩天然气气瓶车进入储配站后,首先通过卸气柱上的高压软管将CNG气瓶车与卸气柱连接,在减压调压装置内天然气经换热器加热,通过二级或三级调压,然后经计量、加臭后进入市政中压管网。热水循

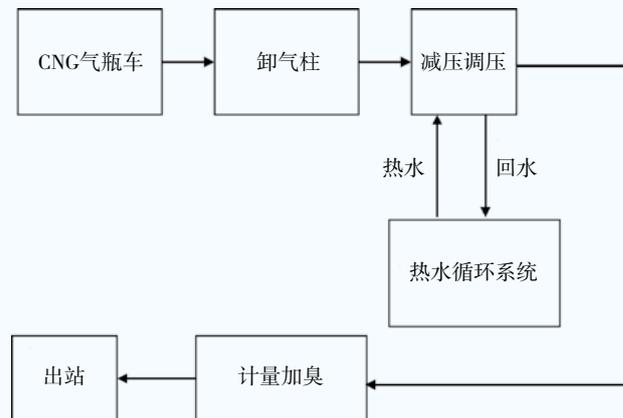


图1 CNG储配站工艺流程

环系统通常由热水锅炉、循环水泵、供水回水管路组成,功能是加热天然气,防止压缩天然气在减压过程中温度的急剧下降<sup>[2]</sup>。

优点:技术成熟度较高,工艺较为简单,天然气没有相变,运行可靠。

缺点:高压管道较多,管理和维护比较困难,安全风险高。CNG储配站的规模普遍较小,供气及调峰能力不强。另外,如果储配站周围 $200\text{km}$ 内没有CNG母站,则CNG气瓶车运行调度会比较困难。

### 3.2 LNG瓶组站

LNG瓶组气化站工艺系统由LNG杜瓦瓶组、气化器、调压计量、安全放散等组成,其工艺流程如图2。

在站区将LNG钢瓶通过金属软管与站区气、液相管道相连,利用钢瓶内的压力使LNG进入到空温式气化器,在气化器中液态天然气气化并加热,转化为气态的天然气,经过调压、计量、加臭后进入站后燃气

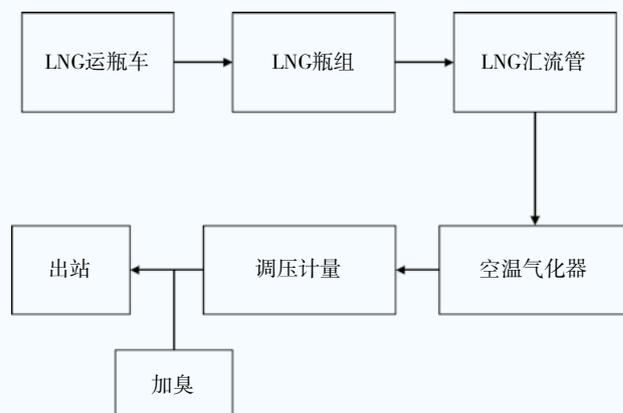


图2 瓶组气化站工艺流程图

主管道<sup>[3]</sup>。在LNG瓶组气化站内一般设置运行和备用两组钢瓶，且数量相同，当使用侧的LNG钢瓶的液位下降到10%以下时，切换到备用瓶组，用完的空钢瓶及时充装备用。

优点：LNG瓶组站具有集成度高，工艺简单，技术成熟，安装操作简便，占有场地小，建设周期短，投资省的特点，特别适合建成无人值守站<sup>[4]</sup>。

缺点：供气规模小，不适合调峰用。另外，由于钢瓶本体液位计非常容易损坏，估算钢瓶内存量比较困难，换瓶时机不容易掌握。实际运行中，还容易出现连接金属软管接头密封泄漏等故障。

### 3.3 LNG气化站

LNG气化站工艺系统由LNG槽车、LNG槽罐、空温式气化器、水浴式复热器、调压计量、安全放散等组成，其工艺流程如图3。

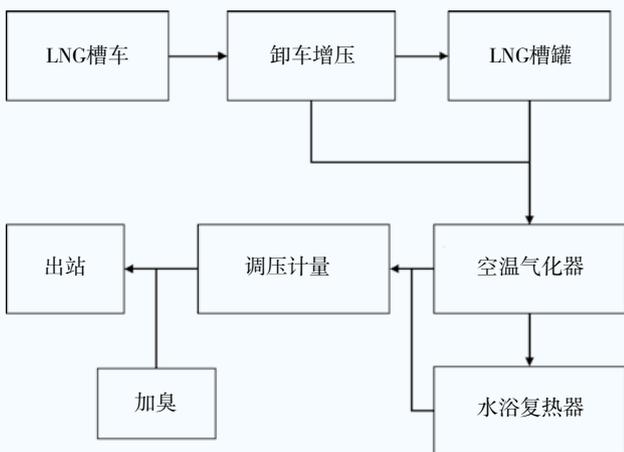


图3 LNG气化站工艺流程图

在站区内将LNG槽车与站内槽罐气、液相管道相连，用卸车增压器将槽车内压力增高，然后利用槽车与储罐间的压差将LNG导入储罐内。对外供气时，储罐内LNG出液进入到空温式气化器，在气化器中液态天然气气化并加热，转化为气态的天然气，经过调压、计量、加臭后进入站后燃气主管网。

优点：储气规模可以做得很大，一般LNG气化站做成150m<sup>3</sup>双真空粉末罐形式，储气量达16.2万m<sup>3</sup>。供气能力和调峰、应急保障能力强。

缺点：场地规模较大，工艺复杂，投资高，安全运行风险较高。对场站管理人员和操作人员的技术要

求高。

另外，还有一种比较少见的非常规LNG气化站，即槽车直供站。该气化站直接将LNG槽罐作为储罐，槽车通过卸车增压器维持罐内压力，槽车气、液相管直接与站内气、液相管连接，利用槽车内压力将出液进入到空温式气化器，在气化器中液态天然气气化并加热，转化为气态的天然气。

## 4 槽车、杜瓦瓶组联合供气技术

### 4.1 工艺系统及工作原理

槽车、杜瓦瓶联合供气站工艺系统由LNG槽车、杜瓦瓶组、气化器、调压计量、安全放散系统、BOG系统等组成，其工艺流程如图4。

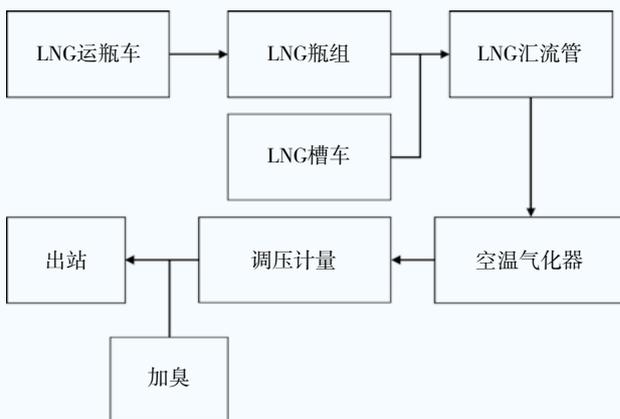


图4 槽车、杜瓦瓶联合运行气化站工艺流程图

槽车、杜瓦瓶联合供气站是瓶组站技术和槽车直供技术的结合，LNG槽车气、液相管与杜瓦瓶组气、液相管共同接在站内气、液相汇流管上。工艺设计上，汇流管起点预留LNG槽车法兰接口和切断阀门，利用杜瓦瓶自增压功能，将杜瓦瓶气相与瓶组撬气相汇流管连接，将LNG槽车气相管与瓶组撬气相汇流管连接。通过气相汇流管，使得杜瓦瓶气相与槽车气相通，在槽车罐内压力较低时，可开启杜瓦瓶自增压阀对槽车的增压。其工艺连接示意图如图5。

正常运行时，槽车内压力一般控制在0.4MPa~0.6MPa，出站管网运行压力为0.25MPa~0.3MPa，整个供气周期，槽车与出站管的压差基本可维持在0.2MPa~0.3MPa，这个压差可确保槽车正常卸液。

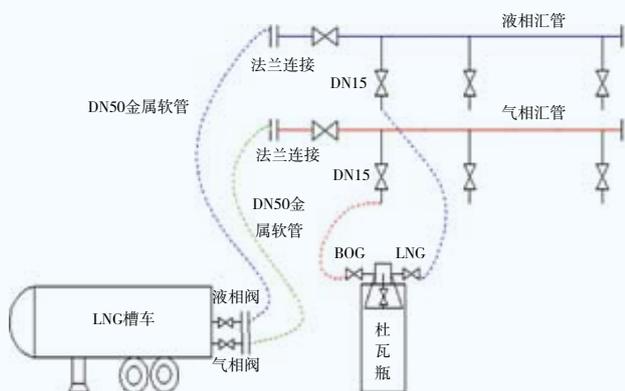


图5 槽车、杜瓦瓶联合运行工艺连接示意图

LNG通过汇流管并经空温式气化器加热后将 $-160^{\circ}\text{C}$ 左右的液态天然气变成 $5^{\circ}\text{C}$ 左右的气态天然气，再经过调压、计量及加臭等一系列工艺流程后输入区域供气管网，实际工艺设备连接情况如图6。



图6 槽车、杜瓦瓶联合运行气化站实景图

#### 4.2 联合站的特点

(1) 供气负荷大。标准的LNG槽车几何容积为 $52\text{m}^3$ ，实际充装率在90%左右，完全气化后可对外供气 $27\ 000\text{m}^3\sim 28\ 000\text{m}^3$ ，与杜瓦瓶联合运行后，供气能力提高到 $30\ 000\text{m}^3$ 。联合站供气能力是普通瓶组站的13倍左右，较强的供气能力使得LNG联合运行站可以发展较多的用户。

(2) 应急保障功能强。槽车、杜瓦瓶联合运营站可实现互为备用供气。正常情况下，小流量时采用瓶组供气、大流量时采用槽车供气。应急情况下，槽车和杜瓦瓶组两种供气方式可快速切换。

(3) 换车/换瓶不影响正常供气。单纯槽车直供

站和瓶组站对换槽车及换瓶组的时间控制要求很高。太早，存液还未用完，新槽车需要等待，相应地就要增加运营成本。太晚，存液已用完，新槽车还未到，场站面临停气危险。而槽车、杜瓦瓶联合运行方式，由于具有相互备用功能，因此，换车或换瓶的时机比较容易掌握，切换时也不会影响对外供气。

(4) 供气模式灵活。在发展初期，供气量较少的情况下，可以单独采用杜瓦瓶组供气。当瓶组供气能力不足时，可直接接上LNG槽车供气而不用对工艺系统作任何变动。

#### 4.3 运行参数设定

对于槽车、杜瓦瓶联合运行方式，运行参数的设定非常重要。根据LNG工艺设备参数和实际运行经验，一个设计流量为 $500\text{m}^3/\text{h}$ 的气化站，运行参数可按照表1设定。

表1  $500\text{m}^3/\text{h}$ 气化站工艺参数设定表

| 序号 | 设备名称     | 工艺参数   |
|----|----------|--|
| 1  | LNG槽车气罐  | 工作压力： $0.35\text{MPa}\sim 0.6\text{MPa}$ ；<br>手动放散压力： $\geq 0.65\text{MPa}$ ；<br>安全阀起跳压力： $0.74\text{MPa}$ |
| 2  | LNG槽车出液量 | 最大出液流量： $0.1\text{kg/s}$   |
| 3  | LNG杜瓦瓶   | 自增压压力设定值： $0.55\text{MPa}$   |
| 4  | BOG汇管    | 工作压力： $0.35\text{MPa}\sim 0.6\text{MPa}$   |
| 5  | LNG汇管    | 工作压力： $0.35\sim 0.6\text{MPa}$   |
| 6  | 主路调压器    | 出口压力设定值： $0.25\text{MPa}$  |
| 7  | 副路调压器    | 出口压力设定值： $0.22\text{MPa}$  |
| 8  | 超压放散调压器  | 放散压力设定值： $0.3\text{MPa}$   |
| 9  | BOG调压装置  | 进口压力高于 $0.6\text{MPa}$ ，手动开启BOG调压器阀门泄压；低于 $0.55\text{MPa}$ ，关闭BOG调压器阀门。                                    |

## 5 运行过程中的操作要点

### 5.1 槽车换车时机

LNG槽车换车时机是场站运行的核心技术之一，换车时机的好坏取决对槽车存液的精准估算。一般来说，从“叫车”开始到槽车抵达场站需要1天~2天时间，因此，槽车换车时机主要是对提前量的掌握，通常判断槽车需要更换的方法有以下几种：

(1) 液位表观察法。即观察槽车自带的液位

表,当液位接近于零的时候,表示槽车存液基本用完。但实际运行中,该液位表往往是不准的,一般液位计显示在30mm水柱以下时,表示存液基本用完。液位表只能作为参照,不能作为判断存液用完的定性指标。

(2) 压力观察法。即观察槽车运行压力,LNG槽车在不超过额定供气流量的情况下,槽车内的压力是非常稳定的,一般压力波动值在±0.02MPa,而当槽车存液快用完时,压力会非常明显下降。根据这一特征,就可以比较准确的得到换车时机。

(3) 存液估算法。根据每车气的气质报告和净重,估算出该车气的总储气量(等于净重乘以气化率),然后统计每天的外供气量,通过比较总储气量、外供气量和日平均供气量3个参数,可以比较准确地估算出槽车存液量多少和存液可供应时间。

实际运行中,以上3种方法往往是结合在一起使用,这样就可以准确把握槽车换车时机了。

### 5.2 瓶组换瓶时机

瓶组换瓶时机相对比较简单,因杜瓦瓶本身有1%~3%的自蒸发率,因此,换瓶时机选择槽车换车前2天~3天换瓶是最合适的,这样可充分利用杜瓦瓶的应急保障功能,降低灌装、运输杜瓦瓶成本。

### 5.3 槽车卸液操作要点

(1) 槽车过磅。正常装液的LNG槽车满装总重一般在49t左右,空车重量在29t左右。LNG贸易结算的通常规则是,误差低于1%按供应商发货单结算,高于1%按业主实际称重结算。因此,对于燃气公司来说,过磅是非常重要的。直供模式下,槽车罐体与车头是要分离的,结算一车气时,“满罐”与“空罐”为同一罐体,过两次磅,而满车车头与空车车头并不是同一车头,因此,过磅最精确的方法是只称“罐体”不称“车头”。

(2) 进站安全措施。主要有三项:一是槽车挂静电接地;二是槽车车轮枕木固定;三是槽车排气管放阻火器。

(3) 卸液软管吹扫。槽车卸液软管有不锈钢金属软管和不锈钢真空软管两种,无论采用何种金属软管,在与槽车及汇流管法兰连接前,必须进行吹扫。吹扫一般用氮气,吹扫目的是防止管内及管口法兰处水汽聚集。另外,运行中的软管拆卸时,表面往往有

大量冰霜覆盖,因此,在化霜和拆法兰盘螺栓时要特别小心,拆下的软管两头用干燥的毛巾塞住,防止水汽进入,等要安装时再拿掉毛巾。对于杜瓦瓶的连接软管,因管径小,管子短,直接用杜瓦瓶内的天然气顺吹或汇流管上的天然气反吹均可达到吹扫的目的。

### 5.4 杜瓦瓶增压槽车压力操作要点

杜瓦瓶自身带有自增压阀,该功能可为槽车气相空间增压。增压时,槽车气相管与参与增压的杜瓦瓶气相管通过气相汇流连通,杜瓦瓶先通过自带的增压阀提高钢瓶内压力,增压阀参数可以事先设定;运行时,关闭BOG排放,打开杜瓦瓶的气相阀,将钢瓶内BOG充入槽车气相空间,充气量的多少和充气速率可以通过增减投入的杜瓦瓶数量来控制。杜瓦瓶增压过程中要严密监视槽车压力,同时,在增压过程中,杜瓦瓶不能对外供气。

### 5.5 防“倒罐”操作要点

联合运行模式中杜瓦瓶液相和槽车液相存在互相“倒罐”的可能。因此,无论何种工况,槽车与瓶组必须只有一种对外供气方式,如果槽车与杜瓦瓶组运行模式要切换,必须遵循图7的操作流程。

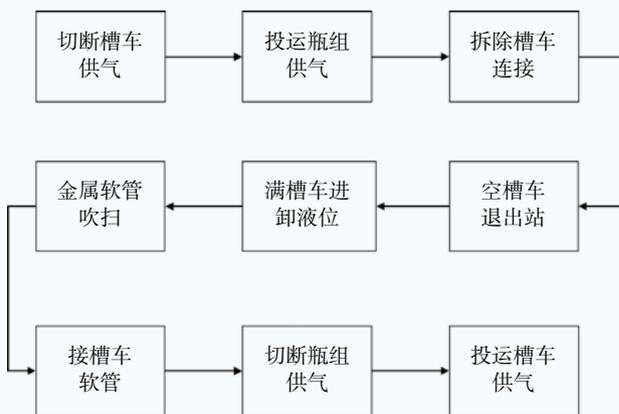


图7 槽车操作关键步骤

### 5.6 BOG控制要点

BOG主要来自槽车自蒸发BOG和杜瓦瓶自蒸发。BOG产生的速率取决于罐体保温性能和环境温度。BOG的产生会引起槽罐和杜瓦瓶压力升高,如不及时排放,超压运行时,会导致安全阀起跳,严重时还会引起储液设备破裂。连续对外供气工况下,BOG产生的量会非常少,BOG不会造成储液设备压力升高。

BOG控制的要点是在安全阀动作压力前手动排放。排放方式有两种：一种是通过BOG调压回路进入出站管网，一种是直接排空。BOG是一种低温气体，直接排空会产生LNG浪费，操作危险性也较高，因此，应优先利用BOG调压回路排入管网。

### 5.7 EAG控制要点

封闭管路LNG气化会导致EAG的产生，这种情况非常危险。系统设计上LNG管路两道截止阀之间安装安全阀，可防止误操作引起封闭段压力剧增造成管道及相关设备、仪表损坏。联合供气站最容易发生EAG事故的部位是槽车与汇流管之间的金属软管，这个部位没有安全阀，当两侧阀门关闭时，就会产生EAG将金属软管胀裂。因此，在金属软管外表未全部化霜情况下，软管两侧不能同时密闭。

### 5.8 易损件管理

场站内易损件主要是密封垫圈，由于LNG工艺系统的特点，在金属软管接头、低温阀门的密封元件四氟垫圈容易老化，多次使用后密封性能下降，需要经常更换。易损件管理的原则是多备勤换、进出库登记。

## 6 结论

LNG槽车、杜瓦瓶联合运营模式兼具瓶组站和LNG气化站的优点，具有供气能力强、供应方式灵活、投资规模适中、运行安全可靠的特点，特别适用于应急保障供气要求较高、但短期内无法连通长输管道气的地区，是一种比较新颖和实用的气化站工艺设计和运行模式。

### 参考文献

- 1 李威信. 建德市域天然气管线路由方案. 杭州市城乡设计院有限公司, 2013
- 2 管宏庆. 城镇压缩天然气储配站的建设[J]. 煤气与热力, 2007; 27(9): 22-24
- 3 孙浩, 王睿. LNG瓶组气化站区域供气方案[J]. 煤气与热力, 2008; 28(11): B20-B26
- 4 王海, 杨晓嵘, 魏敦崧. 南疆三地州乡镇气化方式的研究与实施[J]. 煤气与热力, 2013; 33(1): A27-A31

## 规划与发展

### 太原建电动燃气汽车产业基地

记者日前从山西省经信委获悉，山西省将重点打造三大新能源汽车产业基地。到2020年，全省新能源汽车产业预计实现产值500亿元。太原市已被确定为电动汽车产业基地和燃气汽车产业基地。

省经信委介绍说，省政府已通过《山西省新能源汽车产业重大项目布局推进意见》。将重点打造太原、晋中、晋城电动汽车产业基地，晋中、长治甲醇汽车产业基地，太原、运城、大同燃气汽车产业基地。到2020年，新能源汽车产能达41万辆，产销量21万辆，实现产值500亿元。

据了解，正在建设的山西新能源汽车园区，

占地面积约867 000m<sup>2</sup>，首批入驻企业将实施年产10万辆乘用车整车项目；山西新天地发动机制造有限公司，在国内首次采用多点电喷技术为整车生产企业配套发动机，实施年产10万台新能源发动机、变速箱项目。在太原，皇城相府宇航客车制造有限公司已开始自主研发、生产天然气公交车、纯电动城市公交车。太原作为全国第一批新能源汽车推广应用城市，在诸多方面获得国家政策和资金的支持。如在新能源汽车生产、购置、使用等方面获得补贴，充电设施建设获得财政奖励等。

(本刊通讯员)