

电力电容器行业运行状况和技术发展动态分析

文/西安高压电器研究院 贾华 成明 平怡/

电力电容器行业目前来看,仍然要依靠电网的规模投资才能维持现有的平稳发展趋势,其中为特高压交直流输电及其配套工程提供的电容器将占到很大的比重。令人可喜的是,按照国网和南网“十二五”的发展规划,2020年前要构建大规模的“西电东送”、“北电南送”的能源配置格局。



一、近三年行业整体运行情况

1、近年来的突出成就

纵观电力电容器行业的发展,其间有不少重要的阶段,包括新介质的研发、新结构

的应用、新工程的投运等等,但2010年至2013年,对我国电力电容器行业的发展来说,应该是一段重要里程——我们自主研发的各类电力电容器在高压、超高压及特高压交、直流输电领域里得到全面应用,产品包括并联电容器、交流滤波电容器、直流滤波电容器、直流PLC电容器、串联电容器、CVT等等。经过前一阶段行业各企业对传统的生产设备、加工工艺改造升级后的,这些产品的产量和质量都得到了显著地提升。主要成就包括:云广、向上、宁东—山东、青藏联网、锦苏、糯扎渡—溪洛渡送电广东等直流输电项目,以及晋东南—荆门、淮南—上海两个1000kV特高压交流输电工程。另外哈密南—郑州、溪洛渡—浙西两个 ± 800 kV特高压直流输电工程也即将完工投产。

2、近三年经济运行指标分析

2010年至2012年电力电容器行业的经济运行指标见表1,对比分析见图1。

从表1、图1可以看到,近三年来行业整体上仍保持平稳并略有上升的态势,规模一直维持在50亿元以上的水平,2012年还有较大幅度的增长,这说明电网投资环境正在逐步得到改善,“十二五”电网发展规划的项目也逐步得以实施。美中不足的是,尽管工业总产值和销售产值都保持增长,但利润总额却呈现逐年降低的态势,这其中人工成本的增加固然是无法回避的重要因素,但电容器行业激烈的市场竞争导致产品售价持续走低也是不容忽视的原因。

另一个考核指标是流动资金周转率。它不仅反映流动资产的运用效率,同时也影响企业的盈利水平。企业流动资产周转率越快,周转次数越多,说明企业流

动资产的运用效率越好，进而使企业的偿债能力和盈利能力均得以增强。但需要关注的是，行业企业的流动资金周转率，从2010年的年均2.23次到2012年的1.71次，每年以超过百分之十的速度下降，从而导致企业经营困难的程度进一步加剧。

3、 主要产品产值比重
电力电容器行业的产品覆盖范围

广，应用品种多，所占产值的比重也各不相同。2010年至2012年行业产品的产值比重见图2。

显而易见，并联电容器及其成套装置仍然是行业的主要产品，产值占总量的四分之三，其中高压并联电容器占总产值的近40%，充分说明其在行业生产中的主导地位。滤波电容器及成套装置2012年较

上年出现明显增长，主要得益于直流输电工程中直流滤波电容器的大量应用。CVT则继续呈现整体下降的趋势，虽然2012年的产值较上年有所增加，但贡献主要来自于750kV及以上电压等级CVT的大幅增长，而110kV到500kV电压等级CVT的产量持续减少，这一问题在后面章节中详细叙述。其它类型的产品因为占有率相对较低，且比例没有显著变化，这里不再分析。

图1 2010年-2012年电力电容器行业经济指标对比

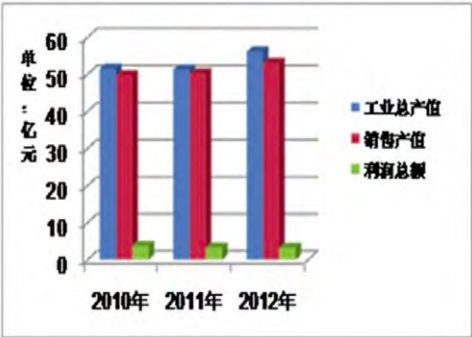
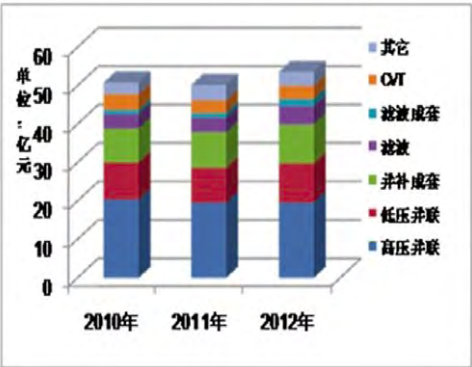


图2 2010年-2012年电力电容器行业产品的产值比重



二、目前的机遇和困扰

电力电容器行业目前来看，仍然要依靠电网的规模投资才能维持现有的平稳发展趋势，其中为特高压交直流输电及其配套工程提供的电容器将占到很大的比重。令人可喜的是，按照国网和南网“十二五”的发展规划，2020年前要构建大规模的“西电东送”、“北电南送”的能源配置格局。

“十二五”期间，国家电网公司规划建成“三纵三横”的特高压同步电网和13回特高压直流输电线路，总变电（换流）容量达到4.1亿千伏安；南方电网公司将在已有的直流输电线路基础上，建设金沙江中游梨园、阿海电站送电广西直流工程，各省形成坚强的500kV骨干网架。

巨大的无功补偿和交直流滤波需求量对行业来说，必将又是一次发展的机遇。当然，还应该清醒地认识到，现在行业虽然规模扩大了，但利润没有明显增长，除了前面讲到的人工和市场的原因，

表1 2010-2012年电容器行业主要经济指标

年份	工业总产值	销售产值	利润总额	销售利润率	流动资金周转率
2010年	51.6亿元	49.8亿元	3.8亿元	7.63%	2.23次
2011年	51.3亿元	50.3亿元	3.3亿元	6.56%	1.97次
2012年	56.2亿元	53.1亿元	3.2亿元	6.03%	1.71次

还有技术层面的原因：我国电力电容器的传统技术与国外先进水平的差距。

1、铁壳类电容器的体积比特性差距较大

与国外先进水平的电容器相比，行业产品的体积比特性大约多出30%。研究数据表明，这30%的构成分别为：压紧系数小占14%，介质额定场强偏低占10%，心子与箱壳间隙大占3%，元件留边宽占2%，铝箔厚度大占1%。

占比重最大的压紧系数问题。国内厂家设计产品的压紧系数通常不太高，这和传统的真空浸渍工艺有关：以往由于设备和工艺的原因，真空度无法达到理想状态，心子适当放松有利于抽空和浸渍。通

过技术改造升级，现在真空浸渍设备的能力完全可以达到要求，但固有观念仍认为压紧系数小一些比较安全。事实证明，国外单元产品压紧系数更高，真空浸渍时间更短，但运行的故障更低。

在合理设计的前提下，通过增加薄膜宽度、减小元件留边宽度及使用更薄的铝箔，也能有效降低心子高度，进一步增大器身在箱壳占据的空间，缩小与箱壳的间隙，就能够降低箱壳高度、减少浸渍剂和包封纸的用量，从而达到降低材料成本的目的。

介质额定场强是个特殊的话题，厂家希望在合理的范围内尽可能高一些，这样会显著提高产品比特性，但用户为了可

靠运行又希望不要太高。如果像国网要求的限制在57MV/m，那厂家必须满足；但在一些没有限制的场合下，只要保证安全运行，可以适当提高。

2、CVT的需求一直呈下降趋势

近几年来，由于土地资源的稀缺，气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)大量替代空气绝缘的敞开式开关设备 (AIS)，电力系统对CVT的需求一直呈下降趋势。另外，随着各地智能变电站的兴建，电子式电压互感器也处于较快的增长趋势，对传统CVT产生一定影响。对CVT技术参数要求也发生了显著变化，随着继电保护微机化和测量仪器仪表数字化的实现，对二次绕组的输出容量要求迅速降低，由过去单个绕组150VA，减少到现在的10VA甚至更低。

面对这样的问题，应该认真分析，提出应对措施。从市场需求的角度来看，CVT在未来的5~8年还有很大的发展空间，一方面替代产品还需要一个成熟期，另一方面已运行产品还需要维护更新。此外，与替代产品相比，CVT现有的优势在于其低成本和高可靠性，在超高压和特高压电网建设中，以及对土地资源稀缺性不敏感的地区和企业用户，还需要大量敞开式的CVT。

从技术角度上，对500kV及以上电压等级的骨干网用CVT，准确测量是关键，可靠运行是根本。因此需要在产品设计和加工质量上下功夫，进一步提高产品的测



表2 国内外自愈式电容器技术水平对比

	高压干式自愈式	低压自愈式
国外先进水平	ABB的直流干式应用于HVDC light和SVC light，交流干式也有成功运行经验	产品寿命10年以上，电容损失率 5%
国内水平	2000年左右出现高压干式，后因电容损失过快等问题已全部退出市场	质量好一些的产品寿命5~7年，差的2年内电容损失到零

量精度，提高运行的可靠性。对220kV及以下电压等级的CVT，建议通过技术手段降低现有产品成本。由于负荷的大幅减小，变压器的输出阻抗可以降低，最直接的方法是降低现有的中间电压，继而减小变压器铁芯尺寸和二次绕组的线径。再者是对电抗器进行优化设计（理论上中间变压器漏抗大到一定数量时，可以去掉电抗器），阻尼器考虑采用电阻，这样电磁单元就可以做到小型化甚至是无油化。

另外，有条件的企业还可以考虑发展电容分压型电子式电压互感器。发展适应智能电网的电力设备是大势所趋，但电子式互感器运行中也出现了很多问题，2011年至2012年，湖南、云南、福建、黑龙江等地的智能电网变电站均出现电子式互感器爆炸的事件，主要原因是设备的主绝缘存在缺陷，而行业的优势在于对一次设备主绝缘的设计研究有经验，如果能够进一步通过合作、引入或自行研发二次部分，开发电容分压型电子式互感器将具有非常明显的优势。

3、高压干式自愈式电容器没有突破，低压自愈式电容器仍存在电容损失过快的问题

10多年前，高压干式自愈式电容器刚推出时受到广泛欢迎，市场一度急剧膨胀，各类生产高压干式电容器的企业如雨后天春笋般地涌现出来，但由于技术基本都采用低压串联，电容损失过快及保护问题没有解决，产品运行后的质量问题凸显出来，到2006年左右这类产品基本全部退出市场；低压自愈产品相对好得多，除了个别特殊的使用环境外，在无功补偿和滤波方面基本全部采用自愈式电容器，但电容损失过快的问题仍然很突出。这两类产品与国外技术水平的具体的对比见表2。

从表2可以看出，我们和国外先进水平的差距十分明显，甚至超过铁壳类电容

器。国外最著名的产品当属ABB公司的高压干式电容器——DryHED[®]，它采用塑料外壳的圆柱体结构，中间有通孔可用来通风冷却，通过改变外壳高度和并联数量来满足高电压和大容量的要求。DryHED[®]分为直流和交流两种产品，直流干式电容器用于SVC light，而交流干式电容器用于无功补偿。产品的主要优点是：体积小、能量密度高、占地省；无渗漏，防火灾；不使用浸渍剂、溶剂和油漆等化学品，在生产、运输、使用以及废弃物处理均对环境无害。

面对差距，国内的企业需要直面现实，迎头赶上，通过研究借鉴国外先进技术，严格控制材料和加工工艺，以提高低压自愈式产品的运行寿命为基础，努力降低电容损失率，争取使产品使用寿命达到10年以上；开发机车电容器、直流支撑电容器、换流阀均压电容器等中压干式自愈

式电容器，积累经验，逐步向高压产品过渡。

三、技术发展动态

1、南网±200MVA链式静止补偿器（STATCOM）投入运行

近几年，越来越多的产品和电力电子技术联系起来，电力电子器件从过去辅助、从属的地位已经逐渐向核心、支配地位发展，STATCOM就是很好的例子。

STATCOM，即SVG（Static Var Generator），是并联在变电站传输母线上的静止同步补偿装置，能够以毫秒级的速度调节输出类似于电容器或电抗器的电流补偿系统无功，在电网发生故障时紧急支撑电网电压，加快电网故障后的电压恢复，提高电网安全稳定性。

2011年8月19日，全球首个±200MVA链式静止补偿器在南方电网公司500kV东

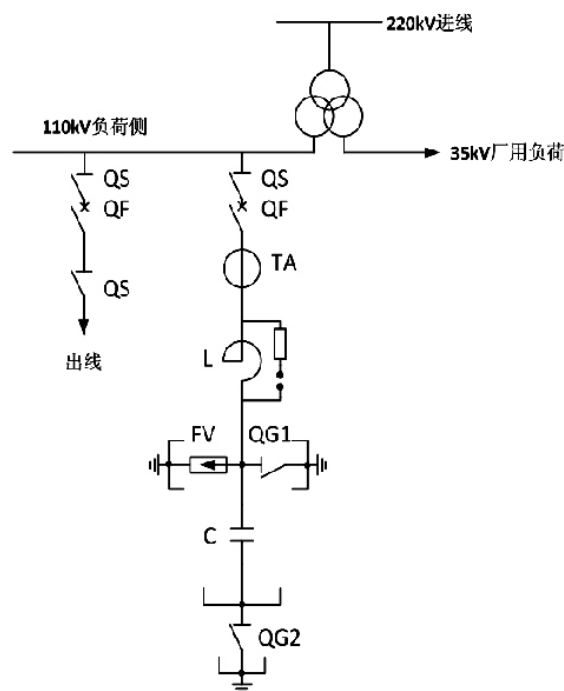


图3主负荷侧直接补偿接线方式

莞变电站投运,今年,又在东莞500kV水乡变电站、广州500kV北郊变电站和广州500kV木棉变电站落地运行。

以往电容器基本上是无功补偿的代名词,包括后来出现的SVC、MSVC等,只是控制方式的改变,无功功率还是需要电容器来调节。STATCOM改变了大家的认识,它利用可关断大功率电力电子器件调节桥式电路吸收或者发出满足要求的无功电流,实现动态无功补偿,根本不需要电容器。随着大功率电力电子器件的日趋成熟和成本的不断降低,传统的电容器补偿的方式将会受到更多的挑战。

2、主负荷侧直接无功补偿

传统的无功补偿方式中,高压无功补偿装置一般都安装在变压器的第三绕组,第二绕组则作为主负荷侧,无功功率需要变压器绕组间的耦合作用实现传递。之前也有人提出过在主负荷侧直接补偿的想法,但因为制造成本和可靠性的问题没有应用。近几年,随着直流输电工程交流侧无功补偿和滤波装置设计运行经验的不断积累,以及1000kV特高压交流输电工程变压器第三绕组采用110kV无功补偿装置的要求,部分厂家重新提出主负荷侧直接补偿的概念并已成功运行,装置接线方式见图3。

这种接线方式有如下特点:

- (1) 整个装置的绝缘水平为到110kV;
- (2) 电容器两端不加装放电线圈,放电装置采用电容器的内部放电电阻;
- (3) 电容器采用单星形接线,采用双桥差保护以提高装置保护的灵敏度;
- (4) 为防止操作过电压对电抗器线圈造成损害,电抗器两端并接电压保护器。

采用主负荷侧直接补偿的优点是:

- (1) 无功功率无需通过变压器绕组

交换,补偿效果更好;

- (2) 可以减小变压器磁路尺寸,降低第三绕组的输出容量甚至取消第三绕组,从而降低变压器的制造成本;

- (3) 充分体现无功补偿的重要性,提高电网运行的经济性。

3、智能化集成式无功补偿装置

2012年10月起,为配合国网公司新一代智能变电站示范工程的建设需要,由西安高压电器研究院牵头组织,西容、桂容、无锡日新、合容等企业参与开展了智能化集成式无功补偿装置的研制工作。

此次智能变电站设备改变过去供应商为主导的分专业设计模式,采用整站“一体化设计、一体化供货和一体化调试”的运作模式,目的是实现“占地少、造价省、可靠性高”的目标。具体到无功补偿装置有如下特点:

- (1) 以集合式或箱式电容器为装置的核心;
- (2) 将电容器、隔离接地开关、串联电抗器、放电线圈、避雷器、智能组件、传感器等部件集成设计;
- (3) 采用普通箱式或标准集装箱结构,整体运输整体安装;
- (4) 与系统连接仅用“三缆”(电力电缆、操作线缆、光缆);
- (5) 电容器设备与智能组件间能通过传感器和控制器进行信息交互;
- (6) 装置具有测量、控制、监视、保护等功能。

4、智能式低压电容器

近几年我国东部经济发达地区,逐步推广智能式低压电容器,其工作核心仍然是低压自愈式电容器,但与传统低压电容器装置不同的是,它利用智能控制单元、晶闸管复合开关电路、线路保护单元组成控制保护部分,并将这些智能部件组成一个整体安装在电容器上部,代替传统

的无功补偿控制器、熔断器、机械开关、热继电器等。

这种装置具有明显的优点:

- (1) 装置接线简单,体积小,易于维护;
- (2) 电容器元件装有温度传感器,如果电容器工作温度过高,智能控制单元可根据设定温度自动切除电容器;
- (3) 内部有智能单元和晶闸管复合开关电路,可以很方便地实现电容器的过零投入,避免合闸涌流危害;
- (4) 易于实现数据的网络通信。

这种电容器装置具备了结构紧凑、可靠性高及智能化的特点,很可能会成为今后低压无功补偿和交流滤波的发展方向。

5、使用植物油作为绝缘介质

日本电容器株式会社(NICHICON)的草津工厂生产一种高压自愈式电容器,用双面金属化纸作电极,中间夹一层聚丙烯薄膜作介质,浸渍剂为难燃的液体菜籽油(燃点280,比目前常用的电容器浸渍剂高一倍)。这种自愈式电容器寿命为15年,属于难燃电容器,降低了火灾事故的危险性,适用于城市建筑物内运行的无功补偿装置。

无独有偶,ABB变压器也开始使用由高油酸葵花籽油或红花籽油制成的天然酯基介电绝缘液BIOTEMP®代替原有的矿物油,其燃点高达347。另外很容易生物降解,不会产生环境问题。这种变压器已经在巴西投入运行。