

宝钢交流调速传动

GTO·GTR·SCR·GTO·GTR·SCR

宝 钢 工 程 指 挥 部
宝 钢 科 协 电 机 工 程 学 会

75.11.13

宝 钢 交 流 调 速 传 动

宝 钢 工 程 指 挥 部
宝 钢 科 协 电 机 工 程 学 会

1 9 8 7 . 9 .

前 言

当代的交流调速传动综合地运用了电力拖动、电力电子学、电子控制、微机控制以及控制理论等多方面的技术，它作为各种产业自动化的重要基础技术，近年来得到飞跃的发展，已成为电气传动控制技术领域中引人注目的时尚潮流。多种多样的交流调速方式可适应从简单到极高性能的不同层次的调速要求，当今业已进入产品实用化的发展阶段，新技术的运用层出不穷、新产品开发方兴未艾。交流调速它以独到的优越性和强大的生命力正在不断地争夺和更多地占据传统的直流调速的许多应用领域。

宝钢，这个拥有七十、八十年代先进技术的现代化企业是国外厂商显示自己雄厚技术实力的角逐竞争场所，恰似一个规模宏大的新技术博览会，而交流调速传动又是一个引人入胜的综合性橱窗，它几乎囊括了交流调速的所有方案，可视为交流调速技术发展历史和动向的一个集中缩影。

我国电气传动控制技术的发展离世界先进水平尚有一段差距，但急起直追，势在必行。借他山之石，可为攻玉，一家引进，百家受益。文集《宝钢交流调速传动》将以此为宗旨，试作抛砖引玉，愿与国内同行共同做到“掌握新技术，要善于学习，更要善于创新”，做好消化移植与推广的工作，为我国电气自动化事业的振兴共同努力。

本文集是收集宝钢各方工程技术人员在实际工作中进行消化引进新技术总结的专题系列汇编，它不是对国外技术发展动态作泛泛介绍的综述性文集，更不是关于理论探讨或科学实验的论著，亦不是论述基本原理的讲义教材，它着重于对实际系统的结构、环节、参数、特性、运行机理和工作数据作实在的介绍和说明，每篇独立成文。此外在组稿汇编中亦力求把宝钢各种交流调速方式不遗漏地包括在文集之中。

本文集可为国内交流调速技术领域内的科研开发与工程应用设计，大专院校的教材选例、研究选题，以及国家引进项目的方案比较与技术决策等方面提供借鉴和参考。

本文集的撰稿与审稿都在繁忙的本职工作之余来完成的，鉴于水平所限和时间仓促，难免有疏误之处，还望热心的读者给予批评和指正。

编者 1987.7.

主 编：熊莫南
编 辑：谢振德、韩雨民、王燕永
审 阅：陈济群、程舜华、周鸿章、谈鸣天
责任编辑：张春林
封面设计：史济国

• 内部交流 •

目 录

前言	(1)
交流调速及其在宝钢的应用(设备部谢振德)	(1)
高炉鼓风机48000kw 同步电动机可控硅变频起动装置(设备部 王燕永)	(15)
烧结余热回收风机绕线式感应电动机的串级调速(设备部吴鹤金)	(49)
VS 电机及其调速系统(设备部陆继中)	(73)
焦化厂干熄焦吊车线绕式异步机定子可控硅调压调速(设备部钱敬穆)	(89)
高炉除尘风机异步机VVVF 起动装置(设备部付信康)	(94)
炼钢厂440t/80t 大型起重机线绕式异步机饱和电抗器调速系统(炼钢厂周鄂均)	(109)
起重机用涡流制动器调速系统的分析(初轧厂陈劲柏)	(128)
初轧厂精整轨道异步机可控硅定子调速系统的分析(初轧厂陈劲柏)	(143)
起重机用线绕式异步机转子电阻可控硅斩波调速装置(设备部杨一中)	(165)
宝钢连铸机全交流传动(炼钢厂郭汉声)	(173)
宝钢连铸异步机晶体管 PWM 变频微机矢量控制调速系统(设备部熊莫南)	(210)
宝钢热轧厂R3粗轧机同步机直接变频器供电的矢量控制调速系统(重庆钢铁设计研究院朱鸿贻)	(229)
宝钢热轧厂辊道用异步机矢量控制调速系统(宝冶电装公司周永华)	(250)
关于直接变频器的功率因数和电流谐波问题的探讨(设备部刘传树)	(256)
交—交变频器供电的同步电动机矢量变换控制系统(热轧厂袁光迪)	(264)
宝钢能源中心计算机用高精度稳频稳压电源(设备部杨守前)	(275)
交流调速传动的分类与比较(设备部熊莫南)	(289)
编后记	(297)

交流调速及其在宝钢的应用

设备部 谢振德

电力调速系统分直流与交流两大体系,长期来,在调速领域中直流调速系统一直居统治地位。随着电力电子学的进步,交流调速技术得到飞跃发展,已进入与直流调速传动相媲美、相竞争的时代,並大有逐步取而代之的趋势。

宝钢是具有七十年代末(一期)、八十年代初(二期)世界先进水平的新型钢铁企业,其技术装备也具有相同年代的国际水平,在电气技术中广泛采用交流调速传动系统就是一个实例。在宝钢可说是各种交流调速技术都有所应用,真可谓一个交流调速的博览会。

一、调速系统的以交代直是其发展趋势

交流电机、特别是鼠笼式电机,由于结构简单、制造、使用和维护方便、运行可靠以及重量轻、成本低等优点,再加上有较好的工作性能和较高的效率,能满足各种生产机械的拖动要求,因此应用最广、需求量最大,几乎90%的电力拖动都采用异步电机作为原动力。但交流电动机必须依靠改变极对数、调节频率或滑差来调速,构成实用的高性能调速控制系统非常困难。在半导体技术尚未发展及频率控制这个技术难题没有很好解决之前,交流电机很难满足某些生产机械需要较宽广、平滑的调速要求。而直流系统调速的静态性能好、过载能力强且易于控制,因此直流电机在可逆转、可变速与高精度的传动领域内一直居垄断地位。但由于整流子和电刷的存在,却带来了一系列问题:

1. 安装环境受到了限制,不宜在易燃、易爆气体和尘埃较多等恶劣环境中使用;
2. 常因换向不良导致故障较多,严重影响生产的正常进行,为此而大大增加了维护工作量(需经常更换电刷、进行整流面保养、观察火花及其变化、电刷压力及结构尺寸的检查调整);
3. 由于换向问题这个先天弱点,使之受到极限容量、片间电压和整流子机械强度的限制,大容量电机不得不做成双电机、三电机甚至四电机结构。电枢电压最高一千多伏(目前最高只有1200伏),整流子线速度也较低;
4. 与同容量、转速交流电机相比,体积大、重量重、转动惯量大、价格高。

半导体变流技术、大规模集成电路和微机技术的发展,现代控制理论特别是矢量控制技术的应用,使交流调速技术发展很快,其调速性能已可与直流调速相媲美。许多国家已有系列产品,调速性能与可靠性正在不断完善,价格也在不断下降,为交流逐步取代直流传动开辟了道路。以轧钢主传动电机为例,过去多为直流电机,现已开始以交交变频器供电的用矢量控制的交流电动机来取代。81年以来,西德、瑞典一些钢厂在改造过程中,已用西门子公司开发的这种交流传动系统代替了原有的直流传动系统,並取得了良好的运行结果;改造工程迅速顺利完成。

荷兰、比利时的一些钢厂也正积极采用这种传动方案。在宝钢热轧厂谈判中,西门子公司

司曾大力推荐这种交流传动系统用于整个轧制线，由于种种原因，最后仅在轧机上采用了9000千瓦同步电动机的传动方案；湘钢、包钢等厂也与西门子公司签定了用它取代原有轧机直流传动系统的改造合同，不少钢厂也有类似改造的动向。以湘钢为例，750初轧机主传动用2600千瓦直流电动机将改为3200千瓦同步电机，为缩短改造时间，电机的安装尺寸完全相同，安装调试时间约为十天，今年4月已投入运行，成为我国轧钢主传动第一个采用交交变频调速系统的单位。连铸机械的全部交流传动化又是以交直直的一个典型实例。根据连铸生产的工艺要求，生产线上的各设备要能保持速度协调，并能连续调速和准确定位，过去这些机械大多采用直流传动，但连铸生产环境非常恶劣，除有大量导电粉尘外，还有大量水蒸汽，这对直流电机的整流子与电刷的正常可靠工作是非常不利的。目前，连铸全交流传动已取得相当的进展，如日本七八年以来新投产的六个大型板坯连铸机以及宝钢从日本引进的连铸厂的传动就都是全部交流化的。

为了更具体地对比交直流传动，现将宝钢热轧厂R3机架9000千瓦同步电机和F₅(F₆)精轧机用2×4500千瓦双电枢直流电机的有关技术数据列入表1之中，可以中看出交交变频传动确比直流传动具有如下系列优点：

表1. 交直流电机的主要技术数据对比表

机架	电机类别	功率(KW)	转速(r/min)	电压(V)	电流(A)	频率(HZ)	效率(%)	飞轮转矩(t·m ²)	过载倍数	总风量(m ³ /s)	总重量(t)
R3	同步机	9000	0~250/578	1650	3240	8.53/19.25	98.1	17.2	1.15/1.75/2	7.9	83.2
F5	直流机	2×4500	0~250/590	1184	2×3990	/	95.2	76.8	1.15/1.75/2	16.8	94.1

1. 转动惯量(飞轮转矩)大为减少，仅为双电枢直流电机的22.4%，这可使交流传动系统更能最佳化控制，也可显著减少其机械损耗；

2. 作为连轧机，由于极限容量的限制，9000千瓦直流电机已不得不采用双电机结构(日本报价书还为三电机结构)，而同步机则无此限制，全可用单枢结构，故安装方便、占地少、建筑费用节省；

3. 比直流电机效率高(高2.9%)、损耗小(小280千瓦，只有直流机损耗的39%)、冷却风量少(只有直流机的47%)，因此通风设备容量也少，可见节能是相当可观的。

4. 同步电机采用无刷励磁不受工作环境的限制，不仅提高了运行可靠性，还可大大减少运行维修费用；

5. 据西门子有关资料介绍，由于交交变频系统采用了特殊控制装置，比变流器供电的直流传动有较小的无功变化量。

总之，原来在调速系统中居垄断地位的直流传动正逐步朝交流传动方向过渡，这是一个总的发展趋势。

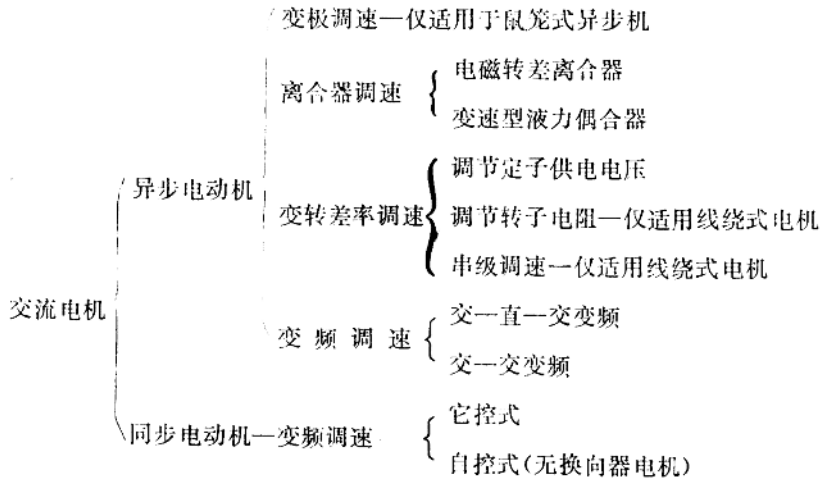
二、交流调速方案及在宝钢的具体应用

由交流电机转速公式

$$n = \frac{60f}{p}(1-s)$$

可知：同步电机因转差率 $s=0$ 及转子极对数恒定，仅能改变频率来调速；异步电机既可

改变频率和转差率来实现无级调速，鼠笼式异步电机还可改变极对数实现有级调速，也可通过离合器来调节被传动机械的转速。对于交流电机的各种不同的调速方案，可简单地归纳如下：



上述各种交流调速方案在宝钢几乎都有所应用，现将宝钢所有交流调速的一些典型实例。列于表2之中，并作如下简要介绍。

1. 变极调速

它是利用改变电机定子绕组的连接从而改变极对数进而获得两种或两种以上转速的，故属于有级调速。由于方法连接不同，可得到双速倍极比或非倍极比，也可得到三速甚至四速，主要用于调速要求不高的一些场合。70年代，英、日、苏等国就已造出了3200~5200千瓦的极幅调制单绕组大功率变极电动机。宝钢不少设备采用了变极调速电机，如焦化厂六台大型集尘风机就是用倍极双速电机拖动的(见表2)；烧结厂水道冷却风机采用了非倍极比双速电机(二台22千瓦、4/6极)；钢管厂的六台三速电机为52/68/78千瓦、8/6/4极、初步估计一期工程约有这种电机202台。

2. 电磁转差离合器调速

这种调速系统是由鼠笼式异步机、电磁转差离合器和控制装置三部分组成的，如图一所示。通过控制装置调节离合器的激磁电流大小从而调节拖动机械的从动轴的转速。由于激磁电流连续可调，故可实现无级调速，采用速度闭环后，速比可达10:1。这种系统控制单元容量小、装置简单，但离合器的电枢和磁极都是转动的，且转速常有差别，故其结构较复杂，安装精度要求较高，且常出现滑环、电刷引起的故障。由于低速运行时损耗大、效率低，只能用于调速要求不高且长期高速、短期低速运行的一些场合。日本安川公司有系列电磁转差离合器；国内也有JZT₁、JZT₂和TZTT等三个系列产品，系列的最大容量为

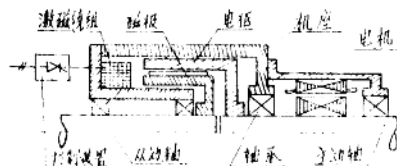


图1 电磁转差离合器调速系统示意图

表2. 宝钢主要交流调速应用实例(之一)

调速方案	应用场合	主要设备技术数据	系统特点	引进厂家	制造年月	备注
变极调速	焦化导焦车集尘风机	电机1100kw、3kv、12P/6P	反向变极法YY/Δ 有极调速985/495	安川(日)	81年	英国生产有 5200kw、 6P/10P日本 神钢生产有:
	焦化装煤车集尘风机	电机660kw、3kv、8P/4P	反向变极法YY/Δ 有极调速1450/735r/min	安川(日)	81年	4200kw、 11kv、 10P/12P、 60HZ
	焦化装煤车集尘风机	电机750kw、3kv、8P/4P	反向变极法YY/Δ 有极调速1450/735r/min	安川(日)	81年	
	钢管	电机52/68/78kw、380V、8P/6P/4P	反向变极法YY/YY/YY	BB(西德)	81年	
电液转差 离合器	焦化煤气排送机	电机830kw、3kv、985r/min; 离合器790kw、150V	调速范围: 665~950r/min 4套	安川(日)	80年	安川生产最 大容量已达 2000-2500kw
	焦化成型煤成型机	电机250kw、3kv、990r/min; 离合器200kw	调速范围: 425~850r/min 4套	安川(日)	80年	
	焦化硫胺结晶槽循环泵	电机210kw、3kv、990r/min; 离合器160kw	调速范围: 500~990r/min 1套	安川(日)	80年	
	炼钢转炉OG风机	电机3100kw、10kv、1430r/min KLV—100型离合器	调速范围: 600~1430r/min 3台	日本川崎		KLV为变速 型离合器, KLVVG为齿 轮减速机
变速型液 力偶合器	炼钢转炉风机	电机3700kw、10kv、1430r/min KLV—100型离合器	调速范围: 700~500r/min 1台	重工株式 会社		
	焦二次粉碎机	电机800kw、3kv、1430r/min KLVG—80型离合器	调速范围: 690~400r/min 5台			
定子调压	炼钢440/80T吊车主卷	电机2×355kw、3kv/515V、 730r/min、60%ED	定子饱和和电抗器调压 及转子电阻相结合 调速	日本 三菱 三菱	80年 80年 80年	
	炼钢430/80T吊车主卷	电机2×710kw、3kv/515V、 730r/min、60%ED				
调速	初轧钳式吊车主卷扬	电机400kw、3kv/410V	定子可控硅调压调速范围 59~590r/min 及转子电阻调 速相结合	日本安川		
	焦化CDO吊车主扬	电机4×160kw、380V/410V、 10P、60%ED				
	焦化CDO吊车走行	电机2×75kw、380V/330V、 8P、60%ED				
	焦化CDO吊车小车走行	电机2×22kw、380V/192V、 6P、40%ED				

表2.

宝钢主要交流调速应用实例(之二)

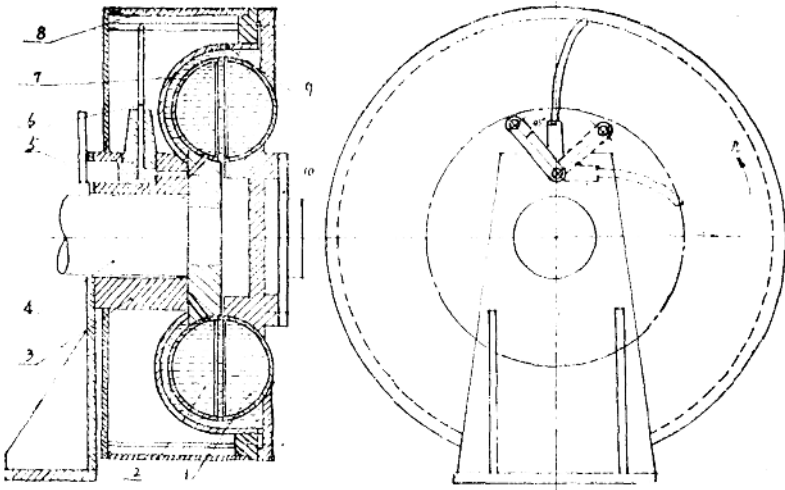
调速方案	应用场合	主要设备技术数据	系统特点	引进厂家	制造日期	备注
串级调速	烧结余热回收风机	电机880kw、3kv、4极转子电压884V 逆变器1000kVA、700/3000V、 $\Delta/\Delta-12$	低同步串调系统,调速范围为576~1440r/min 转子串电阻低速启动	日本三菱公司		已有20000kw次同步串调系统拖动离心泵
交-直-交变频调速	高炉一、二次除尘风机	鼠笼式电机1600kw、3kv、6P 输入变压器1000/500/500kVA、3kv/510V/510V 输入变压器425/425/850kVA、480/480/1750V	为电机0~600r/min的低速启动装置,变频装置为变压器耦合二重化串联二极管式电源型由电抗器连续启动到全速	日本安川公司	80年	
	连铸一般辊道	鼠笼电机3.7—132kw共122台、380V 变频器为VS—616H系列	PWM型,整流桥为硅二极管 逆变桥为电力晶体管,调速比1:40,调速精度0.01%	日本安川公司	87年	
	连铸大包回转台、结晶器、振动器、夹送辊、堆焊机升降台等	鼠笼电机5.5~160kw共160台、320V 变频器系列为VS—686TV	PWM型,用微机进行矢量控制,整流桥与逆变桥都为电力晶体管,都有功率型二极管,调速比高达1:200,精度 $\pm 0.01\%$,可再生制动	日本安川公司	87年	
	热轧高速运行辊道	鼠笼电机11kw、500V共382台	PWM型调速范围0~1600r/min	西门子公司	87年	
交-交变频调速	热轧R3轧机	同步电动机9000kw1650V 4极 三台三绕组变压器11400/5700kVA、35kv/2 $\times$ 1650Y/Y/ Δ 两 组变频器并联供电,可控硅桥臂共720个	矢量控制、调速范围为0~250/578r/min	西门子公司	87年	
	热轧中间辊道等	鼠笼电机5kw500V共131台	矢量控制、调速范围为0~244r/min	西门子公司		
无换向电机	高炉鼓风机	同步电动机48000kw10kv、2P 整流变压器18900kVA、10/12kv、变频装置 12000kVA每臂12串可控硅元件1500A/4000V	变频装置为交直交型,即直流型无换向器电机,为电源型,变频启动为30~3000r/min,30r/min以下由专用电机盘车	日本东芝公司	80年	

100千瓦。

宝钢焦化、烧结、炼钢、中试室等单位用了不少这种调速电机，至少有一百多台（焦化40多台，烧结30多台，容量从1千瓦到830千瓦，分别由日本安川（称VS电机）、三菱（称AS电机）和东芝（称EC电机）等公司生产。最大容量为安川公司提供的用于拖动焦化煤气排送机的830千瓦电机（共四套），还有拖动成型煤系统成型机的250千瓦电机四台、拖动硫胺结晶槽循环泵的210千瓦电机一台等。

3. 液力偶合器调速

液力偶合器是交流电动机与被拖动机械之间通过液体传递动力的联轴器，分恒速型与变速型两大类。变速型由一次叶轮、二次叶轮及勺管组成，二个叶轮相对安装并分别与电动机和生产机械相连，如图2所示。通过改变勺管位置以调节导入联轴器中工作液体的数量，从而达到调节从动轴（即生产机械）转速的目的。它可实现无级调速，速比范围可达1:4。这种离合器因是软连接，故主要优点是吸收振动、减小冲击，防止电动机与生产机械的动力过载，多用于功率随转速降低而急剧减少的场合，如离心泵，鼓风机等。



- | | | |
|----------|---------|--------|
| 1—一次叶轮、 | 2—二次叶轮、 | 3—导管支架 |
| 4—从动轴 | 5—调节把手 | 6—勺管 |
| 7—壳体 | 8—贮油室 | 9—排油孔 |
| 10—主动轴法兰 | | |

图2 变速型液力偶合器结构简图

宝钢炼钢、焦化、炼铁厂等单位采用了这种调速方案，如炼钢厂三台转炉OG系统风机就用了日本川崎重工业株式会社生产的型号为KLV—100的变速型液力偶合器，电动机功率3100KW、转速1485r/min，偶合器输出转速为430~1435r/min。焦化厂五台二次粉碎机采用了KVLG—80型液力变矩器（G表示带齿轮减速），其拖动电机为800KW 4极，调速范围为400~690r/min。

4. 变阻调速

只能用于线绕式异步机，是通过改变转子回路外串电阻以改变电机的机械特性斜率，从而实现转子调速的。由于转差功率白白消耗在转子电阻中，故能消耗、效率低，又因电阻只能分段调节，故为有级调速，特性软，多用于调速要求不高且需增大起动转矩的 吊 车 拖 动上。宝钢四百多台一般吊车多用此法。

5. 调压调速。

是利用异步电机电磁力矩与定子电压平方成比例的特点来调速的，定子电压可利用可控硅或饱和电抗器来连续调节，从而实现无级调速，对线绕式电机则仍需改变转子串接电阻来配合，通过速度闭环，调速比可达10:1。这是一种较简便的调速方法，且有造价低、维修方便的优点，但能耗大，故只能用于调速范围较小且重复短时进行调速的负荷中。

宝钢炼钢、初轧、焦化等厂的大型吊车与特殊吊车都采用了线绕式电机定子调压并辅以转子调电阻的无级调速方案。对于3KV电机，是用饱和电抗器调压调速的如炼钢厂四台440/80T吊车、三台430/80T吊车，其主卷扬分别由二台355KW或二台710KW 线绕式电动机拖动；初轧厂五台30T钳式吊车也是这种调速方式，主卷扬电机为400KW。它们都是日本三菱公司提供的，如图3所示，之所以选用饱和电抗器，是因为3000V 高压采用可控硅还有各种技术问题。对于用低压(380V)电机的特殊吊车，几乎都采用可控硅来调压，如焦化厂干熄焦吊车用的主卷扬机，它是由四台160KW、10 极线绕式电机同轴拖动的，其主回路如图4所示。

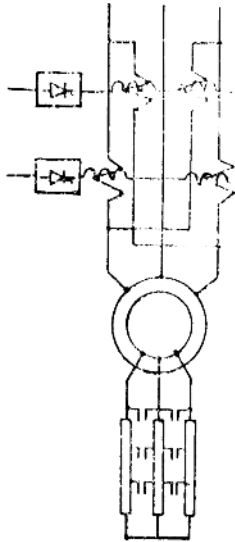


图3 440/80t 吊车串饱和电抗器调速主回路图

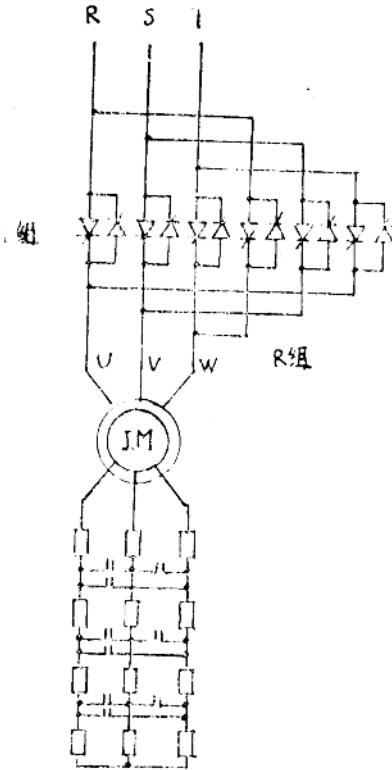


图4 可控硅调压调速主回路图

6. 串级调速。

这种调速方案必须采用线绕式电机，它是通过改变串在转子回路中附加电势的大小来调节转速的，可分高同步与低同步两大类。目前国内外尚普遍采用低同步串调系统，如图5所示。串级调速的主要特点是转差功率可通过逆变变压器回馈到电网中去，从而大大提高了系统的效率(约90%)，即使在低速时也降低不多，主要缺点是功率因数较低。串级调速是一种节能效果显著的比较经济的调速方法，它比变频调速、无换向电机等近代交流调速的主回路和控制系统简单，还具有易于维护检修、运行可靠的特点。万一串调逆变装置发生故障，它仍可把转子回路转换到短接状态而全速运行，故是近代交流节能调速的主要发展方向之一，广泛用于风机、水泵的节能调速及压缩机、水泥厂回转窑和矿井提升等调速机械的拖动上，特别适用于调速范围窄、容量大的拖动系统目前已知的最大容量为拖动大型离心泵的20000kW低同步串调系统。

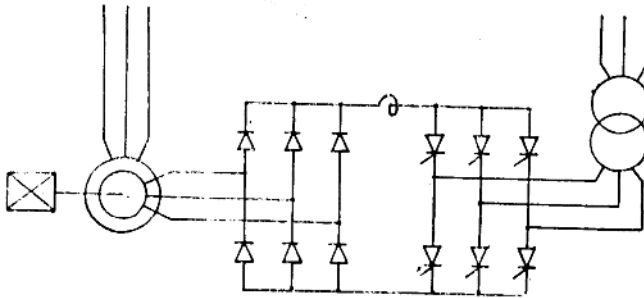


图5 低同步串调系统主回路图

宝钢烧结车间余热回收风机就采用了日本三菱公司提供的低同步串级调速系统，其线绕式电机的主要技术数据为： P_H 为880kW、 V_H 为3000V调速范围为576~1440r/min、转子开路电压为884V；逆变变压器为1000kVA、变比为700/3000V。该电机转子回路出口处还并了一套起动电阻器，用于低速时的起动，当电动机转速上升到需调速的最低转速时，会自动地切换到串调运行状态，当电机停车时，则先把电阻器串入转子回路，再退出串调系统，使之进入能耗制动状态，使电机尽快地停下来。

7. 变频调速。

它是通过改变定子供电频率来调节电机转速的。为了保证电机有着良好的运行特性，在变频时必须改变定子的供电电压，即给电机供电的变频器必须兼有调压调频两个功能，以保证 $v/f = \text{常数}$ ，这就是所谓的VVVF调速。这种变频调速既可用于同步电机，又可用于异步机，特别适用于结构简单的鼠笼式电机。这种调速可使电机在整个调速过程中一直保持较小的转差率，因而效率高、调速范围宽、调速精度高，是一种较理想的调速方案。采用矢量变换控制的变频调速能象直流电机那样，对定子电流的转矩分量和磁通分量分别进行控制，并利用微机实现数字运算控制，这是最有发展前途的一种交流调速方式。

变频调速方案很多，按其变频器结构常分交—直—交和交—交两大类；而按滤波方法不同，又可分为电压源型(直流侧串大电容)和电流源型(直流回路串大电感)。为了改善变频器输出波形和减小谐波分量，实现高效率和精密控制，近年来发展了脉宽调制(PWM)型变频器和多重化技术。

PWM型变频器通常为电压源型，变频变压都可由逆变器承担，靠改变脉宽控制其输出电压，通过改变调制周期来控制输出频率。由于可采用高频脉宽调制，使谐波分量小，並可实现高效率、深调速和精密控制，尤其是采用微处理器来实现矢量变换控制和产生 PWM 调制信号时，则变得愈来愈方便、灵巧地实现高性能控制。PWM的直流电源采用二极管整流装置，使其输出电压恒定不变，这样不但可提高系统的功率因数，而且一套整流器可供多套逆变器共用，在直流母线上得到再生能量的交换，每套逆变器又可同时拖动几台电机以实现多机传动，这是PWM控制电路的一个优点，很适用于给冶金企业等的辊道调速传动。宝钢二期工程的连铸与热轧二个单元就广泛采用了这种变频调速系统。连铸厂在线设备的380台拖动电机中，几乎75%(282台)的电机都采用了PWM型调速系统。电控系统由日本安川公司提供，主要有两种系列产品。一是VS—616H，它的整流桥由硅二极管组成，逆变桥采用电力晶体管，如图6所示。其最大容量为160kw 连铸厂电机容量范围为3.7~132kw，调速比

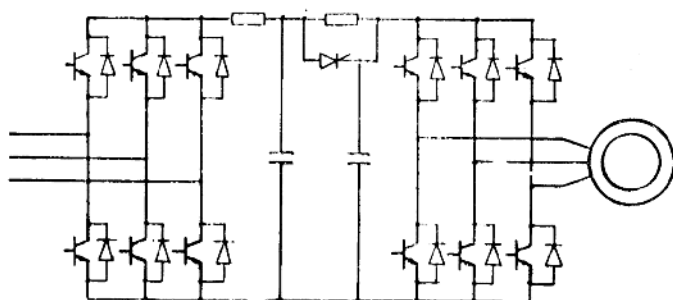


图6 VS—616H调速系统图

1:40，精度可达0.01%。另一系列为VS—686TV，是利用微机以数字方式进行矢量控制的，整流桥和逆变桥都由电力晶体管组成，如图7所示，其调速比可高达1:200，控制精度为 $\pm 0.01\%$ ，连铸厂共有160台这种控制的电机，其容量为5.5~160kw。对于整个变频调速系统，167套逆变器由28套整流器供电，118台辊道电动机由20套逆变器供电，而对调速要求较高的辊道（如夹送辊或频繁起、制动的成组驱动辊道以及要求准确定位的传动等，则采用高精度的矢量控制的鼠笼电机，它们都是一套逆变器控制一台电机。热轧厂的高速运行辊道（如精轧机组后的输出辊道也是由PWM型变频器供电的鼠笼电机拖动的，共有380台电机（11kw500v 0~1600r/min）。对于小容量、调速性能要求不太高的场合，可采用斩波器调压的PWM型变频调速系统，其特点是线路简单、工作可靠。西德为钢管厂提供的数控机床就采用VLT—2 PWM变频调速系统，见图8。

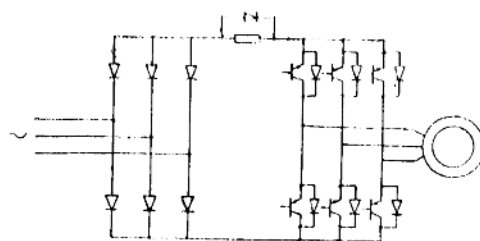


图7 VS—686TV调速系统图

所谓多重化技术就是多组(2~4组)逆变器并联运行，使输出波形由矩形变成多级阶梯形，从而大大减小了高次谐波造成的不利影响，尤其是采用变压器耦合输出型的多重化技

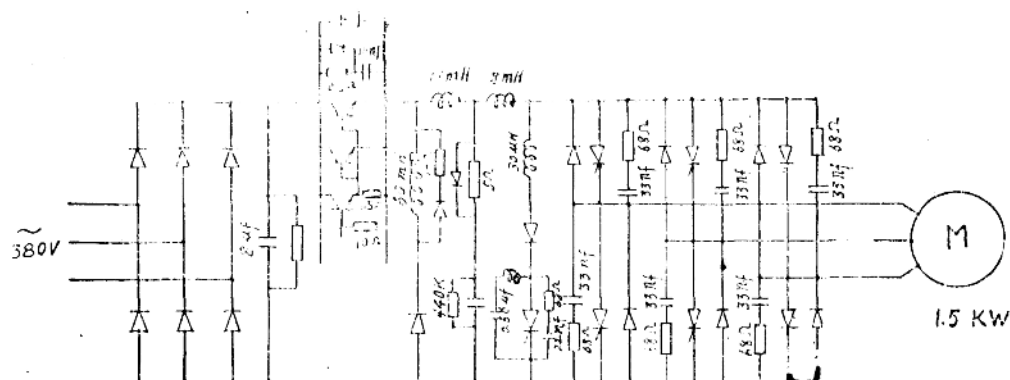


图8 西德VLT—2型变频器主回路图

术, 它可完全消除某些特定次数的谐波, 进一步改善输出波形, 如二重化输出只含 $12k \pm 1$ 次谐波, 即对电机影响最大的五次、七次谐波完全消除了。三重化、四重化输出则分别只含 $18k \pm 1$ 或 $24k \pm 1$ 次谐波。可见多重化技术对削弱高次谐波的卓越成效。对于高压电机采用变压器耦合型是更为有利的, 这样可不采用耐高压的可控硅, 随着变频器容量的不断扩大, 逆变器每个桥臂往往需要几个可控硅并联, 这时采用多重化技术并不增加可控硅数量, 甚至还可减少换流装置的容量。多重化技术多用于电流型变频器。宝钢一号高炉出铁场一、二次除尘各有二台风机。各由一台 3kV、1600kW、6 极鼠笼式电机拖动。由于除尘风量周期性变化, 故每台风机都是间歇式工作, 为此设置了一套变压器耦合二重化技术的电流型变频装置 (如图 9 所示) 以供四台电机在低速段 (60% n_n 以下) 时轮流起动, 高速段由电抗器来承担。之所以采用两种起动装置分段起动是为了减少变频器的容量 (约电机容量的 50% 左右), 经论证这是一种较经济的变频起动控制装置。

交—交变频器又称直接变频器或循环变频器, 可将电网的交流电直接变成电压和频率都可调的交流电输出。这种变频器实质上是一些可控硅开关的组合, 通过控制器使它们依次接通电源的各相, 从而组成交—交变

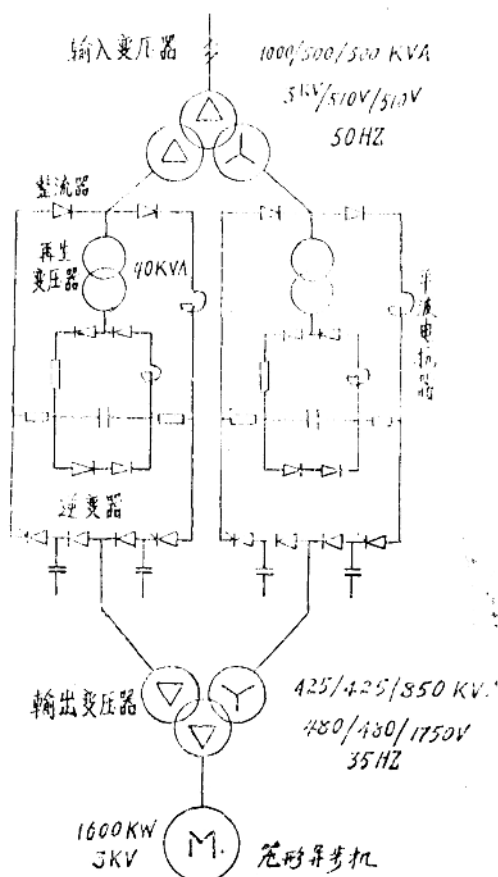


图9 变压器耦合二重化电流型变频装置主回路图

频器的输出波形。常用主回路结构有无环流反并联和有环流交叉连接两种；按控制方式又可分电流型与电压型两大类。由于电流型仅注意控制输出电流的幅值和波形，故不但简化了线路、降低了成本，而且还大大提高了工作可靠性。尤其是通过矢量控制技术的应用，使其频率和幅值都按所需的三相正弦电流变化，使之具有和直流传动系统相当的调速特性，成为较理想的高性能调速方案。又因交—交变频为一次换流，故效率较高，并可满足四个象限运行的要求。缺点是最高频率受电网频率的限制，一般为 $1/3 \sim 1/2$ 电网频率以下，所用可控硅元件较多，功率因数较低。但对于运行速度不高的轧钢主传动来说，输出频率低还是比较合适的。西门子公司81年来为西德、瑞典、加拿大等国提供了多套交—交变频器供电的同步电动机调速装置，最大为用于瑞典宽带钢热轧机的9500/23500kw (1650V、0~7/14HZ)。宝钢热轧厂R3轧机也采用了西门子公司提供了交—交变频器供电的9000kw同步电动机来拖动，如图10所示，它是由两组交—交变频器并联供电的，电压109000kw、1650V、0~250/578r/min。对于一些低速辊道(如热轧粗轧机R3和切头剪之间的中间辊道及延迟辊道等的辅传动也采用了这种调速方案，这种辊道电机共有131台、5kw、500V、0~24r/min。

8. 无换向器电动机。

“无换向器电机”是指具有磁极位置检测器的由可控硅变频装置供电的同步电机系统，按变频装置分为直流(交—直—交)和交流(交—交)两大类。它们既有与直流电机相似的优良调速性能，又有交流电机结构简单、制造容易、没有换向器便于维护、容量不受限制兼有同步电机功率因数好等优点，故这种近年发展起来的新型调速系统，受到了人们的广泛关注，特别宜于制成大容量、高转速的调速系统。存在的主要问题是过载能力低，它能适用于轧钢、化纤、造纸等工业调速传动上。

宝钢高炉鼓风机拖动用48000kw同步机是采用变频起动的，在起动过程中，该同步机系统就是一台无换向器电机。变频装置为交—直—交电流源型，输入电压为12kv，输出电压为10kv；由于电压高，故每个桥臂都是由12个4000V、1500A可控硅串联而成的；为解决高低电位的隔离，采用光导纤维组成的间接光电耦合式触发系统。由于仅用作起动装置，其容量为12000kvA，约为电机容量的1/5左右。位置检测器有两套，低速(22.5% n_n 以下)时采用机械位置检测器(因是二极电机，故每隔60°装一个接近开关)；在高速时则采用电气位置检测器(反映的是主回路电气参量)，以控制逆变器的 β 角。这套系统由日本东芝公司提供，三台

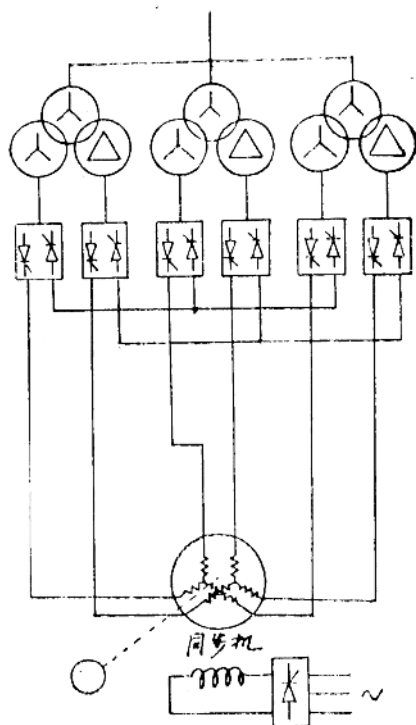


图10 热轧9000KW同步电动机的交交变频调速供电系统图

电机(目前为二台)共用一套变频起动装置。

三、交流调速的节能意义

在能源紧张的今天,节能是一个迫切需要解决的问题,其呼声最高的是风机、泵类负载其理由一是使用范围最广,二是节能最有潜力。以我国电网总负荷为例,交流电机的用电量约占70%,其中仅风机、水泵类的拖动电机就占了全国用电量的31%,占全国工业用电量的40~45%,全国现在风、水泵类电机装机总数为1530万台,因此在它们中大力推广节能技术是具有极其重要意义的,也是大有可为的。因为风机、泵类负载轴功率与流量、压力的乘积成正比,而流量与转速成正比,压力与转速平方成正比,故轴功率与转速的立方成正比。不少风机、水泵是有流量调节要求的,过去大多采用调节挡板或阀门的方案,此时电机转速不变,仅调节阀门之大小,如减少风量时靠减小阀门的张开度,这时管阻增加、压力加大,故轴功率减少不多。若采用调节转速的方案,这时阀门全开,管阻不变,轴功率大幅度下降,节能效果异常显著。以一台100kw电机为例,当所需风量减少一半时,若用阀门调节,电机输入功率为80多千瓦,而用调速方案,则只有12.5kw,即算加上调速装置的损耗,也不到16kw,说明采用交流调速方案是非常必要的。据文献[4]介绍,采用交流调速技术至少比阀门调节的老系统节能10~15%以上。目前我国投产运行的风机、水泵、已用交流调速的还不到一万台,仅占万分之六左右,真是少得可怜。因此不仅新装的有流量调节要求的系统应力求采用交流调速技术,对老系统进行技术改造也是迫不急待的,仍然是有巨大经济意义的,不但可节省能源,收回投资的周期也是很短的,表3列出的一些改造实例的经济效果就充分说明了这一点。各种交流调速方案都可用于风机风量的调速,但控制效率最高的是无换向器电机,其次是串级调速和电流型变频调速,而效率最低的是转子串电阻和液力偶合器调速。

表 3 交流调速应用实例

装置名称	容量(kw)	调速方案	与老产品比较全年节电(104kw·h)	投资收回时间
上水泵	560	串级调速	98	一年
鼓风机	510	液力偶合器	70	一年二个月
通风机	40	串级调速	4~6	一年半
通风机	55	变极滑差	6.4	一年半

宝钢不少大容量风机都有流量调节的要求,为此采用了交流调速传动方案以实现转速调节流量的目的,达到了显著的节能效果。如炼钢转炉OG系统诱引风机在炼钢吹炼时(16分钟)需要高风量,其风机速度为1430r/min,轴功率为3100kw,而非吹炼时(20分钟)风量可大大减少,风机速度可降至600r/min,轴功率仅310kw。这样不但可大大节能,当转炉按三吹二计算时全年可节电2000万度;而且还由于风机在低速运转时,吸入冷却空气量少,汽车冷却器热损减少,改善了汽化冷却器的运行条件,提高了使用寿命。又如转炉二次除尘系统仅在转炉兑铁水和停炉切割沾钢时要求大排风量,这时风机以700r/min(3700kw)的高速运转,其它时间可减少排风量,风机可降速至500r/min运转。根据炼钢工艺,在36分钟的冶炼周期中,要求高风量的兑铁水时间仅4分钟,这样在采用液力偶合器调速方案后,全年预计可节电1850万度。再如高炉出铁场有一、二次除尘风机各二台(每台风机的电机为1600kw),其