

I 级洁净手术室送风速度的探讨 ——《医院洁净手术部建筑技术规范》 修订组研讨系列课题之五

中国建筑科学研究院 牛维乐[☆] 高 龙 王燕芹 李 屹 党 宇

摘要 修编的《医院洁净手术部建筑技术规范》(报批稿)对 I 级洁净手术室工作区平均风速的检测断面高度和工作区平均风速均有调整。为了获得相应的工作区平均风速对应的送风速度和送风量,进行了理论研究,得出如下结论:对于层高为 3.0 m 的 I 级洁净手术室,为了在距地面 1.2 m 高的送风面投影区域获得 0.20~0.25 m/s 的工作区平均风速,送风速度需要达到 0.30~0.37 m/s,送风量需要达到 6 800~8 400 m³/h。

关键词 规范修编 I 级洁净手术室 工作区平均风速 送风速度 送风量

Discussion on air supply velocity of the class I clean operating room: Part 5 of the series of research practice of the revision task group of the Architectural technical code for hospital clean operating department

By Niu Weile[★], Gao Long, Wang Yanqin, Li Yi and Dang Yu

Abstract The revised code adjusts the average air velocity and the measure section height for the velocity in working area in the class I clean operating rooms. Carries a theory research in order to obtain air supply velocity and air supply rate corresponding to average air velocity in working area. The results show that the air supply velocity should be up to 0.30 to 0.37 m/s and the air supply rate should be up to 6 800 to 8 400 m³/h for the class I clean operating rooms, whose storey height is three meters, in order to obtain the average air velocity of 0.20 to 0.25 m/s in the projection area of air supply face at 1.2 meters from the floor.

Keywords code revision, class I clean operating room, average air velocity in working area, air supply velocity, air supply rate

★ China Academy of Building Research, Beijing, China

①

为了控制不同用途房间的室内空气质量,降低手术的外源性感染风险,GB 50333—2002《医院洁净手术部建筑技术规范》^[1](以下简称旧规范)将洁净手术室分为 I, II, III, IV 4 级,其中 I 级洁净手术室的级别最高,要求的环境无菌程度也最高。修编的《医院洁净手术部建筑技术规范》(报批稿)(以下简称新规范)沿用了旧规范的洁净手术室的级别划分,但是对于 I 级洁净手术室的工作区平均风速的测量断面和工作区平均风速的大小均有调整:旧规范要求的工作区平均风速的测量断面为距地面

0.8 m 高的送风口投影区域,要求工作区平均风速为 0.25~0.30 m/s;新规范要求的工作区平均风速的测量断面为距地面 1.2 m 高的送风口投影区域,要求工作区平均风速为 0.20~0.25 m/s。依据旧规范的要求,如果在距地面 0.8 m 高的送风

①☆ 牛维乐,男,1973 年 8 月生,硕士,高级工程师
100013 北京市北三环东路 30 号中国建筑科学研究院建筑
环境与节能研究院
(010) 64517715
E-mail:niu_happy@163.com
收稿日期:2013-03-08

口投影区域内获得 0.25~0.30 m/s 的工作区平均风速,需要送风速度保持在 0.40~0.45 m/s^[2-3],设计人员在设计 I 级洁净手术室时按照送风风速为 0.45 m/s 去计算 I 级洁净手术室的送风量, I 级洁净手术室的送风面尺寸为 2 600 mm×2 400 mm,送风量为 10 108.8 m³/h。新规范把工作区平均风速的测量断面提高了 0.4 m,工作区平均风速的限值也降低了,为了在距地面 1.2 m 高的送风口投影区域获得 0.20~0.25 m/s 的工作区平均风速, I 级洁净手术室的送风速度和送风量需要多大? 这就是本文要研究的内容。

1 现有文献的分析研究

为了确定 I 级洁净手术室的送风量,笔者对文献[4]的研究成果进行了详细的分析,发现文献[4]的研究成果可以作为确定 I 级洁净手术室送风量的理论依据。

文献[4]的实验在苏州某公司的模型 I 级手术室实验室内完成。实验室围护结构采用复合彩钢板组装而成,实验室尺寸(长×宽×高)为 5 900 mm×4 900 mm×2 700 mm。实验室透视图见图 1,末端送风装置平面图见图 2。

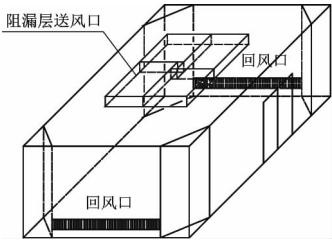


图1 实验室透视图

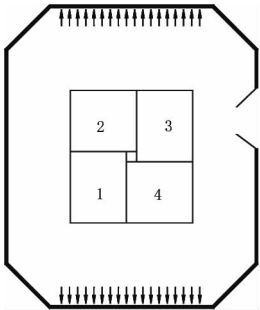


图2 末端送风装置平面图

文献[4]在两种实验条件下进行了测试,一种为等温送风,实验条件 1(送风温度和室内温度相同);另一种为高温送风,实验条件 2(送风温度高于室内温度)。

实验条件 1 为:室内干球温度 22.0~23.5℃;室内湿球温度 18.0~20.5℃;室内正压 10~13 Pa;送风温差 0℃。在此实验条件下,文献[4]得出的送风气流衰减规律见表 1。从表 1 可以看出,

表 1 实验条件 1 时的送风气流衰减规律

送风速度 $v_{01}/(m/s)$	0.396	0.414	0.424	0.431	0.443	0.452	0.462
送风量 $Q_1/(m^3/h)$	8 896	9 300	9 525	9 682	9 952	10 154	10 378
工作区平均风速 $v_{11}/(m/s)$	0.250	0.264	0.270	0.272	0.281	0.300	0.322
衰减率 $(v_{01}-v_{11})/v_{01}$	0.369	0.362	0.363	0.369	0.366	0.336	0.303

等温送风条件下送风的衰减率在 0.303~0.369 之间,平均值为 0.353。按照衰减率计算,如果要在距地 1.2 m 的送风口投影区域获得 0.20~0.25 m/s 的工作区平均风速,送风速度应为 0.309~0.396 m/s,送风量应为 6 941~8 671 m³/h。

实验条件 2 为:室内干球温度 29.7~30.0℃;室内湿球温度 22.0~24.8℃;室内正压 12~20 Pa;送风温差 1.4℃。在上述实验条件下,文献[4]得出的送风气流衰减规律见表 2。从表 2 可以

表 2 实验条件 2 时的送风气流衰减规律

送风速度 $v_{02}/(m/s)$	0.394	0.407	0.424	0.431	0.444	0.464	0.497
送风量 $Q_2/(m^3/h)$	8 851	9 143	9 525	9 682	9 974	10 423	11 165
工作区平均风速 $v_{12}/(m/s)$	0.250	0.264	0.270	0.272	0.281	0.300	0.322
衰减率 $(v_{02}-v_{12})/v_{02}$	0.462	0.445	0.460	0.441	0.435	0.422	0.437

看出,高温送风(送风温度高于室内温度)条件下送风的衰减率在 0.422~0.462 之间,平均值为 0.443。按照衰减率计算,如果要在距地 1.2 m 的送风口投影区域获得 0.20~0.25 m/s 的工作区平均风速,送风速度应为 0.359~0.449 m/s,送风量应为 8 064~10 086 m³/h。

对比以上两种实验条件下的衰减率可知,高温送风条件下的衰减率比等温送风条件下的衰减率增大了 25.5%,这种衰减率的上升是由于热送风所产生的浮力造成的,文献[4]未对送冷风(送风温度低于室内温度)的气流衰减率进行实验。由于受重力影响,送冷风的气流衰减率比等温送风的气流衰减率要小,减小的比率应该和送热风气流衰减率增大的比率相当,如果气流衰减率按照 25%的减小率计算的话,送冷风时的气流衰减率应为:0.353×(1-25%)=0.264。按照上述的衰减率计算,如果要在距地 1.2 m 的送风口投影区域获得 0.20~0.25 m/s 的工作区平均风速,送风速度应为 0.27~0.34 m/s,送风量应为 6 088~7 638 m³/h。

综合比较分析,笔者认为等温送风的气流衰减率可以取 0.35,该值与《药厂洁净室设计、运行与 GMP 认证》(第二版)^[5]关于局部单向流的送风速度中提出的衰减率(0.36)较接近,也符合文献[6]提出的衰减率 0.2~0.4 的要求。气流衰减率取 0.35,则送风速度 v_0 和工作区平均风速 v_1 之间存在如下的关系:

$$\frac{v_0 - v_1}{v_0} = 1 - \frac{v_1}{v_0} = 0.35 \tag{1}$$

由式(1)可以导出

$$\frac{v_0}{v_1} = 1.54 \tag{2}$$

由式(2)可看出,送风速度为工作区平均风速的 1.54 倍。

气流衰减率取 0.35 时,如果在距地 1.2 m 的送风口投影区域获得 0.20~0.25 m/s 的工作区平均风速,送风速度应为 0.31~0.39 m/s,送风量应为 6 964~8 761 m³/h,取整后为 7 000~8 800 m³/h。冷射流(送冷风)时送风衰减率小于上述数值。

2 理论分析

文献[7]在分析送风射流的流动规律时认为,送风速度 v_0 和距地 1.2 m 的送风口投影区域的工作区平均风速 v_1 之间存在如下的关系:

$$\frac{v_1}{v_0} = 1.13 m \frac{\sqrt{F_0}}{x} \tag{3}$$

式中 m 为射流衰减系数; F_0 为送风口面积,m²,对于Ⅰ级手术室来说 $F_0 = 2.6 \text{ m} \times 2.4 \text{ m} = 6.24 \text{ m}^2$; x 为送风口至测试断面的距离,m。

射流衰减系数是与风口本身的特性相关的参数,它的大小只取决于送风口本身的特性。文献[7]中并没有给出适合Ⅰ级洁净手术室送风口的射流衰减系数的取值,如何获取Ⅰ级洁净手术室送风口的射流衰减系数成为一个关键问题。

由式(3)可得

$$m = \frac{v_1 x}{1.13 v_0 \sqrt{F_0}} \tag{4}$$

本文利用文献[4]给出的实测送风速度和工作区平均风速之间的对应关系(见表 1),采用式(4)计算出系列射流衰减系数,见表 3。式(4)中的 $F_0 = 6.24 \text{ m}^2$,送风口至测试断面的距离 $x = 1.9 \text{ m}$ 。将这一系列射流衰减系数的平均值 0.435 作

为Ⅰ级洁净手术室送风口的射流衰减系数。

表 3 射流衰减系数

送风速度 $v_{01}/(\text{m/s})$	0.396	0.414	0.424	0.431	0.443	0.452	0.462
工作区平均风速 $v_{11}/(\text{m/s})$	0.250	0.264	0.270	0.272	0.281	0.300	0.322
射流衰减系数 m	0.425	0.429	0.428	0.424	0.427	0.446	0.469

当手术室的层高为 3 m 时,距地 1.2 m 的送风口投影区域的测试断面到送风口的距离 $x = 1.8 \text{ m}$,射流衰减系数为 0.435, $F_0 = 6.24 \text{ m}^2$,将已知参数代入式(3)中可得

$$\frac{v_1}{v_0} = 1.13 \times 0.435 \times \frac{\sqrt{6.24 \text{ m}^2}}{1.8 \text{ m}} = 0.683$$

气流衰减率:

$$\frac{v_0 - v_1}{v_0} = 1 - \frac{v_1}{v_0} = 1 - 0.683 = 0.317$$

按照 0.317 的气流衰减率,如果在距地 1.2 m 的送风口投影区域获得 0.20~0.25 m/s 的工作区平均风速,送风速度应为 0.29~0.37 m/s,送风量应为 6 515~8 312 m³/h,取整后为 6 600~8 400 m³/h。

3 Ⅰ级洁净手术室送风速度及送风量的确定

对于层高为 3.0 m 的Ⅰ级洁净手术室,第 2 章计算的气流衰减率为 0.317,而第 1 章中由现有文献分析所得的气流衰减率为 0.35,存在差异的原因主要在于文献[4]所采用的实验室的层高为 2.7 m,工作区平均风速的测试断面距地面 0.8 m,送风面和工作区平均风速的测试断面之间的距离为 1.9 m;而实际测试和理论探讨的Ⅰ级洁净手术室的层高为 3.0 m,工作区平均风速的测试断面距地面 1.2 m,送风面和工作区平均风速的测试断面之间的距离为 1.8 m;文献[4]的送风射流距离比实际测试和理论研究的射流距离长了 100 mm,因此造成了衰减率的差异,实际测试发现射流距离相差几 cm,风速就会发生显著的变化。综合比较现有文献、理论研究、实际测试所得的气流衰减率,笔者认为层高为 3.0 m 的Ⅰ级洁净手术室的气流衰减率宜取为 0.32,这个衰减率既包含在现有文献的分析研究所得的数值范围内,又比理论研究的结果相对保险。按照 0.32 的气流衰减率,如果在距地 1.2 m 的送风口投影区域获得 0.20~0.25 m/s 的工作区平均风速,送风速度应为 0.30~0.37 m/s,送风量应为 6 739~8 312 m³/h,上述送风量取整后为 6 800~8 400 m³/h。上述送风量适合于层高 3.0 m 的Ⅰ级洁净手术室;对于层高不是 3.0 m 的

I 级洁净手术室,送风速度和送风量可以依据式(3)进行计算确定。

当手术室的层高为 2.9 m 时,距地 1.2 m 的送风口投影区域的测试断面到送风口的距离 $x=1.7\text{ m}$,按照式(3):

$$\frac{v_1}{v_0} = 1.13 \times 0.435 \times \frac{\sqrt{6.24\text{ m}^2}}{1.7\text{ m}} = 0.722$$

气流衰减率为

$$\frac{v_0 - v_1}{v_0} = 1 - \frac{v_1}{v_0} = 0.278$$

同理可得其他层高的 I 级洁净手术室的送风速度和送风量,计算结果见表 4。在进行 I 级洁净手术室设计时可以参照表 4 进行设计,并根据实际工程的送风温差调整送风量的大小。由于新规范规定洁净手术室的净高(装饰面或送风面至地面高度)不宜低于 2.7 m,因此表 4 中最低层高只给到 2.7 m 的 I 级洁净手术室的送风速度和送风量的取值。

表 5 新、旧规范的比较(层高 3.0 m 的 I 级洁净手术室)

	工作区平均风速/(m/s)	送风速度/(m/s)	送风量/(m ³ /h)	测量断面距地面的高度/m
旧规范	0.25~0.30	0.40~0.45	9 000~10 000	0.8
新规范	0.20~0.25	0.30~0.37	6 800~8 400	1.2

可以按照 7 000~8 600 m³/h 取值,比按照旧规范计算所得的送风量减少了 1 600 m³/h,减少的送风量相当于原设计风量的 16%。如果 I 级洁净手术室的层高小于 3.0 m,送风量减小的比例会更大。送风量减少了,在进行 I 级洁净手术室设计时,风机参数也可以适当减小,空调机组表冷器的冷负荷和热负荷都会随之减小,这样就会在一定程度上降低 I 级洁净手术室的造价和运行费用,对于建设方来说是非常有利的。

考虑到低温送风时的气流衰减率减小,在距地 1.2 m 的送风口投影区域达到 0.20~0.25 m/s 的工作区平均风速所需的送风速度和送风量会减少,因此新规范从减少送风量的角度出发进行了如下的规定:在手术进行过程中,I~Ⅲ级洁净手术室净化空调系统宜根据需要使送风温度能够低于室温状况下运行。

5 结论

对于层高为 3.0 m 的 I 级洁净手术室,为了在距地面 1.2 m 高的送风面投影区域获得 0.20~0.25 m/s 的工作区平均风速,送风速度需要达到 0.30 m/s~0.37 m/s,送风量需要达到 6 800~

表 4 I 级洁净手术室送风速度和送风量

手术室层高/m	送风速度/(m/s)	送风量/(m ³ /h)
3.0	0.30~0.37	6 800~8 400
2.9	0.28~0.35	6 300~7 900
2.8	0.26~0.33	5 900~7 500
2.7	0.25~0.31	5 700~7 000

表 4 的结果为理论计算所得,实际手术室中送风速度的衰减受手术室的大小、布局,送风面的大小,回风口的布置,送风温差等因素影响,笔者尚未对上述因素对送风速度衰减的影响进行研究,今后的工作中会继续总结完善。

4 新、旧规范 I 级洁净手术室送风面风速和送风量比较

由于工作区平均风速的测量断面和所要求的工作区平均风速的数值有变化,新规范和旧规范相比,I 级洁净手术室的送风速度和送风量有变化,变化情况见表 5,表 5 针对的是层高为 3.0 m 的 I 级洁净手术室。从表 5 可以看出,要达到新规范的工作区平均风速的要求,I 级洁净手术室的送风量

8 400 m³/h。送风速度约为工作区平均风速的 1.5 倍。冬季需要送热风的洁净手术室可以按照送风速度和送风量的上限值确定送风速度和送风量,全年送冷风的洁净手术室的送风速度和送风量可以根据具体情况适当降低。

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] 许钟麟,梅自力,于冬. 洁净手术部建设实施指南[M]. 北京:科学出版社,2004

[3] 涂光备,等. 医院建设空调净化与设备[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2005

[4] 牛维乐. 阻漏层局部百级送风的气流均匀性和抗干扰性研究[D]. 北京:中国建筑科学研究院,2002

[5] 许钟麟. 药厂洁净室设计、运行与 GMP 认证[M]. 2 版. 上海:同济大学出版社,2011

[6] 刘华. 洁净空间影响局部百级工作区速度场因素的研究[D]. 北京:中国建筑科学研究院,2000

[7] 赵荣义,范存养,薛殿华,等. 空气调节[M]. 4 版. 北京:中国建筑工业出版社,2010