

基于CFD气流仿真技术的洁净车间风管系统优化

李春霞

昆明天策节能科技有限公司 云南昆明 650000

摘要: 随着我国工业的不断成熟和创新,各产品生产工艺对空气洁净度的要求越来越严格,洁净车间的技术要求和经济性要求也越来越高,良好的气流组织是洁净车间的必备条件,本文使用CFD软件对某锂电工厂的洁净车间通风系统进行仿真模拟,对送风口形式及位置,回风口形式及位置进行模拟比较,论证洁净车间是否适宜采用无风管化设计,以降低投入成本并保证产线设备的正常使用。

关键词: CFD; 洁净车间; 风管系统优化

引言

洁净车间在电子、制药、生物工程等领域发挥着重要的作用,它旨在提供一个洁净、无尘的环境,以确保各洁净生产过程得以顺利进行。而通风系统在洁净车间的设计中发挥着极其重要的作用,通风系统的气流组织设计、温湿度控制都决定着洁净车间是否能达到空气洁净度的要求。为了确保洁净车间的空气洁净度,要合理设计车间内的送风口和回风口,避免车间内出现大面的气流死角和涡旋流,使空气能够均匀分布。但同时,在满足气流组织工艺要求的前提下,也要适当考虑通风系统的经济性,降低投资成本和运营成本,寻求性价比更高的通风技术方案。本论文即在此原则上,对传统的洁净车间风管系统进行优化,并借助CFD气流仿真软件对优化方案的可行性进行论证。

一、CFD在洁净领域的应用

本文用CFD软件作为本次模拟软件,CFD是目前国际上用于进行传热、传质、动量传递等研究的重要技术,在医药、电子和建筑业等众多领域中都有应用,因其耗时短、成本低、准确度高等原因,在设计评价中的应用也越来越广泛^[1];通过CFD软件,可以分析并且显示发生在流场中的现象,在比较短的时间内,能预测性能,并通过改变各种参数,达到最佳设计效果。CFD的数值模拟,能使我们更加深刻地理解问题产生的机理,为实验提供指导,节省实验所需的人力、物力和时间,并对实验结果的整理和规律的得出起到很好的指导作用。近年来,也有越来越多的学者利用CFD技术对洁净厂房的气流组织进行设计和优化^[2],分析不同风口位置对洁净室气流组织的影响^[3]。

二、洁净车间传统风管设计

此次仿真对象为某锂电工厂的洁净车间,优化前的风管设计为洁净车间的传统风管设计,布置方式如图1所示,此种方式送风管位于顶部,大量送风口等间距在吊顶均匀分布,可以充分确保室内空气流通的均匀性和效率,保证不留死角,能快速实现车间温湿度要求。

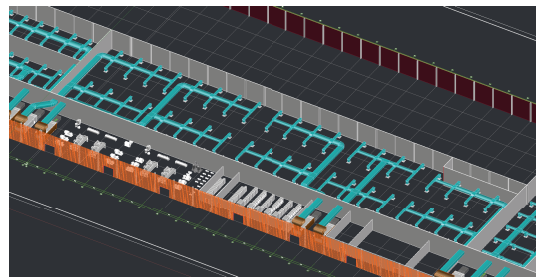


图1 洁净车间传统风管设计

但此种方式送风也有其局限性:1)风管长度较长,局部阻力构件较多,对设备的全压要求较高;2)风口数量多,对吊顶装修设计的要求较高,对设计人员的各专业统筹能力要求较高,且后期保养维修较复杂;3)风管展开面积大,前期投入成本较高,且施工比较复杂。

基于以上考虑,本文尝试优化风管布置和送回风口位置,以求达到经济性和送风效果的平衡。

三、洁净车间无风管化设计模拟

(一)经设计优化及客户提供的所需参数,将复杂的传统风管系统调整为两根主管分布于车间两侧,送风口位于顶部,设置2个风口,回风口位于车间另一侧下部,同样设置2个风口,该布置的三维模型如图2所示。在此种送回风方式下,车间气流横向流动,形成对角式的气流组织,局部会形成一些气流死角。

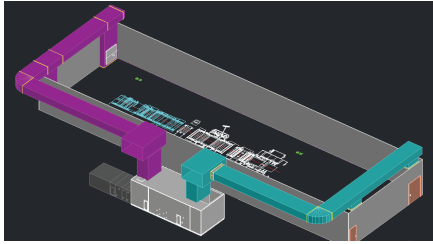


图2 优化后风管系统三维图

(二) 针对如何保证工作面风场流态, 本文模拟了4m, 6m, 8m三个吊顶高度下该送风系统的流体变化趋势。

模拟1: 吊顶4m, 长36m, 宽11m, 送风口1500*1500*2只(+4.0m), 回风口1500*1500*2只(+0.3m), 风量50000m³/h;

模拟2: 吊顶6m, 长36m, 宽11m, 送风口1500*1500*2只(+4.0m), 回风口1500*1500*2只(+0.3m), 风量50000m³/h;

模拟3: 吊顶8m, 长36m, 宽11m, 送风口1500*1500*2只(+4.0m), 回风口1500*1500*2只(+0.3m), 风量50000m³/h;

CFD建模模型如图3所示, 室内设计温度25±3℃, 湿度40%; CFD模拟区域采用索斯风管系统, 风管和风口尺寸参照CAD设计图纸, 采用百叶风口送风, 侧下立管百叶风口回风, 选取K-E双方程模型, 理想不可压缩气体, 考虑到该类项目热源的分布特点, 同时兼顾CFD简化的原则, 在地面、四周墙体、屋面等不同区域均附加了空调计算冷热负荷。

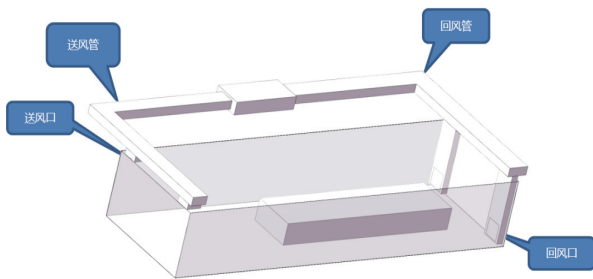
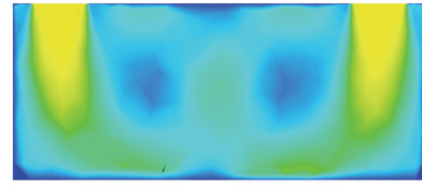


图3 CFD流体分析模型图

(三) 吊顶4m速度场仿真结果

如图4所示, 横剖面流态图展示的是沿X方向上, 截面的速度分布趋势; 俯视图流态图展示的是沿Y方向上, 截面的速度分布趋势, 此截面为人员活动高度区域(1.5m)的速度场分布趋势, 人员平面风速略高, 图中天蓝色的风速范围在0.7m/s~1m/s区间; 纵剖面流态图展示的是沿Z方向上, 截面的速度分布趋势, 纵剖面流态图中可见, 气流分布整体较为均匀, 送风口风速约3m/s, 整个空间风速约0.7~1m/s。下方比色卡指示速度的具体区间范围。



横剖面流态



俯视图流态

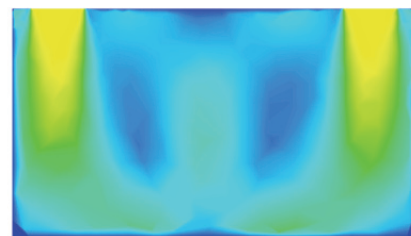


纵剖面流态

图4 吊顶4m速度场仿真剖面图

(四) 吊顶6m速度场仿真结果

如图5所示, 俯视图流态中表示的是人员活动高度区域(1.5m)的速度场分布趋势, 左边区域人员平面风速略高, 风速范围在0.8m/s~1.2m/s区间, 右边区域人员平面风速范围在0.2m/s~0.6m/s区间。纵剖面流态图中可见, 气流分布整体较为均匀, 送风口风速约3m/s, 整个空间风速约0.5~0.8m/s。



横剖面流态

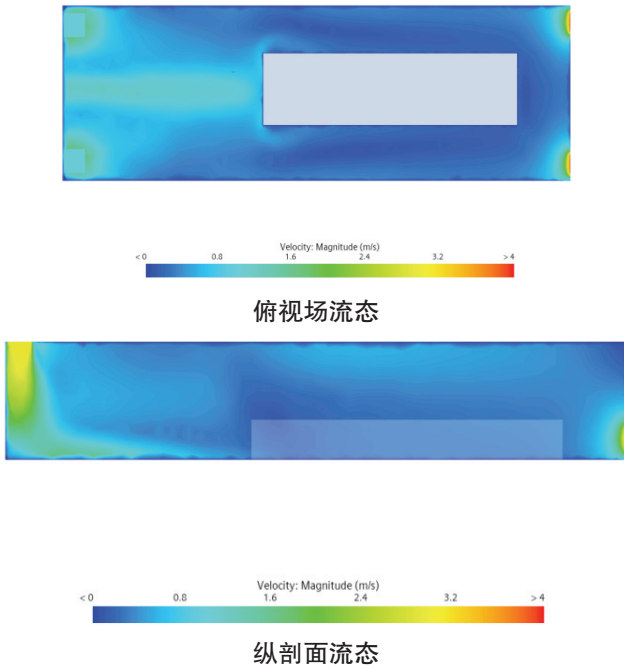


图5 吊顶6m速度场仿真剖面图

(五) 吊顶8m速度场仿真结果

如图6所示，俯视图流态中表示的是人员活动高度区域（1.5m）的速度场分布趋势，左边区域人员平面风速略高，风速范围在0.6m/s~1.2m/s区间，右边区域人员平面风速范围在0.2m/s~0.4m/s区间；纵剖面流态图中可见，气流分布整体较为均匀，送风口风速约3m/s，整个空间风速约0.4~0.6m/s。

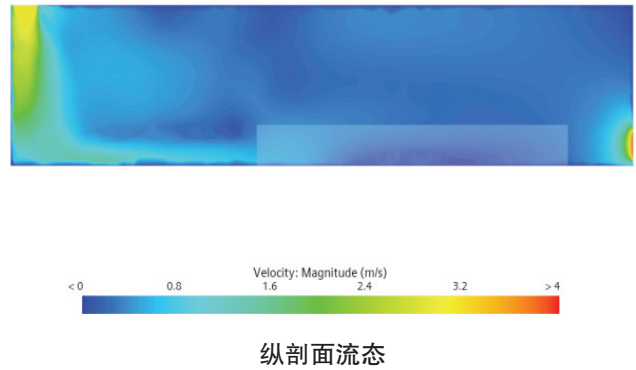
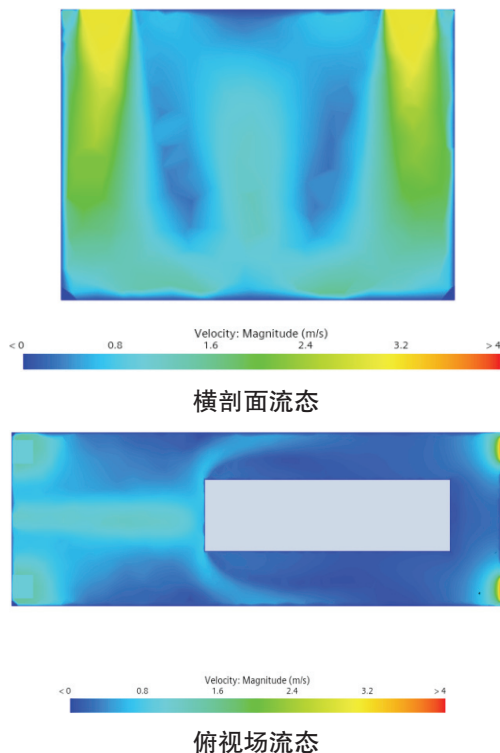


图6 吊顶8m速度场仿真剖面图

结论

吊顶4m区域，人员活动高度区域（1.5m），人员平面风速略高，图中天蓝色的风速范围在0.7m/s~1m/s区间。

吊顶6m区域，左侧区域人员平面风速略高，风速范围在0.8m/s~1.2m/s区间，右边区域人员平面风速范围在0.2m/s~0.6m/s区间。

吊顶8m区域，左边区域人员平面风速略高，风速范围在0.6m/s~1.2m/s区间，右边区域人员平面风速范围在0.2m/s~0.4m/s区间。

由流态图风速分析可见，接近无风管化设计对于此洁净车间可行，工作台设备操作区气流无死角，可根据经济性的实际需求做风管系统优化调整，且洁净车间吊顶净高为4m时，风速场最理想，可避免气流死角。

参考文献

[1] 魏兰. 国内CFD仿真技术在电子厂房洁净室的应用研究现状及趋势分析[J]. 洁净与空调技术, 2022, 6;
 [2] 赵金亮, 刘俊杰, 朱能. 用CFD方法优化设计ISO5级(百级)洁净室[C]. 全国暖通空调制冷学术年会资料集, 2004;
 [3] 仲遇程, 刘传聚, 马荣生. 单侧下回风洁净室气流的数值模拟与测试[D]. 同济大学硕士论文, 2007