

矿井提升机电控系统选型指南

本指南“矿井提升机”可以是：主井提升机、副井提升机、混合井提升机、凿井提升机、水电系统的过坝提升机（或升船机）、钢缆皮带机、高炉卷扬机等。

1、概述

矿井提升机电控系统可以分为三个子系统：调速系统、控制系统、监控系统。

关于调速系统，串电阻调速的交流调速系统已被明令淘汰（详见：国家安全监管总局关于发布《淘汰落后安全技术工艺、设备目录》；直流调速系统和串级调速（双馈）已被限制使用（国土资源部关于印发《矿产资源节约与综合利用、限制和淘汰技术目录（修改稿）的通知》（国土资发[2014]176号））。由于交-交变频存在谐波大、功率因数低、技术落后等缺点，已属于淘汰产品。所以，交-直-交变频调速是当前提升机调速系统的唯一选择，随着高压变频技术日趋成熟、可靠性稳步提高、价格逐渐下降，6kV 或 10kV 高压变频器成为调速系统的主流。

关于控制系统，继电器控制已明令被淘汰（详见：国家安全监管总局、国家煤矿安监局关于发布《禁止井工煤矿使用的设备及工艺目录（第二批）》的通知，安监总煤装【2008】49号）。按照最新版的《煤矿安全规程》（2016）的第四百二十三条“相互独立的双线型式”的规定，要求控制系统为双 PLC 网络化控制，主控 PLC 完成提升机的启动-加速-等速-减速-爬行-停车的整个过程控制及独立的必要的保护，辅控 PLC 协助主控 PLC 完成过程控制并具有独立的必要保护，主控、辅控 PLC 间通过网络通讯相互交换数据并互相监视实现双线制控制，控制系统应具备应急开车功能，当 PLC 故障时，能够低速运行，这点对副井的人员提升尤为重要。提升机常用的 PLC 通常为德国西门子 S7-200/S7-300 系列（已升级为 S7-1200/S7-1500）或日本三菱 FX2n 系列（已升级为 FX3u）。

关于监控系统采用上位机形式，与 PLC 形成网络化通讯，上位机要求工业控制机配置，常用的有西门子工控机和台湾研华工控机；监控系统具有好的人机界面，应具有两大功能：实时显示与报警、实时记录（相当于“黑匣子”功能），对一些重要的参量及曲线应长时间记录，便于管理与问题的分析。

网络化的含义除了调速系统-控制系统-监控系统间形成网络通讯，还应与信号、操车控制系统或装卸载控制系统形成网络通讯，并且，与矿山局域网、因特网形成网络通讯，具有远程诊断功能。

提升机包括提升电控的选型应把可靠性放在第一位，因此，提升设备选型的目标排序是：可靠性→性能→节能→价格→其它。

设计选型的四个原则：

- 先安全后效率原则：在安全保证的情况下，尽可能提高运行效率。

- 总确保安全型原则：在安全确保方面，首先采取主动措施，千方百计不让故障发生，即无故障安全型；其次采取被动措施：一旦发生故障能够及时检测并实施有效的合理的保护，即故障安全型。
- 一体化供货的原则，其优势在于：整个提升系统的优化、服务的快速性和周到性，备件优惠，运维成本的降低。所以，将主井装卸载控制系统、副井信号和操车控制系统融于提升电控系统中，变频器采用与控制系统同一厂家的产品，具有明显的优势。
- 主机和电控分开供货的原则，其优点在于：分别能够选用性价比最优的主机设备和电控设备，达到 1+1>2 的效果。机电配合已经程序化，机电分开供货没有问题，并且在服务、质量方面能够相互监督。

2、调速系统的分类

矿井提升机交流电动机分为异步机和低速同步机，异步机需要带减速器（取代高速直流电动机），低速同步机不需带减速器（取代低速直联直流电动机）。当前，与交流电动机配套的提升机电控种类如图 1 所示。图 1 中的功率为单电动机的额定功率。

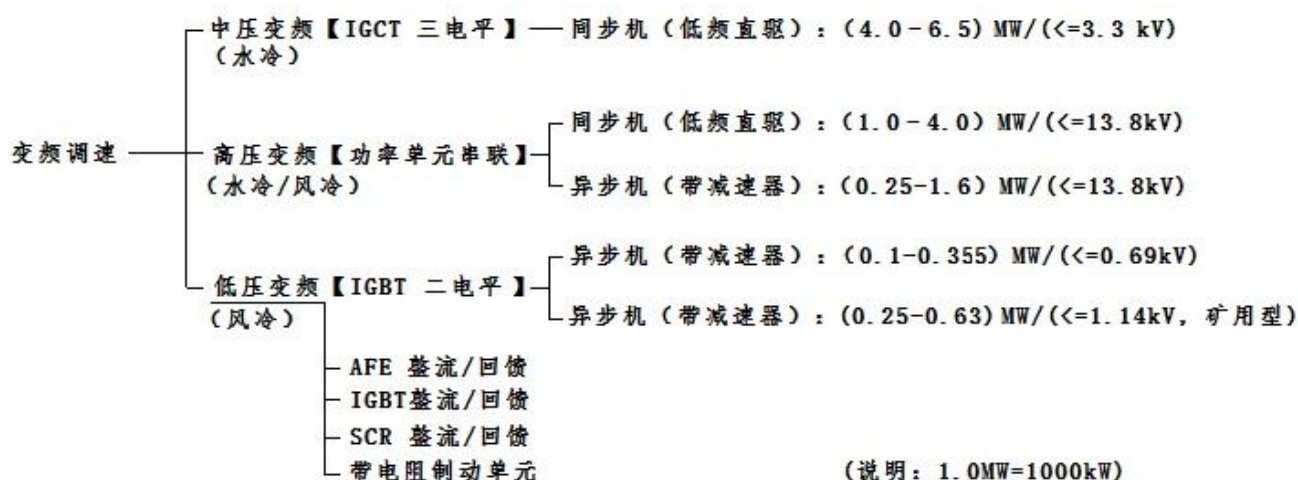


图 1 提升机交流电控系统的分类

3、电控方案的技术特点和选型说明

图 1 所示的电控系统方案在现阶段均是成熟的，由于方案不同、设备的配置不同，导致电控设备的价格相差较大。提升机用的交流电动机的特点如表 1 所示。图 1 所示的交流电控系统方案的特点如表 2 所示。

受电动机、减速器生产工艺技术和变频器功率器件等的限制，按照性能价格比最优等原则，提升机用电动机推荐选型：①异步电动机功率，单机≤1600kW；②6 或 10kV 高压同步机功率，单机≥500kW，最大 4500kW；③3.15（3.3）kV 中压同步电动机功率，单机≥3500kW，最大

6500kW；④单机功率超出以上范围，要考虑双机拖动方案。

表 1 提升机用的交流电动机的特点

电动机种类	特 点	适合的调速方案
低压变频异步电机	①转子不存在滑环和碳刷，维护量小	①低压变频（风冷）
高压变频异步电机	②发热量小 ③但主机需带减速器，设备体积大，设备的基建投资大	①6 或 10kV 高压变频（风冷/水冷）
3.15V 中压同步电机	①低速直联，省掉减速器 ②维护量小	①中压交-直-交变频（水冷）
6 或 10kV 高压同步电机	③大容量	①高压变频（风冷/水冷）

说明：大功率变频器功率拟优先采用水冷方案，水冷效率高、噪音低，环境适应性强。

表 2 提升机交流电控系统的特点

交流变频电控种类		特 点	电控选型说明
低 压 变 频	低压变频器带电阻制动单元	①线路简单，价格便宜； ②推荐电压等级：380V； ③部分能量消耗在电阻上。	① $P_e \leq 250kW$ 优选 ②适用于主井及小容量的副井提升
	低压变频器带 SCR（可控硅）回馈制动单元	①线路简单，价格适中； ②节能，但功率因数较低、谐波较大； ③推荐电压等级：660V。	① $P_e \leq 630kW$ 可选 ②适合于主、副井提升
	低压变频器带 AFE 或 IGBT 回馈制动单元	①功率因数高、谐波较小 ②节能，但电磁干扰大 ③推荐电压等级：660V、1140V	① $P_e \leq 630kW$ 可选 ②适用于主、副井提升
中 压 变 频	3.3kV 中压交-直-交变频器（三电平，进口）	①低速直联，省减速器，变频器价格昂贵； ②功率器件：IGCT，开关频率高，功率因数高、谐波较小； ③需要配置水冷装置； ④变频器如果损坏，没有应急提升通道，所以只适用于主井提升； ⑤可靠性高，但备件昂贵，服务费昂贵。	① $P_e \geq 3500kW$ 优选 ②适用于主井提升 ③适用于低频直驱同步机
高 压 变 频	每相多个功率单元串联，6kV 或 10kV 高压变频（21 或 33 电平，国产）	①更多电平，功率因数更高、谐波更小，成为主流方案； ②价格适中，备件价格低、服务到位；可适用于各种电压等级的电动机：1.14kV（1 级）、2.3kV（2 级串）和 3.3kV（3 级串），6kV（5 级串）、10kV（8 级串），以此类推； ③应急提升：全载，100%、80%、60%、40%的额定速度可选，多通道旁路。	① $P_e \leq 4000kW$ 优选 ②适用于主、副井提升 ③适用于低频直驱同步机（ $P_e \geq 1600kW$ 优选，省减速器）或异步机（ $P_e < 1600kW$ 优选）

说明：表 2 中， P_e ：提升电动机的额定功率。

4、调速系统设计选型指南

矿井提升能力一旦确定，提升机主机型式及电动机的功率就能确定，对提升机所用的电动机的特点以及与之配套的各类电控系统的特点有较深刻的了解之后，就可以对提升电控系统进行选型，电控系统的价格和使用性能主要取决于调速系统，调速系统的选型主要考虑的因素有：主提升电动机的功率、主井、副井、竖井、斜井、投资额、用户维护使用的技术力量和偏好、备件情况、厂商自主服务的快速性和质量、运维成本等，必要时要进行性能价格比分析，选择性能价格比较优的电控系统方案，为日后矿井安全生产打下坚实的基础。

依据电动机的功率选定交流变频电动机的电压等级及其变频器（包括制动方式）。调速系统主回路的选型要根据力图和速度图进行计算，通常按电动机功率进行估算。

根据提升电动机功率及性能价格比最优、可靠性最高的原则，推荐的调速方案如表 3 所示，具体项目可依据实际情况作出调整。

表 3 推荐的调速方案

电动机功率 P_e	调速方案	变频器优选顺序	说 明
1、低压变频方案			
$P_e \leq 250\text{kW}$	380V 低压变频器，带： ①电阻制动单元 ②IGBT 回馈制动	①LYYC/NX1（电阻制动） ②LYYC/NX0+PFH110（回馈制动） ③ACS880-04+PFH110（回馈制动） ④S120（IGBT 回馈整流装置+逆变装置）	低 压 AC380V 直接进线。
$250\text{kW} < P_e \leq 630\text{kW}$ （低压 660V 进线）	660V 低压变频器，型式： ①IGBT 回馈型 ②AFE 回馈型	①LYYC/NXA（AFE 回馈型） ②ACS880-14（IGBT 回馈型） ③S120（IGBT 回馈整流装置+逆变装置）	低 压 AC660V 直接进线
$250\text{kW} < P_e \leq 630\text{kW}$ （高压 6 或 10kV 进线）	660V 低压变频器，型式： ①SCR 回馈型	①LYYC/NXF（SCR 回馈型）	高 压 AC6 或 10kV 进线并设整流变压器
2、异步机高压变频方案			
$250\text{kW} < P_e \leq 1600\text{kW}$	100%能量回馈： ①6kV 高压变频器 ②10kV 高压变频器	①LYYC/GBP-FVA（风冷型）	高 压 AC6 或 10kV 进线
$1250\text{kW} < P_e \leq 2000\text{kW}$	100%能量回馈： ①6kV 高压变频器 ②10kV 高压变频器	①LYYC/GBP-FVA（水冷型）	高 压 AC6 或 10kV 进线
3、低频直驱同步机高压变频方案（不需减速器）			
$500\text{kW} < P_e \leq 1250\text{kW}$	100%能量回馈： ①6kV 高压变频器 ②10kV 高压变频器	①LYYC/GBP-FVS（风冷型）	高 压 AC6 或 10kV 进线
$1250\text{kW} < P_e \leq 4500\text{kW}$	100%能量回馈： ①6kV 高压变频器 ②10kV 高压变频器	①LYYC/GBP-FVS（水冷型）	高 压 AC6 或 10kV 进线

4、低频直驱同步机中压变频方案（不需减速器）			
3500kW<Pe≤ 6500kW	100%能量回馈： ① 3.3kV 中压变频器	①ACS6000SD（水冷型） 9 或 13.0MW ②SM150（IGCT，水冷型）10 或 10.5MW	高压进线，低速直联
Pe≥4500kW 双机	双机拖动，一台变频器对一台同步机，主从结构 ① 3.3kV 中压变频器	两台中压变频器，主从结构： ①ACS6000SD（水冷型） 9 或 13.0MW ②SM150（IGCT，水冷型）10 或 10.5MW	高压进线，低速直联，两台同步机沿卷筒两侧布置

说明：表 3 中，Pe：单台电动机的额定功率。

5、控制系统选型指南

控制系统主要由主控 PLC 和辅控 PLC、应急开车系统构成，在提升系统中曾经使用过各种品种、各种品牌的 PLC，经过长期的大浪淘沙，现在主推的机型是：日本三菱的 FX3u（经济坚固型：故障率很低，编程使用易学易会）、西门子的 S7-1200 系列（增强型：网络功能强，大系统组态方便，豪华型的常用 S7-1500 系列）。这两种机型的 PLC 均能满足提升系统功能的需要，重要的是，采用了这两种主推的机型，有优点：①货期有保证，备件随时都能购得；②厂商和使用现场会编程使用者众。其它机型如美国 GE 公司的 IC693 系列等，只要用户指定，可以非标设计。

主控 PLC 安装在 PLC 电控柜中，辅控 PLC 安装在操作台中，网络化、双线制、多线制控制成为 PLC 控制系统的主要特征，主要特点如下：

- 选用两套不同配置的 PLC，两套 PLC 互为 CPU 冗余控制。主、辅 PLC 之间相互通讯及监视，操作过程实现双线控制方式，对提升机运行关键的信号（如速度、容器位置、安全、减速、过卷等等）均采用双线制或多线制保护，互为监视。
- 具有三条安全保护回路，其中，软件安全回路两条、硬件安全回路一条。多条安全保护回路之间互相冗余，保证矿山设备的高效、安全运转。轻重故障具有声、光报警或预报警。PLC 故障应急开车的情况下，硬件安全回路起作用。
- 硬件安全回路继电器（接触器）不同配置，同时一只安全继电器执行“常开”逻辑控制，另一安全继电器执行“常闭”逻辑控制。
- 有关深度、速度的监控及保护均实行双线制或多线制。
- 完善的保护功能，保护功能按下列三类设置：
 - 一类重故障：立即施闸的紧急停车。
 - 二类重故障：先按设定减速度减速，然后紧急停车（在减速段按一类处理）。
 - 三类轻故障：完成本次提升后，不允许再次开车（故障排除后再开车）。

- 具有：手动、半自动、自动（针对主井、非煤矿的混合提升）、换层（针对双层多层罐笼提升）、检修及应急等开车方式。

手动：司机根据信号系统情况，通过速度给定器件控制提升机在额定速度以下任意速度运行，自动减速、自动准确停车，同时要受到行程控制器的限制。

半自动：在半自动运行逻辑具备条件时，司机根据开车信号情况通过按钮开车，让提升机完成一个提升循环，并具安全连锁；具有自动选择去向，确定运行速度等功能，自动加速、自动减速、自动准确停车。

自动：在自动运行逻辑具备条件时，控制系统根据开车信号情况自动让提升机完成一个提升循环，并具安全连锁。司机只起监视作用，可以干预停车（非意外情况）或紧急停车。

检修：检修速度：0.3~0.5m/s，检修时手动开车。

换层：自动时，要罐所在中段（水平）的信号工直接控制提升机慢上、慢下及换层控制，手动时只能由司机操作。

应急：在 PLC 出现故障情况下，提升机可实现低速应急开车，速度 $<2\text{m/s}$ ，并且具有《煤矿安全规程》规定的必要保护。

急停：在任何运行方式下，司机通过急停按钮或脚踏开关实施**急停操作**。

- 网络化集散控制，使整个系统的外接线大量减少。
- 采取必要的硬件、软件的抗干扰措施（隔离、滤波、合理的结构及布线），确保整个系统不受电磁干扰、供电电源的干扰，并对其他设备不产生危害性的干扰。
- 经过优化设计，使设备的性能更加强大，硬件包括接线更加整洁，如原来由继电器进行隔离的线路均由光隔完成，使继电器数目减少到最少的必要程度。
- 与信号系统、装卸载控制系统之间的提升信号闭锁与联络，方式：网络通讯或点-点通讯。
- 数字（电子）监控器的功能，竖井提升可以取消机械式深度指示器或监控器，斜井提升希望保留牌坊式深度指示器。
- 副井及混合提升情况下，根据提升种类进行最高提升速度限制，并且，提升种类有：人员、物料、矸石、炸药、换层、检修、长材等，长材方式，允许过卷提升，并设有二次过卷开关，二次过卷保护也是双线制。
- 控制系统已具备比《安全规程》更加严格且完善的保护，通常情况下，没有另加“综合保护装置”的必要。
- 编码器—编码器、编码器—测速机相互比较和监视，确保速度、深度指示及控制万无一失。

6、监控系统设计选型指南

监控系统采用上位机形式，早期使用过各种品牌的计算机作为监控上位机，经过长期的淘汰，现在主推的是西门子工控机或台湾研华工控机，硬件软件按最新配置，并已成为标配部件。

上位计算机与 PLC 网络通讯，在调试期间可作为 PLC 的编程器作用，在设备正常运行期间起到监控的作用：实时显示、实时记录、实时报表，主要特点如下：

- 配有 WinCC 软件平台、全汉字界面；
- 与 PLC 通讯及矿井管理系统联网的功能、具有远程诊断的功能；
- 监控软件实现：
 - ◆ 提升系统动静态画面生成（如提升过程动态，显示速度动态曲线(给定与实际)，电枢电流动态曲线，提升容器位置动态显示、可调闸电流、制动力矩的动态显示、装卸载站的工作状态等）。
 - ◆ 具有对提升机系统发生的轻重故障进行诊断和保存，实现了综合后备保护功能；能显示及打印故障发生的位置、时间、原因以及故障前的有关数据参数，对深度、速度实时值、提升种类、信号情况进行实时显示并记录，相当于飞机上的“黑匣子”功能。
 - ◆ 各类报表生成、历史记录（多于 1000 次提升过程）。
- 主要画面有十余幅。包括：系统全貌及介绍 / 高压系统图 / 低压供电系统图 / 传动系统图 / 液压系统图 / 深度与信号监视 / 安全回路图 / 动态速度及力图/生产报表，显示并打印当日、当月、全年的提升量 / 卸载站系统图 / 装载站系统图 / 故障自诊断、故障信息及事件记录（列表及打印输出） / 其他（根据需要设计），画面内容按实际需要设计。

洛阳源创电气有限公司
2018 年 3 月

郑孝平

邮箱：lyzxp369@163.com

电话：13838816633、0379-65112919