

某原油码头卸油流程水击压力分析

肖 勇（中国石油化工股份有限公司广州分公司，广东 广州 510705）

摘要：对某原油码头卸油流程上阀门异常关闭时产生的水击压力情况进行了计算分析并提出了整改建议。对码头水击保护设计和同类码头完善水击压力保护措施提出了意见。

关键词：水击压力；水击保护；卸油流程；安全阀；SPS

1 概述

水击，是在有压管道中，液体流速发生急剧变化所引起的压强大幅度波动的现象。水击压力是由惯性造成的，它的实质是能量的转化。在液流减速的情况下将动能转化为压力能；在液流加速的情况下将压力能转化为动能。而液体流速突然下降产生的水击是最危险的，常见于长距离输油管道输送油品的过程中，一般在阀门突然关闭、机泵突然停止等情况下出现。在长距离输油管道中一般采取设置水击泄压阀的方式防止管线超压破坏。码头卸油管线由于卸油压力较低、管线距离短等原因，水击问题往往被忽略。本文对某原油码头卸油流程上阀门异常关闭时产生的水击压力情况进行了计算分析并提出了整改建议。对码头水击保护设计和同类码头完善水击压力保护措施提出了意见。

2 码头概况

该码头为30万吨级原油码头，设计吞吐能力2100万t/a，主要接卸中东进口原油为主。根据码头接卸油品种类和性质的实际情况，本次水击分析采用的油品性质为密度：890kg/m³，粘度：46mm²/s。

码头主要工艺流程为：油轮→码头管线（双管并行）→018#阀→汇管1→汇管2→罐前阀X13#阀→罐前管线→罐根阀X14#阀→油罐。其中X代表任意储罐。

码头允许最大卸油速度为15000m³/h，单个油罐最大卸油量为5000m³/h。

为了提高油罐安全，避免油罐液位超高，设置了高液位联锁关闭罐根阀X14#阀。

码头及库区管线主要参数如表1，主要阀门信息如表2，船方机泵信息如表3。

表1 码头及库区管线主要参数

管道名称	管径 (mm)	壁厚 (mm)	长度 (km)	承压 (MPa)	备注
码头管线	813	11	1.166	1.6	
汇管1	1016	10.6	0.017	1.6	
汇管2	711	7	0.142	1.6	根据不同罐号略有不同
罐前管线	711	7	0.29	1.6	根据不同罐号略有不同

码头管线	813	11	1.166	1.6	
汇管1	1016	10.6	0.017	1.6	
汇管2	711	7	0.142	1.6	根据不同罐号略有不同
罐前管线	711	7	0.29	1.6	根据不同罐号略有不同

表2 主要阀门信息

阀门编号	口径 (mm)	承压 (MPa)	行程时间 (s)	备注
X13# 阀	700	1.6	60	
X14# 阀	700	1.6	120	

表3 船方机泵信息

扬程 (m)	流量 (m ³ /h)	数量 (台)	运行方式	备注
132	4395	4	并联	

3 卸油流程水击分析

3.1 建立水击模型

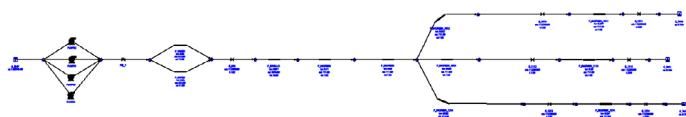


图1 卸油流程计算模型

使用SPS (Stoner Pipeline Simulator)软件对卸油流程进行动态模拟分析。SPS软件是Advantica公司开发的一款动态模拟油、气长输管道的分析软件，广泛应用于管道工艺仿真模拟。根据码头油品、设备等相关参数，利用该软件对流程上的机泵、管线、阀门进行模拟，从而建立整个卸油流程的计

算模型，如图 1 所示。

3.2 水击压力模拟分析

3.2.1 最不利工况模拟

当码头卸油流量为 $15000\text{m}^3/\text{h}$ 时，正在收油的 3 个储罐的罐根 X14# 阀因误动作或误操作的原因异常关闭，此时水击压力最大，为最不利工况。

模拟稳态时的具体参数如下：

最远罐 10#、11#、12# 罐进罐压力：0.156MPa。

启泵数量：4 台。

总输量： $15000\text{m}^3/\text{h}$ （其中 10# 罐 $4972\text{m}^3/\text{h}$ ，11# 罐 $5105\text{m}^3/\text{h}$ ，12# 罐 $4923\text{m}^3/\text{h}$ ）。

泵出口压力：1.234MPa。

X14# 阀前 / 后压力：0.157/0.156MPa。

模拟三个收油罐罐根 X14# 阀同时关闭，由于同时关闭时各罐罐根阀水击压力类似，下面以 1014# 阀处水击压力为例进行模拟分析，阀门关闭时间与阀前压力变化趋势如图 2。

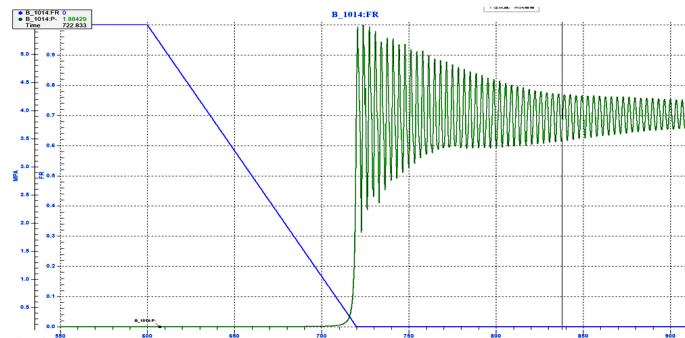


图 2 阀门关闭时间与阀前压力变化趋势

注：蓝色曲线为 1014 阀门开度，绿色曲线为 1014 阀前压力。

根据趋势图，阀门在关闭后不同时间水击压力如下：

阀门离开全开位 60s，阀前压力 0.1578MPa。

阀门离开全开位 100s，阀前压力 0.1640MPa。

阀门离开全开位至 118.963s，压力达到 1.6MPa。

阀门全关后 0.654s，最大压力达到 5.4916MPa（超出管线设计压力），最终稳定在 3.7583MPa。

因此在最不利工况下，罐根阀关闭的水击压力将超过管线设计压力，有必要进行水击保护。

3.2.2 最可能工况模拟

以上对卸油流程最不利工况的水击压力进行了模拟，在日常生产过程中 3 个油罐同时收油，3 个罐根阀同时关闭的可能性极低，此时其中 1 个或 2 个罐根阀关闭并不会引起管线的超压破坏。但在单个油罐收油时，因误动作或误操作的原因导致阀

门关闭可能性是存在的，特别是经常用于操作的 X13# 阀，下面对单个油罐收油时罐前 X13# 阀关闭的情况进行模拟分析：

模拟稳态时的具体参数如下：

进罐压力：0.156MPa。

启泵数量：2 台。

总输量： $5000\text{m}^3/\text{h}$ 。

泵出口压力：1.234MPa。

X13# 阀前 / 后压力：0.221/0.220MPa。

模拟罐前 X13# 阀关闭时，产生的水击压力变化情况，阀门关闭时间与阀前压力变化趋势如图 3。

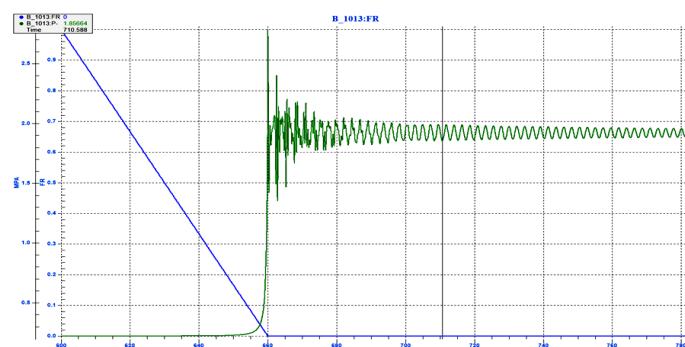


图 3 X13# 阀关闭时水击压力变化趋势

注：蓝色曲线为 1013 阀门开度，绿色曲线为 1013 阀前压力。

根据趋势图，阀门在关闭后不同时间水击压力如下：

阀门离开全开位 20s，阀前压力 0.222MPa。

阀门离开全开位 40s，阀前压力 0.224MPa。

阀门离开全开位 50s，阀前压力 0.229MPa。

阀门离开全开位至 59.862s，压力达到 1.6MPa。

阀门全关后，最大压力达到 2.787MPa（超出管线设计压力），最终稳定在 1.9MPa。

4 水击保护分析

由以上模拟可以得出结论：无论是最不利工况还是最可能工况，阀门异常关闭时产生的水击压力均超过管线设计压力，需要对其采取水击保护措施。针对最不利工况和最可能工况选择安装不同口径、个数的安全阀，进行阀门异常关闭时的水击压力模拟，判断是否可以进行水击保护。

4.1 最不利工况水击保护

模拟在每个罐根 X14# 阀前分别设置安全阀，当安全阀动作时将水击压力卸放到储罐中，从而达到保护管线不超设计压力的目的。通过对设置 4 英寸、6 英寸和 8 英寸等不同口径和个数的安全阀进

行模拟（由于数据较多在此仅给出可满足要求的最小口径、最少个数的安全阀结论），计算出在每个罐根阀前设置一个口径为 6 英安寸全阀时可以保护管线不超压，其安全阀 CV 值为 1375.00 GAL/MIN-PSI.5，最大起跳压力为 1.30MPa，阀前最大压力为 1.50MPa。增加安全阀后，阀门关闭引起水击压力变化趋势如图 4。

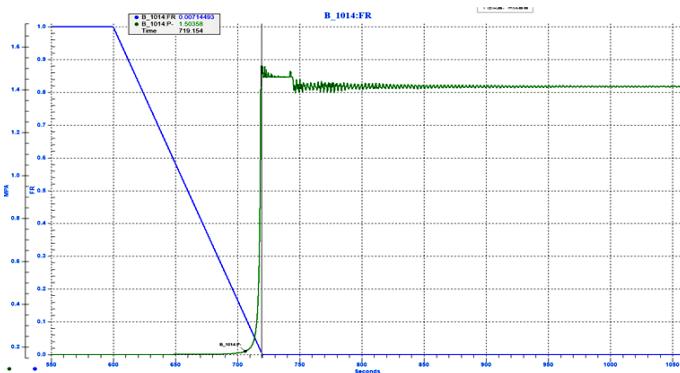


图 4 增加 6 英寸安全阀时 X14# 阀前压力变化趋势

4.2 最可能工况水击保护

模拟在罐前 X13# 阀汇管上设置安全阀，当安全阀动作时将水击压力卸放到储罐中，从而达到保护管线不超设计压力的目的。通过对设置 4 英寸、6 英寸和 8 英寸等不同口径和个数的安全阀进行模拟（由于数据较多在此仅给出可满足要求的最小口径、最少个数的安全阀结论），计算出在汇管上设置两个口径为 4 英寸安全阀时可以保护管线不超压，其安全阀 CV 值为 670.00 GAL/MIN-PSI.5，最大起跳压力为 0.60MPa，阀前最大压力为 1.27MPa。增加安全阀后，阀门关闭引起水击压力变化趋势如图 5。

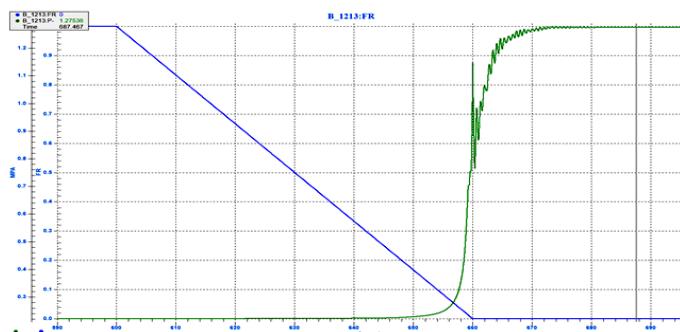


图 5 增加 4 英寸安全阀时 X13# 阀前压力变化趋势

4.3 油轮联锁停泵的水击保护

一般大型油轮为避免其自身管线、设备受到水击引起的超压破坏，设置了泵出口压力高联锁，当卸船泵出口压力达到联锁值时（一般为 1.7~1.8MPa）

自动停止运行。

通过建立模型对最可能工况油轮联锁停泵时泵出口阀处的水击压力进行分析发现：由于卸船泵出口单向阀的存在，当卸船泵达到联锁值自动停泵时，库区管线已经超压，且产生的水击压力也无处释放，泵出口压力变化趋势与库区阀门关闭时压力变化趋势基本一致，仅是时间略微滞后而已，见图 6。因此油轮机泵出口压力高联锁并不能降低库区阀门异常关闭时的水击压力影响。

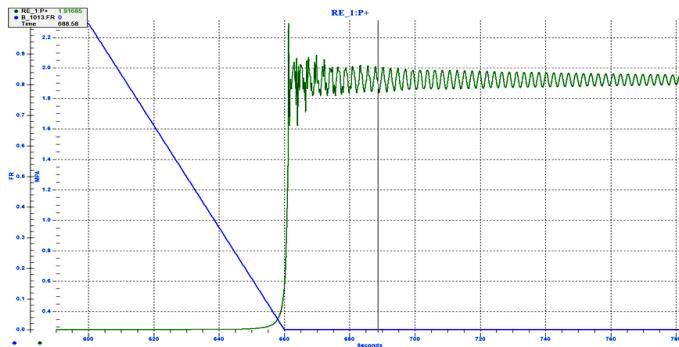


图 6 最可能工况卸船泵出口压力变化趋势

5 结语

由对该原油码头卸油时阀门异常关闭产生水击的最不利工况和最可能工况模拟分析可以得出结论：无论哪种工况，阀门异常关闭产生的水击压力均会超过管线设计压力，需要设置安全阀进行水击保护。不同的是：最不利工况需要在每个罐根阀前设置安全阀，这在已建成的码头上是难以实现的，需要通过其他管理手段来避免，如提升联锁可靠性、避免单个油罐收油、避免误操作等；最可能工况需在汇管上设置两个安全阀，可以应用于工程实践。

对装卸流量大、码头与库区有一定距离的大型原油码头，在设计时必须要考虑水击压力对系统的影响；对已经建成的大型原油码头有必要对其进行水击压力核算，根据水击压力核算结果和实际情况采取安装水击泄压阀、提升管线设备压力等级、更换为防水击阀门等方式避免水击引起的超压破坏。

参考文献：

- [1] 杨莜薇, 张国忠. 输油管道设计与管理 [M]. 青岛: 石油大学出版社, 1996.
- [2] 郭光臣, 董文兰, 张志廉. 油库设计与管理 [M]. 青岛: 石油大学出版社, 2006.
- [3] 黄春芳. 原油管道输送技术 [M]. 北京: 中国石化出版社, 2005.