

箱式双向调压塔在远距离压力管道输水工程中的应用研究

陶芝霖

天长市水利局

摘要: 在远距离压力管道输水工程中,水锤是一个比较常见的现象,也是造成工程事故的一个主要原因。本文以天长市釜山、时湾水库补水工程为例,通过水锤计算分析,提出通过安装箱式双向调压塔来消除水锤的措施,以确保管道运行安全。

关键词: 箱式双向调压塔;远距离压力管道输水;水锤

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.06.079

引言

在远距离压力管道输水工程中,输水管线的安全问题至关重要。安全问题中,水锤问题尤为重要,一旦出现水锤,将会直接破坏管道及相关设施,造成爆管等严重问题,给群众生命财产安全带来重大损失^[1]。在远距离压力管道输水工程中,水锤是一个比较常见的现象,是造成管道及附属配件破损事故的一个主要原因,针对泵站及管路系统的水锤问题,国内外都进行了重点研究^[2]。本文以天长市釜山、时湾水库补水工程为例,通过控制阀门开关时间,模拟各种工况条件下的管道压力,分析计算水锤效应,从而在供水管道系统发生水锤现象时,有针对性的提出安全合理的防护水锤的方案措施,并对相应的方案进行数值模拟,进而研究该措施对水锤防护产生的效果,最终确定安全、经济、可行的水锤防护措施,确保工程的顺利运行。

一、工程概况

天长市釜山、时湾水库补水工程,旨在解决该区域灌溉和城镇生活用水需求,保障供水安全,是对区域水资源合理配置的优化。工程规划于河道边新建补水泵站,通过压力管道输水至时湾水库北干渠和釜山水库南干渠,泵站设计流量7.0m³/s,设计净扬程26.4m,拟安装6台SN900-M20卧式双吸中开泵,5用1备,配套6台卧式异步电机,单机功率560kW,总装机3360kW。时湾水库支管设计流量3.0m³/s,釜山水库支管设计流量4.0m³/s,输水管道全长约8.6km。

由取水口至时湾水库北干渠管道作为干管,管径为D2200,2250m, DN1600,3845m;流量分界处至釜山水库南干渠为支管,管径为DN1800,2500m;管材选用预应力钢筒混凝土管,承压值取0.8MPa。

二、水锤计算方法

水锤计算微分方程由运动方程和连续方程组成。该方程组相对复杂,计算难度较大,在工程实际运用中,需对该方程组进行简化处理,以满足计算需要,简化后

的特征线微分方程如下所示^[3、4]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{g}{a} \frac{dH}{dt} + \frac{dv}{dt} + \frac{f|v|}{2D} &= 0 \\ \frac{dx}{dt} &= +a \end{aligned} \right\} C^+ \quad (2.1)$$

$$\left. \begin{aligned} -\frac{g}{a} \frac{dH}{dt} + \frac{dv}{dt} + \frac{f|v|}{2D} &= 0 \\ \frac{dx}{dt} &= -a \end{aligned} \right\} C^- \quad (2.2)$$

通过建立x-t坐标系,对上述特征线方程进行简化处理。斜率为+a和-a的两条直线即为水锤特征线,如图2-1所示,两条水锤特征线交汇于P点。

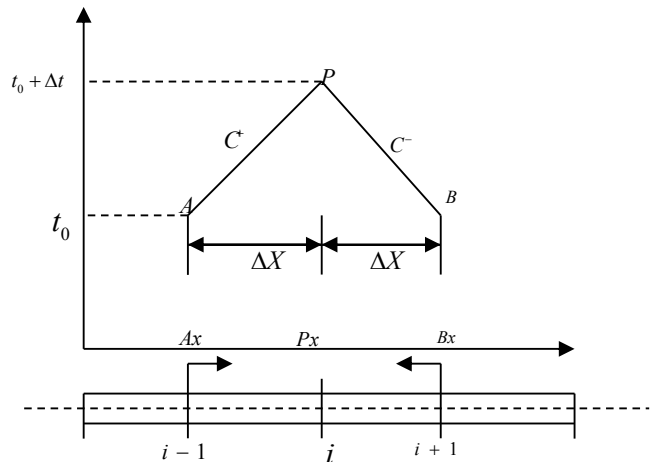


图2-1 x-t坐标系中的水锤特征线图

将特征线微分方程分别沿着C⁺、C⁻两条特征线积分到P点,可得到如下所示有限差分方程式:

$$H_P - H_A + \frac{\alpha}{Ag} (Q_P - Q_A) + \frac{f\Delta x}{2gDA^2} Q_A |Q_A| = 0 \quad (2.3)$$

$$H_P - H_B + \frac{\alpha}{Ag} (Q_P - Q_B) + \frac{f\Delta x}{2gDA^2} Q_B |Q_B| = 0 \quad (2.4)$$

如图2-2所示,我们可以将管路均为分成N个间距为Δx的网格,网格横向坐标用i表示,i=1作为管路起始断面,i=N+1作为管路终端断面,计算时段间隔为Δt = Δx/α。为了能够方便快捷的对有限差分方程式

求解,方程中的角标A、B我们分别采用“i-1、i+1”代替,角标P则采用“Pi”代替。上述有限差分方程式(2.3)、(2.4)可简化改写为以下形式:

$$H_{P_i} - H_{i-1} + B(Q_{P_i} - Q_{i-1}) + RQ_{i-1}|Q_{i-1}| = 0 \quad (2.5)$$

$$H_{P_i} - H_{i+1} - B(Q_{P_i} - Q_{i+1}) - RQ_{i+1}|Q_{i+1}| = 0 \quad (2.6)$$

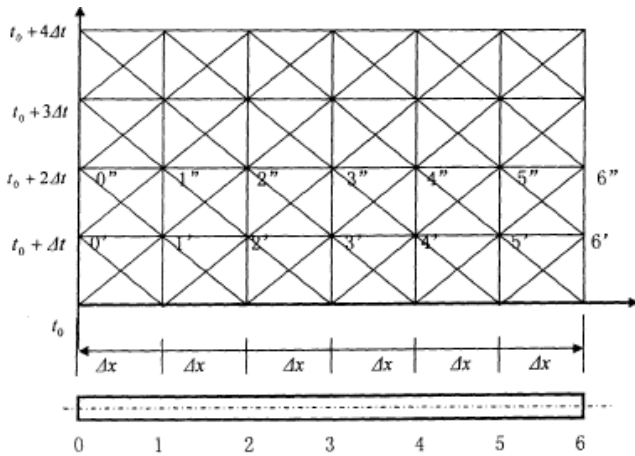


图2-2 简化差分方程式的矩形网格

三、常用水锤防护措施

目前，主要通过超压泄压阀、气压罐、单向调压塔和双向调压塔等措施来解决压力管道的水锤效应问题^[5、6]。

1、气压罐利用罐内的压缩空气，能够起到调节压力和消能的作用。气压罐在有关工程计算中证明一般体积大于管道容积的4%时，有较好的水锤防护效果，因此在输水管道的管径较大时，使用气压罐进行降压消能，气压罐的容积势必较大，设备占地、工程投资以及后期运行管理费用等都会较大。而且在实际运行过程中，当管道内压力较大时，气压罐内压力随之较大，存在一定的安全隐患。上述因素导致在长距离、大管径输水工程中，气压罐使用较少。

2、单向调压塔对于断流水锤和负压水锤的防护有着较好的效果，其原理为通过单向调压塔注水防断流。

管道上安装单向调压塔时，当管道内压力下降产生负压时，会迅速向管道内注水，保护管道的安全运行。但是当管道内水流压力上升时，管道内的有压水不允许流入调压塔内，所以在升压管道中不能起到预防水锤的作用，在工程中运用较少^[7]。

3、超压泄压阀属于先导式动作阀门，其主要由主阀和先导阀组成，当压力管道水锤升压过高时，先导阀首先动作，一段时间后主阀才会动作，降低管道压力，防护水锤。其主要问题是动作滞后，对于管道内压力上升较缓慢时，能够起到一定的防护作用，如果管道内压力上升迅速，超压泄压阀就难以起到有效的降压防护效果，同时超压泄压阀不适用于管道断流时产生的水锤效应防护^[8]。

4、双向调压塔具备单相调压塔和超压泄压阀的优点，在管道内产生断流水锤时，双向调压塔能向管路内补水，防止水柱分离，可有效地消减断流弥合水锤升压，当管路中水锤压力升高时，高压水流进入调压塔中，从而起到缓冲水锤升压的作用^[9]。

四、管道水锤计算分析

本次拟定两个方案进行管道水锤分析计算。方案一：通过安装空气阀进行水锤防护；方案二：通过安装空气阀和箱式双向调压塔进行水锤防护。

(一) 方案一：通过安装空气阀进行水锤防护

管道中空气阀的计算桩号如下表：

表4.1 空气阀统计表

K0+500	K1+204	K1+421	K2+195	SWK0+478	SWK0+994
SWK1+846	SWK2+624	SWK3+630	FSK0+433	FSK1+500	FSK1+726

下面就管道末端闸阀匀速关闭条件下，不同总关阀时间时的管道水锤升压进行具体分析计算。

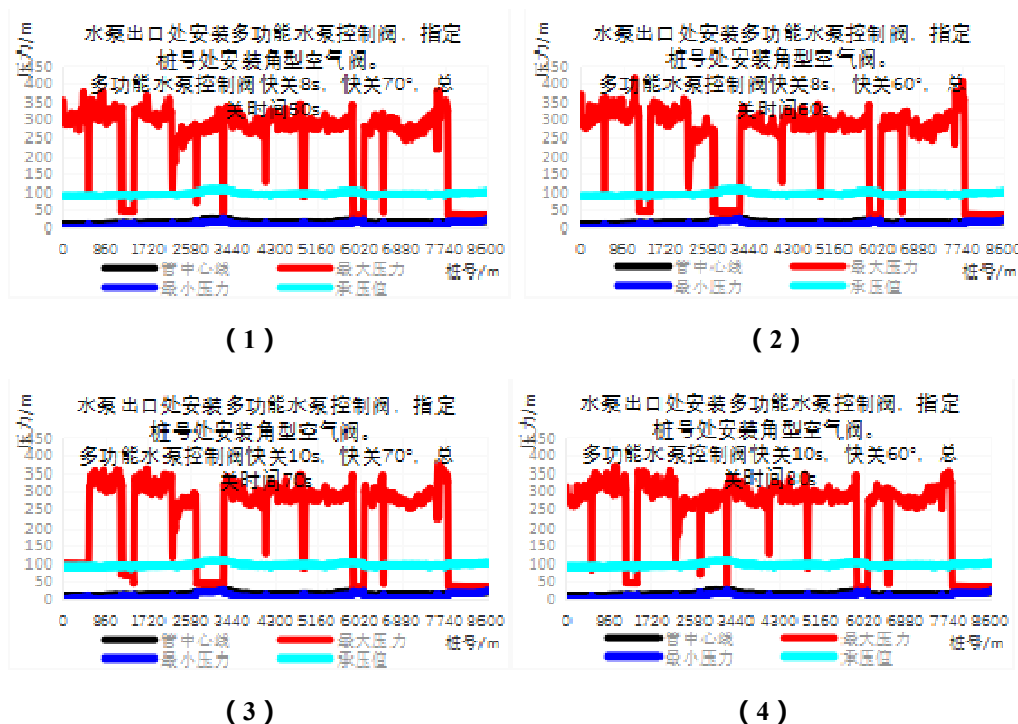


图4-1 方案一：管道末端闸阀匀速关闭不同总关时间时管道水锤压力线

根据上图水泵出口多功能水泵控制阀不同关闭时间和角度时的水锤压力线，我们可以分析得出以下结论：

①通过调节水泵出口多功能水泵控制阀不同关闭时间和角度，对管道内压力变化影响不大；

②仅在管道指定桩号处安装空气阀，当突然停泵时，管道内压力会快速上升，明显超出管道的承压范围，势必对管道的运行安全产生影响，甚至造成爆管，因此仅在管道指定桩号处安装空气阀，难以有效的防护

水锤，必须进一步采用合适的防水锤措施。

(二) 方案二：通过安装空气阀和箱式双向调压塔进行水锤防护

在管道适当位置安装空气阀，空气阀的安装桩号同方案一，另外，在桩号K0+050和SWK1+410处安装箱式双向调压塔。通过空气阀和箱式双向调压塔联合运行，进行水锤防护。我们还是通过调节水泵出口处多功能水泵控制阀的关闭时间及角度，对管道内的水锤压力情况进行模拟分析。

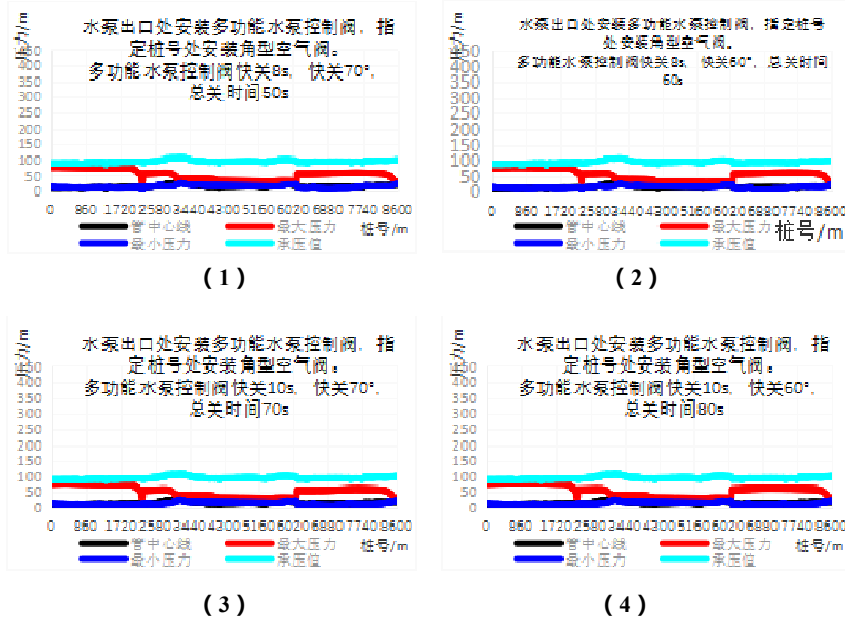


图4-2 方案二：水泵出口阀门不同快慢关时间及角度时水锤压力线

根据上图水泵出口多功能水泵控制阀不同关闭时间和角度时的水锤压力线，我们可以分析得出以下结论：

①通过调节水泵出口多功能水泵控制阀不同关闭时间和角度，对管道内压力变化影响不大；

②在管道适当位置安装空气阀，另外，在桩号K0+050和SWK1+410处安装箱式双向调压塔。通过模拟分析，管道内的最大压力均低于管道的承压值，且管内最大压力变幅较小，压力相对稳定，管道运行安全得到保证。

③箱式双向调压塔对于管道降压效果非常好。

五、结论

箱式双向调压塔采用活塞上、下不等面积的原理，当管道内产生水锤时，管道内压大于最大正常运行设计压力，活塞向上运行，管道内水从活塞上的导流孔流进水箱，并从水箱溢流管流出，从而起到泄压的作用；当管道压力恢复正常，活塞下移复位，重新封住阀座不使管内水外流；当管道内出现负压时，活塞下部的单项密封板开启，使箱式调压塔内的水注入管道，消除可能出现的断流空腔，以预防和消除断流弥合水锤。

箱式双向调压塔具有安全可靠的防水锤泄压溢流性能、泄压动作回位误差小、动作灵敏、反应迅速、自动化程度等特点。通过在天长市釜山、时湾水库补水管道上适当位置安装箱式双向调压塔，能够有效的防护水锤，保证管道输水安全和工程长久运行。

参考文献

[1] 杨玉思, 高学贞, 闫明. 长距离大管径平坦地区输水管道水锤防护技术[J]. 给水排水, 2010(9): 174-176.
 [2] 魏永庆, 杨玉思. 远距离压力管道输水管道的箱式双向调压塔技术探讨[J]. 水利水电技术, 2010(10): 45-47.
 [3] 刘威, 孟丽娜, 崔晓丽. 水锤偏微分方程组数值模拟的新方法研究[J]. 中国科技信息, 2010(16): 43-44.
 [4] 荣禹, 张嘉军, 张乾. 有压管道水锤数学模型分析和防护技术[J]. 中国给水排水, 2012(12): 18-20.
 [5] 郑成志, 高金良, 王焕君等. 长距离平坦输水管道负压防护措施分析[J]. 中国给水排水, 2012(1): 39-42.
 [6] 陆天友. 空气阀在多起伏输水管道中的应用[J]. 中国给水排水, 2012(9): 52-54.
 [7] 赵欣, 王学福, 王如华等. 宁东能源化工基地供水二期工程水锤分析[J]. 中国给水排水, 2013(23): 56-59.
 [8] 王川江. 新疆准东五彩湾供水工程停泵水锤计算[J]. 中国给水排水, 2014(11): 55-57.
 [9] 高凤, 王鹤, 张博. 箱式双向调压塔在长距离压力输水系统中的水锤防护研究[J]. 净水技术, 2014(33): 75-77.