

# 原油管道水击分析及保护措施

张海红 (山东莱克工程设计有限公司, 山东 东营 257000)

**摘要:** 对于原油管道运行过程中出现的计划外停泵、关阀及设备故障等都有可能产生水击现象, 水击严重时, 对管道与设备可能造成损害。密闭输送管道必须对可能产生的水击工况进行分析, 并采取相应的保护措施, 以防止管道出现压力超高、压力超低等现象。基于 SPS 仿真软件对输油站进站阀事故关断工况进行了模拟, 分析说明了该管道在不采取任何水击保护措施、采取水击超前保护措施和采取泄压阀保护措施等工况下压力的波动情况。经 SPS 仿真软件验证, 该保护措施能够有效解决管道瞬变过程中出现的线路超压或站场超压问题。

**关键词:** 原油管道; 水击分析; SPS; 水击超前保护; 泄压阀

原油的运输有公路、铁路、水运和管道输送四种方式, 与其他几种相比, 管道输送具有运输量大、占地少、能耗低、密闭安全及便于管理等特点, 使管道输送成为运输原油的理想方式<sup>[1]</sup>。原油管道在密闭输送过程中, 全线成为一个整体水力系统, 任何一个截面压力与流量的变化, 都会使全线压力与流量在瞬间发生相当程度的波动, 这种压力波动即是水击。对于管道运行中出现的计划外停泵、关阀及设备故障等造成的输油压力激增或者骤减事故工况主要采取了压力高高连锁停泵、泄压系统、水击超前保护三种保护措施, 站内主要压力设备还设置了安全阀, 使管道及站场安全运行。利用 SPS 仿真软件对该管道建立水击分析模型, 以最苛刻工况的稳态计算结果作为水击分析的基础<sup>[2]</sup>, 验证管段的保护措施及管线、站场的设计压力的安全性, 并验证各工况下水击保护程序的有效性。

## 1 工程概况

某原油管道线路全长 400km, 设计管径 DN700, 设计压力 10MPa, 设计输量 1000 万 t/a。全线共设工艺站场 6 座, 沿线最低压力不低于 0.5 MPa。工艺路线如图 1 所示。

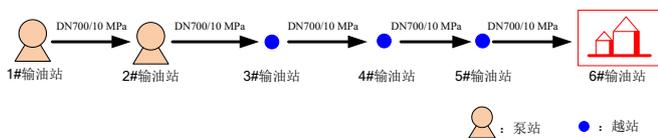


图 1 原油管道工艺路线图

## 2 水击工况分析及措施

正常运行情况下的输油管道, 运动参数如压力、温度等随时间变化会在一个较小的波动范围内, 此时管输过程基本上是稳定流动状态。由于液体流速的急剧改变造成的瞬时压力显著、反复、迅速变化的现象

即是水击现象<sup>[3]</sup>, 为了提高原油管道的设计管理水平, 深入掌握水击产生的原因和保护措施是很有必要的。

### 2.1 水击工况分析

输油管道中产生水击过程的因素有很多, 基本上可以分为两大类: 一类是日常输油过程中有计划地调整输量或改变输送流程, 另一类是事故工况下的流量波动<sup>[1]</sup>。但实际运行中, 对管道和设备安全构成威胁的主要有以下两种: 泵站因动力中断, 输油泵突然全部关闭, 导致泵站出站侧产生减压波, 中间泵站进站侧产生增压波; 因误操作进、出站阀门突然关闭, 导致进站侧产生增压波, 出站侧产生减压波。

密闭输送管道水击现象产生的高压波与低压波分别沿管道传播, 高压波与管道中原有输油压力叠加产生异常的高压力, 受低压波影响管内压力会降低, 甚至在沿线高点可能会造成管道负压。为了避免管道超压, 减小管道运行参数的波动, 维持管道的平稳运行, 根据水击可能发生的超压情况对以下三种工况进行分析<sup>[4]</sup>:

①不采取任何水击保护措施。管道系统的泄压系统、压力连锁停泵保护、水击超前保护程序均不发挥作用, 仅靠管道自身设计压力余量, 针对各种水击事故对管道产生的影响进行分析;

②采取水击超前保护措施。管道系统采取水击超前保护, 针对各种水击事故对管道产生的影响进行分析, 其中又以超前保护为主, 争取保护过程中不泄压或少泄压;

③采取水击泄压阀保护措施。若通信系统故障, 针对超压工况采取泄压保护, 计算不同设定泄放压力下的泄放流量值, 作为泄压阀选型的依据。

### 2.2 水击保护措施

本工程采用以下措施进行水击保护:

### 2.2.1 调节阀

本工程各站出站端设置出站调节阀，末站进站端设置减压调节阀，通过调节阀节流调节的方式，控制泵站的进、出站压力，使进站压力高于输油泵允许的最低吸入压力，出站压力低于管道的最高允许操作压力，当管道发生水击时，调节阀起到水击超前保护的作用。

### 2.2.2 泄压阀

泄压系统一般由泄压阀、泄压罐和连接管线三部分组成<sup>[5]</sup>，根据水击分析的计算结果和具体情况，在全线各站进、出站阀前设置泄压阀和泄压罐对管道进行压力保护。当水击现象发生时，通过泄放阀门泄放部分甚至全部原油到泄压罐，抑制瞬变压力的大幅波动，减少水击可能造成的危害，保障管道安全。

### 2.2.3 水击超前保护

以调度控制中心计算机系统作为主控，各站控系统作为从控，组成站间联动的超前保护系统<sup>[3]</sup>。在SCADA系统中设置逻辑控制，发生水击时，通过通信系统迅速向所有泵站发出信号，各泵站按预定的水击控制程序提前采取相应的保护措施，以防止管道出现压力超高、压力超低等现象。水击保护程序的目标是全线无超压点，泄压阀尽量不动作，高点尽量不负压。本工程中各站截断阀行程时间暂按120s考虑，以6#输油站进站阀门事故关闭为例，水击保护程序设定如下：

- ① 6#输油站进站阀门离开全开位60s时，顺序停运2#输油站泵机组；
- ② 在第1步执行后60s（即6#输油站进站阀门离开全开位120s），顺序停运1#输油站泵机组；
- ③ 在第2步执行后60s（即6#输油站进站阀门离开全开位180s），关闭1#输油站出站阀；
- ④ 程序自动处理完成。

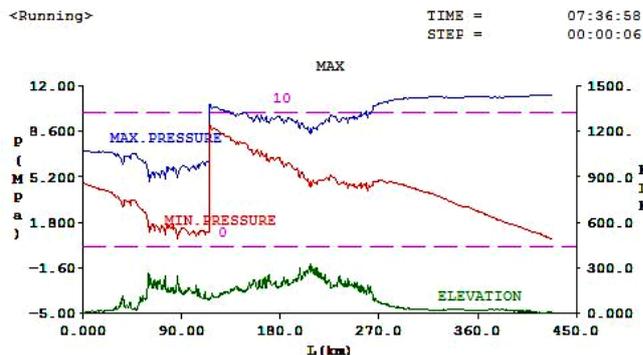
## 3 水击动态模拟

下面利用SPS软件对6#输油站进站阀门事故关闭后不采取任何水击保护措施、采取水击超前保护和采取泄压阀等工况进行动态仿真模拟。

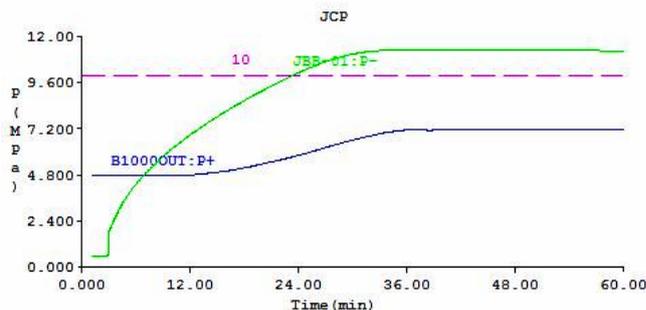
### 3.1 不采取任何水击保护措施

在不采取任何水击保护措施的情况下，6#输油站进站阀门事故关闭后，进站阀门前压力由0.5MPa立即上升，23min后超过设计压力，最大压力达到11.32MPa。高压波沿管道向上游传播，与管道中原有输油压力叠加导致2#-6#段管道超过设计压力，高点无负压。

据动态模拟结果（见图2~3），在不采取任何水击保护措施的情况下，6#输油站进站阀门事故关闭产生的水击压力超过了站间管道的设计压力，必须采取相应的水击保护措施。



MAX.PRESSURE- 最大压力曲线；MIN.PRESSURE- 最小压力曲线；ELEVATION- 高程曲线，下同  
图2 沿线最大压力、最小压力、高程分布曲线



B1000OUT:P+-1#输油站出站阀门后压力随时间变化曲线；JBB-01:P--6#输油站进站压力随时间变化曲线  
图3 1#输油站出站压力、6#输油站进站压力随时间变化曲线

### 3.2 采取水击超前保护措施

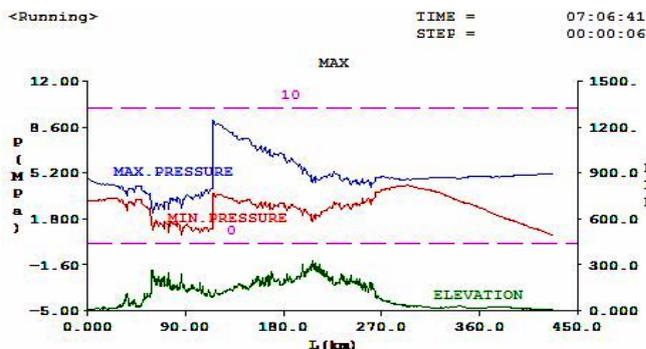
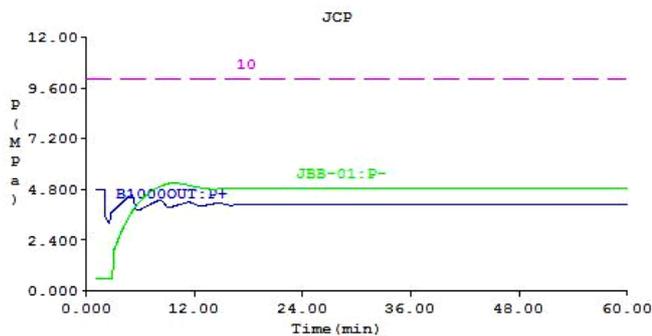


图4 沿线最大压力、最小压力、高程分布曲线

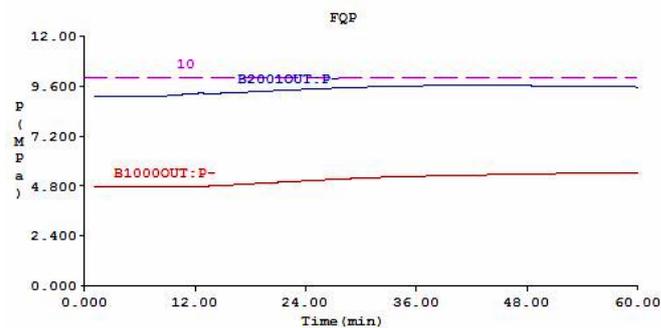
6# 输油站进站阀事故关断后, 采取 SCADA 超前保护, 顺序停 2# 输油站泵机组、1# 输油站泵机组, 同时关闭 2# 输油站进出站阀、1# 输油站出站阀, 全线无超过设计压力点, 高点无负压。根据动态模拟结果 (见图 4~5), 采取 SCADA 超前保护措施可有效防止管线相对薄弱地段超压或高点汽化。



B1000OUT:P+-1# 输油站出站阀后压力随时间变化曲线; JBB-01:P--6# 输油站进站压力随时间变化曲线

图 5 1# 输油站出站压力、  
6# 输油站进站压力随时间变化曲线

对不采取任何水击保护措施、采取水击超前保护措施和采取水击泄压阀保护措施三种工况进行动态模拟分析, 验证了事故工况下本工程设置的水击保护系统安全可靠, 从设计上消除了严重水击工况对管道及设备的损害, 对后期原油管道系统的安全运行具有一定的指导意义。



B1000OUT:P-1# 输油站出站阀前压力随时间变化曲线; B2001OUT:P-2# 输油站出站阀前压力随时间变化曲线

图 7 1# 输油站和 2# 输油站出站阀前压力随时间变化曲线

### 3.3 采取水击泄压阀保护措施

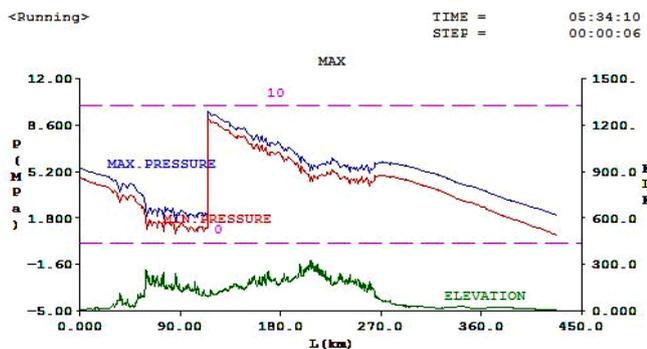


图 6 沿线最大压力、最小压力、高程分布曲线

在 6# 输油站进站阀前设置水击泄压阀, 泄压阀泄放压力设定为 2.0MPa。6# 输油站进站阀事故关断后, 当阀前压力达到 2.0MPa, 开启水击泄放阀。根据动态模拟结果 (见图 6~8), 采取泄压保护后, 全线无超过设计压力点, 泵后无憋压, 通过核算, 6# 输油站泄压阀 10min 泄放量为 220m<sup>3</sup>, 水击泄放保护措施有效。

### 4 总结

1#-6# 原油管道水击保护系统由调节阀、泄压阀和水击超前保护系统构成, 通过利用 SPS 仿真软件

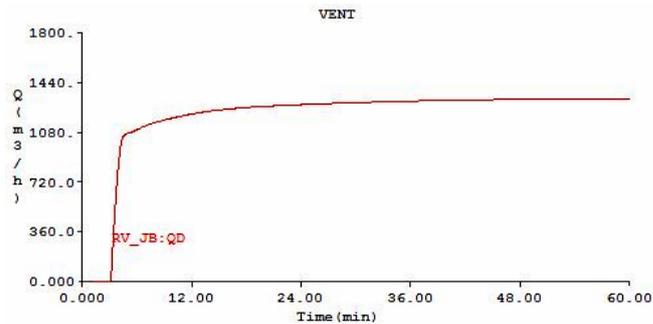


图 8 泄压阀泄放量随时间变化

### 参考文献:

- [1] 杨筱蓓. 输油管道设计与管理 [M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2006.
- [2] 钟仕荣, 王建华, 卞保武. 甬沪宁原油管道水击分析与超前保护 [J]. 化工自动化及仪表, 2005, 32(6): 48-50.
- [3] 刘靓, 田远, 王群雁. 日照—仪征原油管道水击分析与保护 [J]. 油气储运, 2014, 33(8): 909-912.
- [4] 李欣泽. 基于 SPS 软件的肯尼亚 1 号线成品油管道水击分析 [J]. 油气储运, 2015, 34(6): 604-606.
- [5] 宋建河. 秦京管道水击压力保护方案的改进 [J]. 油气储运, 2009, 28(11): 64-68.