

天然气输配过程流体压力能回收技术现状与展望

郑 志¹, 王树立¹, 王 婷², 宋 琦¹, 谢 磊¹

(1. 江苏工业学院油气储运技术重点实验室, 江苏 常州 213016 2 西南石油大学, 四川 成都 610500)

摘 要: 在天然气输配及其净化过程中, 存在许多需将高压流体经节流降压后输送、循环、排放等工序, 造成流体机械能的大量浪费和经济效益的巨大损失, 有悖于坚持节约高效、清洁环保的新型能源发展道路。以压力能回收为出发点, 对压力能回收机理及其设备装置进行了介绍和比较; 针对天然气输配现状, 遴选并分析了现行工艺流程改造、创新的技术经济性能; 展望了压力能回收的发展趋势和应用前景。结合天然气在液化石油气 (LPG) 中的储存特性, 提出了基于天然气管网压力能回收的天然气—LPG 储存调峰方案: 高压管道来气, 部分经冷冻 LPG 预冷, 在 LPG 罐中溶解储存; 其余气体经膨胀降温, 为天然气预冷和冷冻 LPG 循环提供冷量后进入低压管网; 当高峰用气时, 罐内压力降低, 天然气自动掺混一部分液化石油气供入配气管网, 从而使天然气管道长期均衡供气, 提高管道的利用系数。

关键词: 天然气; 压力能回收; 液化石油气; 冷量; 管网; 储存; 调峰

文章编号: 1006-5539(2009)01-0011-05

文献标识码: A

0 引言

天然气是当前世界上综合品质最高、应用最广泛的工业与民用燃气。同时, 天然气还是一种重要的化工原料。然而, 在天然气输配、净化等诸环节中, 存在许多工序, 需按生产工艺, 将高压流体经减压阀降压, 甚至直接排放。减压和排放过程中, 大量的流体机械能转化为热能散失在环境中。

在天然气长输管道城市门站的调压过程中, 高压天然气 (以西气东输为例) 需由 10 MPa 降压至 2.5~4 MPa, 甚至更低, 以配合各级输气管网的正常运行^[1]; 在天然气脱硫过程中, 离开吸收塔塔底的 MDEA 富液, 需由 4.8 MPa 经液位调节阀节流降压至 0.5 MPa, 随后进入闪蒸罐^[2]。如此多的潜在能量被白白浪费掉, 造成了巨大的经济损失, 有悖于坚持节约高效、清洁环保的新型能源发展道路^[3]。因此, 对余压进行回收的工业节能迫不容缓。本文即是在此背景下写成, 旨在分析、研究压力能回收机理及其措施, 展望其发展趋势和应用前景。

1 流体压力能回收的理论方法和技术手段

1.1 气体的节流效应

对气体而言, 当节流前的温度不是太高时, 节流不但导致其压力下降, 通常也导致温度的下降, 这种现象称为正节流效应, 也称为焦耳—汤姆逊效应^[4]。气体的节流效应在工程中有着广泛的用途, 利用正节流效应获得低温是一种很普遍的方法。通过节流阀对气体节流或通过膨胀机使气体降压都是工程上常用的气体降温方法。流体压力能回收主要是针对节流阀, 通过用回收设备替换之, 使流体余压得到回收, 甚至重复利用。

1.2 焓分析方法及其在压力能回收中的应用

焓是一系统从已知状态以可逆过程过渡到与环境大气相平衡时所具有的作功能力或所能转换的最大可用功。根据焓效率判断其利用情况, 找到焓损失率较大、提高潜力较大的某些子过程, 作为节能技术

收稿日期: 2008-10-06

基金项目: 江苏省教育厅基金资助项目 (04KJB440030)

作者简介: 郑 志 (1983-), 男, 福建三明人, 在读硕士研究生, 主要从事油气集输研究工作。电话 (0519) 3290280

©1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

改造的重点,此法称为能量系统的焓分析法^[5]。

利用焓分析法来评价天然气管网可利用的压力能是比较科学的。

从热力学角度分析,可将天然气管网看作一种开口系统。单位质量的稳定物流的焓焓为:

$$\epsilon_h = h - h_0 - T_0 (s - s_0) \tag{1}$$

式中: T_0 为环境温度, h_0 和 s_0 为物流在环境状态下对应的比焓和比熵, h 和 s 是物流所在状态下的比焓和比熵。

根据热力学中熵的关系式:

$$\Delta s_{1-2} = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{p_2}{p_1} \tag{2}$$

和开口系统稳定流动时焓焓的表达式,可得:

$$\begin{aligned} \epsilon_h &= h - h_0 - T_0 \left(c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{p_2}{p_1} \right) \\ &= h - h_0 - T_0 \cdot c_p \ln \frac{T_2}{T_1} + T_0 \cdot R \ln \frac{p_2}{p_1} \\ &= \epsilon_T + \epsilon_p \end{aligned} \tag{3}$$

其中, ϵ_T 为温度焓,

$$\epsilon_T = h - h_0 - T_0 \cdot c_p \ln \frac{T_2}{T_1} \tag{4}$$

ϵ_p 为压力焓:

$$\epsilon_p = T_0 \cdot R \ln \frac{p_2}{p_1} \tag{5}$$

压力焓相当于工质等温流动时由于膨胀做出的技术功。在同一输气管网压力下,能够回收的压力能随用户需求压力的差异而不同。

1.3 压力能回收方式与在役设备^[6~9]

工业中流体压力能回收的方式主要有以下四种:

- a 高压流体通过压力回收装置把压力能转化为机械能或电能;
- b 高压流体通过压力回收装置把压力传递给低压流体;
- c 将高压流体流经膨胀机时因节流效应产生的冷量进行储存、利用;
- d 上述方法的集成应用。

压力能的回收主要是通过压力能回收器和膨胀机来实现。设备情况见表 1~2。

表 1 压力能回收器

按工作原理分类	设计方式	能量回收形式	代表产品
离心式	分体式	压力能 机械能 ↓ 压力能	Francis Turbine Pelton Wheel Device Hydraulic TurboCharger
	一体式	压力能 机械能 ↓ 压力能	Hydraulic Pressure Booster, etc
正位移式	活塞式		Dual Work Exchanger Energy Recovery Dynamic Pressure Exchanger Pressure Energy System
	旋转直接接触式 阀控直接接触式	压力能 ↓ 压力能	Pressure Exchanger PX1, PXI Aquajyn's System Saftec DT System, etc

表 2 膨胀机

工作原理	按运动形式和结构分类	使用场合	利用方式	装置形式
利用气体膨胀降压时向外输出机械功使气体温度降低以获得冷量	活塞膨胀机	主要适用于高压比、小流量的中小型高、中压深低温设备	使气体在可变容积中膨胀,输出外功制冷	立式、卧式
	透平膨胀机	适用于大中型深低温设备	以气体膨胀时速度能的变化来传递能量	单级、双级;立式、卧式;冲动式、反动式

2 天然气输配环节的压力能回收

2.1 背景

近年来,我国天然气管网建设快速发展,预计到

2010年总长度将达到 4×10^4 km,且呈大口径、高压发展势。天然气经长输管道送至终端用户前,需经城市门站计量、调压、净化、加臭等诸工艺,然后配送给各级管网^[1]。在调压过程中,高压气体经节流阀绝热膨胀,降低压力,同时产生数量可观的冷量。传统工艺中,这部分能量并未得到充分地利用

而白白散失于环境中。在建设资源节约型、环境友好型社会进程中,回收利用上述能量具有重大的现实意义。

2 2 应用

2 2 1 天然气液化调峰方案

论立勇等^[10],提出了回收输气管网压力能的天然气液化调峰方案:在天然气管网的城市门站安装带膨胀机或者涡流管的天然气液化装置,用气低谷时充分利用供气管网间的压差,通过膨胀机或者涡流管等部件产生冷量用于天然气液化。生成的 LNG 输入储罐,用气高峰时将其气化起到调峰作用。

图 1 所示流程的液化率低,充分利用输气管道的压力差膨胀制冷,几乎不需要消耗电能,具有流程简单、设备少、调节灵活、工作可靠、易启动、操作及维护方便等优点。

图 2 所示流程不消耗额外的能量,充分利用管网的压力能,利用涡流管将压力能转化为冷量来液化天然气,具有造价低廉、结构简单、无运动部件、工作稳定、易操作维护等优点。

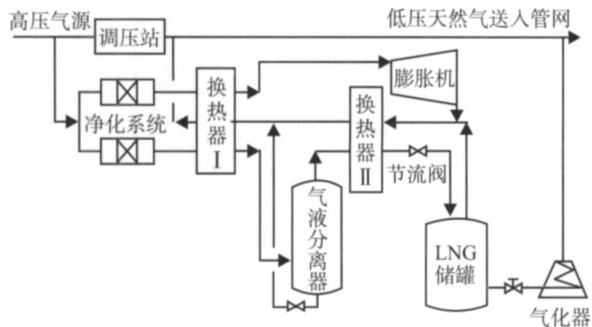


图 1 采用膨胀机的液化流程

2 2 2 燃气调峰和轻烃回收方案

熊永强等^[11],提出了利用管道调压过程中的压力能,采取膨胀制冷来液化天然气部分重质组分的流程,在改善城市燃气管网负荷,平稳天然气管网运行的同时,回收了天然气中的优质轻烃资源。

流程包括四部分:原料气预冷、预分离、膨胀制冷和气液分离(见图 3)。原料气经换热器预冷,部分液化,所形成的气液混合物送至分离器,等压绝热分别得到高压气、液相;高压气相经膨胀至中压,温度剧降,形成气液混合物;高压液相经节流阀,等焓

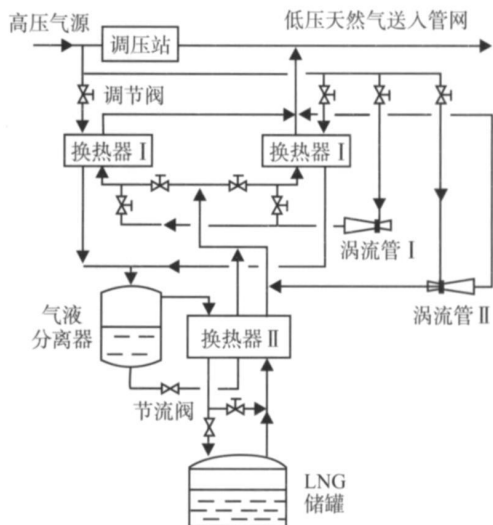


图 2 采用涡流管的液化流程

膨胀至中压,温度降低,形成气液混合物;两股气液混合物一起送到闪蒸塔中,分离得中压气相天然气和 LNG 前者作为原料气预冷冷源,换热后进入中压管网,后者输入罐中储存。

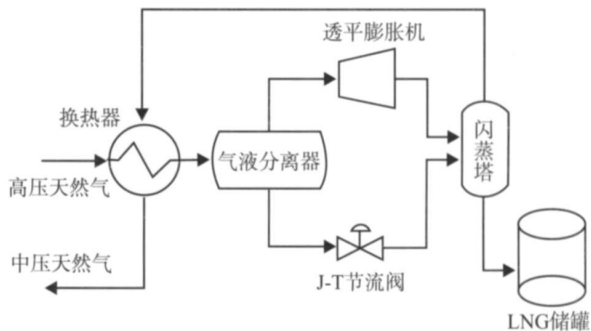


图 3 管道天然气液化流程

2 2 3 燃气—蒸气联合循环构思

王松岭等^[12],提出了一种燃气—蒸气联合循环系统,使天然气管网压力能得到回收,并提高了联合循环的效率和能源的综合利用率。

具体流程为:高压天然气首先通过膨胀机膨胀做功,膨胀后温度和压力都降低,然后通过空气进气冷却器,利用膨胀后低温天然气冷却进入压气机的空气,接着通过凝汽器,进一步吸收蒸气轮机排气热量,最后经过排烟余热回收器进一步加热后送入燃烧室与从压气机进入的空气混合燃烧(见图 4)。

2 2 4 废旧橡胶的低温粉碎

熊永强等^[13],研制了一种制冷装置,使高压天

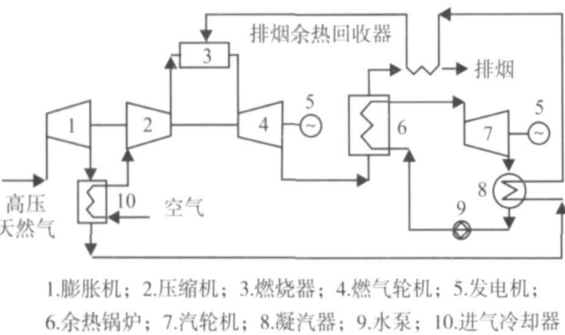


图 4 基于天然气管网压力能回收的燃气—蒸气联合循环系统图

然气调压过程的压力能得到有效的回收利用,并降低了废旧橡胶低温粉碎的成本。流程包括三部分:高压天然气预冷、压力能制冷和冷能利用(见图 5)。高压天然气被分成两股,其中一股通过气波制冷机降压产生低温,用于另一股高压天然气的预冷;预冷的高压天然气依次通过气波制冷机和透平膨胀机降压,能够产生 -100°C 以下的低温,再利用循环氮气作为冷媒为废旧橡胶粉碎提供冷源。

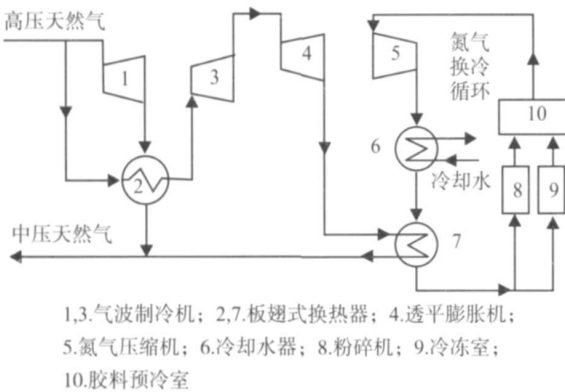


图 5 用于橡胶粉碎的高压天然气压力能制冷装置流程图

3 天然气在低温液化石油气 (LPG) 溶液中存储

笔者在分析、借鉴以上工艺流程设计的基础上,结合 LPG 的储存特点,提出了基于天然气管网压力能回收的天然气—LPG 储存调峰方案。

3.1 可行性研究

天然气可溶于丁烷、丙烷或这两种混合物的溶

剂中,且溶解度随压力的增加和温度的降低而提高。天然气溶解在液态 LPG 中使 LPG 体积增加,增量即为所溶解的天然气的液态体积。在冷冻 LPG 中溶解的天然气的相变,因而在液态 LPG 中存储所需的能量比天然气液化所需的能量大大降低,储存能力比相同压力、容积气态储存时高 4~6 倍^[14]。此外,它的设备和流程简单、易于操作管理,且安全性与经济性良好,适合用于调峰。

3.2 工艺流程

如图 6 所示:上游输送至门站的高压天然气被分为 a、b、c 三股。其中, c 股经 1 膨胀降压至中压,形成低温中压天然气,在 3 中与 b 股进行热交换,自身温度上升到 0°C 以上,进入中压输配管网,同时使 b 股获得冷量而降温。冷冻 LPG 经 5 泵送至 2 预冷 c 股;随后流至 7 与经过 4 深冷的 b 股进行热交换,降温回流至 6 完成 LPG 循环。同时 b 股升温至 0°C 以上,进入中压输配管网。

c 股进入 6 中储存,当用气高峰时,冷冻储罐内压力降至 0.5 MPa 以下, LPG 蒸发,在天然气接近用完时, LPG 经空混装置,自动掺入外供气体,使管网供气平稳、均衡,提高管道的利用系数。

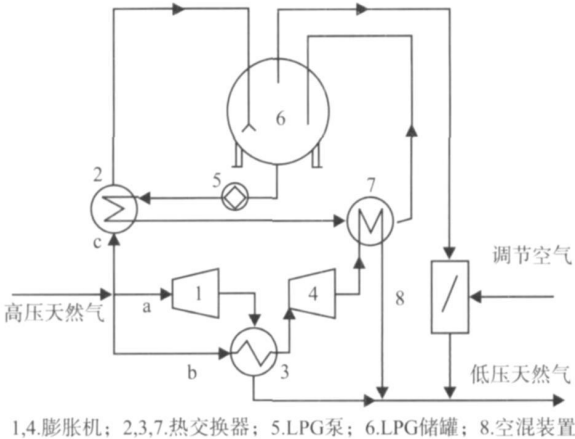


图 6 天然气—LPG 储存调峰工艺流程

表 3 冷量利用方式

直接	发电、低温空分、液化二氧化碳、海水淡化、空调制冷、冷冻仓库、低温养殖、栽培等
间接	用空分后得到的液氮、液氧、液氩,来进行低温粉碎、冷冻干燥、低温干燥、水和污染物处理、冷冻食品等

4 展望

节约资源是我国的基本国策,能源战略应长期坚持节约与开发并举,把节约放在首位。石化工业用能在能源消费中比例很高,节约潜力巨大,可在以下几个方面充分挖掘:

a 改进设备、完善工艺,减少余压的产出;

b 综合考虑、全面规划,选择最佳余压回收方案,优先考虑在本工序和本设备上利用;

c 根据管道压力等级进行逐级调压,梯级利用管网压力能;

d 丰富冷量利用方式(见表 3),积极开展技术经济性能研究;

e 建议开展压力能回收在天然气水合物储存中的研究,利用低温直接生成水合物。

参考文献:

- [1] 王树立,赵会军.输气管道设计与管理[M].北京:化学工业出版社,2006
- [2] 鞠茂伟,常宇清,周一卉.工业中液体压力能回收技术综述[J].节能技术,2005 23(6): 518-521,528
- [3] 江泽明.对中国能源问题的思考[J].上海交通大学学报,2008 42(3): 345-359
- [4] 严大凡,张劲军.油气储运概论[M].北京:中国石化出版社,2003
- [5] 俞伯炎,吴照云,孙德刚.石油工业节能技术[M].北

京:石油工业出版社,2000

- [6] Richard L. Stover. Seawater Reverse Osmosis with Isobaric Energy Recovery Device[J]. Desalination, 2007, 203: 168-175
- [7] Richard L. Stover. Development of a Fourth Generation Energy Recovery Device A CIO's notebook[J]. Desalination, 2004, 165: 313-321
- [8] Osmah M. Al-Hawaj. The Work Exchanger for Reverse Osmosis Plants[J]. Desalination, 2003, 157: 23-27
- [9] 中国化工设备网.膨胀机的概念与主要类型[EB/OL]. <http://www.ccep.net/tech/detail-12485.html>, 2008-04-07.
- [10] 论立勇,谢英柏,杨先亮.基于管输天然气压力能回收的液化调峰方案[J].天然气工业,2006 26(7): 114-117
- [11] 熊永强,华 贲,罗东晓.用于燃气调峰和轻烃回收的管道天然气液化流程[A].中国土木工程学会城市燃气分会气源专业委员会年会论文集[C].丹东:2005 146-151
- [12] 王松岭,论立勇,谢英柏,等.基于天然气管网压力能回收的联合循环构思[J].热能动力工程,2005 20(6): 628-632
- [13] 熊永强,华 贲,罗东晓,等.天然气管网压力能用于废旧橡胶粉碎的制冷装置[J].现代化工,2007 27(1): 49-52
- [14] 严铭卿,宓安琪,黎光华.天然气输配技术[M].北京:化学工业出版社,2006