

文章编号:1007-6735(2012)01-0093-05

工程中空气阀防护停泵水锤的应用

詹咏, 陈荣, 何玉武, 曾小磊

(上海理工大学 环境与建筑学院, 上海 200093)

摘要: 以北方某工程为例,介绍了复合型空气阀在停泵水锤防护方面的应用,并在工程中对空气阀口径和安装位置的选择作了详细的计算,根据计算结果进行停泵水锤模拟分析,得出应用复合型空气阀防护停泵水锤可以有效控制负压和防止断流弥合水锤的发生。

关键词: 复合型空气阀; 事故停泵; 水锤防护

中图分类号: TV 68 **文献标志码:** A

Application of Composite Air Valves in Water Transfer Project

ZHAN Yong, GHEN Rong, HE Yu-wu, ZENG Xiao-lei

*(School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science
and Technology, Shanghai 200093, China)*

Abstract: Taking certain water transfer project in North China as example the application of composite air valves for protecting against pump-stopping water hammer was described. The detailed calculation for the size of air valves and the choice of installation positions was carried out. Based on the simulation analysis of pump-stopping water hammer according to the calculation result, it can be shown that the application of composite air valves can effectively control the negative pressure and prevent the occurrence of water hammer while cavities collapsing.

Key words: *composite air valves; pumping accident; water hammer protection*

随着供水事业的不断发展,给水管网日益复杂,管网的维护面临着越来越多的挑战。一方面,在管网日常运行过程中,由于各种原因而积存在管内的空气会依水流速度的不同以多样化的状态存留在管线的多个位置,气团的存在使水流的有效过流面积缩小,水流速度加快,增加局部阻力损失^[1]。另一方面,若管线水力过

渡过程中出现负压,管道存在被压变形的可能。当压力降至同温度下水的饱和蒸汽压时,很可能发生水柱分离;若分离水柱具备回流的条件,两股水流很快弥合,引发极具破坏性的断流弥合水锤,造成破坏事故。为保证管网安全运行,参考国内相关工程实例得知复合型空气阀对输水系统具有非常好的防护作用。

收稿日期: 2010-06-09

基金项目: 上海市教委重点学科建设资助项目(J50502)

作者简介: 詹咏(1971-),女,副教授,研究方向:环境水力学. E-mail: jannet6@163.com

1 空气阀及复合型空气阀

根据空气阀功能的不同可将其分为微量排气阀、高速排气/吸气阀、真空破坏阀、复合型空气阀及注气微排阀等。真空破坏阀、微量排气阀、复合型空气阀专用于消除空腔溃灭弥合水锤,可以代替体积庞大、造价昂贵的调压塔,具有效果显著、成本低及节省空间等特点。

复合型空气阀包括高速排气/吸气阀与微量排气阀复合和真空破坏阀与微量排气阀复合。对于高速排气/吸气阀与微量排气阀的组合,当管线充水时,高速排气孔口在小压差(10~30 kPa)下保持开启状态,高速而顺利地排出管道内的空气,直至充水完毕;在管线有压运行过程中,则由微量排气阀排除水流中夹带的气团;当管内出现负压时,高速吸气孔口快速打开吸入空气,破坏管内真空,防止管道受压变形。对于真空破坏阀与微量排气阀的组合,专用于断流弥合水锤的防护。由于长距离输水工程流量大、扬程高,受地理位置的限制管线具有多处起伏,有些节点标高接近甚至高出水力坡度线。停泵后,随着上游降压波的传播,这些局部高点很容易发生断流弥合水锤。而注气微排阀的高速吸气孔口会在管内出现负压时迅速打开,及时充分地吸入空气消除负压,并在两股水流弥合过程中,由微量孔口以较慢的速度将空气排出,缓冲水流的撞击,控制断流弥合水锤。需要注意的是高

速排气/吸气阀与微量排气阀复合虽然也具有消除管内负压的作用,但它不可以用来进行断流弥合水锤的防护,否则当分离水柱回流时,之前吸入的气团会不加选择地由快速排气孔口排出,气团的高速排放反而加剧了两股水流的相撞,并在气体排放完毕的瞬间产生剧烈的水锤升压。现以北方某供水工程为例来介绍复合型空气阀在实际中的运用。

2 供水工程输水管线稳态水力分析

2.1 供水工程概况

北方某供水工程设计总流量为 3 200 l/s,水泵三用一备,单台水泵设计流量为 1 150 l/s,设计扬程为 45 m。管线总长约 18 km,采用 PCCP 管(预应力钢筒混凝土管)、玻璃钢管和钢管 3 种管材,管径 DN 1800。本工程输水流量大,管线走势崎岖不平、起伏不断,水泵事故断电后,大幅度的降压容易使某些局部高点(如膝部折点、驼峰、鱼背)产生负压并引发断流弥合水锤,整条输水管线的纵剖面图如图 1 中的蓝线所示。

2.2 输水管线稳态模拟分析

输水管线的稳态分析即是在输水管线末端水池不加任何调节阀时,确定输水管线的实际工况能否满足设计工况的要求。若不能满足输水要求,则需要进行末端调流,核算确定其末端调节阀开度。经稳态模拟分析后,供水工程的整条输水管线水力坡度线如图 1 中的绿线所示,图 1 中, H 为高程, L 为水平距离。

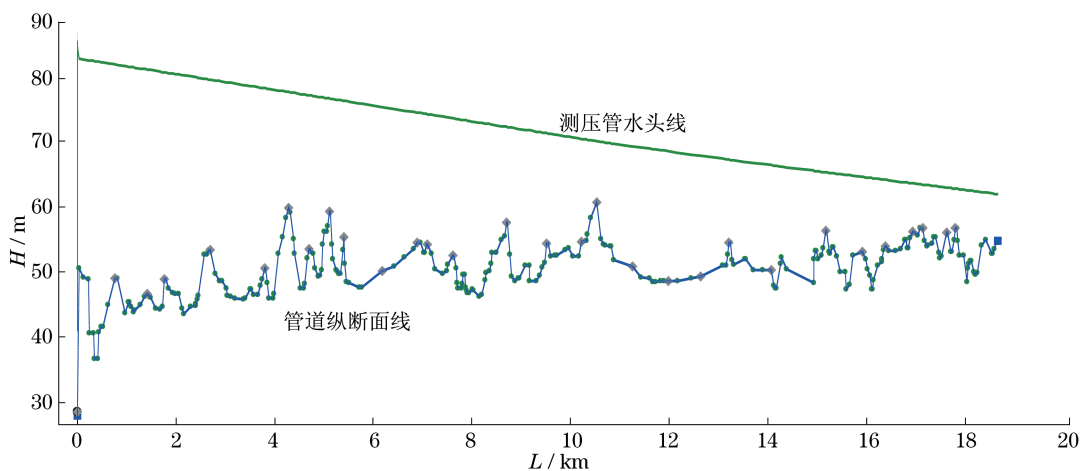


图 1 管线纵断面图及稳态工况测压管水头线

Fig. 1 Pipeline route profile and the piezometer tube water head line in steady-state condition

3 供水工程输水管线瞬态模拟分析

停泵水锤的瞬态分析是在输水管线稳态分析的

基础上进行停泵水力过渡过程的计算,并根据计算结果制定最佳的停泵水锤防护措施。

3.1 无任何防护措施的事故停泵水锤模拟分析

事故断电停泵,泵后阀门采用 5 s 关闭 90%, 40 s

关闭10%的关闭程序. 停泵后,水泵转速骤降,但由于关闭及时,未出现倒转现象;水泵流量和扬程大幅度降低. 由图2可知,停泵后数秒,止回阀下游第一个节点(驼峰点)的压力降至水的饱和蒸汽压(约-100 kPa, -10 m),水流发生汽化,两股水流发生分离. 当下游水柱在背压作用下重新回流时,压缩蒸汽空腔,腔内压力大于水的饱和蒸汽压时,蒸汽转为液

相的水,空腔溃灭,释放大量的能量,断流弥合水锤引发的剧烈高压(约 2.1×10^3 Pa, 210 m, 见图2)将对管道造成严重的破坏. T 为时间. 由图3可知,管线下游局部高点均发生不同程度的断流弥合水锤,管线最高压力已超过管道的最大承受压力,容易引发多处爆管事故.

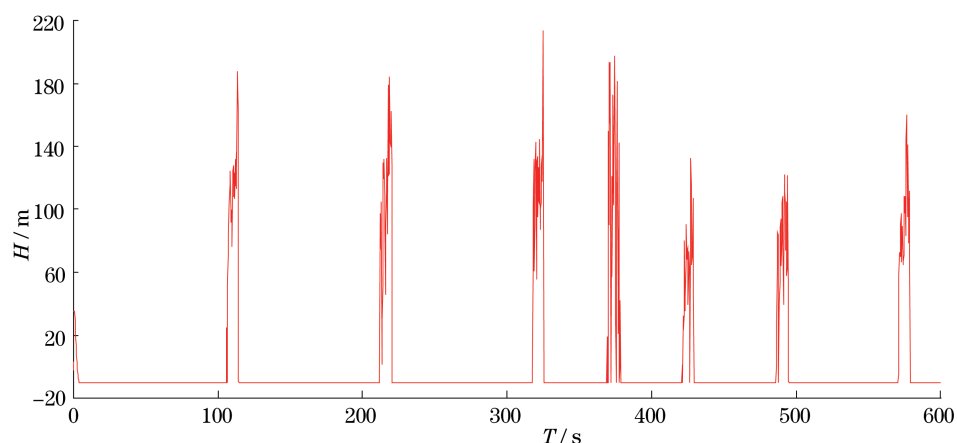


图2 止回阀后第一个节点水击压力历时曲线

Fig.2 Water hammer pressure duration curve of the first node after the check valves

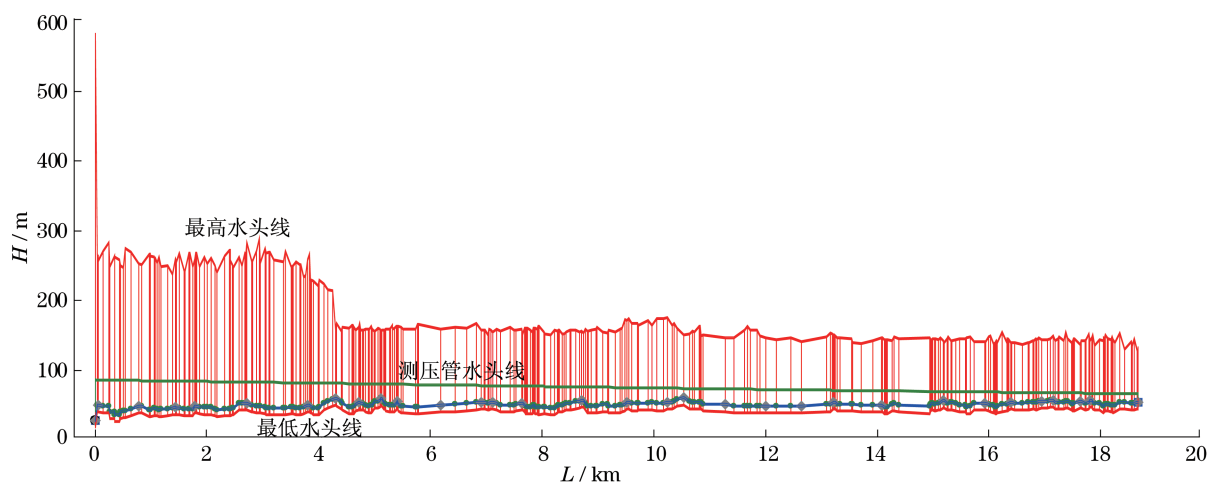


图3 事故停泵后整条管线的水头包络线

Fig.3 Head envelope curve of whole pipeline after the pumping accident

3.2 工程中空气阀口径和位置选择

3.2.1 空气阀的3个功能口径选择

系统稳态工况下,管线最高节点的工作压力为118 kPa,以该点为例,进行空气阀口径选择.

a. 微量排气孔口的选择. 计算排气量 Q_a [2].

$$Q_a = 0.02Q \frac{(\Delta P + 101.325)}{101.325} =$$

$$0.02 \times 3.2 \times \frac{118 + 101.325}{101.325} = 0.1385 \text{ m}^3/\text{s}$$

式中, Q 为管内水流量; ΔP 为管线工作压力.

然后查表[2]得微量排气口径为25 mm.

b. 高速排气孔口的选择. 按文献[2]中的规定,取最大充水压力为13.8 kPa,充水流速 v 为0.3 m/s,计算求得充水时所需排气量 Q_s [2].

$$Q_s = q \frac{(\Delta P' + 101.325)}{101.325}$$

$$Q_s = \frac{\pi D^2 v}{4} \times 10^{-6} \frac{(\Delta P' + 101.325)}{101.325} = 0.868 \text{ m}^3/\text{s}$$

式中, q 为流水流量; $\Delta P'$ 为流水压力; D 为管径.

查表^[2]得, 高速排气口径为 100 mm. 但由文献^[2]中的表格数据可知, 868 m³/s 的排气流量, 采用 100 mm 的高速排气口径时, 所对应的充水压力为 14 kPa, 略大于文献^[2]中规定的充水压力要求, 所以, 在工程应用中宜选用防吹堵的动力式排气阀.

c. 高速吸气孔口的选择. 管线的最高节点两侧的最大坡度为 0.013, 谢才系数取 120, 计算所需吸气量^[2]

$$Q_i = 6.9 \times 10^{-9} C \sqrt{SD^5} = 6.9 \times 10^{-9} \times 120 \times \sqrt{0.013 \times 1800^5} = 12.977 \text{ m}^3/\text{s}$$

式中, C 为谢才系数; S 为管线坡度.

以最大允许真空度 34.5 kPa 和 12 977 l/s 的排气流量, 查表^[2]得, 吸气孔口为 350 mm. 按上述方法亦可求得其它各节点的相关空气阀的 3 个功能口径.

3.2.2 空气阀的选址

以前面计算所得的各类空气阀口径为基础, 对照图 2, 选择空气阀相应的安装位置, 在管线上发生断流弥合水锤的局部高点安装注气微排阀, 对于其中的部分节点需要另行安装高速排气/进气阀, 这样既可以防止断流弥合水锤, 又可以保证管道充水和有压运行时的顺利排气, 需要注意的是在充水完毕后, 必须将高速排气/进气阀手动关闭, 否则, 整个阀组将丧失断流弥合水锤的防护作用. 另外, 为保证管道顺利充水, 并有效排除管道有压运行过程中不断积存的气团, 在管线上未发生断流弥合水锤的局部高点、管段上坡段、下坡段和平缓段以合理的间隔安装复合型空气阀, 具体布置如图 4 所示.

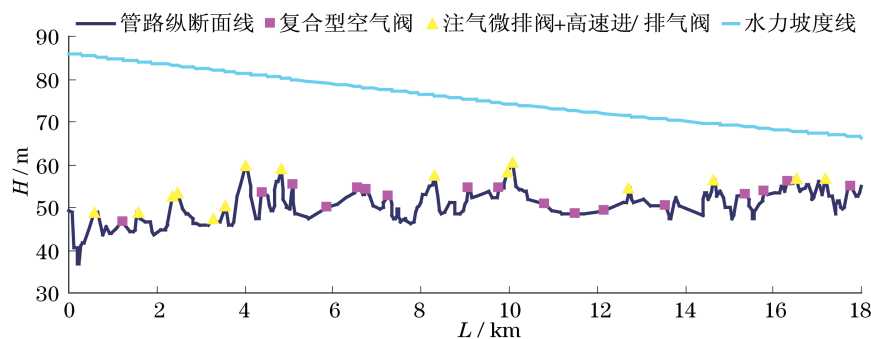


图 4 沿线空气阀布置图

Fig.4 Air valves layout along the pipeline

3.3 安装复合型空气阀后的事故停泵水锤模拟分析

在合理安装注气微排阀和复合型空气阀后, 整个管路的负压状况得到了显著的改善, 由图 5 可以看出, 止回阀后局部高点处负压已经由于安装注气微排阀和复合型空气阀而消失, 没有产生断流弥合水锤, 高压值明显下降. 图 6 表明止回阀后局部高点处管段拉空现象非常严重, 空气阀大量向管路中注入空气, 防止管路中产生较大负压, 有效地保护了管路, 随着瞬态过程的逐渐趋缓, 管段中拉空长度也逐渐减小, 注入空气量也逐渐减小. 表 1 说明管段部分局部高点在安装复合型空气阀前都不同程度地产生了断流弥合水锤, 水锤升压远远高于管路允许压力值. 在安装复合型空气阀后, 负压明显得到控制, 有效防止了断流弥合水锤的产生, 水锤升压显著降低, 有效地保护了管路. 表 1 中的 A0-580, A3-980

, A9-960 分别表示节点, P_1 和 P_2 为安装空气阀前节点最低压力和最高压力, P'_1 和 P'_2 为安装空气阀后节点最低压力.

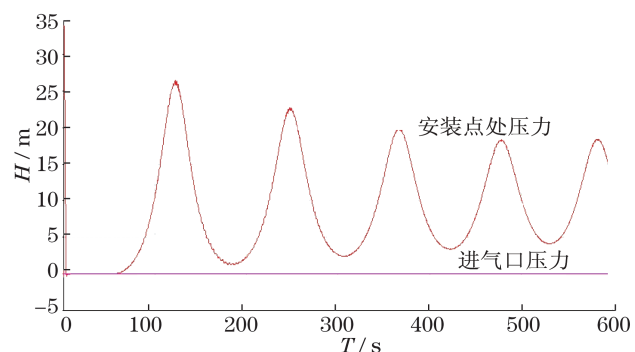


图 5 止回阀后节点安装空气阀后水击压力历时曲线

Fig.5 Water hammer pressure duration curve at the node of check valves after installed air valves

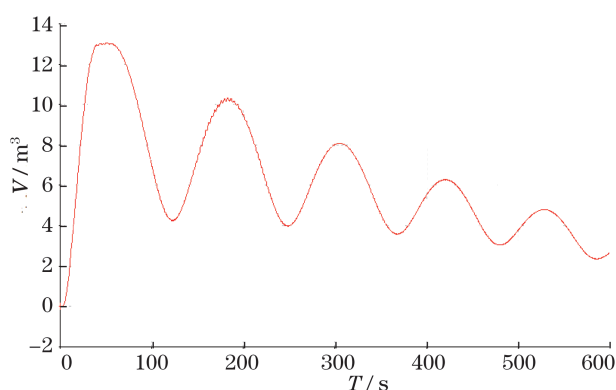


图6 止回阀后节点处空气阀内空气变化历时曲线

Fig.6 Air variation duration curve in the air valves at the node after check valves

和最高压力.图7表明在整条管路中合理安装复合型空气阀后,管路负压被有效地控制,整条管线没有产生较高的水锤升压,水锤防护效果达到预期效果.

表1 管路中部分节点安装复合型空气阀前后压力计算结果

Tab.1 Pressure calculation results before and after installed combination air valves in part nodes of pipeline

节点位置	安装空气阀前		安装空气阀后	
	P_1 /kPa	P_2 /kPa	P'_1 /kPa	P'_2 /kPa
阀门后	-100.0	1.6×10^3	-3.0	339.0
A0-580	-100.0	2.2×10^3	-6.0	347.0
A3-980	-100.0	1.3×10^3	-4.0	198.0
A9-960	-100.0	1.2×10^3	-8.0	144.0

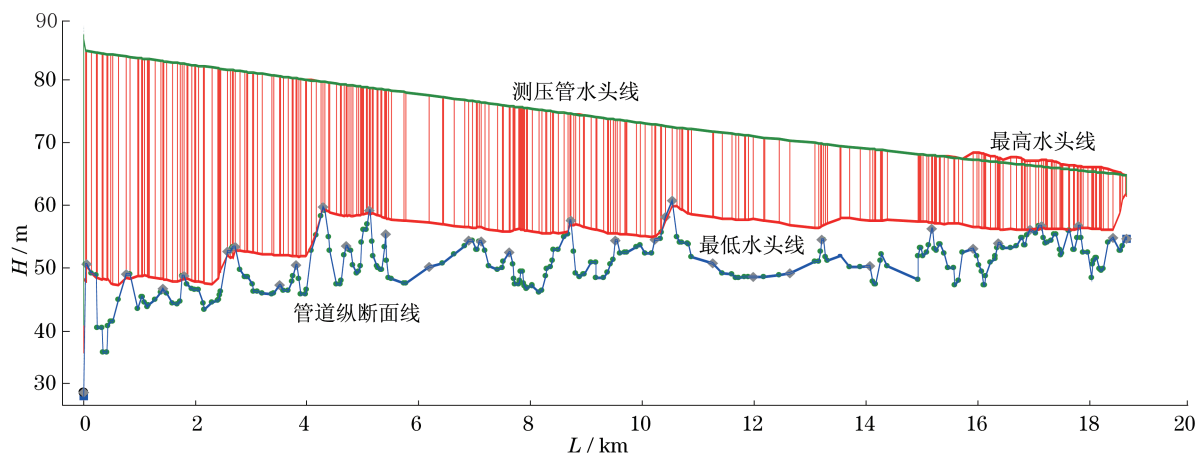


图7 安装空气阀后整条管线的水头包络线

Fig.7 Head envelope curve of whole pipeline after installed air valves

4 结论

a. 对微量排气阀而言,在经济和施工条件允许的情况下,其安装布置的密度越密越好;对高速排气阀而言,其孔口直径需合理地选择,排气口径需满足排气速度与充水速度协调一致,不产生排气阀快速关闭水锤;对高速吸气阀而言,在一定条件下,其孔径越大,吸气量越大,吸气速度越及时,管线内产生的负压越小.

b. 在管线上可能产生断流弥合水锤的局部高点,需要安装“注气微排阀”,而普通的空气/真空阀虽然可以在负压时吸进足量的空气,但在水柱回流压缩吸入空气时又会自由快速地将其排出,因此,非但不能消减断流弥合水锤,反而会加重该类水锤的

破坏性.

c. 输水管线90%以上的排气任务应该是微量排气,所以,微量排气阀才是管线运行工况下排气的主要设备,不应忽视微量排气阀的重要作用.

d. 排气阀是管线的重要组成部分,其成本仅占管线总投资的0.5%左右,但其经济效益可能达到5%以上,应引起设计工程师和运行管理人员的足够重视.

参考文献:

- [1] 金锥,姜乃昌,汪兴华. 停泵水锤及其防护[M]. 北京: 中国建筑工业出版社,2004.
- [2] 安荣云. 长距离加压输水工程的停泵水锤防护研究[D]. 上海: 上海理工大学,2010.