

高性能变频器在带钢热连轧生产线的应用

访宝钢股份公司热轧厂高级工程师欧湘贵

■ 胡 颖/本刊记者



欧湘贵 高级工程师
宝钢股份公司热轧厂

热连轧作为黑色冶金行业的一个重要工艺生产线，随着人们对产品质量的需求越来越高，其工艺或机械装备都要求电气传动设备采用高性能的调速装置作为支撑。

随着微电子技术、电力电子技术及大规模集成电路的迅速发展，交流调速技术不断走向成熟，许多新型高性能的变频调速装置在工业生产中得到了越来越广泛的应用。热连轧作为黑色冶金行业的一个重要工艺生产线，随着人们对产品质量的需求越来越高，其工艺或机械装备都要求电气传动设备采用高性能的调速装置作为支撑。为了对高性能变频器在带钢热连轧生产线的应用有更深入的了解，本刊记者采访了宝钢股份公司热轧厂高级工程师欧湘贵，请他对相关问题予以解答。

发展历程和特点

电气应用：交流变频调速装置在热轧电气装置中占有极其重要的地位，首先，请您介绍下变频器和调速技术在热轧生产线的应用发展历程。

欧湘贵：20世纪70年代前，常规热连轧生产线需要调速的电动机都是采用直流电动机，用直流调速技术；而恒速电动机采用的是交流笼型电动机，不调速。随着电力电子技术的快速发展，在20世纪八九十年代，引进了高性能变频器用于热轧生产某些工艺负载，如国内某2050热轧生产线首次在粗轧机R3和R4主电动机上尝试使用了交-交变频器，其调速性能接近直流电动机的效果，反响非常好。到20世纪90年代中期，不论是粗轧机、精轧机等主机，还是生产线上各类辊道电动机、各种辅机，都开始全面采用交-直-交电压型或电流型变频器，但是像行车和一些辅助设备还是采用定子调压或直流调速技术。直到进入21世纪，在热轧生产线上所有需要调速的电动机都采用了各种变频电动机和变频调速技术(包括行车主起升和行车走行机构等)，变频器得到了非常普遍的应用。到2006年前后，随着节能减排和企业降低生产成本的需要，又开始引入了风机泵专用、控制准确度一般的低压通用变频器和中高压变频器。

电气应用：对于带钢热轧生产线工艺调速的电动机设备，常常采用高性能的交-直-交电压型变频器，而不采用通用变频器，请您谈谈高性能的变频器有哪些特点、种类和使用范围。

欧洲贵：变频器的高性能一般有5个指标：①高准确度（对于主轧机，不带接手和负载的静态控制准确度高于万分之一，带接手和稳定负载的静态准确度为千分之一）。②高响应（轧机M单速度控制阶跃响应为120 ms，其前提条件是不能有超调，时间计算是从阶跃响应激发点开始到反馈值在第一次到达目标值的95.4%为止，而其电流环的电流响应不高于10 ms）。③高可靠性（实际运行可靠率大于99%，核心部件几乎免维护，整机寿命在20年以上）。④高效率（整机效率在97%以上）。⑤低动态速降（低于0.25% s，负载在100%）。

变频器按制造商提供的产品系列一般分为三大类，即按电动机和变频装置容量分为主传动装置（主电动机）、中容量变频装置（重要主辅电动机）和小容量变频装置（辅助电动机）。对于主电动机（容量在2 000 kW及以上的负载），基本上采用高准确度、高可靠性的编码器作为速度反馈；主回路结构（整流器和逆变器）常常采用对称的交-直-交三电平PWM矢量控制技术或直接转矩控制技术；该类大容量的变频装置绝大部分采用水冷方式（老式的交-交变频器采用空冷式）。对于电动机功率特别大的（额定功率超过7 000 kW以上）常常采取两套变频装置分别对特殊设计的双绕组电动机进行供电。如某热轧生产线主轧机的电动机功率为10 000 kW，用两个TM-70变频装置对拥有两套独立的电动机绕组分别供电。当然也有少部分功率大的电动机是单绕组的，其采用两套变频器在输出侧通过一台平衡电抗器并联后给单绕组电动机供电，解决了大容量的变频器对特大容量电动机供电配对的问题，甚至有些国外厂商用四套变频器并联后对一台特大型容量的电动机供电。

正确选型 合理维护

电气应用：正确选择变频器对于控制系统的正常运行至关重要，那么在进行变频器选型时，有哪些需要注意的事项？

欧洲贵：在进行变频器选型时，有以下几点需要注意：

1) 变频器容量。尽管变频器厂家有各类产品档次，但是在实际生产中因过载、工况、环境温度和负载特性的不同，需要的变频器容量会与设计需求的容量不配套。选高一档，成本会提高许多；选低一档，有点勉

强。特别是主要辅助电动机，如热轧领域的粗轧立辊电动机、飞剪电动机和卷取卷筒电动机。另外，变频器厂家在对工艺需求上理解不够或对未来工艺发展要求适当放大余量考虑不够，会出现“小马拉大车”的现象，特别在早期谈判或基本设计审查时要反复核查和计算，以免外方设计余量偏小，为未来发展或轧制极限规格埋下不良的故障隐患。

2) 公用变频器分区。部分国外制造商为了降低投资成本，将辅助传动的变频器所共用的公用整流器选择范围扩大，造成用户维护不方便，故障扩大化。

3) 核心部件或配套选件。变频器有许多辅助功能，由于部分用户使用实践经验不足或出于对投资成本的考虑，往往会放弃一些辅助功能和不选用配套设备，如预充电回路、放电回路、漏水报警装置、配套修复功率组件的专业拆卸或试验工具等。对交-直-交中间回路的电容器选择也需要高度重视，尽可能少用电解电容器，因其寿命相对较短。

4) 控制功能。对于粗轧机轧辊主机变频器，一定要配置防机电扭振功能的变频器，在机电配合谈判时要充分考虑工艺的需要，合理选择机械轧辊、主轴和电动机控制等方案，尽可能在设计源头上消除隐患。一般而言，粗轧机主传动设计在确保轧制稳定性的前提下，提高控制响应，即首先考虑动态速降因素，其次考虑速度控制准确度或响应性等指标。若一味追求控制准确度和响应性，往往在重载、高速轧制时，容易使粗轧变频器发生机电振荡，造成过电压或过电流跳电。而对于精轧机后机架，其主要功能除了控制厚度外，还为了控制带钢板形，一般这类系统响应性高，准确度也高。因此同样是轧机，其工艺特点不一样，所选的变频器控制功能和控制模型就不一样。

电气应用：根据您多年的工作经验，您认为高性能变频器在维护方面有哪些需要注意的要点？

欧洲贵：大功率高性能变频器在20世纪80年代末才开始进入中国市场，尽管绝大部分变频器都是国外产品，可靠性高，但是由于国外生产商提供维护和原理的资料不多，加之国内维护点检经验不够，若变频器原制造商在设计、制造等方面存在先天缺陷，再加上日常点检不到位或点检技术不足、维护周期太长等因素，完全有可能发生各类故障。经过近25年工作的积累形成了许多宝贵经验，现以日系三菱电机MELVE-3000和东芝三菱TMEIC公司的TM-70等主传动变频装置为例，将核心要点归纳总结如下：

1) 点检维护按照周期或项目分为3个层次，即日常

每天每周点检、定期点检与保养（3个月~2年，视使用环境、变频器生命周期和定期检查的项目内容来确定点检周期）以及特殊精密点检。

2) 对于日常点检需要按照“五定原则”，即“定点、定人、定时、定法、定标”。可关注变频装置安装与运行环境条件（如温度、湿度、粉尘、有害气体和振动等必须满足变频器使用的环境条件）；关注本体是否有异响、异味；关注盘面指示灯是否有故障报警；关注风机冷却系统是否有异响、异味、振动以及过滤网是否堵塞等；关注纯水冷却系统的温度、电导率、压力和流量是否正常。

3) 关于定期检查，需要停电打开电控柜以及抽取部分功率组件，主要是看功率组件、印制电路板是否有积灰；连接铜牌的螺栓是否变色、松动和有无腐蚀；大容量高压电解电容器是否漏液、渗液或鼓包变形；电源装置、电源板电解电容器是否存在上述现象；柜内冷却水管接头处是否渗水、漏水；预充电回路、放电回路电阻是否变形、变色等。

4) 关于精密点检，需要通过精密仪器或工具对一些电参数进行检测或测量，其测量周期也视环境条件与其生命周期而定，可以抽查或全面检查。控制电源装置或电源板卡电压值、纹波系数、触发脉冲幅值、宽度以及上下沿角度是否正常；连接信号光纤光通量是否有衰减；对于模拟量系统，其各类保护值是否发生偏移；超过7年以上的大容量电容器抽查是否存在性能下降；检查、测试相关设备和连接到主电动机的高压电缆的绝缘电阻、接地电阻；速度反馈波形；有针对性地做一些M单试验波形或实际带负载运行曲线。

5) 合理更换易损件或储备一些常用备件。在开工投产初期，因各种原因（如设计缺陷、安装不到位、调试不周全以及维护经验不足等）变频器存在多种故障隐患，因此需要准备一些随机备件，主要有功率主回路单元、各类快熔（装机量的20%）、各类控制插件板卡、速度反馈专用编码器、电源装置（或板卡）、风扇、主要电力电子器件（如IGCT、GTO、IEGT、IGBT、电力二极管、特殊水冷电阻和励磁主回路晶闸管等）、光缆、冷却系统过滤网和冷却风扇等。在变频器装置稳定运行中期，注意更换动作频繁的接触器、中间继电器和各类过滤网，有经济实力的用户更换到期的大容量电解型电容器、电源装置（或板卡）及功率器件脉冲驱动装置等。在装置使用寿命后期，缩短点检周期、提前考虑应急改造或备机方案，防止因备件不够而造成全线被迫

停产的事件发生。

未来的发展趋势

电气应用：最后，请您就高性能变频器装置和技术目前的现状，预测下未来的发展趋势是怎样的？

欧湘贵：未来的发展趋势可以从以下几个方面体现：

1) 电力电子器件会更加多样化、容量更大且性能更高。目前在热连轧主轧机采用的大功率高性能的电力电子器件主要是两类产品，即以ABB公司为代表的IGCT和以东芝为代表的IEGT器件已经完全取代原来以西门子、ABB为代表的晶闸管SCR器件和以三菱电机为代表的GTO器件。未来一定会有更高电压、更大电流的新型功率器件出现，这将会提高变频器的单机容量。

2) 主回路硬件拓扑结构基本不变，但是由基本结构等组成的高性能变频器其组合形式会越来越优化，以减少部分装备的浪费。如中小容量的逆变器所使用的整流器尽可能采用公用的晶闸管全波整流器，根据区域集中、工艺和装备互不干涉的原则进行组合；板坯库辊道、过跨台车和转盘等电动机的逆变器公用一个整流器；加热炉的装抽钢机和步进梁进出料输送辊道公用一个变频器；粗轧区域辅助电动机根据公用整流器容量和区域设置2~3个公用整流器；精轧区域辊道等设置一个公用整流器；卷取区域将精轧机出口热输出辊道设置一个公用整流器；每个卷取区域的辅助电动机、导板、夹送辊和助卷辊各设置一个公用整流器等。对于调速电动机容量在1 000~2 000 kW内的主要辅助传动一般采取三电平等容量的变频器。而对于容量的主机一般采用三电平等电压对称高性能大容量的变频器，其逆变器和整流器完全对称，主回路采用大功率器件IGCT或IEGT等。对于需要水冷方式的变频器，一般冷却装置采用几个主机公用一套的方式，不采用每台变频器自带一套冷却装置，降低一次性投资成本，节省占地空间。

3) 公用整流器选用晶闸管或IGBT作为功率器件，但日本大多数生产商选用晶闸管全波整流方式作为公用整流器的方案。其一方面减少投资和提供维护方便性；另一方面减轻上游变压器制造商生产难度。

4) 逆变器的容量等级更加多样化，级差越来越小，甚至多于电动机本身的额定容量匹配参数，有些厂家还会根据实际负载性质设计专用的变频器，以满足用户负载个性需求。

5) 中小容量逆变器安装方式由固定式向抽屉式（类似MCC）方向发展，方便用户维护以及故障处理

时新旧设备的拆装。

6) 变频器整体大小向紧凑型方向发展。未来随着用地紧张,国内无论是新项目还是旧改造项目,其占地面积会有所限制。另一方面,随着电力电子器件快速更新、集成电路高速发展以及新型电气元件进化(如中间回路的电容器等),对7 000 kW功率电动机供电的变频器,由原来的日本三菱电机一套高性能变频器MELVEC3000改造为用两套日本东芝三菱TMEIC的TM-70e2,而新的两套装置其体积只有原来的2/3,大大降低了占地面积。

7) 控制方式由原来集中控制向分散控制发展。对于新型的变频器,逐步将靠近功率单元或主回路的控制功能尽可能分散到就地控制板上,而其他控制功能或公用的功能则更加集中到专用柜内主控板上。如TM-70e2装置就是将脉冲产生、分配、放大、预充电、各类保护以及电流、电压检测等尽可能集中在主回路柜控制窗内,而其他功能则放在控制柜的主控制板内,它们之间采用抗干扰能力强的光缆进行数据交互。

8) 各种软硬件保护越来越多、越来越全,信号报警功能也越来越多、越来越细。如原来在日本三菱电机的高

性能大容量的变频器MELVEC-3000和日本TMEIC公司的TM-70对三电平的主回路GTO和IEGT器件保护中,只在P侧或N侧设置快熔,TMEIC公司的TM-70升级产品TM-70e2则在P侧、C侧和N侧同时设置了快熔装置。报警分类也比以前增加,如原来预充电回路出现故障没有区分充电过程的故障说明,对于双主回路并联运行,其在回路充电时,检测充电开始时充电回路电容器初始电压值、充电过程两者偏差等过程参数的检测和报警。

9) 变频器系统互联网络化。原来一条生产线的变频器或系统一般是相对独立的,除粗轧机上下辊、夹送辊上下辊、立辊工作侧和传动侧等负载变频器之间有联络外,其他变频器都只是与基础自动化(PLC设备)进行通信联络。变频器故障报警复位、故障诊断和上下传或修改变频器内部参数都需要维护人员到现场电控柜机旁进行操作。而目前新一代变频器系统则可以从远方完成复位、监视、参数上下传递甚至修改等工作,其基本上实现了全厂互联连接工作。

10) 变频装置监控平台软件更加人性化和多样化,速度更快、界面更加友好,能实时监视许多变量和信息状态。EA



农用机械

工程机械

物料搬运设备

发电设备



为您提供尽善尽美的动力解决方案,
是我们的首要任务。

我们的发动机全部高度可靠,能满足您的发电需求;而无论是在哪里生产,质量都保证符合严格的标准。更肯定会获得我们完善的全球产品支持网络的服务。

想了解选用Perkins产品可怎样为您创造效益,欢迎访问:
www.perkins-ch.com

Perkins®

环球动力翘楚 心系合作伙伴