

## 实验研究

## 输油系统机泵效率测试的误差分析

冯海东\*

(胜利油田技术监测中心能源监测站)

冯海东:输油系统机泵效率测试的误差分析,油气储运,1996(7)15,41~43。

**摘 要** 输油系统机泵效率测试是判断机泵性能的手段,也是输油系统节能降耗的基础性工作。机泵效率测试结果是否准确以及如何减少测量误差等,以往这方面的实验研究工作开展的不多。进行误差分析是提高测试结果精度的一项重要措施,为此,根据误差理论,分析了机泵效率测试的误差来源,认为机泵效率测试的主要误差是由泵的出口压力、流量和电机的输入功率的测量误差引起的。提出了减少测量误差的措施:提高出口压力表和泵流量计的准确度;对输油泵吸入端与排出端存在较大位差而泵出口压力较小时的情况不能忽略;用电能表法进行输油功率的测量。

**主题词** 输油管道 泵机组 效率 测试 误差分析 方法

## 一、问题的提出

输油系统是高耗能系统,各油田和中国石油天然气管道局每年都要对该系统进行效率测试,以便为实施节能降耗措施提供可靠的依据。同时,为了能正确地评价机泵的性能和一些节能产品的节能效果,也需要对机泵效率进行准确测试。然而,凡测试就有误差,有误差就要进行误差分析,测试结果只有在能够知其不确定度和置信水准的情况下才有意义。目前在机泵效率测试中,只出具一个测试结果,但根据误差理论,这种结果没有意义,因为它缺少了一项重要内容,即对测量结果的质量作评价。这样就不知道测量误差大致在什么范围和测量结果的可信程度如何。因此,必须进行实验研究,对机泵效率测试作误差分析,以便了解影响测试结果准确度的因素,找到减少测量误差的方法。

## 二、机泵效率的计算

为方便起见,将电动机和输油泵作为一个整体

(以下简称机泵)来分析。

机泵效率为:

$$\eta = \frac{N_1}{N_2} \times 100\%$$

式中  $N_1$  —— 输油泵的输出功率, W;

$N_2$  —— 电动机的输入功率, W。

而  $N_1 = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q$

式中  $\rho$  —— 油品的密度, kg/m<sup>3</sup>;

$g$  —— 重力加速度, m/s<sup>2</sup>;

$Q$  —— 输油泵出口处油品的体积流量, m<sup>3</sup>/s;

$H$  —— 输油泵的扬程, m。

输油泵扬程计算公式为:

$$H = \Delta Z + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$$

式中  $\Delta Z$  —— 泵进出口压力测点的位差, m;

$P_1, P_2$  —— 输油泵进、出口压力, Pa;

$V_1, V_2$  —— 输油泵进、出口平均流速, m/s。

$N_2$  有两种计算方法,一种为电流电压法:

$$N_2 = \sqrt{3} I \cdot V \cdot \cos \phi$$

式中  $I$  —— 电机的输入电流, A;

$V$  —— 电机的输入电压, V;

$\cos \phi$  —— 电机的功率因数。

\* 257001, 山东省东营市胜利油田技术监测中心能源监测站

另一种为电能表法:

$$N_2 = \frac{3.6 \times 10^6 n \cdot K}{N \cdot t}$$

式中  $n$  ——有功电能表所转的圈数,  $r$ ;  
 $N$  ——耗电  $1 \text{ kW} \cdot \text{h}$  有功电能表所转的圈数,  $r/\text{kW} \cdot \text{h}$ ;  
 $t$  ——有功电能表转  $n$  圈所用的时间,  $s$ ;  
 $K$  ——电流互感器变比。

### 三、机泵效率测量的误差分析

由于测量时  $N_1, N_2$  相互独立, 因此根据间接测量的误差传播公式, 效率  $\eta$  的方差为:

$$\sigma_\eta^2 = \left( \frac{\partial \eta}{\partial N_1} \cdot \sigma_{N_1} \right)^2 + \left( \frac{\partial \eta}{\partial N_2} \cdot \sigma_{N_2} \right)^2$$

式中  $\sigma_\eta, \sigma_{N_1}, \sigma_{N_2}$  ——  $\eta, N_1, N_2$  的标准偏差;

$\frac{\partial \eta}{\partial N_1}, \frac{\partial \eta}{\partial N_2}$  ——  $N_1, N_2$  的误差传播系数。

这样:

$$\begin{aligned} \left( \frac{\sigma_\eta}{\eta} \right)^2 &= \left( \frac{1}{\eta} \cdot \frac{\partial \eta}{\partial N_1} \right)^2 \cdot \sigma_{N_1}^2 + \left( \frac{1}{\eta} \cdot \frac{\partial \eta}{\partial N_2} \right)^2 \cdot \sigma_{N_2}^2 \\ &= \left( \frac{\sigma_{N_1}}{N_1} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{N_2}}{N_2} \right)^2 \end{aligned}$$

由于  $N_1, N_2$  在同一数量级上, 根据上式, 要减少机泵效率测量的误差, 就应设法降低  $\sigma_{N_1}$  和  $\sigma_{N_2}$ 。

下面讨论  $\sigma_{N_1}$ 。

如果输油泵进出口管内径相同, 则  $V_1 = V_2$ , 同时为了讨论方便, 暂且忽略位差  $\Delta Z$ , 这样:

$$\begin{aligned} H &\approx \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} \\ N_1 &= (P_2 - P_1)Q \end{aligned}$$

由于测量时  $P_1, P_2, Q$  相互独立, 因此  $N_1$  的方差为:

$$\sigma_{N_1}^2 = \left( \frac{\partial N_1}{\partial P_1} \sigma_{P_1} \right)^2 + \left( \frac{\partial N_1}{\partial P_2} \sigma_{P_2} \right)^2 + \left( \frac{\partial N_1}{\partial Q} \sigma_Q \right)^2$$

式中的  $\sigma_{N_1}, \sigma_{P_1}, \sigma_{P_2}, \sigma_Q$  分别为  $N_1, P_1, P_2, Q$  的标准偏差;  $\frac{\partial N_1}{\partial P_1}, \frac{\partial N_1}{\partial P_2}, \frac{\partial N_1}{\partial Q}$  分别为  $N_1, P_1, P_2, Q$  的误差传播系数。

将上式中各项单独进行分析:

$$\sigma_1 = \frac{\partial N_1}{\partial P_1} \cdot \sigma_{P_1}$$

$$\sigma_2 = \frac{\partial N_1}{\partial P_2} \cdot \sigma_{P_2}$$

$$\sigma_3 = \frac{\partial N_1}{\partial Q} \cdot \sigma_Q$$

这样:

$$\frac{\sigma_1}{N_1} = - \frac{1}{P_2 - P_1} \cdot \sigma_{P_1}$$

$$\frac{\sigma_2}{N_1} = - \frac{1}{P_2 - P_1} \cdot \sigma_{P_2}$$

$$\frac{\sigma_3}{N_1} = - \frac{1}{Q} \cdot \sigma_Q$$

考虑一下仪表的准确度对测量结果的影响, 在以下讨论中, 假设各种仪表的置信因子  $k=1$ 。如压力表为 0.4 级, 其数值在满量程的  $2/3$  处, 油流量计的准确度等级为 0.5 级, 则:

$$\sigma_{P_1} = 0.4\% \times \frac{3}{2} \times P_1 = 0.6\% P_1$$

$$\sigma_{P_2} = 0.4\% \times \frac{3}{2} \times P_2 = 0.6\% P_2$$

由于  $P_1 \ll P_2$ , 因此  $P_2 - P_1 \approx P_2$

因此  $\frac{\sigma_1}{N_1} = 0.6\% \frac{P_1}{P_2}$  很小, 可以忽略。

$$\frac{\sigma_2}{N_1} = 0.6\%$$

$$\frac{\sigma_3}{N_1} = 0.5\%$$

由此可见, 要提高输出功率测量的准确度, 主要应提高输油泵出口压力  $P_2$  和输油泵流量  $Q$  测量的准确度, 也就是说应设法降低  $\sigma_{P_2}$  和  $\sigma_Q$ 。

在计算泵扬程时, 忽略了  $\Delta Z$  的影响, 现在以某次测量的数据来说明  $\Delta Z$  对测量结果的影响。

已知  $\Delta Z = 1.12 \text{ m}$ ,  $P_2 = 1.12 \times 10^7 \text{ Pa}$ ,  $P_1 = 0.02 \times 10^6 \text{ Pa}$ ,  $\rho = 898.4 \text{ kg/m}^3$ ,  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 。

这样,  $H = \Delta Z + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} = 126.06 \text{ m}$ ,  $\frac{\Delta Z}{H} = 0.9\% >$

$$\frac{\sigma_2}{N_1}。$$

由此可见, 当输油泵位差较大而扬程又较低时, 位差不能忽略。

现在再讨论一下输入功率的两种测试方法哪一种更准确。

#### 1、 电流电压法

由于测量时, 电流  $I$ 、电压  $V$  和功率因数  $\cos \phi$  相互独立, 这样  $N_2$  的方差为:

$$\sigma_{N_2}^2 = \left( \frac{\partial N_2}{\partial I} \sigma_I \right)^2 + \left( \frac{\partial N_2}{\partial V} \sigma_V \right)^2 + \left( \frac{\partial N_2}{\partial \cos \phi} \sigma_{\cos \phi} \right)^2$$

式中  $\sigma_{N_2}, \sigma_I, \sigma_V, \sigma_{\cos \phi}$  ——  $N_2, I, V, \cos \phi$  的标准偏差;

$\frac{\partial N_2}{\partial I}, \frac{\partial N_2}{\partial V}, \frac{\partial N_2}{\partial \cos \phi}$  ——  $I, V, \cos \phi$  的误差传播系数。

将上式各项单独进行分析。

$$\text{令 } \sigma_4 = \frac{\partial N_2}{\partial I} \cdot \sigma_I$$

$$\sigma_5 = \frac{\partial N_2}{\partial V} \cdot \sigma_V$$

$$\sigma_6 = \frac{\partial N_2}{\partial \cos \phi} \cdot \sigma_{\cos \phi}$$

这样:

$$\frac{\sigma_4}{N_2} = \frac{1}{I} \sigma_I$$

$$\frac{\sigma_5}{N_2} = \frac{1}{V} \sigma_V$$

$$\frac{\sigma_6}{N_2} = \frac{1}{\cos \phi} \sigma_{\cos \phi}$$

再考察一下仪表的准确度对测试结果的影响,由于目前较准确的电流表、电压表、功率因数表的准确度等级分别为 0.2 级、0.2 级、1.0 级,假设电流、电压的读数在满量程的 2/3 处,功率因数的读数在满程的 0.85 处,则有:

$$\frac{\sigma_4}{N_2} = 0.2\% \times \frac{3}{2} = 0.3\%$$

$$\frac{\sigma_5}{N_2} = 0.2\% \times \frac{3}{2} = 0.3\%$$

$$\frac{\sigma_6}{N_2} = 1.0\% \times \frac{1}{0.85} = 1.2\%$$

这样:

$$\frac{\sigma_{N_2}}{N_2} = 1.3\%$$

由此可见,用电流电压法测量误差较大。

## 2、电能表法

由于电能表的准确度等级可达 0.5 级,而时间  $t$  又可准确测量,因此用电能表法测量时,  $\frac{\sigma_{N_2}}{N_2} \approx 0.5\%$ 。

由以上分析可以看出,在测量机泵的输入功率时,应尽量采用电能表法。

## 四、结 论

由以上分析可以得出如下结论:

输油系统机泵效率测试的主要误差是由出口压力  $P_2$ 、泵流量  $Q$  和电机的输入功率  $N_2$  的测量误差引起的。为了减少误差,测试时应注意以下几点:

- (1) 提高出口压力表和流量计的准确度。
- (2) 输油泵进出口位差在其值较大而泵扬程较小的情况下不能忽略。
- (3) 输入功率的测量应采用电能表法。

### 参 考 文 献

1. 肖明耀:误差理论与应用,计量出版社(北京),1985,84~123。
2. 沙定国:实用误差理论与数据处理,北京理工大学出版社(北京),1993,103~130。

(收稿日期:1996-02-27)

编辑:刘春阳

## 中国石油天然气管道勘察设计院简介(二)

为扩大设计市场,中国石油天然气管道勘察设计院在新疆、海南、哈尔滨、珠海相继成立了分院。储运介质由原油、天然气,发展到成品油、液化气、乙烯、氮气、铁矿浆、煤浆、卤水、化工原料、氨水、水等各种介质,服务领域扩展到石化、化工、轻工、钢铁、港口、河海、民航、市政等行业。在内部形成了勘察、设计、工程咨询、工程监理、工程总承包、岩土工程多业并举的局面。

二十多年来,尤其是近十年,中国石油天然气管道勘察设计院加强对外交流与合作,与世界上著名的工程公司有着密切合作关系,同两家外国公司签订了长期合作协议,先后派出 300 多人次出国考察与技术咨询,参加合作设计与国外工程设计。在此基础上,积极参与了国际工程的投标,先后在巴基斯坦油库工程和突尼斯天然气管道工程上中标,为立足国内、走向国际打下了基础。