

天然气压缩因子的计算与体积计量

秦朝葵¹ 高顶云²

(1. 同济大学热能工程系 2. 上海飞奥燃气设备有限公司)

秦朝葵等. 天然气压缩因子的计算与体积计量. 天然气工业, 2003; 23(6): 130~133

摘要 对三种天然气压缩因子计算方法: 经典热力学法、SGERG-88法、SY/T 6143-1996法进行了介绍并对计算结果进行了对比, 第一种方法的计算精度远不能满足贸易结算的要求, 我国现行的第二种计算方法与ISO标准方法相比, 在10 以上的温度范围内基本相符, 但在10 以下的低温段则偏差较大。由此说明, 我国目前所实施的计量标准与国际上认可的ISO标准方法之间有较大的偏差; 同时, 对不需要在线计算的场合, 提出了一套基于数据拟合的计算体积修正系数的高精度近似方法, 可提高体积计量仪表的性价比。

关键词 天然气 压缩系数 计算方法 体积修正 国家标准 国际标准

压缩因子、K系数与超压缩因子

计算天然气压缩因子的方法有多种^[1]。目前世界范围内管输天然气的贸易结算大都以标准状态下的体积为主, 压缩因子的微小差别将导致巨大的计费差别。因此随着国际天然气贸易的开展, ISO 12213-1997标准(下简称ISO标准)已逐步成为全球采用的统一标准^[2]。我国也于1999年发布了该标准的等价标准GB/T 17747-1999。但是, 目前国内的大部分仪表厂商仍在沿用SY/T 6143-1996标

准(下简称国标)和GB/T 11062-89来进行天然气的体积修正, 前者规定了超压缩因子的计算方法和适用范围^[3]。

对一定摩尔数的计量状态 p 、 T 下的和同样数量的标准状态 p_0 、 T_0 下的天然气, 分别写出气体状

$$\text{态方程, 相除后, 得到 } V_0 = \frac{p}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T} \cdot \frac{Z_n}{Z_g} V \quad (1)$$

式中: V 、 V_0 分别表示为计量状态的体积(一次仪表示值)和标准状态的体积(即计费依据); Z_g 、 Z_n 表示计量状态下的压缩因子和标准状态下的压缩因子;

(4) 结合实际需要, 发展以天然气为燃料的燃气汽车可进一步减少对环境的污染。

(5) 由于液化天然气的体积较小, 运输方便, 所含杂质更少, 因此应提高液化天然气在整个天然气使用中的比例。

参 考 文 献

- 1 郭文成. 浅谈生命周期分析与评价. 环境科学动态, 1999; (1): 13~15
- 2 四川石油管理局天然气研究所. 四川天然气开发和节能项目预期环境影响和防治. 石油与天然气化工, 1995; (2): 143~148
- 3 游正安, 李儒沛. 旱区输气管道环境影响评价中的工程分析. 新疆环境保护, 1995; (6): 47~51
- 4 四川石油管理局. 天然气工程手册. 北京: 石油工业出版社, 1982

- 5 王海等. 试论利用塔里木天然气生产化肥的国产化方案. 中氮肥, 1995; (5): 3~9
- 6 王寿建. 天然气综合利用评析(下). 化肥设计, 2000; (1): 5~8
- 7 张蚌京. 广西发展天然气联合循环电厂的技术经济分析. 广西电力工程, 1999; (4): 24~27
- 8 徐德民. 天然气在热电联产和联合循环发电中的利用. 石油与天然气化工, 1997; (3): 156~159
- 9 Margaret K Mann *et al.* Life cycle assessment of a biomass gasification combined-cycle power system. 北京: 中国环境科学出版社, 1997
- 10 Blamire D k. Utility perspective on technology related to greenhouse gas abatement. NSPI, 1999

(收稿日期 2003-04-28 编辑 居维清)

作者简介: 秦朝葵, 1968年生, 教授, 工学博士研究生。地址: (200092) 上海市同济大学热能工程系。电话: 13601664501。
E-mail: chqin@hotmail.com

$\frac{Z_0}{Z_g}$ 常被称作体积修正系数,用符号 K 表示,其平方

$$根即所谓的超压缩因子: F_z = \sqrt{K} = \sqrt{\frac{Z_0}{Z_g}}$$

笔者按 ISO 标准中的 SGERG-88 方法,通过编程计算了不同温度、压力下天然气的体积修正系数 K ,同时根据经典热力学中的压缩因子方程进行了同样的计算,并将两种方法所获得的 K 系数与按照国标方法得到的数据进行了对比。另外,还提出了一种新的基于 ISO 标准的高精度近似处理方法。

3 种计算方法

1. 经典热力学方法

在经典热力学中,气体混合物的压缩因子是由通用压缩因子图来得到的,这些线算图可用下面的方程来描述^[4]:

$$Z^3 - \frac{p_r}{8 T_r} + 1 Z^2 + \frac{27 p_r}{64 T_r} Z - \frac{27 p_r^2}{512 T_r^3} = 0 \quad (2)$$

式中: p_r 、 T_r 分别表示对比压力和对比温度,即: $p_r = \frac{p}{p_c}$, $T_r = \frac{T}{T_c}$; p_c 、 T_c 分别表示混合气体的临界压力和临界温度,由摩尔组成和单一气体的临界参数、按下式计算:

$$p_c = \sum_i p_{ci} y_i \quad T_c = \sum_i T_{ci} y_i \quad (3)$$

天然气中常见组分的临界参数值见表 1^[5]。

表 1 天然气中常见组分的临界参数

序号	名称	临界压力 (MPa)	临界温度 (K)	序号	名称	临界压力 (MPa)	临界温度 (K)
1	CH ₄	4.640	191.11	10	O ₂	5.047	154.44
2	N ₂	3.392	126.11	11	i-C ₄ H ₁₀	3.647	408.33
3	CO ₂	7.398	304.44	12	n-C ₄ H ₁₀	3.799	425.56
4	C ₂ H ₆	4.881	305.56	13	i-C ₃ H ₁₂	3.330	461.11
5	C ₃ H ₈	4.254	370.0	14	n-C ₅ H ₁₂	3.372	470
6	H ₂ O	21.974	647.22	15	n-C ₆ H ₁₄	3.034	508.33
7	H ₂ S	9.005	373.89	16	n-C ₇ H ₁₆	2.737	540.56
8	H ₂	1.296	33.17	17	n-C ₈ H ₁₈	2.496	569.44
9	CO	3.496	134.44	18	He	1.041	13.33

2. SGERG-88 方法

SGERG-88 方法使用的是由欧洲燃气研究集团(GERG)于 1991 年提出的 SGERG-88 方程,其核心概念为:天然气的性质可由一组适当的、特征性的、可测定物性值(高位发热量 H_s 、相对密度 d 和 CO₂ 含量)来表征和计算。对含人工掺混物的气体,

还需知道 H₂ 含量;SGERG-88 方法所使用的标准维里方程为:

$$Z = 1 + B_m + C_m^2 \quad (4)$$

式中:系数 B 、 C 为 H_s 、 d 、CO₂ 与 H₂ 的含量及 T 的函数; m 表示摩尔密度,

$$m = \frac{p}{ZRT} \quad (5)$$

3. SY/T 6143-1996 计算方法

我国的 SY/T 6143-1996 标准直接给出了天然气超压缩因子的计算步骤,由若干简单的数学方程给出。首先由气源全部组分按照 GB/T 11062-89 计算真实相对密度^[6],之后根据所给出的一系列公式来计算超压缩因子。该方法适用于以 CH₄ 为主、真实相对密度小于 0.75,且 N₂、CO₂ 含量均小于 0.15 的天然气。

计算结果及分析

表 2 列出了根据上述 3 种方法计算得到的、常见温度、压力下天然气体积修正系数 K 的对比结果。其中无括号的是 ISO 标准的结果,圆括号内的是国标方法的结果,方括号内的是传统热力学方程的结果。所采用的气源组分是 ISO 标准中用于程序有效性确认的 6 种天然气组分的 1# 标准气^[2]。

图 1 为 3 种计算方法得到的绝对压力 8 MPa 下的 K 系数随温度的变化关系。可以看出:在一般的温度、压力范围内,传统热力学的方程都较高地估计了体积修正系数,而且与另外两种方法的偏差都很大;而 ISO 标准与国标方法的结果则非常接近,但在温度较低(小于 10 °C)的范围内,前者比后者稍高;在温度较高的范围内,后者比前者高。

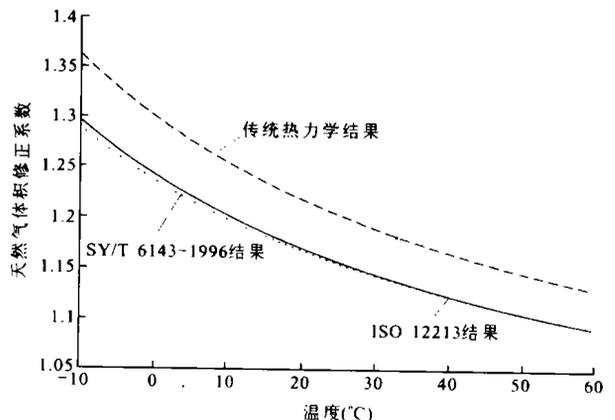


图 1 3 种计算方法得到的体积修正系数 K 的对比图

可见用传统热力学方程计算天然气的体积修正系数,仅具一种定性的趋势作用,远不能作为贸易计

表2 3种计算方法得出的体积修正系数 K 的对比

绝对压力 (MPa)	温度()							
	- 10	0	10	20	30	40	50	60
2	1.059 1	1.051 3	1.044 5	1.038 6	1.033 6	1.029 2	1.025 4	1.022 2
	(1.057 9)	(1.050 6)	(1.044 4)	(1.039 1)	(1.034 4)	(1.030 4)	(1.026 8)	(1.023 8)
	[1.064 0]	[1.057 0]	[1.050 5]	[1.045 5]	[1.040 8]	[1.036 6]	[1.032 9]	[1.028 9]
4	1.130 4	1.111 2	1.095 4	1.082 1	1.070 9	1.061 3	1.053 2	1.046 4
	(1.127 4)	(1.109 4)	(1.094 5)	(1.082 2)	(1.071 6)	(1.062 5)	(1.054 7)	(1.047 9)
	[1.144 5]	[1.126 4]	[1.111 4]	[1.098 8]	[1.087 1]	[1.077 8]	[1.070 0]	[1.061 7]
6	1.210 2	1.176 4	1.149 1	1.126 8	1.108 3	1.093 0	1.080 1	1.069 4
	(1.205 6)	(1.172 9)	(1.147 0)	(1.126 1)	(1.108 6)	(1.093 9)	(1.081 4)	(1.070 7)
	[1.244 4]	[1.208 2]	[1.179 7]	[1.157 7]	[1.138 4]	[1.121 3]	[1.108 2]	[1.096 3]
8	1.296 2	1.243 9	1.2031	1.1706	1.1443	1.1228	1.1050	1.0903
	(1.289 4)	(1.238 2)	(1.1992)	(1.1688)	(1.1440)	(1.1234)	(1.1061)	(1.0913)
	[1.362 0]	[1.301 5]	[1.2555]	[1.2193]	[1.1901]	[1.1659]	[1.1459]	[1.1288]
10	1.378 4	1.307 5	1.253 3	1.210 7	1.176 8	1.149 3	1.126 9	1.108 5
	(1.370 1)	(1.299 9)	(1.247 4)	(1.207 3)	(1.175 7)	(1.149 5)	(1.127 5)	(1.109 0)
	[1.467 3]	[1.386 1]	[1.323 6]	[1.276 2]	[1.237 6]	[1.205 3]	[1.179 7]	[1.157 8]

量的结算公式来使用。而我国目前执行的标准,与 ISO 标准尚有一定的偏差,温度越低则二者的偏差越大。

近似计算方法

由于我国的执行国标与 ISO 标准之间存在着一一定的偏差(特别是在温度较低时),因而建立一种基于 ISO 标准的计算方法就显得非常必要。在组分不变时, K 是温度和压力的二元函数。因此,可考虑利用曲面拟合的办法来获得其简单表达式。这样的话,计量仪表仅需按照测得的温度、压力和所存储的函数关系,就可以进行体积修正系数 K 的计算。尤其是不需进行在线组分分析的情况,这种做法更能够在经济性和技术性能方面取得一定的折衷。

这种处理方法可简单地概括为:将 $K = f(p, T, x_i)$ 改为 $K(x_i) = f(T, p)$ 。更进一步地,可以将 T, p 作为相互独立的变量来考虑,即: $f(T, p) = f_1(T)f_2(p)$ 。

表3 示出按照多项式回归方法得到的体积修正系数 K 和 ISO 标准计算结果的对比情况。其中括号内的数字为回归多项式的计算值。可以看出:回归的精度可以达到与 ISO 标准相同的4位有效数字。

结 论

笔者按照3种压缩因子的计算方法(传统热力学公式、我国国标方法和 ISO 标准方法)对 ISO 标准中的1#标准气的体积修正系数 K 进行了计算、对比。第一种方法的计算精度远不能满足贸易结算的

表3 多项式回归的 K 系数与 ISO 标准计算的 K 系数的比较

温度 (K)	$p = 2$ MPa	$p = 4$ MPa	$p = 6$ MPa	$p = 8$ MPa	$p = 10$ MPa	$p = 12$ MPa
263	1.059 2	1.130 3	1.210 8	1.297 1	1.379 6	1.442 9
	(1.059 2)	(1.130 1)	(1.210 5)	(1.296 8)	(1.379 1)	(1.442 3)
273	1.051 4	1.111 4	1.176 8	1.244 6	1.308 4	1.359 8
	(1.051 4)	(1.111 5)	(1.177 0)	(1.244 7)	(1.308 6)	(1.359 9)
283	1.044 6	1.095 6	1.149 4	1.203 6	1.254 0	1.295 2
	(1.044 5)	(1.095 6)	(1.149 4)	(1.203 5)	(1.253 8)	(1.295 0)
293	1.038 7	1.082 3	1.127 1	1.171 0	1.211 3	1.244 5
	(1.038 7)	(1.082 3)	(1.127 0)	(1.170 9)	(1.211 2)	(1.244 3)
303	1.033 6	1.071 0	1.108 6	1.144 7	1.177 2	1.204 0
	(1.033 7)	(1.071 1)	(1.108 7)	(1.144 7)	(1.177 4)	(1.204 2)
313	1.029 3	1.061 5	1.093 2	1.123 1	1.149 7	1.171 4
	(1.029 3)	(1.061 5)	(1.093 2)	(1.123 1)	(1.149 7)	(1.171 5)
323	1.025 5	1.053 4	1.080 3	1.105 3	1.127 2	1.144 9
	(1.025 4)	(1.053 3)	(1.080 2)	(1.105 1)	(1.127 0)	(1.144 7)
333	1.022 2	1.046 5	1.069 5	1.090 5	1.108 7	1.123 2
	(1.022 3)	(1.046 6)	(1.069 7)	(1.090 8)	(1.109 0)	(1.123 6)

要求,我国现行的第二种计算方法与 ISO 标准方法相比,在 10 以上的温度范围内基本相符,但在 10 以下的低温段则偏差较大。

随着我国加入 WTO 及与国际规范、标准的接轨,仪表生产厂家应在压缩因子的计算方面进行更多的开发研究工作。笔者提出的基于多项式回归的处理方法在保持仪表低功耗的同时保持了精度。该方法在不需要实时在线计算的场合具有较高的性价比。

具有先进深冷工艺技术的大型 NGL 回收装置

王修康 张辉 颜世润 王东方

(中国石化集团公司中原石油勘探局勘察设计研究院)

王修康等. 具有先进深冷工艺技术的大型 NGL 回收装置. 天然气工业, 2003; 23(6): 133 ~ 135

摘 要 中原油田第四气体处理厂位于河南省濮阳市柳屯镇, 拥有一套以回收乙烷为主的大型天然气深冷处理装置, 装置处理能力为 $100 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 最大处理能力达 $120 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 乙烷回收率 85%。该工程从 1997 年审批立项到 2000 年 12 月建成, 一次投产成功, 工程概算投资 1.850 6 亿元, 竣工决算 1.702 9 亿元。该处理厂是国内自行设计的一套大型 NGL 回收装置。文章通过总结中原油田第四气体处理厂工艺设计, 介绍了 NGL 回收装置工艺流程、工艺平面布置、自动控制, 分析了工艺设计特点, 以期合理应用深冷工艺技术、降低能耗、减少投资、提高产品收率。

关键词 中原油田 低温分离 轻烃回收装置 工艺设计 处理 速率

中原油田第四气体处理厂天然气凝析液(NGL)回收装置是在消化、吸收国外先进工艺的基础上, 结合国内外设备、材料的现状, 对工艺流程和自动控制系统进行了优化选择后而设计完成的, 是国内第一套自行设计的大型以回收乙烷为目的的天然气深冷处理装置, 乙烷收率在 85% 以上, 丙烷、丁烷收率均在 95% 以上, 其工艺技术和轻烃收率在国内处于领先水平。

原料气、产品规格及组成

1. 原料气

中原油田第四气体处理厂原料气为从油田配气站来的低压伴生气和凝析气, 压力 0.65 MPa, 温度 32℃, 流量 $100 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 原料气组成见表 1。

2. 产品规格

中原油田第四气体处理厂以回收乙烷为主, 其主要产品为乙烷、丙烷、丁烷和轻油, 产品设计规格

见表 2。

表 1 原料气组成表 体积分数

组分	C ₁	C ₂	C ₃	iC ₄	nC ₄	iC ₅	nC ₅	nC ₆
组成	0.791 6	0.082 9	0.050 6	0.010 6	0.020 6	0.006 5	0.003 8	0.003 3
组分	nC ₇	nC ₈	nC ₉	nC ₁₀	CO ₂	H ₂ O	N ₂	/
组成	0.002 6	0.001 2	0.000 2	0.000 1	0.012 5	0.006 9	0.006 5	/

表 2 产品设计规格表

产品	规 格
乙烷	液态乙烷出界区压力 6.0 MPa; 甲烷含量最大 2.2%; 丙烷及以上组分含量最大 2.5%
丙烷	液态丙烷出界区压力 2.1 MPa; 产品纯度最低 95.0%; 乙烷含量最大 1.5%; 丁烷及以上组分含量最大 2.5%
丁烷	液态丁烷出界区压力 1.2 MPa; 产品纯度最低 95.0%; 丙烷含量最大 2.5%; 戊烷及以上组分含量最大 2.0%
轻油	天然汽油出界区压力 0.6 MPa; 丁烷含量最大 1.0%

注: 含量单位均为摩尔分数。

参 考 文 献

- 1 蒋汉文, 邱信立. 热力学原理及应用. 上海: 同济大学出版社, 1990: 156 ~ 162
- 2 International Standard ISO 12213, 1997
- 3 中华人民共和国石油天然气行业标准 SY/T 6143 - 1996: 天然气流量的标准孔板计量方法, 1996: 22 ~ 23
- 4 Osiadacz A J. Simulation and analysis of gas networks. E & F N Spon Ltd, 1987: 8
- 5 Gibbs C W. Compressed air and gas data. gersolt-Rand company, 11 Broadway, New York, NY 1004 969: 34.5 ~ 34.6
- 6 中华人民共和国国家标准 GB11062 - 89: 天然气发热量、密度和相对密度的计算方法, 1989

(收稿日期 2002 - 11 - 12 编辑 居维清)

作者简介: 王修康, 1972 年生, 工程师; 多年来一直从事油气加工处理, 曾参与了多套气体处理装置的设计。地址: (457001) 河南省濮阳市中原路 189 号。电话: (0393) 4823173。E-mail: zywxk@163.com

SUBJECT HEADINGS: Liquefied natural gas (LNG) , Storage and transport ,Safety ,Accident ,Analog ,Artificial intelligence ,Safety measures.

Ma Xiaoqian (*Doctor, professor*) was born in 1964.
Add: Electrical Power College of South China Science & Engineering University, Guangzhou, Guangdong (510640), China
Tel: (020) 87110232 E-mail: epqxma@scut.edu.cn

LIFE CYCLE ASSESSMENT FOR INFLUENCE OF USING NATURAL GAS ON ENVIRONMENT¹⁾

Dong Zhiqiang, Ma Xiaoqian, Zhang Ling, (Electric Power College of South China Science and Engineering University), Zhao Zengli (Guangzhou Energy Research Institute of Chinese Science Academy). *NA TUR. GAS IND.* v. 23, no. 6, pp. 126 ~ 130, 11/25/2003. (ISSN1000 - 0976; **In Chinese**)

ABSTRACT: Studying the use of the clean fuel (natural gas) with the environment is the nowadays leading technology in the world. In order to explain the influence on the environment during the whole process from exploiting to using, the waste emission during exploiting, transporting and using natural gas was analyzed and calculated by means of Life Cycle Assessment (LCA). Then the input and output energy in the total process was calculated. Some methods, such as ammonia synthesized by natural gas, natural gas used as civilian fuel gas, power generating, heat and electricity co-generating, etc. were compared as well. The result shows that comparing with the traditional energies, such as coal, oil, etc., natural gas has the least influence on the environment at various fields, and is an ideal clean energy.

SUBJECT HEADINGS: Natural gas, Pollution, Environmental impact evaluation, Waste material, Discharge capacity, Energy, Calculation.

Dong Zhiqiang (*candidate of Master*) was born in 1980.
Add: Guangzhou, Guangdong (510640), China Tel: (020) 87787136 Cell: 13924236787 E-mail: gz-dzq@21cn.com

CALCULATION OF NATURAL GAS COMPRESSION FACTOR AND VOLUME MEASUREMENT¹⁾

Qin Chaokui, (Thermal Engineering Dep. of Tongji University), Gao Dingyun (Shanghai Fiorentini Gas Equipment Ltd.). *NA TUR. GAS IND.* v. 23, no. 6, pp. 130 ~ 133, 11/25/2003. (ISSN1000 - 0976; **In Chinese**)

ABSTRACT: The article introduces 3 calculating methods for the compression factor of natural gas, i. e. traditional thermodynamic method, SGERG88 method, and SY/T 6413 - 1996 method, and compares their results. The calculating accuracy from the traditional thermodynamic method can hardly meet the requirement of trade measurement. Comparing the method SY/T 6413—1996 currently used in China with ISO method, they are coincident when temperature is above 10 °C, but they are much different when temperature is below 10 °C. So, it means there is big difference between the current national standard and ISO standard. Aiming to the situation when on-line calculation is unnecessary, the article proposes an approximation method with high accuracy to calculate the volume-correction coefficient based on data fitting, which can improve the performance/price ratio of gas volume gauge.

SUBJECT HEADINGS: Natural gas, Compression, Coefficient, Calculation method, Volume, Correction, National Standard, Foreign Standard

Qin Chaokui (*professor, Doctor*) was born in 1968.
Add: Tongji University, Shanghai (200092), China Cell: 13601664501 E-mail: chkqin@hotmail.com

BIG NGL RECOVERING PLANT WITH ADVANCED CRYOGENIC TECHNOLOGY¹⁾

Wang Xiukang, Zhang Hui, Yan Shirun, Wang Dongfang (Survey & Design Institute of Zhongyuan Petroleum Administration, Sinopec). *NA TUR. GAS IND.* v. 23, no. 6, pp. 133 ~ 135, 11/25/2003. (ISSN1000 - 0976; **In Chinese**)

ABSTRACT: The forth gas processing plant of Zhongyuan Oil Field lies at Liutun Town, Puyang City, Henan Province, and is a big gas cryogenic processing plant, which mainly recovers ethane. Its processing capacity is $10 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$ with maximum processing capacity $12 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$. The ethane recovery rate is 85%. The engineering was approved in 1997, and completed in Dec. 2000. The plant was put into operation at once successfully. The investment budget of the engineering is RMB 185.06 million Yuan. The final settlement of account is RMB 170.29 million Yuan. The plant is a big NGL recovering plant designed by a domestic unit itself. Summing up the technology design of the forth gas processing plant, the article introduces the process flow, the planimetric layout, and the automatic control of the NGL recovering plant, and analyzes the characteristics of the technology design that properly applies the cryogenic technology, decreases energy consumption, reduces cost, and im-