

单泵站长输管道水力瞬变实例分析

王秋萍 丁泉允 (中石化石油工程设计有限公司, 山东 东营 257026)

摘要: 利用 TLNET 软件分析了一个单泵站长输油管道工程水力瞬变实例, 通过建立模型模拟末站进站阀门关断时管道的水力瞬变, 并对计算结果进行分析, 总结了单泵站长输油管道水击的特点和设计中需注意的问题。

关键词: 长输管道; 水击; 充装压头; 静压头

在长输管道设计中, 当由于某种原因引起管路中流速突然变化时, 会引起管路中压力的突然变化, 通常称为发生水击。这种不稳定状态不可能长久继续下去, 或者以达到的新的稳态而结束, 或者以发生事故而告终。在长输管道的设计和管理工作中, 如不能准确地掌握可能发生的不稳定工况的参数, 则可能或因盲目加大安全系数而造成巨额浪费, 或因估计不足而引起严重事故。

1 工程实例

某输油管道全线采用“旁接油罐”的输送工艺, 可以看成是若干个上游端是泵、下游端是油罐的单泵站输送系统。其中, 中间站—末站油库段管线为 $\Phi 610 \times 7.9$ 保温管, 长度 50km, 最大输量 $1000 \times 10^4 \text{t/a}$, 设计压力 4.0MPa, 高程差 +30.8m (末点高)。

2 计算分析

在该输送系统中, 强度最烈、危害最大的水击是末站进站阀门突然关闭。下面我们就模拟末站油库进站阀门关闭的水力瞬变并总结其水击特点。

2.1 稳态计算

采用 TLNET 软件建立模型, 输入参数后进行稳态计算, 计算结果见表 1, 计算模型见图 2。

表 1 管道运行参数

流量 (m^3/d)	管径 (mm)	起点温度 ($^{\circ}\text{C}$)	起点压力 (MPa)
30070	DN600	52	3.19

2.2 阀门瞬时关断

中间站外输泵额定泵压 3.8MPa, 若末站进站阀门瞬时关断, 通过模拟计算: 阀门瞬时关断后产生水击, 水击压力约 704kPa, 然后管道的充装使阀门处压强逐渐上升; 约 53s 后, 水击波传至外输泵出口端, 该处压力达到最大值 3.83MPa; 149s 后, 止回阀关闭, 管道停止充装, 末站进站阀门前最大压力约 3.62MPa; 整个过程, 随着时间的推移, 水击波逐渐衰减, 15min 后, 管道趋于新的平衡状态, 泵出口压力达到额定压力 3.8MPa, 末站进站阀门前压力约 3.5MPa, 差值为两点的高程差, 水击产生的压头要远远小于充装压头。计算结果和图示见表 2、图 1。

表 2 末站进站阀门瞬时关断水力瞬变计算结果

时间 (s)	泵出口流量 (m^3/d)	泵出口压力 (kPa)	止回阀后压力 (kPa)	末站关断阀门前压力 (kPa)
0	30070	3188.91	3188.83	300.505
1	30070	3188.86	3188.78	1004.45
5	30070	3188.84	3188.76	1634.6
10	30070	3188.85	3188.76	1789.02
20	30070	3188.86	3188.78	2033.29
53.625	30070	3828.75	3828.67	2692.18
54.625	26299.3	3800	3799.94	2708.57
90	9177.86	3800	3799.99	3279.13
147.403	-155.565	3800	3800	3620.7
149.403	0	3800	3803.08	3620.91

180	0	3800	3871.46	3595.39
700	0	3800	3818.82	3538.81
890	0	3800	3800.51	3520.5

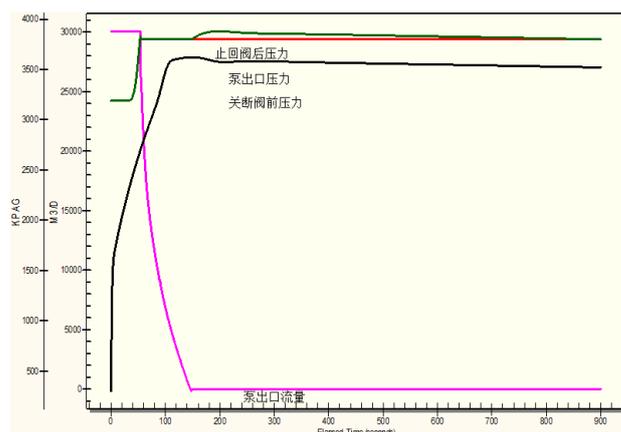


图 1 末站进站阀门瞬时关断水力瞬变计算结果图示

分析: ①系统设计压力 4.0MPa, 从计算结果可知, 水力瞬变后的系统压力值未超过设计压力, 因此, 不会对系统产生影响。但若高程差为 -30.8m 时, 即临淄油库 (末站) 高程比乐安中间站低 30.8m, 则水力瞬变后达到新的平衡状态时末站关断阀前压力就会达到 4.1MPa 而超过设计压力, 会引起事故; ②对于单泵站长输管道, 进站阀门瞬时关断后, 系统压力升高的主因是管道的充装压头, 水击压力对系统压力的改变影响较小, 且由于存在剩余流动, 直接水击压力波前所到之处, 流速变化量会不断减小, 直接水击压力波前峰值会存在明显的衰减, 及所谓压力波衰减, 一般, 水击压力衰减量可达 50%~90%^[1]。

2.3 阀门关断时间 180s

实际操作中, 阀门不可能瞬时关闭, 根据瞬变流的文献介绍, “如果中断液流是在第一个减压波返回之前完成, 即中断时间 $< 2L/a$ (小于 2 倍的管长 / 水击传播速度), 则在中断液流处产生的水击压头与瞬时中断液流相同, 叫做直接水击; 如果中断液流的时间 $> 2L/a$, 则称为间接水击, 水击压头值低于直接水击的数值^[2]”。

从前一个计算结果可知, 该管道水击传播时间约 53s, 假定末站进站阀门关断时间 180s, 关断阀为闸阀, 匀速关断, 阀门开度与时间的关系见表 3。

通过模拟计算: 关断阀阀门处的水击主要发生在阀门快要关死的最后几秒钟内, 而前面的关阀行程对水击的影响不大, 阀前最大压力与瞬时关断阀门基本相同, 计算结果和图示见表 4、图 2。

表 3 末站进站阀门开度与时间的关系

时间 (s)	0	45	90	120	170	180
阀门开度 (%)	100	25	50	33.3	5.6	0

表 4 末站进站阀门匀速 180s 关断水力瞬变计算结果

时间 (s)	泵出口流量 (m ³ /d)	泵出口压力 (kPa)	止回阀后压力 (kPa)	末站关断阀流量 (m ³ /d)	末站关断阀前压力 (kPa)
0	30070	3188.91	3188.83	30070	300.505
45	30070	3188.92	3188.84	30062	300.897
90	30070	3189.22	3189.14	30043.9	302.016
120	30070	3189.7	3189.62	30001	304.524
160.325	30070	3193.94	3193.86	29645.2	341.082
170.872	30070	3196.16	3196.07	26702.5	454.786
175.872	30070	3197.78	3197.7	19902.9	715.747
176.872	30070	3198.17	3198.08	17063.8	823.711
177.872	30070	3198.57	3198.49	13397.7	963.77
178.872	30070	3198.99	3198.91	8900.53	1139.35
179.872	30070	3199.43	3199.35	1009.46	1405.97
180	30070	3199.51	3199.43	0	1557.17
228.491	30070	3800.98	3800.9	0	2695
229.491	30070	3830.11	3830.03	0	2711.93
230.491	25202.4	3800	3799.95	0	2728.36
320.328	-66.7149	3800	3800	0	3623.07
322.354	0	3800	3801.48	0	3623.33
392.375	0	3800	3877.59	0	3576.72
603.368	0	3800	3847.2	0	3567.66
1100	0	3800	3799.54	0	3519.53

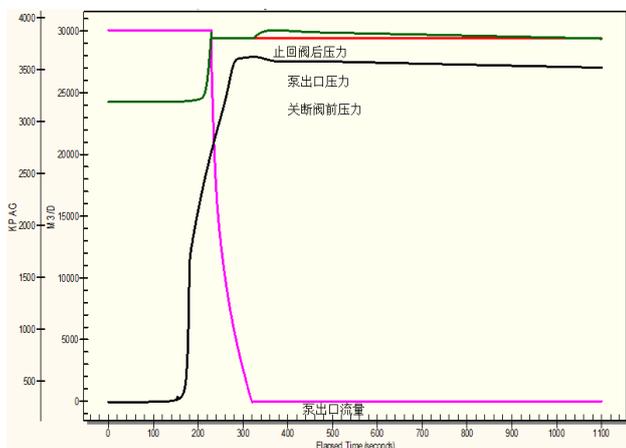


图 2 末站进站阀门匀速 180s 关断水力瞬变计算结果图示

分析：①之所以出现上述情况，主要是因为水击是由于液体的流动被阻滞而产生的，从计算结果看出，实际在阀门的关断过程中，前面的行程对液体的流量影响很小，只是在最后的几秒钟阀门开度 < 6% 后液体流量才急剧减少，这与阀门的流量系数和流量特性（即阀门的流通能力）

有关。虽然不同的阀门的流量特性不同，但根据计算结果可知，当阀门开度较大时，可快关阀门，当阀门关断到小开度时，应延长阀门的关断时间，这样可以避免直接水击，从而更有效的减小水击的影响；②由于单泵站长输管道末站进站阀门关断后产生的水击压力远远小于充装压头，因此，设计中应着重考虑管道充装和高程差引起的静压头对系统的影响。但对于泵到泵输送工艺以及短管输送时，水击压力的影响不容忽视，此处不再赘述。

3 结论

①“旁接油罐”输送方式可以看成是若干个上游端是泵、下游端是油罐的单泵站输送系统，管道压力的升高是泵的充装与水击压力波同步及止回阀锁闭管道造成的；②阀门处压头的增量由两部分组成：水击压力和管道充装压头^[3]，管道愈长，充装压头愈大，且水击压头远远小于充装压头；③关断阀阀门处的水击主要发生在阀门快要关断的最后几秒钟内，而前面的关阀行程对水击的影响不大，先快后慢的关阀方法才可以避免直接水击，从而更有效的减小水击的影响；④设计时不能忽略沿线高程差产生的静压头的影响，尤其在山区等地形起伏较大的地方、存在翻越点或者前高后低的输送系统容易因高程差产生的静压头而导致系统超压；⑤由于单泵站长输管道末站进站阀门关断后产生的水击压力远远小于充装压头，因此，设计中应着重考虑管道充装和高程差引起的静压头对系统的影响。但对于泵到泵输送工艺以及短管输送时，水击压力的影响不容忽视。

参考文献：

- [1] 张国忠, 亓强. 长距离输油管道密闭输送与压力调节保护 [J]. 油气田地面工程, 2002, 21(2): 34-36.
- [2] 袁恩熙. 工程流体力学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2000.
- [3] 杨筱衡. 输油管道设计与管理 [M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2006.

作者简介：

王秋萍 (1986-), 女, 汉族, 四川雅安人, 2008 年毕业于中国石油大学油气储运专业, 工程师, 现在中石化石油工程设计有限公司从事储运工程设计。

(上接第 228 页) 的增加而下降。这是由于 MWCNT 能吸收可见光从而阻挡了 Bi₄O₅Br₂ 对光的吸收。因此，过高含量的 MWCNT 会导致光催化活性的下降。四环素作为抗生素广泛用于治疗细菌性感染。由于它不能被完全代谢，大部分四环素以活性药物形式释放到水环境中。抗生素的大量排放和缺乏处理会导致污染环境中细菌群落抗药性的产生。在这里，探究 MWCNT/Bi₄O₅Br₂ 在可见光照射下降解四环素的光催化活性。在光照 30min 后，纯 Bi₄O₅Br₂ 降解了 41.9% 的四环素。在 Bi₄O₅Br₂ 中引入 MWCNT 后，相同的照射时间后，光催化降解效率提高了 21%。当照射时间达到 120min 后，0.1wt% MWCNT/Bi₄O₅Br₂ 对四环素的降解率达到了 86.2%。

4 结论

通过溶剂热法，以甘露醇为溶剂，[C16mim]Br 为 Br

源，MWCNT 和 Bi₄O₅Br₂ 为原料，利用 NaOH 调节溶液 pH，合成了新型材料 MWCNT/Bi₄O₅Br₂。通过 XPS、TEM 表征手段对物料的结构和形貌进行分析并对其光电化学性质进行测试。在可见光照射下，MWCNT/Bi₄O₅Br₂ 对四环素具有良好的催化效果并具有良好的稳定性和可重复利用性，在苯环结构有机污染物的光降解方面具有非常广阔的应用前景。

参考文献：

- [1] 陈旭鹏. 抗生素废水处理方法的研究进展 [J]. 科技资讯, 2012(18): 112.

作者简介：

杨涛 (1983-), 男, 汉族, 江苏丹阳人, 全日制本科, 工程环境, 工程师。