

常用空调水系统的控制方法

华东建筑设计研究院有限公司 苏 夺[☆]

摘要 介绍了变流量一次泵系统冷水机组定流量方式、变流量一次泵系统冷水机组变流量方式、二次泵变流量系统、免费冷却系统以及水环热泵系统等常见的空调水系统的特点及自动控制方式。

关键词 变流量一次泵系统 冷水机组定流量 冷水机组变流量 二次泵变流量系统 免费冷却系统 水环热泵系统

Control methods of commonly used HVAC water systems

By Su Duo[★]

Abstract Presents the characteristics and control methods of CWV chillers and VWV chillers of variable primary flow chilled water system, variable secondary pump water system, free cooling system and water loop heat pump system.

Keywords variable primary flow chilled water system, CWV of chiller, VWV of chiller, variable secondary pump water system, free cooling system, water loop heat pump system

★ East China Architectural Design and Research Institute Co., Ltd., Shanghai, China

①

空调水系统中,除了各种主要设备,如空调冷热源设备、空调末端设备外,还有水泵等水力输送设备;考虑到水的物理、化学特性对空调水系统的影响,还设有水质处理、定压、膨胀等设备;另外为确保各种工况下空调水系统能可靠、节能运行,还设有各种运行控制设备。

本文介绍变流量一级泵系统冷水机组定流量方式、变流量一级泵系统冷水机组变流量方式、二级泵变流量系统、免费冷却系统以及目前应用日益增多的水环热泵系统等常见的空调水系统的特点及自动控制方式。

1 空调末端设备控制

对于大多数空调房间而言,其冷热量需求是不断变化的,其对空调水量的需求也是不断变化的。通常情况下,由设在空调末端设备处的自动控制三通类阀门控制进出空调末端设备的水量以适应冷热量需求的变化。这些阀门分为开关类及调节类。开关类阀门根据设定值对进出空调末端设备的水流进行开关控制,以维持控制值在一定范围内变化;调节类阀门根据设定值对进出空调末端设备的

水量进行调节控制,以维持控制值。

当空调末端设备处不设置自动控制类阀门或设置分流三通类阀门时,虽然可以维持各空调末端设备支路处为定流量运行状态,但不设阀门无法满足空调水量需求变化的要求,设置分流三通类阀门则无端增加空调水系统的水力输送能耗。

而开关类及调节类阀门可以在一定程度上实现空调水量在各空调末端设备支路的合理分配,使空调末端设备支路处于变流量运行状态,进而可以通过自动控制系统实现空调水系统的变流量运行,降低空调水系统的输送能耗。本文介绍变流量空调水系统冷热源系统及输送系统的几种常见形式时所涉及的定流量、变流量均针对冷热源系统及输送系统。

值得说明的是,当某空调末端设备支路上的阀

①☆ 苏夺,男,1970年9月生,硕士研究生,高级工程师
200002 上海市江西中路246号5楼华东建筑设计研究院有限公司机电二所
(021) 63217420-6532
E-mail: duo_su@ecadi.com
收稿日期:2012-07-20

门进行开关或调节动作时,必然会使空调水系统的供回水压差发生变化。对其他末端设备来说这一变化是一种被动变化。空调水系统及其自动控制系统应能保证各空调末端设备在各种被动变化情况下的流量需求,同时也可以采取合理的技术措施以尽量避免或减小该被动变化对其他空调末端设备的影响。

2 变流量一级泵系统冷水机组定流量方式

2.1 冷水系统

一级泵系统保持通过冷水机组的冷水流量基本不变,从而避免冷水机组出现蒸发器结冰的情况,也便于实现供水温度的稳定。受冷水机组技术水平、性能特点及运行要求的限制,冷水机组定流量方式仍为目前应用最为广泛的系统形式。

冷水机组与水泵的连接方式主要有两种:并串联、串并联。在并串联形式中,冷水机组、水泵各自并联形成冷水机组组合体和水泵组合体,两个组合体再进行串联,如图 1 所示;在串并联形式中,冷水机组与对应的水泵先进行串联形成一个组合体,多个组合体再进行并联,如图 2 所示。

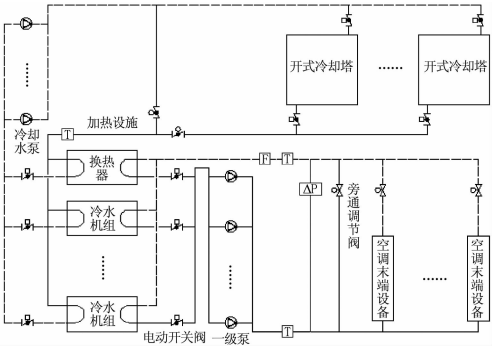


图 1 变流量一级泵系统冷水机组定流量方式 (并串联形式)

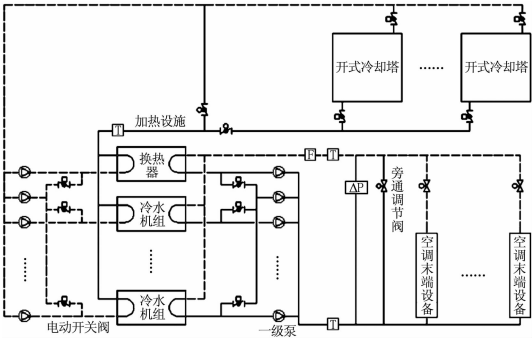


图 2 变流量一级泵系统冷水机组定流量方式 (串并联形式)

并串联形式中,冷水机组出水管处需设置电动开关阀,以控制水流的通过;各冷水机组支路应有

水力平衡措施,以保证各自的水量需求;可在同规格的冷水机组与水泵中任意选择对应运行关系。串并联系统中,冷水机组出水管处不需设置电动开关阀,通过水泵前必备的止回阀防止水流通过停运冷水机组倒流或旁通;各冷水机组、水泵组合支路整体考虑水力平衡措施;可结合冷水机组的阻力特点选择相应水泵的扬程;备用水泵的管路设置及运行选择较为烦琐,图 2 中备用水泵采用电动开关阀切换的方式。

2.2 冷却水系统

与空调冷水系统中的冷水机组定流量方式一样,空调冷却水系统中的冷水机组定流量方式也是目前应用最为广泛的冷却水系统形式。

如图 2 所示,冷却水泵与冷水机组以串并联形式连接,便于维持通过冷水机组流量的稳定,也便于实现运行控制。空调冷却水系统设计应关注冷水机组对冷却水最低进水温度的要求,必要时需采取预热措施及旁通控制措施。

2.3 免费冷却系统

免费冷却是空调系统节能运行的重要措施之一,可分为风侧免费冷却和水侧免费冷却,其中水侧免费冷却是指利用冷却塔与室外较低温度的空气进行换热获得较低温度的冷却水,再通过间接换热冷却空调冷水。

由于已设有满足夏季满负荷运行需求的冷却塔、水泵,对于大多数空调系统而言,只要简单地在冷却水与空调冷水间增加换热器即可实现水侧免费冷却,图 1,2 所示的系统均采取了免费冷却措施。

为充分利用免费冷却,也可以采取其他的系统连接方式,组合利用冷水机组、换热器,以便在免费冷却所得空调冷水供水温度高于系统空调冷水供水温度时也可利用。

2.4 控制方式

变流量一级泵系统冷水机组定流量方式应用广泛,其自动控制也十分成熟,相对于后续介绍的其他系统,可谓基本控制,如:机泵对应运行控制、启动顺序要求、加卸载控制、增减机控制、旁通控制等。

1) 空调冷水泵、冷却水泵与冷水机组对应联锁运行,以保持通过冷水机组的空调冷水流量基本不变。开启顺序为:冷却水泵、冷却水电动开关阀、

冷却塔风机、冷水泵、冷水电动开关阀、冷水机组；关闭顺序为：冷水机组、冷水电动开关阀、冷水泵、冷却塔风机、冷却水电动开关阀、冷却水泵。

2) 空调冷水泵、冷却水泵、冷却塔等维持稳定运行，已开启冷水机组通过机组内部控制进行加载或卸载运行，以维持空调冷水供水温度。

3) 冷水机组的运行台数需满足系统负荷需求。根据空调末端侧的实际负荷需求值与已运行冷水机组额定容量值的比较或冷水机组的实际运行电流值与额定电流值的比较，结合系统中冷水机组的容量特点和运行累积时间等因素，确定冷水机组运行台数。

4) 空调冷却水温度低于机组开机温度要求时，调节冷却塔风机及冷却水环路旁通阀组，控制冷水机组进水温度。

2.5 系统缺点

为保证空调水系统稳定可靠地运行，一级泵系统需维持变流量一级泵系统冷水机组压差旁通阀两侧的压差为设定压差。部分负荷情况下，用户侧的管道阻力和空调末端设备阻力均减小，会导致出现资用压差大于空调末端设备阻力的情况，多余的资用压差需要通过各空调末端设备上的阀门予以消除或增加空调末端设备上的无为流量，却消耗了水力输送能量，对于大型系统更加明显。

为保证冷水机组稳定可靠地运行，需维持通过一级泵定流量系统冷水机组的流量为额定流量，多于空调末端设备需求的空调冷水通过压差旁通调节阀回流至冷水机组，这部分空调冷水并未达到冷量输送的目的，但却消耗了水力输送能量，对于冷水机组台数较少的系统十分明显。

3 二级泵变流量系统

3.1 系统形式

在二级泵及多级泵系统中，可设置多个泵组以实现机房侧与用户侧双环路解耦运行，进而实现多级、多分区的压差控制。

空调水系统中，水泵需克服冷热源设备、空调末端设备、封闭管道、过滤器、阀门等设备、管道、附件的串联阻力，基于各级水泵所负担的阻力的范围不同，二级泵、多级泵的形式各不相同；同时，基于各分区的使用特点、负担的阻力的特点不同，各分区的范围也不相同，所形成的二级泵、多级泵的形式也各不相同。

图 3 为典型的二级泵变流量系统，其中一级泵与冷水机组对应运行，负担冷水机组以及部分管道、附件等设备的阻力；二级泵采用变流量运行策略，负担空调末端设备以及部分管道、附件等设备的阻力。图 3 中二级泵仅示意一个泵组，该泵组负担其分区的水阻力，根据其分区的压差控制进行变流量运行，压差传感器设于其分区的最不利环路的空调末端设备两侧。

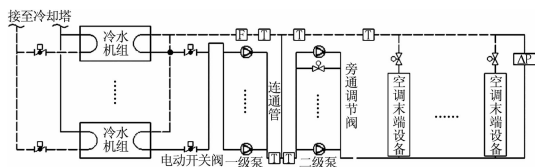


图 3 二级泵变流量系统

3.2 控制方式

由图 1~3 可知，与变流量一级泵系统冷水机组定流量方式相比，二级泵变流量系统仅设置了最大旁通流量为水泵最低允许运行流量的旁通调节阀，取消了变流量一级泵系统冷水机组定流量方式中最大旁通流量为最小冷水机组流量的压差旁通调节阀，避免了旁通流量的时时存在，且为实现更有效的节能运行而将压差传感器设于分区最不利环路的空调末端设备两侧。对于图 3 所示系统，除了基本控制外，其自动控制的特殊性主要体现在：

1) 通过对压差传感器所测得的实际压差值与设定值进行比较，调节相应各分区二级泵的运转频率，以维持实际压差值稳定在设定值。

2) 二级泵系统各泵组内的水泵往往采用相同的规格，且运转频率相同。根据需求运转频率与允许运转频率范围的比较，增加或减少水泵的运行台数。

3) 当二级泵已单台运行，仍需调节至低于允许最低频率时，维持在最低频率运行，并通过调节旁通调节阀以维持实际压差值稳定在设定值。

4) 通过空调冷水系统温度、流量的数据采集及计算，根据系统负荷和流量情况，综合判断后增加或减少冷水机组的运行台数；保证连通管中的空调回水不进入空调供水，并尽量减小连通管上旁通的空调冷水流量。

3.3 系统特点

二级泵系统可采用多分区形式，根据各分区的

阻力特点选择水泵及压差设定值,可减小变流量一级泵系统冷水机组定流量方式中多余资用压差所引发的输送能耗。

与变流量一级泵系统冷水机组定流量方式相比,由于压差传感器设置于最不利环路的空调末端设备两侧,可进一步减少管道等因素所引发的输送能耗,但空调水系统供回水压差变化特点会有所不同。在异程系统部分负荷运行时,空调水系统内的供回水压差会普遍低于满负荷时的供回水压差。

二级泵变流量系统的二级泵采用变流量运行策略,省掉了旁通水量在二级泵所负担阻力部分的输送能耗,但对于一级泵仍采用定流量运行策略的系统,旁通水量在一级泵中所负担阻力部分的输送能耗依然存在。

4 变流量一级泵系统冷水机组变流量方式

4.1 系统形式

在保证可变流量运行的冷水机组能够正常运行的前提下,变流量一级泵系统冷水机组变流量方式根据空调末端设备的流量需求调节通过冷水机组的流量,可以从根本上避免变流量一级泵系统冷水机组定流量方式必然出现的空调冷水通过压差旁通阀或连通管回流至冷水机组的现象。

与图 1 中的变流量一级泵系统冷水机组定流量方式相比,图 4 中的冷水机组变流量方式设置了最大旁通流量为水泵最低允许运行流量的旁通调节阀,取消了冷水机组定流量方式中最大旁通流量为最小冷水机组流量的压差旁通调节阀,避免了旁通流量的时时存在,压差传感器移至了最不利环路的空调末端两侧。同时,由于选择了可变流量运行的冷水机组,“水泵与冷水机组一一对应”这一在选型和运行中需坚持的原则被打破,水泵与冷水机组在相互满足运行要求的前提下,可根据各自的原则进行选择。相比之下,冷水机组与水泵的连接形式中的并串联形式更便于其优势的发挥。

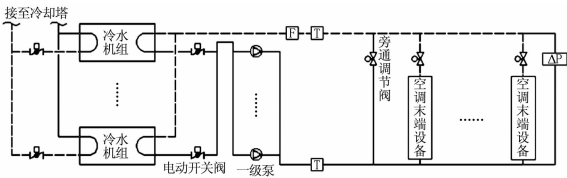


图 4 变流量一级泵系统冷水机组变流量方式

变流量一级泵系统冷水机组变流量的控制方

式并不仅限于一级泵系统使用,同样适用于二级泵、多级泵变流量系统的一级泵中,主要差异在于控制信号的不同。应用于二级泵或多级泵变流量系统时,控制参数可为用户侧冷负荷,也可为冷水机组进水温度与空调末端总回水温度的差值,通过变流量运行控制该参数为定值,目的在于保证连通管上空调回水不进入空调供水,并尽量降低连通管上空调冷水的流量。

4.2 控制方式

在通过冷水机组的流量大于该机组的允许最低流量、流量变化率小于该机组的允许最大流量变化率的前提下,冷水机组可以正常运行,空调水系统及其自动控制系统均应满足该具体要求。一般情况下,最低允许运行流量为冷水机组额定流量的 50% 左右,最大允许流量变化率为 (30%~50%)/min。

1) 通过对压差传感器所测得的实际压差值与设定压差值进行比较,调节一级泵的运转频率,以维持实际压差值稳定在设定值。

2) 通过空调冷水系统温度、流量的数据采集及计算,根据系统负荷和流量情况,综合判断后增加或减少冷水机组的运行台数。

3) 通过对控制器参数的设置来保证一级泵运转频率变化所引起的流量变化率低于冷水机组的允许最大流量变化率。

4) 冷水机组所配置的电动开关阀的行程时间应与机组的允许最大流量变化率相配合,以期满足达到稳定运行的时间要求。

5) 当一级泵已单台运行,仍需调节至低于允许最低频率时;或当冷水机组已单台运行,仍需调节至低于允许最低流量时,维持在该频率定频运行,并通过调节旁通调节阀以维持实际压差值稳定在设定值。

4.3 系统特点

变流量一级泵系统冷水机组变流量方式并不能完全取代二级泵甚至多级泵变流量系统,尤其是在多环路且环路水阻力相差较大的系统中。但随着技术的进步,这些系统中的一级泵可以采用变流量运行控制策略。

当然,对于仅有一个二级泵分区的系统,当采用可变流量运行的冷水机组时,可以考虑用冷水机组变流量一级泵系统取代二级泵变流量系统。

5 水环热泵系统

5.1 系统形式

水环热泵机组通常被认为是空调的冷热源设备,但在空调水系统及其自动控制系统中,水环热泵机组却与常规空调水系统中的空调末端设备类似。应针对水环热泵机组的各种形式进行水环热泵系统设计。

水环热泵机组的运行方式可分为定频运行及变频运行,其阀门控制信号可分为开关类及调节类,虽然阀门可以与其压缩机进行联锁,但目前大多数阀门采用与机组联锁启停的方式。

水环热泵机组对水系统的水质要求较高,开式冷却塔的冷却水水质往往不符合水环热泵机组的要求。因此当选择开式冷却塔时,需设置换热器与其水系统相结合。

5.2 控制方式

对于定频运行、阀门控制信号为开关类且与机组压缩机联锁的机组,往往采用图 5 所示的控制方式。图 5 中空调水泵采用变流量运行策略。

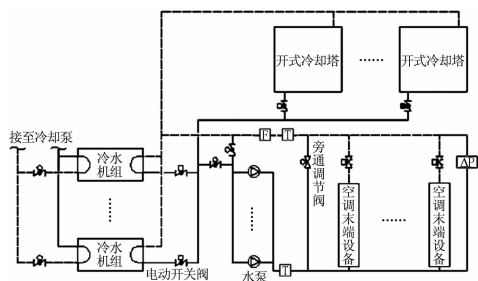


图 5 水环热泵系统

1) 开启顺序为:冷却塔或热水换热器电动开关阀、水泵、水环热泵机组;关闭顺序为:水环热泵机组、水泵、冷却塔或热水换热器电动开关阀。

2) 通过对各压差传感器所测得的实际压差值与设定压差值进行比较,调节水泵的运转频率,使实际压差值稳定在各自的设定值。

3) 当水泵已单台运行,仍需调节至低于允许最低频率时,维持在该最低频率定频运行,并通过调节旁通调节阀以维持实际压差值稳定在各自的设定值。

4) 供热模式下,开启热水换热器对应电动开关阀,调节水泵前旁通阀组,维持水泵出水温度为设定值。调节热水换热器一次侧热水阀门以维持二次水侧供水温度。

5) 供冷模式下,选择开启闭式冷却塔及其对应的电动开关阀,调节水泵前旁通阀组,维持水泵出水温度为设定值。

6) 自循环模式下,全开旁通阀组中回水侧阀门、全关冷热补充阀门,关闭冷却塔、热水换热器对应电动开关阀、闭式冷却塔及其对应电动开关阀。

5.3 系统特点

水环热泵机组的形式较多,应根据水环热泵机组的各自特点及要求选择合适的空调水系统及其自动控制系统。

系统中的各设备,如冷却塔、换热器、空调循环泵,其额定流量存在差异,应根据具体情况选择可靠的、节能的系统形式。如当换热器侧水温差较大,其流量相对空调水系统流量很小时,可采用二级泵的形式以减小旁通阀组上的阻力损失。

6 结论

在空调水系统的设计及空调自动控制系统设计中主要应注意以下几点:

1) 选择正确的开启及关闭顺序,避免对系统及系统中的设备等造成不必要的损害。

2) 了解冷水机组、水泵的运行特性需求,在进行运行控制时应特别予以关注并使这些特性需求得以满足,尤其是在部分负荷运行、非常规自动控制要求下运行时。

3) 冷热源设备应保证空调水系统的供水温度要求,水力输送设备应保证空调末端设备的水量需求,这是空调末端设备进行正常工作的基础条件。

4) 压差控制点的位置不同、自动控制要求不同,会使空调水系统中的供回水压差有不同的变化特点,进行设计、阀门选择及系统调试时应不同对待。

5) 变流量运行的控制策略不仅限于压差控制或固定压差设定值控制,随着流量控制类阀门、自动控制等技术的不断进步,变流量运行控制策略也将不断进步。

6) 尽管在具体设计中已经体现节能性,常规控制系统仅根据设计需求进行开启、关闭控制等。而节能控制系统则可以根据系统中具体的设备特性、使用特点、负荷特点等进行深入详细的控制,在此不作介绍。