

长输管线水击现象的成因及应对措施浅析

王笃房（山东莱克工程设计有限公司，山东 东营 257000）

摘要：由于外界原因导致密封管道系统里产生的水击压力，将会威胁管道系统的安全。本文以某石化产品的长输管道为例，利用水力仿真软件对各种工况下的管道水击压力进行模拟，分析常见水击压力应对措施的可行性，从而给出液体管输项目水击压力应对措施的建议。

关键词：长输管道；水击压力应对措施；水力仿真软件

0 前言

在液体长距离管道输送过程中，由于外界原因，管路中液流有时会发生速度的突然变化，液流的速度突变必然引起管路中水压的突然变化，产生的水击压力对事故点及上下游站场将会造成极大的影响。所以，采取合理的水击压力应对措施，将会有效地保障生产输送系统的正常运行^[1]。

1 水击压力分析

1.1 水击产生的原因

长输管道中发生的水击，产生的原因有很多种，但对管道与设备安全构成威胁的主要有以下两种：①泵站因动力中断，比如中间增压泵突然停运，出站侧产生减压波，进站侧产生增压波；②因误操作，阀门突然关闭，阀门前产生增压波，阀门后产生减压波。水击时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送压力叠加产生异常的高压力，低压波则可能在管道造成负压。

1.2 水击的技术应对措施

1.2.1 水击超前保护

水击超前保护，就是在泵站突然停泵或者干线阀门突然关断的情况下，由通信系统向水击保护可编程逻辑控制系统（SCADA 系统）传输信号，进行保护性调节或顺序停掉相关泵站泵组，从而向上下游发出增压波或者减压波，以与误关断产生的水击波向抵消，从而进行水击保护的技术措施^[2]。

1.2.2 采取泄放保护

水击超前保护依托 SCADA 系统，可以有效的避免水击压力对管道系统造成破坏，但是，当 SCADA 系统出现故障，使得水击保护程序不发挥作用，长输管道系统就无法实现自动化的水击保护措施，使得管道系统水利系统失控，从而使得管道系统发生破坏。所以在具有完备的水击超前保护控制系统的前提下，还需要做好水击保护的辅助技术措施。

水击泄放保护，是指在管道系统上装设自动泄压阀系统，当水击增压波导致管内压力达到一定值时，通过泄放阀泄放出一定量的油品，从而削弱水击增压波，防止水击造成危害。

2 应用分析

某石化产品长输管道项目设首站、末站及中间增压泵站各一座，陆上段管道总长约 172km，阀室设有五座。该石化产品物性稳定，无毒无害，故按照常规液体管输设计。主管道设计压力 4.0MPa，设计输量 400 万 t/a，经增压泵站增压后在各阀室分输给用户，陆上段管道站场及阀室情况如下：

表 1 管道站场及阀室情况

序号	站场、阀室	里程 (km)	间距 (km)
1	首站	0	55
2	增压泵站	58.9	3.9
3	1# 阀室	87.7	28.8
4	2# 阀室	107.3	19.6
5	3# 阀室	132.8	25.5
6	4# 阀室	154	21.2
7	5# 阀室	162	8
8	末站	172	10

通过水力仿真软件计算，模拟各种水击工况下的水击压力曲线，对水击压力的技术应对措施进行验证。

3 水击分析

3.1 水击分析工况

根据水击可能发生的超压情况对以下三种情况进行分析：①不采取任何水击保护措施。管道系统的泄压系统、压力联锁停泵保护、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。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，使全线无超压点，争取保护过程中不泄压或少泄压；③采取泄压保护：对于不采取任何保护措施时线路或站场出现的超压情况，进行泄压保护分析。在采取泄压保护的同时，将

泄放的流体通过管道再回收进系统。

3.2 水击分析

3.2.1 稳态时的水力坡降

从图1中可以看出,管道输送流量为 $450\text{m}^3/\text{h}$ 时,首站增压泵后压力为 2.1MPa ,中间泵站增压泵后压力为 2.8MPa 。

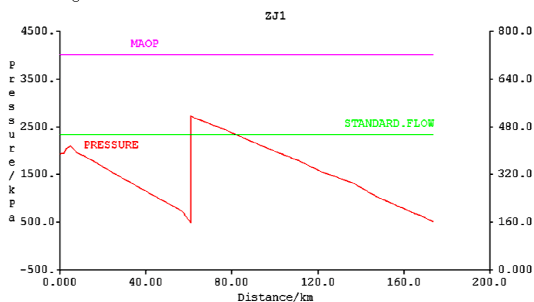


图1 稳态时管道输送能力及压力分布曲线

3.2.2 中间增压泵停运

不采取任何水击保护措施 (见图2)

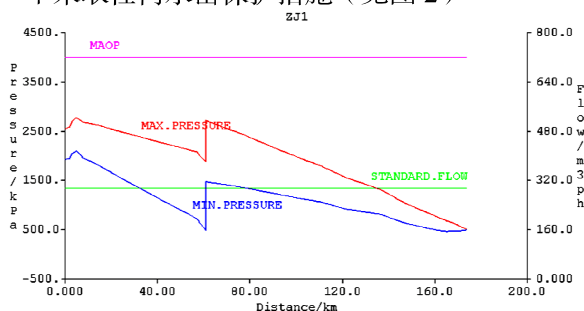


图2 沿线最大压力、最小压力分布曲线

结论: 不采取任何水击保护措施, 中间泵站增压泵事故停运后, 全线无超设计压力点, 无负压点。

3.2.3 中间泵站出站阀门误关闭

3.2.3.1 不采取任何水击保护措施 (见图3)

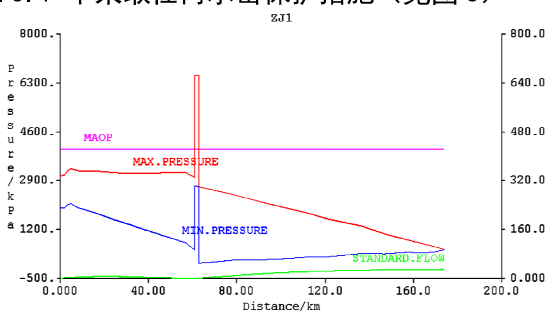


图3 沿线最大压力、最小压力分布曲线

结论: 不采取任何水击保护措施, 中间泵站出站阀门误关闭后, 在中间泵站的泵后至出站阀段出现超压, 阀门关闭后2min 阀前压力达到 6.55MPa 。另外, 出站阀的阀后出现负压点。

3.2.3.2 采取超前保护 (见图4)

中间泵站出站阀门关闭后, 由于首站的增压泵及中

间泵站的增压泵均未停运, 流量降低后泵的出口压力增大, 另外由于中间泵站出站阀关闭后造成的阀前的增压波, 使阀前压力骤增, 阀后出现负压。因此, 针对中间泵站出站阀关闭后阀前压力骤增, 阀后出现负压的情况, 采取的保护措施为: 阀门离开全开位1min后停中间泵站增压泵, 阀门离开全开位2min后停首站增压泵, 并对采取保护措施后的工况进行水击分析。

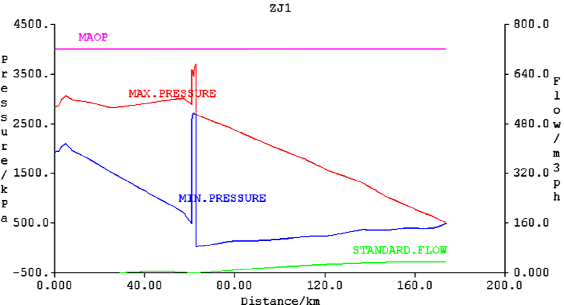


图4 沿线最大压力、最小压力分布曲线

结论: 采取超前保护措施, 中间泵站阀门误关闭后, 全线无超设计压力点, 无负压点。

3.2.3.3 采取泄压保护

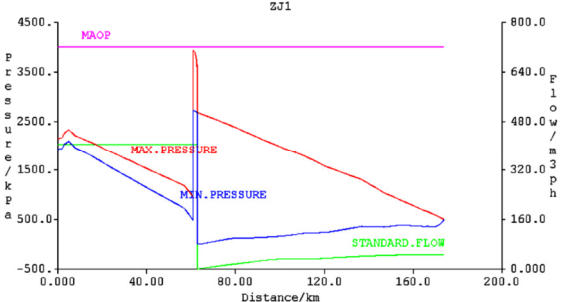


图5 沿线最大压力、最小压力分布曲线

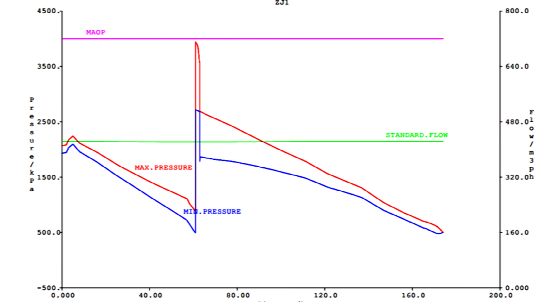


图6 沿线最大压力、最小压力分布曲线

①不采取任何水击保护措施时, 中间泵站出站阀门误关闭后, 在中间泵站的泵后至出站阀段出现超压。因此, 在中间泵站的泵后至出站阀段设置水击泄放阀进行泄压保护 (见图5)。结论: 在中间泵站的泵后至出站阀段设置水击泄放阀, 经过分析, 全线未出现超压, 泄放保护有效; ②不采取任何水击保护措施时, 中间泵站出站阀门误关闭后, 在中间泵站的泵后至出站阀段设置水击泄放阀进行泄压保护基础上, 泄放阀接

入阀门后管道（见图6）。结论：在中间泵站的泵后至出站阀段设置水击泄放阀进行泄压保护基础上，泄放阀接入阀门后管道后，发现阀后最小压力较未接入阀后管道大，而且管道流量维持在正常水平。

3.2.4 中间阀室阀门误关闭（以1#阀室为例）

3.2.4.1 不采取任何水击保护措施（见图7）

结论：不采取任何水击保护措施，阀室阀门误关闭后，在中间泵站的泵后至该阀室段出现超压，阀门关闭后7min阀前压力达到6.3MPa。另外，该阀室的阀后出现负压点。

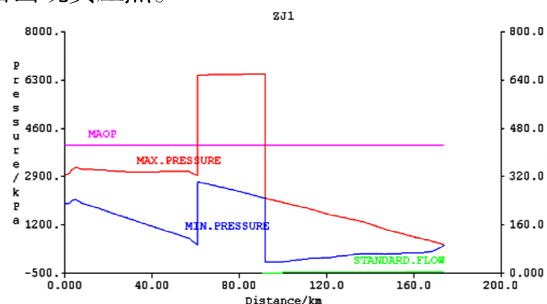


图7 沿线最大压力、最小压力分布曲线

3.2.4.2 采取超前保护

中间阀室阀门误关闭后，由于首站的增压泵及中间泵站的增压泵均未停运，流量降低后泵的出口压力增大，另外由于阀门关闭后造成的阀前的增压波，使阀前压力增加，阀后出现负压。因此，针对阀室阀门关闭后阀前压力增加，阀后出现负压的情况，采取的保护措施为：阀门离开全开位1min后停中间泵站增压泵，阀门离开全开位2min后停首站增压泵，并对采取保护措施后的工况进行水击分析（见图8）。

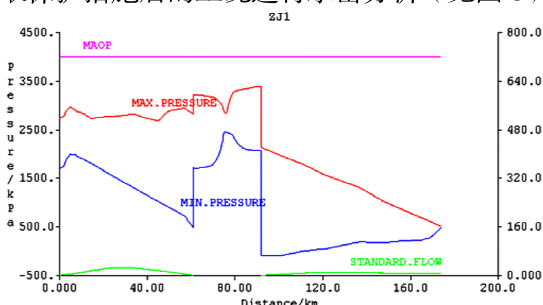


图8 沿线最大压力、最小压力分布曲线

结论：采取超前保护措施，中间阀室阀门误关闭后，全线无超设计压力点，无负压点。

3.2.4.3 采取泄压保护

①不采取任何水击保护措施时，阀室阀门误关闭后，在中间泵站的泵后至该阀室段出现超压。因此，在中间泵站的泵后设置水击泄放阀进行泄压保护（见图9、图10）；结论：在中间泵站的泵后设置水击泄

放阀，经过分析，全线未出现超压，泄放保护有效；②不采取任何水击保护措施时，阀室阀门误关闭后，在该阀门前设置水击泄放阀进行泄压保护，泄放阀接入阀门后管道（见图10）。结论：阀室阀门误关闭后，在该阀门前设置水击泄放阀进行泄压保护，泄放阀接入误关断阀门后管道。经过分析，全线出现超压点，泄放保护无效。

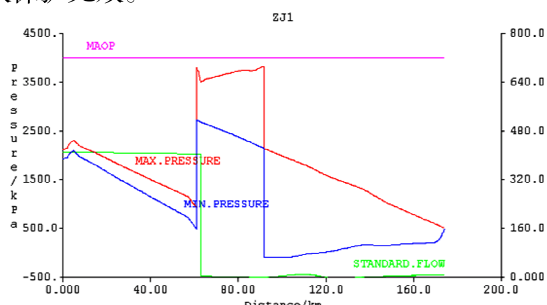


图9 沿线最大压力、最小压力分布曲线

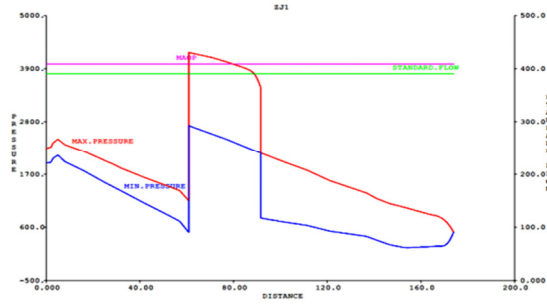


图10 沿线最大压力、最小压力分布曲线

3.2.4.4 水击分析结论

①当出现水击后，水击超前保护措施均可以使管道系统全线压力处于正常水平；②在水击超前保护系统不作用的情况下，在中间泵站泵后设置独立的泄放系统，也可以使管道系统全线压力处于正常水平，并且在中间泵后阀门误关断的情况下，将泄放系统接入关断阀门后，可以维持管道系统的正常运行；③但是，在阀室阀门误关断的情况下，在关断阀门前设置泄放系统并且接入关断阀门后管道，管道系统仍会产生超压点，不能保障管道系统的安全。

4 结论

根据该石化产品管道项目水击分析，在发生水击的工况下，依靠水击超前保护措施和水击泄放保护措施可以有效的保障管道系统的安全。

参考文献：

- [1] 孟飞. 管线中水击现象的成因及预防措施[J]. 化工管理, 2016(5):203-205.
- [2] 刘超. 管道安全保护系统在兰郑长成品油管道的应用[J]. 行业论坛, 2017,36(01):1.