

[变压器]

调容变压器在油田应用的可行性分析

文/大庆油田有限责任公司第二采油厂 姚 杰

抽油机井是油田生产的基本单元，在吨油成本中占有相当大的比例，但实际运行中抽油机的配电变压器容量远离变压器的经济负荷区，“大马拉小车”现象严重，变压器低负荷运行，导致功率因数过低，节能存在很大潜力。对油田抽油机井工作特性及配电运行状况做了分析，提出采用调容变压器，提高配电变压器的运行效率，从而提高电网运行质量，节约投资，降低成本，节能效果显著，是油田理想的更新换代产品，同时具有较高的经济效益和社会效益。

在油田生产中，机械采油形成了庞大的油田配电网络，该配电网是油田的耗能大户，吨油成本中，电力消耗约为总成本的1/3以上，其中有相当大部分是抽油机电。其中主要原因是由于抽油机井是一个交变脉动负荷，为了保证有足够的起动转矩，就要求配置比正常运行时高达2倍的配电变压器，其配电变压器容量“大马拉小车”现象严重，远离变压器的经济负荷区，变压器低负荷运行，导致功率因数过低，一般为0.35~0.4，浪费大量的电能。因此调节变压器的容量，使其工作在经济负荷区，也是油田配电系统节能降耗、控制成本的有效途径之一。

油田抽油机井及配电运行状况分析

1. 现状分析

在油田生产中，机械采油井数约占总井数的90%以上，并形成了庞大的油田配电网络。据统计，截至2001年，萨南油田共有机电采油井4 800多口，6 kV供电线路约1 655 km，配电变压器4 600多台。然而，在油田中却普遍存在着配电变压器容量与实际负荷相差过大的“大马拉小车”现象，过大的变压器视在容量只为满足电动机的起动转矩而设置，造成配电变压器的负

荷率过低。通过调查，造成配电变压器容量与实际负荷相差过大原因是多方面的，在实际生产运行中主要原因是由抽油机工作特性决定的。

这是因为抽油机的工作特性是重载起动、交变负荷运行，是一个交变脉动负荷，抽油机井一般都配有平衡块，从负荷曲线上看有两个峰值，分别是上、下冲程的“死点”，每次停机后再起动总是从“死点”处起动，这就要求有足够大的起动转矩。为了保证有足够的起动转矩，就要求配置比正常运行时高达2倍的配电变压器。低负荷运行造成整个抽油机系统的功率因数过低、效率低，电能浪费大的“大马拉小车”状态。

2. 解决途径

根据以上对抽油机工作特性的分析，需要一种既能满足抽油机重载起动要求，又可使变压器运行在经济负荷区的新型变压器，即调容变压器。该变压器在满足抽油机重载起动要求的同时，降低变压器的容量，又适应抽油机正常运行时负荷率低的特点，从而达到满足负载的需要又能达到节能的目的。

由大庆供电电器设备有限公司开发的RS9系列全封闭三相油浸式调容变压器，其电压等级为10 kV及以下，额定容量在125 kV·A及以下的变压

器。该变压器就是在设计上降低变压器的电流密度、磁通密度、短路阻抗，采用合理结构，保证热稳定性和动稳定性，提高变压器抗冲击能力。从而，使调容变压器在额定容量下达到双倍容量的出力，满足抽油机电动机起动出力大、平稳运行出力小的要求，提高变压器的负荷率，而变压器的损耗为额定容量下的损耗，使装备容量与运行负荷达到最佳匹配，来解决配电变压器“大马拉小车”的不合理现象，达到降低空载损耗和负载损耗的目的。

节能效果及应用情况

1. 变压器的容量可降低约50%

表1 电动机与变压器匹配

序号	电动机 额定功率/kW	原配制变压器 容量/kV·A	现配制变压器容 量/kV·A
1	17、22	30	20
2	37	50~63	30~40
3	45	63~80	40~50
4	55	80~100	50~63
5	75	100~125	80

从表1中可以看出，原配置的变压器的负载率低。当采用调容变压器后，配电变压器容量减少约50%，解决了配电变压器“大马拉小车”的不合理现象。

2. 降低变压器的空载、负载损耗

RS9调容变压器的空载损耗、负载损耗不但比双倍容量标准要求大幅度降低，比同容量标准要求也降低很多。因此，节能效果显著。具体如表2、表3所示。

表2 变压器空载损耗比较

规格 /kV·A	S9同 容量/W	S9双倍 容量/W	RS9同容量 实测值/W	同容量 下降(%)	双倍容量 下降(%)
30	130	200	120	7.7	40
50	170	290	145	14.7	50
63	200	340	178	11	47
	平均值			11.13	45.87

从表2中可以看，RS9系列调容变压器与同容量的S9变压器对比，空载损耗平均下降11.13%，与双倍容量S9变压器对比，空载损耗平均下降45.87%。

表3 变压器负载损耗比较

规格 /kV·A	S9同 容量/W	S9双倍 容量/W	RS9同容量 实测值/W	同容量 下降(%)	双倍容量 下降(%)
30	600	1 040	423	29.5	59.33
50	870	1 500	698	19.77	53.47
63	1 040	1 800	822	20.96	54.33
	平均值			23.41	55.71

从表3中可以看出：RS9系列调容变压器与同容量的S9变压器对比，负载损耗平均下降23.41%，与双倍容量S9变压器对比，负载损耗平均下降55.71%。

3. 现场应用

中国石油天然气集团公司油田节能监测中心在南5-1-132井进行运行效果的测试，测试表明：原南5-1-132井（电动机功率为37 kW）使用的S1-50/6.3型变压器，使用RS9-30/6.3调容变压器替代，在现场进行了对比测试，RS9-30/6.3调容变压器使用运行正常，完全可以代替S1-50/6.3型变压器正常工作，满足抽油机电动机起动性能要求的同时，降低变压器的容量，达到提高变压器负荷率的目的，降低损耗，变压器的损耗为额定容量的损耗，有效地解决了变压器“大马拉小车”的不合理现象，自投运至今，RS9-30/6.3调容变压器工作性能非常稳定，运行一切正常。

经济效益分析

1. 节省电费

由于调容变压器节能效果显著，可以节省大量电费支出。如果电价为0.445元（kW·h），负载率按0.7计算，则节省电费如表4所示，根据公式

$$DF = (P_{0S9} - P_{0RS9}) td + (P_{kS9} - P_{kRS9}) TdX0.7$$

P_0 ：空载损耗

P_k ：负载损耗

t ：变压器运行时间

d ：电价

以RS9-50 kV·A为例。

$$DF = (0.29 - 0.145) \times 365 \times 24 \times 0.445 + (1.5 - 0.698) \times 365 \times 24 \times 0.7 \times 0.445 = 2\,753\text{元}$$

2. 节省设备费

由于低容量变压器可以满足抽油机重载起动要求，替代原配置的大容量变压器，从而降低了购置大容量变压器的费用支出，具体参见表4。

以RS9-50 kV·A为例。RS9-50 kV·A预算

（下转第72页）

从图4、图5可以看出漏磁集中在高压B、C侧（右侧），对右侧漏磁场较高位置的屏蔽措施和金属构件材料选用进行优化。具体优化内容如下：在油箱顶部B、C侧外表面铺设一定厚度的电屏蔽（铜板），范围由油箱中心线至右侧端部；在箱壁布置磁屏蔽（硅钢片材料），磁屏蔽由油箱中心线至右侧端部，并在油箱右侧端面布置磁屏蔽；铁心垫脚及油箱中心线右侧箱底和箱沿处采用低磁钢材质。

将新型Scott平衡牵引变压器屏蔽方案优化前后的主要构件磁通密度（简称磁密）、涡流密度及损耗密度与已运行变压器进行对比，结果如表1、表2所示。

表1 优化前后主要构件分析值对比（T座运行）

对比项	优化前	优化后	已运行变压器
油箱磁屏蔽磁密/T	1.51~1.82	1.05~1.35	1.35~1.48
铁心腹板磁密/T	0.22	<0.03	<0.04
油箱磁密/T	1.4	0.9	<1.2
最大涡流密度 /A/mm ²	<15	<3.6	<10
最大总损耗密度 /W/m ²	2.1E06	5.3E05	1.7E06

（上接第69页）

价格为1.04万元，S9-80 kV·A预算价格为1.21万元，则节省设备费1 700元。

表4 节省费用

规格型号	节省电费/元	节省设备费/元	回收年限/年
RS9-30	1 990	2 800	1.77
RS9-50	2 753	1 700	2.52
RS9-63	3 300	2 200	2.16

从表4中可以看出，投入1台RS9系列调容变压器，仅用节省电费及设备费，用2~3年的时间就可以回收设备购置费，以后每年可以节省电费获益2 000~3 300元/台，如果变压器运行寿命按20年计算，可获益4~6.6万元/台，经济效益十分可观。

结束语

综上所述，调容变压器具有以下优势。

1) 变压器的装机容量可减少约一半，节约了变压器的闲置容量，并能很好满足重负荷启动特性的要求，解决了变损和线损的不合理现状，提高了供电质量。

表2 优化前后主要构件分析值对比（M座运行）

对比项	优化前	优化后	已运行变压器
油箱磁屏蔽磁密	1.55~1.85T	1.10~1.38T	1.35~1.48T
铁心腹板磁密	0.21T	<0.03T	<0.04T
油箱磁密	1.4T	0.9T	<1.2T
最大涡流密度	<15A/mm ²	<3.5 A/mm ²	<10 A/mm ²
最大总损耗密度	2.2E06W/m ²	5.4E05W/m ²	1.7E06W/m ²

从表1、表2的横向对比可以得出，新型Scott平衡牵引变压器的屏蔽结构优化及主要构件材料更改后，各项指标均优于已运行变压器产品，结构件局部无过热问题。

结论

笔者依据新型Scott平衡牵引变压器的结构特点，建立了三维ProE模型，并利用三维电磁仿真软件对漏磁场进行仿真分析。根据分析结果，对此台变压器的屏蔽结构和主要构件的材料选取进行优化，提高了产品的安全性能。目前，公司已生产制造新型Scott平衡牵引变压器，试验合格，无局部过热现象，进一步论证了三维计算分析结果的正确性。EA

（收稿日期：2015.05.06）

（编辑：白文亭）

2) 由于变压器的空载损耗、负载损耗平均降低45%~55%，可以节约大量电能和电费，年节约电费2000~3300元/台。

3) 由于调容变压器的价格略高于同容量S9变压器的价格，而低于双倍容量S9变压器的价格，低容量调容变压器可以满足大容量变压器的需求，所以投资一台RS9系列调容变压器，仅用节省的电费及设备费，用2~3年的时间就可以回收设备购置费，从而降低成本。

4) 由于变压器的容量与实际负荷的合理匹配，使变压器的效率大大提高，从而使变压器在高效区运行，满足变压器经济运行的要求，解决了变损和线损的不合理状况，增强了供电系统的能力，降低了网损，提高了供电质量。

通过以上分析，调容变压器可以提高电网运行质量，节约投资，降低成本，节能效果显著，是油田理想的更新换代产品，具有较高的经济效益和社会效益。EA

（收稿日期：2015.03.06）

（编辑：白文亭）