

安全阀动态泄放下火炬模拟研究

王 涛 戴 磊 孙为志 周 鹏

海洋石油工程股份有限公司设计院, 天津 300452

摘 要:海上平台火炬系统计算需要根据不同泄放源的泄放工况进行综合分析,以选取合适的泄放量。由于实际泄放阀选阀尺寸一般高于必需尺寸,导致实际泄放量远大于必需泄放量,而基于安全阀额定泄放量进行火炬系统设计,将增加设备尺度及火炬臂长度。创新性采用 HYSYS 动态模拟结合 Flaresim 动态计算方法,得到在安全保护系统作用下火炬泄放量及热辐射的变化趋势,结果证明基于必需泄放量下的火炬长度可以满足火炬安全泄放要求,该技术方法和结论在一定程度上可以用于指导工程实践。

关键词:HYSYS 动态;Flaresim 动态;安全阀;必需泄放量;额定泄放量

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2020.01.003

Study on Flare Simulation at Safety Valve Dynamic Relief Scenario

Wang Tao, Dai Lei, Sun Weizhi, Zhou Peng

Institute of Offshore Oil Engineering Co., Ltd., Tianjin, 300452, China

Abstract: In order to select suitable relieving amount, different scenarios of discharge sources shall be analyzed for flare system calculation at offshore platform. Usually the actual size of safety valve is larger than the required size, which leads to an actual relieving amount far more higher than the required one. However calculation based on rated relieving amount will increase the flare facilities load and enlarge equipment and flare stack sizes. In order to solve this issue, HYSYS dynamic simulation combined with Flaresim dynamic calculation is adopted in this paper to obtain the trend of flare relieving volume and thermal radiation against time. The analysis result proves that flare length based on the required relieving capacity could satisfy flare relief safely. This paper can be used to guide engineering practice in certain extent.

Keywords: HYSYS dynamic; Flaresim dynamic; Safety valve; Required relieving capacity; Rated relieving capacity

0 前言

安全阀作为石油化工设备最后一级安全保护设施,需要根据工艺降压泄放所需流量,选择合适的安全阀规

格,以及进行火炬系统的计算和模拟。泄放量的确定需要对各种事故工况进行逐一分析,海洋石油平台常见的事故工况包括堵塞、控制阀失效、换热器故障和外部火灾等^[1-3]。火灾事故可能包括多个压力安全阀或者多个

收稿日期:2019-09-26

基金项目:中国海洋石油南海西部石油管理局“东方气田开发”项目(17 DD 02)

作者简介:王 涛(1985-),男,山东寿光人,工程师,硕士,主要从事海洋平台石油与天然气工艺设计工作。E-mail: wangtao42@cnooc.com.cn

紧急泄压阀的泄放,而堵塞、控制阀失效、换热器故障工况通常只引起单个安全阀的泄放。对于单个压力安全阀的工况,一般情况下使用必需泄放量进行火炬系统的设计^[1-2]。但存在实际泄放阀选阀尺寸可能高于所需尺寸,实际泄放量远大于必需泄放量的情况。例如,绝大部分的弹簧式安全阀在设定压力下会泄放出其额定泄放量 50% 甚至超过额定流量^[1],因此,初始泄放量会大于必需泄放量,此时需要额定泄放量作为火炬系统设计的上限负荷量进行校核^[1],但选用额定泄放量进行火炬计算,会导致火炬系统设计负荷过大,火炬臂长度增加。近年来,已有工程设计人员采用 HYSYS^[4-12] 动态模拟研究安全阀的泄放量,但都是基于单个容器火灾工况进行模拟计算。本文通过建立全平台动态模拟,得到超压安全保护系统作用下安全阀的动态泄放数据,结合火炬热辐射模拟专业软件 Flaresim^[13-17] 的动态计算功能,计算

得到火炬泄放和热辐射的动态模拟数据,来分析实际泄放过程中火炬热辐射的变化趋势,用于火炬系统精确定尺计算。

1 项目概况

以某海上采油平台为例进行火炬动态模拟研究,工艺流程见图 1。其主要流程如下:井口产出物经井下关断阀、主阀、翼阀、油嘴,进入生产/测试管汇,油嘴前操作压力为 13.6 MPa,经油嘴降低为 5.6 MPa,需要单井计量的物流进入测试管汇进行单井计量,其他井生产物流进入生产管汇,最后汇合经海管外输至中心处理平台。系统采用降压设计,在 XV 关断阀后系统设计压力降低为 7 MPa,为保护下游系统设置堵塞工况安全阀。根据平台事故工况逐一分析,确定外输管线出口堵塞工况下流量为火炬系统最大设计泄放量。

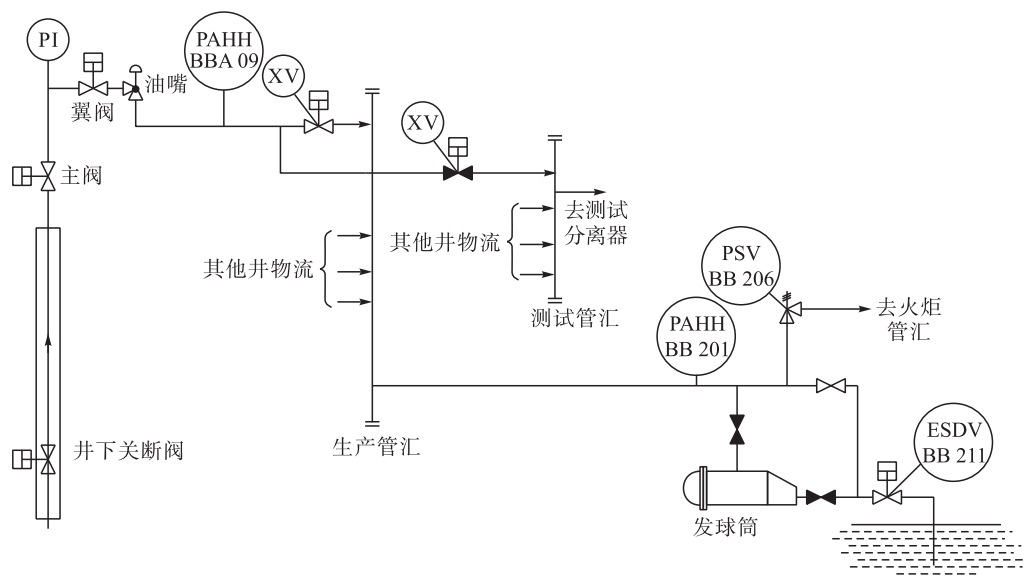


图 1 工艺流程图

Fig. 1 The Process Flow Diagram

火炬系统的模拟主要分析火炬燃烧产生的热辐射对平台人员的影响,标准 API 521^[1] 规定了不同的热辐射强度下允许的人员暴露时间,在该时间内人员应躲避到热辐射低于 1.58 kW/m^2 的区域或者在该区域设置遮挡物以降低热辐射值,不同的热辐射强度下人员允许暴

露时间见表 1。发生紧急事故后操作人员一般需要 3 ~ 10 min^[1] 的时间进行系统关停,所以火炬模拟计算中热辐射强度一般选用 4.7 kW/m^2 ,高于该值需要根据表 1 的暴露时间进行精确分析。

表 1 不同热辐射强度下的暴露时间表

Tab. 1 The allowable duration of different thermal radiation

热辐射 / ($\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$)	7.9 ~ 9.5	7.1 ~ 7.9	6.3 ~ 7.1	5.5 ~ 6.3	4.7 ~ 5.5	1.58 ~ 4.7
躲避时间 / s	6	15	30	60	120	> 180

2 安全阀动态泄放模拟

2.1 HYSYS 动态模拟建立

首先根据工艺流程建立稳态模拟,然后切换到动态

模式输入所需的管线、阀门、油嘴等参数,其中管线规格及布置根据 3D 模型抽取,动态模拟输入数据见表 2;安全阀堵塞工况的发生采用关闭海管入口关断阀模拟实现,HYSYS 动态模拟流程见图 2。模拟工况为外输海管

下游发生堵塞,引起外输管线超压,达到高高关断压力触发单井紧急关停,单井的主阀、翼阀、油嘴随之执行关阀操作,根据已有文献关于井口超压保护系统的失效分析,考虑 1 口井存在关阀失效的工况^[19-20],根据单井产

量 62 600 kg/h,确定必需泄放量,所选安全阀尺寸为 3L4,额定泄放量为 86 648 kg/h。必需泄放量和额定泄放量对火炬系统的定尺计算影响见表 3。

表 2 动态模拟输入数据表

Tab.2 Dynamic simulation input data

井数 / 口	单井产量 / (kg · h ⁻¹)	主阀 / 翼阀 关闭时间 / s	油嘴 Cv 值	油嘴关闭 时间 / s	海管关断阀 关闭时间 / s	油嘴前温度 / ℃	外输压力 / MPa
4	62 600	10	140	14	18	71	5.6

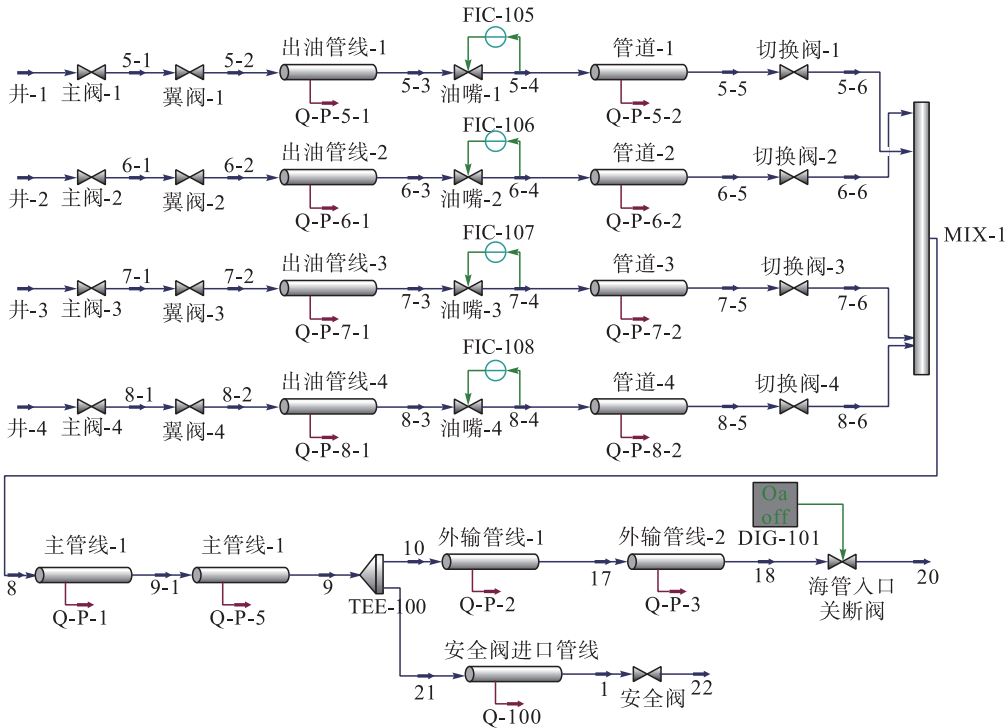


图 2 HYSYS 动态模拟流程图

Fig. 2 HYSYS dynamic simulation flow diagram

表 3 必需泄放量和额定泄放量对火炬系统的影响表

Tab.3 The influences of required relieving capacity and rated relieving capacity

泄放量 / (kg · h ⁻¹)	火炬管线 / mm	火炬分液罐 / m	火炬臂 长度 / m
62 600 (必需泄放量)	DN 300	2(I. D) × 4(T/T)	42
86 648 (额定泄放量)	DN 300	2.2(I. D) × 4.8(T/T)	54

2.2 模拟结果分析

图 3 给出了海管关断阀开始关阀到安全阀泄放稳定的整个动态变化过程,反映出外输管线操作压力、安全阀开度、泄放量随时间的变化过程,同时也跟踪了主阀、翼阀、油嘴的关阀过程对工艺系统的影响,由图 3 看出:

1)150 s 海管关断阀开始执行关阀操作,168 s 关断阀完全关上,压力达到高高关断压力 6 300 kPa 时,主阀、翼阀、油嘴开始执行关阀操作。

2)安全阀从 168 s 开始逐渐打开,到 170 s 压力达到 7 700 kPa(安全阀设定点的 1.1 倍)时,安全阀达到全开状态,全开时泄放量达到额定泄放量 86 648 kg/h。

3)因主阀、翼阀、油嘴分别有 10、10、14 s 的关阀时间,在关阀过程中井口高压物流会持续进入外输管线,因此在 170 s 安全阀全开后,管线操作压力会持续上升,安全阀前后压差持续升高,泄放量也随之上升,在 176 s 达到峰值,峰值泄放量为 100 300 kg/h。

4)178 s 时主阀、翼阀全部关上,182 s 时油嘴完全关上,因油嘴阀门的特性在阀门完全关闭后会保持在 5% 开度,之后压力逐渐稳定在 7 500 kPa 左右,泄放量稳定在 62 600 kg/h。

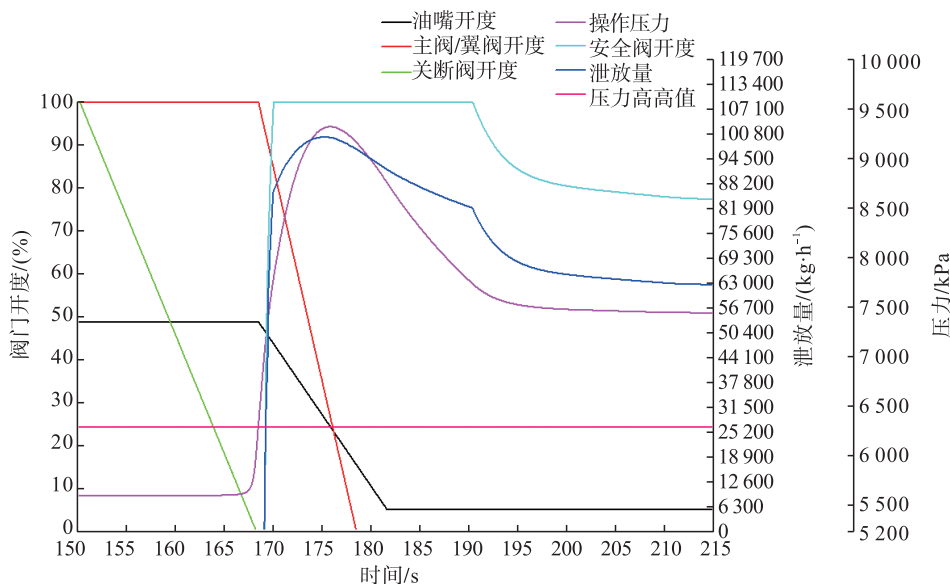


图 3 HYSYS 动态模拟结果曲线图

Fig. 3 The simulation result of HYSYS dynamic

3 火炬 Flaresim 模拟

Flaresim 模拟需要输入气体组分、环境风速、火炬臂长度、火炬头尺寸及动态泄放量、感受点坐标。计算方法选择 dynamic 计算模式,气体组分及动态泄放量由动态模拟读出,环境风速考虑 3 个最高频率风速 2、5、9 m/s,火炬臂长度及尺寸根据表 3 输入,感受点选取热辐射强度相对较高的三处:平台甲板边缘(A)、吊机操作室(B)、电器操作间(C),坐标依据设备布置总图读出,高度上考虑增加人员操作站立高度 2 m。

3.1 热辐射模拟计算

使用集成混合源^[13,18](Mixed)方法计算热辐射强度,该方法结合了点源(Point)和扩散(Diffuse)方法,远、近距离区域的辐射模拟都比较精确^[18]。

$$K = a \frac{FQ}{4\pi L^2} \int_0^L \frac{1}{D^2} dL + (1-a) \frac{FQ}{\pi^2 L^2} \int_0^L \frac{\sin\beta}{D^2} dL \quad (1)$$

式中: a 为经验常数; D 为从火炬中心或点源至感受点之间的最小距离,m; F 为热辐射系数; Q 为释放热量(低热值),kW; K 为允许的热辐射,kW/m²;L为火焰长度,m; β 为火焰切线方向与火焰和感受点连线方向之间夹角。

3.2 热辐射模拟结果分析

3.2.1 风速的影响

热辐射强度计算受环境风速^[14]的影响,根据环境 3 个最高频率风速 2、5、9 m/s,在火炬臂 42 m 下,进行模拟分析见图 4,从图 4 看出在固定风速下,热辐射强度变化与泄放量变化趋势相同,在 168 s 前安全阀未开启时,各感受点热辐射强度为 1 kW/m²,为太阳热辐射强度,此后热辐射强度出现峰值区域,在 205 s 后泄放量稳定,热辐射强度也趋于稳定。在不同风速下,热辐射强

度随风速的增大而增大,在相同风速下,感受点处的热辐射强度(A) > (C) > (B),因此 9 m/s 风速和平台甲板边缘成为火炬臂长度计算的限制条件。

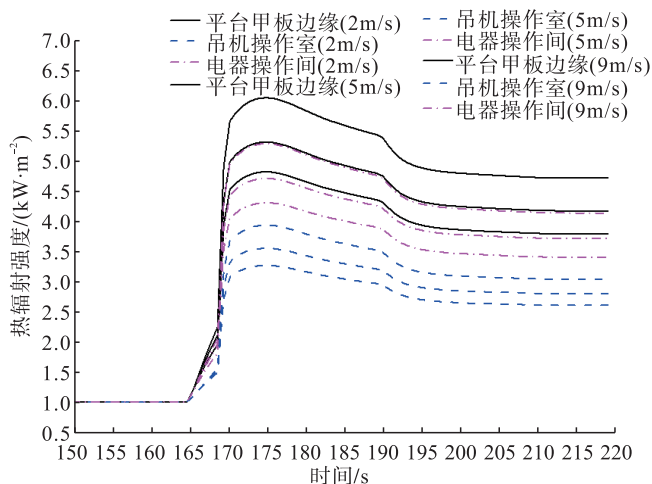


图 4 不同风速下热辐射模拟结果曲线图

Fig. 4 The thermal radiation result at different wind speeds

3.2.2 火炬臂长度敏感性分析

在最恶劣风速 9 m/s 下,不同火炬臂长度 54、42 m 下对应热辐射强度见图 5~6。从图 5~6 可以看出,火炬臂在 54 m 下任意感受点在泄放过程中的热辐射强度均不超过 4.7 kW/m²,205 s 后热辐射强度趋于稳定后,最大热辐射点(A)热辐射强度稳定为 3.6 kW/m²,操作人员有充足时间躲避到安全区域,火炬臂 54 m 较为保守。

火炬臂 42 m 下热辐射强度变化趋势与火炬臂 54 m 相同,只是感受点处的热辐射强度均有不同程度增加,且平台甲(A)和(C)的感受点均存在热辐射强度超过

4.7 kW/m² 的高峰值区域,最大热辐射强度可达 6.2 kW/m²,205 s 后热辐射趋于稳定,平台甲板边缘热辐射强度稳定在 4.7 kW/m²。对于超过 4.7 kW/m² 的高峰值区域,由图 6 可看出,泄放量在 175 s 时达到峰值, A、B、C 处的热辐射强度高峰值分别为 6.2、3.8、5.3 kW/m²,其中 A、C 点均超过 4.7 kW/m²,从 168 s 泄放开始到 205 s 泄放稳定持续时间为 37 s,该高峰值持续时间小于表 1 规定的 5.5~6.3 kW/m² 下 60 s 和 4.7~5.5 kW/m² 下 120 s 的允许暴露时间,所以火炬臂 42 m 也可满足人员安全暴露时间的要求。

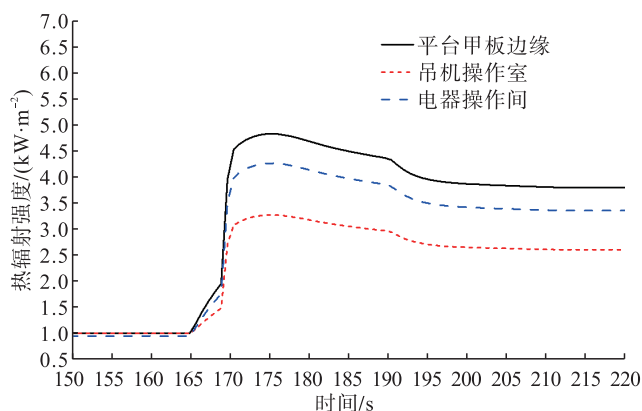


图5 火炬臂长 54 m 下热辐射强度模拟结果曲线图

Fig. 5 The thermal radiation result at flare stack length 54 m

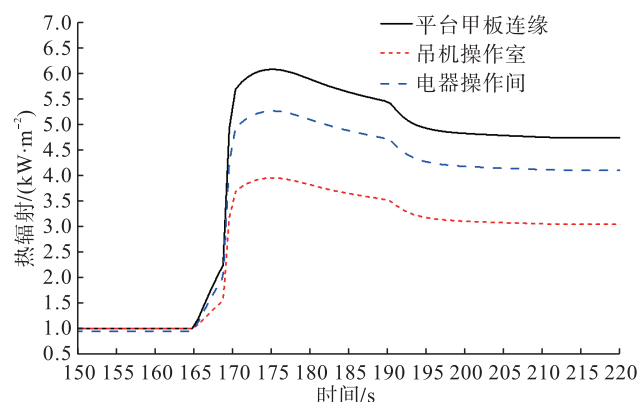


图6 火炬臂长 42 m 下热辐射强度模拟结果曲线图

Fig. 6 The thermal radiation result at flare stack length 42 m

4 结论

通过 HYSYS 动态模拟,得到了在海洋平台堵塞工况下,基于超压安全保护系统作用的全平台动态数据,结合 Flaresim 动态计算功能,得到火炬热辐射强度动态模拟结果,发现:

1) 在实际泄放中,由于安全阀额定尺寸大于所需尺寸和主阀/翼阀关闭存在滞后性,导致安全阀泄放过程中会出现超过必需泄放量的峰值区域。

2) 火炬臂长度敏感性分析得出,基于额定泄放量下的火炬臂长度过于保守,必需泄放量下的火炬臂长度,

虽然热辐射会出现超过 4.7 kW/m² 的峰值区域,但持续时间小于规范躲避时间,满足人员安全撤离需求,证明基于必需泄放量下的火炬长度满足火炬安全泄放要求。

3) HYSYS 动态模拟和 Flaresim 动态计算相结合,进行火炬热辐射精确分析计算,可以缩减火炬系统设备尺寸,达到降低平台重量和减少偏心的效果。在某海上采油平台使用该方法减少火炬臂长度 12 m,降低火炬分液罐尺寸约 10%,减少钢材用量约 25 t,直接成本节省 50 余万元,经济效益显著。

参考文献:

- [1] American Petroleum Institute. Pressure-Relieving and Depressurizing Systems: API Standard 521[S]. 6th ed. Washington, D. C.: API Publishing Services, 2014: 83-84.
- [2] 中国海洋石油总公司. 泄压和减压系统指南: SY/T 10043-2002[S]. 北京:石油工业出版社,2002:8-12.
China National Offshore Oil Corporation. Guide for Pressure-Relieving and Depressurizing Systems: SY/T 10043-2002[S]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002: 8-12.
- [3] 陈荣旗. 海上平台火炬系统设计泄放量的确定[J]. 中国海上油气,1997,9(5):4-7.
Chen Rongqi. Determine the Design Release Quantity of Flare System on Offshore Platform[J]. China Offshore Oil and Gas, 1997, 9(5): 4-7.
- [4] 陈文峰,刘培林,郭洲,等. 复杂物系压力容器安全阀泄放过程的 HYSYS 动态模拟[J]. 天然气与石油,2010,28(6):55-58.
Chen Wenfeng, Liu Peilin, Guo Zhou, et al. HYSYS Dynamic Simulation of Relief Process of Complex Pressure Vessel Safety Valve[J]. Natural Gas and Oil, 2010, 28(6): 55-58.
- [5] 冯传令,杨勇. 原油容器安全阀火灾工况泄放量动态模拟[J]. 中国海洋平台,2006,21(6):46-48.
Feng Chuanling, Yang Yong. Dynamic Simulation for Relief Capacity of PSV on Crude Oil Vessel[J]. China Offshore Platform, 2006, 21(6): 46-48.
- [6] 郭小芳,王长征. 储油库火灾爆炸环境风险评价[J]. 石油与天然气化工,2012,41(1):114-118.
Guo Xiaofang, Wang Changzheng. Environmental Risk Assessment of Fire and Explosion of Oil Storage[J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2012, 41(1): 114-118.
- [7] 杨天宇,朱海山,郝蕴,等. 压力容器火灾工况安全泄放质量流量的动态研究[J]. 石油与天然气化工,2014,43(2):208-212.
Yang Tianyu, Zhu Haishan, Hao Yun, et al. Dynamic

- Simulation of Fire Relief Rate of PSV on Pressure Vessel [J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2014, 43 (2): 208-212.
- [8] 李涛, 李昱江, 苏敏, 等. HYSYS 动态模拟方法进行安全阀尺寸分析[J]. 油气田地面工程, 2015, 34(5): 22-24.
- Li Tao, Li Yujiang, Su Min, et al. HYSYS Dynamic Simulation Method to Size PSV [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2015, 34 (5): 22-24.
- [9] 石佳娜, 隋思宇, 赵朝成. 基于动态模拟的碳四容器安全阀泄放过程研究[EB/OL]. [2019-09-25]. <https://kris.cnki.net>.
- Shi Jiana, Sui Siyu, Zhao Chaocheng. Discharging Process Study on Relief Valve of C4 Vessel Based on Dynamic Simulation [EB/OL]. [2019-09-25]. <https://kris.cnki.net>.
- [10] 吴梁红, 宗媛, 薛登存, 等. 两相分离器火灾工况安全阀动态分析[J]. 石油工程建设, 2016, 42(1): 53-55.
- Wu Lianghong, Zong Yuan, Xue Dengcun, et al. Dynamic Analysis of Pressure Safety Valve at Two-Phase Separator in Fire Case [J]. Petroleum Engineering Construction, 2016, 42 (1): 53-55.
- [11] 王天柱. 三相分离器安全阀火灾工况的模拟和分析[J]. 河南科技, 2013(8): 48.
- Wang Tianzhu. Simulation and Analysis of Relief Valve at Three-Phase Separator in Fire Case [J]. Journal of Henan Science and Technology, 2013 (8): 48.
- [12] 郑志刚, 潘澍宇, 邓婷婷, 等. 碳四容器安全阀火灾工况泄放的动态模拟[J]. 广州化工, 2013, 41(22): 202-204.
- Zheng Zhigang, Pan Shuyu, Deng Tingting, et al. Dynamics Simulation of Relief Valve Discharge on C4 Vessel in Fire Condition [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2013, 41 (22): 202-204.
- [13] 潘博, 薛茂梅, 王君霞. FLARESIM 软件在火炬设计中的应用[J]. 安全、健康和环境, 2014, 14(3): 33-35.
- Pan Bo, Xue Maomei, Wang Junxia. The Application of FLARESIM in Design of Torch [J]. Safety Environment Health, 2014, 14 (3): 33-35.
- [14] 康露, 陈晓宇, 杨志, 等. 海上平台放空火炬热辐射分析方法研究[J]. 油气田地面工程, 2018, 37(5): 30-34.
- Kang Lu, Chen Xiaoyu, Yang Zhi, et al. Research on the Thermal Radiation Analysis Method of the Offshore Platform Release Flare [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2018, 37 (5): 30-34.
- [15] 张明, 王春升, 周伟, 等. 用模拟分析方法进行海上平台冷放空设计[J]. 工业安全与环保, 2012, 38(10): 91-93.
- Zhang Ming, Wang Chunsheng, Zhou Wei, et al. A Numerical Simulation Method for Cold Vent Design on Offshore Platform [J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2012, 38 (10): 91-93.
- [16] 刘强, 孙志峰. 高压气田海上平台火炬系统设计[J]. 中国造船, 2015, 56(增刊2): 410-418.
- Liu Qiang, Sun Zhifeng. Design of Flare System on Offshore Platform at High Pressure Gas Field [J]. Ship Building of China, 2015, 56 (Suppl 2): 410-418.
- [17] 夏志, 李志军, 周晓红. 绥中36-1油田老平台的火炬系统校核研究[J]. 中国海洋平台, 2009, 24(6): 46-49.
- Xia Zhi, Li Zhijun, Zhou Xiaohong. Verify the Research of Flare System on Old Platforms of SZ 36-1 Oil Field [J]. China Offshore Platform, 2009, 24 (6): 46-49.
- [18] 戴磊, 王涛, 严雪莲, 等. 海洋平台 FLARESIM 火炬模拟计算方法探讨[J]. 石油化工安全环保技术, 2016, 32(4): 39-44.
- Dai Lei, Wang Tao, Yan Xuelian, et al. Study on the FLARESIM Simulation Method for Offshore Platform [J]. Petrochemical Safety and Environmental Protection Technology, 2016, 32 (4): 39-44.
- [19] 孙晓东, 刘培林, 霍有利, 等. 边际油田降低井口泄压负荷的方法及实践[J]. 世界石油工业, 2016(4): 263-268.
- Sun Xiaodong, Liu Peilin, Huo Youli, et al. The Method and Practice of Marginal Field Reducing Wellhead Relieving Capacity [J]. World Petroleum Industry, 2016 (4): 263-268.
- [20] 戴磊, 刘培林, 余智, 等. 海上井口平台超压保护动态模拟研究[J]. 石油工程建设, 2017, 43(3): 35-39.
- Dai Lei, Liu Peilin, Yu Zhi, et al. Dynamic Simulation for Overpressure Protection of Offshore Wellhead Platform [J]. Petroleum Engineering Construction, 2017, 43 (3): 35-39.