

线路调压器在油田电网中的应用

李 栋 车 豪

(中石化西北油田分公司油田工程服务中心, 新疆 巴音郭楞蒙古自治州 841600)

摘 要 针对西北油田部分超长馈电线路末端的电压偏低问题,在适当位置安装线路调压器来提高单井电压水平,通过对现场应用数据的采集和计算,发现线路调压器能够有效提高线路末端电压,但无法满足系统中的无功需求平衡状态,因此在油田电网应用调压措施的同时,还要考虑线路中的无功功率分布情况,进行合理调控,最终达到改善单井电压质量的目的。

关键词 电压 线路调压器 无功功率

中图分类号:TM761

文献标识码:A

文章编号:1007-0745(2022)06-0061-03

1 应用实例分析

1.1 应用背景介绍

在西北油田高质量发展的要求下,钻井、注气注水等作业需求日益增加,用电负荷大幅度增长。但受限于10kV馈电线路的供电半径,部分线路末端的钻井设备存在电压过低和电能质量不佳的情况。

10kV馈电线路的供电半径一般不超过15km,随着线路长度增加,在电阻、电抗和无功功率等因素的影响下,电压损耗不断增大,线路带载能力也会降低,末端电压难以保证^[1]。

SVR系列线路自动调压器(以下简称线路调压器),一般由自耦变压器、有载分接开关和自动控制器组成,将这种调压器安装在馈电线路的适当位置,在一定范围内可以对线路电压进行调整。

线路调压器能够通过测量线路的实时电压来驱动有载分接开关动作,进而改变自耦变压器的变比,使线路电压稳定在设定的电压上限和电压下限之间,如果测量的线路实时电压小于设定的电压下限,那么控制器控制有载调压开关升档提高电压;如果测量的线路实时电压大于设定的电压上限,控制器则控制有载调压开关降档降低电压。

因此,线路调压器广泛使用于供电距离比较远、供电负荷大、电压波动大、压降大、电能质量达不到使用标准的馈电线路中。

1.2 实例分析

1.2.1 线路存在的问题概述

A井位于110kV油田变电站10kV 1号线路末端,

距变电站出线间隔约21km。现要在该井投运大型钻井设备。

表1 油田变电站10kV 1号线路参数

| 10kV 1号线路 | |
|-------------------|---------------|
| 电压 U | 10.8kV |
| 线路功率因数 $\cos\Phi$ | 0.91 |
| 有功功率 P | 1942kW |
| 无功功率 Q | 873kvar |
| 电阻 R | 5.25 Ω |
| 电抗 X | 6.97 Ω |

根据电损公式计算:

$$\Delta u = \frac{PR+QX}{U} = \frac{1942*5.25+873*6.97}{10.8} = 1.51kV$$

计算1号线路末端A井的全线电压损失为:

$$U_1\% = \frac{\Delta u}{U} * 100\% = \frac{1.51}{10.8} * 100\% = 13.98\%$$

A井变压器变比10/0.6,计算低压侧电压为:

$$U_2 = \frac{U-\Delta u}{10/0.6} = \frac{10.8-1.51}{16.7} = 556.3V$$

在钻井设备未运行时,A井的电压降落已经达到13.98%,低压侧电压为556.3V,低于设备额定电压600V,如果该井负荷增加,电压会进一步降低,不能保证钻井设备的长期稳定运行。

为解决这一问题,在1号线路末端安装线路调压器来改善单井电压质量。

1.2.2 线路调压器的应用情况分析

线路调压器采用搭接的方式安装在 A 井线路上, 负荷侧连接高压开关柜、整流变压器(10kV 变 0.6kV)、低压断路器等, 所带负荷主要包括泥浆泵和大型钻井电机(总计 3 台 800kW 的直流电机, 不同时使用)。

表 2 线路调压器安装前后 A 井高计电压对比

| A 井电压对比 | |
|----------|---------|
| 未使用前电压 U | 9.29kV |
| 使用后电压 U | 10.38kV |

安装线路调压器后, 经测量可知, A 井高计电压为 10.38kV, 较之前提升 1.09kV, 升压效果明显。

表 3 A 井运行负荷

| | 负荷低值 | 负荷峰值 | 负荷均值 |
|------|---------|--------|-------|
| 功率 P | 346.4kW | 2806kW | 520kW |

通过现场数据采集, A 井在钻井电机使用期间, 该井的负荷峰值为 2806kW, 长期运行负荷在 520kW 左右; 电压在 9.3kV 至 10.38kV 之间波动。

表 4 A 井峰值负荷参数

| | |
|---------------------|--------------------|
| 油田变 I 段母线电压 U | 10.8kV |
| A 井高计电压 U1 | 9.31kV |
| 功角正切值 $\tan\varphi$ | 0.03 |
| 有功功率 P | 2806kW |
| 无功功率 Q | 1619kvar |
| 电阻 R | 0.25 Ω /km |
| 电抗 X | 0.332 Ω /km |

A 井距离变电站出线间隔约 21km, 在该井峰值负荷情况下, 根据负荷距公式计算全线电压损失百分比:

$$\Delta u\% = PL \frac{R+x \cdot \tan\varphi}{10U^2} * 100\% = 2806 * 21 * \frac{0.25+0.332*0.03}{10*10.8^2} \% =$$

13.2%

使用电能质量测试仪现场测量的数据来计算电压损失比:

$$\Delta u\% = \frac{U-U_1}{U} * 100\% = \frac{10.8-9.31}{10.8} * 100\% = 13.7\%$$

仪器测量值与计算值较为接近, 峰值负荷情况下, 电压损失为 13.7% 左右。

A 井未使用钻井电机时高压计量电压为 10.38kV,

峰值负荷时高压计量电压为 9.31kV, 钻井电机使用前电压波动计算:

$$\Delta u_1\% = \frac{10.38-9.31}{10.38} * 100\% = 10.4\%$$

A 井钻井电机使用前电压波动较大, 达到了 10.4%。

由 A 井钻井电机使用前后的电压波动数据可以看出, 在油田变电站 10kV 1 号线路末端, 即该井高压侧安装线路调压器后, A 井电压整体得到提升, 当钻井电机未启动时, 该井的电压降落仅为 3.3%, 能够有力保障钻井电机的正常运行。

但在 A 井峰值负荷情况下, 电表有功 P=2806kW、无功功率 Q=1619kvar, 根据功率因数公式计算可得:

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2+Q^2}} = \frac{2806}{3240} = 0.866$$

在该井峰值负荷情况下, 功率因数为 0.866, 低于 10kV 系统供电稳定性最低要求的 0.9。

从以上数据可以看出线路调压器能够提高线路末端单井电压水平, 降低损耗, 改变系统中的无功分布情况, 但调压措施本身不产生无功功率, 无法满足系统的无功需求平衡状态。当 A 井钻井电机启动时, 无功功率出现缺额, 导致该井电压降落达到 10.4%, 功率因数降低, 同时对临近单井的影响较大。其中 B 井距离 A 井约 400m, 因为 A 井钻井电机启动时消耗了大量无功功率, 同时冲击负荷引起了电压暂降, 导致 B 井低压侧电压在 358.5V~392.3V 之间频繁波动, 电潜泵机组出现两次 EOC 停机状况(该井变频器额定电压 400V, 运行时电压波动范围不能超过 10%), 若继续使用线路调压器来调节电压水平, 可能会提高 A 井电压, 但会致使无功缺额增大, 使区域内其它单井的电压降低, 造成恶性循环。

因此, 在系统无功功率不足的情况下, 可利用就地补偿电容器的方式进行电压调节。

传统接触器调节电容器投切的补偿方式响应慢, 无法针对钻井电机的频繁启动做到实时补偿, 甚至可能会发生过补现象, 综合考虑宜采用静止无功发生器(SVG)进行补偿^[2]。当电压降低时, 静止无功发生器可以向系统发出容性无功提高电压; 当电压升高时, 静止无功发生器可以向系统发出感性无功降低电压。采用恒电压补偿模式, 根据测量点的电压偏离值大小来决定补偿容量的大小, 同时由于静止无功发生器的装置响应速度远快于电压波动速度, 因此可以使电

表5 线路调压器的安装方式对比

| 线路调压器安装方式对比 | | |
|-------------|--------------------------|-----------------------------|
| | 优点 | 缺点 |
| 就近安装 | 安装时, 线路不需要停电, 不影响其他单井的生产 | 峰值负荷较大时, 电压暂降对安装位置附近单井的影响较大 |
| 线路中段安装 | 电压波动对其他单井的影响较小 | 线路需要停电, 影响部分单井的生产 |

表6 线路长度与调压器的应用关系

| 线路长度 | 线路功率因数 | 应用建议 |
|-----------|--------|--|
| <15km | >0.9 | 不需要使用线路调压器, 无补偿需求 |
| | <0.9 | 不需要使用线路调压器, 可在网钻单井 10kV 侧并联高压 SVG 进行无功补偿 |
| 15km~18km | >0.9 | 建议使用线路调压器提升线路末端电压, 若线路功率因数 >0.9, 无需补偿; 若单井电压波动大, 可在受影响单井低压侧安装恒电压模式的低压 SVG 稳定电压 |
| | <0.9 | 建议使用线路调压器提升线路末端电压, 在网钻单井 10kV 侧并联高压 SVG 进行无功补偿; 若单井电压波动大, 可在受影响单井低压侧安装恒电压模式的低压 SVG 稳定电压 |
| >18km | <0.9 | 设备总负荷不宜过高, 需要根据单井总负荷及最大电动机的最大启动电流等参数来判断是否可以通过线路调压器提升电压的方式满足设备接入要求。同时还要考虑系统的无功功率分布情况及对相邻单井的影响 |

潜泵机组变频器的电压稳定在一个较小的范围内。

B 井安装带有恒电压模式的低压动态无功补偿装置后, 低压侧电压波动情况大幅度减少, 未再次发生 EOC 停机故障。

2 应用结论

对于长度超过 15km 的 10kV 馈电线路, 在线路中段或线路末端安装线路调压器能够有效提升末端电压, 满足钻井设备的接入需求。目前主要有两种安装方式:

A 井采用了就近安装的方式, 但在钻井设备运行过程中, 电机启动的冲击负荷引起了电压暂降, 导致 B 井电潜泵机组出现两次停机状况, 因此建议在线路主线中段(考虑 10km 处)安装线路调压器, 减小大型钻井设备运行时对其他单井的电压波动影响。

针对个别因电压波动停机的电潜泵机组, 可在该井配电箱并联一套带恒电压模式的低压静止无功发生器, 通过动态无功补偿降低该井电压的波动范围。

通过在油田电网的实践, 线路调压器针对长距离

馈电线路末端的低电压治理有着显著效果, 但调压措施本身不产生无功功率, 因此在应用调压器的同时, 我们还要考虑系统的无功功率分布情况, 把线路调压器与动态无功补偿装置结合起来, 进行合理调控, 才能起到改善线路末端单井的电压水平、保证电压稳定的效果。

参考文献:

- [1] 罗洋, 蒋伟, 张星海, 等. 10kV 线路调压器在低电压治理中的应用 [J]. 四川电力技术, 2020, 43(03): 64-67.
- [2] 梁有伟. 静止无功发生器 SVG 在低压配电网中的应用 [J]. 电工技术, 2018(17): 130-132.