

海上油田电泵选型优化降低成本提升经济效益

高 强 刘 滔 付 军 李令喜

(中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司, 天津 300452)

摘 要: 对渤海油田潜油电泵产品故障原因进行统计, 特殊井况是影响潜油电泵使用寿命的关键因素。在潜油电泵产品选型设计过程中, 结合油井历史井况, 制定针对性潜油电泵机组产品选型设计方案, 本文针对出砂、腐蚀、结垢、高温、高含气、稠油 6 种特殊井况提出了机组选型优化方案, 为后期产品选型设计提供依据。可有效提升潜油电泵产品运转寿命, 减少修井作业次数, 降低修井作业成本。

关键词: 海上油田; 电泵选型; 降低成本; 经济效益

1 电泵选型优化降低修井作业成本

海上油田对比陆地油田修井成本高, 作业难度大, 所以潜油电泵机组运转寿命直接影响海上油田修井成本。统计 2018 年-2022 年潜油电泵机组故障原因, 井况原因造成潜油电泵井故障共计 47 井次, 占比 24.35%, 平均运转周期 370 天, 远低于潜油电泵机组平均使用寿命 1037 天。在海上油田地质油藏充分研究认识的基础上, 通过对潜油电泵产品故障原因进行统计分析, 发现潜油电泵机组使用寿命受到选型设计、产品质量、作业质量、运维管理等四大关键要素的影响。其中选型设计是全生命周期管理的源头, 掌握影响机组寿命的风险点, 才能实现机组与产能匹配、管柱适合、井况适用。本文结合潜油电泵机组选型经验, 对潜油电泵产品在出砂、腐蚀、结垢、高温、高含气、稠油 6 种特殊井况进行选型设计优化, 可有效提升潜油电泵机组使用寿命, 减少修井作业次数, 降低海上油田采油作业成本。

2 特殊井况选型优化

2.1 出砂井况

当油井出砂时, 砂粒在旋转过程中对潜油电泵机组造成磨损, 导致泵偏磨, 严重影响潜油电泵机组使用寿命。常规潜油电泵无法满足使用需求, 需采用防砂泵应对出砂井况。根据油井出砂含量, 确定防砂泵防砂级配比, 防砂级见图 1。含砂量 $< 0.02\%$, 属于轻度出砂, 防砂级配比 1:10; 含砂量 $0.02\% - 0.05\%$, 属于中度出砂, 防砂级配比 1:8; 含砂量 $0.05\% - 0.1\%$, 属于重度出砂, 防砂级配比 1:3; 含砂量 $> 0.1\%$, 属于严重出砂, 防砂级配比 1:1。

当潜油电泵机组表面流速 $> 7\text{m/s}$, 且泥砂含量 $> 0.02\%$, 吸入口 / 分离器表面应渗氮处理, 提高抗冲蚀

能力。根据砂粒径确定潜油泵结构, 粒度划分标准见表 1, 如若属于细砂、粉砂, 泵采用全压紧结构, 防止砂粒进入缝隙造成泵轴磨损。保护器采用高承载止推轴承可有效提升潜油电泵机组使用寿命。



图 1 防砂级

2.2 腐蚀井况

当油井存在腐蚀性介质, 如 CO_2 、 H_2S 及 Cl^- 浓度较高时, 会造成潜油电泵机组壳体腐蚀穿孔, 电机失效, 严重影响潜油电泵机组使用寿命。当井下 CO_2 分压值大于 0.21MPa 或 H_2S 含量大于或等于 100ppm 时, 潜油电泵机组、动力电缆、电缆护罩需采用防腐材质, 选材标准见表 2。当含气量低于 10% 时, 可选用罐装系统。罐装系统材质一般为 2Cr13 或 35CrMo; 罐装系统尺寸应满足管柱条件; 电泵机组应满足罐装系统尺寸要求。

2.3 结垢井况

当油井存在结垢井况时, 容易造成泵内及分离器内结垢, 运行电流升高; 潜油电泵吸入口堵死, 产量下降; 电机表面结垢, 影响机组散热, 严重影响潜油电泵机组使用寿命。为避免出现该情况, 参照 SY/T0600-2009 油田水结垢趋势预测, 分别对碳酸钙、硫酸钙、硫酸钡、硫酸锶分别进行结垢趋势预测, 对于结垢井况常规电泵无法满足使用需求。目前海上潜油电泵井采用三种方式进行防垢, 可以在分离器、吸入口或油

管短节处加装量子防垢环, 见图 2; 在分离器、吸入口或油管短节内加装防垢片, 见图 3; 通过注化学药剂管线注入化学药剂防止结垢。

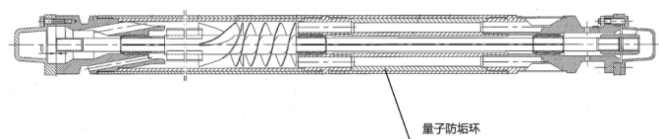


图 2 量子防垢示意图

当吸入口处含气量低于 10% 时, 选用防垢吸入口; 当吸入口处含气量高于 10% 时, 选用防垢分离器; 根据管柱设计要求配置防垢短节。

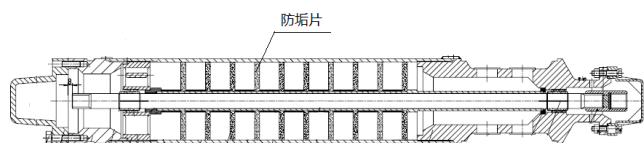


图 3 防垢片示意图

通过注药剂管线防垢时, 选用动力电缆复合 3/8" 药剂管线, 预留长度推荐比机组引接电缆长度短 1~2m (防止电缆头与电机连接好后, 药剂管线长度不够导致其无法与分离器吸入口处的接头连接)。分离器吸入口处加工药剂注入管线接头, 接头下加保护块。接头采用 90° 外螺纹弯头; 因复合电缆较重, 下井作业时控制下钻速度, 防止电缆发生弯曲。

2.4 高含气井况

当油井气体含量较高, 容易造成潜油泵气锁, 气体对电缆绝缘性能影响较大, 严重影响潜油泵机组使用寿命。高含气井考虑使用气体处理装置。首先在选择设计过程中要计算气体。

$$GLR = \frac{(1 - f_w)(GOR - R_{sp})B_g}{(1 - f_w)B_o + (1 - f_w)(GOR - R_{sp})B_g + f_w} \times 100\%$$

$$R_{sb} = 0.1342 \gamma_g \left[10 P_b \times \frac{10^{0.0125 \left(\frac{141.5}{\gamma_o} - 131.5 \right)}}{10^{0.00091(1.8T + 32)}} \right]^{1.205}$$

式中: GLR- 泵吸入口气液比, %; R_{sb} - 溶解气油比, m^3/m^3 ; R_{sp} - 校正溶解气油比, m^3/m^3 ; GOR- 生产气油比, m^3/m^3 ; f_w - 含水率; B_o - 油的体积系数, m^3/m^3 ; B_g - 气体压缩系数, m^3/m^3 ; T- 油层温度, $^{\circ}C$; P_b - 泡点压力, MPa; γ_g - 气相对密度, g/m^3 ; γ_o - 油相对密度, g/m^3 。

根据吸入口气液比, 确定气体处理装置。在泵吸入口压力下, $30\% < \text{气体占三相总体积} \leq 40\%$, 使用分离器; $40\% < \text{气体占三相总体积} \leq 50\%$, 使用双串分离器; $50\% < \text{气体占三相总体积} \leq 60\%$, 使用分离

器 + 高效气体处理器; $60\% < \text{气体占三相总体积}$, 使用双级分离器 + 高效气体处理器; $70\% < \text{气体占三相总体积}$, 使用双级分离器 + 双级高效气体处理器。

潜油泵采用混相流结构, 其过流面积较大, 可减少介质通过时产生的阻力, 相对于径向流泵, 混相流对气体的敏感度低, 更适用于高含气油井。组合使用两种排量规格的混向流泵, 下泵排量高于泵排量实现阶梯加压和压缩。当井液进入上泵额定排量叶导轮时, 压力已高出饱和压力, 这时游离气已全部重新融入井液中, 减小气体影响。当气体占三相总体积高于 50%, 电缆采用铅护套结构, 有效防止气体入侵, 提高电缆绝缘性能。

2.5 稠油井况

当油井存在稠油井况时, 容易造成泵卡阻, 电机电流升高。同时电机表面流速过低, 电机散热不畅, 影响潜油电机机组使用寿命。配备电机功率时, 除按校正后的离心泵性能指标和油管摩阻匹配电机外, 要额外增加 20% 电机功率余量, 满足应对出砂、结垢、杂质含量等复杂情况。稠油流经电机表面, 较低中粘井液, 散热效果更差, 电机温升更高, 选配机组耐温等级时需要考虑高一个温度等级, 尤其对产液量偏低的生产井, 建议配置泵工况, 实时监测电机绕组温度, 针对性采取措施, 避免因稠油导致的电机烧损。加装导流罩, 使所抽汲液体流经电机表面, 通过电机的加热作用, 将稠油升温, 具有一定降粘作用, 同时增加电机表面流速, 保证电机散热良好。

稠油流过潜油泵叶导轮时, 受切向粘滞阻力影响, 流道越窄阻力越大, 当粘度很大或叶轮流道狭窄时, 这种边界层一直扩散到叶片中间, 流体停止流动, 可通过使用大流道叶导轮增加过流面积, 改善对泵性能的影响; 推荐选用大额定排量泵型, 降频满足生产, 大流道导叶轮比常规导叶轮在粘性流体方面的性能可提高 20%~50%。泵挂位置的确定主要考虑吸入口压力、气液比、流体温度。加深泵挂, 泵入口流体温度增加, 可降低泵入口粘度, 改善稠油的吸入性能。当稠油在进入泵吸入口处含有游离气体时, 可通过配置气体处理器, 将气体直接压入潜油泵内, 含气量的增大对于降低原油粘度有一定的作用。管柱中配置注药剂管线或使用复合动力电缆药剂管线, 将降粘剂、破乳剂等注入产层或潜油泵吸入口处, 通过分离器充分搅拌后, 降低稠油粘度, 减小对潜油泵的性能影响。配置电加热装置, 常温稠油井 ($\leq 90^{\circ}C$), 可通过在

电机尾部加装电加热装置降粘,加热装置电源可单独走线或通过潜油电泵动力电缆取电。

稠油井在地面设备配置方面,启动时由于井温相对正常生产温度较低,原油粘度相对更大,所需较大扭矩达到额定转速,往往因负载较大而过载保护,在变频控制情况下,可通过提高零频电压,延长启动时间,在低频($\leq 10\text{Hz}$)下启动,实现较低轴功率下的扭矩提升,正常启动后根据实际运行电流逐步提频。

2.6 高温井况

井温达 $100\sim 125^{\circ}\text{C}$ 油井,油井温度较高,对于潜油电泵机组中密封件及绝缘材料的影响较大,影响潜油电泵机组使用寿命。电机在选择温度等级过程中,由于井温在 $100\sim 125^{\circ}\text{C}$ 间,根据目前在运行井数据电机平均温升在 30°C 左右,电机温度将达到 155°C ,为防止电机异常运行导致的温升,所以电机温度等级选择 180°C 。为了提高电机散热能力,可选用导流罩作为电机散热辅助工具。引接电缆头温度等级选择过程中,小扁头与电机连接处由于铜芯尺寸变化,温升较高,温度等级选择 204°C 。保护器胶囊及动密封波纹管材质选用高温氟橡胶材料 Aflas,保护器止推轴承材质选择锡青铜,提升保护器耐温等级。动力电缆耐压等级 6kV ,温度等级 180°C 的铅护套电缆。必须采用进口电缆连接材料,电缆连接材料必须恒温储藏,尤其在夏季需使用恒温箱携带。

3 经济效益评价

随着人工举升技术的不断升级完善,目前针对特殊井况已经研发出一系列新产品、新技术,解决了“三防一高”等特殊井况问题。目前对特殊井况采用优化选型后,腐蚀井况下井 155 井次,平均运转周期达到 1018 天;出砂井况下井 135 井次,平均运转周期达到 848 天;结垢井况下井 27 井次,平均运转周期达到 861 天,均高于之前 370 天,特殊井况潜油电

泵机组使用寿命取得突破。

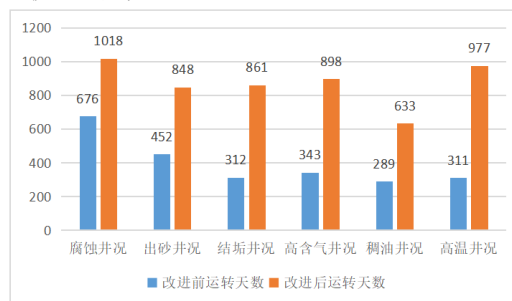


图 4 选型优化效果

由于特殊井况油井平均运转寿命提升,单位时间内减少了修井作业频次,在单井修井作业费不变的前提下,节约了海上油田修井作业费用。根据公式计算,渤海油田每年预计减少检泵次数 47 井次,预计全年可节约修井作业费用 5170 万元。海上油田特殊井况优化选型不但提升了产品使用寿命,更产生了很高的经济效益。

$$n_{\text{现}} = n_{\text{原}} \times (d_{\text{原}} / d_{\text{现}}) \quad T = \sum (n_{\text{原}} - n_{\text{现}}) \times P$$

式中: T —改进后减少作业费用; $n_{\text{原}}$ —改进前修井作业频次; $n_{\text{现}}$ —改进后修井作业频次; $d_{\text{原}}$ —改进前运转周期; $d_{\text{现}}$ —改进后运转周期。

参考文献:

- [1] 梅思杰,邵永实,刘军.潜油电泵技术服务手册[M].北京:石油工业出版社,2004.
- [2] 海上采油工程手册编写组.《海上采油工程手册》[M].北京:石油工业出版社,2001.
- [3] 薛承瑾,杜广义,戴相富等.人工举升最新技术综述(II)[J].石油机械,2003,31(1):42-45.
- [4] 纪树立,梁凤儒,等.防垢潜油电泵研制及在渤海油田的应用[J].石油矿场机械,2016,45(4):88-91.

作者简介:

高强(1988-),男,中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司人工举升技术,工程师。

表 1 粒度划分标准

颗粒类	砾				砂				粘土
	巨砾	粗砾	中砾	细砾	粗砂	中砂	细砂	粉砂	
主要颗粒直径(mm)	> 256	64-256	4-64	2-4	2-0.5	0.5-0.25	0.25-0.1	0.1-0.01	< 0.01

表 2 防腐选材标准

产品	部件	常规材质	CO ₂ 腐蚀 (CO ₂ 分压值 $\geq 0.21\text{MPa}$)	H ₂ S 腐蚀 (H ₂ S 含量 $\geq 100\text{ppm}$)
潜油电泵机组	头座	40Cr、45# 钢	2Cr13	304、316
	O 圈	HSN	AFLAS	AFLAS
	壳体	45# 钢	9Cr1Mo	304、316
	花键套	1Cr18Ni9	Monel k-500	Monel k-500
	注油阀	45# 钢	Monel	304
动力电缆	铠皮	镀锌钢带	Monel	铅护套、316
电缆护罩	护罩本体	普通圆铸钢护罩	不锈钢或镍铜合金护罩	316 不锈钢护罩