

[永磁电动机]

永磁电动机在油田抽油机井的应用效果提升技术分析

文/胜利油田技术检测中心 李丹丹

针对目前永磁电动机在油田抽油机井应用效果不理想的问题，开展永磁电动机在油田抽油机井应用效果提升技术分析，通过永磁电动机现场应用测试数据剖析影响提效的因素，有针对性地开展技术攻关并形成解决方案。经现场试验节能效果较好，为更好地发挥永磁电动机在油田抽油机井的应用效果提供技术支撑。

永磁电动机因效率高、功率因数高、起动性能好、稳定性好及维修保养简易等特性，在油田备受青睐。但在现场测试过程中发现，永磁电动机未达到其应有的节能效果。针对该问题，本文进行永磁电动机应用效果提升技术研究，并进行现场试验验证，为更好地发挥永磁电动机的节能潜力提供技术支撑。

永磁电动机现场应用存在的问题

1. 部分永磁电动机功率利用率低

永磁电动机不同功率等级测试占比及功率利用率如图1所示。

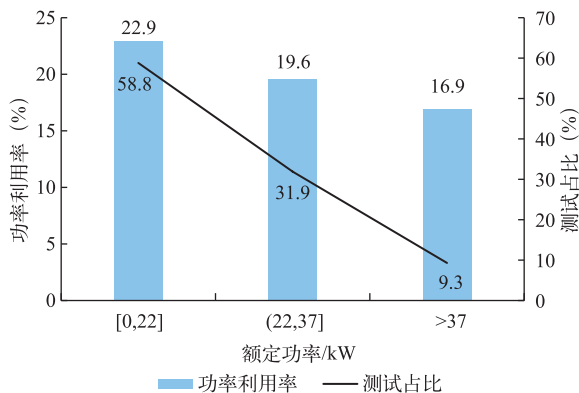


图1 永磁电动机不同功率等级测试占比及功率利用率

永磁电动机比普通电动机的起动转矩大，可降低装机功率，提升功率利用率。但通过测试数据分析，永磁电动机的现场装机功率普遍偏大，尤其是大于37 kW的永磁电动机的功率利用率仅为16.9%。按照SY/T6374—2016《机械采油系统经济运行规范》要求，抽油机采油系统电动机的功率利用率不小于20%为合格，而测试中永磁电动机的功率利用率小于20%的占比为54.2%，为不合格。且根据电动机效率曲线图，当电动机功率利用率低于20%时，电动机效率随功率利用率下降而明显下降，故功率利用率是影响永磁电动机应用效果的一项重要指标，当其低于20%时尤其明显。目前，在现场选用/更换永磁电动机时，以保证正常安全运转为主，并没有相关标准作为选择功率的依据，导致无法匹配既能保安全生产又可节能的最佳容量。

2. 功率因数低

应用永磁电动机机采系统的功率因数一般在0.85以上，测试平均功率因数只有0.73，低于0.6的占比为19.2%。功率因数低说明电路用于交变磁场转换的无功功率大，供电损失大。通过现场大量测试数据发现，反电动势点（一般额定电压附近是反电动势点）是影响功率因数的主要因素。对永磁电动机按不同的电压等级进行分类统计（见图2）。

当运行电压在反电动势点附近（ $\pm 2.5\%$ 左右）时功率因数最高，而测试中发现偏离反电动势点（ $\pm 2.5\%$ 左右）的占比为63.1%，制约了永磁电动机的能效提升。

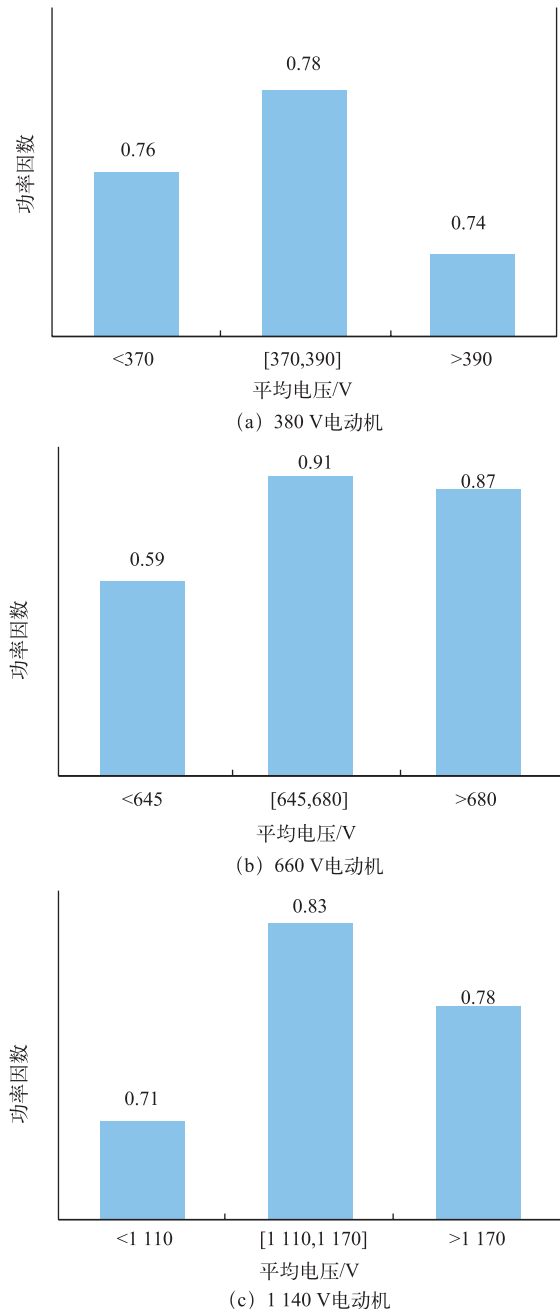


图2 永磁电动机不同电压等级不同电压范围内功率因数统计

节能效果提升对策分析

1. 合理匹配永磁电动机装机功率

抽油机是典型的连续性周期负载，电动机在拖

动这类负载连续工作时，其输出功率也会按一定规律变化。如果根据最大负载来选择电动机，必然是不经济的，但如果根据最小负载来选择电动机，温升将会超出允许范围。下面分别从起动状态及平稳运行状态分析判断电动机是否需要降容。

(1) 起动状态

电动机降容的关键是降容后能否实现顺利起动，即起动转矩 $>$ 负载转矩。为了验证是否能够起动，依据理论及现场实际应用总结以下两种方法：

方法一：根据实际载荷确定电动机容量。根据抽油机机型及设计载荷，确定所需要的理论电动机功率；通过大量现场测试数据确定抽油机实际运行中的最大载荷是否达到设计要求。如果大量的测试数据表明确定型号的抽油机均没有达到最初的设计载荷，则说明与之配套的电动机功率选择偏大，可以考虑降容运行。对降容后的电动机进行堵转试验，以便确定起动转矩能否满足要求，如满足要求则说明电动机功率合适，反之，则要将电动机功率放大一个等级。

方法二：根据测试的起动功率确定电动机容量。现场测试电动机起动功率，近似计算电动机起动转矩及起动转矩倍数；比较降容前后电动机的起动转矩，如果降容后电动机起动转矩 $\geq$ 降容前电动机起动转矩，则可以考虑降容。电动机降容后，为了获得相同的起动转矩，则需要电动机有更高的起动转矩倍数。因此，如果降容前起动转矩倍数较大，在降容时应选择转矩倍数较大或者极数较高的电动机；如果降容前起动转矩倍数较小，在降容时可选择相同类型的低功率等级的电动机。

(2) 平稳运行状态

抽油机平稳运行状态下，采用等效电流法来判断电动机降容的可行性。等效电流法的基本工作原理是：通过一个不变的电流来等效实际变动的负载电流，使其在同一周期内所产生的热量能够相等。如果假设电动机铁损与其电阻 R 始终不变，产生的损耗只与电流的二次方成正比，由此可得

$$I_{dx} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \cdots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \cdots + t_n}}$$

式中， I_{dx} 为不变电流。

当求出 I_{dx} 以后，所选用的电动机额定电流 $I_N > I_{dx}$

即可。现场采用钳形电力计连续采集抽油机井的电流曲线并计算等效电流（见表1），热稳定电流小于额定电流，因此电动机存在降容空间。

表1 永磁电动机计算等效电流与额定电流（单位：A）

井号	计算等效电流	电动机额定电流
1井号	47.38	85
2井号	25.05	63
3井号	41.98	69.4

2. 保持永磁电动机在反电动势点附近运行

目前，现场应用的永磁电动机未实现精细化管理，一般按照出厂时测定的空载反电动势点调节运行电压。但是，永磁电动机反电动势点与电动机功率利用率、负载情况和退磁情况等密切相关，因此，建议定期检测永磁电动机负载状态下的反电动势点，以此作为调节运行电压的依据，使其保持在反电动势点附近（±2.5%）高效运行。

现场应用

1. 永磁电动机降容应用效果

永磁电动机降容现场检测调整效果统计见表2。

表2 永磁电动机降容现场检测调整效果统计

井号	状态	额定功率/kW	有功功率/kW	无功功率/kvar	功率因数	有功功率节能率(%)	无功功率节能率(%)	综合节能率(%)
1井	降容前	37	7.5	8.8	0.65	5.3	61.4	7.2
	降容后	30	7.1	3.4	0.90			
2井	降容前	30	6.5	11.3	0.50	12.3	59.3	14.6
	降容后	22	5.7	4.6	0.78			
3井	降容前	37	7.3	10.5	0.57	6.8	60.0	9.0
	降容后	30	6.8	4.2	0.85			

对现场3口井开展永磁电动机降容优化，所优化的电动机在现场安装后均能够顺利启动且运行平稳。根据优化前后对比测试，平均有功节能率为8.0%，平均无功节能率为60.1%，平均综合节电率为10.1%，单井可节电4 964.0 kW·h/a，由于设备降

容减少的投资费用为2 030元/台。

2. 永磁电动机调压应用效果

永磁电动机反电动势现场检测调整效果统计见表3。

表3 永磁电动机反电动势现场检测调整效果统计

井号	反电动势/V	状态	运行电压/V	偏离反电动势点/V	有功功率/kW	无功功率/kvar	功率因数	综合节能率(%)
4井号	391.8	调压前	414.9	5.9	6.2	11.5	0.47	10.7
		调压后	378.4	3.4	5.8	1.5	0.88	
5井号	684.4	调压前	629.4	8.0	7.3	10.2	0.59	8.0
		调压后	692	1.1	6.9	4.3	0.85	
6井号	616.2	调压前	706	14.6	3.0	10.2	0.25	9.9
		调压后	642	4.2	2.9	3.7	0.62	

对现场3口井开展负载状态下反电动势测试并调节运行电压，平均功率因数提升0.35，平均有功节能率为5.6%，平均无功节能率为69.4%，平均综合节电率为9.5%，单井可节电2 803.2 kW·h/a。

结束语

1) 通过对现场大量测试数据的分析可知，电动机功率利用率低、运行电压偏离反电动势点是影响永磁电动机在抽油机井应用效果的主要因素。

2) 基于理论及现场测试，形成启动状态、平稳运行状态下永磁电动机降容判定方法，可用于现场指导永磁电动机容量优化。

3) 永磁电动机降容、调压在现场应用中的平均单井综合节电率分别为10.1%、9.5%，平均单井可节电4 964.0 kW·h/a、2 803.2kW·h/a。EA

（收稿日期：2022-02-14）

参考文献

[1] 刘卢燕. 油田用低速大转矩永磁同步电机齿槽转矩与温度研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2019.

[2] 刘伟. 永磁电机在油田抽油机上的应用及发展趋势[J]. 设备管理与维修, 2020(4): 130-131.

[3] 李占勇. 永磁调速装置在塔底泵上的应用[J]. 电气应用, 2020, 39(5): 48-52.