

北京拟建六环天然气管道储气能力计算及调峰问题探讨

刘燕¹ 马一太¹ 田贯三² 周游²

(1. 天津大学热能研究所 2. 山东建筑工程学院空调系)

刘燕等. 北京拟建六环天然气管道储气能力计算及调峰问题探讨. 天然气工业, 2004; 24(12): 155~157

摘要 北京规划建设管道总长度超过 100 km 的高压六环天然气管网, 对这样高压、长距离和多点供气管线的储气量计算和储气调峰能力进行准确计算与分析十分重要。根据城市高压外环供气特点建立了管道储气与用气负荷耦合模型, 采用解析法求解, 得到高压管道储气量与用气负荷关系的计算公式。又据北京市目前天然气负荷的波动规律, 对拟建北京市高压天然气六环管道在不同压力和管径下的储气能力, 以及门站定压和定流工况下的可用储气量进行了分析。经分析认为, 若建设设计压力为 4.0 MPa、管径为 DN800 的六环管道, 在保证末端工作压力、门站按定流量供气的条件下, 能用于城市负荷调峰的天然气量约为 $180 \times 10^4 \text{ m}^3$, 相当于少建储气压力变化范围为 1.0~0.4 MPa、拥有 4 个几何容积为 $1 \times 10^4 \text{ m}^3$ 球罐的储罐站 6 座, 从而节约了投资和城市用地。

关键词 北京市 天然气储存 天然气管道 储存量 不稳定流动 控制 调峰能力

北京市 1997 年天然气供气量只有 $1.8 \times 10^8 \text{ m}^3$, 2003 年已达到 $22 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。据北京市天然气中长期规划, 2008 年北京召开奥运会时需求量为 $50 \times 10^8 \text{ m}^3$, 2020 年为 $(80 \sim 100) \times 10^8 \text{ m}^3$ 。由于城市用气量每月每日每时都不相同, 而气田基本是均衡供气, 供需一般处于不平衡状态^[1,2], 因此需建立相应的储气设施。据测算, 2008 年北京将需时调峰量 $800 \times 10^4 \text{ m}^3$, 若全部采用地上储罐, 则需新建储气压力变化范围为 1.0~0.4 MPa、拥有 4 个几何容积为 $1 \times 10^4 \text{ m}^3$ 球罐的储罐站 27 座, 共 108 个储罐。这不仅投资巨大, 且需占用大量城市用地。北京现有储气设施和已有 2.5 MPa 管线及陕京线上游都能承担部分调峰负荷, 但 2008 年仍需新增 $180 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的储气量, 此储气量怎样解决是本文重点研究的问题。

目前采用的地下储气库、地面储气设施和管道 3 种储存方式, 地下储气库一般用于季节调峰, 后两种主要用于日、时不均匀用气的调峰。当高压管道用气点压力波动高于 1 MPa 时, 管道储气的经济性比储气罐好, 在建设输气管道时应优先考虑管道储气^[3]。以往较少涉及对多点供气的城市高压外环管网储气的研究, 主要因为以往城市管网管道设计压力较低, 管线较短, 管网管道储气量较少, 对城市调

峰的贡献程度较少。目前很多大城市管道设计压力增高, 如北京规划建设六环天然气管网的设计压力为 4.0 MPa, 管线总长超过 100 km, 是目前国内筹建的管线最长、管径最大及压力最高的城市外环管网。对这样高压、长距离和多点供气管线的储气量计算和储气调峰能力进行准确计算分析十分重要。本文以北京市拟建六环管线为例, 对城市管网储气量的计算方法及调峰能力进行深入研究。

一、不稳定流动的储气量计算方法

天然气在长输管线末段和城市外环高压管道中的流动是不稳定流动, 应采用不稳定流法分析高压管道的储气能力。一般管道不稳定流储气模型的求解方法有解析解和数值解法^[1,3,4-8], 下面用解析法来进行探讨。

设一管道由无数小管段组成, 通过计算一个小管段的储气能力来计算整条管道的储气能力。对于储存于 dx 长度内的天然气质量为:

$$dG(x, \tau) = F \rho(x, \tau) dx \quad (1)$$

$$\text{由气体状态方程 } \rho(x, \tau) = \frac{p(x, \tau)}{ZRT} \quad (2)$$

$$\text{所以 } dG(x, \tau) = F \frac{p(x, \tau)}{ZRT} dx \quad (3)$$

作者简介: 刘燕, 女, 1962 年生, 高级工程师, 天津大学在职博士生, 现在天津大学热能研究所从事燃气规划工作。地址: (300072) 天津市南开区卫津路 92 号。电话: (022) 66205526, 13801137902。E-mail: liuyan@263.net.cn

$$\text{又有 } F = \frac{\pi}{4} D^2, R = \frac{p_0}{\rho T_0}$$

$$\text{所以 } dG(x, \tau) = \frac{\pi D^2 \rho T_0 p(x, \tau)}{4 Z p_0 T} dx \quad (4)$$

故整个管网的储气能力为:

$$G(\tau) = \int_0^l \frac{\pi D^2 \rho T_0 p(x, \tau)}{4 Z p_0 T} dx$$

将质量转化为标准状态下的体积为:

$$Q(\tau) = \int_0^l \frac{\pi D^2 T_0 p(x, \tau)}{4 Z p_0 T} dx \quad (5)$$

对方程(5)变换进行积分,可以得到:

$$\begin{aligned} \Delta p &= p(0, t) - p(l, t) = k \int_0^l \frac{G(x, t)}{F} dx \\ &= \frac{k l \omega G_1}{F} \left[\frac{12 + \omega^2 r^2 l^4}{(12 + 3 \omega^2 r^2 l^4) \omega} \sin(\omega t) - \frac{4 r l^2}{12 + 3 \omega^2 r^2 l^4} \right. \\ &\quad \times \cos(\omega t) + \left. \frac{4 r l^2}{12 + 3 \omega^2 r^2 l^4} e^{-\frac{2}{r^2} t} \right] \\ &\quad + \frac{k l G_0}{F} \left[1 - \frac{2}{3} e^{-\frac{2}{r^2} t} \right] \end{aligned} \quad (6)$$

由 $G_0 = \rho Q_0$, $G_1 = \rho Q_1$, $p = Z \rho R T$ 可以解得管段天然气的密度 ρ 值,即:

$$\rho = \frac{p^2}{Z_2 R T_2} \quad (7)$$

将式(6)代入式(5)变换可以得到高压管道储气量与用气负荷的关系:

$$\begin{aligned} \Delta Q &= k l^2 \rho Q_0 \left[1 - \frac{2}{3} e^{-\frac{2}{r^2} t} \right] + k l^2 \omega p_0 Q_1 \times \\ &\quad \left[\frac{12 + \omega^2 r^2 l^4}{(12 + 3 \omega^2 r^2 l^4) \omega} \sin(\omega t) - \frac{4 r l^2}{12 + 3 \omega^2 r^2 l^4} \times \right. \\ &\quad \left. \cos(\omega t) + \frac{4 r l^2}{12 + 3 \omega^2 r^2 l^4} e^{-\frac{2}{r^2} t} \right] \end{aligned} \quad (8)$$

式中: Q 为天然气体积流量, m^3/h ; Q_0 为管段入口处天然气体积流量, m^3/h ; Q_1 为管段出口处天然气体积流量, m^3/h ; ρ 为管段入口处天然气密度, kg/m^3 ; ρ 为管段出口处天然气密度, kg/m^3 ; T_0 为管段入口处天然气温度, K ; T 为管段出口处天然气温度, K ; Z_0 为管段入口处天然气压缩因子; Z 为管段出口处天然气压缩因子。

式(8)说明了长输管线末段和高压城市燃气管道储气量与进出口处天然气的压力、温度有关。管道进出口处天然气压力受城市用气负荷的影响,因此,管道的有效储气量受用气负荷变化规律的制约。

二、北京六环储气能力分析

据北京天然气中长期发展规划,北京市 2008 年总需天然气 $50 \times 10^8 \text{ m}^3$, 最高小时流量为 $175 \times 10^4 \text{ m}^3$, 现陕京一线总供气能力为 $30 \times 10^8 \text{ m}^3$, 城市现有

门站总接受能力为 $110 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$, 不能满足 2008 年天然气的需求。因此规划 2008 年在北京南边建设一门站, 一期接受能力为 $65 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$, 并建设六环 100 km 管线, 环路管线示意图 1。

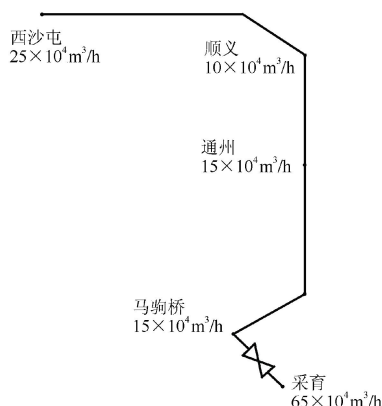


图 1 六环天然气管线示意图

由图 1 可知, 2008 年六环管线接受 $65 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ 的陕京二线天然气, 并通过 4 个高压调压站输送到五环管线(调压站建在五环附近)。由于五环管线设计压力为 2.5 MPa, 考虑六环至五环管线和调压站内设备的压力损失, 其六环供气末端压力不能低于 2.7 MPa。据测算, 2008 年北京时调峰储气量为 $800 \times 10^4 \text{ m}^3$, 除去现有储气设施和城市管网及长输管线末端储气量, 需新增城市管网调峰量 $180 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。此储气量相当于建设储气压力变化范围为 1.0 ~ 0.4 MPa, 拥有 4 个几何容积为 $1 \times 10^4 \text{ m}^3$ 球罐的储气站 6 座。利用储气量计算公式对不同方案的管网输送能力和调峰量进行了分析, 结果如下。

表 1 为门站流量为 $65 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ 时稳态工况下六环管线的储气量和末端压力情况。从中看出管径越大、压力越高管道储存的气体越多; 即使选择 DN700 管径, 其末端压力亦能满足供气压力要求, 但储气量不能满足要求。表 2 为门站出口天然气压力分别稳定在 4.0、6.4、10.0 MPa, 流量随用户需要变化而变化时, 六环管线调峰量及末端压力。从表中可知管径越大、运行压力越高调峰量越小。说明当门站定压时, 管网所需调峰量只有极少部分利用了六环管线储气量, 绝大部分由长输管线负担。表 3 为门站以日平均流量供气并全部由六环管线调峰时, 其末端压力和储气量利用程度。从表中可看出管径为 DN700 时末端压力不能满足要求, 此时六环管线不能保证正常供气。综上所述, 兼顾经济测算和安全管理, 在六环路上若建 DN800、设计压力为

4.0 MPa 管线,2008 年前由于六环管线储气量能满足调峰要求,因此门站可以定流量方式对城市供气,随着需求量的增加,所需调峰量气随之增加;当门站定流不能满足要求时,应以限流方式运行,其流量的确定应以最大限度地发挥六环管线储气为原则。

表 1 不同管径及压力下六环管网稳态储气量

管 径	4.0 MPa		6.4 MPa		10.0 MPa	
	储气量 (10 ⁴ m ³)	末端 最高压力 (MPa)	储气量 (10 ⁴ m ³)	末端 最高压力 (MPa)	储气量 (10 ⁴ m ³)	末端 最高压力 (MPa)
DN700	161.756	3.313	307.999	5.937	554.843	9.741
DN800	230.096	3.59	414.062	6.17	732.416	9.869
DN900	301.562	3.78	530.802	6.274	931.436	9.928
DN1000	378.597	3.872	659.496	6.326	1152.705	9.958

表 2 门站定压时不同管径及压力下六环管网调峰量
及利用程度

管 径	4.0 MPa		6.4 MPa		10.0 MPa	
	调峰量 (10 ⁴ m ³)	利用程度 (%)	调峰量 (10 ⁴ m ³)	利用程度 (%)	调峰量 (10 ⁴ m ³)	利用程度 (%)
DN700	21.831	13.5	14.783	4.8	10.294	1.86
DN800	14.835	6.45	10.217	2.47	7.021	0.96
DN900	10.646	3.53	7.315	1.38	5.016	0.54
DN1000	7.9	2.09	5.438	0.82	3.694	0.32

表 3 门站定流时不同管径及压力下六环管网储气量
利用程度及末端压力

管 径	4.0 MPa		6.4 MPa		10.0 MPa	
	末端 最低压力 (MPa)	利用程度 (%)	末端 最低压力 (MPa)	利用程度 (%)	末端 最低压力 (MPa)	利用程度 (%)
DN700			5.031	0.584417	8.086	0.324416
DN800	2.780	0.782282	5.487	0.434718	9.291	0.245762
DN900	3.153	0.596892	5.738	0.339109	9.471	0.19325
DN1000	3.369	0.47544	5.973	0.272936	9.587	0.156154

三、结 论

长输管线末段的储气过程属于不稳定流动,长

输管线末段储气量的变化受用气负荷的影响。本文建立了储气量与供气负荷函数吻合的动态不稳定流计算模型,用解析法对北京拟建六环进行了全面分析,得出了不同管径、不同压力、调压站定压力和定流量不同工况下的储气能力与可利用的储气量。经过分析若建设管径为 DN800 的六环,在保证末端工作压力的条件下,按定流量供气,能用于城市负荷调峰天然气的天然气量约为 180×10⁴ m³,相当于少建储气压力变化范围为 1.0~0.4 MPa、拥有 4 个几何容积为 1×10⁴ m³ 球罐的储罐站 6 座,从而节约了投资和城市用地。

参 考 文 献

1 段常贵,杨立民等.燃气长输管线分析与末段储气计算.煤气与热力,1997;17(3):16~20

2 Brown R H. Gas load estimation using a hybrid dynamic model. International Gas Research Conference, 1998; 331—338

3 李猷嘉.长输管道末端储气量的计算与分析.煤气与热力,2002;(1)

4 Baverstock M J.Optimization of large Distribution Networks. International Gas Research Conference, 1998; 183—193

5 Stephenson D. Operations research techniques for pipeline and operation of pipelines system. Pipeline Engineering Convention,1970

6 江茂泽,曾自强,刘良坚.天然气在复杂枝状管网系统内不稳定流动及其计算机模拟.石油学报,1992;13(4):136~147

7 曾伟,曾自强.树枝状输气干线简化数学模型的解及其应用.天然气工业,1989;9(4):42~47

8 Ke S L, Ti H C. Transient analysis of isothermal gas flow in pipeline network. Chemical Engineering Journal, 2000 ;76 :169—177

(收稿日期 2004-04-28 编辑 赵 勤)