

[可控电抗器]

偏磁式可控电抗器及其应用

文/宁夏英力特化工股份有限公司 苟振文
武汉诺金信科技有限公司 危文刚

在偏磁式可控电抗器的线圈外层设计磁场屏蔽层和可控电抗器铁心、上下铁轭共同形成直流磁通回路，有效地屏蔽三相控制绕组产生的直流磁通，可以将偏磁式可控电抗器设计为三相三柱三线包结构，大大降低了电抗器的体积和重量。高压电动机软起动是偏磁式可控电抗器一个重要的应用领域，应用容量已接近30 MW，前景十分广阔。

可控电抗器具备晶闸管的调节特性，同时又具备电抗器的安全可靠，其应用产品深受用户青睐。但传统的可控电抗器均设计为三相六（或十二）柱六线包结构，存在着体积庞大、材料消耗大、损耗大及接线复杂的缺点。本文介绍一种新型的偏磁式可控电抗器，具备和传统可控电抗器一样的控制特性和安全性。偏磁式可控电抗器设计为三相三柱三线包结构，体积为传统可控电抗器的50%，具有占地面积小、重量轻、损耗小及成本相对较低的优势。目前，偏磁式可控电抗器已在电动机软起动上大量应用，最大电动机功率已达到27 000 kW，接近30 MW。

原理与创新

在偏磁式可控电抗器工作绕组两端施加 $u_{(t)}=U_m \sin \omega t$ 工频电压，根据变压器原理，电源绕组会感应出400 V的工频电压为全控整流桥供电，通过调节全控整流桥的导通角 α ，整流出可控的直流电流 I_k ，从控制绕组的开口三角处注入，实现对工作绕组阻抗的平滑调节。偏磁式可控电抗器原理图如图1所示。

(1) 自感应整流电源技术

偏磁式可控电抗器利用变压器的原理，设计有电源绕组为整流桥供电，解决了传统可控电抗器需

要大容量低压电流为整流器件供电的问题。

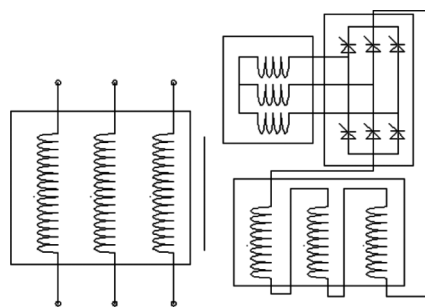


图1 偏磁式可控电抗器原理图

(2) 全控整流技术

偏磁式可控电抗器利用全控整流桥，将电源绕组的工频电压整流为可控的直流电流注入控制绕组，实现了对电抗器工作绕组的调节。

(3) 开口三角矢量技术

偏磁式可控电抗器采用绕组开口三角处电压矢量和为0的技术特性，将全控整流桥接到控制绕组的开口三角处，确保整流器件承受的电压很低。

(4) 漏磁屏蔽技术

偏磁式可控电抗器设计为传统变压器的三柱铁心结构，将三相控制绕组分别绕制在三柱铁心的铁心柱上。三相控制绕组产生的直流磁通方向相同，电抗器铁心没有闭合的直流磁通回路，直流磁通散发在空中形成漏磁。这种漏磁的危害性很大，会干扰附近的设备，可控电抗器也不能正常工作，

因此，这种漏磁通必须加以治理，才能保证偏磁式可控电抗器及其附近设备的正常工作。

在偏磁式可控电抗器线圈的外层设计一磁场屏蔽层，这种磁场屏蔽层采用高导磁性材料（如坡莫合金等）的边角废料加工成细小颗粒后，用环氧树脂浇注在可控电抗器线圈的外层，这样，每相直流磁通通过该相电抗器的铁心柱、上铁轭、磁场屏蔽层和下铁轭形成闭合回路，不再散漏在空气中。偏磁式可控电抗器结构图如图2所示，偏磁式可控电抗器直流磁通回路图如图3所示。

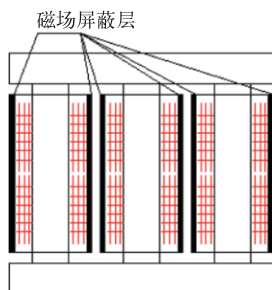


图2 偏磁式可控电抗器结构

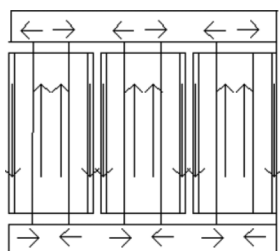


图3 偏磁式可控电抗器直流磁通回路

控制特性

在额定电压下，偏磁式可控电抗器电流 i_g 和整流桥晶闸管导通角 α 之间的关系见表1。

表1 晶闸管导通角 α 和饱和电抗器电流 i_g 之间的关系

晶闸管 触发角 α (°)	电流 i_g 标么值/ (pu)	晶闸管 触发角 α (°)	电流 i_g 标么值/ (pu)	晶闸管 触发角 α (°)	电流 i_g 标么值/ (pu)
0	0	60	0.631	120	0.923
10	0.115	70	0.712	130	0.941
20	0.197	80	0.751	140	0.957
30	0.352	90	0.823	150	0.975
40	0.473	100	0.884	160	0.997
50	0.537	110	0.900	180	1

由表1可以看出，随着导通角 α 变大，注入控制绕组直流电流增大，可控电抗器工作电流变大，即随着注入控制绕组直流电流的变化，可控电抗器的电流随之变化，可以通过控制导通角 α 的大小，实现对可控电抗器的连续平滑调节。

典型应用

偏磁式可控电抗器可广泛应用于电动机软启动、电弧炉调压、消弧线圈及动态无功补偿等技

术领域，其中高压电动机软启动是偏磁式可控电抗器较为典型的一个应用领域。将偏磁式可控电抗器的三相绕组串接于电动机的定子回路，通过检测电动机的定子电流，并通过电流闭环控制系统，实现电动机的恒流软启动，启动完成后自动切换至旁路运行。基于偏磁式可控电抗器具有可控性好、启动平稳无冲击、限流范围可调等优良的“软”启动特性，同时具有安全性高、免维护及使用寿命长的特点，是高压大中容量电动机软启动的理想选择。

绥化象屿金谷生化科技有限公司150万t玉米深加工项目自备电厂电动给水泵电动机参数为 $P_e=1\,700\text{ kW}$ ， $U_e=10\text{ kV}$ ， $I_e=111.5\text{ A}$ 。该电动机直接启动电流为额定电流的6~7倍，最大电流会达到780 A，对电网的冲击较大。采用基于偏磁式可控电抗器的软启动装置，启动电流实测曲线如图4所示，启动电流382 A（约3.4 I_e ），启动时间14 s，启动时电网电压水平为0.93，电网压降不超过7%。现场调试时，工程技术人员认为启动电流偏大，启动时间较短，建议将启动电流设置为3倍额定电流，启动时间可能会达到20 s以上，由于用户对启动效果很满意，没有做进一步调整就对该设备进行了验收。

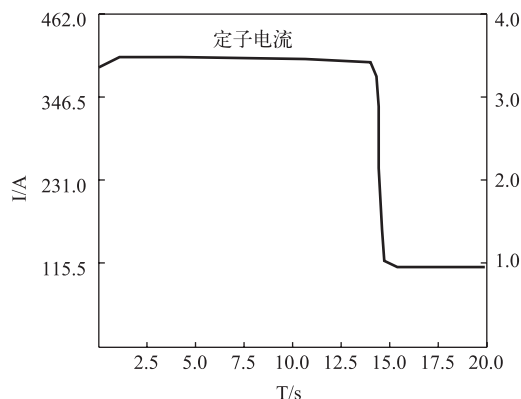


图4 启动电流曲线

结束语

通过创新技术的应用，在保证控制特性不变的情况下，偏磁式可控电抗器改变传统可控电抗器三相六（或十二）柱结构为三相三柱结构，大大降低了设备的体积和材料消耗。基于偏磁式可控电抗器的软启动装置具有优良的“软”启动特性，具有广阔的应用前景。EA

（收稿日期：2021-10-29）