

# 正负压转换手术室设计探讨

中国建筑科学研究院 曹国庆

**摘要** 给出了正负压转换手术室有关标准规范要求,分析了我国正负压转换手术室的工程建设现状,探讨了正负压转换手术室的工艺平面布局、净化空调形式、空调自控系统,提供了正负压转换手术室净化空调系统流程图、自动控制策略及空调监控系统原理图。

**关键词** 正负压转换手术室 净化空调系统 自控系统 静压差 污染物控制

## 1. 引言

国内医院建设如火如荼,作为医院的核心部门——洁净手术室的建设和倍受关注,尤其是国家标准《医院洁净手术部建设标准》<sup>[1]</sup>(以下简称《标准》)、GB50333-2002《医院洁净手术部建筑技术规范》<sup>[2]</sup>(以下简称《规范》)颁布实施以来,洁净手术室的建设和进入了标准化快车道。

《规范》对洁净手术室内空气洁净度、温度、相对湿度、静压差等环境参数有明确要求,为了避免室外不洁净的空气进入手术室产生污染,一般要求手术室处于正压状态,但对传染病患者进行手术时,为了有效阻止手术室内被污染的空气外流,产生二次污染,造成疾病传播,应使手术室一直处于负压状态,负压手术室是控制呼吸道传染病,切断空气、飞沫传播途径的有效隔离设施。

正负压转换手术室,顾名思义是将正压手术室、负压手术室融为一体,根据实际工作需求进行室内压力控制,将手术室变换为正压状态或负压状态,以满足不同手术的需要。SARS、人感染高致病性禽流感、甲型流感、肺结核等呼吸道传染病疫情的频频出现,使得人们对生物安全的要求不断加强。正负压转换手术室,作为一种特殊的多用途手术室也越来越多的出现在国内医院的洁净手术部建设之中。改造、新建正负压转换手术室以应对突发呼吸道传染病的医疗救治任务成为社会迫切的需求。

本文对正负压转换手术室工艺平面布局、净化空调系统、自控系统进行了研究,指出了正负压转换手术室设计、施工及建设过程中应注意的一些问题,给出相应技术措施,可应用到正负压转换手术室净化工程设计中,为相关设计单位、施工单位、建设单位提供技术依据,同时为 GB 50333-2002《医院洁净手术部建筑技术规范》、《绿色医院建筑评价标准》等相关国家标准的制修订提供参考。

## 2. 标准规范要求

### 2.1 国内

洁净手术室是一个多专业多功能的综合整体,关于洁净手术室的建设和,我国于2000年、2002年分别颁布实施了《标准》、《规范》,对指导我国医院洁净手术室的建设和起到了里程碑式的作用,但标准规范有关负压手术室或正负压转换手术室的条文内容较少,已不能很好的适应我国传染病疫情防治建设的需要。尤其是2004年SARS在我国大规模爆发肆虐,其后相继出现了禽流感、甲流等呼吸道传染病疫情,使得传染病医院负压手术室的建设和成为社会关注的热点。

《标准》第十一条规定“对于综合医院,……,有条件时根据需要可设1间负压洁净手术室。……”。

《规范》第3.0.5条指出“当进行传染性手术或为传染病患者进行手术时,应遵循传染病管理办法,同时应建立负压洁净手术室,或采用正负压转换形式的洁净手术室”。

对于正负压转换手术室的建筑平面布置,《规范》第5.2.8条指出“负压洁净手术室和产生严重污染的房间与其相邻区域之间必须设缓冲室”。

对于正负压转换手术室的净化空调系统、自动控制系统等,《规范》没有明确给出要求。

### 2.2 国外

日本医院设备协会规范《医院空调设备设计与管理指南》HEAS-02-2004指出“为感染了气溶胶传播疾病的传染病患者进行治疗的手术室,必须防止病原微生物向室外流出”<sup>[3]</sup>,措施有:手术室相对于周围环境,必须要保持负压;需要设置前室,以防止室外污染空气的流入;在手术室排风口设置HEPA过滤器以保护周围环境;可采用能够转换正负压的设备,根据工作需要正负压转换;手术室应采用单独的空调系统;烈性传染病手术室应全新风、全排风工况运行,室内不运行设置空气循环装置。

美国建筑学会《医院和卫生设施建设与装备指南》指出“用于传染性过程房间的送风口应设在天

花板上或靠近天花板。回风口或排风口应靠近地板，消除麻醉和其他特殊应用的排风格栅安装在天花板上。”，在“医院和门诊病人设施中影响病人治疗的区域的通风要求”表格中给出了空气感染隔离室的要求，同时在其后的表注中指出“被污染或有臭味区域的气体应排至室外不能再循环至其他区域”、“由于清洗困难并可能增强污染，标有否的区域不应采用再循环室内装置。但是，若采用 HEPA 过滤器，则在个别隔离室为实现空气传染控制，可以再循环使用空气。”、“空气传染隔离室通风系统的设计包括在不需隔离护理期间普通病人护理所需的设施。”<sup>[3]</sup>。

德国标准 DIN1946 第四部分医院空气处理系统指出“从卫生毒理学考虑，当回风含有有害气体时，任何形式回风均不能使用。”<sup>[3]</sup>。

### 3. 工程建设现状

综合性医院在进行洁净手术部建设时，往往会建设一间或多间正负压转换手术室，正常情况下该手术室作为正压手术室使用，在为传染病患者进行手术时，该手术室作为负压手术室使用。由于《规

范》对正负压转换手术室相关技术措施未作明确规定，医院洁净手术部建设者、设计人员对正负压转换手术室定位不清或缺乏充分理解，已建正负压转换手术室在建筑平面布置、净化空调系统、空调自控系统方面往往存在诸多问题。

#### 3.1 工艺平面布局

《规范》对负压手术室或正负压转换手术室的建筑平面布置未作明确规定，仅要求“负压洁净手术室和产生严重污染的房间与其相邻区域之间必须设缓冲室”。国内已建正负压转换手术室建筑平面布置基本能符合上述规范要求，但却实现不了传染病患者、普通患者的分流，存在交叉污染的风险，图 1 给出了已建正负压转换手术室建筑平面布置的典型实例。

图 1 中 OR23 为正负压转换手术室，从图中可以看出正负压转换手术室与其它手术室共用洁净走廊、换床等，仅是在洁净走廊与手术房间设有缓冲室，传染病患者进入负压手术室需要通过洁净走廊，存在传染病传播、交叉污染的风险。

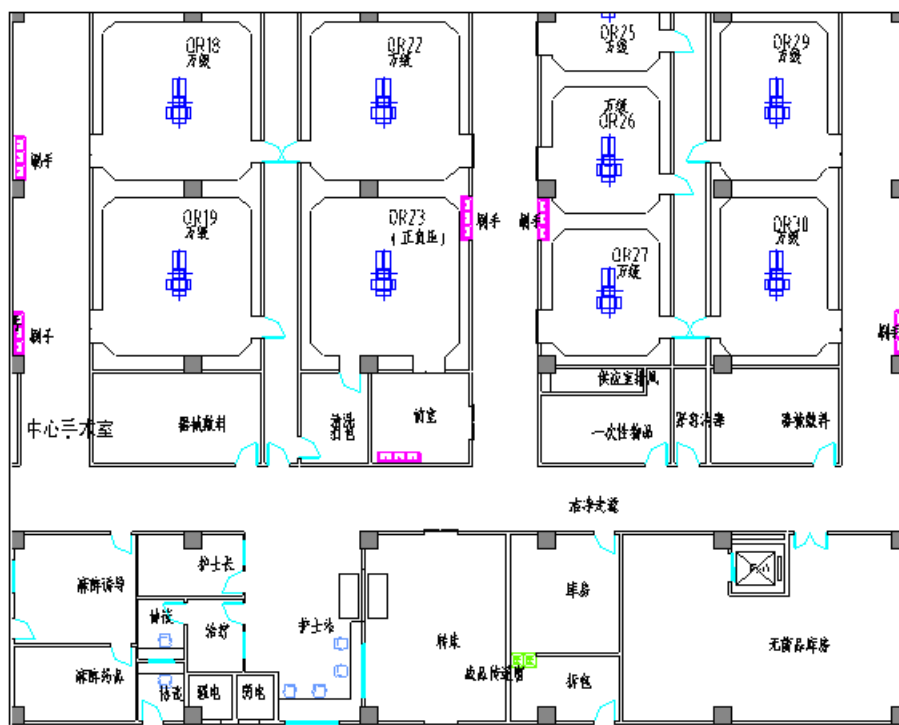


图 1 某正负压转换手术室建筑平面布置

#### 3.2 净化空调系统

国内已建正负压转换手术室多为 III 级洁净手

术室，设置一套独立的净化空调系统，图 2 给出了此类手术室净化空调系统典型实例流程图。

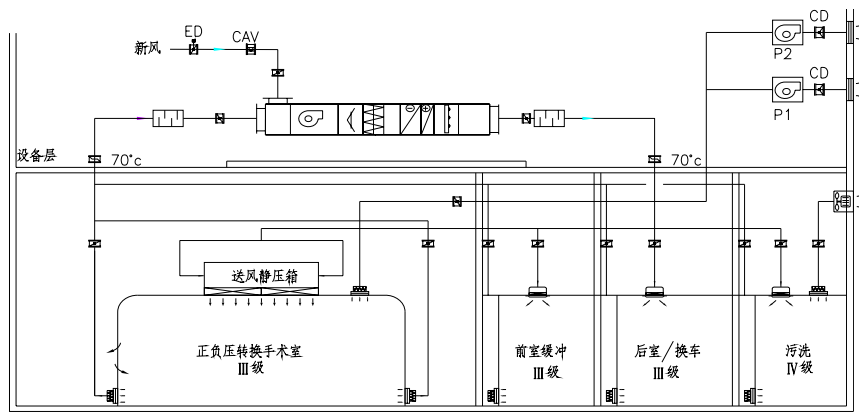


图 2 某正负压转换手术室净化空调风系统流程图

从图 2 可以看出正负压转换手术室气流组织上送下回、顶部排风。手术室内部分空气经回风口（内设初效或中效过滤器）流向循环机组，回风与新风混合，进入循环风机箱，净化处理后送入手术室内；手术室内另有部分空气经室内排风口，由排风机箱（内设中效过滤器）过滤处理后排至室外，手术室共设置一个排风口，配有两个排风机箱，一个正压工况运行（低排风量），一个负压工况运行（高排风量），通过两个排风机的转换，实现手术室的正压状态或负压状态。

由于此类手术室净化空调系统使用回风，且室内回风口、排风机箱内设置的是中效过滤器（对于较小粒径病毒的过滤效率相对较低），仅适用于为一般传染病患者进行手术，对于烈性传染病（如 SARS、人感染高致病性禽流感等）患者，在此类

手术室内进行手术，病原微生物传播、交叉感染风险较大，这是因为室内空气中悬浮的病原微生物有可能通过排风泄漏至周围环境，引起污染物外泄。

#### 4. 工程设计探讨

##### 4.1 工艺平面设计

虽然我国相关国家标准对正负压转换手术室（或负压手术室）的工艺平面布置设计没有明确要求，但为了配合贯彻执行《标准》、《规范》，2004 年出版的《洁净手术部建设实施指南》一书第 5.1.3 节给出了负压手术室的建设要求，指出“负压手术室应自成一区，有独立出入口，并与手术部外建筑通道建立快捷联系；负压手术室布置应洁污分流，配备专用的无菌储物间、冲洗消毒间以及清洁通道；负压手术室与洁净手术部内洁净通道应设分隔门及缓冲室，以便于对负压手术室隔离封闭。”<sup>[3]</sup>。

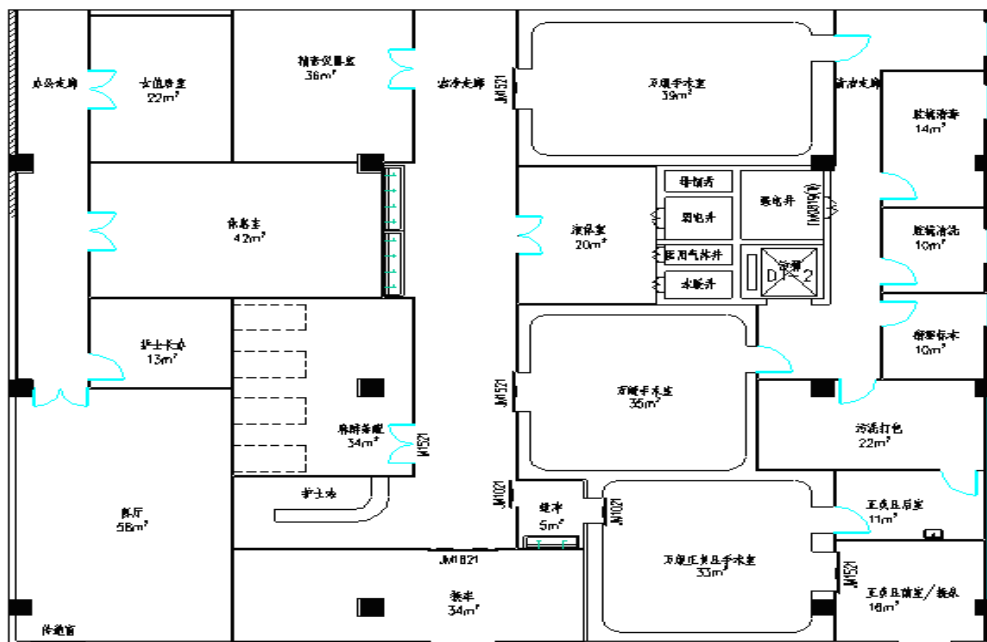


图 3 某医院洁净手术部建筑平面布局图

负压手术室是为传染病患者进行手术的手术室，为有效控制病原微生物的传播，应考虑源头控

制,将污染局限于某一特定区域,建筑平面布局的设计原则为:(1)负压手术室应位于手术部的一端,尽可能自成一区,有独立出入口,以局限污染,方便封闭隔离;(2)负压手术室应设缓冲间,减少开门时对手术室负压的影响。

图3给出了某医院洁净手术部(内含一间正负压转换手术室)建筑平面布局图,从图中可以看出该医院正负压转换手术室的工艺平面布置设计符合上述设计原则要求。正负压转换手术室与洁净走廊之间设有前室缓冲,医护人员由洁净走廊经前室缓冲进入正负压转换手术室,普通患者从正下方的换车进入洁净走廊,然后进入手术室;传染病患者从右下方的正负压前室/换床进入正负压转换手术室,很好的实现了传染病患者与普通患者的分离,可有效避免交叉感染。

#### 4.2 净化空调系统设计

正负压转换手术室的正负压适用范围不同:正压状态适用于洁净的空调区,不允许外界污染源进入洁净区域,并且需要洁净且无菌的空气及时补充进该区域来维持其正压状态;负压状态适用于易受污染的空调区,该区域不允许受污染的空气直接外排,以避免造成二次污染,需要将空气净化后再进行排放,且始终保持该区域的负压状态。正负压手术室中负压状态是切断空气、飞沫传染的重要手段,主要适用于传染疾病、特殊感染手术和患者不能进行卫生处理的急救手术。负压手术室必须利用空调系统调节排风量与新风量的差值,以保证室内气压处于负压状态,避免室内被污染空气不经处理直接流至室外,形成新的传染源。

负压手术室室内回风含有传染性病原微生物,为防止污染物扩散传播,正负压转换手术室应设置一套独立的净化空调系统,避免与其他区域共用一套空调系统而引起交叉污染。正负压转换手术室仅在对烈性传染病患者进行手术时,需要全新风工况运行,全新风净化空调系统能耗较大,运行成本高昂,最大限度地节约能源刻不容缓;对于一般传染病患者,尤其是非呼吸道传播的传染病患者进行手术时,应采用带部分回风的负压工况运行;对非传染病患者即正常患者进行手术时,应采用带部分回风的正压工况运行。由文献[4]的研究成果可知,当在回风口上安装无泄漏排(回)风口装置(内装有B类及其以上高效过滤器)时,负压隔离病房可采用循环风。负压手术室在生物安全要求上并不比负压隔离病房严格,可采用循环风,但应在其顶棚排风口入口及室内回风口入口处设高效过滤器。

由于正负压转换手术室是正压手术室与负压手术室的集成,所以在考虑其净化空调系统时,应综合考虑正压、负压两种工况。负压状态下为保护室外周围环境,避免污染物外泄引起院内、外感染,

应在室内排风入口处设高效过滤器;另外,为保护手术室内医护人员,避免因室内空气循环引起的污染物浓度升高,应在室内回风入口处设高效过滤器,由于高效过滤器阻力较大,当在室内回风入口处设高效过滤器时,会加大风系统阻力,为保持室内送风量不变,净化空调系统风机能耗加大。正负压转换手术室仅在传染病流行期间或为传染病或者进行手术时,才需负压运行,即更多时间是处于正压运行状态。正压状态运行时,室内并无传染性病原微生物,为节省能耗,无需在室内排风、回风入口处设置高效过滤器。由于正负压手术室设置一套净化空调系统,共用一套排风口、回风口,在正、负压状态切换时不可能人为去拆除、安装回排风高效过滤器,故应考虑将排风口、回风口分为两部分,一部分不装高效过滤器供正压状态下使用,另一部分加装高效过滤器供负压状态下使用。一般情况下,手术室内手术患者头部的顶棚处设有一个排风口,以排除室内异味和麻醉气体,此排风口排风量一般不大(标准要求 $\geq 200\text{m}^3/\text{h}$ ),且一般单独设置排风机,配中效过滤器和止回阀,故对此排风口一分为二(一部分加装高效过滤器,另一部分不设高效过滤器),节能意义不大。手术室内侧墙处往往设有四个甚至更多回风口(回风口个数与手术室级别有关),且运行风量较大,对这些回风口进行正负压运行状态的区分,一部分回风口加装高效过滤器供负压状态下使用,另一部分不设高效过滤器供正压状态下运行,节能意义显著。

综上所述,正负压转换手术室净化空调系统的设计原则为:

(1)正负压转换手术室必须采用一套独立的净化空调系统,避免与其他区域共用一套空调系统而引起交叉污染;

(2)正负压转换手术室净化空调系统应能在“正压手术室”与“负压手术室”两者之间自由转换,两种运行工况下均应满足污染控制要求。即正压工况运行时保护手术室内环境不受周围环境的污染,负压工况运行时保护手术室外环境,避免传染性气溶胶的外泄。

(3)新风口和排风口要有一定距离,严防排风口空气泄漏导致新风口的空气污染;

(4)回风应选用下回风方式,对烈性传染病应能转换到全排风、全新风;

(5)排风口应远离人群和通风窗口的安全地带,排风入口需安装高效过滤器,并且采用零泄漏动态气流密封的排风装置或可以扫描检漏的风口,确保环境不受污染。

(6)应在部分回风口上加装高效过滤器,另一部分未设高效过滤器的回风口供正压状态下使用,与这两部分回风口相连的回风支管上均设密闭阀,

可在正负压状态下进行相应切换控制。

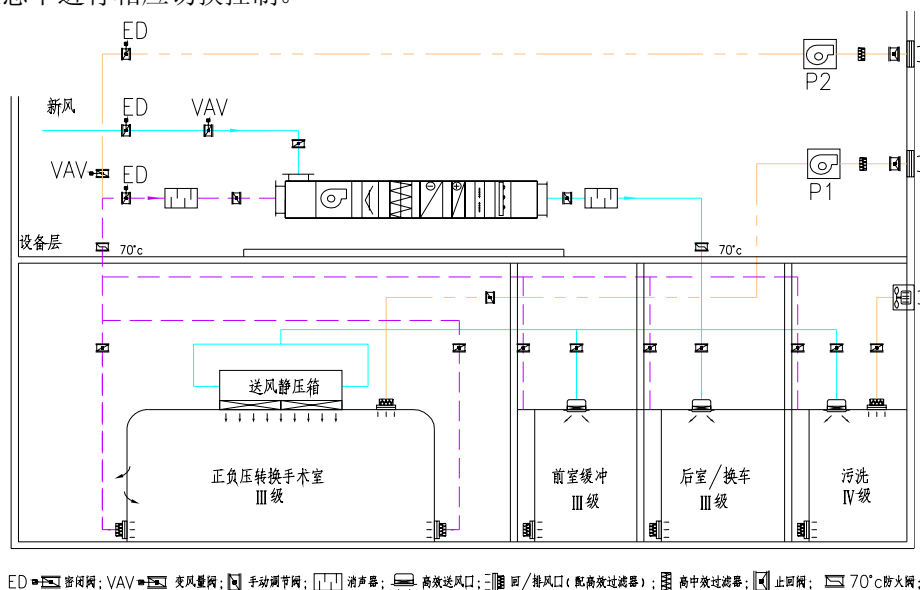


图 4 某医院正负压转换手术室净化空调系统流程图

图 4 给出了符合上述设计原则要求的某医院正负压转换手术室净化空调系统流程图，图中 P1 排风机在正负压工况下均运行，P2 排风机仅在负压工况下运行，对烈性传染病患者进行手术时，回风总管上的密闭阀关闭，转换为全新风工况运行。

#### 4.3 排风无害化处理

正负压转换手术室在负压工况下运行时，室内往往含有病原微生物，为防止室内污染源泄漏至室外周围环境，应对排风进行过滤处理，尤其是对烈性传染病患者进行手术室，必须进行排风高效过滤处理，不能仅仅采用高空排放。排风系统的过滤器安装位置应合理，便于进行检漏和更换；不应把高效过滤器安装在排风机的正压端，因为这样既不能保护排风机，又不满足污染的排风段应保持负压的要求。

GB 50686-2011《传染病医院建筑施工及验收规范》对负压隔离病房的排风高效过滤处理进行了规定，指出“排风高效过滤器的效率不宜低于 B 类。”、“排风高效过滤器的安装应具备现场检漏的条件；否则，应采用经预先检漏的专用排风高效过滤装置。排风口应高出屋面不小于 2m，排风口处应安装防护网和防雨罩。”<sup>[5]</sup>，正负压转换手术室的排风过滤处理可参照执行。

有关排风高效过滤器现场安装与检漏的具体

技术措施在 GB50346-2011《生物安全实验室建筑技术规范》<sup>[6]</sup>、GB19489-2008《实验室 生物安全通用要求》<sup>[7]</sup>中已有详尽叙述，两项国家标准均明确提出必须对高等级生物安全实验室排风高效空气过滤器进行“原位消毒”和“检漏”要求。对高效过滤器进行原位消毒可以通过高效过滤单元产品本身实现，也可以通过送排风系统增加消毒回路设计来实现。原位检漏指排风高效过滤器在安装后具有检漏条件，检漏方式尽量采用扫描检漏，如果没有扫描检漏条件，可以采用全效率检漏方法进行排风高效过滤器完整性验证。排风高效过滤器新安装后或者更换后需要进行现场检漏，检漏范围应该包括高效过滤器及其安装边框。

因我国可原位消毒、检漏的排风高效过滤装置的研发相对较晚，最初国内大多选择国外知名品牌（Comfil、Flanders 等）的袋进袋出式高效过滤装置(BIBO, Bag in Bag out)，该装置安装于风管，后来出现了可安装于排风口的风口式高效过滤装置。

国内最近几年也研发出一些相对成熟排风高效处理装置，如无泄漏动态气流密封排风装置，并已广泛应用于传染病医院负压隔离病房建设中<sup>[8]</sup>，如图 5 所示。





风机 P2 运行, 其排风管上的密闭阀打开, 根据手术室内压力传感器, 调节 P2 排风机所连接的排风管上的变风量阀, 对室内静压差进行控制; 根据设置在 P2 排风主管上的压力传感器调节排风机变频器, 以适应排风高效过滤器阻力的变化。注意全新风工况运行时, 应关闭回风主管上的密闭阀。

(4) 正负压转换手术室净化空调系统的排风机应与送风机连锁, 负压工况运行时, 排风机先于送风机开启, 后于送风机关闭, 正压工况运行时连锁顺序与负压工况相反。

(5) 对净化空调系统上的各级空气过滤器设置压差报警, 送风高效过滤器、排风高效过滤器可各取一个过滤器作为代表, 设置压差报警。

(6) 空调系统的电加热器应与送风机连锁, 并应设无风断电、超温断电保护装置, 并具备超温报警功能。

## 5. 结论

本文对正负压转换手术室的建筑平面布局设计、净化空调系统、自动控制系统设计进行了研究, 结合案例给出了正负压转换手术室工艺平面设计图、净化空调系统流程图、自动控制系统原理图。核心结论汇总如下:

(1) 正负压转换手术室应自成一区, 有独立出入口, 手术室与洁净手术部内洁净通道应设缓冲室。

(2) 正负压转换手术室必须采用一套独立的净化空调系统, 应能在“正压手术室”与“负压手术室”两者之间自由转换。

(3) 正负压转换手术室的排风应经高效过滤处理后排放。

(4) 正负压转换手术室净化空调系统的排风机应与送风机连锁, 负压工况运行时, 排风机先于送风机开启, 后于送风机关闭, 正压工况运行时连锁顺序与负压工况相反。

## 参考文献

1. 中华人民共和国卫生部. 医院洁净手术部建设标准[S]. 北京: 限内部印发, 2000
2. 中华人民共和国卫生部. GB50333-2002 医院洁净手术部建筑技术规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2002
3. 许钟麟, 梅自力, 于冬. 洁净手术部建设实施指南[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 56-57, 325-373
4. 王荣, 许钟麟, 张益昭 等. 隔离病房应用循环风问题探讨[J]. 暖通空调, 2006, 36(10)
5. 中国建筑科学研究院. GB50686-2011 传染病医院建筑施工及验收规范[S]. 北京: 中国建筑工

业出版社, 2011

6. 中国建筑科学研究院. GB50346-2011 生物安全实验室建筑技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012
7. 中国合格评定国家认可中心. GB19489-2008 实验室生物安全通用要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009
8. 梁磊, 刘华. 某负压隔离病房通风空调设计[J]. 暖通空调, 2007, 37(5): 89-92