

大功率电力电子变流技术在钢铁工业中的应用

李崇坚

(冶金自动化研究设计院, 北京 100071)

摘要: 讨论了当前大功率轧机主传动采用的交流调速系统, 比较了交交变频, 交直交变频, IGCT/IGBT 三电平 PWM 变频等交流调速系统的特点。还介绍了中国大功率轧机主传动交流调速系统的现状与发展。

关键词: 轧机主传动; 交流调速; 交交变频; PWM 变频

中图分类号: TM46

文献标识码: A

文章编号: 1671-8410(2006)02-0035-04

The Application of High Power Electronic Converter Technology in Iron and Steel Industry

LI Chong-jian

(Automation research and design institute of metallurgical industry, Beijing 100071, China)

Abstract: It is introduced AC speed adjustable system in main drive of high power rolling mill, presented the status and development of it and compared the characteristics of AC speed adjustable system such as AC-AC converter, AC-DC-AC converter, IGCT/IGBT 3 level PWM converter and so on.

Key words: rolling mill drive; AC speed adjustable electric drive; AC-AC converter, PWM converter

0 引言

中国的钢产量已连续多年居世界第一, 并每年以 20% 以上的高速度在增长。2004 年的钢产量达 2.73 亿 t, 2005 年将超过 3 亿 t, 占世界钢产量的 1/3。

作为制造业基础的钢铁工业, 目前正在进行大规模建设和技术改造。有资料显示, 50 万 t 以上的钢厂均盈利, 这吸引了众多民营企业进入这个领域, 出现了“大炼钢铁”的局面。

然而中国钢铁工业的问题也非常突出。其能耗较高, 对环境的污染严重, 能够生产优质钢材的企业少, 电机行业用的硅钢片、高档汽车用的钢板每年还需要大量从国外进口。

电力电子变流器在钢铁方面的应用主要有两个方

面, 一是大型轧机传动, 由交流调速取代直流调速, 提高轧钢能效; 二是环保节能的传动, 例如钢铁工业中的高炉鼓风机、冶炼除尘风机和水泵等, 现在大多数还是采用挡板截流的调节方式, 如改用高压变频调速, 将会产生较大的节能效益, 市场前景广阔。当前在轧机主传动中应用的交流调速技术主要是交交变频调速, IGCT/IGBT 三电平交直交变频调速。

大功率轧钢机要求电气传动系统具有很快的动态响应和相当高的过载能力, 这一领域长期以来一直被直流电动机传动所垄断。由于直流电机存在着换向问题且换向器、电刷等部件维护工作量较大, 使其在提高单机容量、提高过载能力、降低转动惯量以及简化维护等方面受到了限制, 已不能适应轧钢机向大型化、高速化方向发展的需求。电力电子技术、微电子技术以及现代控制理论的迅速发展, 受到国内外钢铁工业和电气传动学术界的极大关注。20 世纪 70 年代后, 随着交流电机矢量控制理论的产生及其应用技术的推广, 世界工业发达国家都投入大量人力物力对交交变频轧

收稿日期: 2005-12-22

作者简介: 李崇坚 (1952-), 男, 工学博士, 教授高级工程师, 冶金自动化研究设计院总工程师, 中国电工技术学会常务理事。长期从事电力电子及电气传动学科的科学研究和工程实践, 对大功率交交变频同步电机调速技术有较深的造诣。

钢机主传动进行了研究。目前,世界上已有上千台交流变频轧机投入应用。在工业发达国家,新建1 MW以上的轧机主传动系统,无论是初轧机,中板轧机还是热、冷连轧机,无一例外均采用交流变频调速。在大功率轧钢机主传动领域已出现交流调速传动取代直流传动的趋势。

1 交交变频器

1987年湖南湘潭钢铁厂从西门子公司引进了交交变频的轧钢机,拉开了我国轧钢机采用交流传动的序幕。这套轧钢机投入运用后,湘潭钢铁厂的吨钢能耗降低了30%。此后,交流调速技术在钢铁领域得到了大力推广。

1.1 交交变频的特点

交交变频调速系统如图1所示,由三组反并联晶闸管可逆桥式变流器组成,它沿续了晶闸管变流器的电网自然换流原理,具有过载能力强、效率高、输出波形好等优点,但同时也存在着输出频率低(最高频率低于1/2电网频率),电网功率因数低,旁频谐波影响等缺点。交交变频分为有环流和无环流两种方式,可驱动同步电机或异步电机。

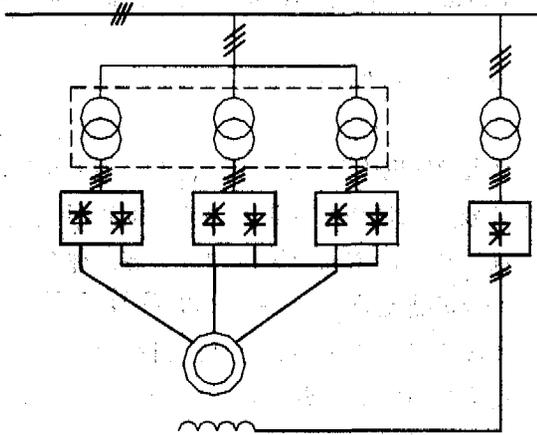


图1 交交变频同步电机调速系统

1.2 交、直流调速的比较

轧钢机交流传动较传统的直流传动有诸多优点。

交流电机的单机容量不受限制,而直流电机的极限值是5 MW/500(r/min)。同等功率情况下,交流电机的转动惯量比直流电机的小得多,其加速性能要大大优于直流电机,如宝钢有台2 × 4.5 MW的直流电机,其转动惯量GD²=76.8 tm²,而9 MW交流同步电机单机传动,GD²=17.2 tm²,仅为直流电机的1/4.5。交流调速的动态性能好,速度响应为40~100 rad/s(直流调速为15~30 rad/s)效率比直流电机提高2%~3%;另外,交

流电机体积小、质量轻、占地面积小,维护简单。采用交流调速可提高生产效率,综合节能30%(耗电/吨钢)。如宝钢2050热连轧和武钢1700热连轧进行改造,采用交流调速对,用一台大于10 MW的交流电机取代原来的3台直流电机,体积减小了2/3。总体来说,在钢铁领域交流调速取代直流调速已经形成趋势。

1.3 交交变频器在热连轧机上的应用

图2是一个热连轧钢机驱动的典型图例。

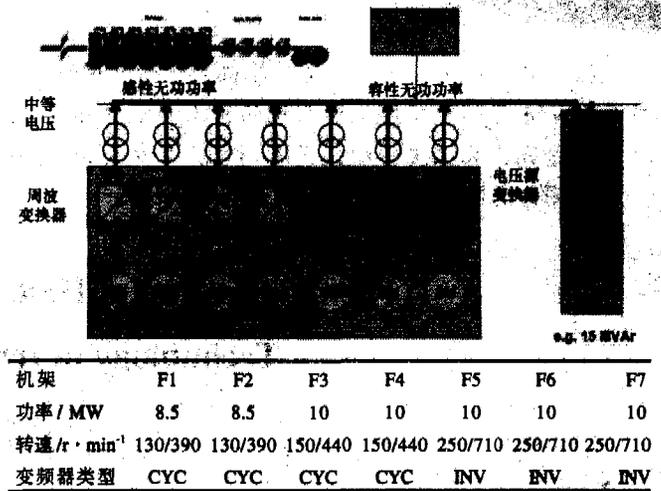


图2 热连轧钢机驱动典型图例

图中共有7台电机,第一、二机架为8.5 MW,第三到第七机架为10 MW。热连轧机传动的电机功率大,装备规模大,技术性能要求高。在国际上只有少数几家知名电气公司可以承接此项目,我国热连轧机等大型机械传动装备一直依赖于进口。

1.4 交交变频器的国产化研究

国家把大型轧机主传动装备国产化列入“七五”、“八五”及“九五”国家重大技术攻关项目,要求大功率交流调速系统技术尽快产业化,以改变大型工业机械传动装备长期依赖于进口的局面。原冶金部和机械部把交交变频列为重点科研项目。冶金自动化院、天津电传动研究所对该技术进行攻关,同时,清华大学、浙江大学等高校参与了该项目的开发和理论分析,哈尔滨电机厂、东方电机厂和上海电机厂等企业则研制用于交交变频调速系统的同步电机。

1993年第一套国产的2.5 MW交交变频同步电机调速系统研制成功,应用于包钢轨梁厂850型钢轧机;1996年第一套4 MW国产全数字控制交交变频调速系统问世,应用于重钢中板轧机主传动;1999年第一套国产双机传动交交变频调速系统研制成功,应用于武钢轧板厂中板轧机;2000年第一套热连轧机交交变频调速系统在攀枝花钢铁公司投入运行。据统计从1996年至

2005年,我国大功率交交变频轧机传动系统共263套,其中国内制造171套,占65%。我国大功率交交变频的技术水平与应用规模已超过美国GE、法国Alstom、意大利Ansaldo等公司,达到世界先进水平,彻底扭转了大型工业轧钢传动装备长期依赖于进口的局面。

2 交直交变频器

2.1 交直交变频器的特点

进入20世纪80年代以来,晶闸管元件一统天下的格局被打破,大功率晶体管(GTR)、门极可关断晶闸管(GTO)以及场控器件绝缘栅型双极晶体管(IGBT)相继问世,开始了一个以自关断电力半导体器件为核心的新时代。与传统的半可控晶闸管器件相比,采用自关断电力半导体器件的电气传动装置具有成本低,变换器结构简单,体积小,质量轻,功率因数高,谐波污染小等显著优点。

2.2 交直交变频器在轧钢传动中的应用

在大功率高电压变频调速领域,GTO元件曾占主要地位。20世纪90年代,GTO变频调速在铁路牵引机车上普遍应用之后,世界各国开始研制用于轧机主传动的GTO变频调速系统。日本三菱公司率先研制成功6000V/6000A大功率GTO元件,并将世界最大功率7MW,3kV的GTO同步电机变频调速系统成功地应用于我国宝钢1580mm热连轧机和鞍钢1780mm热连轧机。图3为GTO交直交多电平PWM变频调速系统,该系统为电压型变频器,电源侧变流器亦采用GTO脉宽调制技术,通过控制输入电流的相角可使功率因数始终为1,并减少输入电流的谐波。该变频器采用三电平GTO元件串联控制技术,使变频器输入和输出电压可达到3300V。与采用晶闸管元件的交交变频调速系统相比,GTO变频器具有输出频率不受限,电网谐波污

染小,功率因数高等显著优点,但也存在着GTO元件开关损耗较大,效率低,需用水冷却,维护困难等问题。电力半导体行业对GTO元件看法不一,期待用更新型的场控器件来取代它。

近几年来,高电压大功率电力半导体器件的研制是世界各国在轧机传动领域的竞争热点,瑞士ABB公司研制成功的门极可关断晶闸管IGCT,是在GTO元件基础上进行创新的一种新型大功率电力半导体器件。它在器件的结构设计中减少了控制门极回路电感,将驱动电路与功率器件集成在一起,使IGCT的开关损耗较GTO降低一个数量级,提高了开关速度,取消了缓冲吸收电路,大大简化了变频器结构并提高了系统效率。ABB、GE、ANSALDO以及SIEMENS公司已成功研制了采用4000A/4500VIGCT元件、用于轧机主传动的大功率三电平PWM变频器。我国本溪钢铁公司1700轧机的改造采用了GE公司的IGCT三电平变频器,电机功率7MW,电压6kV。IGCT已成为GTO的换代器件。

日本东芝公司近期研制成功4000A/4500V高电压大功率的IEGT元件,即增强型电子注入绝缘栅型双极晶体管。压控型具有开关速度快,可自保护等优点。东芝公司已将采用IEGT元件的7MW,3kV大功率三电平变频器应用于我国涟源钢铁公司薄板坯连铸连轧主传动中。

2.3 交直交变频器存在的问题

尽管交直交变频器具有输出频率高、功率因数高等优点,但交直交变频器仍存在许多待解决的问题:

(1)当前大功率高电压电力电子器件处在发展期,GTO元件面临淘汰,IGBT,IGCT尚待成熟。

(2)采用IGCT(或者GTO)、IEGT的变流器,器件故障造成直通短路的保护还是难题;电源侧变流器如果发生直通短路会造成电网短路,所以变流器必须采用高漏抗输入变压器,一般要求15%,甚至高达20%。

(3)交直交变频器低频运行时过载能力降低,运行在5Hz以下时变频器过载能力通常减半。

(4)交直交变频器输出PWM调制电压波形的电压变化率 du/dt 很高,容易造成电机和电器的绝缘疲劳损伤;输出导线较长时,共模反射电压会在电机侧产生很高的电压,如果是两电平的变流器,该电压的峰值是直流电压的两倍,如果是三电平的变流器,该电压的峰值是中间一半电压的3倍。

(5)交直交变频器PWM调制将产生谐波、噪声、轴电流等问题。

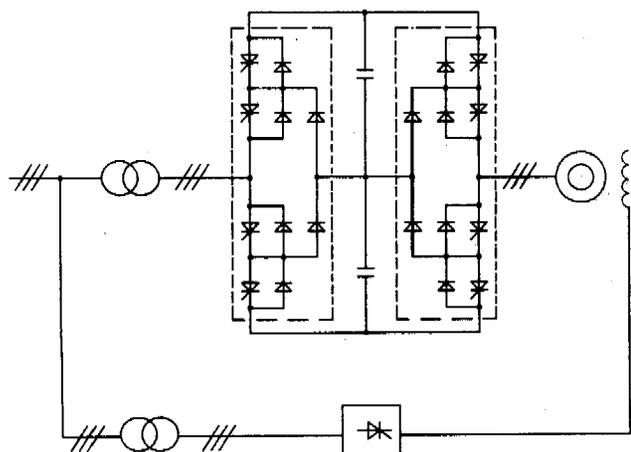


图3 交直交三电平PWM变频调速系统

2.4 交直交变频器的国产化研究

国产的交交变频调速系统已成功应用于低速、大转矩的大型热轧机主传动,但对于高转速的冷轧机交交变频器显然不具优势,冷轧机应采用交直交变频器。因此,大功率交直交变频驱动的冷连轧机国产化已定为国家“十一五”重大装备攻关项目。

冶金自动化院在国家863项目的支持下,成功研制了一台5 MW的IGCT变流器,完成了驱动3.6 MW同步电机的工业性试验。目前,课题组通过充分分析国外IGCT变流器电路拓扑和结构,研制了降低电路杂散电感的布置结构,使国产IGBT变流器容量达到10MVA,而且体积大大缩小。

3 展望

总体来说,目前钢铁、矿山、牵引(包括船舶推进)、油气输送等行业都急需大功率的交直交变频系统。我国轧机传动交交变频调速系统能取得长足进步,

是因为依托了中国多年积累的晶闸管技术基础。因此,在交直交变频器国产化研制过程中,如果没有我们国家自己的器件作为基础,不可能形成国产大功率交直交变频器产业。希望株洲电力机车研究所加速研制和完善我国自主创新的IGCT器件,协同国内其他相关单位一起把大功率交直交变频器的国产化工作做好。

参考文献:

- [1] 李崇坚. 大功率轧机主传动技术的现状与发展 [C]. 中国钢铁1997年会论文集, 1997, 10.
- [2] 李崇坚, 殷巍. 轧机传动交流调速机电振动控制 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2003.
- [3] 李崇坚, 李向欣, 干永革, 王征. 国产大型热轧机主传动交流调速系统 [J]. 冶金自动化, 2000, (5).
- [4] 何山, 李向欣, 邢卫宏, 李崇坚, 杜伟, 王云鹏. 国产大型矿井提升机交流调速系统 [C]. 中国第12届电气化年会论文集, 2004.
- [5] 李崇坚. 轧机主传动交流调速技术的现状与发展 [C]. 中国第12届电气自动化年会论文集, 2004.

(上接第8页)

风电设备不能长期依赖进口,必须扩大内需走国产化的道路,尽快掌握核心技术,形成产业规模,既可以满足国内有风源地区需求,又可出口到有风源的国家、地区。要实现风力发电机组国产化,必须实现产品的系列化、通用化、标准化。在全国争取建立5~6家具有工程能力的、提供成套风电发电设备的制造厂家,10多家零部件制造厂,从政府角度扶持1~2家风力发电工程技术中心,分南方、北方地区建立两个质量认证中心,规范技术监测要求。

目前进入风电制造业的企业,都想制造整机,有些零部件厂也有此打算,这必将导致重复引进,失去优势,造成同一水平线上的资源浪费。合理布局,分工协作,总装厂和零部件厂相互依存,各自发挥自身优势,充分利用资源,构建布局合理、配套齐全的产业,建立起我国有自主知识产权、有创新能力、能参与国际竞争的风力发电产业。

8 结语

我国石油储量日趋枯竭,预测在2020年前后出现石油开采衰竭。中国人口众多,资源不足,生态环境脆弱,能源成为制约国民经济发展的瓶颈。原油进口

量逐年增加,国家能源安全受到威胁。现在,国内原油年产量1.8亿t,每年需进口1.3亿t;到2020年,国内原油产量可达到2.3亿t,需求量为4.5亿t,需进口2.2亿t。相比较,目前俄罗斯年石油产量为4.7亿t,国内需求量为2.5亿t,有2.2亿t出口。

因此我国政府提倡建设节约型社会,目的就是为了节约能源,改善环境。到2020年单位GDP一次能源消耗比目前降低20%。通过电力电子的先进技术来改造我们的传统产业,电机系统节能工程是十大节能工程之一,电厂的风机、水泵、给煤机的驱动采用交流变频调速,以降低运行成本。

风能可以减弱工业化社会对化石能源的消费依赖,可再生无污染。资料显示,一台单机容量为1000 kW的风机与同容量火电装机相比,每年可减排2000 t的CO₂、10 t的SO₂、6 t的NO₂。风力发电技术成熟,单机容量大,建设周期短,是一种安全可靠的能源。从长远看,不论工程投资还是发电成本,都会逐步接近火电成本。因此,风电必将成为21世纪最具发展潜力的能源品种,是极具发展潜力的产业。

参考文献:

- [1] 2004年国家能源中长期发展报告 [R]. 北京: 2004.