

浅谈供水管线水锤压力计算分析及预防措施

本文结合某二期供水工程案例，总结管线模拟工况仿真分析计算以及水锤预防有效措施，对同类工程起到一定的借鉴与参考作用——国内某二期供水工程管道线路总长 50 km，工程起点为中法加压站，终点为八面城配水厂。工程选用 DN600~DN700 球墨铸铁管，在管道上设置了液控止回蝶阀、排气阀等。根据输水管道布置情况，经对泵站进行水力过渡过程仿真计算，结果表明，水泵最高反转速度不超过额定转速的 1.2 倍，超过额定转速的持续时间不超过 2 min；系统最高压力不超过水泵出口额定压力的 1.3~1.5 倍；输水系统任何部位没有出现水柱断裂，发生水锤时管线基本没有负压，个别点有负压但很低，不致发生水柱拉断现象。管线正水锤压力一般均小于管线试验压力。

文 / 朱轶菲 徐秀生

供水工程简述

某供水工程管道起点为中法加压站，终点为八面城配水厂。首部与中法加压站泵站出口相连，尾部与昌图八面城引配水厂清水池相连。总长约 51 km。供水范围为八面城镇、曲家店镇、平安堡镇、大洼镇、八面城镇、朝阳镇、四合镇、老四平镇、毛家店镇、昌图经济开发区、泉头镇、双庙子镇、四面城镇、鹭树镇、太平镇以及下二台镇，如图 1、2 所示。

中法加压站引入八面城的二期供水工程设计供水能力为 $3.5 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$ 。加压站内水泵情况水泵共 6 台，选用高效节能型中

开式双吸泵，如图 3 所示。

一期供水工程：总水量为 $560.26 \text{ m}^3/\text{h}$ 供水范围八面城镇；水泵 2 台 ($Q=300 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=30 \text{ m}$, $P=45 \text{ kW}$)，两用一备，变频；

二期供水工程：总水量为 $1463.44 \text{ m}^3/\text{h}$ ，供水范围依旧是八面城镇。一期供水工程的水泵更换为 2 台 ($Q=300 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=70 \text{ m}$, $P=132 \text{ kW}$)，与水泵 2 台 ($Q=450 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=70 \text{ m}$, $P=160 \text{ kW}$) 并联运行，两组水泵，每组都是两用一备，变频。

输水管道静态水力分析

调速范围

中法加压站引入八面城的二期供水工程设计供水能力为 $3.5 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$ ，管材为 DN600~DN700 球墨铸铁管，首部

与中法加压站泵站出口相连，尾部与昌图八面城引配水厂清水池相连。总长约 51 km。输水管道上共设置了近 50 个排气阀。全

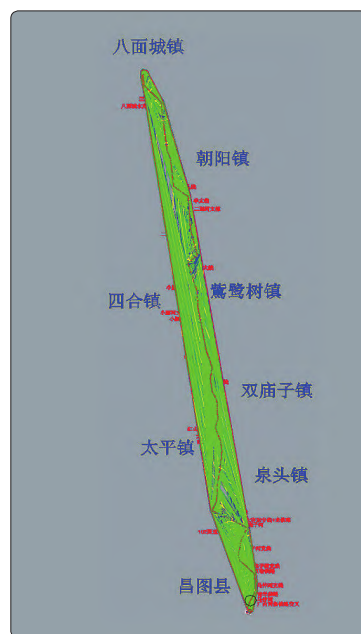


图 1 供水工程管道路线图

本文作者朱轶菲供职于上海连成(集团)大连化工泵制造有限公司，徐秀生沈工泵(沈阳)集团有限公司。

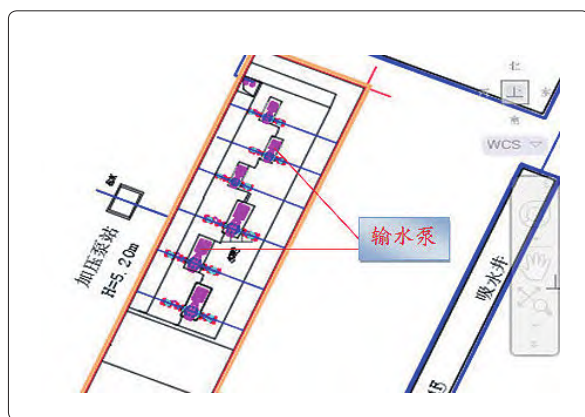


图2 加压站内水泵布置图



图3 高效节能型中开式双吸泵

线采用球墨铸铁管，管道内径为DN600~DN700 mm。管道公称压力为大于1.0 MPa，试验压力为工作压力加0.5 MPa即 $P+0.5\text{MPa}$ 。

根据计算在水库水位为最低水位时，考虑泵站损失和出水自由水头，扬程在70 m左右。静态计算所得的管线特性（考虑制高点影响）及调速水泵不同转速的特性。同一台泵，当叶轮直径不变时，其性能可按以下公式换算。

$$Q_1/Q_2=n_1/n_2 \quad \cdots\cdots (1)$$

$$H_1/H_2=(n_1/n_2)^2 \quad \cdots\cdots (2)$$

$$Pa_1/Pa_2=(n_1/n_2)^3 \quad \cdots\cdots (3)$$

按 $Q_1/Q_2=n_1/n_2$ ， $H_1/H_2=(n_1/n_2)^2$ 计算。按设计流量水泵转速在95%可以满足要求。根据水力计算水泵扬程受制高点控制，工况点不能右移，在水位上升时可再调低水泵转速。调速范围控制在85%~95%。

水锤模拟工况预防采取的措施

输水泵站水击预防采取的措施是：每台泵出口设置DN700的液控缓闭止回蝶阀，在泵站出口总管上设置DN350水击预放阀，输水管道上设置排气阀。

水锤分析时按水库最低水位时的水力条件作为水锤分析

的初始条件，目前基本采用美国肯塔基大学DonJ.Wood和JamesE.Funk教授编制的“带控制水锤装置的管网的非稳定流计算机分析”软件及水锤和瞬态分析软件，设定几种情况进行。

管道系统中发生不正常情况时，如关闸、掉泵等，导致压力与流量迅速变化，产生压力波并发生传播，形成不稳定流。压力与流量间的变化关系与压力波传播方式有关，在此基础上建立计算机模拟的数学关系式，编制软件。

泵站水力过渡过程分析计算软件

泵站水锤计算采用水锤和瞬态分析软件。其软件的编制采用“波面方法”(WavePlanMethod)：泵站水力过渡过程分析计算需对

稳态工况和出口设置两阶段关闭阀门的有水锤防护措施两种工况分别计算。

计算结论

通过水锤和瞬态分析软件计算显示，2台小泵($Q=300\text{ m}^3/\text{h}$ ， $H=70\text{ m}$ ， $P=132\text{ kW}$)与2台大泵($Q=450\text{ m}^3/\text{h}$ ， $H=70\text{ m}$ ， $P=160\text{ kW}$)并联同时运行时，总输水量稳态计算结果为 $Q_h=1\,623.6\text{ m}^3/\text{h}$ ，每天总输水量 $Q_d=38\,966.4\text{ m}^3/\text{d}$ 。

水锤防护措施主要是水泵出口设置两阶段关闭控制阀及压力管道上布置补排气阀。经过对泵站进行水力过渡过程仿真计算，结果表明，水泵最高反转速度不超过额定转速的1.2倍，超过额定转速的持续时间不超过2 min；系统最高压力不超过水泵出口额定压力的1.3~1.5倍；输水系统任何部位没有出现水柱断裂，满足相关规范要求。泵站采取的水锤防护措施基本可行，计算过程如下。

稳态运行工况

1.4台水泵同时运行时，稳态的压力线，如图4所示。

2.4台水泵同时运行时，稳态的水力坡度线：如图5所示，水力坡度线可以显示水泵出口控制阀两阶段关闭运行工况。

3.4台水泵同时运行时，突然停泵两阶段关闭阀门的压力线：泵站四台机组运行时，事故使全部机组停机，阀门关闭规律采用两阶段线性关闭，其中0~5 s关80%，5~45 s全关。经计算，管线最大压力为85 m，出现在管线15 km处，管线未出现水柱断裂和汽化现象。

4.4台水泵同时运行时，突然停泵两阶段关闭阀门水力坡度线，

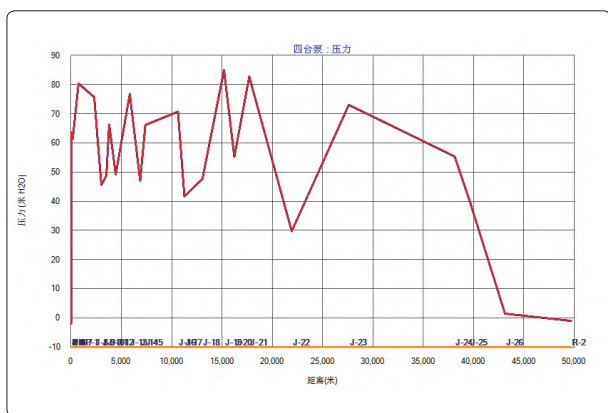


图 4 4 台水泵同时运行时，稳态的压力线

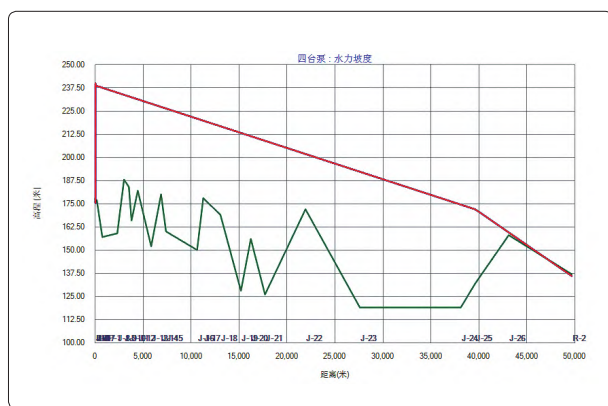


图 5 4 台水泵同时运行时，稳态的水力坡度线

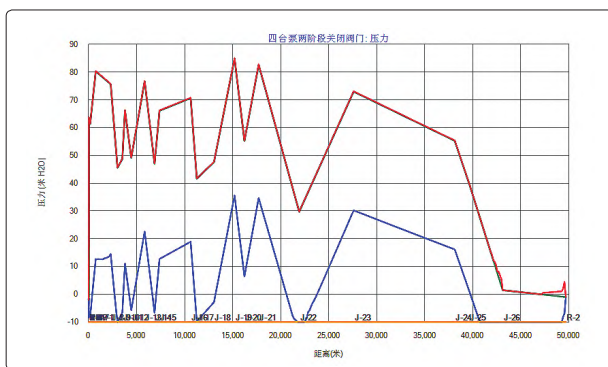


图 6 4 台水泵同时运行时，突然停泵两阶段关闭阀门的压力线

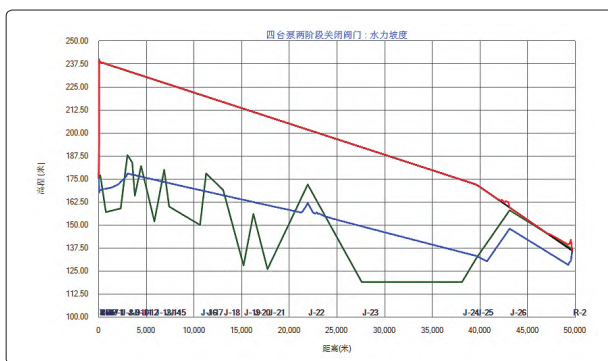


图 7 4 台水泵同时运行时，突然停泵两阶段关闭阀门水力坡度线

如图 7 所示。

结果分析

水锤防护措施主要是水泵出口设置两阶段关闭控制阀及压力管道上布置补排气阀。经对泵站进行水力过渡过程仿真计算，结果表明，水泵最高反转速度不超过额定转速的 1.2 倍，超过额定转速的持续时间不超过 2 min；系统最高压力不超过水泵出口额定压力的 1.3~1.5 倍；输水系统任何部位没有出现水柱断裂，发生水锤时管线基本没有负压，个别点有负压但很低，不致发生水柱拉断现象。管线正水锤压力一般均小于管线试验压力。满足相关规范要求。泵站采取的水锤防护措施基本可行。

最后，根据输水管道布置情况以及供水工程水锤采取的预防措施，对停泵水击和间接水击进行了分析，最后采取每台泵出口设置 DN700 液控止回蝶阀，可以通过预先时间设定，实现液控止回蝶阀缓闭，来消除水击。

另外，在泵站出口总管上设置 DN300 水击预放阀，来消除正压水击和负压水击，液控止回阀和水击预放阀共同作用来保护泵站免于水击的方案，在输水管道上设置排气阀以消除停泵水击和断流水击，使管线正水锤压力均小于管线试验压力。

结论

昌图二期供水工程应用案例证明，水泵最高反转速度要不超过额定转速的 1.2 倍，超过额定转速的持续时间不超过 2 min；系统最高压力不超过水泵出口额定压力的 1.3~1.5 倍；输水系统任何部位没有出现水柱断裂，发生水锤时管线基本没有负压，个别点有但是负压很低，不致发生水柱拉断现象。管线正水锤压力一般均小于管线试验压力，泵站及管线水锤压力控制在允许范围内，工程所采取的水锤预防措施效果良好。

通过对管线模拟工况仿真分析与水力过渡过程仿真计算以及水锤预防等有效措施，能够为同类供水工程提供一定的借鉴与参考。