

洁净室内装饰与气流组织分析应用研究

王建国

上海甘特建筑工程咨询有限公司 上海 201101

【摘要】单向流和非单向流是洁净室设计中常用的气流流型，其气流流型主要由洁净度等级决定。在洁净室装修装饰设计过程中，需考虑室内的气流流型，满足空气循环次数和气流流速，从而根据室内空间规划，配合暖通专业提资，设计合适的装饰装修，以便后续施工，达到使用目标。本文从洁净度等级出发，逐步研究室内装饰装修材料，并结合洁净室气流流型，从设计和施工的不同角度分析，对洁净室施工中关键要点和注意事项进行总结，为未来洁净室内装饰施工和暖通设计协调提供经验。

【关键词】洁净室；洁净装饰材料；洁净管制；气流组织；回风口风速；气流流型

引言

洁净室，也称无尘车间、无尘室或清净室，是现代工业基础的一部分。它通过严格控制室内空气中的微粒、细菌等污染物浓度，确保生产环境的低污染水平，对保障产品质量和生产安全具有重要意义。洁净室根据空气中微粒数量，分为9级，分别为N1至N9，数字越小，洁净等级越高。洁净室通常应用于半导体、电子、医疗器械及其他对生产工艺的要求较高。他们需要在无尘环境中进行生产，以避免尘埃对产品质量的影响。

为控制洁净室内尘埃数量，在洁净室设计和建造过程中，需要根据洁净室气流组织形式，配置吊顶、墙板和地板，从而满足气流组织需要，达到洁净度的要求。下面我们将对洁净室装饰板和洁净室的气流组织分别进行讨论和说明。

1 洁净室内装饰应用与使用

1.1 洁净度与洁净室内装饰面层关系

根据规范要求，洁净室内面层应光滑不起尘，便于清洁，且洁净室采用抹灰墙面时应刷涂料面层。由于洁净室洁净度等级要求不同，洁净室室内装饰做法并不相同，按照洁净度等级要求，根据顶棚、内墙壁和地面位置的不同，其常用的面层做法分别如下：双层纸面石膏板吊顶和金属板材吊顶，洁净范围属于N7~N9；树脂板内墙面、金属板内墙面，洁净范围属于N7~N9；涂层踢脚、树脂砂浆踢脚，洁净范围属于N7~N9；金属壁板内墙面，洁净范围属于N1~N9。

洁净室内面层做法会根据业主和生产需要进行选择，选

择的方法主要依据需要满足业主要求，节约建设成本，节省工期等因素，需结合实际环境进行选择。

1.2 洁净室内装饰的注意事项

对新建建筑，在厂房主体结构验收合格与房屋断水验收完成后，才可进行洁净室装饰装修工程。装饰装修工程施工过程中需严格按照施工工艺要求，同时考虑机电安装工程，合理有序实施，按照洁净管控制度进行全程管控，其施工过程中需注意包括以下内容：

(1) 洁净内装饰中吊顶、墙面和地面施工完成，是进行洁净管控的紧前工作，是有效进行洁净管控的前提条件。

(2) 地面施工需做好防潮处理，基层表面灰尘和油渍应清除干净，平整度需满足设计要求，对不满足的地方需进行修补找平和打磨，并用吸尘器除灰。

(3) 对涂层地面宜一次完成，不能一次完成的，应减少接缝，并留缝在不明显处，接缝应平整光滑。

(4) 墙面施工前基层表面需打磨平整、清理干净，无浮沉，对使用清水钢筋混凝土的墙面应精细浇筑，技术夹层或夹道表面打磨后，可直接进行涂料作业。

1.3 洁净室装饰施工过程与洁净管制的关系

洁净室装饰施工一般作为洁净管制的一个标志性节点，随着施工的开展，逐步加强洁净管制，在此过程中，洁净管制一般分为三个阶段，分别为：一般管制、非常管制和高级管制，其在洁净装饰施工过程的节点如下：

A. 一般管制阶段

一般管制阶段的开始时间从洁净室墙壁板围护合格，洁净施工区域形成封闭区域起，结束时间从施工完成地面面

层施工为止。

在一般管制期间，施工单位需根据施工组织计划，按计划在洁净区域设置出入口，并同时考虑安全疏散出入口需要，控制现场施工人员的进出，进行有效管制。施工人员需穿干净的工作服，进出的材料要进行清洁，材料的外包装应在洁净车间外拆除。洁净区内施工材料需在现场临时存放时，存放地点需铺设干净的塑料膜（袋）。

B. 非常洁净阶段

非常洁净阶段的开始时间从一般管制结束时刻起，到洁净室内装完成，且系统开始送风空吹为至。

在非常洁净阶段，施工单位需在出入口设专人值班，要求施工人员和材料从不同入口进入施工区域，并设置缓冲间。进入洁净区域施工的人员须经培训并考试合格后发放施工许可胸卡，提前办理施工申请，批准后方可进入施工。施工人员在进入洁净区域施工前，需穿干净的工作服。进入洁净室人员一律换穿洁净软底工作鞋，且此鞋只能用于洁净室内。在洁净室管制区门口设置缓冲间，各承包商必须自行准备工作鞋柜及塑料软底工作鞋。施工机具、材料在进入洁净区域前，要进行初步的清洁工作。

C. 超洁净阶段

超洁净阶段的开始时间从非常洁净管制结束时刻起，至交工验收合格为止。

在超级洁净阶段，施工单位需在进入洁净室的施工人员必须服从洁净室管制人员的安排，登记进出，期间需换穿洁净服，进出登记。进场人员须换穿洁净服进入，佩带洁净手套、口罩及头套，并清洁携带进入的材料和工具，材料和工具必须深度清洁后方能从物流出入口进入洁净室。有洁净要求的材料或设备的包装必须在洁净区域内，在安装前打开，并将包装及时外运。进入洁净室要及时关门，开门时间不可长于正常的进门时间。新风机要连续运转以保证室内处于正压状态。施工材料的切割、打磨、清洗、套丝、焊接、必须在洁净区域外的指定地点进行，如一些工作(如钻孔、切割等)必须在洁净室内进行，应向洁净承包商提前进行申请，得到批准后方可实施并采取适宜的洁净措施，防止污染洁净室，如施工区域设置独立围护，并用带高效过滤器的吸尘器边施工。

以上三个阶段为常规的洁净管制方法，随着洁净管制和精细化施工管理实施，目前已经出现五阶段管制方法，但整体管制阶段与三阶段管理模式基本一致，具体管制方法

可根据公司和项目特性进行优化。

2 洁净室气流组织形式分析

洁净室洁净度等级决定气流组织类型，气流分布应均匀，气流速度应符合生产工艺要求。洁净室常见的气流组织可分为单向流和非单向流，配合洁净度等级、气流流型和风量，选择如表1，下面将分析常见的气流组织结构形式和装饰装修的相关情况。

表1 洁净度与气流流型对照表

空气洁净度等级	气流流型	平均风速 (m/s)	换气次数 (h ⁻¹)
1~3	单向流	0.3~0.5	--
4, 5	单向流	0.2~0.4	--
6	非单向流	--	50~60
7	非单向流	--	15~25
8, 9	非单向流	--	10~15

2.1 洁净室装饰常见装饰材料及其气流组织

有效的气流组织，需要通过装饰装修实现，通过暖通工程师合理布置相关设备来达成。为达到设计预想的气流组织形式，装饰装修需要配合暖通专业要求，完成回风夹道（夹层）和风口布局，下面将就装修装饰所形成的不同气流流型进行介绍。

2.1.1 单向流装饰材料及气流形式

单向流主要是顶送风下回风方式和侧送侧回方式，本节主要介绍顶送风下回风方式。

常见的单向流装饰（华夫筒结构气流）及其气流形式（高架地板气流形式），根据洁净等级，其装饰材料面层，主要通过顶棚布置高效过滤器，下部布置高架地板或华夫筒结构，使其气流沿单一方向平行流动，且横断面上风速一致。此中气流形式洁净室具有以下特点：

（1）气流呈单一方向平行流动，流线几乎无交叉，速度均匀，污染物随气流沿直线排出，避免涡流或二次污染。

（2）顶棚满布高效过滤器，确保气流均匀性，具有高换气次数，远超普通洁净室。

（3）可实现洁净度等级高，污染物暴露后可在数秒内被气流带走，恢复洁净状态。

（4）因换气次数极高，风机能耗及运行成本显著增加，需严格控制人员活动及设备布局，避免干扰气流。

2.1.2 非单向流装饰材料及气流形式

除单向流外的气流形式均为非单向流，非单向流的气流组织形式有顶送下回、顶送下侧回、侧送下回和顶送顶回方式，其中最佳为顶送下回方式。

常见的非单向流装饰（上送侧回风气流组织）和（上送上回气流组织），其主要采用稀释和定向引导的方式控制污染物，其气流组织形式灵活且经济，适用于中等洁净度要求的环境，其主要特点如下：

（1）气流呈不规则湍流状态，通过多次稀释降低污染物浓度，而非直接单向排出。通过送风口与回风口的合理布局，推动污染物向回风口方向运动，减少交叉污染。

（2）上送侧回系统中，高效过滤器（HEPA）集中布置于顶棚，结合扩散器均匀送风，侧面回风，污染物通过侧下回风口系统排出，形成“上送下回”的循环模式。

（3）设备投资及运行能耗较低，适合大面积洁净区域，允许人员及设备活动范围更大，对气流干扰的敏感性较低，过滤器更换频率相对较低，系统调试复杂度适中。

（4）非单向流难以稳定控制纳米级微粒，不适用于光刻、无菌灌装等高精度工艺。不合理的气流设计可能导致局部涡流，存在死角，需凭借经验或通过CFD模拟优化布局。

2.2 回风口回风风速影响及注意事项

为保障气流流型满足设计要求，满足洁净室内风量平衡，合理布局洁净室内的回风口也是至关重要。在暖通系统中，由于空气流动的因素，回风口设计与送风设计存在明显的差别，回风口的大小和距离远近会影响房间的气流平稳性，合理的规划和布局回风口的位置将是一个优秀方案的开始，下面讨论回风口对洁净室气流的影响。

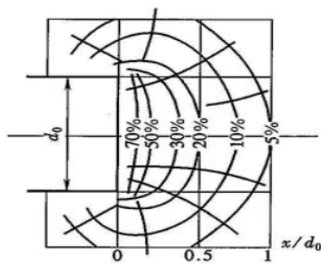


图1 回风口风速和距离关系图

从图1可知，回风口可看成四面八方流向回风口的一个模型，根据图中速度与距离关系，当距离回风口 $0.5d_0$ 时，从图中可查出其速度约为回风口速度的22%，当距离回风口直径 $0.22d_0$ 时时，从曲线查出其速度约为回风口速度的50%。由此可见，回风口回风量对气流流型的作用范围小，因而在洁净室房间中，送风射流将决定洁净室内的气流流型。

由于单向流和非单向流气流，主要目的均是为空气流动，通过高效过滤器，过滤洁净室内影响因子，因此在回风口布局时，仍需均匀布置回风口，且需考虑室内工艺布局，若条件允许，可采用CFD模拟洁净室气流，进行优化，避免洁净度不达标。

3 结论与建议

洁净室洁净度决定洁净室气流组织形式，从而决定洁净室内空间格局，建筑装修需实现空间格局，同时配合暖通专业相关设备的布局，此过程涉及多个专业，需综合协调，多次复核。针对洁净室装修和空气气流组织设计和施工中的情况，总结结论和建议如下：

- 1、洁净室内装饰和暖通专业设计的气流组织需相互配合、相辅相成，根据洁净等级的要求，选择合适的材料，且需同时考虑经济性和业主要求。
- 2、在单向流洁净室中，当采用高架地板或华夫筒结构时，需根据设备布局，
- 3、洁净管制与装饰装修作业节点控制，需结合机电安装内容，做好工作界面分工和工作协调，避免冲突，做好人材机的全面控制。
- 4、非单向流洁净室中，上送上回式的气流组织中，需校核BFU送风风速与空间高度，避免送风风速过低，造成洁净室底部气流滞留，引起洁净度超标。
- 5、非单向流房间，侧回风系统重，需注意回风口大小，校核回风口风速，提高房间气流稳定性。
- 6、洁净室施工是一个综合性的施工工程，施工前需全面综合考虑，整体统筹，分层分批验收，避免窝工和返工，保障项目质量和工期。

参考文献：

- [1]《洁净厂房设计规范》[S]GB/T50073-2013.
- [2]《洁净厂房施工及质量验收规范》[S]GB/T51110-2015.
- [3]全国勘察设计注册工程师设备专业管理委员会秘书处ISBN: 978-7-112-24810-0全国勘察设计注册公用设备工程师暖通空调专业考试复习教材[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2020.

作者简介：

王建国（1981.06.27-），男，汉，天津蓟州，中级工程师，本科，研究方向：土建和洁净工程项目管理及施工。