

前 言

本标准是在原中华人民共和国石油工业部标准 SY 5167.3—87《潜油电泵试验方法和验收规则》基础上进行制定的。

本标准在起草过程中,保留了原 SY 5167.3—87 中经实践证明既符合我国实际需要又不妨碍国际交流的内容;还根据近年来国内外新技术的发展,对试验方法的内容进行了适当调整与充实。

本标准是系列标准《潜油电泵机组》的第三部分,《潜油电泵机组 试验方法》。

本标准自生效之日起代替 SY 5167.3—87《潜油电泵试验方法和验收规则》。

本标准由全国石油钻采设备和工具标准化技术委员会提出并归口。

本标准起草单位:国家电动潜油泵质量监督检验中心、大庆石油管理局潜油电泵技术服务公司、胜利石油管理局无杆采油泵公司。

本标准主要起草人:刘景芳、刘宏玉、姜海峰、李柏东、李淑琴、魏忠印、李云祥。

中华人民共和国国家标准

潜油电泵机组 试验方法

GB/T 16750.3—1997

The test method for electrical submersible pump units

1 范围

本标准规定了油井用潜油电泵机组包括:潜油电机(简称电机)、电机保护器(简称保护器)、油气分离器(简称分离器)、潜油泵(简称泵)、潜油电缆(简称电缆)、控制柜、变压器的试验方法。

本标准适用于陆上油田使用的潜油电泵机组的试验和验收。

海上油田使用的潜油电泵机组亦可参照使用。

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 16750.2—1997 潜油电泵机组 技术条件

GB/T 6451—1995 三相油浸式电力变压器技术参数和要求

3 仪器、仪表的选择要求

试验时采用的电压、电流互感器其精度应不低于0.2级;电气测量仪表(兆欧表除外)、转矩仪精度应不低于0.5级;频率、转速表精度不低于0.1级;直流泄漏仪精度应不低于0.2级;流量、扬程(压力)仪表精度应不低于1.0级;直流电阻测量仪表精度应不低于0.2级;温度表的精度误差应在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内,其他未做规定的测量仪表精度应不低于 $T/3$ (T ——被检参数允差)。

4 潜油电动机

4.1 绕组直流电阻

4.1.1 测量要求

测量绕组直流电阻,应在实际冷状态(将被试电机放在室内,使绕组温度与室温不超过2 K)下进行。

4.1.2 测量方法

测量时转子应静止不动,在电机每两个出线端测量电阻即 R_{UV} 、 R_{VW} 、 R_{WU} , Ω 。

4.1.3 测量结果计算

4.1.3.1 三相直流电阻之和 R_{med} , Ω ;按式(1)计算。

$$R_{med} = \frac{R_{UV} + R_{VW} + R_{WU}}{2} \dots\dots\dots (1)$$

4.1.3.2 星接 R_U 、 R_V 、 R_W 三相直流电阻, Ω ;按式(2)计算。

$$\left. \begin{aligned} R_U &= R_{med} - R_{VW} \\ R_V &= R_{med} - R_{WU} \\ R_W &= R_{med} - R_{UV} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

4.1.3.3 角接 R_U, R_V, R_W 三相直流电阻, Ω ; 按式(3)计算。

$$\left. \begin{aligned} R_U &= \frac{R_{VW} \cdot R_{WU}}{R_{med} - R_{UV}} + R_{UV} - R_{med} \\ R_V &= \frac{R_{WU} \cdot R_{UV}}{R_{med} - R_{VW}} + R_{VW} - R_{med} \\ R_W &= \frac{R_{UV} \cdot R_{VW}}{R_{med} - R_{WU}} + R_{WU} - R_{med} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

4.1.3.4 三个线端直流电阻的平均值 R_{mav} , Ω ; 按式(4)计算。

$$R_{mav} = \frac{R_{UV} + R_{VW} + R_{WU}}{3} \dots\dots\dots (4)$$

4.1.3.5 一相直流电阻 R , Ω ; 星接按式(5)计算, 角接按式(6)计算。

$$R = \frac{1}{2} R_{mav} \dots\dots\dots (5)$$

$$R = \frac{3}{2} R_{mav} \dots\dots\dots (6)$$

4.1.3.6 三相直流电阻不平衡率 ϵ_{mR} 按式(7)计算。

在 R_U, R_V, R_W 中确定 R_{max} 和 R_{min} 。

$$\epsilon_{mR} = \frac{R_{max} - R_{min}}{R} \times 100\% \dots\dots\dots (7)$$

4.1.4 检验结果判定

符合 GB/T 16750.2—1997 中 3.2.1.3 的规定为合格。

4.2 冷态绕组绝缘电阻

4.2.1 测量要求

4.2.1.1 根据被试电机工作电压按表 1 选择兆欧表。

表 1

V

电机工作电压	兆欧表规格
≤ 500	500
500~3 000	1 000
$\geq 3 000$	2 500

4.2.1.2 冷态绝缘电阻测量应在实际冷状态下进行。

4.2.2 测量方法

4.2.2.1 对于单节或下节电机(尾部有星点)应测量一相对机壳绝缘电阻。

4.2.2.2 对于通用节或上节电机, 应分别测量三相对机壳绝缘电阻及三相绕组间的绝缘电阻。

4.2.2.3 测量后均应将绕组对地放电。

4.2.3 检验结果判定

三相对地及相间冷态绝缘电阻应符合 GB/T 16750.2—1997 中 3.2.1.4 的规定为合格。

4.3 空载试验

4.3.1 测量要求

根据电机工作在油井的温度, 提供相应温度的循环冷却介质, 其冷却介质的流速应为该电机所匹配泵在规定套管内的实际工作流速(以下简称工作流速, 文中提到的工作流速均为大于或等于标准规定的流速)。出厂检验可不加循环冷却介质且在室温下进行。

4.3.2 测量方法

电机在工频额定电压下空载启动运行,使机耗达到稳定,即输入功率在半小时前后的两个读数之差不大于前一个读数的3%开始测量。

首先将电机工作电压提高到1.1~1.3倍额定电压,然后逐渐降低电机工作电压至可能达到的最低值(电流开始回升时为止),在此期间测7~9点,每点要同时测取三相电压、三相电流、输入功率、频率,其中额定电压时为必测点。试验结束应立即在电机出线端测量定子绕组的直流电阻(带试验电缆)。

4.3.3 测量结果计算

4.3.3.1 空载时定子绕组铜耗 P_{0Cu1} , W;按式(8)计算。

$$P_{0Cu1} = 3I_0^2 R_{10} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中: I_0 ——定子空载相电流, A;

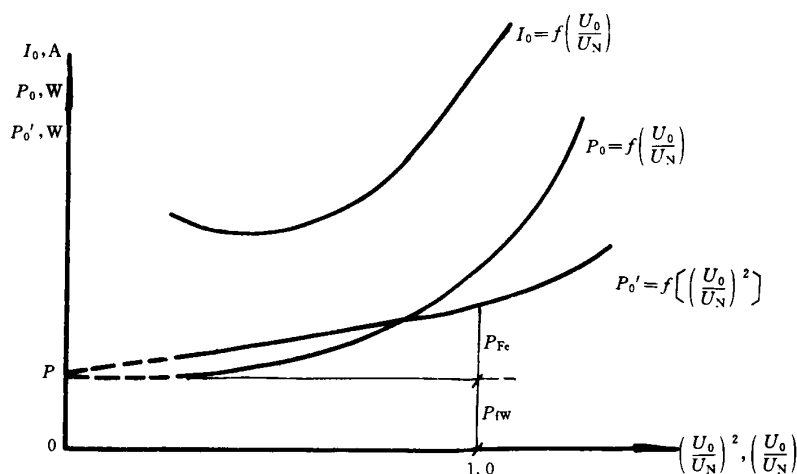
R_{10} ——试验结束后定子绕组相电阻, Ω 。

4.3.3.2 铁耗 P_{Fe} 和机械耗 P_{fw} , W;按式(9)计算。

$$\begin{aligned} P'_0 &= P_{Fe} + P_{fw} \\ &= P_0 - P_{0Cu1} \quad \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

式中: P_0 ——空载输入功率, W。

作空载电流特性曲线 $I_0 = f(U_0/U_N)$ 和空载输入功率特性曲线 $P_0 = f(U_0/U_N)$ 。为了分离铁耗和机械耗,作曲线 $P'_0 = f[(U_0/U_N)^2]$,延长 P'_0 曲线的直线部分与纵轴交于 P 点(见图1), P 点的纵坐标即为机械耗。



U_0 ——空载试验电压, V;

U_N ——额定电压, V

图 1

4.3.3.3 三相空载电流中任何一相与三相电流平均值 I_{av} 的不平衡率 ϵ_{m1} 按式(10)计算。

$$\epsilon_{m1} = \frac{I_0 - I_{av}}{I_{av}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (10)$$

4.3.4 检验结果判定

ϵ_{m1} 符合 GB/T 16750.2—1997 中 3.2.1.11 的规定为合格。

4.4 转子滑行时间 t

4.4.1 测量要求

转子滑行时间测定应在电机空载试验后进行。

4.4.2 测量方法

电机空载运行稳定后(或空载试验完成后),断电停机并开始计时,至电机转子完全停转为止,所计时间为转子滑行时间。

4.4.3 检验结果判定

t 符合 GB/T 16750.2—1997 中 3.2.1.7 的规定为合格。

4.5 超速试验

4.5.1 测量要求

超速试验应在空载状态下进行。

4.5.2 测量方法

电机在额定电压和 1.2 倍额定转速下启动运行 2 min,试验时监视电机转速、电流、电压,如发现异常应立即停机。

4.5.3 检验结果判定

符合 GB/T 16750.2—1997 中 3.2.1.10 的规定为合格。

4.6 堵转试验

4.6.1 测量要求

堵转试验应在电机接近实际冷状态下进行。试验时应先试相序,确定转子旋转方向;然后将转子堵住,测取堵转特性。每次堵转连续通电时间不得超过 10 s。

4.6.2 测量方法

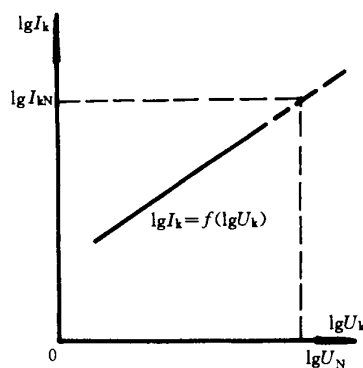
试验应从电机所施最高电压(即 50% 额定电压)开始,逐步降低电压并观察电流表到小于额定电流时为止,期间共测 5~7 点,每点同时测取三相电压、三相电流或示波器拍照、输入功率、频率、转矩并停机测定子绕组直流电阻。

如果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值下进行。

4.6.3 测量结果计算

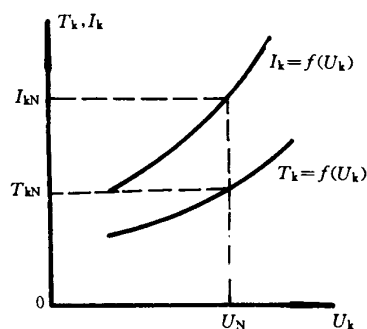
4.6.3.1 额定电压下的堵转电流 I_{kN} , A; 按下述作图法求得。

由于堵转试验最大电压低于 0.9 倍额定电压,应作 $\lg I_k = f(\lg U_k)$ 曲线,从最大电流的延长线查得 I_{kN} (见图 2)、堵转特性曲线(见图 3)。



I_k —堵转电流, A;
 U_k —堵转时所施电压, V

图 2



I_k —堵转电流, A;
 U_k —堵转时所施电压, V

图 3

4.6.3.2 额定电压下的堵转转矩 T_{kN} , N·m; 按式(11)计算。

$$T_{kN} = T_k \left(\frac{I_{kN}}{I_k} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中: T_k ——实测堵转转矩, $N \cdot m$; 或 $T_k = 9.55 \frac{P_k - P_{kCu1} - P_{ks}}{n_s}$;

P_k ——堵转时的输入功率, kW ;

P_{kCu1} ——堵转时定子绕组损耗, kW ;

P_{ks} ——堵转时的杂散损耗, 取 $P_{ks} = 0.05 P_k$, kW ;

n_s ——电机同步转速, $n_s = \frac{60f}{P}$, r/min ;

f ——实测电源频率, Hz ;

P ——电机极对数。

4.6.4 检验结果判定

$\frac{I_{kN}}{I_N}$ 、 $\frac{T_{kN}}{T_N}$ 符合 GB/T 16750.2—1997 表 3 的规定为合格。

4.7 温升试验

4.7.1 测量要求

温升试验采用泵负载法或测功机法。冷热态绕组直流电阻应在同一出线端测量。

4.7.2 测量方法

试验前将测温计固定在电机与保护器之间, 下入试验井, 放置一段时间使绕组温度与冷却介质温度相同(视温度差大小确定时间); 高温电机若在规定使用温度下试验, 应将冷却介质升温到规定温度并且使绕组温度与冷却介质温度相同。测量并记录绕组电阻(带试验电缆)和冷却介质温度。

电机用泵做负载或测功机在额定条件下运转 2~4 h, 并且保证入井介质温度在室温 $\pm 2^\circ C$ 或规定井温 $\pm 5^\circ C$ 范围之内, 电机达到稳定温升断电, 开始测量绕组直流电阻(带试验电缆)和冷却介质温度。用最短的时间(不超过 30 s)测量断电后第一点绕组直流电阻, 以后以相等的时间间隔测量并记录绕组电阻和相应时间。采用外推法作 $\lg R = f(t)$ 曲线, 并延长曲线交于纵轴, 交点的数据即为断电瞬间的绕组热态直流电阻 R_t (见图 4)。

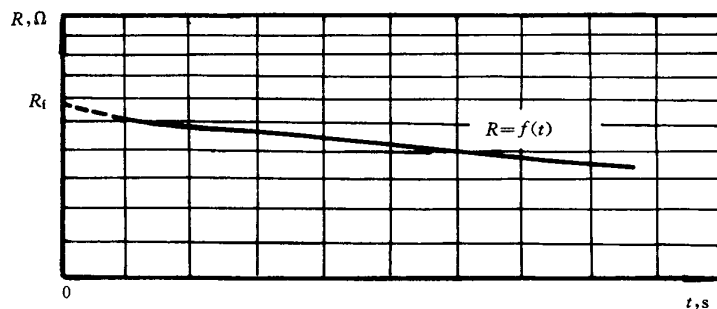


图 4

4.7.3 测量结果计算

定子绕组平均温升 $\Delta\theta_1, K$; 按式(12)计算。

$$\Delta\theta_1 = \frac{R_t - R_0}{R_0} (K_a + \theta_0) + \theta_0 - \theta_t \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中: R_t ——试验结束时绕组直流电阻, Ω ;

R_0 ——试验开始时绕组直流电阻, Ω ;

θ_t ——试验结束时冷却介质温度, $^\circ C$;

θ_0 ——试验开始时冷却介质温度, $^\circ C$;

K_a ——常数, 铜绕组 235, 铝绕组 225。

电机试验达不到额定电流, 应换算到额定功率时的绕组温升 $\Delta\theta_N$ 。

当 $\frac{I_t - I_N}{I_N}$ 在 $\pm 10\%$ 范围时,按式(13)换算。

$$\Delta\theta_N = \Delta\theta_1 \left(\frac{I_N}{I_t} \right)^2 \left[1 + \frac{\Delta\theta_1 \left(\frac{I_N}{I_t} \right)^2 - \Delta\theta_1}{K_a + \Delta\theta_1 + \theta_1} \right] \quad \dots\dots\dots (13)$$

当 $\frac{I_t - I_N}{I_N}$ 在 $\pm 5\%$ 范围时,按式(14)换算。

$$\Delta\theta_N = \Delta\theta_1 \left(\frac{I_N}{I_t} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中: I_N ——满载电流,即额定功率时的电流,A;从工作特性曲线上求得;

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

4.7.4 检验结果判定

$\Delta\theta_N$ 符合 GB/T 16750.2—1997 中表 4 的规定为合格。

4.8 效率、功率因数、转差率

4.8.1 测量要求

采用泵负载法或测功机测量电机工作特性曲线,即电机在额定电压和额定频率下,输入功率 P_{mi} 、定子电流 I_1 、效率 η_m 、功率因数 $\cos\phi$ 及转差率 S_{ref} 与输出功率 P_{mu} 的关系曲线(见图 5)。

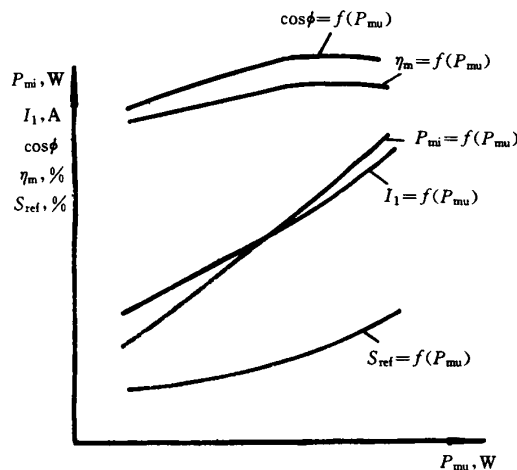


图 5

4.8.2 测量方法

4.8.2.1 泵负载法

电机应在额定电压、额定频率、额定排量、规定的工作温度和流速下启动运行 2~4 h,运行期间保证入井冷却介质温度在规定工作温度的 $\pm 5^\circ\text{C}$ 范围内。输入功率稳定后开始测量。

离心泵的试验宜从零流量开始,至少要试到大流量点的 115% (大流量点是指泵工作范围内大于规定流量的边界点)。

混流泵、轴流泵和旋涡泵的试验应使阀门从全开状态开始,至少试到小流量点的 85% (小流量点是指泵工作范围内小于规定流量的边界点)。 Q_{min} 、小流量点、额定点、大流量点、 Q_{max} ,其中测十三点以上。小流量点、额定点、大流量点为必测点。

每点同时记录三相电压、三相电流、输入功率、转速、频率、流量、泵出口压力、泵出入口介质温度。

转速测量建议采用感应线圈法,即将一只带铁芯的多匝线圈密封后,紧贴在被试电机的上端或下端,线圈与磁电式检流计相连,测量检流计光标摆动次数及所需时间。

停机后应测量定子绕组电阻并用外推法修正到断电瞬时的电阻。

4.8.2.2 测功机法

试验时,被试电机应达到热稳定状态,并且加规定工作温度的冷却水,其流速为工作流速。电机施加 1.25 倍的额定功率,然后逐渐降低电机功率至 0.25 倍额定功率为止,测取 6~8 点,其中额定功率点为必测点。测量时同时记录三相电压、三相电流、输入功率、转速、转矩和冷却介质温度。

4.8.3 检验结果计算

4.8.3.1 效率 η_m 按式(15)计算。

$$\eta_m = \frac{P_{mu}}{P_{mi}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中: P_{mi} ——电机实测输入功率, kW;

P_{mu} ——电机输出功率, kW; 按式(16)计算。

$$P_{mu} = P_{mi} - \Sigma P \quad \dots\dots\dots (16)$$

ΣP ——总损耗, kW; $\Sigma P = (P_{Fe} + P_{fw} + P_{Cu1} + P_{Cu2} + P_s) \cdot 10^{-3}$ 。

P_{Fe} ——铁耗, W, 由空载试验求得;

P_{fw} ——机耗, W, 由空载试验求得;

P_{Cu1} ——定子铜耗, $P_{Cu1} = 3I_1^2 R_{1ref}$, W;

R_{1ref} ——换算到基准工作温度的直流电阻, Ω (在规定温度下试验时, 不需要换算);

$$R_{1ref} = R_1 \frac{K_a + \theta_{ref}}{K_a + \theta_1};$$

θ_{ref} ——基准工作温度, 对于 A、E、B 级绝缘为 75℃; 对 F、H 级绝缘为 115℃;

P_{Cu2} ——转子铜耗, $P_{Cu2} = (P_{mi} - P_{Cu1} - P_{Fe}) \cdot S_{ref}$, W;

S_{ref} ——换算到基准工作温度的转差率 (在规定温度下试验时, 不需要换算);

$$S_{ref} = S_1 \frac{K_a + \theta_{ref}}{K_a + \Delta\theta_1 + \theta_1};$$

S_1 ——实际排量下的转差率;

P_s ——杂散损耗, W。

对不能实测杂散损耗的电机, 其杂散损耗取其输入功率的 0.5%。

4.8.3.2 转差率 S_1 按式(17)计算。

$$S_1 = \frac{N}{f \cdot t} \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中: t ——检流计摆动 N 次所用的时间, s;

N ——检流计摆动次数;

f ——电源频率, Hz。

4.8.3.3 功率因数 $\cos\phi$ 按式(18)计算。

$$\cos\phi = \frac{P_{mi} \times 10^3}{\sqrt{3} I_1 U_1} \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中: P_{mi} ——输入功率, kW;

I_1 ——定子线电流, A;

U_1 ——线电压, V。

4.8.4 检验结果判定

额定输出功率下的 η_m 、 $\cos\phi$ 、 S_{ref} 符合 GB/T 16750.2—1997 中表 3 的规定为合格。

4.9 热态绝缘电阻

4.9.1 测量要求

4.9.1.1 按 4.2.1.1 选择兆欧表。

4.9.1.2 在 4.8 试验结束后断电进行测量。

4.9.1.3 断电到测量时间不得超过 60 s。

4.9.2 测量方法

4.9.2.1 在试验电缆电源接线端测量一相对地绝缘电阻。

4.9.2.2 测量后将电缆对地放电。

4.9.3 检验结果判定

热态绝缘电阻(包括试验电缆)应符合 GB/T 16750.2—1997 中 3.2.1.14 的规定为合格。

4.10 最大转矩

采用圆图算法或测功机实测。

4.10.1 测量要求

采用圆图算法时电机应按 4.6.2 的要求进行试验。

4.10.2 测量方法

圆图计算公式中的电压、电流和电阻为相电压、相电流和相电阻的三相平均值,功率为三相功率值。

圆图算法所需参数包括:

a) 定子绕组电阻 R_{1ref} , 换算至基准工作温度时的电阻值。

b) 由空载试验求得的参数。

c) 由堵转试验求得的参数。

4.10.3 测量结果计算

4.10.3.1 空载电流的有功分量按式(19)计算。

$$I_{0R} = \frac{P_0 - P_{fw}}{3U_N} \quad \dots\dots\dots (19)$$

4.10.3.2 空载电流的无功分量按式(20)计算。

$$I_{0X} = \sqrt{I_0^2 - I_{0R}^2} \quad \dots\dots\dots (20)$$

4.10.3.3 堵转电流按式(21)计算。

$$I_{kN} = I_k \frac{U_N}{U_k} \quad \dots\dots\dots (21)$$

4.10.3.4 堵转功率按式(22)计算。

$$P_{kN} = P_k \left(\frac{U_N}{U_k} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (22)$$

4.10.3.5 堵转电流的有功分量按式(23)计算。

$$I_{kR} = \frac{P_{kN}}{3U_N} \quad \dots\dots\dots (23)$$

4.10.3.6 堵转电流的无功分量按式(24)计算。

$$I_{kX} = \sqrt{I_{kN}^2 - I_{kR}^2} \quad \dots\dots\dots (24)$$

4.10.3.7 最大转矩倍数 K_T 按式(25)计算。

$$K_T = \frac{CT}{P_m} \quad \dots\dots\dots (25)$$

式中: 取 $C=0.9$

$$P_m = \frac{P_N + P_{fw} + P_s}{1 - S_{ref}}$$

$$T = 3rU_N \tan \frac{\beta}{2}$$

$$r = \frac{1}{2}(H + K^2/H)$$

$$H = I_{kX} - I_{0X}$$

$$K = I_{kR} - I_{0R}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{H}{K_1} \text{ 求出 } \beta, \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}$$

$$K_1 = \frac{I_{2k}^2 R_{lref}}{U_N}$$

$$I_{2k} = \sqrt{K^2 + H^2}$$

4.10.3.8 最大转矩按式(26)计算。

$$T_{\max} = K_T \cdot T_N \quad \dots\dots\dots (26)$$

式中: T_N ——额定转矩, $N \cdot m$ 。

4.10.3.9 检验结果判定

$\frac{T_{\max}}{T_N}$ 符合 GB/T 16750.2—1997 中表 3 的规定为合格。

4.11 绕组工频耐压

4.11.1 测量要求

试验应在电机静止状态下进行, 试验电压为 $2U_N + 1\,000\text{ V}$ (U_N 为电机额定电压, 重复性试验施加规定试验电压的 80%)。

4.11.2 测量方法

在绕组与机壳之间施加频率为 50 Hz 交流电压, 不参加试验的绕组, 应与机壳短接(无星点电机)。

试验应从电压零状态开始, 逐步升高电压到规定值为止, 从试验电压全值一半增至全值的时间应不少于 10 s, 维持全值电压时间为 1 min, 但最低电压不得低于 1 500 V。

4.11.3 检验结果判定

符合 GB/T 16750.2—1997 中 3.2.1.5 的规定为合格。

4.12 绝缘润滑油工频耐压

4.12.1 测量要求

电机试验前所用绝缘润滑油应经过工频耐压试验, 合格后方能注入电机。电机空载试验后从尾部取油样做工频耐压试验。

4.12.2 测量方法

用干燥过的 1 000 mL 磨口瓶取 800 mL 油样待无气泡后, 倒入油试验器进行工频耐压试验。电极应安装在水平轴上, 放电间隙 2.5 mm。电极之间的间隙用块规校准, 要求精确到 0.1 mm。电极轴浸入试油深度应为 40 mm 左右。电极面上若有因放电引起的凹坑时应更换电极。

4.12.3 检验结果判定

符合 GB/T 16750.2—1997 中 3.2.1.6 的规定为合格。

4.13 密封试验

4.13.1 测量要求

电机各连接处采用专用护盖密封。

4.13.2 测量方法

从电机一端往其内腔通入干燥气体, 试验气压为 0.35 MPa, 时间为 5 min, 同时用肥皂水涂抹各连接处和丝堵。

4.13.3 检验结果判定

符合 GB/T 16750.2—1997 中的 3.2.1.1 的规定为合格。

5 电机保护器

5.1 气压试验

5.1.1 测量要求

气压试验是为了检查保护器的密封性能,即机械密封和连接螺纹密封的性能。

5.1.2 测量方法

采用干燥气体加压。机械密封检验是将压力为 0.035 MPa 干燥气体送入密封腔内,持续时间 5 min;螺纹密封检验是将压力为 0.35 MPa 的干燥气体从保护器下端输入其内腔,同时用肥皂水涂抹各连接处和丝堵,持续时间 5 min。

5.1.3 检验结果判定

符合 GB/T 16750.2—1997 中 3.2.2.1 的规定为合格。

5.2 动态试验

5.2.1 测量要求

5.2.1.1 采用 2 极标定电机与保护器相连固定在保护器试验架上,并按要求注油。

5.2.1.2 采用潜油电机与保护器相连,按要求注油。

5.2.2 测量方法

5.2.2.1 采用标定电机,即启动标定电机运行 5 min,观察并记录电压、电流,运行期间电流应平稳。

5.2.2.2 采用两次空载法,即用两次空载试验分离机耗按 4.3.2 条进行。

5.2.3 检验结果计算。

5.2.3.1 按 5.2.1.1 条进行检验时,应从标定电机曲线上查取保护器机械功率。

5.2.3.2 按 5.2.2.2 条进行检验时,应将两次电机空载试验确定的机耗的差值的绝对值为保护器机耗。

5.2.4 检验结果判定

符合 GB/T 16750.2—1997 中 3.2.2.4 的规定为合格。

5.3 运行后绝缘润滑油工频耐压

5.3.1 测量要求

保护器动态试验后在尾部取油样做工频耐压试验。

5.3.2 测量方法

按 4.12.2 进行。

5.3.3 检验结果判定

符合 GB/T 16750.2—1997 中 3.2.2.5 的规定为合格。

6 油气分离器

6.1 测量要求

调整电泵控制柜的过载、欠载电流值。过载电流调整为额定值的 120%;欠载电流调整为额定值的 75%。启动电泵,泵入口处的气量从小到大,缓慢调到泵吸入口处气体占总体积的 30%,同时调整泵出口压力使泵运行在额定排量点。

6.2 测量方法

电泵稳定运行 30 min 后,记录泵吸入口压力 P_1 , MPa;泵出口压力 P_2 , MPa;吸入口水流量 Q_w , m^3/d ;吸入口气流量 Q_g , m^3/d ;电机工作电流 I , A;电机工作电压 U , V;输入功率 P_{mi} , W。

6.3 检验结果判定

不发生欠载停机为合格。

7 潜油电泵机组

7.1 机组成套性能试验

7.1.1 测量要求

7.1.1.1 将潜油电机(试相序应与泵旋转方向一致)、保护器、分离器、各节泵按要求下入试验井内,按其规定的使用温度供给冷却介质(冷却介质为清水)。出厂检验可在室温下进行。

7.1.1.2 潜油电泵在额定电压、额定频率、额定排量下启动运行,运行时间应符合表2规定。

表 2

规定工况下的轴功率,kW	运转时间,h
≤10	≥0.25
10~50	≥0.5
50~100	≥1
≥100	≥1.5

7.1.2 测量方法

按 4.8.2.1 进行。

7.1.3 测量结果计算

7.1.3.1 井况为示意图 6 时,扬程 H ,m;按式(27)计算。

$$H = \frac{P_2}{\rho g} + (Z_2 - Z_1) + \frac{V_2^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (27)$$

式中: P_2 ——泵出口压力,Pa。

出厂检验时式中第二、三项可忽略不计。

井况为示意图 7 时,扬程按式(28)计算。

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + (Z_2 - Z_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (28)$$

式中: P_1 ——泵入口压力,Pa;

ρ ——泵输送液体密度,kg/m³;

g ——重力加速度, $g=9.81$ m/s²;

Z_2 ——泵入口到井的地面测压距离,m;

Z_1 ——泵入口到井口液面距离,m;

V_2 ——井口出口管线内液体流速,m/s;

V_1 ——井筒内液体流速,m/s。

出厂检验不加温时式中第二、三项可忽略不计。

7.1.3.2 流量 Q

Q ——实测流量,m³/d。

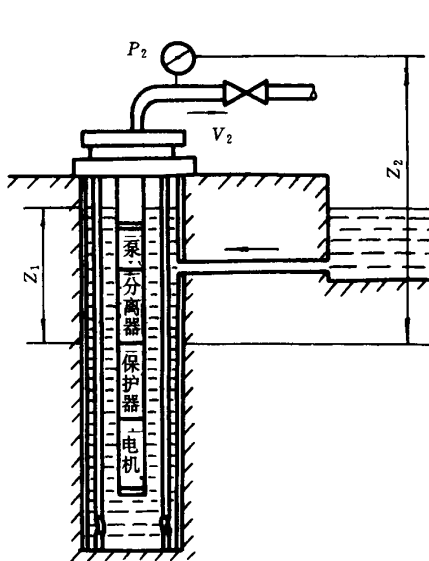


图 6

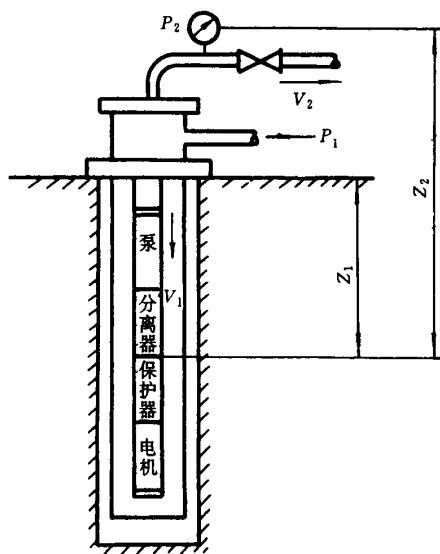


图 7

7.1.3.3 绘制潜油泵性能曲线,即 H 、 P_{pi} 、 η_p 与 Q 的关系曲线(见图 8)。

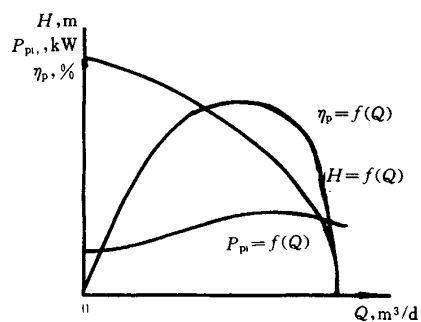


图 8

7.1.3.4 泵性能按式(29)计算。

$$\left(\frac{H_{sp} \cdot X_H}{\Delta H} \right)^2 + \left(\frac{Q_{sp} \cdot X_Q}{\Delta Q} \right)^2 \geq 1 \quad \dots\dots\dots (29)$$

流量允差为 $\pm X_Q$, 扬程允差为 $\pm X_H$;

对于 B 级, $X_Q=0.04$, $X_H=0.02$;

对于 C 级, $X_Q=0.07$, $X_H=0.04$ 。

规定点与试验曲线的垂直距离为 $\pm \Delta H$, 水平距离为 $\pm \Delta Q$ (见图 9)。允差 X_Q 和 X_H 适用于规定性能点 Q_{sp} 、 H_{sp} 。

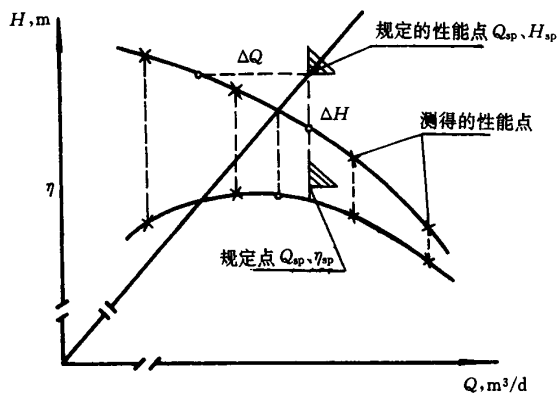


图 9

7.1.3.5 泵轴功率 P_{pi} , kW, 按式(30)计算。

$$P_{pi} = P_{mu} - P_{pfw} \quad \dots\dots\dots (30)$$

式中: P_{pfw} ——保护器机耗, kW。

7.1.3.6 电机输出功率

电机输出功率 P_{mu} 按式(16)计算。

7.1.3.7 泵效 η_p 按式(31)计算。

$$\eta_p = \frac{P_{pu}}{P_{pi}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (31)$$

式中: P_{pu} ——泵输出功率, kW; $P_{pu} = \frac{\rho Q H g}{86\,400}$;

ρ ——水的密度, kg/m³;

g ——重力加速度, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ 。

7.1.3.8 检查泵性能时应换算到规定转速下的泵扬程 H_0 、流量 Q_0 、轴功率 P_{pi0} 按式(32)计算(机组成套性能试验不需换算)。

$$\left. \begin{aligned} Q_0 &= \frac{n_{sp}}{n} \cdot Q \\ H_0 &= \left(\frac{n_{sp}}{n} \right)^2 \cdot H \\ P_{pi0} &= \left(\frac{n_{sp}}{n} \right)^3 \cdot P_{pi} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (32)$$

式中: n_{sp} ——规定转速, r/min;

n ——实测转速, r/min。

7.1.4 检验结果判定

7.1.4.1 泵性能

按式(29)计算其结果 ≥ 1 为合格。

对批量生产的定型产品,其性能曲线与标准性能曲线相比较,除规定性能允差符合要求外,工作范围内其余点的性能允差 C 级应在下列范围内,即:扬程 ± 0.06 , 流量 ± 0.08 , 轴功率 0.08, 并按式(31)计算。

7.1.4.2 η_p 符合 GB/T 16750.2—1997 中表 5 的规定为合格。

7.1.4.3 η_m 、 $\cos\phi$ 、 S_{ref} 由泵规定排量下轴功率确定电机输出功率,再由曲线图 5 确定且符合

GB/T 16750.2—1997 表 3 中的规定为合格。

7.2 绝缘润滑油工频耐压

7.2.1 测量要求

潜油电泵机组运行一段时间后(记录运行时间)起出,在电机尾部按要求取油样 800 mL 并记录运行结束至取样时间。

7.2.2 测量方法

按 4.12.2 进行。

7.2.3 检验结果判定

符合 GB/T 16750.2—1997 中 3.1.7 的规定为合格。

8 潜油电缆

8.1 铠装质量

8.1.1 测量方法

目力观察铠带搭接处焊口,铠带开裂、脱扣等现象。

8.1.2 检验结果判定

焊口应平整牢固,无铠带开裂、脱扣为合格。

8.2 长度

8.2.1 测量要求

采用电缆计长仪检验电缆长度。

8.2.2 检验结果判定

符合 GB/T 16750.2—1997 中表 6 的规定为合格。

8.3 电缆外形尺寸

8.3.1 测量要求

用卡尺测量电缆宽度和厚度。

8.3.2 检验结果判定

符合 GB/T 16750.1—1997 中表 13 的规定为合格。

8.4 芯线外径

8.4.1 测量要求

采用卡尺或千分尺在电缆裸线距端头不少于 600 mm 处测量。

8.4.2 测量方法

在 600 mm 的裸线上均匀取 3 点各测量一次(精确到小数点后两位)。

8.4.3 测量结果计算

计算芯线外径平均值。

8.4.4 检验结果判定

符合 GB/T 16750.2—1997 中 3.2.5.7 的规定为合格。

8.5 绝缘层、护套层厚度

8.5.1 测量要求

在绝缘层 δ_{ic} 、护套层 δ_{pi} 取试样,用投影仪测量其厚度。

8.5.2 测量方法

在试样上最薄处测量一点,然后以等距离共测 6 点。

8.5.3 测量结果计算

计算绝缘层、护套层厚度的平均值 δ_{avi} 、 δ_{avp} 。

8.5.4 检验结果判定

符合 GB/T 16750.2—1997 中表 11 的规定为合格。

8.6 绝缘和护套材料机械性能

8.6.1 测量要求

在成品电缆或原材料上取样,将所取试样制成 5~10 个 I 号或 II 号哑铃试片(一般用 I 号试片,见图 10 和图 11)。试片的厚度应为 $0.80\text{ mm} \leq \delta \leq 2.00\text{ mm}$ (δ 为试片厚度)。

8.6.2 测量方法

将制做好的哑铃试片中间印上两条标志线(见图 10 和图 11)。在两标志线之间取三点测试片平均厚度。

试片在 $23 \pm 5^\circ\text{C}$ 下保存 3 h 后进行拉力试验。每组试片应在 5 min 内试验完,拉伸速度 $\leq 300\text{ mm/min}$ 。试片断裂部位必须在标志线之间,且至少要有四个试片。

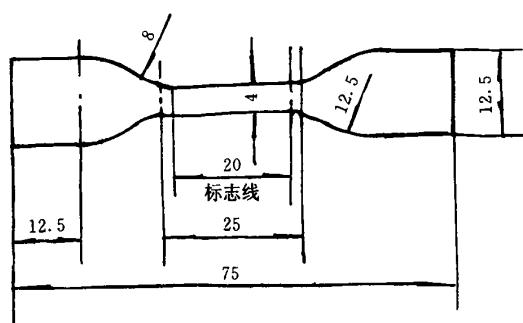


图 10 I 号哑铃试片

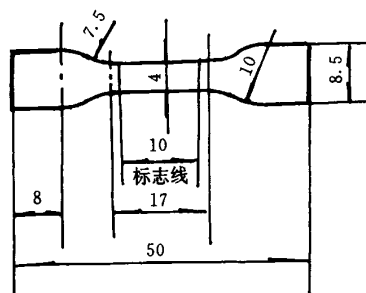


图 11 II 号哑铃试片

8.6.3 测量结果计算

拉伸强度 σ , N/mm^2 ; 按式(33)计算。

$$\sigma = \frac{P}{S} \quad \dots\dots\dots (33)$$

式中: P ——试样拉伸至断裂时的负荷, N ;

S ——试片截面积, mm^2 。

断裂伸长率 ϵ 按式(34)计算。

$$\epsilon = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (34)$$

式中: L_0 ——拉伸前试片标志线间的距离, mm ;

L_1 ——试片断裂时标志线间的距离, mm 。

拉伸强度和断裂伸长率两项结果均取中间值。

8.6.4 检验结果判定

符合 GB/T 16750.2—1997 中 3.2.5.10 的规定为合格。

8.7 绝缘和护套材料的热老化

8.7.1 测量要求

按 8.6.1 进行。

8.7.2 测量方法

将已测出厚度的试片垂直悬挂在老化箱中,根据材料性质(见 GB/T 16750.2—1997 中的表 7~表 10)按规定的温度老化 168 h。老化后的试片在环境温度下至少存放 16 h,然后做拉力试验。不同材料的试片不能同时放入一个老化箱中老化。

8.7.3 测量结果计算

8.7.3.1 拉伸强度变化率 TS 按式(35)计算。

$$TS = \frac{\sigma_1 - \sigma_0}{\sigma_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (35)$$

式中: σ_0 ——老化前拉伸强度中间值, N/mm²;

σ_1 ——老化后拉伸强度中间值, N/mm²。

8.7.3.2 断裂伸长率变化率 EB 按式(36)计算。

$$EB = \frac{\epsilon_1 - \epsilon_0}{\epsilon_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (36)$$

式中: ϵ_0 ——老化前断裂伸长率中间值, %;

ϵ_1 ——老化后断裂伸长率中间值, %。

8.7.4 检验结果判定

TS 、 EB 符合 GB/T 16750.2—1997 中 3.2.5.10 的规定为合格。

8.8 绝缘电阻

8.8.1 测量要求

8.8.1.1 试样为短样(不得小于 10 m)或长样(整盘电缆)。测量应在环境温度 20 ± 2 °C、空气相对湿度不大于 85% 的室内或水中进行, 并保证试样温度与环境温度平衡。

8.8.1.2 试样的两个端头剥去绝缘层外的覆盖物(不能损伤绝缘表面), 露出的绝缘部分长度, 在空气中试验应不小于 300 mm; 在水中试验应不小于 350 mm, 并且两个端头露出水面的长度应不小于 500 mm。

8.8.1.3 露出的绝缘表面应保持干燥和洁净。

8.8.2 测量方法

采用绝缘电阻测试仪分别测量三相电缆(另外两项与铠带相连)对铠带及相间的绝缘电阻。每相测量后对地放电。

8.8.3 测量结果计算

8.8.3.1 每千米绝缘电阻 R_i , $M\Omega \cdot km$; 按式(37)计算。

$$R_i = R_u \cdot L \quad \dots\dots\dots (37)$$

式中: R_u ——实测绝缘电阻, $M\Omega$;

L ——被测电缆的长度, km。

8.8.3.2 换算至 20°C 时的绝缘电阻 R_{i20} , $M\Omega \cdot km$; 按式(38)计算。

$$R_{i20} = R_i \frac{K_i}{K_{20}} \quad \dots\dots\dots (38)$$

式中: R_i ——三相中最小值, $M\Omega \cdot km$;

K_i ——测量时温度校正系数, 见表 3;

K_{20} ——温度为 20°C 时的校正系数; 见表 3。

表 3

温度,℃	校正系数	温度,℃	校正系数
10.0	0.75	20.0	1.27
10.6	0.77	20.6	1.31
11.1	0.79	21.1	1.35
11.7	0.82	21.7	1.39
12.2	0.84	22.2	1.43
12.8	0.87	22.8	1.47
13.3	0.89	23.3	1.52
13.9	0.92	23.9	1.56
14.4	0.94	24.4	1.61
15.0	0.97	25.0	1.66
15.6	1.00	25.6	1.71
16.1	1.03	26.1	1.76
16.7	1.06	26.7	1.81
17.2	1.09	27.2	1.81
17.8	1.13	27.8	1.92
18.3	1.16	28.3	1.98
18.9	1.20	28.9	2.04
19.4	1.23	29.4	2.10

注：本表适用于乙丙橡胶绝缘电缆，聚丙烯和交联聚乙烯绝缘电缆也可参考使用。

8.8.4 检验结果判定

符合 GB/T 16750.2—1997 中表 6 的规定为合格。

8.9 导体直流电阻

8.9.1 测量要求

8.9.1.1 试样为短样(不得小于 1 m)或长样(整盘电缆,但要确定其长度)。

8.9.1.2 除去试样两端导电线芯外表面的绝缘、护套或其他覆盖物,防止损伤导体,其长度应大于芯线周长的 2 倍,并将三相线芯连成星点。

8.9.1.3 测量应在环境温度为 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 的空气或水中进行,并保证环境温度与芯线温度平衡。

8.9.2 测量方法

8.9.2.1 采用直流双电桥或微欧计测量,并使电位夹头和电流夹头之间的距离不得小于芯线圆周长的 1.5 倍。

8.9.2.2 分别测量 R_{UV} 、 R_{VW} 、 R_{WU} 的直流电阻,取其四位有效数字。

8.9.3 测量结果计算

8.9.3.1 R_U 、 R_V 、 R_W , Ω ;按式(39)计算。

$$\left. \begin{aligned} R_U + R_V &= R_{UV} \\ R_V + R_W &= R_{VW} \\ R_W + R_U &= R_{WU} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (39)$$

8.9.3.2 在 R_U 、 R_V 、 R_W 中确定 R_{\max} 并换算至每千米直流电阻 R ,再按式(40)换算至 20°C 时一相直流

电阻 R_{20}, Ω 。

$$R_{20} = R \cdot K_T \quad \dots\dots\dots (40)$$

式中: $K_T = \frac{1}{1+0.004(\theta-20)}$

θ ——测量时温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

在 R_{UV} 、 R_{VW} 、 R_{WU} 中确定 R_{\max} 和 R_{\min} , 按式(41)计算三相直流电阻不平衡度 ϵ_{cR} 。

$$\epsilon_{cR} = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{R_{\text{cav}}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (41)$$

式中: R_{cav} ——三根芯线电阻的平均值。

8.9.4 检验结果判定

R_{20} 、 ϵ_{cR} 符合 GB/T 16750.2—1997 中表 6 的规定为合格。

8.10 工频耐压(直流耐压)

8.10.1 测量要求

8.10.1.1 整盘电缆浸入 $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的恒温水中, 且保证芯线温度与环境温度平衡。

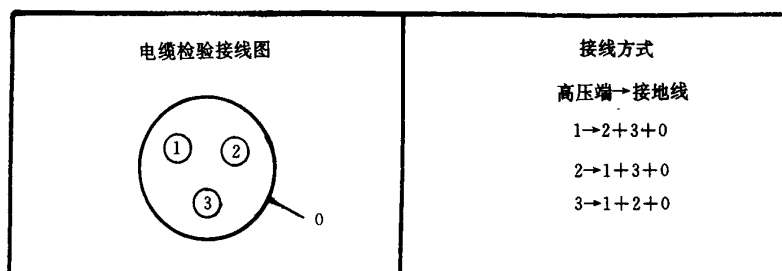
8.10.1.2 电缆两端头露出水面长度应不小于 350 mm; 带电缆头的电缆, 一端接试验电源, 电缆头端放在绝缘油槽内, 以使其在施加电压时不发生沿其表面闪络放电。

8.10.1.3 电压波形应接近正弦波。

8.10.2 测量方法

8.10.2.1 采用交直流耐压试验器, 装置内应具有短路速断保护功能, 并有可靠的接地。

8.10.2.2 对三相电缆分别施加交流电压 10.8 kV 或直流电压 19.6 kV, 其余两相和铠带相连接, 并接地(接线图见图 12)。重复性试验施加为规定电压的 80%。



1、2、3—三相电缆芯线; 0—铠带

图 12

8.10.2.3 施压从低于规定电压值的 40% 开始, 缓慢平稳地升到所规定电压值的 $\pm 3\%$ 为止, 持续 1 min; 然后降低电压至规定电压的 40% 以下再切断电源。禁止在高电压下突然切断电源, 以免出现过电压。

8.10.3 检验结果判定

符合 GB/T 16750.2—1997 中表 6 的规定为合格。

8.11 4 h 高电压

8.11.1 测量要求

取成品电缆 5~10 m, 剥去所有外护层, 将带绝缘的芯线浸入水中 1 h 以上, 两端伸出水面长度不小于 350 mm, 露出不带绝缘层的芯线长度不小于 50 mm。

8.11.2 测量方法

8.11.2.1 采用交流耐压试验器。

8.11.2.2 电缆线芯一端接试验装置的高压输出端, 试验装置的接地端接电极放入水槽中(接线图见图 13), 所施加电压为 $3U_0$ (U_0 ——相电压), 时间 4 h。

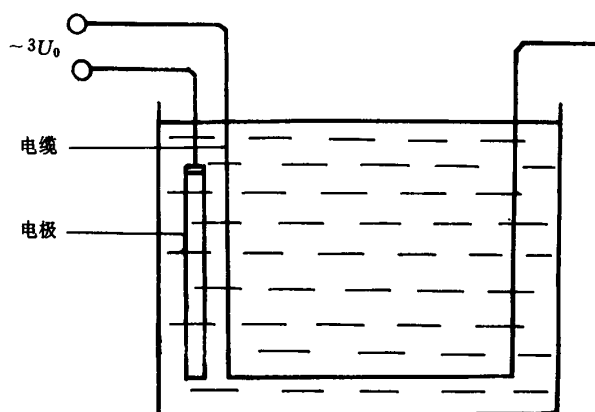


图 13

8.11.3 检验结果判定

符合 GB/T 16750.2—1997 中 3.2.5.12 的规定为合格。

8.12 直流泄漏

8.12.1 测量要求

8.12.1.1 试样长度不得少于 300 m, 被测电缆两端去掉外护层, 露出绝缘层 350 mm; 再去掉 100 mm 绝缘层, 露出芯线并处理干净。

8.12.1.2 按 8.9.1.3 进行。

8.12.2 测量方法

8.12.2.1 采用直流泄漏电流测试仪, 三相分别对铝带进行测量(接线图见图 14)。

8.12.2.2 试验电压为 15 kV。施压时要均匀平稳, 升至最高电压时间不得少于 10 s, 达到电压规定值后持续 5 min, 记录泄漏电流。降压时要缓慢平稳。

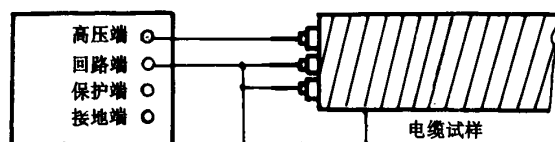


图 14

8.12.3 测量结果计算

8.12.3.1 换算至每千米泄漏电流 I'_b , μA ; 按式(42)计算。

$$I'_b = \frac{I_{bt}}{L} \dots\dots\dots (42)$$

式中: I_{bt} ——实测泄漏电流, μA ;

L ——被测电缆长度, km。

8.12.3.2 换算至 15.6℃时泄漏电流 I'_{bt} , μA ; 按式(43)计算。

$$I'_{bt} = \frac{I'_b}{K_t} \dots\dots\dots (43)$$

8.12.4 检验结果判定

符合 GB/T 16750.2—1997 中表 6 的规定为合格。

8.13 高温高压试验

8.13.1 测量要求

8.13.1.1 试验电缆为短样时,采用高温高压专用试验装置。在装置容器内按1:1比例加入清水、柴油或汽轮机油HU-20、HU-30。电缆两端密封,伸出试验装置长度应不小于250 mm,芯线裸露长度应不小于50 mm。

8.13.1.2 试验电缆为整盘时,将电缆放置90℃清水、常压容器内。

8.13.2 测量方法

8.13.2.1 短样电缆

a) 短样在未放入试验装置之前应测量并记录其对地绝缘电阻、温度、湿度;放入试验装置密封后在加温加压前再测量并记录其对地绝缘电阻、温度。

b) 试验温度、压力应符合表4的规定。

表 4

井下环境 温度 C	电缆导体长期 工作温度 C	容器内 温 度 C	容器内 压 力 MPa	试验持续时间 h	
				一般检验	仲裁检验
150	205	205±5	20	4	24
120	175	175±5	20		
90	145	145±5	20		
50	≤100	100±5	10		

c) 试验装置容器内加压、加温,至规定值并恒定4 h;每隔1 h用兆欧表(2 500 V)测量并记录对地绝缘电阻、温度、压力值。

8.13.2.2 整盘电缆

a) 在电缆未放入水中之前测量其对地及相间绝缘电阻并记录温度、湿度。

b) 电缆放入水中未加温之前测量其对地及相间绝缘电阻并记录水温。

c) 电缆在加温至90℃时测量其对地及相间绝缘电阻。

d) 恒温90℃,2 h后再测量其对地及相间绝缘电阻。

8.13.3 测量结果计算

整盘电缆按8.8.3进行。

8.13.4 检验结果判定

最后一次测量的对地及相间绝缘电阻符合GB/T 16750.2—1997中3.2.5.9的规定为合格。

9 电缆头

9.1 密封性能

9.1.1 测量要求

带引接电缆的电缆头与特制的密封接头相连,浸入汽轮机油HU-20或HU-30中,加温至规定的工作温度。

9.1.2 测量方法

在特制的密封接头处用干燥气体加压0.30 MPa,维持5 min,检查是否有泄漏现象。

9.1.3 检验结果判定

符合GB/T 16750.2—1997中3.2.5.6的规定为合格。

9.2 电缆头工频耐压

9.2.1 测量要求

带引接电缆的电缆头其引接电缆长度应不小于 500 mm。电缆头端浸入绝缘油中,另一端分别在每相与其他两相和铠带间施加 $2U_N+1\ 000\text{ V}$ 试验电压。重复性试验为规定试验电压的 80% (U_N 为电机最高的额定电压)。

9.2.2 测量方法

按 8.10.2 进行。

9.2.3 检验结果判定

符合 GB/T 16750.2—1997 中 3.2.5.8 的规定为合格。

9.3 电缆头高温高压

9.3.1 测量要求

9.3.1.1 按 8.13.1.1 进行。

9.3.1.2 带引接电缆的电缆头与特制的密封接头相连,放在高温高压专用试验装置的容器内;另一端伸出高温高压试验装置且保证端部密封。其伸出长度应不小于 250 mm,芯线裸露长度应不小于 50 mm。

9.3.2 测量方法

按 8.13.2.1 进行。

9.3.3 检验结果判定

符合 GB/T 16750.2—1997 中 3.2.5.9 的规定为合格。

10 变压器

10.1 绕组绝缘电阻

10.1.1 测量要求

测量应在温度 $10\sim 40^\circ\text{C}$ 、相对湿度小于 85% 进行,提供实测值。

10.1.2 测量方法

采用 1.5 级以上 2 500 V 兆欧表分别测量三绕组三相对地绝缘电阻。

10.1.3 检验结果判定

符合 GB/T 16750.2—1997 中表 12 的规定为合格。

10.2 直流电阻

10.2.1 测量要求

高、低压绕组和中压的各分接绕组均应测量直流电阻,对于星形联接有中性点的应测量中性点对一个线端电阻。

10.2.2 测量方法

采用直流电桥分别测量三绕组的线电阻并记录与绕组温度相平衡的实际环境温度。

10.2.3 测量结果计算

三相直流电阻不平衡率 ϵ_{IR} 按式(44)计算。

$$\epsilon_{\text{IR}} = \frac{R_{\text{max}} - R_{\text{min}}}{R_{\text{tav}}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (44)$$

式中: R_{tav} ——高、低、中压绕组三相直流电阻平均值, Ω ;

$R_{\text{UV}}、R_{\text{VW}}、R_{\text{WU}}$ ——三相绕组的线电阻, Ω ;

U、V、W 表示高压绕组;

u、v、w 表示低压绕组;

$U_m、V_m、W_m$ 表示中压绕组;

R_{max} ——分别确定高、低、中压绕组三相中最大一相直流电阻, Ω ;

R_{min} ——分别确定高、低、中压绕组三相中最小一相直流电阻, Ω 。

10.2.4 检验结果判定

符合 GB/T 16750.2—1997 中表 12 的规定为合格。

10.3 电压比测量及电压矢量关系校定

10.3.1 测量要求

高压绕组对中压各分接下绕组、高压绕组对低压绕组均应测量电压比。

10.3.2 测量方法

采用电压比电桥分别对各绕组间的电压比进行测量,并记录测量值,同时验证联接组标号是否正确。

10.3.3 检验结果判定

符合 GB/T 16750.2—1997 中表 12 的规定为合格。

10.4 外施耐压

10.4.1 测量要求

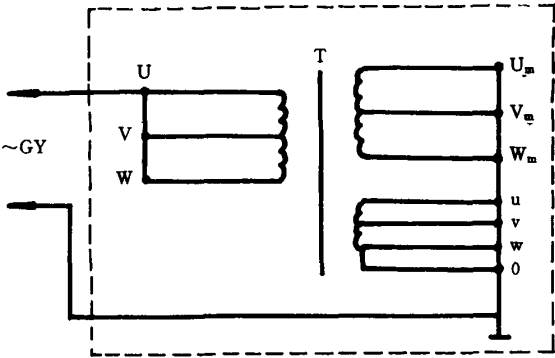
外施试验电压应符合表 5 的规定,其频率在 45~55 Hz 之间。重复性试验按表 5 规定电压的 85% 进行。

表 5 kV

绕 组 工 作 电 压	外 施 最 高 电 压
0.38	5
3	18
6	25
10	35

10.4.2 测量方法

采用交流耐压试验装置,装置内应设短路保护功能,分别在高、中、低压绕组从低于规定电压的 1/3 开始缓慢施压至规定值,持续 1 min;然后再将电压降至零,不参加试验的绕组均应接地。接线方法见图 15。



GY—工频耐压试验装置;T—被试变压器

图 15

10.4.3 检验结果判定

试验过程中变压器无放电声、电压不突然下降、电流指示不波动为合格。

如果试验过程中仅有放电声,但电流表指示比较平稳,重复试验后放电现象消失,亦为合格。

10.5 感应耐压

10.5.1 测量要求

10.5.1.1 在低压绕组施加 100~200 Hz、2 倍的额定电压,其他绕组开路,接地可靠。

10.5.1.2 感应耐压应在外施耐压后进行。

10.5.2 测量方法

采用绕线式异步电机反拖或中频发电机组对低压绕组施加电压至规定值。持续时间按式(45)计算,然后将电压降至零。

$$T = \frac{6\,000}{f} \quad \dots\dots\dots (45)$$

式中: f ——试验电源频率,Hz;

T ——试验持续时间,s。

10.5.3 检验结果判定

按 10.4.3 进行。

10.6 空载损耗与空载电流

10.6.1 测量要求

在低压绕组或中压绕组的主分接施加额定频率的额定电压,其他绕组开路,器身接地可靠。

10.6.2 测量方法

首先慢慢给绕组施压至额定值为止,施压以三相线电压的平均值为准,记录三相电压有效值和平均值、三相电流、功率、频率。

当波形畸变,即平均值电压表与有效值电压表读数不同时,应以平均值电压表为准,测量空载损耗、空载电流和电压,然后将电压降至零。

10.6.3 测量结果计算

当 $U' = U$ 时,空载损耗 P_0 ,W;不需修正即: $P_0 = P_{om}$;

当 $U' \neq U$ 时,空载损耗需要按式(46)修正。

$$P_0 = P_{om} / (P_{ho} + K_u P_{vo}) \quad \dots\dots\dots (46)$$

式中: $K_u = (U/U')^2$

U' ——未带试品前测量电压平均值 U_1 时的有效电压表的线电压,V;

U ——带试品测量 U_1 时的有效值电压表的线电压,V;

P_{om} ——实测空载损耗,W;

P_{ho} ——磁滞损耗与总损耗之比,见表 6;

P_{vo} ——涡流损耗与总损耗之比,见表 6。

表 6

材 料	P_{ho}	P_{vo}
取向硅钢片	0.5	0.5
非取向硅钢片	0.7	0.3

10.6.4 检验结果判定

10.6.4.1 空载电流

以平均值电压表的有效值施加额定电压所测得的三相电流的算术平均值 I_0 与额定电流 I_N 的百分数表示,即:

$$\frac{I_0}{I_N} \times 100\% \text{ 小于 GB/T 6451 中规定值} + 30\% \text{ 为合格。}$$

10.6.4.2 空载损耗

P_0 小于 GB/T 6451 中规定值 + 15% 为合格。

10.7 负载损耗与阻抗电压

10.7.1 测量要求

采用短路法测量负载损耗与阻抗电压。高压绕组施压,中压绕组短路(在主分接下进行),低压绕组开路,器身接地可靠。

10.7.2 测量方法

高压绕组从零开始施压至中压绕组达到额定电流(三相电流算术平均值)为止。记录三相电压、三相电流、功率、频率,然后再将电压降至零。

10.7.3 检验结果判定

10.7.3.1 阻抗电压

阻抗电压 ΔU 为所测三相电压算术平均值 U_k 与中压绕组额定电压(主分接) U_N 之比的百分数,即:

$$\Delta U = \frac{U_k}{U_N} \times 100\%, \text{ 在规定值} \pm 10\% \text{ 之内为合格。}$$

10.7.3.2 负载损耗

P_k 小于 GB/T 6451 中规定值的 +15% 为合格。

10.8 温升试验

10.8.1 测量要求

10.8.1.1 被试变压器周围 2~3 m 处不得有墙壁、热源、杂物堆积及外来辐射气流等干扰。室内自然通风,但不应引起显著的空气回流。

10.8.1.2 采用短路法进行温升试验,被试变压器一侧短路,另一侧施压(在主分接下进行)。

10.8.1.3 试验环境温度 10~40℃。

10.8.1.4 监视油顶层温度,散热器出口温度(称监视部位温升)。在不少于 1 000 mL 的油杯中放入温度计,测量环境温度,放置时间不少于 2 h。

10.8.2 测量方法

10.8.2.1 采用直流电桥或微欧计分别测量三绕组的线电阻并记录环境温度。应使环境温度与绕组温度平衡。

10.8.2.2 一侧绕组施压(一般高压绕组施压)至输入功率等于最大总损耗时为止。为了缩短试验时间,开始时可以提高输入功率(1.5 I_N),使温度迅速提高,运行到油顶层温升的预定值的 70% 时降低功率到输入功率等于总损耗(额定发热状态),并维持输入功率恒定。

10.8.2.3 每 15 min 记录一次三相电压、电流、功率、油顶层温度、散热器出入口温度。当监视部位温升连续 4 h 每小时温升小于 1 K 时,温升即达到稳定状态(冷却介质的温度以最后 1/4 时程里、相等的时间间隔内的温度的平均值)。降压断电测量绕组热态直流电阻。测量绕组热电阻的第一点时间应不大于 2 min,每隔 60 s 测一点,共测 10~12 点。冷热直流电阻应用同一电桥。

10.8.2.4 重复送电维持额定发热状态运行 1 h 后降压断电,测量另一侧绕组电阻。

10.8.3 测量结果计算

10.8.3.1 绘制 $\lg R = f(t)$ 曲线(见图 16),确定断电瞬间绕组热态直流电阻 R_2 。

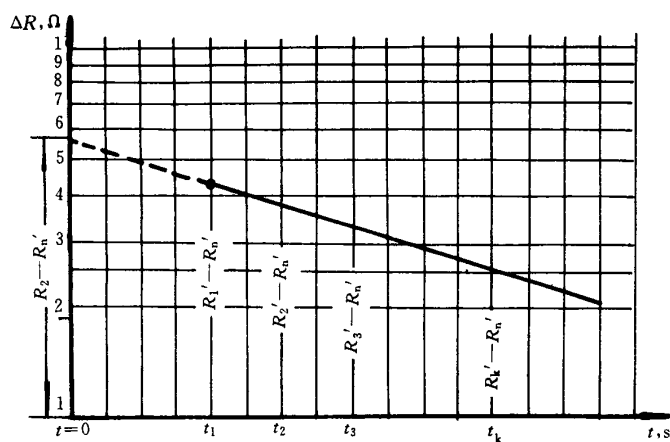


图 16

10.8.3.2 油顶层温升 τ_1, K ; 按式(47)计算。

$$\tau_1 = \theta_1 - \theta_{02} \quad \dots\dots\dots (47)$$

式中: θ_1 ——总损耗下温升稳定后的油顶层温度, $^{\circ}C$;

θ_{02} ——测热电阻时冷却介质的温度取温升后 1/4 时程各测试点的冷却介质温度的平均值, $^{\circ}C$ 。

10.8.3.3 绕组平均温升 τ_2, K ; 按式(48)计算。

$$\tau_2 = \frac{R_2}{R_1}(K_{\theta} + \theta_{01}) - (K_{\theta} + \theta_{02}) + \frac{\tau_1 - \tau'_1}{K_{\theta}} \quad \dots\dots\dots (48)$$

式中: R_1 ——绕组冷态直流电阻, Ω ;

R_2 ——断电时从曲线上查得的热态绕组直流电阻, Ω ;

θ_{01} ——测量绕组冷态电阻时的绕组温度, $^{\circ}C$;

τ'_1 ——额定电流下停电测量前油顶层温升, $\tau'_1 = \theta'_{02} - \theta_{01}, K$;

θ'_{02} ——额定电流下停电测量前油顶温度, $^{\circ}C$;

K_{θ} ——平均油温系数, $K_{\theta} = \frac{\theta_1}{\theta_p}$;

θ_p ——总损耗下的油平均温度, $^{\circ}C$ 。

10.8.4 检验结果判定

符合 GB/T 16750.2—1997 中表 12 的规定为合格。

10.9 变压器油介电强度

10.9.1 测量要求

用干净、干燥油杯在变压器放油孔取样 800 mL。取样时应将放油孔处理干净, 防止脏物落入。

10.9.2 测量方法

10.9.2.1 按 4.12.2 进行。

10.9.2.2 采用油耐压试验器对变压器油进行六次电压击穿检验, 每次记录电压击穿值。

10.9.3 测量结果计算

以六次击穿电压的算术平均值为介电强度。

10.9.4 检验结果判定

符合 GB/T 16750.2—1997 中表 12 的规定为合格。

10.10 密封性能

10.10.1 测量要求

在变压器箱盖或贮油柜上连接一个气压表,通过贮油柜放气塞输入干燥气体。

10.10.2 测量方法

变压器油箱及贮油柜施加 0.05 MPa 干燥气体,恒压 24 h。

10.10.3 检验结果判定

符合 GB/T 16750.2—1997 中表 12 的规定为合格。

11 控制柜

11.1 主电路绝缘电阻

11.1.1 测量要求

11.1.1.1 按 10.1.1 进行。

11.1.1.2 拆除与主电路有关的控制电路、控制变压器、电压互感器、电流互感器二次接线并短接互感器二次回路,并应有可靠接地线。

11.1.2 测量方法

采用兆欧表分别测量主电路相对地绝缘电阻并记录绝缘电阻值。

11.1.3 检验结果判定

符合 GB/T 16750.2—1997 中 3.2.7.4 的规定为合格。

11.2 控制电路绝缘电阻

11.2.1 测量要求

11.2.1.1 按 10.1.1 规定。

11.2.1.2 拆除与 PCC 控制中心有关的线路、电压互感器、电流互感器,并应有可靠接地线。

11.2.2 测量方法

采用 500 V 兆欧表测量控制电路对地绝缘电阻并记录绝缘电阻值。

11.2.3 检验结果判定

符合 GB/T 16750.2—1997 中 3.2.7.5 的规定为合格。

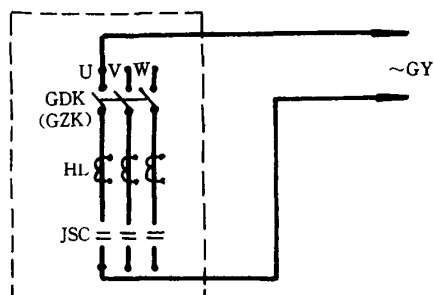
11.3 主电路工频耐压

11.3.1 测量要求

11.3.1.1 拆除与主电路有关的控制电路、控制变压器、电压互感器、电流互感器二次接线并短接电流互感器二次回路。

11.3.1.2 试验电源的电压应接近正弦波,频率在 45~62 Hz 之间。

11.3.1.3 测量接线方法见图 17。



GDK(GZK)—高压刀开关或高压自动开关;HL—电流互感器;
JSC—真空接触器;GY—工频耐压试验装置

图 17

11.3.2 测量方法

11.3.2.1 分别对主电路三相进线与接触器出线之间进行测量。

11.3.2.2 施加试验电压应从小于 1/3 规定试验电压开始,逐步升至规定值,试验结束后,逐渐降压至零,然后切断电源。试验电压为 $2U_N + 1\,000\text{ V}$ (U_N 为控制柜额定工作电压, V),并在该值下持续 1 min。重复性试验为规定试验电压的 80%。

11.3.3 检验结果判定

符合 GB/T 16750.2—1997 中 3.2.7.3 的规定为合格。

11.4 控制电路工频耐压

11.4.1 测量要求

按 11.2.1 规定。

11.4.2 测量方法

按 11.3.2.2 (U_N 为控制电路额定电压)进行。

11.4.3 检验结果判定

符合 GB/T 16750.2—1997 中 3.2.7.3 的规定为合格。

11.5 模拟运行

11.5.1 测量要求

模拟运行,以试验控制柜各项功能。

11.5.2 测量方法

11.5.2.1 通入额定电流 I_N ,试验三相电流最大显示误差。

11.5.2.2 设定 $1.2I_N$ 和过载动作时间。通入 $1.2I_N$,检验中心控制器过载保护和延时功能。

11.5.2.3 设定 $0.75I_N$ 和欠载动作时间。通入 $0.75I_N$,检验中心控制器欠载保护和延时功能。

11.5.2.4 断开三相电流的任意一相,检验中心控制器单相保护功能。

11.5.2.5 设定欠载延时自动启动时间,检验在设定的欠载延时时间内自动启动功能。

11.5.3 测量结果计算

三相电流显示误差 γ 按式(49)计算。

$$\gamma = \frac{I - I'}{I} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (49)$$

式中: I ——电流标准值, A;

I' ——三相电流中一相最大显示值, A。

11.5.4 检验结果判定

11.5.4.1 各项功能按设定值动作为合格。

11.5.4.2 γ 符合 GB/T 16750.2—1997 中的 3.2.7.6 的规定为合格。