

输油管道水击现象产生原因及预防措施

张元元 杨晓明 杨淑娟 (长庆油田公司第二输油处, 甘肃 庆阳 744500)

摘要: 输油管道运行过程中, 因设备缺陷或人员误操作很容易引发水击现象, 对输油管道输送效率和安全运行带来巨大挑战。本文从水击现象及其产生机理、水击危害、输油管道水击防护常用方法等方面进行了探讨。

关键词: 输油管道; 水击; 防护

Abstract: During the operation of oil transmission pipeline, water shock is easy, which brings great challenges to the transmission efficiency and safety operation of oil transmission pipeline. This paper discusses the phenomenon of water shock and its production mechanism, water stroke hazard and common methods of water stroke protection in oil transmission pipeline.

Key words: oil transmission pipeline; water shock; protection

水击又名水锤, 在原油输送管线和大口径压力管线上极易发生水击现象, 水击对管道及相连设备的安全产生危害, 严重时甚至会造成管道、阀门等设备的破裂损坏, 影响装置的安全运行及平稳生产, 甚至造成人员伤亡和严重的环境污染事件。防止水击是原油输送从业者必须关注的问题。

1 水击现象及水击形成机理

1.1 水击现象

是指在压力管路中, 由于某种原因而引起流速变化时, 引起的管内压力的突然变化。如开关阀门过快, 突然停泵等, 均会引起阀门处、泵入口的油流压力突然变化。造成压力波在管内的迅速传递, 并可听到对管壁的锤击声音, 故把水击又称作水锤。

1.2 水击定义

水击是压力管道中一种重要的非恒定流。当压力管道中的流速因外界原因而发生急剧变时, 引起液体内部压强出现迅速交替升降的现象, 这种交替升降的压强作用在管壁、阀门或其他管路元件上都好像锤击一样, 所以被称为水击。

1.3 水击现象的形成原因

管道发生水击现象的形成原因有很多种, 既有外因也有内因。外因是管道发生水击的条件, 内因是管道发生水击的根据, 外因通过内因而起作用。

1.3.1 水击现象的内因

由于水和管道都不是刚体, 而是弹性体, 因此在水击压强的作用下产生两种形变, 即水的压缩及管壁的膨胀。而管道中水流速度又不是同时变化, 形成一种弹性波 (又称水击波) 进行传递。从上述的分析不难看出, 引起管道水流速度突然变化是水击发生的条件, 水流具有惯性和压缩性是发生水击的内因。

1.3.2 水击现象的外因

瞬时关闭阀门或突然断电停泵, 是管道发生水击的主要原因。当管道中流动的液体因以上原因受到外力作用时, 流动速度发生变化, 引发水击。外力与惯性力是水击的外在原因。

当瞬时关闭阀门 (或突然停泵) 时, 流体与阀门 (或

泵) 相互作用。阀门 (泵或停止流动的液体) 以外力作用于流体, 流体则以惯性力作用于阀门 (泵或停止流动的液体)。外力与惯性力是一对作用力与反作用力, 大小相等、方向相反作用在同一条直线上。

1.4 水击波传播速度公式

水击波传播速度公式的计算公式如下:

$$a = \frac{1435}{\sqrt{1 + \frac{k}{E} \cdot \frac{D}{\delta}}}$$

计算公式中: A —水锤波的传播速度, m/s ; K —水的弹性模量, $k=2.06 \times 10^9 Pa$; E —管材弹性模量, Pa 。铸铁管 $k=9.8 \times 10^{10} Pa$; 钢管 $k=20.6 \times 10^{10} Pa$; D —水管的公称直径, mm ; δ —管壁厚度, mm 。

对于一般的钢质管道, 压力波在油品中的传播速度大约为 $1000 m/s \sim 1200 m/s$, 在水中的传播速度大约为 $1200 m/s \sim 1400 m/s$ 。

1.5 水击压力计算公式

水击压头:

$$H = a \cdot \Delta V / g = a \cdot (V_0 - V) / g$$

其中: V_0 —水击前的流速, m/s ; V —水击后的流速, m/s ; g —重力加速度, m/s^2 ; a —水击波传播速度, m/s 。与管径、壁厚、管道材质、管道弹性模量、介质密度、介质的体积弹性系数、管道的固定情况有关。

可见, 对输送某种介质的某条管道, 水击压头的大小与水击时管道流速的变化成正比。

2 水击危害及保护方法

2.1 水击危害

水击对输油管道的直接危害包括两种情况: 一是: 水击的增压波 (高于正常压力的压力波) 有可能使管道压力超过允许的最大工作压力, 使管道破裂; 二是: 减压波 (低于正常运行压力的压力波) 有可能使稳态运行的压力较低的管段压力降至液体的饱和蒸汽压, 造成油蒸气大量析出形成气塞, 使管道中的油品发生液柱分离现象 (在管路高点形成气泡区, 液体在气泡下面流过), 甚至使管道失稳变形。这种现象不但加大了油品输送摩擦, 而且随后再次发生油流速度变化时会使水击压力进

一步增大。对于有中间站的长距离输油管道，减压波还可能造成下游泵站进站压力过低，影响下游泵机组的正常吸入。

2.2 水击保护方法

水击保护的目的是由事先的预防措施使水击的压力波动不超过管子与设计强度，不发生管道内出现负压与液体断流情况。保护方法按照管道的条件选择，采用的设施根据水击分析的数据确定。水击保护方法有管道增强保护、超前保护与泄放保护三种。①增强保护。当管道各处的设计强度能承受无任何保护措施条件下水击所产生的最高压力时，则不必为管道采取保护措施。小口径管道的强度往往具有相当裕量，能够承受水击的最高压力；②超前保护。超前保护是在产生水击时，由管道控制中心迅速向上、下游泵站发出指令，上、下游泵站立即采取相应保护动作，产生一个与传来得水击压力波相反的扰动，两波相遇后，抵消部分水击压力波，以避免对管道造成危害。超前保护是建立在管道高度自动化基础之上的一项自动保护技术；③泄放保护。泄放保护是在管道的一定地点安装专用的泄放阀，当出现水击高压波时，通过阀门从管道中泄放出一定数量的液体，从而削弱高压波，防止水击造成危害。

3 输油管道的水击原因及控制措施

3.1 输油管道水击常见原因

根据在油品管道中发生水击现象的原因通常有以下两种情况：①因阀门急速关闭或开启而引起水击。当关闭阀门时，在开阀的刚开始和闭阀的最后一段，行程操作要很缓慢，这是因为在此两处阀门的开启度稍有变化，则管内水的流速即有很大变化，所以会产生压力的急剧上升或下降（根据运行情况也有可能产生负压），从而发生水击事故；②输油泵紧急启动、紧急停车，使出口压力产生急变时容易引起水击。在此类水击中水击压力上升或下降的大小，因水的流速变化程度，取决于泵的停止和启动方法、阀门开闭所需时间、管路的状态、流速、泵的特性等而有所不同。此外流程切换、输送油品变化等引起流速突然变化，也会引起管道内压力的突然变化的水击现象。

3.2 输油管道水击保护方法

输油管道水击现象是一个客观存在的纯物理现象。但针对其产生的机理和变化规律，如果在管路设计及日常操作中采取一定的措施，是可以避免或减轻的。我处的输油管道也运用了很多方法防止水击现象对输油管道造成严重破坏，比如在进出站管线安装超压泄放阀、进出站压力调节阀、使用变频电机、泵出口设置单向阀、输油泵设置单向旁通阀、制定和遵守流程切换操作规程等方法进行预防。

①进出站管线安装超压泄放阀。超压泄放阀是水击超前保护过程中的关键设备，采用被动的泄压方法让水击产生的压力增值释放掉，从而达到保护管道及水泵的目的；②进出站压力调节阀。某些泵站出站端装有调

节阀，用于调节瞬变流动过程中管道系统的压力脉动，防止进站压力过低和出站主力过高，维持管道正常运行。调节阀自动控制的基本原理：进站与出站压力传感器监测管内压力，由压力变送器分别向各自的调节器发出信号与各自的限定值进行比较。当出站压力高于限定值时，调节阀向关闭方向动作，使出站压力下降；当进站压力低于限定值时，调节阀同样向关闭方向动作，使进站压力升高；管道的进出站压力均未超出限定值时，调节阀保持全开状态；③使用变频电机。输油泵启停过程中采用变频控制方法，避免工频启停输油压力急剧变化引起的水击现象；④泵出口设置单向阀。当突然启泵或停泵时，泵出口设置单向阀可防止干线流体突然流动或突然停止产生的水击对泵体、泵叶轮、泵机械密封的直接损坏；⑤输油泵设置单向旁通阀。密闭输送管道的中间泵站的输油泵一般设置带有单向阀的旁通阀，该种阀门一般保持常开状态，防止中间泵站输油泵突然停用时产生的水击对管线和输油泵造成破坏；⑥制定和遵守流程切换操作规程（先开后关，缓开缓关等），操作时应缓慢启闭阀门以延长阀门启闭时间，从而避免产生直接水击。a. 流程切换前要向调度及上下游站沟通汇报，密闭输送的管线当相关泵站有流程操作时会在全线压力造成较大波动，引起水击现象，因此流程操作前需与上下游站进行沟通，相关的泵站要在水击压力波传到之前进行对应的操作，防止管线水击超压；b. 一切流程操作均应遵守“先开后关”的原则，即确认新流程已经导通过油后，方可切断原流程；c. 具有高、低压衔接部位的流程，操作时必须先导通低压部位，后导通高压部位。反之，先切断高压，后切断低压；d. 倒流程操作开关阀门时，必须缓开缓关，以防发生“水击现象”损坏管道或设备。在向无压或从未升过压的管段升压时，更应缓开阀门，至压力平衡后，方可正常开大。球阀和平板阀操作时，必须全开或全关。手动阀开完后，要将手轮倒回半圈至一圈。

4 结论

综上所述，研究输油管道瞬时水击压力变化的产生原因，并采取一定的预防或减小水击危害的措施，这对油田企业的对输油管道的安全运行有重要意义。

参考文献：

- [1] 王玮, 马贵阳, 孙志民. 输油管网水击危害及其防治 [J]. 油气田地面工程, 2010(03).
- [2] 李伟, 武明, 武志坤, 张淑艳, 陈文峰. 海底液相管道水击压力动态计算研究 [J]. 石油工程建设, 2018(03).
- [3] 孟晓强, 赵丽, 杨超, 等. 阿赛线输油管道水击控制仿真研究 [J]. 石油钻采工艺, 2012(z1):98-100.

作者简介：

张元元 (1992-), 2015年毕业于中国石油大学(北京)油气储运专业, 工学学士学位, 油气储运助理工程师, 目前从事油气储运现场管理工作。