

ICS 75.180.10

CCS E 92



# 团 体 标 准

T/CEATEC XXX—202X

---

## 潜油螺杆泵用永磁同步潜油电机通用 技术条件

General technical specifications for permanent magnet synchronous  
submersible motors for progressing cavity pumps  
(征求意见稿)

202X-X-XX 发布

202X-X-XX 实施

---

中国欧洲经济技术合作协会 发布

# 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 一般要求 .....	2
4.1 基本参数 .....	2
4.2 工作制与定额 .....	3
5 技术要求 .....	3
5.1 环境适应性要求 .....	3
5.2 电气性能要求 .....	3
5.3 机械性能要求 .....	4
5.4 安全要求 .....	5
5.5 可靠性要求 .....	5
5.6 结构与材料要求 .....	5
6 试验方法 .....	6
6.1 环境适应性试验 .....	6
6.2 电气性能试验 .....	6
6.3 机械性能试验 .....	7
6.4 安全试验 .....	7
6.5 可靠性试验 .....	7
6.6 结构与材料试验 .....	7

## 前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件主要起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

# 潜油螺杆泵用永磁同步潜油电机通用技术条件

## 1 范围

本文件规定了潜油螺杆泵用永磁同步潜油电机的一般要求、技术要求、试验方法。

本文件适用于采用永磁同步驱动技术、与潜油螺杆泵一体化设计、可完全浸没于油井液体介质中运行的永磁同步潜油电机（以下简称“电机”）。该电机适用于陆上及海上油田，工作环境温度为-40~150℃，介质为原油、天然气及地层水的混合液，适用于直井、斜井及水平井等复杂井况。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法
- GB/T 755 旋转电机 定额和性能
- GB/T 1032 三相异步电动机试验方法
- GB/T 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温
- GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温
- GB/T 2423.4 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Db： 交变湿热（12h+12h循环）
- GB/T 2900.25 电工术语 旋转电机
- GB/T 2900.35 电工术语 爆炸性环境
- GB/T 3836.1 爆炸性环境 第1部分：设备 通用要求
- GB/T 3836.2 爆炸性环境 第2部分：由隔爆外壳“d”保护的设备
- GB/T 4208 外壳防护等级（IP代码）
- GB/T 5080.7 设备可靠性试验 恒定失效率假设下的失效率与平均无故障时间的验证试验方案
- GB/T 5654 液体绝缘材料 相对电容率、介质损耗因数和直流电阻率的测量
- GB/T 10068 轴中心高为56mm及以上电机的机械振动 振动的测量、评定及限值
- GB/T 13002 旋转电机 热保护
- GB/T 14711 中小型旋转电机通用安全要求
- GB/T 16750 潜油电泵机组
- GB/T 20160 旋转电机绝缘电阻测试
- GB/T 22670 变频器供电三相笼型感应电动机试验方法
- GB/T 22711 三相永磁同步电动机技术条件（机座号80~355）
- GB/T 22719.1 交流低压电机散嵌绕组匝间绝缘 第1部分：试验方法
- GB/T 22719.2 交流低压电机散嵌绕组匝间绝缘 第2部分：试验限值
- GB/T 30549 永磁交流伺服电动机 通用技术条件
- GB/T 44683 螺杆泵名词术语
- SY/T 7673 石油天然气钻采设备 潜油电动螺杆泵机组
- SY/T 7751 电动潜油螺杆泵采油技术要求

## 3 术语和定义

GB/T 2900.25、GB/T 2900.35、GB/T 44683、SY/T 7751界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

## 3.1

**永磁同步潜油电机** permanent magnet synchronous submersible motor

采用永磁体建立励磁磁场，具有同步转速特性，设计用于完全浸没于油井液体介质中，直接驱动潜油螺杆泵运行的专用电机。

## 3.2

**设备保护级别** equipment protection level (EPL)

根据设备成为点燃源的可能性和爆炸性环境特征，对设备规定的保护级别。

## 3.3

**细长比** slenderness ratio

电机总长度与定子铁心外径之比，表征电机结构的细长程度。

## 3.4

**井下工况** downhole working condition

电机在油井井筒内实际工作时所处的温度、压力、介质性质及井身结构等环境条件的总称。

## 3.5

**永磁体工作点** operating point of permanent magnet

永磁体在电机实际运行状态下，其磁感应强度与磁场强度的坐标点，表征永磁体的退磁程度。

## 3.6

**分段式结构** segmented structure

将电机定子绕组和转子永磁体沿轴向分成若干独立段，每段具有独立的电磁和机械结构，便于制造、安装和维护的结构形式。

## 3.7

**扶正滑动轴承** centering sliding bearing

兼具径向定位和轴向支撑功能，采用液体动压润滑原理，用于限制电机转子径向跳动并承受轴向力的专用滑动轴承。

## 3.8

**变频驱动** variable frequency drive (VFD)

通过改变供电频率和电压来调节电机转速的电力电子控制装置。

## 4 一般要求

## 4.1 基本参数

## 4.1.1 额定参数

电机的额定参数应符合表1的规定。

表1 额定参数

参数名称	额定值	允许偏差
额定功率 (kW)	15、22、30、37、45、55、75、90、110、132、160	—
额定电压 (V)	380、660、1140	±10%
额定频率 (Hz)	50	±2%

额定转速(r/min)	300~1500 (可调)	±0.5%
功率因数	≥0.95	
额定效率 (%)	≥92 (P≥45kW) ≥90 (P<45kW)	
绝缘等级	F级	
防护等级	IP68	

#### 4.1.2 外形尺寸与质量

电机外形尺寸应符合表2的规定。

表2 外形尺寸系列

额定功率 (kW)	定子外径 (mm)	铁心长度 (mm)	总长 (mm)	细长比	质量 (kg)
15~30	103	800~1500	1200~2000	≤20	80~150
37~55	114	1000~1800	1500~2500	≤22	150~250
75~110	138	1200~2200	1800~3000	≤22	250~400
132~160	185	1500~2500	2200~3500	≤20	400~650

注：具体尺寸可根据用户要求和井况条件调整，但细长比不应超过表中限值。

## 4.2 工作制与定额

### 4.2.1 工作制

电机工作制为S1（连续工作制）符合GB/T 755规定，潜油螺杆泵的实际运行特点应满足以下特殊要求：

- 连续运行能力：在额定工况下，能够不间断连续运行≥20000h，无需维护；
- 变频运行适应性：在5~100Hz变频范围内，S1工作制仍然有效，温升限值不超标；
- 周期性负载能力：允许每天≤3次启停，每次停机时间≥2h，不影响S1定额的连续性认定；
- 短时过载能力：在1.5倍额定负载下，可持续运行≥60min，之后能自动恢复至额定工况。

### 4.2.2 定额

电机定额是以连续工作制（S1）为基准的连续定额，应符合以下规定：

- 额定功率定额：在额定电压、额定频率、额定转速下，能够输出额定功率而不超过温升限值；
- 变频功率定额：基频以下（恒转矩区）功率、转矩恒定；基频以上（恒功率区）功率恒定，转矩随转速升高而降。；

## 5 技术要求

### 5.1 环境适应性要求

#### 5.1.1 温度适应性

电机应能在下列环境温度条件下正常工作：

- 工作环境温度：-40~150℃（常规型），-40~180℃（高温型）；
- 电机温升限值：定子绕组温升不超过80K（F级绝缘按B级考核），轴承温度不超过95℃。

#### 5.1.2 压力适应性

电机应能承受的最大工作压力为25MPa（常规型）或35MPa（高压型），在额定工作压力下保持密封性能，无渗漏现象。

#### 5.1.3 振动与冲击适应性

电机应能承受运输和井下作业过程中的振动与冲击。

#### 5.1.4 外壳防护等级

电机外壳防护等级为IP68。

### 5.2 电气性能要求

#### 5.2.1 额定功率与效率

在额定工况下，应满足以下要求：

- a) 电机的输出功率应达到额定值，效率应符合表1规定；
- b) 在75~100%额定负载范围内，效率应不低于额定效率的95%。

#### 5.2.2 功率因数

在额定工况下，应满足以下要求：

- a) 电机的功率因数应 $\geq 0.95$ ；
- b) 在20~120%额定负载范围内，功率因数应 $\geq 0.90$ 。

#### 5.2.3 转速特性

在额定工况下，应满足以下要求：

- a) 电机采用变频调速，额定转速范围应为300~1500r/min；
- b) 在额定频率下，转速波动率应不超过 $\pm 0.5\%$ 。

#### 5.2.4 转矩特性

电机应具有恒转矩调速特性，在额定转速范围内，输出转矩应不低于额定转矩。启动转矩倍数应 $\geq 2.0$ ，最大转矩倍数应 $\geq 2.5$ 。

#### 5.2.5 绝缘性能

具体如下：

a) 绕组绝缘电阻：在冷态下，定子绕组对地绝缘电阻应 $\geq 100M\Omega$ （额定电压 $\leq 660V$ ）或 $50M\Omega$ （额定电压 $> 660V$ ）；

b) 耐电压性能：定子绕组应能承受2倍额定电压加1000V的工频耐电压试验，历时1min，无击穿或闪络现象；

c) 匝间绝缘：绕组匝间绝缘应能承受6.2.6规定的冲击耐电压试验。

##### 5.2.5.1 绝缘介质性能

定子绕组绝缘材料的介质性能应符合GB/T 5654规定。

#### 5.2.6 电气间隙与爬电距离

对于额定电压380V，最小电气间隙为6mm，最小爬电距离为8mm。

#### 5.2.7 永磁同步电动机特性

应符合GB/T 22711规定。

#### 5.2.8 永磁伺服特性

电机作为永磁同步电动机，应符合GB/T 30549规定的永磁伺服特性要求：

- a) 齿槽转矩： $\leq$ 额定转矩的2%；
- b) 转矩波动： $\leq \pm 3\%$ ；
- c) 定位转矩： $\leq$ 额定转矩的5%；
- d) 电气时间常数： $\leq 10ms$ ；
- e) 反电动势波形： $\leq 5\%$ （谐波含量）。

### 5.3 机械性能要求

#### 5.3.1 结构强度

具体如下：

- a) 壳体：应采用高强度合金钢或不锈钢材料制造；
- b) 抗拉强度： $\geq 550MPa$ ；
- c) 屈服强度： $\geq 350MPa$ ；
- d) 壳体：应能承受1.5倍最大工作压力的水压试验，历时5min，无渗漏、无可见变形。

#### 5.3.2 转子动力学性能

具体如下：

- a) 转子应进行动平衡校正，平衡品质等级应不低于G2.5级；
- b) 径向跳动量：应不超过0.05mm；
- c) 轴向窜动量：应不超过0.2mm。

#### 5.3.3 密封性能

具体如下：

- a) 轴封系统：应采用机械密封或磁力密封，泄漏率应不超过5mL/h；
- b) 静密封结构：应采用O形圈或金属垫片，在最大工作压力下无渗漏。

#### 5.3.4 连接与安装

具体如下：

- a) 电机与螺杆泵：应采用API标准螺纹或法兰连接，连接尺寸应符合SY/T 7673规定；
- b) 扶正器：确保在井筒内的同心度，扶正器外径与井筒间隙应控制在2~5mm。

### 5.4 安全要求

#### 5.4.1 防爆结构

5.4.1.1 电机隔爆接合面参数应符合表3要求。

表3 隔爆接合面参数

类型	最小间隙 (mm)	最大间隙 (mm)	最小宽度 (mm)	表面粗糙度Ra (μm)
平面接合面	0	0.15	25	≤6.3
圆筒接合面	0	0.20	25	
螺纹接合面	—	—	啮合扣数≥5 啮合深度≥8	

#### 5.4.1.2 防爆通用要求

电机防爆设计应满足以下要求：

- a) 温度组别：T4组别（最高表面温度≤135℃）或T3组别（最高表面温度≤200℃），根据井液温度选择；
- b) 设备保护级别（EPL）：Gb级，适用于1区爆炸性气体环境，在正常运行或预期故障条件下不是点燃源；
- c) 接地连续性：接地回路电阻应不大于0.1Ω，确保接地可靠，电机应设置内、外接地端子。

#### 5.4.2 保护功能

电机应配备以下保护功能：

- a) 过载保护：当电流超过额定值120%时，应在60s内切断电源；
- b) 欠压保护：当电压低于额定值85%时，应报警并延时切断电源；
- c) 缺相保护：当发生缺相故障时，应立即切断电源；
- d) 过热保护：当绕组温度超过限值时，应报警并切断电源；
- e) 漏电保护：当绝缘电阻低于设定值时，应报警。

### 5.5 可靠性要求

#### 5.5.1 设计寿命

在正常使用和维护条件下，应满足以下要求：

- a) 电机的设计寿命≥10年；
- b) 平均无故障工作时间（MTBF）≥20000h。

#### 5.5.2 永磁体退磁

在电机设计寿命期内，应满足以下要求：

- a) 永磁体的工作点退磁率应不超过5%；
- b) 在最高工作温度下持续运行1000h后，永磁体磁性能恢复率应≥98%。

#### 5.5.3 绕组寿命

定子绕组，应能满足以下要求：

- a) 承受至少5000次热循环试验；
- b) 试验后绝缘电阻和耐电压性能仍应符合5.2.5的要求。

#### 5.5.4 耐腐蚀性能

电机金属部件应进行表面防腐处理。

### 5.6 结构与材料要求

#### 5.6.1 结构形式

电机应采用细长型分段式结构，典型结构包括：上接头、上轴承、定子组件、转子组件、扶正器、下轴承、下接头，永磁体应采用内嵌式或表贴式结构，表面应有防腐蚀涂层。

#### 5.6.2 材料要求

具体要求如下：

- a) 壳体材料：应采用不锈钢或高强度合金钢；
- b) 永磁体材料：应采用稀土永磁材料，磁能积（BH）<sub>≥</sub>38MG0e；
- c) 绕组绝缘材料：应采用耐油、耐高温的聚酰亚胺薄膜或云母带；
- d) 轴承材料：应采用耐磨合金，如锡基巴氏合金或铜铅合金；
- e) 密封材料：应采用氟橡胶（FKM）或全氟醚橡胶（FFKM）。

#### 5.6.3 外观质量

具体如下：

- a) 外表面应光洁，无裂纹、砂眼、气孔等缺陷；
- b) 涂层应均匀，无剥落、流挂现象；
- c) 不锈钢表面应进行钝化处理，无锈蚀斑点。

## 6 试验方法

### 6.1 环境适应性试验

#### 6.1.1 温度试验

具体如下：

- a) 高温试验：按GB/T 2423.2执行；
- b) 低温试验：按GB/T 2423.1执行；
- c) 湿热试验：按GB/T 2423.4执行。

#### 6.1.2 压力试验

将电机置于压力试验装置中，注入清水或液压油，缓慢升压至1.5倍最大工作压力，保持5min，检查壳体、端盖及密封部位，应无渗漏、无可见变形。

#### 6.1.3 振动与冲击试验

按GB/T 10068执行。

#### 6.1.4 外壳防护

按GB/T 4208执行。

### 6.2 电气性能试验

#### 6.2.1 效率与功率因数测定

按GB/T 1032执行，对应5.2.1和5.2.2的要求。

#### 6.2.2 转速特性测定

使用变频控制器供电，在额定频率范围内调节频率，测量电机实际转速，计算转速波动率，对应5.2.3的要求。

#### 6.2.3 转矩特性测定

按GB/T 22670执行，对应5.2.4的要求。

#### 6.2.4 绝缘电阻测定

按GB/T 20160执行，对应5.2.5的要求。

##### 6.2.4.1 绝缘介质性能试验

按GB/T 5654执行，取绝缘材料样品在电极系统中测量。

#### 6.2.5 耐电压试验

按GB/T 1032执行，对应5.2.5的要求。

#### 6.2.6 匝间绝缘试验

按GB/T 22719.1执行，冲击电压峰值应符合GB/T 22719.2规定，对应5.2.5的要求。

#### 6.2.7 永磁同步电动机特性试验

按GB/T 22711和GB/T 1032执行。

### 6.2.8 永磁伺服特性试验

具体如下：

- a) 齿槽转矩测定：按GB/T 30549执行；
- b) 转矩波动测定：连续测量输出转矩，计算波动量；
- c) 定位转矩测定：电机断电，测量转子在不同位置的保持转矩；
- d) 电气时间常数测定：按GB/T 30549执行；
- e) 反电动势波形测定：原动机拖动电机至额定转速，测量线电压。

## 6.3 机械性能试验

### 6.3.1 动平衡试验

按GB/T 10068执行，平衡品质等级应达到G2.5级，对应5.3.2的要求。

### 6.3.2 振动测量

按GB/T 10068执行，对应5.1.4的要求。

### 6.3.3 密封性能试验

将电机置于清水或模拟井液中，施加额定工作压力，保持24h，测量轴封泄漏量，检查静密封部位，对应5.3.4的要求。

### 6.3.4 拉伸与水压试验

具体如下：

- a) 拉伸试验：按GB/T 228.1执行；
- b) 水压试验：按GB/T 16750执行。

## 6.4 安全试验

### 6.4.1 隔爆性能试验

按GB/T 3836.2执行，对应5.4.1的要求。

### 6.4.2 防爆通用要求试验

具体如下：

- a) 设备保护级别（EPL）验证试验：按GB/T 3836.1执行；
- b) 表面温度测定：在电机额定工况下运行至热稳定状态，使用热电偶或红外测温仪测量外表面最高温度，对应5.4.3的要求；
- c) 接地连续性试验：按GB/T 3836.1和GB/T 14711执行。

### 6.4.3 保护功能试验

模拟过载、欠压、缺相、过热、漏电等故障状态，检查保护装置的动作准确性和响应时间，对应5.4.2的要求。

## 6.5 可靠性试验

### 6.5.1 平均无故障工作时间（MTBF）试验

按GB/T 5080.7执行。

### 6.5.2 永磁体退磁试验

将电机在最高工作温度下连续运行1000h，定期测量永磁体磁性能，计算退磁率和恢复率，对应5.5.2的要求。

### 6.5.3 热循环试验

按GB/T 13002执行，试验后检查绝缘性能，对应5.5.3的要求。

### 6.5.4 耐腐蚀试验

将电机金属试样置于含H<sub>2</sub>S（5%）和CO<sub>2</sub>（分压10MPa）的模拟井液中，温度80℃，保持720h，测量腐蚀速率应不超过0.1mm/a，对应5.5.4的要求。

## 6.6 结构与材料检查

### 6.6.1 外观检查

采用目视法，对应5.6.3的要求。

### 6.6.2 尺寸检查

使用通用量具和专用检具测量。

#### 6.6.3 材料检验

查验材料质量证明书，必要时进行化学成分分析和力学性能试验，对应5.6.2的要求。

---