

输水管道装置增压泵的节能分析

杨建国 把多铎 杨彦勤

(西北农业大学水利与建筑工程学院, 陕西杨凌 712100)

摘 要 在输水管道均匀分流和沿管长水力坡降不变的情况下, 对一级集中供水泵站、中间加设加压泵站及管道增压泵三种方案的能耗进行了分析。结果表明, 采用管道增压泵节能效果最好, 并确定了加压泵站及管道增压泵的最佳位置计算式。

关键词 输水管道, 增压泵, 均匀分流, 节能

分类号 S275.1

目前管道灌溉常用的有一站集中供水和分级设置加压泵站供水两种方式。前者将灌区供水集中一处, 虽利于管理、操作, 但对于输水管道较长的灌区不仅会造成高能耗, 而且灌区上游部分管道承受的压力过大, 管道基建投资及泵站运行费用增大。中继加压泵站由于设有调蓄水池分散了管道压力水头, 但增加了土建投资和设备投资, 从能量损耗和工程投资方面分析也是不利的^[1]。目前开发生产的管道增压泵, 和同容量其他泵相比, 其结构简单、造价低廉。将其直接串联于管道中, 既可节约部分工程投资, 也可减少能量消耗。本文从能量消耗角度, 分析主干管道等水力坡降且均匀分流采用一级集中供水泵站、中间加设加压泵站及管道增压泵三种情况下的能量消耗值, 确定出能量消耗最省的中继加压泵站及管道增压泵的最佳位置计算式, 为干旱缺水地区进行节水节能灌溉选择合理的加压方案提供依据。

1 管道模型拟定

一般情况下灌区的各支干管控制面积和作物种植比例相接近, 可认为干管向支管分流接近均匀。因此, 本文假定干管均匀分流, 单位长度分流量为 q , 管道末端流量为零, 管道分流的最小压力水头要求为 h , 地面坡度为等坡度 i 。

假定干管流速恒定, 管径随流量的减少而减小, 如果忽略局部阻力, 则干管水力坡降 j 沿管长不变, 这种情况在长管道输入灌溉系统中是较常见的^[1]。

2 耗能分析与比较

2.1 管道损失

管道损失包括沿程阻力损失和局部阻力损失, 对于输水管道较长的灌区来说, 局部阻力损失相对较小可忽略不计, 而且本文所拟定的管道模型其局部阻力损失正好在各支管进口处, 可将其值分配于管道分流压力水头 h 之内, 因此干管仅考虑沿程阻力损失, 其

收稿日期 1998-02-12

课题来源 陕西省水利厅节水灌溉课题资助项目

作者简介 杨建国, 男, 1963年生, 讲师

单位长度的阻力损失为 j .

2.2 耗能分析

① 采用一级集中供水泵站时压力水头线

如图 1 所示,其流量和扬程分别为

$$\begin{cases} Q = ql \\ H = h + (i + j)l \end{cases}$$

由文献 [2, 3] 可得消耗的功率为

$$N_1 = \frac{VQH}{Z} = \frac{Vql}{Z} [h + (i + j)l] \quad (1)$$

式中, Z ——机组效率; V ——水的容重

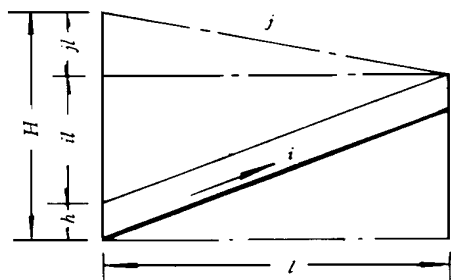


图 1 等水力坡降一级集中供水压力水头示意图

② 对于采用加压泵站,由于设置调蓄水池存在水池进出口水力损失,假定该处压力

水头 h 等于水池进出口损失,其压力水头线如图 2 所示,故两级站的流量和扬程分别为

$$\begin{cases} Q = ql \\ H = h + (i + j)x \end{cases} \quad \begin{cases} Q_1 = q(l - x) \\ H_1 = h + (i + j)(l - x) \end{cases}$$

式中, I, II —— 第一、二级泵站; x —— 二级加压泵站所处位置。

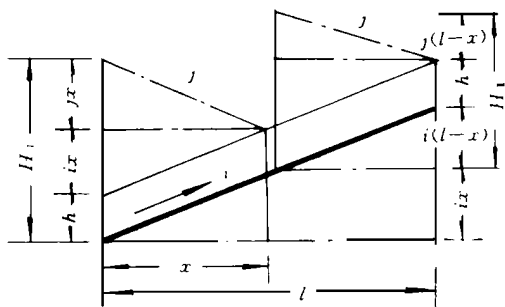


图 2 等水力坡降加压泵站压力水头示意图

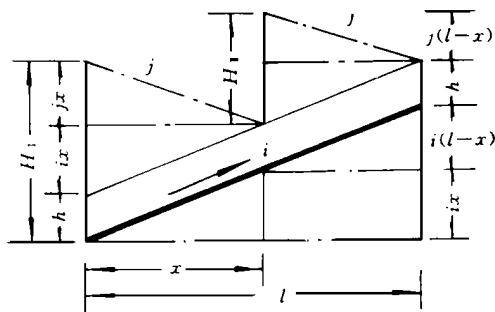


图 3 等水力坡降管道增压泵压力水头示意图

当两级泵站的机组效率相等时,其总功率为

$$N_2 = \frac{V}{Z} (Q H_1 + Q_1 H_2) = \frac{Vq}{Z} \{ 2hl + (i + j)l^2 - [h + (i + j)l]x + (i + j)x^2 \} \quad (2)$$

由 (1) 式和 (2) 式可得一级集中供水泵站与加压泵站的功率差为

$$\Delta N_2 = N_1 - N_2 = \frac{Vq}{Z} \{ hl + [h + (i + j)l]x - (i + j)x^2 \} \quad (3)$$

令

$$d\Delta N_2 / dx = 0$$

可得

$$h + (i + j)l - 2(i + j)x = 0$$

整理可得能耗最省的加压泵站位置为

$$x = \frac{l}{2} + \frac{h}{2(i + j)} \quad (4)$$

此外,因 $0 < x < l$, 代入 (4) 式可得加压泵站的位置确定只有下式成立才有意义,

$$\text{即} \quad -l < \frac{h}{i+j} < l \quad (5)$$

将 (4) 式代入 (3) 式并整理可得 ΔN_2 的极大值为

$$\Delta N_{2\max} = \frac{Vq}{4Z(i+j)} [h - (i+j)l]^2 \quad (6)$$

由 (6) 式可以看出只要 $h - (i+j)l \neq 0$, 则对于分级供水 $\Delta N_{2\max}$ 恒大于零。

③ 采用管道增压泵时由于充分利用了上一级站的剩余水头, 其压力水头线如图 3 所示, 两级泵的流量和扬程分别为

$$\begin{cases} Q = ql \\ H_I = h + (i+j)x \end{cases} \quad \begin{cases} Q_I = q(l-x) \\ H_{II} = (i+j)(l-x) \end{cases}$$

相应的总功率为

$$\begin{aligned} N_3 &= \frac{V}{Z} (Q_I H_I + Q_{II} H_{II}) = \\ &= \frac{Vq}{Z} [hl + (i+j)l^2 - (i+j)lx + (i+j)x^2] \end{aligned} \quad (7)$$

由 (1) 式和 (7) 式可得一级集中供水泵站与管道增压泵的功率差为

$$\Delta N_3 = \frac{Vq}{Z} [(i+j)lx - (i+j)x^2] \quad (8)$$

由 $d\Delta N_3 / dx = 0$

$$\text{得} \quad x = l/2 \quad (9)$$

即管道增压泵最佳位置为干管中央, 此时同一级集中供水泵站相比, 最大节能值为

$$\Delta N_{3\max} = \frac{Vq}{Z} \cdot \frac{(i+j)l^2}{4} \quad (10)$$

由 (10) 式可以看出 $j > -i$ 时, $\Delta N_{3\max}$ 恒大于零, 即恒节能, 也就是说对于提水灌溉装置管道增压泵恒节能

若管道分流压力水头要求为零时, 即 $h = 0$, 由 (1) 式

$$\text{可得} \quad N_1 = \frac{Vq}{Z} (i+j)l^2 \quad (11)$$

由 (10) 式及 (11) 式可得该条件下的节能率为

$$\frac{\Delta N_{3\max}}{N_1} \times 100\% = 25\% \quad (12)$$

若将加压泵站和管道增压泵均设置于同一位置即 x 处, 由 (2) 式和 (7) 式可求得两者之间的关系为

$$N_2 = N_3 + Vqh(l-x)/Z \quad (13)$$

即加压泵站和管道增压泵均置于干管 x 处时, 后者与前者相比恒节能 $(V/Z)(l-x)qh$ 。

另若将加压泵站和管道增压泵均设置于节能最佳位置, 则由 (6) 式及 (10) 式可得二者之间的关系为

$$\Delta N_{3\max} = \Delta N_{2\max} + \frac{Vq}{Z} \left[\frac{lh}{2} - \frac{h^2}{4(i+j)} \right]$$

由 (5) 式可知 $h/(i+j) < l$, 代入上式并整理,

可得
$$\Delta N_{3\min} > \Delta N_{2\max} + V_{qhl}/4Z \quad (14)$$

由 (14) 式可以看出管道增压泵比加压泵站节能, 其节能值至少为 $V_{qhl}/4Z$

此外, 由 (6) 式和 (10) 式可知, 若分流压力 $h=0$ 时,

则
$$\Delta N_{2\max} = \Delta N_{3\max} = V(i+j)ql^2/4Z \quad (15)$$

即在主干管分流压力水头为零时, 加压泵站和管道增压泵节能效果相同。

3 结 论

1) 等水力坡降均匀分流情况下加压泵站节能最佳位置为 $x=l/2+h/2(i+j)$ 处, 同一级集中供水泵站相比最大节能值为 $V_q[h-(i+j)l]^2/4Z(i+j)$; 等水力坡降均匀分流情况下管道增压泵节能最佳位置为 $x=l/2$ 处, 同一级集中供水泵站相比最大节能值为 $V_q(i+j)l^2/4Z$; 若管道分流压力为零时, 则相对节能率为 25%。

2) 若将加压泵站和管道增压泵均设置于节能最佳位置, 管道增压泵同加压泵站相比管道增压泵至少节能 $V_{qhl}/4Z$, 若管道分流压力为零时, 加压泵站和管道增压泵节能效果相同, 均为 $V(i+j)ql^2/4Z$ 。

3) 本文仅对输水主干管中间加设一级增压泵的节能问题进行了分析, 对于超长输水、输油及输气管道中间加设多级增压泵的节能问题可作同样的分析, 只是更为复杂而已。

参 考 文 献

- 1 水利部农水司主编. 机电排灌节能节水技术. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 2 刘竹溪主编. 水泵及水泵站. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 3 栾鸿儒主编. 水泵及水泵站. 北京: 水利电力出版社, 1993

Analysis of Saving Energy for Installing Pressure Pump in Water Pipeline

Yang Jianguo Ba Duoduo Yang Yanqin

(College of water conservancy and architectural Engineering, Northwestern Agricultural University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract Under the conditions of uniform diversion and same gradient of head in the water pipeline, the energy use was analysed for 3 situations of centralized pump station, installing pump station and pressure pump in the pipeline. The results showed that the pressure pump was the most effective for energy saving. The formula was developed to determine optimal position of installing pump station and pressure pump in the pipeline.

Key words water pipeline, pressure pump, uniform diversion, energy-saving