

「逆变器」

基于主从控制方式预防和控制高速纸机传动中的“打滑”

文/东莞建晖纸业 孙滋盛

设法控制打滑，可以改善纸机的运行质量和效率，同时减少成本损失。

“打滑”是指通过柔性连接驱动时，由于负载变化而引起的驱动辊与柔性连接之间产生相对移动的状态。

高速长网纸机中分部内的传动，就是采用了多辊驱动同一网毯的传动方式。

主从变频调速控制广泛应用在高速长网纸机的分部传动控制中。而使用网毯作为耦合连接的传动方式，其负荷的分配与传递是完全依靠网毯与驱动辊间的静摩擦力来实现的。由于驱动辊负荷超过其最大静摩擦力时，网毯与辊面间产生相对移动，这样就出现“打滑”。

出现打滑严重时会造成价格昂贵的网毯的损坏。网部每次出现打滑停车，都会连锁造成几层网子、上浆系统以及真空系统同时停车，给生产带来影响和损失。因此设法预防和控制打滑，可以改善纸机的运行质量和效率，同时减少成本损失。

运行设备的数据

生产过程中多发打滑现象的网部传动点如图1所示。整张网由三条辊驱动。M为主驱动辊、S为从驱动辊，A是辅助驱动辊。主辊起驱动作用。从辊除了驱动作用还有保持纸幅稳定的作用。而辅助辊主要是保证其与主辊间网子张力的稳定，确保主辊的驱动效果，自身的驱动作用有限。



图1 传动点分布

M——主辊 S——从辊 A——辅助辊

电动机容量为560/560/55 kW，辊径850/1 000/562 mm，包角136°/53°/20°。网子周长62.5 m，

网案长度28 m。主辊辊面进行了硬面包胶，以增加其摩擦力。从辊为开孔面积达62%的钢面辊，以实现在纸幅经过辊面时，利用真空压力保证纸幅被吸附在网面上。辅助辊为钢面辊。

主从控制方式下打滑状态分析

传动以主从控制方式进行控制。采用AB的PF700S逆变器驱动。主辊是速度控制，以掌控网子速度。从辊是转矩控制，与主辊间按比例进行负荷分配。

在主速度/从转矩控制方式下，主辊和从辊出现打滑时，表现出不同的状态特征。

主辊打滑时：主辊由于从静摩擦进入到滑动状态，因摩擦阻力下降使负荷降低，从而转矩电流下降。而从辊的转矩命令来自主辊转矩，按照负荷分配比例给定，因此由于主辊转矩下降，而从辊的转矩随之下降并导致其转速下降。打滑的主辊的速度保持不变。从辊带动网子速度下降的趋势，加速了主辊进入打滑状态。

从辊打滑时：主辊带动网子因从辊打滑而负荷加大，输出转矩增加。同时发送给从辊的转矩命令加大，转矩控制的从辊因打滑负荷降低，两种因素作用促使从辊加速。使从辊的打滑趋势加剧。

最小速度转矩模式。单纯的转矩控制模式，在转矩命令增加负荷减轻时，由于速度可能出现持续无限制增大，易产生飞车危险。为了避免此类现象的发生，控制上采用了在限制速度的情况下的转矩控制模式，即最小速度转矩模式。其控制原理如图2所示。正常时调节器工作在转矩模式时，当内部转矩命令和外部负荷不变时，速度基本不变。随着外部负荷的降低，速度开始上

升。速度上升超过设定的最小速度时，调节器进入到速度控制模式，由速度调节器的输出控制转矩调节器去降低转矩命令，使速度控制在设定的最小速度下运行。

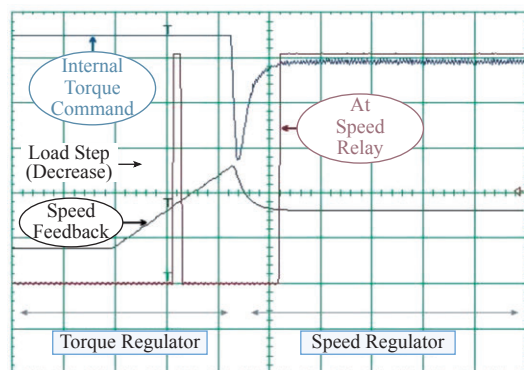


图2 最小速度转矩模式控制原理

减少打滑的初步措施

根据对多次打滑情况的分析，每次打滑都是在主辊。表现在主辊速度不变，从辊因给定转矩降低而减速。控制程序根据主从两辊的速度差报警发出停车命令。

由于主辊出现打滑，说明主辊静摩擦力小于从辊的。为了减少打滑的发生，将负荷分配比例由1:1调整为1:1.2。也就是说将原来主从两辊各负担一半负荷，改为由从辊多负担一些负荷，降低主辊负荷以减小打滑的可能性。以后运行中，出现打滑的依然是主辊。分析打滑前两辊的负荷情况，主辊负荷约为67%，从辊负荷80%左右。如果再继续提高从辊所承担的负荷比例，要造成长

期运行中两辊的负荷偏差过大，另外不知从辊能否承担得了而不出现打滑。为此需要寻找一种方法，既可以保证长期运行的负荷分配，又能预防控制打滑的状态。

预防控制打滑措施的设想与实施

根据主从控制模式下进入打滑过程表现出的状态，考虑在出现打滑趋势时，对从辊施以一定的转矩补偿，以避免其产生速降而进入到打滑状态。同时让从辊带动网子加速到超过主辊运行速度，以使主辊进入被拖动状态，从而脱离打滑恢复正常出力。然后再撤除补偿的转矩，恢复至正常控制状态。在这个过程中需要考虑施加多少的转矩、会否引起从辊打滑或过载。一旦出现从辊打滑，必须要有措施保证可靠报警停车，以免出现损坏网子造成重大损失。

补偿转矩的加入方法。最小速度转矩控制模式下，从辊速度值设定为 $(1.01n_{主} + 5) \text{ m/min}$ 。这样以保证正常工作在转矩控制模式。PF700S功能图如图3所示。参数P110设定为3（最小速度转矩模式）。来自主辊的转矩经负荷分配程序处理后，由通信数据链路到P115参数。正常运行时由于从辊速度始终小于设定速度，因此P302一直大于P115的值。此时转矩命令取自速度调节器输出参数P302和P115参数中小的一个。为了打滑时将补偿转矩引入，设定参数P111链路到通信数据中，通过叠加P115和P111的值作为转矩给定值，实现附加补偿转矩的目的。

补偿转矩大小的估算。分析以往进入打滑前

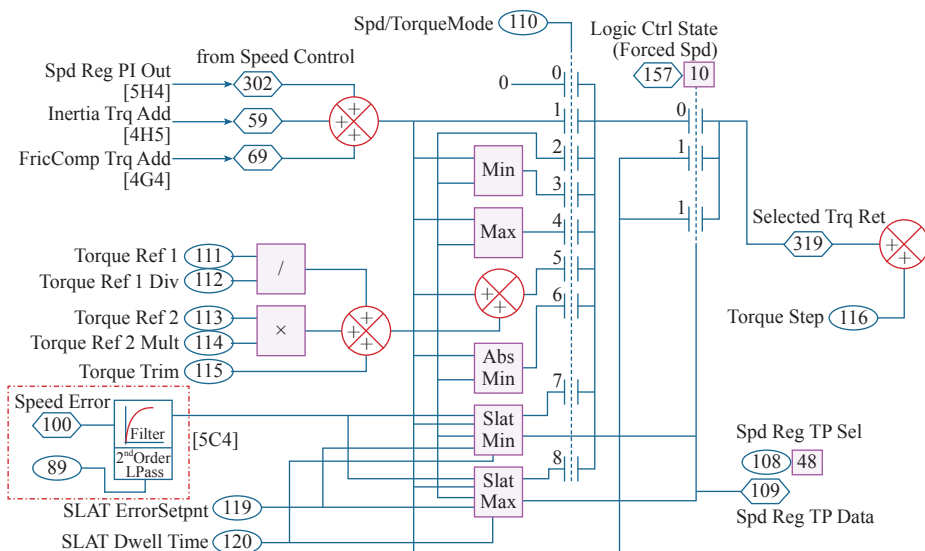


图3 PowerFlex700S功能图

的负荷情况,主辊负荷为67%左右,从辊负荷80%左右。由于以往出现打滑时,主从辊速度差达到报警值即停车。因此无法确定打滑状态时主辊的负载转矩,但可以确定其转矩不会很小。推断为50%的话,那么从辊的转矩应该在60%左右。选择投入转矩补偿在刚刚进入、或者说是刚有打滑的趋势时,因此主辊的负荷转矩下降还不会太大。这样打滑时总转矩与打滑前总转矩相差不到50%。为此决定补偿50%转矩。

确定投入补偿转矩的条件。打滑出现在传动点联动正常运行时。在主速度/从转矩控制驱动方式中,从辊要达到出力的状态,其速度一定是要快于主辊的。而且随着负荷的增大,快出的速度有所增大。主从辊速差报警停车设定值为大于25 m/min。为了能够确认为可靠的打滑状态,设定投入转矩补偿条件为:联动正常运行主辊与从辊速差大于5 m/min。

确定撤除补偿转矩的条件。能够将打滑的主辊恢复正常,从辊带动的网子速度一定要快于主辊,并且要能够对主辊产生拖动的效果后。故条件一确定为从辊速度高于主辊2 m/min。另外认为理想状态的负荷会逐渐恢复到负荷分配的比例状态,因此将其设定为另一个条件。满足两个条件时即撤除补偿转矩。同时在退出正常运行时补偿值清零。

控制程序测试过程。由于打滑多出现在更换新网之后。因此利用停机换网期间设定逆变器参数,下载编制的程序并投入运行。

在运行几天后,网子出现了打滑现象。由于补偿转矩的及时加入,此次打滑时从辊的速度没有降到报警停车值。主辊在从辊带动网子的拖动下,大约在75 s后恢复正常出力状态。运行曲线如图4。

在速度曲线中可以看出,正常运行时从辊快于主辊1 m/min左右。从辊速度低于主辊速度5 m/min时,触发转矩补偿。随后从辊速度快速提升到高于主辊3 m/min左右的速度运行。

从负荷曲线可以看到,从辊转矩在补偿瞬间增加到近117%,主辊转矩变为49%左右。随后在75 s的恢复期中,从辊转矩在110%而主辊在50%左右。主辊正常出力时从辊的转矩约为97%,主辊转矩约为40%。比较打滑前和恢复正常后的总转矩,可以看出基本是相等的。

辅助辊是速度控制方式,由其负荷曲线可以明显看出,出现打滑时辅助辊的负荷快速上升。随着网子被从辊拖起负荷降了下来。这是由于网

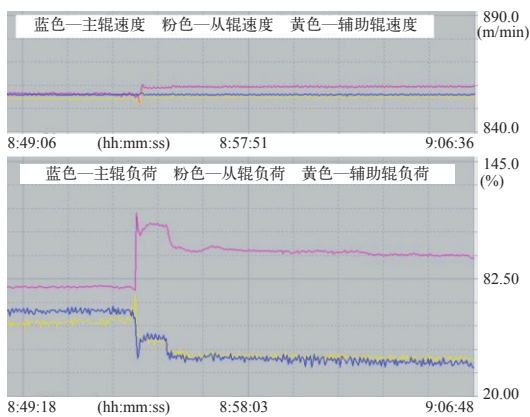


图4 速度和负荷曲线

速的变化和其控制方式决定的。

控制过程的完善和保护方式的确定

撤除补偿转矩条件的重新确定。在测试过程中,投入转矩补偿准确无误。可是撤除时没有按照设想的进行。分析曲线后发现,设想恢复到正常的负荷分配比例状态,在补偿撤除前是无法实现的。按照被拖回正常的过程,重新确定撤除转矩的条件为:从投入转矩补偿和从辊速度高于主辊2 m/min开始,180 s后开始撤除补偿转矩。

补偿转矩施加和撤除方式的完善。从负荷曲线看到,由于瞬间施加转矩产生的冲击很大,这种突变的转矩极易引起打滑的出现。此种冲击在撤除转矩补偿时的主辊上也会出现。查看打滑出现时从辊的真空度有所下降,从-46 kPa变为-40 kPa。虽然没有出现从辊打滑,但还是要尽可能避免冲击。为此在施加和撤除转矩补偿时,将其在控制程序中通过S- Curve斜坡函数处理,使施加的转矩在大约5 s内以S曲线形式上升。撤除时约2.5 min后归零。以确保主辊的可靠稳定恢复。

保护程序和方式的确定。将辅助辊改为最小速度转矩模式,利用出现打滑时,辅助辊与主辊间的速度差值设定报警限值。

此前的保护程序是根据主从两辊的速度反馈的差值来确定的。由于处在转矩控制的从辊,施加补偿转矩后的速度在主辊打滑时不降反升,因此在从辊也出现打滑时,已经实现不了报警停车的功能。需要另行确定网子打滑状态的保护方式。

辅助辊在传动中的作用,是稳定它与主辊间网子的张力,以保证主辊的驱动效果。它采用的是

(下转第61页)

起停,这势必会对电网有较大影响,这也会导致电容器组的频繁投切动作。晶闸管是SVC分类中的TSC子类,由于很容易受涌流的冲击而损坏,因此晶闸管必须过零触发,就是当晶闸管两端电压为零的瞬间发出触发信号。过零触发技术可以实现无涌流投入电容器,另外由于晶闸管的触发次数没有限制,可以实现准动态补偿(响应时间在毫秒级),因此适用于电容器的频繁投切,非常适用于频繁变化的负荷情况。

电容器补偿容量的确定

通过对铁矿筛分厂房的负荷计算,有功功率为776 kW,无功功率为470 kvar,补偿前的自然功率因数为0.84。在确定无功补偿容量前,我们还应注意在轻负荷时要避免过补偿,倒送无功造成功率损耗增加,也是不经济的。而且功率因数越高,每千乏补偿容量减少损耗的作用将变小,通常情况下,将功率因数提高到0.95就是合理补偿。鉴于综合考虑,补偿后的功率因数按0.95设计。

电容器的补偿容量按以下公式1计算

$$Q_c = P \times (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (1)$$

$$= 776 \times (0.63 - 0.33) = 233 \text{ (kvar)}$$

式中, Q_c 为补偿电容器容量; P 为负荷有功功率; φ_1 为补偿前功率因数角,对应的功率因数为0.84; φ_2 为补偿后功率因数角,对应的功率因数为0.95。

由上式得出补偿电容器容量为233 kvar,为了设计方便以及选取元件的整齐性,补偿容量确定为250 kvar。

厂房电气设计讨论

由上面的论述得出,通过无功补偿后的功率

因数达到了0.95以上,达到了规定的数值,为用户带来了经济效益。除此之外,对本企业还有个不可忽视的作用就是降低系统的能耗,提高变配电设备的利用率。可以通过下面的式(2)得出由于功率因数的提高而使变配电设备减少的容量是多少。

$$\Delta S = P / \cos \varphi_1 - P / \cos \varphi_2 \quad (2)$$

式中, ΔS 为减少的设备容量;其他参数见式(1)。

按上式计算,本次设计减少的容量为107 kvar,由此可见,为用户减少了投资费用,提高了经济效益。

除了使用电容器无功补偿外,在设计过程中还对特殊设备采用变频器或软起动器运行。因为变频器内部滤波电容的作用,减少了无功损耗,从而增加了电网中的有功功率。在铁矿车间一般的胶带机都采用变频器运行,减少能量损耗。对于较大负荷,采用软起动器来起动,降低其起动电流,以免对电网造成较大的冲击。

结束语

文中集中讨论了提高某铁矿筛分厂房的用电质量问题,主要是采用电容器无功补偿装置来提高实际用电的功率因数,从而提高了用电质量。而无功补偿的方式有很多,这就需要在设计的过程中,对应具体的用电设备和负荷情况采取不同的补偿方式。只有进行合理的无功补偿,用电单位才能保证合理的用电,合理的省电,对整个电网的平稳运行起着非常重要的作用。EA

(收稿日期:2014.12.25)

[编辑:白文亭]

(上接第59页)

速度控制方式。但为了不出现争速以及负荷过大,使因包角小的它出现打滑造成网子张力不稳,在控制中采用了逆变器的“Droop”即卸载功能。也就是随着负荷增大到满载的情况,逆变器按照预设的、占电动机额定转速的比例值降低到设定的转速。以达到降低负荷的目的。另外为防止过载跳闸,它的正向转矩被限定在额定转矩以内。

辅助辊改为最小速度转矩方式后,由主辊发布转矩命令。通过负荷分配程序调整控制比例在1: < 1,同样可以实现类似速度模式下的“Droop”的功能。而且辅助辊的转矩随主辊正比

变化,对主辊的驱动效果是有利的。另外保留正向转矩限定额定之下的设定。

当主辊出现打滑负载下降时,辅助辊的转矩命令也会按比例降低。像为从辊补偿转矩一样,利用斜坡函数施加20%转矩,在恢复正常后逐渐撤除,并在退出正常运行时将补偿值清零。如果从辊不出现打滑情况,施加的转矩可以提高网子的张力,对主辊恢复正常出力有利。出现主从辊都打滑时,转矩占不足总转矩1/20的辅助辊无法驱动降下来的网速,会与主辊间速差加大超过报警限定,从而实现了在主从两辊都打滑的情况下报警停车。EA (收稿日期:2014.12.25) [编辑:白文亭]