

离心式压缩机组多变效率的计算模型

黄兴¹ 陈玉春¹ 崔高锋¹ 郑志明²

(1.西北工业大学动力与能源学院 2.中国石油管道公司服务技术中心)

黄兴等.离心式压缩机组多变效率的计算模型.天然气工业,2008,28(2):126-128.

摘要 离心式压缩机组广泛应用于石油天然气工业领域,而多变效率是衡量该系统运行经济性的重要指标之一。因此,研究离心式压缩机组多变效率的计算模型,对于保障现有压缩系统安全、高效运行,以及有效地指导设备的维护和更换都具有重大的意义。为此,以欧洲燃气研究集团(GERG)提出的 SGERG—88 方程为基础,利用压缩因子、比热比和压缩性函数,建立了计算天然气实际压缩过程多变效率的数学模型,并以 Power Station 4.0 为软件平台,开发了相应的计算程序。利用该程序计算了某2个压气站压缩系统的多变效率。与实验数据对比表明,建立的天然气压缩系统多变效率模型是合理可行的,具有较高的计算精度。此模型既可用于前期的压缩系统验收,又可用于监测压缩系统的运行状况,具有较高的工程实用价值。

主题词 天然气 压缩系统 多变效率 计算模型

离心式压缩机组广泛应用于石油天然气工业领域,而在天然气管道输送中,离心压缩机压缩过程的多变效率是衡量其运行经济性的一个重要指标。因此,建立多变效率的计算模型和编制相应的程序,对离心式压缩机多变效率进行有效计算和评估,对检验机器是否正常运行和提高企业的经济效益具有十分重大的现实意义。

为解决多变效率的求解问题,笔者以 SGERG—88 方程为基础,利用压缩因子、比热比和压缩性函数,建立了计算天然气实际压缩过程多变效率的数学模型,并开发了相应的计算程序。利用所开发的计算程序计算了某型压缩系统多变效率,与实验数据对比表明,建模理论和方法是合理有效的。目前基于该计算方法的软件已在中国石油管道公司某单位的实际工程运用中使用并取得了良好的效果。

一、多变效率计算模型

1. 压缩因子的计算模型

在离心压缩机组多变效率计算过程中,压缩因子(Z)的准确性将直接影响多变效率的准确性,必须对 Z 进行精确求解。然而压缩机组进排气压力都在 1 MPa 以上,天然气的压缩因子与理想气体压缩因子有较大的偏离,为此,欧洲燃气研究集团(GERG)

提出利用 SGERG—88 方程^[1-6]计算天然气压缩因子。该方程的核心概念为: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 CO_2 含量 X_{CO_2})来表征和计算。此方程形式简单,使用方便,是天然气运输中被广泛使用的状态方程之一,受到国际标准化组织天然气技术委员会和分析技术委员会的一致推荐^[3]。其方程具体形式如下:

$$\rho = p/(ZRT) \quad (1)$$

$$Z = 1 + B\rho + C\rho^2 \quad (2)$$

$$B = f_1(T, H_s, d, X_{\text{CO}_2}, X_{\text{H}_2}) \quad (3)$$

$$C = f_2(T, H_s, d, X_{\text{CO}_2}, X_{\text{H}_2}) \quad (4)$$

式中: ρ 为摩尔密度, kmol/m^3 ; p 为压力, MPa; R 为摩尔气体常数, $\text{MJ}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$; T 为温度, K; H_s 为高位发热量, MJ/m^3 ; d 为天然气相对密度; X_{CO_2} 为二氧化碳的含量; X_{H_2} 为氢气的含量; B 、 C 分别第二、三维系数, m^3/kmol , 两者均是 T 、 H_s 、 d 、 X_{CO_2} 和 X_{H_2} 的函数。

由 H_s 、 d 、 X_{CO_2} 和 X_{H_2} 可以确定第二、三维系数和 T 之间的函数关系。在已知压力和温度的情况下,可用解析法解出压缩因子,计算方便。

2. 压缩性函数 X 和 Y 的计算模型^[7-10]

压缩性函数 X 和 Y 的表达式为:

作者简介:黄兴,1983年生;西北工业大学动力与能源学院硕士研究生,研究方向为推进系统气动热力学。地址:(710072)陕西省西安市友谊西路127号西北工业大学动力与能源学院。电话:(029)88492043,13759880507。E-mail:huangxing831020@126.com

$$X = (T/Z)(\partial Z/\partial T)_p \quad (5)$$

$$Y = 1 - (p/Z)(\partial Z/\partial p)_T \quad (6)$$

式中: $(\partial Z/\partial T)_p$ 和 $(\partial Z/\partial p)_T$ 分别表示压缩因子(Z)对温度(T)和压力(p)的偏导数。

3. 比热比计算模型^[8,11-13]

比热比(γ)是一个非常重要的物性参数,其定义为气体比定压热容与比定容热容的比值,而计算压缩效率(η)时必须用到 γ ,由热力学关系得:

$$\gamma = \frac{C_{p0,m} + R(Z_r/Z_p - 1) + \Delta C_{V,m}}{C_{V0,m} + \Delta C_{V,m}} \quad (7)$$

式中: Z_r 和 Z_p 分别是由 $Z_r = Z + T(\partial Z/\partial T)_p$ 和 $Z_p = Z - p(\partial Z/\partial p)_T$ 定义的导数压缩因子, $C_{p0,m}$ 为理想气体摩尔定压热容, $C_{V0,m}$ 为理想气体摩尔定容热容, $\Delta C_{V,m}$ 为摩尔定容热容修正项。

理想气体摩尔定压热容 $C_{p0,m}$ 通常可以表示成温度的多项式:

$$C_{p0,m} = a + a_1 T + a_2 T^2 + a_3 T^3 \quad (8)$$

式中: 各个系数可查相关文献。对于天然气,其理想状态下的摩尔定压热容:

$$C_{p0,m} = \sum x_i C_{p0i,m} \quad (9)$$

式中: x_i 为第 i 组分气体的体积百分含量, $C_{p0i,m}$ 为第 i 组分气体的理想状态摩尔定压热容。

式(7)~(9)中 $C_{p0,m}$ 、 $C_{V0,m}$ 、 $\Delta C_{V,m}$ 、 $C_{p0i,m}$ R 的单位均为 $\text{kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$ 。

4. 多变效率的计算模型^[7,8]

多变效率(η_{ol})是评价压缩机组运行经济性的一个很重要的参数,它是指由压力 p_1 增加到压力 p_2 所需的多变压缩功与实际所消耗的功之比。对于理想气体,压缩过程 η_{ol} 的计算公式如下:

$$\eta_{ol} = \frac{1}{\left(\frac{k}{k-1}\right)} \times \lg \left(\frac{p_2/p_1}{(T_2/T_1)}\right) \quad (10)$$

式中: k 为比热比; p_1 、 p_2 分别为压缩机进排气压力, Pa ; T_1 、 T_2 分别为压缩机进出口温度, K 。

而对于实际气体而言,考虑压缩因子的影响,压缩过程 η_{ol} 的计算公式如下:

$$\eta_{ol} = \frac{Y_{mv}(\gamma-1)}{Y_{mv}(\gamma+X) - \gamma(1+X)} \quad (11)$$

式中: mv 为容积多变指数; γ 为比热比; X 、 Y 均为可压缩性系数。

二、算例与分析

应用笔者所建立的模型,分别对某两个压气站

的压缩系统多变效率进行研究。对于 1 号压气站压缩系统的压缩过程,选取压缩系统进出口的 6 个工况,具体工况参数见表 1,分别对所选取 6 个出口工况下的 η_{ol} 进行计算,与外方的测试数据相比,相对误差最大为 -0.138% ,其余的相对误差均在 0.04% 以内,实验结果及本计算结果见图 1。

表 1 1 号压气站压缩系统进出口工况表

工况编号	进口压力 (MPa)	进口温度 (°C)	出口压力 (MPa)	出口温度 (°C)
1	4.54	20	6.4	52.00
2	4.54	20	6.4	51.73
3	4.54	20	6.4	51.53
4	4.54	20	6.4	51.33
5	4.54	20	6.4	51.07
6	4.54	20	6.3	49.08

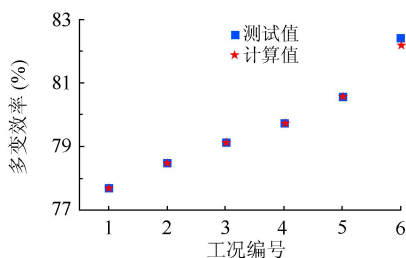


图 1 1 号压气站多变效率的比较图

对于 2 号压气站压缩系统的压缩过程,选取压缩系统的 6 个工况,具体工况参数见表 2,分别对所选取的 6 个工况下的 η_{ol} 进行计算,与外方的测试数据相比,相对误差均在 0.05% 以内,实验结果及与本文结果的对比见图 2。

表 2 2 号压气站压缩系统进出口工况表

工况编号	进口压力 (MPa)	进口温度 (°C)	出口压力 (MPa)	出口温度 (°C)
1	3.31	8.6	5.350	49.14
2	3.48	9.4	5.151	42.31
3	3.70	9.5	5.151	37.15
4	3.53	8.2	6.401	59.48
5	3.51	7.2	6.400	58.88
6	3.64	7.2	6.400	55.67

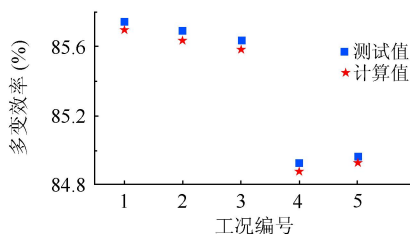


图 2 2 号压气站多变效率的比较图

由图1、2可见,压缩系统多变效率的计算结果能精确地与外方提供数据吻合,能满足工程需要,验证了笔者所建模型的正确性。

三、结 论

笔者以SGERG-88方程为基础,建立了一种计算天然气压缩系统多变效率的通用的、精度较高的数学模型,并开发了相应的计算程序;利用计算程序计算了2个压气站压缩过程的多变效率,结果表明所建立的计算模型是合理有效的。这一多变效率的计算模型形式简单,使用方便,具有较好的工程实用价值。

参 考 文 献

- [1] ISO 12213-1997. Natural gas-calculation of compression factor[S].
- [2] GB/T 17747-1999. 天然气压缩因子的计算[S].
- [3] 张福元. 一个计算天然气压缩因子的新方程[J]. 油气储运, 1994, 13(3): 42-46.
- [4] 秦朝葵, 高顶云. 天然气压缩因子的计算与体积计量[J]. 天然气工业, 2003, 23(11): 130-132.
- [5] 张福元. 用于计量的天然气压缩因子计算方法比较[J]. 天然气工业, 2000, 20(5): 73-76.
- [6] 李朝辉, 戴景民, 李成伟, 等. 燃气流量计量中压缩因子的修正问题探讨[J]. 天然气工业, 2004, 24(10): 124-127.
- [7] 杭铮伍, 张明星. 实际气体压缩性系数Z、容积绝热指数K-V和温度绝热指数K-T的确定[J]. 工程热物理学报, 1985, 6(3): 222-225.
- [8] 刘晖. 实际气体温度绝热指数和容积绝热指数的计算[J]. 石油化工高等学校学报, 2000, 13(4): 42-45.
- [9] 徐忠. 离心式压缩机原理[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2005.
- [10] SCHULZ J M. The polytropic analysis of centrifugal compressors[J]. Transactions of the ASME Journal of Engineering for Power, 1962.
- [11] 童均耕, 吴孟余, 王平阳. 高等工程热力学[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [12] 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.
- [13] 汪国华, 郭平, 李海平. 酸性天然气压缩因子实用算法对比分析[J]. 西南石油学院学报, 2004, 26(1): 47-50.

(修改回稿日期 2008-01-09 编辑 罗冬梅)