

文章编号: 1000-8241(2016)04-0381-05

榆林—济南输气管道调峰方式优选

席海宏^{1, 2} 赵玲玉¹

1. 中国石化天然气榆济管道分公司; 2. 中国石油大学(华东)

摘要: 天然气长输管道受下游用户用气不稳定的影响, 一定时间内必然处于进销不平衡状态。如何借助管道现有调峰手段, 确定科学、合理、高效的调峰方案是管道运营企业追求的目标。以榆林—济南输气管道(榆济输气管道)为例, 评估了该管道在不同输气量下的末端调峰能力, 分析了配套储气库的注采气能力及工作要求, 测算了管网下游用气不均衡系数, 最终结合管网实际情况, 提出了优选调峰方案的措施及步骤。将榆济输气管道调峰优化问题程序化、指标化, 提高了制定方案的及时性、科学性及经济性。以该管道2012—2013年冬季的调峰问题为例, 验证了优化方法的可行性, 得出了日调峰以管存为主, 季节性调峰应采用管存及储气库联合调峰, 满负荷运行状态下管存尽量不调峰等共识, 将有效指导管道的运行管理工作。(图2, 表6, 参13)

关键词: 输气管道; 调峰; 末端储气; 储气库; 优化

中图分类号: TE85

文献标识码: A

doi: 10.6047/j.issn.1000-8241.2016.04.006

Peak shaving optimization for Yulin-Jinan Gas Pipeline

XI Haihong^{1,2}, ZHAO Lingyu¹

1. SINOPEC Yulin-Jinan Gas Pipeline Company; 2. China University of Petroleum (Hudong)

Abstract: Due to the gas usage instability, a long-distance gas pipeline is bound to supply in unstable status in a period of time. For the pipeline operating companies, it is essential to determine scientific, reasonable and efficient peaking shaving schemes with the current peaking means. Taking the Yulin-Jinan Gas Pipeline as an example, this paper evaluated its peak shaving capacity at the end of the pipeline in different delivery capacities, analyzed the gas injection and recovery capacities and work requirements of the auxiliary gas storage, and calculated the gas usage imbalance coefficient of downstream users. Finally, this paper put forward the measures and steps to optimize an optimal peak shaving scheme, according to the actual situation of the pipeline network. The peak shaving optimization for the Yulin-Jinan Gas Pipeline was programmed and indexed, so that the scheme could be prepared in a timely, scientific and economic manner. This technique was verified by the peak shaving performance of the pipeline in winter of 2012-2013. It is indicated that daily peak shaving should rely on the pipeline end, seasonal peak shaving should combine the pipeline end with the gas storage, and the pipeline end peak shaving couldn't be used under full load operation. These results will effectively guide the operation and management of the pipeline. (2 Figures, 6 Tables, 13 References)

Key words: gas pipeline, peak shaving, gas storage at the end of pipeline, gas storage, optimization

天然气长输管道的上游与大型气田相连接, 下游与民用气或商业用气为主的用气单位相连接。通常, 上游气源的供气量在较长时间内是保持均衡稳定的, 而下游用气受单位生产能力、资源结构、气候环境等的影响波动较大^[1]。供气的相对均衡性和用气的不均衡性之间的矛盾, 使得管道运营单位必须面临一个重要的生产问题——调峰。调峰方式和方案的选择与众多因素有关, 以榆林—济南输气管道(榆济输气管道)为

例, 根据各时间段的进气量、销气量、管道储气量的总体平衡来宏观地考虑调峰方式, 制定最优的天然气长输管道调峰方案。

1 榆济输气管道输供气特点

榆济输气管道全长约 941.63 km, 其设计输量 $30 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 配套储气库 1 座。管道从大牛地气田接

气,担负着向陕西、山西、河南、山东等省供气的任务。管道输供气存在以下特点:①用户多集中在管道末端,销气不均衡,调峰难度大。2011—2012年销售数据显示,管道下游的山东、河南两省销气占管网总销气的96.0%,末端大量销气增加了调峰负荷。②管道已经达到满负荷运行,调峰空间小。上游进气量基本维持稳定,但是下游销气变化幅度大、气量缺口大,2012—2013年冬季下游市场天然气缺口约 $150 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,对管道调峰提出了更高要求。③下游用户中民用用户较多,用气量受气候及节假日影响较大。豫北、山东地区用气人口多,用户类型与组成复杂,夏、冬两季用气差别极明显,调峰需求量大,天然气管网调度困难。

2 管道调峰能力评估

目前,国内外普遍采用的调峰方式有储气罐、管道末端储气、储气库、地下输气管束等^[2]。对于天然气长输管道,管道末端储气是应对短期调峰最常用的方式,地下储气库、LNG接收站、第二气源则是应对长期调峰的最佳方式。目前,榆济输气管道主要采用管道末端储气调峰和文96储气库调峰两种调峰方式。

2.1 管道末端储气调峰

榆济输气管道仅在首站设一座增压站,所以全线均可储存天然气作为调峰使用。对天然气长输管道来说,末端压力在一定范围内波动时,全线平均压力也会发生变化,选择一个恰当的管道始终点运行压力,管道就具备相应的调节能力。

输气管道末端的流动属于不稳定流动,计算较复杂,实际运行中按照稳定流动近似计算,储气量的计算式为^[2-3]:

$$V_s = V_{\max} - V_{\min} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{\rho_{\text{pjmax}} - \rho_{\text{pjmin}}}{\rho_0} \cdot \frac{T_0}{TZ} L \quad (1)$$

式中: V_s 为输气管末段的储气量, m^3 ; V_{\max} 为输气管末段储气结束时的存气量, m^3 ; V_{\min} 为输气管末段储气开始时的存气量, m^3 ; D 为末端管道内径, m ; L 为管道末端的长度, m ; ρ_{pjmax} 为储气结束时管道的平均压力, Pa ; ρ_{pjmin} 为储气开始时管道的平均压力, Pa ; ρ_0 为工程标准状况下的压力, $\rho_0 = 101\,325 \text{ Pa}$; T_0 为工程标准状况下的温度, K ; T 为管道内气体温度, K ; Z 为管道内气体压缩因子。

管道平均压力计算式:

$$p_{\text{pj}} = \frac{2}{3} \left(p_1 + \frac{p_2^2}{p_1 + p_2} \right) \quad (2)$$

式中: p_{pj} 为计算段管道平均压力, MPa ; p_1 为计算段管道起点压力, MPa ; p_2 为计算段管道终点压力, MPa 。

为保证管道工艺设备安全运行,管道运行最高压力不宜超过最大操作压力,同时最低压力应能满足下游用户正常生产需求。实际运行中,应根据管道的调峰能力及调峰需求,选择最优的运行工况及管存,提高管道抵抗风险的能力。

根据榆济输气管道各节点控制参数(表1),按照式(1)、式(2),利用TGNET软件测算管道在不同输量下的最高、最低管存量,并绘制管存随输气量变化的关系曲线(图1)。

表1 榆济输气管道运行参数控制表

管段名称	设计压力 /MPa	最高允许操作压力 /MPa	末端用户最低压力需求 /MPa	管道正常运行压力控制/MPa	
				起点最高	终点最低
榆林—南乐	10	9.5	5.0	9.5	5.4
南乐—齐河	8	7.5	5.0		

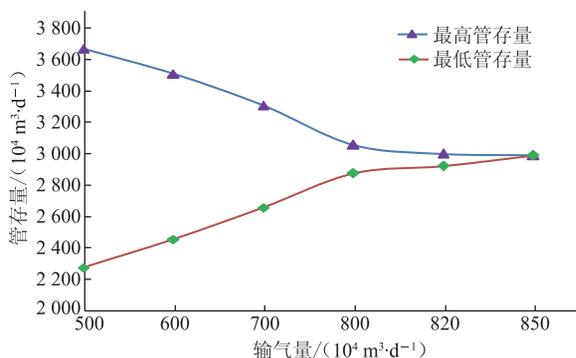


图1 榆济输气管道管存量随输气量变化曲线

长输管道的调峰管存受输气量影响较大,输量越小,管存调峰空间越大。榆济输气管道在最高输气量 $850 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 下,管道已无法通过管存调峰,小幅度的气量波动都会影响到整条管道的安全运行(图1)。管道实际运营中,应综合考虑下游市场需求、管道调峰能力及管网运行安全性等因素,合理安排管网输气量及运行压力,确保管道安全平稳运行。

2.2 文96储气库调峰

文96储气库作为榆济输气管道的配套工程,主要

在季节调峰和事故应急期间使用。储气库设计上限、下限压力分别为 27.0 MPa、12.9 MPa,库容量 $5.88 \times 10^8 \text{ m}^3$,有效工作气量 $2.95 \times 10^8 \text{ m}^3$,垫气量 $2.93 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

该储气库从清丰支线接气,由注气管道输至注采

井口注入。单机设计注气能力为 $62 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,注气系统设计最大注气规模为 $200 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,单井注气规模 $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。设计最大采气能力为 $500 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,调峰供气时,采气井井口最低压力为 9 MPa(表 2)。

表 2 文 96 储气库理论采气能力

月份	地层压力/MPa (主块/92-47 块)	井底流压/MPa (主块/92-47 块)	最大稳产量 /($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$) (主块/92-47 块)	选用气量 /($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$) (主块/92-47 块)	气库最大调峰量/($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	
					主块 12 口井	92-47 块 2 口井
11	26.67/26.70	17.3/12.0	74.5/29.5	69/29	828	58
12	21.32/21.44	14.8/11.3	56.2/21.4	56/21	672	48
1	16.42/16.61	12.7/13.5	37.5/13.5	37/13	444	26
2	13.61/13.84	11.6/10.9	25.0/8.3	25/8	300	16
3	12.91/13.15	11.4/10.8	21.5/6.9	21.5/6	258	12

实际生产运行中,储气库需要与干线管网匹配运行。储气库实际采气能力将受到管道输气量、沿线气量分配及下游用户压力需求等因素的限制^[4-6]。利用 TGNET 软件建立储气库与输气管网联合运行模型^[7],测算得到管道输气量与文 96 储气库采气量之间的关系(图 2)。

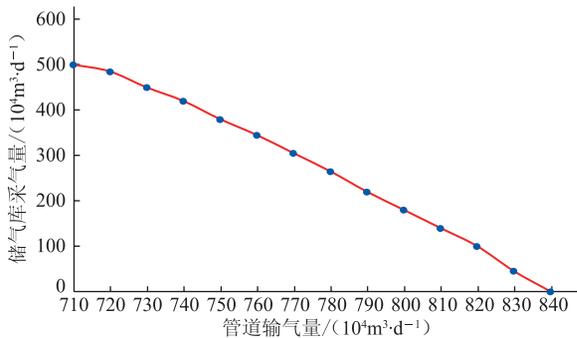


图 2 文 96 储气库采气量与榆济输气管道输气能力关系曲线

拟合得出储气库采气量 y 与管道输气量 x 之间的关系:

$$y = -0.0152x^4 + 0.5004x^3 - 6.2657x^2 - 5.2829x + 512.65$$

$$x = \frac{n-690}{10}, n = \{n \geq 1, n \in \mathbb{Z}\} \quad (3)$$

储气库在管道季节性调峰及应急调峰中发挥着重要作用,实际运行期间,需要综合评估上游气源资源量、管道输送能力及储气库注采气能力,确定最合理的运行方案,实现经济效益最大化。

3 下游调峰气量需求预测

由于城市性质、地域气候、供气规模、用户结构、流

动人口状况,以及居民生活水平、生活习惯、节假日等因素的影响,管道下游的用气情况呈现不均匀性^[8-9],表现为月不均匀性和日不均匀性。确定管网的不均匀系数^[10-13]对预测下游气量变化、明确调峰气量及制定调峰措施均具有指导意义。

3.1 月不均匀系数

影响月不均匀系数的主要因素是气候条件,一般用气高峰均出现在气温较低的冬季,而销气较低月在夏季。月不均匀系数的计算式为:

$$K_1 = \bar{Q} / \bar{Q}_{y1} \quad (4)$$

式中: K_1 为月不均匀系数; \bar{Q} 为该月的日平均用气量; \bar{Q}_{y1} 为该年的日均用气量。

根据实际生产运行数据,利用式(4)求取 2013 年榆济输气管道的月不均匀系数(表 3)。可见,该管道用气最高月在 2 月份,最低月在 7 月份。

表 3 2013 年榆济输气管道月不均匀系数计算结果

月份	月不均匀系数	月份	月不均匀系数
1	1.18	7	0.87
2	1.19	8	0.89
3	1.04	9	1.01
4	0.97	10	1.08
5	0.94	11	1.10
6	0.93	12	1.17

3.2 日不均匀系数

日不均匀系数主要受居民用户生活习惯、工业企业休息制度及室外温度变化的影响。通过分析历史数据可知,榆济输气管道周末及节假日受工业用户休假影响,用气量显著下降。日不均匀系数计算式为:

$$K_2 = Q / \bar{Q} \quad (5)$$

式中： K_2 为日不均匀系数； Q 为该月中某日用气量。

选取 2013 年 2 月份榆济输气管道运行数据，测算日不均匀系数(表 4)。计算结果显示，2 月 9—17 日春节期间销气量出现锐减现象。

表 4 2013 年 2 月榆济输气管道日不均匀系数计算结果

日期	销气量/($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	日不均匀系数
2-1	944.98	1.00
2-3	940.89	1.00
2-5	960.50	1.02
2-7	970.59	1.03
2-9	922.68	0.98
2-11	786.80	0.83
2-13	788.12	0.83
2-15	852.14	0.90
2-17	909.19	0.96
2-19	958.07	1.01
2-21	929.25	0.98
2-23	940.67	1.00
2-25	945.89	1.00
2-27	976.53	1.03

4 调峰方案的优选

4.1 优选措施

管道调峰方案的制定，除了必须满足供气量的基本要求之外，还必须考虑安全性、可靠性、平稳性、便利性等多方面要求。长输管道调峰过程应对的是非稳态

工况，其运行参数的变化规律较复杂。确定调峰方案前，需要根据输气计划评估管道输气最优工况，确定管存调节能力，再结合储气库实际注采气能力，求取调峰设施的最大调峰能力。通过比较不均匀系数与管道调峰能力，求取调峰控制点，从而确定最优调峰措施。流程如下：①根据管道输气量及调峰系数，编制用户分配方案，同时评估管道调峰能力、储气库注采气能力及下游调峰需求。②若管道调峰能力满足调峰需求，则首先采用管存调峰措施，制定管存调峰具体优化方案；若不能满足，则考虑储气库调峰。③若储气库及管存调峰能力满足调峰需求，制定联合调峰优化方案；若不能满足，需要调整管道输气任务或分配方案。

4.2 应用举例

2013 年冬季榆济输气管道气源日均产气量约 $900 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，管道最大安全输气量约 $820 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ；储气库持续注气能力为 $60 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 、 $120 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 和 $180 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，持续采气能力为 $270 \times 10^4 \sim 500 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ；冬季日调峰系数预测为 0.8~1.2。根据优化流程，计算管道的调峰需求，确定调峰方案。

通过表 5 测算可知：在销气大于进气的情况下，2013 年榆济输气管道最大调峰能力为 $177 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，管道调峰气量需求为 $164 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，该管道满足调峰需求；但管道管存调峰能力仅为 1 天，超过该时间的调峰应考虑压减下游用户或者通过第二气源解决。

表 5 2013 年冬季榆济输气管道销气大于进气的调峰措施

优选步骤	项目	备注
确定管道输气量	气源最大采气量 $900 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$	上游气源充足，满足冬季生产需求
	管道最大安全输气量 $820 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$	
评估管道调峰能力	管道调峰能力 $77 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$	查图 1
	储气库采气能力 $100 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$	储气库可采气 $270 \times 10^4 \sim 500 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，由图 2 可知储气库受管网运行能力影响可采气 $100 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$
	总调峰能力 $177 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$	
评估管道最大调峰气量需求	最大调峰系数 1.2	
	下游最大需求量 $984 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$	—
	最大调峰气量 $164 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$	

通过表 6 测算可知：2013 年榆济输气管道最大调峰能力为 $257 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，管道调峰气量需求为 $123 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，该管道满足调峰需求；实际运行中应充

分利用储气库及管存调峰能力，尽量减少储气库启停频率，采取管存加储气库一用两备或者管存加储气库两用一备模式调峰。

表 6 2013 年冬季榆济输气管道进气大于销气的调峰措施

优选步骤	项目	备注
确定管道输气量	气源最大采气量 $900 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$	
	管道最大安全输气量 $820 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$	
评估管道调峰能力	管道调峰能力 $77 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$	查图 1
	储气库最大注气能力 $(60 \sim 180) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$	储气库注气受压缩机开机数量影响, 单机为 $60 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$; 3 台机为 $180 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$
	总调峰能力 $(137 \sim 257) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$	
评估管道最大调峰气量需求	最小调峰系数 0.85	
	下游最大需求量 $697 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$	—
	最大调峰气量 $123 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$	

5 结论

(1) 榆济输气管道为单增压站的长输管道, 整条管道均可作调峰使用, 但调峰能力随着输气量的增加而逐步减少, 当输气量达到 $850 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 时, 管道管存量已经不具备调峰能力; 管道配套的文 96 储气库的注气调峰能力为 $180 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 采气调峰能力为 $500 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 但实际采注气能力与管道的输气量有关。

(2) 管道调峰期间, 应根据调峰量评估结果, 合理选择调峰方式。总体来说, 日调峰应优先选择管道管存调节, 再选取储气库调峰, 最后选择压减上下游或协调第三气源调峰; 当储气库参与调峰时, 应与管道管存相配合, 实现调峰措施的最优化。季节性调峰尽量通过储气库调峰, 管存小范围配合调峰, 避免大范围动用管存而造成管道运行工况的波动。

(3) 以榆济输气管道 2013 年冬季调峰需求为例, 通过管道实际运行情况与计算结果比较可知, 该方法对评估管道调峰能力及合理选取调峰方式均有实际参考价值。

参考文献:

- [1] 陶卫方, 岳克敬, 周武德, 等. 陕京输气管道配套储气库冬季调峰优化[J]. 油气储运, 2010, 29(5): 321-323.
TAO W F, YUE K J, ZHOU W D, et al. Optimization of winter peak shaving for mating underground gas storage of Shanxi-Beijing Gas Transmission Pipeline[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2010, 29(5): 321-323.
- [2] 商丽艳, 潘振, 李清斌, 等. 输气管道干线末段储气调峰研究[J]. 油气储运, 2008, 27(7): 27-30.
SHANG L Y, PAN Z, LI Q B, et al. Study on the gas storage and

peak shaving with end-section of gas transmission trunkline[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2008, 27(7): 27-30.

- [3] 孙立刚, 康慧珊, 孙颀, 等. 输气管道管径与储气调峰能力的关系[J]. 油气储运, 2014, 33(9): 976-979.
SUN L G, KANG H S, SUN D, et al. Relationship between gas pipeline diameter and gas peak shaving capability[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2014, 33(9): 976-979.
- [4] 李波, 陈向新, 杨庆阳, 等. 利用地下储气库解决用气的不均衡性问题[J]. 油气储运, 2003, 22(2): 7-10.
LI B, CHEN X X, YANG Q Y, et al. The fundamentality of construction underground gas storage to solve the imbalance of gas consumption[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2003, 22(2): 7-10.
- [5] 谭羽非, 陈家新, 严铭卿, 等. 天然气地下储气库季节性最大调峰量的确定[J]. 煤气与热力, 2000, 20(5): 331-333.
TAN Y F, CHEN J X, YAN M Q, et al. Determination of maximizing seasonal withdrawals from gas storage reservoirs[J]. Gas & Heat, 2000, 20(5): 331-333.
- [6] 吴忠鹤, 贺宇. 地下储气库的功能和作用[J]. 天然气与石油, 2004, 22(2): 1-4.
WU Z H, HE Y. Function and role of underground gas storage[J]. Natural Gas and Oil, 2004, 22(2): 1-4.
- [7] 福鹏, 陈敏, 张秀梅, 等. 天然气管网储气调峰的动态仿真模拟[J]. 煤气与热力, 2008, 28(12): 1-4.
FU P, CHEN M, ZHANG X M, et al. Dynamic simulation of gas storage and peak-shaving using natural gas network[J]. Gas & Heat, 2008, 28(12): 1-4.
- [8] 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): 46-49.

(下转第 405 页)

- [9] 刘燕妮,郭开华. 利用液化天然气冷能的低温动力循环[J]. 工程热物理学报, 2012, 33(11): 1860-1863.
- LIU Y N, GUO K H. A novel cryogenic power cycle for LNG cold energy recovery[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2012, 33(11): 1860-1863.
- [10] 刘燕妮,郭开华. 液化天然气冷能发电效益分析[J]. 低温与超导, 2010, 38(2): 13-17.
- LIU Y N, GUO K H. Efficiency of power generation by LNG cold energy[J]. Cryogenics and Superconductivity, 2010, 38(2): 13-17.
- [11] 边海军. 液化天然气冷能利用技术研究及其过程分析[D]. 广州: 华南理工大学, 2011: 1-9.
- BIAN H J. Study and analysis on the utilization technique of liquefied natural gas cryogenic energy[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2011: 1-9.
- [12] 罗惠芳. 液化天然气冷能利用的研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2011: 1-6.
- LUO H F. Research on cold energy utilization of liquefied natural gas[D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2011: 1-6.
- [13] 杨红昌,鹿院卫,马重芳,等. LNG 冷能梯级利用系统优化研究[J]. 可再生能源, 2011, 29(1): 72-75.
- YANG H C, LU Y W, MA C F, et al. Optimization study on the cascade utilization of LNG cold energy[J]. Renewable Energy Resources, 2011, 29(1): 72-75.
- (收稿日期: 2015-07-09; 修回日期: 2016-02-15; 编辑: 李在蓉)

基金项目: 中国石油化工股份有限公司 LNG 资助项目“广西液化天然气(LNG)项目”, 702081B0712。

作者简介: 杨经敏,男,高级工程师,1965年生,1988年毕业于中国石油大学(华东)油气储运专业,现主要从事 LNG 冷能利用方向的研究工作。地址: 广西壮族自治区北海市海城区重庆路 3 号利源国际大酒店 3002 室, 536000。电话: 13667795756, Email: ym5756@163.com

(上接第 385 页)

- GAO Q S, YUAN Y. Analysis of natural gas peak shaving in cities[J]. Natural Gas Technology, 2010, 4(4): 46-49.
- [9] 徐正康,张宝金,乔珩. 城市天然气调峰的探讨[J]. 煤气与热力, 2005, 25(4): 44-47.
- XU Z K, ZHANG B J, QIAO H. Discussion on natural gas peak shaving in cities[J]. Gas & Heat, 2005, 25(4): 44-47.
- [10] 郝晓晨. 省域天然气产业发展思路探索[J]. 油气储运, 2014, 33(7): 701-706.
- HAO X C. Expected development of provincial gas industry[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2014, 33(7): 701-706.
- [11] 郝晓晨,张东明. 靖西天然气管道负荷不均衡性及应对策略[J]. 油气储运, 2015, 34(3): 275-279.
- HAO X C, ZHANG D M. Load imbalance of Jingxi Natural Gas Pipeline and relevant solutions[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2015, 34(3): 275-279.
- [12] 蔡柏松. 大型天然气管网调峰方案自动化评价系统[J]. 天然气工业, 2014, 34(10): 87-91.
- CAI B S. Research and application of a gas pipeline peak shaving project evaluation system(GPPES)[J]. Natural Gas Industry, 2014, 34(10): 87-91.
- [13] 黄腾龙,潘振,陈保东,等. 天然气储气调峰技术的研究[J]. 当代化工, 2013(9): 1304-1306.
- HUANG T L, PAN Z, CHEN B D, et al. Research on peak-shaving technology of natural gas storage[J]. Contemporary Chemical Industry, 2013(9): 1304-1306.
- (收稿日期: 2015-01-30; 修回日期: 2015-06-02; 编辑: 潘红丽)
- 作者简介:** 席海宏,男,助理工程师,1988年生,2010年毕业于中国石油大学(华东)油气储运工程专业,现主要从事天然气长输管道的生产运行管理工作。地址: 山东省济南市历下区世纪大道 15002 号, 250000。电话: 18660179235, Email: xihaihong1988@126.com