

水泵并联运行工作点确定方法的研究^{*}

把多铎, 杨建国, 王立青

(西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 针对横加法确定水泵并联运行工作点的不足, 通过对并联系统各水泵装置的能量供需情况及其水力特性的分析, 推导出了利用能量方程确定水泵并联运行工作点的新方法。用此方法可直接确定系统各部分流量、扬程、水位及水头损失之间的关系。

[关键词] 水泵; 并联运行; 工作点确定

[中图分类号] TV136⁺.2

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2004)12-0121-03

我国已建和在建的大多数灌溉及供水泵站, 因其流量大且随时间的变幅较大, 通常安装的水泵台数较多。若泵站扬程较高或出水管道较长时, 为了节省工程投资, 大多采用并联运行的工作方式, 即两台或两台以上的水泵共用一根出水管道的运行方式。

对于水泵并联运行时工作点的确定, 多应用叠加原理(横加法)求解^[1~6], 该方法具有直观、简便的优点, 多年来一直被沿袭使用。但用横加法确定水泵并联运行工作点时, 也存在以下不足: ①对并联情况下水泵装置的需要扬程概念未能充分说明, 易

于形成对方法的误解; ②在理论依据方面阐述不够, 难免使人产生疑惑; ③未全面反映并联系统的特性, 求解时容易与其他形式的复杂装置(如水泵向分支管道供水)相混淆。为了弥补上述不足, 本研究对水泵并联运行工作点的确定方法进行了分析, 以期寻求理论严谨、概念准确、依据可靠的新方法。

1 水泵并联装置的需要扬程及其特点

如图 1 所示的水泵并联装置, 由 2 个水流能量供需系统(分别为 ACD 和 BCD , 包括各自的水泵和上下水池)和 3 段管道(AC , BC 和 CD)所组成。

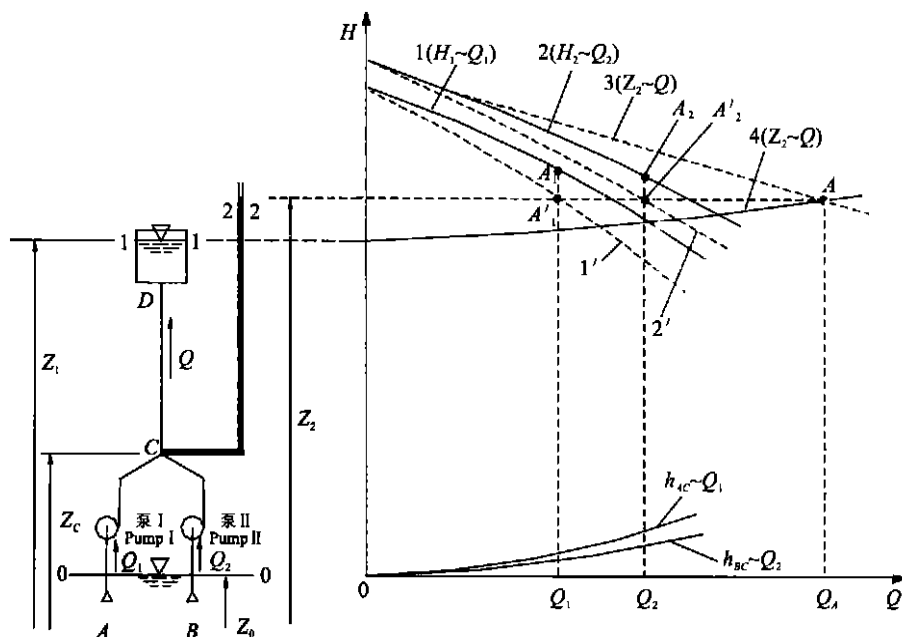


图 1 两台水泵并联运行的工作点

Fig. 1 Operating point of two pumps in parallel

[收稿日期] 2004-06-23

[作者简介] 把多铎(1956-), 男, 甘肃永登人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事水利水电工程研究。

根据水泵装置需要扬程的定义,即将单位重量的水从下水面沿进、出水管提升至上水面所需要的能量,可分别列出泵 I 和泵 II 所在装置的需要扬程 $H_{需1}$, $H_{需2}$ 的计算公式:

$$H_{需1} = H_{净} + h_{AC} + h_{CD} = H_{净} + S_{AC}Q_1^2 + S_{CD}Q^2 \quad (1)$$

$$H_{需2} = H_{净} + h_{BC} + h_{CD} = H_{净} + S_{BC}Q_2^2 + S_{CD}Q^2 \quad (2)$$

式中, $H_{净}$ 为装置净扬程 ($H_{净} = Z_1 - Z_0$), m; h_{AC} , h_{BC} , h_{CD} 分别为相应管段的水头损失, m; S_{AC} , S_{BC} , S_{CD} 分别为相应管段的综合阻力参数, s^2/m^5 ; Q_1 , Q_2 , Q 分别为相应管段的流量, m^3/s 。

由式(1)、(2)可以看出,在一般情况下,并联时各自的需要扬程是不一样的,除非是同型号水泵并联且管道对称布置(这在实际泵站中很少有,尤其是在并联合数较多的情况下,管道大多为非对称布置),即管段 AC 的水头损失 h_{AC} 与管段 BC 的水头损失 h_{BC} 相等,才会有 $H_{需1} = H_{需2}$ 。

因此,对于并联运行的各水泵装置,首先应排除各自需要扬程必然相等的错误概念。根据工作点确定原理,在工作点处 $H_1 = H_{需1}$, $H_2 = H_{需2}$, 所以并联时各水泵的工作扬程不一定相等。进一步分析可知,管段 AC 的水头损失是流经泵 I 流量 Q_1 时的水力特性,管段 BC 的水头损失是流经泵 II 流量 Q_2 时的水力特性,且作为一般情况, $Q_1 \neq Q_2$ 。同样,管段 CD 的水头损失是流经总流量 $Q = Q_1 + Q_2$ 时的水力特性。运行时各段管道的水头损失在同一时刻发生,但各管段在同一时刻的流量不等。因此,并联装置不能用一条曲线来表达全管长的水头损失与流量的关系,需分段进行分析和处理。

2 并联装置各管段水流能量方程的建立及求解

对图 1 所示的水泵并联装置,如果在其并结点 C 处装一测压管,由于 C 点的压强水头大于从 C 点到上水位 Z_1 的水柱高度,所以测压管水位必然上升至某一高度 Z_2 。

当两台泵在并联系统中的工作扬程分别为 H_1 和 H_2 时,依据能量平衡原理^[7],可分别列出泵 I 和泵 II 所在装置的上、下水面之间的能量方程:

$$Z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{V_0^2}{2g} + H_1 = Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_{AC} + h_{CD} \quad (3)$$

$$Z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{V_0^2}{2g} + H_2 = Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_{BC} + h_{CD} \quad (4)$$

在以上两式中, V_1 和 V_0 分别为上、下水面的行近流速,可忽略不计; p_1 和 p_0 分别为上、下水面的大气压强,在高差不是很大的情况下,可认为近似相等,即 $p_1 = p_0$ 。

另外,测压管水位与上水面之间的高差 $Z_2 - Z_1$ 应为水流流经管段 CD 时的水头损失 h_{CD} , 即:

$$Z_2 - Z_1 = h_{CD} \quad (5)$$

将式(5)代入式(3)和式(4)可得:

$$Z_2 = Z_0 + H_1 - h_{AC} = Z_0 + H_1 - S_{AC}Q_1^2 \quad (6)$$

$$Z_2 = Z_0 + H_2 - h_{BC} = Z_0 + H_2 - S_{BC}Q_2^2 \quad (7)$$

在以下水面 Z_0 为水泵零扬程起点的 $H \sim Q$ 坐标系中,式(6)、(7)中的 $Z_0 + H_1$ 和 $Z_0 + H_2$ 分别为泵 I 和泵 II 的扬程特性曲线,如图 1 中的曲线 1 和 2。 S_{AC} 和 S_{BC} 在确定的管道情况下均为常数,据此,可表示出管段 AC 和 BC 的水头损失与流量的关系曲线,如图 1 中的曲线 $h_{AC} \sim Q_1$ 和 $h_{BC} \sim Q_2$ 。从曲线 1 和 2 中分别减去同流量下的 h_{AC} 和 h_{BC} , 可得曲线 1 和 2', 分别表示测压管水位与 Q_1 和 Q_2 的关系。

由于测压管水位为各管段所共有,且在水泵稳定运行时保持不变,因此,可根据 $Q = Q_1 + Q_2$ 的关系,将曲线 1 和 2 在同水位下的横坐标值相加,所得便是测压管水位 Z_2 与流量 Q 的关系曲线,如图 1 中的曲线 3。

另一方面,由式(5)可得:

$$Z_2 = Z_1 + h_{CD} = Z_1 + S_{CD}Q^2 \quad (8)$$

根据式(8)又可作出另一条 Z_2 与 Q 的关系曲线,该曲线恰是以上水面 Z_1 为起点的管段 CD 的水头损失曲线,如图 1 中的曲线 4。对于同一个流量 Q 只能有一个 Z_2 与其对应,故测压管水位 Z_2 应由曲线 3 和 4 的交点 A 所确定。该点流量 Q_A 便是管段 CD 之流量,也就是泵 I 和泵 II 的流量之和。

在测压管水位已知的情况下,便可由曲线 1 和 2 求得 Q_1 和 Q_2 。自 A 点向 H 轴引水平线,与曲线 1 交于 A_1' 点,与曲线 2 交于 A_2' 点,该两点的流量便分别为泵 I 和泵 II 的流量。然后分别由 A_1' 和 A_2' 向上引垂线交曲线 1 和 2 于 A_1 和 A_2 点,则得泵 I 和泵 II 在该并联系统中的工作点扬程 H_1 和 H_2 。

3 结论与讨论

(1) 对水泵并联运行时的工作点,可应用能量方程进行分析和求解,概念清晰,理论依据充分,有利于理解和掌握。

(2) 在能量方程中直接明确了系统各部分流量、扬程、水位及水头损失之间的关系,有利于全面反映

并联系统的特性和横加法原理,可避免不必要的误解和疑惑。

(3) 以上虽以两台泵为例进行了讨论,但其理念和方法具有普遍意义,可以推广至多台泵(无论是同型号或不同型号)并联工作点的求解。对于一台泵向分支管道供水的情况,也可应用该方法进行分析 and 求解。

[参考文献]

- [1] 武汉水利电力学院. 水泵及水泵站[M]. 北京:水利出版社,1981. 46 - 48.
- [2] 刘竹溪. 水泵及水泵站[M]. 第2版. 北京:水利电力出版社,1986. 56 - 58.
- [3] 栾鸿儒. 水泵及水泵站[M]. 北京:中国水利水电出版社,1993. 88 - 92.
- [4] 周谟仁. 流体力学泵与风机[M]. 第3版. 北京:中国建筑工业出版社,1994. 350 - 351.
- [5] 王昭俊. 采暖循环水泵并联运行工况数学模型研究[J]. 煤气与热力,2001,21(6):499 - 501.
- [6] 李永民. 浅谈算法求解并联水泵工况点流量及扬程[J]. 煤炭技术,2003,22(2):83 - 84.
- [7] 吕宏兴,裴国霞,杨玲霞. 水力学[M]. 北京:中国农业出版社,2002. 53 - 60.

Study on methods to determined the operating point of pumps in parallel

BA Duo-duo, YANG Jian-guo, WANG Li-qing

(College of Water Resource and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract :Targeting at the shortcomings in horizontal additivity method of operating point determination of pumps in parallel, the energy supply-demand and hydraulic characteristic of each pumping system of pumps in parallel are analyzed. The new method to determine operating point of pumps in parallel is derived by the use of the energy equation. The relation among capacity, head, water level and hydraulic loss of each pumping system can be determined directly by this method.

Key words : pump ;operating of pumps in parallel ;operating point determination