离心泵流体输送系统水力计算方法

徐宏斌
(中交第二航务工程勘察设计院，湖北 武汉 430071)

摘 要：简述离心泵和管路的特性，介绍离心泵流体输送管路系统的水力计算方法，以及如何确定泵的安装高度。

关键词：离心泵；管路；特性参数；特性方程；特性曲线；串联；并联；安装高度
中图分类号：TH311 文献标识码：A 文章编号：1002－4972(2001)01－0013－04

Hydraulic Calculation Method for the Fluid Delivery System of Centrifugal Pump

XU Hong－bin
(The Second Navigational Engineering Investigation & Design Institute, Wuhan 430071, China)

Abstract: The characteristics of centrifugal pump and pipeline are briefly elaborated. The hydraulic calculation method for fluid delivery pipeline system of centrifugal pump and the method of determining the pump installation height are introduced.

Key words: centrifugal pump; pipeline; natural parameters; characteristics equation; characteristics curve; series connection; parallel connection; installation height

1 离心泵工作特性

1.1 离心泵工作原理

作为流体(本文仅指液体)输送设备，离心泵具有结构简单、流量均匀、价格低廉、维修管理方便等特点，它被广泛用于港口、石油化工、给排水和灌溉等领域。离心泵工作原理就是带动所输流体作离心运动，使流体高速旋转，获得动能，然后将流体动能转换为压能，达到流体输送目的。

1.2 离心泵特性方程

离心泵特性方程是指在一定转速下，泵输送某一流体时，扬程与排量的变化关系，可由泵样本上给出的几组扬程和排量数据，用最小二乘法回归求出，近似表达为

$$H = A - BQ^{2-m} \tag{1}$$

式中：H—离心泵扬程(m)；

Q—离心泵排量(m^3/s)；

A、B—常数；

m—管路压降列宾宗公式中与流体流态有关的指数。

2 管路工作特性

管路工作特性是指确定的管路(即管径、管长和起始点高程确定的管路)，在输送流体时，管路压降与流量变化的关系。其表达式：

$$h = \beta \frac{q^{2-m}\upsilon^m}{d^{5-m}} L + (Z_Z - Z_Q) \tag{2}$$

式(2)前半部分称为列宾宗公式。

式中：h—管路压头损失(m)；

q—管路中流体流量(m^3/s)；

d—管内径(m)；

υ—流体粘度(m^2/s)；

L—管路总长(包括所有管件和阀门

收稿日期：2000－05－06
作者简介：徐宏斌(1966－)，男，高级工程师，从事液体化工、石油等储运设计。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

当量长度(m)；

Z_Z—管路终点高程(m)；

Z_Q—管路起点高程(m)；

β、m—与流态有关的取值。

当管路中有较高翻越点时，尤其在翻越点接近管路末端处，Z_Z 取值不一定为管路终点高程。

特定管路输送处于某流态的特定流体时，式(2)中 d、ν、L、Z_Z、Z_Q、β、m 均为一常数，式(2)可简化为：

$$h = a + bq^{2-m} \tag{3}$$

$$a = Z_Z - Z_Q$$

$$b = \frac{\nu_m}{d^{5-m}} L$$

式中：a、b—常数。

3　系统水力计算方法

3.1　单泵单管系统水力计算方法

单泵单管系统在港口工程中应用较多，属于最基本的管输系统，根据泵和管路两者的特性方程，水力计算既可应用数学方法计算确定，也可应用图解法确定。

3.1.1　数学计算法

(1)根据任务流量 q，确定管路中流体的流态，利用式(3)计算在任务流量 q 下，管路压头损失 h。

(2)在泵样本上选定额定流量 $Q_0 = 1.1q$，额定扬程 $H_0 = 1.2h$ 的泵，若需换算，则 Q_0 和 H_0 为换算后的参数。

(3)利用选定的泵样本上的几组扬程和式(1)中的 A 和 B。

(4)式(1)与式(2)联合求解，计算泵实际排量和实际扬程，即为泵工作点。

(5)判断工作点排量是否满足任务流量要求，并将计算结果与样本比较，应使泵工作点对应的泵效率不低于最高效率的 93%，否则，重新选泵计算。

3.1.2　图解法

理论上，当管路和流体确定后，流体流态仅随流量的变化而改变，因各流态 m 值不同，泵和管路的特性曲线存在拐点，但在工程实际中，可忽略拐点，将两者特性曲线绘成平滑曲线。

(1)建立以压头为纵轴，流量为横轴的坐标系，在坐标系中绘制管 1 和管 2 特性曲线(图 1)。

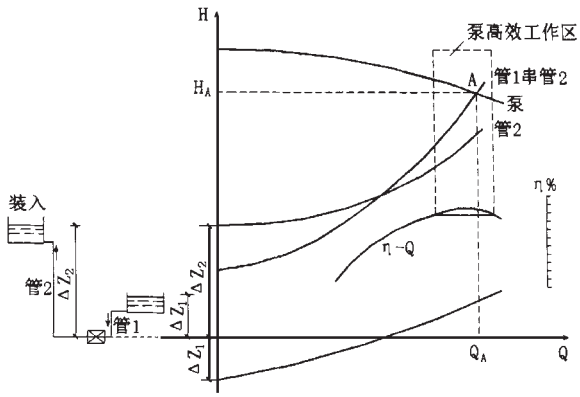

图 1　单泵单管路水力计算图解

(2)将相同流量分别对应管 1 和管 2 特性曲线上的压头迭加，绘制“管 1 串管 2”特性曲线。

(3)由“管 1 串管 2”的特性曲线确定对应于任务流量下的压头 h。

(4)选泵，同数学计算法步骤(2)。

(5)绘制泵特性曲线。

(6)在图上找出泵和管路两者特性曲线交点，如 A 点，即为泵工作点，对应的坐标值为泵工作扬程和工作排量。

(7) 判断工作点排量是否满足任务要求，并作出泵效率不小于 93% 的区域—泵高效工作区，判断泵工作点是否在泵高效工作区内，否则，重新选泵。

3.2　多泵分支管路系统水力计算方法

多泵分支管路系统较复杂，泵可并联，也可串联或两者兼而有之。管路同样存在串、并联现象，若管路由不同管径的管道组成，即可看作串联管路；分支管路可看作并联管路。

(1)泵组特性方程

同时向同一个管路系统提供能量的所有泵称为泵组，不论泵串联还是并联，泵组可看作是 1 台大泵。泵组特性方程仍可表达为式(1)。为便于操作管理，充分发挥每台泵的能力，泵组中各泵的特性应尽可能相同，若单台泵的特性方程为

$$H_p = A_p - B_p q^{2-m}$$

q 和带下标“p”的参数均为单台泵特性参数，

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

那么

①由 n_1 台泵并联的泵组特性方程为

$$H = H_p = A_p - B_p\left(\frac{Q}{n_1}\right)^{2-m} \qquad (4)$$

变形为 $$H = A_p - \frac{B_p}{n_1^{2-m}} Q^{2-m} \qquad (5)$$

与式(1)比较，$H = H_P$; $A = A_P$；$B = \frac{B_p}{n_1^{2-m}}$；$Q = n_1 q$

②由 n_2 台泵串联的泵组特性方程为：

$$H = n_2 H_P = n_2(A_P - B_P q^{2-m}) \qquad (6)$$

变形为 $$H = n_2 A_P - n_2 B_P Q^{2-m} \qquad (7)$$

与式(1)比较，$H = n_2 H_P$；$A = n_2 A_P$；$B = n_2 B_P$；$Q = q$

③由 n_1 台泵并联为小泵组，再由 n_2 组小泵组串联而成的大泵组的特性方程为：

$$H = n_2\left(A_p - \frac{B_p}{n_1^{2-m}} Q^{2-m}\right) \qquad (8)$$

变形为 $$H = n_2 A_p - \frac{n_2 B_p}{n_1^{2-m}} Q^{2-m} \qquad (9)$$

与式(1)比较，$H = n_2 H_P$；$A = n_2 A_P$；$B = \frac{n_2 B_p}{n_1^{2-m}}$；

$Q = n_1 q$；

(2)串并联管路特性方程

由每段管路串、并联组成的总管路，仍可用式(3)表达管路特性。当每段管路特性相同时，可按推导泵组特性方程的方法，推导出总管路的特性方程；当每段管路特性不同时，总管路特性方程较复杂，工程中无实际使用意义。

(3)多泵分支管路系统水力计算方法

由于多泵分支管路特性方程较复杂，用数学计算方法较困难，但用图解法(辅以少量计算)就简单得多，下面详细说明多泵分支管路水力计算的图解法(图 2)。

图 2 中左半部分为一典型的多泵分支管路系统示意图，泵 1 和泵 2 串联，泵 3 和泵 4 串联，然后两串联泵组并联形成串并联泵组；管 1 为泵组吸入管，管 2 为泵组排出干管，管 3 和管 4 为泵组排出分支管。图 2 中右半部分为各段管路特性曲线、串并联管路特性曲线、单泵特性曲线和泵组特

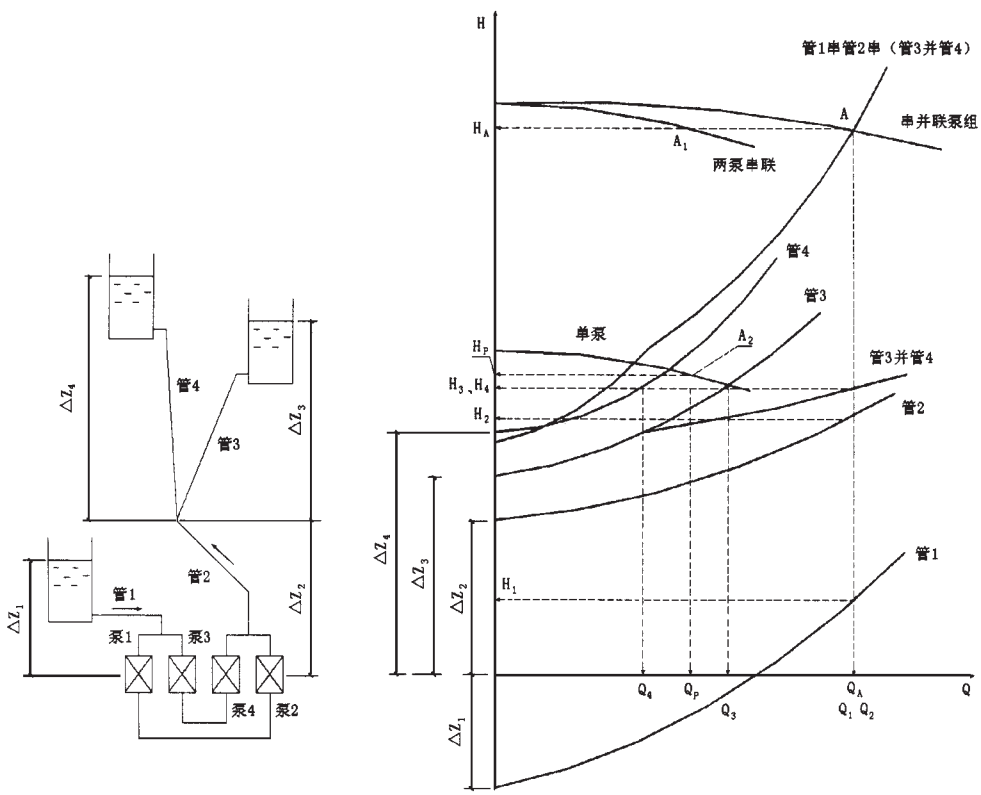

图 2　多泵分支管路水力计算图解

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

性曲线。

图解法绘制串联或并联的泵或管路的特性曲线，应遵循以下原则：a. 绘制串联特性曲线，在图中以相同流程下的压头相加。b. 绘制并联特性曲线，在图中以相同压头下的流量相加。图解法计算步骤如下(假定 4 台泵特性相同)：

①利用式(2)、式(3)确定管段 1、2、3 和 4 的特性方程。

②建立以流量 Q 为横轴，扬程 H 为纵轴的坐标系，然后在坐标系中以相同比例绘制管段 1、2、3 和 4 的特性曲线。

③管 3 和管 4 可视作并联管路，将相同压头 H 分别对应的管 3 和管 4 的流量迭加，绘制管 3 和管 4 并联特性曲线。

④管 1、管 2 和步骤③的并联管路三者可视作串联管路，将相同流量 Q 分别对应的管 1、管 2 和串联管路的压头迭加，即可绘制整个串并联管路总特性曲线，见图 2 中“管 1 串管 2 串(管 3 并管 4)”特性曲线。

⑤根据任务流量，在总特性曲线上粗略确定整个串并联管路的压头损失，按式(9)计算串并联泵组中单泵的扬程 H_p 和流量 q。

⑥选择额定扬程 $H_0 = 1.2H_p$，额定排量 $Q_0 = 1.1q$ 的泵和样本上提供的泵特性曲线。如需换算，H_0、Q_0 和泵特性曲线应为换算后的特性。

⑦在管路特性曲线图中，以相同比例绘制单泵特性曲线图。

⑧绘制两泵串联小泵组的特性曲线，最后绘制并联两组小泵组的特性曲线，即为总泵组的特性曲线，见图 2 中“串并联泵组”曲线。

⑨总泵组特性曲线和管路总特性曲线有一交点 A，该点就是多泵分支管路系统工作点，对应的 H_A 和 Q_A 就是串并联泵组的扬程和排量。若 Q_A 不能满足任务流量的要求，须从步骤⑤开始重新选泵；反之，继续下面步骤。

⑩从 A 点向左引一水平线交“两泵串联”曲线于 A_1 点，该点就是两泵串联小泵组的工作点；再从 A_1 点引一垂线交单泵特性曲线于 A_2 点，该点就是泵的工作点，对应的 H_p 和 Q_p 分别为泵的扬程和排量，A_2 点应位于泵高效工作区内(图 2 中未绘制)，否则须从步骤⑤开始重新选泵。

特别地，作出图 2 所示虚线，可确定管段 1、2、3 和 4 的压头和流量。

4 离心泵安装高度的计算

泵安装高度指泵吸入口中心线至吸入端液面的高度。一般情况，泵吸入口中心线宜低于吸入端最低液面，使泵得到一定的灌注压头，但并不是所有情况都能满足这种要求，当泵吸入口中心线高于吸入端最低液面时，若安装高度不当，吸入管易发生管路气阻或泵汽蚀，但当输送饱和蒸汽压较高的流体时，如液化石油气，即使泵吸入口中心线低于吸入端最低液面，也可能产生气阻或汽蚀。

泵允许汽蚀余量是表示泵吸入性能的特性参数，应利用允许汽蚀余量对泵吸入性能进行计算。一般地，泵样本上提供有泵在额定排量下允许汽蚀余量和表达排量与允许汽蚀余量关系的特性曲线。也有的泵用允许吸上真空度(也可称为允许吸入高度)来表示泵吸入性能，两者之间存在以下关系：

$$H_X = \frac{P_a - P_t}{\gamma} \times 10^5 - \triangle h_x \qquad (10)$$

式中：H_X—泵允许吸入高度(m)；

P_a—吸入管路端液面上的压力(MPa)；

P_t—输送温度下流体的饱和蒸汽压(MPa)；

$\triangle h_x$—泵允许汽蚀余量(m)，如须换算，应为换算后的值；

γ—流体密度(kg/m^3)。

为避免发生气阻和汽蚀，保护泵和管路，泵吸入管路应尽量短、平、直。对于确定的吸入管路，合理确定泵安装高度是至关重要的，泵安装高度可按下式计算确定：

$$Z_P - Z_Y \leqslant \frac{P_a - P_t}{\gamma} \times 10^5 - \triangle h_x - h = H_X - h \qquad (11)$$

式中：Z_p—泵吸入口中心线高度(m)；

Z_Y—吸入管路端液面高度(m)；

h—吸入管路沿程阻力损失(m)，按式(3)中 a = 0 时计算

其他符号意义同式(10)。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net