

Model and Optimization of High-Pressure Gas Station Venting Time

Liang Feng¹, Yining Li^{2*}, Kaihong Li¹, Sha Chen¹, Wenjun Dang³, Yu Ding¹

¹PetroChina Southwest Pipeline Company, Chengdu Sichuan

²PetroChina Sales Xinjiang Branch Changji Co. Ltd., Changji Xinjiang

³PetroChina West to East Pipeline Company, Shanghai

Email: *66874617@qq.com

Received: Mar. 19th, 2020; accepted: Apr. 22nd, 2020; published: Jun. 15th, 2020

Abstract

The venting of high-pressure gas station is a common process operation of long-distance natural gas transmission pipeline, which is generally caused by the need for immediate treatment of major safety hazards in the high-pressure gas station. As the shutdown time of high-voltage station should not be too long, it is usually necessary to estimate the emergency repair time of potential safety hazards in advance. As a part of emergency repair time, it is necessary to study the venting time of natural gas station. In this paper, a venting model is established based on SPS software. Firstly, the actual venting operation data of a station is used to verify the model, and the result shows that the venting time deviation between the two is about 3%. Then, the model is used to simulate the venting operation of another station in advance and formulate the venting operation plan, and the venting operation is carried out on site according to the plan, and the venting time deviation between the two is about 5%. Finally, the model is used to ensure the safety of a certain station. The vent time of the station is simulated from the number of vent points and the pressure drop rate of the vent pipe section, and the rule is summarized. Finally, it is concluded that the vent time of the high pressure station is relatively better when two vent points are set and the pressure drop rate is controlled according to the initial vent pressure.

Keywords

High Pressure Gas Station, Venting Time, SPS Software, Venting Point, Pressure Drop Rate

*通信作者。

高压天然气站场放空时间的模型及其优化

冯 亮¹, 李一宁^{2*}, 李开鸿¹, 陈 莎¹, 党文俊³, 丁 昱¹

¹中国石油西南管道公司, 四川 成都

²中国石油天然气销售新疆分公司昌吉分公司, 新疆 昌吉

³中国石油西气东输公司, 上海

Email: *66874617@qq.com

收稿日期: 2020年3月19日; 录用日期: 2020年4月22日; 发布日期: 2020年6月15日

摘 要

高压天然气站场放空是天然气长输管线常见的工艺操作, 该操作一般是由于高压天然气站场有重大安全隐患需要立即处理而引发的。由于高压站场停输时间不宜过长, 通常需要预先估计安全隐患的抢修时间。而天然气站场放空时间作为抢修时间的一部分, 故其很有必要进行研究。本文基于SPS软件建立放空模型, 首先用某站场实际放空操作数据进行验证, 结果显示两者放空时间偏差约3%; 随后用该模型对另一站场放空操作预先模拟并制定放空操作方案, 并在现场按方案进行操作, 两者放空时间偏差约5%; 最后用该模型在保证安全的前提下就某站场放空时间从放空点数量与放空管段压降速率进行了模拟并总结规律, 最终得出高压站场放空时设定两放空点并根据放空初始压力控制压降速率时其放空时间相对较优。

关键词

高压天然气站场, 放空时间, SPS软件, 放空点, 压降速率

Copyright © 2020 by author(s), Yangtze University 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

天然气放空是天然气长输管道运行单位生产过程中必不可少的一个环节, 而对天然气放空时间精确量化是管道运行单位面对的一个难题[1]。近年来, 许多学者对放空时间进行了研究。诸如: 对放空管段建立偏微分方程组并用特征线法转化成全微分方程组进行数值求解, 其结果与工程实际放空时间数据吻合良好[2]; 以 Fano 方程为基础, 运用流体力学与输气管路流动基础理论进行编写程序, 可以实现对瞬时放空量、放空时间、截面压力和储气量进行求解, 误差控制在 2% 以内[3]; 李方圆等利用 SPS 软件建立了川气东送管道放空计算模型, 模拟计算了不同条件下的放空时间和放空过程中的压力变化, 进行了放空阀出口管径的比选[4]; 刘杰针对乌兹别克斯坦临时段管道, 探讨了其部分管段内的天然气放空方法, 对天然气放空量和放空时间进行理论计算[5]; 王盼锋对天然气管道放空系统和流动状态作了简要分析, 对目前放空系统的放空时间的方法进行了总结与归纳, 并且通过 TGNET 放空案例, 计算了放空需要的时间, 为现场放空提高理论指导[6]; 徐东旭针对天然气输气管道放空时间这一研究命题, 对几种计算方

法进行了分析与研究,旨在找出最合理的放空时间计算方法,为准确生产调度决策、科学计划施工时间、科学气量调配以及有效组织事故抢修等提供可参考的理论依据[7];孔吉民通过对管道内的天然气进行放空或卸压时所用时间及放空量计算公式的推导,得出相关公式,为今后的生产调度决策、气量调峰、合理组织事故抢修等工作,提供了更科学的理论依据[8];叶学礼运用工程流体力学基础理论,结合工程实际,提出一种求解新方法,即以可压缩流体有摩擦绝热一维流支的范诺方程为基础求天然气瞬时空量,运用数值积分法求累计放空时间[9]。

以上文献研究的对象均为天然气管线,而天然气管线中经常放空的位置是天然气站场,相较于天然气管线放空,天然气站场放空量较少,故目前很少有研究天然气站场放空时间的文献。本文利用 SPS 仿真软件建立天然气站场的放空模型,并用某站场实际放空操作进行验证,结果显示该模型模拟所得放空时间与该站场实际放空时间基本吻合;利用该模型指导另一某站场放空操作,即先用该模型预先模拟并确定操作步骤,而后在现场按确定步骤操作,两者放空时间在可接受误差范围内。在确定该模型适用于站场放空时间仿真后,作者用该模型在保证安全的前提下就某站场放空时间从放空点数量与放空管段压力下降速率进行了模拟并总结规律,该规律对高压天然气站场放空时间的优化起到参考作用。

2. 仿真模型的建立

2.1. SPS 软件介绍[10] [11]

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[12],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) [13],并能仿真控制管道事故工况(瞬态仿真) [14] [15] [16] [17],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. 仿真模型

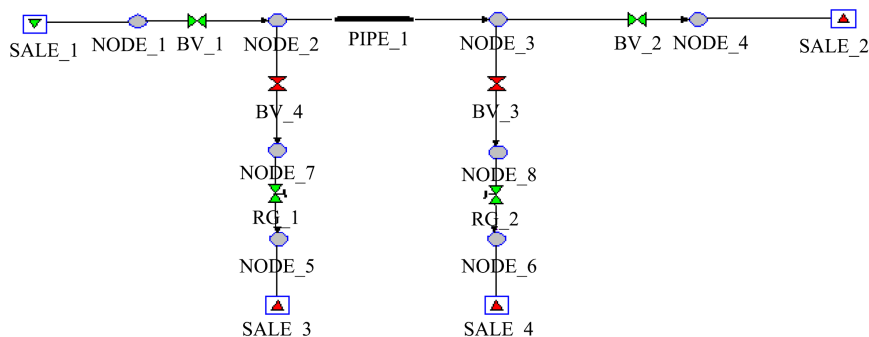


Figure 1. Venting model
图 1. 放空模型

模型介绍:

基于现场放空段管道建立模型如图 1 所示, PPPE_1 为站场管段, SALE_1 为注入气源, SALE_2 为

输出气源, SALE_3、SALE_4 为放空位置; BV_1、BV_2、BV_3、BV_4 为截断阀; RG_1、RG_2 为调节阀。

在 SALE_1 处使用压力控制(设管段放空时的压力), SALE_2 处使用流量控制(可设为 0.1 m^3), SALE_3、SALE_4 处使用压力控制(当地大气压)。

图 1 所示模型有两个放空点, 如需增加放空点, 应用软件加入即可。

2.3. 基本参数

- 1) 放空压力放空温度见实际站场放空条件;
- 2) 放空各管段参数见实际站场;
- 3) 放空管线的管径。

3. 仿真模型的验证

3.1. 模型验证 1

某压气站放空压力为 8.09 MPa, 放空温度为 21.38°C ;

放空管段管外径、壁厚、管长分别为: 1016 mm、18.4 mm、41 M; 914 mm、25 mm、105 M;

放空管线的管径 $D114.3 \times 8$, 经过查表得出旋塞阀的阀门系数约为 $25 \text{ m}^3/\text{HR-KPa}$ 。

当天实际作业中, 开始作业后每个时刻阀门的开度及所持续放空完成时间如下: 实际放空完成时间约 35 分钟, 阀门开 30% 维持约 12 分钟, 阀门开 40% 维持了约 13 分钟, 阀门全开维持了约 10 分钟。

根据上述条件设定仿真模型参数, 操作步骤如下:

- 1) 打开 BV_1、BV_2 运行一段时间(可任意设定, 本仿真中设为 30 min);
- 2) 关闭 BV_1、BV_2, 打开 BV_3;
- 3) 按照上述实际设定 RG_1 开度;
- 4) 仿真得到该站放空压力-时间曲线, 见图 2。

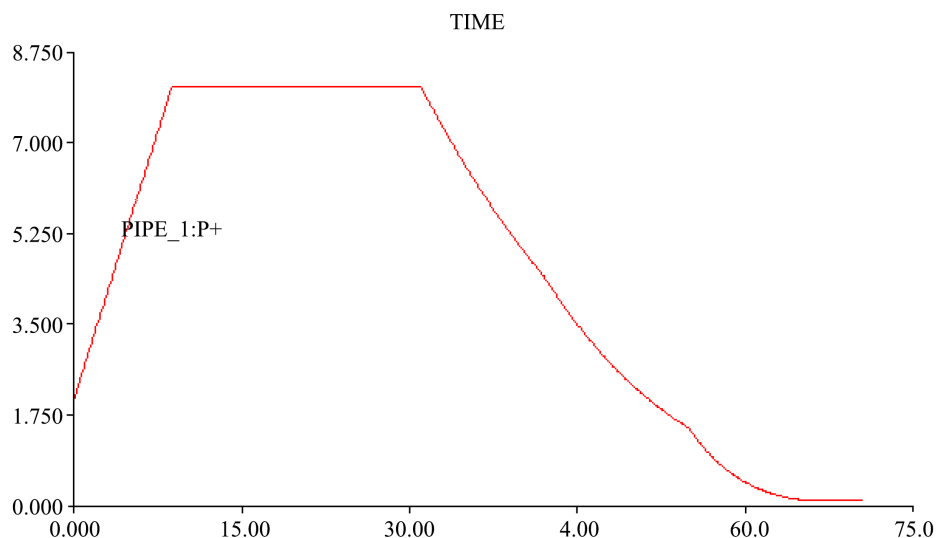


Figure 2. Venting pressure-time (comparison with the actual situation) 1

图 2. 放空压力 - 时间曲线 1 (与实际对比)

由图 2 可得: 放空时间约 36 min, 其仿真所得放空时间与实际放空时间基本吻合, 误差约 3%。

3.2. 模型验证 2

某压气站放空压力为 4.46 MPa，放空温度为 23.18℃；

放空各管段容积约 310 m³；

放空管线的管径 D114.3 × 8，经过查表得出阀门系数约为 25 m³/HR-KPa。

在模型仿真过程中，设定管线内压力为 3 MPa 以上时 RG_1、RG_2 开度为 25%；管线内压力为 2 MPa 至 3 MPa 时 RG_1、RG_2 开度为 30%；管线内压力为 1 MPa 至 2 MPa 时 RG_1、RG_2 开度为 35%；管线内压力为 0.5 MPa 至 1 MPa 时 RG_1、RG_2 开度为 50%；管线内压力为 0.1 MPa 至 0.5 MPa 时 RG_1、RG_2 开度为 100%。

根据上述条件设定仿真模型参数，操作步骤如下：

- 1) 打开 BV_1、BV_2 运行一段时间(本仿真中设为 30 min)；
- 2) 关闭 BV_1、BV_2，打开 BV_3、BV_4；
- 3) 按照上述实际设定 RG_1、RG_2 开度；
- 4) 仿真得到该站放空压力 - 时间曲线，见图 3。

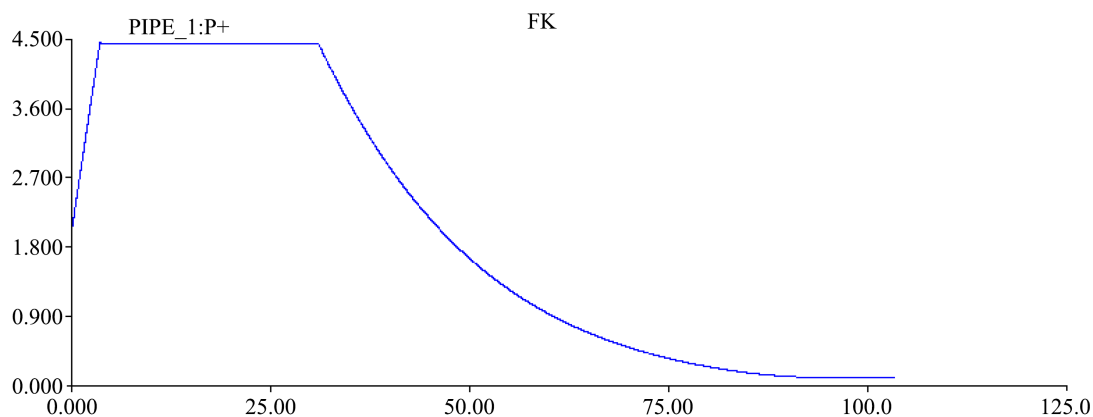


Figure 3. Venting pressure-time (comparison with the actual situation) 2

图 3. 放空压力 - 时间曲线 2 (与实际对比)

由图 3 可得：该设定条件下的放空时间约 64 min，而根据上述设定所得放空时间约 60 min，两者误差约 5%。

由上述两验证可得：该模型仿真所得放空时间与高压天然气站场放空时间基本吻合，故该模型可用于高压天然气放空时间优化的研究。

误差原因分析：1) 旋塞阀的阀门系数精确度不够；2) 旋塞阀没有阀门开度指示，现场人员在实际操作中凭借对阀位指示盘进行观察，以确定阀门开度，无法做到精确控制阀门的开度。

4. 放空时间优化研究

在研究站场放空时间优化时，需设定某一确定基本条件，而后分析某一影响因素改变时放空时间的变化，并在保证站场放空火炬在其最大安全高度以内时取得最低的放空时间。

4.1. 放空点数

站场放空火炬的最大安全高度约为 33.4 m [14]。在上述模型验证 2 中，两调节阀的开度严格控制在最高安全高度。

4.1.1. 一个放空点

以模型验证 2 中基本参数为基础, 仅开一路放空, 在严格控制最高安全高度时所得调节阀开度设定如下: 管线内压力为 4 MPa 以上时 RG_1 开度为 31%; 管线内压力为 3.5 MPa 至 4 MPa 时 RG_1 开度为 34%; 管线内压力为 3 MPa 至 3.5 MPa 时 RG_1 开度为 39%; 管线内压力为 2.5 MPa 至 3 MPa 时 RG_1 开度为 45%; 管线内压力为 1.5 MPa 至 2.5 MPa 时 RG_1 开度为 55%; 管线内压力为 0.5 MPa 至 1.5 MPa 时 RG_1 开度为 65%。管线内压力为 0.1 MPa 至 0.5 MPa 时 RG_1 开度为 100%。

根据上述条件设定仿真模型参数, 操作步骤如下:

- 1) 打开 BV_1、BV_2 运行一段时间(本仿真中设为 30 min);
- 2) 关闭 BV_1、BV_2, 打开 BV_4;
- 3) 按照上述实际设定 RG_1 开度;
- 4) 仿真得到该站放空压力 - 时间曲线, 见图 4。

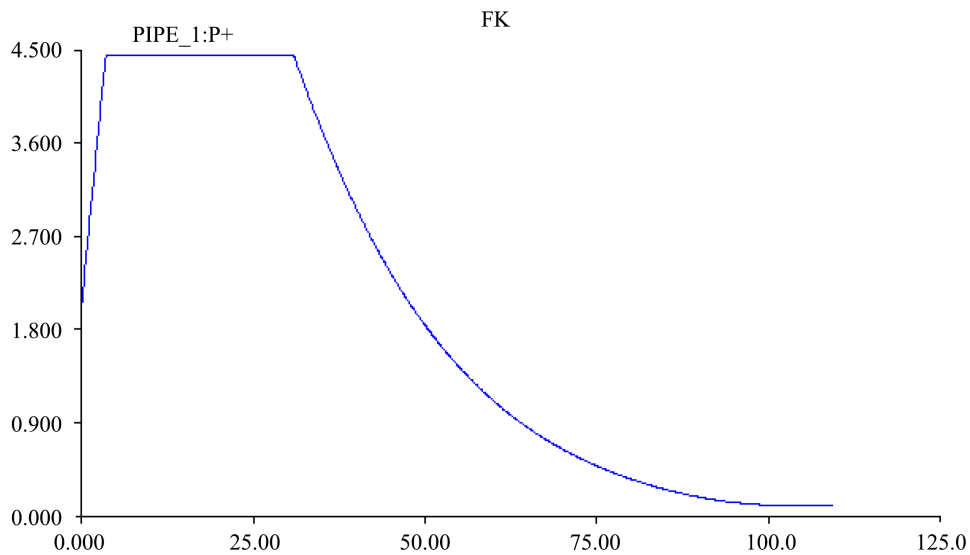


Figure 4. Venting pressure-time (a venting point)

图 4. 放空压力 - 时间曲线(1 个放空点)

由图 4 可得, 仅站一个放空点场放空火炬的最大安全高度以内时取得的模拟放空时间是 68 min。

4.1.2. 三个放空点

以模型验证 2 中基本参数为基础, 并增加 RG_3、BV_5 与 SALES, 在严格控制最高安全高度时所得调节阀开度设定如下: 管线内压力为 3 MPa 以上时 RG_1、RG_2、RG_3 开度为 17%; 管线内压力为 2 MPa 至 3 MPa 时 RG_1、RG_2、RG_3 开度为 21%; 管线内压力为 1 MPa 至 2 MPa 时 RG_1、RG_2、RG_3 开度为 24%; 管线内压力为 0.5 MPa 至 1 MPa 时 RG_1、RG_2、RG_3 开度为 35%; 管线内压力为 0.1 MPa 至 0.5 MPa 时 RG_1、RG_2、RG_3 开度为 100%。

根据上述条件设定仿真模型参数, 操作步骤如下:

- 1) 打开 BV_1、BV_2 运行一段时间(本仿真中设为 30 min);
- 2) 关闭 BV_1、BV_2, 打开 BV_3、BV_4、BV_5;
- 3) 按照上述实际设定 RG_1、RG_2、RG_3 开度;
- 4) 仿真得到该站放空压力 - 时间曲线, 见图 5。

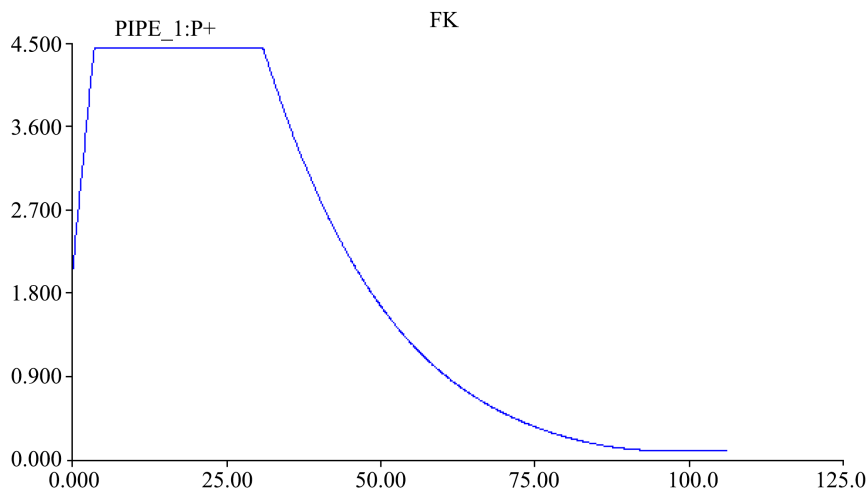


Figure 5. Venting pressure-time (three venting points)
图 5. 放空压力 - 时间曲线(3 个放空点)

由图 5 可得, 三个放空点放空火炬的最大安全高度以内时取得的模拟放空时间是 58 min。

综上所述: 就该站设定基本参数下, 在严格控制放空火焰最高安全高度下, 放空点越多, 理论上是放空时间越短, 但当放空点数在二个与三个时, 放空时间相差无几, 故结合操作时放空点越多, 安全隐患越多, 建议在实际站场放空中优先选择两个放空点进行放空。

4.2. 管段压力下降速率

管段压力下降速率与放空管段的管容、初始压力、初始温度有关, 本文仅分析验证 2 前提下的管段压力下降速率

4.2.1. 一个放空点

在严格控制放空火焰最高安全高度下, 按照 4.1.1 的调节阀开度设置与操作步骤进行仿真。可得管线中管段压力下降速率随管段内压力下降而降低, 其中在管段内压力压力从 4.45 MPa 降至 1 MPa 时的管段压力下降速率为约 6 KPa/3s。

4.2.2. 二个放空点

在严格控制放空火焰最高安全高度下, 按照模型验证 2 的调节阀开度设置与操作步骤进行仿真。可得管线中管段压力下降速率随管段内压力下降而降低, 其中在管段内压力压力从 4.45 MPa 降至 1 MPa 时的管段压力下降速率为约 7 KPa/3s。

4.2.3. 三个放空点

在严格控制放空火焰最高安全高度下, 按照 4.1.2 的调节阀开度设置与操作步骤进行仿真。可得管线中管段压力下降速率随管段内压力下降而降低, 其中在管段内压力压力从 4.45 MPa 降至 1 MPa 时的管段压力下降速率为约 7 KPa/3s。

综上所述: 就该站设定基本参数下, 在严格控制放空火焰最高安全高度下, 放空点较多时管段压力下降速率比放空点较少时略大, 而放空点越多, 安全隐患就越多, 故建议优先选择两个放空点进行放空。

5. 结论

1) 在站场设定基本参数下, 该模型的模拟放空时间和实际放空间时间对比时存在一定误差, 其主要

原因是：① 旋塞阀的阀门系数精确度不够；② 旋塞阀没有阀门开度指示，现场人员在实际操作中凭借对阀位指示盘进行观察，以确定阀门开度，无法做到精确控制阀门的开度；该误差在可接受范围内，故该模型模拟得到的放空时间可以对实际的放空作业有参考价值；

2) 在站场设定基本参数下，可利用该模型进行预先模拟，在严格控制放空火焰最高安全高度下，通过改变放空点数与控制管段压力下降速率使得放空时间得到优化；

3) 在站场设定基本参数下，在严格控制放空火焰最高安全高度下，放空点越多，理论上是放空时间越短，但当放空点数在二个与三个时，放空时间相差无几，故结合操作安全隐患方面考虑建议在实际站场放空中优先选择两个放空点进行放空；

4) 在上述 4.2 站场设定基本参数下，在严格控制放空火焰最高安全高度下，放空点较多时管段压力下降速率比放空点较少时略大，单从放空管段压力下降速率与操作安全隐患方面考虑，建议在实际站场放空中优先选择两个放空点进行放空；

5) 放空管段压力下降速率在初始压力不同时不一致，如需获得其值需用该模型结合操作步骤进行模拟。

参考文献

- [1] 吴渊, 金金. 天然气输气管道放空时间的计算[J]. 辽宁化工, 2014, 43(9): 1207-1209.
- [2] 刘英男, 张鑫, 单鲁维. 基于特征线法的天然气管道放空时间的计算[J]. 油气储运, 2014, 33(12): 1338-1342.
- [3] 娄晨, 林琪. 基于天然气放空系统的水力计算软件开发[J]. 石油工业技术监督, 2014(4): 1-6.
- [4] 李方圆, 江涛, 李玉星, 等. 川气东送管道放空参数的计算[J]. 油气储运, 2010, 29(6): 427-429.
- [5] 刘杰, 刘涛, 刘志广. 中亚天然气管道部分管段放空方法与应用[J]. 石油工程建设, 2014, 40(1): 26-29.
- [6] 王盼锋. 天然气管道放空时间分析与计算[J]. 云南化工, 2018, 45(11): 138-139.
- [7] 徐东旭. 天然气输气管道放空时间的计算[J]. 化工管理, 2017(8): 229.
- [8] 孔吉民. 对管线内天然气放空时间及放空量的探讨[J]. 石油化工应用, 2005(4): 18-20.
- [9] 叶学礼. 天然气放空管路水力计算[J]. 天然气工业, 1999, 19(3): 77-81.
- [10] 郑云萍, 肖杰, 孙啸, 等. 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.
- [11] 冯亮. 陕京二、三线系统运行优化与仿真研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国石油大学(北京), 2013.
- [12] 徐嘉爽, 邱星栋, 李海润, 等. 基于 SPS 的长距离输气管道破损压降速率分析[J]. 油气储运, 2015, 33(3): 5-10.
- [13] 徐嘉爽, 唐恂, 李海润, 等. 基于 SPS 软件的原油管道水力摩阻分析 [J]. 油气储运, 2014, 31(1): 13-16.
- [14] 杜明俊, 商峰, 熊新强, 等. 基于 SPS 的成品油管道水击超前保护工艺分析[J]. 当代化工, 2013, 42(20): 1388-1391.
- [15] 赵雨桐. 基于 SPS 软件的原油管道动态仿真应用于探讨[J]. 中国管理信息化, 2014, 17(16): 36-38.
- [16] 袁璐, 闫小军. 利用 SPS 软件分析输气管道的瞬态工况[J]. 辽宁化工, 2014, 43(2): 149-154.
- [17] 肖双斌. 天然气放空系统火炬研究[D]: [硕士学位论文]. 大庆: 大庆石油学院, 2009: 1-35.