

文章编号: 1671-6612 (2024) 06-815-12

医疗洁净工程净化空调指标分析

邵涛涛 娄君 吴萍 陈孜轶

(中国建筑西南设计研究院有限公司 成都 610041)

【摘要】 收集了30个来自四个不同热工分区的医疗洁净区的净化空调设计资料,结合常用设计参考标准对收集的数据进行了处理和分析,总结出不同洁净用房的净化空调性能数据参考区间,如冷负荷指标、热负荷指标、送风量指标、新风量指标等。对医疗洁净空调区可行性研究、方案设计及初步设计阶段,进行控制设计的性能指标选取,具有一定的参考意义。

【关键词】 医疗洁净空调区; 净化空调; 指标; 洁净科室

中图分类号 TU246.1 文献标志码 A

Analysis of Air Conditioning Indicators in Medical Cleaning Engineering

Shao Taotao Lou Jun Wu Ping Chen Ziyi

(CSWADI, Chengdu, 610041)

【Abstract】 This article processed and analyzed the collected data from 30 medical clean zones across four different thermal zones, in conjunction with commonly used design reference standards. It summarized the reference ranges of air conditioning performance data for different clean rooms, including cooling load, heating load, air supply volume, and fresh air volume indicators. These findings are of significant reference value for feasibility studies, scheme designs, and initial design phases of medical clean air conditioning zones, particularly in selecting performance indicators for control design.

【Keywords】 Medical sterile HVAC area; Clean air conditioning; Indicators; Cleanroom department

0 引言

随着我国国民经济的持续发展和医疗改革的推进,医院建设得到了前所未有的发展,医院从2011年的23170所快速发展到2021年的36451所^[1],医院功能不断完善,医院建设标准大大提高^[2],医疗洁净区的需求也逐渐被重视,医疗洁净区的洁净度、温度、相对湿度、新风量等^[3]的设计对专业性的要求也越来越高。

洁净区工艺流程复杂、专业性强、设计技术难度高于常规区域。长期以来,洁净区设计是各大设计院设计内容的“阴影地带”,设计师缺少对洁净区的认识,缺乏洁净区的设计经验和设计总结。净化空调作为洁净区设计的重要专业,其性能控制性参考数据也很缺乏,造成前期设计不准确或漏项等,致使后续设

计受阻或难以推进,对招标、采购及施工也造成比较大的隐患。因此越来越多医院项目设计,要求在前期就进行医疗净化空调性能控制性设计。有关资料显示:医院建筑空调系统的年一次能耗量一般是办公建筑的1.6~2.0倍^[4,5],甚至两倍以上^[6,7],净化空调性能指标参考区间有利于专业负责人和校审的总体把控,方便提供设计咨询服务,对可研、方案、初步设计阶段有一定指导作用。同时对控制医疗洁净区的空调系统能耗亦有一定的帮助。

1 净化空调技术指标

净化空调技术指标包括净化空调冷负荷指标、热负荷指标、风量指标、耗蒸汽量/耗水量指标、净化空调机房的面积指标、空调耗电指标、总耗电

作者简介:邵涛涛(1987-),男,硕士研究生,暖通工程师, E-mail: 532776738@qq.com

通讯作者:娄君(1986-),女,硕士研究生,暖通工程师, E-mail: 414591428@qq.com

收稿日期:2024-07-03

量指标。

根据与建筑功能划分相匹配的原则分层次划分,建筑的划分通常从整个洁净区(建筑单体)→整个洁净区的功能区域(科室),暖通各系统服务的范围不同,应分不同的层级划分指标。故整体的指标体系搭建如下:①总体技术指标:洁净工程各设计参数相对于所属样本医院的技术指标,如冷负荷、热负荷、新风量、总通风耗电量、空调耗电、总耗电量等指标。②分科室技术指标:独立洁净科

室负荷指标、科室空调机房面积所占整个科室空调面积的比例(空调机房指标)、空调耗电、总耗电量等指标。

2 样本医院原始数据

2.1 样本医院项目概况

本文共搜集了 30 家样本医院,其中北京 4 家,成都 17 家,昆明 2 家,广州 3 家,江西省 1 家,海南省 3 家,总体情况如表 1 所示。

表 1 样本医院总体概况

Table 1 General survey of sample hospitals

项目编号	设计时间	床位数/ 床	建筑面积/ m ²	洁净区面积/ m ²
BJ01	2015 年	—	173000	6967
BJ02	2019 年	200	73000	4531
BJ03	2022 年	500	156000	13027
BJ04	2022 年	1000	241700	11637
CD01	2022 年~2023 年	499	153539.48	6227.9
CD02	2022 年~2023 年	129	17770.97	2751.3
CD03	2022 年	230	31721.6	882.3
CD04	2020 年~2021 年	500	148000	16188.7
CD05	2016 年~2021 年	1200	265000	19459
CD06	2020 年~2022 年	1500	192986	7306
CD07	2015 年~2018 年	1000	100000	1325
CD08	2018 年~2019 年	1000	76253	442
CD09	2015 年~2018 年	900	63961	11986
CD10	2020 年~2021 年	600	55354	701
CD11	2019 年	300	63730	1847
CD12	2019 年~2022 年	500	87764	4790
CD13	2021 年~2022 年	500	116470	5303
CD14	2020 年~2021 年	600	59479	566
CD15	2022 年~2023 年	—	60813	2140
CD16	2022 年~2023 年	1000	697737	5617.4
CD17	2022 年~2023 年	800	122572	5839
KM01	2022 年	693	167619	10966.2
KM02	2022 年~2023 年	2000	384900	20411
GZ01	2022 年	500	185298	7335.2
GZ02	2018 年~2019 年	1500	510000	16486
GZ03	2022 年	800	167000	8963.24
JX01	2022 年~2023 年	561	32783.9	103.4
HN01	2022 年~2023 年	200	27180	1928.8
HN02	2022 年~2023 年	1000	328381	9101
HN03	2022 年~2023 年	431	94000	7906.3

注:BJ:北京(寒冷地区);CD:成都;JX:江西(夏热冬冷地区);KM:昆明(温和地区);GZ:广州;HN:海南(夏热冬暖地区)。

按照第1章节指标体系的内容,统计了各个城市各个样本医院的总体技术指标。本文所统计样本医院的建筑面积介于3.17万m²至51万m²之间。所统计样本医院床位数区间数为129~2000床。洁净工程面积范围为103.4m²~25000m²。设计时间横跨2015年至2023年。

2.2 净化空调技术指标统计及分析

2.2.1 医院技术指标统计及分析

根据《公共建筑节能设计标准》(GB 50189-2015)^[8],表1中统计的样本医院所处四个地点分

别属于寒冷地区、夏热冬冷地区、温和地区以及夏热冬暖地区,在对冷负荷指标、热负荷指标、再热负荷指标等热工相关的指标进行分析时考虑使用样本量较大的CD01~CD17,以排除热工分区影响;对与热工分区无关的指标采用表2所有数据进行分析。对样本医院技术指标进行统计,统计结果如表2所示,表2中各指标所对应的面积为所属样本医院整体洁净区面积,如冷负荷指标=样本医院洁净区冷负荷/样本医院整体洁净区面积。

表2 医院技术指标汇总

Table 2 Summary of technical indicators of hospitals

项目 编号	冷负荷 指标 W/m ²	热负荷 指标 W/m ²	耗汽量/耗水 量指标 g/h·m ²	再热负荷 指标 W/m ²	送风量 指标 m ³ /h·m ²	新风量 指标 m ³ /h·m ²	通风耗电 量指标 W/m ²	空调耗 电指标 W/m ²	总耗电量 指标 W/m ²	净化空调机 房面积指标 %
BJ01	339.9	206.7	95.4	95.3	86.1	17.3	4.7	148.5	175.9	49.8
BJ02	417.1	207.9	146.3	77.5	32.1	16.5	5.9	261.5	267.4	19.9
BJ03	251.3	168.1	60.9	77.1	32.8	8.6	5.6	142.3	148	21.4
BJ04	433.5	219.6	169.6	75.0	47.3	14.3	5.5	264	269.5	16.7
CD01	374.4	184.1	13.1	16.5	20.1	14.5	5.4	61.2	66.5	5.8
CD02	159	76.7	30.7	30.3	16.4	4.8	2.5	125.2	127.7	4.7
CD03	394	200	22.6	97.2	10.9	6.5	17.6	139.7	157.3	16.7
CD04	451.4	226.3	110.2	55.8	46.1	15.1	6.6	225.7	232.3	20.7
CD05	367	246.8	73.2	69.4	47.6	11.3	7.2	101.5	108.7	20.3
CD06	416.4	147.1	63.4	47.6	29	13.8	7	172.4	179.5	14.1
CD07	323	138.1	80	101.9	42.5	9.7	1	189.1	190.1	26.2
CD08	795.5	427.4	293.9	124.4	54.3	41	26.2	445.9	472.1	38.5
CD09	342.6	143.3	58.2	78.3	32.3	11.6	1.6	183.2	184.8	18.4
CD10	549.2	328.1	141.2	144.1	159.8	14.4	4.4	296.9	301.3	60.1
CD11	460.9	223.9	120.7	82.5	46.5	15.3	5.6	250.5	256.1	24.6
CD12	312.4	176.6	57.7	50.3	23.8	10.9	2.7	156.7	159.4	21.6
CD13	392.7	254.8	32.8	39.8	14.9	6	3.1	133.8	117.8	14.2
CD14	477	314.5	146.6	77.7	34.5	23.7	14.5	255.1	269.6	20.0
CD15	551.1	427.4	0	0	32.7	29.9	33.4	252.7	286.1	7.9
CD16	507.5	240.9	115.8	96.2	46.2	21.5	22.7	281.7	304.5	17.9
CD17	338.9	126.4	38.3	74.4	27.8	7.7	5.4	169	174.4	11.6
KM01	312.4	251.1	85.4	66.1	35.8	18.9	12.5	169.1	181.6	10.3
KM02	288.1	212.9	158.0	75.7	41.1	14.6	3.7	226.9	230.7	22.2
GZ01	488.0	259.0	60.0	88.5	33.1	18.2	12.9	315.5	328.4	13.3
GZ02	355.1	196.5	65.7	69.9	36.8	13.2	8.1	248.2	295.4	13.9
GZ03	383.7	218.4	54.8	54.7	28.5	13.7	11.2	43.5	75.2	17.1
JX01	985.0	327.0	56.0	164.4	84.6	57.5	43.5	471	514.5	30.5
HN01	203.0	59.6	30.8	58.1	11.6	2.6	6.4	78.1	84.5	8.1
HN02	437.4	110.4	22.9	68.0	52.3	20.7	31.2	137	168.2	17.7
HN03	378.0	73.4	40.1	64.2	23.7	7.2	11.9	168.7	180.6	12.6

注:BJ:北京(寒冷地区);CD:成都;JX:江西(夏热冬冷地区);KM:昆明(温和地区);GZ:广州;HN:海南(夏热冬暖地区)。

根据表 2 中数据,运用 Gauss 拟合得到各个指标的相对频率分布图 (见图 1~图 6)。

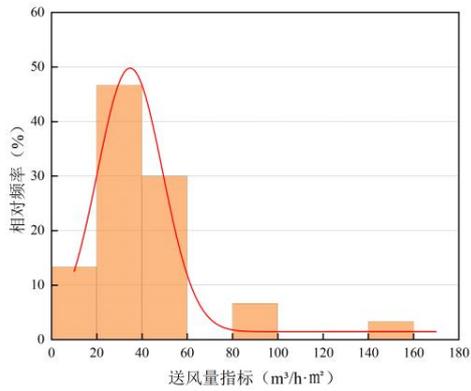


图 1 洁净区送风量指标 Gauss 拟合图

Fig.1 Gauss fitting diagram of air supply volume indicators in clean zone

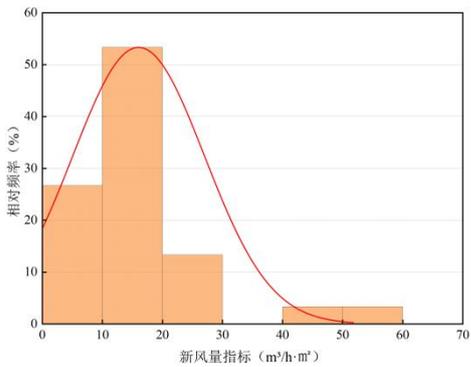


图 2 洁净区新风量指标正态分布图

Fig.2 Normal distribution diagram of aresh air volume indicators in clean zone

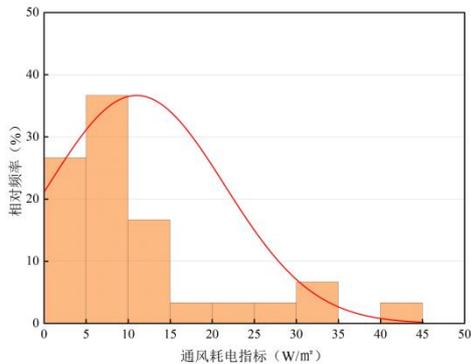


图 3 洁净区通风耗电指标正态分布图

Fig.3 Normal distribution diagram of ventilation electricity consumption indicators in clean zone

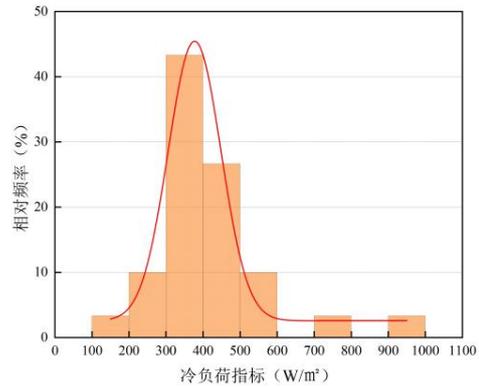


图 4 洁净区冷负荷指标 Gauss 拟合图

Fig.4 Gauss fitting diagram of cold load indicators in clean zone

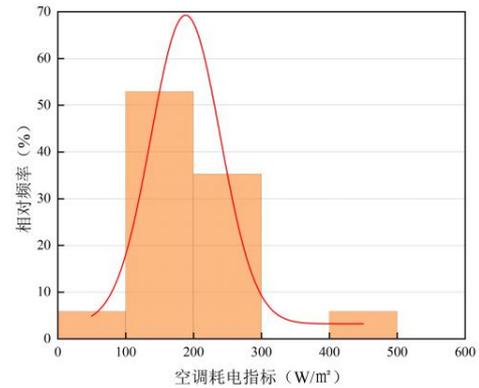


图 5 CD01~CD17 空调耗电指标 Gauss 拟合图

Fig.5 Gauss fitting diagram of air conditioning electricity consumption indicators of CD01~CD17

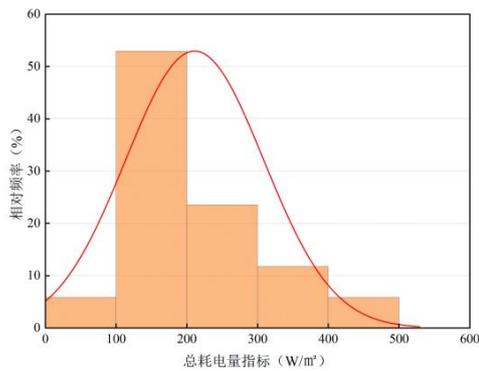


图 6 CD01~CD17 总耗电指标正态分布图

Fig.6 Normal distribution diagram of total electricity consumption indicators of CD01~CD17

观察图 1 发现部分洁净区设计风量远高于其他医院,原因是 BJ01 项目只有手术部 1 个洁净区、CD10 项目只有肠内营养配置区和层流病房 2 个洁净区。因此按照数学统计的方法,忽略 $80\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ ~

$100\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ (只有手术部一个洁净区的项目可谨慎参考此数据)、 $140\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2\sim 160\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ (只有层流病房一个洁净区的项目可谨慎参考此数据)之间的样本量,再对其余数据选择均值的 95%置信区间的上/下限值作为参考区间,以满足普适性,故可设定参考送风量指标区间为 $[28,38]$ 。

对新风量指标数据进行数据处理时,观察图 2 发现其主要集中在 $5\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2\sim 25\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ 之间,在 $30\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2\sim 40\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ 间存在断层。位于 $40\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2\sim 60\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ 之间的数据所对应的两个医院项目洁净区 (CD08、JX01) 只有配液中心 1 个洁净区,该洁净区采用新风直流系统,导致新风量指标偏大,此数据适用于只有配液中心 1 个洁净区的项目。对于洁净科室较全的医院项目则需要按照送风量同样的处理方法来拟定参考区间,从而得出新风量指标区间为 $[11,16]$ 。

从图 3 中能够发现通风耗电指标介于 $2.5\text{W}/\text{m}^2\sim 35\text{W}/\text{m}^2$ 之间分布较均匀,主要集中在 $2.5\text{W}/\text{m}^2\sim 20\text{W}/\text{m}^2$ 之间。尽管 $20\text{W}/\text{m}^2\sim 30\text{W}/\text{m}^2$ 之间的样本量整体偏小,但考虑其不同于以上两组指标存在断层,可能是数据所属项目的洁净科室种类适中,故并考虑保留该部分样本量,而忽略断层之后 $40\text{W}/\text{m}^2\sim 45\text{W}/\text{m}^2$ 之间的样本量 (因 JX01 项目只有静脉配液科室一个洁净区)。此外,对通风耗电指标进行区间设定时,需假定该区域送风量指标/新风量满足以上区间,故在送风量指标、新风量满足参考区间时得出通风耗电指标区间为 $[7,16]$ 。

《实用空调设计手册第二版》表 19.4-1 冷负荷指标的统计值中所提及医院洁净手术室的冷负荷指标区间为 $180\text{W}/\text{m}^2\sim 380\text{W}/\text{m}^2$ ^[9]。结合 CD01~CD17 项目这 17 组数据拟合的 Gauss 频数分布图,发现端点的两组数据较大程度地远离参考标准,是因为数据所属医院 (CD08) 项目只有 1 个洁净区 (配液中心) 所导致的,此数据适用于只有静脉配液 1 个洁净区的医院项目。对于其他项目则考虑先筛选出最大/小值后,再采用对拟合结果较为集中的数据进行置信区间的方法,得出 CD01~CD17 冷负荷指标参考区间为 $[370,460]$ 。

观察图 5、6 能够发现空调耗电指标与总耗电量指标的分布主要集中于 $100\sim 300\text{W}/\text{m}^2$ 之间,且上述两指标与冷负荷指标存在较强的相关性。因此在进行参考区间划分时不仅需要剔除相对频率较小的两端数据样本,且需要剔除冷负荷指标分析中已剔除的数据样本 (CD08), 再进行置信处理得到空调耗电指标与总耗电量指标的参考区间。

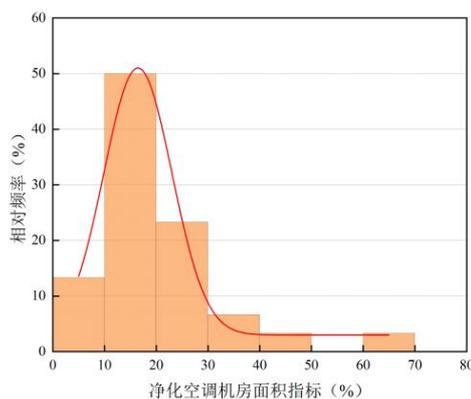


图 7 洁净区净化空调机房面积指标 Gauss 拟合图

Fig.7 Gauss fitting diagram of room area indicators of purifying air conditioner in clean zone

观察图 7 能够发现洁净区净化空调机房面积指标介于 $40\%\sim 60\%$ 之间的相对频率较低。针对这一区域,在设定参考下限时考虑剔除该数据样本,设置上限时予以保留。

以上分析所得出的洁净区指标参考区间适用于综合性较强的医院洁净区。常规暖通设计仅需要考虑冷负荷是否满足设计要求即可,但对于洁净区的空调设计,还需考虑热负荷、再热负荷、耗水量等指标。

2.2.2 各洁净科室净化空调指标统计及分析

在针对洁净科室进行指标统计及分析时,为了能够排除地区气候特点的影响,仍需根据热工分区进行分类。如表 3 和表 4 所示,表格中热工无关指标包含送风量指标、新风量指标、净化空调机房面积指标,热工相关指标包含冷负荷指标、热负荷指标、再热负荷指标等指标。表 3 和表 4 中各指标所对应的面积为独立洁净科室面积,如冷负荷指标=洁净科室冷负荷/洁净科室面积。

表 3 各洁净科室热工无关指标汇总

Table 3 Summary of thermal irrelevant indicators of each clean department

项目编号	洁净科室面积/ m ²	风量指标		净化空调机房面积/ m ²	净化空调机房面积指标/ %
		送风量指标/ m ³ /h·m ²	新风量指标/ m ³ /h·m ²		
BJ01-A	6967	86.1	17.3	3473	49.8
BJ02-A	1699	47.7	21.5	700	41.2
BJ03-A	4486	70.3	12.4	2483	55.3
BJ04-A1	4489	59.5	12.3	1000	22.3
BJ04-A2	1133	44	25.9	118	10.4
CD01-A	1602	25.6	14.9	114	7.1
CD04-A	6449	53.9	12.4	1484	23
CD05-A	17171	44.2	8.7	3343	19.5
CD06-A	4330	34	14	720	16.6
CD07-A	1189	43.1	9.1	282	23.7
CD09-A	6289	33.6	11.9	1756	27.9
CD11-A	1398	54.2	14.9	426	30.5
CD12-A	3139	29.1	11.3	910	29
CD13-A	3927	12.5	2.5	594	15.1
CD14-A	383	27.2	14.1	56	14.6
CD16-A1	1333	33.3	10.7	442	33.2
CD16-A2	2303	50.8	11.3	325	14.1
CD17-A	2779	37.8	7.3	400	14.4
KM01-A	4288	43.5	9	584	13.6
KM02-A	12748	38.8	13.9	3245	25.5
GZ02-A	9145	39.4	12.3	1506	16.5
GZ03-A	3681	39	9.3	1268	34.4
HN03-A	3427	79.5	16.7	893	26.1
BJ02-B1	222	29.6	17.9	30	13.5
BJ02-B2	1291	22.4	11.8	66	5.1
BJ03-B1	940	6.4	6.4	14	1.5
BJ03-B2	4490	14.5	7.1	136	3
BJ04-B1	2048	8	8	136	6.6
BJ04-B2	532	29.5	9.6	32	6
BJ04-B3	688	7.3	7.3	28	4.1
CD01-B	536.6	10.5	10.5	22	4.1
CD02-B1	3256	41.1	19.7	460	14.1
CD02-B2	505	31.9	11.7	80	15.8
CD09-B	3609	26.9	9.9	167	4.6
CD12-B	1083	5.8	5.8	56	5.2
CD16-B1	48	385.4	385.4	22	45.8
CD16-B2	46	178.3	104.3	23	50
CD17-B	1406	13.9	2.7	50	3.6

续表3 各洁净科室热工无关指标汇总

Table 3 Summary of thermal irrelevant indicators of each clean department

项目编号	洁净科室面积/ m ²	风量指标		净化空调机房面积/ m ²	净化空调机房面积指标/ %
		送风量指标/ m ³ /h·m ²	新风量指标/ m ³ /h·m ²		
KM01-B	2066	19.1	9.2	132	6.4
KM02-B	1184	20.4	9.6	66	5.6
GZ02-B1	1938	24.7	11.2	118	6.1
GZ02-B2	273	29.1	10.6	28	10.3
GZ02-B3	283	66.8	35.3	48	17
GZ03-B	2472	16.9	8.9	116	4.7
HN02-B	960	10.5	10.5	48	5
BJ01-C	665	17.6	9.1	50	7.5
BJ03-C	1024	6.3	0.5	50	4.9
BJ04-C	1037	22.9	14.8	50	4.8
CD04-C	1290	14.3	8.9	70	5.4
CD06-C	1436	9.6	5.9	40	2.8
CD07-C	136	37.5	14.7	65	47.8
CD09-C	320	32.8	25	44	13.8
CD13-C	743	12.8	6.7	50	6.7
CD16-C	209	32.5	8.1	28	13.4
CD17-C	187	30.2	6.5	22	11.8
KM01-C	882	10.2	2.3	53	6
KM02-C	2573	22.8	10.6	100	3.9
GZ02-C	2319	16	8.2	59	2.5
GZ03-C	717	14.3	10.8	24	3.3
HN02-C	466	40.3	11.6	46	9.9
BJ02-D	455	22.5	19.2	28	6.2
CD01-D	550.6	31.2	15.2	78	14.2
CD04-D	348.7	34.3	34.3	100	28.7
CD05-D	470	41.3	30.4	50	10.6
CD06-D	687	18.7	11.5	47	6.8
CD08-D	442	54.3	41	170	38.5
CD09-D	128	53.1	35.2	55	43
CD11-D	449	22.3	16.7	28	6.2
CD12-D	503	28.4	18.5	42	8.3
CD13-D	368	21.5	15.2	55	14.9
CD16-D	409.4	44.1	28.8	58	14.2
CD17-D	533	32.8	25.4	56	10.5
KM01-D	919	29.9	19.6	61	6.6
KM02-D	794	48	31.8	42	5.3
GZ03-D	470	24	21.8	40	8.5
HN02-D	415	32.4	26.4	62	14.9

注: BJ: 北京(寒冷地区); CD: 成都; JX: 江西(夏热冬冷地区); KM: 昆明(温和地区); GZ: 广州; HN: 海南(夏热冬暖地区); -A: 手术中心; -B: ICU; -C: 中心供应; -D: 配液中心。

由于实际数据的随机性及每个科室数据样本量不一致,对数据进行正态分布拟合可极大程度地

运用正态分布去预估数据比较集中的部分,从而达到预测设计参考区间的目的,如图 8、图 9 所示。

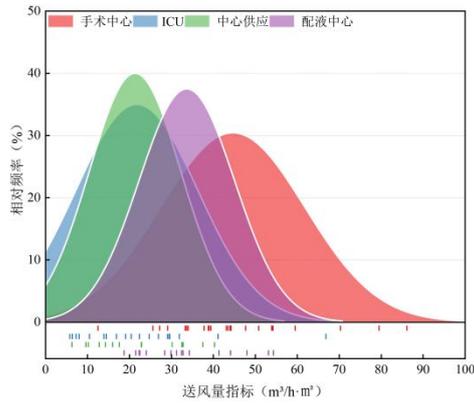


图 8 各洁净科室送风量指标正态分布图

Fig.8 Normal distribution diagram of Air supply volume indicators of each clean department

观察表 3 发现送风量指标、新风量指标中的两组数据 (CD16-B1、CD16-B2) 远大于同列的其他数据,导致该情况出现的原因是两个科室面积较小且空调系统采用全新风直流系统,因此在进行拟合

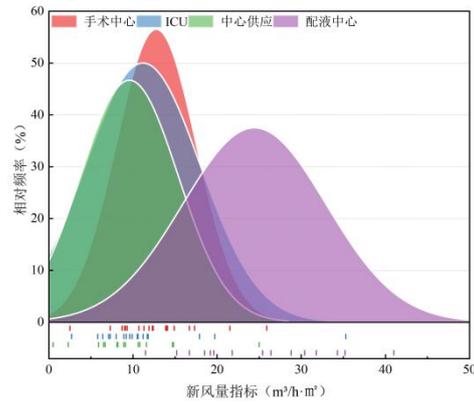


图 9 各洁净科室新风量指标正态分布图

Fig.9 Normal distribution diagram of fresh air volume indicators of each clean department

时剔除这两组数据。根据图 8、9 发现相对频率低于某个值时,虽然能够包含所有样本值,但就其作为参考区间值则存在一定的局限性,考虑剔除两端的数据量。

表 4 各洁净科室热工相关指标汇总

Table 4 Summary of thermal relevant indicators of each clean department

项目编号	冷负荷 指标/ W/m ²	热负荷 指标/ W/m ²	耗汽量/耗水量 指标/ g/h·m ²	再热负荷 指标/ W/m ²	通风耗电 指标/ W/m ²	空调耗电 指标/ W/m ²	总耗电量 指标/ W/m ²
CD01-A	412.3	151.4	17.8	27.5	5.1	78	83
CD04-A	433.9	220.3	129	64.7	0.6	189.3	189.9
CD05-A	347	232.7	63.3	61.1	6.7	56.3	63.1
CD06-A	392.1	149	41.1	50	4.5	67.4	71.9
CD07-A	321.3	135.4	75.7	97.6	1.1	88.3	89.4
CD09-A	375.1	141.2	63	84.9	1.1	113.3	114.4
CD11-A	432	220.7	121.6	90.1	3.8	135.6	139.4
CD12-A	302.6	178.4	68	61.8	2	95.7	97.7
CD13-A	360.1	236.8	15	27	1.1	—	—
CD14-A	334.2	219.3	78.3	57.4	7.2	99.2	106.4
CD16-A1	487.6	236.3	65.1	66	14.7	90.2	105
CD16-A2	394.3	158	80.6	116.2	2.9	123.3	126.3
CD17-A	402.3	117.6	48.9	117.9	5.9	—	—
CD01-B	297.5	115.5	44.3	22.4	4.2	84.8	89
CD02-B1	321.6	152.6	105	63.6	1.2	143.6	144.8
CD02-B2	305	154.5	118.8	95	4.9	148.5	153.4
CD09-B	297.9	160.4	50.7	52.1	1.8	72.9	74.6
CD12-B	264.1	145.9	0	0	2.8	—	—
CD16-B1	939.6	529.2	426.3	158.5	145.8	397.5	543.3
CD16-B2	782.6	404.3	356.5	130.4	65.2	341.3	406.5

续表 4 各洁净科室热工相关指标汇总

Table 4 Summary of thermal relevant indicators of each clean department

项目编号	冷负荷 指标/ W/m ²	热负荷 指标/ W/m ²	耗汽量/耗水量 指标/ g/h·m ²	再热负荷 指标/ W/m ²	通风耗电 指标/ W/m ²	空调耗电 指标/ W/m ²	总耗电量 指标/ W/m ²
CD17-B	167.4	125.6	0	0	1.6	16.5	18.1
CD04-C	461.5	268.2	23.3	20.9	17.4	34.9	52.2
CD06-C	301.5	107.9	7.7	9.1	7	—	—
CD07-C	338.2	161.8	117.6	139.7	0.9	257.4	258.2
CD09-C	375	187.5	59.4	87.5	3.4	111.6	115
CD13-C	398.4	222.1	39	45.8	7.5	—	—
CD16-C	268.4	95.7	68.9	100.5	5.3	92.6	97.8
CD17-C	255.1	45.5	35.5	94.1	1.3	40.1	41.4
CD01-D	419.1	182.9	53.3	52.7	10.2	93.5	103.7
CD04-D	748.6	438.8	218	94.6	41.6	261	302.6
CD05-D	731.9	495.7	187.2	134	18.5	157.4	176
CD06-D	481.8	135.4	100.4	53.1	1.6	99.6	101.2
CD08-D	795.5	427.4	293.9	124.4	26.2	179.9	206.1
CD09-D	640.6	320.3	125	171.9	8.2	206.3	214.5
CD11-D	550.6	233.9	118	58.6	11.1	107.3	118.5
CD12-D	471.2	228.6	107.4	83.5	6.8	112.9	119.7
CD13-D	440.2	315.2	62.5	65.2	4.2	—	—
CD16-D	666.8	322.9	187.6	120.7	24.9	189.1	214
CD17-D	566	160.8	102.3	81.4	13.6	91	104.6

注: CD: 成都; -A: 手术中心; -B: ICU; -C:中心供应; -D: 配液中心; —: 数据缺失。

在对各洁净科室通风耗电指标参考区间划分时,应基于已经设定的风量区间进行限定。然后将样本数据处理后再进行参考区间划分,如:根据图 10 能够发现,手术中心中最右端的数据相对频率较小,应剔除。

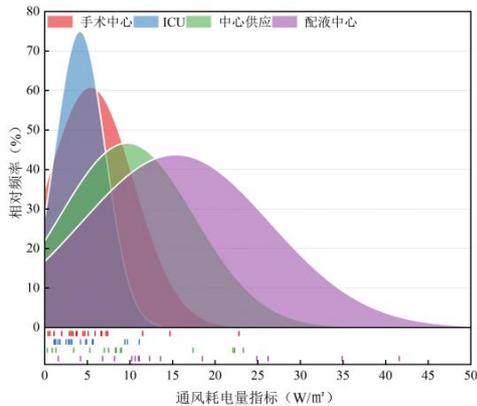


图 10 各洁净科室通风耗电量指标正态分布图

Fig.10 Normal distribution diagram of ventilation power consumption indicators of each clean department

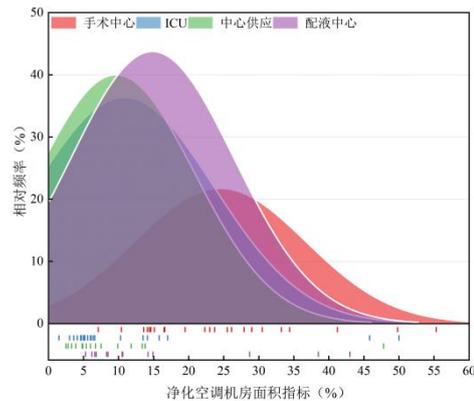


图 11 各洁净科室净化空调机房面积指标正态分布图

Fig.11 Normal distribution diagram of room area indicators of purifying air conditioner in each clean department

对图 11 进行分析,发现各个科室的净化空调机房面积指标分布较为广泛且相对频率并不突出,因此对 ICU、中心供应、配液中心考虑使用均值置信区间法将参考区间向相对频率较为集中的区域靠近。

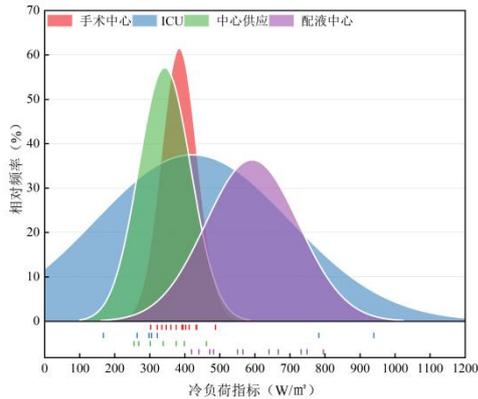


图 12 各科室冷负荷指标正态分布图

Fig.12 Normal distribution diagram of cold load indicators in each clean department

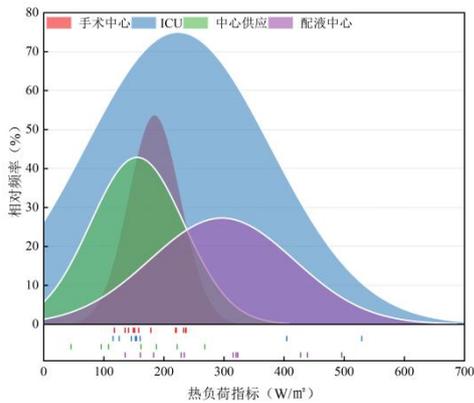


图 13 各科室热负荷指标正态分布图

Fig.13 Normal distribution diagram of heat load indicators in each clean department

根据前文对表 3 数据的剔除原则，对表 4 中 CD16-B1、CD16-B2 这两行数据进行剔除。结合《实用空调设计手册》（第二版）表 19.4-1 冷负荷指标的统计值中所提及医院洁净手术室的冷负荷指标（180W/m²~380W/m²）进行分析。结合图 12 能够发现其中一部分满足上述范围、一部分略微超出，只有一组数据（487.62W/m²）的冷负荷指标过大，原因是该组数据所属空调系统所服务的科室为传染手术部，占比较大的负压手术室空调系统采用的是全新风直流系统，局限性较大，故剔除这组数据后进行区间划分。

根据表 4 中 CD01-B~CD017-B 的数据，发现剔除掉上述两组数据后剩余几组数据均可满足标准参考区间。因此针对只有全新风直流系统的 ICU 科室，将上限值设定为不排除特殊情况的均值置信

区间的上限值，将下限值设定为排除特殊情况以外的均值置信区间的下限值，设计时需注意此前提条件。

根据表 4 中 CD04-C~CD017-C 的冷负荷指标数据，除最大值较大程度地远离参考区间外，其余样本均与标准相差不大，故选择同手术中心相同的数据处理方法。

根据表 4 中 CD01-D~CD017-D 的冷负荷指标数据，能够发现该列数据整体都高于其他数据、且从图 12 中发现配液中心冷负荷指标分布均匀，考虑到其有特殊的工艺需求，考虑直接用该组数据的均值置信区间作为参考区间。

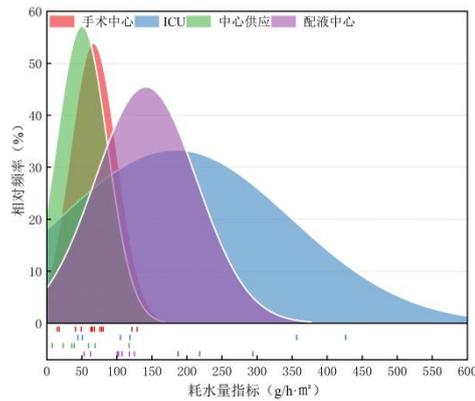


图 14 各洁净科室耗水量指标正态分布图

Fig.14 Normal distribution diagram of water consumption indicators in each clean department

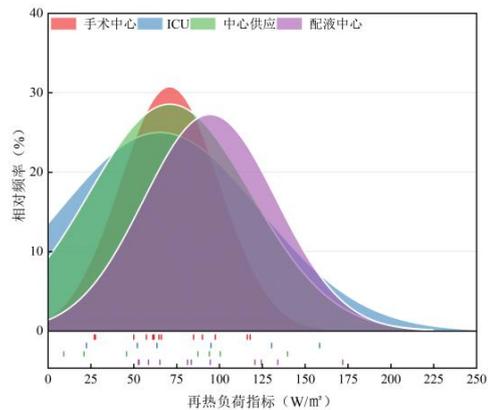


图 15 各洁净科室再热负荷指标正态分布图

Fig.15 Normal distribution diagram of reheat load indicators in each clean department

在一般工程设计中，主要参考冷负荷指标，但对于洁净区仍需要考虑热负荷指标、耗水量指标等。观察图 13、14、15，发现热负荷指标、单位

表 6 各洁净科室净化空调指标参考区间汇总

Table 6 Summary of indicators reference intervals of purifying air conditioners in each clean department

洁净科室	送风量 指标/ m ³ /h·m ²	新风量 指标/ m ³ /h·m ²	冷负荷 指标/ W/m ²	热负荷 指标/ W/m ²	耗水量 指标/ g/h·m ²	再热负荷 指标/ W/m ²	通风耗 电指标/ W/m ²	空调耗 电指标/ W/m ²	总耗电量 指标/ W/m ²	净化 空调机房 面积指标/ %
手术中心	[37,52]	[11,15]	[350,405]	[160,210]	[47,87]	[53,90]	[2,5]	[75,130]	[80,135]	[19,30]
ICU	[15,29]	[8,15]	[220,650]	[125,350]	[20,350]	[11,140]	[2,72]	[50,340]	[55,440]	[5,17]
中心 供应	[15,27]	[6,11]	[260,380]	[80,230]	[17,84]	[30,115]	[2,7]	[50,125]	[55,130]	[4,16]
配液 中心	[28,40]	[20,30]	[500,680]	[210,380]	[90,160]	[65,110]	[8,20]	[110,190]	[120,215]	[9,21]

对比《实用空调设计手册第二版》表 19.4-1 中所提及的冷负荷指标的统计值,医院舒适性空调的冷负荷指标为 70W/m²~380W/m²[9]。本文总结的洁净区设计参考指标明显高于以往的舒适性空调设计参考指标,原因是洁净区普遍新风的标准高、设备发热量大。

本文所分析城市有限,且实际工程千差万别,所以本表所列指标,只能供方案设计和初步设计阶段估算空调之用,不可作为施工图设计时确定空调负荷的依据。使用本表时应根据具体项目洁净区洁净度等级、洁净科室类别等因素合理选择参考区间的上、下限值。

3 结论

本文针对医疗洁净区项目的净化空调设计指标进行分析,首先从项目的整体洁净区去设定洁净区净化空调指标参考区间,之后进一步分析并总结了手术中心、配液中心、中心供应和 ICU 这 4 个典型洁净科室净化空调指标的参考区间,得出如下关系。

(1) 某一所医院仅有某一类洁净空调区(如配液中心)时,若采用整体参考指标进行设计则不适用。

(2) 从表 6 能够看出各洁净科室冷负荷指标的关系:配液中心>ICU>中心供应、手术中心,在设计时需要特别注意洁净区的科室类别。

(3) 能够发现净化空调机房面积指标存在关系:配液中心>中心供应>ICU>手术中心。

(4) 洁净区的科室类别较多,设计时优先考虑按洁净科室净化空调指标参考区间进行设计,而不是洁净区净化空调指标参考区间进行设计。针对全新风直流系统或者新风需求较大时,应优先选择参考区间的上限值。

参考文献:

- [1] 沈晋明,袁马晓.医院建筑特点与节能[J].暖通空调,2007,(8):72-78.
- [2] 清华大学建筑节能研究中心.中国建筑节能年度发展研究报告 2021[M].北京:中国建筑工业出版社,2021.
- [3] 王江标,涂光备,光俊杰,等.医院空调系统的节能措施[J].煤气与热力,2006,26(3):69-72.
- [4] 崔俊奎,秦颖颖,李维,等.北京某医院暖通空调系统节能改造与运行评价[J].建筑技术,2017,48(7):745-747.
- [5] Balaras C A, Dascalaki E, Gaglia A. HVAC and indoor thermal conditions in hospital operating rooms[J]. ENERGY AND BUILDINGS, 2007,39(4):454-470.
- [6] Ji R, Qu S. Investigation and Evaluation of Energy Consumption Performance for Hospital Buildings in China[J]. SUSTAINABILITY, 2019,11(6):1724-1724.
- [7] Bawaneh, Khaled. Energy Consumption Analysis and Characterization of Healthcare Facilities in the United States[J]. ENERGIES, 2019,12(19):3775-3775.
- [8] GB 50189-2015,公共建筑节能设计标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [9] 陆耀庆.实用供热空调设计手册(第2版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2008.