

# 波速对长距离输水管道水力过渡过程的影响与研究

刘团结 袁素勤

河南省水利勘测设计研究有限公司 河南郑州 450016

**摘要:** 目前, 水资源问题已经成为影响我国经济发展、社会安定和生态环境改善的主要制约因素。所以我国把水利建设作为保障社会经济发展的一项重大战略措施来抓, 为了缓解目前这种水资源形势, 我国的长距离输水工程越来越多。但是, 在长距离输水工程中, 因为管道水锤防护措施不当而导致的爆管问题屡见不鲜, 造成了不必要的经济损失和水资源浪费。

**关键词:** 波速; 长距离; 输水管道; 水力; 过渡过程; 影响与研究

## Study on the Influence of Wave Velocity on the Transient Period Process of Long Distance Water Pipeline

Tuanjie Liu, Suqin Yuan

Henan Hydraulic Investigation Design and Research Co., Ltd., Zhengzhou, Henan 450016

**Abstract:** At present, the problem of water resources has become the main restrictive factor affecting China's economic development, social stability and ecological environment improvement. Therefore, China takes water conservancy construction as a major strategic measure to ensure social and economic development. In order to alleviate the current situation of water resources, there are more and more long-distance water transmission projects in China. However, in long-distance water transmission projects, pipe explosion caused by improper protective measures for pipeline water hammer is common, resulting in unnecessary economic losses and waste of water resources.

**Keywords:** Wave Velocity; Long Distance; Water Pipeline; Hydraulic Power; Transient Period; Influence and research

### 一、水锤波速基本概念

水锤波动是一种机械波, 而机械波的存在需要有两个基本条件, 一个是波源, 一个是传播介质。水锤波动的波源就是压力管道中由于水流速度的剧烈变化和流体的惯性相互作用所引起压力变化和密度变化; 水锤波速顾名思义就是管道中由于水的流速的骤变而引起的压力变化的传播速度, 并以符号  $a$  表示。目前, 研究水锤波速是在弹性水锤理论的基础上进行的, 既考虑水体的压缩性也考虑管壁的弹性。因为在实际的水锤现象中, 流体的惯性、压缩性以及管壁的弹性起着主导作用, 而流体的重力所起的作用很小, 并且内外摩阻力也可以忽略。

水流的惯性要维持原来的运动状态, 而水体的压缩性和管壁的弹性却在改变运动状态。由于弹性水锤理论更加符合实际情况, 所以得到广大研究人员的认可。

### 二、水锤防护要点

由于长距离输水过程中水锤是引起管路事故的主要原因, 所以水锤防护问题一直以来都是国内外研究的主要技术问题。长距离压力输水管路中由于非正常原因导致的阀门突然关闭或然停泵都会引起水锤的发生, 所以研究分析水锤防护问题对供水安全具有重要意义。一般情况下水锤防护可以采取以下措施:

#### 1. 增设排气阀

对于排气阀的设置可以有效的进行水锤防护。通常排气阀按如下要求进行设置: 假设在起伏很小的管段每隔 1000 米设置一个排气阀, 在管线最高点下游 5—10 米处设置一个排气阀。对于排气阀的选用, 一般多采用恒速缓冲排气阀, 效果较普通排气阀要好, 在水锤防护方

**通讯作者简介:** 刘团结; 1990.2.28; 汉族; 男; 河南省商丘市; 河南省水利勘测设计研究有限公司; 职员; 中级工程师; 研究生; 邮编: 450016; 研究方向: 水利水电工程水力机械; 邮箱: 291469545@qq.com。

面也更加有效。

### 2. 安装双向调压塔或超压泄压阀

在泵站附近或管道的适当位置修建, 双向调压塔的水面高度应高于输水管道终点接收水池的水面高度并考虑沿管道的水头损失。调压塔将随着管路中的压力变化向管道补水或泄掉管路中过高的压力, 从而有效地避免或降低水锤压力。超压泄压阀在管道中出现超压后通过泄水来释放一定的压力, 可起到水锤防护的作用。

### 3. 安装缓闭止回阀

目前水泵出口大多装有缓闭止回阀, 可以通过控制缓闭止回阀的快慢关时间和快慢关角度来有效的防止水锤压力的波动, 防止水锤的发生。假设缓闭止回阀一般在停电后 3 ~ 7S 内阀门关闭 70% ~ 80%, 剩余 20% ~ 30% 的关闭时间则根据水泵和管路的情况调节, 一般在 10 ~ 30s 范围。不同的管路有不同的最佳关闭时间, 具体的水锤防护措施应该通过准确的水锤程序计算, 确定最佳关闭时间和压力, 从而有效的进行水锤防护。但是, 缓闭止回阀对有断流再弥合水锤发生的管路的水锤防护作用是微乎其微的。

## 三、水锤波速的影响因素

影响水锤波速的主要因素, 包括液体中渗气量、管道构造、管壁约束、管道材质等因素, 由于这些因素存在不确定性, 也无法给出定量的分析, 本文对不同波速的控制主要是通过改变管路计算管材。

### 1. 液体中掺气量的影响

由于在实际工程中, 输水管道中不可避免的含有固体杂质, 还有一部分不能完全排干净的气体的存在。所以, 实际输水过程中不是单纯的液相流, 而是气、液、固的一种混合流。大量研究表明, 少量的固体杂质对于输水工程中水锤过程和水锤波速的影响不明显, 而气泡则不一样, 即使是很微小的气泡, 也会对于水锤波速及水锤过程产生较大的影响。一般来说, 含气水锤的波速要远远小于纯净水中的波速。

### 2. 管道构造对波速的影响

对于一个实际工程一般情况下管径及管壁厚度都是比较确定的, 且一般都有确定的数值, 所以对波速的影响也是比较确定的。对于等温且管材不变的情况下, 管径越大值越小, 水锤升压也越小; 反之则大。管壁厚度越大, 则值越大, 水锤升压也越大; 反之则小。故管壁薄, 富有弹性的大口径金属管对减低水锤压力有利。

### 3. 管壁约束对波速的影响

首先来讨论几种比较特殊的管壁约束下, 也就是以

下所讲的薄壁管道的不同支撑形式下的波速一般表达式。

通常情况下管道支承形式有以下三种:

- (1) 管道全部固定, 全管没有轴向运动;
- (2) 管道只在上游末端固定;
- (3) 管道全部采用伸缩节连接。

### 4. 流体温度对波速的影响

水的弹性模量随着水温而改变, 而弹性模量的大小又直接影响水锤波速, 如果输水管路设在冬、夏季节温差较大的地区, 流体温度和环境温度对水锤波速的影响就不能忽视。

### 5. 管道材质对波速的影响

除了上述因素外, 管道的弹性模量也是影响水锤波速的一个重要因素。由于管道的材质与结构会影响管道的弹性模量, 下面主要以管材所引起的不同弹性模量讨论其对波速的影响。

#### (1) 均质管材

只用一种材料所制成的管道称之为均质管道, 常用均质管道有钢管、铸铁管、塑料管等。管材不同的管道有不同的管道弹性模量。弹性模量是衡量管材挠曲性好坏的重要指标。一般来说, 弹性模量越小, 材料的弹性就越大, 挠曲性就会越好, 由于流动条件改变而引起的水锤波速就会越小; 反之依然。

#### (2) 非均质管材

由不同材料制造的管道, 称为非均质管道。对于一些特殊情况下的管道的水锤波速的计算可参见《停泵水锤及其防护》。

#### (3) 钢筋混凝土管道

钢筋混凝土管道中的波速可以通过当量直径来估算, 即用一个“当量”钢管来代替实际的管道, 这个当量钢管的管壁厚度与管内混凝土厚度及所加的钢筋有关, 将混凝土对钢的模量比乘以混凝土厚度得出当量钢管的厚度, 考虑到混凝土可能存在裂缝, 因此在取值时可以适当留些余地。

除上面主要介绍的因素外, 还有压力、管道保护层等因素。压力与水泵的静扬程有关, 流体密度随着压强的增大而增大, 相应的波速也增大。所以应根据水泵静扬程选择合适波速的管材, 选大会造成管材的浪费, 而选小的话不能保证安全供水; 管道的内衬和管道外包括物、覆土厚度等都属于管道保护层, 保护层最大的作用就是可以大幅度的增强管壁的刚性, 从而使波速增大。

## 四、线重力流三种波速下的安全水锤防护措施

1. 管材为球墨铸铁管时 (水锤波速  $a=1000\text{m/s}$ ) 安全

## 水锤防护措施

当排气阀位置跟阀门关闭时间处于最优情况下时,在同样的情况下,超压泄压阀未能起到很好的降压效果。因此可以得出结论,调压塔比超压泄压阀更能起到水锤防护的作用,而且由于超压泄压阀在实际工程应用中,由先导阀调节主控制室的泄水泄压,这一作用原理经常导致“拒动作”和“误动作”,故压力的调节设施选择双向调压塔,当管路运行压力高于管路的最大使用压力时泄水泄压,当管路运行压力小于水的汽化压时补水补压。

### 2. 管材为钢管混凝土管时(水锤波速 $a=800\text{m/s}$ )水锤安全防护措施

例如在适当位置安装缓冲排气阀,并使关阀时间控制在快关10s,全关120s,即可得到安全的供水。

### 3. 管材为玻璃钢管时(水锤波速 $a=500\text{m/s}$ )水锤安全防护措施

例如在同样的供水情况下,波速小的管材更能保证供水的安全性。如果同样的水锤防护措施适用于波速小的管材,但是不一定能适用于波速比它更大的管材,特别是有断流再弥合水锤发生的情况。所以在实际工程中如果实际施工时所用管材与设计时采用的管材不一样,一定要重新对所用管材进行水力过渡计算分析,采用适用于该管材的防护措施,否则达不到安全供水的目的。

### 4. 管材为钢管时的安全供水方案

由于方案三并不能满足钢管为计算管材时的水锤防护,在方案三的基础上,在管路末端再安装一箱式双向调压塔。在该防护措施下,若管路最大升压都在承压范围之内,且大部分管路不在发生断流现象,所以该方案的降压措施是很有效的,能够保证安全供水。

## 五、结束语

由于我国水资源的缺乏和分布特点,使得我国的长距离输水工程越来越多。在长距离输水工程中无论是有压重力流输水还是水泵加压输水工程;无论是平坦管路,还是起伏大的管路。当管路系统非稳定流运行时不出现断流弥合水锤时,波速对水锤升压影响很小,但是对断流发生的水锤,波速越大水锤升压越大。特别当水力暂态时,不同波速使得管路系统处于断流与非断流水锤这种临界状态时,更要重视波速对水锤升压的影响。

## 参考文献:

- [1]《停泵水锤及其防护》严煦世,范瑾初.给水工程[M](第四版).北京:中国建筑出版社,1999
- [2]朱满林,沈冰,张言禾等.长距离压力输水工程水锤防护研究[J].西安建筑科技大学学报.2007,39(1):42-45
- [3]吴恒卿.长距离输水管材性能比较及选用[J].广西城镇建设,2007:83-85
- [4]张祖莲.水锤波速及含气水锤的研究[D].武汉:武汉水利电力大学,1994:1,16-30

