

大型矿井提升机拖动技术方案的研究与探讨

宋健焜

铜陵有色设计研究院 安徽省铜陵市爱国路 8 号 244000

摘要：通过对大型矿井提升机各种拖动技术方案的研究和探讨，以及对直流拖动方案的特点进行研究，得出：在大型矿井提升机的应用中，直流拖动仍然是性价比最优的技术方案，将长期与交流变频拖动方案并存，装机容量在 3500KW 以内，首选直流拖动方案，其次选用交-直-交变频拖动方案。

关键词：直流拖动；交流拖动；低速直联；低速直流电动机；低速交流同步机；直流调速装置；交-交变频；交-直-交变频；

Research and investigate on the technical scheme of large hoist drive

Jiangkun Song

Tongling Nonferrous Design and Research Institute, Tongling, Anhui, 244000, China

Abstract: Research and investigate on the technical scheme of large hoist drive, and research on the feature of D.C. drive, it follows that D.C. drive must be best price / performance ratio and long standing same as A.C. drive of frequency inverter in application of large hoist, the motor power be smaller or equal to 3500KW, D.C. drive must be preferred, A.C. drive of AC-DC-AC frequency inverter be posteriorly designed.

Keywords: D.C. Drive; A.C. Drive; Low speed and direct connection; Low speed D.C. motor; Low speed A.C. synchronous motor ; DC drive master; AC-AC frequency inverter; AC-DC-AC frequency inverter

1、大型矿井提升机拖动技术方案

随着中小矿山资源的不断整合和升级以及深井开采的不断深入，大型生产矿井不断涌现，进年来，选用大型矿井提升机不断增多，急需与之相配套并且具有高性能价格比的电控系统，电控系统的性能价格比取决于拖动技术方案。

大型矿井提升机具有以下特点：1) 塔式或落地多绳摩擦式提升机；2) 卷筒与主拖动电动机的联接方式为低速直联，没有减速器；3) 主拖动电动机为低速直流电动机或低速同步电动机；4) 电动机的额定功率 $P_e \geq 800\text{KW}$ ；5) 采用中高压恒减速或恒力矩二级制动液压站；6) 取消传统的机械式监控器、牌坊或圆盘式深度指示器；7) 尽可能设计成单机拖动方式，其次才设计成双机拖动。

根据上述的大型矿井提升机特点，经过调研与比较，现阶段能够与之配套并且相对比较合理的大型提升机拖动技术方案如表 1 所示。

表 1 大型矿井提升机拖动技术方案

主拖动技术方案	拖动主回路技术方案	现状与发展趋势
低速直流电动机	电枢可逆串联 12 脉动，三相整流恒定励磁	技术成熟、安全可靠、调速性能优越、节能、技术服务快速周到、备件充足，故障率低，需求量仍然显上升趋势，与交流变频调速将共存很长时间
	电枢可逆并联 12 脉动，三相整流恒定励磁	
低速中压同步电动机（交-交：约 1500V，交-直-交：3150V）	同步机定子双绕组，交-交变频 12 脉动，三相整流励磁	夕阳技术、设备供货渠道不畅且复杂庞大、价高另需谐波补偿装置，逐渐淘汰
	同步机定子单绕组，交-直-交中压变频 6 脉动，三相整流励磁	朝阳技术、无谐波，但设备昂贵，变频器有故障只能停产，需求量审慎地增长
低速高压同步电动机（6KV）	功率单元串联式高压同步机变频器，三相整流恒定励磁	朝阳技术、谐波小，从零八年开始采用，但需要多个业绩实用验证其可靠性

从表 1 可以看出，直流拖动仍然是当今大型矿井提升机首选的拖动方案，由于篇幅的关系，本文着重对直流拖动的技术方案展开研究与探讨。

2、直流拖动技术方案的研究与探讨

在矿井提升机上采用直流调速方案有近百年的历史，发电机-电动机的 F-D 机组于上世纪八十年代淘汰，随着大功率晶闸管的可靠性及国产化率的不断提高，全数字化调节与控制也完全取代了模拟量的调节与控制，性能价格比也不断提高，磁场可逆的拖动方案也已淘汰，因此，现在新选用的直流拖动方案，其主回路均为电枢可逆。6 脉动方案由于功率因数低、没有两个整流桥相互能够切换与备份，仅用于中小型的矿井提升机中，大型矿井提升机不必考虑 6 脉动的拖动方案。

对于大型矿井提升机，其所采用的直流电动机的功率比较大，可选的电枢电压等级为：660V、750V、800V、850V、900V、950V、1000V，电动机的功率越大它的电枢电压越高，电枢电压的合理选配对电控系统的性价比影响较大；对于大型低速直流电动机，可选择的励磁电压等级：110V/55V，励磁通常选用 110V（两励磁绕组串联），采用原装的三相全数字调速装置直接为励磁绕组提供恒定的励磁电流。

大型矿井提升机直流拖动主回路技术方案如图 1 所示，串联 12 脉动与并联 12 脉动的性价比详见表 2。

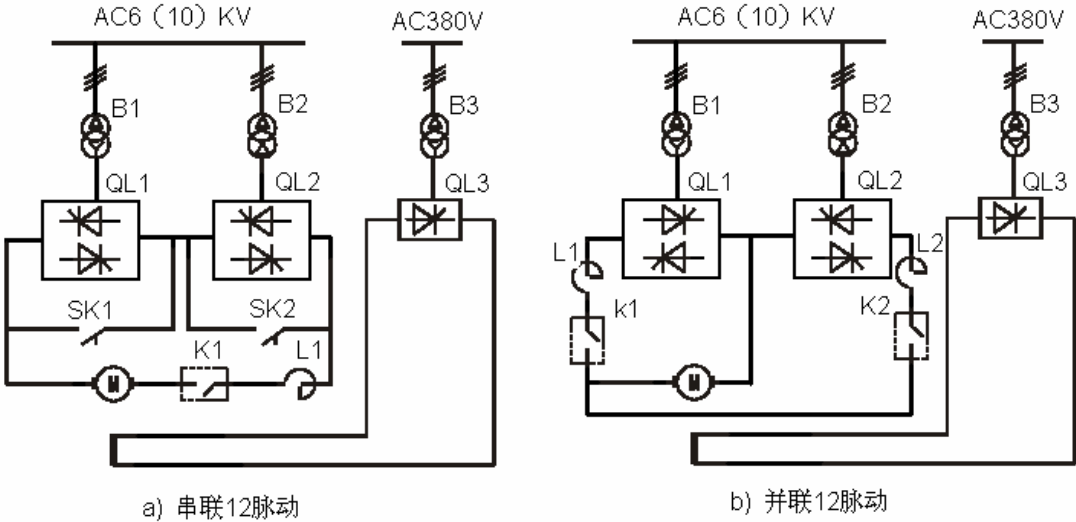


图 1 直流拖动主回路技术方案

表 2 串联 12 脉动与并联 12 脉动技术方案性价比

方案	方案名称	成本	优点	缺点	选用情况
1	串联 12 脉动	适中	1) 6 脉动能够实现全载半速，整流桥故障当次不必减少负载量； 2) 加减速阶段实现顺序控制，无功冲击小。	成本比方案 2 高	选用概率超过 90%
2	并联 12 脉动（6 脉动：半载全速）	低	1) 整个运行过程纯 12 脉动，功率因数较高； 2) 成本较低。	整流桥故障的当次以及 6 脉动运行的过程中只能半载全速	选用概率小于 10%
3	并联 12 脉动（6 脉动：全载全速）	高	1) 6 脉动能够实现全载全速，整流桥故障当次不必减少负载量，运行效率高； 2) 整个运行过程纯 12 脉动，功率因数较高。	成本最高	选用概率小于 5%

随着全数字化以及晶闸管的质量不断提高,现有直流调速系统的可靠性是比较高的,故障处理周期比较短,推荐选用串联 12 脉动主要有以下理由: 1) 与 6 脉动相比,功率因数高、谐波量小; 2) 两个整流桥同时使用,万一有一组桥有故障,能够容易的切换到 6 脉动运行,故障当次减速运行但不必减少负载量,不耽误生产,对副井特别适用; 3) 并联 12 脉动方案在 6 脉动情况下只能实现半载全速,在整流桥故障的当次可能提不动负载,就有事故隐患存在,假如按照 6 脉动情况下能够实现全载全速去选型,那么整流变压器、整流装置等主回路器件容量要大得很多,造成较大的成本增加,性价比较低,这些设备经常处于“大马拉小车”的状态。

3、直流双机拖动技术方案的研究与探讨

从全数字整流装置来看,单台整流装置的额定电流达到 5200A,如果两台装置并联,其额定电流达到一万安培以上,可以采用两并两串组成串联 12 脉动的方案,这样四台整流装置就能够控制装机容量超过 7000KW 的大型矿井提升机并具有足够的启动倍数和过载裕量,问题是直流电动机单机容量超过 3500KW,特别是低速直联电动机,其制造工艺有一定问题。所以,直流拖动方案中提升机装机容量超过 3500KW 就要设计成双机拖动方案。

双机拖动方案中,两台电动机沿卷筒两侧布置,一根大轴通过卷筒同时联结两台直流电动机,确保两台电动机速度完全一致,直流双机拖动主回路技术方案如图 2 所示,在图 2 中可以看出,两台电动机的励磁绕组被串联起来,确保两台电动机的励磁电流一致,两台电动机的电枢绕组分别由两组整流桥串联组成串联 12 脉动供电,与单机拖动一样,整流变压器仍然设置两台,不过每台整流变压器的副边均为双绕组,并且两副边绕组接法一样,整流变压器的接法分别是: D/y,y-11 (5), D/d,d-12 (0), 分别为两台电动机电枢主回路相同位置的整流装置供电,这样如果要进行 6/12 脉动切换,两台电动机就同时切换,就是说两台直流电动机要么同时工作在 12 脉动状态,要么同时工作在 6 脉动状态。

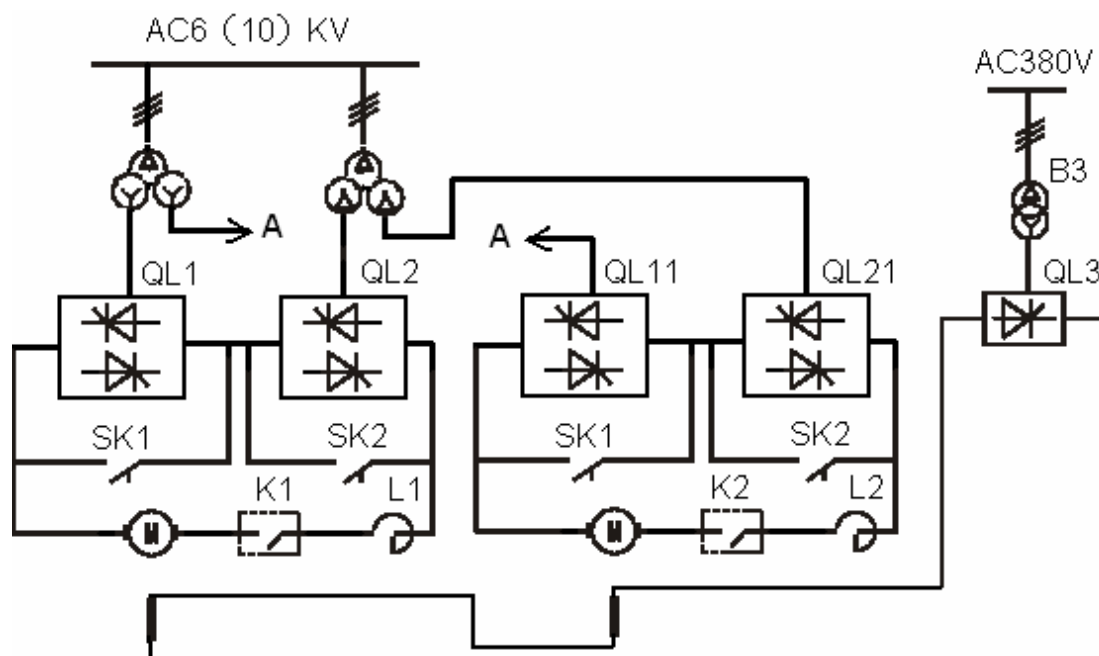


图 2 直流双机拖动主回路技术方案

问题是怎样才能保证两台直流电动机的电枢电流也一致呢? 一种做法是将两台直流电动机的电枢绕组也串联起来, 这种做法有其缺点: 1) 大型直流电动机的电枢电压比较高, 串联以后电枢电压更高了, 给主回路各器件的选型造成一定困难; 2) 单电机运行时, 切换比较麻烦。实用中, 双机拖动主回路技术方案按图 2 进行设置, 直流调速系统的软件设置成: 1) 一个速度环, 确保两台电动机的速度完全一致; 2) 两个电流环, 一台电动机具有一个独

立的电流环，但是电流给定信号均取自同一速度环的输出。理论上，这样的做法，两台电机静态电流是一致的，动态电流可能不完全一致，实用证明，由于全数字化的调节和控制，两台电动机动态电流也基本一致，上述提到两台电机的励磁是一致的，因此，两台电动机的出力也基本一致，满足矿井提升机双机拖动中两台电机速度一致、出力一致的原则。

4、结语

大型矿井提升机直流拖动方案与交流拖动相比，直流拖动技术由于发展的时间很长，现在可以说达到炉火纯青的程度，在调速性能方面，交流变频只能说现阶段能够与直流调速相媲美；由于变频器功率器件的制造技术正处于发展过程中，在可靠性等方面变频器要与整流装置相媲美还需要很长一段时间，直流拖动的主要缺点在于低速直流电动机：1）存在滑环与碳刷，存在一定的维护量，据现场使用反映，直流电动机的维护量是比较小的，对现场的使用维护人员不构成负担；2）装机容量超过 3500KW 就要设计成双机拖动的方案，对主机的拖动方式有一定的影响，但双机拖动也有优点，卷筒两边受力均匀、扭力小。

总之，矿井提升机有其特殊性，选型时，应把高的安全可靠放在第一位，并且在故障的情况下，要有旁路措施，停机维修的时间要尽可能的短，其次兼顾效率、谐波量、投资额的大小，等等，因此，直流拖动方案将长期与交流变频拖动方案并存，只要装机容量小于 3500KW，都可以首先选用直流拖动方案，装机容量大于 3500KW 选用交-直-交变频拖动方案。