

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2018.06.024

长距离重力流输水工程多支管运行方案水锤研究

徐燕, 李江

(新疆水利水电规划设计管理局, 新疆乌鲁木齐 830000)

摘要: 结合 KYPipe2010 水锤分析软件, 对多支管运行的重力流输水问题进行了分析研究, 发现随着支管关闭数量增加, 流量改变量越大, 造成的水锤升压越严重, 对管道的安全更为不利; 在管道沿线有驼峰高点, 若对各支管及主通道末端流量不加控制, 将可能会出现较大的压降, 造成驼峰高点处出现负压, 还会出现分支管由于供水压力过低, 造成引水困难, 影响整个管道系统的安全, 需要增设稳压持压阀来解决; 各分水口处的水锤升压均较高, 均超过了分水支管的管道承压能力, 在各分水口处设置可调式减压阀后, 可有效降低分水口处的水锤升压, 达到了水锤防护的目的。

关键词: 长距离; 重力流; 多支管; 关阀; 驼峰

中图分类号: TV674

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2018)06-0129-05

Water Hammer Analysis of Multi-branch Pipes in Long Distance Gravity Flow

XU Yan, LI Jiang

(Xinjiang Water Resources and Hydropower Planning and Design Administration, Urumqi, Xinjiang 830000, China)

Abstract: Combined with KYPipe2010 water hammer analysis software, this paper analyzed the water transmission problem of gravity flow in multi-branch pipe operation. It was found that with the increase of the number of branch pipe closure, the larger the flow change, the more serious the water hammer pressure rise, which was more adverse to the safety of the pipe. If there is a hump along the pipeline, and each branch and the end of the main flow without control, will appear larger pressure drop, therefore cause negative pressure at the hump. There also will be water supply issues due to water supply pressure is too low, which will affect the safety of the pipeline system, and voltage holding pressure valve needed to be installed to solve this problem. The pressure rise of water hammer at each water distribution outlet is high, both of which exceed the pressure bearing capacity of the pipe of water distribution branch. After setting adjustable pressure reducing valve at each water distribution outlet, the pressure rise of water hammer at the water distribution outlet can be effectively reduced, and prevent water hammer.

Keywords: long distance; gravity flow; multi-branch pipes; valve shut off; hump

新疆地处祖国西部边陲, 年降雨量少, 蒸发能力强, 是典型的干旱地区, 且新疆水资源分配不均, 整体分布呈现北疆大于南疆, 山区大于平原, 西部大于东部, 地下水资源主要分布在山丘和平原区^[1]。随着近些年新疆经济的不断发展, 长距离重力流输水工程也越来越多。特别是 2005 年前后, 随着西部大开发政策引导及新疆工业化发展需求, 一大批供水工程上马, 解决因高程差较大等诸多水源无法满足正常的生产生活需求的问题, 因此管道供水工程开

始大量实施, 其中重力流输水项目占据了一定的比例。

重力流输水工程需要一定的地形高差, 在保证防冻要求的情况下, 管线沿地形起伏变化, 平行铺设。一般在输水管线中下游会因地势落差较大, 出现压力过高的现象^[2-3]。一般情况下, 长距离输水管道沿线的用水户较多, 这就造成管网系统更为复杂, 在做过渡分析计算时, 会发生很多难以确定因素。若多支管在较短的时间内同时关闭或开启, 会

收稿日期: 2018-07-18

修稿日期: 2018-08-21

基金项目: 新疆维吾尔自治区农牧骨干人才培养计划

作者简介: 徐燕(1979—), 女, 河北蠡县人, 高级工程师, 主要从事与水利相关的工程规划设计工作。E-mail: 375524056@qq.com

比单一管道造成的水锤升压或负压更为严重^[4];如果多支管末端不加限制,也会引起管道出现问题,严重的可能造成分水口引不上水或某些管段出现半管流,威胁管道安全^[5]。本文针对新疆长距离多支管的水锤防护问题,结合工程实例进行研究计算,提出防护措施。

1 多支管重力流输水工程末端关闭的影响

在有压输水管道中,由于流速的剧烈变化和流水流的惯性而引起一系列急骤的压力变化和密度变化,称为水锤。水柱分离是管流中出现空穴(空管段)时的一种水击现象^[6-15]。

对多分支重力流输水问题与 1 条主干管的重力流工程相比,管路内的情况更为复杂。多分支重力流输水工程由于主干管及不同分支管末端阀门的关闭,管道中任意一点的水锤压力变化就变得更为复杂,关阀影响的程度受各分支管末端的流量大小、关阀时间的长短、各分支管如何组合等影响较大,在产生关阀水锤时,会使得水锤升压更高,造成管道的耐压等级也会相应的提高,因此选择最佳的水锤防护措施的复杂程度也会明显增加,在计算防护措施的过程中,应注意管道的排气阀的安装位置,并应预防主管道及不同支管道末端阀门在不同关闭情况下引起水锤升压^[7-8];还会造成较低的负压,进而引发弥合水锤,发生更为严重的爆管事故^[9]。因此多分支的长距离输水工程的水锤压力变化问题更为突出^[10-11,16]。本文对多支管运行的具体情况不同工况的关阀水锤分析研究。

2 案例分析

2.1 工程概况

重力流输水主干管全长 32.28 km,最大落差 132.3 m,管径为 DN1000,进水池水位 1 010.4 m,设计流量 3 384.04 m³/h,沿线共有五处分水口。主要计算参数为:主干管为球墨铸铁管,管径 DN1000,壁厚 8.1 mm~13.5 mm,威廉姆斯系数 120,承压等级为 1.6 MPa。支管有 4 条,其中 PE 管管径为 DN90~500,威廉姆斯系数 140,承压等级为 0.8 MPa;球墨铸铁管管径为 DN800,威廉姆斯系数 120。输水主管道管线高程及各支线分水口位置示意图见图 1,分水口详细参数见表 1。

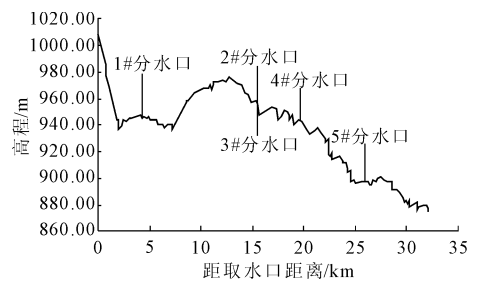


图 1 B 厂区方向输水主管道管线高程及各支线分水口位置示意图

表 1 分水口具体参数

桩号	分水流量 (m ³ ·h ⁻¹)	管道 长度/m	管材	管径 /mm	分水口 名称
4+700	3.816	1050	PE 管	90	1# 分水口
15+765	184.860	1700	PE 管	250	2# 分水口
15+765	1.116	1450	PE 管	90	3# 分水口
19+950	605.000	1050	PE 管	500	4# 分水口
26+470	2589.260	900	球墨铸铁管	800	5# 分水口

2.2 管道水锤分析计算原理

本文计算采用美国肯塔基州大学开发的 KYP-ipe2010 水锤分析软件。该软件水锤波特征方程基于弹性水柱理论的两个基本方程,数值求解方法采取的是拉格朗日波特性法,而非特征线法。

2.2.1 计算模型

水锤波特征方程基于弹性水柱理论的两个基本方程,分别为运动方程和连续方程^[12]。

运动方程:

$$\frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{1}{g} \left[\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + f(v) \right] \quad (1)$$

连续方程:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + V \frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{c^2}{g} \left(\frac{\partial V}{\partial x} \right) \quad (2)$$

式中: H 为测压管水头, m; c 为水锤波速度, m/s; x , t 分别为水锤波沿直线传播的距离和时间; g 为当地重力加速度, m/s²; $f(v)$ 是速度的非线性函数。

结合运动方程和连续方程,考虑边界条件(阀门、水池等),使用拉格朗日波特性方法进行计算。

波特性法是美国肯塔基大学土木工程系的 Don. J. Wood 教授提出的,以瞬态管流源于管道系统水力扰动所产生的压力波动的发生和传播这一物理概念为理论基础,通过追踪水锤波的发生、传播、反射和干涉,来计算各节点不同时间段的瞬态压力值。拉格朗日波特性法具有特征线法所不具备的高效的计算速度,主要体现在大型管网进行水力计算时的速度优势非常大^[13]。

2.2.2 管道计算工况选择

重力流管道中分水口流量越大,末端关闭引起的流速改变量越大,导致的水锤危害也最大。管道沿线 5 个分水口,分水流量见表 1,其中 5# 分水口桩号 26+470 处的分水流量最大,4# 分水口桩号 19+950 处的分水流量第 2 大。

本文对最危险的 5# 分支管及 4#、5# 分支管同时或依次关闭的关闭水锤进行模拟分析,选取工况见表 2。

表 2 不同工况计算表

工况	B 厂区用水量 / (m ³ ·h ⁻¹)	特征
稳态工况	2589.26 (0.72m ³ /s)	管道按照设计流量正常运行(工况 1, 5# 支管用水量最大时)
	1293.26 (0.36m ³ /s)	管道按照设计流量正常运行(工况 2, 5# 支管用水量最小时)
关闭水锤分析	2589.26 (0.72m ³ /s)	5# 支管 180 s 关闭
		5# 支管 300 s 关闭
		5#、4# 支管 300 s 同时或依次关闭

2.3 稳态分析

各分水口按照不同流量组合的稳态工况见表 2。图 2、图 3 为这两种工况下计算的水力坡度线及压力变化图。

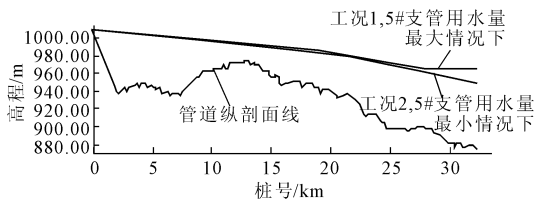


图 2 不同设计工况水力坡度线

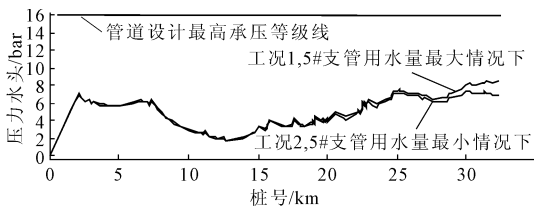


图 3 稳态工况下压力变化曲线

根据稳态分析计算结果,可以看出 2 种工况的管道压力均满足设计要求,但各支管处出水压力均较高,工况 1 管道末端压力为 83 m,工况 2 末端出水压力水头达 70.6 m。

2.4 分支管关闭水锤分析

2.4.1 不同关闭工况下水锤压力变化

(1) 5# 支管末端关闭或 4# 支管、5# 支管同时或依次末端关闭工况的关闭时间分析

关闭水锤分析计算工况见表 2。通过计算得出不同关闭水锤工况下主干管的最大压力发生位置和发生的时间,见表 3。

表 3 不同关闭工况下主干管管线最大压力位置

工况	关闭时间/s	最大压力/m	发生位置	发生时间/s
5# 支管末端关闭	180	186.5	末端隔断阀	175
	300	169.8	末端隔断阀	270
4# 支管、5# 支管同时或依次末端关闭	300	195.1	末端隔断阀	270

图 4、图 5、图 6 为三种关闭水锤分析工况下不同位置处的压力变化。从图 4、图 5 中我们可以发现 5# 支管阀门关闭时间越长,5# 分水口、4# 分水口的第一个水锤升压波幅越小,即水锤升压越小,这就说明关闭时间对管道的安全影响很大;从图 4、图 5 中还可以看出,5#、4# 分水口分管道末端 300 s 同时关闭,造成的第一个水锤波幅升压较只关闭 5# 支管 300 s 的方案的水锤波幅上升了 25 m 左右,且在管道运行到 400 s 时再次出现一个明显的水锤波幅,该波幅比只关闭 5# 支管 300 s 的方案的水锤波幅上升了 30 m 左右,从这些数据我们可以明显的判断出,随着支管关闭数量增加,流量改变量变大,造成的水锤升压越严重,因此,设计人员在设计时,应尽可能的延缓末端阀门的关闭时间,本次计算将末端阀门的关闭时间设定为 300 s,并且要求尽量避免多条支管同时关闭。

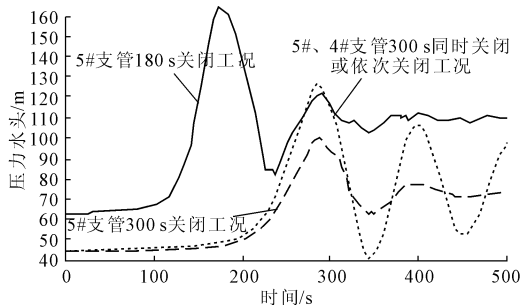


图 4 不同工况下 4# 分水口处压力变化

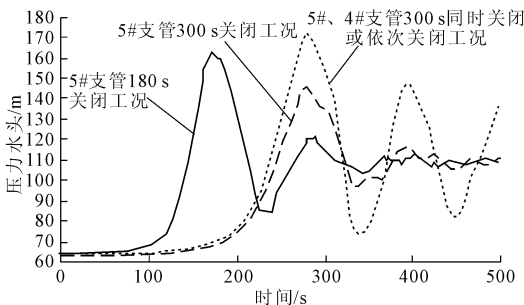


图 5 不同工况下 5# 分水口处压力变化

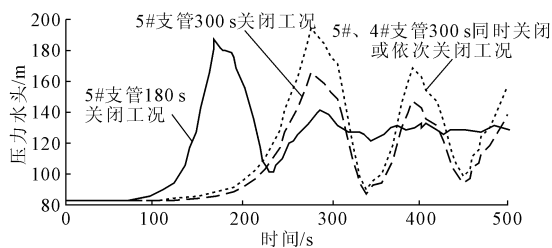


图6 不同工况下末端隔断阀处压力变化

从图7中我们可以看出,只关闭5#支管末端的阀门300s工况的最小水力包络线明显高于5#、4#分水口分水管末端300s同时或依次关闭的最小水力包络线,从图8中我们发现只关闭5#支管末端的阀门300s工况的管道最大压力包络线明显低于5#、4#分水口分水管末端300s同时关闭工况的管道最大压力包络线,这也反映了随着支管关闭数量增加,造成的水锤升压越严重。从图7还可以看出,主管道末端的超压比较严重,且1#(桩号4+700)、2#(桩号15+765)、3#(桩号15+765)、4#(桩号19+950)四处分水口压力虽未超出主管道承压的压力,但均超过了分支管PE管材的承压等级,需要进一步的采取防护措施,降低水锤压力,确保管道的安全。

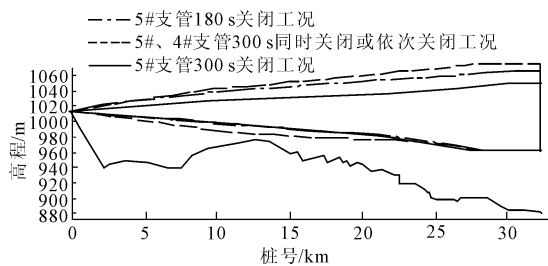


图7 水力包络线

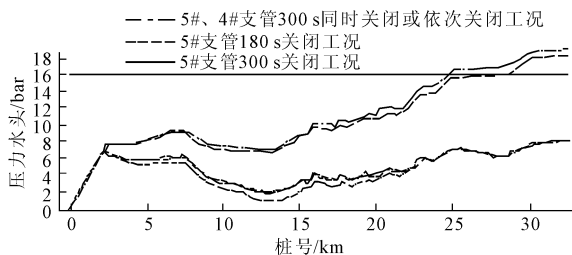


图8 最大/最小压力包络线

2.4.2 防护方案选择

(1) 持压稳压阀。从5#、4#分水口分水管末端300s同时或依次关闭的最小水力包络线图7中可以看出,管道沿线驼峰处的水力坡降线距驼峰高点处的内水压力不大,各支管及主管道末端流量如不加控制,造成总体输水流量过大时,可能会出现

较大的压降,造成驼峰高点处出现负压,还会出现部分支管由于供水压力过低,造成引水困难,产生半管流或明满流交替的问题,影响整个管道系统的安全,因此考虑在主管道末端要设置持压稳压阀,以保证整个管路系统的水压力。

当所有支管按照设计流量正常运行时,持压稳压阀阀前压力低于阀门设定压力,阀门处于关闭状态,使阀前自动维持一定背压,防止末端压力过低影响分支管流量;当支管用水量减小,持压稳压阀阀前压力上升,超过持压稳压阀设定压力时,阀门自动打开,泄放多余的流量。当发生关阀水锤时,持压稳压阀可具有泄压阀的功能,及时泄放管道内多余的压力,降低水锤危害。

(2) 减压措施。当发生关阀水锤时,减压阀可以使进入支管的压力在管道的承压范围之内,本文在每条支管分水口处安装可调式减压阀,控制各支管分水口的压力,对5#与4#支管同时或依次关闭300s工况下5#支管设计流量、最小流量两种情况的支管关闭工况进行进一步的水锤分析计算^[14]。

经计算,2种工况下,5#与4#支管同时或依次关闭,主管道水力包络线、最大/最小压力包络线、重要分水口及最大压力点压力变化、末端管道流量变化曲线如图9—图12所示。

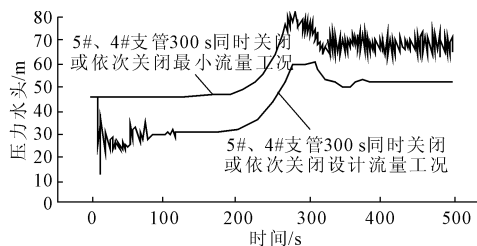


图9 4#分水口压力变化

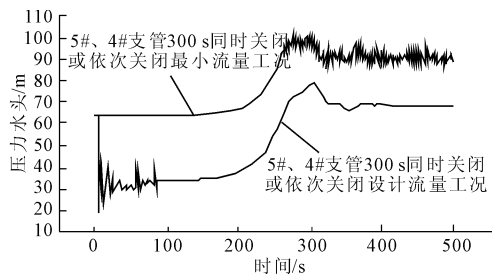


图10 5#分水口压力变化

从计算结果可以看出,在各分水口设置可调式减压阀后,当发生关阀水锤时,控制了各分水口处的压力,并降低了主管道的水锤压力,使压力均控制在主干管、支管的承压等级内。从图9、图10可以看出,4#、5#分水口处的压力均明显降低,且压力较

为稳定。对比设计流量和最小流量工况分析,发现小流量工况关阀时产生的水锤压力比设计流量工况关阀时产生的水锤压力要大,这一点与实际情况也是相符的。

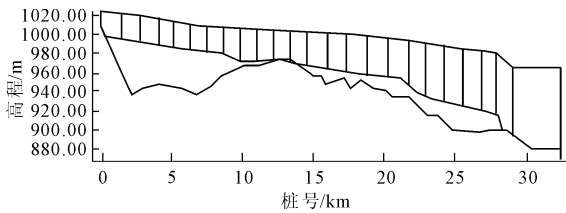


图 11 5#支管设计流量工况下水力包络线

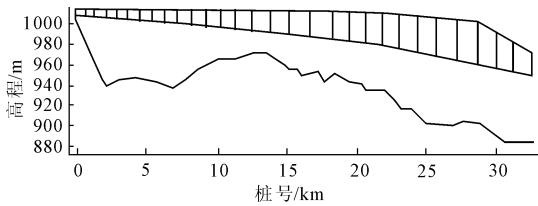


图 12 5#支管最小流量工况下水力包络线

5#支管设计流量时,5#与4#支管同时或依次关闭,最大压力 88.4 m,发生在桩号 23+294 处。5#支管流量最小时,5#支管与4#支管 300 s 同时或依次关闭,最大压力 108.4 m,发生在桩号 23+294 处。

3 结 语

(1) 随着支管关闭数量增加,流量改变量越大,造成的水锤升压越严重,因此,设计人员在设计时,应尽可能的延缓末端阀门的关闭时间,并且要求尽量避免多条支管同时关闭。

(2) 管道沿线驼峰处的水力坡降线距驼峰高点处的内水压力不大,各支管及主管道末端流量如不加控制,会造成驼峰高点处出现负压,还会出现部分支管由于供水压力过低,造成引水困难,需要在主管道末端增设持压稳压阀来解决,这是重力流中多支管研究的一个关键点。

(3) 通过对多支管末端的关阀水锤分析,分水口处的水锤压力偏高,设置可调式减压阀可有效降低分水口处的水锤升压。设计人员在多支管管道系

统设计时,应关注此问题,确保支管的运行安全。

参考文献:

- [1] 刘炎昆.新疆水资源可持续发展问题研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2013.
- [2] 杨晓蕾,沈来新,俞 锋,等.重力流输水管道关阀水锤模拟研究[J].水利水电技术,2017,48(5):95-96.
- [3] 蒋小鹏,结少鹏.长距离高落差重力流输水管道水锤特性分析[J].人民黄河,2015,37(11):103-106.
- [4] 结少鹏,张 健,黎东洲,等.多支线长距离重力流输水系统的水锤防护[J].人民黄河,2014,36(8):130-133.
- [5] 杨 曼.长距离重力流树状管网水力过渡过程分析研究[D].西安:西安理工大学,2016.
- [6] 马希今,高永辉.压力管道工程水锤危害、防护措施及其研究计算方法[J].中国水运(学术版),2007,7(7):118-120.
- [7] 宝青娜.长距离压力流输水系统有无支管水锤防护方案的比较分析[D].西安:长安大学,2014.
- [8] 蒋琳琳,张晔同,陈琦莹.长距离重力流输水管路水锤防护研究[J].海河水利,2016(4):8-10.
- [9] 王福军,王 玲.大型管道输水系统充水过程瞬变流研究进展[J].水力发电学报,2017,36(11):1-12.
- [10] 董 茹,杨玉思,葛光环,等.关阀程序对分支线重力流输水系统水锤升压的影响[J].中国给水排水,2016,32(11):50-54.
- [11] 石 喜,吕宏兴,朱德兰,等.枝状管网水力瞬变工况的试验与数值模拟[J].排灌机械工程学报,2013,31(5):406-412.
- [12] Wood D J, Lingireddy S, Boulos P F. Pressure Wave Analysis of Transient Flow in Pipe Distribution Systems[R]. MWH Soft Inc. Publ, Broomfield, Colo. 2005.
- [13] Robert G Dorsch, Gharlene Lightner, Don J Wood. Wave-plan analysis of unsteady flow[R]. Lewir Research Center Cleveland, Ohio, 1965:2-30.
- [14] 徐 燕.减压阀在长距离重力流管道输水工程中的应用[J].中国农村水利水电,2017(10):143-147.
- [15] 邓铭江,李红伟,杨长征,等.严寒地区大型倒虹吸工程管道应力及水力安全控制[J].水利与建筑工程学报,2017,15(1):113-120.
- [16] 李 娜,赵 宇,王丽娟,等.管道输水技术在水北调西线一期工程中应用的可行性[J].水利与建筑工程学报,2018,16(3):235-240.