

# 中华人民共和国国家标准

## 船用电动三螺杆泵试验方法

GB 11705—89

Testing methods for marine electric  
three-spindle screw pump

### 1 主题内容与适用范围

本标准规定了船用电动三螺杆泵(以下简称泵)的试验项目和试验方法等。

本标准适用于船用电动三螺杆泵,其输送介质为燃油、滑油和液压油等的清洁液体。

### 2 引用标准

GB 265 石油产品运动粘度测定法

GJB 150.18 军用设备环境试验方法 冲击试验

### 3 术语、符号

#### 3.1 术语

3.1.1 额定工况:设计规定泵应达到的工作状况。主要为额定流量  $Q_r$ 、额定排出压力  $p_d$ 、额定净吸上高度  $h_{1r}$ 、额定转速  $n_r$ 、额定介质粘度  $\nu_r$  和额定介质温度  $T_r$  等。

3.1.2 实际工况:泵在实际运行时的工作状况。主要为流量  $Q$ 、排出压力  $p_d$ 、净吸上高度  $h_1$ 、转速  $n$ 、介质粘度  $\nu$  和介质温度  $T$  等。

3.1.3 系统误差:主要是由测试仪表自身的局限性、仪表校准的局限性和测量方法不完善造成的。它表现为测试仪表读数的平均指示值与被测量参数真正的绝对平均值之间的差异。

3.1.4 额定条件:把实测工况中某一(或几个)量的值,按允许使用的换算公式,转换到额定工况下的值的这种特定条件。

3.1.5 振动烈度:规定振动速度的有效值(均方根值)为表征振动强度的参数。

#### 3.2 符号

本标准的有关量采用表 1 所示的符号和国家法定计量单位;表 2 所示为以字母或数字表示的有关量符号的下标。

表 1 量的符号和单位

量的名称	符号	单位
流量	$Q$	$\text{m}^3/\text{h}$
排出压力	$p_d$	MPa
吸入压力	$p_s$	MPa

续表 1

量的名称	符 号	单 位
净吸上高度	$h_1$	m
转速	$n$	r/min
泵输入功率	$P_a$	kW
泵输出功率	$P_M$	kW
粘度	$\nu$	$m^2/s$
温度	$T$	°C
机械效率	$\eta_m$	%
容积效率	$\eta_v$	%
总效率	$\eta$	%
振动烈度	$v_{rms}$	mm/s
密度	$\rho$	$kg/m^3$

表 2 作下标用的字母和数字

下 标	意 义
r	额定工况点
t	理论
0	出口压力示值为零的工况点

## 4 试验方法

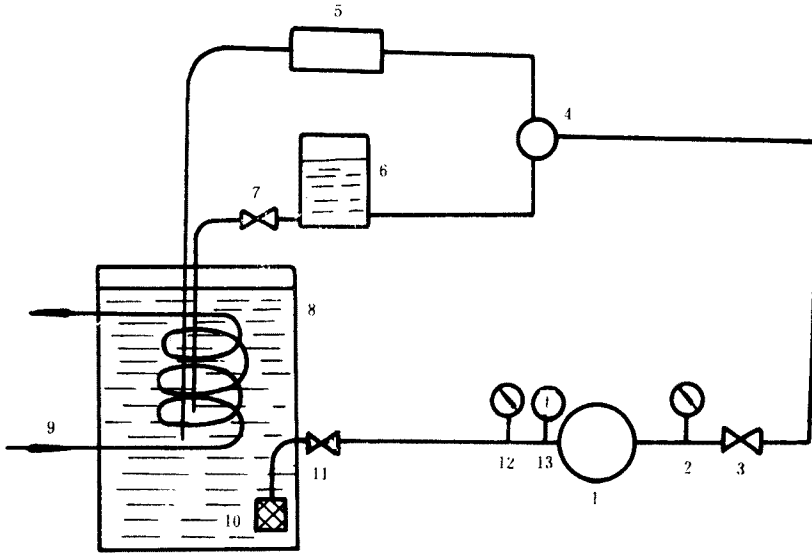
### 4.1 试验条件

#### 4.1.1 试验介质

- a. 无腐蚀、无固体颗粒和具有润滑性的液体；
- b. 试验介质粘度为  $7.5 \times 10^{-5} m^2/s$ ；
- c. 试验介质的粘度允许偏离范围应由供需双方协商决定；
- d. 当试验介质的粘度与 b 款规定不符时，应按第 4.6.1 条将试验测得的性能数值换算成额定粘度下的值。

#### 4.1.2 试验装置

##### 4.1.2.1 试验装置如下图所示：



试验装置示意图

- 1—被试三螺杆泵；2—压力表；3—阀门；4—切换装置；5—流量计；  
6—计量容器；7—阀门；8—油箱；9—加热或冷却装置；10—滤器；  
11—阀门；12—温度计；13—真空压力表

被试泵从具有静液面的大容器中抽吸试验介质，必须设法保证进入泵的液流无装置引起的旋涡。试验装置的吸入和排出回路，应由直的平行于液面的管路构成，被试泵的吸入和排出管段的直管段长度均应不少于4倍的吸入和排出管路直径。

- 4.1.2.2 不带安全阀的泵应在排出管路上设置安全阀或其他超压保护装置。
- 4.1.2.3 试验装置中必须安装过滤器，过滤精度为通过过滤器的最大颗粒不大于0.1 mm；过滤器通过液流的面积应为泵进口过水断面面积的4~10倍。
- 4.1.2.4 被试泵吸入管路段的各连接处和阀门均必须保证密封，防止空气渗入。
- 4.1.2.5 测量振动和噪声时试验装置必须满足下列要求：
  - a. 泵机组下的基础应超过泵机组重量的4倍；
  - b. 泵机组刚性固定在基础上。

4.2 试验测量允许误差

4.2.1 在同一读数时间内，读数相对平均值的短周期变动，其最大容许波动幅度应符合表3规定。

表3 读数最大容许波动幅度 %

测试量	最大容许波动幅度	注
流量	±6	差压计测流量时液柱差允许为±12
压力		
转矩		
功率		
转速	±2	—

4.2.2 同一量重复测量所得的数值，其允许误差应符合表4规定。

表4 同一量重复测量的允许误差(基于95%的置信限) %

重复测量次数	最大允许误差 $\left(\frac{\text{最大值}-\text{最小值}}{\text{最大值}}\right)$	
	流量、压力、转矩、功率	转速
3	1.8	1
5	3.5	2
7	4.5	2.7
9	5.8	3.3

4.2.3 试验时应待工况稳定,并符合第4.2.1条和第4.2.2条规定的范围后,同时读出或记录所有测量仪表的值。

4.2.4 每个被测参数的测量次数应不少于三次,取其平均值。

#### 4.3 测量精度

4.3.1 各类试验测量仪表的允许系统误差应符合表5规定。

表5 测量仪表的允许系统误差 %

测定参数	容许系统误差
流量 压力 输入功率	±2.5
电动机输入功率	±2.0
转速	±1.0
温度	±2.0

4.3.2 测试仪表应附有合格印封或出厂合格证,并按仪表规定期限进行检查和校正,具有检验合格证,其精度应符合表5的要求。

#### 4.4 试验程序

##### 4.4.1 泵的试验项目

- a. 试运转试验;
- b. 额定工况性能试验;
- c. 全性能试验;
- d. 净吸上高度试验;
- e. 安全阀试验;
- f. 连续运转试验;
- g. 噪声试验;
- h. 自激振动试验;
- i. 环境振动试验;
- j. 冲击试验;
- k. 固定倾斜试验。

应根据具体情况选择上述试验项目。

#### 4.4.2 泵的试验顺序

泵的试验顺序一般为试运转试验,额定工况性能试验,全性能试验和净吸上高度试验。安全阀试验和连续运转试验在最后进行。其余试验顺序不作规定。

#### 4.4.3 试运转试验

4.4.3.1 试运转试验是指装配后的泵在正式试验前进行的跑合。

4.4.3.2 试运转试验主要检查泵的装配质量及泵运行时的声响、噪声、振动、润滑、温度和泄漏等。

4.4.3.3 试运转试验空载跑合 1 h,然后按额定排出压力的四分之一逐步升压,每次升压后运转时间不少于 10 min,调节到额定工况运行至轴承温度稳定为止。试运转试验的总运行时间不得少于 2 h。

4.4.3.4 试运转试验后,如泵拆卸或转移到另一试验装置上时,试运转试验应重新进行。

#### 4.4.4 额定工况性能试验

是指泵在额定转速、额定净吸上高度和额定排出压力下测量流量和泵输入功率值。

#### 4.4.5 全性能试验

4.4.5.1 全性能试验是指泵运行在额定转速  $n_r$ 、额定净吸上高度  $h_{1r}$  下确定流量  $Q$ 、输入功率  $P_a$ 、效率  $\eta$  与排出压力  $p_a$  的关系。

4.4.5.2 试验工况点的范围应从排出管路阀门全开到安全阀开启止,测试工况点不少于 8 点。

4.4.5.3 绘制  $p-Q$ 、 $p-P_a$  和  $p-\eta$  特性曲线,其中全压力  $p = p_a + h_1$ 。

#### 4.4.6 净吸上高度试验

4.4.6.1 净吸上高度试验是指泵运行在额定转速  $n_r$ 、额定排出压力  $p_a$  下确定流量  $Q$  与净吸上高度  $h_1$  的关系。

4.4.6.2 试验工况点的范围应从吸入管路阀门全开时开始,逐渐关闭该阀门,到流量下降量达额定工况时流量的 3% 止。

4.4.6.3 试验工况点应不少于 8 点,在流量低于额定工况流量的工况区,试验工况点的间隔应适当减小。

4.4.6.4 绘制  $h_1-Q$  特性曲线。

#### 4.4.7 安全阀试验

4.4.7.1 安全阀应在泵额定工况下进行试验和调整,合格后加以铅封。

4.4.7.2 逐渐关闭排出管路阀门,安全阀应正确动作。在完全关闭排出管路阀门时,检查安全阀的全回流压力。试验应不少于三次。

4.4.7.3 安全阀的开启压力应为排出压力的 1.1~1.15 倍;全开压力为:

当排出压力大于 0.5 MPa 时为排出压力的 1.5 倍;

当排出压力小于或等于 0.5 MPa 时为排出压力加 0.25 MPa。

#### 4.4.8 连续运转试验

4.4.8.1 连续运转试验在额定工况下进行,试验时间规定如下:

a. 一般船舶用泵为 200 h;

b. 特殊船舶用泵为 500 h。

4.4.8.2 试验期间不允许故障停车,试验期间不得更换任何零件。

4.4.8.3 试验时观察泵运行情况,并每隔 4 h 测量和记录流量、排出压力、净吸上高度、转速和介质温度的值。

4.4.8.4 试验前后测得的额定工况下的流量值,下降幅度应小于 2%。

4.4.8.5 试验后应进行拆检,测量主要运动副零、部件的磨蚀量。

#### 4.4.9 噪声试验

4.4.9.1 一般只测量 A 计权声压级。需要时可在订货时说明测量声压级噪声。

4.4.9.2 在室内测量泵噪声时,测点距任何反射体应大于 1 m。

4.4.9.3 背景噪声应比泵噪声的读数低 10 dB(A)以上;若泵的噪声与背景噪声的差值为 6~10 dB(A)时,应按表 6 减去修正值;若差值小于 6 dB(A)时应停止测量。

表 6 dB(A)

泵的噪声与背景噪声 的声压级差	6	7	8	9	10	>10
修正值	1			0.5		0

4.4.9.4 当电动机的噪声高于泵噪声时,应对电动机采取隔声等措施,使其符合第 4.4.9.3 条规定。

4.4.9.5 各测点的 A 声级读数,对照各测点的背景噪声按表 7 修正后,得出各测点的 A 声级测定值  $L_{PAi}$ ,平均声压级  $\bar{L}_{PA}$  应按式(1)计算:

$$\bar{L}_{PA} = 10 \lg \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0.1 L_{PAi}} \right) \dots\dots\dots (1)$$

式中:  $\bar{L}_{PA}$  —— 测量面上的平均 A 声级, dB(A);

$i$  —— 测点数,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;

$n$  —— 测点总数;

$L_{PAi}$  —— 第  $i$  个测点的 A 声级测定值。

当各测点测得的  $L_{PAi}$  值相差不超过 5 dB(A)时,可用算术平均值代替上式计算。

4.4.10 振动试验

4.4.10.1 评定振动采用振动烈度  $v_{rms}$  (均方根振动速度)。

4.4.10.2 自激振动试验

自激振动是由泵内部的剩余不平衡质量所引起的机械振动。试验的测点应选在泵轴承体外表面和安装底脚处,每个测点都需测三个互相垂直方向的振动。

4.4.10.3 环境振动试验

4.4.10.3.1 环境振动试验是模拟船舶的环境振动。找出泵机组的共振点,考核泵的结构强度,试验后泵应能正常运行,零件应不损坏。

4.4.10.3.2 泵应按照在船舶上的固定方法,固定在振动试验台上,泵在不运转状态下进行试验。

4.4.10.3.3 试验必须在泵的横向、纵向和垂直三个方向依次进行。

4.4.10.3.4 泵进行探查性振动试验,全振幅为  $0.5 \pm 0.1$  mm,在 4~33 Hz 范围内均匀变频。频率应以 1 Hz 不连续间隔改变,并在每一频率上保持 15 s,若发现共振应记下共振频率及方向。

4.4.10.3.5 变频试验时泵应在表 8 所示的振幅范围,按不连续频率间隔为 1 Hz,进行 4~33 Hz 的振动。每个频率振动时间为 5 min。

4.4.10.3.6 有共振时应在各共振点下共振 2 h;若无共振或消除共振后应在 33 Hz 下进行 2 h 耐振试验。试验台的全振幅应按表 7 规定。

表 7

频率范围 Hz	振动台的全振幅 mm
4~15	$0.75 \pm 0.15$
16~25	$0.50 \pm 0.10$
26~33	$0.25 \pm 0.05$

4.4.11 冲击试验

4.4.11.1 冲击试验仅在不运转状态下单机进行,考核泵结构强度、刚度和连接可靠性。

4.4.11.2 重要用途的泵,冲击试验按 GJ B 150.18 中第 2.1.1 条的 A 级规定,其他按 B 级规定。

#### 4.4.12 固定倾斜试验

4.4.12.1 固定倾斜试验是考核泵在固定倾斜状态下运转时结构、连续和性能的可靠性。可代替考核泵在摇摆、倾斜状态下运行的可靠性。

4.4.12.2 试验台上泵的布置应符合如下规定:

a. 卧式泵:一般船舶用泵的轴线保持水平、安装底脚与水平面成  $20^\circ$  和泵轴线与水平面成  $20^\circ$  两种;特殊船舶用泵则上述两种布置均为  $25^\circ$ ;

b. 立式泵:一般船舶用泵的轴线与水平面成  $70^\circ$ ;特殊船舶用泵则成  $65^\circ$ 。

4.4.12.3 试验应在额定工况下进行,历时 30 min。试验结果应符合性能要求;试验后泵应能正常运行,零件应不损坏。

#### 4.5 测量方法

##### 4.5.1 流量测量

4.5.1.1 型式检验和抽样检验时测试仪表精度应不低于 1 级。出厂检验时允许使用精度不低于 1.5 级的仪表。

4.5.1.2 采用容积法测量流量时,计量容器应标有刻度,其极限相对误差不大于 0.5%;测量时计量时间应不少于 20 s。

4.5.1.3 采用重量法测量流量时,衡量的感应量应小于被测重量的 0.5%。

4.5.1.4 采用标准节流装置时应保证进入装置的液流是稳定流。

##### 4.5.2 压力测量

4.5.2.1 型式检验和抽查检验时测试仪表精度应不低于 1 级;出厂检验时允许使用精度不低于 1.5 级的仪表。

4.5.2.2 泵基准面规定如下:

a. 卧式泵以螺杆轴线水平面作基准面;

b. 立式泵以 1/2 螺杆螺旋长度处的水平面作基准面。

4.5.2.3 泵的全压力按式(2)计算,用相对于泵基准面的排出口静压力  $p_d$  和吸入静压力  $p_s$  之差来表示:

$$p = p_d + h_t = p_d - p_s = G_d - G_s + 9.8 \times 10^{-6} \rho(Z_d - Z_s) \dots\dots\dots (2)$$

式中:  $G_d$  ——排出口处仪表测得的压力值,MPa;

$G_s$  ——吸入口处仪表测得的压力值(真空表值为负),MPa;

$Z_d$  ——排出压力测压点或仪表中心至泵基准面的垂直距离,m;

$Z_s$  ——进口压力测压点或仪表中心至泵基准面的垂直距离,m。

当  $9.8 \times 10^{-6} \rho(Z_d - Z_s)$  小于全压力的  $\frac{1}{100}$  时,可忽略不计。

4.5.2.4 测压点位置在吸入管路和排出管路的直段上,距离吸入口法兰和排出口法兰为 2 倍管径。

4.5.2.5 测压孔直径为 2~6 mm 或测压孔处管径的  $\frac{1}{10}$ ,取二者之小值,长度应大于 2 倍孔径。测压孔应与管内壁垂直,孔边缘不应有毛刺。

4.5.2.6 若采用压力表,应选择测定的压力值为仪表量程的  $\frac{1}{3} \sim \frac{2}{3}$ 。仪表前应装有三通旋塞阀或脉动阻尼装置。

测量压力大于大气压时,应排尽仪表与测压孔之间接管内的空气,并充满液体;测量压力小于大气压时,接管内允许充气,但不得存有液体。

##### 4.5.3 功率测量

4.5.3.1 泵的输入功率指电动机传动输入轴的功率;当有减速器时应为减速器的输出轴传递的功率。其值应通过泵的转速和扭转力矩得出或由已知效率的电动机输入功率来确定或用传感器等方法。

## 4.5.3.2 天平式测功计

- a. 天平式测功计的重心应位于转轴的轴心线上；
- b. 计量时额定工况的轴功率应在其量程范围的 $\frac{1}{3}$ 以上；
- c. 不灵敏度是以测功计与泵脱离，用电枢旋转时加负荷使天平的称盘平衡位置发生移动时的力矩来表示，当天平力臂长为 0.974 mm 时不灵敏度极限如表 8 所示；当力臂不等于 0.974 mm 时，负荷值成比例地减小或增加；

表 8

测量功率 kW	不同转速下的容许不灵敏度极限 N·m			
	750 (r/min)	1 000 (r/min)	1 500 (r/min)	3 000 (r/min)
20	0.749 7	0.399 8	0.249 9	0.149 9
50	1.199 5	0.599 8	0.399 8	0.249 9
100	2.198 1	1.099 6	0.749 7	0.399 8
200	4.496 2	2.198 1	1.499 4	0.749 7
300	6.995 2	3.746 5	2.398 1	1.499 4
500	10.991 7	5.995 6	3.797 5	2.298 1

- d. 计量扭转力矩时应用精度等级不低于 0.1% 的杠杆式天平或带式天平，测定作用于臂上的力、臂长与杠杆长应按误差不超过 0.1% 计算。

## 4.5.3.3 扭转式测功计

- a. 计量时额定工况的输入功率应在其量程范围的 $\frac{1}{2}$ 以上；
- b. 测定扭转力矩应在扭转轴不承受任何弯矩的情况下进行；
- c. 精度应为 $\pm 0.5\%$ 。

## 4.5.3.4 电功率测功

- a. 计算输出功率时应测量试验用电动机的输入功率及电动机的效率；
- b. 额定工况的值应在仪表量程范围的 20%~95% 内；
- c. 测量电器参数的仪表精度不低于 0.5 级，互感器和分流器的精度不低于 0.2 级。

## 4.5.4 转速测量

- a. 试验设备在达不到额定转速的情况下允许在偏差不得超过 $\pm 5\%$ 的范围内进行试验；
- b. 若限于试验条件，试验转速不符合额定转速，应按第 4.6.1 条的计算公式将试验测得的性能数值换算成额定转速下的值；
- c. 转速可用转速表、闪频测量仪、轴转数自动计数计及测量平均频率观测值和转差率等方法，测量精度符合第 4.3 条规定。

## 4.5.5 温度测量

- a. 应在泵进口前不小于 4 倍管径处测取；
- b. 温度计或温度传感器的测量部分应直接浸入介质或放置薄壁金属圆筒内，介质从筒外流过，筒内用矿物油充满；



c. 温度计的刻度应不大于 1℃。

#### 4.5.6 粘度测量

应按 GB 265 规定或提供试验介质的粘温变化曲线。

### 4.6 试验结果的计算和评定

#### 4.6.1 性能换算

a. 流量:当实测转速和实测介质粘度  $\nu$  与额定值不符时:

额定转速下的流量按式(3)换算:

$$Q_r = \left[ Q + \left( \frac{\nu_r - \nu}{\nu_r} \right) (Q_t - Q) \right] \frac{n_r}{n} \quad \dots\dots\dots (3)$$

b. 输入功率:当实测转速  $n$  和实测介质粘度  $\nu$  与额定粘度  $\nu_r$  不符时:

额定转速下的输入功率按式(4)换算:

$$P_{ar} = \left[ P_a + \left( \frac{\nu_r - \nu}{\nu_0} \right) \right] \frac{n_r}{n} \quad \dots\dots\dots (4)$$

#### 4.6.2 效率计算

a. 容积效率  $\eta_v$  :

$$\eta_v = \frac{Q}{Q_t} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (5)$$

b. 机械效率  $\eta_m$  :

$$\eta_m = \frac{P_0}{P_a} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (6)$$

c. 总效率  $\eta$  :

$$\eta = \frac{P_m}{P_a} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:  $P_m = \frac{Q_t P}{102\rho}$

#### 4.6.3 特性曲线

##### 4.6.3.1 特性曲线应采用下列形式:

a. 性能曲线为:横坐标表示全压力  $p$ ;纵坐标分别表示流量  $Q$ 、输入功率  $P$ 、容积效率  $\eta_v$  和效率  $\eta$ ;

b. 吸入性能曲线为:横坐标表示净吸上高度  $h_t$ ;纵坐标表示流量  $Q$ 。

##### 4.6.3.2 特性曲线应根据在额定工况下的测试值或将测试值按 4.6.1 条有关公式作性能换算后绘制。

#### 附加说明:

本标准由中国船舶工业总公司提出。

本标准由全国船用机械标准化技术委员会归口。

本标准由中国船舶工业总公司上海船舶设备研究所负责起草。

本标准主要起草人李福天。