

武汉火神山医院暖通空调设计干货全在这里

01PART 项目概况

武汉火神山医院总床位数 1000 床(其中 ICU 中心床位数为 30 床),由 1 号楼与 2 号楼组成。

1 号楼为单层建筑,由 9 个单层的护理单元、医技楼及 ICU 中心组成,每个护理单元设 24 间病房。病房楼为集装箱结构,中心区域为防护区,分为清洁走廊(清洁区)与护士走廊(潜在污染区)。指廊区域为病房区,分为医护走廊(半污染区)、病房(污染区)与病人走廊(半污染区)三个区。

1 号楼内的医技楼设一间标准Ⅲ级手术、负压检验室与三间 CT 室。ICU 中心设于 1 号楼与 2 号楼之间。医技楼与 ICU 中心为钢结构板房。

2 号楼为两层建筑,分 4 个组团,由 8 个护理单元组成,每个护理单元设 24 间病房。其清洁走廊与护士走廊的配置模式与 1 号楼相同,只不过为单边配置。病房区的配置模式与 1 号楼相同。

室外氧气站房、负压吸引机房、垃圾暂存间、尸体暂存间及焚烧炉设于场地东南角。

建筑平面总体布局 ▼



设计依据及设计原则 02PART

本项目为临时应急型传染病医疗建筑，主要执行的规范为《传染病医院建筑设计规范》GB50849-2014、《医院负压隔离病房环境控制要求》GB/T35428-2017、《综合医院建筑设计规范》GB50139-2014。设计的重点及优先级如下：1、保证各功能区之间压力关系正常，防止交叉感染（关于交叉感染，因本医院收治的是同一类病人，将医患之间的交叉放在首位，“患患”之间的交叉通过细化分区实现），其优先级是首先保“质”，也就是压力梯度的关系要对，其次保“量”，也就是压差关系的数值要基本符合规范要求。2、污染物集中高空排放，集中排风应经过初、中、高效三级过滤。3、要综合考虑

系统的可快速建设性，设备的可得性、可维护性及操作的低风险性。不能设计出一个不可实施、难以维护的系统。4、室内温度要基本达到标准规范要求（病人是弱者）。5、防排烟系统按被动技术考虑，采用自然排烟；对于内走廊（一般为医护工作区、病人不可到达），借用消防避难走廊的模式，采用正压送风（由直流新风系统兼用）。同时提出管理上的建议与要求：如明确标识所有可手动开启的外窗，配置适当数量的安全锤，便于破窗排烟。6、因本项目的特殊性，采用了新风电加热、围护结构保温（集装箱体传热系数约为 $1.0\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{k}$ ，但地面架空层保温性能较差）等不能完全满足节能标准方面的要求。另外，还有最重要的一点，项目要求在 6 天内实施完成，建设工期超短，且处于春节长假期间，施工单位能采买到哪类设备和材料，哪些设备的材料是必须要采买到的，哪些是不可能短时间内买到的，这其实在很大程度上左右了技术选择的方向，比如无法买到常规设计中要用到的 2000 多个高效过滤风口、定风量阀及电动控制阀门。

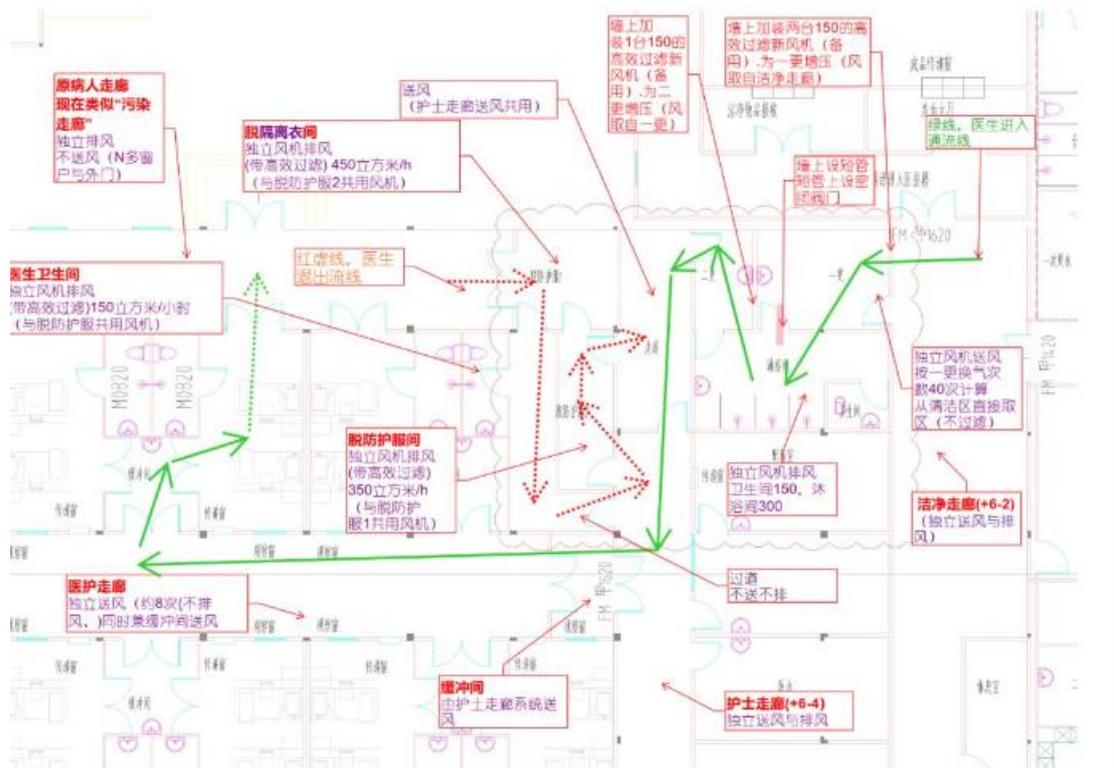
病房、ICU ▼



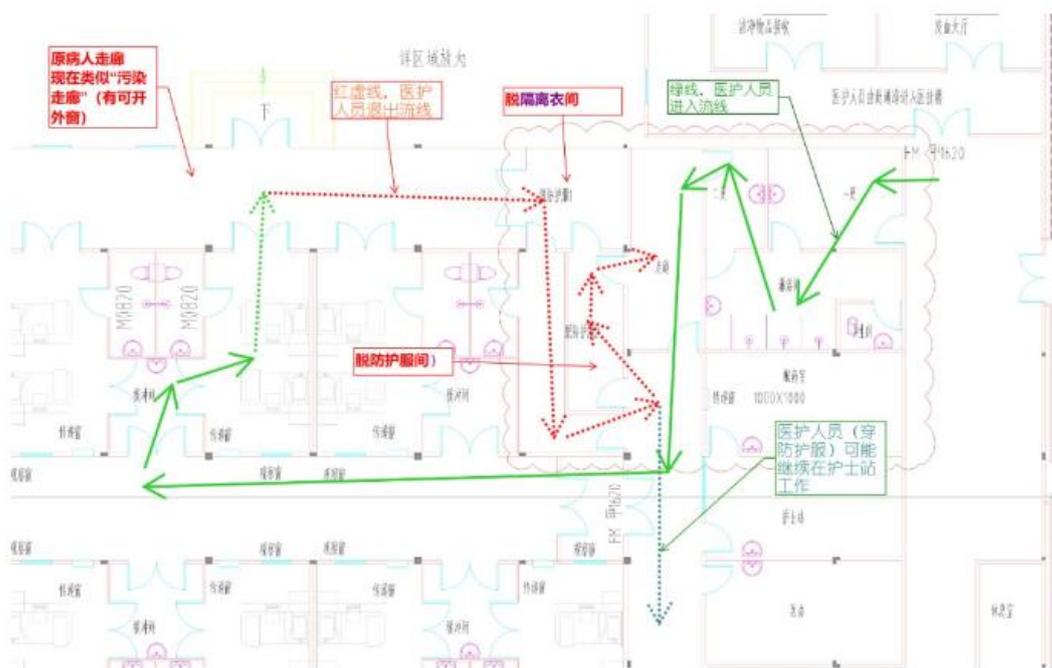
03PART 通风系统

1、医护人员流线及通风系统总览

病房楼设计总览 ▼



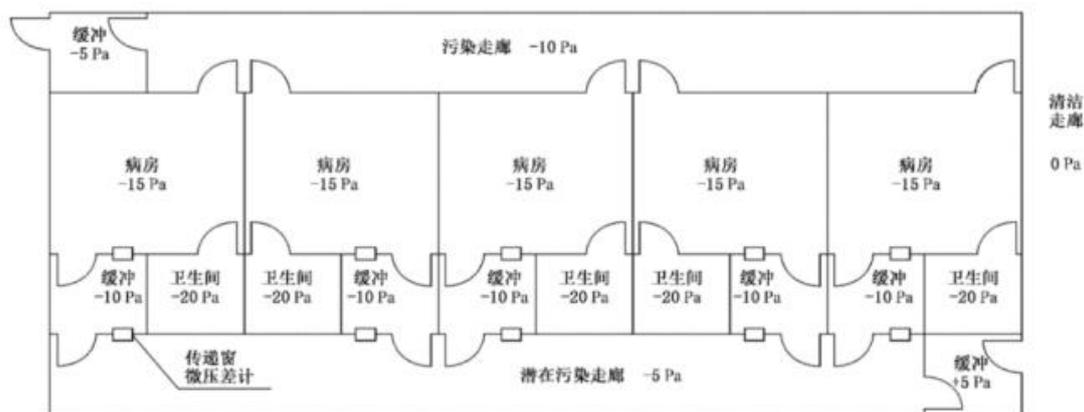
经管理方最终确认的医护人员进入及退出流线 ▼



上方流线图中，右侧区域为防护区，其中心为清洁走廊及办公区。理论上，此区域内医护人员是可以只穿工作服的；与指廊病房相邻的一侧为护士走廊，此区域内医护人员必须穿防护服；指廊部分为各病房护理单元，医护人员在此工

作区内除了穿防护服外,外面还要穿一层隔离衣。病房护理单元又分为三个区:内走廊为医护走廊,为潜在污染区,病房为污染区,外走廊(病人走廊)最初的设想是从管理的角度设一层开敞围廊,后更改为医生进入病房后的退出通道(管理方认为,只要医护人员进入了病房,就被污染,不能原路返回,应该脱掉最外层的隔离衣后才能走入护士走廊),病人走廊区域实为半污染走道,管理方按可开启空间考虑。在此区域,设计中采用带高效过滤的新风机对外排风(因采购周期不允许采购送风机与排风机)。下图为《医院负压隔离病房环境控制要求》GB/T35428-2017 中的标准模式。与此相比,武汉火神山医院在清洁区与潜在污染区之间另设了一个“潜在污染区”,也就是护士走廊,形成了 4 廊:清洁走廊、护士走廊、医护走廊、病人走廊(污染走廊); 3 区:清洁工作区、医护办公区(穿隔离服)、病房工作区(穿隔离服与隔离衣)。

典型传染病房压力梯度要求 ▼



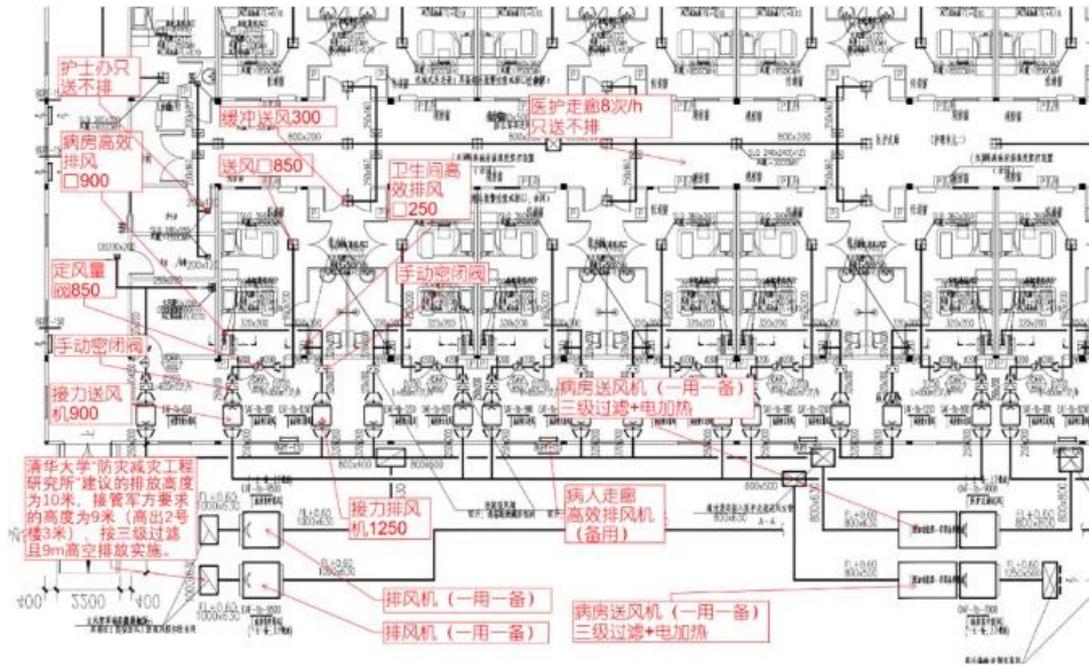
需要特别说明的是,本医院医生进出病房区域的“卫生通过”为同一个口部,与很多主流“进出分设”做法不一致。关于“卫生通过”口部,通风系统借用了人防工程“防毒通道”口部的做法,同时为保证气流从一更流向二更,另设了部分高效新风机作为风机“接力”(单台风量 $150\text{m}^3/\text{h}$),其作用相当于定风量阀,并可通过开关来调节一更与二更之间的压力差。2、病房通风通过与

管理方几轮讨论和调整，在满足危重症病人、重症病人救治和考虑设备的可采购性、系统的可维护性情况下，火神山医院的病房分为三类：30床的ICU病房，严格按国家相关规范执行；48间标准负压隔离病房；分区负压隔离病房。

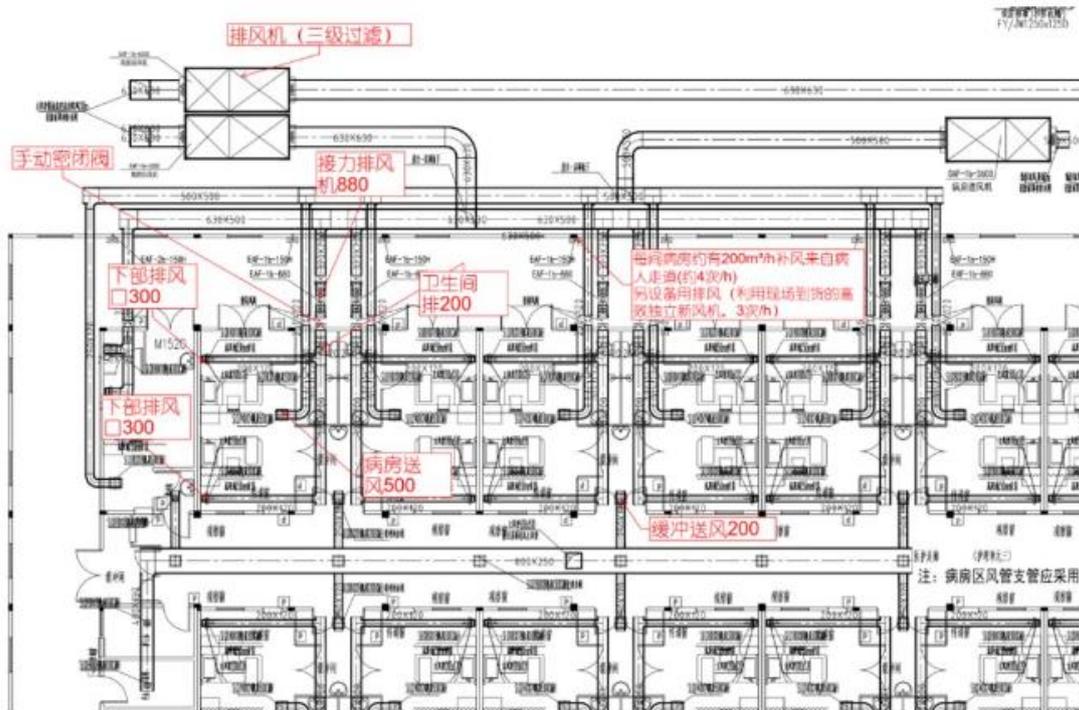
表 1 病房区通风系统配置表

| 功能区 | 房间名称 | 排风 | | 送风（直流新风） | | 要点说明 |
|-------|-----------|--|--|--|--|---|
| ICU中心 | ICU 30床 | 1)60000m ³ /h(含ICU 辅助用房)； 2)24次/小时。 | 1)床头设备带低位排风； 2)机组集中过滤（G4F7H13）。 | 1)直流全新风空调系统； 2)30000m ³ /h； 3)12次/小时。 | 1)高效送风口H13(机组G4+F8)。 | 1)800m ² ； 2)整个ICU设置三台风冷热泵机组(供热量3X140kW)。 |
| | 标准负压隔离病房 | 1)房间 900 m ³ /h； 2)卫生间 250m ³ /h； 3)总计排风量 1150 m ³ /h； 4)16次/小时。 | 1)排风口采用高效过滤风口（H13），均设于底部； 2)每间设接力排风机； 3)排风支管设手动密闭阀门。 | 1)房间 850 m ³ /h； 2)12次/小时。 | 1)送风口设于病房入口顶部； 2)每间设接力送风机，定风量阀； 3)送风支管设手动密闭阀门。 | 1)排风机与送风机集中设于室外地面，高空排放（9米）； 2)送风机设三级过滤与电加热； 3)每6间房一个系统； 4)送风机与排风机均采用一用一备配置。 |
| 病房区 | 分区负压隔离病房 | 1)房间 600 m ³ /h； 2)卫生间 200m ³ /h； 3)总计排风量为 800 m ³ /h； 4)12次/小时。 | 1)排风口为普通风口； 2)均设于底部，每间设接力排风机； 3)排风支管设手动密闭阀门。 | 1)房间 500 m ³ /h； 2)8次/小时。 | 1)送风口设于病房入口顶部； 2)送风支管设手动密闭阀门。 | 1)排风机与送风机集中设于室外地面，高空排放（9米）； 2)送风机与排风机均设初、中、高效三级过滤，送风机设电加热； 3)每6~12间房一个系统； 4)送风机与排风机均采用仓库备份(屋面承重不足、地面安装空间有限)。 |
| | 医护走廊（内走廊） | 1)不设。 | 1)不设； 2)有24扇开向病房的双开门。 | 1)8次/小时； 2)约25 m ³ /(m ² ·h)。 | 1)走廊与病房入口缓冲间同时送风。 | 1)送风机设于室外地面； 2)送风机均设初、中、高效三级过滤与电加热； 3)系统按护理单元划分。 |

标准负压隔离病房设计总览 ▼



分区负压隔离病房设计总览 ▼



卫生通过通风设计总览 ▼

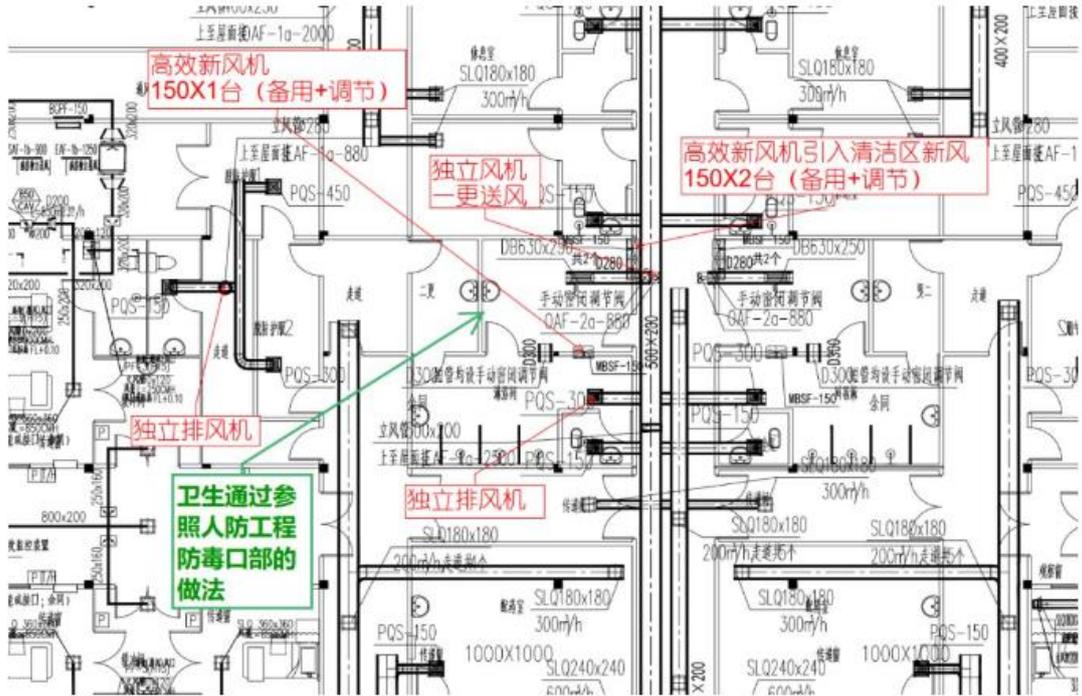


表 2 医生防护区通风系统配置表

| 功能区 | 房间名称 | 排风 | 送风（直流新风） | 要点说明 |
|-----|-------------|--------------------------------|------------|---|
| 防护区 | 清洁区（清洁走廊） | 1) 2~3 次/小时； 2) 2 号楼外门外窗很多。 | 1) 6 次/小时。 | 1) 排风机与送风机集中于室外地面，低位进风，高位排放； 2) 送风机设三级过滤与电加热； 3) 每个单元为一个系统。 |
| | 潜在污染区（护士走廊） | 1) 3~4 次/小时。 | 1) 6 次/小时。 | 1) 排风机与送风机集中于室外地面，低位进风，高位排放； 2) 送风机设三级过滤与电加热； 3) 每个单元为一个系统。 |

| | | | | | |
|-----------------|----------------------------------|--------------------------------|--|--|--|
| 卫生通过区（清洁区至护士走廊） | 1)淋浴间与卫生间设独立排风； 2)风量按风平衡计算确定。 | 1)风机设于屋顶。 | 1)一更设独立送风机送风，风量按“一更”换气次数40次计算（风源取自清洁走廊）。 | 1)另设两台150 m ³ /h的高效（H11）壁挂新风机给一更增压，作备用调节之用。 | 1)参考人防口部防毒通道的做法，并设相应通风短管与紧急关断阀门； 2)壁挂新风机作为调节，类似定风量阀的功能。 |
| 卫生通过区（污染区至护士走廊） | 1)800m ³ /h。 | 1)脱隔离服间、脱防护服间及卫生间设排风系统，共用一台风机。 | 1)短走道（缓冲）的送风量由风平衡计算确定。 | 1)进出通过处短走道（缓冲）设送风； 2)送风由护士走廊系统兼用。 | 1)独立风机设于屋面； 2)排风机设初、中、高效三级过滤。 |

医护走廊对病房压差（15Pa>国家标准10Pa，符合动态运行要求）▼



病人走廊对病房压差（6Pa>国家标准5Pa）▼



04PART 空调及卫生热水系统

1、病房楼与医生防护区均按房间设热泵式分体空调器，室外机安装于屋顶或地面。2、医技楼的手术室及 ICU 楼，严格按国家相关标准执行，设置热泵式净化空调系统，在风量的取值中，额外增加 20~30%的安全系数。3、卫生热水全部采用分散式电热水器。

室外风管 ▼





05PART 医用气体

1、设氧气与负压吸引两类医用气体，各按一个集中的站房设计。2、每床呼吸机用氧气流量为 90L/min，约为常规病房用量的 10 倍，总的满负荷流量为 4666m³/h；设 8 台单罐为 10 m³的卧式液氧罐(为市面上能找到的液氧罐，并满足基地基础的承重要求)，总计 80m³，罐体设计承压为 1.0MPa；单罐运行重量为 18 吨（空罐重 6.3 吨），80 m³的液氧可供整个医院满负荷使用约 12 小时，液氧的补给由槽车完成。3、液氧站设两台气化器，一用一备，单台气化器额定流量为 5000m³/h，设备重 5.6 吨，工作工况重量约为 20 吨，平面尺寸 3.1mX3.4m，高约 8.7m，基础设计至关重要。4、液氧站内罐体及气化器的基础设计相当关键，因液氧站所在位置为鱼塘回填区域。5、负压吸引系统设 12 个真空罐与 12 台爪式真空泵组成 4 套系统，2 用 2 备，单泵功率 7.5kW，尾气经初中高三级过滤，并由真空泵产生 200℃的高温杀菌后排入大气。

氧气站房 ▼



06PART 防排烟系统

1、因本项目为临时建筑，层高极低且建设工期短，通风与防排烟系统以自然排烟为主，无法采用机械排烟。2、清洁走廊、护士走廊与医护走廊单位面积的送风量在 $20\sim 30\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 之间，与现行防排烟规范中对避难走道要求 $30\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 正压送风量接近；可以将各走道的新风系统作为加压送风系统，起到防烟的作用。3、病人走廊为外走廊，可利用外窗开启自然排烟。4、在管理上建议明确标识所有可手动开启的外窗（有些外窗因管理需要，已经封为固定窗），并配置适当数量的安全锤，便于破窗排烟。



07PART 控制

1、ICU 及手术室严格按相应规范规程设计自动控制系统。2、风机开机顺序：病房排风机-->半洁净区(医护走廊)的送风机-->清洁区送风机-->病房送风机。关机顺序与开机顺序相反。3、病房排风机与送风机联锁：病房排风机开启后 方能开启病房送风机（电路联锁）；病房排风机停机后触发声光报警装置,并停止病房送风机。4、病房主排风机设置过滤网压差在线检测，超压时联锁启动声光报警装置。5、控制医疗护理单元内压差梯度关系（负绝对压差数值）：病房及其卫生间 < 缓冲间 < 医护走道（气流压差渗透起点）；各不同压力环境分隔处（高压侧）设具备超压报警功能或接口的机械式压力表。6、医患接触的“前线”区域医护走廊内不设排风系统，杜绝误操作形成压差反向事故（目前测试表明，医护走廊与病房之间的压差关系最为清晰）。7、系统调试及运行时，视清洁区与护士走廊内集装箱体的密闭性，确定是否开启相应区域的排风

机。8、卫生通过区域为“清区”与“污区”的最重要防线，设计上采用了多台风机，通过开关的模式调节相应的压差关系。9、为减少风系统平衡调试，同一个风管系统中尽量让所有病房支风管等长，实现自然平衡。

10、送风电加热器采用三档手动调节。

08PART 总结与优化

1、医护走廊的送风宜设备用系统为好，或为病房的送风系统可切换到给医护走廊送风创造条件，这样确保“最前线”的安全。2、病房排风可设一个于床头，这样可较大减少风管的工程量，管线交叉作业也少，可加快施工进度。3、为降低噪音，也为便于自然平衡，加大了主风管的规格，增加风管的工程量，主风管增加的度值得研究。

09PART 设计团队及鸣谢

在中信设计副总工程师陈焰华的调配下，暖通专业组成如下“战队”，圆满完成设计任务：雷建平、陈焰华、李军、徐付民、曾永攀、印传军、王疆、夏旭辉、郑玉涛、张再鹏、张从丽、董剑、潘际淼、胡磊、汪庆军。设计分负责人雷建平现任中信设计建筑科学研究院负责人、正高职高级工程师、注册公用设备（暖通空调）工程师、计算机高级程序员。为武汉市政府专项津贴专家，入选武汉市“黄鹤英才计划”优秀创新创业人才库，荣膺首届“中国地源热泵行业优秀设计师”称号，兼任武汉制冷学会秘书长。在整个设计过程中，得到了如下专家的无私支持和帮助，在此表示诚挚感谢：林向阳 中国中元国际工程有限公司医疗一院总工程师；赵文成 中国中元国际工程有限公司首席暖通专家；李著萱 中国中元国际工程有限公司顾问总工程师；黄 中 中国中元国际工程有限公司民用建筑一院机电所暖通总工程师；余俊详 浙江大学建筑设

计研究院有限公司第一建筑设计院副院长；沈逸赓 北京市建筑设计研究院第五设计院机电所所长；杨红 北京市建筑设计研究院第五设计院高级工程师。

本项目重症监护中心（ICU）及手术室由武汉华康世纪医疗股份有限公司负责深化设计与施工，在项目实施过程中，项目团队与我们携手同行，并肩战斗，圆满完成各项任务。在此，对专业团队表达诚挚的敬意，他们是王海、谢忠辉、闫田、江叔中、王学磊、李良华、陈远、孙梦娇、杨龙、王腾、李纯、曹磊。

武汉火神山医院医用气体工程及医疗设备带由武汉科贝科技股份有限公司承担深化设计与施工，在项目实施过程中，项目团队与我们携手同行，克服困难，完成各项工作任务。在此，对医用气体工程团队技术总监刘卫斌高级工程师、项目经理刘松宇工程师表达诚挚的谢意。本项目的建成，更离不开中建三局、武汉建工、武汉华胜工程建设等施工与监理企业的竭力付出，也离不开像美的、格力、重庆海润节能等无偿为本项目捐赠设备、有社会担当的企业的支持，这样的企业还有很多很多。