

龙岩市万安溪引水工程水力过渡分析

赵宁 江桂林

(黄河勘测规划设计研究院有限公司, 河南, 郑州, 450003)

摘要: 重力流输水工程利用天然地形落差, 靠重力流输水, 具有省电、节能、成本低、运行管理简单等优点, 正常运行时测压管水头小于静水头, 当管路上的闸、阀关闭时, 将在管道中产生剧烈的压力升降瞬变, 产生较大的水击压力, 造成管道爆管, 严重影响输水管道的正常安全运行。对输水工程进行水力过渡过程分析, 分析管道压力变化过程及分布, 寻求消弱水力过渡过程、避免水锤危害, 以保证工程的安全、稳定、高效运行。本文通过龙岩市万安溪引水工程水力过渡分析, 对类似工程有一定的指导意义。

关键词: 水锤 重力流 水力过渡分析 超压泄压阀

一、工程概况

龙岩市万安溪引水工程是为解决龙岩市主城区中、远期供水需求的引调水工程。工程从连城县大灌水电站发电尾水渠取水, 通过输水隧洞及管道引水至新罗区西陂镇规划北翼水厂, 平均引水流量为 $2.34 \text{ m}^3/\text{s}$, 设计引水流量 $2.93 \text{ m}^3/\text{s}$, 多年平均引水量 0.739 亿m^3 。设计最低引水位 439.20 m , 设计最高引水位 448.75 m 。本工程为III等工程, 主要建筑物为3级建筑物设计, 次要建筑物为4级建筑物。

输水系统由大灌尾水取水建筑物、有压输水隧洞和供水管道组成, 线路总长度约 33.79 km , 起点为连城县大灌电站尾水渠, 沿途经新罗区万安镇、江山乡、西陂镇, 最终接入西陂镇规划北翼水厂, 全程采用有压重力流输水。输水线路沿途跨越麻林溪、林邦溪2条河流, 其中林邦溪以北采用有压隧洞型式输水, 长约 27.94 km , 林邦溪以南采用埋管型式输水, 长约 5.87 km 。工程总布置见图1。

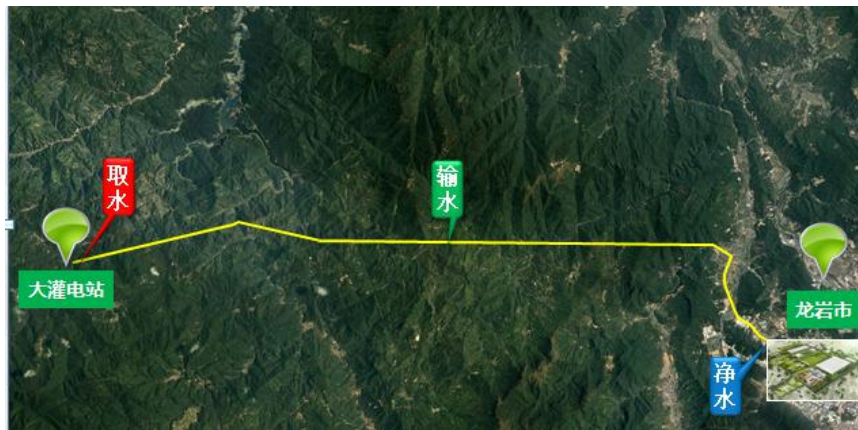


图1 工程总布置图

二、计算原理

水力过渡过程是指水流动量快速变化引发的流态瞬变过渡过程, 直观上表现为快速传播的水锤波动及各点水头的急剧快速变化。这一过程主要由水流惯性和可压缩性主导, 只要满足运动方程和连续方程, 加上边界约束条件, 即可求解^[1]。

1. 水锤计算特征相容方程

描述任意管道中的水流运动状态的基本方程为:

$$\frac{Q}{A} \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{a^2}{gA} \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{Q}{A} \sin \beta = 0$$

$$g \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{Q}{A^2} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{fQ|Q|}{2DA^2} = 0$$

式中:

H: 测压管水头;	Q: 流量;
D: 管道直径;	A: 管道面积;
T: 时间变量;	a: 水锤波速;
G: 重力加速度;	x: 沿管轴线的距离;
f: 摩阻系数;	β : 管轴线与水平面的夹角

上式可简化为标准的双曲型偏微分方程, 从而可利用特征线法将其转化成同解的管道水锤计算特征相容方程。

对于长度L的管道A—B, 其两端点A、B边界在t时刻的瞬态水头 $H_A(t)$ 、 $H_B(t)$ 和瞬态流量 $Q_A(t)$ 、

$Q_B(t)$ 可建立如下特征相容方程:

$$C^-: H_A(t) = C_M + R_M Q_A(t)$$

$$C^+: H_B(t) = C_P - R_P Q_B(t)$$

上式中:

$$C_M = H_B(t - k\Delta t) - (a/gA)Q_B(t - k\Delta t);$$

$$R_M = a/gA + R|Q_B(t - k\Delta t)|;$$

$$C_P = H_A(t - k\Delta t) - (a/gA)Q_A(t - k\Delta t);$$

$$R_P = a/gA + R|Q_A(t - k\Delta t)|;$$

其中:

Δt : 计算时间步长;

ΔL : 特征线网格管段长度, $\Delta L = a\Delta t$ (库朗条件);

k : 特征线网格管段数, $k = L/\Delta L$;

R : 水头损失系数, $R = \Delta h/Q^2$; 其它符号意义同前。

水力过渡过程计算一般从初始稳定动行状态开始，即取此时 $t=0.0$ ，因此当式中 $(t-k\Delta t) < 0$ 时，则令 $(t-k\Delta t) = 0$ ，即取为初始值。

特征容许方程式中只有两个未知数，将其分别与 A、B 节点的边界条件联列计算，即可求得 A、B 节点的瞬态参数。

2. 出口阀控制节点方程

一般情况下，出口阀门的过流方程为：

$$Q_p = C_d A_G \sqrt{2g\Delta H_p} = \tau \times (C_r A_r) \sqrt{2g\Delta H_p}$$

其中 τ 为流量系数，它是阀门开度的非线性函数，一般以离散数据或曲线表示。并考虑到，流体瞬变过程中可能改变方向，结合式特征容许方程式可得：

$$Q_p = \frac{C_p - C_M}{R_p + R_M + \Delta H_r |Q_p| / (Q_r \tau)^2}$$

对上式可通过叠代求解得到下一时刻的流量 Q_p 。

式中：

Q_p ：通过阀门孔口的流量；

ΔH_p ：阀门的水头损失；

C_d ：为流量系数；

A_G ：为阀门开启面积；

ΔH_r ：为阀门孔口全开时的水头损失；

Q_r ：为阀门孔口定常流状态的流量。

三、水力过渡分析

1. 基础资料

(1) 水位

输水线路起点为大灌尾水渠，设计最低引水位 439.20m，设计最高引水位 448.75m。输水线路终点为规划北翼水厂，厂址高程 415.00m，出水自由出流。

(2) 流量

最大设计引水流量 2.93m³/s。

(3) 阀门参数

工作阀 1 个，口径 1.6m;

(4) 管道信息详见表 1

表 1 供水管道信息表

管段编号	开始桩号	末端桩号	长度	直径/m	波速	糙率	管材
1	00+000	07+190	7190	4.0	1290	0.014	有压隧洞
2	07+190	07+396	229	1.6	1400	0.012	焊接钢管
3	07+396	27+936	20540	4.0	1290	0.014	有压隧洞
4	GX0+000	GX1+262	1263	1.6	1400	0.012	焊接钢管
5	GX1+262	GX2+524	1262	1.6	1400	0.012	焊接钢管
6	GX2+524	GX2+808	283	1.6	1400	0.012	焊接钢管
7	GX2+808	GX3+208	401	1.6	1400	0.012	焊接钢管
8	GX3+208	GX3+608	400	1.6	1400	0.012	焊接钢管
9	GX3+608	GX4+600	991	1.6	1400	0.012	焊接钢管
10	GX4+600	GX5+720	1120	1.6	1400	0.012	焊接钢管

2. 计算控制条件

(1) 输水系统最大水锤压力不超过 1.3~1.5 倍最大工作压力。即北翼水厂工作阀前最大压力控制值为 50.625m; 最小压力按照不小于 2.00m 进行控制。

(2) 根据工程管线布置特征，最大工作压力工况选定输水系统零流量时，管道的最大内水压力作为参考标准。

3. 计算工况

根据布置特点选择如下两个控制性工况进行计算:

工况 1: 进口水位 439.20m, 出口阀后水位 415.00m, 输水系统按照设计流量正常运行, 出口阀门正常开启, 计算输水系统沿线最小内水压力。

工况 2: 进口水位 448.75m, 出口阀后水位 415.00m, 输水系统按照设计流量正常运行, 出口阀门正常关闭, 计算输水系统沿线最大内水压力。

4 水锤防护计算

(1) 开阀水锤计算

开阀水锤主要是由于阀门的开启引起的供水管线最小压力情况, 计算工况为工况 1。

(2) 关阀水锤计算

关阀水锤主要是由于阀门的关闭引起的供水管线最大压力情况, 计算工况为工况 2。

计算成果见图 2。

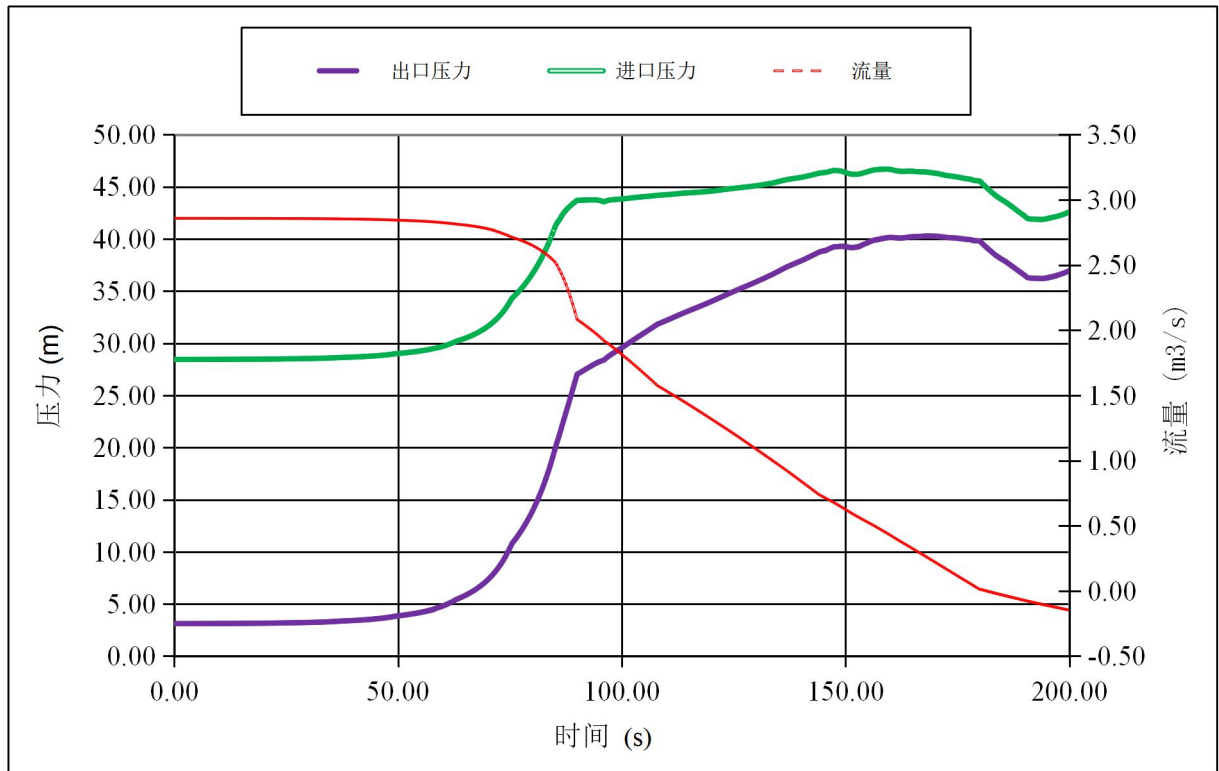


图2 出口超压泄压阀前压力变化过程

(3) 建议

重力流输水工程在管路上的闸、阀关闭时，容易产生较大的水击压力；对多起伏重力流管路，在管路高点、转折点发生断流空腔，容易造成弥合水锤，弥合水锤升值很大，对输水安全的危害很大^[2]。

为降低出口关阀水锤压力，有必要设置超压泄压阀，其安装简图见图3^[2]。超压泄压阀是在压力高于设定值后自动排出部分水体来调节和稳定管道压力的阀门；当压力恢复至设定值以下时，阀门自动关闭，阻止水体继续排出。

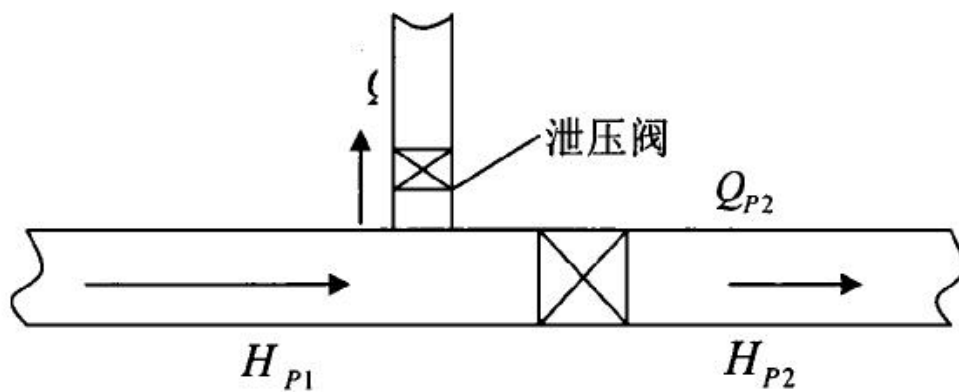


图3 超压泄压阀安装简图

超压泄压阀在与管道连接点处有：

$$H_{P1} = H_{P2} = H_{P3}$$

$$Q_{P1} + Q_{P2} + Q_{P3} = 0$$

式中： Q_{P1} 、 Q_{P2} 、 Q_{P3} 分别为阀上、下游及阀处的流量， m^3/s ；

H_{P1} 、 H_{P2} 、 H_{P3} 分别为阀上、下游及阀处的压力 m 。

试算后推荐超压泄压阀的相关参数为：口径 420mm，开启压力整定值为 38m。输水系统沿线最大压力值满足计算控制条件，计算结果见图 4。

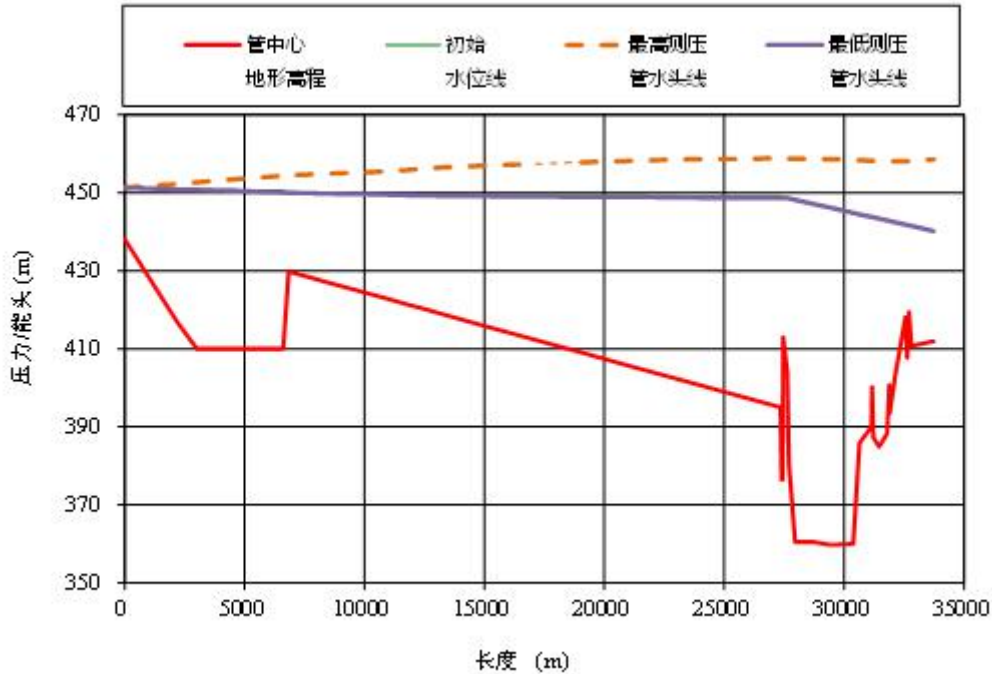


图 4 设置超压泄压阀后供水系统沿线最大压力包络线

5 计算结果分析

(1) 桩号 00+000 至 27+936 的隧洞段（包含麻林溪倒虹吸）隧洞（管道）顶部最小压力出现在隧洞入口处（桩号 00+000），最小压力为 2.484m；输水沿线最大压力出现在隧洞末端（桩号 27+936），最大压力为 75.17m。

(2) 桩号 GX0+000 至 GX5+720 的管线段，管道顶部最小压力出现在桩号 GX4+600 处，管顶最小压力为 18.18m；输水沿线最大压力出现在桩号 GX1+262 处，最大压力为 103.578m。管线段测压管水头包络线如图 5 所示。

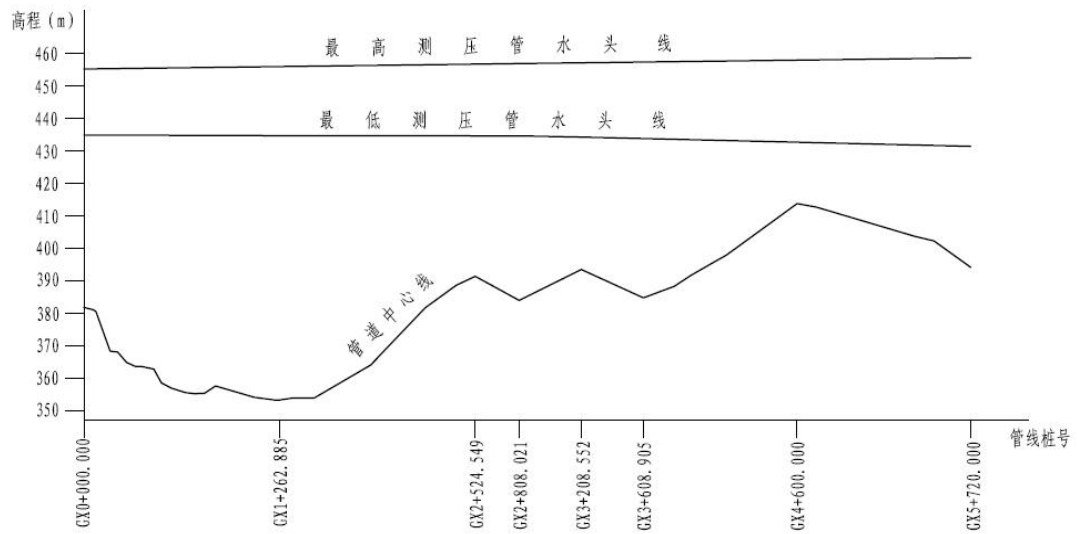


图5 供水管段测压管水头包络线

(3) 为保证支线建成之后输水系统安全，在管线末端分岔点处设置超压泄压阀。

四、结语

龙岩市万安溪引水工程全线采用有压重力方式输水，为典型的长距离有压重力流供水工程，管道在开阀、关阀等都会使管道内的流速发生变化，从而使其压力发生变化，引起水锤，容易产生水锤包括开阀水锤、关阀水锤以及正常运行水锤和流量调节水锤，本文对该工程进行了专门的水力过渡分析，并根据实际情况提出置超压泄压阀的处理措施，避免在工程运行过程中出现各种水锤破坏现象，对类似工程有一定的指导意义。

参 考 文 献：

- [1]熊小明 长距离管道输水系统水力过渡过程计算及应用 清华大学 硕士学位论文 2015年11月
 [2]朱晓璟 长距离大型区域重力输水系统水锤计算防护研究 长安大学 硕士学位论文 2009年4月

作者简介：赵宁（1978—），女，陕西长安人，高工，主要从事水利水电工程设计工作。

E-mail: zhaoning0625@126.com

手机号: 13783612362