

# 管网中水泵工况点的确定

张琴<sup>1</sup>, 姚青云<sup>1,2\*</sup> (1. 宁夏大学土木与水利工程学院; 2. 旱区现代农业水资源高效利用教育部工程研究中心, 宁夏银川 750021)

**摘要** 水泵与管网联合工作的工况点确定是比较复杂的计算过程。而利用 Excel 中的规划求解法的基本功能, 可快速准确地解决水泵向不同水位水塔供水时的工况点的问题。首先用抛物线方程  $H = A_1 + B_1 Q + C_1 Q^2$  表示泵流量与扬程曲线, 将分支管前的水头损失从相应水泵的扬程中扣除, 得到相应的方程; 根据能量平衡原理, 分别列出向不同水位水塔供水的需要扬程方程。利用 Excel 中的规划求解功能, 可方便、快速求解得到水泵与管网联合工作的工况点, 同时得到向各水塔供水的流量。

**关键词** 水泵; 供水管网; 工况点; 规划求解

中图分类号 S277 文献标识码 A 文章编号 0517 - 6611(2013)28 - 11552 - 02

## Determination of Water Pump Working Point in Pipe Network

ZHANG Qin et al (Civil and Hydraulic Engineering Institute of Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

**Abstract** The determination of water pump and pipeline network under the joint work is a more complicated calculation process. Using the basic function of programming solver in Excel, the working point of water pump supplying water for different water level tower was solved rapidly and accurately. Firstly, the equation  $H = A_1 + B_1 Q + C_1 Q^2$  was used to express the curve of flow-lift of water pump, head loss before branch pipes was deducted from corresponding pump, and the corresponding equation was obtained. According to the energy balance principle, the equation of water supply for different water level tower was listed. Use of programming solver function in Excel could conveniently and quickly get the working condition of water pump and pipeline network joint work, and water supply flow for each tower was obtained.

**Key words** Water pump; Water supply pipe network; Working point; Programming solver

在供水管网中, 经常采用水泵向多个不同水位水塔供水的复杂管道系统。合理确定水泵工况点, 能使所选水泵运行效率提高, 能耗降低, 从而达到提高泵站装置效率的目的。反之, 如果水泵选型不合理, 工况点偏离高效区, 水泵在运行中效率降低, 能耗增大, 使运行成本提高, 有时甚至造成水泵无法正常运行。因此, 合理的确定水泵工况点, 是确保水泵安全经济运行的必要条件。

水泵与管网联合工作是比较复杂的, 管网中水泵工况点的计算一般采用编程求解<sup>[1]</sup>, 但此方法需要编写程序, 对编程不太熟练的专业人员有一定的难度。该文利用 Excel 表格及规划求解法的特殊功能, 简单、快速解决了管网中水泵工况点确定的问题。

### 1 水泵性能曲线方程

水泵性能参数之间的关系一般是由生产厂家以基本性能曲线的形式提供给用户的, 大多数离心泵  $Q \sim H$  曲线是一条下降的抛物线, 可用曲线方程(1)表示。

$$H = A_1 + B_1 Q + C_1 Q^2 \quad (1)$$

式中:  $Q$ —水泵流量,  $m^3/s$ ;  $H$ —水泵扬程,  $m$ ;  $A_1$ 、 $B_1$ 、 $C_1$ —为水泵  $Q \sim H$  曲线性能常数, 其值取决于水泵性能曲线的形式。

在水泵性能曲线上取 3 个点, 一般取水泵设计点参数及高效区两点的参数, 也可取水泵性能表对应的 3 个点的参数, 将 3 个点的流量、扬程值代入式(1)得含有  $A_1$ 、 $B_1$ 、 $C_1$  的方程组, 利用克莱姆法则或矩阵法可以求解出方程中的 3 个常数  $A_1$ 、 $B_1$ 、 $C_1$ , 从而得到水泵性能曲线方程<sup>[1]</sup>。同样, 利用此方法也可得到水泵流量与轴功率之间关系的曲线方程, 方

程形式如下:

$$P = X_1 + Y_1 Q + Z_1 Q^2 \quad (2)$$

式中:  $X_1$ 、 $Y_1$ 、 $Z_1$  分别为水泵流量与轴功率曲线常数。

### 2 管网供水能量平衡方程

图 1 所示为一台水泵向高低不同的 4 个水塔供水情况, 水泵的流量与扬程曲线方程可用(1)式的形式分别表示。分支管前 AB 段的水头损失可从水泵的流量与扬程曲线中扣除, 在节点 B 处向 4 个水塔供水的需要扬程相等。水泵的扬程方程和向各池供水的需要扬程方程关系如下。

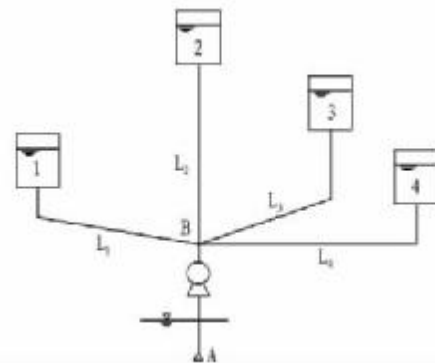


图 1 单泵多塔供水系统

$$\left. \begin{aligned} H &= A_1 + B_1 Q + C_1 Q^2 - S_{AB} Q^2 \\ H_1 &= H_{\text{塔}1} + S_{AB} (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)^2 + S_{L_1} Q_1^2 \\ H_2 &= H_{\text{塔}2} + S_{AB} (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)^2 + S_{L_2} Q_2^2 \\ H_3 &= H_{\text{塔}3} + S_{AB} (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)^2 + S_{L_3} Q_3^2 \\ H_4 &= H_{\text{塔}4} + S_{AB} (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)^2 + S_{L_4} Q_4^2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中:  $Q_1$ 、 $Q_2$ 、 $Q_3$ 、 $Q_4$ —分别为 1、2、3、4 水塔的流量,  $m^3/s$ ;  $H_1$ 、 $H_2$ 、 $H_3$ 、 $H_4$ —分别为 1、2、3、4 水塔的需要扬程,  $m$ ;  $H$ 、 $Q$ —分别为水泵的扬程,  $m$ ; 和流量,  $m^3/s$ ;  $A_1$ 、 $B_1$ 、 $C_1$ —为水泵  $Q \sim H$  曲线性能常数;  $S_{AB}$ —AB 段管道阻力参数,  $s^2/m^5$ ;  $S_{L_i}$ — $L_i$  段管

**作者简介** 张琴(1987 - ), 女, 陕西定边人, 在读硕士研究生, 研究方向: 供水工程理论与技术, E-mail: 871182875@qq.com。\* 通讯作者: 姚青云, 教授, 硕士生导师, 从事水泵及水泵站课程教学及研究工作, E-mail: slxyqy@163.com。

**收稿日期** 2013-08-27

道阻力参数,  $s^2/m^5$ ;  $S_{L2}-L_2$  段管道阻力参数,  $s^2/m^5$ ;  $S_{L3}-L_3$  段管道阻力参数,  $s^2/m^5$ ;  $S_{L4}-L_4$  段管道阻力参数,  $s^2/m^5$ ;  $H_{净1}$ —1 水塔的净扬程, m;  $H_{净2}$ —2 水塔的净扬程, m;  $H_{净3}$ —3 水塔的净扬程, m;  $H_{净4}$ —4 水塔的净扬程, m。

公式(3)列出了一台水泵向 4 个水位不同水塔供水的能量方程。扣除 AB 段水头损失后, 节点 B 水泵扬程与向各池供水的需要扬程相等, 即:  $H = H_1 = H_2 = H_3 = H_4$ 。利用动态规划法可求解一台水泵向高低不同 4 个水塔供水的工况。

### 3 计算实例

#### 3.1 基本资料 某供水管网安装一台 KQSN200-M8 型水泵

向 4 个不同水位水塔供水, 水泵性能参数见表 1。水泵向各池供水净扬程、管长、管径及各段的管道阻力参数列入表 2。

**3.2 管网中水泵工况点确定** 按表 1 所选 KQSN200-M8 型水泵高效区的性能参数, 利用 Excel 求解出水泵扬程曲线方程和功率曲线方程的常数, 分别为:  $H = 101.190 + 573.990Q - 3446.628Q^2$ ;  $P = 14.733 + 1875.005Q - 4616.684Q^2$  (扬程曲线  $H = A_1 + B_1 \times Q + C_1 \times Q^2$ ; 功率曲线  $P = X_1 + Y_1 \times Q + Z_1 \times Q^2$ )。根据公式(3)管网供水能量平衡方程, 利用 Excel 中的规划求解功能, 可方便、快捷求解出水泵同时向 4 个水塔供水的工况点, 具体求解步骤如下:

表 1 水泵性能参数

泵型	流量//L/s	扬程//m	转速//r/min	轴功率//kW	效率//%	[NPSH]//(m)
KQSN200-M8	88.3	125	2 960	144.3	75	9.6
	147.2	111		190.7	84	
	176.7	95		201.9	81.5	

表 2 管道阻力参数

水塔序号	净扬程//m	管段	管长//m	管径//mm	阻力参数// $s^2 \cdot m^5$	备注
		AB	200	500	15.374	分支管前
1	70	L <sub>1</sub>	150	100	61 286.351	
2	108	L <sub>2</sub>	900	250	2 782.882	分支管后
3	80	L <sub>3</sub>	500	200	5 078.701	
4	60	L <sub>4</sub>	800	150	37 652.696	

(1)先在 Excel 表格中选择一列, 预先输入水泵的流量及供给 4 个水塔流量;

(2)根据输入的流量, 按公式(3)计算出泵扣除分支管前损失的扬程, 计算出向 4 个水塔供水的需要扬程;

(3)在水泵工况点时, 水泵扬程与需要扬程相等, 选择目标单元格, 输入水泵减去任意一个水塔供水需要扬程的表达式;

(4)利用 Excel 中的规划求解法确定水泵工作点, 将目标单元格值设为 0, 可变单元格设为流量列(水泵流量、各个水塔流量), 在约束条件中添加水泵扬程与各水塔需要扬程相等和水泵总流量与供水总流量相等的约束条件。按求解按钮可解出泵的流量及各水塔的供水量, 规划求解界面如图 2 所示, 求解表格及结果见表 3。

图 2 所示, 求解表格及结果见表 3。



图 2 规划求解界面

表 3 管网供水工况点求解结果

序号	流量// $m^3/s$	扣除 $SQ_2$ 的扬程//m	流量// $m^3/s$	目标求解	水泵扬程//m
水泵	0.150 920 943	108.962 290 2			109.312 470 3
水塔 1	0.025 100 356	108.962 290 2	0.150 920 943		
水塔 2	0.014 830 898	108.962 290 3	0.150 920 943	-1.336 71E - 08	
水塔 3	0.075 058 284	108.962 290 2			
水塔 4	0.035 931 405	108.962 290 2			

(5)水泵工况点流量求出后, 可按公式(1)、(2)求出水泵的扬程、轴功率, 同时可求出水泵效率。整个工况点确定的计算过程都可以用 Excel 表格完成。

### 4 结论

(1)根据水泵与管网联合工作的特点, 列出管网能量平衡方程, 利用 Excel 中的规划求解功能, 方便快捷解决了管网

中水泵工况点确定及各水塔供水量的计算<sup>[2]</sup>。

(2)这种方法简单、方便、便于掌握, 对一般熟悉 Excel 工作表格的人员都可使用。

### 参考文献

[1] 刘超主. 水泵与水泵站[M]. 北京: 水利电力出版社, 2009.  
 [2] 姚青云, 杨静. Excel 在水泵并联向高低池洪水工况点确定中的应用[J]. 宁夏工程技术, 2013(2): 104 - 106.