

空调机组微生物污染与运行维护的在线消毒控制

目前对通风空调机组及其系统微生物污染有 3 种控制方法：

一种方法是采用控制或消除空调机组及其系统的积尘与积水等一整套措施，从源头上消除诱发微生物二次污染的因子（被形象地称为做减法），这比产生微生物污染后再消毒杀菌更有效、更安全。这一整套措施已在我国实施多年，被证实有效，并被 GB50333—2013《医院洁净手术部建筑技术规范》（以下简称《规范》）采用：空调机组内表面及内置零部件应选用耐消毒药品腐蚀的材料或面层，材质表面应光洁；表面冷却器的冷凝水排出口宜设在正压段；加湿器不应采用有水直接介入的形式，宜采用干蒸汽加湿器；禁止采用木质边框的空气过滤器。这些措施完全可以借鉴到民用建筑的空调系统中。采用品质良好的空调机组对室内空气质量的改善所取得的效益远大于增加的成本。

另一种方法是在通风空调机组及其系统内增加动态消毒杀菌装置（被形象地称为做加法）。在送风系统运行中持续进行消毒杀菌，无论在各国的通风空调标准还是工程实践中一直十分谨慎。过滤除菌成为各国标准推荐的技术措施。因为对空气消毒杀菌有效且无负面效应的装置几乎没有，源源不断的送风将负面效应扩大，持续影响着室内人员与环境。相对来说紫外线辐射使用较多，装置简便但对空气消毒效果有限，常用于空调机组内盘管的表面消毒，效果不错。近年来，随着电消毒装置技术的发展，在通风空调系统中有应用的趋势，但美国环境保护署（EPA）对此有客观的评价，认为至少目前不宜推广使用。《规范》第 8.3.5 条规定：末级净化设施不得产生有害气体和物质，不得产生电磁干扰，不得有促使微生物变异的作用。这点可供民用建筑参考。

还有一种方法是常规的清洗消毒。其实应该是消毒后再清洗、干燥，这对改善空调系统微生物污染状况有积极作用。常用的是化学消毒剂，如次氯酸钠、甲醛及环氧乙烷等。消毒效果虽好，但对空调机组本身及其管路系统有损伤，对消毒人员有暴露危害，需要做好个人防护。而且消毒后必须对空调机组及其管路系统彻底清洗，再进行干燥，以免化学残留及系统受潮再被污染。通常，整个消毒、清洗过程十分复杂、烦琐、耗时，工作人员劳动强度大。需要将整个通风空调系统停用，只能用于季节性的定期消毒，难以实施随时按需消毒。

1、通风空调机组及其系统在线安全消毒必要性

控制民用建筑室内（特别是送风系统）微生物污染的任何措施，必须对室内人员无害，才能实现舒适、健康的环境。尽管上述的 3 种常用方法对控制民用建筑室内微生物污染起到了一定的作用，但是为了更有效地控制室内微生物污染，必须研发通风空调机组及其系统的污染程度实时在线监测技术，以及运行维护

全过程的在线动态消毒技术。本文重点探讨通风空调机组运行维护全过程的在线动态消毒技术。空调机组微生物污染在线实时监控技术将另文介绍。长期以来，次氯酸钠、甲醛及环氧乙烷等一直是空调机组常用的化学消毒剂。直至 20 世纪 80 年代后期，美国某公司发现过氧化氢（H₂O₂）在低浓度的气体状态下比在液体状态下具有更高的杀孢子能力，因为气态 H₂O₂ 能生成大量游离的氢氧基，可以直接攻击微生物的细胞成分（包括脂类、蛋白质和 DNA）使其消亡。从原理上讲，对于具有类似细胞结构的真菌、细菌、病毒和芽孢，均能有效消毒。气态 H₂O₂ 学名为 VHP，经证实 VHP 对人无暴露危害，对于大多数材料，甚至对灵敏的电子设备也可以采用。这些特性使它成为一种比较理想的灭菌剂。目前，VHP 发生器已经商品化，可以方便地将高浓度的 H₂O₂ 液体转换成气体。VHP 消毒技术有如下特点：

- （1）低温灭菌过程，可以在 4~80℃ 的温度范围内进行消毒灭菌；
 - （2）消毒过程中残留物少（消毒后不需要清洗），消毒完成后自行分解为水蒸气和氧气（无有毒的副产品）；
 - （3）快速的灭菌循环回路，节省成本，也很容易验证消毒效果；
 - （4）具有较好的物料兼容性（对装置、电子元件和建筑材料都没有损坏）；
 - （5）性能稳定，具有广谱杀菌作用，适用于真菌、细菌、病毒和芽孢的消毒。
- 通常来说，能被 VHP 气体迅速破坏的材料很少。硅胶、氟橡胶、诺普林、氯磺酰化聚乙烯合成橡胶及其他弹性橡胶对 VHP 气体的相容性都比较好，但天然橡胶及某些合成橡胶物质，如丁纳橡胶和三元乙丙胶易被氧化。另外，VHP 气体对表面有锈蚀的材料或部件的消毒效果也没有表面光洁的效果好。

2、空调机组应用 VHP 消毒的可行性及对去除空调机组内污染的有效性

美国环境保护署 EPA 在其文件《过氧化氢熏蒸对暖通空调系统去污的评价》中对空调系统采用 VHP 消毒的可行性给予了正面的肯定。文献在工程实施过程中证明了 VHP 对暖通空调系统消毒的有效性。为了使民用建筑的空调机组能适用于 VHP 消毒，最好选用符合《规范》要求的空调机组，其实这些要求对一般空调机组并不高，至少也应该满足一般空调机组要求的在箱体内静压保持 700Pa 时漏风率不大于 3%。这是空调的节能要求，也为采用 VHP 消毒灭菌创造了良好的条件。

3、空调机组在线消毒、实时监控的新思路、新措施实施方法

为了便于空调机组在线消毒、实时监控的实施，经不断研发与方案反复比较，优选了如图 1 所示的系统。对于民用建筑新设的空调系统，如半集中式空调系统的新风独立处理机组，或全空气系统的空调机组，可以将图 1 作为机组的在线消毒、实时监控的标准配置。

对于既有空调机组，改造起来也比较简便，只需在既有空调机组的原有管道系统中增设一根循环风管，中间设一气密性自动风阀。一般来说，在空调机组原进、出口两端通常会各配置一个手动进风调节阀和出风调节阀。由于调节阀气密性较差，不能用作切断气流的密闭风阀，因此必须在循环管的前后各增设一个进风密闭阀和出风密闭阀。对于体积不大的独立新风处理机组，采用一台 VHP 发生器就可以同时对数台机组进行消毒，在合适的地方集中设置 VHP 发生器，建立一个固定的 VHP 输送管网。对于体积较大的空调机组，可用一台 VHP 发生器对空调机组进行专门消毒。将 VHP 输送管道 F 插入到空调机组的送风管，在输送 VHP 管道中设置自动密闭阀，平时常闭，消毒时打开。VHP 发生器及其输送管道几乎不需要维护，可以作为固定配置而长期设置。

采用一个简单的开关电路构成的自控系统连接系统中所有的电动风阀或阀门就可实现空调机组的在线消毒、实时监控。在空调机组平时正常运行时，自控系统将气密性自动风阀关闭，进风密闭阀和出风密闭阀开启，整个净化空调系统处于正常运行状态。

当在线实时监控检测到空调机组微生物污染水平超标时，可在夜间进行在线消毒。自控系统控制与需要消毒的空调机组相关的整个系统停运，空调机组进入消毒状态。自控系统将所需消毒的空调机组的气密性自动风阀 E 开启，进风密闭阀 A 和出风密闭阀 D 关闭，并关闭所需消毒的空调机组的蒸汽加湿器进口。由于空调机组将热湿处理装置设置在正压段，凝水排放装置采用球阀，当凝水盘有积水时球浮起，正压迫使凝水排出，无水时球下落关闭出水口，空调机组箱体内压力越大关闭越严密。保证了整个箱体在消毒时的密闭性。

为了提高消毒效果，最好将所要消毒的空调机组箱体内的相对湿度降下来。通常需要另外配置除湿装置，本文提出的方案可利用空调机组自身的热湿处理装置来除湿。当进入上述消毒模式后，箱体处于密闭状态。先让空调机组内置风机进行自循环运行，用内置的冷盘管降温、除湿与排水，达到稳定状态后，球下落关闭出水口。然后开启内置的加热盘管循环加热，在保证箱体空间内温度不超过 70℃ 的情况下，相对湿度甚至可以降到理想的 40%。整个过程可以利用内置在空调机组内的温湿度传感器在线控制与监测。此时，在线自控系统开启 VHP 发生器及插入空调机组进风段的 VHP 输送管的密闭阀门，VHP 气体进入空调机组，随气流不断自循环，多次反复流经空调机组的所有部件，杀灭附着在各种表面上的微生物。

整个消毒过程中，如果需要在线监控空调机组消毒空间内的 VHP 浓度，可以安装 VHP 浓度传感器，只是价格较高。最后可以通过生物指示剂进行验证。注入 VHP 的浓度与消毒时间取决于空调机组的污染程度与要求的消毒灭菌效果。消

毒时间一般为 90~120min, VHP 体积分数一般为 $(100\sim 400)\times 10^{-6}$ 。完成空调机组消毒后, 关闭 VHP 输送管的密闭阀门, 一般空转 30min 即可打开空调机组所有检修门。在线自控系统将所有控制密闭阀门和风阀恢复到正常运行状态, 无需再进行清洗就可正常运行。如果空调机组的消毒时间不允许太长, 可以注入高浓度的 VHP, 这需要在循环风管处增设催化裂解装置, 以加快 VHP 分解, 迅速将 VHP 浓度降到无害值 (安全水平 0.1×10^{-6})。

从原理上讲 VHP 可以穿透空气过滤器进行消毒。如果空调机组是定期清洗消毒, 则可以将到更换期的空气过滤器拆除, 消毒后再安装上新的空气过滤器。

值得注意的是, 整个过程不要调节空调机组前后的手动调节风阀, 这些阀门是系统调节风量平衡用的, 一旦整个系统调试结束后即固定, 一般不必再更改。

4、结语

本文探讨了民用建筑空调机组微生物污染问题, 提出了在线控制空调机组消毒的具体措施。利用空调机组自身部件, 如内置风机提供消毒气流循环动力, 内置热湿处理装置实施消毒前除湿, 内置传感器实现在线过程控制, 无需专门配置带动力的气流循环装置、除湿装置和监控装置, 只需增加一根循环风管, 就可完成在线除湿、循环、控制与监测, 实施简便, 而且省钱、省力。

所采用的 VHP 消毒技术是安全、有效的低温消毒灭菌技术。由于 VHP 在消毒后能降解成水和氧气, 过程中没有残留物。VHP 技术可作为甲醛、臭氧等消毒技术的替代技术, 代表着建筑空间灭菌的一个新发展方向, 已成为欧盟制药企业消毒技术的首选, 并正在向其他行业拓展, 在民用建筑中也逐渐推广开来。由于空调机组的特殊性, 控制二次污染的措施无法替代定期的清洗消毒。本文提出的措施有利于消除民用建筑空调机组的微生物污染, 保障室内环境控制, 随着其推广应用, 可作为今后空调机组在线消毒、实时监控的一种配置。