

文章编号: 1000-5889(2005)01-0060-04

变频涡旋压缩机的研究与应用

彭斌¹, 刘振全², 张洪生¹, 张成³, 王君²

(1. 兰州理工大学机电工程学院, 甘肃兰州 730050; 2. 兰州理工大学石油化工学院, 甘肃兰州 730050; 3. 昆明掌鸠河引水供水工程管理局, 云南昆明 650051)

摘要: 介绍了交流电机转速的改变方法和变频涡旋压缩机在节能及经济性方面的各种优点, 以及变频涡旋压缩机在天然气压缩中的应用. 同时详细介绍了天然气变频恒压供气系统的设计过程, 实现了变频涡旋压缩机在天然气压缩中的应用. 天然气变频恒压供气系统具有变频涡旋压缩机的特点和优点, 完全满足设计要求.

关键词: 变频涡旋压缩机; 交流电机; 天然气; 内置PID变频器

中图分类号: TH45 **文献标识码:** A

Investigation of scroll compressor with frequency conversion and its application

PENG Bin¹, LIU Zhenquan², ZHANG Hongsheng¹, ZHANG Cheng³, WANG Jun²

(1. College of Mechano-Electronic Engineering, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China; 2. College of Petrochemical Technology, Lanzhou 730050, China; 3. Water Lead and Water Supply Project Control Bureau of Kunming Zhangjiu River, Kunming 650051, China)

Abstract: The way of changing AC-motor speed and some advantages of application of scroll compressor with frequency conversion for energy saving and economy improving are introduced its application in natural gas compression is especially discussed. At the same time, details of design procedure of equipressure natural gas supply system with frequency conversion is further discussed realizing the application of scroll compressor with frequency conversion in the compression treatment of natural gas. Equipressure natural gas supply system with frequency conversion possesses the feature and advantages of the scroll compressor with frequency conversion and satisfies the design requirements.

Key words: scroll compressor with frequency conversion; AC-motor; natural gas; built in PID frequency converter

交流电机的变频调速技术是一项业已广泛应用的节能技术. 由于电子技术的飞速发展, 变频器的性能有了极大提高, 它可以实现控制设备软启和软停, 不仅可以降低设备故障率, 还可以大幅减少电耗, 确保系统安全、稳定、长周期运行. 以往压缩机的压缩系统都是完全由人工调节来满足供气要求. 在各种不同的用途中通常是用最大用气量的气压要求来确定相应的压缩机设计, 然后电机组根据气量变化情况来选配, 并确定电机的运行方式. 由于用气有着各种不同因素的影响, 日常供气运行控制就常采用开启旁通阀的形式, 气压随旁通阀的开启而变化, 这样使得压缩机的效率没有得到充分的发挥, 经济性特别差. 另外一种调节方法就是不断地开停压缩机, 这

样不但造成管网的不稳定性, 而且降低了机器的寿命和效率. 传统的定速压缩机仅在设计工况下有较高的能效比, 在其它情况下能效比就相对较低, 而变频压缩机可以根据不同的气量需求来调节转速, 这样变频压缩机提高了能效比, 扩大了高能效比的范围. 同时变频调速技术在压缩机上的应用, 成功地解决了能耗这一大难题, 而且在实际运行中变频恒压供气技术可以实现完全的自动控制, 使系统实现完全智能化成为可能^[1~3].

1 交流电机转速改变的方法

交流电机的转速特性:

$$n = 60f(1-s)/p$$

式中: n 为电机转速, f 为交流电频率, s 为转差率, p 为磁极对数. 由公式可知转速的改变可以通过改变 p , s , f 来实现.

收稿日期: 2003-12-08

作者简介: 彭斌(1976-), 男, 四川蓬溪人, 博士生

1.1 改变磁极对数

定子磁场的磁极对数取决于定子绕组的结构,要改变 p , 必须将定子绕组绕制为可以转换成 2 种磁极对数的特殊形式. 通常 1 套绕组只能转换成 2 种磁极对数. 如在定子上安置 2 套可变磁极对数的绕组, 可以得到 4 种转速. 所以, 一般需要特殊设计和制造多速异步电动机的定子绕组, 通过改变外部联接的方式来改变磁极对数 p , 以达到调节转速的目的. 这种方法的主要缺点为 p 是有级的, 且级数很少; 同时由于定子绕组的设计需照顾到 2 种磁极对数的情形, 所以不管工作在哪种情况下, 都不可能得到最佳设计, 电机效率也将降低.

1.2 改变转差率

只要在绕线式电动机的转子电路中接入一个调速电阻 R (和起动电阻一样接入), 改变电阻 R 的大小, 就可得到平滑调速. 如增大调速电阻 R 时, 转差率 s 上升, 而转速 n 下降. 这种调速方法功率损耗较大, 运行效率较低.

虽然可以通过改变 p 或 s 来进行调速, 但这 2 种调速方式对转差损耗大, 效率低, 对电机特性来说都有一定的局限性, 所以到目前为止已经很少采用.

1.3 改变交流电频率

变频调速是通过改变交流电机定子绕组的供电频率 f 来改变同步转速 n_0 而实现调速的. 如能均匀地改变供电频率 f , 则交流电机的同步转速 n_0 及交流电机的转速 n 均可以平滑地改变. 在交流异步电动机的诸多调速方法中, 变频调速的性能最好, 其特点是调速范围大、平滑性好、稳定性好、运行效率高、故障率低, 同时有很好的静态和动态特性. 又由交流电机的电动势公式可知: 外加电压近似地与频率和磁通的乘积成正比, 即

$$U \approx E \approx C_1 f \varphi$$

式中: C_1 为常数, 因此有 $\varphi \propto E/f \approx U/f$.

若外加电压不变, 则磁通 φ 随频率而改变. 如频率 f 下降, 磁通 φ 会增加, 造成磁路饱和, 励磁电流增加, 功率因数下降, 铁心和线圈过热, 显然这是不允许的. 为此, 要在降频的同时还要降压, 这就要求频率与电压协调控制. 此外, 在许多场合, 为了保持在调速时, 交流电机产生最大转矩不变, 也需要维持磁通不变, 这也由频率和电压协调控制来实现, 故称为可变频率可变电压调速 (VVVF), 简称变频调速. 现在交流电机的变频调速所达到的指标已经可以和直流电机的调速性能相媲美. 目前已有多种系列的通用变频器问世, 由于使用方便、可靠性高且经济效益显著的特点, 其得到了广泛的应用. 近年来变频调

速技术发展很快, 目前的变频控制器多采用正弦波脉宽调制 (SPWM), 其原理如图 1 所示. 它主要由整流器、中间电路、逆变器和控制电路组成. 整流器先将频率 f 为 50 Hz 的三相交流电变换为直流电, 经过中间电路, 再由逆变器变换为频率 f_1 可调、电压有效值 U_1 也可调的三相交流电, 供给三相异步电动机. 控制电路将信号传送给整流器、中间电路和逆变器, 同时它也接受来自这些部分的信号. 由此可使交流电机实现无级调速, 并具有较好的机械特性.

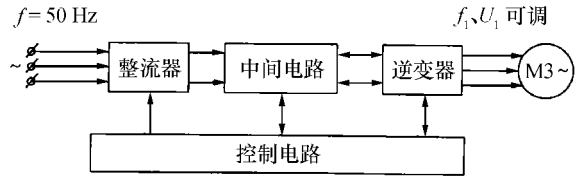


图 1 变频控制器原理图

Fig. 1 Schematic diagram of controller of frequency conversion

2 变频调速恒压供气系统

变频恒压供气系统通常是由压缩机、交流电机、压力变送器、变频器、PID 调节器 (可选用带 PID 调节功能的变频器)、管网系统等组成, 如图 2 所示.

2.1 变频涡旋压缩机

变频涡旋压缩机是在定速涡旋压缩机的基础上开发而成的, 所以它具有与结构相对应的涡旋压缩机所固有的优点以及变频调速的优点. 其特点有: (1) 可以采取软启动方式, 起动电流小, 降低了对电网的冲击; (2) 在较宽的频率范围内 (30~120 Hz) 均有较高的容积效率和绝热效率, 适合采用变频装置, 可进一步降低涡旋压缩机的能耗, 提高控制精度; (3) 避免了频繁的开、停机, 减小了涡旋压缩机的振动和噪音, 同时可以提高涡旋压缩机的寿命. 与相同产品和相同容量的往复式压缩机相比, 体积减小 40%, 质量减轻 15%, 零件数减少 85%, 效率提高 10%, 扭矩变化的幅度减小 90%, 噪音可以降低 5 dB (A); (4) 在原有的涡旋压缩机的基础上对变频涡旋压缩机的供油、回油和油的补给方式按照不同的转速进行了改造, 使得变频涡旋压缩机在不同转速下的润滑都很好, 提高了其工作效率和寿命^[4,5].

2.2 变频调速及其控制

2.2.1 PID 控制

由于变频器的转速控制信号一般是由可编程控制器 (PLC) 或 PID 回路调节器给出的, 所以对于可编程控制器, 既要有模拟量输入接口, 又要有模拟量输出接口. 由于带模拟量输入/输出接口的可编程控

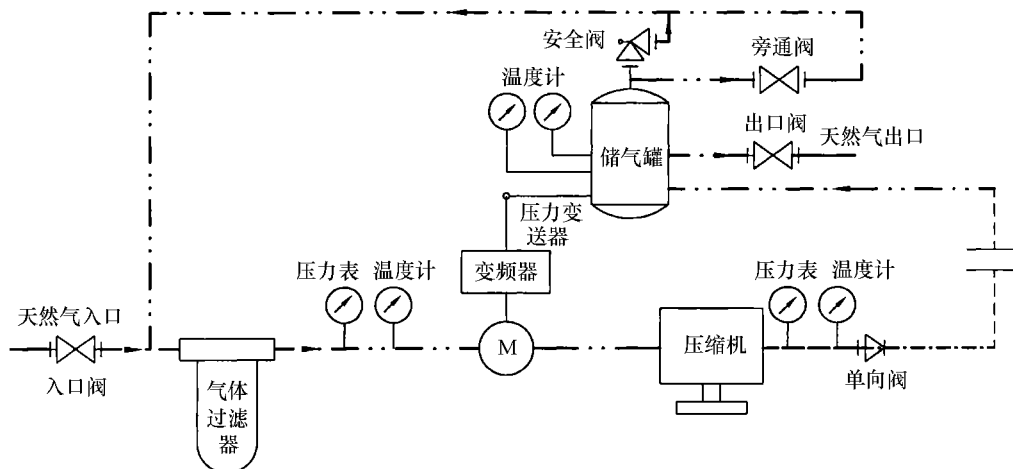


图 2 变频调速恒压供气系统示意图

Fig. 2 Schematic diagram of equi-pressure gas supply system with frequency conversion

制器价格很高,这无形中就增加了天然气变频恒压供气设备的成本.若采用带有模拟量输入/数字量输出的可编程控制器,则要在可编程控制器的数字量输出口另接一块 PWM 调制板,将可编程控制器输出的数字量信号转变为控制变频器转速的模拟信号,造成可编程控制器的成本没有降低,还增加了连线和附加设备,降低了整套设备的可靠性.如果采用一个开关量输入/输出的可编程控制器和一个 PID 回路调节器,其成本也和带模拟量输入/输出的可编程控制器差不多.所以,在天然气变频恒压供气控制设备中, PID 控制信号的产生和输出就成为降低供气设备成本的一个关键环节,在该系统中采用自带 PID 调节功能的变频器,这样就很好地解决了这个问题.

PID 控制属于闭环控制,是指将被控量的检测信号(既由变送器侧的得实际值)反馈到变频器,同时检测信号与被控量的目标信号相比较,以判断是否已经达到预定的控制目标.如尚未达到,则根据两者的差值进行调整,直至最后达到预定的控制目标为止.

天然气变频恒压供气系统的基本要求就是保持储气罐的压力恒定.该系统的工作流程如下:设 p_s 为目标信号,其大小与工作所要求的储气罐压力相对应, p_x 为设置在储气罐上的压力变送器的反馈信号(4~20 mA 或 0~10 V),则变频器输出频率 f_i 的大小由信号 $p_s - p_x$ 决定.如果储气罐的压力 p 超过了目标值,即 $p_x > p_s$,则 $p_s - p_x < 0$,变频器的输出频率 f_i 降低,相应电机的转速下降,涡旋压缩机的排气量小于储器罐的出气量,储气罐的压力下降,一直到与所要求的目标压力相符.

同样,如果储气罐的压力 p 低于目标值,即 $p_x < p_s$,则 $p_s - p_x > 0$,变频器的输出频率 f_i 升高,相应电机的转速上升,涡旋压缩机的排气量大于储器罐的出气量,储气罐的压力升高,一直到与所要求的目标压力相符为止.

PID 调节功能:比例环节、积分环节和微分环节,根据要求在变频器中来设置各个参数,设置好后再进行调试,以达到最佳运行的目标.

2.2.2 变频器的设定

在该系统中采用自带 PID 调节功能的风机、水泵专用变频器,该变频器不但提供了内置的 PID 调节器,而且内部提供压力变送器的 24 V 电源,这样不但节省费用,而且提高了系统的安全性.变频器在投入运行前必须设定一些必需的参数,以便在经过调试后能保证系统达到最佳运行状态.

首先根据负载的特点设定控制方式和 Uf 曲线.涡旋压缩机在不同的转速下,其阻转矩基本上是恒定的,与转速无关,属于恒转矩负载类,可根据这一特点来选择 Uf 曲线.

其次预置 PID 功能,要正确的设定比例增益 K_p 、积分和微分时间,因为其升、降过程将完全取决于由 PI、D 数据所决定的动态响应过程.变频器根据负载的转动惯量(皮带轮)的大小,在启动和停止电机时所需的时间不同.设定时间过短会导致变频器在加速时过电流,在减速时过电压;设定时间过长会导致变频器在调速运行时使系统变得调节缓慢,反应迟滞,应变能力差,系统易处在短期不稳定状态中.现场使用时要根据所驱动负载性质不同,测试出负载允许的最短加减速时间来进行设定.

最后要对频率进行设定,包括最高频率、上限频

率、下限频率和起动频率,同时要根据系统的要求来设定其它一些运行功能。

2.2.3 变频器的电路构成

变频器在实际应用中还需要和许多外接的配件一起使用,图 3 为该天然气变频调速的主电路和控制电路,图 3a 为主电路,图 3b 为控制电路。在主电路中,低压断路器(空气开关)用于快速切断变频器的故障电流并防止变频器及其线路故障导致电源故障,接触器用于接通变频器的电源;交流电抗器和直流电抗器用于改善功率因数,输入滤波器和输出滤波器用于抗干扰,制动电阻和制动单元用于能耗制

动。由于变频器有比较完善的过电流和过载保护功能,且低压断路器也具有过电路保护功能,故进线侧可不必接熔断器。因防爆要求,防爆电机位于装置区,而变频器则在配电室,二者平均间距大于 100 m,所以在信号传输中增加了交流电抗器,用于抑制变频器的发射干扰和感应干扰,抑制电机电压的振动。对于电机来说,一般工作在 15~90 Hz,可不选用变频电机,但是经常工作在低频或高频下时必须选用变频电机,因为经常工作在低频或高频下对普通异步电机的损耗比较大,同时电机的能效得不到很好的发挥。

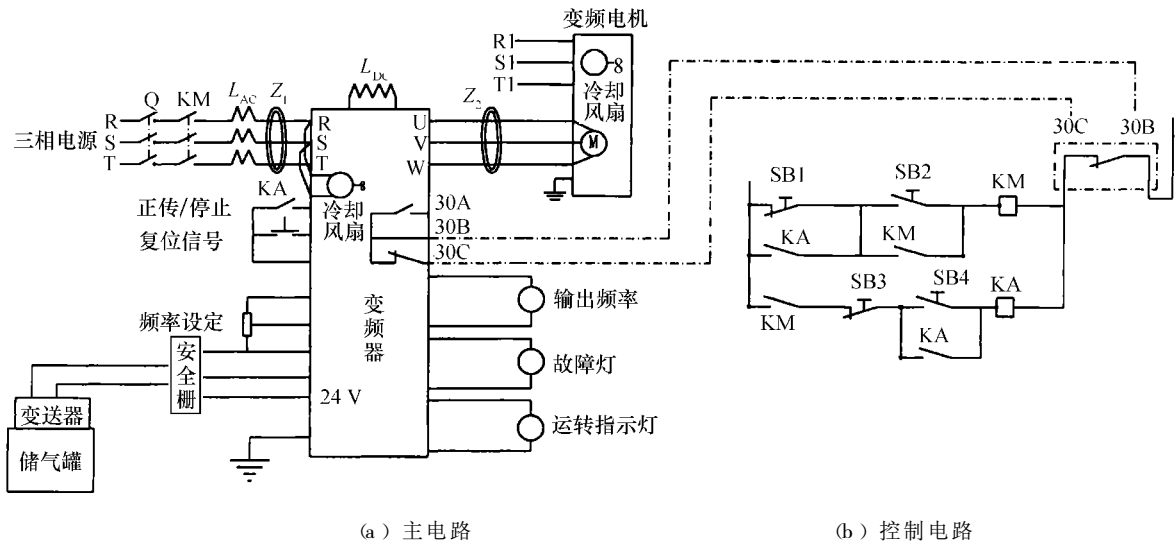


图 3 变频调速恒压供气系统电路图

Fig. 3 Circuit diagram of equi-pressure gas supply system with frequency conversion

该天然气变频恒压供气系统的控制中采用了如图 3b 的控制电路。电动机的启动与停止是由继电器 KA 来完成的。在接触器 KM 未吸合前,继电器 KA 是不能接通的,从而防止了先接通 KA 的误动作。而当 KA 接通时,其常开触头使常闭按钮 SB1 失去作用,从而保证了只有在电动机先停机的情况下,才能使变频器切断电源。以上这种控制系统容易实现自动控制,可以做到完全智能化^[6,7]。这样不但节省了能源、减少了故障,而且避免了电机的频繁起动对电网的冲击,提高了系统的安全性。通过调速电路的设计以及与管路系统的结合,从而组成了天然气变频恒压供气系统,通过对该系统的调试实验,各方面要求均取得了预期的效果。

3 结论

1) 变频系统的调节品质好、平稳、精度高,振动、噪声小,避免了电机的频繁起动对电网的冲击。

2) 电机运行功率因素高,可减少补偿容量,且启动转矩大,启动电流小。

3) 系统能耗明显降低,节省能源。

参考文献:

- [1] 张燕宾. SPWM 变频调速应用技术 [M]. 北京:机械工业出版社, 2002. 226-238.
- [2] 郁永章. 容积式压缩机技术手册 [K]. 北京:机械工业出版社, 2000. 728-773.
- [3] 李连生. 涡旋压缩机 [M]. 北京:机械工业出版社, 1998. 56-62.
- [4] 刘振全, 於时才, 杜桂荣. 涡旋式压缩机涡旋齿线性修正的图解法和修正角的研究 [J]. 制冷学报, 1992, 52(2): 6-10.
- [5] 刘振全, 杜桂荣. 涡旋压缩机理论机构模型 [J]. 机械工程学报, 1999, 35(2): 38-41.
- [6] 西安交通大学, 华中工学院. 压缩机测试技术与控制 [M]. 西安:西安交通大学出版社, 1988. 13-31.
- [7] 熊则男, 乔宗亮. 回转式压缩机与泵 [M]. 北京:机械工业出版社, 1995. 162-167.