

美国退伍军人事务部 《外科设施设计导则》简介

同济大学 沈晋明[☆] 刘 洋

摘要 概括介绍了美国退伍军人医院设计体系,重点从平面布局、手术部主要参数要求、控制思路和技术措施方面介绍了该导则的内容。

关键词 医院建筑 标准体系 参数 控制理念 技术措施

Review on the *Surgical service design guide* by US Department of Veterans Affairs

By Shen Jinming[★] and Liu Yang

Abstract Outlines the design standard system of medical facilities, presents in detail the *Surgical service design guide* from the aspects of functional diagram, basic parameter requirement of operation rooms, control concepts as well as technique methods.

Keywords hospital building, standards system, parameter, control concept, technical measure

★ Tongji University, Shanghai, China

①

0 引言

在美国,医院是所有建筑类型中最为规范的建筑之一,形成了比较成熟的医院设计与建设体系。医院建设方面的依据有导则(guideline)、标准(standard)、条例(regulation)和法规(code)。以法规和条例为主,如职业安全与卫生管理局(OSHA)条例和美国消防协会(NFPA)法规等,还有地方的法规。除隶属于联邦资产的设施建设还需遵守联邦条例而不要求遵守地方法规外,其他建筑必须遵守当地和/或各州的常规建筑法规^[1]。标准和导则只是为了保证最低功能要求所提供的设计、施工参考,是经大量实践和研究所获得的推荐值,可以被各种设计机构和管理部门参照采用,不具有强制性。

美国的医院标准和导则一般包括三类:

1) 具有认证功能的标准,如联邦认证机构标准、美国医疗卫生机构认证联合委员会(JCAHO)的标准等,收治享受医疗保险病人的医院需满足JCAHO标准。

2) 专业协会机构编制的导则和标准,如美国建筑师学会(AIA)编写的导则,美国供暖制冷空调工程师学会(ASHRAE)颁布的 ANSI/ASHRAE

标准 62.1-2007《可接受空气质量的通风》中附录 E“医疗场所的通风量”以及 ANSI/ASHRAE/ASHE 标准 170《医疗设施的通风》(以下简称 ASHRAE170)。

3) 联邦主管医院建造和运营的机构也制定医疗设施的规划、设计与建设的详细标准,这些标准也适用于地方或非公立医院设施。

综上所述,对美国医院进行具体设计与实际建设时影响较大的是法规以及医院所属体系的设计导则。如美国退伍军人医院隶属于联邦资产,实施的是美国退伍军人医院设计导则,对美国其他医院也较有影响。本文以此为例,阐述美国退伍军人医院手术部设计中实际所采用的控制理念和措施,以客观反映美国手术室建设的现状(美国手术室实景见图 1)。

1 美国退伍军人事务部及其医院设计导则

美国退伍军人事务部(Department of Veterans Affairs,以下简称 VA)成立于 1930 年,

①☆ 沈晋明,男,1946 年 10 月生,工学博士,教授,博士生导师
200092 同济大学机械工程学院
(021) 65988388
E-mail:jinming_shen@163.com
收稿日期:2010-12-22
修回日期:2011-02-19



图1 美国手术室实景

其医院系统主要为退伍军人及其家属提供医疗护理服务,也服务于其他公众。经过 80 多年的发展,它现在已经成为了世界上最大的医疗体系,并在 1989 年获得政府职能部门的地位。其员工超过 264 000 人,运营了 173 家医院、超过 399 家门诊部和社区诊所、132 家疗养院和 39 家住宅设施。同时超过 152 家医疗和牙科学院附属于 VA 的医疗中心,美国超过一半的执业医师均曾在 VA 医院获得过主要的训练。VA 医院在美国的病人护理、手术治疗、教育研究和设施发展中起到了重要作用,因此对美国医师有较大影响,并被广泛认可在临床信息学以及性能改进方面处于领导地位^[2]。

美国退伍军人医院的设计体系涉及医院各个部门,包括门诊、住院、实验室等 20 多项设计导则,并根据需要进行不定期的修订。也有设施系统专门的设计手册,如《暖通空调设计手册》(HVAC design manual)^[3]。实际上 VA 导则是政府职能部门颁布的专用标准,目的在于控制 VA 医院的建设和运营成本时以确保医院环境控制质量,主要定位于 VA 所属公立医院(governmental hospitals),当然它也可以应用于非公立医院(non-governmental facilities)。其中《外科设施设计导则》(Surgical service design guide)^[4](以下简称 VA 导则)在 2005 年 8 月正式颁布,分 7 章。相对于其他协会制定的医院标准,美国退伍军人医院设计导则更为具体、更为详尽,一些具体设计思路与措施不仅对本系统医院,对美国其他医院建设也有着较大影响。了解 VA 导则对修订我国 GB 50333—2002《医院洁净手术部建筑技术规范》^[5](以下简称《规范》)也十分有益。

2 手术部平面布局

美国医院标准较强调医疗流程与平面布局、强

调一次性物品使用,对保障医疗与感染控制有积极意义,但在客观上也造成美国医院建筑的体量较大。美国医院的手术部一直注重无菌物品的控制^[6],强调人流、物流不干扰无菌物品流线。在 20 世纪 70 年代就形成了“中心岛”的平面布局的思路。VA 导则同样也将无菌供给作为“核心(core)”,认为无菌供给区域是手术部最洁净的地方。VA 导则在手术部平面布局上有自己特色(见图 2~6)。其实,每种平面布局体现了某种手术部位感染控制思路与手术部管理模式,谈不上哪种布局好与坏,只有是否合适。

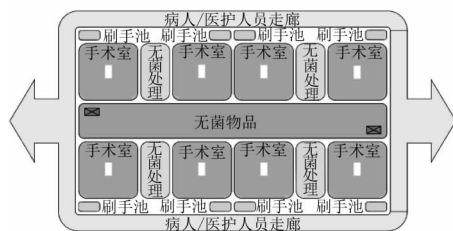


图2 洁净核心外环廊布局

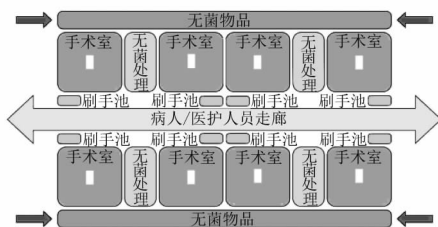


图3 独立核心单走廊布局



图4 无核心单走廊布局

VA 导则的平面布局的原则是围绕无菌供给这一核心布置手术室,用箱式推车(case cart)将无菌物品和器械送入各手术室,有效保障了物品无菌状态。VA 导则将手术部划分为限制区、半限制区和非限制区,其中限制区是无菌要求最高的区域,包括无菌供给、手术室与无菌处置(如刷手、穿无菌衣、戴手套)区域,严格限制人流、物流。半限制区包括走廊以及其他一些辅助用房,非限制区则为更

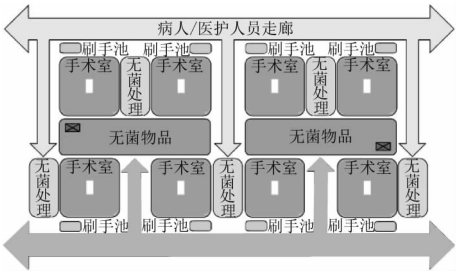


图 5 带舱室核心布局 1

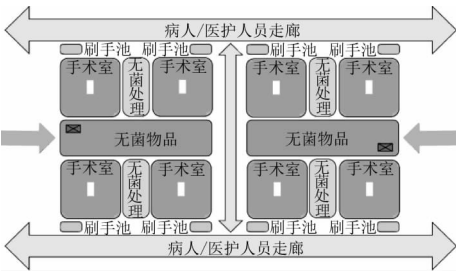


图 6 带舱室核心布局 2

衣区、换床区及其他区域。

手术室内包括紧挨病患切口周围的区域定义为“无菌”。无菌意味着该区域内没有感染菌存在。所有进入该区的人与物都要求无菌。手术台、手术器械桌和在无菌区里使用的特殊器具必须在每一次使用前消毒灭菌。如 X 射线仪、外科显微镜和其他难以消毒的物品都必须包裹无菌层。麻醉师或助理麻醉师要在无菌区外,用隔层把他们与无菌区隔开。

VA 导则推荐了 5 种不同类型的平面布局。手术部有序梯度压差以无菌供给为核心的限制区最高,逐步向半限制区、非限制区降低。这有序梯度压差保证了所形成的定向气流严格从限制区流向半限制区,最后流向非限制区,有利于各个区域的控制,有效防止了交叉污染。

3 手术室的分类和要求

VA 导则将手术室分为两类:常规手术室 (general operating room) 和特殊用途手术室 (special purpose operating room)。

常规手术室用于普通手术、耳鼻喉科手术、眼科手术、神经外科、矫形外科及整形外科;常规手术室合适的净面积为 60.45 m² (650 ft²),宽为 7.73 m,面积不得小于 41.85 m² (450 ft²),宽不得小于 6.41 m。如用于心脏手术的手术室最小净面积为 65.11 m² (700 ft²)。

特殊用途手术室是为大型心脏与大血管手术室 (cardiovascular surgery) 设置,也可用于需要大面积的特殊手术 (special surgery),最大面积不得超过 74.40 m² (800 ft²),最小面积不得小于 55.80 m² (600 ft²),最小宽度为 7.93 m。但心血管手术室最小面积同样不得小于 65.10 m² (700 ft²)。

手术部相关的各房间主要参数要求在 VA 导则和《暖通空调设计手册》均有表述,综合如表 1 所示。

表 1 手术部相关医疗房间主要参数要求

房间类型	设计人数	噪声标准/dB	压力类型	夏季干球温度/℃	冬季干球温度/℃	最小换气次数/h ⁻¹	最小室外新风比/%	是否 100% 排风	夏季相对湿度/%	冬季相对湿度/%
一般手术室	12	NC40	正	17~27	17~27	20	100	是	45~55	45~55
特殊用途手术室	20	NC40	正	17~27	17~27	20	100	是	45~55	45~55
麻醉室和器具室	2	NC40	0	25	22		100	是	50	30
冰冻切片化验室	1	NC45	负	25	22	12	100	是	50	30
心脏/心肺机准备室	2	NC40	0	25	22		100	是	50	30
石膏和夹板储存室	1	NC40	负	25	22	4	100	是	50	30
射线胶片处理室	1	NC40	负	25	22	8	100	是	50	30
洁净走廊	1	NC40	正	20~24	20~24	6	100	是	40~50	40~50
膀胱镜检查室	12	NC40	正	17~27	17~27	15	100	是	45~55	45~55
膀胱镜器具准备和储藏室	2	NC40	正	25	22	8	100	是	50	

各国医院相关的导则和标准,推荐手术室内温度控制范围为 20~24℃,相对湿度控制范围为 30%~60%^[7],对于有特殊要求的手术室可以提高或降低手术室温度,如心脏手术需要 17℃,儿科由于患者对温度的敏感性较强则需要较高的室内温度。相对湿度均接近 50%,因为此时微生物的存活时间缩短,如当相对湿度在 45%~55%之间时,肺炎球菌、葡萄球菌和链球菌的死亡速度要比相对湿度高于 70%或低于 20%时快 20 倍,所以 45%~

55%是控制微生物的最佳室内相对湿度范围。
VA 导则要求手术室内温度冬夏季控制范围均为 16.7℃ (62°F)~26.7℃ (80°F),相对湿度为 30%~60%,可见要求控制范围较大。其他辅助用房室内温度冬季为 22℃,夏季为 25℃。相比之下,《规范》将手术室温度提高到 22~25℃,将其他辅助用房的温度扩展到 21~27℃,以利于节能。

4 空气过滤器

VA 导则将空气过滤器分为 5 个等级,从 A 级

到 E 级,便于选择,分别用于前置过滤(pre-filter)、后置过滤(after-filter)和末级过滤(final-filter),不同级别过滤器的效率依 ASHRAE 52. 2-1999 标准确定(见表 2)。

表 2 VA 导则中不同等级过滤器的效率	过滤器位置				
	前置	后置	后置	后置	后置或末端
VA 级别	A	B	C	D	E
MERV 级别	8	11	14	15	17
粒径范围/ μm	3~10	1~3	0.3~1.0	0.3~1.0	≤ 0.3
比色效率/%	30~35	60~65	90~95	>95	
对于 $\geq 0.3\ \mu\text{m}$ 粒子的计数效率/%					99.97 (HEPA)

在空气过滤器设置上,VA 导则对关键医疗用房(critical space),如常规手术室、特殊用途手术室、洁净走廊均要求设置三级过滤,这与《规范》的要求是一致的。对一般用房与辅助用房可以设置二级过滤,相关科室的空气过滤器设置要求见表 3。

表 3 VA 导则中手术部相关科室的空气过滤器设置要求	前置过滤器	后置过滤器	末端过滤器	排风
设计区域				
手术室	B 级	C 级	E 级	如需设置热回收器,则需安装 A 级
麻醉室和设备室	B 级	C 级		
洁净走廊	B 级	C 级	E 级	
手术室辅助用房及一般用房	B 级	C 级		

送风系统中三级过滤器配置,前置与后置这两级过滤器设置在送风机上游侧(而我国相关标准或规范要求第二级过滤器设置在正压段),这主要指空气处理机组内部的配置。末级过滤安装在送风机的下游侧,或者在独立末端设备内安装末级过滤器。对于手术室,VA 的《暖通空调设计手册》中要求末级过滤器直接设置在手术室内送风末端装置上。VA 导则的空气过滤器的设置要求,意在重点避免空调机组内热湿交换装置与风机可能积尘积菌从而对送风造成污染,而且末级高效过滤器设置使无菌环境的控制更有保障。

末级空气过滤器上游允许使用镀锌钢板风管,但下游必须使用焊接不锈钢风管,手术室风管系统均不允许使用柔性管道。VA 导则在空气过滤器的设置以及配管上更能反映美国医疗通风系统中的空气过滤理念,未提及紫外线等其他消毒除菌装置。

5 通风换气

恰当的通风仍然是获得安全和健康医疗科室室内环境的主要手段,可以有效地将细菌、病毒和尘埃浓度减少到可接受的范围内,且能除去麻醉气体和其他气味。目前国际广泛认可的换气次数是

维持正压条件下 $20\ \text{h}^{-1}$,以满足 $50\sim 150\ \text{cfu}/\text{m}^3$ 的悬浮菌浓度^[8]。特殊手术则要求悬浮菌浓度不大于 $10\ \text{cfu}/\text{m}^3$ 。

手术室通风空调系统允许回风在 20 世纪 90 年代已被普遍接受。但是,VA 导则不仅要求 $20\ \text{h}^{-1}$ 换气次数的通风量,而且在大量的临床实践数据的基础上,通过大量手术感染率和能量利用率方面的数据分析,认为手术室采用全新风系统更合理、有效,可以为医疗护理提供最佳的环境。为此 VA 导则要求手术室 $20\ \text{h}^{-1}$ 全新风换气,高于其他各国 $12\sim 15\ \text{h}^{-1}$ 的全新风送风标准的一般要求,也高于 ASHRAE170 标准中提出的总换气至少 $20\ \text{h}^{-1}$ 、新风 $4\ \text{h}^{-1}$ 换气的要求。

由于按美国标准惯例只规定最低要求,如同 ASHRAE170 标准 C 级与 B 级这两类手术室的最低要求是一致的。VA 导则规定的常规手术室和特殊用途手术室的最低要求也相同,即三级过滤,末端装置设置高效过滤器(HEPA), $20\ \text{h}^{-1}$ 换气,全新风,温度 $17\sim 27\ ^\circ\text{C}$,相对湿度 $45\%\sim 55\%$ 。因此在设计时必须按具体手术室的实际负荷来确定送风量,VA《暖通空调设计手册》明确规定手术室空调冷负荷是以 $16.7\ ^\circ\text{C}$ ($62\ ^\circ\text{F}$) 干球温度和 60% 相对湿度为基准计算,而热负荷是以 $26.7\ ^\circ\text{C}$ ($80\ ^\circ\text{F}$) 干球温度和 30% 相对湿度为基准计算。设计人数常规手术室为 12 人,特殊用途手术室为 20 人。手术室内设备负荷根据需求配置(需依据医疗发展考虑裕量)计算确定。这样计算出来的实际所需通风量往往大于 $20\ \text{h}^{-1}$ 全新风换气。为了减少全新风空调能耗,推荐采用全热回收等装置。

VA 导则为保持手术部内有序的压力梯度分布以及使手术室能随时尽快自净到设计状态,要求手术室通风空调系统持续运行,允许手术室在不使用时可以减少换气次数以维持其对外正压和室内无菌状态,并规定了不使用状态时的最低换气次数:常规手术室可以减少到 $8\ \text{h}^{-1}$,特殊用途手术室减少至 $9\ \text{h}^{-1}$ 。但在 VA 的《暖通空调设计手册》中要求在不使用状态下至少减少一半风量($10\ \text{h}^{-1}$ 换气),并要求采用双位风量调节阀控制在使用和不使用两种状态间的切换。

另要求空调系统的新风口高于地面 $9.1\ \text{m}$ ($30\ \text{ft}$)。送风管道上不允许设置消声器,主风管流速不大于 $9\ \text{m/s}$,支风管流速不大于 $7.5\ \text{m/s}$ 。

VA 医院的大量实际运行的手术室经使用性能的检测证明,VA 医院的通风空调系统的性能在工程中可以获得较佳的效果,与 5 h^{-1} 新风换气、 25 h^{-1} 换气的实际效果相当。

6 末端装置及气流分布

VA 导则中强调手术室在手术台正上方设置孔板送风散流器,特殊用途手术室在手术台正上方集中布置孔板送风散流器,这种集中布置的孔板送风散流器称为送风天花,形成低湍流度的单向下送气流的送风系统。送风天花面积取决于能保护手术切口、直接参与手术的医护人员以及器械桌的送风气流流速。这和其他手术室标准或指南的要求是一致的。

与 ASHRAE 相关标准不同,VA 不推荐送风天花采用非诱导型送风口(E 型送风口)与低风速(风速 0.13 m/s),VA 认为非诱导型送风口与低风速对于减少周围污染区域对内部洁净区域干扰是有效的,但是手术部位的主要感染源是手术小组自身的发菌、发尘,因此送风天花采用非诱导型送风口与低风速并非有利。

基于大量文献提供的理论分析与实验验证,VA 导则推荐了气幕送风天花装置,该装置分为内部单向流送风区和周圈气幕区(见图 7)。手术室送风天花布置示意图见图 8。送风天花装置内部用不锈钢送风孔板形成垂直单向气流,外围通过不锈钢条缝散流器送出与房间中轴成 15° 角的外倾气流,形成空气幕。按 VA《暖通空调设计手册》要求,内部风量为手术室总送风量的 40%,外围送风量为手术室风量的 60%(但关于两侧风量比例,不



图 7 特殊用途手术室送风天花实景

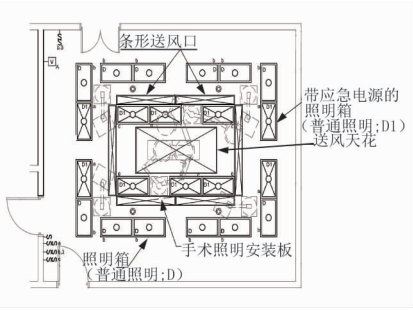


图 8 特殊用途手术室送风天花布置示意图

同资料略有不同,该比例应取决于制造商要求的设计参数),文献[9]报道的送风天花四周气幕出风速度为 1.50 m/s ,而中心单向流出口风速为 0.45 m/s 。这样将手术室送风天花下方分为两个区,内区为无菌区,外围区为清洁区。手术室内分区设置、采用局部净化方式来达到手术环境的控制以保证手术切口周围的无菌区域,降低手术部位感染率,同时也有效降低能耗,这些做法与我国《规范》类似。空气幕送风天花在国内外已有 40 年研究历史^[10-11],近年来理论上有不少进展,实验室的效果也有提高。常规手术室在手术台正上方设置 2 个孔板送风散流器,四周仍推荐采用空气幕送风(见图 9,10)。



图 9 常规手术室送风装置实景

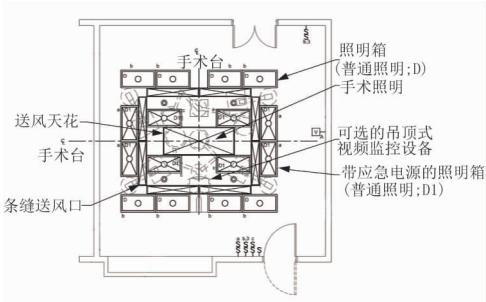


图 10 常规手术室送风装置布置图

VA 认为手术室在运行期间,离地 380 mm 以下都是污染区,要求手术室采用上送风下排风方

式。不设上排风口。由于手术室采用四周空气幕天花送风,因此要求在四面墙下设置4个排风格栅(不得少于2个),格栅底边离地不小于178 mm (7 in)。送风天花的形式与要求,以及排(回)风设置与德国等自循环送风天花装置略有不同^[12]。辅助用房和一般房间允许采用上送上排。

7 结语

要了解美国医院和美国手术室设计,首先要了解美国标准体系。手术室设计旨在建立一个保障体系,使手术环境处于受控状态,提供一个舒适、无菌的环境,以利于保障医疗环境品质,降低手术部位感染率,促进术后康复。但是不同标准或导则规定的最低要求略有不同。

美国退伍军人医院建设遵从VA设计导则。要说明的是,VA医院建设标准并不高于地方同类型的医院。只不过VA导则相比美国其他医院导则或指南更加系统、更加详尽。根据临床数据制定的VA医院设计导则在实际应用中有很好的表现。VA医院系统不仅室内空气品质好,而且在医疗护理、手术技术和降低手术感染率的发展方面都有突出的贡献,它的医疗系统经过美国国家外科手术质量改进计划(The National Surgical Quality Improvement Program)提升后,手术质量获得了很大提高,如对VA医院30 058例心血管手术和非公立医院的5 174例心血管手术的对比研究发现,VA医院30 d内发病率低于非公立医院(发病率数值分别为17.3%和22.3%, $P<0.000\ 1$)^[13],当然同时还要考虑风险评估。综上所述,一个更安全、更洁净环境永远是医院建筑建设的目标^[14],也是所有医院标准的基点。VA的设计导则更加专注于医院环境的具体设计与实际控制,更好地体现了美国手术室环境控制方面的理念和措施,较客观反映了美国手术室的现状,特别是不仅规定了常规手术室和特殊用途手术室的最低要求,而且提出了具体设计参数,较客观反映了这两类手术室实际所需的换气。与其他医院标准或导则主要不同点是推荐手术室全新风换气以及气幕送风天花,并且送风天花推荐诱导式风口和较大的单向流风速。文献^[15]证实气幕送风天花与其他医院标准推荐的低湍流度单向流同样有效。

由于美国大多数执业医师在VA医院实习过,VA设计导则对美国非公立医院建筑的设计和发

展具有重大的影响,对我国《规范》修订和医院建设的发展也具有重大借鉴意义。

参考文献:

- [1] Carr Robert F. Hospital—Whole building design guide [M]. New York: NIKA Technologies Inc, 2001
- [2] Longo Walter E, William M D, Cheadle M D, et al. The role of the Veterans Affairs Medical Centers inpatient care, surgical education, research and faculty development [J]. The American Journal of Surgery, 2005, 190(5): 662–675
- [3] Department of Veterans Affairs. HVAC design manual [S]. Washington D C: US Government Printing Office, 2008
- [4] Department of Veterans Affairs. Surgical Service Design Guide [S]. Washington D C: US Government Printing Office, 2005
- [5] 中国卫生经济学会医疗卫生建筑专业委员会. GB 50333—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
- [6] 沈晋明. 美国的医院标准和手术室设计 [J]. 暖通空调, 2000, 30(3): 21–24
- [7] Constantinos A Balaras, Elena Dascalaki, Athina Gaglia. HVAC and indoor thermal conditions in hospital operating rooms [J]. Energy and Buildings 2007, 39 (4): 454–470
- [8] Haran S D, Pittet D. Environmental controls in operating theatres [J]. Journal of Hospital Infection, 2002, 51 (2): 79–84
- [9] Cook G, Int-Hout D. Air motion control in the hospital operating room [J]. ASHRAE Journal, 2009 (3): 30–36
- [10] Int-Hout D, Cook G. A new idea that is 40 years old—air curtain hospital operating rooms systems [G] // ASHRAE Trans, 2006, 112(1)
- [11] 沈晋明. 气幕洁净棚特性研究 [J]. 洁净技术, 1983 (1): 8–12
- [12] 沈晋明, 黄建倩. 德国医院新标准新概念 [J]. 中国医院建筑与装备, 2008(9): 20–25
- [13] Matthew M, Hutter M D, Robert T, et al. Comparison of risk-adjusted 30-day postoperative mortality and morbidity in Department of Veterans Affairs Hospitals and Selected University Medical Centers: vascular surgical operations in men [J]. Journal of the American College of Surgeons, 2007, 204(6): 1115–1126
- [14] Bartley J, Olmsted R N, Haas J. Current views of healthcare design and construction: practical implications of safer, cleaner environments [J]. Am J Infect Control, 2010, 38(Suppl): 1–12
- [15] Memarzadeh F, Manning A. Comparison of operating room ventilation systems in the protection of the surgical site [G] // ASHRAE Trans, 2002, 108 (2): 4–9