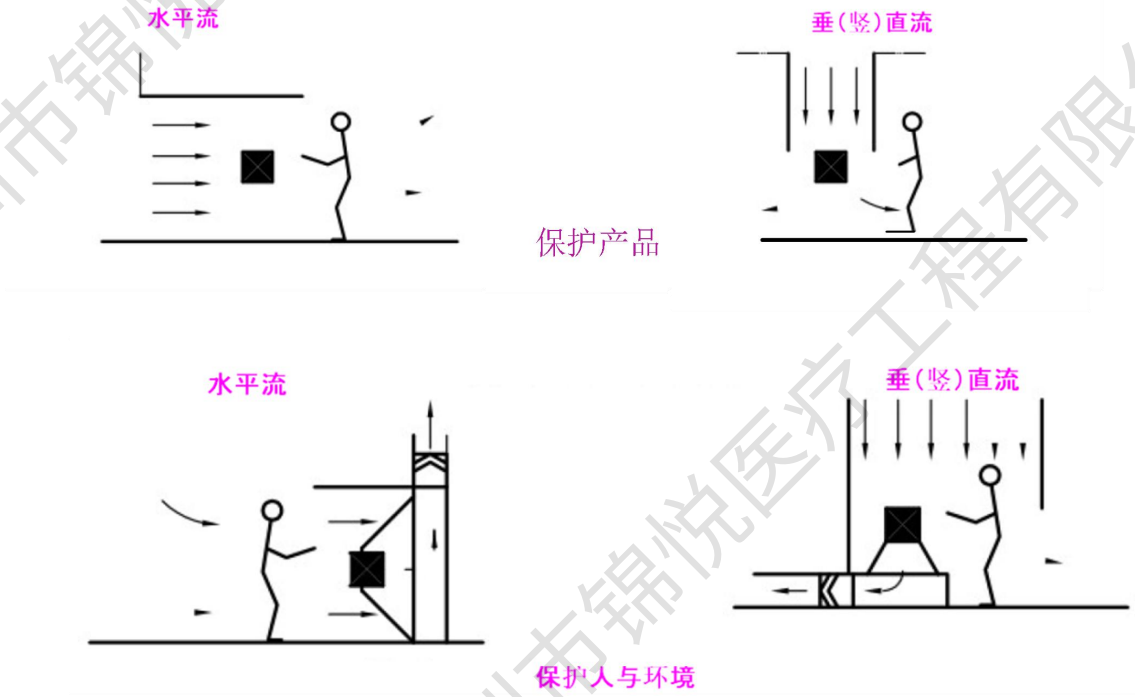
构建主动防御体系：空气动力学、物理隔离与屏障在洁净室污染控制中的协同应用

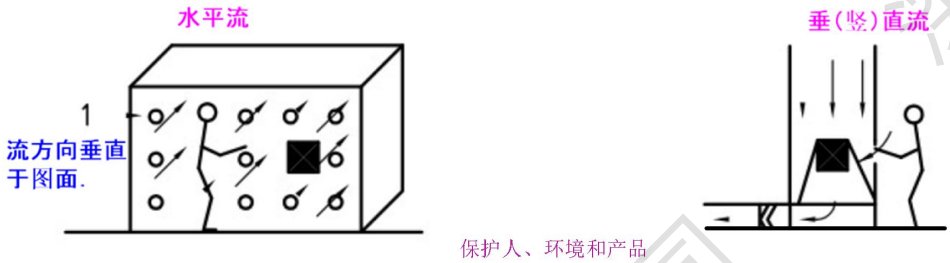
1. 污染控制理念

为特定污染控制问题选定恰当方案，下图展示了多种不同的污染控制理念以供参考。

为避免污染物进入工艺保护区及（或）人员安全区，可采用空气动力学手段，即气流布局与流向控制。若要防止产品接触操作人员及外部环境，可运用物理隔离方式，包括有源隔离和无源隔离，必要时还需处理工艺排风，以避免室外环境污染。

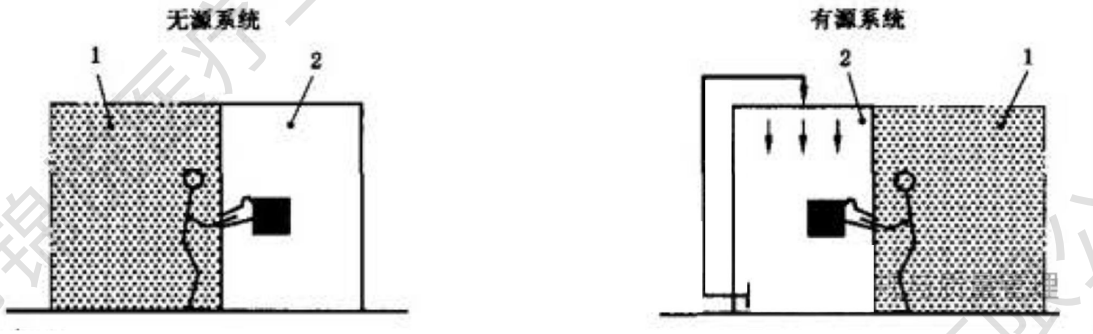
1）运用空气动力学方法实施污染控制





注：在特定情况下（如干燥大气条件、屏蔽与保护气体、极端温度），应依据工艺确定气流方向。

2）采用物理隔离污染控制理念以保障产品和人员



注：1 - 人员安全区；2 - 产品保护区

2. 洁净室与洁净区实现隔离的理念

洁净室套间可由多个污染控制需求各异的房间组成，设计目标可为保护产品或工艺，或隔离产品，有时为这些目标的组合。为防止洁净室受邻近洁净度较低区域污染，室内静压应保持高于邻区，或控制高洁净区至低洁净区泄漏通道的气流速度。隔离危险物时，可采用反向方法。两种情形均可使用密闭物理屏障。

新风量需充足，除通风外，还应弥补洁净室或洁净区边界的漏风，补充其他用途的排风。为便于选取洁净室和洁净区合适的隔离方法，以下比较三种方式。

2.1 置换方式（低压差，高风量）

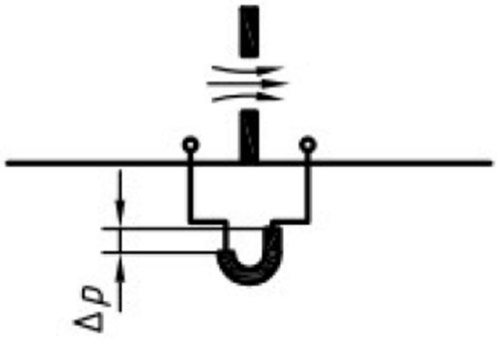
低压差可有效隔离洁净区与洁净度较低的邻区，即利用低紊流“置换”气流，如风速大于 0.2m/s。



从高洁净区流向低洁净区的置换风速通常高于 0.2m/s。选择所需风速时需考虑关键因素：物理障碍、热源、排风、污染源等。

2.2 压差方式（高压差，小风量）

高洁净区与低洁净区之间屏障两侧存在压差。相邻区域间的高压差易于控制，但需避免多余紊流产生。



$$\Delta = 5Pa\ to\ 20Pa$$

压差应足够大且稳定，以防气流反向流动，无论单独使用或与其他污染控制方法结合，压差方式均需仔细考量。

相邻、洁净度不同的洁净室或洁净区之间的压差一般维持在 5Pa~20Pa 范围内，既不影响开门，又可防止紊流导致多余交叉气流。

可采用多种气流平衡技术建立并维持不同等级洁净室之间、洁净室与非洁净区之间的静压。这包括有源/自动系统及无源/手动系统，用于调节经风道空气系统、空气输送系统及损耗产生的各空间进风和排风的相对风量。

当允许压差处于该范围较低端时，应采取专门的防护措施，确保精确地测量

隔离气流或压差，并验证设施的可靠性。

注：

1）实验生成或模拟计算的气流可视化，均可用于证明置换方式和压差方式的有效性。

2）正静压差是洁净室抵御外部污染的关键参数

3）负静压差是防止洁净室污染物外泄的关键参数

4）中国 YY/T 0033-2000 规定

不同级别洁净室之间 ≥5Pa，洁净室（区）与非洁净室≥5Pa，洁净室（区）与室外≥10Pa

（非洁净室指房间，室外指非房间）

2.3 物理屏障方式

此方式利用防渗屏障阻止污染物从洁净度较低区域向洁净区传递的。