

# 国产中压大功率变频调速技术应用初探

孙有春 陈建昌  
(天津市自来水集团公司)

## 1 前言

随着电力电子技术与电力变流器件技术的发展,中压大功率变频调速技术在国内外均有长足的发展,尤其是近来随着智能芯片技术在容量与速度方面新的突破,智能自动控制技术再上一个新台阶,其与中压大功率变频调速技术的结合使其如虎添翼,新的设备产品不断涌现。这些年我们已经大量地接触了日本东芝、富士公司,德国西门子公司、法国阿尔斯通公司、瑞士 ABB 公司、丹麦丹佛斯公司、美国 AB、GE、罗宾康公司等等的各种变频调速技术。电力电子器件的发展也经历了 SCR、GTO 和 GTR、IGBT 和 IGCT 技术。就在这一片国外变频调速设备技术的拥挤中,现在出现了我们国产的先行、利德华福等公司开发生产的中压变频调速技术,以及华为等公司开发的低压变频调速技术,给我们变频调速技术国产化带来了新的生机。本人对此不做综合评述,仅就这一年来在天津水司新开河水厂应用的利德华福中压大功率 6kV/1000 kW 变频调速装置做一初步探讨。

新开河水厂始建于 86 年,二期扩建通水在 95 年,其日产水能力 100 万吨,仅该厂水泵电机调速技术就有多种。86 年投产之初,在一期送水泵房采用的是国产西安整流器厂的 2 套 6kV/1000kW 绕线转子电机串级调速装置,二期扩建时,在计量泵上应用的是西门子的低压小功率变频调速器,在排水泵房应用的是低压 75kW 富士调频器,在二期送水泵房应用的是 ABB 公司 2200V/1650kW GTO 变频调速装置。在水泵调速技术应用上已有一定的历史。

去年新开河水厂在一期泵房旧设备改造安装使用了利德华福公司开发研制的 HARSVERT-A06/130 型 6KV/1000KW 中压直接变频调速装置,其拖动的设备水泵为:32SA-10 型长沙水泵厂产品;电机为 Y1000-10/1430 普通鼠笼型湘潭电机厂产品。

该泵组是于 87 年投产运行至安装该变频调速装置时已运行使用 13 年之久的旧设备。现场安装极为简单,只将原 6kV 真空断路器至 6kV 电机间串接该装置即可,不需其他降压、升压变压器等设备。6 月 27 日现场吊装安调,6 月 30 日即拖动水泵开始并网送水,投入使用。

## 2 电气原理与特点

### 2.1 电气原理

HARSVERT-A06/130 型中压变频调速系统电气原理见附图 1 所示。由三大部分组成:移相变压器、功率单元和控制器组成。其中 6kV 系列有 21 个功率单元,每 7 个功率单元串联构成一相。其基本工作原理是:6kV 中压电经过副边 7 组三相输出的降压、移相、隔离变压器输送给各个功率单元,功率单元(见附图 2)为三相输入、单相输出,通过对 IGBT 逆交桥

进行正弦 PWM 控制,相邻功率单元的输出端串接起来,实现变频后的中压正弦波输出,直接驱动中压电机。

由电气原理图可见 6kv 输入侧为二极管全波整流 42 脉冲构成多极移相叠加的整流方式极大地改善网侧的电流波形,使其负载下的网侧功率因数接近 1.0。输出侧由每个功率单元的 U、V 输出端子相互串联而成星型接法给电机供电,通过对每个单元的 PWM 波形进行重组,得到阶梯的 PWM 波形,该波形正弦度好,  $dv/dt$  小,可以降低输出谐波及由此引起的电机振动、电机发热、噪音等。从而减少对输出电缆和电机的绝缘损坏,无须滤波器,电机不需降额使用,可直接驱动普通鼠笼电机,同时可用于旧设备的改造。

该装置在控制柜的面板上设置一个工业现场型的触摸屏与彩色液晶显示屏,内置一台 PLC 用于柜体内开关信号的逻辑处理以及与现场各种操作信号和状态信号的协调,增强了系统的可控性与灵活性。由于控制器与功率单元之间采用光纤通讯技术,低压和中压完全隔离,系统具有极高的安全性和很好的抗电磁干扰性能。控制装置可以通过标准计算机接口与工控 PC 链接,提供友好的全中文 Windows98 监控和操作界面,与机装控制器协同运算,达到最优的运行性能。同时可以实现远程监控和网络化控制。其实现的功能包括:系统功能设定,参数设定、故障信息查询、运行波形显示、运行数据记录、运行模式设定、报警及报警解除与系统复位等等。

## 2.2 该装置的特点

(1) 适合中国国情的设计:由于每个功率之内有滤波电容,再加多组串联结构,可适用于中国电网电压波动大的现状、装置额定输入电压  $6kv + 5\% \sim -10\%$ , 实际使用适用范围还要大。

(2) 无论是设备上的控制器,还是外联的工业 PC,人机界面均设计成全中文汉化的人机界面,特别适合工厂现场工人操作的现实。

(3) 由于系统不是中低中或中低的传统的加降压、升压变压器或电机降压使用的系统结构,所以系统的效率极大的提高,故变频器的效率在额定负载下  $> 0.96$ 。

(4) 由于功率单元采用二极管全波整流、且有滤波电容设计,所以系统的功率因数很高,  $\cos\phi > 0.95$ , 甚至接近 1.0。

(5) 由于功率单元分为 7 个不同相位组,相差 8.6 度电角度,故二极管全波型流形成 42 脉波的效果,理论上 41 次以下谐波基本不存在,故谐波干扰很低。

(6) 由于装置上设置了高速 PLC 控制器,可以适用不同的控制要求与控制方式。

(7) 如原理所述其有很好的变频正弦波输出,波纹系数低,从而被拖动的电机低噪音,低振动、不易发热,特别适合旧设备改造。

(8) 对被拖动的电动机可以实现过载、过流保护的电机保护。

(9) 因此具有高可靠性、高干扰能力。

## 3 在天津公司的实际应用情况

### 3.1 变频器一体化设计、体积小,方便安装与调试

由于 HARSVET—A06/130 型变频器不需另外加装变压器、电抗器、滤波器、补偿电容器、启动设备等一系列其他装置,其自成系统所有设备、器件都装设在自己的装置内,所以一体化设计体积很小,结构紧凑,现场占地很小、接线很少、安装调试简单周期短,三天安调完毕,水泵并网投运。

### 3.2 变频器运行稳定、性能良好,对电网谐波污染少

变频器投运以来,运行稳定,电压、电流稳定,没有波动现象,转速调节平滑可靠,升、降速平稳,表现出变频器良好的性能。运行期间经由中国电力科学研究院对变频器做了谐波测试,结果表明:水泵机组在整个调速范围内,变频器网侧功率因数都在 0.97 以上,效率均高于 96%,满载时网侧电流谐波总含量小于 3%,优于天津水司同类进口设备。

### 3.3 水泵电机运行平稳

此次 HARSVERT—A06/130 型变频器调速拖动的是一期送水泵房 2# 机组,电机是 83 年 9 月出厂的 87 年投入运行的旧的鼠笼电机。此次变频调速运行以来,绝缘未受影响,没有出现异常振动和噪音,温升也处于正常范围,同时改善了机组启动电流与机械冲击。

### 3.4 变频调速装置适应能力强,运行可靠

去年 7 月中旬,天津连续高温天气,环境温度高达 40℃ 以上,一度输入变压器绕组温度曾经达到 110℃,但变频器一直正常运行,未发生异常现象。

同时水厂 6kv 电网在用电高峰谷波动经常超过  $\pm 5\%$ ,严重时达  $\pm 10\%$ ,当时引进的变频器时常因此波动而停机,而 HARSVERT—A06/130 变频器一切正常,运行稳定可靠。

### 3.5 初步效益

由于使用了该套变频调速装置,可以非常方便地适应供水压力、流量变化的不同工艺要求,只须调节装置频率输出而勿须频繁开合高压断路器与调节出口阀门开启度,减少了值班人员的工作量。

在初步测定水泵曲线的基础上,核定了水泵高效运行区,一般限制水泵调速在此范围内,故取得明显的节电效果。初步记录:在 5 月和 6 月份,采用 ABB 调速泵和两台工频定速泵并联运行,千吨水电耗指标分别是:138.63 度和 134.80 度。在 7 月和 8 月使用该套调速装置,千吨水电耗指标分别是:128.61 度和 129.51 度。综合电耗指标下降了 5.6%。可见节电潜力很大,若与定速泵比效益更好。若从社会效益讲,天津水司试行以城市管网末端节点服务压力为调度指挥的原则以后,调速水泵技术的应用,极大地方便与适应了此种调度方式,随机地调节水泵转速以适应不同的要求。

## 4 该装置性能指标的测定与评价

### 4.1 设备的主要技术参数:

输入频率(Hz):	45Hz ~ 55Hz
额定输入电压:	6kv(+5% ~ -10%)
输入功率因数:	0.95(> 20% 负载)
变频器效率:	额定负载下 > 0.96
输出频率范围(Hz):	0 ~ 120Hz
输出频率分辨率(Hz):	0.01Hz
过载能力:	120% 一分钟,150% 立即保护
加减速时间:	0.1 ~ 3000 秒

### 4.2 主要性能指标的测定与评价

该套装置在天津水司运行期间,由中国电力科学研究院主持对相关的性能与指标进行了检验与测定,例如输出电压不对称度、频率稳定精度、分辨力、功率因数、效率等多项指标,尤其是谐波含量。

其中对谐波专项的检测是按照国家标准 GB/T14549 - 93《电能质量 公用电网谐波》要求测定。结果：变频系统引起的电网谐波电压符合国家标准；输入电流相对谐波电流含量满足 IEEE Std 519—1992 标准要求；输出电压相对谐波电压含量满足 IEEE Std 519 - 1992 标准要求。其优于该厂进口的国外变频器指标。

## 5 结束语

利德华福公司研制的中压大功率变频调速装置在天津水司新开河水厂运行结果表明：该套装置具有功能齐全，技术指标先进，可靠性高和便于维护管理，处于国内领先水平，达到国际同类新产品的水平。尤其其独有的特点更适合中国的国情。它是我们民族工业的骄傲。我们预祝它今后产品更加系列化、多样化、产品质量再上新高，使其成为我国中压大功率直接变频调速的主导产品。

以上是我个人对该技术产品应用的粗浅认识，可能有不妥之处，望与会专家同行批评指正。

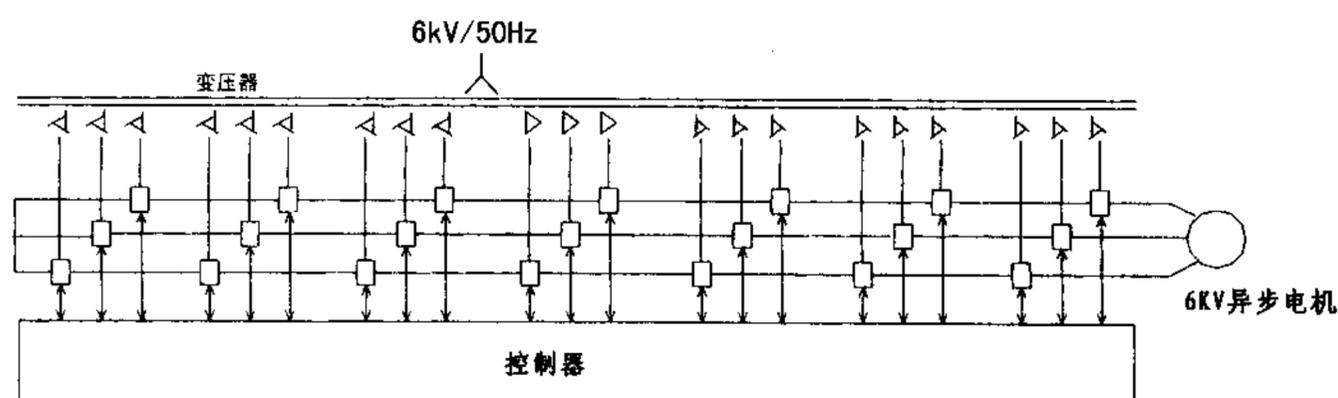


图1 中压变频调速系统结构图

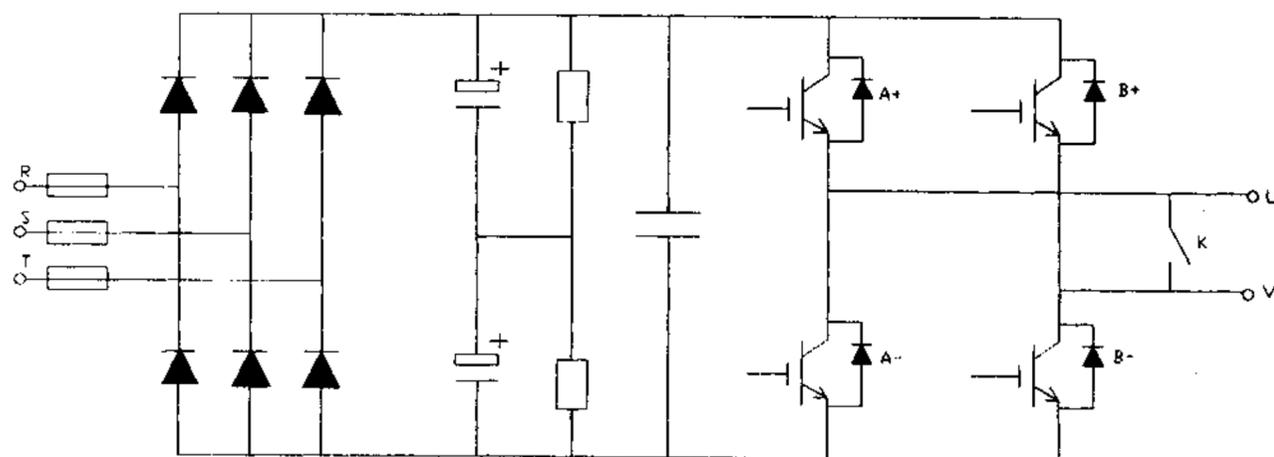


图2 功率单元电路结构