

文章编号:1006-7329(2004)01-0089-04

## 城市水厂二泵站中水泵的选择\*

王 圃, 王 力, 文 屹

(重庆大学 城市建设与环境工程学院, 重庆 400045)

**摘要:**通过对城市水厂二泵站中定速泵、调速泵、定速泵与调速泵并联运行三种压力供水方式适用范围的分析,从节能的角度出发,根据工作水泵高效运行的原则,分别给出了水泵优化选择的方法,并通过具体实例进行了探讨。

**关键词:**水厂;二泵站;水泵;选择

**中图分类号:** TB493;TB495

**文献标识码:** A

### Pump Selection in the Secondary Pump Station of Water Works

WANG Pu, WANG Li, WEN Yi

(College of Urban Construction and Environmental Engineering, CU, Chongqing 400045, P.R. China)

**Abstract:** In this paper, the suitable conditions of using constant speed pumps, variable speed pumps or combination of both in the secondary pump station of water works are analyzed. Then, from the point view of energy saving and based on the principle of high efficiency operation, the method for selecting pumps in the secondary pump station of water works is provided. Eventually, the method is examined with examples.

**Keywords:** water works; secondary pump station; pump; selection

在城市给水系统中,水厂二泵站是最主要的耗电单元,据统计,水厂泵站的耗电占制水成本的40%~60%左右。因此,水厂二泵站运行状况直接影响整个自来水制水成本的高低。据调查,在现有许多运行的二泵站中,常常出现因水泵选型不合理而导致管网供水压力过低或过高,工作水泵长期处于高效段外运行等不良现象,从而造成了较大的能量浪费。所以如何正确合理地选择水厂二泵站中水泵的型号已成为设计者和研究人员普遍关心的问题。本文从节能的角度出发,根据工作水泵高效运行的原则,探讨了水厂二泵站采用不同压力供水方式的水泵选择方法,并通过具体实例进行了说明。

## 1 水泵的选择

在给水系统中,水厂二泵站的作用是将经水厂处理后的净水通过水泵加压输送到城市给水管网,满足用户对水压的需要。其供水方式一般有三种:(1)定速泵供水;(2)调速泵供水;(3)定速泵与调速泵联合供水。以下分别论述各种供水方式中水泵的选择方法。

### 1.1 定速泵供水方式中水泵的选择

在定速泵供水系统中,工作水泵的高效范围一般较小,并且随着水泵并联运行台数的增加而进一步减小,为满足水泵高效运行的原则,采用定速泵供水主要适用于城市用水量在各设定时段内变化较小或

\* 收稿日期:2003-06-15

基金项目:建设部2001年科技项目(2001-45)

作者简介:王 圃(1965-),男,重庆人,副教授,博士生,主要从事给水工程的优化和节能技术研究。

城市配水管网中已有水塔(或高位水池)等水量调节构筑物的供水系统。如按同一时间内工作水泵的台数划分,二泵站中水泵的组合方式可划分为两种:(1)单泵运行;(2)多台水泵并联运行。实际工程可通过具体的技术经济比较确定最优的水泵组合方式。在(1)组合方式中,水泵型号的选择通常较为简单,设计者可以以各设定时段内的设计工况点所对应的流量、扬程为依据,参照离心泵性能曲线型谱图来选择,并使水泵和电机处于高效段。在(2)组合方式中,由于水泵并联运行,所以选泵时必须遵循并联运行水泵的工作原则:并联水泵无论单独运行还是并联运行都必须处于高效段内运行。因此,为了做到既满足城市用水量变化的需要,又达到工作水泵高效运行的目的,在选择并联运行水泵时,应根据城市用水量实际变化的具体情况,除考虑选用相同型号的水泵外,还应考虑选用不同型号的水泵大小搭配。现基于水泵高效运行的原则来论述并联运行定速水泵优化选择的方法(设图1中城市供水量分三个时段变化,其中 $Q'_{A1}$ 、 $Q'_{A2}$ 和 $Q_A$ 分别为各设定时段内的最大城市用水量, $Q_{A0}$ 为最小城市用水量):

1) 首先通过管网平差计算,求解得出当二泵站供水量为时的水泵扬程;

2) 由 $Q'_{A1}$ 、 $H_{s1}$ 、 $H'_{A1}$ 和管道系统特性曲线方程 $H = H_{s1} + sQ^2$ ,求解得出管道系统摩阻系数 $s$ ;

3) 由 $Q'_{A2}$ 、 $Q_A$ 、 $s$ 与管道系统曲线方程 $H = H_{s1} + sQ^2$ ,分别求解得出当二泵站供水量为 $Q'_{A2}$ 、 $Q_A$ 时所对应的水泵扬程 $H'_{A2}$ 、 $H_A$ ;

4) 以 $Q'_{A1}$ 、 $H'_{A1}$ 和 $H(H_{A1} = H_A)$ 为依据,参照离心泵性能曲线型谱图选出水泵 $_1$ (假设其高效段区间为 $a \sim b$ 区间);

5) 如果以 $Q'_{A2}$ 和 $H'_{A2}$ 为依据,参照离心水泵性能曲线型谱图选出水泵 $_2$ (假设其高效段区间为 $c \sim d$ 区间),若能保证 $H_A$ 处在高效段内,则需判断:(I)当水泵 $_1$ 与水泵 $_2$ 并联运行且水泵扬程为 $H_A$ 时,二泵站的供水流量即 $Q_{A1}$ 与 $Q_{A2}$ 之和是否大于等于该时刻城市的用水量 $Q_A$ ;(II)停水泵 $_1$ 开水泵 $_2$ 时两水泵 $Q \sim H$ 曲线的高效段衔接是否平滑过度,即 $Q_C$ 是否小于等于 $Q'_{A1}$ ;(III)当二泵站供水流量在 $[Q'_{A2}, Q_A]$ 之间变化时,水泵 $_1$ 与水泵 $_2$ 是否均一直处于高效段内运行,即 $H_e$ 是否小于 $H_a$ 和 $H_c$ 。如果所选水泵 $_1$ 和 $_2$ 并联运行满足上述三个条件,则水泵 $_1$ 和 $_2$ 为所选优化水泵,从而保证了工作水泵在整个运行期间内的高效运行。水泵开启运行方式为:当城市用水量在 $[Q_{A0}, Q'_{A1}]$ 之间变化时,只需开启水泵 $_1$ 供水;当城市用水量在 $[Q'_{A1}, Q'_{A2}]$ 之间变化时,则关闭水泵 $_1$ ,开启水泵 $_2$ 供水;当城市用水量在 $[Q'_{A2}, Q_A]$ 之间变化时,则同时开启水泵 $_1$ 和 $_2$ 联合供水;如果所选水泵 $_1$ 与水泵 $_2$ 不满足上述三个条件,则需重新选择;

6) 如果以 $Q'_{A2}$ 和 $H'_{A2}$ 为依据,参照离心水泵性能曲线型谱图所选水泵 $_2$ 不能保证 $H_A$ 处于水泵的高效段内,则可通常采用泵组代替水泵 $_2$ 或者采用同型号水泵的方式供水。

## 1.2 调速泵供水方式中水泵的选择

随着水泵调速技术在泵站中的不断运用与发展,其越来越明显的节能效果已逐渐受到了供水企业与设计人员们的青睐,尤其是该供水方式被运用于城市用水量随时间变化量大、管网中又无水量调节构筑物、城市供水管线长的供水系统,其节能效果更为突出。

在调速泵供水系统中一般采用恒压供水(一天的不同时间段可设定不同的恒压值),其恒压点设定的位置通常有三种:管网末端(管网最不利点)、网前(水泵出口)、和管网中某一点。其中以管网最不利点为恒压点的节能效果最为明显。因此,本文从节能的角度出发,在选泵过程中将恒压设置点选在管网最不利点。选泵方法如下(为便于论述,这里只讨论在运行期间采用同一恒压值、同型号水泵供水系统

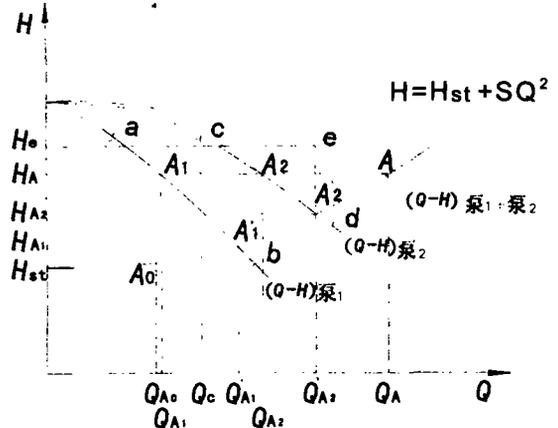


图1 定速泵并联运行工况示意图

中水泵的选择方法,设图 2 中  $Q_1$  和  $Q_2$  分别为最小和最大城市用水量,  $H_B$  为设计恒定水压:

首先通过管网平差计算,求解得出当城市用水量为  $Q_2$  时二泵站所需的水泵扬程即恒定水压  $H_B$ 。

在图 2 中,由于 A、C 两点位于同一等效率曲线上,由此可根据比例率得

$$\frac{H_c}{H_A} = \left(\frac{Q_c}{Q_A}\right)^2 \quad (1)$$

又因系统采用恒压供水,所以有  $H_c = H_B$ ,将其代入式(1)整理可得

$$Q_c = Q_A \sqrt{\frac{H_B}{H_A}} \quad (2)$$

从图 2 可知, C 点为调速水泵降速运行时特性曲线高效段的最左端,所对应的流量  $Q_c$  被称为调速泵的启动流量,因此有  $Q_c \leq Q_1$ ,将其代入式(2)整理可得

$$Q_A \leq \frac{Q_1}{\sqrt{H_B/H_A}} \quad (3)$$

从图 2 中还可看出,在恒压供水系统中单台调速水泵在高效段内所能输送的最大流量范围为  $[Q_c, Q_B]$ 。所以假设当城市用水量为  $Q_2$  时需  $n$  台同型号水泵并联供水,则二泵站所能输送的最大流量范围应为  $[(n-1)Q_B + Q_c, nQ_B]$ 。为了满足城市用水量的需要,则有

$$\begin{aligned} (n-1)Q_B + Q_c &\leq Q_2 \leq nQ_B \\ (n-1)Q_B + Q_1 &\leq Q_2 \leq nQ_B \quad (\text{当 } Q_c = Q_1 \text{ 时}) \\ \frac{Q_2}{n} &\leq Q_B \leq \frac{Q_2 - Q_1}{n-1} \end{aligned} \quad (4)$$

又因图 2 中  $Q_B > Q_A$ ,所以有

$$\begin{aligned} \frac{Q_2 - Q_1}{n-1} &> Q_A \\ \frac{Q_2 - Q_1}{n-1} &> \frac{Q_1}{\sqrt{H_B/H_A}} \\ \frac{Q_2 - Q_1}{Q_1} &> \frac{n-1}{\sqrt{H_B/H_A}} \end{aligned} \quad (5)$$

分析式(5)可知,由于  $Q_1$ 、 $Q_2$  和  $H_B$  均为已知,所以式(5)即表示了调速水泵常速运行时特效曲线高效段左端扬程  $H_A$  与并联运行水泵台数之间的函数关系,因而由此可确定调速泵的工作台数与水泵型号,并通过式(3)与式(4)来验证所选水泵是否满足工作水泵高效运行的原则。

从上面选泵方法的推导过程中可知,按上述方法所选水泵只能保证当城市用水量在  $[(n-1)Q_B + Q_c, nQ_B]$  之间变化时处于高效段内运行。因此,为了满足城市整个供水期间内的水泵高效运行,按上面方法选出的水泵还应判断是否满足  $2Q_c \leq Q_B$ ,如果满足,则有:当城市用水量在  $[Q_B, Q_B + Q_c]$  之间变化时,可同时开启两台调速泵来满足供水,并能保证在整个供水期间水泵均处于高效段内运行;否则就需另外选择水泵型号或者采用大小泵搭配使用。

### 1.3 定速泵与调速泵并联供水方式中水泵的选择

从上面两种压力供水方式的使用范围可知,采用定速泵与调速泵并联供水主要适用于城市用水量呈阶梯状变化、且在各设定时段内水量变化也较大和管网中没有水量调节构筑物的给水系统。与上面两种供水方式相比,该供水方式具有一些优点,如:定速泵代替调速泵一定程度上降低了设备费用,而调

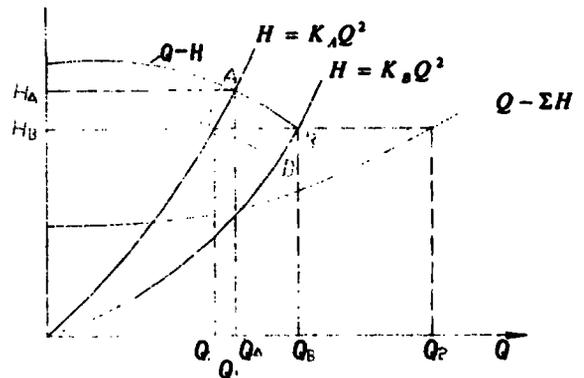


图 2 调速水泵运行工况示意图

注:①  $H = KQ^2$  表示水泵等效率曲线;② AB 区间为调速水泵常速运行的特性曲线高效段;CD 区间为调速水泵降速运行时的特性曲线高效段。

速水泵代替定速泵又节约了能量,并同时节省了管网中修建水量调节构筑物的投资,避免水的二次污染。该供水方式中的水泵选择方法如下:

在这种供水方式中,由于定速水泵一般都只起梯级调节水量的作用,所以其型号的确定可根据定速泵梯级调节流量的大小和城市需水压为依据来选择;

调速水泵的选择可参照调速泵供水方式中的水泵选择方法进行,只是图2中 $Q_2$ 的含义为城市最大用水量与定速水泵供水量之差。

## 2 选泵尚需考虑的其它因素

前面所论述的选泵方法都是以城市用水量和水压为主要依据来选择水泵的型号,但除此之外我们选泵时还需考虑其它附加因素,如:①尽量选用大功率水泵。大功率水泵运行效率高,工作台数少,便于管理,有利于节能;②应考虑管路系统特性曲线对水泵选择的影响。当管路系统特性曲线特征为用水量相对恒定,扬程变化较大时,为了降低扬程变化对供水量的影响,在效率相近的前提下,尽量选用 $Q \sim H$ 曲线较陡的水泵;相反,当管路系统特性曲线特征为扬程相对恒定,用水量变化较大时,在效率相近的前提下,一般应优先选用 $Q \sim H$ 曲线较平坦的水泵。在实际工程中,这些因素对于水泵的优化选择,提高二泵站的整体工作效率都起着非常重要的作用,因此不应忽略。

## 3 实例应用

四川省某市现有一供水规模为 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的水厂,根据自来水公司的统计数据可知,该城市用水量情况为:从夜间21点至早上6点城市用水量为 $920 \sim 1020 \text{ m}^3/\text{h}$ ,从早上6点至夜间21点城市用水量为 $1500 \sim 2250 \text{ m}^3/\text{h}$ 。水厂二泵站采用定速水泵供水,水泵型号为2台350S75B,1台300S58,1台300S58A。然而泵站在运行期间,却常常出现工作水泵运行效率低(通常只有45%~50%左右)和管网供水压力过高等不良现象,造成电耗较高。为此,在业主的委托下,笔者对该水厂二泵站中的水泵进行了优化设计。从该城市用水量情况可知,该城市的用水特征为时变化系数大,但不呈阶梯状变化,且管网中也没有水量调节构筑物,所以根据上述三种压力供水方式的使用范围,笔者设计中采用了调速泵供水的供水方式。经改造后其水泵型号为:3台300S58A(1台备用),并绘制了水泵 $Q \sim H$ 曲线和管路特性曲线,保证了工作水泵长时间均处于电机的高效段运行。水泵开启运行方式为:从夜间21点至早上6点,只开启1台水泵供水,从早上6点至夜间21点,则同时开启2台水泵并联运行。经过两年实际运行结果可知,工作水泵的运行效率一般都在75%~80%,每年节约电费约9.2万元,由于采用了同型号水泵,水泵的维修与管理更加方便。

## 4 结语

综上所述,在城市水厂二泵站水泵选择时,设计人员应首先根据城市用水量、水压实际变化的具体情况来确定压力供水的供水方式,并根据工作水泵高效运行的原则进行选择。同时在选泵过程中设计人员还应考虑其它附加因素对水泵选择的影响,选出既安全可靠,又节能的水泵。

## 参考文献:

- [1] 姜乃昌.水泵及水泵站[M].北京:中国建筑工业出版社,1993.
- [2] 秦正龙,梁燕波.泵串并联操作的节能[J].节能,1997,184(11):16-17.
- [3] 柯水洲.变频调速水泵几个问题的探讨[J].给水排水,2001,27(9):75-77.