

洁净室大型排风设备房间压力控制方案设计及应用研究

——以药厂项目为例

雷允科

(上海塔戈楼宇自控系统集成有限公司 上海 201203)

摘要: 在现代化制造和科研过程中, 洁净室车间是一个普遍的设施, 用于保证生产和实验环境的洁净度, 尤其对于一些有着高洁净度、低污染要求的工序和实验来说更是不可或缺。暖通空调系统 (HVAC 系统) 就是保证药厂洁净室关键环境参数 (如温度、湿度和压差等) 稳定、可靠的关键系统, 而压力控制又是暖通空调系统的一个关键环节。本文结合房间压力控制的多种方案, 针对行业的重点、难点控制对象——各类大型排风设备所在房间的压力控制进行探讨研究, 配合典型设备、详细原理图详述各个典型应用的选择和投资建议。

关键词: 洁净室; 房间压力控制; 大型排风设备; HVAC 系统

0 引言

《药品生产质量管理规范 (2010 年修订)》第四十八条规定: 应当根据药品品种、生产操作要求及外部环境状况等配置空调净化系统, 使生产区有效通风, 并有温度、湿度控制和空气净化过滤, 保证药品的生产环境符合要求。洁净区与非洁净区之间、不同级别洁净区之间的压差应当不低于 10 帕斯卡。必要时, 相同洁净度级别的不同功能区域 (操作间) 之间也应当保持适当的压差梯度。

由此可见, 暖通空调系统是保证药品生产环境关键参数符合法规要求的重要设施。该系统是受控区域与外部 CNC 区域, 受控区域内部不同洁净等级、不同功能房间之间建立符合法规要求的相对压差的基础, 可以保证房间之间不会产生交叉污染。

1 房间压力控制原理及主流控制方案

1.1 房间压力构建原理

往受控房间内送入通过温度调节、湿度调节、洁净度过滤等多道工序处理后的洁净空气, 并调节房间内送风、回风和排风的风量比例, 同时控制好泄漏风量, 从而形成能够构建该房间稳定压力的余风量, 即形成稳定的房间压力, 相关受控房间与其相邻房间的压差或者压力梯度随即构成。

由此可见, 余风量是构建房间压力的关键因素。

当房间的送风量减去回风量、排风量、泄漏风量之后的余风量为正值时, 房间即为正压房间; 当余风量为负值时, 房间即为负压房间。

1.2 房间压力控制方案汇总

1.2.1 传统手阀手动调节方案

对洁净室空调系统进行风平衡调试, 当每个房间都有足够的余风量时, 可以直接调整相关房间的送风、回风和排风手阀等; 当整个空调系统风平衡状态调整好后, 相关房间的压力梯度便构建完成。

该方案具有控制简单、造价低廉的优势; 但缺点也很明显, 后期过滤器被堵塞, 平衡容易打破, 需要频繁手动调节, 抗干扰能力差。在预算不是太够、洁净级别不高的生产环境中该方案使用较多, 在预算充足的生物制药项目中已很少使用。

1.2.2 定送定排自适应方案 (CAV + CAV)

该方案是在洁净室房间的送风、回风和排风管上, 安装机械式定风量阀 (CAV Box); 无论系统过滤器是否堵塞, 阻力如何变化, 基于 CAV 的压力无关原理, 可以始终保证送风、回风或排风量的相对恒定, 从而保证房间余风量满足要求。

该方案具有控制简单、造价相对不高、抗干扰能力强、稳定可靠等优势, 广泛应用于制药行业的各种洁净室中, 但是不适用于有大型排风设备的房间。

1.2.3 定送加双稳态定排自动化控制方案 (CAV + 双稳态 e-CAV)

该方案是在洁净室房间的送风管上安装机械式

定风量阀 (CAV Box), 回风或者排风管上安装双稳态电动式定风量阀 (e-CAV Box)。回风或者排风管上的电动式双稳态定风量阀的应用, 使得该方案可以适用于有大型排风设备的房间。该方案增加了电动执行器及相关控制的成本, 属于自动化控制成本相对低廉的方案。

1.2.4 定送变排自动化控制 (CAV + VAV) 及压力偏置控制方案

该方案是在洁净室房间的送风管上安装机械式定风量阀 (CAV Box), 回风或者排风管上安装变风量阀 (VAV Box)。

这是一种可自动追踪房间余风量作为主控制、压力可参与偏置辅助精准控制的串级房间压力控制方案, 设备排风风量可监控。当房间总排风量发生变化时, 自动化控制系统根据余风量设定值, 实时计算出当前回风或排风变风量阀 (VAV Box) 的设定值, 以保持稳定的房间压力, 并以此作为主控制环节。同时通过监控房间压力变化, 自动化控制系统将针对房间压力当前值和设定值做 PID 运算, PID 输出值乘上一定的影响因子 (10%、20% 等, 由现场调试而定), 叠加到主控制环节当前回风或排风变风量阀 (VAV Box) 的设定值中, 对回风或排风变风量阀 (VAV Box) 的设定值做二次精调设定, 使得压力控制更加精准^[1]。设备排风风量如果无法监控, 则可直接用房间压力当前值和设定值做 PID 运算, PID 输出值直接控制房间排风变风量阀以维持房间压力。

该方案集成了余风量自动追踪控制的稳定性优点和压力直接参与偏置控制的精确性优点。因此该方案适用于压力控制要求较高的房间。该方案成本相对较高, 如使用快速响应类型的 VAV Box 则成本更高, 但控制即时性效果更好。

1.2.5 变送变排自动化控制 (VAV + VAV) 及压力偏置控制方案

该方案是在洁净室房间的送风、回风或者排风管上安装变风量阀 (VAV Box)。这是一种可自动追踪房间余风量作为主控制、压力可参与偏置辅助精准控制的串级房间压力控制方案, 设备排风风量可监控。基于 VAV 可以作为 CAV 使用的情况, 其特点除了上述方案 (1.2.4 节) 中描述的之外, 还可以在房间总排风量超过设计送风量的情况下, 增加送风量, 来补充维持房间压力所需的送风量, 以保证

房间压力不变。

该方案适用于有多台大型排风设备、往往又不同时使用的场合, 可以节约能源, 减少日常送风量消耗; 在多台大型排风设备高峰使用的情况下, 可以维持房间压力恒定。但该方案成本相对较高, 如使用快速响应类型的 VAV Box 则成本更高, 但控制即时性效果更好。

1.2.6 定送定排 + 补风排风机及压力偏置自动化控制方案

该方案是在洁净室房间的送风、回风或者排风管上安装机械式定风量阀 (CAV Box), 同时增加带 VAV 的补风排风机或带变频器的补风排风机。

因设备多样、排风情况复杂多变、风量变化幅度很大, 普通房间的送排风变化无法及时跟进, 且风量无法满足维持房间压力所需的余风量需求。所以, 使用定送定排维持房间基本的换气次数和洁净等级, 增加带 VAV 的补风排风机或带变频器的补风排风机, 与各种排风设备共同协作, 实现即时互补抵消控制。根据房间压力的当前值和设定值做 PID 运算, 补风排风机的 VAV 或者变频器按照 PID 运算的输出值进行即时反向调节控制。设备多排, 则排风机的 VAV 或者变频器控制少排; 设备少排, 则排风机的 VAV 或者变频器控制多排^[2]。

该方案应用面窄, 仅用于房间内有多种、瞬时、不定风量的大风量排风设备的场合; 使用的 VAV 也必须为快速响应类型的 VAV Box, 成本最高。

2 大型排风设备所在房间压力控制典型案例

典型案例均选自苏州一家疫苗生产企业, 该药厂具有完备的 QC 实验室、配液车间、洗瓶车间、罐装车间等设施, 各类大型设备齐全, 相关房间的压力控制是本项目的重点和难点。基于笔者的工作经验, 结合上述各类控制方案, 以及该药厂具有的各类大型排风设备, 可以匹配出相应的典型应用案例。

2.1 生物安全柜房间压力控制案例

生物安全柜在启动后, 将产生一个固定的排风量, 所以可根据项目预算, 采用定送加双稳态定排自动化控制方案 (CAV + 双稳态 e-CAV) 或者定送变排方案自动化控制 (CAV + VAV) 及压力偏置控制方案。生物安全柜房间压力控制原理图见图 1 和图 2。

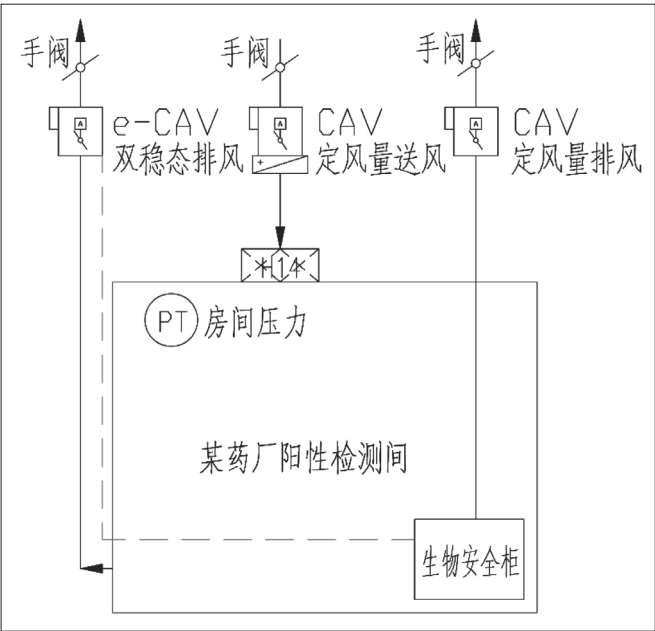


图 1 生物安全柜房间压力控制原理图一

前者在得到生物安全柜的启动信号后，立即调整双稳态排风 e-CAV 以减小排风量。减少的排风量可通过调试确认，其应该等于生物安全柜启动后的排风量，这样就能维持原来的房间压力状态。在风平衡和安全柜启动状态调试完成后，房间压力以监控为主。

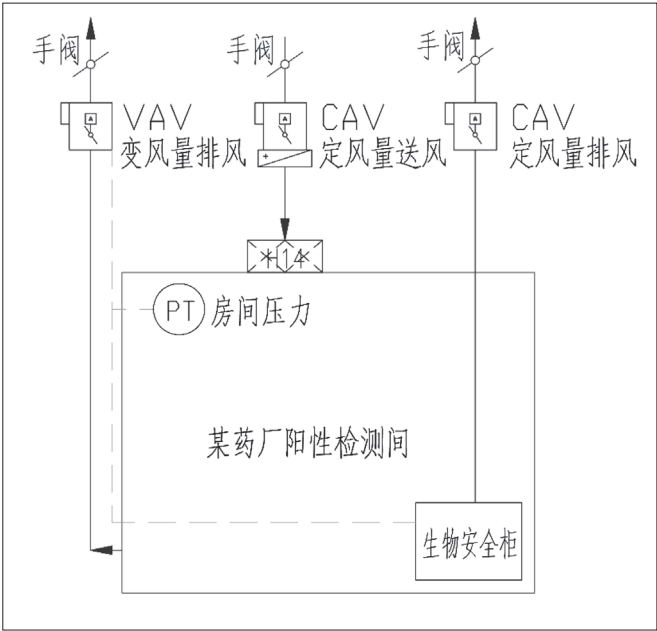


图 2 生物安全柜房间压力控制原理图二

后者在得到生物安全柜的启动信号后，立即调整变风量排风 VAV 以减小排风量。减少的排风量可通过调试确认，其应该等于生物安全柜启动后的排风量，并将其作为主控制逻辑，这样就能基本维持原来的房间压力状态。房间压力可参与偏置控制，使得房间压力控制更加精准。

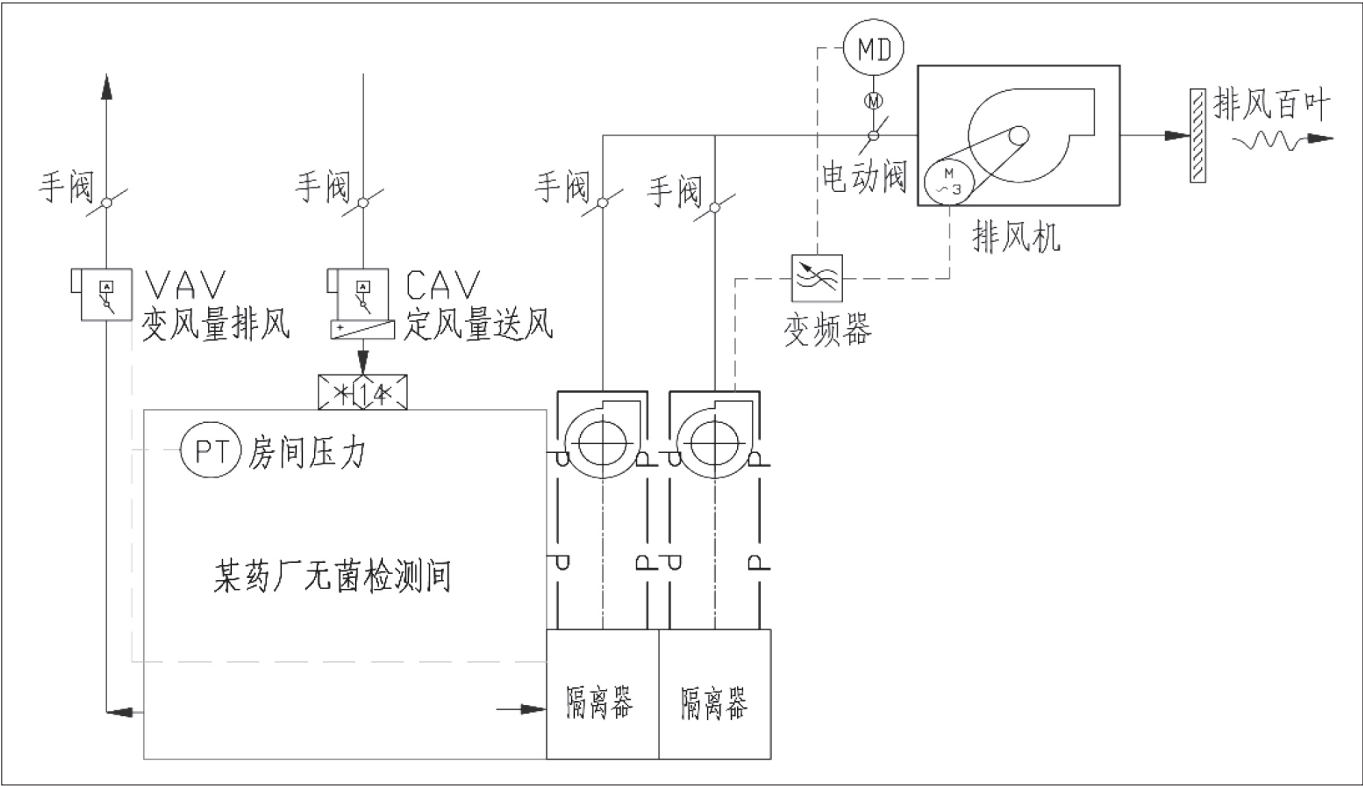


图 3 隔离器房间压力控制原理图

2.2 隔离器房间压力控制案例

隔离器在启动后，将产生一个固定的排风量，由于背景房间是一个重要的功能间，一般采用定送变排方案自动化控制（CAV + VAV）及压力偏置控制方案。隔离器房间压力控制原理图见图 3。

2.3 通风柜房间压力控制案例

在有通风柜设施的房间，通风柜的排风量根据门高的开度不断变化，因此宜采用定送变排方案自动化控制（CAV + VAV）及压力偏置控制方案。通风柜房间压力控制原理图一见图 4。

在通风柜设施比较多的房间，通风柜的排风量根据多个通风柜门高的开度不断大幅度变化，因此宜采用变送变排自动化控制（VAV + VAV）及压力偏置

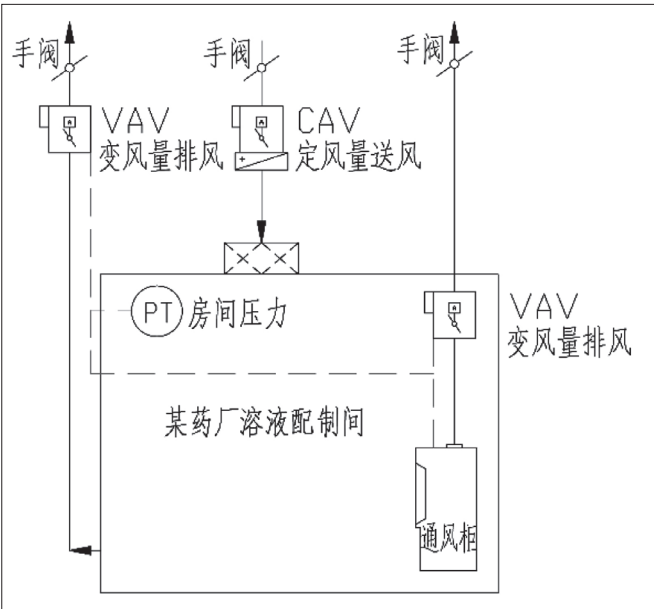


图 4 通风柜房间压力控制原理图一

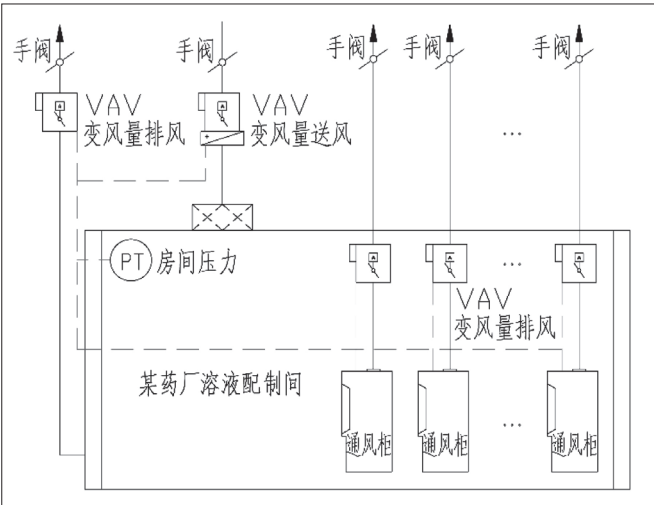


图 5 通风柜房间压力控制原理图二

置控制方案。通风柜房间压力控制原理图二见图 5。

2.4 隧道烘箱房间压力控制案例

隧道烘箱设备在启动后，其排风量根据内部工序变化起伏很大，并且变化非常迅速；在设备总排风量起伏很大并不可实时监控的情况下，可使用定送定排 + 补风排风机及压力偏置自动化控制方案。隧道烘箱房间压力控制原理图见图 6 和图 7。

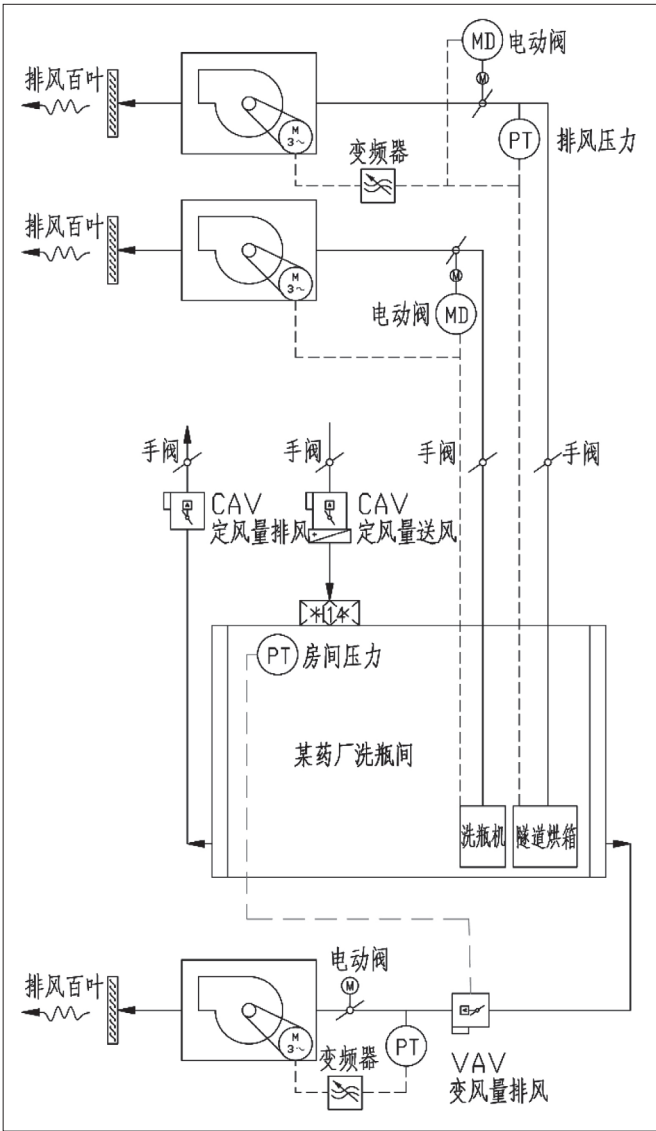


图 6 隧道烘箱房间压力控制原理图一

3 结语

大型排风生产设备普遍应用于各种制药研发中心、检测中心、生物实验室和制药生产洁净室中，选择最合适的房间压力控制方案变得愈发重要。本文结合各类控制方案，以及大型排风设备所在房间

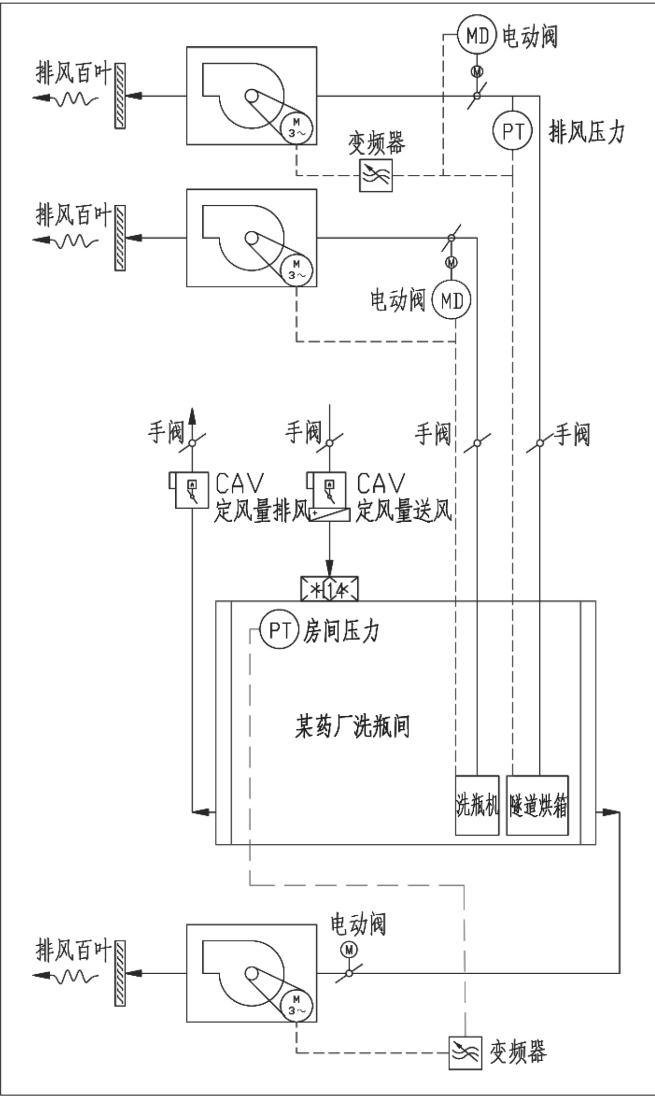


图 7 隧道烘箱房间压力控制原理图二

压力控制典型案例，给出了详细的解决方案以及典型案例剖析和建议，可供这些设施的用户参考和借鉴。

参考文献：

[1] 田云. 药厂洁净室楼宇空调控制系统的应用研究 [D]. 北京：北京工业大学，2018.
[2] 刘星. 药厂生物洁净室的空调系统设计与研究 [D]. 长春：吉林大学，2006.

作者简介：雷允科（1985.10-），男，畲族，上海人，本科，工程师，研究方向：制药设施设备自动化。