

5000 型电驱压裂泵橇驱动主电机轴承改进

王波涛 薛强

(中石化胜利石油工程有限公司装备管理中心)

摘 要：本文针对某国内知名品牌 5000 型电驱压裂泵橇驱动主电机在使用中暴露出的轴承温度过高问题开展了深入分析，认为问题原因在于非驱动端轴承受到较大的轴向力，润滑脂在高温下粘度降低造成润滑不良。随后采取了改进的电机轴承结构和散热风道的措施，经现场验证，效果良好，该改进结构在数十台同型电机上得到推广。

关键词：5000 型电驱压裂泵橇；电机轴承；过热；结构改进

2022 年 5 月，胜利工程公司井下作业公司在国家页岩油开发重点试验区樊页平 1 井组开展大型电驱页岩油压裂施工。该井组压裂施工使用了 8 台某国内知名品牌 5000 型电驱压裂泵橇作为主压设备，其动力电机在樊页 1 井组现场作业过程中出现了非驱动端轴承温升高报警故障，直接影响施工的顺利开展。经多方通力合作，现场观察故障现象，采集分析电机运转参数，充分进行论证计算，迅速提出了整改方案，经现场试验，故障得以及时消除，有力的保障了国家页岩油开发重点试验区工作。

1 故障现象

5 月 26 日，樊页 1 井组现场在第 2 段压裂作业的过程中，5～9#5000 型电动压裂橇电机出现非驱动端轴承温度高报警。第 3 段压裂过程中，7#，8#，9# 电动压裂橇电机出现非驱动端轴承温度高报警。下图为第 8 段压裂时，其中一台压裂泵电机的轴承运行温度变化情况。

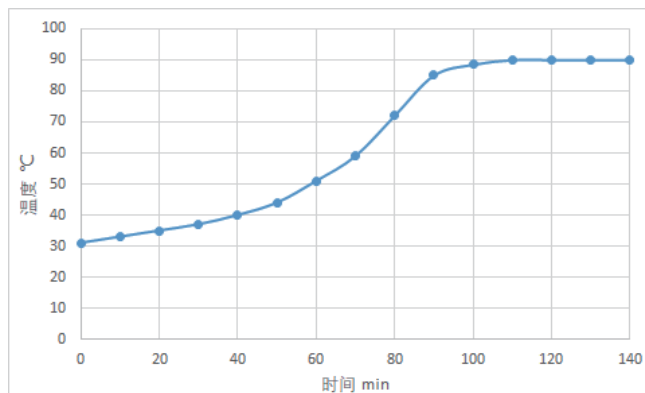


图 1 第 8 段压裂时，DQ09 电机的轴承温度曲线

此次樊页 1 井组压裂作业共部署 12 台电动压裂橇，其中 1～4# 为旧型号橇，5～12# 为新

型 5000HP 电动压裂橇，本次故障全部发生于该批新型电动压裂橇中，配备我公司的电机型号为 YJ265G。发生轴承温度高故障的设备如表 1 所示：

表 1 出现轴承高温故障的电机信息

泵编号	电机编号
5#	3265G221012
6#	3265G221018
7#	3265G221016
8#	3265G221017
9#	3265G221011

2 故障原因分析

该故障发生后，电机厂家技术人员根据现场观察到的轴承磨损程度、润滑脂状态和轴伸端内封环的位移等情况，并通过与电驱压裂泵生产厂家现场团队的多次技术讨论，双方确定本次故障现象发生的原因如下：

2.1 非驱动端轴承受到较大的轴向力

现场对轴承温度高的电机进行拆除非驱动端盖板进行检查，发现电机非传动端轴承圆柱滚子侧面磨损严重，同时与滚子相邻挡肩或角圈也出现了严重的磨损现象。据此现象判断，非驱动端轴承在运行过程中应是受到了较大的轴向力。该轴向力使得电机在转动过程中出现圆柱滚子和轴承挡边发生摩擦的情况，导致轴承温度升高。另外，随着轴承温度的升高，轴承内外圈的温差加大，轴承工作游隙减小，也进一步加剧了轴承的发热，图 2 与图 3 为检查电机轴承现场照片。

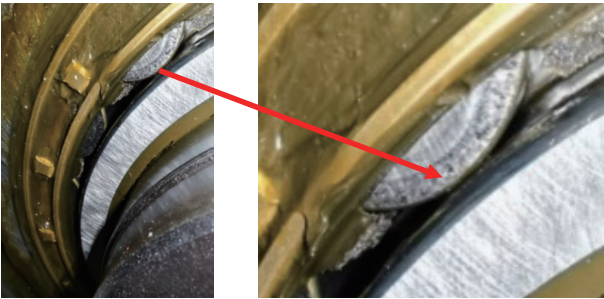


图 2 圆柱滚子侧面磨损严重



图 3 挡肩、角圈磨损严重

本次电机轴承配置设计方案为：驱动端 NU240/C3(浮动端)，非驱动端 NJ236/C3+HJ236(固定端)，如图 4 所示。

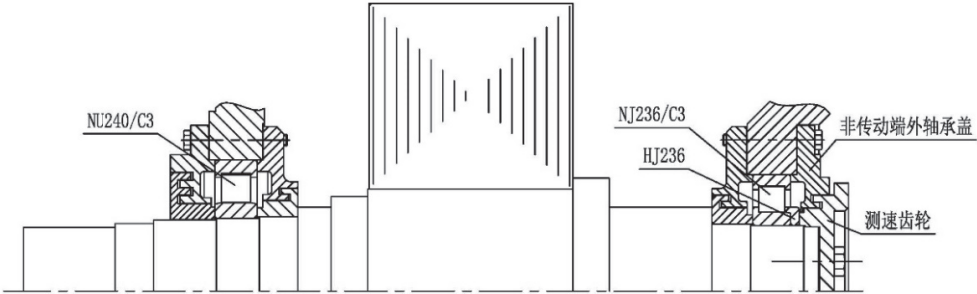


图 4 电机轴承配置设计方案

该设计方案中非驱动端轴承在润滑良好的条件下只能承受较小的轴向力，且耐受的轴向力与转速有关：

表 2 电机耐受轴向力

转速 (r/min)	400	600	800	1000	1200	1400	1600
允许的轴向力 (kN)	12.2	9.57	8.05	7.05	6.32	5.75	5.31

电机受到的轴向力应与联轴器和电机的联接对中度有关。

2.2 润滑脂在高温下粘度降低造成润滑不良

本次电机设计中选用的润滑脂牌号为 FAG Arcanol MULTITOP L135V，基础油粘度较低，在 40℃时的粘度为 82mm²/s，100℃时的粘度为 12.5mm²/s，轴承温度过高时粘度较低、高转速下容易从轴承内甩出流失，从而造成轴承润滑不良。



图 5 非传动端轴承润滑脂状态

3 应急措施

3.1 对现场运行机组电机采取的应急措施

- (1) 采购粘度较高的润滑脂 FAG Arcanol load150，在清除旧润滑脂后，补充新润滑脂。

润滑脂规格型号	FAG Arcanol MULTITOP	FAG Arcanol LOAD150
40℃时的基础油粘度	82mm ² /s	245mm ² /s
100℃时的基础油粘度	12.5mm ² /s	20mm ² /s

- (2) 在电机轴承盖上增设溢油口，防止润滑脂由于轴承室内外气压不平衡被再次挤出。
- (3) 现场准备 5 套备用轴承，设计专用轴承更换工装，对磨损严重的轴承进行更换。
- (4) 安排服务人员 24 小时跟随现场作业，记录轴承温度数据，关注温度增长趋势，加大电机检查维护频次确保作业顺利进行。
- (5) 电机生产厂准备 1 台备品电机用于施工作业现场备用。

3.2 应急措施实施后的效果

经现场更换故障电机润滑脂和增设轴承盖溢油口后，原先故障电机轴承温度均得到了一定程度的改善。经现场长时间的运行观察，可保证电机在 1200rpm 以下可靠运行，未再次出现轴承温度高报警。图 6 与图 7 显示了其中一台 9# 泵故障电机采取应急措施前后的温度情况对比：

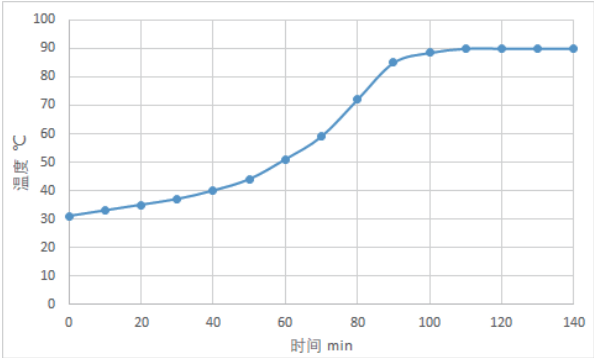


图 6 整改前第 8 段压裂时的轴承温度曲线（1000-600r/min）

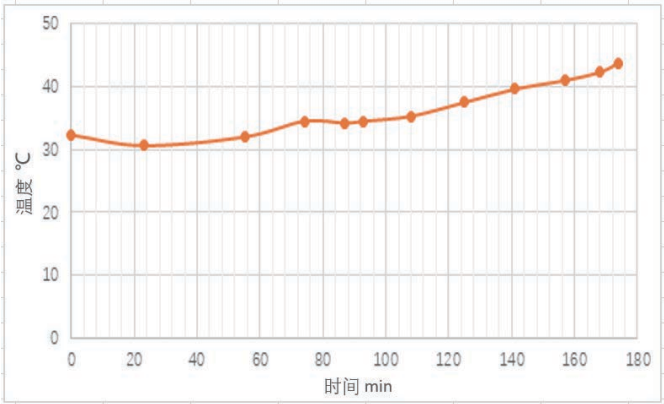


图 7 整改后第 25 段压裂时的轴承温度曲线（1200r/min）

4 技术整改方案与效果

根据现场压裂泵组的实际作业情况、传动连接方式与电机装配水平观察，电机不可避免要承受较大的轴向力。经电机厂技术人员与电驱压裂泵厂家团队深入探讨并咨询万向联轴器厂家后确定，在考虑不对中度和转速的极限情况下，电机所承受的最大轴向力为 20kN。为满足该工况的使用要求，

经过轴承选型分析计算确定了以下技术整改方案并安排一台电机予以实施验证：

非传动端更改为双轴承(1个圆柱滚子轴承+1个深沟球轴承)结构，增强电机轴向力的耐受能力，具体结构如图 8 所示。详细的轴承计算输入条件与计算寿命结果如图 9 和图 10 所示，改进后的轴承寿命大幅提高。

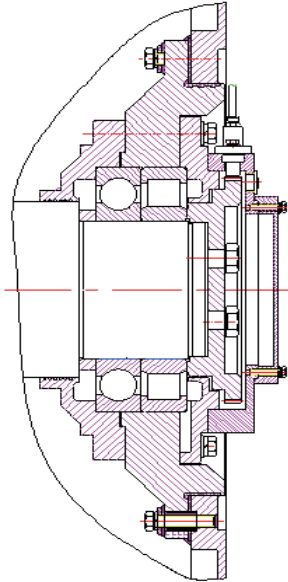


图 8 非驱动端轴承技术整改方案

负载方式	内部载荷	转子重量	2800kg	单边磁拉力	见备注	其它质量如滑环	0	(kg)
	外部载荷	载荷类型						
		输入轴最大径向力FA	3000N	输入轴最大轴向力FA	23000	输入轴最大扭矩	见备注	(N)
	振动	无				垂直方向		
		有		径向加速度	20	轴向加速度	0	m/s ²
润滑方式	脂润滑	润滑脂型号	LOAD150					
	油润滑	润滑油型号	无					
轴承配置	驱动端	轴承型号	NU240- E- M1/C3					
	非驱动端	轴承型号	6236 ECM/C3			NU236-E-M1/C3		

图 9 轴承计算条件

轴承	载荷步	Lhmr_i h	Lhr_i h	P_i N	Lnmr_i/Lnr_i	kappa	eC	n_i 1/min
NU240-E-M1-C3	806 rpm	302598	157296	51368.25	1.92	1.72	0.40	806.00
	1430 rpm	659083	138753	44909.42	4.75	2.52	0.52	1430.00
6236-M -C3	806 rpm	38924	8588	32166.70	4.53	1.62	0.36	806.00
	1430 rpm	48903	4828	32193.85	10.13	2.36	0.46	1430.00
NU236-E-XL-M1-C3	806 rpm	579412	267989	42612.46	2.16	1.63	0.36	806.00
	1430 rpm	1496045	256503	36353.28	5.83	2.38	0.47	1430.00

图 10 轴承寿命计算结果

改进电机散热风道结构，加装导风罩，让流经电机内部已被加热的散热气流不直接吹到电机驱动端轴承，见下图 11，防止加热电机驱动端轴承润滑脂，造成润滑脂粘度下降影响润滑效果。

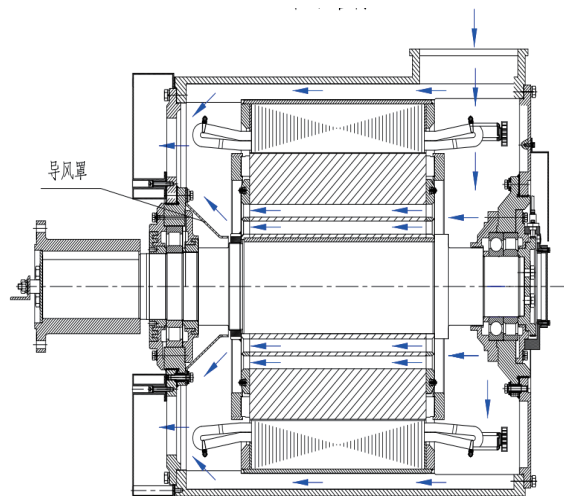


图 11 电机散热结构改进

采取以上技术整改方案的电机于 2022 年 6 月 23 日送达樊页 1 平台后进行了替换验证工作，跟踪记录的轴承温升数据表明该电机在各工况下轴承温度表现良好，未再出现轴承温升高报警的情况。至此，电机技术整改方案确定，基于上述整改方案的电机共计 8 台改制并在电机厂家进行了全功率、转速下的温升考核试验，效果良好，分批送达樊页 1 平台并对原电机进行了更换，在樊页 1 平台后续的压裂作业过程中，轴承温升正常，再未发生故障问题，保证了压裂作业的有序进行。

5 总结

电驱压裂设备以其运行稳定、时效高，可大幅节约燃料费用，绿色环保等优势成为了国内页岩油压裂开发的重要支柱，作为其动力源的大功率电机的稳定可靠性至关重要。电机生产厂家应多深入施工现场，了解大型页岩油压裂施工野外条件下电机工作模式，负荷、散热等方面的具体参数，有针对性的优化电机具体设计，保障其稳定工作。