

炼钢厂多机传动调速系统控制优化

目前,炼钢厂的多机传动调速系统的同步调速控制方法主要有非耦合控制方式和耦合控制方式,这两种控制方式均以多机传动调速系统中的主电动机为核心控制对象,以主电动机的控制作为控制主轴,在一定程度上忽略了从电动机受到外部干扰和突变对主电动机的影响,造成了传动调速系统的失同步,针对这一问题,在传统控制方法的基础上,在控制逻辑中加入反馈补偿环节,构成一个动态控制主轴,提高了多机传动调速系统调速控制的准确性和抑制干扰能力。

邱习剑/中冶南方工程技术有限公司



邱习剑/工程师

多机传动调速系统在炼钢厂的转炉、连铸、RH、脱硫及吊车等系统中广泛存在,在这些应用场合中,多机传动的调速控制准确度和可靠性是关键,它直接影响生产效率和产品质量。目前,炼钢厂的多机传动调速系统的调速控制主要有非耦合控制方式和耦合控制方式,这两种方式均以多机调速系统中的主电动机为核心控制对象,以主电动机的控制作为控制主轴,在一定程度上忽略了从电动机的干扰和突变对主电动机的影响造成的传动调速系统失同步。针对这一问题,本文在传统控制方法的基础上,在多机传动调速系统控制逻辑中加入反馈补偿环节,构成一个动态主轴,提高了多机传动调速系统调速控制的准确性和抑制干扰能力。

关键词/Keywords

多机传动调速系统·
调速控制·
动态主轴·

传统多机传动调速系统同步控制方式

1. 连接方式

在选择多机传动调速系统同步控制方式的时候,必须注意电动机之间的连接方式,因为不同的连接方式决定了不同的控制对象。

多机传动调速系统的连接方式通常有两种:刚性连接和非刚性连接。刚性连接指系统内各电动机通过减速机构或者传动链条等形式进行机械上的硬连接。这种情况下,由于各电动机之间存在机械耦合关系,电动机的速度是严格一致或者严格成比例关系的(理想情况下),因此,同步控制主要是控制从电动机的输出转矩以避免传动机构的机械损伤。其同步控制方案应该是转速作为控制的参考量,以转矩/电流作为控制对象^[1]。

非刚性连接的系统各电动机之间是相对独立的,不存在刚性系统那样的机械硬连接,但是根据工艺应用需求,各电动机之间的转速应该严格一致或者成比例关系(理想情况下)。因此,其同步控制方案应该是以转矩/电流作为控制的参考量,以转速作为控制对象^[2]。

2. 非耦合控制方式

非耦合控制是目前应用最广泛的一种同步控制方式,其原理为主电动机的速度调节器输出作为从电动机转矩控制器的输入,从电动机准确跟随主电动机的动作,当主电动机由于某种原因出现速度或转矩的突变时,从电动机可以跟随变化,实现同步的功能^[3]。这种算法常用于主、从电动机通过硬轴连接的场合(如共用减速机),从电动机运行于转矩控制模式。其弊端是当连接电动机的硬轴出现问题时,从电动机由于工作于转矩控制模式,其速度不受控,会出现飞车现象。非耦合控制的原理图如图1所示^[4]。

3. 耦合控制

耦合控制也是一种应用比较广泛的同步控制方式,对刚性连接和非刚性连接的

多机同步调速系统均适用。

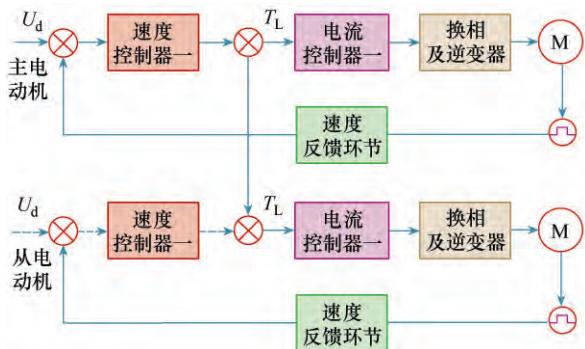


图1 非耦合控制原理框图

当电动机之间是刚性连接时，主、从电动机速度主给定值相同，从电动机增加一个速度附加给定，使其速度环饱和，从电动机的转矩限幅来自主电动机；在这种控制模式下，当连接电动机的硬轴出现问题时，从电动机由于工作在速度控制模式，不会出现飞车现象，但是从电动机的转矩跟随性不好。

当电动机之间是非刚性连接时，主电动机和从电动机的速度给定相同，从电动机的速度限幅来自主电动机，这种控制模式的缺点是从电动机的速度跟随性不佳，同步性不够准确^[4]。耦合控制原理图如图2所示。

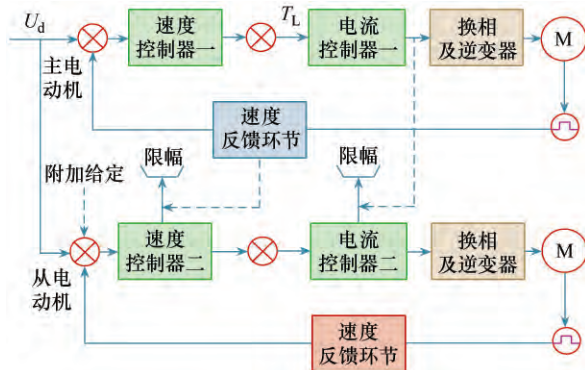


图2 耦合控制原理框图

从以上分析可以看出，传统的多机传动调速系统，无论是其调速方式是采用速度控制还是采用转矩控制，其思想是从电动机跟随主电动机或者由主电动机进行限幅。在理想情况下，可以获得较好的效果，但是由于主电动机缺乏从电动机的运行反馈信息，当从电动机的运行由于某种原因出现波动时，系统会出现失同步。此外，在炼钢厂的的实际应用中，多电动机同步控制的方案，

无论是西门子的矢量控制、ABB 的直接转矩控制还是其他公司的控制思想，均需要对电动机进行参数辨识，需要准确的电动机参数才能实现准确度较高的控制，因此，也都存在一些外部不确定因素。

改进的多机传动调速系统同步控制方式

1. 补偿量的计算

为了改善上述传统多电动机同步控制系统中的不足，在控制方案中引入反馈补偿环节，并通过快速准确的 PID 整定，提高同步系统的准确度和实时性，降低不确定因素的影响。

在转矩控制模式下，多机传动调速系统中的第 i 台电动机的输入给定量为

$$T(k) = T_i(k) + T_{dev}(k) \quad (1)$$

式中， $T_i(k)$ 为电动机转矩的主给定； $T_{dev}(k)$ 为电动机转矩的附加给定。

作如下设定， T 为传动调速系统的工作转矩； ΔT 为同步工作允许带宽； ΔT_{max} 为同步工作报警偏差； $T_j(k)$ 为 k 时刻系统中各电动机的实际转矩。

则当 $|T - T_j(k)| \leq \Delta T$ 时，系统处于同步状态，不需要反馈补偿； $|T - T_j(k)| \geq \Delta T_{max}$ 时，系统处于不同步状态，停车报警； $\Delta T \leq |T - T_j(k)| < \Delta T_{max}$ 时，系统处于失同步状态，需要根据反馈的偏差进行补偿。

在系统中监测电动机转矩给定值和转矩实际值的差值，按照 $\Delta T_{max} = T_{max} - T/100$ 的约束条件进行 PID 调节，则在系统运行时若 $|T - T_j(k)| \geq \Delta T_{max}$ 时， $T(t) = 0$ ；若 $\Delta T \leq |T - T_j(k)| < \Delta T_{max}$ ，根据 PID 算式

$$T(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (2)$$

式中， $e(t) = \Delta N$ ； K_p 、 T_i 和 T_d 分别为比例系数、积分时间和微分时间。将式 (1) 按照采样时间 T 进行离散化后得到其差分算式为

$$T_j(kT) = K_p \{ E_j(kT) - E_j[(k-1)T] \} + K_{ij} E_j(k) + K_{dj} \{ E_j(kT) - 2E_j[(k-1)T] + E_j[(k-2)T] \} \quad (3)$$

根据式 (3) 可得出在 K 时刻，系统中第 j 台电动机的转矩补偿量 $T_{dev}(k)$ 为

$$T_{\text{devj}}(k) = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n T_m - T_j(k) \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

式中, n 为系统中电动机的总台数。

在速度控制模式下, 多机传动调速系统中的第 i 台电动机的转速输入给定量为

$$N(k) = N_i(k) + N_j(k) \quad (5)$$

式中, $N(k)$ 为电动机的速度给定值; $N_i(k)$ 为电动机速度的主给定; $N_j(k)$ 为电动机速度的附加给定。速度主给定通常取决于工艺需求, 而附加给定往往是作为同步控制的补偿调节手段, 实现系统的实时准确调节和控制^[6-8]。

在系统中监测速度给定值和速度实际值的差值, 按照速度差不大于某定值 (如 $\varepsilon < 0.5$) 的约束条件进行 PID 调节。当 $\Delta N > \varepsilon$ 时 (正常偏差范围内, 不需要调节), $N(t) = 0$; 当 $\Delta N \leq \varepsilon$ 时进行 PID 调节并按照采样时间 T 进行离散化后得到其差分算式为

$$\begin{aligned} N(kT) = & K_p \{ E(kT) - E[(k-1)T] \} + K_i E(kT) + \\ & K_d \{ E(kT) - 2E[(k-1)T] + \\ & E[(k-2)T] \} \end{aligned} \quad (6)$$

2. 实现方式

当前, 国内炼钢厂的多机传动调速同步控制系统均采用 PLC/DCS + 变频器的硬件配置来实现。在这种配置模式下, 同步及补偿方案有两种实现方法。

1) 以 PLC/DCS 系统作为控制中心, 将多机传动调速同步控制系统中各变频器的速度、转矩和电流的实际值及变频系统内部某些控制中间量通过现场总线传输给 PLC/DCS, 通过 PLC/DCS 的内部编程, 实现同步给定、补偿及相应的 PID 整定。这种方案的好处是控制上比较方便自由, 但是由于数据在 PLC/DCS 和变频器之间通过总线进行了一次输入/输出的过程, 实时性有所降低, 并且控制方案的可靠性和通信总线的可靠性密切相关。

2) 以变频器作为控制中心, 各变频器之间以通信方式实现数据交互, 以此来实现各变频器之间的自动补偿和调节。这种方式由于各大公司的变频器的设计思路有较大差异, 因此在应用上有一定的限制。其中, 西门子公司的变频器由于

提供了大量的自由功能环节, 在实现上述补偿方案时相对比较方便, 尤其是 S120 系列变频器, 可以利用集中共用的控制单元 (CU) 来实现多台变频器/电动机的同步控制, 取得了和上述控制方式一相同的便利性和自由度, 并且实时性要高于控制方式一^[6,7]。

实际应用

在武钢条材总厂 CSP 处理线项目新建的 RH 真空处理系统中, 钢包的升降采用卷扬控制方案, 两台 160 kW 变频电动机通过减速机共轴刚性连接作为卷扬机构的驱动系统, 变频电动机采用西门子公司的 6ES70 变频器控制。该系统钢包卷扬机构的示意图如图 3 所示。

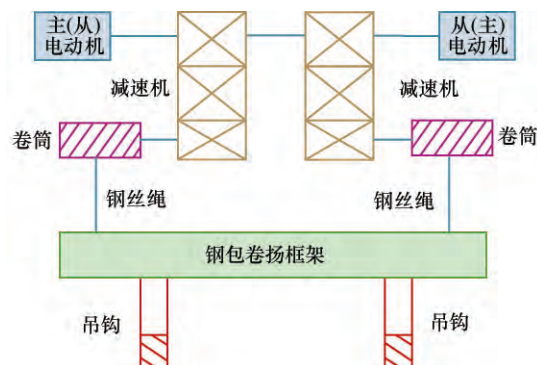


图3 卷扬机构示意图

在该卷扬机构中, 由于两台电动机电气特性以及传动机构机械特性的不一致, 以传统的主、从负荷分配控制方式进行调试并投入使用后存在如下问题: 卷扬系统两台变频器上显示的电流基本相等, 但是波动较大, 不稳定; 此外, 卷扬系统在高速工作时有声响和轻微振动, 电动机和减速机之间的联轴器有时会出现响声。

分析可知, 该卷扬系统的负载转矩由两部分组成。一部分是正常的提升负载转矩, 对于提升负载转矩的波动, 可以依靠主电动机的速度环进行抑制。另外一部分是轴扭曲转矩。轴扭曲转矩源于主、从电动机之间的机械连接存在间隙和弹性, 由于该系统的电动机、减速机和联轴器为刚性连接, 本身不是衰减振荡环节, 没有抑制扭振能力, 在受到干扰和激励后就会产生扭曲转矩并来回传递。传统的负荷分配的控制方式对于扭曲转矩没有抑制功能, 因此造成轴扭曲转矩并形成

振荡。

为改善上述不足, 将从电动机改为速度电流双闭环控制, 在主电动机和从电动机的速度调节器前加入反馈补偿环节并进行快速 PID 整定调节, 控制方案优化后卷扬系统高速工作时的振动和响声都消失了, 系统工作稳定。变频器的输出转矩、电流曲线也从侧面证实了系统同步准确度高, 干扰抑制能力强, 运行稳定。改进前的电动机转矩电流曲线和改进后的电动机转矩电流曲线如图 4、图 5 所示 (图中, 3、4 各代表的含义为转矩、电流)。

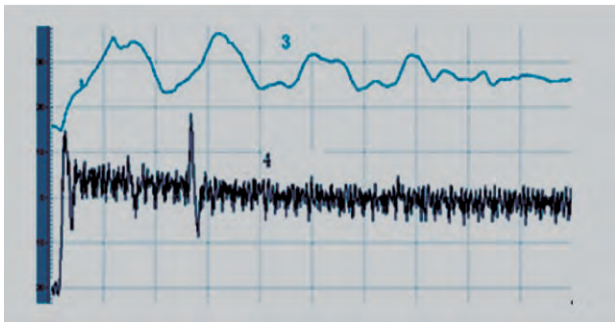


图 4 未加补偿环节的电动机转矩、电流曲线

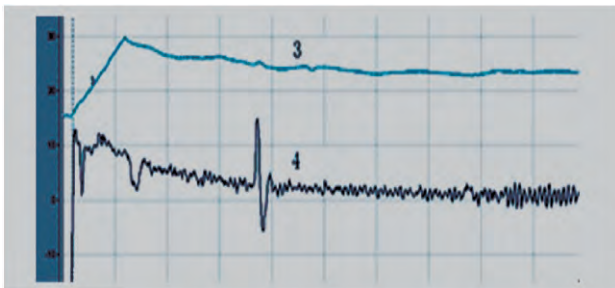


图 5 加补偿环节后的电动机转矩、电流曲线

结束语

通过以上分析可以得到如下结论。

- 1) 对于多电动机同步控制调速系统, 在设计时就需要考虑好整个系统的控制方案, 因为 PLC/DCS 和变频器等硬件的选型对控制有较大影响。
- 2) 在设备、现场安装和工作条件正常的情况下, 传统的主、从控制方案可以满足多数场合的主、从应用, 但是对外界干扰的抑制能力不佳。
- 3) 改进的多电动机调速系统的同步控制方案, 由于从电动机采用了速度环控制, 并且在主从电动机中加入了反馈补偿环节, 使其有更好的同步性能及抗干扰能力, 值得推广。

参考文献

- [1] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.
- [2] 孙增圻. 智能控制理论与技术 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [3] 赵春雨, 朱洪涛, 闻邦椿, 等. 多机传动机械系统的同步控制 [J]. 控制理论与应用, 1999, 16 (2): 179-183.
- [4] 刘福才, 张学莲. 基于补偿原理多电机同步协调运转的内模控制 [J]. 电气传动, 2002, 32 (3): 11-13.
- [5] 韩绍坤, 张立华. 多电机传动系统的典型功能模块及控制算法分析 [J]. 电机与控制学报, 1999, 3 (4): 255-257.

(收稿日期: 2014-01-19) EA

信息动态

施耐德电气启动第五届全球商业案例挑战赛

全球能效管理专家施耐德电气启动第五届全球商业案例挑战赛 Go Green in the City 2015, 旨在教育年轻一代、加强对可持续发展城市中智慧能源管理需求的认知, 并为智慧城市发掘创新的能源解决方案。

本次大赛面向全球商业及工程专业学士、硕士和 MBA 学生, 报名时间为 2014 年 11 月 15 日至 2015 年 2 月 1 日。参赛队伍由两人组成, 且至少有一位女性成员。参赛者从住宅、大学、商业、水务和医院 5 个城市基础设施

范畴中选择其一, 制定创新能源管理解决方案案例。前 100 名参赛队伍名单将于 2015 年 3 月 1 日公布, 届时, 他们将在施耐德电气导师的指导下, 在 1 个月的时间内完成其创意提纲和视频, 并呈现作品。12 强团队将于 2015 年 6 月 22~25 日飞赴法国巴黎参加决赛。获胜队伍将受邀参加施耐德电气组织的 VIP 环球旅行, 参观集团相关设施基地, 并与施耐德电气员工和高层管理团队交流。同时, 他们将得到施耐德电气在其本地提供的就业机会。