

输气管线末端管存量影响因素分析

付林^{1*}, 康瑄¹, 徐高峰²

¹贵州天然气管网有限责任公司, 贵州 贵阳

²浙江中控技术股份有限公司, 浙江 杭州

收稿日期: 2023年1月3日; 录用日期: 2023年3月1日; 发布日期: 2023年3月8日

摘要

天然气长输管线下游市场用气具有不均匀性, 使得调峰的要求越来越高, 目前我国天然气长输管线调峰主要还是依靠长输管线末端管存量调节, 故很有必要对不同压力、管径管存量的影响因素进行定性的研究并总结规律。本文中基于陕京一线西气东输一线的设计参数用SPS仿真软件建立一管段, 并仿真出不同管段长度、起点压力、管径、输气量以及高程差五个因素的管存量并总结规律。规律显示: 起点压力、管段长度和管径对管存量影响较大, 而管输量与高程差对管存量影响较小; 管线设计参数等级不同时, 相同影响因素下管存量变化速率不一样。这些规律将会有助于判断不同设计参数天然气末端管段的管存量, 继而对天然气长输管线下游用气调峰提供有效的帮助。

关键词

输气管线末端, 管存量, 影响因素, SPS软件, 调峰

The Analysis for Gas Inventory Influence Factors in Terminal Pipe

Lin Fu^{1*}, Xuan Kang¹, Gaofeng Xu²

¹Guizhou Natural Gas Pipeline Network Co., Ltd., Guiyang Guizhou

²Zhejiang Zhongkong Technology Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang

Received: Jan. 3rd, 2023; accepted: Mar. 1st, 2023; published: Mar. 8th, 2023

Abstract

The inhomogeneity of the long-distance gas pipeline downstream gas market makes the demand of the downstream gas peaking more and more increasing, China mainly use gas inventory in ter-

*通讯作者。

minal pipe adjust the peak of the long distance gas pipeline downstream, therefore it is necessary for qualitative study gas inventory influence factors of different pressure and diameter and the summary the rules. The author establishes a pipe section by SPS simulation software base in the design parameters of the line-1 of shaanxi-Beijing and line-1 of West-East in this paper and simulates the gas inventory of the pipe section with the change of the influence factors, such as the length of the pipe section, the starting pressure of the pipe section, the pipe diameter, the flow and the elevation difference, and analysis the influence of each factor for gas inventor and summary the rules. The rules show that length of the pipe section, the starting pressure of the pipe section and the pipe diameter have a greater influence for the gas inventory, and the flow and the elevation difference have less influence for the gas inventory. When the pipeline design parameters are not at the same, the change rate of the gas inventory is not the same under the same influence factor. These rules will play an important role in fixing the gas inventory of natural gas pipe section with different pressure and diameter, and provide effective help to the peak of the long distance gas pipeline downstream.

Keywords

Terminal Pipe, Gas Inventory, Influence Factors, SPS Software, Peak

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

天然气长输管线的输量是相对稳定的,但是管线下游用户用气量是随时间而变化的[1] [2],这使天然气调峰问题日益突出。当前的主要调峰方法有储气球罐调峰、高压储气管束调峰、液化天然气调峰、地下储气库调峰、气田上游调峰等,高强生[3]对天然气主要调峰方法如储气球罐调峰,高压储气管束调峰,液化天然气调峰,地下储气库调峰,气田上游调峰的工作原理,特点与工艺计算进行了分析,指出了每种调峰方式的适用条件与场合。郑志炜[4]针对极限工况和3种较典型的管道终点流量随时间的变化规律,采用管道仿真软件 SPS 对输气管道末段运行过程进行动态仿真,从而较准确地计算输气管道末段的储气能力。范莉[5]针对西气东输天然气管道供气用户多,用户类型不同,供气量峰谷变化大等造成管线运行不平稳的突出矛盾,分析了城市用户,工业用户,电厂用户等不同类型用户的用气峰谷变化规律及对管道平稳运行的影响;根据管道现有条件,提出了利用管段末端储气解决日调峰,全线储气解决周调峰,气田调控和储气库解决季节调峰等调峰技术措施。就实际性与可靠性方面考虑,高压储气是最可行的。丁国生[6]针对西二线的主要调峰和储气手段应为地下储气库和 LNG,应急保障手段应可以考虑利用中国西部气田进行应急供气。储气库选址应尽量靠近管道下游,应以气藏,含水层和盐穴为主,尤其在南方中小型沉积盆地中的储气库选址重点考虑含水层储气库。LNG 应尽量选择在管道末端的下游,可以与地下储气库相结合,确保西二线的安全平稳运行。商丽艳[7]介绍了确定城市天然气调峰量的几种方法,分析了输气管道干线末段储气调峰的原理。结合具体的工程实例,认为输气管道干线末段储气是利用管道本身具有的储气能力,调节平稳供气和不稳定用气之间的矛盾,是一种便捷灵活的方法。教材中[8]介绍,对于中高压管线,其管存量是很大的,这给下游用气的调峰提供了便利,同时也体现了管存量的重要性,故很有必要就不同压力等级管道的管存量影响因素进行研究。

本文应用 SPS 仿真软件以陕京一线与西气东输一线的设计参数为基础,建立仿真管段。随后从管段

长度、起点压力、管径、输气量以及高程差等方面对该管段的管存量进行模拟并总结规律，这些规律将会有助于判断不同设计参数天然气末端管段的管存量，继而对天然气长输管线下游用气调峰提供有效的帮助。

2. 仿真模型的建立

2.1. SPS 软件介绍[9]

SPS 仿真软件可对管道输送的单一流体、单相混合流体或者批次流体进行仿真，该软件可从 INPREP 文本文件中获得所建立管道(模型)信息，包括物理元件(管线、气源、阀等)的所有信息。SPS 软件能仿真大多数管线的正常运行工况(稳态仿真)，并能仿真控制管道事故工况(瞬态仿真)，诸如管线断裂、设备故障等。此外，SPS 软件还可以计算管道沿线流量、压力、密度与温度等参数，并能以图形或报表的形式输出。

SPS 软件的仿真功能可以通过两种形式实现，通过控制序列运行或交互式(运行过程中可以改变边界条件)运行。初始状态可以是零流量状态、已储存的稳定状态或者用户自定义稳定状态。

SPS 软件主要程序包括预处理程序(PREPR)、瞬时仿真程序(TRANS)、传输程序(TPORT)和后处理程序(GRAFR)。

2.2. 模型的建立及描述

如图 1 所示，天然气由左边进入，右边输出，中间为一管段，设上游 External 为压力控制，其输入压力就是起点压力；下游 External 为流量控制，其输出流量即为该管段的输量；中间管段可输入管线长度、高程差、管径以及壁厚。

本文的主要就是根据图 1 所示模型，在改变不同的变量前提下，取得管存量数据，并对数据的规律进行定量分析，得出系列结论。



Figure 1. Model diagram
图 1. 模型示意图

2.3. 基本定义及基础参数

2.3.1. 基本定义

管存量定义：带压天然气管段，由于其本身具有管容量，在高压下由于天然气被压缩会在该管容中充满气体，这些天然气的总体积就定义为该管段的管存量。压力不同存储量不同，管存量与该管段的管容量、温度和压力有关，其计算公式如公式(1)：

$$Q_1 = \frac{Q_0 \times 0.101325 \times Z_1 \times T_1}{P_1 \times 293.15} \quad (1)$$

其中： Q_1 为工况下的流量(管容量)，单位为： m^3/d ；

T_1 、 P_1 和 Z_1 分别、温度、压力及压缩因子，单位分别为： K 、 MPa ；

Q_0 为标况下的流量(管存量)，单位为： Nm^3/d 。

2.3.2. 基础参数

1) 天然气气质(见表 1)

Table 1. Simulated natural gas composition**表 1.** 模拟天然气组分

组分	C1	C2	C3	iC4	nC4
Mol%	99.65	0.065	0.03	0.008	0.002
组分	iC5	CO ₂	N ₂		
Mol%	0.015	0.072	0.158		

2) 标准状态为：压力 1.01325×10^5 Pa (绝对压力)，温度 20℃。

3) 管道的管内壁绝对当量粗糙度取 10 μm 。

3. 实例仿真及影响因素分析

以陕京一线(中压管道)与西气东输一线(高压管道)的设计参数为基础，建立仿真管段模型。随后从管段长度、起点压力、管径、输气量及高程差等五个方面对该管段的管存量进行仿真并研究规律。

3.1. 以陕京一线设计参数为准的实例分析

陕京一线管外径 660 mm，设计压力 6.3 MPa，设计输量为 33×10^8 m³/a [10] [11]。

1) 仅高程差改变

设定管外径 660 mm，壁厚为 8 mm，管段长度为 50 km，输量为 800×10^4 m³/d，起点压力为 5.9 MPa，高程差改变，仿真结果如表 2。

Table 2. Gas inventory the influence of only elevation difference**表 2.** 仅高程差影响下的管存量

高程差	-400	-200	0	200	400	600
管存量	101.12	102	102.84	103.7	104.57	105.42
作差		0.88	0.84	0.86	0.87	0.85

注：管存量单位是 10^4 m³；高程差为起点高程减去终点高程，单位为 m。

由表 2 可得：在该设定条件下，随着高程差的增加，管存量近似线性增加，而起点与终点的高程差每增加 100 m，该设定管段的管存量增加约 0.84%。

2) 仅起点压力改变

设定管外径 660 mm，壁厚为 8 mm，管段长度为 50 km，输量为 800×10^4 m³/d，高程差为 400 m，起点压力改变，仿真结果如表 3。

Table 3. Gas inventory the influence of only starting pressure**表 3.** 仅起点压力影响下的管存量

起点压力	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2
管存量	100.45	102.51	104.57	106.63	108.7	110.77
作差		2.06	2.06	2.06	2.07	2.07

注：管存量单位是 10^4 m³；起点压力单位为 MPa。

由表 3 可得：在该设定条件下，随着起点压力的增加，管存量增加，起点压力每增加 0.1 MPa，该设定管段的管存量增加约 2%。

3) 仅输量改变

设定管外径 660 mm，壁厚为 8 mm，管段长度为 50 km，起点压力为 5.9 MPa，高程差为 400 m，输量改变，仿真结果如表 4。

Table 4. Gas inventory the influence of only throughput

表 4. 仅输量影响下的管存量

输量	760	780	800	820	840
管存量	104.9	104.73	104.57	104.39	104.22
作差		-0.17	-0.16	-0.18	-0.17

注：管存量单位是 10^4 m^3 ；输量单位为 $10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

由表 4 可得：在该设定条件下，随着管输量的增加，管存量近似线性减少，输量每增加 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，该设定管段的管存量减少约 0.15%。

4) 仅管段长度改变

设定管外径 660 mm，壁厚为 8 mm，输量为 $800 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，起点压力为 5.9 MPa，高程差为 400 m，管段长度改变，仿真结果如表 5。

Table 5. Gas inventory the influence of only pipe length

表 5. 仅管长影响下的管存量

管长	20	30	40	50	60	70
管存量	42.64	63.56	84.2	104.57	124.65	144.45
作差		20.92	20.64	20.37	20.08	19.8

注：管存量单位是 10^4 m^3 ；管段长度为 km。

由表 5 可得：在该设定条件下，随着管段长度的增加，管存量增加，管存量的增加速率依次降低。

5) 仅管外径发生改变

设定管壁厚为 8 mm，输量为 $800 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，起点压力为 5.9 MPa，高程差为 400 m，管段长度 50 km，管外径改变，仿真结果如表 6。

Table 6. Gas inventory the influence of only outer diameter of pipe

表 6. 仅管外径影响下的管存量

管外径	600	610	620	630	640	650
管存量	85.57	88.96	92.37	95.83	99.32	102.84
作差		3.39	3.41	3.46	3.49	3.52

注：管存量单位是 10^4 m^3 ；管外径为 mm。

由表 6 可得：在该设定条件下，随着管段长度的增加，管存量增加，且增加速率变大；管外径每增加 10 mm，该设定管段的管存量增加约 3.61%。

3.2. 以西气东输一线设计参数为实例分析

西气东输一线管外径 1016 mm, 设计压力 10 MPa, 设计输量为 $120 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ [12] [13], 后来增输后设计输量为 $170 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

1) 仅高程差改变

设定管外径 1016 mm, 管壁厚为 14 mm, 管段长度为 50 km, 输量为 $4300 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 起点压力为 9 MPa, 高程差改变, 仿真结果如表 7。

Table 7. Gas inventory the influence of only elevation difference

表 7. 仅高程差影响下的管存量

高程差	-300	-200	-100	0	100	200	300	400
管存量	377.73	379.42	381.12	382.84	384.56	386.3	388.05	389.81
作差		1.69	1.7	1.72	1.72	1.74	1.75	1.76

注: 管存量单位是 10^4 m^3 ; 高程差为起点高程减去终点高程, 单位为 m。

由表 7 可得: 在该设定条件下, 随着高程差的增加, 管存量增加, 而起点与终点的高程差每增加 100 m, 该设定管段的管存量增加约 0.45%。

2) 仅起点压力改变

设定管外径 1016 mm, 壁厚为 14 mm, 管段长度为 50 km, 输量为 $4300 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 高程差为 400 m, 起点压力改变, 仿真结果如表 8。

Table 8. Gas inventory the influence of only starting pressure

表 8. 仅起点压力影响下的管存量

起点压力	8.4	8.6	8.8	9.0	9.2	9.4	9.6
管存量	358.24	368.75	379.27	389.81	400.36	410.92	421.49
作差		10.51	10.52	10.54	10.55	10.56	10.57

注: 管存量单位是 10^4 m^3 ; 起点压力单位为 MPa。

由表 8 可得: 在该设定条件下, 随着起点压力的增加, 管存量增加, 起点压力每增加 0.1 MPa, 该设定管段的管存量增加约 2.63%。

3) 仅输量改变

设定管外径 1016 mm, 壁厚为 14 mm, 管段长度为 50 km, 起点压力为 9 MPa, 高程差为 400 m, 输量改变, 仿真结果如表 9。

Table 9. Gas inventory the influence of only throughput

表 9. 仅输量影响下的管存量

输量	4210	4220	4230	4240	4250	4260
管存量	389.96	389.88	389.79	389.71	389.62	389.54
作差		-0.08	-0.09	-0.08	-0.09	-0.08

注: 管存量单位是 10^4 m^3 ; 输量单位为 m^3/d 。

由表 9 可得：在该设定条件下，随着管输量的增加，管存量减少，输量每增加 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，该设定管段的管存量减少约 0.02%。

4) 仅管段长度改变

设定管外径 1016 mm，壁厚为 14 mm，输量为 $4300 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，起点压力为 9 MPa，高程差为 400 m，管段长度改变，仿真结果如表 10。

Table 10. Gas inventory the influence of only pipe length

表 10. 仅管长影响下的管存量

管长	20	30	40	50	60	70	80
管存量	159.97	237.95	314.57	389.81	463.64	536.04	606.98
作差		77.98	76.62	75.24	73.83	72.4	70.94

注：管存量单位是 10^4 m^3 ；管段长度为 km。

由表 10 可得：在该设定条件下，随着管段长度的增加，管存量增加，管存量的增加速率依次降低。

5) 仅管外径发生改变

设定壁厚为 14 mm，输量为 $4300 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，起点压力为 9 MPa，高程差为 400 m，管段长度 50 km，管外径改变，仿真结果如表 11。

Table 11. Gas inventory the influence of only outer diameter of pipe

表 11. 仅管外径影响下的管存量

管外径	956	966	976	986	996	1006
管存量	345.17	353.88	362.64	371.45	380.31	389.24
作差		8.71	8.76	8.81	8.86	8.93

注：管存量单位是 10^4 m^3 ；管外径为 mm。

由表 11 可得：在该设定条件下，随着管段长度的增加，管存量增加，管存量的增加速率依次降低；管外径每增加 10 mm，该设定管段的管存量增加约 2.33%。

4. 结论

1) 仅单一影响因素影响管存量结论：管道外径、管段长度与起点压力对管存量的影响较大；高程差与输量对管存量影响较小；

2) 仅单一影响因素变化时管存量变化规律：输量增加时，管存量降低；其余四印象因素增加时，管存量增加；

3) 对比中压管线与高压管线可得：a) 仅管段长度变化时，随着管段长度的增加，管存量增加，管存量的增加速率依次降低；b) 仅管外径变化时，管外径增加幅度一致时，中压管线管存量增加比例较大；c) 仅起点压力变化时，起点压力增加幅度一致时，高压管线管存量增加比例较大；d) 仅高程差变化时，高程差增加幅度一致时，中压管线管存量增加比例较大；e) 仅输量变化时，输量减少幅度一致时，中压管线管存量降低比例较大；

4) 在实际输气管线末端调峰估算管存量时，可根据末端储气压力结合上述结论给出调峰计划。

参考文献

- [1] 苗承武, 陈祖泽. 强化天然气管道输送工艺[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 1-295.
- [2] 唐建峰, 段常贵, 吕文哲. 输气管道静态模拟及输气末端储气量计算[J]. 油气储运, 2001, 20(9): 20-24.
- [3] 高强生, 袁英. 城市天然气调峰方式分析[J]. 天然气技术, 2010, 4(4): 15-18.
- [4] 郑志炜, 吴长春, 蔡莉. 输气管道末段储气能力稳态计算法偏差分析[J]. 油气储运, 2012, 31(7): 533-536.
- [5] 范莉, 黄泽俊, 樊绪平, 张敏. 西气东输管道运行调峰技术[J]. 天然气工业, 2007, 27(12): 130-132.
- [6] 丁国生, 李晓波, 姜风光, 韩冰洁. “西气东输”二线调峰应急问题探讨[J]. 天然气工业, 2008, 28(12): 92-94.
- [7] 商丽艳, 潘振, 李清斌, 周玉. 输气管道干线末段储气调峰研究[J]. 油气储运, 200, 27(7): 27-30.
- [8] 李玉星, 姚光镇. 输气管道设计与管理[M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2009: 1-323.
- [9] 郑云萍, 肖杰, 孙啸, 华红玲, 房国庆. 输气管道仿真软件 SPS 的应用与认识[J]. 天然气工业, 2013, 33(11): 104-109.
- [10] 张旭东. 陕京线稳态优化运行软件的开发及应用[D]: [硕士学位论文]. 北京: 石油大学, 2005: 1-91.
- [11] 周英, 陈凤, 孙在蓉. 陕京输气系统集成优化[J]. 天然气与石油, 2011, 29(1): 5-8.
- [12] 杨廷胜. 西气东输管道稳态优化运行软件的开发及应用[D]: [硕士学位论文]. 北京: 石油大学, 2002: 1-93.
- [13] 杨义. 中国石油主干输气管网稳态优化运行软件的开发[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国石油大学, 2008: 1-92.