

泵或风机并联运行偶合器同步调速控制方法研究

董 泳,王 鑫,闫国军

(哈尔滨工业大学,黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要:本文分析了并联运行系统的工作特性,指出了泵或风机非同步运行存在的问题;大功率应用领域采用偶合器调速是一类适宜的调节方式,在分析偶合器调节特性的基础上,给出了一种实用的同步调速控制方法。

关键词:并联运行;调速型液力偶合器;同步调速控制

中图分类号:TK8、TM921.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1002 - 6339 (2006) 01 - 0015 - 04

Regulation Method of Fluid Coupling Parallel Running Pump and Fan

DONG Yong, WANG Xin, YAN Guo - jun

(Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: This paper analyzes the working characteristic of parallel running system and indicates the problems existing in non - parallel running pump or fan. In big power applications, using fluid coupling is a feasible regulation method. Based on analyzing the regulation characteristic of variable speed fluid coupling, the paper gives an useful control method of synchronization.

Key words: parallel running; variable speed fluid coupling; regulate speed control for synchronization

1 前言

火力发电厂的一些主要泵与风机,如锅炉给水泵、锅炉送风机、引风机,炼钢工程转炉除尘系统风机等大功率应用场合,广泛采用两台或两台以上并联运行方式,其主要目的是增大所输送的流量,实现流量调节,满足系统可靠运行等工艺流程要求。为了节省一次性投资,以往多采用调速泵(风机)与恒速泵(风机)并联运行的方式。

变速调节运行较节流调节具有良好的经济性,目前采用较多的有变频调速及液力调速两种方式:变频器作为电气传动中高技术含量的电力电子产品,在中小功率领域已占绝对优势;而在大功率应用场合,特别是在上千千瓦的功率等级,调速型液力偶

合器以其可贵的传动品质、易于实现无级调速的双重优越性,显示出优良的性能/价格比,在大功率应用领域,则是一类可靠性高、低投资的运行方式。

2 泵与风机并联非同步转速运行工作特性

图 1 所示的为某种工业应用场合风机并联运行系统,工艺流程要求根据除尘量的大小,对风机进行相应的变速调节。类似的泵或风机并联运行使用的实例中,具有不稳定上升段的 $H - q$ (扬程 - 流量)或 $p - q$ (全压 - 流量)曲线的泵或风机并联运行时,即使泵或风机的性能完全相同,也可能出现所谓的“抢水”或“抢风”现象^[2]。具有这样性能曲线的泵或风机还会产生必须避免的“喘振”现象,否则导致系统的振动,不能保证稳定运行。

对于具有平坦的特性曲线的泵或风机的并联运行,变速时若不能保持各泵(风机)的转速一致,一

收稿日期 2005 - 11 - 07 修订稿日期 2005 - 11 - 17

作者简介:董 泳(1965 ~),男,副教授。

方面也可能产生上述现象,另一方面的主要问题则是运行的不经济,甚至起不到增加流量的效果。

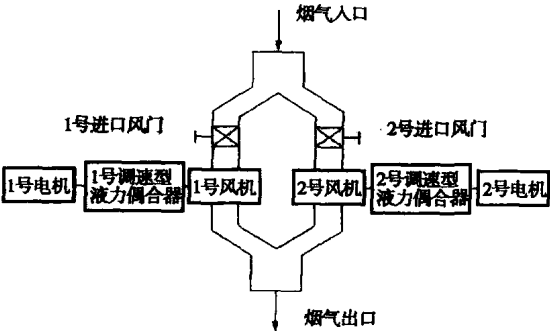


图1 钢厂二次除尘风机耦合器调速应用系统

图2给出同型号的两台通风机在不同转速下并联运行的总性能曲线与管网的联合工作情况,对应两台风机的转速分别为 n_e 和 n_2 ,且有 $n_e > n_2$ 。曲线为额定转速 n_e 下的性能曲线,另一台风机工作在转速 n_2 下的性能曲线,则可通过比例定律得到。

(1) 管网特性为 R ,工况点为 A , $q_A = q_B + q_C$,1#风机工作点 B ,2#风机工作点为 C 。此时情况可能是1#风机效率较高,2#风机则工作效率较低,长期运行,显然不经济,能耗增加。风机的选型与匹配应遵循其效率为最高对应的流量作为设计流量的方法来确定。

(2) 管网阻力增加为 R' ,工况点为 D ,与高转速风机压力曲线也交于 D 点,低转速风机不起作用,还要额外消耗功率。

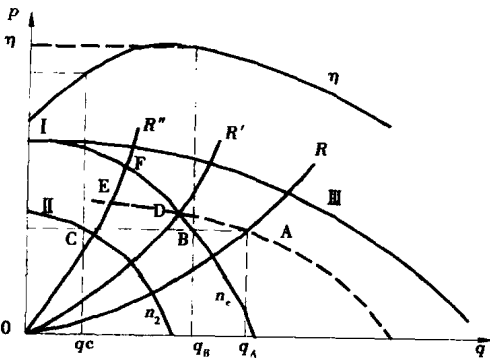


图2 并联运行工作点

(3) 管网阻力再增加为 R'' ,并联运行工况点为 E ,而 F 为 R'' 与高转速风机的单独使用工况点,显然 $q_E < q_F$,即低转速风机阻碍了高转速风机的工作。

(4) 曲线为两台风机在同样转速(n_e)下的并联运行特性曲线,在合理匹配计算的情况下,则可避免出现上述问题。

由以上分析可知,采用泵或风机的并联运行方式,保证并联的泵或风机同步转速运行,可以得到更好的运行效果。

3 耦合器同步调速的实现

目前工业应用较为广泛的是采用勺管的出口调节式调速型液力耦合器,此种耦合器结构紧凑、操作简便、运转精度高、调速反应快,适用于高转速、大功率、要求快速调节的场合,广泛应用在风机、水泵和大型带式输送机等设备上^[3]。

勺管的拖动采用电动执行机构,4~20 mA 标准电流信号驱动,勺管位置开度的变化导致耦合器工作腔充液量的改变,耦合器的输出特性亦随之改变。在涡轮负载特性一定的情况下,得到不同的工况点,对应不同的涡轮输出转速,从而实现转速的无级调节。亦即给定多大的电流,则有与之对应的涡轮转速。

图3给出了几种型号的调速型液力耦合器的调节特性, i_{TB} 为涡轮、泵轮转速比, δ 为耦合器的对应输入量,采用勺管则为勺管的相对开度。可以看出,一定范围内有良好的线性,在大调节量时则趋于饱和和特性。

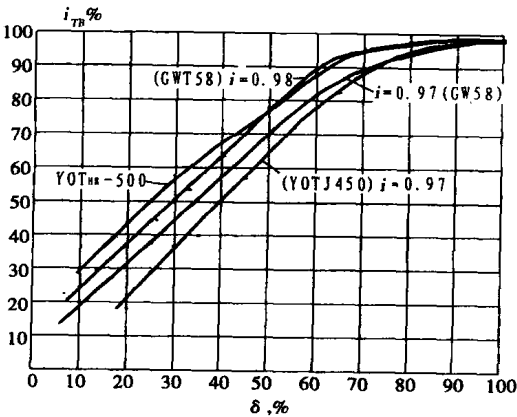


图3 耦合器的调节特性

采用开环的同步调速控制方法,即使是同一型号的调速型液力耦合器,由于其加工、装配工艺过程中的差异,也会产生相对充液量的差异;或者现场环境因素(如工作油液的冷却效果)等因素的影响,会使调节特性有所差异,也就是说即使保证勺管在同一开度,涡轮输出转速也会有所差异,同步运行的转速差异一般要控制在3%~5%以内,要保证同步调速的控制精度,采用闭环反馈控制是一个可行的方案。

PID(比例-积分-微分)控制仍然是目前过程控制应用最广泛的基本控制方式,按PID控制进行工作的自动调节器早已商品化,如市场上常见的PID自整定控制仪,应用已很成熟,PID控制具有原理简单、使用方便、适应性、鲁棒性强的特点。鉴于耦合器内部流动的复杂性,难以建立其精确的数学模型,对此类调控对象,采用PID控制是比较合适的。

采用外给定 PID 控制仪实现耦合器同步调速控制的原理如图 4 所示。

1#、2# PID 控制仪自成调节系统,分别接受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,通过函数变换由模拟量模块转换为 4~20 mA 电流信号驱动电动执行机构。

考虑到耦合器固有的非线性,开环控制无大影响,闭环控制则使系统 PID 参数难以整定,使系统的响应及控制精度也难以保证,回路中加入的可变函数发生器用于非线性的校正^[5]。

系统的设计应保证同步调速投入前,两台耦合

器具有同样的初始状态,比如匀管都处于全关闭状态(开度为 0)。另外,为保证调速过程两台耦合器涡轮输出转速的尽量一致,要使两台 PID 控制仪同步投入工作。当然我们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,可以保证调节的响应与过渡过程,控制的精度基本一致。

图 5 给出上述控制实现的电气原理图,图中的 PLC 主机与扩展模块实现函数发生器的功能,系统初始上电,则输出 4 mA,使匀管归零,远控接点信号(YKZ1、YKZ2)由同步操作器送出两对,使两台 PID 控制仪同时投入工作。

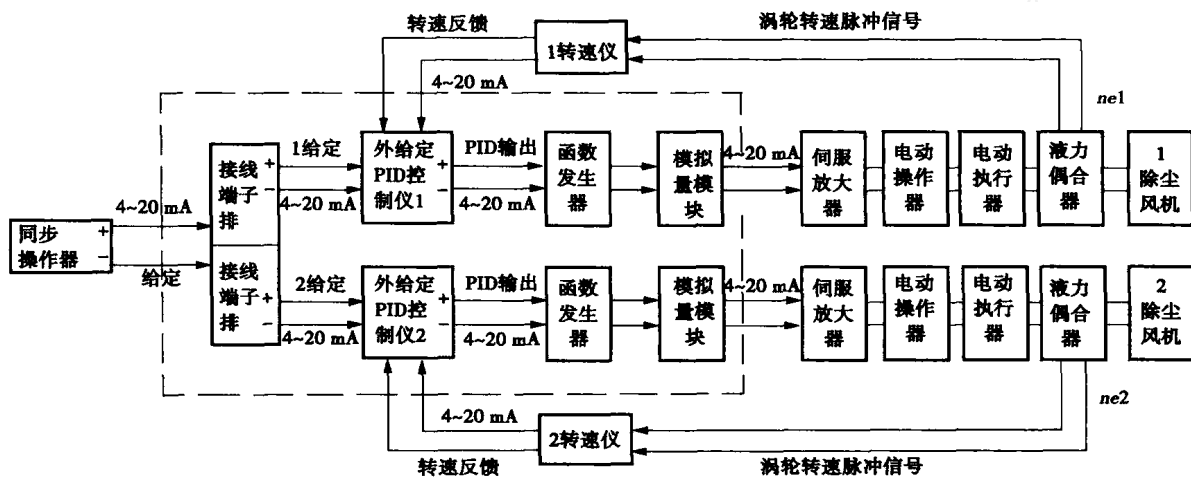


图 4 同步转速控制原理

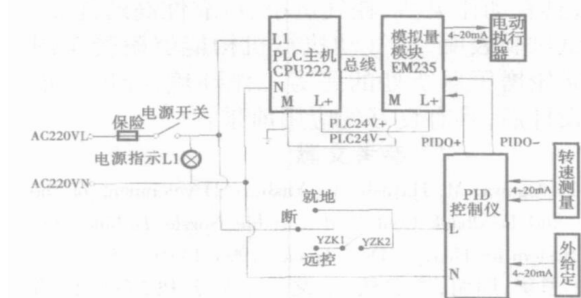


图 5 转速控制仪供电原理

4 耦合器调速过程动态响应实验

现有试验台中,调速型液力耦合器额定转速 $n_e = 1500 \text{ r/min}$, 传递功率 $P = 4 \sim 11 \text{ kW}$; 选用负载为离心通风机, 转速 $n = 2900 \text{ r/min}$, 功率 $P = 7.5 \text{ kW}$, 皮带增速。配以计算机数据采集系统, 针对不同的 PID 工程带定参数, 得到三种典型的响应曲线。(图 6 中纵坐标为涡轮输出转速, 单位 r/min ; 横坐标为时间, 单位 s)。

图 6 中, P —比例带, I —积分时间; D —微分时

间; T_0 —PTD 运算周期。可以看出, 采用适当的 PID 工程整定参数, 由调速型液力耦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 3%~5% 以下误差的稳态精度。如前所述, 采用滑动匀管、出口调节式的调速型液力耦合器在工业生产中应用更为广泛, 其响应速度比进口调节更快一些, 电站锅炉给水泵采用出口调节耦合器, 可在 12 s 内启动并实现随机调节。对于无超调的响应过程(图 6 中的 c 曲线), 过渡时间相对较长, 如是对响应速度要求不高, 此类调节过程更利于同步调速系统整体的稳定运行。

与液压伺服控制系统相比, 液力元件的外特性较软, 响应时间较慢, 但对一些作业机械和对响应时间要求并不苛刻的过程控制系统, 其动态指标可以满足一般工业生产过程的要求。

由以上理论分析及实验结果表明, 类似的泵或风机的并联运行, 采用耦合器调速实现负载同步调速运行的控制, 采用常规的 PID 控制方案是完全可行的, 也是一种简单、经济、易于工程实现的方法。

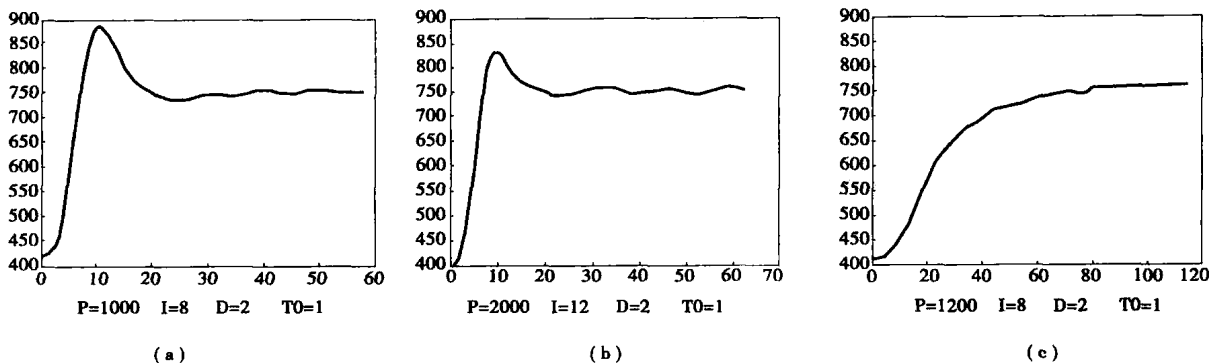


图6 涡轮输出转速跟踪响应曲线

参考文献

- [1] 李庆宜. 通风机 [M]. 北京:机械工业出版社, 1981.
- [2] 吴民强. 泵与风机节能技术问答 [M]. 北京:中国电力出版社, 1998. 5.
- [3] 杨乃乔, 姜丽英. 液力调速与节能 [M]. 北京:中国工业出版社, 2000. 5.

- [4] 胡思科, 吕太, 柏静儒. 开式系统并联水泵非同步调速运行时的能耗分析 [J]. 流体机械, No. 3, 2004, Vol. 32: 28 - 31.
- [5] 董泳, 詹守生, 闫国军. 泵和风机偶合器调速控制系统中可编程控制器的应用 [J]. 节能技术, No. 3, 2004, Vol. 22: 27 - 28.

(上接第 14 页)

3.2.1 涡轮附近温度测量

在试验过程中,连续监测了涡轮附近温度的变化过程,在试验间正常通风的情况下,试验过程中出现最高温度一段的温度变化过程如图 6 所示。从图 6 中可看出,涡轮附近温度最高为 84,因此在气动阀的安装位置温度不会超过阀的耐受温度。

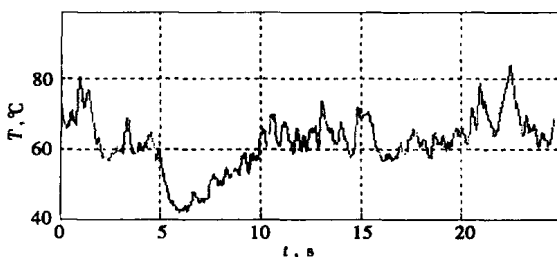


图6 试验过程中涡轮附近典型的温度变化

3.2.2 振动对执行机构的影响

在试验阶段,由于执行机构的位移反馈信号由电感电压式弹簧自回位式传感器测量,发动机的振动引起传感器探头的共振,当振荡幅度超过控制器的调节死区 (± 0.1 mm) 时,会导致执行机构在目标值附近小幅 (± 0.4 mm) 振荡,引起快速开关阀动作,耗气量增加。因此,在实际应用中应对位移信号进行滤波处理,在满足调节精度要求的情况下适当加大控制死区。另外,由于此种类型传感器,价格较高,体积大,在实际应用中,为了降低成本和适合安装空间,须采用体积较小的位移测量传感器,如高性能的滑动变阻器式位移传感器。

4 结论

鉴于大部分重型车和大型客车上都具有刹车气源,本文开发了一套基于 PWM 调节方式的可变几何涡轮增压器可调喷嘴气动执行机构并进行了台架试验研究。该气动执行机构以带放气阀增压器所用单膜片式气缸为基础,通过控制进出气缸的空气流量来连续调节可调喷嘴的开度而无需连续放掉一部分气体,具有动作灵活、耗气量小、可靠性高的优点。台架测试试验表明,该气动执行机构能够耐受车用变几何涡轮增压器所处的恶劣工作环境,经进一步实用化设计后,具有良好的应用前景。

参考文献

- [1] H. Ogawa, M. Hayash, M. Yashiro. Development of the Continuous and Feedback Controlled Variable Nozzle Turbine Turbocharger System for Heavy - Duty Trucks, 1998(1): 9 - 15.
- [2] 王恩华, 周明, 李建秋, 王戈一. 基于 PIC 单片机的变喷嘴涡轮增压器电控系统设计 [J]. 内燃机工程, 2003, 24 (1): 25 - 29.
- [3] 郭林福. VGT 电控增压系统的开发及其与柴油机优化匹配的研究 [D]. 北京: 北京理工大学, 2003.
- [4] Robert B. van Varseveld, Gary M. Bone. Accurate position control of a pneumatic actuator using on off solenoid valves, IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS, 1997, Vol. 2, No. 3, pp195 - 204.
- [5] A. Gentile, N. I. Gannocaro, G. Reina. Experimental tests on position control of a pneumatic actuator using on - off solenoid valves, 2002.
- [6] 孟宪超, 包钢, 王祖温, 等. 基于开关阀的气动位置控制系统的模糊 + PI 控制 [J]. 液压与气动, 2003, (7): 56 - 59.
- [7] SMC(中国)有限公司. 现代实用气动技术 [M]. 北京:机械工业出版社, 2004: P133.