

文章编号: 1005-8893(2000)02-0031-05

给水管网水力瞬变分析(2)^{*}

孟振虎¹, 陈毅忠¹, 王永忠², 陈坚榕³

(1. 江苏石油化工学院 机械工程系, 江苏 常州 213016; 2. 南京炼油厂, 江苏 南京 210033; 3. 飞创(苏州)电讯产品有限公司, 江苏 苏州 215011)

摘要: 继文(1)提出数值方案后, 本文完成了计算程序编制, 并对典型环状给水管网总管及网间管段阀门关闭过程产生的水力瞬变进行了计算分析。结果表明: 阀前阀后管段中的关闭水锤较管网其它管段要大得多; 按本文计算所用的阀门特性, 水锤压力急剧上升时的阀门开度低于2%, 控制好此后的关闭过程对降低水锤有利; 延长给水总管阀门关闭时间有利于降低关闭瞬间水锤。本文方法具有良好的收敛性, 可用于实际进行工程问题分析。

关键词: 水力瞬变; 关阀水锤; 数值分析; 环状管网

中图分类号: O 352

文献标识码: A

引 言

管网水锤将引起管道振动和噪音, 严重水锤尤其是空泡溃灭水锤甚至可能毁坏仪表、管件而造成严重事故。正确进行管网水锤及其影响分析并采取适当控制措施对管网安全运行有重要意义。继文(1)^[1]提出了数值方案, 本文在编制管网水锤分析程序的基础上, 以典型管网为例, 对供水总管、网中管段多种关阀方案所产生的水锤及其影响进行了初步分析, 得出的看法可提供工程实际参考。

1 程序功能及算例

程序可进行包含30个以内环路的管网稳态及瞬态分析, 并可根据输入数据拟合生成泵特性方程, 计算摩阻系数、波速值等以提供计算之用。线性和抛物线两种插值方法模拟两阶段关阀过程, 可供用户选择。算例见图1, 图中已标出结点、管段及环路编号、各管段直径、计算长度及按列宾宗摩阻处理经Newton-Raphson迭代后的稳态管段流量, 稳态水头则于图5曲线3给出。各管段管壁当

量粗糙度及波速值分别取0.12 mm及1 006 m/s。当管网任一管段某点 j 处水头 H_j 与大气压头 H_a , 标高 Z_j 与供水温度条件下水的饱和蒸汽压头 H_v 满足下述关系时, 便认为产生水柱分离^[4]:

$$H_j + H_a - Z_j < H_v \quad (1)$$

东厂两台, 西厂四台14SA-10B泵并联向管网供水, 并联泵特性方程经拟合后由下式表示:

$$H = 59.0 - SQ^2 \quad (2)$$

双泵并联时 $S=29$, 四泵并联则取 $S=7.25$, 式中 Q 的单位为 m^3/s 。

2 阀门阻力特性及处理

由水力学知, 阀门阻力特性为^[2-4]:

$$h_l = K \frac{V^2}{2g} \quad (3)$$

其中 V 为阀门所在管段液体流速, h_l 为流经阀门的水力损失, 而 K 为阀门阻力特性系数, 其值随阀门类型和开度而变, 一般由实验测定。本文分析所用阀门特性见图2。为避免开度接近于零时计算溢出带来的数值麻烦, 输入时改用了 $1/K \sim$ 阀门开度曲线。阀门阻力特性实际造成了阀两侧流态差

* 收稿日期: 1999-10-10

作者简介: 孟振虎(1950-), 男, 江苏常熟人, 副教授, 硕士, 从事管道强度、断裂及管网分析方面的研究。

别, 形成了管段内部边界, 此类边界条件处理类似于文(1)分支管结点处理方式, 但需利用(3)式。

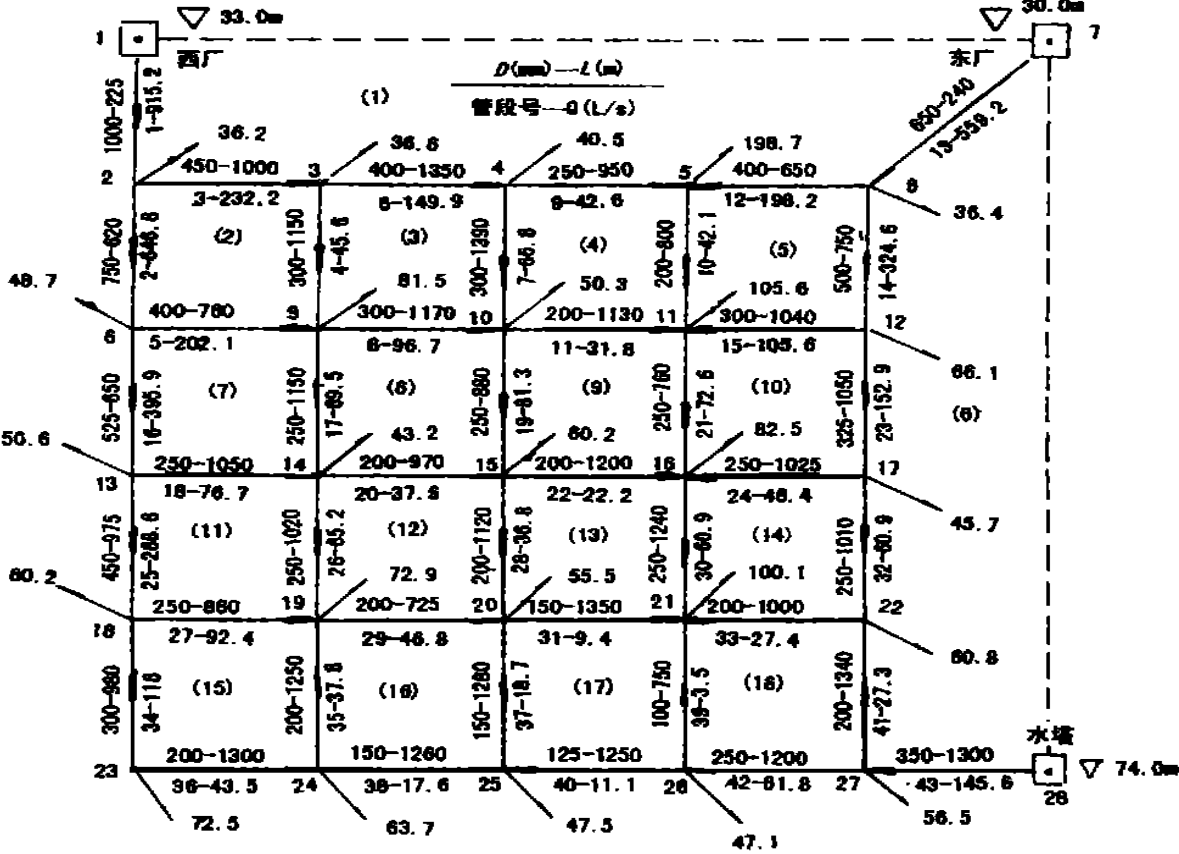


图 1 算例参数

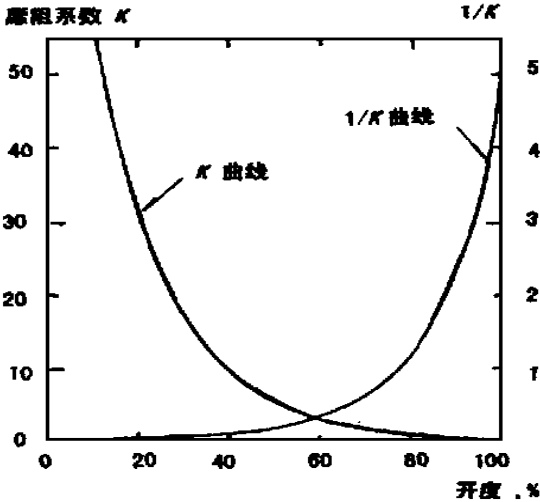


图 2 阀门阻力特性

3 计算结果讨论

表 1 给出了 10 号管段下游六种关阀方案和东厂供水总管 (13 号管) 下游四种关阀方案, 两管段稳态流量分别为 31.8 L/s 和 559.2 L/s。表 2、

表 3 给出了关阀过程影响比较, 图 3 为 13 号管段 2, 3, 4 三种关阀方案在阀前阀后产生的水锤历程比较, 图 5 则为 10 号管 1, 5 两种关闭方案所产生的最大最小节点水头比较, 以分析管网关阀对整个管网扰动的影响, 由于关阀过程开始后, 10 号管下游阀前位置与 11 号节点已明显差别, 已不属于节点范畴, 故阀前水头未给出, 其余关闭方案产生的最大最小节点水头除阀前外其余各点与图中数据相差不是很大。

表 1 关阀方案

管段	方案	关阀阶段 1		全部关闭时间/s
		时间/s	开度, %	
10 号管	1	0.0	0.0	0.0
	2	0.05	2.0	2.0
	3	0.5	10.0	3.0
	4	0.5	8.0	8.0
	5	0.5	10.0	8.0
	6	1.5	15.0	12.0
13 号管	1	0.0	0.0	0.0
	2	1.5	5.0	6.0
	3	1.5	15.0	12.0
	4	1.5	20.0	18.0

表 2 10 号管段下游关阀方案比较

方案	最大水头			水头急剧上升点			完全关闭瞬间		负水头情况	
	H_{\max}/m	t/s	位置	t/s	开度/%	H/m	t/s	H/m	t/s	H/m
1	213.2	1.564	阀前	—	—	—	0.56	211.6	—	—
2	211.7	5.083	阀前	1.12	0.903	100.8	2.23	184.3	—	—
3	203.6	3.072	阀前	2.793	0.823	99.6	3.072	203.6	—	—
4	221.3	11.12	阀前	7.262	0.787	90.2	8.38	164.2	9.496	-6.68
5	217.7	11.12	阀前	7.262	0.98	88.9	8.38	170.2	9.496	-1.83
6	209.5	15.08	阀前	11.78	0.39	98.5	12.29	171.3	—	—

表 3 13 号管段下游关阀方案影响比较

方案	最大水头			水柱分离情况			水头急剧上升时阀门开度, %
	H_{\max}/m	t/s	位置	t/s	开度, %	位置	
1	251.5	0.056	阀前	0.056	0.0	阀后	0.0
2	110.7	5.81	阀前	5.81	0.212	阀后	1.867
3	122.2	11.90	阀前	11.90	0.15	阀后	1.078
4	117.9	17.88	阀前	17.88	0.15	阀后	1.18

由表可见, 突然关闭供水总阀在阀前产生的水头比延时关阀要大得多, 而关闭网间支管阀门时除阀前水头值较大外, 关阀时间对最大水头的影响不明显, 但关闭瞬间水头则随关闭时间延长而减小。

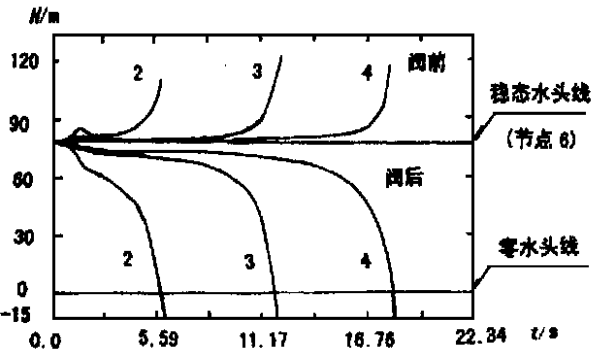


图 3 13 号管阀不同关闭方案水头历程比较

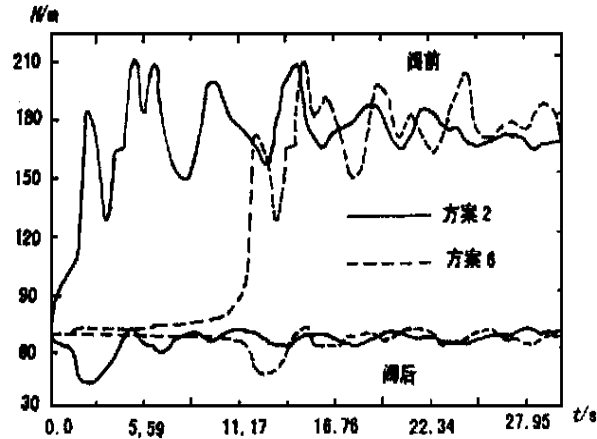


图 4 10 号管阀不同关闭方案水头历程比较

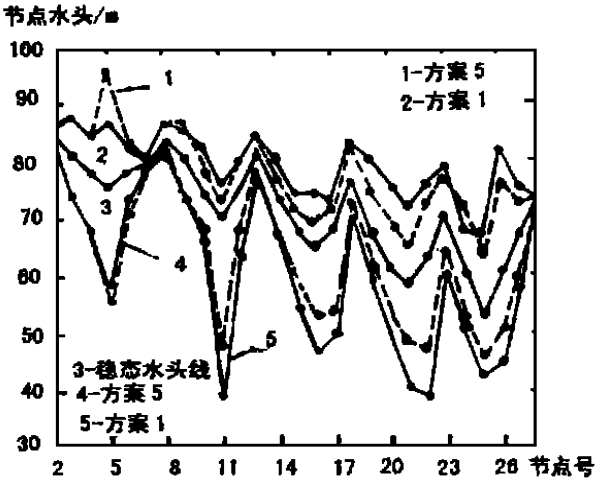


图 5 10 号管阀 1, 阀 5 关闭方案极值节点水头比较

此外的差别是 10 号管段六种关阀过程均未产生水柱分离, 而 13 号管四种关阀方案均产生水柱分离, 表明由于管段流量及 10 号管上游存在分支管路而 13 号管上游无分支管路的此种差别, 瞬变过程也有不同, 因此为防止空泡水锤产生, 对水量大的供水总管控制关阀过程尤为重要。由表 2、表 3 及图 3 可见, 最大水头均在阀前, 而水柱分离一般首先产生于阀后。最大水头除表 3 中 2 方案、3 方案、4 方案因水柱分离未继续计算外, 其余均约为稳态水头的 2.9—3.2 倍, 在阀后产生水柱分离时, 作用于阀上的压力更大。由表 2 还可见到, 关阀时间愈短, 关闭瞬间水头愈大, 表明延长关阀时间对降低关闭瞬间水锤有利, 但最大水头并不产生于此瞬间, 而是稍后一段时间。此外可见, 在关闭过程中出现负水头时, 其最大水头值明显增大。由此推断, 在负水头到达 (1) 式条件产生水柱分

离形成空泡后, 空泡溃灭所产生的水锤更大, 表 3 中 13 号管突然关阀导致阀前压力迅速增大, 同时阀后水柱分离形成负压, 再加上稍后阀前压头可能的进一步增大, 对阀及阀前管道形成第一波至少 270 m 的压力, 若第一波压力过后阀前管段可能产生水柱分离, 随之而来的第二波空泡溃灭产生的水锤压力更大, 极有可能造成阀门毁坏导致事故, 文献 [3] 中介绍的北京某水厂由于止回阀轴磨损, 阀瓣突然脱落截断水流而产生的巨大水锤鼓破阀盖, 原因可能与此有关。由表及图 3、图 4 中的水锤历程曲线比较中可看出, 对目前计算所用的阀门特性而言, 关阀过程中水头急剧上升点的阀门开度已经很小, 控制好 2% 开度后的关闭过程对避免严重水锤发生有重要意义。为考察关阀过程中阀门管段各点压力分布, 图 6 给出了 10 号管关阀方案 1 阀前、阀后、管段中点及上游点处水头历程曲线, 由图可见, 在整个时程中阀前管段压头最大, 管段中点及上游点处也有波动, 但幅值及范围要小得多, 由图 3、图 4、图 6 均可见, 阀前压头在开度 $> 1\%$ 的时段中变化比较平缓, 但在开度 $< 1\%$ 以后迅速上升, 并形成压力波动, 随后变化趋缓, 但仍维持在较高水平, 形成阀前压头堆集, 而距关阀位置一段距离后水击压头迅速衰减, 其衰减幅度明显大于长距离单根输液管道关阀水锤情况, 原因可能与管网分支管路和节点多的特点, 且 10 号管段流量较相邻的 9、12 号管段流量及节点供水量要小有关, 表明在管网结构中, 由于管路众多, 其充装作用明显大于单根管线, 因而阀门关闭引起的水击波峰衰减要较单根管线明显, 表明了此关闭扰动对管网其它管段不会造成大的影响, 此点从图 5 更清楚可见, 与稳态值相比, 节点水头最大上升值约 20 m 左右, 最大下降值约 30 m 左右, 最大影响点主要位于与 10 号管相连之结点 5, 结点 11。由于关阀扰动引起管网结点压力降幅大于升幅, 应注意压力下降引起水柱分离而可能产生的空泡溃灭水锤及其控制。

4 几点看法

(1) 管网关阀扰动影响主要反映在阀前、阀后管段, 对其它管段影响并非很大;

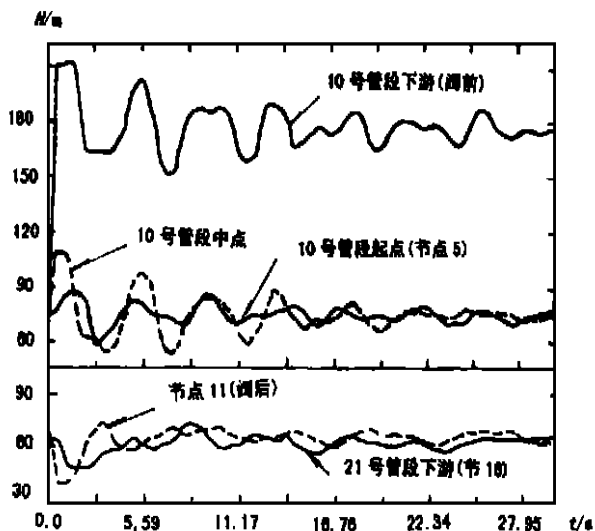


图6 10号管关闭在各点的水头历程比较(方案1)

(2) 按本文计算所用的阀门特性, 关阀过程引起水头急剧上升点的阀门开度 $< 2\%$, 延长此阶段关阀时间有利于降低关闭瞬间水锤压力;

(3) 供水总管突然关阀会产生极大水头, 且极易产生水柱分离导致空泡溃灭水锤产生, 控制关阀过程, 并采取其它措施防止空泡形成尤为重要;

(4) 最大水锤一般出现于阀门完全关闭稍后一段时间, 对网间管段关阀过程而言, 最大水头值约为稳态值的 3 倍左右, 在有负水头产生时最大水锤值还会有所增大。

进一步的工作应是水柱分离及空泡水锤研究。

参考文献:

- [1] 孟振虎, 陈毅忠, 王永忠, 等. 给水管网水力瞬变分析 (1) [J]. 江苏石油化工学院学报, 2000, 12 (1): 49-52.
- [2] 浦家宁. 管道水击分析与控制 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1991. 115-130.
- [3] 王学芳, 叶宏开, 汤荣铭, 等. 工业管道中的水锤 [M]. 北京: 科学出版社, 1995. 2-94, 170-199.
- [4] Wylie E B, Streeter V L. Fluid Transients [M]. New York: McGraw-Hill Book Co., 1979. 12-96.
- [5] 于必录. 含气水锤研究现状及其进展 [J]. 流体工程, 1992, 20 (5): 40-46.

Hydraulic Transient Analysis for Water Supply Pipe Networks (2)

MENG Zhen—hu¹, CHEN Yi—zhong¹, WANG Yong—zhong², CHEN Jian—rong³

(1. Department of Mechanical Engineering, Jiangsu Institute of Petrochemical Technology, Changzhou 213016, China; 2. Oil Refinery Nanjing, Nanjing 210033, China; 3. Filtronic Telecommunication Products Co. Ltd, Suzhou 215011, China)

Abstract: Based on the numerical solution scheme suggested by author the computer code has been programmed. Hydraulic transient analyses were performed for a typical ring distribution water supply system under the disturbing caused by the closing valve that is located in water supply main and in branch pipe respectively. The results show that the water hammers caused by the disturbing have much more effect on the pipes near the closing valves than the other pipes in networks. The water hammer is rapidly rising when the opening of valve is approaching about 2 percent in the closing process. In order to lower the water hammer, it is necessary that the valve located in the water supply main be very slowly closed down when the opening of valves is approaching 2 percent. The results also show that the method in this paper has good convergence rate and high numerical precision. It is available for performing transient hydraulic analysis of water supply pipe networks in engineering practice.

Key words: hydraulic transient analysis; numerical simulation; ring distribution; pipe networks

简 讯

循环水箱改造

循环水箱一般是用来为有特殊要求机组提供冷却水的。由于机组、水泵、管路长期运行后,大量水垢会淤积于水箱底部,部分还会附着于冷却盘管表面,当系统重新启动时,这些水垢又回到系统中进行循环。既影响系统正常运行,又降低冷却效果。常规的解决办法是使用软化水或加过滤器。但以上方法既不经济,操作也过于繁琐。现推荐一种简易方法来去除水箱中的淤垢。

首先将原来水箱一分为二,但不要等份,所有冷却盘管和温度探头安装在大箱中,并把大箱作为出水箱,小箱作为回水箱。使小箱中的水经上部流回大箱再参与循环。箱体间只需加一粗滤网即可。

由于水箱箱体是经过特殊处理的,产生的水垢很少,绝大部分水垢来源于机组、水泵和管路,通过回水到达小箱后,因重力和滤网的双重作用,沉积在小箱底部,可通过其底部排水阀定期排出箱外。通过以上处理基本可以保持大箱中的水质清洁。我们对这种水箱进行了一段时间的试运行,发现效果良好,而且由于小箱中无盘管,体积较小(一般占整只水箱的1/4—1/5)更易于清洗。

常州药业延申生物技术有限公司

于立