

「电动机」

690 V电压系统在炼化企业的应用分析

文/中国石化武汉分公司 杨帆
武汉检安石化工程有限公司 戚超

分析了在炼化企业采用690 V电压系统的可行性和经济性,介绍了690 V电压系统在中国石化武汉分公司应用情况。认为采用690 V电压系统可以使配电方案更加灵活,能够减少投资,降低损耗,节约有色金属,提高电网的输送能力,在炼化企业装置越来越大型化背景下,690 V电压系统有着广泛的应用前景。

炼化企业高温高压、易燃易爆、腐蚀有毒,装置变电站一般都设置在防爆区域外,距离装置的负荷中心较远,380 V电压系统为了保证设备端电压满足规范要求,必须加大电缆截面。与380 V电压等级对应中压系统大多采用6 000 V电压等级,在两个电压等级之间设置一个稍高等级的低压配电系统,如690 V电压系统,可以减少投资,降低损耗,节约有色金属,提高电网的输送能力。

690 V电压系统在欧洲应用较早,技术成熟,在冶金、石化等大工业企业中应用广泛,有明显的经济效益。国内煤矿行业也早就在20世纪80年代中期采用了660 V电压等级,由于煤矿巷道深,输电距离远,660 V电压系统因为优势明显,而在采矿系统中广泛使用。中国石化武汉分公司油品质量升级改造项目中由于风机容量较大,又有调速的需要,因此采用了690 V电压系统,有一些运行使用经验。本文通过对690 V电压系统的可行性和经济性分析,以及在中国石化武汉分公司装置应用的实例,说明690 V电压系统在炼化企业应用的可行性。

采用690 V电压系统的可行性

可行性就是国内市场能否提供690 V电压系统所需的电气设备。

1. 电动机

国内异步电动机通常采用YB系列隔爆型,电动机的定子绕组接线方式为 Δ /Y形接法,380/660 V电压等级,用在380 V电压系统时采用 Δ 形接法,用在660 V电压系统时采用Y形接法。额定电压660 V和690 V的电动机在电机厂制造过程中采用的是相同的工艺和绝缘材料,出厂耐压试验的标准也是一样的($2U_n + 1\ 000\text{ V}$),只是由于额定电压的不同,而略有差异。额定电压660 V的电动机用在690 V电压系统,电压也在规定的容许误差范围之内。即采用690 V电压等级,只需将380 V电动机定子绕组的 Δ 形接线方式改为Y形接法即可,而改变接线方式,电动机定子绕组承受的相电压是400 V,不影响其绝缘耐受能力。因此,国内低压防爆电动机能够满足690 V电压系统的需要。

2. 变压器

能生产6 (10) /0.4 kV变压器的工厂都能生产低压侧690 V的变压器,而且容量可以做得更大,380 V配电变压器容量一般不超过2.5 MV·A,690 V可以做到4 MV·A以上。

3. 动力电缆

低压动力电缆选用额定工频电压为0.6/1 kV的电缆,用于690 V电压系统能够满足需要,无需增加电缆的耐压等级。

4. 低压电器一次元件

国内厂商大多是按照IEC标准生产690 V电压系统的框架式断路器、塑壳开关、熔断器、接触器等元器件，无功电容补偿和变频器等装置也都能够提供690 V电压等级的产品，很多国际知名品牌的公司也在国内设厂生产他们的低压电器产品。因此，690 V电压等级的电器一次元件国内市场能够保证供应。

5. 低压电器二次元件及控制电缆

对于控制电源回路的电压，国标GB 14048《低压开关和控制设备》中有明确的规定：“当主回路电源电压和控制电源电压不同时，控制电源的额定电压为DC 24 V、48 V、110 V、125 V、220 V，单相为AC 24 V、48 V、110 V、220 V”。690 V电压系统控制电源电压降至标准值后，控制元件和控制电缆选择方法与380 V电压系统相同。

6. 配电盘

低压配电盘在设计时考虑到了690 V电压等级的绝缘水平，因此，标准的低压配电盘都可以满足690 V电压等级的要求。但是，690 V电压系统与380 V电压系统相比，开关的额定极限分断电流 I_{en} 和额定运行分断电流 I_{cs} 会有所下降，塑壳开关下降的幅度较大（约40%~90%），框架式开关下降较少（约0~25%）。

相比之下熔断器加接触器组合能够在最严重的故障情况下提供可靠的短路保护，而且比塑壳开关加接触器组合更为便宜。因此，在690 V电压系统用熔断器加接触器组合代替塑壳开关加接触器组合是一个很好的选择，但对于容量超过250 kW的690 V电动机宜选择电动式框架开关。

7. 关于690 V和660 V电压系统

其实是一个低压系统标称电压的问题，IEC推荐标准为230/400 V和400/690 V两个低压系统，我国的低压系统电压等级标准是220/380 V、380/660 V和660/1 140 V三个，两个标准相对应的电压系统，如690 V和660 V，只需要调整一下变压器的分接开关位置即可，电气设备不必改动，完全能够适应这两个标准的要求。

采用690 V电压系统的经济性

1. 电动机

电动机电压等级的选择各个炼化企业根据需求和习惯，划线的位置不太一样，一般是以160 kW为界，容量小于等于160 kW的电动机采

用380 V，大于160 kW的一般采用6 000 V。而690 V和380 V的电动机价格相同，6 000 V电动机的价格是同等容量低压电动机的2~3倍，因此用690 V的电动机替代6 000 V的电动机，可以节约投资。

2. 变压器

用690 V的电动机替代6 000 V的电动机，690 V配电变压器容量和数量需要增加。配电变压器容量的增加受低压配电盘、开关和电动机启动装置的允许故障电流的限制，所以，配电变压器的额定容量不宜选得过大，一般不超过3.15 MV·A。如果需要将更多的6 000 V电动机换成690 V的，配电变压器的数量也需要增加。变压器容量和数量的增加，都会导致成本的增加和变压器损耗的增加。另外，将690 V电压系统的控制电源电压降至AC 220 V也需要增加投资并会增加损耗。因此，需要进行技术经济对比后再确定配电方案，以及配电变压器的容量和数量。

如果某个装置大容量的电动机较多，且单台最大容量不超过1 000 kW，可以考虑取消6 000 V电压系统，直接从主电网35 kV降压至690 V，这样可以大大地节省投资，并减少变压器损耗。

3. 动力电缆

就动力电缆的载流量而言，使用690 V电压系统比380 V电压系统电流减少 $\sqrt{3}$ 倍，因此在保持压降基本相等的情况下，所需的电缆截面可以降低2个等级。也就是说，在电缆压降、截面相同的情况下，690 V电压等级线路的输送能力更远。同样，690 V与6 000 V电压相比，对于容量160 kW以上的电动机，显然690 V的电缆截面要更大些，由于铜导线的费用是低压电缆成本的主要部分，所以在选择使用690 V电动机替代6 000 V电动机时，还要考虑动力电缆的成本是否增加。

4. 低压配电盘和中压开关柜

由于采用690 V电压系统，塑壳开关的短路开断和闭合容量的额定值大幅下降，而熔断器加接触器组合能够提供可靠的短路保护，且更为便宜，因此，在实际应用中更多的选择熔断器加接触器组，但对于大容量的电动机回路还是应该选择电动型的框架式开关。无论选择什么方案，低压配电盘都要比中压开关柜便宜很多，即便是中压开关柜也选择熔断器加接触器组（即F+C回路），加上综保的费用，价格仍然是低压配电盘2倍左右。

5. 变频器

对于容量在250~1 000 kW且有调速要求的机泵,中压变频器的性价比是很低的,而690 V变频器价格优势明显,可靠性高,维护费用低。所以,对于大功率机泵较多的生产装置,如果这些机泵需要调速,采用690 V电压系统是一种非常好的选择。

在油品质量升级改造项目中的应用

武汉分公司首次引入690 V电压等级,是在油品质量升级改造一期项目中的500万t/a常减压装置的加热炉引风机。1台800 kV·A的变压器将6 000 V降压至690 V,由1台额定功率400 kW的西门子变频器拖动额定功率400 kW的引风机电动机(YBP-450M型,防爆等级Exd II BT4, 380/660 V, Y接, 990 r/min)。从2008年元月装置投产至今,经过了2个生产周期,运行8年,整个系统没有出现任何设备问题,调速平稳,运行良好,节能效果显著。

第二次采用690 V电压系统,是在油品质量升级改造二期项目中的8万m³/h制氢装置中的制氢转化炉鼓、引风机。其中,鼓风机电动机400 kW(YBPT450L型,防爆等级Exd II CT4, 660 V, △接, 990 r/min),引风机电动机1 000 kW(YBPT630M2型,防爆等级Exd II CT4, 660 V, △接, 990 r/min)。2台风机的变频器都是施耐德的12脉冲变频器,鼓风机的变频器额定功率为500 kW,引风机的变频器1 200 kW。2台风机的变频器接在1台2 400 kV·A变压器上,变压器的二次侧有2组绕组,一组Y接,一组△接,形成12脉冲供电,额定电压均为690 V。

2台变频器在2013年3月完成调试,运行之初,其中的500 kW的鼓风机变频器发生过2次故障,2次故障应该都是由于动力电缆故障引起的。其中,第一次发生在2013年4月4日,变频器的6只进线快速熔断器有5只熔断,IGBT逆变模块烧坏,输出端的3只滤波电容器全部击穿。第一次电缆故障点没有找到,可能是电缆在施工过程中的损伤,也可能是电缆制造的质量问题。2个月后的6月14日鼓风机变频器再次发生故障,这次发现在距配电间110 m、距鼓风机40 m处,电缆有一相被多点击穿,变频器进线2只快速熔断器熔断,IGBT逆变模块损坏。2次故障虽然都是由于变频器外部故障引起的,但都造成了变频

器的重要部件IGBT逆变模块的损坏,说明该品牌变频器的保护功能存在缺陷,需要进行改进。

针对电缆损坏的原因分析,电缆厂、施工单位、变频器厂家、设计院以及公司内的电气专业技术人员各家各说,没有得到大家公认的故障原因分析。只是做了两项调整,一是调整了变压器档位,降低了690 V侧的电压;二是重新对变频器的控制模式进行设定,由矢量控制模式改为V/F控制模式,即频率下降时电压也成比例下降,保持V/F比值恒定,从而使电动机磁通保持恒定,此控制方式适用于风机水泵类负载。两项调整实际上是降低电缆所承受的电压,改善电缆的运行条件,减少变频器产生的高次谐波对电缆绝缘的损害。目前这2台风机已运行3年,情况良好。

第三次应用是将2#常减压装置的减底渣油泵改为变频调速泵。利用原690 V变压器的容量富余,将减底渣油泵P-1018B的400 kW电动机由6 000 V改为690 V(YBX3-4002型,防爆等级Exd II BT4, 660 V, Y接, 2 985 r/min)。这个方案酝酿多年,利用2016年装置停工大检修的机会实施。装置开工后,投用效果良好,改造前泵的出口手阀只开2圈,现在全开;泵的出口压力由原来的2.2~2.3 MPa,降到0.9~1.2 MPa;调节阀原来开80%~90%,现在也全部打开;变频器转速根据生产需要控制在60%左右,运行操作方便,噪声大幅降低,节能效果明显,对减底渣油泵长期运行也会大有益处。

结束语

380 V电压系统在工业和民用低压配电系统中广泛使用,在炼化企业采用690 V电压系统,不是要取代380 V电压等级,而是为了使配电方案更加灵活方便,节约投资,减少损耗,提高电网的运行效率。690 V电压系统在炼化企业没有得到大力推广,有标准规范不全和参考资料不足等客观原因,更有习惯和思想意识问题。中国石化武汉分公司多年的运行经验,验证了690 V电压系统在炼化企业应用的可行性和经济性。随着炼化企业的装置越来越大,低压采用690 V电压系统,对应的中压采用10 kV电压系统,经济效益会更为明显。690 V电压系统在炼化企业有着广泛的应用前景。EA

(收稿日期:2016.05.30)

(编辑:白文亭)