

[船舶电气]

交流变频调速电力推进系统的典型应用*

张慧洲
张晓东 (上海汉格机电设备有限公司) 吴斐文

[关键词] 交流变频调速; 电力推进系统; 应用

[摘 要] 本文介绍了我国自行设计采用交流变频调速技术在船舶电力推进装置上应用的典型实例, 期望其应用经验有助于正处于观望之中的船东或设计部门的决策, 为越来越得到广泛重视和普遍应用的船舶电力推进系统树立一个良好的典范。

[中图分类号] U664.14 [文献标识码] A [文章编号] 1001-9855(2002)01-00 -0000

Typical application of electric propulsion system used on AC converter

Zhang Huizhou Zhang Xiaodong Wu Feiwen

Keywords: AC converter; electric propulsion system; application

Abstract: The paper introduced the typical application example of AC converter technology in the marine electric propulsion apparatus which is the first application in China. This applicable experience is helpful to ship owners and designers who are still wondering about to make their decision. And it sets a good model for marine electric propulsion system which has already received wide attention and has been universally applied.

1 概 述

当今船舶技术领域, 一项既古老而又新颖的全船性的综合系统——船舶电力推进系统正处于时尚的潮流之中。它是集船舶总体布置、性能、轮机与电气专业合作之大成, 船舶电力推进系统的应用体现了船舶动力装置的重要变革与发展, 也是电力电子技术与计算机数字控制技术成熟应用的必然结果。船舶电力推进系统正在越来越多的各种类型的船舶上得到广泛的应用。

然而, 在我国船舶行业中, 设计应用船舶电力推进系统的少到至极, 这是由众多因素造成的一个误区。一些认为电力推进系统效率低、电气系统复杂、工作不可靠的疑问还未被高新技术产品的应用事实

证明是过时的老调; 传统的柴油机直接推进+柴油发电机组的常规动力装置模式是如此地根深蒂固, 以至不论在何种船舶上照搬不误; 等等这一切习俗之见在进入21世纪之今日, 该到了一个澄清和重新认识的时候了。

现在, 我们向船舶行业推出一个崭新的采用了现代高新技术的变频器传动的船舶电力推进系统, 它应用在上海市重点工程项目——苏州河治理工程中的一艘曝气复氧船上。这个电力推进系统的应用提供了一个良好的典范, 它可以帮助我们在船舶设计、设备制造和航运应用的各个阶段取得极宝贵的经验; 为船舶动力装置的变革和发展提供证明, 有助于对船舶电力推进系统还处于观望之中的船东或设计部门作出正确的决策; 作为一个良好的实例, 它必然成为将来建造大型的综合全电力推进船舶的一个

* [收稿日期] 2001-10-30

[作者简介] 张慧洲(1956.7.-), 男, 汉族, 陕西人, 工程师, 从事船舶电气系统集成制造工作。

张晓东(1972.9.-)男, 汉族, 陕西人, 工程师, 从事船舶电气系统集成制造工作。

吴斐文(1939.10.-)男, 汉族, 浙江人, 研究员, 从事船舶电气设计研究工作。

模范的先驱者。

苏州河曝气复氧船是一艘河水治理用的工程船,世界上也不多见。在船上布置了大型制氧设备,通过潜水泵抽吸排放管道将氧气送入河中,用来提高河水中的含氧率以改善水质,利于水生物的生长。该船长 26 m,宽 6 m,深 1.9 m,高 2.2 m,吃水 1.4 m,总体布置分前后两大块,前面是驾驶室、配电控制室及制氧机舱,后面为柴油发电机舱及舵桨舱。柴油发电机组采用了瑞典 VOLVO 公司的环保型柴油机,功率为 200 kW,2 台;舵桨装置为 30 kW,2 台,采用了德国 SIEMENS 公司的 ILA 系列异步电动机驱动;推进控制柜由德国 SIEMENS 公司的 6SE70 系列变频器及系统元件组成;电力推进系统由上海汉格机电设备有限公司设计并监造。

该船采用电力推进系统使全船总体布置合理紧凑,总长比采用柴油机直接推进方案要短;柴油机总装置功率比采用柴油机直接推进方案要小;柴油机数量减少,运行管理及维修工作量少;操纵灵活方便,在自由航行状态可只开 1 台柴油发电机组,而在柴油机直接推进方案中需开 3 台柴油机;自动化程度高,作业时集中在驾驶室操纵,工作条件良好。总之,充分体现出了船舶电力推进系统的优点。

2 变频器

2.1 交流变频调速系统

电力推进系统的核心问题是采用何种类型的调速系统,目前以采用交流变频器的交流调速系统发展最快,日趋成熟,显示出了其不可比拟的许多优点,并在众多的船舶电力推进系统中得到成功应用。交流变频器分为间接变频(交-直-交变频)及直接变频(交-交变频)两大类,前者是目前变频器的主流,适用于大中小功率各种机械,后者适用于 5 000 kW 以上特大功率及低速驱动。

从我国船舶设计制造的现状来看,可能采用电力推进的功率规模一般在 5 000 kW 以下,所以交-直-交变频系统应该是电力推进的主要型式。

2.2 主要变频器产品

目前世界上交-直-交变频器的生产厂商不下几十个,具有一定规模能力和较大功率规格的也只是十来个。详见表 1 所列。它们基本上均是全数字技术矢量控制 IGBT 逆变器通用和模块化产品;大多数产品为电压源型变频器,个别有电流源型产品;大多数产品是不可逆单象限工作特性,配有能耗制动单元和制动电阻使其具有四象限工作的能力,少数产品则具有自换向整流/反馈装置,能在发电状态向电网反馈能量,进行无功功率补偿和防止电网故障时系统颠覆;多数产品均能实现有/无测速反馈的控制,也有的产品(以小型为主)为了简化只适用于无测速反馈。

表 1 主要变频器产品及规格

国别	品 牌	系 列	规 格			
德	SIEMENS	6SE70	380 V~690 V	2.2 kW~2 300 kW	D/IGBT	
		6SE71	380 V~690 V	4.5 kW~1 500 kW	D/IGBT	
		MV	2.3 kV~6 kV	0.8 MVA~4 MVA	D/IGBT, IGBT/IGBT	
芬	ABB	ACS 600	380 V~690 V	2.2 kW~3 000 kW	D/IGBT	
		ACS 1000	2.3 kV~4.16 kV	315 kW~5 000 kW	D/IGCT	
法	ALSTOM	GD 3000	380 V~480 V	~780 kW	D/IGBT	
		VD 6000	380 V~660 V	~2 000 kW	D/GTO	
		VD 7000	3.3 kV~6.6 kV	~12 MW	D/GTO	
		CD 6000	~10 kV	~60 MW	Thy/Thy	电流型
		CL 9000	~18 kV	~无限	Thy	循环型
意	ANSALDO	SVTL	380 V~690 V	160 kW~3 735 kW		
日	FUJI	4600FM4	3.3 kV~6.6 kV	300 kW~4 000 kW	低压串联叠加	
美	A-B	1557	2.3 kV~7.2 kV	300 kW~7 500 kW	Thy/GTO	电流型
美	ROBICON	HVFF	2.3 kV~6.6 kV	300 kW~8 000 kW	低压串联叠加	
中	成都佳灵	GY	3 kV~10 kV	200 kW~50 MW	D/IGBT	
中	北京先行	HVFF	3 kV~10 kV	200 kW~10 MW	低压串联叠加	
中	北京利德华福	HARSVERT-A	3 kV~10 kV	300 kW~2 500 kW		

2.3 SIEMENS 变频器

表 2 为 SIEMENS 公司 SIMOVERT MAS-
TERDRIVES 矢量控制 6SE70/6SE71 系列变频器/

变频调速柜的主要性能,代表了变频器世界的先进水平。

表 2 SIEMENS 6SE70/6SE71 变频器主要性能

冷却方式	内装风机强制通风冷却
运行环境温度	0℃~40℃
运行环境湿度	相对湿度≤95%无凝露
防护等级	IP00 和 IP20/IP20 和 IP21、IP23、IP43
运行振动位移	10Hz~58Hz 范围内 0.075 mm
运行振动加速度	>58Hz~500Hz 范围内 1 g
无线电干扰	无滤波器或符合 A1 或 B1 级的无线电干扰抑制滤波器
电网电压	3AC 380 V~480 V、500 V~600 V、660 V~690 V
直流母线电压	DC 510 V~650 V、675 V~810 V、890 V~930 V
变频器输出电压	3AC 0 V~电网电压
逆变器输出电压	3AC 0 V~0.75 V _D
电网频率	50 Hz 或 60 Hz
输出频率	V/f=常数 0 Hz~200 Hz, V=常数 8 Hz~300 Hz
基本负载电流	0.91×额定输出电流
短时电流	1.36×额定输出电流(60 s)或 1.6×额定输出电流(30 s),周期 300 s
功率因数	基波≥0.98 综合 0.93~0.96
效 率	0.96~0.98/0.97~0.98

SIMOVERT MASTERDRIVES 装置具有多种类型产品,可供不同用途时选用。除了单个变频器外,还有逆变器、整流单元、整流/回馈单元、制动单元以及 6 脉冲或 12 脉冲的单象限或四象限工作的成套调速柜。单个单元产品配以不同的系统元件可组成各不相同的系统,特别适用于多电机系统。可用一个或数个整流单元组成直流母线向一个或数个逆变器供电,各个逆变器具有独立的调速性能。除了采用两套反并联晶闸管的整流/回馈单元外,特别另有一种自换向脉冲式整流/回馈单元称为 Active Front End(AFE),它是由 IGBT 模块组成,既能作整流器工作又能作逆变器反馈电能,其电流波形为正弦波,所以无谐波产生,可调功率因数,并可作无功功率补偿。矢量控制的标准软件包含两种基本控制型式:V/f 频率控制及磁场定向闭环控制。前者用于简单应用场合;后者用于高动态性能场合,调速范围大转速精度高,两种控制均可带或不带测速反馈。软件标准功能可作操作特性设定、数据组切换、自动

再起、捕捉再起、直流制动、同步运行等,自由功能更可使驱动系统适用于各种工艺要求的使用场合,包括控制模块、信号转换模块、计算模块、逻辑模块、信号模块、计时器等。各种工艺板、通信板和接口板等电子板选件更能与上一级的 PLC 系统通过不同传输协议或总线系统连接,如 SIEMENS 公司专用的 USS 协议、PROFIBUS-DP 和 CAN 总线系统,进行过程数据交换、参数设置和信息诊断。装置的操作和监控可在本机上也可从外部进行,本机上有操作面板也可用带 SIMOVIS 软件的 PC 机操作,外部则从控制端子排或装置串行口、工艺板或通信板进行。因此,无论从装置的硬件及软件性能来看,类似 SIMOVERT MASTERDRIVES 装置性能的变频器产品都能适用于船舶电力推进系统的应用。图 1 为其带测速机的磁场定向矢量控制的闭环速度控制的功能框图,图 2 为其闭环控制板 CUVIC 板端子排的功能及参数。

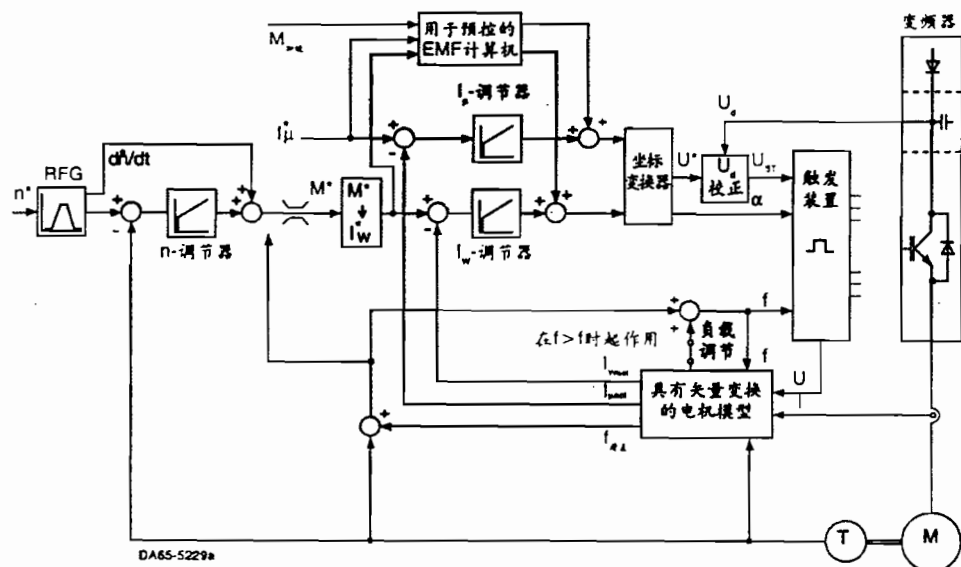


图1 带测速机的磁场定向控制框图

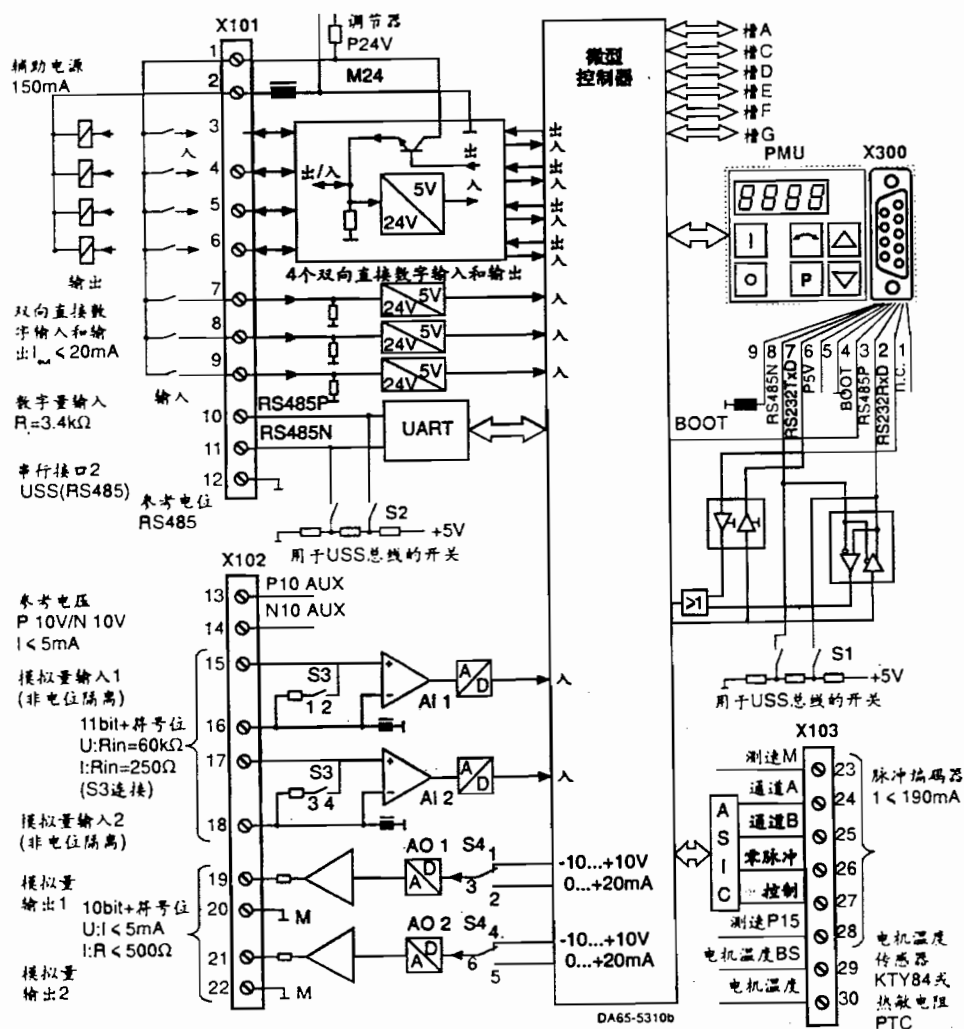


图2 CUVVC 闭环控制板端子排功能及参数

3 电力推进系统设计

3.1 主电路

主电路的核心是选用合适的变频器,综合了产品性能、供货条件、价格和服务等综合因素,选用了SIEMENS的6SE70系列产品,考虑到了环境温度减载因素,选用了37 kW书本型结构变频器。作为系统保护,采用了断路器供电,并用主接触器实现变频器与电网的连接和断开,其控制由变频器电子板实现;再用进线电抗器来抑制电网电压的突变及电流冲击,也起到减小谐波的作用;考虑到对电磁兼容性的要求,留出了安装无线电干扰抑制滤波器的位置,根据抗干扰能力及对干扰发射及无线电干扰抑制要求的具体情况决定是否采用;为了抑制船舶从高速前进突变到停止或后退过程中,水动力效应对螺旋桨产生的能量反馈作用,它将使变频器中间直流回路电压升高,所以采用了一个制动单元和外接制动电阻来消耗反馈电能;此外,还使用了输出接触器(也可不用)。图3为变频柜的内部照片图。

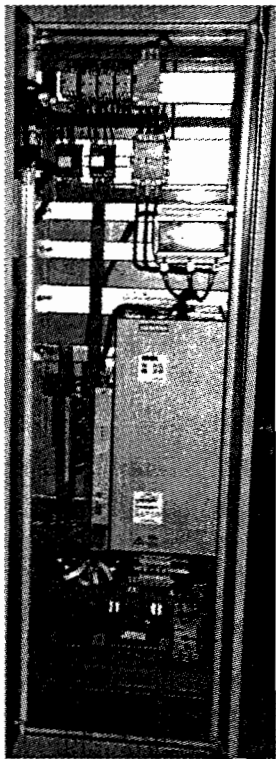


图3 变频柜内部

3.2 控制电路

控制电路由AC220V及DC24V两种组成。AC220V由正反转继电器、输出接触器、电动机空间

加热器及通用逻辑模块电路组成;DC24V由失压继电器、主接触器、通用逻辑模块电路及变频器状态检测电路组成。另外,还有电动机调速电路(电位器)、电动机脉冲编码器测速电路和电动机温度检测电路直接输入到变频器闭环控制电子板,并从其上输出电动机电流和转速的模拟量信号至电表。

3.3 电动机

SIEMENS公司ILA系列电动机是S1工作制IP44结构自扇风冷的三相异步电动机,带脉冲编码器、空间加热器和绕组温度传感器。根据螺旋桨的平方转矩特性(低速小负荷)及该船不会长期工作在低速工况的特点,不必采用强制通风方式以简化控制和节省成本。

3.4 操纵方式

驾驶室遥控操纵采用特殊的带有零位、正向、反向开关和调速电位器的操纵器。变频柜就地操纵采用变频器上固有的操作面板操纵,有起动、停止、变向、加速、减速5个按钮,在柜子面板上有一个遥控/就地操纵转换开关。柜子上的转换开关是通过变频器的BICO数据组切换的软件功能来实现的,规定BICO 1数据组(就地)是变频器上操作面板的固定接口数据组,BICO 2数据组(遥控)是变频器端子排操纵的固定接口数据组。因此,该转换开关具有优先权,这是满足规范规定要求“就地操纵应比驾驶室遥控操纵具有优先权”的措施。在6SE70变频器上能轻松地实现这种转换优先,可能多数变频器均无此功能,系统设计要满足这一要求需要补充较多的电路环节。

由于本船为双桨装置,为了操纵方便和防止两台操纵器的调速不一致,还设置了一个联动/分动操纵转换开关,设置在驾控台上。该开关在将有关电路作接通和断开处理后,能实现用一个操纵器操纵两套装置的目的。6SE70变频器原可选用同步电子板,我们没有用它也实现了两台同步。

3.5 检测、报警、安全电路

上面已提到变频器输出电流和转速两个模拟量信号,规格为 ± 10 V。在变频柜、驾控台、集控台上均设有电流表及转速表。电表按额定值的比例刻上相应的实际值,电流表为1:2,转速表为1:1,通过变频器参数的比例值变化可方便地实现所需要的比例。

变频器还输出有运行、报警、故障三个状态开关量,在驾控台及集控台上均设有相应的指示灯及蜂

鸣器。其报警信号是一种不中断运行但不会改变即时运行状态的信号,如报警原因不存在了则信号自行消失。而故障信号是一种立即中断运行的信号,主接触器自动断开,在变频器操作面板上固定显示故障代码,提示运行人员查询故障代码表进行故障分析处理,处理完后人工恢复备机状态。

在驾控台及集控台上设有紧急停车按钮的安全电路,它独立于正常操纵电路,这也是规范所规定的要求。它为自锁式,需人工释放恢复备机状态。

4 参数设置及运行操作

SIEMENS 变频器软件中含有几百个参数和几百个开关量和数字量接口,但需要使用者输入的参数并不多,基本分为两部分。一部分是输入系统参数,包括电动机额定值、控制类型、加速时间、减速时间,并进行电动机参数自动辨识(电机模型计算)和调节器自动优化(电机模型计算),也即有些变频器称之为自整定的过程。另一部分是变频器端子排的接口参数设置。

参数由参数号、参数标号和参数值组成,在参数表上可查到每个参数的描述、性质和类型,而在功能图上(主要为电路框图)可查到参数所在位置和每个端子排接口的开关量编号及有关环节的连接量编号。根据系统需否,将某个开关量编号或连接量编号填入某个参数号的参数值内,就组成了某个电路环节,这是系统设计必须完成的工作。

参数设置完毕,变频器通电后自检,正常时即进入备机状态(否则输出故障代码),待起动(使能)信号一输入,变频器即自动接通主接触器,同时变频器通风机工作,电动机建立起一个空载电流,转子处于零速或低速状态(视调速电位器信号大小而定),加速操作即可增速直至最高速为止,电机电流平稳升到额定值,减速反向或直接反向均能根据手动操作时间或已设置的时间来反向。

5 应用情况、体会及展望

作为迎接 APEC 会议的实事之一,该船在 APEC 会议前一周已试航结束,准备交船。从试航情况来看,电力推进系统是全面满足技术规格书的要求和船东的特殊要求,试验性能符合实船使用要求。由于该船航速较低,所以几近 1:100 的调速范围是

如此之大显得过份了些,目前对电力推进系统需要多大的调速范围并无定论,然而对高速船及需原地作业的船而言,1:10 还总有需要的。同样理由,制动电阻的配置为 20 s,功率是电动机额定功率的 1/3 也略偏大,所以温升不大。在未用无线电干扰抑制滤波器的情况下,尚未发现对 VHF 电话有何影响,有机会时再作谐波测量。

本船电力推进系统从设计到应用是在极短时间内完成的,没有超过 5 个月。其间产生过一些问题,看似难度较大,可是一旦解决后,却感到非常轻松,因为造成问题的原因都是一些客观因素,而对变频器的认识与系统设计的考虑都还是原来的东西,这就建立起一种很强的信心,这是很可贵的。

从最初对变频器的陌生感和复杂感到成功应用的自豪感和信任感,在理性和感性认识上都达到了一次飞跃。同时,对采用变频器的电力推进系统的设计也觉得并非深不可测,从对规范要求的理解和实现到船东特殊要求的实现都能做到,创造了必要的经验,并且可以推广到同系列的 2 000 kW 功率规模。

从变频器性能来看,用于电力推进系统也足有余,包括通信板、各种工艺板在内许多电子板似乎都用不上,当然对自动化要求较高的情况下,接入 CAN 总线系统的方便性可以轻而易举的实现还是有用的。

电力推进系统的成套性似乎更应得到关心。目前,变频器与电动机的成套较易,而操纵器的成套较难,特别在使用舵桨推进装置时,其配套的操纵器与电力推进系统还不能很好配合。本船对其实施了改造,加装了零位及正反向开关,总之不如专门设计的称心,应引起各方重视予以正确协调。

本船交流变频调速电力推进系统的成功应用将会对我国船舶动力装置的变革起到较大的鼓舞作用,可能会加速更多的电力推进船舶的出现。并且,会对本船使用中显现出来的调速范围、制动电阻功率、电磁兼容性的措施等问题作更深入的研究,以便得出更符合实际的精确结论来。目前,已有 3 000 t 级海监船、大深度打捞船、火车渡轮等船拟采用电力推进,这是一个可喜的苗头,标志着我国船舶电力推进正在蓬勃发展之中。我们愿以本船电力推进系统设计制造应用的点滴经验来促进我国船舶电力推进的发展。≡