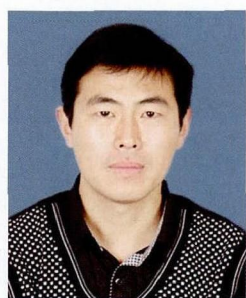


中央空调系统的变频控制设计

针对中央空调系统能耗突出的问题,重点研究变频控制节能方式。对中央空调系统的组成进行了介绍,并对变频节能的原理进行了分析。在此基础上,阐述了制冷机组系统、水循环系统以及风机盘管系统的变频控制设计。通过冷冻水循环系统的变频控制仿真实验,证明了变频控制的可行性和有效性。为中央空调系统的变频控制提供了一定的设计基础。

李爱海/潍坊科技学院机械工程学院



李爱海/讲师

空调系统在人们日常生活中的使用率越来越高,尤其是随着科学技术的不断发展,大型中央空调系统的普及率也日益提升。中央空调系统带给人们舒适便捷的生活体验,但同时也消耗掉大量能源。其原因在于,现在的中央空调系统都是根据最大负载容量选购使用的,但实际运行过程中,大部分时间都是低容量状态运行,整个系统的能源消耗率很大^[1]。近年来,我国大力倡导建设能源节约型社会,国家已经把降低能耗、提高效益摆在了重要位置。在这样的背景下,传统中央空调系统的运行方式已经不能适应,必须采用更为合理的管控方式。变频控制就是非常不错的一个选择,采用变频技术对中央空调系统进行有效管控,对于提高能源利用率具有比较深远的积极意义^[2]。

关键词/Keywords

中央空调·
变频控制·
节能·

中央空调系统的结构组成

中央空调系统主要由制冷系统、水循环系统以及风机盘管系统组成,水循环系统又包括冷冻水循

环系统和冷却水循环系统两部分^[3],如图1所示。制冷系统是整个中央空调系统中最为核心的一个环节,它主要的功能就是将空调系统产生的热量输送给冷却水循环系统,同时将制冷后的物质输送给冷冻水循环系统;在水循环系统中,冷冻水循环系统主要的功能是将冷冻物质送到风机盘管系统中,然后再与室内的空气进行热交换,最后把空气的热量交换回来带到制冷系统中。冷却水循环系统的功能是负责排放热交换过程中产生的多余热量到室外,而系统中的冷却水通过冷却塔降温后,经冷却水泵重新回到制冷系统中,完成一次水循环;风机盘管系统处于整个系统的末端,起到空气循环的作用,同时为系统提供新风,这样可以保持室内温湿度的平衡。

从中央空调系统的组成可知,其工作原理就是室内外热量的循环交换过程,在这个过程中,水循环系统的耗能最大,因为其主要负责热量的循环过程,因此也是变频控制需重点考虑的环节。

中央空调系统变频节能原理

中央空调系统虽然在设计时必须满

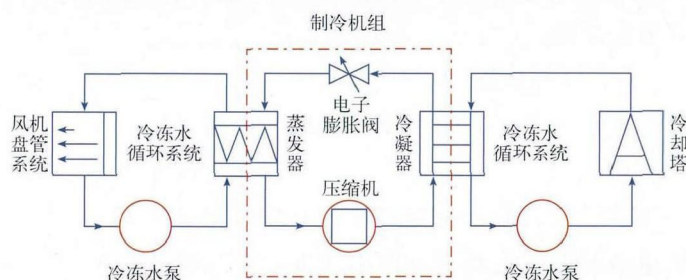


图1 中央空调系统组成

足最大负荷要求,并且留有10%~20%的提升空间,但实际上大部分时间都不会达到满负荷工作状态,因此必须考虑节能^[4]。中央空调系统中的电动机械类负载主要为水泵和风机,它们都属于平方减转矩负载,也就是说转矩正比于转速的二次方,计算公式为

$$T_L = T_0 + K_T n_L^2 \quad (1)$$

式中, T_L 为转矩; T_0 为损耗转矩, 由于其所占比例较小, 一般忽略不计。

水循环系统中, 水的流量 Q 与水泵转速成正比, 其关系式为

$$Q = K_Q n_L \quad (2)$$

与此同时, 各装置电动机的功率正比于水流量的三次方 Q^3 , 即

$$P_L = P_0 + K_P Q^3 \quad (3)$$

式中, P_0 为损耗功率, 其值通常情况下较小, 可以忽略不计。

各系统所使用电动机的转速都满足下式特性

$$n = 60f(1-s)/p \quad (4)$$

式中, f 为电源频率; p 为极对数; s 为转差率。

综合式(1)~式(4)可以看出, 只要改变电动机电源的频率就可以达到改变水泵、风机等装置工作状态的目的。即通过变频技术可以实现降低中央空调系统能耗, 提高利用率。

中央空调系统变频控制设计

1. 制冷机组系统设计

对于中央空调系统来说, 制冷机组系统是核心动力部分, 担负着整个系统的运行, 所以其能耗也是系统中最大的。本文主要从以下两个方面对其进行节能控制:

1) 压缩机应该采用变频控制的方式。同时, 为了降低起动电流和温升, 减少运行振动和噪声, 压缩机采用软控制方式进行起动和制动。这样一来, 负载即使有轻微的变化, 压缩机也能够根据情况进行调整。注意控制流量, 根据式(3), 压缩机的功耗会随着流量的三次方正比例下降。按照这种方式, 制冷机组系统会始终处于一个比较好的工作状态, 年平均节能将超过30%,

如果低负荷工作时间较长, 总节能更是可以达到70%, 从而实现大幅提高能源利用率。

2) 多台压缩机之间采用并联的工作方式。每次系统起动以后, 所有压缩机都投入工作, 当冷冻水循环系统的出口温度小于8℃时, 维持运转1~1.5 h, 然后根据情况关闭部分压缩机, 剩下的采用变频方式控制。之后, 冷冻水循环系统的出口温度会有小幅上升, 维持在9~12℃范围内, 但此时的制冷效果与之前相比, 并没有太大变化, 从而实现节能。

2. 水循环系统设计

水循环系统主要是对系统中的水泵电动机采用变频控制, 也就是通过改变电动机转速, 来改变水的流量, 从而使能耗降低。本文设计的水循环系统变频控制结构框图如图2所示。

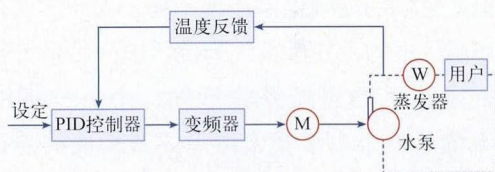


图2 水循环系统变频控制

水循环变频控制系统主要由PID控制器、变频器、电动机和温度传感器等组成。通过安放在水管上的温度传感器实时测量水的温度, 然后反馈给PID控制器, 计算温差以后得到控制器输出, 再通过控制变频器的频率达到控制电动机转速、调节水流量的目的^[5]。以冷冻水循环系统为例, 如果温度传感器反馈回来的信息表明此时温差较大, 说明室内温度过高, 需增加冷冻泵的转速, 也就是提高频率; 相反, 如果温差较小, 说明室内负荷较小, 此时应该降低频率, 以使冷冻泵转速下降。当热负载变化时, 冷冻水系统也会进行相应的调整, 达到节能的效果。多台电动机可以同时工作, 以满足系统对于功率的要求, 所有电动机的变频控制方式相同。

3. 风机盘管系统设计

风机盘管系统主要由一系列风机构成, 如盘风机、回风机、新风机和变风量风机等。无论是哪种风机, 都可以采用变频控制的方式对其电动

机进行有效管控。其系统结构与图2类似,也是通过控制器连接变频器,再连接电动机。这种灵活的控制方式,可以有效地降低风机盘管系统的能耗。对于一般的民用和商用建筑,其使用空间不太,但一般要求具有较高的舒适性,此时应采用恒温PID的控制方式。而对于较为复杂的工作环境,一般都需要大型的中央空调系统,而且不同的情况下温度的要求不同,此时可以采用模糊PID的控制方式,通过对风量需要的总结分析,建立合理的模糊隶属关系,就可以实现很好的变频控制^[6]。

仿真实验

中央空调系统主要由制冷机组系统、水循环系统和风机盘管系统组成,尽管这3个系统构造不同,但是它们的变频控制原理一样,因此本文仅以水循环系统中的冷冻水系统为例,进行仿真实验。

根据以往的实际经验可知,中央空调的水循环系统是一个由多个大滞后环节构成的复杂系统,其中冷冻水系统就是一个非常典型的大滞后惯性系统,其传递函数为

$$\frac{e^{-6s}}{60s+1} \quad (5)$$

为了便于处理,本文将 e^{-6s} 近似的用下式进行代替

$$\frac{1}{0.5\tau^2 s^2 + \tau s + 1} \quad (6)$$

这样一来,冷冻水系统的传递函数就转换为下式所示的形式

$$\frac{1}{(60s+1)(18s^2+6s+1)} \quad (7)$$

根据式(7),本文设计的冷冻水系统仿真模型结构如图3所示。

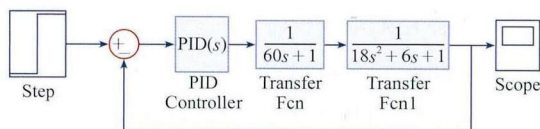


图3 冷冻水系统变频控制仿真结构图

在图3中,将冷冻水系统拆分为2个传函串联的形式,采用PID控制方式,同时输入为阶跃信号。仿真结果如图4所示。

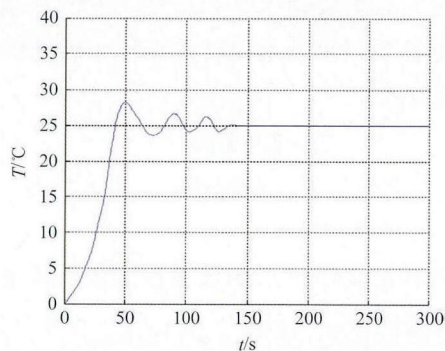


图4 冷冻水系统阶跃仿真实验结果

从图4的结果来看,采用PID控制方式的冷冻水循环系统具有较好的调节能力,系统调节时间为130 s左右,基本符合实际工程的应用,同时系统超调量也不大,如果经过多次反复调整PID控制器的参数,控制效果还会进一步提升。

再测试当水温呈现阶梯形式变化时,系统跟踪的能力,结果如图5所示。

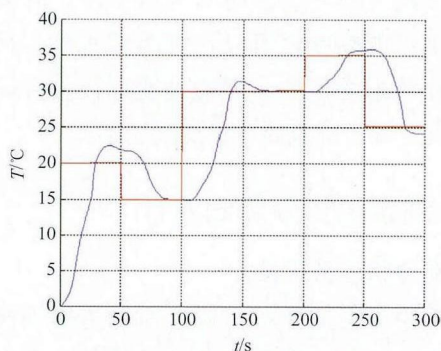


图5 水温控制仿真实验结果

图5中红色线为理想温度变化曲线,蓝色线为实际仿真得到的变化曲线,从结果来看,水温的跟踪效果较好,能够在较短的时间内达到期望值,并且随着期望值的变化进行相应调整。

综合图4和图5的结果可以看出,基于PID控制器的冷冻水循环系统变频控制可以取得良好的控制效果,其他系统的控制效果与其类似,进一步确保了中央空调体系采用变频控制的可行性和合理性。

(下转第114页)

参考文献

- [1] 雷邦军, 费树岷, 翟军勇. 静止无功补偿器(SVC)的一种新型非线性鲁棒自适应控制设计方法[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(30): 65-70.
- [2] 张小冰. 变频器优化控制方法研究与仿真[J]. 计算机仿真, 2011, 28(11): 409-412.
- [3] 方支剑, 段善旭, 陈天锦, 等. 储能逆变器预测控制误差形成机理及其抑制策略[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(30): 1-8.
- [4] 齐昕, 周晓敏, 马祥华, 等. 感应电机预测控制改进算法[J]. 电机与控制学报, 2013, 17(3): 62-69.
- [5] Uler G F, Mohammed O A, Koh C S. Utilizing genetic algorithms for the optimal design of electromagnetic devices[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 1994, 30(6): 4296-4298.
- [6] Messine F, Nogarede B, Lagouanelle J L. Optimal design of electromechanical actuators: a new method based on global optimization[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 1998, 34(1): 299-308.
- [7] Markovic M, Ragot P, Perriard Y. Design optimization of a BLDC motor: a comparative analysis, in: Proceedings of the IEEE International Electric Machines and Drives Conference [C]. Turkey, 2007: 1520-1523.
- [8] Bianchi N, Bolognani S. Brushless motor design: an optimization procedure based on genetic algorithms, in: Proceedings of the International Conference on Electrical Machines and Drives [C]. UK, 1997: 16-20.
- [9] Hwang C C, Chang J J. Design and analysis of a high power density and high efficiency permanent magnet DC motor[J]. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2000, 20(9): 234-236.
- [10] Markovic M, Perriard Y. Simplified design methodology for a slotless brushless DC motor[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2006, 42(12): 3842-3846.
- [11] 陈国培, 艾武, 张静波, 等. 基于FPGA的ARM与绝对式编码器的通信接口实现[J]. 微电机, 2012, 45(8): 28-31.
- [12] 连军强, 谢顺依, 王鼎. 基于有限元的永磁无刷直流电机转矩优化设计[J]. 电机与控制应用, 2011, 38(12): 7-12.

(收稿日期: 2015-04-06) **EA**

(上接第98页)

结束语

中央空调系统采用变频控制不仅能够节能环保, 而且是大势所趋。本文重点介绍了中央空调系统的组成以及变频节能的原理, 对中央空调系统的制冷机组、水循环系统以及风机盘管系统的变频控制进行了详细分析, 给出了相应的节能策略。通过对冷冻水循环系统的变频控制仿真实验, 证明了基于PID控制器的变频控制可以取得良好的跟踪效果。展望未来, 采用变频技术的中央空调系统必将在经济效益和社会效益两方面取得双赢。

参考文献

- [1] 刘磅, 李信洪. 中央空调系统优化与节能整体解决

方案[J]. 机电工程技术, 2012, 41(2): 53-58.

- [2] 肖丽萍, 唐军, 李泽滔. 中央空调变频调速节能控制的几个问题[J]. 贵州科学, 2012, 30(2): 72-75.
- [3] 刘旭东, 叶明哲. 变频调速在空调中的应用[J]. 中国高新技术企业, 2010(18): 30-33.
- [4] 邹玉东. 中央空调节能技术研究[J]. 科技风, 2010(9): 93-94.
- [5] 潘多. PLC控制中央空调水泵变频调速系统的设计[J]. 农业科技与装备, 2010(2): 37-39.
- [6] 陈剑萍, 王坚敏, 钟晓波, 等. 变频节能技术在中央空调中的应用[J]. 轻工机械, 2009, 27(2): 101-103.

(收稿日期: 2015-03-19) **EA**