

## 关于我国负压隔离病房建设的思考和建议

中国建筑科学研究院 曹国庆 梁磊

**摘要** 近些年来负压隔离病房的建设在我国发展很快，但由于我国一直没有负压隔离病房的规范标准，负压隔离病房的设计和建造不可避免地存在一些问题。本文主要介绍了我国负压隔离病房建设中存在的问题，并对负压隔离病房的设计和施工提出了建议，结合实际案例进行了说明，希望能对我国负压隔离病房的建设有所裨益。

**关键词** 负压隔离病房 传染病 通风空调 设计

### 1. 引言

近年来，用于负压隔离病房的研究和建设在我国正逐步发展起来。负压隔离病房主要用于隔离患有呼吸系统传染疾病的病人，此类病人的病菌可以通过人的呼吸、飞沫和空气等非直接接触途径进行传染，必须通过维持室内负压以防止室内污染空气向外扩散而造成区域性传染。

目前人类所面对的各类传染病（Infectious Diseases），均为由各种病原体引起的能在人与人、动物与动物或人与动物之间相互传播的一类疾病。自从人类出现，传染性疾病便随之出现，综观人类发展历史上历次重大的传染病大流行事件，都给当时的人类社会带来了无法弥补的严重损失，无不显示出人类在面对寄生性生物入侵时的脆弱无助。“传染病过去是，而且以后也一定会是影响人类历史的一个最基础的决定因素”（威廉姆·麦可尼，《瘟疫与人》）。

据悉，每年有超过 1500 万人死于传染病，其中 80% 以上发生在包括中国在内的发展中国家。另根据一份世界银行的报告《为健康投资》提供的资料，1990 年死于传染病的全球死亡人数达 1669 万，占总体死亡人数的 34.4%，而死于战争的人数仅为 32 万，占 0.64%。死于传染病的人数是死于战争人数的 50 多倍。

有人认为，随社会发展和科学进步，伴随着细菌学、流行病学的不断突破和公共健康体系的逐步完善，历史上曾经是横行一时、被认为是绝症的一些传染病如天花、肺结核、鼠疫等已经被人类消灭或基本上得到了控制。但是，近年来的种种遭遇表明：21 世纪，传染病依然存在！

首先，即使传染病在发达国家已经得到了一定的控制，但是在发展中国家，传染病仍然在为害人类的健康。每年全球死亡人口中大约有 1/4 是死于传染病。随着这个世界全球化进程的不断加速，国际间的交流与人际往来越来越频繁和密切，给传染病的传播提供了更加广泛的平台。

其次，过去已经控制的疾病如霍乱、鼠疫、疟疾、肺结核和白喉等开始重新出现。1993 年世界卫生组织就曾经宣布肺结核成了全球危机，因为肺结核的发病率不断上升，在我国，肺结核发病率也为位居传染病之首。另据报道，今年在我国局部地区也出现了霍乱个案，再次为防御传染疾病敲响警钟。

第三，一些“新”的传染病陆续粉墨登场。2003 年，一场突如其来的 SARS 忽然让人们感受到疾病对健康、经济增长甚至社会秩序的威胁。紧随其后的禽流感、甲型 H1N1 流感等也都严重威胁人类生命与全球经济的发展。

在我国（尤其是农村地区），由于人口众多，卫生条件及生活习惯不佳，传染病一直严重影响着人民的生活生产。2009 年，我国内地报告事件数较 2008 年同期上升 8.85%，病例数上升 64.98%，死亡数上升 140.19%（甲型 H1N1 流感作为 2009 年新发现的传染病，在全球及我国广泛流行，对突发公共卫生事件的总体水平产生较大影响）。报告事件数的上升主要与季节性流感报告事件数增加有关；报告病例数和死亡数上升主要与甲型 H1N1 流感有关。（摘自卫生部通报 2009 年我国内地突发公共卫生事件信息）。

就北京地区为例，根据北京疾病预防控制中心（CDC）的统计显示，2010 年北京地区

乙类传染病共计 89729 例，丙类传染病 68642 例，全年传染病患者达 15.8 万人！近两年由于甲型 H1N1 流感的爆发，虽然在我国已得到有效控制，但传染病患例较往年依然有所上升。

通过 SARS、甲型 H1N1 流感等传染病的肆虐过程可以反映出中国公共卫生体系存在的巨大压力。中国曾经被称为发展中国家公共卫生的样板，但是近 20 年来，中国的公共卫生体系已经成为可持续发展和全面建设小康社会的“软肋”：

1、由于人口众多，面对大规模流行性传染病爆发时的就医压力巨大；

2、医疗资源相对稀缺、受经济条件所限，应对传染病的基础建设还尚待完善；

3、在传染病房尤其是有较高技术要的隔离病房建设上，缺乏统一的规范标准和工艺要求。

负压隔离病房是一个复杂的系统建设，投资立项、选址、设计、施工、验收等各环节均需要谨慎全面的考虑和专业的技术知识力量配合，目前各地只是根据各自的经济条件、思想意识和相对有限的技术知识水平进行建设，因此建设水平参差不齐，应对突发事件的能力有限。

总之，传染病尤其是烈性传染病严重影响着人们的身体健康、经济发展、国家安全和社会的稳定，而我国又不得不时刻准备着应对各种可能发生的传染病的肆虐，因此，我国公共卫生体系的建设是刻不容缓的。而作为应对传染病控制关键环节之一的负压隔离病房的建设，也应被有关部门提到更高的高度上来。

## 2. 现状及问题

根据国家建筑工程质量监督检验中心净化检测室对国内多家传染病医院负压隔离病房的工程检查、检测及诊断，我们发现国内负压隔离病房的建设存在诸多问题，集中体现在规范标准欠缺、设计不规范，施工质量不高及验收标准不全等方面。

### 2.1 规范、标准

目前我国已逐步认识到传染病控制措施的重要性和必要性，各地自 2003 年 SARS 肆虐之后均开展了不同程度的公共卫生体系的新（改扩）建活动，包括传染病医院门诊楼、负压手术室、负压隔离病房的建设，这为成功

应对 2009 年突发的甲型 H1N1 流感打下了坚实的基础。多地在 SARS 之后新建或改建的隔离病房在甲型 H1N1 流感爆发时都起了至关重要的作用。

然而，但由于各地隔离病房建设规模、标准不一，从硬件设施到隔离理念上也存在着较大差异，因此不同隔离病房的使用效果也有可能有天壤之别。究其原因，主要在于缺乏统一、专业的规范标准。

目前国内专门针对负压隔离病房的设计、施工规范依然处于报批阶段，该领域现行的设计及施工规范只能参考 GB50333-2002《医院洁净手术部建筑技术规范》、GB50073-2001 和 GB50591-2010《洁净室施工及验收规范》中相关条款，其中难免会出现对于“负压隔离病房”这一特殊领域的盲区。另外，从对公共卫生体系的监管角度来看，卫生部门也缺乏统一的国家级的对负压隔离病房建设配置的基本要求。

值得一提的是，2009 年 12 月发布且于 2010 年 7 月开始实施的北京市地方标准—DB11/663-2009《负压隔离病房建设配置基本要求》是目前国内在该领域较为成熟和领先的相关标准，对各地开展隔离病房建设起到了标杆作用，一直为各地相关部门所借鉴。

### 2.2 设计

如前所述，目前国内缺乏针对性较强的专业设计规范，同时各地设计单位对负压隔离病房的认识也有待提高。负压隔离病房在其平面布局、人流物流、通风空调系统、给排水系统等方面都有其特点。但一些设计单位缺乏基本的隔离理论知识，布局上未考虑分区（清洁区、潜在污染区及污染区），气流组织上未考虑单向流，压力梯度不明确等等。

例如，在对我国南方某传染病医院负压隔离病房工程的检查中发现，在该工程的设计阶段即存在较多重大问题：

1、通风和空调施工设计图内容表达不完整，缺少隔离病房和普通病房的室内参数要求，缺少必要的剖面图或说明，缺少对空调机组、阻毒排风装置、高效过滤器等设备的必要的技术要求和说明。设计不符合 2003 年 6 月 1 日起施行的中华人民共和国建设部《建筑工程设计文件编制深度规定》第 4.7 条对设计文件

深度的规定。

2、隔离病房回风口（段）未设计高效过滤器，系统排风机没有备用风机。

3、图纸的设计与施工说明中关于排风控制的描述：“排风机与净化空调机组联动，净化机组开启时，排风机随之开启，净化机组关闭时，排风机随之关闭”错误，如按设计方式运行，会导致开、关机过程中负压房间出现正压，致使污染物外泄。

4、污染走廊未设通风空调设施，不利于

形成有序的压力梯度。

5、用于收治疑似病人的病房缓冲间未设任何通风措施，难于形成必要的压力梯度，会导致致病微生物在楼内传播。

在北京某传染病专科三甲医院的设计中，有的新风口距相邻排风口不足 3m，且位于排风口上方（见图 2.2.1），有的新风取风口设在排水立管通气口附近（见图 2.2.2）。排水透气口位于新风口上风侧或距离过近，通气口散发的和排风口吹出的污气易被吸入到新风口。



图 2.2.1 新风口与排风口过近

可见，由于缺乏针对性强的专业设计规范标准，关于负压隔离病房建设的诸多设计要点往往被忽略，甚至会出现一些设计错误。

## 2.3 施工

### 2.3.1 空调设备

隔离病房系统不应采用现场拼装的机组，应采购正规工厂制造的整机。现场自行拼装的机组受工艺影响，漏风率大，过滤器、风机和电机无法维护和更换，无法满足工艺性空调的各项要求。

图 2.3.1~2.3.4 为某传染病医院负压隔离

图 2.2.2 新风口与排水透气口过近

病房系统所采用的现场拼装组合空调机组。该空调机组采用直接膨胀制冷，表冷器安装在室内空调机组机箱内，压缩机和冷凝器等置于室外机内，供热采用电加热器。所有空调机组壁板和框架均采用夹芯彩钢板和铝合金型材现场制作，工艺粗糙，机组在风机段和中效过滤段没有检修门，且机组直接利用机房地面作为机组底板。整体机组没有设备铭牌，未见整机合格证。无法更换过滤器，无法对设备进行保养和维修。机组的冷凝水排水管均未做 U 型返水弯。



图 2.3.1 空调机组构造



图 2.3.2 冷凝水排水管未作返水弯



图 2.3.3 风机铭牌



图 2.3.4 空调机组表冷器和电加热器

施工方单独采购风机、制冷设备、过滤器等部件，然后现场拼装而成，无整机合格证。不符合《手术部规范》1.0.5 的规定“洁净手术部所用材料必须有合格证或试验证明，有有效期限的必须在有效期之内。所有设备和整机必须有专业生产合格证和铭牌。”此外，机组在风机段和中效过滤段没有检修门，难于进行正常维修和保养，且机组直接利用机房地面做机组底板，无法排除清洗废水，不符合《手术部规范》

7.3.1 规定空调设备内部结构应便于清洗并能顺利排除清洗废水。

### 2.3.2 排风设备

常见问题有：排风机组拼装，难以满足工艺要求；排风机未做备用，一旦故障，负压房间将失去保障；排风机出口未安装防护罩（网），如图 2.3.5 所示，会导致雨水、异物、昆虫和小动物进入设备。



图 2.3.5 某传染病隔离病房屋顶排风机

### 2.3.3 风口及风管

风口常见问题：隔离病房内的高效过滤器排风位置与设计不符合，部分高效过滤器难于

更换，难于保证更换后不泄漏，不便于进行检查，排风口位置偏高。





图 2.3.6 病房排风高效过滤器安装位置不合理



图 2.3.7 病房排风高效过滤器安装位置过高

风管常见问题：对于洁净空调而言，风管漏风率的要求要高于普通空调，新的洁净室施工及验收规范中明确指出，空调管道应进行漏风检查，满足规范要求。

#### 2.3.4 围护结构

负压隔离病房对围护结构的密闭性要求较高，但一些隔离病房在建设时没有足够的认识。如图 2.3.8，某隔离病房首层吊顶内顶棚有多处密封不严，风道穿越壁板时出现缝隙，从吊顶内可见漏光。



图 2.3.8 顶板密封不严

密封不严问题会造成室内洁净度不达标或者致病微生物传播，《设计规范》5.3.7 条第

1 款强制规定：“洁净室门窗、墙壁、顶棚、地（楼）面的构造和施工和缝隙，均应采取可靠

的密闭措施”。

某些隔离病房的门或家具采用木质材料，如图 2.3.9 所示。窗为气密性较差的推拉窗。

一方面木质材料不能满足洁净区内的无菌要求，另一方面，此类门窗会导致围护结构的气密性较差。



图 2.3.9 病房木质门

围护结构不严密，还会导致压力梯度无法保证，不能形成有效的气流保护。

另外，在检查中我们还发现，一些地区在进行负压隔离病房建设时所采用的围护结构

材料未达到消防要求。图 2.3.9 为某地区隔离病房洁净室顶棚和壁板采用 50mm 厚聚苯乙烯夹芯彩钢板。



图 2 围护结构材质

依据《设计规范》5.2.4 强制规定“洁净室的顶棚和壁板（包括夹芯材料）应为不燃体，且不得采用有机复合材料。”因此该工程不符合消防要求。

### 3. 解决措施建议

由上可知，目前国内隔离病房建设中存在着诸多问题，设计、施工、验收等都急需统一规范的标准作为依据。即使在不久的将来，相关隔离病房设计规范或验收规范出台，也依然缺乏适合业主使用的指导性标准。

对于业主而言，隔离病房的设计或施工规范往往过于专业和复杂，对于非机电类相关专

业出身的医疗体系工作人员在理解和使用上有一定难度。

对于设计和施工单位而言，需要在达到规范要求 and 更好的理解业主需求，因地制宜满足不同地区不同层次的隔离病房建设之间做好平衡工作。

因此，相对简单明确，适合业主和承建单位使用的关于负压隔离病房建设配置基本要求的标准成目前国内隔离病房建设中继续解决的问题。业主可以将标准中的基本配置要求作为依据，对设计和施工单位进行监督，也可以作为卫生部门对本体系内隔离病房建设的

评价标准。

目前在北京市实施的 DB11/663-2009《负压隔离病房建设配置基本要求》正是在这样的环境下出台的,本标准是以动态隔离理论为理论基础,结合负压隔离病房的工艺特点和我国实际国情,并通过对我国已建和在建的负压隔离病房的调研、检测、检查、诊断和设计而得出的一套完整描述隔离病房基本要求的标准。标准对北京市负压隔离病房的建设配置提出了一系列基本要求,涉及到工艺布局、气流控制、压力控制、净化系统设置等各个方面。

#### **对建筑布局要求:**

- 1、给出了负压隔离病房使用面积要求。
- 2、给出来负压隔离病房层高的要求。
- 3、提出了负压隔离病房应设独立卫生间,并对房间内人数做了相关规定。
- 4、提出了重要的“三区两缓”理念,这对负压隔离病房的布局起至关重要的作用。
- 5、对区域布置、门/窗、走廊宽度等等均做出了相应规定。

#### **对气流控制提出要求:**

根据动态隔离理论,对标准隔离病房内送、回风方式、气流组织形式等均做出了详细的规定。

#### **对压力梯度提出要求:**

在本标准,关于“三区两缓”各区域的关系及压力梯度都明确的给出,可作为设计、施工及验收的依据。

#### **对净化空调系统要求:**

要求不同功能区域均应分别设置独立的空调系统。

对风系统形式提出了要求。

不同功能区域房间的换气次数给出了明确的要求。

对排风口形式提出了明确要求。

对系统中涉及的过滤器给出了明确要求。

#### **其他要求:**

标准还针对给排水、电气专业提出了相关要求。

总之,该标准完整的函概了负压隔离病房建设配置的基本要求,同时适应面广,不论是设计、施工验收还是业主的自行日常维护,都可以本标准为基础,因此本标准具有较强的实用性,也正是由于这个原因,国内多地的隔离病房建设在规范、标准欠缺的情况下,均采用本标准作为指导意见。

## **4. 案例介绍**

### **4.1 工程设计介绍**

自 SARS 肆虐之后,负压隔离病房引起了国内专家学者的重视,中国建筑科学研究院净化空调技术中心科研人员在许钟麟研究员的带领下于 2004 年成立“隔离病房隔离效果的研究”课题组,对隔离病房隔离原理、室内气流组织和室内送回(排)风口位置匹配、缓冲室的作用、压差和温差的作用与影响等做了大量细致而严谨的科研攻关工作,通过理论论证、数值模拟与实验证明相结合,获得了多项关于隔离病房方面的最新科研成果,并致力于逐步将这些成果应用到实际工程之中,以促进我国负压隔离病房的建设和发展。本工程正是以动态隔离理论为基础,结合北京市地方标准 DB11/663-2009《负压隔离病房建设配置基本要求》进行的设计及施工,并已顺利通过验收。

本工程为我国南方某市传染病医院隔离病房通风空调工程,位于院中心楼 12 层,整层建筑面积约 1600m<sup>2</sup>,设 12 套负压隔离病房、4 套间普通病房及相应辅助房间。见图 4.1



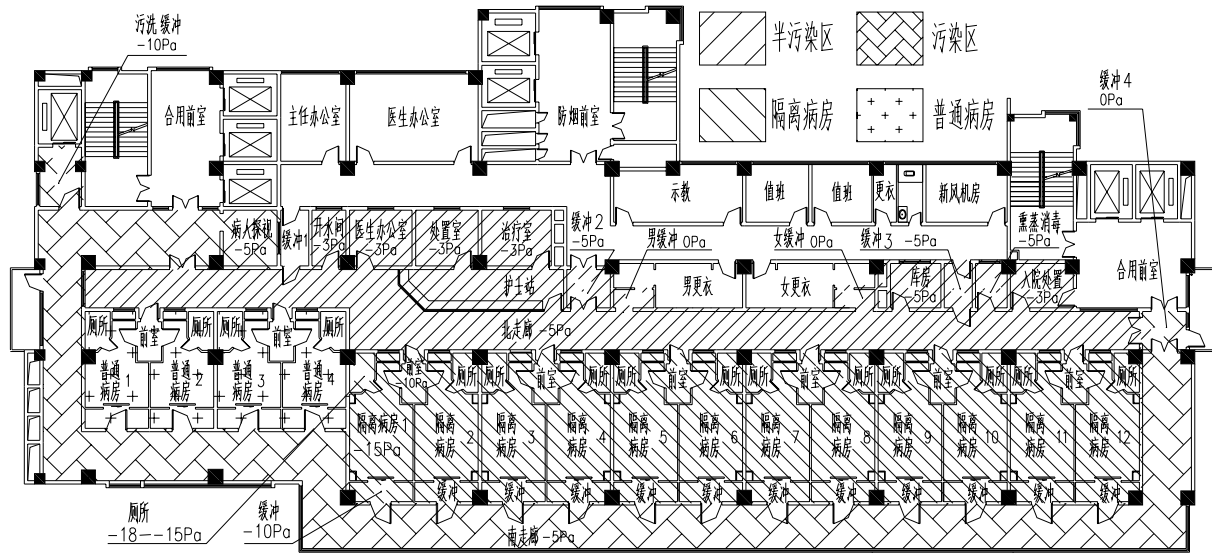


图 4.1 某负压隔离病房平面图

本设计所采用的设计理念来自于动态隔离理论具体应用表现在：

① 隔离病房内送排风为上送下排，定向气流。医护人员工作位置上方应设送风口（主流区），排风口设在床头内下侧。在送风口风速不低于  $0.13\text{m/s}$  条件下，可以扩大送风口面积以增加主流区面积，或者分开设置 2 个送风口，即在排风口设在床头内下侧条件下，床边医护人员工作区上方和床尾后上方各设 1 个送风口，效果更佳。

② 设置缓冲室是非常重要的隔离措施，除病房门口设缓冲室外，必要时在病区走廊入口再设一间缓冲室，控制压差不是阻止室内外空气传播污染物的唯一措施。在关门状态下， $5\text{Pa}$  是可以接受的隔离病房压差，所以病房不需要采用密封门，稍好的普通门即可。

③ 隔离病房应在回风口上安装 B 类(含)以上高效过滤器。单人病房、同种疾病病人病

房的风系统，在安装回风高效过滤器（过滤器在安装前可进行扫描检漏）条件下，可以采用部分循环风。必须采用无泄漏排(回)风口装置，才能避免过滤器边框泄漏的不安全性。

隔离病房空调系统为一对一的全空气系统，其中前室及缓冲均设为自循环子系统，考虑到该两房间换气次数较大（ $60\text{次/h}$ ）且房间较小，人员停留时间短，所以均不做空气热湿处理，以减少系统冷、热负荷。

病房风系统控制原理如图 2 所示，通过在病房系统的新风管入口 A 处、病房总回风管 B 处及病房总排风管 C 处设置的多态定风量阀和气密阀等装置，可实现全新风工况、回风工况及关闭消毒工况的切换。各房间的风量及压差可通过各管路上的风量调节阀来实现。

冷量控制通过回风管上温度传感器控制冷冻回水管上二通电动阀的开度来实现。

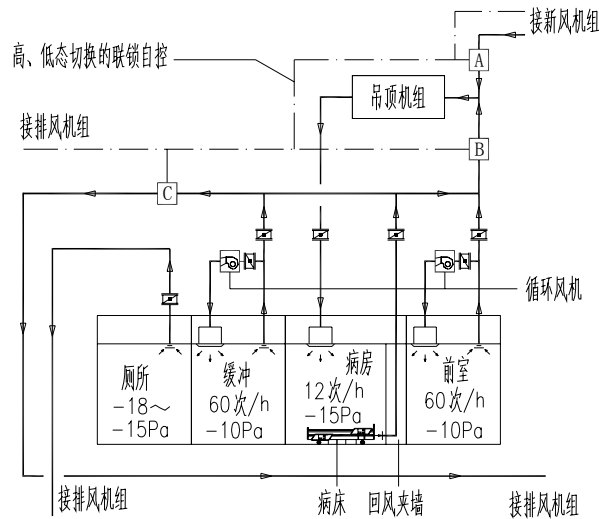


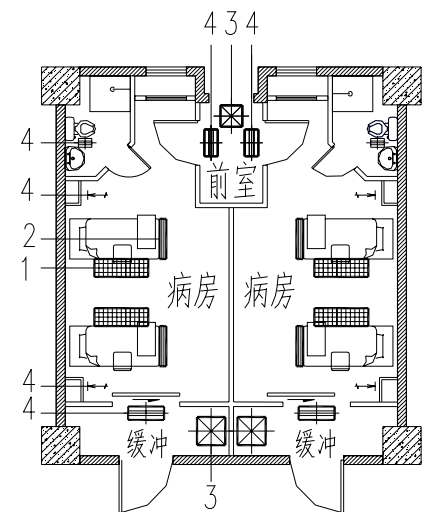
图 4.2 隔离病房风系统控制原理图

## 4.2 动态隔离理论的应用

### 4.2.1 气流组织

根据动态隔离原理[1~7], 本设计在隔离病房内的送风采用主流区送风与次送风口相结合的定向流送风方式, 顶送侧下回(排)。风

口的布置要有利于污染物的控制, 送、回(排)风口的定位使清洁空气首先流过房间中工作人员可能的工作区域, 然后流过病人传染源进入回(排)风口, 见图 4.2.1.1。



1. 隔栅送风口
2. 条形送风口
3. 亚高效送风
4. 回(排)风口, 内含无泄漏排风装置

图 4.2.1.1 隔离病房风口平面布置图

图 4.2.1.1 中, 床宽为 0.9m, 床距 1.5m, 两床之间有充分的距离摆置呼吸机等医疗设备, 也可作为医护人员工作区。在两床之间的床侧上方分别设各床的主流区隔栅送风口, 各床尾上方设条形次送风口, 两床外侧的床头下部设侧回(排)风口。本设计按出风口风速 0.15m/s 计, 主流区送风口与次送风口的面积比取 2:1。

#### 4.2.2 送风

隔离病房区域内各房间送风口、病房内隔栅送风口及条缝送风口内均安装亚高效过滤器, 以达到较为理想的过滤效果。

#### 4.2.3 回(排)风

本设计中所有隔离病房均可以在全新风工况及部分回风工况之间切换。病房回(排)风口采用了动态密封负压高效无泄漏回(排)风装置。该装置具有无漏、免检等特点, 是中国建筑科学研究员空调所的科研成果, 并已批量生产。装置里面有带边的异型高效过滤器, 在安装高效过滤器之前, 先进行现场扫描检漏, 当确认过滤器无漏后, 即安入该排风装置中, 就不必担心安装边框有漏了。只要连接装置的压差计显示不要小于 1Pa 即可使用。

对于污染区及半污染区的回风口, 本设计采用磁吸式低阻回风高中效过滤器。由于空调器或系统管道中最易繁殖细菌而又消毒困难, 所以对于集中空调系统, 阻止细菌从各回风口进入则是从源头上采取的最好措施。但这种过滤器必须有高中效的效率, 才有望把 80% 左右的细菌阻挡下来, 又要安装简单和便宜。而该产品正拥有以上特点, 据实测, 滤菌效率已达 99%。它的安装不用螺杆、压紧等常规做法, 只需贴附到外框上面即可。

#### 4.2.4 新风

本设计中新风采取集中处理方式: 隔离病房每 4 套共用一台新风机组, 其余系统共用一台。为了阻止新风将尘粒和细菌带入系统, 减少将来的清洗、消毒工作量, 本设计采用新型的超低阻(终阻力约 160Pa)、节能、高效率净化新回风机组。

### 5. 结束语

美国生物恐怖事件发生后, 特别是 ARS 疫情过后, 我国进行负压隔离研究显得更加重要。我国政府已经认识到负压隔离病房建设的重要性, 出台了一些规范和标准, 逐渐规范负压隔离病房的建设和管理。北京市地方标准 DB11/663-2009《负压隔离病房建设配置基本要求》对北京市负压隔离病房的建设配置提出了一系列基本要求, 涉及到工艺布局、气流控制、压力控制、净化系统设置等各个方面。另外, 国家标准《传染病医院建筑施工及验收规范》GB50686-2011 已颁布实施, 该规范从建筑技术的角度, 规范了负压隔离病房的设计、建

造、系统和设备安装、装饰、空调净化、电气和自控要求、检测验收等整个过程, 我国负压隔离病房的建设将向着标准化、安全性和实用性的方向发展。