洁净空调箱送风量的控制策略

在制药厂，为了获得洁净操作环境的条件——需要使用洁净空调箱来对外界的空气进行除尘、温度和湿度的调节。为了满足洁净区域内换气次数和压差的要求，洁净空调箱还必须以恒定的风量来送风。此步骤需要排除末端高效过滤器脏堵的影响，以及新风受到雨季引起的对初效过滤器的干扰。本文介绍了几种常用的控制方法，并比较其优缺点。

文 / 张春红，李伟敏，邹小安，欧阳健

PROCESS-Tip

* 更多信息请登录：pharm.vogel.com.cn
* 反馈编码：210432

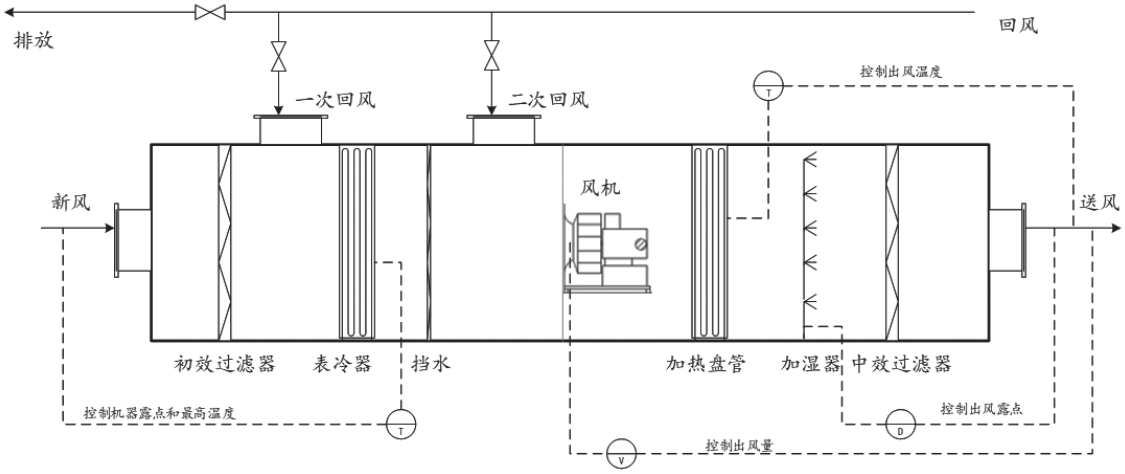


图 1 普通洁净空调箱示意图

1 洁净空调箱的功能

在药厂的洁净系统中，为了获得净化的环境，一般采用洁净空调箱来对外界的空气进行处理，去除空气中的尘埃粒子、对温湿度进行调节，以满足净化级别、温度、湿度的需求[1-3]。在洁净空调箱中，通常配置有初效过滤器、中效过滤器（必要时会通过亚高效过滤器进行过滤），最终空气通过末端的高效过滤器进行过滤进入洁净区域。普通的洁净空调箱采用了如图 1 所示的功能段设计，在国内北方地区，则需要考虑在冬季对新风进行预加热，以免冻裂换热器。

外界的新风通过初效过滤器过滤后将与一次回风和二次回风混合，然后经过表冷器进行降温或者再除湿。为了防止表冷后出现雾沫夹带，在表冷器后设置了挡水板，对空气进行汽水分离。送风风机将其增压后使其通过加热盘管、加湿器、中效过滤器，然后到达末端的高效过滤器。

2 洁净空调箱恒定送风量的控制策略

2.1 在洁净空调箱的出风口用风速仪来进行控制

用风速仪来对洁净空调箱的出风进行检测，然后将该数据与变频风机的变频器进行关联，用

本文作者均就职于无锡药明偶联生物技术有限公司。

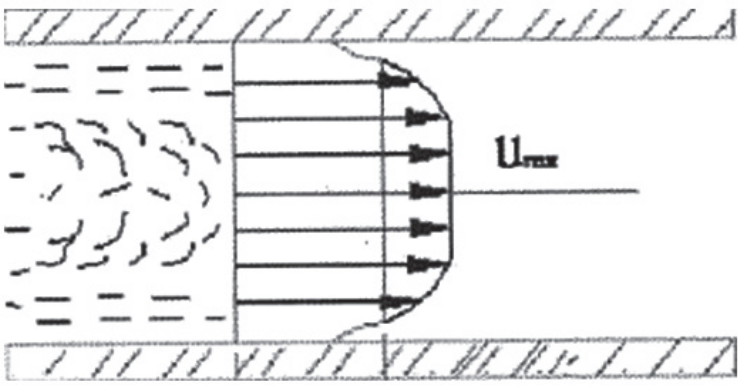


图 2 风管内风速分布的示意图

负反馈的形式来控制恒定的送风风量。

常用的直读式测速仪是热球式热电风速仪，这种仪器的传感器是一个球型测头，其中为镍铬丝弹簧圈，用低熔点的玻璃将其包成球状。弹簧圈内有一对镍铬—康铜热电偶，用以测量球体的温升程度。测头采用电加热的方式，由于测头的加热量集中在球部，只需较小的加热电流 (约 30 mA) 就能达到要求的温升。测头的温升会受到周围空气流速的影响，根据温升的大小，即可测出气流的速度。风速确定以后，可按下面的公式计算管道内的风量：

$L=V\times F$

公式中 L——管道内的风量 (m^3/s)

V——截面的风速（m^3/s）；

F——风管截面的面积（m^2）。

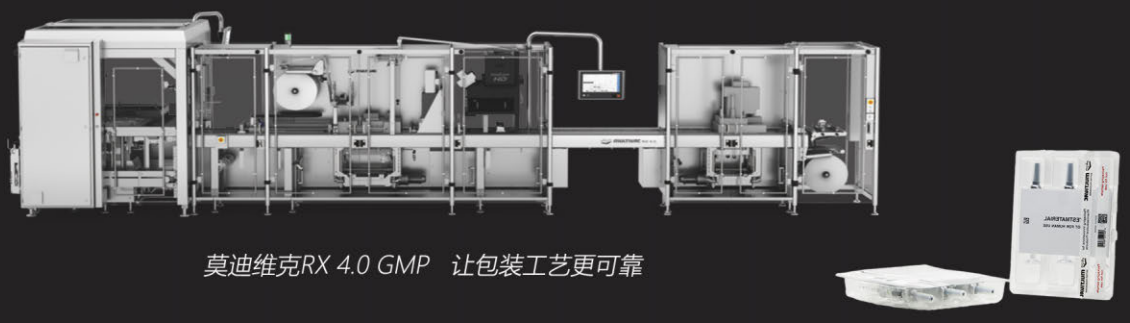
由于风速仪在同一截面上的不同位置，可能会得出不同的风速数据（如图 2 所示），所以这个风速还不能真正意义上用来计算风量。

测量断面后有弯头、风阀、三通时（相对于气流方向），距这些部件的距离应大于 2 倍管道直径。测量断面前有弯头、风阀、三通时（相对于气流方向），距这些部件的距离应大于 4 ～ 5 倍管道直径。往往这样的要求很难在实际情况下得到满足，因此该风速只能作为一个刻度数据来参与控制，实际控制时仅将其用来与风机频率进行线性的关联。

空气在风管中流动时，有两种不同的流动状态，即层流和紊流。在层流状态下，风管断面上空气的速度分布图为抛物线形，管道的中心风度最大。紊流状态和层流状态速度分布大致相同，靠近管壁处总会有一部分层流介质，而其他部分为紊流，紊流状态的最大速度也在风管的轴心线上。紊流在采暖通风系统中最为常见，在实际运行控制中，需要的不是任意点速度，而是风管断面上的平均速度值，而这个平均速度很难直接测量取得，需要将风管横断面分成数个小面积，测出每个小面积的中心速度，采用积分运算从而得出比较接近的平均风速，此方法在实际工程中较难实现。

2.2 在洁净空调箱的出风口用毕托管来进行控制

毕托管流量计将探针插入管道中心，总压孔对正流体的来流方向，静压孔对正流体的去流方向，总压与静压之差即为管道中心的实测差压，再由该探针的风洞标定曲线拟合出该点的标准差压，根据标准差压来计算流体的

ONE STOP SOLUTION PROVIDER
莫迪维克：您身边的定制化生命科学与医疗产品包装解决方案专家
MULTIVAC

莫迪维克RX 4.0 GMP 让包装工艺更可靠
联系我们:
info@cn.multivac.com
800 988 0188
www.multivac.cn
广告

流量[4]。动压是气体所具有的动能，它的表现是使管道内的气体改变流动速度。使用毕托管的总压、静压测量孔，配合微压计，可以测量出流体的静压、全压和动压，得出空气动压值，即可利用下列公式算出空气的流速：

$$\mu = \sqrt{\frac{2P_d}{\rho}}$$

式中 μ——空气的流速(m/s)；

P_d——空气的动压（Pa）；

ρ——空气的密度（kg/m^3）。

计算出空气的流速后，可以根据 2.1 小节中的公式计算出管道内的风量。

毕托管是一个弯成 90° 的双层同心圆管，其开口端同内管相通，用来测定全压；在靠近管头的外壁上开有一圈小孔，用来测定静压（如图 3 所示）。标准毕托管测孔很小，易被风道内粉尘堵塞，因此这种毕托管只适用于测定较为洁净的管道。毕托管测量数据经过转换后获得的风量数据是最接近于实际风量的，但也存在与风速检测同样的前后直段的要求。

2.3 在洁净空调箱的出风口用静压来进行控制

目前在国内还有很多的施工供应商，在用洁净空调箱出口的静压来控制送风量。静压与风速并没有理论上的关联性，只有动压才是与风速有运算关系的。动压的方向与流体运动方向一致；静压则呈四面发射，没有方向性。

如果用空调箱出口的静压来控制，当末端的高效过滤器脏堵后，这个静压自然就会上升。根据伯努利方程的原理，流速快压力低、压强小，流速慢压力高、压强大，这个时候流体的流速实际上是降低的。静压控根据压力的升高而进一步的降频，从而导致恶性循环，影响洁净区域送风量，进而导致洁净区域的换气次数不够。

更坏的情况是运行中一旦空调箱负压段的检修门被打开，空调箱内的气流速度将大幅度增加。根据伯努利方程的原理，此时空调箱出口的风速提高，静压将大幅度地降低。静压控会根据压力的降低而控制送风机升频，从而导致另外一个方向的恶性循环，最终可能导致末端的高效过滤器被吹破。

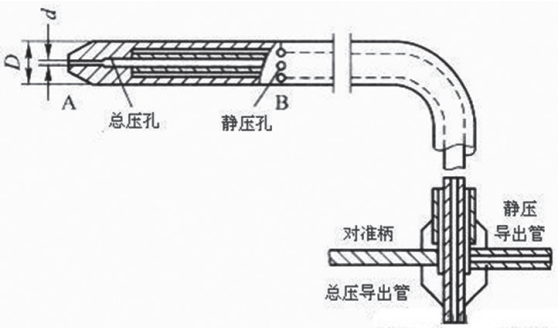


图 3 毕托管的示意图

表 1 空调箱送风量控制方案比较

控制方法	用空调箱出口静压控制	用空调箱出口风速控制	用空调箱出口动压控制
采用的仪表	静压传感仪	风速传感仪	毕托管传感仪
方向性	静压是发散的没有固定方向	风速的方向与气流的方向一致	动压的方向与气流的方向一致
与风速的关联性	根据伯努利原理，静压与流速成反比，即静压与流量成反比	风速与风量成正比关系	动压与风量成正比关系
是否能够用于控制风量	否	可以	可以
控制风量的准确性	N/A	稍逊色	较好
投资成本	最小	中等	稍高
运行成本	较小	较小	较小
结论	不能够用于控制风量	可以用于控制风量	建议用来控制风量

3 几种控制方法的比较及结论

根据以上的分析，将上述的控制方法与控制方案归纳于同一个表中进行比较，见表 1。

综上所述，利用毕托管的测量原理，根据动压来控制洁净室恒定的送风量是理想的控制方式，工程前期投资稍大，但是对于控制精度和系统稳定来说，保证洁净系统稳定高效的运行是首要的前提条件。

【参考文献】

[1] GB/T 14294-2008《组合式空调机组》.

[2] EN 1886-2007 Ventilation for buildings — Air handling units — Mechanical performance.

[3]《药品生产质量管理规范》（2010 版）.

[4] ASTM D3154-2014 Standard Test Method for Average Velocity in a Duct 40; Pitot Tube Method41.