

问题探讨 · ·

调速型液力耦合器双机驱动同步调速与功率平衡控制方法探讨

董 泳, 闫国军, 李小斌

(哈尔滨工业大学, 哈尔滨 150000)

摘 要: 介绍了工业生产实际当中常见的 2 种调速型液力耦合器多机同步运行控制方式, 分别针对风机并联耦合器同步调速控制及带式输送机双机驱动运行功率平衡问题提出相应的控制方案。针对 2 类系统的关键控制参数(涡轮输出转速和电机工作电流)进行了 PID 闭环控制跟踪响应实验, 得到了耦合器调速过程动态响应结果。

关键词: 调速型液力耦合器; 双机驱动; 同步调速; 功率平衡

中图分类号: TH133.4 **文献标志码:** B **文章编号:** 1003-0794(2007)02-0057-03

Investigation on Variable - speed Coupling Twin - engined Driving System Synchronizing Regulation and Power Balance Control

DONG Yong, YAN Guo - jun, LI Xiao - bin
(Harbin Institute of Technology, Harbin 150000, China)

Abstract: Two types of variable - speed coupling multi - engined drives running control manners widely used in practice are discussed. Different schemes are suggested for the synchronizing regulation and power balance involved coupling fan speed system. Closed - loop PID control response test with critical parameters (output speed of the turbine and working current of motor) is done. Speed regulated dynamic response results for the coupling speed regulating system are achieved.

Key words: variable - speed coupling; twin - engined drives; synchronizing regulation; power balance control

0 引言

近年来, 随着工业应用系统向大容量、高参数方向的不断发展, 在大功率耦合器负载调速控制应用中越来越多地采用双机或多机共同工作, 简单地可归纳为 2 种工作形式: (1) 双动力驱动: 2 台(或多台)耦合器共同驱动同一个负载, 如煤矿运输中的长距离大运量带式输送机; (2) 双机并联: 耦合器独立驱动各自的负载, 如大型钢铁公司除尘风机并联运行系统。双动力驱动系统的关键是解决驱动电机功率平衡问题; 而双机并联运行系统则是要解决工艺流程中所要求的负载同步调速问题。针对调速型液力耦合器调速驱动中风机、水泵及带式输送机等此类常见的负载, 解决系统多机联动控制存在的技术问题, 提出合理、切实可行的自动控制方案, 对工业生产及相应控制技术的发展都是很有意

1 双机并联运行使用耦合器同步调速的实现

PID 反馈控制是过程控制系统中应用最广泛的控制算法, 其工程实现不必以被控对象的精确数学模型为前提, 且 PID 控制规律本身就具有较强的自适应能力, 即当被控对象动态特性参数在一定范围内变化时, 系统仍能得到满足生产工艺过程的动态品质指标。因此, PID 控制规律用于调速型液力耦合器的调速控制是比较适用的。

(1) PID 控制算法

常规的 PID 控制原理如图 1 所示, PID 控制器根据给定值 $r(t)$ 与实际控制值 $c(t)$ 构成控制偏差 $e(t) = r(t) - c(t)$ 。将偏差的比例 P 、积分 I 、微分 D 通过线性组合构成控制量, 对被控对象进行控制, 故称为 PID 控制器。

3 结语

通过对章动齿轮传动的锥滚式输出机构的理论分析和研究, 可为这种输出机构的研究、设计和制造等提供必要的理论基础。章动传动是一种有发展前途的传动, 随着人们对这种传动研究的不断深入和完善必将扩大这种传动的应用领域。

参考文献:

- [1]程志红, 先敏开. 渐开线少齿差锥齿轮行星传动(章动传动)的实用性分析[J]. 机械传动, 2000(1): 31 - 33.
- [2]何韶君, 赵清. 摆线针轮章动传动的齿廓分析[J]. 机械传动,

1997(4): 8 - 11.

- [3]联轴器结构图册编写组. 联轴器结构图册[M]. 北京: 国防工业出版社, 1994.

作者简介: 何韶君(1959 -), 吉林辽源人, 副教授, 1982 年毕业于沈阳工业大学机械专业, 主要从事机械传动与摩擦学领域的教学与科研工作, 发表学术论文 30 余篇, 主编 2 部教材, 主持与参与完成省部级科研项目 3 项, 获省部级科技进步奖 1 项, 电话: 0411 - 87656201, 电子信箱: hsj@dlnu.edu.cn.

收稿日期: 2006-09-14

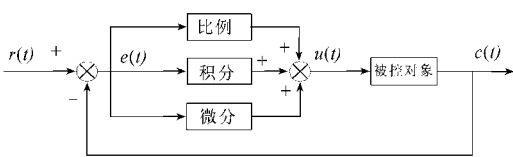


图 1 常规 PID 控制系统原理

在模拟系统中, PID 算法的表达式为

$$u(t) = K_p[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt}] \quad (1)$$

在计算机控制系统中使用数字 PID, 因此需将式(1)离散化得到

$$u(k) = K_p\{e(k) + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^k e(j) + \frac{T_D}{T} [e(k) - e(k-1)]\} \quad (2)$$

$$e(k) = r(k) - c(k) \quad (3)$$

式中 $u(k)$ ——调节器输出量;

$r(k)$ ——给定值;

$c(k)$ ——第 k 次输出采样值;

K_p ——比例系数(比例带的倒数);

T_i ——积分时间常数;

T_d ——微分时间常数;

T ——采样周期。

式(2)则为数字智能仪表及工程实际闭环控制中使用的位置型 PID 算法基本表达式, 适用于采用电动执行机构作为执行器的过程控制系统。目前工业生产中调速型液力偶合器匀管机构的驱动大多采用电动执行器。

(2) 双机并联运行系统同步调速解决方案

采用外给定 PID 控制仪实现偶合器同步调速控制的原理如图 2 所示。

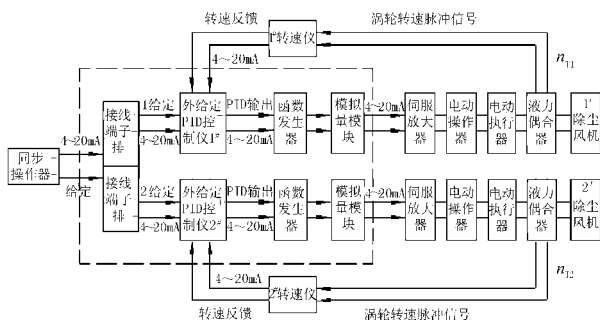


图 2 钢厂除尘风机并联运行同步转速控制原理

其中 1#、2# PID 控制仪自成调节系统, 只不过接受的是同一转速给定值信号, 涡轮输出转速采样值与同样的给定值比较, 偏差结果送 PID 运算输出, 通过函数变换后再由模拟量模块转换为 4~20 mA 电流信号驱动电动执行机构。回路中可变函数发生

器装置用于偶合器固有调节非线性的校正。

系统的设计应保证同步调速投入前, 2 台偶合器具有同样的初始状态, 比如匀管应都处于低位状态(开度为 0)。另外, 为保证调速过程 2 台偶合器涡轮输出转速的尽量一致, 要使 2 台 PID 控制仪同步投入工作。当然更关心的是最终控制转速是否达到精度范围内, 采用现有的控制手段, 针对实际应用整定合适的 PID 控制参数, 就可以保证 2 台偶合器调节的响应与过渡过程以及控制的精度基本一致。实践证明此方案是切实可行的。

(3) PID 控制参数的整定与实验结果

在 PID 数字控制系统中, 参数的整定是十分重要的, 调节系统参数整定的好坏直接影响控制系统的调节品质。需要整定的参数包括: 比例系数 K_p (或比例带 P); 积分时间 T_i ; 微分时间 T_d ; 采样控制周期 T 。对于液力控制系统, 没有必要选取太小的采样控制周期, 系统控制器采用 PID 控制仪, PID 运算输出周期一般可选 1~2 s; 采用可编程序控制器 (PLC) 实现, T 可在 0.5~1 s 内选择。其他参数的整定有扩充临界比例度法、扩充响应曲线法及归一参数整定法等, 对于液力调速系统, 应用最多的还是经验法。即根据具体的调节规律, 不同调节对象的特征, 经过闭环试验, 反复试凑, 找出最佳的整定参数值。后面的实验整定参数的获得则是根据图 3 所示的变化规律, 采用“控制变量法”得到, 亦可称之为“优选法”。应该说明的是: 在实验台上获得的 PID 整定参数值对于类似的工程实际应用系统具有一定的参考价值。

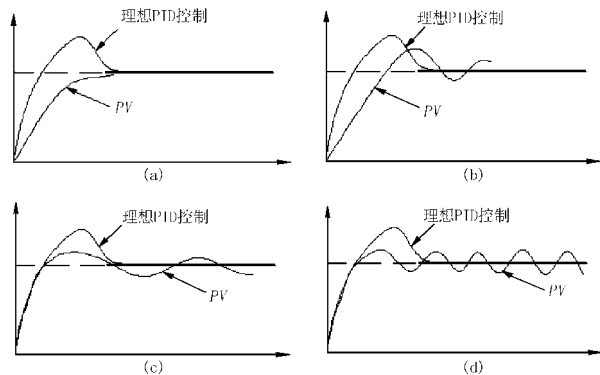


图 3 PID 参数的工程整定

注: 如有图 3(a) 的情况, 请减少 P 的设定值; 如有图 3(b) 的情况, 请增加 P 的设定值; 如有图 3(c) 的情况, 请增加 I 或 P 的设定值; 如有图 3(d) 的情况, 请减少 D 的设定值; PV 即实际测量值

在风机偶合器调速动态特性实验台上, 配以计算机数据采集系统, 偶合器涡轮初始输出转速 400

r/min,当给定750 r/min的阶跃信号时,得到系统跟踪响应曲线(略),从曲线可以看到,采用适当的PID工程整定参数,由调速型液力偶合器组成的调速控制系统具有良好的可控性,系统具有十几秒的过渡过程,可以达到工业现场要求的3%~5%以下误差的稳态精度。系统的增益及微分时间不宜过大,对于响应时间要求不高的系统,只要能满足运行要求,可以尽可能的小(或比例带尽可能的大),有利于系统的稳定运行。积分时间在2~8 s可选。图4给出了系统的实验原理。注意:实验中,PID控制仪采用的是比例带(P)。

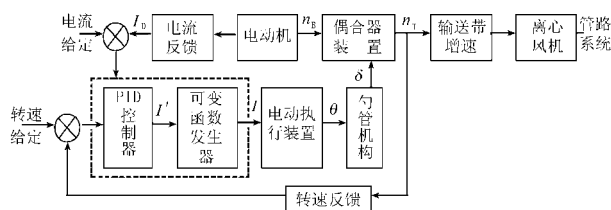


图 4 耦合器调速系统实验原理

2 带式输送机耦合器双机驱动功率平衡控制方案探讨

高强度、长距离、大运量的带式输送机主要采用多电机驱动,多机驱动的主要问题是电机的输出功率不均衡。在外负荷不变的情况下有的电机欠载,有的电机过载,严重时甚至烧毁电机。因此带式输送机双机驱动系统的功率平衡是保证其正常运行的必要条件。

在运行阶段,各电机功率 $P = 1.732 U \eta \cos \varphi$, 当采用相同规格的电机时,其效率 η 、功率因数 $\cos \varphi$ 基本相同,同一电网供电电压 U 可认为是定值,则各台电动机电流 I 的大小基本反映了其功率的变化,因此,双机驱动功率平衡的关键是对驱动电机电流的测量与控制。

(1) 一种功率平衡控制的方法

系统启动时按控制器内设定的加速度曲线控制耦合器匀管开度,使带式输送机达到软启动,通过检测带速和加速度来进行反馈控制;在正常运行时检测各电机电流,送入控制器与设定的基准电流相比较运算输出,给定电动执行器信号以控制耦合器匀管的动作,调节耦合器输出转矩,使各电机达到功率平衡。系统可采用类似于耦合器风机同步调速的控制方法,功率平衡控制方案的原理如图 5 所示:

同理, 1[#]、2[#] PID 控制仪自成调节系统, 只不过接受的是同一电流给定值信号, 驱动电机电流采样值与同样的给定值比较, 偏差结果送 PID 运算输出,

通过函数变换后再由模拟量模块转换为 $4 \sim 20 \text{ mA}$ 电流信号驱动各自的电动执行机构, 最终的结果是维持 2 台驱动电机的工作电流在同一给定值的偏差范围内。

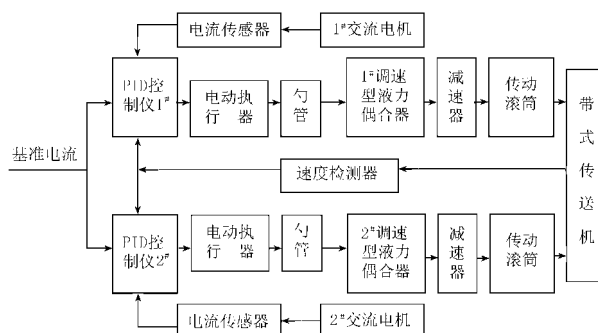


图5 带式输送机双机驱动功率平衡控制原理

(2) 电流控制动态响应实验

实验仍然利用风机耦合器调速动态特性实验台,实验原理相同,只不过把转速反馈变成电机工作电流。鉴于实验室的现有条件,实验台的“皮带轮+风机”负载与实际的带式输送机特性有一定的差别,目的是要检验采用PID控制规律,通过调速型液力耦合器勺管对充液量的调节,可否实现对驱动电机工作电流的控制。从电流控制的几组跟踪响应曲线(略)可以看到,采用适当的PID工程整定参数,由调速型液力耦合器组成的驱动电机电流控制系统仍然具有良好的可控性。相对转速控制,系统过渡时间要长一些,但系统能够保证一定的控制精度。上述双机驱动功率平衡控制方案工作原理及硬件配置均简单易行,所需的工作是在实验台上,针对带式输送机类负载,整定出合适的PID控制参数。上述2类耦合器应用系统均属工业生产中的大功率系统,系统调试涉及到实际生产中的多个环节,现场进行参数整定是非常困难的。

参考文献:

- [1]杨乃乔. 液力调速与节能[M]. 北京:国防工业出版社, 2000.
- [2]邹铁汉. 限矩型与调速型液力偶合器在带式输送机中的应用[J]. 起重运输机械, 2002(6): 9 - 12.
- [3]孙海林. 微机控制调速型液力偶合器实现胶带机软起动及功率平衡[J]. 煤矿设计, 1996(10): 85 - 88.
- [4]董泳, 闫国军. 泵或风机并联运行偶合器同步调速控制方法研究[J]. 节能技术, 2006(1): 15 - 18.
- [5]潘新民, 王燕芳. 微型计算机控制技术[M]. 北京:人民邮电出版社, 1999.

作者简介: 董泳(1965-),黑龙江齐齐哈尔人,副教授,硕士,主要从事流体机械及液力传动与控制方面的教学与科研工作,电话:0451-86413254。

收稿日期:2006-11-10