

前 言

本标准是对 GB/T 12785—1991《潜水电泵试验方法》的修订。

本标准与 GB/T 12785—1991 相比,主要技术内容改变如下:

1. 将原试验等级 B 级和 C 级改为 1 级和 2 级;
2. 增加了井筒式轴流或混流式潜水电泵测压孔的位置规定;
3. 增加了污水污物潜水电泵通过能力试验;
4. 增加了潜水电机转向标志试验;
5. 增加了对铜条转子杂散损耗的确定;
6. 调整了表 1、表 2、表 3 和表 4 中的有关参数值;
7. 修改了流量、扬程和效率的满足规定值的判定方法,废除了原椭圆判定方法,采用容差系数和容差十字线的判定方法。

本标准的附录 A 为提示的附录。

本标准的附录 B 和附录 C 都是标准的附录。

本标准自实施之日起,代替 GB/T 12785—1991。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国农业机械标准化技术委员会归口。

本标准由中国农业机械化科学研究院,江苏理工大学排灌机械研究所负责起草。

本标准主要起草人:赵朝光、王洋。

中华人民共和国国家标准

潜水电泵 试验方法

GB/T 12785—2002

Test methods for submersible motor-pumps

代替 GB/T 12785—1991

1 范围

本标准规定了潜水电泵的试验方法。

本标准包括了两种测量精度等级:1级适用于较高精度的试验,2级适用于较低精度的试验,两种测量精度等级包含了不同的容差系数值、容许波动值和测量误差限。

本标准适用于电源电压 660 V 及以下,频率 50 Hz 和 60 Hz 的各类潜水电泵(以下简称电泵),包括各类潜水电机和潜水泵的试验。额定电压 660 V 以上的潜水电泵的试验可参照本标准规定的方法进行。

2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 1032—1985 三相异步电动机试验方法

GB 1971—1980 电机线端标志与旋转方向

GB/T 3214—1991 水泵流量的测定方法

GB/T 3216—1989 离心泵、混流泵、轴流泵和旋涡泵试验方法(eqv ISO 2548:1973)

GB/T 9651—1988 单相异步电动机试验方法

GB/T 10068—2000 轴中心高为 56 mm 及以上电机的机械振动 振动的测量、评定及限值
(idt IEC 60034-14:1996)

GB/T 10069.1—1988 旋转电机噪声测定方法及限值 噪声工程测定方法
(neq ISO 1680-1:1986)

GB/T 10069.2—1988 旋转电机噪声测定方法及限值 噪声简易测定方法
(neq ISO 1680-2:1986)

GB/T 10069.3—1988 旋转电机噪声测定方法及限值 噪声限值(neq IEC 34-9)

JB/Z 294—1981 交流低压电机散嵌绕组匝间绝缘试验方法

3 试验

3.1 试验内容

潜水电泵的试验分型式试验和出厂试验(检查试验)两种,其试验项目按有关产品标准的规定。

3.2 试验装置及仪表

3.2.1 试验设备应包括水循环系统、电气控制系统及参数测量系统。

3.2.2 水循环系统采用开敞式,如图 1 所示。应保证通过测量截面的液流具有如下特性:

a) 轴对称的速度分布;

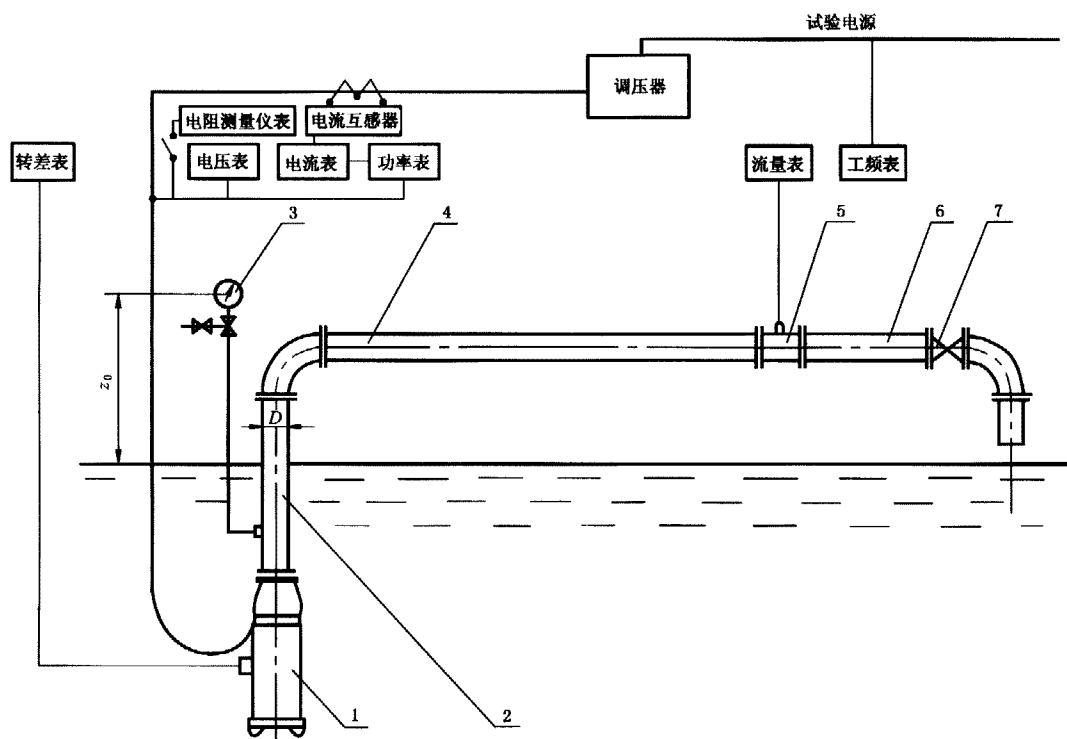
b) 等静压分布；

c) 无装置引起的旋涡。

对于 2 级试验,以上条件是参考条件。

试验管路应符合如下要求:

连接泵出口直管段应与泵出口法兰端面垂直,管径与泵出口应相等。其长度应不少于 4D。取压孔的位置、设置形式及制造要求应符合 GB/T 3216 规定。在管路中设置流量测量装置时,其前后直管段长度应符合各种测量装置使用的具体规定。



1—潜水电泵;2—泵出口测压管段;3—压力表;4—流量计前直管段;
5—流量计;6—流量计后直管段;7—流量调节阀

图 1 试验装置示意图

3.2.3 凡用于测量的仪器仪表均应有检定证书或报告,并应按规定定期检定。

3.2.4 各类测量仪表的测量精度应满足表 1 对各测量参数系统误差的规定。对仪表的精度要求如下:

a) 电流表、电压表及单相瓦特表(包括低功率因数瓦特表)的精度应不低于 0.5 级;兆欧表允许使用 1.0 级;三相瓦特表的精度应不低于 1.0 级;互感器的精度应不低于 0.2 级;电桥的精度应不低于 0.2 级;

b) 使用电量变送器时,其精度应不低于 $\pm 0.5\%$ (出厂试验应不低于 $\pm 1\%$);

c) 数字式转速测量仪(包括十进频率仪)及转差测量仪的精度应不低于 $\pm 0.1\%$;

d) 转矩测量仪和测力计的精度不低于 1.0 级;

e) 温度计的误差在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内;

f) 涡轮流量变送器的精度不低于 1.0 级,其他流量测量仪表应符合 GB/T 3214;

g) 弹簧压力计精度不低于 0.4 级,也可使用精度相当的压力传感器或其他仪表。

凡是经过校准或通过与有关国家标准比较,证明对电泵有关参数测量的系统误差不超过表 1 规定范围的其他测试设备和方法均可使用。

表 1 测定量的允许系统误差

测 定 值	允许范围/%	
	1 级	2 级
流 量	±1.5	±2.5
扬程 轴功率	±1.0	
电动机输入功率		±2.0
转 速	±0.35	±1.4

3.2.5 选择指针式电气测量仪表时,应使测量值位于仪表量程的 20%~95%之内。用两瓦特表法测量三相功率时,应使被测的电压及电流值分别不低于瓦特表电压量程及电流量程的 20%。

若采用弹簧压力计时,应按泵的规定扬程选择合适的量程,其指针的指示值应在压力计量程的 1/3 以上。

弹簧压力计的读数应读到所测扬程的 1/100,并应在仪表和取压孔的连接管内完全充满水后再读仪表示值。

3.2.6 采用电流互感器时,接入副边回路的仪表总阻抗(包括连接导线)应不超过其额定阻抗值。容量在 750 W 及以下的三相电动机,除堵转试验外,不允许使用电流互感器。

3.2.7 采用自动测试系统时,仪器仪表及数据采集和数据处理装置的系统误差应不超过表 1 的规定。

3.3 试验条件

3.3.1 试验用液体应符合 GB/T 3216 的规定。

3.3.2 试验用电源应符合 GB/T 1032 的规定。

3.3.3 试验电泵引出电缆长度按有关产品标准的规定。

3.3.4 试验一般应在电泵淹没于水中的条件下进行。淹没深度应保证试验过程中泵不致产生汽蚀。

3.3.5 运转稳定性

3.3.5.1 本标准中“波动”和“变化”的定义如下:

波动:在一次读数的时间内,读数相对于平均值的短周期变动。

变化:同一量相邻两次读数间的数值改变。

3.3.5.2 电泵主要参数的最大波动幅度及同一参数多次重复读数的变化值达到表 2 和表 3 的规定时,系统处于稳定运转,否则为不稳定运转。

表 2 最大允许波动幅度

测 定 量	最大允许波动幅度/%	
	1 级	2 级
流量	±3	±6
扬程		
转矩		
功率		
转速	±1	±2
注:当使用差压计测流量时,观测液柱差的最大允许波动幅度 1 级为±6%;2 级为±12%。		

3.3.5.3 系统稳定运转时,每一工况点可只记录一组读数。

3.3.5.4 系统处于不稳定运转时,对参数的波动幅度超出允许范围造成的不稳定,可设置稳流栅、阻尼器、稳压器等稳定装置和采取其他减小波动幅度的措施,使之达到稳定。对参数的变化超出表 3 规定范

围的不稳定,应查找原因改进试验条件,达到表 3 规定后,再重新取数,原有读数应成组作废。

表 3 同一量多次重复测量的变化

重复读数组数	每一量多次重复测量的最大值与最小值间的最大偏差 $\delta/\%$			
	流量 扬程 转矩 功率		转速	
	1 级	2 级	1 级	2 级
3	0.8	1.8	0.3	0.6
5	1.6	3.5	0.5	1.0
7	2.2	4.5	0.7	1.4
9	2.8	5.8	0.8	1.6
13	2.9	5.9	0.9	1.8
>20	3.0	6.0	1.0	2.0
注:最大值与最小值之间的百分数偏差按下式计算: $\delta = \frac{\text{最大值} - \text{最小值}}{\text{最大值}} \times 100\%$				

在按表 3 要求进行试验点的重复读数时,应在调节阀门和水位完全保持不变、电压稳定在额定电压的条件下进行。若通过调整仍不能达到表 3 的规定时,应降低试验精度等级,并以每一量的重复读数的算术平均值作为该量的实际试验值。

3.4 测量精度

测量精度取决于测量误差范围的大小。测量误差是指使用测试设备和仪器直接测得的量以及由这些量间接算出的量偏离实际值的程度,其误差范围表示所测得的性能与实际性能之间的最大可能的差异。误差范围越小,则测量精度越高。详细的误差分析和估算方法见附录 A(提示的附录)。

只要满足本标准中关于装置和仪器的有关条件,并采用本标准所述的试验方法,对应于各测量精度等级的试验总误差限将不大于表 4 中给出的数值。

表 4 最大总误差限

测 定 量	允许最大总误差限/%	
	1 级	2 级
流量	± 2.0	± 3.5
扬程 电机输入功率	± 1.5	
泵输入功率(由电机输入功率和电机效率算出)	± 2.0	± 4.0
转速	± 0.5	± 2.0
泵效率	± 3.2	± 6.4
电泵效率	± 2.9	± 6.1

4 参数的测量

4.1 测量时各仪表读数尤其是流量、扬程和输入功率的读数应在同一时刻读取。

4.2 流量的测量

流量测量采用 GB/T 3214 中规定的测量仪表及方法。

4.3 扬程的测量

水泵试验时泵的扬程应为出口压力水头、取压孔处液流速度水头及压力表中心距水池面高度的总和,按公式(43)计算。

测压孔距泵出口法兰 2 倍管径距离;井筒式潜水轴流或混流水泵的取压孔应设在井筒直管段,与水泵出口法兰的距离 L 按公式(1)确定。测压孔的个数、形式及匀压环按照 GB/T 3216 的规定执行。

$$L = 2(D_j - D_a) \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中: L ——测压孔至泵出口法兰的距离,mm;

D_j ——井筒直径,mm;

D_a ——潜水电机直径,mm。

测压孔至泵出口法兰距离的摩阻损失的修正方法及修正值的计算按 GB/T 3216 规定执行。

4.4 电量的测量

4.4.1 三相电动机应同时测量三相电流,取其平均值作为电流测量值;三相功率应采用两瓦特表法或三瓦特表法测量。

4.4.2 测量电压和电阻时,应从电动机引出电缆端测量。对 750 W 及以下的电动机,除堵转试验外,测量时应将电压表接至电动机引出电缆端,将电压调节到所需数值,读取此时的电压值。然后,将电压表迅速换至电源端并保持电源电压不变,再读取其他仪表的数值。空载试验时额定电压下、负载试验时额定负载下,当电源端电压与电动机端电压之差小于电动机端电压的 1% 时,电压表可固定在电源端进行测量。在测量三相电压时,应取三相读数平均值作为测量值。

4.4.3 绕组的直流电阻用电桥测量,电阻在 $1\ \Omega$ 及以下时,必须采用双臂电桥测量。

4.4.4 当采用自动检测装置或数字微欧计等仪表测量绕组电阻时,通过被测绕组的试验电流应不超过其正常运行时电流的 10%,通电时间不应超过 1 min。

4.4.5 如需获得更准确的功率测量值,可按 GB/T 1032—1985 中附录 A 进行修正。

4.5 转差或转速的测量

4.5.1 转差或转速的测量优先采用感应线圈法,也可使用其他方法,但所使用的转速传感元件不得使用功率消耗有明显的增加或影响泵的进口吸入条件。

4.5.2 感应线圈法是将一只带铁芯的多匝线圈密封后紧贴在被试电动机机壳的上部或下部。线圈与磁电式检流计或阴极示波器或数字转差仪相连。试验时测定检流计光点摆动或示波器波形全摆动次数及所需的时间以及电源频率。

5 试验前的准备

试验前,应检查水泵的装配质量、试验装置及设备,以保证各项试验能顺利进行。

6 绝缘电阻的测定

用兆欧表测量所有绕组对机壳的冷态绝缘电阻,测量后应将绕组对地放电。

对额定电压 500 V 以下的电动机用 500 V 兆欧表,额定电压 500 V 及以上的电动机用 1 000 V 兆欧表。

7 电动机绕组冷态直流电阻的测定

7.1 测量时电动机内部温度应与周围介质温度一致,电动机转子应静止不动。定子绕组的电阻应在电动机引出电缆端上测量。型式试验时电动机应潜入水中。

7.2 每一线间电阻应测量三次,每次读数与三次读数的平均值之差应在平均值的 $\pm 0.5\%$ 之内,以平均值作为电阻的实际值。

检查试验时,每一电阻可仅测量一次。

7.3 对单相电动机应分别测量主、副绕组的电阻。

7.4 对三相电动机,各相电阻值应按公式(2)~公式(8)计算:

$$R_{\text{med}} = \frac{R_{\text{ab}} + R_{\text{bc}} + R_{\text{ca}}}{2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

星形接法时:

$$R_{\text{a}} = R_{\text{med}} - R_{\text{bc}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$R_{\text{b}} = R_{\text{med}} - R_{\text{ca}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$R_{\text{c}} = R_{\text{med}} - R_{\text{ab}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

三角形接法时:

$$R_{\text{a}} = \frac{R_{\text{bc}} \cdot R_{\text{ca}}}{R_{\text{med}} - R_{\text{ab}}} + R_{\text{ab}} - R_{\text{med}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$R_{\text{b}} = \frac{R_{\text{ca}} \cdot R_{\text{ab}}}{R_{\text{med}} - R_{\text{bc}}} + R_{\text{bc}} - R_{\text{med}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$R_{\text{c}} = \frac{R_{\text{ab}} \cdot R_{\text{bc}}}{R_{\text{med}} - R_{\text{ca}}} + R_{\text{ca}} - R_{\text{med}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中: R_{ab} ——引出电缆端 A 与 B 间测得的电阻值, Ω ;

R_{bc} ——引出电缆端 B 与 C 间测得的电阻值, Ω ;

R_{ca} ——引出电缆端 C 与 A 间测得的电阻值, Ω 。

如果各线间的电阻值与三个线间电阻的平均值之差,对星形接法绕组不大于平均值的 2%;对三角形接法绕组不大于平均值的 1.5%时,则各相电阻值可按公式(9)、公式(10)计算:

$$\text{星形接法时:} \quad R = \frac{1}{2} R_{\text{av}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\text{三角形接法时:} \quad R = \frac{3}{2} R_{\text{av}} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中: R_{av} ——三个线间电阻平均值, Ω 。

8 电动机的空载试验

8.1 空载电流和空载损耗的测定

8.1.1 试验时电动机的转向应与电泵转向一致。

8.1.2 型式试验时,电动机不带负载潜入水中(水面应淹过机械密封面或电动机轴伸端),对单相电容运转电动机型式试验时应在起动后将副绕组开路,在额定电压、额定频率下运转 0.5~1 h,使机械耗达到稳定,即输入功率相隔 15 min 的两个读数之差不大于前一个读数的 3%时,即可开始试验。

8.1.3 试验时施于定子绕组上的电压从 1.1~1.3 倍额定电压开始,逐步降低到可能达到的最低电压值,即电流开始回升为止。其间测取 7~11 点读数。每点应取下列数值:电压、电流(对三相电动机应取三相电压、三相电流)、输入功率。功率的测量应采用低功率因数瓦特表。

8.1.4 试验结束应立即在引出电缆端测量定子绕组的直流电阻。

8.1.5 单相电动机转子等值电阻的测量

对单相电动机当空载试验结束测量定子主绕组电阻后,在转子静止的状态下,主绕组施以低值电压,使绕组流过的电流接近额定值,测得此时的电流 I'_k 及输入功率 P'_k ,转子绕组等值电阻 R'_{20} 按公式(11)计算:

$$R'_{20} = \frac{P'_k}{(I'_k)^2} - R_{m0} \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中: R'_{20} ——试验测得的转子绕组等值电阻, Ω ;

R_{m0} ——空载试验后测得的定子主绕组电阻, Ω 。

8.1.6 对电容运转单相电动机, 应测定主、副绕组的有效匝数比 K 。此时应将电动机空载运转, 并将副绕组开路, 对主绕组施加额定电压 U_m , 并测量副绕组感应电动势 E_a , 然后将电压 U_a ($U_a \geq 118\% E_a$) 施于副绕组上, 主绕组开路, 电动机空载运转, 测量主绕组的感应电动势 E_m , 其 K 可按公式(12)计算:

$$K = \left(\frac{U_a \times E_a}{E_m \times U_m} \right)^{1/2} \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中: K ——主、副绕组的有效匝数比;

U_m ——施加于主绕组的额定电压, V;

U_a ——施加于副绕组的电压, V;

E_m ——测得的主绕组感应电动势, V;

E_a ——测得的副绕组感应电动势, V。

8.2 试验结果的计算

8.2.1 空载损耗的计算

a) 三相电动机定子绕组 I^2R 损耗 P_{ocu1} 按公式(13)计算:

$$P_{ocu1} = 3I_0^2 R_{10} \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中: P_{ocu1} ——空载试验时定子绕组的 I^2R 损耗, W;

I_0 ——定子相电流, A;

R_{10} ——空载试验后定子绕组的相电阻, Ω 。

b) 单相电动机定、转子绕组的 I^2R 损耗 P_{ocu1} 按公式(14)计算:

$$P_{ocu1} = I_0^2 (R_{10} + 0.5R'_{20}) \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中: P_{ocu1} ——定子主绕组和转子绕组 I^2R 损耗, W;

I_0 ——空载试验时定子主绕组电流, A。

c) 铁耗 P_{Fe} 和机械耗 P_{fw} 之和 P'_0 按公式(15)计算:

$$P'_0 = P_0 - P_{ocu1} \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中: P'_0 ——铁耗和机械耗之和, W;

P_0 ——空载试验时电动机输入功率, W。

8.2.2 绘制空载特性曲线 $P_0 = f\left(\frac{U_0}{U_N}\right)$ 、 $P'_0 = f\left[\left(\frac{U_0}{U_N}\right)^2\right]$ 、 $I_0 = f\left(\frac{U_0}{U_N}\right)$ (图2), 分离铁耗 P_{Fe} (W) 和机械耗 P_{fw} (W)。

作曲线 $P'_0 = f\left[\left(\frac{U_0}{U_N}\right)^2\right]$, 延长曲线的直线部分与纵坐标轴交于 P 点, P 点的纵坐标即为电动机的机械耗。

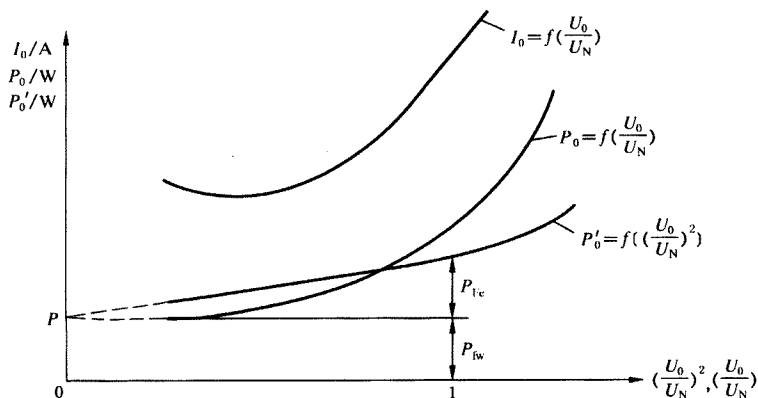


图2 空载特性曲线

9 电动机的温升试验

9.1 测量方法

9.1.1 采用电阻法测取定子绕组的温度。试验时绕组冷、热态电阻必须在相同的电缆引出线端测量。

9.1.2 电泵潜入水中,在额定频率、额定电压和电动机的额定功率(或标牌电流)下按照不同结构型式和功率分别运行 1.5~4 h,直至电动机达到热稳定为止。每隔 15 min 记录下电压、电流和输入功率,待所测数据稳定后可停机测量。

9.1.3 停机并开始计时,连续测定一段时间间隔 t_1, t_2, \dots, t_n 时相应的电阻值,直至电阻变化缓慢为止。测得第一点电阻值的时间应尽可能短,一般不超过 20 s。

9.1.4 采用半对数坐标绘出电阻 R 随时间 t 变化的曲线(图 3)。电阻标在对数坐标轴上,曲线外延与坐标相交,其交点即为断电瞬间电阻值 R_t 。如停机后电阻值连续上升,则应取测得的电阻最大值作为断电瞬间的电阻值。

9.1.5 电动机断电后如能在 15 s 内测得第一点读数,则以该值计算温升,而不需外推至断电瞬间,否则应按 9.1.3 和 9.1.4 内容进行测量。

9.1.6 对各机座号的大功率并用潜水电动机,允许模拟现场条件测试。

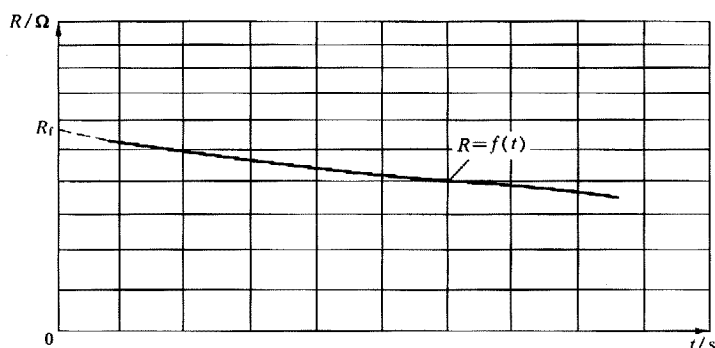


图 3 电机温升曲线

9.2 试验结果的计算

9.2.1 电动机定子绕组的温升按公式(16)计算:

$$\Delta\theta = \frac{R_t - R_0}{R_0} (K_a + \theta_0) + \theta_0 - \theta_t \quad \dots\dots\dots (16)$$

式中: $\Delta\theta$ ——试验时电动机定子绕组的温升, K;

R_t ——试验结束时的绕组电阻, Ω ;

R_0 ——试验开始时绕组的冷态电阻, Ω ;

K_a ——常数,对铜绕组 $K_a = 235$;对铝绕组 $K_a = 225$ (特殊规定除外);

θ_0 ——试验开始时绕组的温度(即为开始试验时电泵周围的水温), $^{\circ}\text{C}$;

θ_t ——试验结束时电泵周围(0.5 m 以内)的水温, $^{\circ}\text{C}$ 。

9.2.2 额定功率时绕组温升 $\Delta\theta_N$ 按公式(17)、公式(18)换算:

当 $\frac{I_t - I_N}{I_N}$ 在 $\pm(5 \sim 10)\%$ 之内时:

$$\Delta\theta_N = \Delta\theta \left(\frac{I_N}{I_t} \right)^2 + \left[1 + \frac{\Delta\theta \left(\frac{I_N}{I_t} \right)^2 - \Delta\theta}{K_a + \Delta\theta + \theta_t} \right] \quad \dots\dots\dots (17)$$

当 $\frac{I_t - I_N}{I_N}$ 在 $\pm 5\%$ 之内时:

$$\Delta\theta_N = \Delta\theta \left(\frac{I_N}{I_t} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中: $\Delta\theta_N$ ——额定功率时定子绕组的温升, K;

I_N ——满载电流, 即额定功率时的电流, 从电动机工作特性曲线上求得, A;

I_t ——温升试验时的电流, 取在整个试验过程的最后 1/4 时间内按相等时间间隔测得的几个电流的平均值, A;

$\Delta\theta$ ——对应于 I_t 时的定子绕组温升, K。

10 电动机的负载试验和水泵的性能试验

10.1 电动机的效率值按额定电压负载法间接测定或采用直接测定法测取。采用直接测定法时, 其试验方法和所用设备参照 GB/T 1032 执行。

10.2 杂散损耗 P_s 的测量方法按 GB/T 1032。

注: 当试验条件不具备时, 杂散损耗暂按下列各数取值: 小型潜水电动机 P_s 为 $2.5\% P_2$ (P_2 ——输出功率); 井用潜水电动机(铸铝转子): 滑动轴承结构 P_s 为 $2\% P_2$, 滚动轴承结构 P_s 为 $2.5\% P_2$; 铜条转子潜水电动机杂散损耗 P_s 的确定按相关产品标准规定执行。

10.3 工作特性曲线的测定

10.3.1 电泵在额定电压和额定流量下运转 1~2 h, 使电泵达到稳定状态。试验应从功率最小点开始, 对离心泵一般从零流量开始, 逐步增大至大流量点流量的 115% 以上。对混流泵、轴流泵或旋涡泵, 应从阀门全开状态开始, 逐步减少至小流量点流量的 85% 以下, 其间应取至少 13 个不同的流量点, 测点应均匀地分布在整性能曲线上。对离心泵和旋涡泵应在 13 点以上; 对混流泵和轴流泵应在 15 点以上。每点测量时应有一定的时间间隔以保证该工况点达到稳定状态。工况稳定的判别按表 2、表 3 要求进行。每个工况点应在额定电压下同时测量下列性能参数:

对于三相电泵: 读取三相电流、输入功率、电源频率、转差、扬程和流量值。

对于单相电泵:

a) 分相起动和电容起动电动机读取输入功率、定子主绕组电流、电源频率、转差、扬程和流量值;

b) 电容运转和电容起动并运转电动机读取输入功率, 绕组总电流, 定子主、副绕组电流, 电源频率, 转差, 扬程和流量值。

10.3.2 试验结束应立即在引出电缆端测量定子绕组的热态直流电阻。对电容运转和电容起动并运转的单相电泵应分别读取定子主、副绕组的热态直流电阻, 并测定在电容器端电压接近额定工作电压时电容器电流 I_c (A) 和用低功率因数瓦特表测量电容器的损耗功率 W_c (W)。

10.3.3 对三相电泵, 如试验的最大电流值未达到电动机的额定电流时, 应在测定电阻后立即逆转水泵, 使试验电流达到额定电流或额定电流的 1.25 倍之间再测量 2~3 点。对采取逆转仍不能达到额定电流值的电泵以及不能逆转的电泵, 应另配负载, 如另配水泵或采用电动机对拖的方法等另做电动机负载试验。

10.4 试验结果的计算

10.4.1 三相电动机特性计算

a) 机械耗 P_{fw} 和额定电压时的铁耗 P_{Fe} 由空载试验求得;

b) 定子绕组 $I^2 R$ 损耗 P_{cu1} 按公式(19)、公式(20)计算:

$$P_{cu1} = 3I_1^2 R_{lref} \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$R_{lref} = R \frac{K_a + \theta_{ref}}{K_a + \theta_0} \quad \dots\dots\dots (20)$$

式中: I_1 ——定子相电流, A;

R_{lref} ——折算到基准工作温度时定子绕组的相电阻, Ω ;

R ——实际冷态时定子绕组的电阻三相平均值, Ω ;

θ_{ref} ——基准工作温度, $^{\circ}\text{C}$; 各类电机的基准工作温度值见表 5。

表 5 电动机的基准工作温度

电动机类型		绝缘材料或绝缘等级	基准工作温度/ $^{\circ}\text{C}$
小型潜水电泵	充水式	聚乙烯、聚氯乙烯	60
	充油式 干式	E、B 级	75
井用潜水电机	充水式	聚乙烯、聚氯乙烯和交联聚乙烯	50
	充油式	E、B 级	75
	屏蔽式	F、H 级	115

c) 折算至基准工作温度时电动机的转差率 S_{ref} 按公式(21)计算:

$$S_{\text{ref}} = S_t \frac{K_a + \theta_{\text{ref}}}{K_a + \Delta\theta + \theta_t} \quad \dots\dots\dots (21)$$

式中: S_{ref} ——折算至基准工作温度时电动机的转差率, %;

S_t ——实测转差率, %。

采用感应线圈法时按公式(22)计算:

$$S_t = \frac{N}{t \cdot f_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (22)$$

式中: N ——检流计光点摆动或示波器波形全摆动的次数, 次;

t ——摆动 N 次需要的时间, s;

f_1 ——电源频率实测值, Hz。

d) 转子绕组的 I^2R 损耗 $P_{\text{cu}2}$ 按公式(23)计算:

$$P_{\text{cu}2} = S_{\text{ref}}(P_1 - P_{\text{cu}1} - P_{\text{Fe}}) \quad \dots\dots\dots (23)$$

e) 输出功率 P_2 按公式(24)计算:

$$\begin{aligned} P_2 &= P_1 - \Sigma P \\ &= P_1 - (P_{\text{Fe}} + P_{\text{fw}} + P_{\text{cu}1} + P_{\text{cu}2} + P_s) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (24)$$

式中: P_1 ——电动机输入功率, W。

f) 电动机效率 η_m 按公式(25)计算:

$$\eta_m = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (25)$$

g) 功率因数 $\cos\phi$ 按公式(26)计算:

$$\cos\phi = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_1 I_1} \quad \dots\dots\dots (26)$$

式中: U_1 ——线电压, V;

I_1 ——定子线电流, A。

10.4.2 单相电动机特性计算

a) 额定电压时的铁耗 P_{Fe} 和机械耗 P_{fw} , 由空载试验求得:

b) 定子绕组 I^2R 损耗 $P_{\text{cu}1}$ 按公式(27)~公式(32)计算:

分相起动和电容起动的电动机:

$$P_{\text{cu}1} = I_1^2 \cdot R_{\text{mref}} \quad \dots\dots\dots (27)$$

$$R_{\text{mref}} = R_{\text{m}0} \frac{K_a + \theta_{\text{ref}}}{K_a + \theta_0} \quad \dots\dots\dots (28)$$

式中: $P_{\text{cu}1}$ ——定子绕组 I^2R 损耗, W;

I_1 ——定子绕组电流, A;

R_{mref} ——折算到基准工作温度时定子主绕组的电阻, Ω ;

R_{m0} ——实际冷态时定子主绕组的电阻, Ω 。

电容运转和电容起动并运转的电动机:

$$P_{cu1} = I_m^2 \cdot R_{mref} + I_a^2 \cdot (R_{aref} + R_c) \quad \dots\dots\dots (29)$$

$$R_{mref} = R_{m0} \frac{K_a + \theta_{ref}}{K_a + \theta_0} \quad \dots\dots\dots (30)$$

$$R_{aref} = R_{a0} \frac{K_a + \theta_{ref}}{K_a + \theta_0} \quad \dots\dots\dots (31)$$

$$R_c = \frac{W_c}{I_c^2} \quad \dots\dots\dots (32)$$

式中: I_m ——主绕组电流, A;

I_a ——副绕组电流, A;

R_{aref} ——折算到基准工作温度时副绕组的电阻, Ω ;

R_{a0} ——实际冷态时定子副绕组的电阻, Ω ;

R_c ——电容器等效电阻, Ω 。

c) 转差率 S_{ref} 的计算同 10.4.1 中的 c) 项。

d) 转子绕组 I^2R 损耗 P_{cu2} 按公式(33)~公式(36)计算:

分相起动和电容起动的电动机:

$$P_{cu2} = S_{ref} \cdot (P_1 - P_{cu1} - P_{Fe}) + I_1^2 R_2' \cdot \left(\frac{K_a + \theta_{ref}}{K_a + \Delta\theta + \theta_t} \cdot \frac{1 - S_t}{2 - S_t} \right) \quad \dots\dots\dots (33)$$

电容运转和电容起动并运转的单相电动机:

$$\begin{aligned} P_{cu2} = & S_{ref} \cdot (P_1 - P_{cu1} - P_{Fe}) \\ & + [I_m^2 + (K \cdot I_a)^2 - 2K \cdot I_a \cdot I_m \cdot \sin\phi] \cdot R_2' \cdot \\ & \left(\frac{K_a + \theta_{ref}}{K_a + \Delta\theta + \theta_t} \cdot \frac{1 - S_t}{2 - S_t} \right) \quad \dots\dots\dots (34) \end{aligned}$$

$$\phi = \arccos \frac{I_1^2 - (I_m^2 + I_a^2)}{2I_m \cdot I_a} \quad \dots\dots\dots (35)$$

式中: ϕ ——电容运转电动机主、副绕组电流间的相角差, ($^\circ$), $0^\circ < \phi < 180^\circ$;

P_{cu2} ——转子绕组 I^2R 损耗, W;

I_1 ——定子绕组总电流, A;

R_2' ——负载试验时转子绕组等值电阻, Ω 。

$$R_2' = \frac{R_m}{R_{10}} \cdot R_{20}' \quad \dots\dots\dots (36)$$

式中: R_m ——负载试验后测得的定子主绕组电阻, Ω ;

e) 输出功率 P_2 按公式(37)计算:

$$P_2 = P_1 - \Sigma P = P_1 - (P_{Fe} + P_{fw} + P_{cu1} + P_{cu2} + P_s) \quad \dots\dots\dots (37)$$

式中: P_2 ——电动机输出功率, W;

f) 电动机效率 η_m 按公式(38)计算:

$$\eta_m = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (38)$$

式中: η_m ——电动机效率, %。

g) 功率因数 $\cos\phi$ 按公式(39)计算:

$$\cos\phi = \frac{P_1}{U_1 \cdot I_1} \quad \dots\dots\dots (39)$$

10.4.3 绘制电动机工作特性曲线 $\eta_m = f(P_2)$, $\cos\phi = f(P_2)$, $I_1 = f(P_2)$, $S_{\text{ref}} = f(P_2)$, $P_1 = f(P_2)$ (图4)。

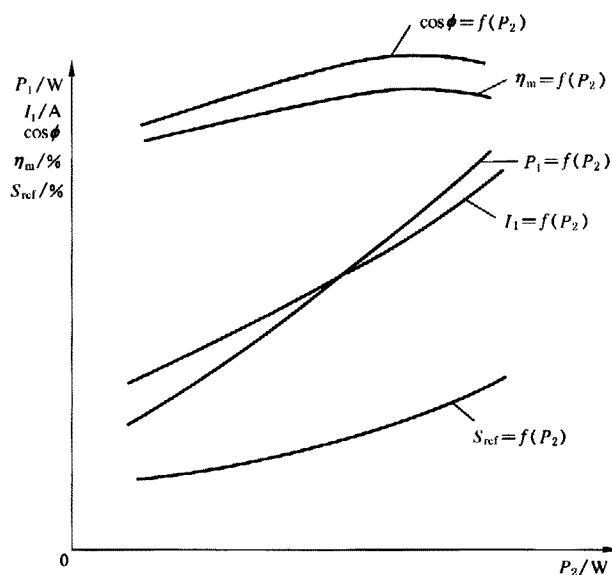


图4 电动机工作曲线

10.4.4 水泵性能计算

a) 流量:采用涡轮流量变送器时流量按公式(40)、公式(41)或公式(42)计算,其他测量方法按GB/T 3214计算:

$$Q' = \frac{f}{\xi} \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots (40)$$

式中: Q' ——流量, m^3/s ;

f ——涡轮流量变送器信号频率, l/s ;

ξ ——涡轮流量变送器仪表常数, l/L ;

或

$$Q' = \frac{f}{\xi} \times 3.6 \quad \dots\dots\dots (41)$$

式中: Q' ——流量, m^3/h ;

或

$$Q' = \frac{f}{\xi} \quad \dots\dots\dots (42)$$

式中: Q' ——流量, L/s ;

b) 扬程 H 按公式(43)计算:

$$H' = \frac{P_c}{\rho g} + Z_0 + \frac{v^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (43)$$

式中: P_c ——表压力, Pa ;

ρ ——水的密度, kg/m^3 ;

g ——自由落体加速度, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$;

Z_0 ——水池水面至压力表中心高, m ;

v ——在测压孔处输水管内水的平均流速, $v = \frac{Q'}{A}$, m/s;

A ——在测压孔处输水管截面积, m²;

H' ——扬程, m。

c) 电动机实际输出轴功率 P'_2 按公式(44)计算:

$$P'_2 = P_1 - (P'_{cu1} + P'_{cu2} + P_{Fe} + P_{fw} + P_s) \quad \dots\dots\dots (44)$$

(1) 电动机定子实际 $I_1^2 R$ 损耗 P'_{cu1} 按公式(45)~公式(47)计算:

三相电动机:

$$P'_{cu1} = 3I_1^2 \cdot R_1 \quad \dots\dots\dots (45)$$

式中: P'_{cu1} ——试验时电动机定子实际 $I^2 R$ 损耗, W。

R_1 ——负载试验结束后立即测得的定子绕组的热态相电阻, Ω 。

分相起动和电容起动的单相电动机:

$$P'_{cu1} = I_1^2 \cdot R_m \quad \dots\dots\dots (46)$$

式中: R_m ——负载试验结束后立即测得的定子主绕组的热态直流电阻, Ω 。

电容运转和电容起动并运转的单相电动机:

$$P'_{cu1} = I_m^2 \cdot R_m + I_s^2 \cdot (R_s + R_c) \quad \dots\dots\dots (47)$$

式中: R_s ——负载试验结束后立即测得的定子副绕组的热态直流电阻, Ω 。

(2) 电动机转子实际 $I^2 R$ 损耗 P'_{cu2} 按公式(48)~公式(50)计算:

三相电动机:

$$P'_{cu2} = S_t(P_1 - P_{Fe} - P'_{cu1}) \quad \dots\dots\dots (48)$$

分相起动和电容起动的单相电动机:

$$P'_{cu2} = S_t(P_1 - P_{Fe} - P'_{cu1}) + I_1^2 \cdot R'_2 \cdot \frac{1 - S_t}{2 - S_t} \quad \dots\dots\dots (49)$$

电容运转和电容起动并运转的单相电动机:

$$P'_{cu2} = S_t(P_1 - P_{Fe} - P'_{cu1}) + [I_m^2 + (K \cdot I_a)^2 - 2K \cdot I_a \cdot I_m \cdot \sin\phi] \cdot R'_2 \cdot \frac{1 - S_t}{2 - S_t} \quad \dots\dots\dots (50)$$

d) 电泵的实际转速 n , 采用感应线圈法时按公式(51)计算:

$$n = \frac{60}{p} \cdot \left(f_1 - \frac{N}{t} \right) \quad \dots\dots\dots (51)$$

式中: n ——电动机的实际转速, r/min;

p ——电动机极对数, 二级电动机 $p=1$, 四级电动机 $p=2$ 。

e) 泵效率 η_p 及电泵效率 η_{gr} 按公式(52)和(53)、(54)和(55)或(56)和(57)计算:

$$\eta_p = \frac{\rho g Q' H'}{1\,000 P'_2} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (52)$$

$$\eta_{gr} = \frac{\rho g Q' H'}{1\,000 P_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (53)$$

式中: η_p ——泵效率, %;

η_{gr} ——电泵效率, %;

Q' ——流量, m³/s。

或

$$\eta_p = \frac{\rho g Q' H'}{3.6 P'_2} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (54)$$

$$\eta_{gr} = \frac{\rho g Q' H'}{3.6 P_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (55)$$

式中: Q' ——流量, m^3/h 。

或

$$\eta_p = \frac{\rho g Q' H'}{P'_2} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (56)$$

$$\eta_{gr} = \frac{\rho g Q' H'}{P_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (57)$$

式中: Q' ——流量, L/s 。

11 试验结果的判定

11.1 试验结果换算为以规定转速为基准的数据

在与规定转速 n_{sp} 相偏离的转速 n 下得到的流量 Q' 、扬程 H' 和轴功率 P_{2p} 均应按公式(58)~公式(63)换算为以规定转速 n_{sp} 为基准的数据:

$$Q = Q' \left(\frac{n_{sp}}{n} \right) \quad \dots\dots\dots (58)$$

$$H = H' \left(\frac{n_{sp}}{n} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (59)$$

$$P_{2p} = P'_2 \left(\frac{n_{sp}}{n} \right)^3 \quad \dots\dots\dots (60)$$

$$\eta_p = \eta_p \quad \dots\dots\dots (61)$$

或

$$P_1 = P'_1 \left(\frac{n_{sp}}{n} \right)^3 \quad \dots\dots\dots (62)$$

$$\eta_{gr} = \eta_{gr} \quad \dots\dots\dots (63)$$

11.2 绘制性能曲线

按照 11.1 将测量结果换算到以规定转速为基准的数据, 然后绘制它们对流量 Q 的关系曲线: $H(Q)$ 、 $P_{2p}(Q)$ 、 $\eta_p(Q)$ 。与各测量点拟合最佳的曲线代表泵的性能曲线(图 5)。

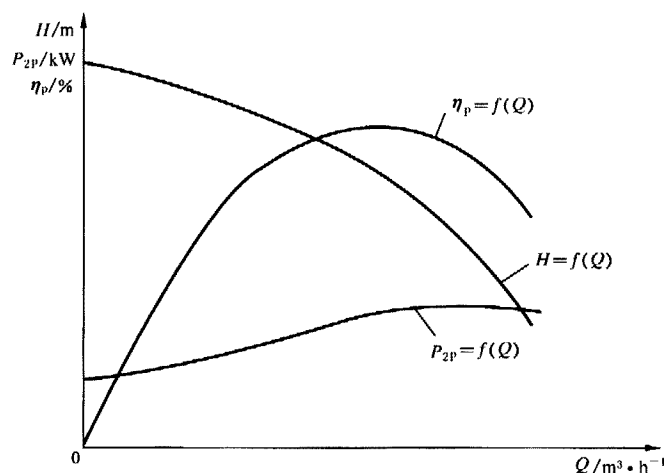


图 5 水泵性能曲线

11.3 容差系数值

泵的规定性能点 Q_{sp} 、 H_{sp} 和 η_{sp} 的容差系数分别为 t_Q 、 t_H 和 t_η , 根据试验精度等级按照表 6 的规定确定容差系数数值。

表 6 容差系数值

参 数	符 号	1 级 / %	2 级 / %
流量	t_Q	± 3.5	± 8.0
扬程	t_H	± 3.0	± 5.0
效率	t_η	-3.0	-5.0

上述容差系数值只与泵的制造误差有关并不涉及试验条件和测量误差。
对于选用产品样本公布的典型性能曲线批量生产的泵以及输入功率小于 10 kW 的泵,其容差系数值按本标准附录 B(标准的附录)选取。

11.4 规定流量、扬程和效率的判定

通过规定点 Q_{sp} 、 H_{sp} 以水平线段 $\pm t_Q \cdot Q_{sp}$ 和垂直线段 $\pm t_H \cdot H_{sp}$ 作出容差的十字线。
如果 $H(Q)$ 曲线与垂直线段和/或水平线段相交或相切,可认为电泵达到了规定流量和扬程的要求。
泵效率应按照由通过规定性能点 Q_{sp} 、 H_{sp} 和 QH 坐标轴原点的直线与测得的 $H(Q)$ 曲线的交点作一条与流量坐标相垂直的线与 $\eta(Q)$ 曲线相交得到。
如果该交点的效率值高于或至少等于 $\eta_{sp}(1-t_\eta)$,可认为电泵达到了规定效率的要求。

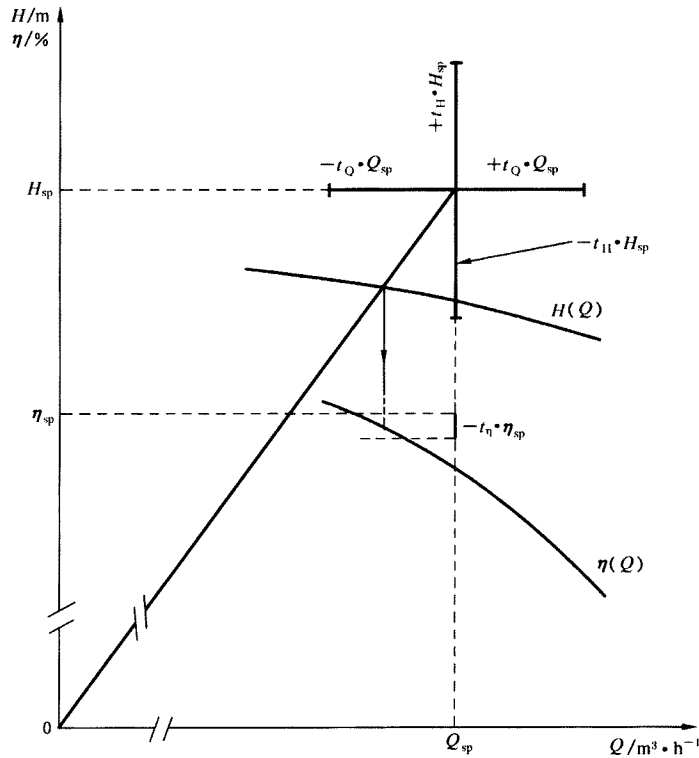


图 6 对流量、扬程和效率规定值的判定

当被试泵的测量特性比该泵规定的特性高且按照上述的判定,其流量扬程性能曲线不能与容差十字线相交或相切时,通常采用车削叶轮直径的方法。
如果规定值与测量值相差很小,可应用比例定律估算新的特性而免去进行一系列新的试验。
对于型式数 $K \leq 1.5$ 的泵,当叶轮平均出口直径的车削量不超过 5% 时,可按照本标准附录 C(标准的附录)给出的规则进行修正。

12 电动机的堵转试验

12.1 堵转电流、堵转转矩和堵转功率的测定

12.1.1 堵转试验在电动机接近实际冷状态下进行。试验时应将电动机转子堵住，堵住转子的工具必须有足够的强度，防止产生对人身伤害和对设备的损坏。试验前，应确定旋转的方向。对三相电动机可在任何方便的位置上堵住转子。

12.1.2 三相电动机试验时施于定子绕组的电压应尽可能从不低于 0.9 倍额定电压开始，逐步降低电压至电流接近额定电流时为止。其间共取 5~7 点读数，每点应同时读取三相电压、三相电流、输入功率和转矩，每点连续通电时间不应超过 10 s。检查试验时，可仅在额定电流值附近一点测堵转时的电压、电流和输入功率。

12.1.3 如限于设备，对 45 kW 以下的电动机，堵转试验时最大电流值应不低于 4.5 倍额定电流；对 45~100 kW 的电动机应不低于 2.5~4.0 倍额定电流，对 100 kW 以上的电动机应不低于 1.5~2.0 倍额定电流。

12.1.4 对 45 kW 及以上的三相电动机如受设备条件限制，也允许用 12.2.3 中规定的公式计算转矩，此时应在每点读数后，在两个引出电缆端间测量定子绕组的直流电阻。

12.1.5 对单相电动机应先在定子绕组上施以低电压，使堵转电流接近额定电流。保持此电压并使电动机的定、转子在圆周方向产生相对位移，测出堵转转矩最小的位置，堵转电流最大的位置，分别做好标记后，断开电源，重新调整电动机的位置，使在测力计与堵转臂始终保持垂直位置的条件下，分别在上述两处标记位置上进行堵转试验。

试验时，仅需在接近额定电压一点，测取堵转转矩、堵转电流。每次通电持续时间应不超过 5 s。两组测量值中，堵转转矩取小值，堵转电流取大值作为电动机的堵转转矩值和堵转电流值。

12.1.6 对大功率电动机，当试验设备条件受到限制，测定堵转电流有困难时，可以在额定电压下，用示波器拍摄电动机起动电流的方法来测取堵转电流。

12.1.7 若采用圆图计算法求取最大转矩，堵转试验应在 2.0~2.5 倍额定电流范围内的某一电流下进行。

12.2 试验结果的计算

12.2.1 若堵转试验的最大电压在 0.9~1.1 倍额定电压范围内，堵转电流 I_{KN} 和堵转转矩 T_{KN} 可在堵转特性曲线上直接查取。

12.2.2 若堵转试验最大电压低于 0.9 倍额定电压时，应作 $\lg I_k = f(\lg U_k)$ 曲线，并从最大电流外延曲线查取堵转电流值 I_{KN} ，则堵转转矩 T_{KN} 按式(64)计算。

$$T_{KN} = T_K \left(\frac{I_{KN}}{I_K} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (64)$$

式中： T_{KN} ——堵转转矩，N·m；

T_K ——在最大试验电流 I_K 时测得或计算的转矩，N·m。

12.2.3 堵转转矩 T_K 的计算

堵转试验时定子绕组的 I^2R 损耗 P_{kcu1} 按式(65)计算

$$P_{kcu1} = 3I_k^2 R_K \quad \dots\dots\dots (65)$$

式中： P_{kcu1} ——堵转试验时定子绕组的 I^2R 损耗，W；

I_k ——堵转试验时的各点实测电流，A；

R_K ——堵转试验时的各点实测定子绕组的直流电阻， Ω 。

堵转转矩 T_K 按式(66)计算：

$$T_K = 9\,550 \times \frac{P_k - P_{kcu1} - P_{ks}}{n_0} \quad \dots\dots\dots (66)$$

式中: P_k ——堵转时的输入功率, kW;

n_0 ——电动机同步转速, r/min;

P_{ks} ——堵转时的杂散损耗(包括铁损耗), $P_{ks}=0.05P_k$, kW。

12.2.4 电动机堵转特性曲线 $I_k=f(U_k)$ 、 $T_k=f(U_k)$ 、 $\lg I_k=f(\lg U_k)$ 曲线如图 7、图 8 所示。

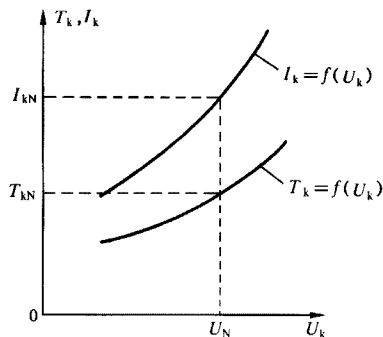


图 7 堵转特性曲线

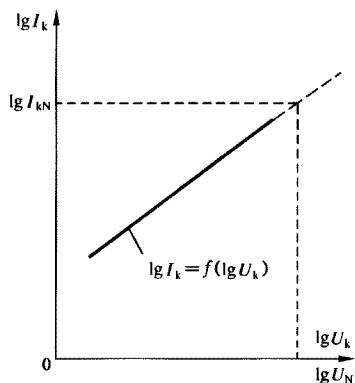


图 8 堵转电流、电压对数曲线

13 电动机的最大转矩和最小转矩的测定

电动机的最大转矩和最小转矩的测定参照 GB/T 1032 和 GB/T 9651 规定方法执行。

14 电动机的耐压试验

试验电源的频率为 50 Hz, 电压波形尽可能为正弦波形。

14.1 试验要求

14.1.1 耐电压试验应在电机静止状态下进行。试验前应先测量绕组的绝缘电阻, 并应在各项试验之后进行。

14.1.2 试验时, 电压应施于绕组与壳之间, 此时其他不参与试验的绕组均应与铁芯及机壳相连。

14.1.3 试验变压器的容量对每 1 kV 试验电压应不小于 1 kV · A。对单相电动机应不小于 1 kV · A。

14.1.4 试验前应采取切实安全措施, 试验中如发现异常情况应立即断电, 并将绕组回路对地放电。

14.2 试验电压和时间

试验电压的数值按有关产品标准规定执行。试验前充水式电动机应浸于接近室温的水中 12 h。

试验时施加的电压应从不超过试验电压全值的一半开始, 然后稳步地或分段地以每段不超过全值的 5% 增加至全值。电压自半值增加至全值的时间应不少于 10 s, 全值电压试验时间应维持 1 min。

对功率为 5 kW 及以下的大批连续生产的电动机进行检查试验时, 允许用规定的试验电压数值的 120%, 历时 1 s 进行试验。

14.3 电动机绕组匝间冲击耐电压试验方法按 JB/Z 294 执行。试验电压的数值按有关产品标准的规定。

15 电动机噪声的测定

15.1 电动机应立放在弹性垫上空载进行试验。弹性安装要求应符合 GB/T 10069.1 的规定。

15.2 电动机噪声测定的其他要求、测定方法按 GB/T 10069.1~10069.3 的规定。

16 电动机振动的测定

16.1 电动机应立放在弹性垫上空载进行试验。弹性安装要求应符合 GB/T 10068 的规定。

16.2 振动测点数为 5 点, 在电动机轴伸端及电动机上、下端沿圆周互相垂直的直径方向各一点

(图 9),其中①②④⑤点的测量方向延长线应尽可能通过轴承支点的中心(对滑动轴承则应为导轴承长度的中点)。

16.3 电动机振动测定的其他要求和测定方法应符合 GB/T 10068 的规定。

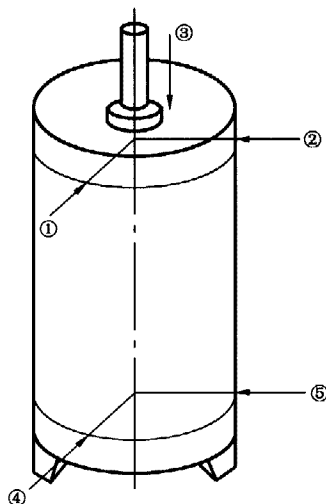


图 9 振动测量的测点布

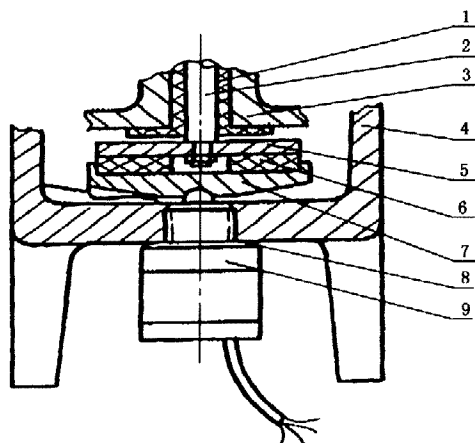
17 井用潜水泵轴向水推力的测定

17.1 测量时配用电动机为带滑动轴承的充水式潜水电动机。

17.2 测量仪器采用的传感器或测力仪表,精度应不低于 2%。对于防水传感器浸于水中 12 h 后引出信号线对壳的绝缘电阻应不低于 20 MΩ。力传感器应定期校准标定。

17.3 安装和测量。

17.3.1 测量前,潜水泵应与配用电动机按正常使用条件装配好,卸下电动机底座上的球面支承,将力传感器换上并应调整其位置使传力杆球面顶部的位置与球面支承的安装位置相同,保证机组转子与壳体轴向相对位置不变(图 10)。



1—下导轴承;2—电机轴;3—下导轴承座;4—底座;5—推力盘;
6 止推轴承;7 止推轴承座;8—调整垫片;9—轴向力传感器

图 10 水泵轴向水推力测量装置示意图

17.3.2 轴向力测量可与水泵性能试验同时进行,亦可单独完成。电泵运转前应记下仪表读数 G_0 ,该值对应为转动部件在水中的自重。若电泵运转时各测点数为 G' ,则泵的轴向水推力对应为 $G' - G_0$ 。

17.3.3 轴向水推力的曲线绘制(图 11),图中 G 和 H 为试验时扬程和轴向水推力的实测值。

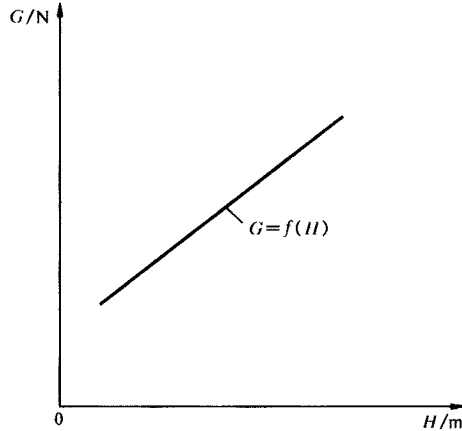


图 11 泵的轴向水推力曲线

18 通过能力试验

对污水污物潜水泵或其他有通过能力要求的潜水电泵,应进行通过能力试验。

18.1 在容器或水池内加入一定数量的相应通过最大颗粒直径的半悬浮球。

18.2 将电泵放入容器或水池中,然后启动电泵,此时相应颗粒直径的悬浮球应能从泵出口排出。

18.3 也可用溢流法检查相应颗粒直径悬浮球是否随着电泵放入容器或水池深度自动从出口溢出。

19 转向试验

按 GB 1971 规定的线端标志,在 U、V、W 上施加相应相序的电压,电机转向应与转向标志一致。

20 试验误差的分析与估算

试验误差的分析与估算按附录 A 的方法进行。

21 试验报告

试验结果应经仔细检查、校核后整理成报告,试验报告上应有试验负责人和参加人员的签字。

试验报告一般应包括下列内容:

- a) 试验地点、日期、人员、试验单位(盖章);
- b) 试验性质;
- c) 制造厂名称、电泵型号、产品编号;
- d) 电泵规定值、试验级别(1 级或 2 级)、试验运转条件;
- e) 关于试验方法及使用测量仪表的说明;
- f) 试验测量值;
- g) 试验结果(包括性能曲线);
- h) 结论。

附录 A

(提示的附录)

试验误差的分析和估算

A1 总则

测量精度是评价试验数据可靠性的重要依据,它是通过试验误差的分析和估算而得出的。同时通过对试验误差的分析,可以找出影响测量精度的主要的误差项,对此采取有效措施,提高测量精度。

以下各节所提供的误差分析及估算方法是以本标准所推荐使用的仪器仪表、试验装置以及本标准规定的试验方法为基础。

试验误差的分析计算随试验所用的设备、装置、仪器、仪表以及所用的试验方法不同而异,必须根据实际情况具体分析和处理。

A2 电泵试验误差的来源和性质

A2.1 电泵试验误差的来源有:仪表误差;试验条件变化(如电网频率、电压波动、室温水温变化等)引起的误差;试验人员读数误差;试验数据的计算处理方法和曲线绘制误差等。

A2.2 电泵试验误差按其性质可分为三类。

a) 粗差。在测试过程中由于试验人员读数错误、仪器故障、计算错误等造成,这类误差常常很大,容易辨别,并可以采取剔除。

b) 系统误差。服从某一确定规律而不具有抵偿性的误差,它反映试验的正确程度,并不受测量次数的影响,即在同一条件下对同一量多次测量其系统误差都不能减少或消除。

在电泵试验中的系统误差主要是仪表误差,其次是由于使用条件超出规定的范围时所引起的仪表的附加误差。

c) 随机误差。服从统计规律并且具有抵偿性的误差,它主要指试验装置中由于水流不稳定、试验条件的随机变化、被试电泵运转的不稳定、人员读数偏差等因素引起的误差。由于随机误差的存在,同一试验条件下对同一工况点进行反复测量时,每次测量值都会出现无规律的变化。随着测量次数的增加,该误差会逐渐减小。

A3 电泵试验误差估算中的几条规定

- a) 计算各项误差时取置信概率为 95%;
- b) 对所测各量的误差,认为不相关或弱相关;
- c) 各测量值的误差计算均以水泵规定点为准,其余各点不予计算;
- d) 仅对电泵的流量、扬程、轴功率、输入功率、电机效率、水泵效率等主要量进行误差的分析计算。

A4 各类误差的估算及合成原则

A4.1 本标准中凡未加说明的测量误差均指相对误差。

A4.2 指针式仪表的精度等级的数值表示该仪表允许的引用误差以百分数表示时的绝对值的大小(如指针式电工仪表、弹簧压力计等)。

测量时,若仪表不是指在满刻度,它的示值误差 f_x 应由下式决定:

$$f_x(\%) = \pm \frac{A_m}{A} \times a \quad \dots\dots\dots (A1)$$

式中: A_m ——仪表满刻度值;

A ——测量时仪表的显示值(即:示值);

a ——仪表精度等级。

A4.3 系统误差的合成原则

在试验中,电泵的各个参数,有的可以通过仪表直接测得;有的则为间接测量,即通过测量与之有函数关系的各量经计算而得。对上述两种情况其系统误差的合成方法亦不同。

a) 直接测量值按各仪表的单项误差用“方和根”法合成:

$$f_s = \left(\sum_{i=1}^n f_{xi}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (A2)$$

式中: f_s ——系统误差;

f_{xi} ——测量某参数时所用各仪表的单项误差。

b) 间接测量值按误差传递定律计算:

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right)^2 \sigma_{xi}^2 \quad \dots\dots\dots (A3)$$

式中: $f=f(X_1, X_2, \dots, X_n)$, 为电泵的某被测量;

X_1, X_2, \dots, X_n 为试验中用仪表直接测得的量。

在实际使用中,当已知各直接测量值的相对误差时又可从上述基本公式演变为下式以计算间接测量值的相对误差:

$$r_f^2 = \left[\frac{X_1}{f} \cdot \left(\frac{\partial f}{\partial X_1} \right) \right]^2 f_{x1}^2 + \dots\dots + \left[\frac{X_n}{f} \cdot \left(\frac{\partial f}{\partial X_n} \right) \right]^2 f_{xn}^2 \quad \dots\dots\dots (A4)$$

A4.4 随机误差的计算原则

随机误差用概率统计法处理。

实际测量时,误差的概率分布遵从 t 分布,其方差的无偏估计值为:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right] \quad \dots\dots\dots (A5)$$

式中: n ——测量次数,一般取 $n \geq 10$;

X_i ——各次测量值;

\bar{X} ——测量值的算术平均值;

$\hat{\sigma}$ 表示一系列等精度测量中,任一单次观测值的标准偏差,它反映了测量的精密性。 $\hat{\sigma}$ 越小,即小误差出现的概率越大,而大误差出现的概率越小,测量就越精密,测量重复性就越好,试验系统的稳定性就越好。

随机误差采用相对误差 f_r 表示,该值与置信概率和 σ 有关,可按式求出:

$$f_r = \pm \frac{t_{n-1} \cdot \hat{\sigma}}{\bar{X}} \quad \dots\dots\dots (A6)$$

式中: t_{n-1} ——置信系数,可由表 A1 查出。

若某测量值是用它的 n 次测量值的算术平均值表示,则极限相对误差应表示为:

$$f_r = \pm \frac{t_{n-1} \cdot \hat{\sigma}}{\bar{X} \cdot \sqrt{n}} \quad \dots\dots\dots (A7)$$

式中: n ——测量次数。

表 A1 t 分布的置信系数 t_{n-1} (95% 置信概率)

$n-1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t_{n-1}	12.7	4.3	3.18	2.78	2.57	2.45	2.36	2.31	2.26	2.23

A4.5 试验总误差 f 可按式合成

$$f = \pm (f_s^2 + f_r^2)^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (A8)$$

A5 系统误差的估算

本章中仅给出三相电泵的系统误差的估算公式,对于单相电泵和本标准推荐仪表及规定的试验方法以外的情况不适用。

A5.1 直接测量值的系统误差

A5.1.1 流量 Q 的系统误差 f_{SQ}

当采用涡轮流量变送器测量流量时,流量的系统误差 f_{SQ} 可用下式计算:

$$f_{SQ} = (f_{LW}^2 + f_X^2)^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (A9)$$

式中: f_{LW} ——涡轮流量变送器的仪表误差;

f_X ——数字频率计的仪表误差。

A5.1.2 电机输入功率 P_1 的系统误差 f_{SP1}

当采用两瓦特表法且电流通过电流互感器测量输入功率时,输入功率的系统误差 f_{SP1} 可用下式计算:

$$f_{SP1} = \left[f_{HL}^2 + \left(\frac{2f_w}{a_1 + a_2} \right)^2 + 100^2 \cdot \theta_{HL}^2 \cdot \tan^2 \phi \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (A10)$$

式中: f_{HL} ——电流互感器的比值差;

θ_{HL} ——电流互感器的相角差(用弧度表示, $1' = 0.000\ 291 \text{ rad}$);

f_w ——瓦特表误差;

ϕ ——电流、电压相位角;

$a_1 + a_2$ ——两瓦特计相对读数, $a_{\max} = 2$, 一般可取 1.5。

当测量线路还包括电压互感器时,上述公式应补充进有关电压互感器的误差项。

A5.1.3 电流 I_1 的系统误差 f_{sI_1}

当采用三块电流表和电流互感器测量三相电流,且电流 I_1 为三相平均值时,电流 I_1 的系统误差可用下式计算:

$$f_{sI_1} = \frac{1}{\sqrt{3}} (f_A^2 + f_{HL}^2)^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (A11)$$

式中: f_A ——电流表示值误差。

A5.1.4 电压 V 的系统误差 f_{sV}

当采用三块电压表求其平均值时,电压 V 的仪表误差可用下式计算:

$$f_{sV} = \frac{1}{\sqrt{3}} (f_{su})^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (A12)$$

式中: f_{su} ——电压表示值误差。

A5.1.5 电机绕组直流电阻 R 的系统误差 f_{sR} 即为电桥的仪表误差 f_{br} 。

A5.1.6 电源频率的系统误差 f_{sHz} 即为频率表的仪表误差。

A5.2 间接测量值的系统误差

A5.2.1 扬程 H' 的系统误差 f'_{sH}

当采用弹簧压力计测量泵出口扬程时,扬程的系统误差可用下式近似计算:

$$f'_{sH} = \left[\left(\frac{P_c}{\rho g H'} \right)^2 \cdot (f_{sPc}^2 + f_{sr}^2) \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (A13)$$

式中: f_{sPc} ——弹簧压力计的示值误差;

f_{sr} ——水的密度误差。

A5.2.2 转速 n 和转差率 S_1 的系统误差 f_{sn} 、 f_{sSr}

当采用感应线圈法测量时,其系统误差可用下式计算:

$$a) \quad f'_{sn} = \left[\left(\frac{60f_1}{p \cdot n} \right)^2 \cdot f_{sHz}^2 + \left(\frac{600}{p \cdot n \cdot t} \right)^2 f_{st}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (A14)$$

式中: p ——电动机极对数;

f_1 ——电源频率实测值, Hz;

n ——电动机实际转速, r/min;

t ——电动机转速滞后同步转速 10 r 所需的时间, s;

f_{st} ——秒表误差;

f_{sHz} ——工频频率计误差。

$$b) \quad f_{sSt} = (f_{sHz}^2 + f_{st}^2)^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (A15)$$

A5.2.3 电动机实际输出功率 P'_2 的系统误差 f_{sP2}

当电动机实际输出功率采用损耗分析法求取时, 其系统误差 f_{sP2} 可用下列公式计算:

$$f_{sP2} = \left[\left(\frac{P_1}{P_2} \right)^2 f_{sP1}^2 + \left(\frac{P_{cu1}}{P_2} \right)^2 f_{sPcu1}^2 + \left(\frac{P_{cu2}}{P_2} \right)^2 f_{sPcu2}^2 + \left(\frac{P_{Fe} + P_{fw}}{P_2} \right)^2 f_{sP0'}^2 + \left(\frac{P_s}{P_2} \right)^2 f_{sPs}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (A16)$$

当电动机杂散损耗为 $P_s = A \cdot P'_2$ 时, 按下式计算:

$$f_{sP2} = \left[\left(\frac{P_1}{P_2} \right)^2 f_{sP1}^2 + \left(\frac{P_{cu1}}{P_2} \right)^2 f_{sPcu1}^2 + \left(\frac{P_{cu2}}{P_2} \right)^2 f_{sPcu2}^2 + \left(\frac{P_{Fe} + P_{fw}}{P_2} \right)^2 f_{sP0'}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{1 + A} \quad \dots\dots\dots (A17)$$

式中: f_{sPcu1} ——电动机定子 I^2R 损耗的系统误差由下式算出:

$$f_{sPcu1} = (4f_{sI_1}^2 + f_{sR}^2)^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (A18)$$

f_{sPcu2} ——电动机转子 I^2R 损耗的系统误差由下式算出:

$$f_{sPcu2} = \left[\left(\frac{P_1}{P_D} \right)^2 f_{sP1}^2 + \left(\frac{P_{cu1}}{P_D} \right)^2 f_{sPcu1}^2 + f_{sSt}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (A19)$$

式中: $P_D = P_1 - P_{cu1} - P_{Fe}$

$f_{sP0'}$ ——电动机铁损耗与机械损耗之和的系统误差由下式算出。

$$f_{sP0'} = \left[\left(\frac{P_0}{P'_0} \right)^2 f_{sP0}^2 + \left(\frac{P_{0cu1}}{P'_0} \right)^2 f_{sP0cu1}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (A20)$$

式中: f_{sP0} ——电动机空载试验时在额定电压值处输入功率的系统误差;

f_{sP0cu1} ——电动机空载试验时在额定电压值处定子的 I^2R 损耗的系统误差;

f_{sPs} ——电动机杂散损耗的测量误差。

A5.2.4 换算至规定转速 n_{sp} 下的流量 Q 、扬程 H 、轴功率 P_{2P} 的系统误差 f_{sQ} 、 f_{sH} 、 f_{sP2P} 由下列公式算出:

$$f_{sQ} = (f_{sQ'}^2 + f_{sn}^2)^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (A21)$$

$$f_{sH} = (f_{sH'}^2 + 4f_{sn}^2)^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (A22)$$

$$f_{sP2P} = (f_{sP2}^2 + 9f_{sn}^2)^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (A23)$$

A5.2.5 电动机效率 η_m 的系统误差 $f_{s\eta m}$ 由下式算出:

$$f_{s\eta m} = (f_{sP1}^2 + f_{sP2}^2)^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (A24)$$

A5.2.6 水泵效率 η_p 的系统误差 $f_{s\eta p}$ 由下式算出:

$$f_{s\eta p} = (f_{sH}^2 + f_{sQ}^2 + f_{sr}^2 + f_{sP2}^2)^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (A25)$$

A6 随机误差 f_i 的估算

随机误差可由公式(A6)或公式(A7)计算出。式中的标准偏差的无偏估计值 $\hat{\sigma}$ 通常采用贝塞尔(Bessel)公式算出:

$$\hat{\sigma} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (A26)$$

使用该公式的条件是 X_i 代表一系列独立的等精度测量值,即应保证在试验条件基本不变下对同一量进行 n 次测量。为此在进行随机误差分析试验时,应使流量调节阀的阀位和电压保持不变,待运转稳定后,对该工况下的各量在尽可能短的时间内进行多次测量(注意各个参量每次应成组读数保证参量间的一一对应)。此时各种条件和环境因素不会明显变化,可以近似认为是一系列等精度测量。再利用上述公式计算其标准差。

A7 各参量的试验总误差

各参量的试验总误差可按公式(A8)计算,对各参量的测量值和误差范围可以按下列形式表达:

流量 Q : $Q \pm (Q \cdot f_Q)$

扬程 H : $H \pm (H \cdot f_H)$

轴功率 P_{2P} : $P_{2P} \pm (P_{2P} \cdot f_{P2P})$

转速 n : $n \pm (n \cdot f_n)$

水泵效率 η_p : $\eta_p \pm (\eta_p \cdot f_{\eta p})$

电机效率 η_m : $\eta_m \pm (\eta_m \cdot f_{\eta m})$

附 录 B

(标准的附录)

带典型性能曲线批量生产的泵以及电机输入功率小于 10 kW 的泵的容差系数
(适合批量生产泵的 2 级试验,仅适用泵的许用工作范围)

B1 带典型性能曲线批量生产的泵

产品样本中列出的性能曲线代表同一型号许多泵的平均(不是最低)性能,因此有必要增大容差:

——流量 $t_Q = \pm 9\%$

——扬程 $t_H = \pm 7\%$

——泵输入功率 $t_p = +9\%$

——电动机输入功率 $t_{P_{gr}} = +9\%$

——效率 $t_\eta = -7\%$

B2 电机输入功率小于 10 kW 的泵

对电机输入功率小于 10 kW 但大于 1 kW 的泵,其内部各个机械构件的摩擦损失相对较大而且不易预计,表 6 中给出的容差系数值可能不适用,应使用下列容差系数值:

——流量 $t_Q = \pm 10\%$

——扬程 $t_H = \pm 8\%$

如无另外商定,效率的容差系数

$$t_\eta = - \left[10 \cdot \left(1 - \frac{P_{gr}}{10} \right) + 7 \right] \times 100\%$$

式中： P_{gr} ——工作范围内电机最大输入功率，kW。

容差系数 t_{Pgr} 可用下式计算：

$$t_{Pgr} = \sqrt{7^2 + t_{\eta}^2} \times 100\%$$

注：对输入功率小于 1 kW 的泵，有关各方可以另外达成一个专门协议。

附 录 C
(标准的附录)
削减叶轮直径的确定

如果泵的特性高于规定特性，通常使用削减叶轮直径的作法。

对型式数 $K \leq 1.5$ 的泵，如果叶轮出口平均直径削减比不超过 5%，切削后叶片的形状又保持不变（出口角、出口边倾斜度等），可以按下列规则确定新的特性：

估算新的特性的定律为：

$$R = \sqrt{\frac{D_r^2 - D_1^2}{D_t^2 - D_1^2}}$$
$$Q_r = R \cdot Q_t$$
$$H_R = R^2 \cdot H_t$$

式中： D 为如图 C1 给出的直径；

脚标： t = 试验的； r = 削减的。

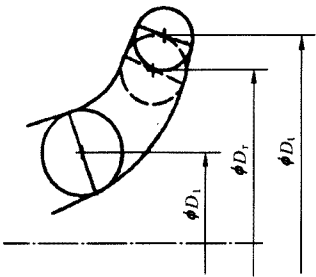


图 C1 削减叶轮直径

对型式数 $K \leq 1.0$ 的泵，叶轮直径削减量不大于 3% 时，可假定削减前后其工作点的效率不变。

