

洁净空调箱 表冷器的前馈调节

想要满足 GMP 生产对环境的要求——就需要配备洁净空调箱来对进入洁净区气流的温度、湿度、洁净度、气流速度等参数进行控制以满足规范的要求。由于洁净空调箱的温湿度控制一般都是采用的单点控制策略，所以各状态点的控制必须责任明确。本文针对洁净空调箱实际运行中的情况进行了分析，介绍了如何排除新风的干扰，选择合理的前馈调节来控制表冷器。

文 / 李春雷 王波 张朝刚 卢桂峰 欧阳健

1. 洁净空调箱各功能段的配置

从图 1 中可以清晰地看到，外界空气的净化处理是由空调箱内的初/中效过滤器来处理的；若有必要，还可以通过在 AHU（空气处理单元）内配置亚高效过滤器来保护末端的高效过滤器。风机会将室外的新风和回风经过处理后送入洁净室内，考虑到室内工作人员对新风量的需求，区域内的风会排掉一部分后再回到空

调箱，新风主要用于补充这部分排掉的风以及渗漏掉的风。

温湿度调节是通过表冷器、加热盘管和加湿器来协同完成的。如果外界新风的湿度太大或者温度过高，就需要表冷器来进行除湿或者降温；如果外界新风的温度过低，就需要加热盘管来升温；如果外界新风的湿度低了，就需要加湿器来进行加湿。加湿可以通过两种方式来控制，一种是用相对湿度来控制，另一种是用露点来控制，本文仅介绍采用露点控制的方式。

根据暖通的理念，在焓值一定的情况下，温度与湿度之间是存在关联性的。空调箱的干扰主要来自于外界新风焓的变化，所以要想平稳控制洁净空调箱的温湿度输出，首先必须控制好表冷器的输出。

2. 表冷器选择前馈调节的依据

目前，在大多数空调箱的控制逻辑中，表冷器、加热盘管和加湿器都采用的是负反馈调节，即根据洁净空调箱出口的温度、湿度来驱动表冷器、加热盘管和

本文作者均就职于无锡药明生物技术股份有限公司。

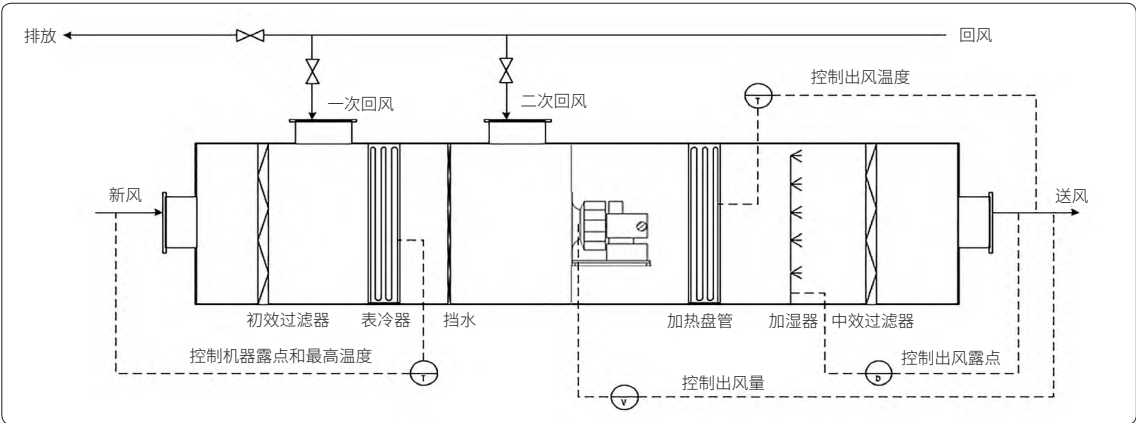


图 1 洁净空调箱控制示意图

加湿器的调节。负反馈其实是一种滞后的调节：当监测回路发现参数出现偏离，在将其控制到中线前，空调箱的送风就早已进入到洁净区域了。

另外，当发现空调箱送风温度过高时，由于采用的是单点调节，便无法判断温度过高的原因是表冷器降温不够，还是加热盘管升温过度。同样，当空调箱出风湿度过高时，也无法判断湿度过高的原因是表冷器除湿不够，还是加湿器加湿过度。这时就会出现当一个参数受两种因素影响而超标时，原因不明的窘迫局面。

定值控制系统一般都是按照测量值与给定值（阈值）比较得到的偏差进行调节，属于闭环负反馈调节。其特点是在被控变量出现偏差后才进行调节，它使输出起到与输入相反的作用，使系统输出与系统目标间的差距减小、系统趋于稳定。如果干扰已经发生但还没有产生偏差，调节器便不会进行工作，因此反馈控制方式的调节作用总是落后于干扰作用。而前馈调节是根据干扰作用来进行调节的，前馈控制会将干扰测量出来并直接引入调节装置，它对于干扰的反应要比反馈控制更为敏感，二者之间的比较，如表 1 所示。而洁净空调箱表冷器的控制，恰恰是非常适合于应用前馈调节的场景。因为新风的焓

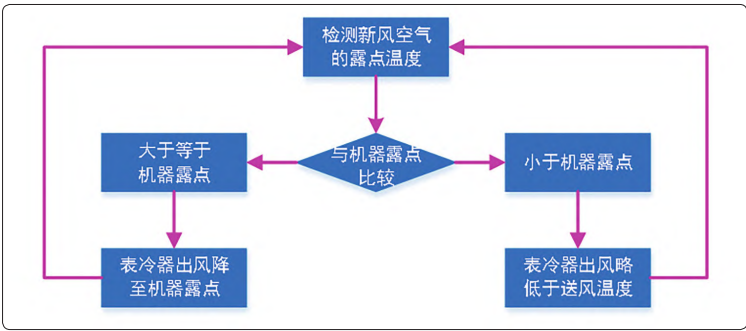


图 2 表冷器前馈调节的控制策略

是一个干扰因素，如果能够将该干扰因素排除掉，表冷器的平稳控制便可成功实现。表冷器的前馈调节是通过测量外界新风的露点，来控制表冷器出风的温度的，如图 2 所示。在这里测量的是露点，控制的是温度。当外界空气的露点大于或等于机器露点的时候，控制表冷器的出风温度为机器露点温度；当外界空气的露点小于机器露点的时候，控制表冷器的出风温度则略低于空调箱的送风温度即可，这主要是因为还要考虑风机和二次回风产生的热量。

采用这样的控制策略后，表冷器的出风温度便可根据阈值进行控制。然后，尽量使其输出平滑曲线，后续的加热盘管和加湿器也会变得更易于控制。此时，如果洁净空调箱的出风温度偏高，便能确定原因是加热盘管升温偏高；如果发现洁净空调箱的出风湿度偏高，也能确定原因是加湿器的加湿过量。原来一个参数受两

种因素影响的情况没有了，一个接近完美的单点控制策略形成了。

3. 结论

在用洁净空调箱控制洁净区域温度、湿度的实际运行过程中，存在很多温度、湿度控制不理想的案例。而暖通专业人员与自控专业人员之间往往缺乏协作配合，所以有将其控制逻辑复杂化的趋势。实际上并不需要采用串级控制等复杂的控制逻辑，仅需要将表冷器原来的负反馈调节，改为根据外界新风的露点来控制其出风温度的前馈调节，便能解决问题。这样的逻辑策略不仅能够避免系统的滞后，还能够使得单点控制各司其职，更加合理。

在表冷器输出平滑曲线的情况下，由加热盘管控制空调箱的出风温度，加湿器控制空调箱的出风露点。整个洁净空调箱便能够根据设计要求，平稳地满足洁净区域对温度、湿度控制的要求。

表 1 前馈调节与反馈调节的比较

前馈调节	反馈调节
非闭环调节	闭环调节
测量和调节的不是同一个参数	测量和调节的是同一个参数
调节系统中测量干扰量	调节系统中测量被控变量
调节只能克服所测量的干扰	调节则可克服所有干扰
理论上可以实现无差调节	在给定值（阈值）附近动态变化
在受控部位的活动发生偏差之前就发出控制指令	在受控部位的活动发生偏差之后才发出控制指令