

优利康变频器在同步控制设备上的应用

一，前言

在生产实际应用中，经常会有一些设备需要组合成生产线连续运行，并且这些设备的运行速度需要保持同步。例如：直进式金属拉丝机、造纸生产线、印染设备、皮带运输机等等，由于这些设备都能一次完成所需的加工工艺，所以生产效率高，产品质量稳定，在相关的行业得到了广泛的应用。这些设备都有一个共同的特点，产品连续地经过各台设备，如果各台设备不能保持速度同步，就会造成产品被拉断，使设备被迫停止运行，严重的会造成很大的损失。另外，有些单机设备，有多个动力拖动，这多个动力之间也需要保持同步。因此，这些设备上都装有交流调速系统，通过调整各台设备的运行速度，使各台设备保持同步运行。

二，同步控制的分类

根据生产工艺的需要和生产产品的不同，一般对同步的要求也不一样。所以，一般我们把设备对同步的要求从简单到复杂分成以下几类：

1，简单同步

这种同步方式一般用于设备之间没有直接的连接，各个设备都是处于独立的工作模式，但由于工艺的需要，这些设备的工作速度需要保持基本一致或保持一定的比例运行，并且，各个设备需要同时升速或降速。在这种系统中，都不采集反映同步状况的信号。这种设备的特点是速度误差的积累，以及速度的稳定性及速度精度，不会对生产工艺产生任何影响。例如，双搅拌机，搅拌罐中的两个搅拌浆的速度只需保持速度的基本一致就行。

2，平均速度同步

这种同步方式一般用于设备之间有联系，有的是物料连续经过各台设备，有的是靠机械装置连接在一起。这些系统的特点是设备对速度稳定性与速度精度的要求比较高，但是对速度误差的积累不敏感，并且，各台设备的运行速度是成一定的比例，如产生积累误差，可以通过调整速度的比例系数来纠正。典型的如无纺布生产设备、滑轮式拉丝机等等，这些系统的各个设备之间也没有反映同步状态的信号，所生产的产品都有一定的拉伸，所以各个设备的线速度都是成一定的比例关系，如果其中的某台设备有一定的稳态速度误差，可以通过修改比例系数，来达到工艺的要求。

3，瞬时速度同步

这是一种相对来讲要求比较高的同步控制，同样是生产的产品连续经过各台加工设备，或者靠机械强连接在一起，但都不允许有速度的积累误差，如果达到一定的误差积累，就会使产品损坏或系统报警而无法工作。因此在这样的系统中一般都用反映同步状态的信号反馈给控制系统，控制系统根据这个信号，及时地对系统中各台设备的速度做出修正。典型的系统如直进式拉丝机、造纸生产线、印染生产线、双动力驱动的皮带运输机、抓斗提升机的抓斗提升系统等等，这些系统的特点是，如果瞬间速度误差太大，就会造成断丝、断纸、或使系统无法工作。

4，位置同步

位置同步是要求最高的同步控制系统，一般光靠变频器本身是无法完成位置同步的，所以这种系统中都有 PLC 等控制器，来完成位置信号的采集及控制变频器的运行。位置控制系统对变频器的动态响应要求非常高，速度精度也非常高，因此一般都需要采用闭环电流矢量控制的变频器。例如，印染行业的定型机，需要布匹两边的驱动要完全一致，包括位置一致，如产生差异的话，就会使布匹产生斜向拉伸，影响产品的质量。还有的如飞剪系统、定长切割系统等，都需要对位置做高精确的控制。事实上，这些系统已属于伺服控制系统，在功率比较小的场合，基本都用伺服系统来控制，但由于大功率的伺服控制器价格太高，所以在一些中大功率的应用场合，用变频器来控制还是非常有意义的。

5. 收放卷控制

收放卷设备一般处于生产线的前端和后端，完成生产产品的收与放，与主设备之间也要保持同步，有的还需保持一定的收放卷张力。所以也把收放卷归到同步系统中。早期的放卷系统用的磁粉离合器，靠磁粉离合器的阻力使放卷有一定的张力；而收卷系统一般用力矩电机控制，利用力矩电机的挖土机特性，使收卷设备运行速度与主系统保持同步。但以上的两种方式控制精度都比较低，所以，目前在大多数应用场合都用变频器来实现收放卷，一般都用 PID 控制方式和力矩控制方式来实现。

三、同步控制的方案

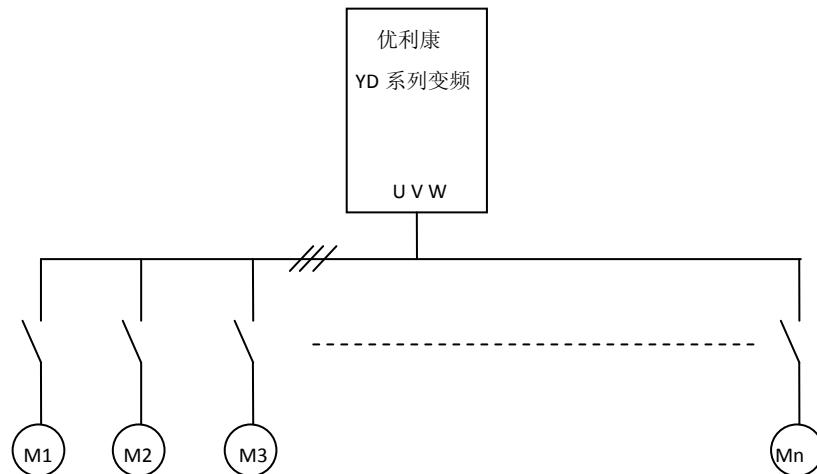
同步控制的方案很多，一般需根据同步要求的不同，选择合适的控制方案，达到最合适的投资，又能保证系统能符合工艺的需要。所以，选择合适的同步控制方案就显得非常重要。以下是优利康变频器在同步控制系统中的各种应用方案及一般适合的应用场合。

1. 群拖控制的同步系统

所谓群拖，就是一台变频器同时带几台甚至几十台电机，所有电机的速度都有同一台变频器的输出频率控制，所以理论上所有电机的速度是一致的，并且能保证同时升速与降速。但是由于电机制造上的差异，或者电机所带负载大小的不同，因此，每台电机的实际运行速度是有差异的，并且，系统内没有纠正这种差异的机制，也无法安装纠正差异的机构，所以，在一些设备之间没有连接的场合，这种控制方法肯定会产生积累误差，并且无法纠正。一般这种方式用于简单同步控制的场合。

另外一种情况下，可以把群拖方式时的变频器看成供电电源，在一些刚性连接的系统中，例如行车的大车系统，一般有二个、四个甚至八个电机驱动，如果用群拖系统来控制时，其中运转得稍快的电机，负载会重，而运转得稍慢的电机负载会轻，但因是同一个变频器驱动，负载重的转差率变大，负载轻的转差率变小，这样，就会有一定的自动纠正能力，最终会使各台电机保持同步运行，但是负载分配是不均匀的，一般在选择电机时要把电机功率放大一级。

如下图所示。



群拖同步控制方式非常简单，但也需要注意以下一些问题。

- a, 所带电机的功率不能差异太大，一般不相差二个功率等级以上。
- b, 电机最好是同一个公司生产，如果是同功率的电机，最好是同一批次的，以保证电机特性的一致，最大程度使电机的转差率一致，以保证良好的同步性能。

c, 充分考虑电机电缆的长度，电缆越长，电缆之间或电缆对地之间的电容也越大，变频器的输出电压含有丰富的高次谐波，所以会形成高频电容接地电流，对变频器的运行产生影响。电缆的长度以接在变频器后的所有电缆的总长度计算。使用时请参考优利康变频器的

使用说明书，保证电缆的总长度变频器允许的范围。必要的时候，应在变频器的输出端安装输出电抗器或输出滤波器。

d, 变频器只能工作于 V/F 控制方式，并且选择合适的 V/F 曲线。变频器的额定工作电流应大于所有电机额定电流的总和的 1.2 倍以上。

e, 为了保护电机，每台电机前应安装热继电器，不推荐安装空气开关。这样在电机过载时可以不断开主回路，避免在变频器运行中断开主回路时对变频器本身的影响。

f, 对于需要快速制动的应用场合，为了防止停止时产生过电压，应加制动单元和制动电阻，优利康 15KW 及以下的变频器已内置制动单元，因此只需接制动电阻即可。

群拖控制方式的典型应用场合：起重设备的大车驱动系统；某些纺织机械的锭子的调速系统，如络筒机、细纱机、粗纱机等等。

优利康变频器在用于群拖方式时，一些所需要调整的参数。因群拖控制方式比较简单，所以相对来讲调整的参数不多，一般可根据需要调整以下参数。

B1-01: 频率指令的给定方式

B1-02: 运行指令的方式

C1-01: 加速时间

C1-02: 减速时间

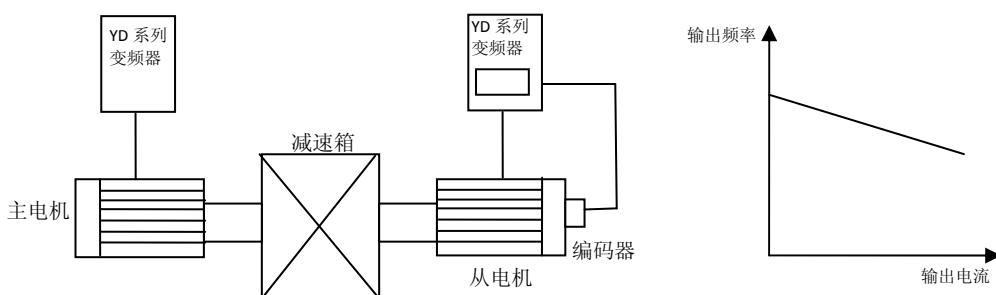
E1-06: 基频改为 50Hz

根据实际需要还需更改的其它参数

2, 下垂控制（DOOP）的同步方案

在一般的电力拖动系统中，都要求系统运行是刚性的，理想状态是负载的变化不影响速度的变化。但由异步电机的特性可知，在电机的最大输出转矩以内，负载的变化会影响电机的转速，一般是负载越大，转速降也越大，所以在对速度稳定性要求比较高的场合，会使用速度闭环，负载增加时，提高输出频率，以弥补电机本身的速度降。这就是我们所说的正向调节。

而下垂控制方法正好相反，负载越大，反而降低输出频率，也就是负向调节。下垂同步系统中一般只有二台电机，并且这二台电机是刚性连接的，没有任何速度差，属于主从系统。主变频器工作在普通速度控制方式，而从变频器工作于下垂控制模式，一旦从变频器运转得快于主电机，变频器的输出电流也会增大，这时变频器是降低输出频率，把负载转移一部分给主电机，这样就降低自身的负载，使输出电流重新达到一个平衡点。



下垂控制系统主要是调整主从变频器的最高输出频率的比例，以及从变频器的下垂量，总可以找到一个合适的点，使主从电机的负载基本一致。

下垂控制功能只有在有 PG 矢量控制时有效，所以，必须在从电机上安装编码器。从变频器上安装 PG 卡。

下垂控制的特点是负载分配比较均匀，可以使主从电机各分担约 50% 的负荷，但必须要有编码器，所以限制了一些实际的应用。

下垂控制方式的一些典型的应用场合：双驱动皮带运输机，两端出轴双电机驱动起重机提升系统等等。

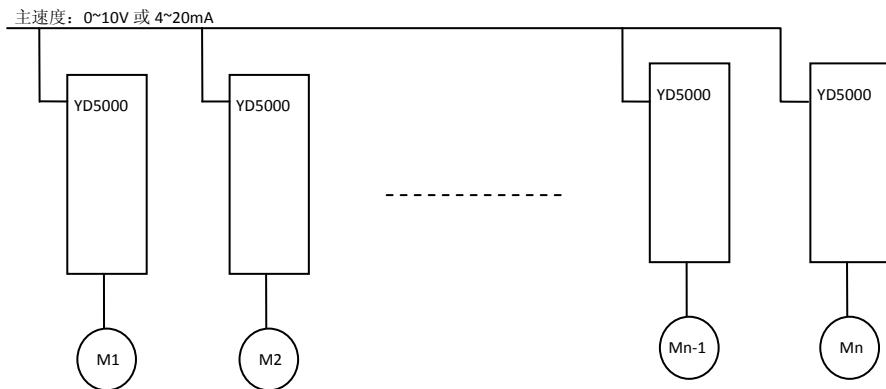
优利康变频器在使用下垂功能时所需要调整的一下参数如下。

主电机工作于普通的速度控制方式，因此主电机的参数按常规方式调整，包括 B1-01、

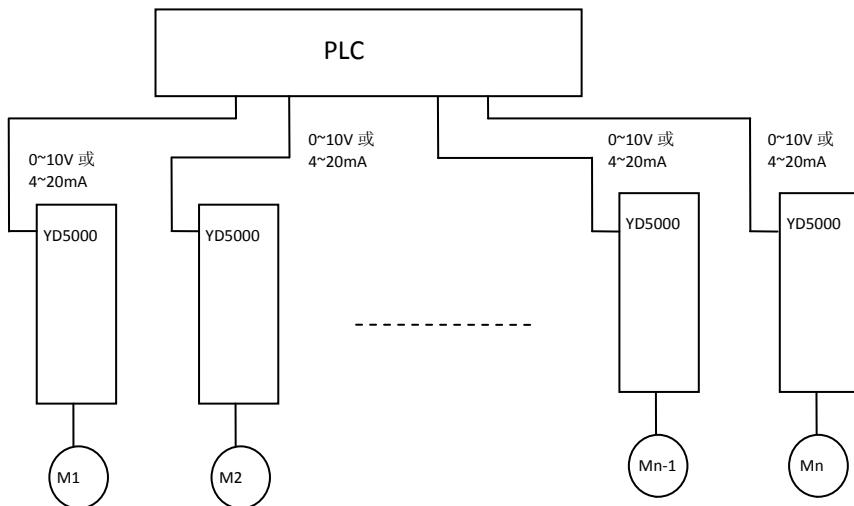
B1-02、C1-01、C1-02、E1-06 等；从电机工作在闭环矢量控制方式，除以上的参数外，还需调整 E1-04、B7-01、B7-02 等。

3. 按比例同步控制系统

按比例同步控制方案相对比较简单，非常适合平均速度同步的应用场合。在这种系统中，每个电机都有一台变频器控制，频率指令有同一个信号给定，但运行频率由每台变频器的最高输出频率决定，整个系统按一定的比例使各台设备的速度保持同步。



在实际的应用中，也有很多用 PLC 来控制整个系统的运行，这种方式下，各台变频器的最高输出频率是一样的，而各台变频器的频率指令是由 PLC 根据工艺要求计算出的，有 PLC 统一给定。



按比例同步控制系统的运行精度取决于电机的特性。理论上，如果是同步电机，各台设备的运行速度完全决定于变频器的输出频率。异步电机总是有一定的转差率，优利康变频器在无 PG 矢量控制时，可以根据各台电机负载情况，自动加上转差补偿，使系统的运行精度大大提高，因此基本能满足绝大多数类似的应用场合。

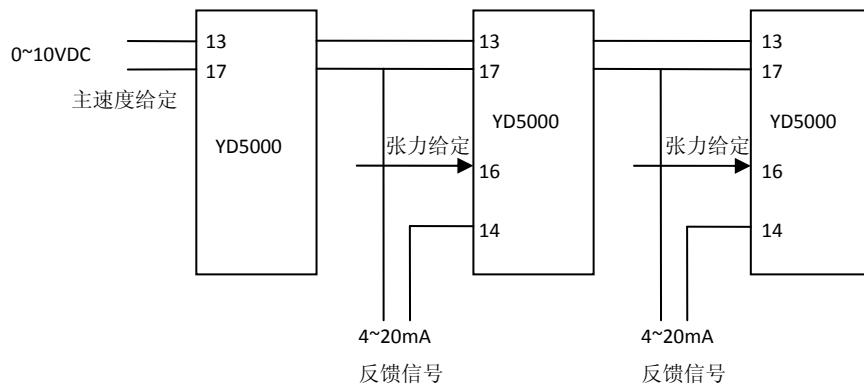
按比例同步方式的典型应用场合：无纺布控制系统，滑轮式拉丝机控制系统，港口起重机械上多电机大车驱动系统等等。

因这种控制方式变频器都属于速度控制，因此，参数调整比较简单，按常规的速度控制调整 B1-01、B1-02、C1-01、C1-02、E1-04 等等，如需要快速停止的场合，需加装制动电阻或制动单元。

4. PID 控制的同步方案

PID 控制原理

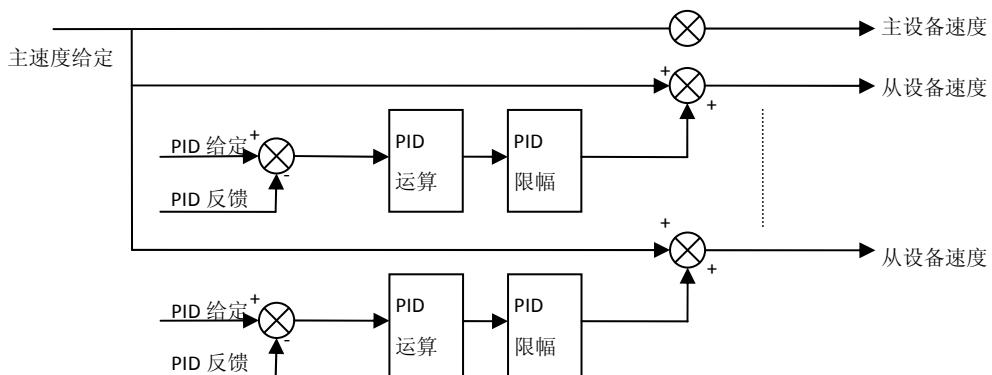
PID 控制的同步系统，在同步控制中应用最为广泛，因此在这里也是讨论最多的一种方案。为了通过 PID 的控制使设备同步，各台设备之间需要有一个反映同步状态的信号，这个信号一般由运行时的机械位置决定，所以通常是通过扇形挡块、浮动辊等机械装置的位置变化，再用相关的传感器或电位器转换成电信号，或直接用压力传感器等供给控制设备，控制设备根据这些信号的大小，通过 PID 运算，调整相对应设备的速度，使设备之间保持同步运行。如下图所示。



控制原理

在这些控制系统中，一般都有一台我们称之为领航速度的设备，这台设备没有 PID 反馈控制，是纯粹的速度控制，这台设备的速度决定了整个系统的工作速度，系统中其它设备的速度都需跟随这台设备，因此，也称之为从设备。主设备的选择并不是很重要，有时系统中的任何一台设备都可以作为主设备，为了方便起见，一般会选择第一台或最后一台设备作为主设备。但在有的系统中，其中的一台设备功率比其它设备大很多，或者相对来讲在系统中比较独立，一般就会把这台设备作为主设备。也有工艺的需要其中一台设备作为主设备。一旦主设备选定了，其余的设备就作为从设备，跟随主设备运行，并与主设备保持同步，包括系统前端的收放卷设备。

速度控制框图如下。



同步速度频率的确定

理论上，通过计算合适的频率，就能使系统运行在同步状态。这个频率就是同步速度频率。因系统一般是由同一个模拟量来给定主速度，所以一般要根据系统的额定运行速度，再根据各个设备的电机的额定转速、传动部分的传动比、辊筒的直径等计算出额定速度运行时变频器所需的输出频率，我们一般称为额定同步频率，使给定同一个模拟量时，各个设备都运行在额定同步频率，线速度就能保持一致。如果忽略电机的转差率，机械部分的传动精度与加工精度，这时如果不加 PID 也能使系统保持同步运行。理论上，不加 PID 时运行速度最

稳定，因为 PID 总是会有个调整过程，在调整过程中，速度就会有变化，所以加在主速度上的 PID 分量是越小越好。这也就要求电机、机械部分的误差越小越好，这样就只需一个很小的 PID 分量就能纠正电机、机械部分的误差，使调整的过程尽量小，系统运行时就越稳定。

额定同步频率计算如下

$$F=50S/(V*B*2*\pi*R)$$

F：额定同步频率，对应变频器的最高输出频率

S：额定线速度

V：电机额定转速

B：减速比

R：辊筒直径

如果计算出的频率小于电机的额定频率，在修改最高输出频率时，同时修改基本频率，同时按比例修改基本输出电压，以保证压频比不变。

优利康变频器的 PID 控制方式

优利康变频器有 4 种 PID 控制方式，可以分成二种模式：

1)，不带前馈速度给定 PID（输出频率完全由 PID 控制）PID 方式 1 或 2；

2)，带前馈速度给定的 PID，PID 方式 3 或 4，输出频率主要有主速度给定，PID 的输出叠加在主频率上面，可以在一定的范围内调整输出频率。如上图所示的方式。

优利康变频器在 PID 方式 3 或 4 时的参数设置

以下是针对 PID 部分的参数，其余的参数按常规或根据需要设置。

B5-01=3；PID 控制方式 3，频率指令有主频率加 PID 控制，微分控制偏差

B5-02=1；比例增益，按实际需要调整

B5-03=10；积分时间，按实际需要调整

B5-05=xx；微分时间，一般不需要调整

B5-06=15；PID 上限，按需要调整，是 PID 的输出与最高输出频率的百分比

以上 B5 组参数具体参照优利康变频器的使用说明书。

PID 控制的同步控制系统，特别适合要求瞬时速度同步的场合。典型的应用有：直进式拉丝机、造纸机械、多级钢带冷轧机械、印染机械、各种收卷设备等等。

5，力矩控制时的同步系统

所谓力矩控制，是指变频器不再控制电机的转速，而是根据力矩指令控制电机的输出转矩。力矩控制是建立在矢量控制的基础上实现的。因此，只有在矢量控制方式时才能有力矩控制功能。所谓矢量控制其基本原理是通过测量和控制异步电动机定子电流矢量，根据磁场定向原理分别对异步电动机的励磁电流和转矩电流进行控制，从而达到控制异步电动机转矩的目的。由于矢量控制方式所依据的是准确的被控异步电动机的参数，所以变频器工作于矢量控制方式时，必须对电机做自学习测试。优利康变频器是做标准的动态自学习，所以测得的参数全面、准确，可以保证正确的矢量解耦，达到精确控制力矩的目的。

力矩控制的同步系统一般应用在恒张力收放卷，以及两台电机带同一个刚性负载时的力矩均分的场合。

为了保证系统的负载转矩突然消失时，电机发生飞车现象，或者使收卷的速度能跟随送料的速度，优利康变频器在力矩控制时还有速度限制功能，即使负载转矩为零，变频器的输出频率也不超过给定的速度，使电机的转速在一定安全范围内。

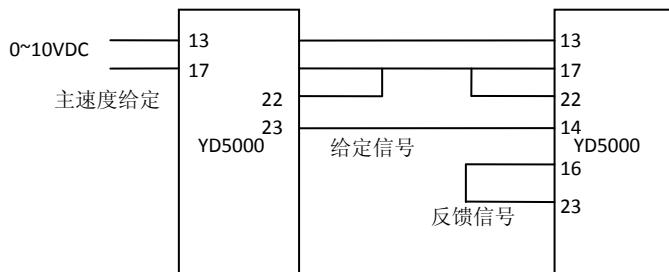
具体的应用请参考相应的应用案例。

四，典型应用案例

1，双主动轴皮带机同步运行控制方案

(1) 系统配置

有二台变频器分别带动皮带运输机的二台电机，其中一合作为主（变频器）电机，另一合作为从（变频器）电机。接线图如下。



工作过程：二台变频器均接 0~10VDC 的主速度给定信号，使二台电机能在一个大的范围内同步升速或降速，由于电机或负载的原因，二台电机的速度不能完全一致，这样就会造成积累误差，极限状态有可能一台电机被另一台拖着跑，造成一台变频器负载过重而报过负载，另一台变频器因被拖着走而报过电压。所以，为了达到负荷分配的目的，把主变频器的力矩输出信号给从变频器，作为 PID 控制的给定，而从变频器的力矩信号反馈给自身，作为 PID 的反馈，从变频器最终控制的目的是使二台变频器的输出力矩一致，从而达到平均分配负荷的目的，使二台电机能同步运行。

(2) 参数设置

参数调整的关键是 PID 的增益及积分参数，以及几个信号的滤波时间常数。这几个参数都要根据现场的运行情况来设定。因 14 脚默认是电流输入，所以首先要把 14 的电平改为电压输入，并且把主板上的 J1 短接线剪断。主要参数如下：

主变频器工作于速度控制方式，按常规调整参数后，需调整 23 脚输出对应的参数。

H4-04=09，输出监视内部力矩指令，反映了主变频器的力矩输出

H4-05=1，输出的增益，使输出 10V 时对应 100% 的力矩信号

从变频器调整的参数比较多，工作方式是“主频率指令+PID 控制”，按常规调整参数后，需调整如下参数：

B5-01=3，工作模式：主频率指令+PID 控制

B5-02=1，比例增益；B5-03=10，积分时间；这两个参数在实际运行时需调整

B5-06=3~5%，加到主速度上面的 PID 上限，

H3-05=B，PID 反馈

H3-08=1，14 脚输入 0~10V

H3-09=C，PID 目标值

H3-12=0.5S，模拟输入的延时时间，按实际的运行状况调整。

(3) 适合的应用场合

以上的运行模式适合于不频繁起停的运行场合，也就是一旦运行后就会运行很长时间，例如皮带运输机、造纸机、印染机等等。如果是频繁起停的场合，因起动时系统有一个 PID 的调整过程，所以起动时会有一个速度的波动，因此就不适合频繁起停的场合。

2，直进式拉丝机控制方案

(1) 引言

随着汽车工业的快速发展，对汽车轮胎的需求也快速增长。同时，由于我国高等级公路的快速发展，汽车的运行速度也大大提高了，这就对汽车轮胎的质量提出了更高的要求。而钢联线作为轮胎的重要组成部分，对轮胎的强度起着重要作用。钢联线的质量直接影响着轮胎的质量、品质、等级。作为钢联线的主要生产设备直进式拉丝机，应用也越来越广泛。早期的直进式拉丝机，主要以进口为主，包括德国、意大利、韩国等地进口的拉丝机为主，

这些系统有直流调速的，也有交流变频调速的。现在这些设备在一些大的钢联线生产厂还在应用。近年来，随着国内机械加工能力的提高，以及自动化控制技术的发展，直进式拉丝机已基本实现国产化。在江阴、靖江等地的几家拉丝机生产厂，都已生产出交流变频同步调速的直进式拉丝机。在这些设备上，有的应用了进口的变频器，如：Danfoss、ABB、以及日本宫川在无锡生产的 Yolico 等，有的也应用了国产的变频器，如：汇川等。

这个应用案例就是优利康(Yolico)变频器在江阴生产的直进式拉丝机上的配套案例。

(2) 直进式拉丝机工作原理简介

直进式拉丝机是多个拉拔头组成的小型的连续生产设备，通过逐级拉拔，可以一次性地把钢丝冷拉到所需的规格，所以工作效率比较高。但是，由于通过每一级的拉拔后，钢丝的线径发生了变化，所以每个拉拔头工作线速度也应有变化。

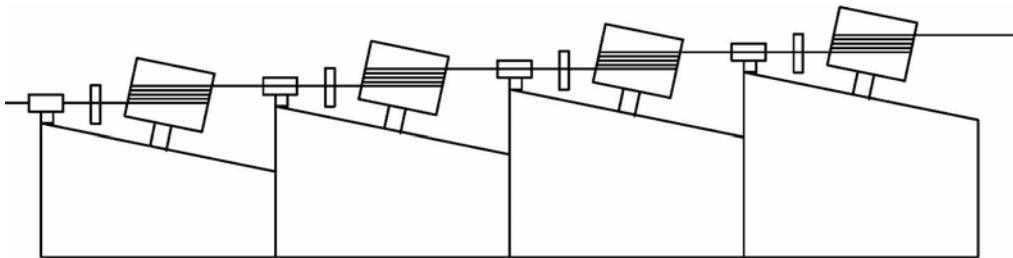


图 (一)

根据拉模配置的不同，各个拉拔头的拉拔速度也要变化。拉拔速度的基准是每个时刻通过拉模的钢丝的秒流量体积不变，即使以下公式成立：

$$\pi R^2 \times V_1 = \pi r^2 \times V_2$$

其中 R : 进线钢丝的直径

V_1 : 进线钢丝的线速度

r : 出线钢丝的直径

V_2 : 出线钢丝的线速度

直进式拉丝机的各个拉拔头的工作速度就是基于以上的公式，保证各个拉拔头同步运行。但是，以上的说明是基于理想状态的稳态工作过程，由于机械传动的误差以及机械传动的间隙，还有在起动、加速、减速、停止等动态的工作过程中，各个拉拔头就无法保持同步，所以，现在大多数的直进式拉丝机上都有张力传感器，动态测量各个拉拔头间的钢丝的张力，再把张力转换成标准信号(0~20mA 或 0~10V)，用这个标准信号反馈给调速变频器，变频器用这个信号作闭环 PID 过程控制，在主速度上叠加上 PID 计算的调整量，保持各个张力检测点的张力恒定，也就保证了直进式拉丝机工作在同步恒张力的工作状态。

根据以上的说明，直进式拉丝机对变频器的性能提出较高的要求。变频器应具有以下的性能。

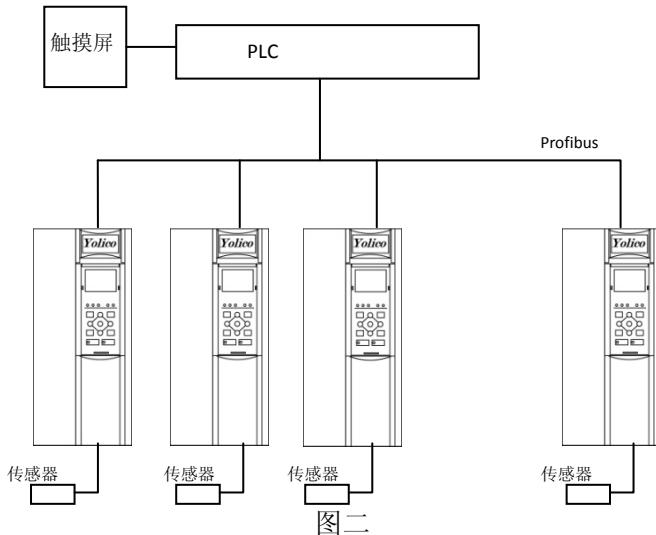
- 1, 低频起动力矩大，过载能力强，速度精度高
- 2, 有内置 PID 功能，PID 的参数丰富
- 3, 动态响应快

所以，我们选用了优利康(Yolico)的高性能电流矢量变频器作为直进式拉丝机的驱动装置，该变频器在实际使用中也完全满足了拉丝机的要求，响应快，起动力矩大，过载能力强，在矢量控制时速度控制精度达到 0.2%(无 PG)，有内置 PID，PID 参数丰富，包括 PID 增益、限幅、偏置等等。

(3) 配置及说明

直进式拉丝机的电气系统配置如下图所示，主要包括以下几个部分：触摸屏—西门子 TP270, 10' 真彩，可编程控制器（PLC）—西门子 S7-315-2DP，带 Profibus 现场总线接口，变频器—优利康(Yolico)的高性能电流矢量变频器 YD5000，内置 PID，传感器—图尔克线

性传感器， $0\sim10V$ ，或 $4\sim20mA$ 。触摸屏与 PLC 通过 MPI 总线连接，PLC 与变频器之间通过 Profibus 现场总线连接，组成高速的现场总线网络，数据的传输速率达到 1.5M，极大地提高了变频器的响应速度，提高了同步精度，基本上做到了正常工作时不断丝。这对提高工作效率非常有效。



整个系统的领航速度是由最后一台拉拔变频器决定的，再根据每道拉模的压缩比与减速比，计算其它每个机台的主给定速度，由于机械上的误差和拉模的磨损，使得给定的参数与实际的数值有一定的差异，这个差异就通过张力臂来纠正。事实上，张力臂下面连接着一只位置传感器，该传感器测量出张力臂的转动角度，输出一个 $0\sim10V$ 的模拟量信号给变频器，变频器再根据设定的位置值（一个相对与 $10V$ 的百分比值），经过 PID 计算，在输出频率上叠加一个纠偏量，消除上述的差异。

系统中，触摸屏作为人机界面，起着人机接口的作用，每道拉模的压缩比，就是通过触摸屏输入的，并且，触摸屏还能存储若干套不同的拉模参数，方便用户快速选择成套拉模参数，而不必每次都要输入参数，方便了用户，提高了效率。触摸屏还显示工作中各道拉模的实际工作参数，包括电压、电流、速度等等，在系统出现报警时，触摸屏上及时显示系统故障的内容，方便用户及时诊断，排除一些简单的故障。触摸屏与 PLC 是通过 MPI 连接的，速率为：187.5K。

PLC 是整个系统的控制中心，控制着整个系统的工作流程。通过按钮的操作，控制每个机台的前联动、后联动、点动及整个系统点动、自动运行。根据触摸屏输入的拉模压缩比参数，计算每个机台的同步速度，并通过 Profibus 总线传输给变频器，由变频器直接驱动机台电机工作。PLC 还通过 Profibus 总线，从变频器中读取变频器的工作参数，对变频器的各种工作异常作出处理，并及时通过触摸屏显示。