

# 某天然气管网在特定工况下的水力系统分析

智文静

中国石油工程建设有限公司华北分公司

**摘要:** 资源供应的多元化推动了天然气行业的迅猛发展,城市天然气管网的建设与监管备受重视。天然气管网实际运行的水力工况直接影响着末端用气的稳定性、经济性及安全性。为保障管网的可靠运行,利用计算机模拟软件 Pipeline Studio 对某公司天然气高压管网系统进行水力分析。建立了工艺仿真计算模型,可对复杂管网进行快速、可靠的计算,并对管网输气能力及薄弱环节进行分析,提出了改进措施。本研究为具有多注入点、大量分输点的复杂型管网的可靠分析提供了参考。

**关键词:** 天然气管网;水力系统;仿真模拟;稳态模拟

## 1 前言

天然气作为一种清洁优质的能源,因其具有使用方便、热值高、无污染等特点,常被认为理想的绿色能源。采用清洁的天然气来代替燃煤或燃油,是当前降低城乡污染的重要途径。

为实现天然气供配气平衡,天然气输配管网的规模也在逐渐扩大。目前,我国天然气管网大多属于环状或枝状的复杂型管网,且管网的建设年限和使用的管段材质也不一样,其主要输配管道长度已远超过60万公里<sup>[1, 2, 3]</sup>。截至2020年底,油气长输管道总里程已近 $15 \times 10^4$ km。根据国家发展改革委、国家能源局印发的《中长期油气管网规划》,到2025年,中国油气管网规模将达 $24 \times 10^4$ km,油气干线管道全面实现互联互通,网络覆盖进一步扩大,结构更加优化,逐步形成“全国一张网”,储运能力大幅提升<sup>[4]</sup>。随着天然气管网的复杂化发展,管网的安全性、可靠性逐渐引起了社会和公众的广泛关注。因此,对管网水力工况的有效分析,已成为保障管网安全运行的必要前提。

本文研究的某公司管网系统具有多个气源点和大量的分输点。该管网自建立以来,为国民经济的发展做出了重要贡献。然而,随着天然气用户的逐渐增多,当前气源点下载气量已无法满足部分分输用户的用气需求,且部分管道可能存在管径设计不合理,严重影响到管网的输气能力。因此,本文拟采用 PIPELINE STUDIO 模拟软件,结合管网系统实际运行工况,对其输气能力及可能存在的输气瓶颈段进行分析,并提出合理化建议。目前,管网仿真技术模拟已广泛应用于管网优化设计。蔡志刚<sup>[5]</sup>(2014)选择某长输管道为研究对象,采用 TGNET 软件对其最大输气量进行模拟计算。戴慧芳等<sup>[6]</sup>(2016)

以成都某天然气公司为例,用 TGNET 软件分析了现役管道输配能力。基于上述研究,通过系列分析计算,证明此方法也适用于本工程。

## 2 工艺基础参数

### 2.1 组分参数

进入该管网的天然组分如下:

表 2.1-1 天然气组分

组分	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	iC <sub>4</sub>	nC <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	He
含量 mol%	94.7	0.55	0.08	0.01	0.01	1.92	2.71	0.02

### 2.2 模型构建参数

管道年工作天数为350天;管道平均总传热系数取 $2.1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}$ ;管道不采用内涂层,管内壁粗糙度取 $30 \mu\text{m}$ 。分输站最低进站压力不低于 $0.4 \text{ MPa}$ 。

由于管网系统复杂,地形起伏大,高差对管道输量影响较大。因此,在模型中使用经典公式柯列勃洛克公式进行水力计算:

$$q_v = 1051 \left\{ \frac{[P_1^2 - P_2^2(1 + a\Delta h)]f^5}{|Z\Delta T| \left[ 1 + \frac{a}{2L} \sum_{i=1}^n (h_i + h_{i-1})L_i \right]} \right\}^{0.5}$$

式中:  $q_v$ —气体 ( $P_0=0.101325 \text{ MPa}$ ,  $T=293 \text{ K}$ ) 的流量,  $\text{m}^3/\text{d}$ ;

$P_1$ —输气管道计算段的起点压力(绝),  $\text{MPa}$ ;

$P_2$ —输气管道计算段的终点压力(绝),  $\text{MPa}$ ;

$d$ —输气管道直径,  $\text{cm}$ ;

$Z$ —气体的压缩系数;

$\Delta$ —气体的相对密度;

$T$ —气体的平均温度,  $\text{K}$ ;

$L$ —输气管道计算段的长度,  $\text{km}$ ;

$a$ —系数,  $m^{-1}$ ,  $a=0.0683 (\Delta/ZT)$ ;  
 $\Delta h$ —输气管道终点和起点的标高差,  $m$ ;  
 $n$ —输气管道沿线高差变化所划分的计算段数;  
 $h_i, h_{i-1}$ —各分管段终点和起点的标高,  $m$ ;  
 $L_i$ —各分管段长度,  $km$ ;  
 $\lambda$ —水力摩阻系数。

### 3 管网概况

该管网由多条管道系统组成, 含三个气源站和55个分输站, 主要供气干线管径为D508mm, 设计压力4.0MPa。气源站①最大供气量为 $800 \times 10^4 m^3/d$ , 气源站②最大供气量为 $330 \times 10^4 m^3/d$ , 气源站③最大供气量为 $330 \times 10^4 m^3/d$ 。三个气源站的分输气量分别为 $408 \times 10^4 m^3/d$ 、 $100 \times 10^4 m^3/d$ 、 $308 \times 10^4 m^3/d$ 。管网分布模型如图3-1所示:

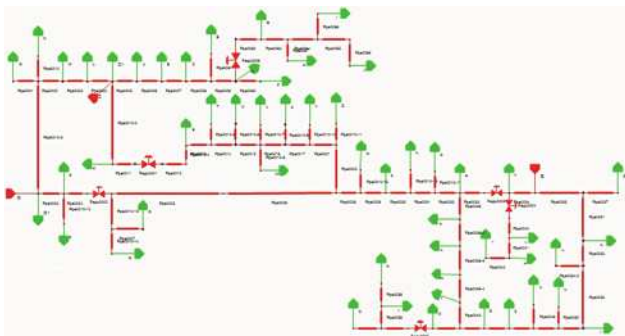


图3-1 管网分布模型

基于管网安全性考虑, 在个别管道或分输站设置了调压阀, 以降低压力保证下游管道的安全运行。根据运行资料显示, p站原分输气量为 $39.46 \times 10^4 m^3/d$ , 随着下游用户数量的增加, 用气需求也逐渐增多, p站原有分输气量已无法满足下游用户正常运行。因此, 在满足各分输站最低进站压力不低于0.4MPa的分输要求前提下, 通过水力计算分析p站最大分输能力。

## 4 结果与分析

### 4.1 管网整体输气能力分析

当三个气源站同时供气, 保证管网中各段管道管径不变的条件下, 分析p站实际最大分输气量和压力。经水力计算, 模型收敛。

通过分析可知: (1) 所有气源站同时供气, 各分输站场输气量与实际运行工况一致; (2) 当前工况下, p站的最大分输气量可达 $145 \times 10^4 m^3/d$ , 在此条件下, 进站压力为1.26MPa。(3) 各分输站最低进站压力均高于0.4MPa, 且工作压力均在设计压力范围内, 满足整个环网的用气需求。

### 4.2 管网薄弱环节分析

由管网布置图可见, 本工程气源管道与其他管道的连通站场包括K站、P站、f站。管网薄弱环节的存在严重影响着管道的输气能力与安全, 对薄弱环节的分析, 可有效避免供气瓶颈, 增大管网供气能力。本文管网系统中可能存在的几处薄弱环节主要集中在K站、P站、f站与支线管网的连接处及b-e段管道。

### 4.3 管径对各薄弱环节的影响

将管径变化对各薄弱环节的影响绘制成折线图, 如下图所示:

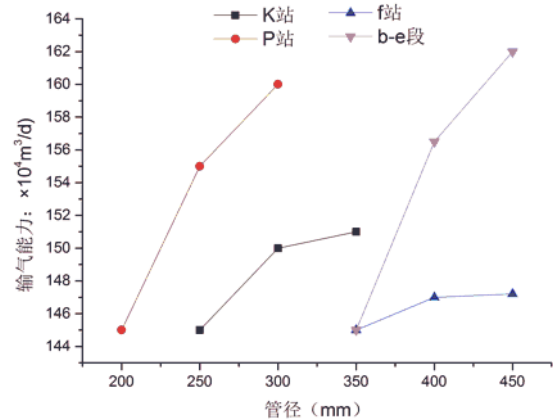


图4.3-1 各薄弱环节对管网输量的影响

由图可看出, 管径调整对管网整体输气量影响最明显的是b-e段管道, 因此, b-e段管道为本次管网分析的主要瓶颈点, 其次为P站与支线管网的连接处段管道。

按照输量影响曲线的走向和趋势分析, 建议瓶颈点改造先进行b-e段管道, 管径增加至D457mm; 其次对P站与支线管网的连接处段管道进行改造, 建议管径增加至D323.9mm。

管径的扩大, 可不同程度的增大气源站的供气量, 从而提高天然气的使用效率。各薄弱环节管径的调整对气源站①供气量的影响如图4.3-2所示:

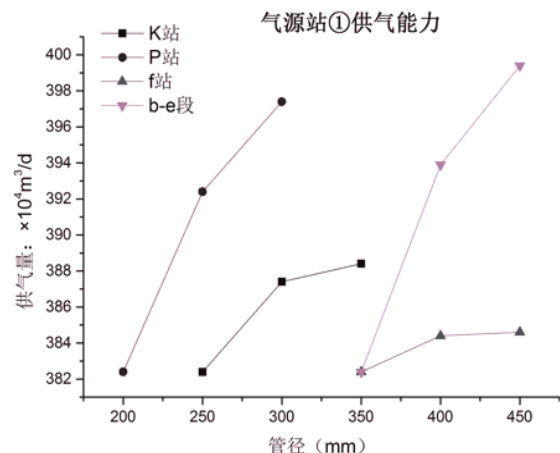


图4.3-2 各薄弱对气源站①供气量的影响

由图可知, 薄弱环节管径变化对气源站①供气量的影响趋势与对管网输气能力影响趋势一致, 最明显的是b-e段管道, 其次是P站与支线管网的连接处段管道。

## 5 结论与建议

综合上述分析, 在三个气源站同时供气的工况下, p站分输气量可满足管网系统的实际输气需求。通过模拟计算得知: 在保证不同压力等级管道的运行压力不超过其设计压力且不低于0.4MPa的情况下, p站现状分输气量可达 $145 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ , 与实际工况相符。同时, 有效增强了气源站①的供气能力( $382.4 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ ), 提高了管网的经济性。

本研究所建模型与已建运行工况相符, 反映了生产瓶颈, 同时, 为管网后期规划、运行提供了实际指导。为尽可能增大该管网系统输气能力, 提高天然气利用率, 根据模拟分析, 提出如下建议: (1) 对b-e段管道进行改造, 将管径扩大为D457mm; (2) 应进行P站与支线管网的连接处段管道改造, 建议管径增加至D323.9mm。

## 参考文献:

- [1] 钱兴坤, 姜学峰. 2014年国内外油气行业发展报告[R]. 北京: 石油工业出版社, 2015.
- [2] 马亮. 城镇燃气管网系统的可靠性研究[D]. 西南石油大学, 2016.
- [3] 周晓静. 多气源天然气管网水力工况研究[D]. 重庆大学, 2011.
- [4] 国家发改委, 国家能源局. 中长期油气管网规划[EB/OL]. (2017-07-12) [2021-01-20]. National Development and Reform Commission, National Energy Administration. Medium and long term oil and gas pipeline network planning[EB/OL]. (2017-07-12) [2021-01-20]
- [5] 蔡志刚. 输气管道适应能力模拟计算[J]. 科技创新与应用, 2014(19): 1-2.
- [6] 戴慧芳, 叶丽蓉, 袁勇. 燃气输配管网适应性分析案例研究——以成都地区某天然气公司为例[J]. 上海煤气, 2016(1): 11-15.