

油品输送管道“水锤”问题探讨

韩强强

山东大齐石油化工设计有限公司 山东淄博 255400

摘要: 阐述装卸车设计过程中应注意的安全问题, 探讨管道在紧急切断时水锤应力产生原因, 计算水锤导致管道压力升高值, 提出装卸车设计时应采取的安全措施。

关键词: 危险化学品; 水锤; 紧急切断; 声速; 体积弹性模量; 压力升高值

1 前言

危险化学品具有毒害、腐蚀、爆炸、燃烧、助燃等性质, 一旦泄漏到环境中容易导致中毒、灼伤、火灾、爆炸等事故。危险化学品装卸环节, 作业频繁, 风险大, 一旦发生泄漏, 会引起火灾、爆炸、中毒等后果, 严重威胁人民群众生命和财产安全。如某液化烃装车事故, 现场作业人员未能有效处置液化烃泄漏, 致使液化气泄漏长达2分10秒钟, 泄漏的可燃气体很快与空气形成爆炸性混合气体, 遇到点火源发生爆炸, 造成事故车及其他车辆罐体相继爆炸, 罐体残骸、飞火等飞溅物接连导致1000立方米液化气罐区、异辛烷罐区、废弃槽罐车、厂内管廊、控制室、值班室、化验室等区域先后起火燃烧。现场10名人员撤离不及当场遇难, 9名人员受伤。

2 “水锤”的产生

液体物料在光滑的管道内流动, 当末端阀门突然关闭时, 由于管壁光滑、液体物料粘度较低, 物料在惯性的作用下, 继续向下游流动, 速度由正常流速突变到0, 此时加速度最大, 对下游管道阀门形成较大的作用力, 这种作用力可能会产生破坏作用, 在水力学中称之为“水锤效应”。输送管线阀门紧急切断时, 阀门关闭太快, 由于液体的惯性, 产生水流冲击波, 冲击波会产生一定的冲击压力, 在冲击压力和原管线输送压力的共同作用下, 管道的内压力升高甚至急剧升高。如设计不当, 会导致管道发生位移、振动、泄漏、破裂。本文以汽油、乙醇、甘油为例, 探讨相关问题。“水锤”的产生与物料的流速、密度、阀门关闭时间等有密切关系。

对于装卸设施来说, 触发水锤产生的条件有: 末端七连锁的触发, 引起紧急切断阀的紧急关闭; 定量装车控制阀的快速关闭; 车辆紧急脱离造成拉断阀阀门关闭; 人工紧急关阀。

在工程设计上, 对于非长输管线, 将管道视为完全

刚性, 当满足以下不等式时, 认为会出现“水锤”现象:

$$T < \frac{2L}{V_s} \quad (\text{公式1, 引自GB/T20801.3 附录H})$$

$$V_s = \sqrt{\frac{E_o}{\rho}} \times 10^3 \quad (\text{公式2, 引自GB/T20801.3 附录H})$$

式中: T为阀门有效关闭时间, 单位为秒(s);

L为管道的长度, 单位为米(m);

V_s 为管道中流体的声速, 单位为m/s;

E_o 为流体的体积弹性模量, 单位为MPa;

ρ 为管道中流体的密度, 单位为 kg/m^3 。

表1 不同流体在管道中的声速

介质	汽油	乙醇	甘油
$E_o^{[1]}$	1068	901	4535
ρ (25°C)	740	786	1255
V_s	1201	1071	1901

紧急切断阀的关闭时间一般较短, 否则起不到紧急切断的作用。紧急切断阀的关闭时间与阀门的尺寸和紧急切断阀的动作形式由较大关系。紧急切断阀的关闭时间(阀门从正常操作位置到联锁要求的安全位置的时间)与其尺寸有关, 从调控信号开始的阀的全行程时间不应超过阀体尺寸(英寸)的3倍(以秒计), 并且不应小于阀体尺寸(英寸)(以秒计); 紧急切断阀的最大行程时间(阀门从正常操作位置到联锁要求的安全位置的时间)一般关闭时间为3~5s, 最大不应超过10s^[2]。

对于同一种物料其 V_s 值, 可以认为不发生变化, 其是否会发生“水锤效应”主要考虑其输送管线长度和紧急切断阀的关闭时间。不同流体在不同阀门关闭时间下需考虑“水锤”现象的输送长度见表2。

表2 不同流体需考虑“水锤”现象的输送长度

介质	汽油	乙醇	甘油
L(T=10s)	6007	5353	9505
L(T=5s)	3003	2677	4752
L(T=3s)	1802	1606	2851

从表2可以看出, 是否需要考虑“水锤”现象, 跟

管道内介质、管道长度、阀门关闭时间有直接关系。以汽油来看, 阀门关闭时间为10秒时, 输送管道长度六千多米才会出现“水锤”现象。当阀门关闭时间为5秒时, 输送管道长度三千多米才会出现“水锤”现象。当阀门关闭时间为3秒时, 输送管道长度1千八百多米就会出现“水锤”现象。阀门关闭时间越短, 越容易出现“水锤”现象。在相同的阀门关闭时间时, 乙醇比汽油比甘油更容易出现“水锤”现象, 因为乙醇的声速是最小的。这说明, 声速越小, 越容易出现“水锤”现象。随着石油化工企业的大型化, 输送泵区与装卸场地之间距离越来越大, 很容易出现管道长度超过千米的情况, 非常有可能出现“水锤”现象。管道进行设计时, 应根据管道设计情况具体分析是否会出现“水锤”现象。

表3 不同介质的声速

介质名称	密度 (kg/m ³)	声速 m/s	T=3S时, 出现水锤的长度
醋酸	934	1211	1817
丙酮	790	1174	1761
氨	770	1729	2594
苯	880	1306	1959
丁烷	600	1085	1628
甲醇	790	1076	1614
二甲苯	868	1343	2015
甲苯	870	1328	1992
戊烷	626	1020	1530
柴油	800	1250	1875
煤油	810	1324	1986

表3列出了石化企业常见的化工品醋酸、丙酮、氨、苯、丁烷、甲醇、二甲苯、甲苯、戊烷、柴油、煤油的密度及声速。声音是介质的本身性质, 与介质的弹性模量和密度有关。液体极难压缩, 其弹性模量可以认为是常量^[3], 一般由试验测定, 目前未发现液体声速与物质分子量等方面的关系。从表3可以看出, 常见物质声速值大于1000m/s, 经过计算, 管道输送长度小于1500m时, 可以不考虑水锤效应; 输送长度超过1500m时, 应考虑是否会出现“水锤”现象。

3 “水锤”的危害

水锤引发的压强升高, 可能到达正常工作压力的几倍, 甚至几十倍。这种管道内部工作压力的急剧升高, 会引发的管道的强烈振动, 对弯头造成剧烈冲击, 会引起管道接头断裂, 破坏阀门内部结构, 严重时到此管道破裂、管道翻转变形。有机化工产品装卸区出现这些后果后, 会产生此时事故, 如火灾、窒息、重点、爆炸等严重后果, 对人民生产财产造成严重损害。

4 “水锤”导致的压力升高值

水锤产生的压力升高值 $\Delta P(\text{MPa})$ 按下式计算:

$$\Delta P = V_s \times V \times \rho \times 10^{-6}$$

V为管道中流体的实际流速, 单位为m/s;

表4 不同管径下压力升高值

管径 (mm)	100	150	200	100	150	200
物料	乙醇	乙醇	乙醇	甘油	甘油	甘油
长度 (m)	2677	2677	2677	2851	2851	2851
流量 (m ³ /h)	60	60	60	60	60	60
V (m/s)	2.12	0.94	0.53	2.12	0.94	0.53
百米阻力降 (kPa)	43.55	5.43	1.27	80.91	10.90	2.69
ρ (25℃)	786	786	786	1255	1255	1255
V _s	1071	1071	1071	1901	1901	1901
$\Delta P(\text{MPa})$	1.79	0.79	0.45	5.06	2.24	1.26

从表3中可以看出, ΔP 的值较大。因为一般常压装车管道工作压力不会超过1.0MPaG。压力升高值受管径影响较大。管道直径选择时, 通常按公称直径选用, 且选择DN80、DN100、DN150、DN200等常用规格。当管道直径较小时, 常用规格直径的管道截面变化率较大, 导致相同流量下流体流速变化较大, 从而导致 ΔP 变化较大。在实际生产中会选用表3中管径为150mm。此时管线的工作压力大约0.6 MPa。如表3中选用管道直径为DN150时, 乙醇 ΔP 达到0.79MPa, 甘油 ΔP 达到2.24 MPa, 设计压力会超出常用的公称压力等级PN16。此时若未考虑“水锤”效应, 出现管道系统破坏是必然的, 只是时间长短而已。

从表3结果来看, 乙醇与甘油两种不同的介质, 在相同的输送体积量, 相同的管径时, “水锤”导致的压力升高值, 乙醇为三分之一。乙醇密度小, 声速小, 乙醇更易发生“水锤”现象, 但是“水锤”现象可能造成的危害小于甘油。

5 应对“水锤”效应的安全措施

(1) 应对“水锤”效应, 首先可以考虑阻止“水锤”效应出现。从公式1可以看出, 阀门的关闭时间是安全规范要求, 是无法修改的。阻止“水锤”效应出现最简单的办法是降低管线输送长度。可以在全厂总平面布置时, 考虑装卸场地与储运罐组之间的相对位置; 合理规划主管廊, 减少管道的绕行距离。

(2) 安装水锤消除器。水锤消除器的内部有一密闭的容气腔, 下端为一活塞, 当冲击波传入水锤消除器时, 水击波作用于活塞上, 活塞将往容气腔方向运动。活塞运动的行程与容气腔内的气体压力、水击波大小有关,

活塞在一定压力的气体和不规则水击双重作用下,做上下运动,形成一个动态的平衡,这样就有效地消除了不规则的水击波震荡。

(3) 安装安全泄放阀。当压力达到设定值时,液体排放出管道,到达泄压目的。此时应保证泄放液体排到符合规范地方。

(4) 提高设计压力,将整个管道系统的设计压力提高到包含“水锤”导致的压力升高值。

(5) 定量装车系统控制阀采用2段式。此阀门属于频繁操作,可以不考虑关闭时间,避免反复水击对其造成破坏。

6 结论

在装车管道设计时,当管道长度较大时(建议超过1500m),应进行详细计算,充分考虑管道“水锤”作用,避免因为“水锤”作用导致管道系统破坏,从而引发物料泄漏、火灾、爆炸。如果管系有“水锤”现象存在,则应在保证该管系中的管道和管道元件能安全的承

受正常操作压力加上短时间压力的升高值。同时应保证管道具有足够的强度以抵御非平衡力的作用。对于压力波造成的管道振动,设计人员也应在管道结构布置时适当加以考虑。

参考文献:

[1]唐永进著《压力管道应力分析》中国石化出版社,2003

[2]《石油化工自动化仪表选型设计规范》SH/T 3005—2015

[3]北京声学学会《工程声学》北京大学出版社,1996

简介:韩强强 1985年8月20日,性别:男;民族:汉;籍贯:山东省寿光市;工作单位:山东大齐石油化工设计有限公司;职务:工艺室副主任;职称:工程师;学历:本科。