

# Analysis on Pressure Energy Utilization Technology of Natural Gas Pipeline Network

Shuo Wang<sup>1</sup>, Jindong Sun<sup>2\*</sup>, Shunli Gao<sup>1</sup>, Jingjing Zhou<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Beijing Gas Group Co. Ltd., Beijing

<sup>2</sup>School of Environment and Energy Engineering, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing  
Email: \*[Sunjindong@bucea.edu.cn](mailto:Sunjindong@bucea.edu.cn)

Received: May 13<sup>th</sup>, 2015; accepted: May 29<sup>th</sup>, 2015; published: Jun. 5<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## Abstract

The natural gas pipeline network has great potential pressure energy which has not been developed yet. The energy analysis theory is used to calculate the total amount of available energy of the natural gas pipeline network. When the pressure and the temperature of the pipeline network are reduced from 10 MPa to 0.8 MPa and from 293.15 K to 210.15 K, respectively, the recyclable energy can reach 356.63 kJ/kg. For the natural gas pipeline network having annual gas transmission capacity of  $1500 \times 10^8 \text{ m}^3$ , the recyclable energy is equivalent to the annual power generating capacity of  $120 \times 10^4 \text{ kW}$ . This paper introduces various ways that the natural gas pipeline network pressure can use, and analyzes the existing problems of pressure energy utilization technology.

## Keywords

Natural Gas Pipeline Network, Pressure Energy, Utilization Technology

# 天然气管网压力能利用技术分析

王 硕<sup>1</sup>, 孙金栋<sup>2\*</sup>, 高顺利<sup>1</sup>, 周晶晶<sup>2</sup>

<sup>1</sup>北京市燃气集团有限责任公司, 北京

<sup>2</sup>北京建筑大学环境与能源工程学院, 北京

Email: \*[Sunjindong@bucea.edu.cn](mailto:Sunjindong@bucea.edu.cn)

收稿日期: 2015年5月13日; 录用日期: 2015年5月29日; 发布日期: 2015年6月5日

\*通讯作者。

## 摘要

天然气管网蕴含着巨大的压力能资源可供开发利用,利用焓分析理论计算了天然气管网可用能量,当管网天然气由压力10 MPa、温度293.15 K,降到压力0.8 MPa、温度210.15 K时,可回收压力能达到356.63 kJ/kg。对于年输气能力 $1500 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的天然气管网,可回收能量相当于 $120 \times 10^4 \text{ kW}$ 的电站一年的发电量。介绍了天然气管网压力能利用的各种方式,分析了压力能利用技术存在的问题。

## 关键词

天然气管网, 压力能, 利用技术

## 1. 引言

依据《BP Statistical Review of World Energy June 2014》统计数据[1],全世界天然气消耗3020.4亿吨油当量,占世界总能耗的23.73%;我国天然气资源消耗145.4亿吨油当量,占全国总能耗的5.1%;我国天然气消耗水平与世界天然气消耗平均水平相比还有很大差距。近年来,我国天然气发展势头迅猛,截止到2012年底,我国已建天然气管道约5.6万km,形成了由西气东输系统、陕京线系统、川气东送系统为骨架的横跨东西、纵贯南北、连通海外的全国性供气网络,“西气东输、海气登陆、就近外供”的供气格局已基本形成[2],干线管网总年输气能力超过 $1500 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。《天然气发展“十二五”规划》[3]促进了国内天然气需求的快速增长,我国天然气管网的建设步伐加快,长距离、大口径、高压力和网络化成为我国天然气输气管道总的发展趋势。国外长输管道压力大多在10 MPa以上,我国部分管网输气压力也达到了10 MPa。天然气由输送的高压管网到用户低压使用,要经过多级调压,造成大量的压力能损失,回收这部分压力能损失并加以利用,将有效提高管网运行经济性,提高能源利用率。

## 2. 天然气管网压力能利用基本原理

天然气由高压管网输送给用户低压使用,含有大量压力能可以利用。利用焓分析方法可以有效分析天然气管网可用压力能状况。焓是工质(例如天然气)的状态参数,是其能量中理论上能够可逆地转换为功的最大数量,即该能量中的可用能[4]。因而一定状态的天然气的焓是指其具有的最大理论作功能力,可表示为:

$$e_x = c_p(T - T_0) - T_0 \left( c_p \ln \frac{T}{T_0} - \frac{R}{M} \ln \frac{p}{p_0} \right) \quad (1-1)$$

式中:  $e_x$  ——天然气比焓, kJ/kg;

$c_p$  ——天然气定压比热容, kJ/(kg·K);

$T$  ——天然气温度, K;

$T_0$  ——环境温度, K;

$R$  ——摩尔气体常数, 一般取 8.3145 kJ/(kmol·K);

$M$  ——天然气的摩尔质量, kg/kmol;

$p$  ——天然气压力, MPa (绝对);

$p_0$  ——环境压力, MPa (绝对)。

对于管道天然气焓受到环境温度、系统压力等因素的影响，管网天然气压力越高，焓值越大。由于高压管网输气压力一般在 10 MPa，温度一般在 293.15 K，当通过绝热膨胀把压力降低到 0.8 MPa，温度为 210.15 K 时，通过降压天然气能够提供的焓为：

$$\begin{aligned} \Delta e_x &= c_p (T_1 - T_2) - T_0 \left( c_p \ln \frac{T_1}{T_2} - \frac{R}{M} \ln \frac{p_1}{p_2} \right) \\ &= 1.93(293.15 - 210.15) - 293.15 \left( 1.93 \ln \frac{293.15}{210} - \frac{8.3145}{16} \ln \frac{10}{0.8} \right) \\ &= 356.63 \text{ kJ/kg} \end{aligned} \quad (1-2)$$

以干线管网总年输气能力超过  $1500 \times 10^8 \text{ m}^3$  为例进行计算，则该管道天然气可回收的焓为：

$$\begin{aligned} E_x &= 356.63 \times 1500 \times 10^8 \times 0.7174 \times 273.15 / 293.15 \\ &= 357600 \times 10^8 \text{ kJ} \end{aligned} \quad (1-3)$$

这相当于装机容量接近  $N = 357600 \times 10^8 / 8760 / 3600 \approx 120 \times 10^4 \text{ kW}$  的电站一年的发电量。但这部分能量的利用在国内尚未引起足够的重视。如果能采用适当的方式回收利用，将能在很大程度上提高能源利用率和天然气管网运行的经济。我国天然气管网快速发展，高压管网天然气余压余能回收利用愈加迫切。

### 3. 天然气压力能利用技术

目前，国内外对于燃气管道余压余能利用的研究方兴未艾。日本利用天然气压力能发电已实现产业化，欧美及俄罗斯等国家利用天然气管道压力能液化天然气技术比较成熟[5]；国外研究方向主要在于天然气管网压力能梯级利用技术研究和利用设备效率研究，国内研究相较国外明显滞后，现在依然局限于压力能利用方式及实际应用研究，国内对于天然气管道压力能利用的成功案例还比较少，天然气管道压力能利用的研究潜力还比较大。

#### 3.1. 高压管网压力能膨胀发电技术

利用高压管网压力能直接膨胀发电是较为直接的利用方式，由于高压天然气经过燃气透平膨胀带动发电机发出电来后，天然气温度急剧降低，当天然气温度低于  $0^\circ\text{C}$  会造成天然气中水蒸气凝结而影响输运，因而，要对高压天然气加热升温，再对降压后的天然气进行再热升温。高压天然气直接膨胀发电流程如图 1 所示。

#### 3.2. 高压管网天然气压力能用于燃气 - 蒸汽联合循环发电系统

高压管道天然气压力能燃气 - 蒸汽联合循环发电系统把天然气管道余压应用与燃气轮机、蒸汽轮机紧密结合，最大程度实现了系统化用能，有效地提高了能源的综合利用效率[6]。高压天然气经过膨胀机膨胀做功后形成低温低压天然气，把低温低压天然气送入进气冷却器，在进气冷却器中冷却进入压气机的空气，而在进气冷却器中升温的天然气进入凝汽器，进一步吸收蒸汽轮机排气余热从而温度进一步升高，再经过排烟余热回收器进一步吸热后天然气温度进一步升高，升温后的天然气被送入燃烧室与空气实现混合燃烧，推动燃气轮机发电。这种系统天然气管道压力能回收利用的燃气 - 蒸汽联合循环系统流程如图 2 所示。

#### 3.3. 高压管网天然气压力能用于天然气液化技术

高压管网天然气压力能制冷用于天然气液化工艺主要是将高压管网天然气经过燃气透平膨胀降压同时带动压缩机制冷，利用制冷系统再对经过燃气透平后的低温天然气冷却使之液化，从而实现对工艺管

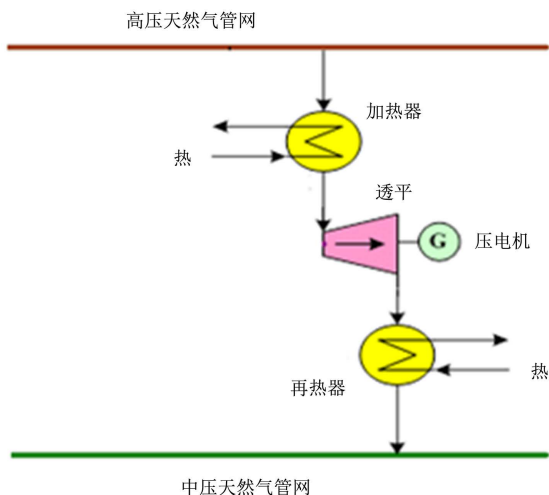


Figure 1. High pressure natural gas pipeline network direct expansion power generation process  
图 1. 高压天然气管网直接膨胀发电流程

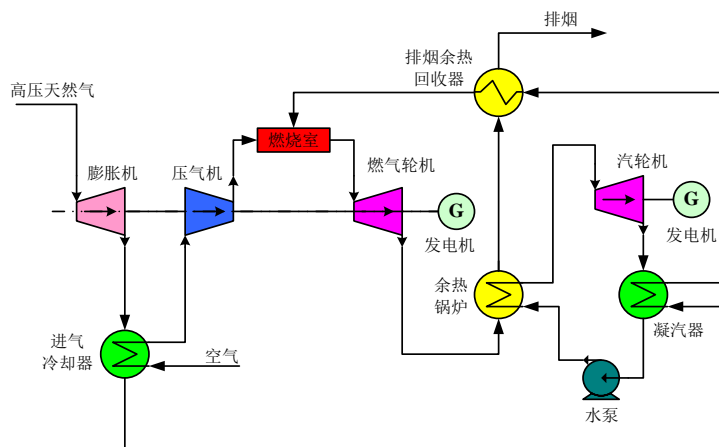


Figure 2. Gas-steam combined cycle power generation system of high pressure pipeline network  
图 2. 高压管网天然气燃气 - 蒸汽联合循环发电系统流程

网天然气压力能的充分利用[7]。利用天然气压力能实现天然气液化的流程如图 3 所示。

### 3.4. 利用高压管网天然气压力能粉碎橡胶技术

由于橡胶的脆化温度为 $-70^{\circ}\text{C}$ ，废旧橡胶的粉碎处理工艺过程需要低温环境，将高压天然气经过换热器 1 预冷到 $-23^{\circ}\text{C}$ 后，送入气波制冷机和透平机膨胀减压到 0.5 MPa，温度降到 $-111^{\circ}\text{C}$ 的中压天然气把常温下氮气冷却到 $-102^{\circ}\text{C}$ ，低温氮气应用于橡胶冷冻和粉碎[8]。利用天然气管道压力能用于橡胶粉碎的技术可以有效降低废旧橡胶低温粉碎的成本，高压管网天然气压力能用于橡胶粉碎工艺流程如图 4 所示。

### 3.5. 其它利用方式

国内关于高压管网天然气压力能的研究还有用于天然气水合物(NGH)技术、轻烃分离和回收技术、冷库和制冰技术等。利用管网压力能樊栓狮等[9]开发了制备天然气水合物新技术，郑志等[10]丰富了利

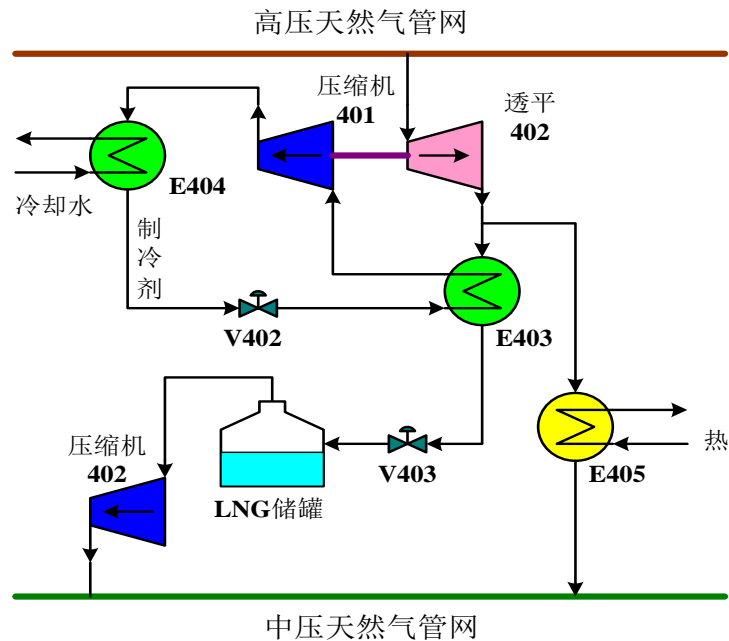


Figure 3. Natural gas liquefaction process using natural gas pressure  
图 3. 利用天然气压力能的天然气液化流程

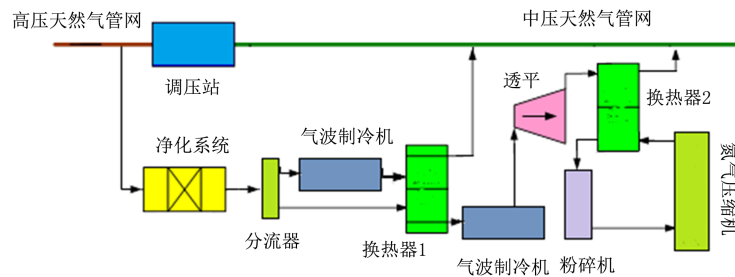


Figure 4. High-pressure natural gas pressure can be used for rubber crushing process  
图 4. 高压管网天然气压力能用于橡胶粉碎工艺流程

用天然气管网工艺冷能用于制备天然气水合物的技术;申安云等[11]提出了利用天然气压力能的轻烃分离方法,主要是利用高压天然气降压过程产生的冷能冷却进入脱甲烷塔的高压天然气,实现轻烃分离,可以有效回收轻烃资源;采用气波制冷技术回收天然气降压过程中产生的冷能,用于冷库和制冰,经济效益明显[12]。

总体而言,尽管压力能利用方面的理论研究较多,但实际工程应用现状并不乐观,国内的实际工程案例较少。深圳燃气集团留仙洞压力能发电制冰项目是国内首个压力能利用项目,该项目发电功率 200 kW,制冰量 80 t/d,年节电效益达 208 万元,经济效益相当可观。为了落实国家工作余压余热合理利用的政策,有必要针对目前这种现状归纳统筹,指出其存在问题并提出解决措施,为我国压力能利用项目提供参考依据,促进相关节能减排工作展开。

#### 4. 天然气管网压力能应用技术分析

根据天然气管网压力能利用技术原理的不同,天然气压力能应用技术主要是包括压力能发电和压力

能制冷两大类。

天然气管网压力能通过透平膨胀机发电，具有占地小、可行性高的特点，广泛适用于城市天然气管网压力能回收利用。利用调压示范站的调压前后气体的压差发电供场站内部的场站照明、远程监控和冬天伴热等所需电力，解决场站中目前急需解决的现实问题，具有重要的现实意义。但是在天然气管网压力能发电技术方面也存在着一些问题，由于高压管网天然气的使用要高压-中压-低压的调压过程，城市门站和调压站相对分散，建设大型天然气压力能发电系统比较困难，适合于调压站的中小型天然气压力能发电系统技术研究还不成熟，同时，天然气的使用受到用户、时间、气候、季节等因素影响造成天然气供应的不均匀性和不稳定性对发电技术的应用造成影响。

天然气管网压力能制冷技术可用于生产 LNG 和 NGH 调压储气、冷库制冰、粉碎橡胶等，是天然气调压过程中最为直接的冷能利用。高压管网天然气制冷技术尽管在国内已有成功的应用案例，但是其技术研究还需要解决制冷效率较低、系统运行不稳定等问题，需要研究冷量梯级利用问题。

## 5. 结语

利用焓分析理论分析高压管网天然气具有巨大的可用能资源，天然气管网压力能资源可以广泛应用于发电、生产 LNG 和 NGH 调压储气、制冷等多种用途，但是门站和调压站的分散性以及供气的不稳定性和不均匀性等因素制约了压力能利用技术的实际应用。因此，应当进一步抓紧研究天然气管网压力能梯级利用技术，建立示范性工程项目，将有利于开展天然气节能减排工作，带动企业健康可持续发展。

## 参考文献 (References)

- [1] BP Statistical Review of World Energy (2014) [www.bp.com](http://www.bp.com)
- [2] 中国石油天然气集团公司 (2014) 西气东输(2002-2013)社会责任专题报.  
<http://www.cnpc.com.cn/cnpc/qyshzrbg/201504/dd18e831831d43149bb3646c9ceac0ed/files/20785e85ba7748678260811c36bd970e.pdf>
- [3] 发展改革委、能源局组织 (2012) 《天然气发展“十二五”规划》发改能源(2012)3383 号.
- [4] 廉乐明, 等, 编 (2007) 工程热力学(第五版). 中国建筑工业出版社, 北京.
- [5] 陈绍凯, 李自力, 雷罗思, 等 (2008) 高压天然气压力能的回收利用技术. *煤气与热力*, **4**, B01-B05.
- [6] 王松岭, 论立勇, 谢英柏, 等 (2005) 基于天然气管网压力能回收的联合循环构思. *热能动力工程*, **6**, 628-631.
- [7] 伦立勇, 谢英柏, 杨先亮 (2006) 基于管输天然气压力能回收的液化调峰方案. *天然气工业*, **7**, 114-116.
- [8] 熊永强, 华贲, 罗东晓, 等 (2007) 天然气管网压力能用于废旧橡胶粉碎的制冷装置. *现代化工*, **1**, 49-52.
- [9] 樊栓狮, 陈玉娟, 惠平, 徐文东, 郎雪梅 (2010) 利用管网压力能制备天然气水合物的调峰新技术. *天然气工业*, **10**, 83-86.
- [10] 郑志, 王树立, 陈思伟, 等 (2009) 天然气管网压力能用于 NGH 储气调峰的设计. *油气储运*, **10**, 47-51.
- [11] 申安云, 余祖珊, 王宝权 (2009) 利用天然气压力能的轻烃分离方法. *煤气与热力*, **4**, B01-B04.
- [12] 罗东晓 (2010) 回收高压管输气压力能用于冷库的技术. *城市燃气*, **4**, 30.