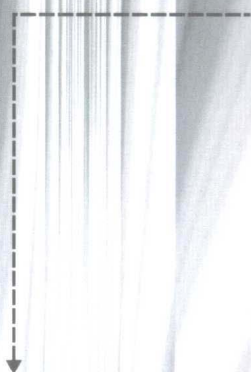
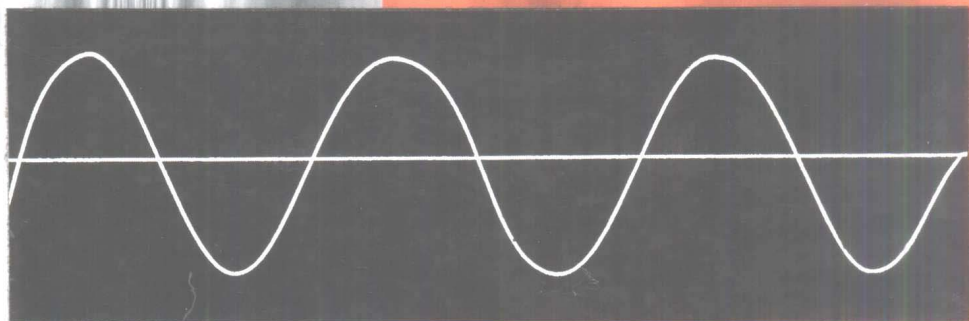


王占奎 等 编



# 变频调速应用

# 百例

科学出版社

# 变频调速应用百例

王占奎 等编

科学出版社

1999

## 内 容 简 介

变频调速技术是现代电力传动技术的一个主要发展方向。变频调速装置具有优异的调速性能和显著的节电效果,是企业进行技术改造和设备更新换代的理想装置。

本书是1994年出版的《交流变频调速技术应用例集》的修订版,其中新增内容近一半,全书共介绍106个变频调速技术应用实例,涉及变频调速装置在钢铁、有色冶金、石油、化工、纺织、电力、机械、医药、造纸、卷烟、建材、城市供水等各行业的应用。具体内容包括变频装置在各种情况下的使用、使用中可能出现的问题和解决办法,以及使用变频装置的效益分析和变频调速的原理等。

本书可供各类企业的技术人员、企业管理人员,以及大、中专院校机电、自动控制专业的师生参考。

## 变频调速应用百例

王占奎 等编

责任编辑 魏 玲

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号  
邮政编码:100717

新蕾印刷厂印刷

科学出版社出版发行

\*

1999年4月第 一 版 开本:787×1092 1/16

1999年4月第一次印刷 印张:25 1/2

印数:1—7 040 字数:591 000

ISBN 7-03-007350-9/TN·230

定价:32.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

## 前 言

交流电机采用变频调速技术是当代电机调速的潮流,它以体积小、重量轻、精度高、通用性强、工艺先进、功能丰富、保护齐全、可靠性高、操作简便等优点优于以往的任何调速方式,如变极调速、调压调速、滑差调速、串级调速、整流子电机调速、液力耦合调速,乃至直流调速。因而深受钢铁、有色、石油、石化、化工、纺织、机械、电力、建材、煤炭、医药、造纸、卷烟、自来水等行业的欢迎。

变频调速技术的优越性表现在两个方面:一是节电显著;二是提高产品质量和产量。茂名石化公司从1990年先后在糠醛、蒸馏、催化、酮苯等20多条生产线使用变频装置161台,变频器总功率达8091kW。1990年10月至1992年2月对其中30台泵进行测试,在同样工艺条件下,采用调节阀控制的电耗为999.9kW。采用变频控制的电耗为396.7kW,节电603.2kW,节电率60.3%。采用变频控制后,电机和泵的转数下降,轴承等机械磨损降低,泵端密封系统不易损坏,机泵故障率降低,维修工作量大为减少。1994年后,该厂又用了6kV大容量变频装置,节电40%到70%。1995年11月14日中国石化报第一版发表了“茂名石化公司炼油节能跃居同行业前面”的报道,文章称:“仅通过变频调速技术一年就节电2000万千瓦时”。承德钢铁公司炼钢厂三套20吨转炉倾动和氧枪升降采用变频控制替代直流控制后,可靠性极大提高。从1994年5月运行以后,至今没有因变频控制而出故障,年增产钢1.5万吨,节电22万千瓦时。经济效益231万元,1995年通过机械部鉴定。株洲冶炼厂锌浸出渣挥发回转窑是回收锌的主体设备,共有三台,窑外直径2.8米,长44米,原用整流子电机和滑差电机拖动,故障多、经常跳闸、维修量极大,由于现场环境恶劣,导电尘埃多,电机火花不断,刷握、碳刷频繁更换。1990年小修56次,更换碳刷1670只,刷握647只,严重影响了生产。1991年6月该厂完成了回转窑的变频调速改造。改造后,运行平稳、可靠、操作简单,年节电12万kW·h,超产117.82万元。1995年,大庆腈纶厂纺丝生产线20个工位采用变频PLC速度链控制,频率精度千分之一赫兹,牵伸倍率1.4,达到90年代国外先进水平,提高了产品质量和产量。1996年通过中石化总公司鉴定。粘胶长丝行业多用小型高速电机(9000转以上),需150Hz,160V电源。过去多为中频机组调速,噪声大、体积大、稳定性差、可靠性差。采用变频(称静变频)电源后,可靠性高、稳定性高,提高了产品产量、质量。邵阳化纤厂、湖北化纤厂、丹东化纤厂、吉林化纤厂、九江化纤厂等应用静变频技术都取得了成功。无数实例表明,变频调速是电机调速的最佳方式,是企业技术改造和产品更新换代的理想设备,必将成为工业驱动的中枢。

本书编进文章106篇,都是应用变频调速技术的真实报告,其中钢铁冶金行业27篇,石油、石化行业28篇,化纤纺织行业13篇,化工医药行业10篇,造纸行业5篇,机械电力行业7篇,煤炭行业2篇,建材行业2篇,卷烟行业1篇,自来水行业1篇,酒店行业1篇,高架旅游车应用1篇,后面8篇为高压大容量变频器的应用。《变频调速应用百例》是《交流变频调速技术应用例集》(1994年,科学出版社出版)的修订版,内容比原书丰富了许多,

增加了不少新的内容,使其更具广泛性、实用性。百例不但是电气工作者、设备技术人员工作的参考书,也可作为致力于节能及质量工作的企业和政府工作人员及专家的参考书。

深圳华能电子有限公司陈滨岛、许海虹、杨恒之、陈辉明、孙伟远、赵煌雄、林东宇、丁永汀、谢勇、杨波、付洪斌、徐晓军、余保红、赵明,深圳银利有限公司徐秉寅、张伟明、李瑞常、蔡晓健、郭建军、邹言、卢庆新,深圳华能控制系统有限公司尚小平、郑经文等参加了本书资料的收集。初稿承蒙东北大学刘宗富教授审阅,在此一并致以谢意,借此机会,也向为本书提供资料的各业朋友表示感谢!由于提供资料的行业差异,本书各篇论文的物理量自成体系。由于时间和水平所限,书中必有欠妥之处,欢迎批评指正。

王占奎

1998年8月8日

# 目 录

## 前言

变频调速技术在炼钢厂 20 吨转炉倾动和氧枪升降上的应用 .....	1
变频调速技术在回转窑上的应用 .....	10
变频调速装置在电渣炉电极进给系统中的应用 .....	15
50 吨超高功率电弧炉自动加料系统 .....	19
PWM 交流开环反串匹配变频系统在拉丝机上的应用 .....	22
变频器在冷连轧机组中的应用 .....	28
变频调速技术在焦化厂堆取料机上的应用 .....	30
变频调速器在多功能卸煤机上的应用 .....	32
变频调速技术在斗轮取料机技术改造中的应用 .....	34
钢水运送车交流变频调速系统的研制 .....	36
变频调速器在轧钢加热炉鼓风机上的应用 .....	40
位置控制器与通用变频器构成的 APC 系统 .....	44
高炉上料系统的变频调速改造 .....	50
变频器在回转窑调速控制中的应用 .....	54
浅谈变频调速器在有色冶炼厂的应用 .....	58
变频调速器应用在干燥窑收尘排风机上的节能分析 .....	62
轧机冷床辊道变频调速技术应用 .....	67
用变频调速方案替代特殊调速电动机 .....	69
变频器在桥式吊车上的应用 .....	72
变频调速器在辊道上的应用 .....	74
交流变频器在重负载型锤式破碎机上的应用 .....	77
变频调速技术在高炉卷扬上的应用 .....	81
交流变频调速器在砂泵上的应用 .....	83
连铸机二冷水恒压变频调速改造 .....	88
变频调速装置在供水系统中的应用 .....	91
变频调速技术在循环水泵系统上的应用 .....	100
变频调速系统在闪速炉水淬渣循环水泵改造中的应用 .....	103
应用变频调速技术,降低企业能耗 .....	105
变频技术在炼油厂机泵上的应用 .....	111
采用通用型 PWM 变频器改造螺杆挤压机调速系统 .....	116
油码头螺杆泵减振降噪治理 .....	124
SANKEN 变频器的特点及应用例 .....	128

大功率晶体管变频调速系统在炼油化工厂的应用·····	132
变频调速技术在炼油生产装置中的应用·····	138
变频调速技术在林源炼油厂的应用·····	141
变频器在炼油厂常减压装置中的应用·····	143
变频调速技术在抚顺石化炼油厂的应用效果·····	145
变频调速技术在生活水泵上的应用·····	147
交流变频调速技术在尤里卡装置沥青泵上的成功运用·····	150
变频调速器使用情况总结·····	152
变频调速器在苯乙烯 EC-301 冷却风机上的应用·····	158
变频调速器使用情况总结·····	162
65t/h 中压锅炉风机变频调速系统·····	164
茂名石化公司炼油厂变频调速器应用情况介绍·····	173
变频调速器在糠醛精制装置上的使用效果·····	180
交流变频器在高压甲氨泵上的应用·····	182
焦化桥式吊车变频调速控制系统·····	186
20 吨桥式起重机变频调速研制报告·····	194
变频调速器在白土装置上的应用·····	197
变频器在污水曝气机上的应用·····	200
尿素生产装置中尿素-甲泵的技术改造总结·····	202
宁夏化工厂尿素造粒离心机的变频调速改造·····	205
交流变频器在海上石油平台上的应用·····	207
变频调速和串级调速对比试验报告·····	209
变频调速节能装置在输油泵上的应用·····	213
交流变频调速技术在腈纶生产中的应用·····	219
引进变频调速技术总结·····	224
变频调速技术在粘胶纺丝上的应用·····	228
变频器在卷绕机上的应用·····	234
一种新颖的圆网印花机多电动机交流变频同步调速系统·····	236
交流变频技术的应用·····	241
涤纶厂切断机电气控制系统改造研制报告·····	245
前纺变频器 PLC 控制系统研制报告·····	248
处理变频拖动系统再生能量的一种有效方法·····	251
变频器在纺丝生产线上的应用例·····	254
变频器在涤纶厂的应用实例·····	257
交流变频调速器在空调风机上的应用·····	258
交-直-交 PWM 变频调速装置在毛纺厂中央空调系统中的应用·····	262
变频调速器在染料厂的应用·····	265
交流变频调速器在制碱厂的应用·····	269

变频调速器在聚丙烯造粒挤出机上的应用·····	271
交流变频调速器在化学试剂厂生产线上的应用·····	273
交流变频调速器在锅炉风机上的应用·····	275
锅炉改造中应用变频调速器的节能效果·····	279
交-直-交变频调速装置在溴素厂酸法吹溴系统中的应用·····	282
谈变频调速器在制药厂发酵罐上的应用·····	286
变频调速器在锅炉风机上的应用·····	287
变频器在水煤气制造中的开发应用与节能·····	292
变频器在抄纸机上的应用·····	298
造纸机的理想拖动系统·····	301
变频器在连续蒸煮装置中的应用·····	303
交流变频调速装置在造纸工业中的应用初探·····	306
交流变频调速技术在造纸工业中的应用·····	308
变频器在磨床上的应用·····	312
变频器在电梯控制中的应用·····	315
用变频调速器作实验电源初探·····	319
用变频调速器作电源调试出口机电设备·····	322
浅析变频调速技术在水泵上的应用·····	324
变频调速器在火力发电厂的应用·····	328
变频调速技术在电厂锅炉排粉机上的应用·····	331
变频器应用总结·····	336
交流变频调速技术在煤矿“铁牛”上的应用·····	339
变频调速器在回转窑尾排风机上的应用·····	341
变频调速技术在机立窑风机系统上的应用·····	343
变频调速器在昭通烟厂卷接包联合机组上的应用·····	349
应用交流变频器情况小结·····	352
变频调速与节约用电·····	355
高架游览车变频调速控制系统·····	359
高压变频器在炼油生产中的应用·····	363
高压大容量变频技术在炼油厂的应用·····	367
大功率水泵变频调速节能探讨·····	369
北京市水源九厂变频调速技术设计应用总结·····	373
高压电动机变频器在火力发电厂的应用·····	380
高压交流变频调速技术在转炉高压鼓风机上的应用·····	386
高电压大功率异步笼型电机变频调速应用技术探讨·····	391
高压变频调速装置在化肥厂甲氨泵上的应用·····	396



# 变频调速技术 在炼钢厂 20 吨转炉倾动和氧枪升降上的应用

迟桂友

(承德钢铁公司机动处)

承钢炼钢厂于 1986 年建成投产,该厂有 3 座 20 吨顶底复合吹转炉和 2 台方坯连铸机,设计时采用了当时国内外的一些新工艺、新设备,如顶底复合吹炼、吹氩、废气回收等。电控系统是当时国内比较先进的模拟量恒磁通逻辑无环流直流拖动系统。该厂建成后使承钢的炼钢生产能力大幅度提高,从而也使该厂的生产在承钢占有举足轻重的地位。1994 年 5 月,意外事故造成 3 座 20 吨转炉全部停产。在这种万分紧急的情况下,为恢复生产,在有关专家的指导下,承钢率先在钢铁冶金转炉上大胆采用了具有最大转矩限定功能的全数字式交流变频调速技术,用以取代原来的直流拖动系统,并获得了成功。调试运行结果表明,新采用的交流变频调速系统具有完全可以与原直流系统相媲美的平滑调速特性,完全满足工艺要求。而且,调速装置体积较小、功能全、集成度高,相当于国际 90 年代水平。尽管操作人员的操作习惯没有改变,但由于装备水平提高,装置集成度高,且其自诊断和保护功能可靠,因此大大降低了热停工时间。

## 一、转炉原直流拖动系统简介

1986 年建成投产的 3 座转炉,炉子倾动和氧枪升降的拖动系统采用的是模拟量恒磁通逻辑无环流直流拖动系统,恒磁通调压调速,该系统具有两个闭环、一个速度环、一个电流环。每座转炉倾动由四台 22 kW、650 r/min 直流电动机集中传动,每座转炉有两根氧枪,每根氧枪由一台 22 kW、650 r/min 直流电机单独传动。由于 80 年代初期我国电控配套水平所限(尽管该直流系统当时是国内较先进的拖动系统),该系统十分庞大。每座转炉的电控柜达 14 台之多,继电器、接触器多达 160 个。因插件为分立元件,且系统是模拟控制方式,因此调试周期很长(达 3 个月)。由于原系统存在先天性的不足,所以运行一段时间后热停工时间逐渐增加,维护难度越来越大。尤其是继电联锁部分和插件部分故障率相当高,不但维护费用高(达 0.45 元/吨钢),而且严重制约着生产的正常运行。

## 二、转炉倾动负载和氧枪升降负载特性及电动机运转状态分析

### 1. 氧枪负载特性及电动机运转状态分析

(1) 氧枪负载是典型的位能负载。

氧枪机械传动系统示意图如图 1 所示。氧枪工艺要求如下:

高速 40 m/min,低速 3.5 m/min,行程 10.9 m,氧枪静载 4.8 t,氧枪静力矩 0.6 tf·m。

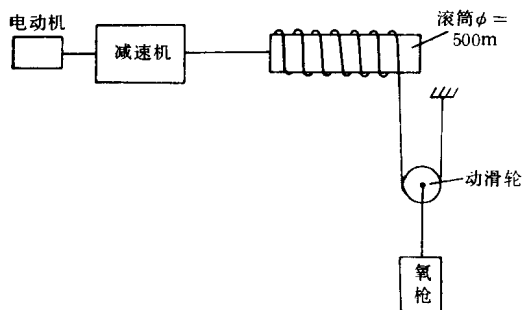


图1 氧枪机械传动系统示意图

(2) 氧枪电动机运转状态分析。

氧枪电机机械特性和负载特性示于图2。氧枪提升时,电动机的电磁转矩要克服负载转矩,即电动机的电磁转矩  $M$  的方向与旋转的方向相同,故电动机处于电动运行状态,工

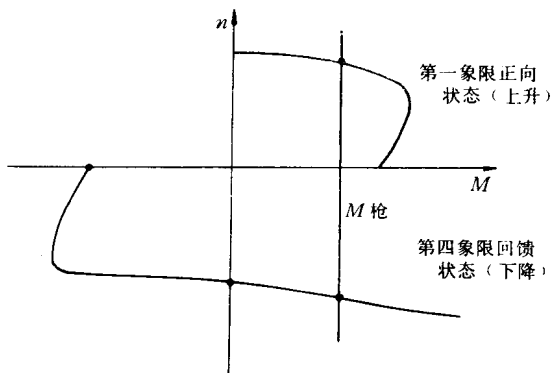


图2 氧枪电机机械特性和负载特性

作于第一象限。氧枪下降时,由于氧枪属重载,在该重载的作用下,电动机转速要高于电机的同步转速。即重物的力矩拉着电机转,而电机的电磁转矩方向与旋转方向相反,因此电动机处于回馈制动状态,工作于第四象限。

2. 转炉倾动负载特性及电动机运转状态分析

转炉倾动方式为全悬挂四点啮合柔性传动,原设计最大倾动力矩为  $85\text{tf} \cdot \text{m}$ ,倾动速度为  $0.1 \sim 1\text{r}/\text{min}$ ,倾动角度为正

反  $360^\circ$ ,减速比为  $1 : 802.3$ 。

据工艺要求,转炉的倾动角度为正反  $360^\circ$ 。转炉炉口和炉底方向轴线与地平面垂直时为零位状态。故炉子倾动负载力矩为角度的函数  $M_f = f(\theta)$ ,属于反阻性的位能负载。

另外,据工艺设计说明,该转炉按正力矩设计,即炉子耳轴下部比上部高,下部比上部重。从而确保转炉电控系统失灵或抱闸力不够时,能靠炉体自身的正力矩来确保炉口向上,这样不致于发生倒钢等事故。但当为修炉拆除炉底后以及炉口粘钢渣太多(达到或超过8吨)时,炉体可能出现上部较下部重,由于液体钢水重心随转炉倾角的变化而变化,这样在修炉和出渣或出钢时,可能出现负力矩。当炉体处于正力矩状态时,电动机处于电动运行状态,当炉体处于负力矩状态时,电动机处于回馈制动状态,电动机的机械特性和负载特性见图3。

正常时炉体重  $W_1 = 170\text{t}$ ,最大铁水重  $W_2 = 40\text{t}$ ,总重约为  $W = W_1 + W_2 = 170 + 40 = 210\text{t}$ 。炉体全高为  $6.4\text{m}$ ,耳轴中心距炉口为  $3.1\text{m}$ (上部),耳轴中心距炉底为  $3.3\text{m}$ (下部)。

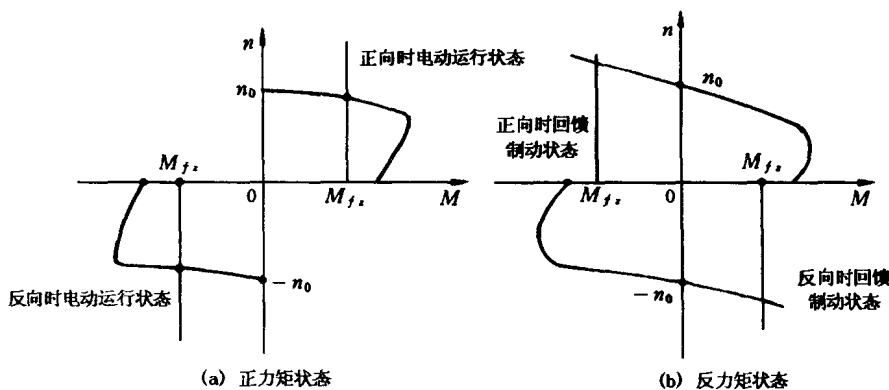


图3 转炉电机机械特性和负载特性

### 三、变频调速的原理及用于转炉倾动和氧枪升降负载的可行性分析

#### 1. 变频调速的原理及机械特性

由于异(同)步电动机的同步转速  $n_1$  与电源频率成正比,所以改变电源频率就能改变同步转速  $n_1$ ,并从而实现调速,这就是变频调速。

在电动机调速时,一个重要的因素是希望保持每极磁通量  $\varphi_m$  为不变额定值。磁通太弱,没有充分利用电机的铁芯,是一种浪费;磁通太大,又会使铁芯饱和,从而导致过大的励磁电流,严重时会使绕组过热而损坏电机。对于直流电机,励磁系统是独立的,只要对电枢反应的补偿合适,保持  $\varphi_m$  不变是容易做到的。在交流异步电机中,磁通是由定子和转子磁势合成产生的,怎样才能保证磁通恒定呢?

我们知道,异步电动机的电势方程为

$$E_1 = 4.44f_1W_1K_{w1}\varphi_m$$

因为电压  $V_1 = E_1 + IZ_1$ ,如果忽略定子压降,则上式可近似表示为

$$E_1 = 4.44f_1W_1K_{w1}\varphi_m \approx V_1$$

所以

$$\varphi_m = C_1 \frac{V_1}{f_1}$$

式中,  $E_1$  为定子每相感应电势的有效值,  $f_1$  为定子频率,  $W_1$  为定子每相绕组串联匝数,  $K_{w1}$  为基波绕组系数,  $\varphi_m$  为每极气隙磁通量,  $C_1 = 1/4.44K_{w1}W_1$ ,是一常数。

由  $\varphi_m$  的表达式可见,要保持电机磁通恒定,必须使定子电压随定子频率成正比变化。即:  $V_1/f_1 = V_1'/f_1'$ ,这种  $V_1$  与  $f_1$  的配合变化称为恒磁通变频调速中的协调控制。根据  $V_1/f_1$  协调控制的方式不同,可以得到不同的调速特性。

#### (1) 基频以下调速。

(a) 恒电压频率比调速。由电动机的电磁转矩公式  $M = C_m \varphi_m I_2' \cos \varphi_2$  可知,  $M$  与  $\varphi_m, I_2'$  成正比,要保持  $M$  不变,则必须  $\varphi_m$  不变,即要  $V_1$  与  $f_1$  成正比变化。即

$$\frac{V_1}{f_1} = \frac{V_{1e}}{f_{1e}} = \text{常数}$$

带下标  $e$  表示额定频率时的相应数值。

这是恒电压频率比的协调控制方式(简称恒压频比),其机械特性曲线簇(以某一台 8

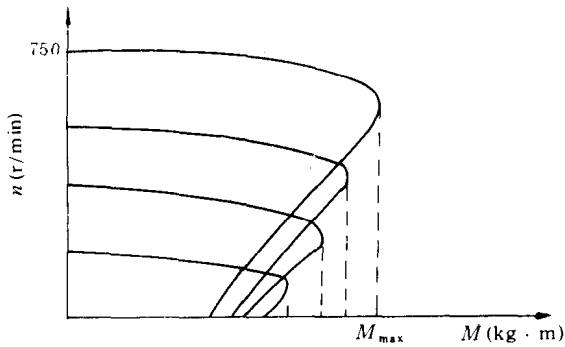


图 4  $V_1/f_1 = \text{常数}$  时的变频调速机械特性

极电机为例)如图 4 所示。由图可见,从同步转速( $M=0$ )到最大转矩( $M_{\max}$ )的特性可近似看作是线性关系,且线性段基本平行,类似于直流电机的调压特性。但最大转矩  $M_{\max}$  却随  $f_1$  下降而减少,这是因为  $f_1$  高时,  $V_1$  和  $E_1$  数值都较大,定子阻抗压降的比例很小,所以  $V_1 \approx E_1$ ; 而  $f_1$  低时,  $V_1$  和  $E_1$  数值都较小,定子阻抗压降所占的份量就比较显著,不能再忽略了。  $E_1$  与  $V_1$  相差较大,  $E_1$  小于  $V_1$  很多,所以  $\varphi_m$  小很多,  $M_{\max}$  就很小。这对于满载或过载起动是很不利的,而对于风机水泵类机械负载还是合适的。

械负载还是合适的。

(b) 恒最大转矩调速。用  $V_1/f_1 = \text{常数}$  协调控制,在低速时最大转矩  $M_{\max}$  减小。降低了起动与过载能力,低速时为了保持  $M_{\max}$  不变,提高起动能力,就必须采用

$$\frac{\text{定子电势}}{\text{定子频率}} = \text{常数}$$

的协调控制。如前所述,因为低频时,  $V_1$  和  $E_1$  都较小,定子阻抗压降的份量就比较显著,不能忽略。这时随转速的降低,定子电压应适当提高,以近似补偿定子阻抗引起的压降,从而保证电机具有恒最大转矩  $M_{\max}$ 。这时电机的机械特性如图 5 所示。恒压频比控制特性和恒电势频率比控制特性如图 6 所示。

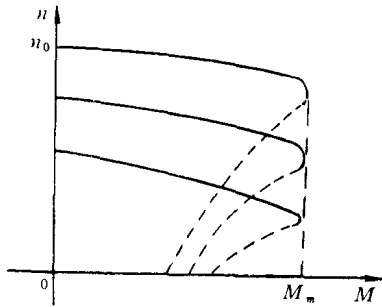


图 5 恒  $M_{\max}$  调速时电机的机械特性

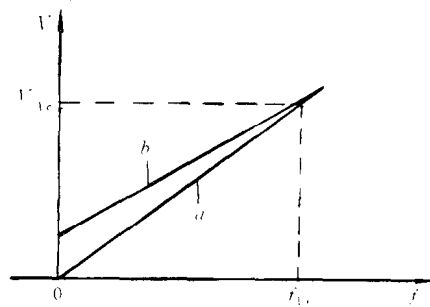


图 6 恒压频率比和恒电势频率比控制特性  
(a: 不带定子压降补偿; b: 带定子压降补偿)

(2) 基频以上调速(恒功率调速)。

有时为了扩大调速范围,可以使  $f_1 > f_{1e}$ , 从而得到  $n > n_e$  的调速。但是定子电压  $V_1$  却不能增加得比额定电压  $V_{1e}$  还要大,最多只能保持  $V_1 = V_{1e}$ 。由式  $\varphi_m = C_1 (V_{1e}/f_1)$  可知,这将迫使磁通与频率成反比地降低,相当于直流电机弱磁升速的情况。弱磁后额定电流时的

转矩减小,特性也变软。则可得到近似恒功率的调速特性如图7中 $f_e=50\text{Hz}$ 以上的特性。

把基频以下调速和基频以上调速两种情况结合起来,可得图8所示的异步电动机变频调速的控制特性和图7所示的异步电动机变频调速的机械特性。如果电动机在不同转速下都不超过额定电流,则电机都能在温升允许条件下长期运行,这时转矩基本上随磁通变化。按照电力拖动原理,在基频以下属于“恒转矩调速”,而在基频以上,基本上属于“恒功率调速”。

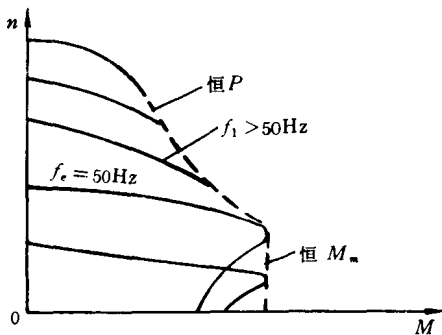


图7 异步电动机变频调速的机械特性

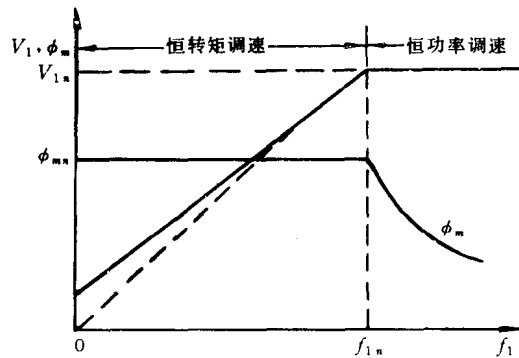


图8 异步电动机变频调速的控制特性

由于转炉倾动和氧枪升降属重载起动或满载起动负载,故要求电动机在起动时要有足够大的起动转矩和足够大的过载能力。通过以上分析可知,采用恒磁通变频调速,在低频时(低速时)可通过人为地提高电压来保证电机具有最大恒转矩调速特性,因而可以满足重载起动负载要求。另外由于氧枪和转炉倾动均属于位能负载,故有发电制动工作状态。而变频器可通过另加一反向逆变桥或加一“过压保护放电电阻”提供这种“回馈”通路。

从上述分析还可看出,变频调速可得几乎与直流电机调压调速相同“硬度”的机械特性。因而可以说,这种变频调速传动系统完全具备了用于转炉倾动和氧枪升降这种位能负载上的可能性。

#### 四、承钢 20 吨转炉倾动和氧枪升降应用变频调速技术情况介绍

##### 1. 电动机的选择

(1) 工艺要求。

转炉最大倾动力矩:  $M_{\max} = 85 \text{ tf} \cdot \text{m}^{1)}$

转炉倾动速度:  $0.1 \sim 1 \text{ r/min}$

减速比:  $1 : 802.3$

氧枪重量:  $W = 4.8 \text{ t}$  (有一动滑轮)

卷扬速度: 高速  $40 \text{ m/min}$ ; 低速  $3.5 \text{ m/min}$

卷筒直径:  $D = 500 \text{ mm}$

减速比:  $1 : 19.24$

1)  $1 \text{ tf} = 9.80665 \times 10^3 \text{ N}$ 。

(2) 电动机的选用。

转炉倾动原来采用四台 22kW,  $n_c=650$  r/min 直流电机集中传动, 考虑到原设备四点啮合, 故仍选用四台交流电动机集中传动。每座转炉有两根氧枪(分为左右枪), 原来各由一台 22kW,  $n_c=650$  r/min 直流电动机单独传动, 此次仍保留单独传动方式, 即两台交流电动机分别驱动左右氧枪。其主回路如图 9 所示。

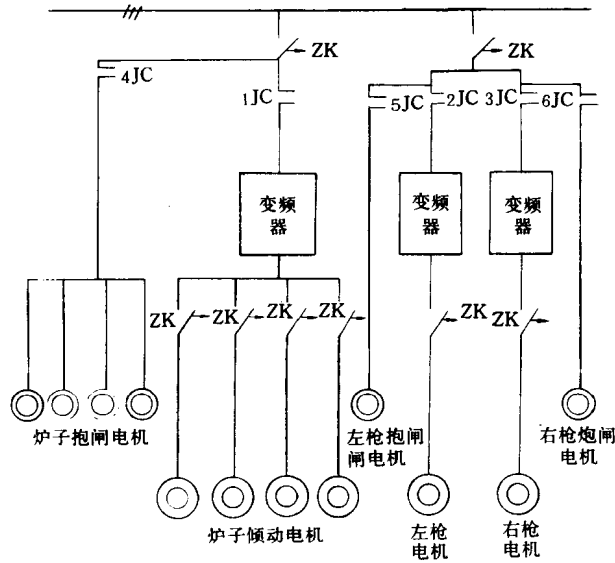


图 9 转炉主回路图

主电动机均选用 YZ225M<sub>1</sub>-8 型, 22kW、AC380V、730 r/min。每座转炉各用六台, 其中倾动用四台, 氧枪用两台。由于 YZ 系列电机短期采购有困难, 故先采用 Y225M-8 同容量电机(尽管过载能力小些)在 3 号转炉上试用。

1) 电动机转矩计算。

$$\text{额定转矩: } M_e = \frac{9550P_e}{n_e} = \frac{9550 \times 22}{730} = 287.38 (\text{N} \cdot \text{m}) = 29.37 (\text{kgf} \cdot \text{m})^{1)}$$

$$\text{最大转矩: } \frac{M_{\max}}{M_e} = 2.0 (\text{Y225M-8 电机})$$

$$M_{\max} = 2M_e = 2 \times 29.37 = 58.74 (\text{kgf} \cdot \text{m})$$

(a) 由于转炉倾动用四台电机, 故合转矩为

$$4M_e = 4 \times 29.37 = 117.4694 (\text{kgf} \cdot \text{m})$$

传递到炉子耳轴上的额定转矩为

$$117.4694 \times 802.3 = 94246.362 (\text{kgf} \cdot \text{m}) > 85 \text{ tf} \cdot \text{m}$$

即电机额定转矩大于转炉最大倾动力矩。

若考虑电动机的过载能力,

1) 1kgf=9.80665N。

对 Y 系列电机:  $\lambda \frac{M_{\max}}{M_e} \approx 2.0$ , 则最大转矩为  $2 \times 94.25 = 188.5 \text{ tf} \cdot \text{m}$ 。

对 YZ 系列电机:  $\lambda = \frac{M_{\max}}{M_e} = (2.2 \sim 2.8)$ , 则最大转矩将更大。

(b) 氧枪电机传递到卷筒上的额定转矩为

$$29.37 \times 19.24 = 0.565 \text{ (tf} \cdot \text{m)}$$

略小于氧枪负载转矩  $0.6 \text{ t} \cdot \text{m}$ , 但考虑到电动机的最大转矩为

$$2 \times 29.37 \times 19.24 = 1.13 \text{ tf} \cdot \text{m}$$

远大于氧枪负载转矩  $0.6 \text{ t} \cdot \text{m}$ , 故仍采用  $22 \text{ kW}$  电机试验。

2) 极数选择。

由于原直流机的  $n_c = 650 \text{ r/min}$ , 故选用 8 极交流电机, 尽管额定转速稍高一些 ( $730 \text{ r/min}$ )。但若选用 10 极电机, 其同步转速仅为  $600 \text{ r/min}$ , 要提高转速必须提高频率 ( $50 \text{ Hz}$  以上), 这样, 特性将变为恒功率, 这不适用于此种负载。

(3) 变频器的选用及其工作原理。

对于炉子倾动这种负载, 变频器选用的最重要原则之一是: 所选变频器必须具有在满载或过载时输出转矩恒定的功能, 也就是要用具有转矩限定的无跳闸变频器。另外要具有再生发电制动功能。还要注意到普通电机长期工作于低频状态时电机的发热现象 (因低频时电机风扇通风能力降低所致)。基于上述考虑, 我们选用了 FUJI FRENIC5000G7 型变频器。

炉子倾动电机总容量为  $4 \times 22 = 88 \text{ kW}$ , 故选用 FRN110G7-4 型、 $400 \text{ V}$  系列变频器。另配制制动单元和制动电阻以及继电单元。

氧枪升降电机容量为  $22 \text{ kW}$ , 故选用 FRN30G7-4,  $400 \text{ V}$  系列变频器。另配制制动单元和制动电阻及继电单元。

该型号变频器是全数字大功率晶体管 (GTR) 变频器。它具有两个 16 位 CPU, 通过它们可实现转矩限定、转差补偿控制、瞬时电源故障后的平稳恢复以及自动加/减速控制, 并具有低噪音、高可靠保护和错误诊断等功能。

(4) 系统的设计特点和安装调试情况简介。

1) 系统的设计特点及应注意的问题。

• 转炉倾动仍采用三地可选操作 (操作室、炉前、炉后), 以满足工艺要求, 操作开关仍采用原来的无触点主令开关, 从而可不改变原来的操作习惯。

• 无触点主令开关后加一相敏整流插件, 以得到  $0 \sim \pm 10 \text{ V}$  的模拟量控制电压。

• 变频器的频率控制信号为  $0 \sim \pm 10 \text{ V}$  模拟量电压信号, 用控制信号的极性来改变电动机的正反运行方向。

• 变频器的运行命令需在主电源接通几秒后方能接通, 否则, 若在主电源接通前该命令已接通, 逆变器将诊断为故障, 不工作。即 FWD 或 REV 与 CM 端子之间的接通应在主电源接通几秒后才能接通。

• 该变频器设有的  $0.5 \sim 5 \text{ Hz}$  起动频率可维持  $0 \sim 10$  秒。 $5 \text{ Hz}$  以下由于谐波分量相对较大, 会造成起动转矩减小, 故不易使用。

• 为确保电机起动时有足够大的起动转矩来确保重载起动的安全性, 利用其频率水

平检测信号端子 FDT 打开抱闸。即 FDT 和 CME 端子的输出信号控制继电单元,利用继电单元的动合点去控制抱闸接触器线卷(FDT 和 CME 是无源点,当变频器输出频率超过设定的检测水平时,此信号有,否则无)。

- 制动单元和变频器之间的连线需注意不能接反极性和线号,否则制动单元将不能正常工作或不起制动作用。

- 辅助控制电源  $R_0$ 、 $T_0$  端子应从主电源接触器电源侧引接,以确保在变频器故障跳闸或人为停运时,变频器能正确显示故障类型。

- 除主回路和辅助控制电源外,变频器的所有输入和输出端子的接线均应采用屏蔽,以解决电磁干扰问题,而屏蔽层一端要做良好接地。

- 标有 E(G),END 的端子均应单独良好接地,不要跨接。

- 将主令开关零位时的闭点接到变频器的滑行停止信号端子 BX 和 CM 端子上,从而使变频器的主令开关回零位时或在零位时立即封锁无输出。

## 2) 安装调试情况。

变频器运行期间,其环境温度应在  $-10\sim+50^{\circ}\text{C}$  之内。垂直安装时,振动要低于 0.5G。周围应无腐蚀性气体。柜内安装时,应确保柜内温度不超过  $50^{\circ}\text{C}$ 。

调试时遇到的主要问题如下:

- 设定完有关数据后,起车时抱闸打开,负载有溜车现象,且变频器经常出现过流封锁。根据现象判断是起动转矩不够。另外也说明了起动电流大并不等于起动转矩大。解决的方法是提高低频率时的电压,从而补偿低速时的转矩。

- 开始时以及用 RUN 和 CME 端子信号来控制抱闸开合时(即输出频率达到 5Hz 时 RUN 为通,从而打开抱闸),发生负载下滑溜车现象,后改为用 FDT 频率水平检测信号端子来控制抱闸,提高了低频时的电压,使上述问题得以解决。当输出频率比设定频率大时(FDT 设定频率为 8Hz),FDT-CME 之间为通,可通过继电单元的动合接点接通抱闸接触器打开抱闸。利用 FDT 功能就是让电动机先堵转建立起足够大的电磁转矩后,抱闸才打开。从而保持在重载起动时的安全,避免了倒钢或溜车事故的发生。

- 3 号转炉调试时,主令开关均在零位(即未加频率给定信号),但变频器仍有  $3\sim 7\text{Hz}$  的变化输出。也就是说存在干扰输入信号。检查后发现  $0\sim\pm 10\text{V}$  控制信号和主令二次输出信号(约 48V)在一根电缆里,将它们分开后此现象消失。由此可见,在施工中一定要注意做好屏蔽,强弱信号绝不能混用一根电缆。

- 在 2 号转炉氧枪试车时,曾发生一加给定,抱闸打开后,逆变器就立即故障封锁,并显示“F01 OU”的现象。查表可知是主电路直流过电压。经分析怀疑是制动单元未投入工作所致。检查后发现,是 THR 和 CM 端子与制动单元及制动电阻的 1 和 2 端子连接接反,误将 THR 接到制动单元的 2 端子上(应接制动单元的 10 端子)所致,将线改接后此现象消失。

- 调试中发现,用 YZR 绕线电机换 Y 系列鼠笼形电机,并将其转子直接短接后使用,亦能满足工艺要求。目前均应用 YZR 绕线电机。

- 在 3 号转炉调试中,开始未加主令开关零位封锁逆变器功能时发现,当主令开关回零后,抱闸合上,但电机有较大的响声。分析认为,当主令开关回零后,变频器不是立即无



输出,而是按照预先设定好的减速曲线逐渐降到零输出,故电机有响声。后来加上主令开关零位封锁后,此现象消失。

·由于3号转炉由于事故停产,炉内有26吨铁水,已在炉底凝成块。因此负载的最大力矩远大于设计时的最大倾动力矩(85 tf·m),初步估算约为150 tf·m,而交流调速装置仍能拖动转炉倾动,可见恒转矩变频器能将交流电机的过载能力充分发挥出来。

## 五、有待解决的问题

(1) 由于时间太匆忙,未选用接地错误检测单元,而炼钢生产现场环境又比较恶劣,因此经常发生电机主电源电缆接地故障。对接地故障而言,若无检测单元,变频器将无保护功能,因此应及时完善此功能。

(2) 目前由于尚没有PLC,当发生三地操作,主令只要有一个不在零位,而又恰需选择该主令操作时,相当于人为加上频率给定信号,因此将发生“自动”开车现象,十分危险。当然用继电器亦可实现,但较复杂,因此应及早用PLC。

(3) 目前三座转炉均应用YZR绕线电机,应尽早更换YZ鼠笼电机。

在承钢20吨转炉倾动和氧枪升降上应用变频器的实践表明:

(1) 具有最大扭矩限定的无跳闸变频调速装置完全适用于转炉倾动和氧枪升降这样的位能负载,且适用于冲击性负载。

(2) 交流变频调速具有可与直流调速系统相媲美的调速特性,尽管我们所使用的FUJI G7交流调速装置是开环控制,但它的功能相当于原来的双闭环直流系统。

(3) 由于计算机的应用和大量应用软件的开发,以及电力电子器件的发展,使静止变频器体积很少。因此目前的1面柜相当于原来直流系统14面柜的功能,从而使施工量大大减小,占地面积大大减小。

(4) 调试周期大大缩短,每个系统仅需两个小时即可,而原来系统的调试,约需两三个月。

(5) 由于元器件大大减小,故障率将大大降低。预计热停工时间将减少50%以上。相应的维护费用亦将有较大降低(原来每年维护费用约为18万元)。

(6) 我们使用的G7型变频器保护功能十分灵敏可靠。而且在某种意义上具有允许“误操作”功能。比如,若将主令开关从零位迅速推到正最大给定位置(或负最大给定)或从正最大给定位置迅速推到负最大给定位置,若你的加/减速的速度比设定的快,变频器将不跟随你的命令,而是按照现场调试时已设定好的加/减速曲线自动进行加/减速。若速度比设定的慢,变频器将执行你的命令。这就是允许“误操作”的含义。

## 参考文献

- [1] 富士逆变器 FRENIC5000G7 使用说明,1992年。
- [2] 佟纯厚主编,近代交流调速,冶金工业出版社,1987年。
- [3] 风机水泵交流调速节能技术,机械工业出版社,1990年。
- [4] 刘宗富等编写,现代电力电子器件与交流传动,1990年。
- [5] 顾绳谷主编,电机与拖动基础,机械工业出版社,1981年。