

一种油田配电网节能改造方案应用

根据油田配电网的特点以及普通节能方案中存在的问题,结合华北油田某采油厂功率因数低下、线路损耗严重的现状,以及配电变压器所带抽油机的数量及功率不同,提出了采用无功优化及协调柜与户外柱上有源电力滤波装置配合的方案来解决油田配电系统中存在的电能质量问题,方案实施以后,油田配电系统的无功功率大幅降低,功率因数提高,相电流和线损降低,达到了油田系统节能改造的目的。

杨 勇 魏中伟 栗忠来 成静红 陈星宇/许继集团有限公司

0 引言

近年来,治理大气污染,促进节能减排,实现经济社会的可持续健康发展已成为广泛共识。对于油田企业,特别是一些处于开采中后期的油田,由于其负荷的特殊性,仍然存在着大量的电能损失,油田企业的经济效益因此受到了严重的影响^[1]。据中国石油工业协会统计,中国抽油机的保有量在10万个以上,年增量为5 000个;抽油机电机总容量3 500 MW,每年耗电量超过百亿千瓦时,国内平均效率只有25.96%,节能潜力巨大^[2]。抽油机是油田企业的主要负荷,其平均功率因数偏低,一般在0.3~0.4之间,导致线损率高达10%以上,使油田配电网系统长期运行于低效状态^[3]。供电部门要向采油单位收取功率因数调整电费,这对采油单位而言无疑增大了生产成本,使整体经济效益下降。

1 油田配电网的特点

油田配电网具有功率因数过低、供电电网电能质量不稳定以及线损浪费严重的特征。这种现象主要与油田抽油机

的运行状态息息相关,抽油机占油田总负荷的80%以上,其运行情况决定着整个油田配电网的功率因数^[4]。在一个冲程周期内,抽油机的有功功率变化较大,其功率变化曲线已近似为正弦波;无功功率波动范围比较小,每分钟波动3~5次^[5]。受藏油情况的变化、泵挂深度的改变、地面调参情况的优劣及自然气候等因素的影响,抽油机电机的运行与负荷的变化很难处于最佳配置中,所以使抽油机电机实际运行中负荷率降低,又因单井电动机的无功补偿不到位,致使整个油区低压配电系统的功率因数很低。针对油田配电网存在的问题,必须采取有效的治理措施,补偿油田系统的无功功率,提高机采系统的功率因数,降低线损率,这对获得可观的经济效益具有重大的现实意义^[6]。

2 节能方案的确定

2.1 存在的问题

华北油田某采油厂主要有6条线路存在功率因数过低的情况,在其中1条线路进行了电能质量测试,该线路主要包含15台10 kV/0.4 kV变压器,其中14台为S11-M型变压器,容量为80~200 kV·A,分别带1~3台抽油机;另有1台S11-M-630/10型变压器,带3台注水泵和2台外输泵(有备用)。

经过实地多处的电能质量测试,对测试数据进行分析得出以下结论。

1) 电压波动范围为393~409 V,处正常状态。



杨 勇/工程师

关键词/Keywords

油田配电网·
节能·
无功功率·
功率因数·

- 2) 油井变压器400 V侧平均功率因数一般在0.3~0.4之间, 该线路10 kV出线处功率因数为0.63, 远低于合格标准。
- 3) 系统中电流谐波含量为3.5%左右, 其中以3、5和7次谐波为主。
- 4) 抽油机是三相平衡的负荷, 三相平衡度良好。

测试结论: 该地区供配电系统低压侧电压在400 V左右, 功率因数为0.4, 三相平衡度良好, 其中存在的主要问题是功率因数十分低下, 造成很高的电能损耗, 且系统含有一定量的谐波, 必须对该供配电系统进行无功补偿, 同时兼顾谐波治理。

2.2 节能方案的确定

由多次实际测量的数据可知, 由于配电变压器所带抽油机的数量及功率不同, 其无功需求范围呈3个阶梯趋势, 如表1所示。

表1 无功需求阶梯趋势

配变带抽油机数量/台	1	2	3
配变无功需求范围/kvar	22~33	59~68	82~90

针对带2台和3台抽油机的情况, 无功功率需求相对较高, 波动部分占比较小, 采用无功优化及协调柜进行电能质量治理即可达到理想的功率因数, 并相对经济。针对带1台抽油机的情况, 无功功率需求相对较低, 无功波动迅速且幅度较大, 波动部分占比达33%, 因此需要进行快速精细补偿, 采用具备动态补偿功能的户外柱上有源电力滤波装置才能达到理想的功率因数, 且有源电力滤波装置在补偿无功功率、提高功率因数的同时可兼顾滤除系统中的谐波电流。

根据所带抽油机数量的不同, 综合考虑当前各类无功补偿设备的性能及经济性, 采取的电能质量治理设备及型号规格如表2所示。

表2 节能方案设备及型号规格

配变带抽油机数量/台	设备输出容量/kvar	设备名称及型号规格
1	35	有源电力滤波器GXAPF-800W-50
2	65	无功优化及协调柜GXIEA-8000-110
3	85	无功优化及协调柜GXIEA-8000-140

该线路另外有1台负荷为泵类的变压器, 容量为630 kV·A, 可按变压器容量的20%左右选取无功优化及协调柜设备, 其输出容量为120 kvar, 型号为GXIEA-8000-150。

3 无功补偿装置的原理与特点

GXIEA-8000系列无功优化及协调柜采用无功补偿与低电压治理综合控制的一体化策略和措施, 采集系统电压、电流, 实时计算系统三相功率、功率因数等参数, 根据系统无功功率或功率因数情况控制电容器组的投切, 达到既不过补又不欠补的效果。其输出容量阶梯式可调, 这种方式适用于无功功率变化平稳的场所。户外柱上GXAPF-800W无功动态补偿滤波装置采集系统电压、电流, 实时计算系统三相功率、功率因数和谐波电流等参数, 根据系统无功功率及谐波电流情况控制半导体换流器的输出电流, 以补偿无功功率和谐波。其输出容量连续可调, 不存在分级分组问题, 可完全根据负荷需求准确输出无功, 并且响应迅速(仅数十毫秒), 在补偿无功功率的同时兼具谐波治理功能, 适用于无功变化迅速、谐波含量较高的场所。

4 油田节能应用情况

为验证方案的有效性, 选择在测量线路带1台抽油机的变压器处安装1台50 A的无功动态补偿滤波装置GXAPF-800W, 装置连续运行, 状况稳定。在变压器低压出线处测量电能质量数据, 截取装置投入运行前后的功率、相电压和相电流变化情况, 如图1~图3所示。

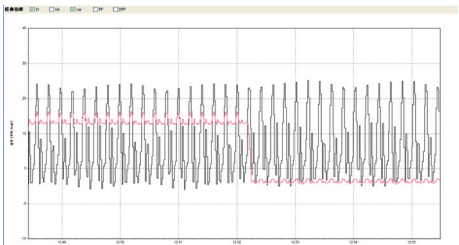


图1 功率变化曲线一

黑色—有功功率(kW) 红色—无功功率(kvar)

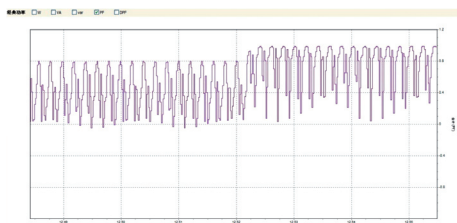


图2 功率因数变化曲线一

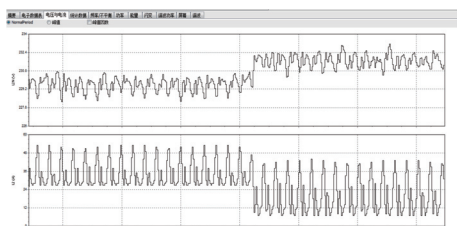


图3 相电压、相电流变化曲线一

上半部—相电压 (V) 下半部—相电流 (A)

装置投入运行后,能够达到的预期效果具体如下。

1) 降低系统无功功率。装置投入后,供电系统向抽油机输送的无功功率从19 kvar左右下降到2 kvar左右,下降幅度接近90%。

2) 提高功率因数。装置投入后平均功率因数从0.5以下提高到0.99以上。

3) 降低系统电流。B相电流从平均36 A降低到14 A左右,降低幅度达60%以上,这将大大降低输电线路和变压器的电能损耗,线损率也明显降低。

4) 系统电压略有提升,B相电压提高了3 V左右。

选择该测量线路的另一变压器处安装1台GXIEA-8000-140,对带3台抽油机的配电区进行效果验证,投入运行前后的功率、相电压和相电流变化情况如图4~图6所示。

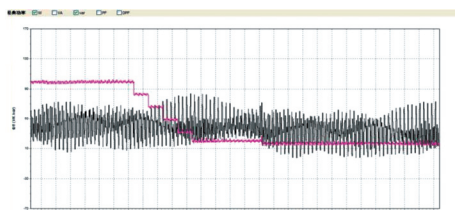


图4 功率变化曲线二

黑色—有功功率 (kW) 红色—无功功率 (kvar)

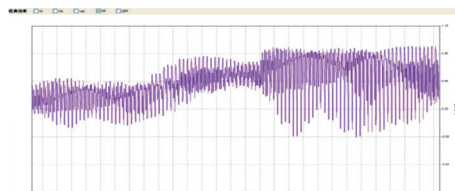


图5 功率因数变化曲线二

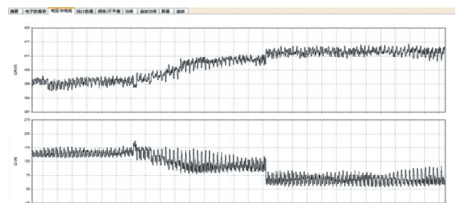


图6 相电压、相电流变化曲线二

上半部—相电压 (V) 下半部—相电流 (A)

测量数据图证实了装置的无功补偿效果,具体如下。

1) 能够大幅降低系统无功功率。装置投入后,系统的无功功率随着电容器组的投入呈阶梯状降低,从100 kvar左右逐渐下降到17 kvar左右。

2) 提高功率因数。平均功率因数从0.5以下提高到0.9以上。

3) 降低系统电流。B相电流随着电容器组的投入,从平均150 A逐渐降低到65 A左右,降低幅度达55%,系统电流的降低使输电线路的电能损耗也大大降低。

4) 系统电压略有提升。B相电压随电容器组的投入,从400 V逐渐提高到412 V左右。

根据所提出的节能方案在油田的应用情况可知,动态补偿与自动电容补偿相结合的治理方案可大幅降低系统输送的无功功率和电流值,从而达到提高功率因数、大幅降低线损率的目的。对比而言,在降低无功功率和电流、提高功率因数以及降低线损率等实际效果方面,动态补偿的性能更加优良。

5 节能效果分析

结合华北石油管理局节能监测站测量的数据,补偿设备运行前后高压电气量的变化如表3所示。

通过表3和多处实测数据的分析可知,10 kV出口处电压无明显变化,电流下降达46.4%,减少了变压器有功损耗与线路损耗,线损率降低

表3 10 kV出口处电气量

电气量	10 kV出口		
	补偿前	补偿后	对比结果
电压/kV	10.53	10.46	无明显变化
电流/A	58.00	31.06	下降46.4%
有功功率/kW	513.1	493.6	下降3.8%
无功功率/kvar	923.5	270.4	下降70.7%
视在功率/kV·A	1 056.47	562.81	下降46.7%
功率因数	0.484	0.874	大幅度提高
油井变压器总有功损耗/kW	14.08	7.62	下降45.9%
10 kV线路损耗功率/kW	37.73	23.57	下降37.5%
线损率(%)	10.097	6.319	下降3.78%

3.78%，无功功率从923.5 kvar下降到270.4 kvar，下降幅度达70.7%，功率因数从0.484提高到0.874，效果显著，根据表3可以计算得出直接经济效益，即

年节省电费=降低的损耗电费+降低的力率电费≈[有功功率×降损率×24 h×365天×电价]+[有功功率×24 h×365天×电价×(补偿前力率标准-补偿后力率标准)]

$$=[513.3 \times 3.78\% \times 24 \times 365 \times 0.8] + [513.3 \times 24 \times 365 \times 0.8 \times (49\% - 1.5\%)]$$
$$\approx 13.6 + 170.9 = 184.5 \text{ (万元)}$$

式中，电费为0.8元/kW·h；补偿前力率标准为功率因数0.48时，+49%；补偿后力率标准为功率因数0.87时，+1.5%。

经计算可得，仅直接经济效益方面，年节电量可达17万kW·h，降低损耗电费为13.6万元，综合功率因数调整电费170.9万元，年节省电费184.5万元。

由表3可知，该油田配电网节能改造方案可以有效改善油田供电系统的电能质量，提高供电效率，进一步保障用电设备运行安全，保证系统的生产运行连续。主要有以下的效益。

1) 提高功率因数，降低系统损耗。油田节能改造方案实施后，可以有效减少系统中无功传输需求，大幅度降低系统电流，从而降低供电系统线路损耗。

2) 改善电能质量，即可改善系统电压质量，降低谐波含量，改善系统三相不平衡，提高供电

系统可靠性。

3) 提高供电能力。当输电线路的导线截面积一定时，输送的安全供电容量为一定值。合理加装无功补偿设备，当提高功率因数后，可使线路输送的无功电流大量减少，从而释放出富裕容量，增加供电能力。在配变变压器方面，若需要的有功不变，则由于需要的无功减少，相当于减少变压器的容量需求，释放配变容量。

4) 延长设备使用寿命。通过合理加装无功补偿设备，提高了电压合格率，降低了系统电流的大小，避免了设备发热，提高了其服役年限。

6 结束语

结合油田配电网所处运行环境的特殊性，综合各类无功补偿设备的性能及经济性，节能方案中提出的无功动态补偿滤波技术的应用能够有效解决油田配电网中所存在的功率因数低下及谐波问题，无功补偿装置投入运行以后，系统的无功功率能够大幅降低，从而提高功率因数，降低系统电流，同时降低输电线路损耗和变压器电能损耗，经济效益可观，节能效果显著，达到了油田配电网节能降耗的目的。

参考文献

[1] 苑舜，韩水. 配电网无功优化及无功补偿装置[M]. 北京：中国电力出版社，2003.

[2] 陈晓贺，陈俊聪. 抽油机井平衡比与能耗的关系[J]. 石油地面工程，2014(1)：5-6.

[3] 高尤. 智能无功补偿技术在苏北油田的应用[J]. 石油石化节能，2014(12)：21-23.

[4] 胡月. 无功补偿在远距离供电节能降耗中的作用[J]. 石油石化节能，2014(12)：42-43.

[5] 朱益飞. 无功自动补偿在油田民用低压配电系统中的应用[J]. 电气应用，2011，30(3)：22-26.

[6] 刘桂涛，白敬中，夏学文. 农网低压部分无功补偿及节能效益研究[J]. 电气应用，2011，30(5)：65-67.

(收稿日期：2015-08-30) EA