

重症监护病房改扩建新范式

沈晋明 刘燕敏 戴晓奋等

重症监护病房改扩建新范式

同济大学 沈晋明 刘燕敏

上海尧伟建设工程有限公司 戴晓奋 刘康庆 潘骏谋

美埃（中国）环境科技股份有限公司 马晟一

摘要：重症监护病房（ICU）是医院救治危重症患者、应对突发公共卫生事件的核心阵地，既有医院病房楼改扩建 ICU 普遍面临层高受限、楼层原配置的冷热量不足、传统半集中式空调系统难以满足合规气流组织等难题。本文以上海某三甲医院 ICU 改扩建工程为实例，遵循“中心化、平台化”大重症学科建设理念，采用变频多联机与风机过滤器柜式机组组合的空调系统，在室内形成合规的上送下回气流组织与换气量。根据院感控制的管理目标，以及室内感染菌的特性与负荷可以调节送风量及回风过滤器的级别，这是一种简易、有效、节能的新范式。在空间布局方面与通风空调采用“模块化”设置，细化了设计，提高了环控的有效性，平急切换简便。该范式改扩建效率高、施工便捷、节能性突出，可有效阻断病菌传播，运行两年未出现过一起院内感染案例。为国内同类型医院 ICU 改扩建工程提供参与借鉴。

关键词：ICU 改扩建；模块化设计；变频多联机；风机过滤机组；气流组织；医院感染控制；平战结合

0 引言

重症医学（critical care medicine，CCM）是处理和研究各种原因导致的疾病或创伤患者危及生命的疾病状态的发生、发展规律及其诊治方法的临床医学学科。重症监护病房（ICU）是重症医学的临床基地，对因各种原因导致一个或多个器官与系统功能障碍、危及生命或具有潜在高危因素的患者，及时应用系统、连续、高质量的医学监护和诊疗技术进行综合救治，是医院集中监护和救治重症患者、应对重大突发公共卫生事件重症救治的专业科室。

加强医疗机构重症医学科的建设和管理，合理使用医疗资源，保证医疗服务质量，提高医疗技术水平，是提高应对重大突发公共卫生事件的重症综合救治能力重大举措。根据《公共卫生防控救治能力建设方案》等有关法律法规，上海市申康医院发展中心提出市级医院重症医学科“补短板、促提升”的建设要求，遵循“中心化、平台化”大重症学科建设理念，从人才培养、资源配置完善、以及管理模式优化的三个方面，全面加强医院重症医学科体系建设和重症临床能力提升。改扩建既有医院 ICU 就提到了议事日程。

关于建设合规的 ICU，推动重症医学科的高质量发展，提升应对重大突发公共卫生事件的重症救治能力与水平的意义以及 ICU 建设要求的相关研究已有诸多文献论述^[1-3]，本文不再赘述，今就改扩建既有医院 ICU 涉及的暖通空调方面作一分析与探讨。

1. 改扩建既有医院 ICU 痛点

按照大重症建设发展要求，重症医学科的病床数量应符合医疗机构的功能任务和实际收治重症患者的需要，三级综合医院重症医学科的 ICU 病床数不得少于医院病床总数的 5%，二级综合医院重症医学科的 ICU 病床数不少于医院病床总数的 2%要求。同时，ICU 的整体布局还应考虑到收治传染性疾病重症患者的需求，又能兼顾应对重大突发公共卫生事件重症救治的应急功能，对保障人民群众生命健康具有重要意义。

“中心化、平台化”大重症建设理念要求不同 ICU 病房（单人与多人 ICU，及负压 ICU）需集中设置在一个楼面，大多在病房大楼内进行改扩建。病房大楼原设计的层高往往不高，不便布设全空气集中式空调系统大风管。且原楼层配置的冷热容量也不大，难以在同一楼层改扩建为集中设置大重症监护病房，还需增设冷热水机组。采用传统独立新风加风机盘管机组系统，又不易实现 ICU 病房合规的气流组织。以上问题成为制约既有建筑 ICU 改扩建的主要瓶颈。

2. 既有医院 ICU 改扩建案例

本文以上海某三甲综合医院 ICU 改扩建项目为例。该院将病房大楼七层原妇科病区与外科重症监护病区 SICU 整体搬迁，对整层楼面重新规划改造，该区域临近手术室，打造为一体化大重症监护病区，总建筑面积约 2400m²，规划床位 46 张，项目总投资 2329 万元。

本次改造平面布局上注重功能设置，合理划分医患流线设计与洁污流线设计，兼顾患者救治效率与医护工作便捷，分设东西两大病区（见图 1）。病区内共设置单人病房 4 间（含 2 间单人负压隔离病房）、双人病房（见图 2）5 间和 4 人病房（见图 3）8 间。每间 ICU 外单独分设护士台（见图 4），东西走廊各配一处中央护士工作站（见图 5）。

采用模块化平面布局，每两个标准床单元与预留一个床单元组成一个基础模块，该模块可灵活拆分又可组合复制，以此模块可以复制双人病房，两个模块可组合成 4 人病房，半个模块则为单人病房。模块中预留的床单元空间仅配置床头设备带，常态下不设床位，只有在发生公共卫生事件时才添床，使整个重症监护病区由原常设 46 张床位可增加至 62 张（见图 6），大幅提升应急收治能力。

病区中部设置临床研究区，配有即时检验室（point-of-care testing, POCT），可在病人旁边进行的临床检测及床边检测（bedside testing），CT 检查室及纤支镜洗消等功能用房。以方便病患检查诊断，打通临床与转化的衔接路径。同时加装气动与轨道系统，实现不同物资快速运转。



图 1 ICU 平面布局、功能分区与流线规划

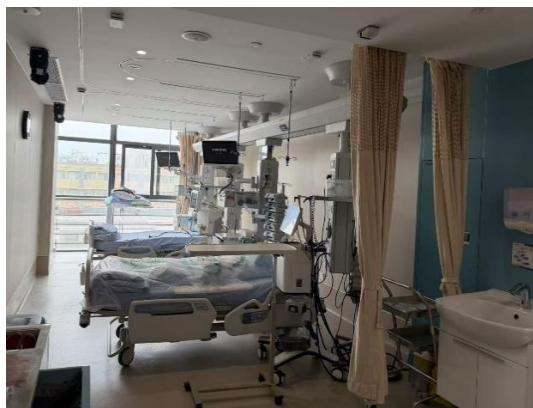


图2 双人 ICU 病房



图3 四人 ICU 病房

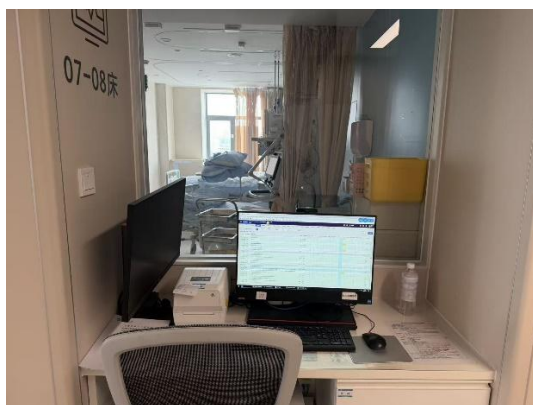


图4 ICU 病房外设的护士台



图5 走廊设置中央护士站

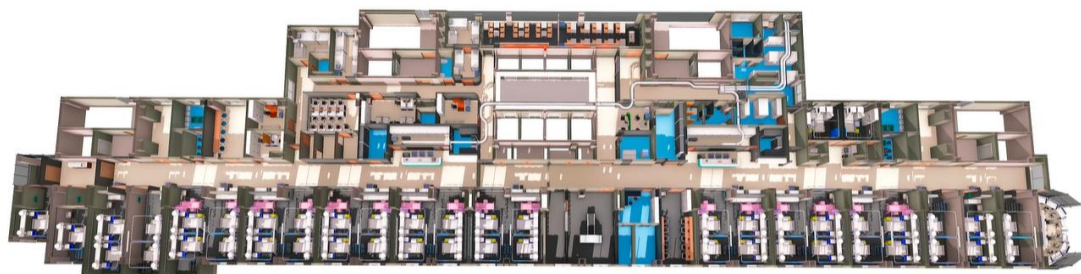


图6 突发公共卫生事件重症监护病区转换为 62 床（图中红色为增添床）

3. 既有医院改扩建 ICU 新范式

该医院大重症监护区改扩建项目，严格遵循《医院洁净护理与隔离单元技术标准》GB/T 51457-2024（以下简称“技术标准”）的各项技术要求，又要满足平急结合的建设原则。针对改扩建过程中针对遇到的痛点与难点，提出了如下的对策：

1) **优化冷热源系统配置**，针对楼层原有冷热负荷不足的问题，经多套增配方案的技术、经济综合比选后确定最终方案：所有 ICU 病房统一采用变频多联中央空调，室内机选用风管式末端（图 9），室外机组集中布置在周边裙房屋面；病区其他用房（见图 7）、走廊（见图 8）等其余区域，继续沿用医院原有冷热源系统，采用风机盘管机组加新风系统模式，新旧系统结合，降低改造成本。



图 7 POCT 快速化验室



图 8 病区走廊

2) **形成合规室内气流组织**，针对双床标准模块需优化风管机气流形式：在两张床位床尾居中位置吊装一台风管式内机（风量 $690-1140\text{m}^3/\text{h}$ 可调），每张床位床头侧加装柜式风机过滤器柜式机组（风量 $530-750\text{m}^3/\text{h}$ 可调），机组下部回风口设置 F7 高中效过滤器，送风格栅安装于两床位后方中间、距床尾 0.5m 以上的顶棚处。

由图 10 可见两床的病患呼气及室内空气由床头侧风机过滤器柜式机组吸入，经 F7 过滤除尘、除菌处理后，出风汇入后进入风管机完成热湿处理，与新风并联，从床尾上方送风口送入室内。气流定向流经患者呼吸区域，无直吹不适的风感，风管机送风换气量最大可达 15h^{-1} ，房间新风换气次数 3h^{-1} ，实现了《技术标准》合规的气流组织与换气量。图 10 为平面布置图。系统配套温湿度、室内压差实时监测装置，多联机集中控制系统，实现窗磁联动，风管组与风机过滤器柜式机组的风量需适配调节，提升运行效率，实现运行节能与操作便捷。

该模块化空调通风系统可灵活应用于单人、双人、四人病房。其中 2 间单人负压隔离病房采用全新风全排风系统，每小时 12 次换气。排风量大于新风量，维持稳定的不低于 -5Pa 的室内负压环境。

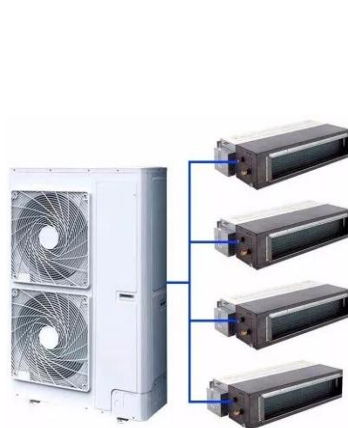


图 9 多联外机与风管式内机

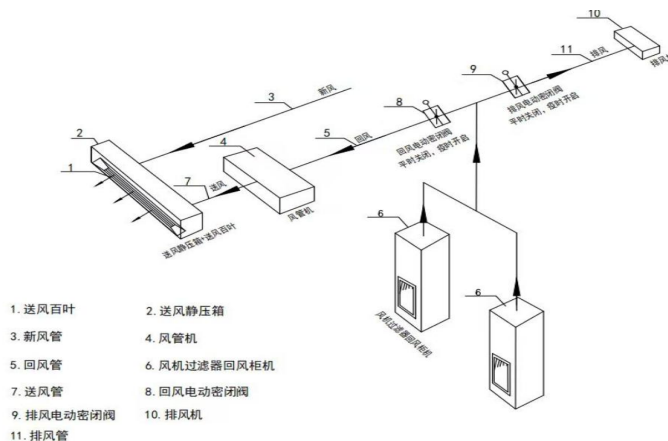


图 10 ICU 改扩建模块的空调通风系统示意图

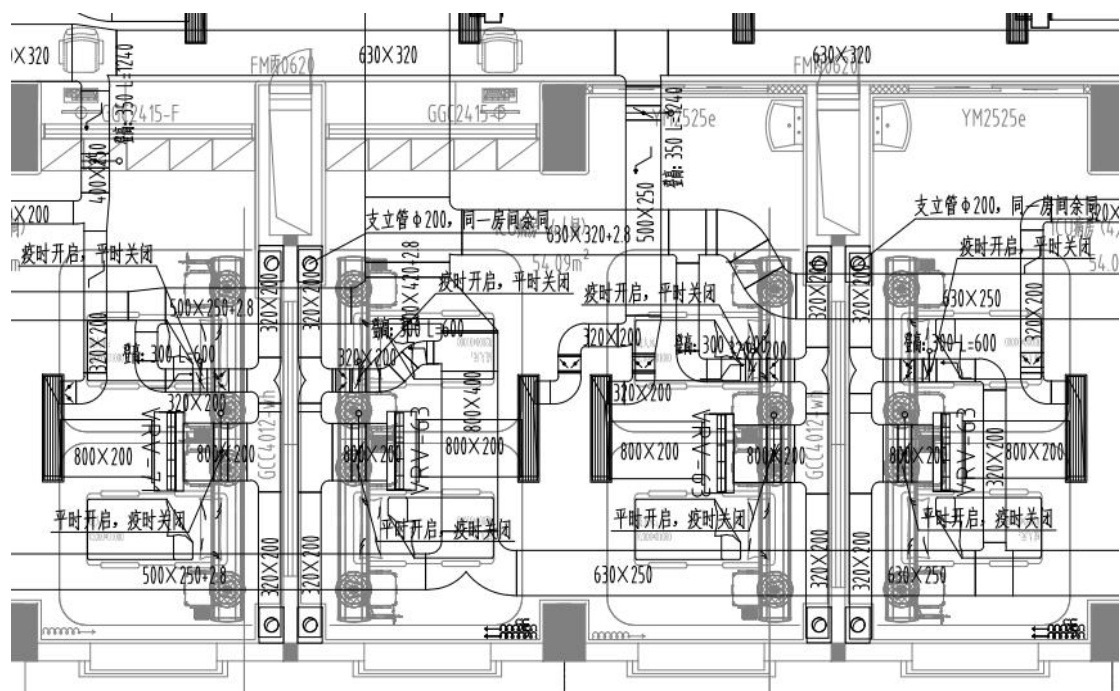


图 11 ICU 改扩建模块空调通风管路平面图

3) **平急状态模式切换**, 进入突发公共卫生事件应急状态时, 病区内全部风机过滤器柜式机组的回风过滤器更换为高效过滤器 (H13), 其出风管密闭切换阀关闭, 排风管密闭切换阀打开, 应急排风机全部开启, 风管机停止运行 (见图 10)。此时, 新风系统加大送风量, 新风换气量 8 h^{-1} 。排风量高于新风量, 全域形成负压环境, 满足传染病重症患者的隔离救治要求。

4. 讨论

ICU 收治的多为重症、久病及老年患者, 其发菌、呼气以及身体散泄气味发生。加之病房物表消毒量与频次要比其他病房多, 消毒气味大。且 ICU 也是耐药菌株易滋生的区域。若新风供给不足、气流组织不合理、空气净化装置效能偏低, 会直接导致室内空气质量恶化, 既影响医患体感, 也会提升院内感染风险。由此可见, **优质的室内空气环境 (IAQ) 是预防医院获得性感染的重要非药物防控手段。**

去除悬浮菌尘的最有效、经济与安全的措施是空气过滤, 各种负离子、等离子、双极离子发生器、静电净化器、光催化氧化器、羟基生成器等电净化消毒装置的杀菌效率并不高^[4], 而且还能产生对病患有害的臭氧、甲醛与超细粒子^[5], **目前要慎用。在国外已明文禁止臭氧释放量大于 5 ppb 的电净化消毒装置使用。**按照我国《医院洁净手术部建筑技术规范》GB50333, 《综合医院建筑设计标准》GB51039 和美国 ASHRAE241-2023《传染性气溶胶的控制》要求^[6]本项目在常态下回风口选用 F7 高中效空气过滤器。

由于变频多联机中央空调系统结构简洁, 无需布设庞大的水系统及通风管道, 可有效节省建筑空间; 综合能效较传统中央空调高出 30% 以上, 节能优势显著; 各房间可独立控温、分区调节, 适配不同病房的使用需求。同时该设备安装便捷、施工周期短, 高度契合既有医疗建筑改扩建的施工特点。

参照美国 ASHRAE241-2023《传染性气溶胶的控制》^[6], **可以在通风系统中配置空气净化装置, 也能在室内外设置各级空气净化装置 (见图 12) 具有韧性控制传染性气溶胶的能力。**本项目在每张床位床头边设置风机过滤器柜式机组, 下回风口设置高中效过滤器, 出风管直接汇入风管机, 另一侧串联应急排风机, 送排风可以切换。形成了在距每床床尾不小于

0.5m 的上方送风，在每床床头一侧下方回风。提升了除尘除菌效率，在室内形成合规的上送下回气流组织。根据室内感染菌的特性与负荷可以调节送风量，以及回风过滤器的效率，这是一种简易有效的措施。并根据不同的应急响应程度密闭阀切换实施“三级负压”。可见，通风空调已不再仅仅是工程学科，而提升为一种风险管理策略。

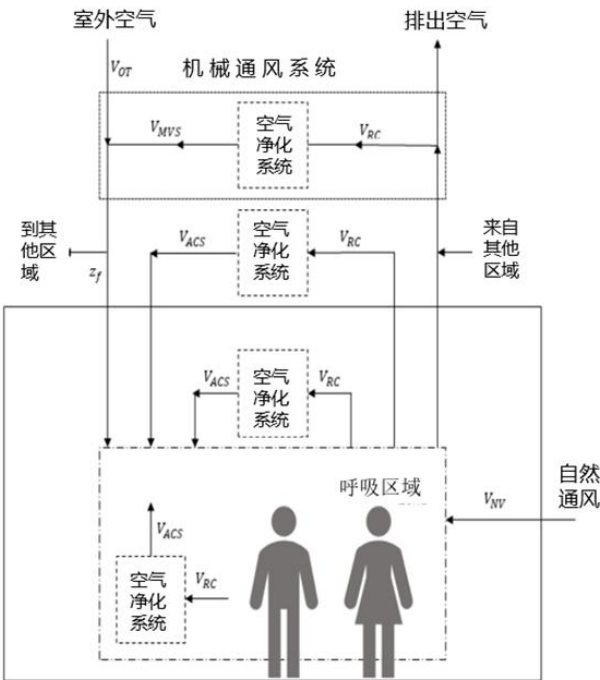


图 12 控制传染性气溶胶的通风与各级空气净化系统

ICU 内患者的发菌、发尘与气味很容易进入空调系统，积尘积水，进而引发滋菌，造成二次污染。在回风口设置可更换的高中效空气过滤器，可有效阻隔病菌进入了通风空调系统，规避交叉感染风险。区别于常规洁净室将空气过滤器设置在送风口的传统做法。

实践证实，对于医疗用房只要有机采用“合规的换气、合理的气流组织、合适的回风过滤器”这三项核心措施就能以较低的代价实现较为理想的环控效果^[7]。无论检测数据、还是临床实践都被证明十分有效，可以有效降低室内悬浮菌浓度。全方位保护医患，控制了感染风险，是兼具实用性与节能性的绿色技术。

5. 结语

综上，在既有医院 ICU 改扩建工程中，采用变频多联机结合风机过滤柜式机组的空调通风方案，是一套成熟可行的全新建设范式。该方案可构建合规的上送下回气流组织，还能根据院感防控目标、室内菌尘负荷动态调整风量与过滤等级，具有感染控制的韧性，兼具简易高效、节能环保的突出优势。

本项目在空间布局、通风空调系统上全面推行模块化设计，既细化了施工与运维流程，强化了环境管控实效。项目投入运行两年多以来，病房内始终维持良好、稳定的室内空气质量，未发生一起交叉感染事件，成为综合医院大重症医学科改扩建的标杆案例。

本次改扩建工程不仅完成了重症监护病区硬件设施的全面升级，提升了重症救治综合能力，也为学科人才培养、临床科研转化搭建了优质平台，成功打造出环境优良、设施先进、技术完备、应急能力突出、管理智能、平急一体的现代化重症医学科，也为国内同类型医院 ICU 升级改造提供了优秀的实践范例。

参考文献

[1] 沈晋明，刘燕敏，重症监护单元环境控制要求与技术措施 《医院洁净护理与隔离单元

建筑技术标准》GB/T 51457 解读（一）[EB/OL].[2026-04-21].www.chinaacac.cn/chinaacac2/news/?1079.html

- [2] 沈晋明, 许钟麟, 曹国庆, 刘燕敏.解读 GB/T 51457-2024《医院洁净护理与隔离单元建筑技术标准》[J].暖通空调, 2025,55(2):10-18
- [3] 曹国庆, 沈晋明, 医院洁净护理与隔离单元建筑技术标准解读与实施[M]. 北京: 中国建筑工程出版社, 2025. 9
- [4] 殷平. 空气净化技术研究(2): 电动空气净化设备[J]. 暖通空调, 2025, 55(5):1-17
- [5] 沈晋明, 刘燕敏, 探讨我国电消毒净化装置发展对策与国际接轨路径[EB/OL].[2026-04-21].www.chinaacac.cn/chinaacac2/news/?1055.html
- [6] 沈晋明, 刘燕敏. 开创性标准 ASHRAE 241, 降低室内传染性气溶胶传播风险[EB/OL].[2025-06-24]. www.chinaacac.cn/chinaacac2/news/?1066.html.
- [7] 杨永梅, 孟蝶, 杜宏等, 疫后医院急诊部环境控制对策[J]. 中国医院建筑与装备, 2023(7):31-34