

WK35电铲能耗制动原理及优化

谢飞

国家能源集团准能集团哈尔乌素设备维修中心

[摘要] 矿用电铲作业过程中, 大质量的工作装置在提升和推压机驱动下切入物料实现挖掘, 电铲是露天矿的重要采掘设备, 保证电铲持续安全、高效地运行, 对露天矿业的生产有重要的意义。WK-35矿用变频挖掘机电气系统采用公用直流母线交流变频调速技术, 在能量回馈制动时候, 原负载电机由电动机状态转变为发电机状态, 能量回馈回原电路中, 由制动单元吸收回馈的能量, 实现自动切换状态。制动单元由大功率晶体管及驱动电路构成。放电环节电容器在规定的电压范围内储存不了时, 变频器的直流电压会升高, 当电压升高到大于变频器参数设定的最大阈值电压时, 制动单元自动导通, 变频器的直流电能进入制动单元, 通过制动单元连接的耗能元件消耗输入的电能, 达到吸收再生制动反馈电能的目的。

[关键词] WK35电铲; 6SE70变频器; 能耗制动

[DOI] 10.12252/j.issn.2096-6261.2021.10.2192

矿用电铲是大型露天矿山开采的重要装备, 作业中, 铲斗在提升与推压机构的复合作用下装载物料, 提升机构将铲斗提升至卸载高度, 与此同时, 回转机构驱动上部车体回转至卸料位置, 卸料完成后, 铲斗在提升机构与回转机构的协同作用下回落到初始位置。作业中, 大质量的斗杆与铲斗(统称“工作装置”)在提升机构的驱动下频繁升降。工作装置下降时, 提升电机在重力势能的驱动下处于发电工况, 为控制工作装置下降的速度, 一般通过制动电阻产生制动扭矩, 将提升电机发出的电能以热能的形式消耗掉, 造成大量的能量浪费。

一、电铲工作原理

电铲的主要功能是装载爆破后的矿石等物料, 并将物料装入矿用自卸车内。其作业过程包括装载提升、回转、开斗卸载、下降返回阶段。当电铲处于装载提升阶段时, 提升电机驱动滚筒转动, 滚筒上的钢丝绳提升工作装置, 推压机构驱动斗杆伸出, 调整切入深度, 此阶段, 提升电机对外做功, 消耗电能。当工作装置卸载物料后下降时, 工作装置的重力驱动提升电机处于发电状态, 推压机构驱动斗杆缩回, 调整斗杆位置, 使工作装置回到初始姿态。

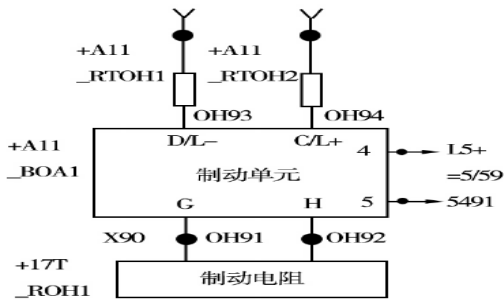
2. 例如在电铲装车时, 电铲上的电机会频繁地启动与停止, 当电机启动或者停止的时间很短且启动后的速度要求很大或停止前的运转速度很高时, 属于短时间速度变化要求很快, 即变化速率很大, 要求电机有很大的转矩输入才能做到。电机的制动过程属于电机急剧降速的过程, 需要电机短时受到足够大的制动转矩才能完成。在这个过程中, 电机由原来的电动状态变成制动发电状态, 这种工作状态下电机会产生很大的电能, 产生的电能经过逆变器返回到变频器的直流部分, 由于电机制动动作往往时间短速度落差大, 所以产生的巨大电能被快速地回馈到逆变器上游的供电直流电源中, 此时直流电源因为回馈电能的突然增加, 相应的电压值也快速提升。要想使电铲的变频器设备正常运转, 要求能够克服这种电机制动带来的巨大电能反馈冲击, 使得直流电源部分的电压值保持在变频器的自我诊断与保护范围之内。带

有制动单元的变频调速驱动系统具有这样的功能, 其中的制动单元通过与其连接的耗能制动电阻, 组成一个能自动检测并且消耗或吸收直流电源当中的冲击电能包括电机制动的反馈电能的回路(制动电阻的作用是通过电阻丝消耗电能进而转化成热能散出)。因此应该多方面考虑, 达到系统应用最优化, 一旦确定耗能电阻阻值, 同时确定该电阻的功率, 针对一些机械惯性大并且速度降低较慢的负载情况, 可以降低制动单元的导通频率, 从而降低耗能电阻接通频率。但对于机械惯性不大且速度变化较快的负载, 可以提高制动单元的导通频率, 从而提高耗能电阻接通频率。

二、WK35电铲能耗制动的实现

WK35电铲分别由各部电机驱动配合来完成采掘工作, 各部机构电机由西门子的6SE70型变频器逆变器驱动。变频器的整流部分跟逆变部分公用一个直流母线, 电能可以在电网一变频器一电机之间平稳传输。例如在电铲装车时, 电铲上的电机会频繁地启动与停止, 当电机启动或者停止的时间很短且启动后的速度要求很大或停止前的运转速度很高时, 属于短时间速度变化要求很快, 即变化速率很大, 要求电机有很大的转矩输入才能做到。电机的制动过程属于电机急剧降速的过程, 需要电机短时受到足够大的制动转矩才能完成。在这个过程中, 电机由原来的电动状态变成制动发电状态, 这种工作状态下电机会产生很大的电能, 产生的电能经过逆变器返回到变频器的直流部分, 由于电机制动动作往往时间短速度落差大, 所以产生的巨大电能被快速地回馈到逆变器上游的供电直流电源中, 此时直流电源因为回馈电能的突然增加, 相应的电压值也快速提升。要想使电铲的变频器设备正常运转, 要求能够克服这种电机制动带来的巨大电能反馈冲击, 使得直流电源部分的电压值保持在变频器的自我诊断与保护范围之内。带有制动单元的变频调速驱动系统具有这样的功能, 其中的制动单元通过与其连接的耗能制动电阻, 组成一个能自动检测并且消耗或吸收直流电源当中的冲击电能包括电机制动的反馈电能的回路制动电阻的作用是通过电阻丝消耗电能进而转化成热能散出。

1、制动单元系统的连接组成。WK35交流变频电铲的能耗制动主要由制动单元、制动电阻、可编程逻辑控制器组成，如图。



根据制动单元额定功率可以得到制动单元的峰值功率和长时功率以及负载特性。峰值功率 $P_3=1.5 \times$ 额定功率=30kW，长时功率 $PDB=0.25 \times$ 额定功率=5kW。监控电路由控制端子排X38的4、5端子外接至PLC数字量输入模块端子上的监测制动单元，当AFE运行指示常开触点闭合，制动单元故障且持续时间 $>5s$ 时，输出制动单元过热故障并自锁，可复位故障。即使端子排X38不连接，制动单元仍能工作。制动单元电子器件由直流母线电压供电，当直流母线电压断开，内部电压源下降（故障LED熄灭），故障自动清除。

2、制动单元与制动电阻的选配

根据变频器型号不同，选定的能耗制动单元也不同，制动单元的功率根据电阻的阻值和使用率确定。制动电阻的选择应该与设备实际使用的制动单元的容量电流相匹配，制动电阻的阻值应该与设备应用的变频器所驱动的电动机负载工作时候所需要的制动转矩相匹配。因此制动单元与相对应的制动电阻的选配应该考虑到多个方面的内容，包括电机负载制动时候的所需转矩、制动电阻的大小、制动单元的容量、耗能电阻的功率等内容。

(1) 电机工作在制动情况时的转矩计算公式为（（电机转动惯量+电机负载折算到电机测的转动惯量）×（电机制动前的旋转速度-电机制动后的旋转速度））/375×转速下降时间-负载工作时候的转动力矩。一般情况下，当对运转中的电动机进行机械制动动作时，电机由于电磁感应的原因为，内部会发生铜损和铁损，这部分损耗约为电动机额定转矩的17%~21%，根据理论计算得到的损耗数值如果不超过电机所能承受的损耗最大值，在不连接回馈电能吸收装置即制动单元的情况下，电机及变频驱动系统可以承受该负载的制动回馈冲击。

(2) 根据理论计算，制动电阻的大小，其计算公式为制动回馈电能的吸收单元设定的导通时电压数值的平方/（0.1047×（制动动作时的转矩-20%电机额定转矩）×制动前电机的旋转速度）在选择和确定电能吸收电阻值时，应当知道：吸收电阻与直流母线排组合的回路中的电流 $I_c <$ 制动

单元的允许最大电流输出能力，即 $R > 1000/I_c$ ，其中1000表示WK35电铲变频器直流侧稳定运行状态的最大直流电压， I_c 表示制动单元的最大允许电流。WK35电铲使用的能耗制动的制动电阻（型号DX1612.01.13，阻值 5.5Ω ），扁带波浪形状的合金电阻，以陶瓷管作为骨架，金属电阻以条状环形盘旋在陶瓷骨架周围，由于陶瓷的特殊成分，使其具有非常好的散热效果，为整体散热带来了好处。

3、能耗制动的改进。通过制动单元的监控和动作实现能耗制动，但对耗能电阻部分没有任何的监控功能，一旦制动单元检测正常而制动电阻损坏不能及时发现，制动单元失去作用，当有多余的电能未能及时反馈回电网，将损坏电铲变频柜内电气元件，造成停机影响生产，增加维修成本，增加劳动强度等不良后果。选择带有热触点（常闭）的制动电阻，当电阻过载时能脱扣，实现对能耗制动末端的监测。当热触点动作时，变频器通过进线柜主接触器与电网断开，主接触器由变频器（X9）相应的输出控制，热触点可以接至开关量输出，它可以参数化为一个故障输入。封锁变频器中的 UD_{max} 调节器，在具有矢量控制功能的装置上，设定参数 $P515=0$ 。参数设置开关量的输入和输出控制制动单元。规定的设定值基于MASTERDRIVES和制动单元之间的连接，MASTERDRIVES的设定为其缺省值，所需参数的设置： $P575$ 标号001=18。如果制动单元向SIMOVERT MASTERDRIVES报故障，必须使用“Ext Fault 2”，设置 $P586$ “Src No ext Fault 2“external 2”=18。将热触点与X38（4，5）端子串联同样也可以实现对能耗制动的全程监控。

通过能耗制动中的反馈电能吸收装置既制动单元和耗能电阻的作用与选择，相关参数的计算方法，并对一些复杂程度不高，应用广泛的情况，简化了计算。对检测制动单元电阻进行检测，及时发现制动单元故障并及时处理。实际工作中制动单元和耗能电阻的安装，要确保两者不要距离直流电源太远，大多数情况下可以在3 m以内，可以消除线路之间的噪声干扰，增加连接电缆的直径可以使距离适当加大。在日常维护检修时，对处于可燃、导电粉尘作业环境中的制动单元、制动电阻需要经常进行清洁除尘，确保能耗制动设备正常工作。在选择耗能电阻阻值和确定其功率时，采用的都是工程计算方法，在实际工作环境中，应充分考虑现场情况，选择最适合设备现场方案。

参考文献

[1]朱小晶, 权龙, 王新中. 大型矿用正铲液压挖掘机水平推压特性联合仿真[J]. 农业机械学报, 2019, 42(5).
 [2]赵永成, 宋立群, 张国力. 变频调速系统中能耗制动电路的设计与实现[J]. 江苏电器, 2020(1) 17.
 [3]尹喜云, 黄良沛. 矿用电动挖掘机变频调速系统能量回馈制动装置的研制[J]. 煤矿机械, 2019, 28(10): 18.