

现代提升机数字控制系统

马建民 赵增玉 编著

中国矿业大学出版社

序

矿井提升机是矿山生产的关键设备之一,其作用是提升煤炭、矿石,升降人员和设备,提升矸石,下放物料等,在整个矿山生产中占有十分重要的地位。矿井提升机安全、可靠、高效、准确地运行集中体现在矿井提升机的电气控制系统中,其电控系统的性能优劣程度直接影响矿山生产及人身安全。

现代矿井提升机的发展与现代电力传动及其控制技术的发展密切相关。

自 1785 年瓦特发明了蒸汽机,标志着工业革命的开始,人力逐渐被机械动力所替代,19 世纪末,内燃机的发明加快了这个发展趋势。1888 年,尼·特拉斯发明了工业用感应电动机,后来直流电机和同步电机得到了研制和工业应用,加上电力的应用,开始了新的电气时代。1948 年晶体管的发明,标志着现代电子时代的开始。1957 年美国通用电气公司 A. York 在晶体管半导体元件的基础上发明了电力开关元件——晶闸管,标志着现代电力电子与电力传动的开始。半导体电力电子技术常被视为第二次电子革命,它的重要意义在于电力电子学把机械时代、电气时代和电子时代开创的技术融合在一起。

随着电力电子器件的发展,电力电子技术在电机传动领域得到了广泛应用。现代电力传动是电力电子与电机及其控制相结合的产物,其内容涉及电机、电力电子技术、控制理论、现代检测技术、计算机技术等学科,是一项综合性、交叉性学科研究。

电力传动是电力电子学中的一个特别迷人和具有挑战性的领域。这是因为,它的应用面很广泛,诸如计算机外围设备的传动、机床和电动工具、机器人和自动装置的传动、纺织厂和造纸厂的传动、电动汽车和电气列车传动、船舶传动、水泥窑和轧钢机传动、提升机传动等等。从当前全球工业自动化的发展趋势可以预见,电力电子和电力传动有着巨大的应用前景。

现代矿井提升机是现代电力传动控制技术的典型应用。早期的绕线式感应电动机在矿井提升机传动及其控制系统中得到了应用,形成了绕线式感应电动机转子切电阻调速控制的矿井交流提升机。现在,我国的小型矿井仍采用此种传动控制模式。随着矿井生产规模的扩大,特别是对于一些井深达到 600~800 m,要求提升速度快、提升容量大且效率高的矿井,交流提升机已远远不能满足要求。由此,直流电动机在矿井提升机传动与控制中得到了应用。其中,早期的直流传动多为发电机—电动机组(F—D 机组)直流传动。1958 年,美国通用电气公

司在晶闸管发明后,开始使用了第一台晶闸管装置,1969 年在美国矿井提升机上第一次采用了晶闸管变流装置。自 20 世纪 70 年代初我国引进了第一台瑞典 ASEA 公司的晶闸管—电动机直流提升机以来,又陆续引进了多套直流矿井提升机电控系统,这其中几乎包括了模拟控制、数模混合、全数字控制等各种控制方式。1978 年,我国在张家洼铁矿首次使用国产晶闸管磁场可逆模拟电控装置。

直流传动提升机控制技术经过十多年的大力发展,到 20 世纪 80 年代末 90 年代初基本实现从模拟式到数字式的转化。德国西门子公司、瑞典 ABB 公司等知名电气公司 90 年代生产的矿井提升机直流传动装置以数字式为主流,其标准产品为数字式控制装置。

交流传动现代矿井提升机控制系统是以德国西门子公司 1981 年研制成功的世界上第一台矿井提升机 $2 \times 4200 \text{ kW}$ 同步电机传动交交变频矢量控制系统为新的标志,此类系统早期采用模拟控制技术。我国从 1985 年起引进矿井提升机同步电机传动交交变频矢量控制系统。90 年代生产的矿井提升机同步电机传动交交变频矢量控制系统均为数字式控制装置。

大功率全数字电力传动控制是矿井提升机传动控制系统的发展方向。电力传动全数字控制的特点是:硬件设备和软件标准化、模块化。采用高性能的微处理器,可将硬件设备(包括微处理器、输入/输出、接口、电源等)标准化、模块化,增强了系统的通用性和适应性。采用模块化语言、图形化编程技术,可使不懂计算机的人也可编程。如西门子公司的 SIMADYN-D 全数字控制系统,硬件、软件均模块化,无论是交流提升机的交交变频传动还是直流传动均可通过适当的硬件和丰富的软件模块来实现。

鉴于矿井提升机的安全可靠等要求严格,以及数字控制技术的发展,矿井提升机的电控系统的全数字控制是发展的必然趋势。

在这里,我很高兴地看到有一本关于现代矿井提升机数字控制方面的专著,这是一本难得的矿山提升机类、控制类工程技术参考书。它是作者多年从事矿井提升机电力传动控制方面的科研、技术与管理工作最新成果。无疑,此书的出版将为我国矿山提升机的控制方面增加新的内容,为矿山提升机系统的安全、可靠、准确、高效运行提供新的基础性、实用性的理论与技术。

中国矿业大学 姜建国

2002 年 8 月 7 日于江苏徐州

前 言

经过多年努力,我们现在终于可以将这本书献给从事矿山提升机技术工作的同行和喜爱数控技术的朋友了。本书的编写历时8年,初稿形成于1994年。最初是想以瑞典ABB数控提升机控制原理为蓝本,编写一本培训教材,用于现场工作人员的技术培训。后来,随着我们从事矿山数控提升机工作经验的不断积累和知识水平的不断提高,以及现场工作的需要,就产生了编写一本具有普遍指导意义的、专门针对矿山现代提升机控制系统的图书的想法。2001年,对我们参加和主持过工作的十数套引进提升机的技术资料 and 现场实践资料加以总结,以此为基础,对初稿进行了大量的修改和补充,就形成了这本书的基本稿。后经中国矿业大学谢桂林教授和姜建国教授审订,最终完成了这本书稿。

自20世纪80年代末以来,我国矿山工业逐步开始引进数字控制提升机系统。提升机是矿井用于人员和物料提升的关键设备,是矿山生产的咽喉。数控提升机的控制系统涉及自动控制、电力驱动、电力电子、计算机控制、网络及通讯、供电、检测、液压控制等技术领域,是目前矿山中技术最先进、最复杂的系统。

近十几年来,在我国矿山工业中,引进、研制、改造了大量的数控提升机,到2001年底,仅兖矿集团的8对矿井中就使用了14套全数控提升机。提升机采用数控技术后,提高了生产效率,增加了提升系统的安全性和可靠性,但对提升机的使用和维护、对工作人员的技术素质提出了更高的要求。由于副井提升机的工艺控制较主井提升机复杂,故本书以副井数控提升机计算机控制系统的工艺控制和交/直流驱动控制为主要对象,对制动系统液压控制原理和故障排查也进行了详细描述,这些内容是数控提升机的关键技术,对现场使用和维护具有普遍指导意义,而计算机系统的硬件设备和其他内容未加涉及。

第一章“矿山提升机的基本类型”对目前我国在用的矿山提升机类型做了概括描述,对交、直流驱动提升机的调速原理和方案做了简单介绍,该章的主要目的是使大家对数控提升机控制系统的组成和主要控制原理形成一个总体概念。

第二章“数控提升机系统设计”以副井提升机为例,对提升机的操作功能、运行速度图设计、控制流程等进行了全面描述。这章的目的是使大家能详细了解数控提升机的主要控制流程,并能以此为主线,清楚地了解后面几章的内容。

第三章“主控系统的控制功能”阐述了提升机工艺控制(主控)的主要内容和用计算机软件实现的具体方法。它们是目前数控提升机实现工艺控制比较典型

和完善的方法,对了解数控提升机的控制方法具有很好的指导作用。对于设计思想不同的数控提升机,电控系统的计算机硬件及其网络配置可能不同,但这些控制工艺和方法是不可缺少的。主控系统的控制功能是提升机电控系统的灵魂。

第四章“主控系统的保护功能”阐述了提升机的主要保护功能和实现方法。由于数控提升机使用计算机控制系统和数字化的检测装置,功能软件化,使我们可以方便地实现我们认为需要的各种保护功能,并且修改简单,精确可靠。根据故障的严重程度,我们将数十种提升机故障划分为报警故障、电气减速紧停故障及紧急停车故障(含停车后触发的紧停故障)三类。

第五章“驱动系统的控制功能”详细阐述了带位置控制的速度电流双闭环控制提升机的驱动控制原理。位置控制是提升机驱动控制中的一个重要环节,是实现规定速度图和提升机可靠运行的保证。只有充分了解了驱动系统的控制功能,才能根据实际需要调整提升机运行参数,才能有效地完成故障的排查工作。

第六章“驱动系统的保护功能”阐述了提升机驱动控制环节的主要保护及其实现方法。这些保护主要为主电路回路提供保护,同时对与驱动控制有关的提升机的重要运行数据进行监测。

第七章“交交变频矢量控制原理”简略地叙述了交交变频交流驱动提升机的矢量控制原理和实现方法,并以实例介绍了交交变频矢量控制的实际程序结构和工作原理。计算机控制技术的发展,使交交变频矢量控制步入成熟的工程应用阶段。目前交交变频交流驱动已成为大功率提升机的首选方案。

第八章“制动控制及恒减速紧急制动控制原理”详细阐述了主控系统对制动系统的控制内容和方法,以及恒减速紧急制动的控制原理和实现方法。

第九章“故障排查方法及典型故障分析”以我们多年来的故障处理经验为基础,以我们成功排查的十几起典型故障为例,分类对故障进行剖析和诊断,以期对现场故障处理有所帮助和启示。

第十章“提升机的性能验收”是总结了我们验收多套引进数控提升机的实际经验,为大家提供的一套较为详细完整的数控提升机性能验收资料。其中涉及了数控提升机性能验收的程序、项目和方法等内容,我们认为具有一定的现场指导意义,就将它作为了本书的最后一章。

由于我们编著这样的专业技术书尚属首次,经验缺乏,水平有限,加之提升机数控技术发展迅速,书中难免有不足之处,恳请各位专家和同仁多加指教。

在此,谨向审订本书的中国矿业大学谢桂林教授和姜建国教授,以及指导我们编写工作的兖矿集团公司王信研究员和徐希康高工(教授级)致以衷心谢意。

马建民 赵增玉

2002年7月于兖矿集团

目 录

第一章 矿山提升机的基本类型	1
第一节 矿山提升机发展概述	1
第二节 交流驱动提升机的基本类型	2
一、交流驱动的调速方案	2
二、交流驱动提升机的基本类型	3
第三节 直流驱动提升机的基本类型	4
一、直流驱动的调速方案	4
二、直流驱动提升机的基本类型	5
第四节 数控可控硅变流直流提升机的系统结构和功能	6
第五节 数控交交变频交流提升机的系统结构和功能	10
第二章 数控提升机控制系统设计	13
第一节 提升机的各项操作功能简介	13
一、司机操作台选择功能	13
二、井口(井底)操作台功能	14
三、井口(井底)检查平台操作箱功能	15
第二节 速度图的设计	16
一、最大运行速度 $v_{\max}$	16
二、加、减速度	17
三、爬行速度 v_{creep}	17
四、爬行距离	17
五、加速度变化率的控制	17
第三节 井筒信号开关的设计	19
一、过卷开关	21
二、停车开关	21
三、同步开关	21
四、同步检查开关	21
第四节 提升机系统控制信号流程设计	21

第五节 主控信号流程设计	24
第六节 直流提升机驱动控制功能框图	26
第七节 数控提升机程序图的表示方式	28
一、梯形图形式	29
二、功能图形式	30
三、语句形式	33
第三章 主控系统的控制功能	34
第一节 设备合/分及启动/停止指令的产生	34
一、高压开关 HA 的合/分闸指令	34
二、直流快开的合/分操作	35
三、变流器合/分闸操作	36
四、液压站合/分闸指令的产生	38
第二节 提升机位置及速度测量功能	38
一、脉冲计数器的功能	38
二、提升位置的计算	39
三、提升速度的计算	40
第三节 滚筒直径的计算	40
一、滚筒直径的计算	41
二、滚筒直径计算结果的检查	43
三、滚筒直径平均值的计算	45
第四节 脉冲计数器的同步操作	45
第五节 罐笼运行在各区域及水平的判定	47
一、水平停车开关的设定及作用	47
二、罐笼进入爬行区的判定程序	48
三、罐笼进入停车区的判定程序	49
四、罐笼在水平区域的判定程序	50
五、罐笼到达上、下行运行极限位置的判定	51
第六节 提升机运行所必需的井筒信号及条件	53
一、罐笼准备好信号的产生	53
二、罐笼为启动准备好信号的产生	55
第七节 半自动控制方式下提升机运行的操作	58
一、半自动允许指令及操车允许指令的产生条件	58
二、准备启动指令及上行启动指令的产生条件	61

三、运行自保指令的产生	61
四、当提升机在半自动方式下上行时	62
五、当提升机在半自动方式下向下运行时	62
第八节 手动操作提升机运行	62
一、非半自动控制方式	64
二、手动启动允许指令的存在条件	64
三、准备启动指令	65
四、控制杆在上位方向	65
五、罐笼在水平停车信号的产生	65
六、运行自保指令	66
七、电气减速紧停故障	66
八、驱动罐笼指令的产生	66
九、运行控制	66
第九节 慢上/慢下操作	67
一、半自动控制方式下慢上操作的原理	68
二、手动控制方式下慢上操作的原理	72
第十节 换层操作	72
一、罐笼下行启动指令的产生	73
二、允许换层指令,井口或司机换层操作指令的产生	73
三、允许矿车提升及允许操车指令的产生	76
四、运行自保指令的产生	76
第十一节 各种操作方式下速度基准值的产生	77
一、半自动控制方式下速度基准值的产生	77
二、手动控制方式下速度基准值的产生	79
三、首/尾绳检查速度基准值的产生	81
四、井筒检查速度基准值的产生	81
五、同步速度基准值的产生	81
六、过速试验基准值的产生	81
第四章 主控系统的保护功能	82
第一节 故障类型划分	82
一、报警故障	82
二、电气减速紧停故障	84
三、紧停故障	85

第二节 高压保护	88
一、高压断路器的保护	88
二、电枢变压器温度的保护	89
三、辅助变压器温度的保护	89
四、110 V DC 蓄电池电压及充电器的保护	90
第三节 低压保护	90
一、供电状况保护	90
二、接地检测及保护	90
第四节 速度保护	92
一、全速过速保护	92
二、爬行过速保护	94
三、减速区过速保护	94
四、天轮测速的过速保护	94
五、各测速装置测速值间的速度差保护	95
第五节 位置测量功能保护	95
一、主控与变流器测量值间的差值检查	95
二、主控与变流器直径计算值间的差值检查	95
三、主控与监控器位置测量值间的差值检查	95
第六节 温度保护	96
一、主轴承温度保护	96
二、天轮轴承温度保护	97
三、润滑系统油温保护	98
四、通风系统风温保护	98
五、励磁变压器温度保护	98
六、电机电枢绕组温度保护	98
七、电机励磁绕组温度保护	98
八、制动闸盘温度保护	98
九、液压站油温过温保护	99
第七节 运行同步状态保护	100
第八节 辅助设备状态保护	101
一、润滑系统的保护	102
二、通风系统的保护	102
第九节 过卷保护	102
一、主控程序位置测量作出的过卷保护	102

二、井筒过卷开关作出的过卷保护	104
第十节 井筒设备的状态保护	104
一、摇台工作状态的保护	104
二、安全门状态保护	104
三、水平停车开关的状态保护	106
第十一节 其他保护	107
一、反转保护	107
二、尾绳扭曲保护	107
第五章 驱动系统的控制功能	108
第一节 驱动系统控制 DSC 的工作原理	108
一、驱动系统的逻辑控制功能	109
二、驱动控制中速度闭环控制的功能原理	114
三、电枢及磁场电流基准值的产生及处理	134
第二节 电枢电流控制 CSC 的工作原理	139
一、电流、电压反馈值的测量	139
二、电枢反电势的计算	142
三、电枢电流基准值的处理	143
四、触发脉冲所需控制信号的产生	144
五、带断续电流给电压适配前馈控制的电流 PI 调节器的工作原理	145
第三节 励磁电流控制 FCS 的工作原理	148
一、励磁电流控制中的逻辑控制功能	148
二、励磁电流的测量及电流基准值的处理	150
三、励磁变流器的换桥控制	151
四、励磁电流控制及电流 PI 调节器的工作原理	152
第六章 驱动系统的保护功能	155
第一节 驱动控制的保护功能	155
一、同步状况的保护	155
二、速度保护	157
三、各运行阶段超速状况保护	159
四、电机的过载保护	161
五、过卷状况的保护	162
六、触发故障信号的处理	163

第二节 电枢电流控制的保护功能·····	166
一、主电源各项指标的保护·····	166
二、电流及电压的保护·····	167
三、电枢触发脉冲保护·····	169
四、可控硅温度的保护·····	170
五、接地故障的保护·····	171
六、其他保护功能及故障信号的处理·····	171
第七章 交交变频矢量控制原理·····	172
第一节 矢量控制交交变频数控提升机电控系统基本结构·····	172
第二节 矢量控制的理论基础·····	173
一、直流电动机磁场与电流矢量关系分析·····	173
二、异步电动机磁场与电流矢量关系分析·····	174
三、矢量控制方法·····	175
第三节 实现磁场定向矢量控制的方法·····	175
一、矢量控制使用的坐标系·····	175
二、3轴/2轴坐标变换·····	176
三、矢量旋转器 VD·····	177
四、矢量分析器 VA·····	177
五、直角坐标/极坐标(K/P)变换器·····	178
六、电压模型·····	178
七、电流模型·····	178
第四节 同步电机磁场定向矢量控制系统原理简述·····	178
第五节 提升机矢量控制程序中的功能模块·····	180
一、实际值检测模块 IWE·····	180
二、电流模块 IMO·····	182
三、磁通控制器模块 PUR·····	183
四、电压模块 UMO·····	183
五、零频控制器模块 GGR·····	184
六、旋转位置测定模块 OWA·····	185
七、基准值发送器模块 SUG·····	186
第六节 矢量控制应用程序简述·····	186
一、定子电流基准值的幅值 BIS·····	186
二、定子电流矢量基准值在磁通坐标系中的角位置 WIP·····	186

三、磁通轴与定子轴的夹角 $W_{01}(\phi_s)$	187
四、用于电压预控的电压矢量幅值 BUS 及角位置 WUP	187
第八章 制动控制及恒减速紧急制动控制原理	188
第一节 液压站各工作部件整定原则及整定值	188
一、阀 V16 及 V11	188
二、卸压阀 V25	188
三、导向阀 V39	188
四、电控卸压阀 V132	189
五、导向阀 V32、V40	189
六、比例卸压阀 V37	189
七、变量泵 31	189
八、压力开关 34、35、33	190
九、带堵塞指示的过滤器 5	190
十、整定值	190
第二节 主控系统对制动系统的控制	191
一、半自动控制方式下对制动系统的控制	191
二、非半自动控制方式下对制动系统的控制	194
三、紧急制动时的控制	196
第三节 主控系统对制动系统的保护	196
一、液压阀工作状况的保护	196
二、储压器充氮压力的保护	201
三、液压站工作状态保护	202
四、闸衬磨损及闸盘变形的保护	202
五、液压站过滤器堵塞保护	204
六、制动减速及监控保护	205
七、制动器工作状态保护	205
第四节 制动控制板的工作原理	205
一、正常制动的控制	205
二、恒减速紧急制动的控制	207
第五节 液压站在各种工况下的工作过程	208
一、提升机休止期间液压站的状态	208
二、开车敞闸	208
三、正常工作制动	208

四、紧急制动	212
第九章 故障排查方法及典型故障分析	214
第一节 数控提升系统的基本结构及功能	214
第二节 数控提升系统的软件结构特点	215
第三节 提升机故障产生的一般原因分析	215
第四节 故障查寻的程序	216
第五节 故障查寻方法	216
一、准备工作	216
二、观察故障指示及设备状态	217
三、初步判断故障原因、范围及制定相应处理方案	217
四、确定查寻信号流程及路径	218
五、观察设备状态指示	218
六、计算机外部信号的检查	218
七、利用编程器检查内部信号状态及参数	218
八、利用编程器强迫输出检查执行回路	219
九、计算机设备的故障排查	220
十、故障查寻过程中的注意事项	220
第六节 数控提升机常见故障分析	220
一、计算机通讯类故障	221
二、计算机硬件类故障	222
三、计算机软件类故障	222
四、检测装置类故障	223
五、配电、辅助设备类故障	224
六、井筒开关类故障	225
七、其他类型故障	226
第十章 提升机的性能验收	229
第一节 验收前的准备工作	229
第二节 验收内容	229
第三节 重要项目的检测方法及说明	235

第一章 矿山提升机的基本类型

第一节 矿山提升机发展概述

根据受控电动机类型的不同,矿山提升机可分为直流驱动提升机和交流驱动提升机两大类。随着电力电子器件、电动机、驱动控制技术和控制手段的不断发展,以及生产过程对驱动控制各项性能指标要求的不断提高,近几十年来,交、直流驱动提升机系统得到了快速发展。

由于交流电动机有结构简单、紧凑、坚固、容量大、价格低廉、应用场合广泛和直接使用交流三相电源等优点,因而交流驱动提升机得到广泛应用。在 20 世纪 70 年代前,矿山提升机多采用交流驱动系统,目前我国中小型矿山仍大量使用该类提升机。但由于其调速性能较差,很难适用于调速性能要求较高的场合。

直流电动机具有良好的启、制动性能,宜于在大范围内平滑调速,调速性能指标远优于交流电动机,因此,在 20 世纪 70 年代后,随着大功率可控硅的使用、电子控制技术和装置的发展,直流驱动提升机逐渐在大中型矿山中占据主导地位。

随着电力电子器件、微电子控制技术和交流调速控制理论(如矢量变换控制技术)的发展,交流调速获得了与直流驱动相同的控制特性,在高性能交流驱动应用中获得根本性突破,使交流驱动系统成为大容量提升机的首选方案。例如兖矿集团济宁二号煤矿主井提升机就是于 1993 年引进西门子的单机容量高达 5400 kW 的交交变频交流驱动提升机。

矿山提升机发展的关键因素是电气控制系统的快速发展。提升机电控系统经历了由继电器控制、分离元件控制、模拟电路控制到微电子(计算机)控制的发展历程。目前已广泛应用的提升机数字控制系统(计算机控制)使矿山提升机的电控系统得到了质的飞跃。采用数控技术后,提升机电控系统具有结构简单、控制精度高、不存在零漂等模拟装置的缺陷、系统功能开发简单等优点;特别是其具有智能化的信息采集、故障诊断和在线检测等功能,极大地提高了系统的可靠性,缩短了查找和排除故障的时间,降低了维护成本。

虽然交、直流驱动调速有很多方案,但满足矿山提升机运行要求的只是其中

几种,提升机对电力驱动系统的主要要求为:一是能平滑调速,具有一定调速精度;二是能实现四象限运行。

第二节 交流驱动提升机的基本类型

一、交流驱动的调速方案

根据交流电动机转速公式:

$$n = \frac{60f_1}{p}(1-s)$$

式中 p ——电动机极对数;

f_1 ——定子电流频率;

s ——转差率(若为同步电动机,则 $s=0$)。

可知,实现交流电动机的调速方法有三种:

(1) 改变供电电源的频率 f_1 , 进行变频调速。

(2) 改变定子极对数, 进行变极调速。

(3) 改变电动机的转差率 s 进行调速, 如定子调压调速、绕线式异步电动机转子串电阻调速、串级调速及电磁离合器调速等。

根据交流电动机的基本原理,由定子传入转子的电磁功率 P_m 可分为两部分:一部分是驱动负载的有效功率 $P_2=(1-s)P_m$;另一部分是转差功率 $P_2=sP_m$,与转差率 s 成正比。根据转差功率的大小以及消耗情况,交流调速系统可分为如下三类:

(1) 转差功率消耗型调速系统:全部转差功率被转换成热能而消耗掉。这类调速方式有定子调压调速、电磁离合器调速、绕线式异步电动机转子串电阻调速(提升机在负力提升情况下,可通过一定装置实现能量回馈)等。这类调速系统效率最低,它以增加转差功率的消耗来换取转速的降低(恒转矩负载)。转速越低,效率越低,但这类调速系统结构最简单,特别是绕线式异步电动机转子串电阻调速方式,目前在中小型矿山提升机中仍应用广泛。

(2) 转差功率回馈型调速系统:少部分转差功率被消耗掉,大部分则通过变流装置回馈电网或转化为机械能予以利用,绕线式异步电动机串级调速就属这类。转速越低,回馈功率就越多。这类调速方式多用于通风机、水泵等恒功率型负载的调速系统。

(3) 转差功率不变型调速系统:转差功率调速系统中转子铜耗是不可避免的,但在这类系统中,无论转速高低,所消耗的转差功率都基本不变,因此效率最

高。变极调速、变频调速即属于这类调速系统。

二、交流驱动提升机的基本类型

虽然交流驱动调速方法较多,但满足矿山提升机要求,能够在较大功率、转矩型负载、要求调速范围较大等场合应用的交流驱动调速方法,也就仅有单、双电机驱动的绕线式异步电动机转子串电阻(金属或液体电阻)调速、可控硅串级调速和变频调速等方式。

(一) 金属电阻调速提升机

该类提升机是在绕线式异步电动机的转子中串入金属电阻,利用控制器或磁力站对串入转子回路中不同阻值的电阻进行组合,达到调速目的。根据提升机调速性能的不同要求,常用电阻组合可分为五级、八级和十级三种,级数越高,调速越平滑,但这类调速系统仍属有级调速方式。

金属电阻调速的交流驱动提升机,在加速段通过逐步切除电阻完成加速;进入全速段后,电动机在自然特性曲线上运行;进入减速段,根据提升负荷的不同,对于电动机负力减速,通常采用动力制动(即能耗制动)方式;进入爬行段后,一般采用脉冲爬行、微拖爬行或低频拖动爬行方式。金属电阻调速结构简单,能够满足一般提升任务的需求,目前我国中小型提升机中得到广泛应用。关于金属电阻调速的交流驱动提升机的原理、结构、设计等内容在《煤矿电工手册》等书籍中有详细介绍。

(二) 液体电阻调速提升机

该类提升机是在绕线式异步电动机的转子中串入液体电阻,通过切换液体电阻的方法实现调速。液体电阻与金属电阻不同,它的调速特性是无级的。在加速段通过逐步调节金属电阻完成加速;进入全速段后,电动机在自然特性曲线上运行;进入减速段,根据提升负荷的不同,可采用动力制动方式或液体电阻调速方式完成减速;最后通过液体电阻调速完成爬行运行。

液体电阻调速方式虽然调速性能较好,但存在电阻液易受温度影响而使电阻值发生变化等问题,因而较少应用。

(三) 双机驱动提升机

双机驱动是将两台容量相同或不同的电动机通过一定的刚性双机连接方式来共同驱动一台提升机。与单机驱动相比,双机驱动可以扩大电动机的使用容量,减小电力驱动系统的转动惯量,加快过渡过程及减小过渡过程的能量损耗;可以根据负载情况,确定单机或双机的投入,以提高效率,增加系统可靠性;通过合理调节两机的工作状态,可以得到较平滑的加减速调节,从而得到良好的减速、爬行运行特性。其缺点是控制设备多、复杂,维护量大。

(四) 交交变频交流提升机

目前,交交变频交流提升机采用低速同步电动机驱动,多用于单机功率在 2000 kW 以上的大容量场合。由于微电子控制技术和矢量变换控制技术的成熟应用,使交流驱动系统获得了质的飞跃,交交变频交流驱动控制系统可使提升机获得与直流驱动一样优良的控制精度和性能,且具有单机容量大、体积小、效率高、系统惯量小等优点。关于交交变频交流提升机控制系统的结构以及矢量变换控制原理,本书后续章节将有详细介绍。

第三节 直流驱动提升机的基本类型

一、直流驱动的调速方案

根据直流电动机转速公式:

$$n = \frac{U_d - I_d R_a}{K_e \Phi}$$

$$T = K_T \Phi I_d$$

式中 U_d ——电枢端电压;

I_d ——电枢电流;

R_a ——电枢绕组电阻;

K_e ——电动势常数;

K_T ——转矩常数;

Φ ——励磁磁通;

T ——转矩。

可知,实现直流电动机的调速方法有改变电枢电压调速、改变电枢回路电阻调速、改变磁通调速三种。

(一) 改变电枢电压 U_d 调速

$$n = \frac{U_d}{K_e \Phi} - \frac{R_a}{K_e \Phi} I_d$$

在改变电枢电压 U_d 时(一般以额定电压为上限),理想空载转速 n_0 随之改变,但转速降 Δn 不变,即机械特性曲线斜率不变,在整个调速范围内有较大硬度,在允许的转速变化范围内可以获得较低的稳定转速。调速范围(最大与最小速度之比)较宽,一般可达 10~12,如果采用各种反馈或稳速控制系统,调速范围可达数百以上。

这种调速方式属恒转矩调速方式,在空载或负载时也可获得稳定转速,可平

· 200 ·