

常用空调末端自控

誉德建筑设计工程有限公司 黄翔[☆]

摘要 介绍了常用的空调末端形式:变风量末端、风机盘管机组、辐射末端、诱导末端,并分别介绍其自动监控逻辑和内容,提出了自动监控系统的设计注意点。为实现室内舒适和节能的更好效果,提出了自动监控系统的几个研究方向。

关键词 末端 变风量 风机盘管 辐射 诱导末端 自动监控

Automatic control methods for common HVAC terminals

By Huang Xiang[★]

Abstract Presents the common air conditioning terminals of VAV terminal, fan-coil unit, radiation terminal and induction terminal, and represents their automatic monitoring logic and function respectively. Proposes some issues deserving attention in design of automatic monitoring system. In order to achieve the better indoor comfort and energy saving effect, presents some study trends of such automatic monitoring systems.

Keywords terminal, variable air volume, fan-coil, radiation, induction terminal, automatic monitoring control

★ I. DEA Architectural Design Engineering Co., Ltd., Shanghai, China

①

对于公共建筑,暖通空调的能耗约占建筑总能耗的40%~60%。暖通空调能耗可分为能源端能耗、媒质输送能耗和空调供暖通风末端能耗,其中末端能耗约占30%~50%。因此空调末端具有较大的节能潜力。在保持甚至提高室内舒适性的前提下,节约空调末端能耗,不但需要选择合适的空调末端形式,而且还要合理设置空调末端自控系统。

1 空调系统及其末端形式

空调系统按负担室内空调负荷所用的介质可分为全空气系统、空气-水系统、全水系统和制冷剂系统。各种空调系统的特性、适用条件、使用特点以及其概略比较,可参见《实用供热空调设计手册》^[1]。全空气系统的末端主要采用组合式空调箱,变风量系统包含变风量末端;空气-水系统的末端主要采用新风空调箱和风机盘管机组、新风空调箱和带盘管的诱导器、新风空调箱和辐射板等;全水系统的末端主要采用风机盘管机组(无新风)、辐射地板(仅供暖、无新风)等;制冷剂系统采用制冷剂在室内直接蒸发或冷凝,末端如分体空调的室内机、多联机室内机等。空调系统设计中往往根据各种末端的优势采用不同末端形式,比如为解决变风量系统外区冷热抵消问题和新风分配均匀性问题,

办公楼内区采用变风量末端而外区采用风机盘管机组等等。

根据热传递的方式,空调末端可分为:以对流为主的空调末端和以辐射为主的空调末端。以对流为主的空调末端主要有:空调箱,变风量末端,风机盘管机组,诱导末端(如冷梁);以辐射为主的空调末端主要有:辐射板和辐射毛细管。辐射系统由于采用高温空调冷水(16℃/19℃)供冷,采用低温空调热水(32℃/29℃)供热,提高了主机运行效率,同时提高了室内舒适性等优点,逐渐被应用。

本文介绍变风量末端、风机盘管机组、辐射末端和诱导末端的控制原理、控制设计方法及注意点。

2 变风量末端控制

变风量系统的应用实现了全空气系统的分区控制,提高了室内空气品质,在部分负荷时减少了空调末端能耗。

①[☆] 黄翔,男,1971年10月生,大学,高级工程师,技术总监
200031 上海市武康路280弄18号誉德建筑设计工程有限公司

(0) 13916773799

E-mail: x. huang@idea-tek. com

收稿日期:2012-07-20

2.1 变风量末端形式

单风道(single duct)末端装置主要由箱体、控制器、风速传感器、室内温度传感器、电动调节阀、再热盘管等部件组成。风机动力型末端装置(fan powered box, FPB)在单风道末端装置的基础上增加了内置的离心增压风机、二次回风口。

根据增压风机与一次风量调节阀排列位置的不同,又可分为并联式(parallel fan terminal)和串联式(series fan terminal)两种形式。诱导型末端装置在单风道末端装置的基础上增加了喷嘴、诱导室和二次回风口。末端装置的特性和适用工况见表1。

表1 常用变风量末端的特性和适用工况

	单风道末端	并联式 FPB	串联式 FPB	诱导型末端
增压风机	无风机	仅在一次风小风量供热和供冷时运行	供冷和供热时连续运行	无风机
末端出风量	变化或维持设定值	供冷时变化,非供冷时恒定	恒定	随一次风量和诱导比变化而变化
末端出风温度(一次风温度不变时)	不变;再热时呈阶跃或连续变化	大风量供冷时不变;小风量供热和供冷时变化;再热时呈阶跃或连续变化	供冷时不变;再热时呈阶跃或连续变化	随诱导比变化而变化
风机风量	无	一般为一次风设计风量的60%	一般为一次风设计风量的100%~130%	无
风机耗电	无	小	大	无
冷热抵消损失	单冷型和冷热型,无单冷再热型,有	有	有	无再热型,有
噪声源	风阀噪声	风阀噪声和风机间歇噪声	风阀噪声和风机连续运行噪声	风阀和喷嘴噪声
适用工况	内外区,主要供冷工况	外区供冷兼供热工况	外区供冷兼供热工况	低温送风工况;空调换气次数和气流组织有一定要求的工况

由表1可见,从经济性和节能性考虑,设计选用末端的优先顺序为单风道、诱导型、并联风机动力型和串联风机动力型。诱导型受噪声要求等限制,应用较少。风机动力型末端往往带有再热设备。

2.2 压力相关型和压力无关型

变风量末端按补偿系统压力方式分为压力相关型和压力无关型。压力相关型末端直接通过监测受控参数(如温度、湿度等)调节风阀开度。由于末端的出风量随上游风管内静压的波动而变化,而由此引起的受控参数变化受(热)惰性等影响不能立即被检测出,因此控制不稳定。压力相关型控制逻辑见图1。压力无关型末端通过监测受控参数,

变化,因此控制比较稳定。压力无关型末端控制为串级控制,其控制逻辑见图2。设计优先采用压力无关型。以下控制内容针对压力无关型变风量末端。

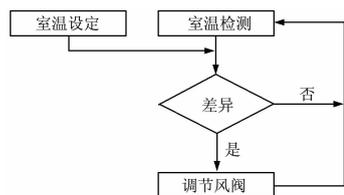


图1 压力相关型控制逻辑

由控制器根据实测值与设定值的差异计算需求风量,并通过检测实际末端风量调节阀开度。由于上游风管内静压波动而引起的末端出风量变化被实时监测,控制器通过调节风阀开度立刻补偿风量

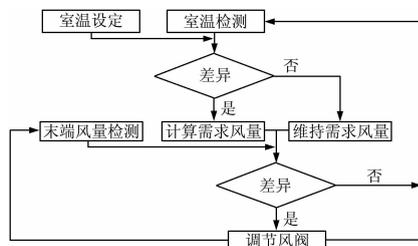


图2 压力无关型控制逻辑

2.3 变风量末端的控制

变风量末端主要用于控制进出风量、室内温度或相对湿度、室内正压或负压。民用建筑中前两种应用较为普遍,第三种在洁净室、手术室或产生有毒有害气体的房间应用较多。

变风量末端的基本控制为一次风量控制、再热控制、增压风机控制、新风量控制。

2.3.1 一次风量控制

一次风量控制是变风量末端控制的核心。监控逻辑非常简单:监测末端风量,由控制器比对与风量设定的差异,调节风阀开度,维持风量为设定值。

末端风量设定值在最大和最小设定值之间变化。最大设定值根据室内最大显冷负荷、热负荷、除湿负荷、加湿负荷、控制压力(压差)需求确定。最小设定值综合考虑风速传感器精度需求、新风均匀性、再热需求风量和室内气流组织因素确定。

对于控制风量的末端,风量设定值固定,可根据需要调整再设定。对于控制室内温度、相对湿度、压力(差)的末端,风量设定值根据控制器比对象受控对象与检测值的差异计算得到,为实时变化值。以控制室内温度的单冷型末端为例,其控制逻辑见图3,为串级控制。

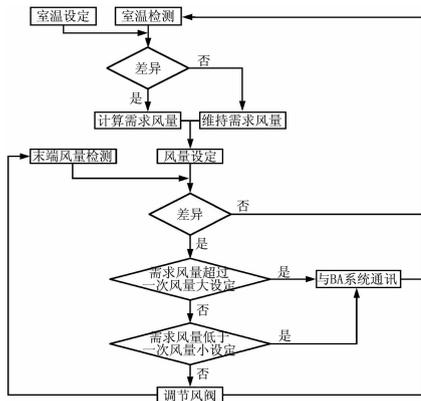


图3 一次风量控制逻辑

单向控制的变风量末端有单冷型、单除湿型、正压差型等。一次风量设定值与受控对象检测值单向对应,即设定风量与受控对象检测值正向对应或反向对应。以单冷型为例,当房间温度高于设定温度时,增大一次风阀开度加大送风量;房间温度降低时,减小风阀开度减少送风量;当房间温度低于设定温度时,维持最小风量。其一次运行风量随冷负荷变化见图4。控制室内正压的排风系统,其运行风量随室内压力或压差的变化见图5。

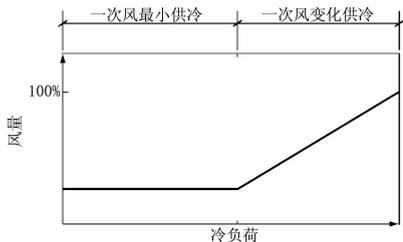


图4 单冷型单风道末端运行风量随冷负荷变化

双向控制的变风量末端有冷热型、加湿除湿型等。一次风量设定值与受控对象检测值双向对应,即有两种运行模式,一种运行模式下设定风量与受

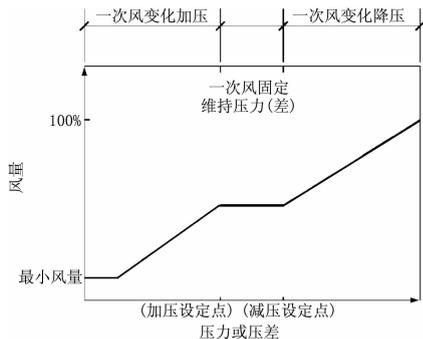


图5 单风道末端运行风量随室内压力或压差变化

控对象检测值正向对应,另一种是反向对应。以冷热型单风道末端为例,供冷模式,当房间温度高于设定温度时,增大一次风阀开度加大送风量;房间温度降低时,减小风阀开度减少送风量;当房间温度低于供冷设定温度时,维持最小风量。供热模式,室温降低,增大风阀开度加大供热风量,直至最大风量;温度升高,减小风阀开度减小供热风量,直至最小风量。运行模式转换可通过检测空调箱送风温度作为末端供冷和供热模式转换的前提条件,即当一次风温度高于房间供热设定温度时,末端自动转换至供热模式;当一次风温度低于供冷设定温度时,末端自动转换至供冷模式。其运行风量随负荷变化见图6。加湿除湿型运行风量随湿负荷变化见图7。

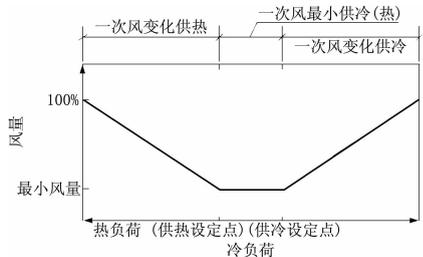


图6 冷热型单风道末端运行风量随冷负荷变化

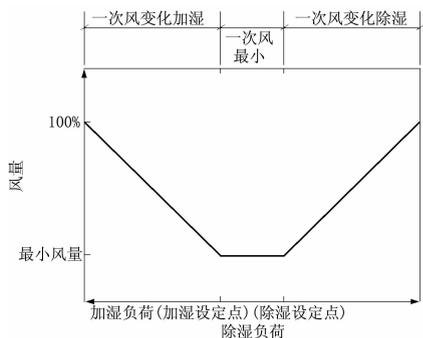


图7 单风道末端运行风量随湿负荷变化

2.3.2 再热控制

再热型末端适用于部分显热负荷较小且湿负

荷较大的房间(如会议室等)和供热量较小的外区,往往与内区单冷型单风道末端结合使用。

再热型末端控制逻辑:判断一次风量已达到最小,室温仍过冷,启动再热装置,打开热水阀或电加热器,维持室内温度设定值或设定范围。

由于再热运行时,存在冷热抵消的耗能现象,因此应尽量减少最小一次风量或辅助运行风量。

再热型单风道末端的控制逻辑见图 8。其运行风量随负荷的变化见图 9。当采用电加热时,再热运行风量须达到辅助风量。

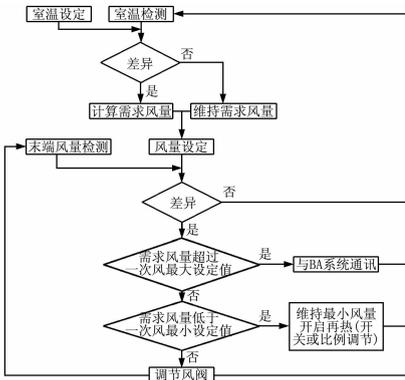


图 8 再热型单风道末端控制逻辑

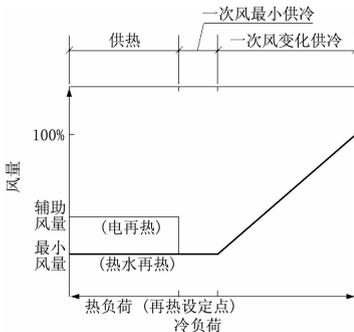


图 9 单冷再热型单风道末端运行风量随冷负荷变化

并联风机动力型末端的运行风量随负荷的变化见图 10;串联风机动力型末端的运行风量随负荷的变化见图 11。为减少冷热抵消现象,可尽量

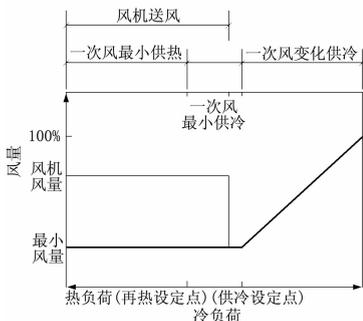


图 10 并联风机动力型末端运行风量随冷负荷变化

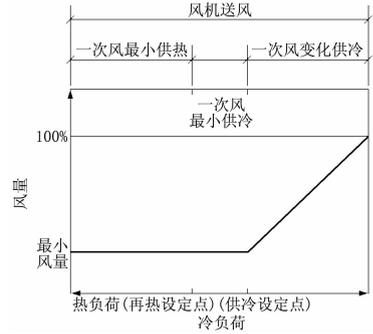


图 11 串联风机动力型末端运行风量随冷负荷变化

利用吊顶回风作为再热热源,延缓再热设备启动。因此,设计须注意再热装置的启停设定点。

2.3.3 增压风机控制

串联风机动力型末端的增压风机与末端启停联锁。并联风机动力型末端的增压风机根据再热需求进行启停控制。为尽量利用吊顶回风作为再热热源,并联型末端增压风机启动设定点提早于再热启动设定点。

2.3.4 新风量控制

新风量控制存在 3 个环节:新风总量控制、新风分配量控制和新风均匀性控制。新风总量控制依靠新风机组实现;新风分配量控制利用定风量末端控制实现;由于变风量系统的新风随一次风送入室内,一次风量根据冷、湿负荷或压力控制,当新风需求量与负荷变化不一致时,受控区域存在新风量盈亏现象,新风均匀性控制较复杂。

为避免区域新风量不足而增加新风总量,显然不节能;由于内区负荷与人员变化关联较大,因此,仅内区采用变风量末端并合理设定最小风量,能减少新风均匀性问题。由此产生了外区采用风机盘管机组等末端形式处理外围护结构负荷和内区采用变风量末端的组合式变风量系统。解决冷热抵消问题也是采用组合式变风量系统的主要原因之一。设专用新风机组,采用带专用新风接口的变风量末端(即末端设有一次风和新风两个接口),新风量根据有害物浓度(一般采用 CO_2 浓度)进行监控。这一方法能够较好地解决新风均匀性问题,但末端造价较高且吊顶布置较复杂。因此设计须根据项目定位、系统经济性、室内吊顶排布等因素综合考虑确定新风量控制方式。

2.3.5 变风量末端监控原理(点位)图

变风量末端的监控点位图见图 12。对于变风

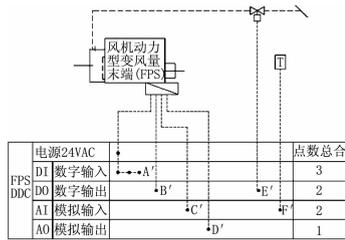


图12 变风量末端监控点位图

量系统控制方式,是否采用再热,是否采用风机动力型,监控点位有差异。

2.3.6 变风量末端控制设计注意点

1) 选用不同的风量传感器对应不同的一次风流速范围设计,避免风速过低影响风量的检测精度。

2) 设计选型避免盲目放大,造成低负荷时风量检测产生较大偏差。

3) 合理设定一次风最小风量,避免影响低负荷时的气流组织。

4) 注重末端一次风量等控制器内置参数的整定。除在末端工厂进行整定外,还需根据现场施工情况进行现场整定工作。

5) 现场调试需注重末端设定参数的调试,根据现场使用情况对设定参数进行再设定,如再热启动温度设定等。

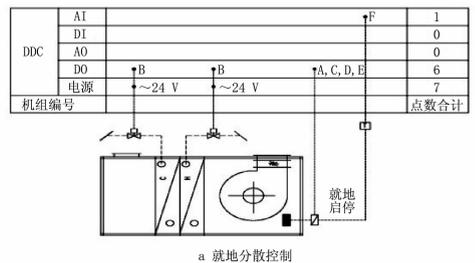
6) 末端控制与系统(空调箱风机频率、出风温度等)控制的匹配。特别是当系统采用变定静压控制、变静压控制或总风量控制时,末端控制器必须采用联网控制,并实现与系统控制器的准确通讯。

3 风机盘管机组控制

风机盘管机组适用于小房间,是目前市场上应用最普遍的空调末端形式,节能潜力很大。监控对象为室内温度。控制方式分为就地分散控制和集中联网控制,见图13。

就地分散控制比较简单,通过检测室内温度,温度控制器比对与设定值的差异,开关水阀。启停及风机三速开关由手动控制。集中联网控制风量挡位和水阀开关运行见图14。集中联网控制可以实现以下功能:

根据房间温度实时调整风机转速挡位;根据房间温度实现开关水阀控制;对每组风机盘管机组实现远程操作;对各个区域乃至整个系统的设备统一启停、调速;对每台风机盘管机组进行室温再设定及启停时间设定;对每台风机盘管机组可手、自动



a 就地分散控制

b 集中联网控制

图13 风机机组控制方式

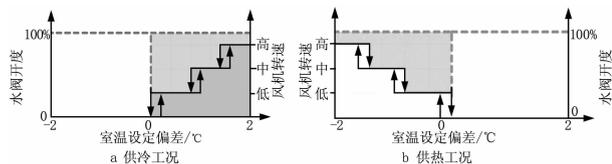


图14 风机盘管机组集中联网控制风量挡位和水阀开关运行

切换冷热工作模式;对每台风机盘管机组可设定手、自控优先级。

由此,集中联网控制具有以下优势:通过集中控制设定合理的温度,避免人为降低设定温度,减少空调能耗;远程启停集中管理,避免人员离开后,风机盘管机组继续运行,造成能源浪费;自动调节风速挡位或进行无级调速(直流无刷电动机),降低风机能耗;当与其他末端共同负担室内负荷时,如组合式变风量系统(外区干式FCU,内区辐射系统)应统筹监控,将风机盘管机组纳入集中控制可达到更好的监控效果。

随着空调自控系统技术的发展和节能的需求,集中联网控制风机盘管机组的应用将越来越普遍。

4 辐射末端控制

辐射末端具有的节能、高舒适性和节约层高等诸多优势,逐渐被应用于高档办公、住宅、酒店客房、医院病房等建筑中。辐射空调通过水将冷量或热量通过导热方式传递至建筑内表面或吊顶板,再通过辐射方式对室内进行空调。辐射末端具有制冷和制热的功能。辐射末端从布置方

式上可分为:活性混凝土内设置水管,建筑内表面铺设毛细管,金属吊顶上设置毛细管或铜管。3种布置方式见图15。辐射末端只能处理室内部分显热负荷,室内湿负荷必须依靠新风除湿系统进行处理。

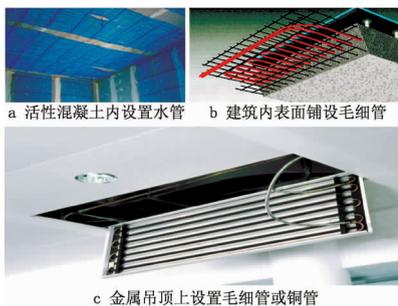


图15 辐射末端布置方式

辐射末端的监控主对象为室内温度,监控内容:供冷工况,检测室内温度,比对室内温度设定,检测室内露点温度,比对露点温度设定(或实测供水温度修正值),当满足露点控制要求时,通过水阀控制或调节供水温度,维持室内温度为设定值;供热工况,无需防结露控制,控制系统同时涉及新风除湿系统联动控制、新风系统送风温度控制、供水温度控制、水流量控制,必须进行系统性控制。监控原理见图16。

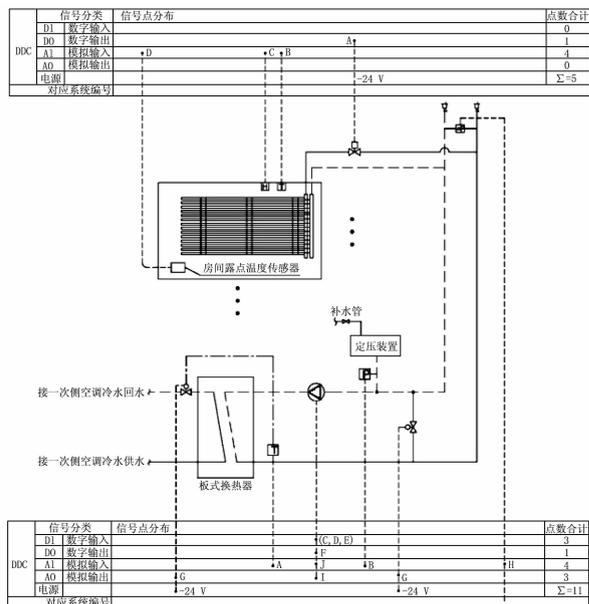


图16 辐射末端监控原理

根据多个工程的实践经验,辐射系统控制设计的关键是供冷工况防结露控制。防结露控制方式

可采用结露报警关闭辐射系统冷水控制和根据实测露点温度调节冷水供水温度控制。结露风险检测分为冷水管表面相对湿度检测和辐射表面露点温度检测。防结露控制注意点如下:

- 1) 露点温度或相对湿度传感器的设置位置须正确反映结露风险位置的情况;
- 2) 露点温度或相对湿度传感器的精度必须满足控制要求;
- 3) 对换热设备二次侧或高温水主机出水温度控制的精度必须满足控制要求;
- 4) 露点温度的设定须进行详细的计算确定,并根据现场实施情况作微调处理;
- 5) 新风除湿系统与辐射系统联动控制;
- 6) 新风除湿系统出风温度控制,避免出风口结露。

从节能角度出发,辐射控制系统的设计需注重:

- 1) 辐射系统,新风负担的负荷达总负荷的60%~70%,新风除湿系统宜采用变风量系统;
- 2) 辐射系统供回水温差较小(1.5~3℃),循环水量较大,为降低部分负荷时的水泵能耗,辐射用冷水宜采用变流量系统。

5 诱导末端控制

本文介绍的诱导末端为主动式冷梁(active chilled beam)。由于单位面积金属冷吊顶的供冷量(约80 W/m²)较小,造成吊顶特别是建筑物外区布置困难,同样使用高温空调冷水并且能提供较大冷量(约400 W/m²)的冷梁由此产生。主动式冷梁的内部结构和外形见图17。通过新风除湿系统诱导室内空气与内部盘管进行显热交换,被诱导空气随新风进入室内,负担全部的室内负荷,内部盘

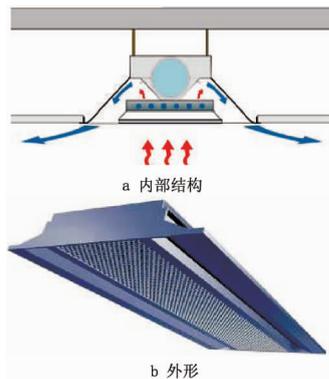


图17 主动式冷梁

管仅负担部分室内显热负荷。

与辐射末端系统相比,主动式冷梁具有以下特点:

- 1) 便于吊顶布置,特别适用于外区;
- 2) 新风除湿系统送风温度可降低,减少冷冻除湿后的再热量;
- 3) 由于同时处理室内显热负荷和潜热负荷,热湿比较大时可能产生过度除湿现象,对节能不利;
- 4) 新风须诱导室内回风,新风量不宜采用变风量运行,对节能不利;
- 5) 诱导产生的噪声较辐射末端大;
- 6) 目前造价较高。

主动式冷梁往往布置在外区,并与布置在内区的辐射末端结合使用。主动式冷梁监控对象仍然为室内温度。监控内容与辐射系统基本相同。

控制设计的注意点:

- 1) 新风系统一般定风量运行,宜采用定风量装置控制风量平衡,避免引起冷量的浪费或不足。
- 2) 在关闭冷梁水阀的前提下,出现室内过冷,需对新风出风温度再设定。

6 控制系统的主要部件

监控系统的主要部件为:传感器、控制器和执行器,这些部件正确选用及合理设置直接影响监控效果。

传感器设置须关注其精度达到控制要求,还须注重设置位置准确反映控制区内的参数检测。如温度传感器必须设置在控制区内通风、背阳处,并避免发热体的影响;避免内区温度传感器受外区热风影响或外区传感器受内区冷风影响;吊顶式传感器检测值与工作区实际参数的差异;墙式传感器检测值与控制面实际参数的差异。设计应将传感器的位置标注在施工图上,避免内装或控制分包随意设置。

对于控制器,国外品牌多采用直接数字控制器 DDC(direct digital controller),DDC 具有较强的模拟量及浮点控制运算能力,软件采用组态形式,易于操作。控制器还可以采用可编程序控制器 PLC(programmable logic controller),PLC 具有较强的开关量处理能力,冗余量较大,可编程能力较强。针对控制逻辑复杂,且需根据现场条件

进行软件调整的控制系统,具有优势。目前,辐射系统应用 PLC 较多。但运用 PLC 要求编程者对空调系统控制原理有深刻的理解,对编程能力有较高要求。

执行器须注重其驱动时间是否满足控制要求,注重控制对象和调节对象特性匹配,如阀门的流量特性等。

7 空调末端控制发展的研究内容

随着空调节能需求提高以及空调干湿分离处理技术的运用,对自控精度的要求随之提高,以传统舒适性空调为对象的常规空调自控系统尚有改进空间。笔者认为除了注重控制设计外,尚有以下内容值得研究。

1) 前馈控制研究。由于房间存在热惰性,室内负荷变化引起的温度变化滞后,而室内末端的控制将室内单点温度作为控制对象,往往造成室内温度波动较大,降低了室内舒适性,同时也增加了空调能耗。室内负荷由围护结构负荷、人员负荷、灯光和设备负荷组成,通过检测室内各项得热量,并根据房间结构饰面特性,预测室内负荷变化,增加前馈控制,将有助于改善上述现状。

2) 控制计算方法研究。比如有些串级控制,通过检测主对象与设定值的偏差,计算得到副对象的设定值。计算方法的准确性直接影响主对象的控制精度和控制稳定性。又如针对不同运行模式,采用不同的计算方法以适应模式运行需求,以利节能。

3) 控制器提高抗干扰能力研究。如识别、过滤产生偏差的采集信号等。

4) 传感器、控制器、执行器之间的匹配性研究。

参考文献:

- [1] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 2 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008
- [2] 叶大法, 杨国荣. 变风量空调系统设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007
- [3] ASHRAE. ASHRAE handbook 2008 HVAC system and equipment[M]. Atlanta: ASHRAE, 2008
- [4] Taschenbuch für HEIYUNG + KLIMA TECHNIK 05/06 [M]. München: Idenbourg Industrieverlag, 2005
- [5] 黄翔. 现代办公楼变风量空调系统新风量问题的探讨[J]. 制冷技术, 2004(1): 33-36