

气室在引泗济运输水管道中的破坏作用分析

张存虎

(泗交引水工程管理局, 山西 运城 044000)

摘要:对山西运城引泗济运高压输水管道试通水期发生的爆管事故进行分析, 主要原因是管道中存在气室, 通过对气室的破坏作用和机理分析, 提出了输水管道在工程设计、施工、运行中应注意的问题。

关键词:气室; 输水管道; 管流; 爆管

中图分类号:TV672+.2

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2001)05-0058-02

山西运城引泗济运输水管道工程是解决运城市饮水问题的重要工程。在工程设计中由于在一个制高点没有设置气阀, 结果引发了爆管事故。本文以引泗济运输水管道工程为例, 对气室的破坏作用及预防进行分析。

1 工程概况

引泗济运工程起点位于夏县白沙河水库输水暗渠末端集水井, 高程为 459.60 m, 终至运城市第一水厂反应池, 高程为 360.535 m, 最低点高程为 347.95 m, 是一个倒虹吸式自流输水管道, 最大高差为 111.65 m, 全长 22.6 km, 管材选用直径 600 mm 的预应力钢筋混凝土管, 管道设计过水量为 $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$, 最大过水能力为 $0.375 \text{ m}^3/\text{s}$, 工作压力分为五级六段, 管道分段桩号、工作压力及长度见表 1。

表 1 输水管道分段参数

桩 号	工作压力/MPa	长度/m
0+230~2+300	0.4	2070
2+300~3+840	0.6	1540
3+840~5+900	0.8	2060
6+900~10+450	1.0	4550
10+450~16+370	1.2	5920
16+370~22+862.4	1.0	6492.4
合 计		22632.4

该工程于 1991 年 1 月动工兴建, 1991 年 9 月建成通水, 但在全线试通水期间发生了严重的爆管事故, 其主要原因是管道中存在“气室”。

2 爆管及其原因分析

2.1 爆管

1991 年 9 月 13 日, 引泗济运管道在分段试压后

合龙, 根据进出口近百米的自然落差, 采用关闭出口闸阀的方式进行全线试压, 当出水口静压达 0.87 MPa 时, 突然压力急剧下降, 经查 18+500 m 处管道爆破, 据目击者讲, 当时水柱喷射达 20 余 m。据管道设计压力曲线, 此时 18+500 m 处的水压为 0.82 MPa。为什么在施工分段试压时, 此段管道最大压力达 1.3 MPa, 并稳压 7 min 没有出现问题, 而在全线试压时, 压力仅达 0.82 MPa, 却发生爆裂? 当时因急于抢修, 未做深入研究, 采用钢制管道修复后, 再试水时, 发现有一焊点强烈漏气, 通过查看管线设计图, 原来此处是一制高点, 纵坡由 $-1/300$ 变化到 $1/100$, 判断该处管道可能存在气室, 增设排气阀后, 排气阀频繁工作, 后来就此处管道爆裂问题, 指挥部邀请设计部门、施工单位、管道生产厂家进行专题讨论。从挖出的管道情况看, 爆口位于管子脖子处、管子的正上方, 呈 $35 \text{ cm} \times 45 \text{ cm}$ 的基本规则的长方形, 从破口所处的方位、形状以及钢筋断裂的情况分析, 可以排除由于管内钢筋锈蚀造成管子强度降低的因素, 大家一致认为, 主要是由于管道在此处存在气室, 产生堵气现象所致。随后指挥部又对 22.64 km 的管道高程设计进行复核, 发现另有一处也存在气室现象, 便及时进行处理, 增设了排气阀。此后, 再未发生过由于气室原因造成的爆管事故。

2.2 气室破坏作用分析

为什么气室现象会产生如此巨大的破坏力, 将抗裂强度为 1.5 MPa 的预应力钢筋混凝土管道爆破? 笔者查阅有关资料后分析认为: 由于管道制高点的存在, 管道运行过程中产生气室, 过水断面逐渐减小, 流速逐渐增大, 气室中的高压水和高压气体的临界面, 由于水的高速运动, 水气之间发生摩擦, 从

而产生无数个气泡,每个气泡都携带有一定的动能,并且还存在一定的潜在内能.这些气泡在气室内不停地高速运动,互相磨擦、碰撞,能量不断积聚.当下游水体瞬间运动排走时,气室便在极短的时间内体积增大,由高压变成负压,气泡便发生破裂,此时管壁所承受的能量,既有这些高速气泡的动能,同时还承受着气泡破裂所释放的内能,两者叠加产生极大的压力,这样管道在瞬间经历了负压高压的急剧变化,受力骤增,足以使之发生破坏产生爆破.

从流体力学角度讲,管路中的流体,遇到阻力就会发生能量损失,即水头损失.当输水管路中产生气室时,过水断面就会发生变化,随着水流中气体的不断溢出,气室的体积不断增大,输水管道的过水断面就会不断减小,以致于形成高压气堵现象.而当下游水体突然排走后,在很短的时间又会形成负压,过水断面突然增大,在这过水断面变小和增大的过程中都会带来流体的能量损失.由能量方程式可以得出当过水断面减小时,水头损失为^[1]

$$h_v' = \frac{\eta(1 - F_2/F_1)^2 v_2^2}{2g} \quad (1)$$

式中: h_v' 为水头损失; F_1 为变化前的断面; F_2 为变化后的断面; v_2 为变化后的流速;根据试验结果 $\eta = 0.4 \sim 0.5$.

由式(1)可以看出,随着管道内气室的逐渐增大, $F_2 \ll F_1$,此时流速 v_2 也逐渐增大,水头损失可近似表示为

$$h_v' = \eta \frac{v_2^2}{2g} \quad (2)$$

式中, $v_2 = Q/F$ (Q 为过水流量, F 为过水断面).当 Q 不变, F 逐渐减小, v_2 急速增大, h_v' 也以二次幂的速度急剧增大.

当过水断面突然扩大时,由能量方程式可得出局部水头损失为

$$h_v' = \zeta \cdot \frac{v_2^2}{2g} = (\frac{F_2}{F_1} - 1)^2 \frac{v_2^2}{2g} \quad (3)$$

从式(3)中可以看出,当 $F_1 \ll F_2$ 时,式中 $\zeta = F_2/F_1 - 1$ 就会变得非常之大,那么, h_v' 即水头损失就变得非常之大.

从式(1)和式(3)中可以得出结论:当输水管道中过水断面无论变小或增大时,都会造成水头损失;并且当断面由很小突然增大时,水头损失将大幅度提高.根据能量守恒定律,在密闭的管道中,这些局部水头的巨大损失,就会转化成巨大的能量作用到局部的管壁上,使管道受到破坏.特别是当管道内的气堵及负压在很短的时间内几乎同时发生(断面由很小突然增大引起)时,两个过程的能量转换同时叠

加,造成局部管壁承受的能量急剧增加,加速管道发生破坏.

3 如何避免输水管道中出现气室

根据引泗济运管道工程的实际经验,在输水管道中避免出现气室应做好以下几方面的工作:

a. 把好设计关,在管道设计过程中,除严格按照规范设计一定数量的排气阀外,还要根据地形的起伏变化在高点增设排气阀,在由于其它原因有可能形成管道内气室的地方,也要增设排气阀.另外在管道进水口应设置由粗到细多级拦污栅、过滤网,以便有效地拦截悬浮物,不致于堵塞气阀.

b. 在施工过程中严格按照管道纵坡的变化施工,不得随意改变,若确需要改变管道纵坡时,必须经过设计单位的批准.施工过程中所使用的双向排气阀必须是满足使用要求的合格品,要求进排气自如.

c. 在运行管理过程中,一定要保证排气阀正常工作,要建立管道巡视制度及定期保养维护制度,一般情况下,在水体较清无杂质、悬浮物时,每周巡视一次.在汛期水质较浑、悬浮物较多时,应每天巡视,发现异常情况及时处理.每年开春及汛期过后要对气阀进行定期维护,要将排气阀打开,检查排气孔的通畅及磨损情况,检查浮球的完好情况,对有问题的配件要进行更换;同时对所有螺栓都要进行加油保养,之后,还要建立好各个气阀的维护档案.另外,对进水口的拦污栅、过滤网,要经常进行检查清理,避免悬浮物进入管道,影响气阀的正常工作.通过上述定期保养和维护,使排气阀保持在良好的工作状态,保证管道中不形成气室,从而使管道安全运行.

d. 在供水调度过程中,尽量使管道中水流平稳,避免流量忽大忽小变化频繁.在停水时,应先关闭上游闸阀,特别是在管道运行数年后,由于其它原因可能造成管道承压能力降低,绝对不允许关闭下游闸阀,使管道处于静压状态.这样做可避免水锤的发生,对管道的安全运行很有好处.

4 结 语

高压输水管道中存在气室,其危害是非常大的,犹如在管道中安装了一颗“炸弹”.因此,在高压输水管道工程建设和管理过程中,从设计、施工到运行管理等各个环节都要引起足够的重视,避免气室产生,从而保证管道安全运行.

参考文献:

- [1] 考夫曼.工程流体力学[M].上海:上海科学技术出版社,1959.

(收稿日期:2000-09-04 编辑:马敏峰)