

对医院手术室空调通风设计的一些建议

天津大学 涂光备[☆]

燕山大学 涂 有

天津市中发机电工程有限公司 李 培

天津市海光空调净化技术咨询有限公司 王顺刚 周安娜 杨 涛

摘要 分析了手术室空调负荷的构成,比较了各种手术室空气处理方案的能耗。在此基础上提出了在保证手术室基本条件下,合理降低新风量,缩小空调净化面积,降低净化要求的建议。

关键词 手术室 空调通风系统 节能 新风量

Some suggestions for air conditioning and ventilating design of operating rooms in hospitals

By Tu Guangbei[★], Tu You, Li Pei, Wang Shungang, Zhou Anna and Yang Tao

Abstract Analyses the compositions of cooling load of air conditioning in operating rooms, and compares the energy consumption of various air conditioning processses. Proposes some suggestions to decrease the outdoor air requirement, narrow the cleaning range and reduce cleaning requirement on condition that the operating room remains normal in operation.

Keywords operating room, air conditioning and ventilating system, energy saving, outdoor air requirement

★ Tianjin University, Tianjin, China

①

手术室的空调通风系统设计合理与否,直接影响手术室的环境品质、投资费用,特别是运行能耗^[1-2]。根据近些年来所参与设计、咨询或建造、检测的数十家医院的经验获得以下认识,供同行们参考。

1 手术室的空调负荷

目前,按现行规范设计的手术部,基本上都设置了环绕手术部的污物通道,所以,多数手术室几乎没有外围护结构。经围护结构传入或散失的热负荷大多可以忽略不计。因此,手术室全年都有余热。换句话说,手术室空调送风的温、湿度或比焓全年都低于手术室的设计温、湿度或比焓。此外,全年手术室空调的热湿比也变化不大,这恰是现代手术室空调送风的一个特点。

手术室其他的空调负荷主要是设备、照明与人员负荷,根据设计经验分述如下。

1.1 用电设备的散热量

手术室医用设备日新月异,种类繁多,常见设备的电功率及计算取值见表 1。

表 1 医院手术室常见设备的电功率及计算取值

手术室设备	功率/W	计算取值/W	手术室设备	功率/W	计算取值/W
手术无影灯	250~1 000	600	麻醉机	30 左右	30
电凝器	20	20	监护仪	50~80	60
观片灯	<50/片×3	150	心电图机	<50	50
监视器	20 左右	20	脑电图机	100~600	400
呼吸机	<50	50	肺功能测定仪	80	80
电刀	200~350	300	总计		1 760

用电设备的散热量,一般来说应由实验测得,注明在产品样本上。无此数值时可根据经验以装机容量的某个百分比计算。表 1 给出的计算取值

①☆ 涂光备,男,1937 年 1 月生,研究生,教授
300072 天津市南开区卫津路 93 号天津大学环境科学与工程学院
(022) 27404510
E-mail: tuguangbei@yahoo.com.cn
收稿日期:2009-02-04
修回日期:2009-03-10

是依据常见的国产仪器、设备产品样本及经验所得,可供参考。

另外,各种不同类别的手术室,或施行不同的手术时,上述设备并非一应俱全或同时使用,此外还存在散热延迟现象。不同的手术室,无影灯的配置差别较大。医院不能给出各手术室医用设备的详细资料时,根据经验,一般 I, II 级手术室可按上述计算取值的总计值再乘以 0.6~0.8 的仪器设备同时使用系数,如使用体外循环机时则需另加电热负荷约 1 kW; III, IV 级手术室可按上述计算取值的总值再乘以 0.4~0.6 的同时使用系数。

1.2 照明散热量

手术室照明散热量按下式计算:

$$Q_s = n_1 n_2 n_3 N \quad (1)$$

式中 Q_s ——照明散热量, W;

n_1 ——同时使用系数,这里取 1.0;

n_2 ——整流器消耗功率的系数,当整流器在空调房间内时取 1.2,当整流器在吊顶内时取 1.0;

n_3 ——安装系数,明装时取 1.0,暗装且灯罩上部穿有小孔时取 0.5~0.6,暗装灯罩上无孔时,视吊顶内通风情况取 0.6~0.8,灯具回风时可取 0.35;

N ——照明设备的安装功率, W。

表 3 手术室室温 24 °C 时余热、余湿负荷及热湿比

手术室 级别	人员					照明/W	设备/W	总负荷/W	湿负荷/(g/s)	单位面积冷负荷/ (W/m ²)	热湿比 ε/ (kJ/kg)
	人数	显热/W	潜热/W	全热/W	散湿量/(g/h)						
I	10	644	736	1 380	1 104	512	1 408	3 300	0.307	73.3	10 760
II	8	515	589	1 104	883	512	1 408	3 024	0.245	86.4	12 330
III	8	515	589	1 104	883	384	1 056	2 544	0.245	84.8	10 380
IV	6	386	442	828	662	256	1 056	2 140	0.184	85.6	11 630

从表 3 的热湿比值可知,各级手术室空调负荷的热湿比线在大气压力为 10⁵ Pa 左右的 $h-d$ 图上的斜度都较小,而且很靠近。当考虑空气处理方案和系统划分时这是值得注意的一个特点。

2.2 手术室的送风量与送风焓差

手术室与其他有洁净要求的空间相同,送入的洁净空气量要足以保证洁净空间所规定的洁净度,而此风量通常都高于或远高于满足房间热、湿需求的空调送风量。

现行规范《医院洁净手术部建筑设计规范》(GB 50333—2002)^[3]对各级手术室的送风量及其他相关参数有明确规定,见表 4。

手术室按面积大小划分,一般分为四类,见表 5。

相应于照度不小于 350 lx 的要求,除无影灯外,手术室的照明负荷一般在 12~16 W/m² 范围内。不同面积的手术室,所配置的荧光灯按每支 40 W 计算时,一般为 8~16 支。

1.3 人员散热、散湿量

根据室温,按轻体力劳动、极轻体力劳动人数比为 1:2 取值,男女比例按 1:1 计算,群集系数为 0.92。

手术室室温为 24 °C 时,人均散热、散湿量见表 2。

表 2 手术室室温 24 °C 时人均散热、散湿量的参考计算值

性别及状态	全热散 热量/W	显热散 热量/W	潜热散 热量/W	散湿量/ (g/h)
男性轻体力劳动	182	70	112	167
男性极轻体力劳动	134	70	64	96
男:女 1:1	138.0	64.4	73.6	110.1
轻:极轻 1:2				

患者切口散湿量因手术不同差异很大,一般可按两倍人均散湿量估值。

2 手术室的空气处理方案

2.1 手术室空调负荷与热湿比

根据设计工作中所获得的及业主所提供的相关资料,按上述的手术室空调热、湿负荷的统计方法,对典型的各级手术室的余热、余湿负荷及热湿比进行了计算。其结果见表 3。

通常高级别手术室仪器设备复杂,医护人员众多,所需手术室面积也较大,而低级别手术室则相反。笔者所设计的一些医院,根据业主要求,各级手术室的建筑面积也大致依次对应于表 5 所列范围。

按照 GB 50333—2002 的要求, I 级洁净手术室,其集中布置的竖直送风口出风面积不小于 2.4 m×2.6 m=6.24 m²,以及表 4 所规定的手术区手术台工作面高度截面平均风速数值,根据检测经验,考虑纵向速度的衰减,一般出风口风速宜按 0.40 m/s 来计算,故 I 级手术室的送风量为 6.24 m²×0.40 m/s×3 600 s/h=8 986 m³/h≈9 000 m³/h。

表 4 洁净手术室主要技术指标

名称	最小静压差/Pa 程度 对相邻低级 别洁净室	换气次数/ h ⁻¹	手术区手术台(或局 部 100 级工作区) 工作面高度截面 平均风速/(m/s)	自净时间/ min	温度/℃	相对湿度/ %	最小新风量 /(m ³ / (人·h))	/h ⁻¹	A 声级 噪声/ dB	照度/ lx
特别洁净手术室 特殊实验室	++	+8		≤15	22~25	40~60	60	6	≤52	≥350
标准洁净 手术室	++	+8	30~36	≤25	22~25	40~60	60	6	≤50	≥350
一般洁净 手术室	+	+5	18~22	≤30	22~25	35~60	60	4	≤50	≥350
准洁净手 术室	+	+5	12~15	≤40	22~25	35~60	60	4	≤50	≥350

表 5 手术室按面积分类

规模类别	净面积/ m ²	参考尺寸 (长×宽)/m	规模类别	净面积/ m ²	参考尺寸 (长×宽)/m
特大型	40~45	7.5×5.7	中型	25~30	5.4×4.8
大型	30~35	5.7×5.4	小型	20~25	4.8×4.2

其他各级手术室的送风量按表 4 规定的换气次数,参考表 5 的建筑面积及室内层高 2.9 m 来计算,得到各级手术室满足净化要求的送风量,见表 6。表 6 同时给出了各级手术室室温为 24℃时,采用上述送风量,除去室内热、湿负荷(见表 3)时所对应的送、回(排)风比焓差。

表 6 各级手术室送风量及送、回(排)风比焓差概算值

手术室 级别	总风量/ (m ³ /h)	送风比焓差/ (kJ/kg)	手术室 级别	总风量/ (m ³ /h)	送风比焓差/ (kJ/kg)
I	9 000	1.1	III	1 700	4.7
II	3 300	2.7	IV	900	8.0

2.3 利用二次回风的必要性

当手术室空气温度、相对湿度分别为 24℃, 60%时,在海拔较低的国内大部分地区,室内空气的比焓约为 50 kJ/kg,如果室内的热湿比如表 3 所列在 11 000 kJ/kg 左右,那么热湿比线与接近饱和状态的相对湿度线的交点(即通常所说的空调机组的机器露点)对应的温度约为 14.5℃,相应的比焓约为 37.5~38.5 kJ/kg,与室内空气的比焓差约为 11.5~12.5 kJ/kg。此值都大于表 6 所列的各级手术室的送、回风比焓差。换句话说,要满足各级手术室对送风参数的不同要求,都必需提升处于空调机组机器露点的空气的比焓。例如 I 级手术室的送、回风比焓差仅为 1.1 kJ/kg,室内空气比焓为 50.3 kJ/kg 时(24℃, 60%),送风比焓则应为 49.2 kJ/kg,与机器露点空气比焓相差近 12 kJ/kg。一般来说解决的办法除二次加热外,就是与室内空气进行二次混合。

显然,二次加热(再热)方案在夏季存在冷、热量抵消,浪费能源的情况,一般不宜采用。笔者曾对天津市某医院新建的 8 间手术室(I 级 1 间、II

级 2 间、III 级 4 间、IV 级 1 间)的空调处理方案作过能耗分析,如果采用二次回风方案,8 间手术室空调负荷约为 92 kW,而采用二次加热方案则高达 193 kW,相差一倍多。这在其他行业洁净室的空气处理实践中早已得到印证。特别是高级别的洁净室,无一例外都采取利用二次回风的措施^[4-5]。多年来,风机过滤器机组(FFU)在洁净室的广泛应用,从空调角度来看其处理过程就是基于就地利用二次回风实现“再热”需求的空气处理过程。

2.4 手术室的夏季空气处理方案

手术室夏季空气处理方案有多种,如表 7 所列,适用不同地域和情况。曾经流行过新风空调机组与手术室空调机组两组串联的模式,实践证明,不仅造价高、运行费高,而且从多数手术室对温、湿度的要求来衡量,两级空气处理系统串联的必要性也不大,近年来已采用不多。

根据近些年来多个医院手术室设计与运行的经验,首选的方案宜是由新风承担全部热、湿负荷,利用二次回风再热的空气处理方案,及一次、二次回风的空气处理方案,即表 7 中的方案 1、方案 2。

方案 1 室内没有返回空调机组的回风管道,不仅系统较为简单,而且一套新风处理机组可供给多间手术室,新风机组可根据手术室使用数量及状况,采取变频控制减少能耗,手术室内的加压过滤机组便于独立控制。空气的热、湿处理集中在新风机组,仅通过新风送风管道与房间加压净化机组连接,有助于远离存在滋生细菌风险的凝水盘等。

那么,新风是否足以承担手术室的热、湿负荷?

依照表 3、6 的各项计算数据,以天津地区为例,按照方案 1 的空气处理过程,所得结果见表 8。

根据国家标准 GB 50333—2002 关于新风量的规定之一, I 级手术室新风量 < 1 000 m³/h, II, III 级 < 800 m³/h, IV 级 < 600 m³/h。由表 8 可知,

表 7 手术室夏季空气处理的几种方案

处理方法		备注
方案 1	<p>新风(W)集中处理至各手术室的机器露点中间值(L),分别送至各手术室的加压过滤机组与室内空气(N)混合至室内送风状态点(O),再送入室内</p>	能耗较小,系统简单,多间手术室可共用空气处理机组,使用地域广泛。I级手术室新风量较规范略小,可辅以二次加热,既保证新风量,又增加可调节性
方案 2	<p>新风(W)与各室部分回风(N₁)混合至 M,再集中处理至各手术室的机器露点中间值(L),分别送至各手术室的加压过滤机组与室内剩余部分回风(N₂)二次混合至送风状态点(O)送入室内</p>	能耗较小,多间手术室可共用空气处理机组。按现行规范要求的最小新风量,除非下调规范的最小新风量,否则此方案无用。如能合理下调新风量,比方案 1 能耗更小
方案 3	<p>新风(W)与回风(N)混合至 M 集中处理至各手术室的机器露点中间值(L),分别送至各手术室带加热的加压过滤机组,根据房间的温度要求,加热送风至送风状态点(O),再送入室内</p>	因夏季存在冷热抵消,特别是 I、II 级手术室因送、回风比焓差小,能耗更大,虽然各手术室室温调节较方便,但浪费能源,不宜采用
方案 4	<p>新风(W)预冷至常规空调所能及的机器露点(L₁),再进入干燥除湿至状态点(P)(也可处理部分新风,再与其余新风混合至 P),等湿冷却至各手术室送风的机器露点中间值(L),随后的过程与方案 1 相同</p>	此方案适用于高温、高湿地区,如广州、武汉、香港等夏季湿球计算温度 28℃ 或更高的地区,这些地区靠常规空调机组难于将新风直接处理至 L 点状态

表 8 以天津某医院为例,按方案 1 空气处理过程计算的结果

手术室级别	热湿比 ε/(kJ/kg)	送风量/(m ³ /h)	新风量/(m ³ /h)	换气次数/h ⁻¹	新风比/%	机器露点温度/℃	空调机组冷量/kW
I	10 760	9 000	810	69	9	14.3	13.71
II	12 330	3 300	790	33	24	14.6	12.33
III	10 380	1 700	660	20	39	14.3	10.28
IV	11 630	900	620	13	69	14.5	9.31

采用由新风承担全部室内热、湿负荷及二次混合的方案 1,满足不了规范对于 I 级和 III 级手术室最小新风量的要求。如果必须满足关于最小新风量的此项

表 9 以天津某医院为例夏季各级手术室的总冷负荷及新风冷负荷

手术室级别	建筑面积/m ²	总冷负荷/kW	单位面积冷负荷/(W/m ²)	最小新风量/(m ³ /h)	新风冷负荷/kW	单位面积新风冷负荷/(W/m ²)	新风负荷与总负荷之比/%
I	45	15.86	352	1 000	11.36	252	71.6
II	35	12.55	358	800	9.09	260	72.4
III	30	11.86	359	800	9.09	303	76.6
IV	25	9.08	363	600	6.82	273	75.1

外,还需要附加损耗 1.8 kW 的冷热抵消量。

3 意见与建议

3.1 手术室的节能问题

医院空调是能耗大户,根据国外的经验,其能耗一般是办公建筑能耗的 1.6~2.0 倍,而手术室又是医院中空调能耗最为突出的部门^[1,6],以所设计的天津某医院为例,夏季设计工况时 I 级手术室能耗为 352 W/m²,II 级为 358 W/m²。并非是手术室内产热量大,主要能耗在于新风,占手术室空调能耗的 3/4 左右,如表 9 所示。

表 9 是根据 GB 50333—2002 中表 7.1.6“手

规定,则 I 级、III 级手术室为避免室温偏低,就需要在新风与室内空气混合后,再通过二次加热,提升送风的比焓。表 9 所列数值即为按规范此项规定的最小新风量计算时,各级手术室的空调冷负荷及新风冷负荷。以 I 级手术室为例,由于二次混合后的空气比焓为 48.9 kJ/kg,低于室内设计工况下要求的送风比焓 49.2 kJ/kg,因此还需要二次加热量约 0.9 kW。也就是说,对 I 级手术室而言,若将新风量从 810 m³/h 提升至 1 000 m³/h,除所增加新风的能耗

术室新风量最小值”计算得到的。该规范的表 4.0.1 还给出了另两个最小新风量的取值依据,即 I、II 级手术室 < 6 h⁻¹,III、IV 级手术室 < 4 h⁻¹,及手术室内每人 < 60 m³/h,而这两个取值方法与美国现行的建筑学会标准(AIA—2003)^[7]、美国供暖制冷空调工程师协会手册(ASHRAE—2003)^[8]以及日本医疗福祉设备协会标准(HEAS—02—2004)^[9]大体一致,甚至还略高。例如美国、日本规范所规定的最小新风量是 5 h⁻¹,及每人 50 m³/h。按 GB 50333—2002 所给出的这两个取值方法,各级手术室的最小新风量见表 10。

表 10 按换气次数及人均新风量计算所得最小新风量

手术室级别	按换气次数计算的最小新风量				按人均新风量计算的最小新风量		
	换气次数/h ⁻¹	面积/m ²	层高/m	最小新风量/(m ³ /h)	人数	人均新风量/(m ³ /(人·h))	最小新风量/(m ³ /h)
I	6	45	2.9	783	10	60	600
II	6	35	2.9	609	8	60	480
III	4	30	2.9	348	8	60	480
IV	4	25	2.9	290	6	60	360

由表 10 可看出,按 GB 50333—2002 所规定的新风换气次数或人均新风量得出的各级手术室总的新风量与表 9 所列 GB 50333—2002 的另一规定“新风量最小值”相比都要偏小些。

的确,欧洲国家所规定的最小新风量一般为 1 000~1 200 m³/h,可能这也是 GB 50333—2002 规范有关新风量取值的依据之一,但欧洲的经验对我国的手术室可能借鉴价值偏小,其一是常用的麻醉方式不同,国内主要采用注射麻醉剂,手术期间通过患者呼吸释放至手术室的麻醉气体量较少,德国、瑞士等欧洲国家习惯采用气体麻醉方式,扩散速率较高;其二是欧洲大部分地域全年气候温和,尤其是夏季,大部分时段全新风通风即可,新风的空调负荷量很小,与国内情况大不相同。

另外,规范在编制说明中对表 7.1.6 最小新风量所作说明中提到的“也是最主要的,即为了在开门状态下”能有 0.08~0.1 m/s 的向外气流速度作

为确定新风量的最低标准,这一点似乎更显牵强。现场测试及 CFD 数值模拟的结果都说明,当手术室 1.4 m×1.9 m=2.66 m² 这么大尺寸的门开启时,事实上即便内外两侧无温度差别,平均 0.1 m/s 的面风速完全不可能“抵制外部空气入侵”^[10-11]。

首先,从制度上应规定在手术前一切准备就绪,手术施行过程中门应是经常关闭的;其次,在特殊情况短暂开启门时,其侵入的气流在室内平面布局合理、手术区竖直定向气流运行正常情况下,应不会影响手术核心区的污染水平。以门全开时维持一定风速的正压气流作为加大新风量依据不尽合理。

根据以上认识,如果 I、II 级手术室按最小换气次数,III、IV 级手术室按人均最小新风量计算,仍以天津某医院为例,各级手术室的夏季设计工况总冷负荷及新风冷负荷见表 11。此时,除 I 级手术室外,II、III、IV 级手术室均采用方案 2,可有少量一次回风。

表 11 合理降低新风量后各级手术室的总冷负荷及新风冷负荷

手术室级别	建筑面积/m ²	总冷负荷/kW	单位面积冷负荷/(W/m ²)	新风量/(m ³ /h)	新风换气次数/h ⁻¹	新风冷负荷/kW	单位面积新风冷负荷/(W/m ²)	新风冷负荷与总冷负荷之比/%
I	45	13.62	303	800(783)	6.1	9.12	203	67
II	35	10.30	294	600(609)	5.9	6.84	183	62
III	30	8.24	275	480	5.5	5.47	182	66
IV	25	6.36	254	360	5.0	4.10	164	65

注:表中新风量一栏,括号中数值为按最小换气次数计算值,不带括号数值为按人均最小新风量计算值。

比较表 9 与表 11,可以看到在合理降低新风量标准后,各级手术室的节能幅度在 14%~30% 范围,这是值得认真探讨的问题。当然,增设热回收设备,也是降低新风能耗的必要措施之一,但因手术室通风系统限于采用显热换热回收装置,仅此一项措施难于大幅降低能耗。

手术室冬季、过渡季和夏季的空气处理思路基本相同,即将新风或混有少量回风的空气处理至送风的机器露点,与室内回风二次混合到送风状态点,再送入室内,消除室内余热、余湿。不同之处在于对新风需要加湿、加热,方可使其达到机器露点。无论是蒸汽加湿、电加湿或绝热加湿,都需要耗费热能。若能采用纯净水以汽-汽换热方式产生的干饱和蒸汽加湿空气,较理想,可减少电耗,但往往医

院未必能提供汽源。对于严寒地区,为避免空调系统换热设备冻坏而不得不采用电热方式预热新风,使其达到一定温度后,再进空调机组继续加热。可见,冬季、过渡季的空调能耗很大程度上也同样取决于新风量。

3.2 适当缩小空气净化应用范围,合理降低空气净化要求

医院手术室能耗之所以高,除去新风量标准偏高外,与其要求空气净化应用范围偏大,对空气净化要求偏高也有很大关系,现行规范要求手术室的空调系统至少设置三级过滤,其驱动能耗必然偏高。事实上,对室内洁净度起决定影响的是高效过滤器,粗效过滤器、中效过滤器主要起减轻高效过滤器尘埃负荷的作用。室外空气脏时,无非是勤

换、勤洗过滤器而已,未必要设很多级。

近年来,西方工业国家对医院手术室的空调净化措施与手术感染率的关联性作出了新的评价与定位^[9,12-15]。

美国《手术部位防止感染指南》(Guideline for prevention of surgical site infection)在对手术感染率风险分析中,通风、净化分别被列为较次要的 I B 类和更次要的 II 类影响因素。

德国工程师协会 VDI 2167 工程指南《医院的建筑设施工程》^[15]中指出,“与手术室相邻的其余房间,甚至是定向气流保护区域以外的其他区域都没有特殊的通风需求,只需要手术室定向送风装置可达到期望的保护效果”。也就是说生物洁净手术室以外的其他房间无需都采用末级为高效过滤器的通风系统。

日本医疗福祉设备协会标准《医院空调设备的设计管理指南》2004 年底颁发的版本 HEAS-02—2004 对 1998 版本也作了较大的变更。例如,1998 年 HEAS-02—1998 标准^[15-16]中,手术室的洗刷手部规定处于 II 级清洁区(高效过滤器 DOP 效率>95%,相当于亚高效),2004 年 HEAS-02 标准中改为处于 III 级准洁净区(高效过滤器比色法效率 80%以上),可认为此区已不属于洁净室之列。

又如 1998 年 HEAS-02 标准中,规定手术室周边区如恢复室等处于 III 级准洁净区(高效过滤器比色法效率>90%),2004 年 HEAS-02 标准中改为处于 III 级一般洁净区(高效过滤器比色法效率>60%)。

HEAS-02—2004 修订说明中指出,修订工作的主要参考资料是美国疾控中心(CDC)的《医疗设施防止环境感染指南》(Guidelines for environmental infection control in health-care facilities)和《手术部位防止感染指南》(Guideline for prevention of surgical site infection),美国建筑学会的指南《医院及保健设施的设计与施工指南》(Guidelines for design and construction of hospital and health care facilities),美国供暖制冷空调工程师协会 2003 手册《供暖、通风与空调应用篇》(ASHRAE handbook 2003—HVAC applications. Chapter 7: Health care facilities)等重要资料。

修订内容主要围绕加强医院感染防止措施和改善空调系统管理及节能两个主要方面。可见日本的新标准与美国、欧洲各国的思路是一致的。

期盼现行标准 GB 50333—2002 在将来的修订中,根据国内这些年建设和使用的经验并吸取国外的新观念,适当缩小空气净化的应用范围并合理降低对新风量和空气净化化的要求,以利于节能。

参考文献:

- [1] 涂光备,凌继红,邢金城,等. 医院建筑空气净化与设备[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2005
- [2] 涂光备,涂有. 对当前医院手术室建设中一些问题的思考[J]. 暖通空调,2007,37(1):43-47
- [3] 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
- [4] 涂光备,杨洁,凌继红,等. 制药工业的洁净室与空调[M]. 2 版. 北京:中国建筑工业出版社,2005
- [5] 涂光备,涂有. 洁净室的检测与运行管理[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008
- [6] 董书芸,涂光备,李涛,等. 一般综合性医院的空调设计标准问题[J]. 洁净与空调技术,2004(3):28-34
- [7] AIA. Guidelines for design and construction of hospital and health care facilities [M]. New York: American Institute of Architecture, 2003
- [8] ASHRAE. ASHRAE handbook 2003—HVAC applications [M]. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer Inc, 2003
- [9] 日本医療福祉設備協会. HEAS-02—2004 病院空調設備の設計・管理指標[S]. 東京:日本医療福祉設備協会,2004
- [10] Memarzadeh F, Manning A P. Comparison of operating room ventilation systems in the protection of the surgical site[G]//ASHRAE Trans, 2002, 108(2)
- [11] 张蕊,涂光备,涂有. 手术室内人员走动对手术区带菌粒子浓度影响的研究[J]. 洁净与空调技术,2006(增刊):7-12
- [12] Hospital Infection Control Practices Advisory Committee. Guideline for prevention of surgical site infection [J]. Infection Control and Hospital Epidemiology, 1999, 20(4):247-278
- [13] Memarzadeh F, Manning A. Reducing risks of surgery [J]. ASHRAE Journal, 2003, 45(2):28-33
- [14] Tu Guangbei, Tu You. Current technical code for hospital operating department in China [C] // Proceeding of the 8th International Symposium on Building and Urban Environmental Engineering. Tokyo, Japan, 2006:172-177
- [15] Tu Guangbei, Tu You. National standard and T&C requirements of operating theatre in China [C] // Symposium of IHEEM(The Institute of Healthcare Engineering and Estate Management) Hong Kong Branch. Hong Kong, 2008
- [16] 日本医療福祉設備協会. HEAS-02—1998 病院空調設備の設計・管理指標[S]. 東京:日本医療福祉設備協会,1998