

洁净病房及其空调系统方案探讨

中国中元国际工程公司 黄 中[☆]

摘要 简单介绍了洁净病房的种类及其特点,探讨了洁净病房的常用空调设计方案并提出了适用于洁净病房的一种新的空调方案。

关键词 医院 洁净病房 单向流病房 净化空调 设计

Bio-clean treatment units and their air conditioning design

By Huang Zhong[★]

Abstract Outlines the types and characteristics of bio-clean treatment units. Discusses the air conditioning design options commonly used and puts forward a new air conditioning design scheme for bio-clean treatment units.

Keywords hospital, bio-clean treatment unit, unidirectional flow treatment unit, clean air conditioning, design

[★] China IPPR International Engineering Corporation, Beijing, China

①

1 洁净病房简介

洁净病房是指通过净化空调系统提供一定洁净等级环境,为免疫力极度低下患者提供治疗、恢复的有生物洁净功能的病房。作为病房,必须强调其居住性,特别对于治疗时间较长的白血病房,病人普遍有烦躁情绪,应充分考虑到室内环境的重要性,硬件方面包括室内温湿度、空气流速、室内用品的舒适方便、室内装饰材料的质感与色彩、病人视野开阔性、病人与亲属交流的探视窗等,软件方面包括室内装饰品的布置与更新、医护人员的亲和力等。病房内气流组织一般采用典型的上送下回形式,以防止尘粒、细菌在室内滞留繁殖。综合考虑病房运行经济性和护理需要及病人心理所能接受的居住空间大小,目前洁净病房的面积一般控制在 7~11 m² 之间。洁净病房的环境保障系统(包括空调系统)的要求高,系统运行费用高,因此必须进行充分合理分析,确保设计技术及措施合理周到。

1.1 洁净病房种类及其特点

根据患者特点,洁净病房包括白血病房、烧伤病房、呼吸病房、脏器移植病房等。

白血病是指白细胞不成熟导致免疫力缺乏的疾病,主要通过化疗或骨髓移植治疗。移植患者入住后,一般前 10 天内通过注射免疫抑制剂消除自身免疫力,随后约 15 天时间为完全丧失免疫力的

移植期,之后为患者自身逐渐产生、健全免疫力的恢复期,病人住院时间为 2 个月左右。白血病房应按 I 级洁净用房设计,要求室内温度 22~27 ℃,相对湿度 50%,空调气流方式采用垂直或水平单向流形式。

传统的烧伤病房均设计为垂直单向流病房,随着医疗方法、医疗手段的技术更新,目前烧伤病房已经无需设计成运行费用高昂的单向流病房。现在烧伤病房分Ⅲ级和Ⅳ级洁净用房两种,Ⅲ级洁净用房收治重度以上烧伤患者(含重度:烧伤面积≥70%,Ⅲ度:烧伤面积≥50%),多采用暴露疗法;重度以下烧伤患者的病房宜按Ⅳ级洁净用房设计。烧伤病房要求室内温度 30~32 ℃,相对湿度 40%~69%。由于在护理初期病人不能下床活动,而此时正是皮肤结痂、最易受到感染的时期,为避免病人自身细菌感染,空调气流方式多采用上送下回形式,并在病人上方集中布置送风口。

呼吸器官疾病的专用洁净病房在国内较为少见,病人对室内空气参数比较敏感,必须严格控制

①[☆] 黄中,男,1974 年 3 月生,大学,高级工程师
100089 北京西三环北路 5 号医疗建筑设计研究院
(010) 68732424
E-mail: y4405@163.com
收稿日期:2009-02-18
修回日期:2009-03-06

室内过敏因子。哮喘病房宜按Ⅱ级洁净用房设计,严格控制室内温湿度波动,要求全年温度 $25\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $50\%\pm 5\%$ 。空调气流方式应使洁净空气最先经过病人呼吸区域。

脏器移植病房一般与手术室紧邻,形成一个集合手术与治疗功能的新医疗系统,病房按Ⅰ级洁净用房设计,要求室内温度 $23\sim 28\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度 50% ,空调气流方式多采用垂直单向流形式。

1.2 洁净病房分级(见表 1)

表 1 洁净用房的分级标准(空态或静态)

等级	沉降法(浮游法)细菌最大平均浓度/(个/ $\phi 90\text{ mm}\cdot 30\text{ min}$) (/(个/ m^3))	换气次数/ h^{-1}	表面最大染菌密度/(个/ cm^2)	空气洁净度
Ⅰ	局部 $0.2(5)$ 其他区域 $0.4(10)$	截面风速视病房功能而定	5	局部:100级 其他区域:1000级
Ⅱ	1.5(50)	17~20	5	10000级 ²⁾
Ⅲ	4(150)	10~13	5	100000级 ²⁾
Ⅳ	5(175)	8~10	5	300000级 ²⁾

1) 为局部集中送风时的标准。若为全室单向流,则此局部标准即为全室标准。

2) 采用局部集中送风时,局部洁净度级别可高一级。

洁净病房的空调设计有其不同于手术室的特殊性,例如白血病房、脏器移植病房要考虑保持全室的单向流而不是手术室重点保证手术区域单向流的需要;洁净病房空调在病人入住后必须不间断连续运行,直至病人出院,这就要求空调通风系统必须具有很高的可靠性及冗余,并应保证生命医疗设施具备备用应急条件;另外,为了给病人创造安静的睡眠环境,空调系统必须具备双风速运行的条件。

各种类型洁净病房的空调系统按不同洁净用房要求设计,由于Ⅰ级洁净病房的特殊性以及本文将针对Ⅰ级洁净病房的空调新方案进行探讨,下面就白血病房的设计展开讨论。

1.3 白血病房平面设计简介

在平面布置上,白血病房应符合五条流线的设计。

第一,病人流线。病人应经过淋浴、药浴后,经洁净走廊、准备前室,再入住病房。

第二,医护人员流线。医生护士应经过更衣、洗手(个别医院设有风淋)后进入洁净区。

第三,洁净物品流线。所有物品必须经严格消毒后通过传递窗进入洁净区,病房内可回收利用的洁净物品也通过传递窗运出。

第四,污物流线。污物应在洁净区内就近进行

简单打包后经污物传递窗、污物通道送出,污物通道应独立设置,不可与洁净通道混用及交叉。

第五,探视人员流线。一般均需设置探视通道,一方面便于病人的亲朋好友探视访问,另一方面也方便医生查房、观察病人病情。

在病房内部设计时,应有医护人员使用的观察窗、病人欣赏室外风景的窗户等,这些已有相关的资料介绍,不再赘述。本文要讨论的是目前存在的影响到空调系统设计的不同做法,一种为病房前室的设置,另一种为病房卫生间的设置。

白血病房前室有两种形式:一是与病房对应的独立式封闭前室,这种形式的前室作为病房与洁净走廊之间的缓冲,方便医护人员配药、送药,但不利于医生护士直接观察病人,并且由于前室与洁净走廊为不同级别的洁净用房,需要为前室单独设置空调系统,导致空调系统多而管线复杂。二是开放式前室(见图 1),对单向流洁净病房设置公用前室,其空调系统及管线相对简单,并便于观察病人病情,便于护理及管理。白血病房的独立封闭前室将会逐渐被开放式前室替代。

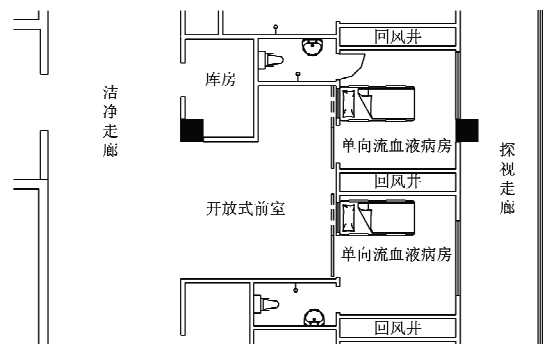


图 1 单向流血液病房平面

白血病房内是否设置卫生间也存在重大分歧。不仅在医护人员与设计单位之间、护理与感染控制的研究机构之间存在争议,甚至在医护人员内部意见都很难统一。设置在洁净病房套内的卫生间应有洁净要求,所以必须满足换气次数(推荐 25 h^{-1})的要求,一旦套内住人,卫生间的排风系统必须连续运转,卫生间的清洗、消毒要求远高于一般病房。套内卫生间的空气洁净度也是有争议分歧的焦点问题,有条件时,建议通过 CFD 模拟分析进行优化设计,最终确定卫生间的设置方案及换气次数,在保证病房内人员不被感染的前提下,降低运行能耗,减少建设投资。

2 白血病房的空调设计

2.1 特点

根据白血病房平面布置流线的需要,病房一般处于建筑内区,因此室内冷负荷四季存在,但冷负荷较小,送风量大,送风温差小;每间病房必须设置独立的净化空调系统;净化空调系统设置双风速工况以减小病人睡眠时噪声的影响;空调机组设置 2 台送风机并能自动切换,以提高可靠性;由于病人入住

后空调机组和通风系统等保障系统必须连续运行,因此在设计中对系统的能耗也要给予充分重视,在空气处理机和风机的选型、过滤器的选材设计中首选能耗小、质量高、符合净化要求的设备和材料。

2.2 设计参数

目前国内尚无关于无菌病房的设计规范,其室内设计参数可参照《军队医院洁净护理单元建筑技术标准》(YFB 004—1997)确定,见表 2。

表 2 设计参数

级别	空气洁净度	沉降菌/(个/(Φ90皿·30 min))	静压/Pa		单向流截面风速/(m/s)		温度/℃		相对湿度/%	新风换气次数/h ⁻¹	A 声级噪声/dB
			相邻最小压差	对室外最小正压差	垂直	水平	夏季	冬季			
I	100 级	<1	+8	15	0.18~0.25	0.23~0.30	24~26	22~24	45~60	10	45~50

2.3 气流组织方式

白血病房空调气流组织方式的现状是垂直与水平单向流共存。NCI(National Cancer Institute)形式(见图 2)为典型的水平单向流形式,其最大优点是将病房设置成开放式以减轻病人心理负担,病房敞开部位面积设计为送风面积的 1/4,使敞开部位风速达到送风速度的 4 倍(约 1.1 m/s),从而阻止外部污染空气侵入病房。这种形式的白血病房国内已建成的有天津儿童医院、上海儿童医院等。

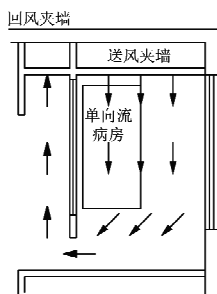


图 2 NCI 形式水平单向流示意图

水平单向流的空调形式虽然有一些优点,但也存在缺点,例如噪声处理相对困难,送风最先流经病人头部,病人的舒适度差,且容易导致病人感冒,室内消毒擦洗不方便等,尤其是以上提到的 NCI 形式,医护人员普遍担心对病人管理不便,因而更倾向于采用垂直单向流的方式。

垂直单向流可适用于设置独立卫生间的病房。对于设有独立封闭前室的病房,国外曾有将病房与前室设计为串联式的空调系统的做法,即送风由病房顶部垂直压挤而下,经侧墙回风口排入前室吊顶送风口,再由前室下部回风口送回病房的循环空调机组。当然这种方法是否可行有很多制约条件,例如前室面积、前室空调负荷、建筑条件等,而且采用

串联系统对于作为独立无菌空间的病房也存在隐患,因此不推荐采用。

2.4 系统设计配置

在单向流病房空调系统设计上,由于新风系统设置不同而存在多种做法。对新风进行三级过滤处理的做法已经得到普遍的认同,问题主要在于新风是否集中处理、新风是否经过冷热处理。以下分别展开讨论。

1) 新风是否集中处理

新风集中处理即设置新风机组为所有病房提供洁净新风,这种做法的优势在于新风风机选型较为容易。由于新风经过三级过滤处理,系统终阻力高达 650~800 Pa,如果每间病房单独设置新风机组,其新风量仅为 400 m³/h 左右,在这个风量范围内要选配高达 800 Pa 静压的风机是非常困难的,即使有,其噪声也可能大得无法接受。因此,新风集中处理对单向流病房更为适用,虽然有人担心一旦新风机组故障会导致所有病房没有新风供应,但只要设置备用新风机组即可解决此问题,另外,从设备维护及更换过滤器的角度出发,新风机组也应设置备用。

2) 新风是否经过冷热处理

新风冷热处理有两个优点:

第一,可实现循环空调机组干工况运行,在生物洁净空调中,循环空调机组干工况运行的优势是很明显的;

第二,新风可直接经末端高效过滤器送入室内,这使得新风系统同时可作为各个病房维持正压的加压系统而不需开启循环机组,根据高效过滤器阻力-风量特性曲线近似为线性的特点,末端高效

过滤器(低阻型)对新风的阻力仅为 15 Pa 左右,因此,新风机组几乎不需额外增加风机压头即可将新风送入室内,而对于新风经过循环机组的做法,维持病房正压必须运行循环机组。

在南方夏热冬暖地区,冬季新风不需考虑加热,更进一步简化了系统。而在北方地区,冬季新风需加热后才可以送入室内,全部采用电加热能耗太大,采用热水盘管加热又存在防冻的问题,而采用常规的关闭新风阀的防冻措施对单向流病房是不可行的,图 3 的空调系统采取了辅助电加热的防冻措施,即当检测到热水加热盘管后的气温低于 5℃时,强制快速启动电加热,图中新风入口处的电动风阀的作用是在备用新风机组不运行时,关闭风阀以保护机组内过滤器不受室外空气影响,而非作为防冻使用。

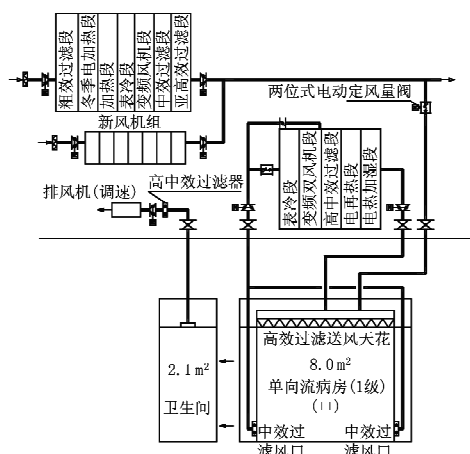


图 3 单向流病房空调二次回风系统

2.5 空气处理方案

如 2.1 节所述,单向流病房空调送风量大而送风温差小,空气处理方案的确定应避免冷热抵消带来的高能耗,传统的一次回风系统显然不适用于单向流病房,目前大风量小温差场合多数采用二次回风系统,但病房有其自身特点,室内负荷常年稳定而偏小、各个病房负荷差别不大、新风负荷相对较大而且几乎是空气处理过程中唯一的变量,利用这些特点,是否可以探寻一种新的空调方案——新风负担全部空调负荷——来应用于单向流病房呢?从理论上分析,由新风负担全部空调负荷是完全可行的,同时由于循环机组仅起到净化过滤、维持室内单向流的作用,无二次回风、冷热量的控制环节,大大提高了系统的安全可靠性;但新风负担全部空调负荷势必带来高能耗,那么这种系统的能耗究竟

会比二次回风系统高出多少呢?下面通过计算进行比较。

2.6 方案比较

以北京一个病房的夏季工况为例,其设计条件为:单向流病房面积 8 m²,卫生间面积 2.1 m²,设计参数:温度 24℃,相对湿度 50%,室内空调冷负荷 1.0 kW,湿负荷 0.12 kg/h,分别根据图 3,4 进行空调系统设计。经计算,总送风量为 7 200 m³/h,送风温度为 23.6℃,卫生间排风量取 200 m³/h(相当于换气次数 32 h⁻¹),满足卫生间排风及维持室内正压所需新风量为 450 m³/h,总回风量为 6 750 m³/h,新风处理到室内等焓线。

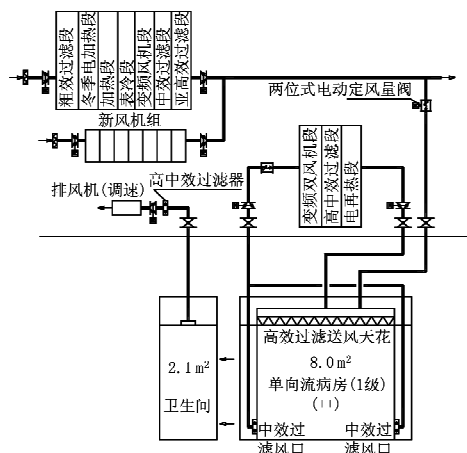


图 4 单向流病房新风负担全部空调负荷

图 3 对应的 $h-d$ 图过程分析如图 5 所示。由 ϵ 线、送风温度确定送风点 O ,室外空气由 W 点处理到露点 L_w 点,连接 O, L_w 两点,则净化空调机组出口状态点 C 点必然在此线上,由式 $G_x/G_n = (t_c - t_o)/(t_o - t_{L_w})$ (其中 G_x 为新风量, G_n 为总回风量, t_c 为 C 点温度, t_o 为 O 点温度, t_{L_w} 为 L_w 点温度)可得 $t_c = t_o + (t_o - t_{L_w})G_x/G_n = 24℃$ 。

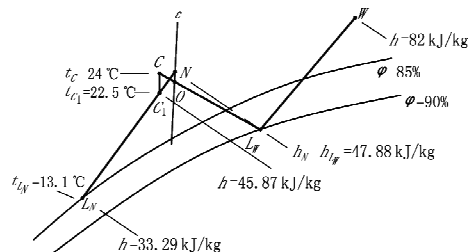


图 5 二次回风系统的 $h-d$ 图

由于 C 点是一、二次回风混合后经风机温升 1.5℃得到的,故由 C 点等湿降温 1.5℃可得到一、二次回风混合后状态点 C_1 ,连接 N, C_1 两点并

延长与 $\phi=85\%$ 线的交点即为一次回风处理状态点 L_N 。由 $G_{h1}/G_h = (t_N - t_{C1})/(t_N - t_{L_N})$ (其中 G_{h1} 为一次回风量, t_N 为 N 点温度, t_{C1} 为 C_1 点温度, t_{L_N} 为 L_N 点温度) 可得 $G_{h1} = G_h(t_N - t_{C1})/(t_N - t_{L_N}) = 930 \text{ m}^3/\text{h}$ 。二次回风量为 $5\,820 \text{ m}^3/\text{h}$ 。循环风冷负荷 $CLQ_1 = \rho G_{h1}(h_N - h_{L_N})/3\,600 = 4.6 \text{ kW}$, 新风冷负荷 $CLQ_2 = \rho G_x(h_w - h_{L_N})/3\,600 = 5.1 \text{ kW}$ (其中 ρ 为空气密度, h_N , h_{L_N} , h_w , h_{L_N} 为对应点的比焓)。系统总能耗为 9.7 kW 。在普通空调系统中可以通过调节一、二次回风量来满足系统负荷变化的需要, 而在洁净空调系统中, 为了简化系统控制环节, 一般采用定风量阀将一次回风量固定。

新风负担全部空调负荷的系统 $h-d$ 图过程分析如图 6 所示。空气由室内 N 点经风机温升 1.5°C 到 N_f 点, 连接 N_f 点和送风点 O , 则新风处理后状态点 L 点必然在此线上, 取此线与 $\phi=90\%$ 线交点为 L 点。新风量为 $G_x = G(t_{N_f} - t_O)/(t_{N_f} - t_L) = 1\,244 \text{ m}^3/\text{h}$ (其中 G 为总送风量, t_{N_f} 为 N_f 点的温度)。空调冷负荷为 $CLQ = \rho G_x(h_w - h_L)/3\,600 = 18.3 \text{ kW}$ 。

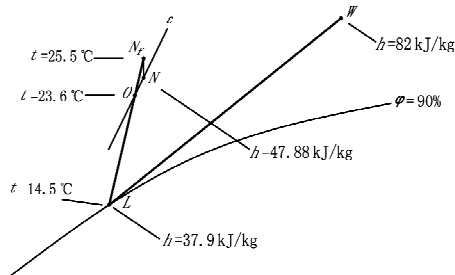


图 6 新风负担全部空调负荷的 $h-d$ 图

与二次回风系统比较, 设计能耗增加 8.6 kW , 对于单向流病房这种特殊的场合, 在一般医院中通

(上接第 112 页)

- [28] Zhang J S, Zhang J S, Chen Q. Modeling VOC sorption of building materials and its impact on indoor air quality[R]. ASHRAE RP-1097 Phase I, 2001
- [29] Jorgensen R B, Dokka T H, Bjorseth O. Investigation of the interaction between different ventilation strategies and the adsorption/desorption of VOCs on material surfaces[C] // Proceedings of Indoor Air '99, 1999; 402-407
- [30] Corsi R L, Won D, Rynes M. The interaction of VOCs and indoor materials: an experimental

常不超过 5 间, 高等级专科医院中可能达到二十几间, 总增加的设计能耗不超过 200 kW , 考虑新风负荷随季节变化, 实际运行能耗增加的量就更少了。虽然能耗有所增加, 但由新风负担全部空调负荷带来的优点却很多:

- 1) 系统简单、控制可靠, 温度调节只有新风机组一个环节, 循环机组只起空气过滤作用。
- 2) 新风量的增加能更好地改善室内空气质量。
- 3) 设备选型灵活, 由新风负担全部空调负荷时, 系统新风量为 $1\,200 \text{ m}^3/\text{h}$ 左右, 可以比较容易选出与病房一对一的新风机组; 而二次回风系统新风量为 $400 \text{ m}^3/\text{h}$ 左右, 如 2.4 节所述, 只能采用多间病房合用一台新风机组的形式。
- 4) 循环机组再无“水患”, 从根本上解决了空调机组内部细菌繁殖的问题。
- 5) 由于各间病房负荷相差无几, 使得集中新风处理也适用于多间单向流病房共用此系统。

综上所述, 新风负担全部空调负荷的系统应该是单向流病房最优的空调方案。

3 结语

洁净病房建设在我国起步较晚, 而近期又面临一拥而上大量建设的局面, 仍有许多问题亟需从各方面包括政策上来完善, 本文详细分析了单向流病房的特点, 从实际出发, 探讨可实施的优化的空调方案, 期望能对洁净病房的建设有所帮助。

参考文献:

- [1] 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
- [2] 总后建筑设计研究院. YFB 004—1997 军队医院洁净护理单元建筑技术标准[S]. 西安, 1997
- [3] 梅自力. 医疗建筑空调设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995
- evaluation of adsorptive sinks and influencing factors [C] // Proceedings of Indoor Air '99, 1999; 448-453
- [31] Kjaer U D, Tirkkonene T. Summary of adsorption/desorption experiments[R]. SBI Report, 1996
- [32] Jorgensen R B. The influence of indoor air quality of adsorption and desorption of organic compounds on materials[C] // Proceedings of Indoor Air '93, 1993; 383-388
- [33] 高华生, 汪大, 叶芸春, 等. 空气湿度对低浓度有机蒸气在活性炭上吸附平衡的影响[J]. 环境科学学报, 2002, 22(2): 194-198