

高压变频技术在火力发电中的应用

Application of high voltage frequency conversion technology in thermal power

摘要：火力发电在国内发电产能中依然占有很大比重，然而在其生产过程中仍存在巨量的损耗与浪费；文章概述国内发电形式并着重提出了针对火力发电能源损耗的变频解决方案，还有单元级联型高压变频器的原理及应用。

1 前言

中国是人口大国，也一直都是能耗大国，据统计，2015年中国年发电总量居世界第一位，共达 56184 太瓦时，其中火力发电可达到产电总额的 70% 以上。

到了 21 世纪初期，尽管太阳能，核能越来越被社会推崇，它们也确实具有清洁，高效，可持续等诸多优势，我国各项规划也偏向于发展新能源发电，但鉴于具体国内丰富的煤矿资源以及庞大人口带来的耗电需求，中国依然以火力发电为主流，知道近几年，火电的占比才开始已一个不到 1% 的速度缓慢下降。

所谓火力发电，一般指利用煤炭、石油和天然气等燃料燃烧时产生的热能加热水，使水变成高温、高压水蒸气，然后由水蒸气推动发电机进行发电。不过在这个看似简单的发电过程中，存在着巨大的能源损耗，据统计：火电厂每年产电总额中有近 10% 用于自身的消耗，这因此也成为了我们节约能耗的重大突破口。

2 中国火力发电厂能耗分析

根据国家《电动机调速技术产业化途径与对策的研究》报告显示，中国发电总量的 66% 以上最终应用在电动机上。且截止至 2015 年电动机装机容量已超过 4 亿千瓦，其中高压电机约占一半。对于高压电机而言，有 70% 左右的负载是风机、泵类、压缩机。实际应用到火力发电厂主要有以下九种风机和水泵：送风机、引风机、一次风机、排粉风机、脱硫系统增压风机、锅炉给水泵、循环水泵、凝结水泵、灰浆泵。这些风机、水泵设备在火力发电厂中种类繁多，应用广泛，功耗甚多，其平均耗电量能占到发电厂用电总量的 45%。

但是对于应用于电厂中的风机、水泵负载而言，其运行功率往往过剩，导致大量能源被白白浪费，降低了发电厂的产

能效率，究其原因，有如下几点：

2.1 运行方式技术落后

据调查，我国火力发电厂中除少量采用汽动给水泵、液力耦合器及双速电机外，其它水泵和风机基本上都采用定速驱动，阀门式挡板调节。在变负荷的情况下，采用调节泵出口阀开度（风机则采用调节入口风门开度）的控制方式，达到调节流量得目的，满足负荷变化的需要。然而当现场工艺只需求小流量时，其泵或风机继续且只能以额定的功率，恒定的转速运转，尤其是在机组低负荷运行时，其入口调节挡板开度很小，引风机运行的电功率大部分将被风门节流而消耗掉，造成巨大的能源损失和浪费。

2.2 运行实际效率低下

从实际运行效率上来说，在机组变负荷运行时，由于水泵和风机的运行偏离高效点，偏离最优运行区，运行效率自然不高。据调查显示，我国 50MW 以上机组锅炉风机运行效率低于 70% 的占一半以上，低于 50% 的占 20% 左右。这是因为，我国许多大中型水泵与风机是套用定型产品，没有按照需求对应设计，导致选型是分档而设，间隔较大，一般只能使用近似型号的产品，进而造成风机、水泵实际运行过程中运行效率低，能耗高。此外，在设计选型时需要考虑裕量，因而往往要加大保险系数，进一步降低了运行效率。

3 降低火电厂能耗方案分析

综合各方面因素，我们可以从以下 3 个方面减轻火电厂能耗。

3.1 提高锅炉效率

现代火电厂的大容量锅炉效率一般在 90%-94%，其在运行过程中存在一下能源浪费：排烟热损失，机械不完全燃烧热损失，散热损失，灰渣热损失等。

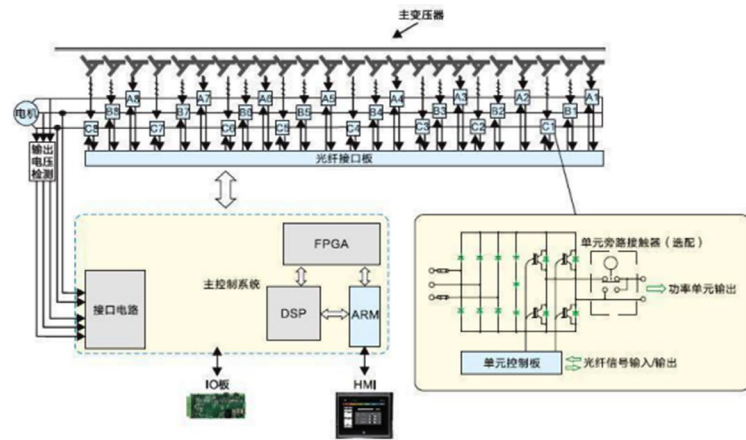


图2 单元级联型高压变频器系统拓扑图

广泛的高压变频设备，采用电压叠加原理设计：每个功率单元输出电压为0-690v，如图1所示，这样每一相电压可以达到3450v，线电压为6kv。

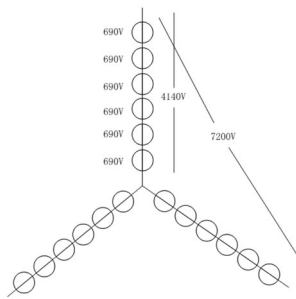


图1 单元级联型高压变频器原理拓扑图

如图2所示，配件方面，高压变频器采用顶尖且精准的三芯合一（FPGA、DSP、ARM）三种芯片各司其职，保证了其运行时的高效性能；完备的输入输出电压电流检测系统更是进一步保障了其工作状态的稳定与安全；灵活的温控系统在避免系统过热的同时也节约了能源的损耗，种种迹象显示：单元级联型高压变频器业已成为一个成熟而重要的产业。

5 单元级联型高压变频器优势

以额定功率2000kw的一次风机为例：电机实际运行频率在35~45Hz之间，取中间值40Hz，则与工频50Hz相比，其实际功耗为额定功耗的0.512左右（功率比为频率比的三次方），电厂风机一年365天，每天24小时运行，则每年可节约8970240千瓦时，根据国家规定电价，0.5元/千瓦时，可以为电厂节约40万的经济支出；此外变频调节后，由于负载电机不必长时间满载运行，其机械损耗和电损耗也大大降低，故而延长了电机的使用寿命，又进一步节约支出成本。

对此，我可以采用设计煤种或接近设计煤种，保障锅炉的燃烧效率，如果入炉煤质量很难达标，我们也可以通过掺杂的方式尽可能节省煤耗；此外，火力发电厂中锅炉排烟热损失是各项损失中最大部分，影响该损失的主要是排烟氧量及排烟温度，这两个指标有些许偏差都会降低锅炉效率，因而我们可以使用更为精确的仪表，测量反馈值，提升控制精度进而节省煤耗。

3.2 降低汽轮机热损耗

随着科学技术的不断发展，新型融合高新技术的汽轮机已经面世，而由于不同等级的汽轮机热损耗不同，国家现已鼓励使用大容量、高参数、热电联产机组来降低能源损耗；其次也可以通过控制其运行方式，防止汽轮机辅助设备故障停机造成热耗升高；第三更改其运行参数，通过调整主蒸汽压力、主蒸汽温度、再热蒸汽温度等系列参数，控制汽轮机在理想条件下运行，也能起到降低热损耗的功用。

3.3 降低发电厂用电量

发电厂本身就是耗能大户，各种高压大功率的风机、水泵、空压机负载需要的能量占电厂发电总量的10%左右，过去我们这些负载都是接在电网侧工频满载运行，这样一刀切的运行方式不光带来了巨大的能耗损失，同时也对电机，对负载造成极大的损害，严重降低了使用寿命与安全可靠性。对此，我们通过采用高压变频器的方式，通过改变其运行频率，控制其转速最终控制其输出功率，根据实际工艺的需求对应其运行状态，进而达到节能的终极目标。

4 单元级联型高压变频器

高压变频器的原理：即通过整流逆变环节，将电网侧工频电压转化为频率可调的电压，通过控制其输出频率来最终控制电机的运行功率，达到节能目的。

而单元级联型高压变频器是现在国内市场应用范围最为

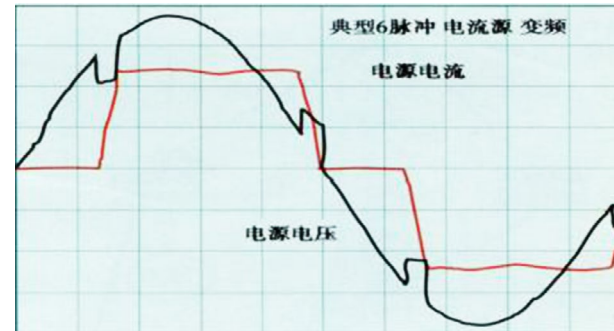


图5 典型6脉冲输出电压电流波形图

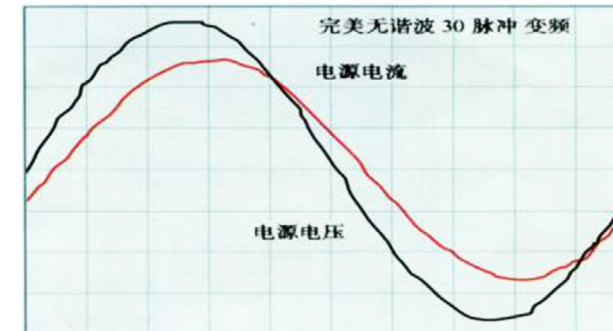


图6 单元级联法输出电压电流波形图

而发电厂现场的大功率高压风机、水泵众多，累计起来节能成果十分可观。

除此之外，国内外高压变频器高端厂家诸如德国西门子、ABB、利德华福、苏州汇川，其产品还具有众多其他应用优势：

5.1 飞车启动功能

由于现场情况要求，电机不停止运行的情况下，变频器将根据电机实际转速的反馈信号正常启动，避免耽误生产，或因频繁启停增加电机损耗。如图3所示。

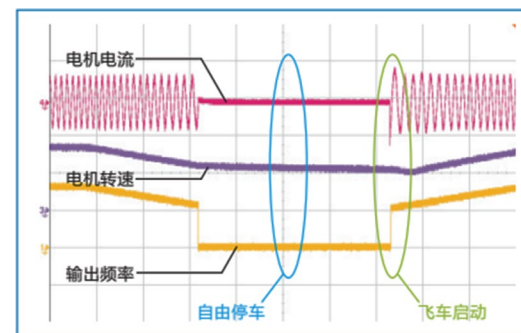


图3 飞车启动分析图

5.2 软启动

在高压场合如果直接将电机工频启动，会对电网侧造成巨大冲击，对电机负载也会有巨大的损耗，而软启动的根本就是保证电机在安全范围内的小电流条件下，顺利启动，保障高压网测和电机双方的安全。

5.3 控制电源冗余设计

高压变频器采用双回路控制电源切换系统，即除用户提供的控制电外，变频器的变压器二次侧也会提供低压控制电，二者通过电气回路互锁，保障在用户控制电突然中断时系统正常工作。此外，高压变频器还配有UPS（不间断电源），确保在突然断电时依然可以维持半小时的控制电输出，安全性更高。如图4所示。

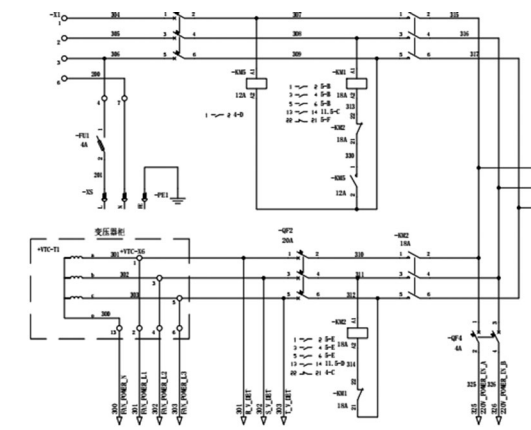


图4 双路电源电路分析图

5.4 输出谐波小稳定性高

高压变频器一般采用功率单元级联的方式，通过移相变压器使得输出30/48（对应每相5/8功率单元）脉波，输出谐波最小可达0.8%，均优于GBT14549-93及IEEE519-1992的要求，对电网也起到一定的保护效果。而且功率单元具有旁路功能，当其中某一单元故障时，不影响变频器正常工作，只是输出电压稍有降低，为现场的持续运行提供有力保障。如图5、6所示。

6 结论

通过对火电厂能耗及单元级联型高压变频器的原理优势分析：应用单元级联型高压变频器在火力发电厂各类风机与负载上，既满足火电厂对电源高纯度的需求，同时也可以根据工况通过调频方法控制电机转速进而达到节能的最终目的。而软启动、双路电源切换、飞车启动等高新技术也确实对火电厂的稳定工作提供有力的保障。