

油田配电网无功优化探讨

访中石化胜利油田分公司生产运行管理中心副主任刘玉林

■ 杨帆/本刊记者



刘玉林 副主任
中石化胜利油田分公司生产运行管理中心

无功补偿的目的是减少无功功率在网损上的潮流流动，进而降低因无功功率的传输造成的电网损耗，提高电网的经济性及提升线路末端电压确保设备的可靠运行。

早期的油田配电网由于在建设过程中缺乏全面考虑，导致后期在油田生产过程中出现电能质量问题，影响了油田设备的生产运行。在油田配电网进行无功补偿，可以有效提高功率因数，降低线损，保障油田生产设备的正常运行。为了深入了解油田配电网无功优化的技术方案，本刊特别采访了中石化胜利油田分公司生产运行管理中心副主任刘玉林，请他介绍一下胜利油田配电网在无功补偿方面采取的方案以及实施情况。

油田配电网无功补偿的技术路线

电气应用：首先请简单介绍一下胜利油田配电网无功补偿的技术路线都有哪些？

刘玉林：根据胜利油田配电网的实际，通过前期大量的统计与分析，并且实测了许多现场数据后，制定了胜利油田配电网无功补偿的技术路线，分为低压无功补偿技术路线及高压无功补偿技术路线。

1. 低压补偿的技术路线

各单位在选用用电设备时，要对设备的功率因数进行经济技术方案比较，原则上首先选用自然功率因数高的用电设备，以减少系统的补偿容量。

1) 装有变频设备的电动机、永磁电动机及开关磁阻电动机不得安装普通补偿电容。

2) 补偿电容器的额定电压至少要高于系统额定电压的15%，补偿容量按照电动机正常运行时所需容量考虑，并允许低压侧适当过补偿。

3) 电泵井等非标电压设备应在高压补偿。1140 V视投资情况，可在高压或者低压安装无功补偿装置。多台电泵井可以安装一台集中补偿设备。

4) 一变一井电动机应该对现场的无功功率进行测量，根据测量结果选择合理的补偿容量，宜安装一组固定式无功补偿装置。一变多井的应采取补偿电容器分组控制方式，电容补偿装置宜合用一台控制柜，电容器容量应考虑电动机数量和组合。

5) 配电室的低压母线、低压注水电动机及注聚合物电动机在380 V母线上安装就地集中补偿装置，同时应采

取防谐波措施。若谐波含量严重超标,采用APF等有源滤波方式治理谐波,并提高功率因数。

6) 控制装置能显示电容器的工作状态,电容器随着电动机起动延时投入,电动机停运时同时退出。

7) 单井补偿装置应带有谐波保护、三相不平衡保护和过电压保护。

8) 补偿设备原则上安装在原有设备控制柜里,并要考虑今后维修改造的方便,控制柜空间过小的可以单独配套一个小柜体安装电容器。

2.6 (10) kV高压补偿的技术路线

在配电网6 (10) kV线路的出口功率因数不低于0.9。在油井电动机就地补偿的基础上,如果线路出口功率因数仍达不到0.9,再进行线路高压补偿。根据线路的运行参数进行高压无功功率优化补偿计算,条件允许时,可在低压补偿安装后进行实际测量,以确定实际所需的高压补偿容量。高压无功补偿容量,原则上不允许过补偿,不允许向上一级变电站倒送无功功率。

1) 智能型高压补偿装置选用户外结构,高压侧安装跌落式熔断器,采用专用负荷开关,并有远动监控功能。可由远方切除补偿。智能型高压补偿装置原则上安装在线路的负荷中心,不允许安装在线路出口。补偿点限制在两个以内,一般安装在线路2/3处,若负荷不平衡时通过计算确定安装最佳位置。

2) 简易型无功补偿方式,在配电变压器的高压侧直接并联高压电容器,变压器用非快速熔断的跌落开关连接。

3) 高压补偿电容的额定电压选择应高于高压线路额定电压的10%以上。

4) 电潜泵井的高压侧应采用简易型无功补偿。

5) 高压注水电动机不考虑补偿。

油田配电网无功补偿方案

电气应用: 请问根据上述技术路线设定了哪些无功补偿的方案? 与传统配电网无功优化方法相比有哪些改进的地方?

刘玉林: 根据上述技术路线设定了两级无功补偿的方案。

第一级无功补偿的方案在油井、电泵等终端用电设备的安装点设置分散式低压无功补偿装置,使补偿点的功率因数均能达到0.9。一变一井的抽油机采用就地补偿方式,在每口油井安装静态电容补偿装置;丛式井及一变多井的抽油机采用集中补偿方式,在变压器低压母线增加动

态补偿;电泵井集中的地方采用集中静态补偿方式,在电泵井高压侧线路上进行补偿;泵站配电室采用集中动态补偿方式,在变压器低压母线上进行补偿。

第二级无功补偿的方案在采油厂配电网6 (10) kV线路上设置高压无功补偿装置,采取“动静结合,以静为主”的无功补偿方式,对于无功控制难的长线路采用动态无功补偿方式,其余采用静态补偿方式。补偿装置增加后,使得线路功率因数达到0.9,以满足规范要求。

1. 一变一井补偿

本方案对油井的抽油机进行现场测量,依据在线测得的无功功率进行就地补偿容量的选择。无功功率测量结果如下图所示。

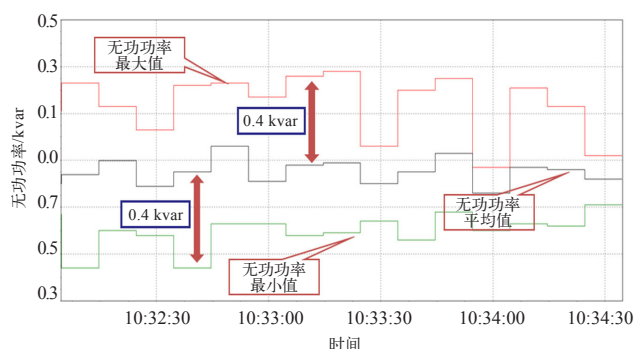


图 无功功率测量结果

对11 kW抽油机的无功功率进行实际测量。由现场测试数据可得,无功功率平均值为8.8 kvar,无功功率围绕平均值波动范围为-0.4~0.4 kvar。

由现场测试数据可得,单台电动机的无功功率波动不大,因此采用固定补偿装置。考虑到抽油机电机的实际运行电压与电容额定电压的比值,对11 kW的电动机就地固定补偿10 kvar,实际补偿容量 $=10 \text{ kvar} \times (0.4/0.46)^2 = 7.56 \text{ kvar}$,在无功功率测量平均值的0.9倍左右,满足无功功率补偿要求。

采用同样的方法对电动机无功功率进行测量,不同功率抽油机电机补偿容量统计如表1所示。

补偿装置安装于原油井控制柜内,控制油井的补偿控制装置应能显示实际无功功率,以便于监视无功补偿情况。补偿电容器应在电动机起动后延时投入,在电动机停运前或停运时退出,避免空载时补偿电容与变压器漏抗发生串联谐振。考虑谐波影响,补偿电容器的额定电压至少要高于系统额定电压的15%。

2. 一变多井补偿

一变多井采取补偿电容器分组控制方式,在变压器低压侧新增1台电容器控制柜,电容补偿装置应在同一柜

表1 不同功率抽油机电动机补偿容量统计表

序号	电动机功率/kW	测量无功功率/kvar	补偿容量/kvar	实际补偿容量/kvar
1	11	8.8	10	7.56
2	15	12.24	15	11.34
3	17	13.88	15	11.34
4	18.5	15.11	15	11.34
5	22	17.97	20	15.12
6	24	19.60	20	15.12
7	30	24.50	30	22.68
8	37	30.21	35	26.47
9	45	36.74	40	30.25
10	55	44.91	50	37.81
11	75	61.24	65	49.15

体内，依据不同功率抽油机井的停开组别，以不同组别时的无功功率作为参考，进行分组投切。

动态补偿装置中，低压动态无功补偿电容器开投切关器件发展至今共有四代。

第一代产品是常规的机械开关电器，这一代产品采用熔断器、接触器及热继电器控制电容器的投切。优点是

价格低廉，缺点是因为浪涌电流的存在，产生一系列的问题：接触器、熔断器和电容器容易损坏等。

第二代产品是半导体开关电器，即固态无触点继电器（晶闸管）。晶闸管必须采用进口产品，价格昂贵。这一代产品的出现，目的是解决电容器投切瞬间产生的浪涌电流。因为晶闸管的导通角能在电压正弦波横轴过零点处导通，接通电路，这样电容器的充电电流即为零，没有冲击。实现了“过零投切”的同时，出现了另一个问题，即发热问题。

第三代产品是复合开关电器，即接触器与晶闸管的结合。接通与断开电容器回路采用晶闸管，正常工作时采用接触器。这样既解决了投切时的浪涌电流，又解决了晶闸管的发热问题，但是该产品晶闸管需要为进口产品，价格高。

第四代产品是同步开关技术。因为电子产品的发展已经非常成熟，将计算机软硬件技术应用到电容器领域，采用微电子软硬件技术、微型传感器技术及现代控制技术对机械触点进行改造，采用单片机进行电压、电流的交流采样，捕捉正弦波的横轴零点，实现过零投切，但是投切速度不是很快。

不同情况下的一变多井抽油机补偿容量统计如表2所示。

表2 不同情况下的一变多井抽油机补偿容量统计表

序号	变压器容量/kV·A	所带油井台数	电动机总无功功率/kvar	变压器无功损耗/kvar	单台补偿容量/kvar	代表性油井油井功率/kW×台数
1	50	2	25.82	1.71	15+15	18.5×2
2	100	2	41.87	3.25	25+20	30×2
3	100	3	46.06	3.72	20+20+20	22×3
4	100	4	56.53	4.32	30+15+15	18.5×2+22×2
5	160	2	41.87	1.41	25+20	30×2
6	160	3	67.69	3.68	25+20+20	30×2+37×1
7	200	2	41.87	1.12	20+25	30×2
8	200	3	46.06	2.53	20+15+15	30×2+37×1
9	200	4	76.76	4.35	40+20+20	30×3+37×1
10	250	2	46.76	1.12	25+25	30×1+37×1
11	250	4	75.37	2.92	40+20+20	30×4
12	250	6	90.44	4.2	50+30+15	22×4+37×2

3. 低压泵站补偿

配电室的低压母线、低压注水电动机及注聚合物电动机在380 V母线上安装就地集中补偿装置。本次采用两种方式：一种方式是谐波量少时，在低压配电室内增加无

功补偿柜，采用动态补偿方式，加装7%电抗器，抑制5次及以上谐波，提高无功补偿设备可靠性，最大补偿容量按照变压器的30%考虑；另一种是谐波量大时，直接采用APF、SVG等方案。不同容量变压器无功补偿容量统计如

表3所示。

表3 不同容量变压器无功补偿容量统计表

变压器容量/kV·A	补偿容量/kvar
1 250	375
1 000	300
800	240
630	190
500	150
400	120
315	95
250	75
160	50
125	40
100	30
100	30
80	25

4. 高压线路补偿

高压线路无功补偿原则上不允许过补偿，不允许向上一级变电站倒送无功功率。高压线路补偿分智能型和简易型两种。

1) 智能型高压补偿装置选用户外结构，高压侧安装跌落式熔断器，采用专用负荷开关，并具有远动监控功能。当线路出现过补偿时可由变电所远方切除补偿。智能型高压补偿装置原则上安装在线路的负荷中心，不允许安装在线路出口。负荷中心是指无功负荷较重，电压较低且地理条件好易于巡视维护的地方。由于智能型高压补偿装置价格较高，一般线路不用，对于无功控制难的长线路限制在两个补偿点以内。

2) 简易型高压无功补偿方式，在高压线路上直接并联高压电容器，电容器上方设置跌落式熔断器与避雷器，以保护电容器，保障线路稳定运行。

3) 高压补偿电容的额定电压选择应高于高压线路额定电压的10%以上。

智能型高压补偿装置具有以下优点：可实现分级、多级投切，补偿准确；投切次数少，实现电网无功功率就地平衡；控制投切方式多，可根据电网特点及要求选择；调压方式先进，可稳定系统电压；智能化高，具有自动识别并显示调压开关档位信息等；适用于电力系统功率因数低，无功负荷较重，且容易波动的配电系统。

油田配电网无功补偿方案的实施效果

电气应用：在胜利油田配电网无功补偿优化方案实施后效果如何？是否有数据来支撑或验证方案的有效性？

刘玉林：对采油厂现有线路、单井及低压配电室实际情况进行了低压补偿。

1. 油井情况

某采油厂油井已全部安装电力电容器，通过单井单测，逐井摸排，发现原有电容过补偿或欠补偿。为此，前期在不改变原有控制柜基础上，根据检测的每口油井的实际无功功率，选择合适的电容。对于欠补偿的，增加电容；过补偿的，减小电容。同时，每台控制柜根据实际情况安装相应的微型断路器，以达到延时投切的目的。

通过以上措施，该采油厂已进行电容调整过的线路共有36条，共计402口油井。经单井改造后，功率因数有明显提高。低压补偿后功率因数统计表如表5所示。

表5 低压补偿后功率因数统计表

序号	线路及配电室名称	井口数	补偿容量/kvar	补偿前功率因数	补偿后功率因数
1	辛一站甲线	21	500	0.78	0.84
2	韩家线	9	215	0.78	0.82
3	营72线	9	225	0.8	0.84
4	辛111线	6	135	0.86	0.88
5	辛50线	8	140	0.78	0.88
6	基建东线	5	90	0.75	0.78
7	基建乙线	4	70	0.73	0.75
8	103南线	10	230	0.76	0.83
9	基建甲线	6	95	0.79	0.83
10	东辛甲线	4	65	0.82	0.83
11	新村北线	16	320	0.83	0.86
12	辛24线	13	295	0.76	0.81
13	丰收村线	30	455	0.69	0.77
14	辛109线	16	340	0.79	0.83
15	辛68线	19	370	0.84	0.88
16	辛镇线	22	410	0.75	0.78
17	调水乙线	8	180	0.86	0.88
18	东兴线	12	260	0.8	0.84

在原有控制柜基础上，加装综合控制器、电流互感器、微型断路器和控制按钮等。使控制柜在原有保护功能的基础上，同时具有电容器延时投切，回避谐波等功能。

2. 低压配电室情况

经调研，采油厂各低压配电室大部分都装有无功补

偿柜，但都存在未投切、电容有漏液或电容容量与变压器不匹配等问题。为此，根据各站的实际情况，对各站低压配电室进行了针对性的改造。

- 1) 未投切的，对电容柜进行检测；情况良好的，全部投切。
- 2) 电容已坏，更换电容。
- 3) 电容不匹配的，经计算与检测，更换新电容。
- 4) 在谐波超标的配电室直接采用了APF与SVG方式进行无功补偿与消谐。

低压配电室改造前后功率因数对比如表6所示。

表6 低压配电室改造前后功率因数对比

序号	单位	补偿前功率因数	补偿后功率因数
1	辛一站	0.76	0.95
2	辛一注	0.8	0.94
3	34注	0.76	0.95
4	辛7 注	0.78	0.96
5	营6注水站	0.8	0.97
6	辛二站	0.77	0.97
7	辛三站	0.77	0.96
8	永一站	0.78	0.96
9	广利联合站	0.77	0.97

3. 高压补偿

采油厂6（10）kV线路无功补偿计算如表7所示。

表7 采油厂6（10）kV线路无功补偿计算

序号	线路名称	补前功率因数	拟补后功率因数	补偿容量/kvar
1	东采线	0.82	0.9	96.20
2	基建乙线	0.69	0.9	76.53
3	辛50线	0.73	0.9	197.22
4	辛一站乙线	0.77	0.9	193.76
5	辛一站甲线	0.78	0.9	181.89
6	基建甲线	0.79	0.9	39.29
7	东辛甲线	0.82	0.9	67.41
8	103南线	0.76	0.9	120.27
9	韩家线	0.78	0.9	73.36
10	辛111线	0.75	0.9	196.07

高压线路的无功补偿将在单井低压补偿后，根据线路功率因数、无功功率等，计算补偿容量。按照分层分区补偿、就地平衡的原则，依据线路负荷特性及相应变压器分布状况，67条高压线路，每条线路补偿一个点，需立附杆进行组装，使线路功率因数均达到0.9。EA

广告 | AD

全新改版

色彩丰富 凸显主题

2016《电气应用》以鲜明色彩和新颖版式呈现精彩内容，力求赏心悦目。

栏目设置 独具风格

坚持继承与开拓并举，以丰富内涵充实经典栏目，持续深化面对面、专家访谈、EA经理人等栏目，密切关注电气技术的发展和应用。

专家点评 精辟深刻

每期都将围绕一个热点话题，隆重推出一场专题讨论的盛宴，共邀知名专家、产品用户和生产厂家汇聚一堂，针对焦点问题作出评析。

行业案例 生动丰富

关注电力、建筑、石化和冶金等电气行业应用，以典型深刻的案例分析、方案设计构建技术互动的空间，促进应用经验交流。

国内邮发代号：82-341 国外发行代号：M1409

每期定价：15.00元 全年定价：360.00元

电气应用

· 电气应用 盛情呈现 ·

2016