

第一章 序言

一、防爆绞车系统发展简史：

全国煤矿井下安装有上万部交流提升机（以下简称绞车），从控制系统分析，主要有以下几种系统，而这几种系统又代表了我国绞车电控系统的发展历史。

1. 没有控制系统的绞车：

随着《安全生产法》及《煤矿安全规程》的颁布及施行，此类绞车在井下提升领域已经很少了，主要是应用在 55KW 以下的小卷筒小功率的调度绞车或临时提升物料的绞车。

2. 转子串电阻调速的绞车电控系统（俗称“电绞”）：

由于国家对安全生产的重视，根据《煤矿安全规程》的规定，在高瓦斯及高煤尘的工作环境，要求采用防爆的绞车电控系统。

此时，大量的采用转子串电阻调速的电控系统被我国的煤矿广泛应用。这种防爆电控系统，在防爆电机的转子上串联防爆电阻，通过逐级投入或切除电阻来达到调速目的。

该系统的双线制保护是通过增加测速发电机或自整角机测量速度，由此速度信号而形成的后备保护系统来实现，也有个别的是采用轴编码器来进行测速的。

该系统在当时的技术条件下确实解决了对井下绞车电控系统的防爆需要。但其缺点也是尤其明显的：

- 失爆：由于在调速及制动过程中，防爆电阻消耗大量的能

量，导致防爆电阻箱过热而使得防爆箱变红、变形，不仅增加了系统的维护量，更为严重的是形成失爆，为煤矿井下带来安全隐患。

- **安全隐患大:** 由于在负力提升状态下采用电阻消耗能量制动，且传动系统任何保护，因此一旦制动系统有问题，易形成“飞车”事故，给安全生产造成隐患。
- **占用空间大:** 在此系统中，大量防爆电阻的投入，而占用了大面积的井下硐室，增加了车房硐室开拓的费用和难度。
- **调速精度低:** 从技术上该系统都是通过投入和切除电阻来进行调速的，故其调速系统只能是分级调速，而无法做到无级调速，且加减速度不易控制，这样又为绞车提升过程中造成安全隐患，容易造成掉道等事故的发生。
- **无法实现控制的双线制。**

3. 防爆液压绞车系统（俗称“液绞”）:

由于电绞存在着上述的种种缺点，八十年代初防爆液压绞车系统出现了。液压绞车系统采用一台或两台油泵驱动液压系统，然后通过液压系统来驱动液压马达，由液压马达直接驱动卷筒，实现提升，这样可以通过控制液压系统中液压油的流量来控制提升机的速度。

该系统的双线制保护也是通过增加测速发电机或自整角机测量速度，由此速度信号而形成的后备保护系统来实现，也有

个别的是采用轴编码器来进行测速的。

该系统不需要减速机直接驱动卷筒，因此简化了主机系统，故成本较低，又很好的解决了原来电绞的缺点。但在一段时间的应用后，其缺点也就随之暴露：

- 传动效率低：通过上面论述可以知道，来自油泵电机的驱动力通过一系列的传动驱动卷筒，因此其传动效率是比较低的，一般能做到 70%就非常不错了。
- 故障率高：由于液压马达长期运行，故其故障率非常高，因此维护费用及维护时间给用户造成损失。
- 密封差：由于我国的密封件的材质及加工水平较低，故液压系统的密封性能较大，尤其是系统投入一年以后，漏油比较严重，因此液压系统后期维护量大，维护成本高，维护时间长，给用户造成较大的损失。
- 过载能力差：液绞系统的过载能力比较差，因此在设计上往往加大安全系数，增加用户的投资。

二、全数字防爆四象限变频绞车电控系统（一般称为“变频绞车”）：

为解决以上系统存在的这样或那样的缺点，在 2001 年唐山开诚电器有限责任公司独立开发了全数字防爆四象限变频绞车电控系统。

在变频绞车电控系统中，以防爆四象限变频器为主要拖动设备，通过双 PLC 数字控制技术，实现《煤安规程》中规定的绞车双线制保护及控制。具体优点有：

- 调速精度高，调速范围广：调速精度不低于 0.5%，调速

范围为 0.3~额定转速。

- 双线制保护：由于采用一条硬件安全电路和两条软件安全电路相互冗余，使得系统更加安全可靠。
- 双线制控制：正常提升时，采用双 PLC 系统相互监视，相互冗余。当其中一个 PLC 系统发生故障时，另一个 PLC 系统仍可投入进行应急开车，最大程度的给用户减少损失。
- 操作简便：司机操作简单，系统安全性大大提高。
- 节能效果明显：系统将再生能量通过四象限变频调速装置回馈电网，采用 AFE 自换向技术保持回馈电流与电网电压的反相位，真正实现回馈制动。

第二章 基础及术语

一、术语和基础知识:

1. 异步电动机的转速:

异步电动机定子磁场的转速被称为异步电动机的同步转速。

因为当转子的转速达到电动机的同步转速时其转子绕组将不再切割定子旋转磁场，因此转子绕组中不再产生感应电流，也不再产生转矩。因此异步电动机的转速总是小于其同步转速。

异步电动机的同步转速由电动机的磁极对数（极对数）和电源频率所决定。

电机的同步转速

$$n_s = \frac{60 f}{p}$$

且转差率

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

因此，电动机的转速

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

n ——电动机转速，r/min;

n_s ——同步转速，r/min;

f ——电源频率，Hz;

p ——电动机磁极对数；

s ——转差率。

因为电动机出厂之后，电动机的极对数一般就不能再改变了，因此调节电动机的电源频率即可达到调节电动机的转速的目的。

2. “交-直-交”变频器：从某种意义上来说，变频器就是一个可以任意改变频率的交流电源。“交-直-交”变频器首先通过三相全波整流将交流电源整流成直流，然后通过开关元件将直流逆变工成交流，实现对输出电源的频率的控制。



变频器的基本构成

3. **IGBT (Isolated Gate Bipolar Transistor, 隔离门极双极型晶体管)**: 是目前广泛应用于中小容量变频器中的一种半导体开关器件。由于它集功率 MOSFET 和功率晶体管的优点于一身，具有输入阻抗高、开关速度快等特点。
4. **IPM (Intelligent Power Module, 智能功率模块)**: 是一种将功率开关器件及其驱动电路，保护电路等集成在同一封装内的集成模块。目前的 IPM 一般采用 IGBT 作为功率开关器件，通过光耦接收信号后对 IGBT 进行驱动，并同时具有过电流

保护，过热保护，以及驱动电源电压不足时的保护等保护功能。其功率损耗小，发热低，为解决防爆变频调速装置的散热问题提供了有利的条件。

5. **PWM (Pulse Width Modulation, 脉冲宽度调制) 控制**: 是在逆变电路部分同时对输出电压 (电流) 的幅值和频率进行控制的控制方式。在这种控制方式中，以较高频率对逆变电路的半导体开关元器件进行开关，并通过改变输出脉冲的宽度来达到控制电压 (电流) 的目的。
6. **正弦波 PWM 控制**: 指的是改变 PWM 输出的脉冲宽度，使输出电压的平均值接近于正弦波。这种控制方式也被称为 **SPWM 控制**。
7. **矢量控制**: 其基本思想是将异步电动机的定子电流分为产生磁场的电流分量 (励磁电流) 和与其相垂直的产生转矩的电流分量 (转矩电流) 并分别加以控制。由于在这种控制方式中必须同时控制异步电动机定子电流的幅值和相位，即控制定子电流矢量，故这种控制方式被称为矢量控制方式。

矢量控制方式使对异步电动机进行高性能的控制成为可能。采用矢量控制方式的交流调速系统不仅在调速范围上可以与直流电动机相匹敌，而且可以直接控制异步电动机的转矩。

8. **电机正反转的变频实现**:

利用普通的电网电源运行的交流拖动系统，为了实现电

电动机的正反转切换，必须利用开关等装置对电源进行换相切换。利用变频器进行调速控制时，只需改变变频器内部逆变电路换流器件的开关顺序即可以达到对输出进行换相的目的，很容易实现电动机的正反转切换而不需要专门设置正反转切换装置。

此外，对在电网电源下运行的电动机进行正反转切换时，如果在电动机尚未停止时进行相序的切换，电动机内将会由于相序的改变而流过大于起动电流的电流，有烧毁电动机的危险，所以通常必须等电动机安全停下来之后才能够进行换相操作。而在采用变频器的交流调速系统中，由于可以通过改变变频器的输出频率使电动机按照斜坡函数的规律进行减速，并在电动机减速至低速范围后再进行相序切换，进行相序切换时电动机的电流可以很小。

对于利用普通的电网电源运行的交流拖动系统来说，由于电动机的起动电流较大并存在着与起动时间成正比的功率损耗，所以不能使电动机进行高频度的起停运转。而对于采用了变频器的交流调速系统来说，由于电动机的起停都是在低速区进行而且加减速过程都比较平缓，电动机的功耗和发热较小，可以进行较高频度的起停运转。

9. 负力运行：绞车在重物下放以及重物上提的减速段，电机的给定的转速均小于实际转速，故此时提升机均处于负力运行状态。电机需要在给定的转速大于实际转速时，即正力运行

时为电动状态，此时电机为耗能运行；而当电机在负力提升时为发电状态，可视电机为发电机，因此需将再生能量进一步处理。

对于变频器控制的电机而言，其在负力运行时，变频器的直流母线电压将上升。

10. 电气制动：由于在变频器驱动系统中电动机的调整控制是通过改变变频器的输出频率进行的，当把变频器的输出频率降至电动机的实际转速所对应的频率以下时，负载的机械能将被转换为电能，并被回馈到变频器。而变频器则可以利用自己的制动回路将这部分能量以热能消耗或回馈给供电电网，并形成电气制动。

同机械制动相比，电气制动有许多优点，例如体积小，维护简单，可靠性好等。但是也应该注意到，由于在静止状态下电气制动并不能使电动机产生保持转矩，所以在绞车系统中还必须采取相应的措施，例如和机械盘形制动器（盘形闸）同时使用。

电气制动形式主要分为动力制动(直流制动)、能耗制动、回馈制动，这三种制动方式将在下文进行论述。

11. 动力制动(直流制动)：它是利用制动时，在电机定子上施加直流电势，由于转子旋转而形成与转子本身磁场相反的旋转磁场，达到制动的目的。一般适用于由高速旋转降至低速旋转，故制动过程及减速度无法精确控制。

- 12. 能耗制动：**制动单元实时采样直流母线电压值，当其值达到某一阈值时，制动单元投入制动电阻将再生能量消耗。
- 13. 可控整流：**普通两象限变频器的三相全波整流单元为非可控的整流单元，故该单元无法实现再生能量的回馈，因此为实现再生能量的回馈将三相全波整流单元设计成可控整流，例如我们采用的仍然是 IPM 来作为整流单元。
- 14. AFE（Active Front End，主动前端）技术：**采用 AFE 技术的变频器，可以实时的控制电流的相位。当电机为电动状态时，通过 AFE 技术的控制，电流的相位可以和电压同相位，使功率因数接近于 1；当电机为发电状态时，通过 AFE 技术的控制，电流的相位可以和电压反相位，我们知道，发电机的电流和电压是反相位的，而此时就可以将电机理解为发电机在运行。
- 15. 回馈制动：**回馈制动有两种方式，整流回馈和 AFE 回馈。
- **整流回馈：**即采用普通三相全波整流+回馈单元+自耦变压器的形式。自耦变压器的目的是为了为了使回馈的电压与电网电压一致。当电机产生再生能量时，直流母线电压提升，回馈单元将能量通过自耦变压器回馈电网。此时，回馈的波形最好的情况下只能是方波，这对电网来讲，污染是非常严重的。
 - **AFE 回馈：**采用可控整流+AFE 控制单元。当电机产生再生能量时，直流母线电压提高到设定阈值时，整流侧的

DSP（数字信号处理器）类似逆变侧的 DSP 一样自动控制可控整流的 IPM 的工作，通过 PWM 斩波技术，形成回馈的正弦波。同时，通过 AFE 技术，自动将回馈的电流相位保持与电网电压相位的反相位，而真正达到向电网回馈正弦波的能量，且如发电机的状态一样的运行。

另外，对于采用二极管整流电路（三相全波整流）和电压形 PWM 逆变电器的变频器来说，变频器本身造成的高闪谐波将给电源电压和电流带来畸变，并影响接于同一电源的其它设备。但是，通过在变频器中采用 PWM 整流电路，就可以基本解决这个问题。

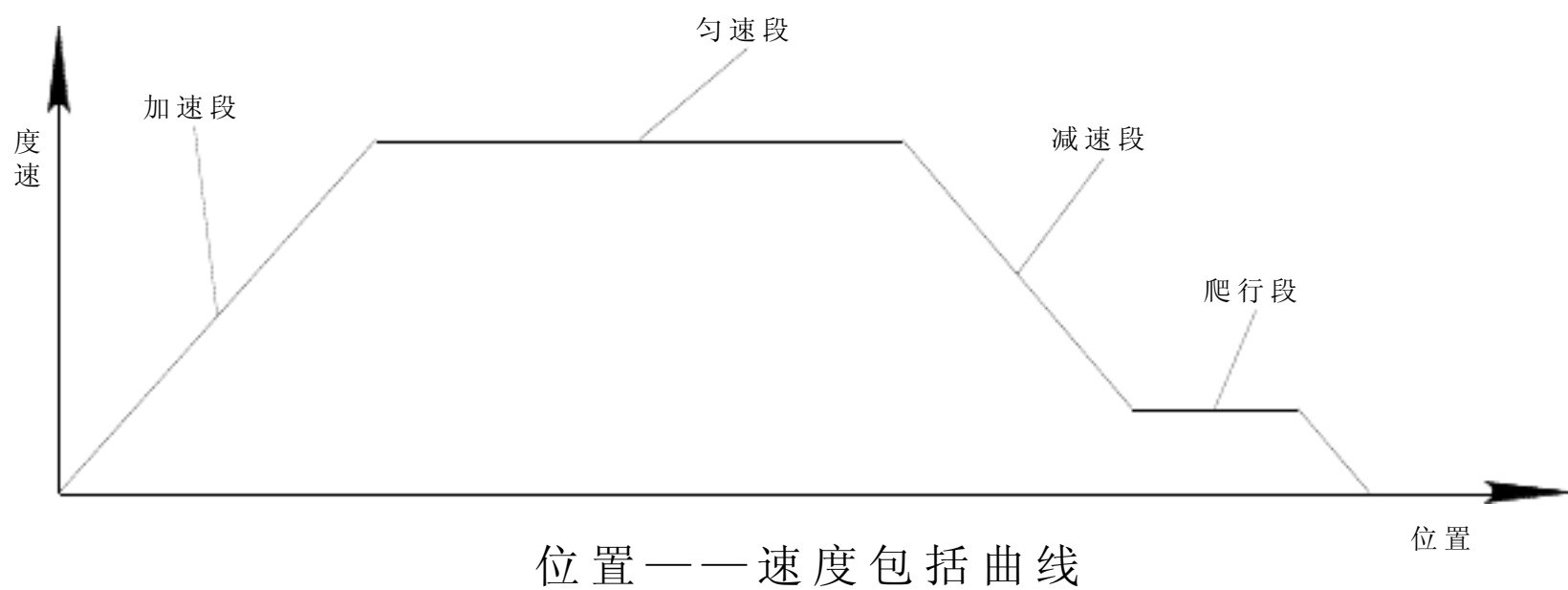
综上所述，此种方式回馈的波形好，功率因数理论上可达到-1，对电网的污染也非常小，是最理想的回馈制动方式。

但由于变频器中很大一部分成本在于 IPM 模块和其控制电路因此采用可控整流和 AFE 回馈单元会使得变频器的成本大幅提高，故采用 PWM 可控整流技术的变频器相当于两台未采用可控整流技术的变频器，从理论上讲，成本提高接近一倍。故相对来讲，其价格较高。

- 16. 二级制动：**二级制动是指在安全制动时，将机械闸的制动力分两次施加在闸盘上，目的是防止因紧急制动而产生过大的减速度导致对人员或设备的伤害，一般通过控制闸的油压来完成。

17. 二级制动解除：当提升容器接近提升终端时，要求解除二级制动，以防止由于不能一次制动而导致对人员或设备的伤害。

18. 速度图：本系统自动生成“位置——速度”包括曲线，即速度图，根据速度的变化在速度图上分为加速段、匀速段、减速段、爬行段及停车段，速度图见下图。



二、 系统构成：

防爆四象限变频绞车电控系统是采用四象限变频调速装置的拖动系统和基于双线制控制的采用双 PLC 的控制系统及相关传感器构成：

1. 传动系统：

a) 防爆四象限变频调速装置：

ZJT-30 隔爆兼本安智能变频调速装置是我公司引进国外先进的变频调速技术的基础上开发的适用于煤矿井下防爆绞车四象限工作要求的变频调速装置。

它采用了交—直—交无速度传感器矢量控制技术，具有调速范围广，调速性能好的特点。该装置的主要功率器件选

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/458111056121006051>