

# 深筒式消力井水力特性试验研究

刘焕芳, 苏 萍, 李 强

(石河子大学水利建筑工程学院, 新疆 石河子 832003)

摘要: 结合一个深筒式消力井工程的水力学模型试验, 说明在高水头、小流量条件下, 当水流从管道水流转换为明渠水流时, 深筒式消力井是一种合理、可行的消能措施。深筒式消力井能承受输水管道很高的水头, 与消力井进水管上安装有控制阀门密切相关。结合理论分析说明, 输水管道的压力水头大部分耗散或损失在阀门处, 阀门是消力井工程的关键部位, 其开度应随压力水头的变化而变化; 试验表明消力井出水管出口处的流速呈外弯大、内弯小的流速分布。

关键词: 深筒式消力井; 阀门; 流速分布; 水力特性; 试验研究

中图分类号: TV 135.2 文献标识码: A 文章编号: 1001-6791(2002)05-639-04

我国是一个水资源相对贫乏且时空分布极不均衡的国家, 为了满足国民经济的发展和生态环境建设的需要, 近年来修建了一些跨流域、远距离调水工程。新疆大部分地区属于干旱荒漠地区, 水资源供需矛盾突出, 为了缓解矛盾, 正在修建引额(额尔齐斯河)济克(克拉玛依)工程。在这种跨流域、远距离的调(输)水工程中, 沿线修建了一些水库、输水干渠和输水干管。克拉玛依“林纸一体化”项目林业基地位于克拉玛依 1.33 万  $\text{hm}^2$  生态农业综合开发区内, 水利建设工程是“林纸一体化”项目林业基地开发建设的配套工程, 其任务是从输水干管上设分管或支管给支渠供水, 水流从支渠输送到林业基地保证灌溉用水。由于输水管道压力变化范围大, 总水头高, 因此管道水流转换为明渠水流时需设计相应的消能设施。目前水利工程常采用的消能方式可分为两大类: 一类属基本消能(方式)范畴, 如底流、挑流、面流及戽流消能; 另一类为特种消能方式, 如冲击、喷射或深井消能等。深筒式消力井适用于输(放)水管道出口, 高水头、小流量<sup>[1]</sup>和用射流在消力井内对井底的冲击和水流扩散消能。深筒式消力井中水流现象复杂, 使用不很普遍, 其规律仍有待探索。本文结合笔者开展的准噶尔生态公司林纸一体化引水工程消力井水力学模型试验, 对深筒式消力井的水力特性进行了试验研究。

## 1 工程特性

消力井工程由进水管、阀门井、钢制三通、出水管、消力井和支渠组成。水流经  $D_g = 800 \text{ mm}$  进水管上的蝶阀分水后, 用钢制三通和弯头将水分成两部分, 再由两个  $D_g = 600 \text{ mm}$  的出水管进入消力井。消力井的结构形式为矩形深筒式钢筋混凝土结构, 墙厚 30~40 cm, 底板厚 50 cm, 前池底板上铺 30 cm 厚条石, 混凝土采用 C25。消力井宽 5.69 m, 长 6.38 m,

收稿日期: 2001-07-09; 修订日期: 2001-08-29

作者简介: 刘焕芳(1965-), 男, 新疆石河子人, 石河子大学水利建筑工程学院教授, 主要从事水力学和河流泥沙运动力学等研究。

井深 6.5 m, 中间隔板高 5.0 m。

水流在消力井中消能后进入支渠。支渠为装配式 U 形断面渠道, 设计流量为  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ , 设计流速为  $0.72 \text{ m/s}$ , 设计水深  $h = 0.99 \text{ m}$ , 纵坡  $i = 0.00033$ , 糙率  $n = 0.015$ , 底宽  $b = 0.3 \text{ m}$ , 圆半径  $R = 0.6 \text{ m}$ , 倾角  $1.4$  度, 渠深为  $1.3 \text{ m}$ ; 加大流量为  $1.31 \text{ m}^3/\text{s}$ , 加大水深为  $1.17 \text{ m}$ 。

## 2 消力井水工模型试验

### 2.1 试验目的

分析闸阀前各种压力水头工况下, 消力井内闸阀控制流量  $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$  时的水流流态及消能效果; 实测管道出口流速, 以便了解井内水流对井底和井壁的冲刷情况, 验证满足压力水头时消力井后明渠的引水能力能否达到设计要求, 寻求更为合理可行的消能方案。

### 2.2 模型设计

根据试验任务及工程性质, 结合实验室条件, 按重力相似准则(佛劳德模型律)设计正态整体定床模型。所采用的长度比尺为  $\lambda_L = 10$ , 相应流量比尺  $\lambda_Q = 316.23$ , 流速比尺  $\lambda_V = 3.1623$ , 压强比尺  $\lambda_p = 10$ , 糙率比尺  $\lambda_n = \lambda_V^{1/6} = 1.4678$ 。

### 2.3 模型制作

根据糙率要求, 模型中进水管、三通、弯头及出口管道用无缝钢管制作, 消力井用硬塑料板及有机玻璃制作, 支渠用镀锌铁皮制作。为了同时调节和控制流量和压力水头两个参数, 在进水管上安装一个闸阀和一个蝶阀。消力井模型剖面、平面布置见图 1。

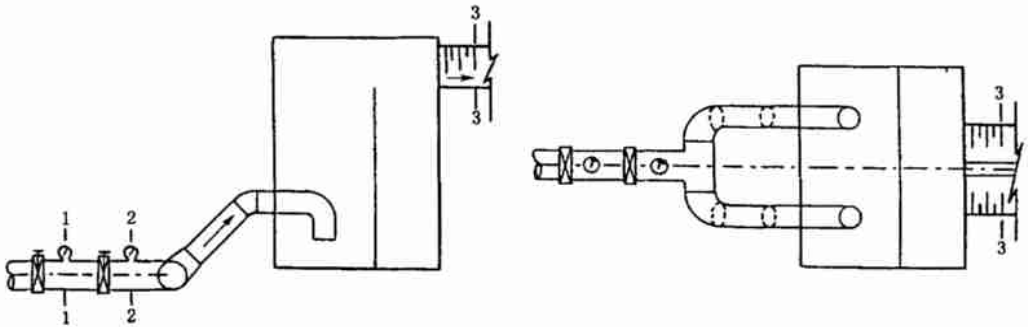


图 1 消力井模型剖面、平面布置示意

Fig. 1 Sectional drawing and plane arrangement sketch map of vertical stilling well model

### 2.4 测试项目及量测设备

流量用三角堰施测; 水位用精度  $0.1 \text{ mm}$  的测针施测; 压强用测压管和压力表施测; 流速用旋浆式流速仪和毕托管施测。

## 3 试验成果及分析

### 3.1 水流流态及消能效果试验

在蝶阀控制流量  $Q = 1.0 \text{ m}^3/\text{s}$  的情况下, 进行了蝶阀前(F-1 断面处)各种压力水头( $30 \text{ m}$ 、 $50 \text{ m}$ 、 $60 \text{ m}$  和  $70 \text{ m}$ ) 工况下, 消力井工程的水流流态及消能效果的检验性试验。在试验中采用目测法和浮标法观察水流形态发现, 消力井中水面有波动, 水流对称, 水面在入渠口微有跌落,

但进渠水流较平顺, 流态良好。对蝶阀前后(1-1断面和2-2断面)列能量方程, 可得蝶阀处的水头损失等于蝶阀前后断面的压力水头之差, 即

$$h_{w_{1-2}} = \xi_1 v^2 / 2g = p_1 / \gamma - p_2 / \gamma \quad (1)$$

式中  $\xi_1$  为蝶阀的局部水头损失系数, 它随蝶阀的开启角度而变化<sup>[2]</sup>。

2-2和3-3断面间的水头由三通、弯头、出水口及消力井内扩散水流的局部水头损失组成,

可表示为

$$h_{w_{2-3}} = \sum \xi \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

当工程尺寸及布置确定之后, 2-2断面及3-3断面之间的局部水头损失系数之和  $\sum \xi$  应为定值。这样当流量不变时, 流速不变,  $h_{w_{2-3}}$  也保持不变。消力井工程的总水头损失, 即1-1断面和3-3断面之间的水头损失为

$$h_w = h_{w_{1-2}} + h_{w_{2-3}} \quad (3)$$

对2-2断面和3-3断面间能量方程, 可推得2-2断面的压力水头为

$$\frac{p_2}{\gamma} = (z_3 - z_2) + h + \frac{v_3^2 - v^2}{2g} + h_{w_{2-3}} \quad (4)$$

式中  $z_2$  为2-2断面中心点高程;  $z_3$  为3-3断面渠底高程;  $h$  为3-3断面水深;  $v_3$  为3-3断面平均流速;  $v$  为2-2断面平均流速;  $g$  为重力加速度;  $\gamma$  为水的容重;  $p_2$  为压强。

由于当工程布置确定且流量不变时, 式(4)右边各项值均可确定, 因此2-2断面的压力水头也应为一定值。

实验表明, 当流量  $Q = 1.0 \text{ m}^3/\text{s}$  时, 虽然蝶阀前压力水头不同, 但蝶阀后(2-2断面处)压力水头均为7.0 m左右。  $h_{w_{2-3}}$  基本保持不变, 与蝶阀前的压力水头值基本不相关, 这与理论分析结果一致。说明压力水头大部分耗散或损失在蝶阀处, 蝶阀前压力水头越高, 则通过  $Q = 1.0 \text{ m}^3/\text{s}$  流量所需的蝶阀开度就越小, 蝶阀所产生的局部水头损失就越大, 其在总能量损失中所占的比例就越高。上述分析表明, 消力井工程的关键部位是蝶阀, 蝶阀的质量及其开启运行管理直接关系到消力井工程的消能效果和工程能否安全运行。工程实际运行时, 蝶阀的开度应随蝶阀前压力水头的变化而变化, 压力水头越高, 蝶阀开度越小。此型消力井能承受很大的水头, 与在管道上安装各种阀门控制流量及利用阀门耗散大量能量密切相关。

### 3.2 管道出口流速分布

为了了解消力井内水流对井底和井壁的冲刷情况, 实验中采用小毕托管和直读式多功能测速仪 CSY 量测了出水管管道出口的流速分布。量测结果表明, 各种工况下管道出口的流速均呈现弯头外侧流速大, 弯头内侧流速小的分布情况。出现这种情况的原因是三通分水后的输水管道上有三个弯头, 弯头处流线成曲线运动, 产生离心力, 类似河湾水流<sup>[3]</sup>, 使水流向外侧集中, 导致了弯管出口外侧流速大, 内侧流速小的分布。

当  $Q = 1.0 \text{ m}^3/\text{s}$  时, 不同压力水头工况下的流速分布基本相同, 实测外侧最大流速  $v_{\max} = 2.55 \text{ m/s}$ , 内侧最小流速  $v_{\min} = 0.82 \text{ m/s}$ , 平均流速  $\bar{v} = 1.74 \sim 1.81 \text{ m/s}$ ; 在压力水头为70 m, 加大流量  $Q = 1.31 \text{ m}^3/\text{s}$  工况下, 实测外侧最大流速  $v_{\max} = 3.50 \text{ m/s}$ , 内侧最小流速  $v_{\min} = 1.44 \text{ m/s}$ , 平均流速  $\bar{v} = 2.33 \text{ m/s}$ , 测量误差均小于3%。由此可知, 管道出口的最大流速接近块石衬砌的不冲刷流速, 消力井池底应根据管道出口最大流速设计与施工, 确保池底不被冲刷。

### 3.3 引水能力

为了检验消力井在进水管蝶阀前压力水头最小条件下的过流能力。试验表明, 当蝶阀前压

力水头达到最小值 13 m 时, 蝶阀全开条件下的过流能力为  $1.01 \text{ m}^3/\text{s}$ , 达到设计要求。其它压力水头(30 m、50 m、60 m、70 m)条件下, 蝶阀的过流能力均远大于  $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ , 但因支渠的设计流量是  $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ , 因此实际运行时需控制蝶阀的开度保持流量为  $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ , 确保支渠安全运行。

## 4 结论和建议

- (1) 在输水管道压力水头变化范围较大、流量较小的条件下, 管道水流转换为明渠流时, 消力井内水流对称, 流态良好, 入渠水流平顺, 深筒式消力井是可满足工程要求的消能措施。
- (2) 在不同压力水头条件下管道出口流速均呈现外弯大、内弯小的分布情况, 消力池底应根据出现的最大流速进行设计。
- (3) 在蝶阀前压力水头最小时, 消力井工程的过水能力可满足设计要求。
- (4) 消力井工程的关键部位是阀门, 蝶阀的质量及其开启运行管理直接关系到消力井工程的消能效果和工程能否安全运行。深筒式消力井之所以能在小流量条件下承受较高的水头, 与在进水管上安装有控制阀门密切相关。
- (5) 在消力井工程的运行调度中应根据蝶阀前压力水头确定相应的蝶阀开度, 禁忌蝶阀一次开启到位或全开, 以防过大的流量引起消力井内的不良流态及引起支渠水流超过加大流量而造成水流漫溢导致工程失事。

### 参考文献:

- [1] 郭子中. 消能防冲原理与水力设计[M]. 北京: 科学出版社, 1982. 405– 408.
- [2] 吴持恭. 水力学(上册)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1996. 94– 187.
- [3] 刘焕芳. 弯道纵向垂线平均流速的分布[J]. 泥沙研究, 1992, (4): 24– 33.

## Experimental research on hydraulics characteristics of energy dissipation in vertical stilling well

LIU Huar fang, SU Ping, LI Qiang

(Shihezi University, Shihezi 832003, China)

**Abstract:** A hydraulic model experiment about the project of energy dissipation with vertical stilling well indicated that the vertical stilling well is a reasonable and feasible measure when the flow changes from the conduit to the open flow under the high head and small discharge conditions. The vertical stilling well can bear much high head of the conveyer conduit, which is relative to the control valve installed on the import conduit. The analysis of theory indicated that the greater part of the pressure head of conveyer conduit is consumed on the valve. The valve is a key place on the project of energy dissipation well. The opening of valve should adapt to the pressure head. The velocity distributions in the expert conduit of energy dissipation well are large on the external curve, and are small on the internal curve.

**Key words:** vertical energy dissipation with stilling well; valve; velocity distribution; hydraulic characteristic; experimental research