

抽油机柔性控制技术研究与应用

抽油机柔性控制技术是以变频调速为基础，通过对油井载荷的分析和判断，实时调整电动机的转速、转矩和输出功率，实现电动机的主动变速运行，其充分利用系统惯性能，动态改变系统的运行轨迹，减小电动机功率的波动幅度，降低平均运行功率，可有效解决油井“大马拉小车”和“倒发电”的问题。经油田现场应用，综合节电率达到了19%，节能效果明显。

杜红勇¹ 李 炜² 陶丽楠¹ 孙 东² / 1. 中国石化抚顺石油化工研究院
2. 中国石化胜利油田技术检测中心

0 引言

游梁式抽油机是一个大惯量、变载荷的系统，负载的最大特点是上下冲程的载荷变化剧烈，导致电动机“倒发电”现象普遍存在。另外，随着采油周期的增加，油井供液不足现象也普遍存在。因此调整电动机转速、降低油井冲次是油井节能的重要手段。相关的节能技术也得到了研究和应用，比如更换皮带轮、更换低转速电动机以及使用变频器等。这些技术虽然在一定程度上能够改变油井的冲次、降低系统能耗，但其调速模式固定，当设备确定后，电动机的运行频率和转速也随之确定，即在抽油机的一个整冲程内，由于电动机转速不能实时改变，在剧烈变化载荷的影响下，必然会导致电动机的出力不均匀，功率波动大，甚至出现“倒发电”现象；油井平衡状况不佳时，这种现象会更加严重。因此，一种根据油井载荷实时优化电动机转速的柔性控制技术得到了研究和应用^[1]。

中国石化股份公司资助项目（315032）。

1 抽油机柔性控制技术原理

抽油机柔性控制最重要的是对电动机转速的实时控制，当抽油机在遇到载荷变化时，抽油机系统上的驱动力变化过程要平滑，抽油机曲柄扭矩、电流负载及功率负载波动幅度要小，且波动均匀，从而减轻传动齿轮撞击强度和负载波动对动力源的冲击，减少系统的平均功率，实现电动机根据油井载荷的变化“按需”供电，从而达到节能的目的^[2]。

抽油机柔性控制技术是以变频调速技术为基础，在电动机和抽油机曲柄上安装传感器采集信号，分析悬点不同位置与电动机负载之间的关系，根据上下冲程载荷的变化制订悬点负载与电动机转速变化的运行方案，实时调节电动机的转速、转矩和输出功率等，动态改变系统运行轨迹，充分利用系统惯性能，降低运行功率、电流和扭矩峰值，使驱动系统的能量输出趋于均衡化。即在起动过程中，电动机转速由0增至所需转速，消除起动电流和起动功率峰值，电动机平稳起动；运行过程中，系统对采集到的电动机旋转过程中的角速度、角加速度信号与对应的电信号（电流、有功功率）进行运算，逐步完成其曲柄在不同转角情况下电动机速度与加速度的优化，负载大时低转速实现大扭矩，负载小时高转速实现能量的储备，保证运行过程中能量的合理分配，从而优化上下冲程的运行速度，提高泵效和系统效率，降低损耗。主要包含上快下慢、功率随动等柔性控制模式。



杜红勇/高级工程师

关键词/Keywords

抽油机 ·
功率随动 ·
柔性控制 ·

2 现场应用情况

目前,胜利油田原油含水率已达90%以上,提高生产效率、实现智能采油是油田开发的必然趋势。柔性控制作为一种新型节能技术,对其在抽油机井上的适用性进行了研究和应用试验,重点分析了抽油机单井使用及多井并行使用时系统母线电压的变化情况、频率输出情况和功率变化情况。

2.1 单井使用情况

测试抽油机井电动机为22 kW三相异步电动机,额定转速为481 r/min,油井平均日产液量14 t。工频和柔性控制运行参数的对比如下表所示,功率随动与工频模式下的有功功率变化曲线如图1所示。由此可知油井在功率随动柔性控制运行模式下,功率波动幅度较工频有所减小,平均功率明显降低,“倒发电”现象基本消失,平均有功功率从8.29 kW降到了6.66 kW,综合节电率达到了19.31%,节能效果明显。

表 抽油机井柔性控制节能效果对比

井号	运行方式	冲次/(次/min)	有功功率/kW	无功功率/kvar	综合节电率(%)
X17-32	工频	2.5	8.29	22.30	19.31
	柔性控制	2.5	6.66	18.97	

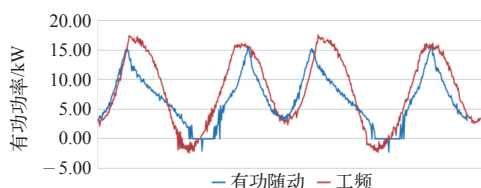


图1 功率随动与工频模式下有功功率变化曲线

功率随动柔性控制模式下系统输出频率曲线如图2所示。由图中可以看出,电动机输出频率随抽油机载荷的变化而变化,频率输出曲线光滑、平稳,无较大波动,载荷小时转速高,载荷大时

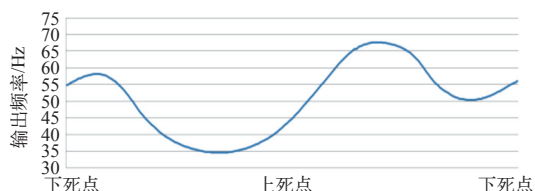


图2 功率随动柔性控制输出频率曲线

转速低,达到了电动机运行速度优化的目的。

功率随动柔性控制模式与工频运行模式下母线电压的对比如图3所示。在柔性控制模式下,电动机转速根据油井载荷的变化得到了优化调节,避免了因载荷的波动引起电压的骤变和“倒发电”的产生,提高了系统的可靠性,系统没有明显的泵升电压,制动电阻也未起动,降低了系统的损耗。

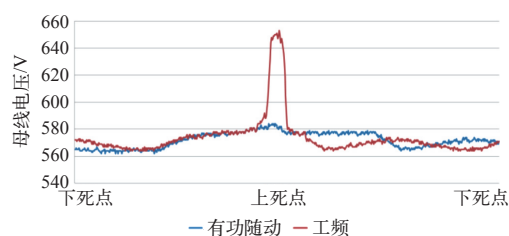


图3 功率随动与工频模式下母线电压对比

2.2 多井应用情况

对三口油井进行了集中柔性控制试验,考察了变频恒速、上快下慢以及功率随动等不同控制模式对系统的影响。三口油井的集控方案设计如图4所示。

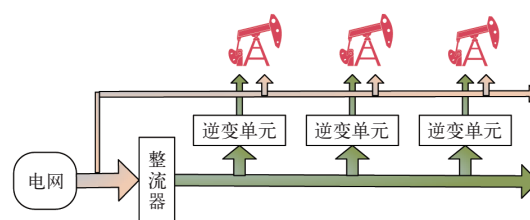


图4 油井多模集控总体设计

油井柔性集中控制装置主要由整流器、逆变器、滤波装置、信息采集系统和制动电阻等组成。控制系统设计为工频与变频可独立选择的模式。当选择工频模式时,整流、逆变单元不工作,系统不具备柔性控制功能;当选择变频模式时,系统可进行变频恒速、上快下慢以及功率随动等模式的选择,实现“一机多模”的控制。

经对比试验,多井在不同运行模式下,系统的输出频率曲线如图5所示。

由图中可以看出,油井在不同运行模式下,系统输出频率变化较大;恒速模式下,频率保持

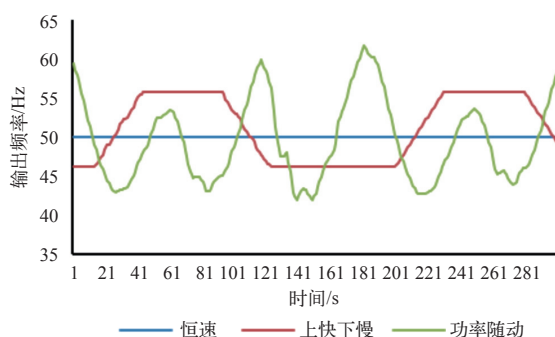


图5 控制系统输出频率对比

恒定不变,基本维持在50 Hz;在上快下慢模式下,输出的频率根据设定条件在46~56 Hz之间规律性地增减,保证油井在上下冲程的频率不同,运动速度不同;功率随动模式下,系统的输出频率实时变化,主要是由电动机转速随负载的变化而实时调整所致。

多井在不同控制模式下,直流母线电压的变化情况如图6所示。

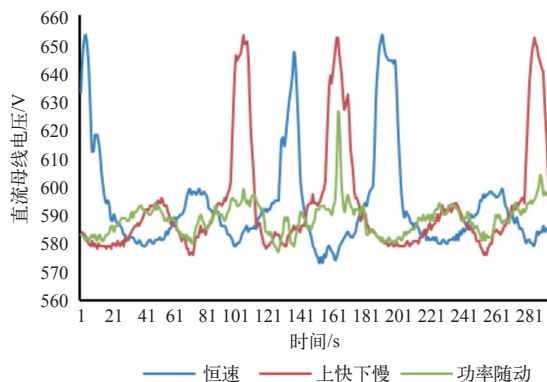


图6 直流母线电压变化对比

由图中可以看出:①三口油井同时运行时直流母线电压的变化情况比较复杂,由于油井的运行时序不同,母线电压会周期性出现达到阈值的情况,且出现阈值的频率和幅度不同;②在不同运行模式下,母线电压变化区间为580~650 V,超过650 V时会起动制动电阻;③单井不同的控制方式会对母线电压升高的幅值以及幅值出现的频率造成影响。在相同运行时间内,功率随动模式能够有效降低直流母线电压幅值和出现的频率,有利于直流母线电压的稳定。

多井在不同控制模式下系统输入功率的变化曲线如图7所示。

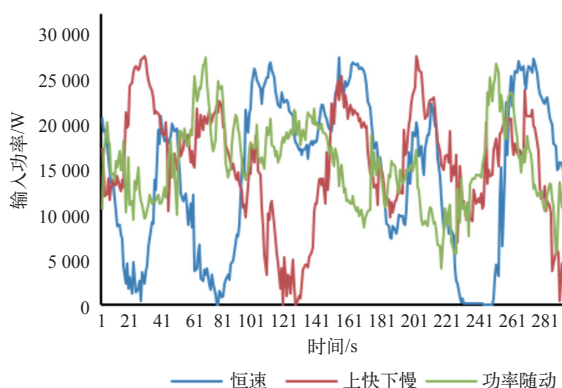


图7 系统输入功率对比

由图中可以看出,油井在恒速和上快下慢运行模式下,有功功率的波动范围较大,且在恒速运行时,会有“倒发电”现象发生;而在功率随动运行模式时,有功功率变化相对较平稳,波动小,未出现“倒发电”现象,系统的平均能耗低。

3 结束语

抽油机柔性控制技术可根据油井上下冲程载荷的变化优化电动机的转速,实时调整电动机的转矩和输出功率,实现电动机的主动变速运行,减小电动机功率的波动幅度。

多井多模式的柔性集中控制方式,不仅减小了变压器的容量和系统的综合损耗,还可以协调控制各单井的运行状态,防止多井在同一时刻步调一致,避免直流母线电压的骤变或能量峰值叠加对设备的冲击,抑制“倒发电”现象的产生。

经现场试验,该技术在油井降容增效及优化调参等方面效果明显,具有较好的推广应用价值。控制系统中大量电力电子器件的使用寿命及谐波影响还有待进一步考证。

参考文献

- [1] 于海山. 基于降低机采单耗的抽油机柔性运行技术研究与应用[J]. 油气藏评价与开发, 2015, 5(2): 53-56.
- [2] 刘京, 张胜林, 黄红星. 游梁式抽油机柔性运行节能技术应用研究[J]. 石油石化节能, 2013(4): 23-25.

(收稿日期: 2017-02-24) EA