

腹腔镜手术烟雾排放方式对手术室空气质量的影响

郑佳佩

华中科技大学同济医学院附属同济医院, 湖北 武汉 430000

DOI:10.61369/MRP.2026060028

摘要： 腹腔镜手术操作中电刀等器械会产生手术烟雾，其裹挟的颗粒与有害物质会直接改变手术室空气流场分布。合理的烟雾排放方式可阻断污染物扩散路径，优化局部空气洁净度，降低医护人员职业暴露风险。不同排放方式对空气污染物浓度、气流组织稳定性及手术区域微环境的影响存在差异，科学选择排放方案可在保障手术安全的前提下，实现手术室空气质量的有效管控，为临床手术室管理提供实践依据。

关键词： 腹腔镜手术烟雾；排放方式；手术室；空气质量；职业暴露

Effect of Smoke Emission Mode During Laparoscopic Surgery on Air Quality in the Operating room

Zheng Jiapei

Tongji Hospital Affiliated to Tongji Medical College of Huazhong University of Science and Technology,
Wuhan, Hubei 430000

Abstract： During laparoscopic surgical procedures, instruments such as electrosurgical units generate surgical smoke, which carries particulate matter and harmful substances that directly alter the airflow distribution in the operating room. Proper smoke exhaust methods can block pollutant dispersion pathways, optimize local air cleanliness, and reduce occupational exposure risks for medical personnel. Different exhaust methods exhibit varying impacts on air pollutant concentrations, airflow stability, and the microenvironment of the surgical area. Scientifically selecting exhaust protocols enables effective air quality control in operating rooms while ensuring surgical safety, providing practical evidence for clinical operating room management.

Keywords： laparoscopic surgery smoke; emission mode; operating room; air quality; occupational exposure

引言

腹腔镜手术已成为外科领域主流术式，手术烟雾的产生与排放始终是手术室感染控制与医护健康保障的核心关注点。手术过程中，高频电凝、超声刀等操作释放的烟雾含颗粒物、挥发性有机物及细菌等污染物，若排放不当，易导致手术室空气洁净度下降，破坏手术区域的无菌环境。临床实践中，负压吸引式、局部净化式、中央排烟式等排放方式应用广泛，但各方案在污染物捕获效率、气流干扰程度、设备适配性等方面差异显著，直接影响手术室空气质量的维持效果。深入探究不同排放方式的作用机制与实际影响，可填补临床实践中排放方案选择的理论空白，推动手术室空气管理的精细化发展。

一、手术烟雾成分及危害对空气环境的影响

腹腔镜手术中，高频电刀热切割与超声刀震荡切割会产生成分复杂的手术烟雾，含可吸入颗粒物、甲醛等挥发性有机化合物，以及细菌、病毒等微生物，可长期悬浮于空气并改变其理化性质^[1]。烟雾扩散会干扰手术区域气流稳定，破坏无菌环境，增加器械与环境感染风险，还会降低空气能见度影响操作^[1]。长期暴露于该环境中，医护人员呼吸道易受刺激，引发炎症或感染，增加呼吸系统疾病风险，严重威胁职业健康。

二、腹腔镜手术烟雾排放方式的类型与核心原理

（一）负压吸引式排放的结构设计与工作机制

负压吸引式排放是临床应用较早的手术烟雾处理方式，核心结构由吸引管、负压泵、过滤装置及连接组件构成。吸引管通常设计为可弯曲的细长型，可适配腹腔镜手术的操作空间，精准放置于手术烟雾产生区域附近，实现对烟雾的近距离捕获。负压泵提供持续的负压动力，通过调节负压参数控制烟雾的吸入速率，确保烟雾能够快速被吸引管捕获，避免扩散。过滤装置是核心组

件之一，采用高效过滤材质，对吸入的烟雾进行分级过滤，截留颗粒物、细菌等有害物质，过滤后的洁净空气可直接排放至手术间或通过专用管道排出，其工作机制依赖于负压动力与过滤材质的协同作用，实现对手术烟雾的就地处理。

（二）局部净化式排放的结构设计与工作机制

局部净化式排放系统以局部净化单元为核心，结合吸附、过滤、杀菌等多重技术实现手术烟雾处理。该系统的净化单元内置初效、中效、高效三级过滤模块，同时配备活性炭吸附模块与紫外线杀菌模块，可对手术烟雾进行多维度净化。手术烟雾产生后，净化单元通过局部气流引导，将烟雾吸入设备内部，依次经过初效过滤截留大颗粒杂质，中效过滤拦截细微颗粒物，高效过滤去除微小有害颗粒，活性炭吸附模块吸附挥发性有机化合物，紫外线杀菌模块杀灭微生物^[9]。净化后的空气通过出风口重新释放到手术区域周边，形成局部洁净空气幕，阻断烟雾扩散，其工作机制注重对烟雾的全流程净化，提升局部空气质量。

（三）中央排烟式排放的结构设计与工作机制

中央排烟式排放依托手术室整体中央通风系统，构建规模化的烟雾处理体系。该系统包含中央排烟管道、集中过滤净化设备、动力风机及与手术室通风系统的联动组件。手术烟雾产生后，通过手术间预设的排烟口被吸入中央排烟管道，管道按照手术室布局设计，实现对各手术区域烟雾的统一收集。集中过滤净化设备设置在手术室通风系统末端，采用大型高效过滤装置与多级净化模块，对收集的烟雾进行集中处理，截留各类有害物质^[2]。动力风机提供系统运行的动力，通过调节风机转速控制排烟量，确保烟雾能够快速、有序地排出手术间。其工作机制基于整体通风系统的联动调控，实现对手术室空气的大范围净化，保障整体空气质量。

三、不同排放方式对手术室空气质量的直接影响

（一）负压吸引式对局部空气污染物浓度的改变

负压吸引式排放的核心优势在于近距离捕获烟雾，对手术区域局部空气污染物浓度的调控效果显著。在吸引管精准放置于烟雾产生源附近时，可快速捕获大部分初始产生的手术烟雾，有效减少烟雾向周边空气的扩散量，降低局部空气中颗粒物、细菌等污染物的瞬时浓度。但该方式的捕获范围有限，仅能覆盖吸引管周边较小区域，当手术烟雾产生量较大或吸引管位置偏移时，未被捕获的烟雾会迅速扩散至周边空气，导致局部污染物浓度回升^[3]。同时，负压参数的设置会直接影响捕获效率，负压不足会导致烟雾捕获不彻底，负压过大则可能干扰手术区域的气流组织，影响无菌环境的稳定性，对局部空气质量产生双重影响。

（二）局部净化式对手术室气流场分布的影响

局部净化式排放系统通过局部气流引导实现烟雾处理，对手术室整体气流场分布的干扰较小，但会改变局部气流轨迹。净化单元的出风口与进风口设计，会形成局部气流循环，将烟雾吸入设备内部的同时，洁净空气从出风口排出，在手术区域周边形成稳定的局部气流幕。该气流幕可有效阻断烟雾向手术核心区域

扩散，且由于净化单元的安装位置通常远离手术核心操作区，对整体通风系统的气流路径影响较小，不会破坏手术室整体的流场布局。但在手术间空间较小或净化设备数量较多时，多个局部净化单元的气流相互干扰，可能导致局部气流紊乱，影响空气的有序流动，进而对空气质量的整体调控效果产生一定制约。

（三）中央排烟式对整体手术室空气洁净度的作用

中央排烟式排放依托整体通风系统，对手术室整体空气洁净度的保障作用更为全面。通过统一收集各手术区域的烟雾，集中进行过滤净化，可有效降低手术室整体空气中的污染物含量，维持空气洁净度达标。该方式能够覆盖整个手术间范围，避免局部烟雾扩散至其他手术区域，减少交叉污染的风险。同时，中央排烟系统与手术室通风系统联动，可根据手术间的使用情况动态调节排烟量与通风量，确保空气流通的有序性，维持手术室空气的稳定洁净度。但在系统运行过程中，排烟管道的堵塞、过滤设备的失效等问题，会导致排烟效率下降，使得整体空气洁净度降低，难以达到临床手术室的空气质量标准。

四、排放方式适配手术室环境的关键影响因素

（一）手术间布局与通风系统对排放效果的制约

手术间的空间尺寸、布局结构及原有通风系统参数，是制约烟雾排放方式适配性的核心硬件因素。空间狭小的手术间，设备摆放密度大，负压吸引管、局部净化单元的安装与操作空间受限，易与手术器械、医护人员操作轨迹产生冲突，影响排放方式的有效实施^[4]。手术间的布局设计，如门窗位置、墙面材质、设备摆放区域等，会影响气流的自然流动方向，进而改变烟雾的扩散路径，对不同排放方式的捕获效率产生影响。原有通风系统的风量、风速、换气次数等参数，与烟雾排放方式的适配性直接相关，若通风系统风量不足，与中央排烟式系统联动时，会导致排烟量不足；若通风系统气流轨迹与局部净化式气流方向冲突，会造成气流紊乱，降低排放效果。

（二）手术操作时长与术式类型对排放需求的影响

手术操作时长与术式类型，决定了手术烟雾的产生量与扩散程度，直接影响烟雾排放方式的需求差异。长时间手术过程中，电刀、超声刀等器械的持续使用，会导致手术烟雾产生量逐步累积，若排放方式的处理效率不足，易造成空气中污染物浓度持续升高。不同术式的组织损伤程度、器械使用频率存在差异，如肿瘤切除术的组织损伤范围大，烟雾产生量多且成分复杂，对排放方式的捕获范围、处理能力要求更高；简单的腹腔镜胆囊切除术，烟雾产生量较少，对排放方式的适配性要求相对较低^[4]。同时，部分术式需要医护人员频繁调整操作位置，会导致烟雾扩散区域不断变化，要求排放方式具备更强的灵活性，以适应动态的烟雾产生场景。

（三）设备参数设置与维护状态对排放效率的作用

烟雾排放设备的参数设置与日常维护状态，是保障排放效率的关键软性因素。负压吸引式系统的负压参数、吸引管口径，局部净化式系统的风机转速、过滤模块更换周期，中央排烟式系统

的风机转速、管道负压值等，均需根据手术场景进行精准设置。参数设置不合理，如负压吸引式负压过低，会导致烟雾捕获不彻底；局部净化式风机转速不足，会降低烟雾吸入量，直接影响排放效率^[5-9]。设备的维护状态同样至关重要，过滤模块长期使用会因吸附大量污染物而失效，未及时更换会导致过滤效率下降；排烟管道积尘、堵塞，会阻碍烟雾的正常输送；动力设备的老化、故障，会导致动力不足，影响整体排放系统的运行效率，进而对手术室空气质量的调控效果产生直接影响。

五、优化腹腔镜手术烟雾排放的实践策略

（一）结合术式特点匹配差异化排放方案

基于不同术式的烟雾产生特性，匹配差异化排放方案，可实现排放效率的精准提升。针对烟雾产生量大、成分复杂的长时间复杂术式，如腹腔镜下的器官切除手术、肿瘤根治手术，优先选用中央排烟式结合局部净化式的组合方案。中央排烟式负责大范围收集烟雾，局部净化式对核心手术区域的烟雾进行二次捕获，两者联动提升整体处理效率^[10]。针对烟雾产生量适中、操作区域固定的常规术式，如腹腔镜阑尾切除术、疝气修补术，采用负压吸引式方案，通过优化吸引管位置与负压参数，实现对烟雾的精准捕获。针对短时间、高频次的门诊腹腔镜手术，选用便携式局部净化式设备，灵活适配手术间的临时使用需求，避免对原有通风系统的依赖。

（二）联动通风系统与排放设备的协同调控

建立烟雾排放设备与手术室原有通风系统的联动调控机制，可最大化提升空气质量调控效果。针对中央排烟式系统，与通风系统的风机、风量调节阀联动，根据手术间内烟雾浓度传感器的

实时数据，动态调节风机转速与排烟量，确保烟雾收集与通风换气平衡^[6]。针对负压吸引式与局部净化式系统，与通风系统的气流方向、风速参数联动，避免排放设备的气流与通风系统气流产生冲突，防止气流紊乱。同时，设置联动触发机制，当手术间内烟雾浓度达到预设阈值时，自动启动排放设备并调节通风系统参数，实现对空气质量的主动调控，减少人工干预的滞后性，保障手术室空气环境的稳定与安全。

（三）建立排放效果动态监测与优化机制

构建手术烟雾排放效果的动态监测与持续优化体系，可推动排放方式的长效优化。在手术间关键位置安装污染物浓度、气流速度、颗粒物含量等监测设备，实时采集手术室空气质量数据，建立数据监测台账。定期对监测数据进行分析，评估不同排放方式、设备参数设置的实际效果，识别排放过程中存在的问题，如局部污染物浓度超标、气流紊乱等。针对识别出的问题，及时调整排放方案，如优化吸引管布局、更换老化过滤模块、调整设备参数等。同时，结合临床实践中的新术式、新设备应用情况，持续优化排放策略，建立排放效果评估反馈机制，确保烟雾排放方式始终适配手术室的实际使用需求，实现空气质量的长效保障。

六、结语

本文剖析手术烟雾成分对手术室空气的影响，阐明不同排放方式的作用机制与适配要点。结合术式特点差异化配置排放方案，联动通风系统实现协同调控，依托动态监测优化运行策略，为手术室空气质量保障提供实践路径。进一步贴合临床需求完善技术细节，助力手术安全与医护健康的长效维护。

参考文献

[1] 贾梦玲, 靳冬冬, 李飞燕, 等. 经脐单孔腹腔镜下卵巢囊肿剥除术的临床效果分析 [J]. 婚育与健康, 2025, 31(24): 34-36.

[2] 何肖肖. 结构化心理护理对异位妊娠腹腔镜手术患者负性情绪及术后恢复的效果研究 [J]. 婚育与健康, 2025, 31(24): 4-6.

[3] 陈静静, 林秀琼. 基于 Caprini 风险评估的分层护理在预防妇科腹腔镜手术术后静脉血栓栓塞症中的应用 [J]. 医疗装备, 2025, 38(24): 130-132+137.

[4] 崔志娜. 普外科腹腔镜手术与传统开腹手术护理模式的对比研究及质量改进 [C]// 中国医药教育协会. 医学临床实践与优质护理学术交流会议论文集. 河北省魏县中医医院外一科, 2025: 32-36.

[5] 陈凤, 薛吓娟, 连淑萍. 右美托咪定联合七氟醚静复合麻醉对老年腹腔镜结直肠手术患者术后睡眠质量和术后谵妄的影响 [J]. 世界睡眠医学杂志, 2025, 12(12): 2643-2646.

[6] 陈景洋, 黄奋声, 何金锋. 两种保温措施对腹腔镜手术患者体温及应激反应的影响研究 [J]. 当代医药论丛, 2025, 23(36): 57-59.

[7] 周昌东, 刘丽影, 杨洋洋, 等. 机器人辅助腹腔镜下根治性前列腺切除术两种入路方式的疗效对比 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2025, 6(12): 2120-2125.

[8] 贺艳丽, 弓云, 周福兴, 等. 机器人辅助腹腔镜手术治疗复发性深部浸润型子宫内膜异位症的临床疗效及安全性分析 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2025, 6(12): 2114-2119.

[9] 百龙, 青巴图. 不同腹腔镜手术治疗胃癌的近期疗效及对患者血清胃肠激素和炎症因子的影响 [J]. 川北医学院学报, 2025, 40(12): 1614-1618.

[10] 韩朝, 支慧. 精细化干预在腹腔镜结直肠癌手术患者中的应用效果 [J]. 癌症进展, 2025, 23(24): 2941-2944.