

文章编号: 1671-6612 (2024) 05-726-06

夏热冬冷地区 医院净化空调系统冷热源方案比较研究

娄君 吴萍 陈孜轶 邵涛涛

(中国建筑西南设计研究院有限公司 成都 610042)

【摘要】 对夏热冬冷地区医院常见科室洁净区负荷特性及冷热源需求特点进行了分析,总结了五种洁净区常用的冷热源方案,对五种方案的适用性及优缺点进行了比较,并进行了经济性分析,得出四管制多功能热泵机组+两管制空气源热泵方案在满足使用要求的前提下,节能显著,符合当下节能减排的要求。

【关键词】 夏热冬冷; 医院洁净区; 净化空调; 冷热源; 经济性分析

中图分类号 TU183 文献标志码 A

The Comparison of Cold and Heat Sources of Air Conditioning on Hospital Purification Project

Lou Jun Wu Ping Cheng Ziyi Shao Taotao

(CSWADI, Chengdu, 610042)

【Abstract】 The present study analyzes the load characteristics and heating and cooling source requirements of clean areas in common departments of hospitals located in hot summers and cold winter zone. It summarizes five commonly employed heating and cooling source schemes for clean areas, comparing their applicability, advantages, and disadvantages. Furthermore, an economic analysis is conducted, concluding that the combined four-pipe multi-functional heat pump unit with two-pipe air source heat pump scheme significantly saves energy while meeting operational requirements, aligning with current energy-saving and emission-reduction objectives.

【Keywords】 Hot summer and cold winter zone; Hospital clean areas; Purification air conditioning; Cold and heat sources; The technical economy analysis

0 引言

医院洁净区的使用功能和负荷特性与其他区域有较大的差异,洁净区不仅对空调系统的可靠性和空气质量要求高^[1],部分洁净区还有全年供冷、供热的需求。

洁净区作为医院的一部分,其冷热源系统通常和医院冷热源统筹考虑。当医院的集中空调系统为其提供冷热源不合理,或过渡季节不能满足其运行需要,以及所服务的洁净区不能中断空调系统运行时,洁净区需要同时兼顾使用要求和医院建设条

件,单独设置冷热源,与医院集中空调系统的冷热源联合使用或独立运行,冷热源的设置还需要考虑一定的冗余量。

1 医院洁净区域概述

1.1 分布科室

在医院洁净区中,洁净手术部的规模最大,其余洁净区分布在不同的科室中,归纳整理如表1所示。

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

收稿日期: 2024-05-14

表 1 医用洁净区洁净用房等级^[2]

Table 1 Class of clean rooms in hospital clean areas^[2]

科室	功能房间	洁净用房等级	空气洁净度级别	相对邻室压力	备注	
洁净手术部 ^[2]	洁净手术室	—	—	—	主要附属用房的洁净用房等级及正负压要求详见标准 GB 50333	
	主要附属用房	—	—	—		
核医学	热室	C 级	7 级	N	非核心区如通道、一更可按 III 级设计	
	分装准备	C 级	7 级	N		
中心供应 ^[3]	药物质检	C 级	7 级	N	—	
	无菌库存放区	宜 IV 级	8.5 级	P		
营养科	全肠内营养液配置区	C 级或 D 级	7 级或 8 级	P	非核心区如一更、清洁间可按 III 级设计	
配液中心	全肠外营养液配置区	C 级	7 级	P	非核心区如一更、清洁间可按 D 级设计	
	普通静脉用药配置区	C 级	7 级	P		
	抗生素药物配置区	C 级	7 级	P		
护理单元 ^[3]	肿瘤药物配置区	C 级	7 级	P	治疗期血液病房应选用 I 级洁净用房, 恢复期血液病房宜选用不低于 II 级洁净用房	
	血液病房	I 级或 II 级	7 级或 8 级	P		
	烧伤病房	II 级、III 级或 IV 级	8 级或 8.5 级	P		洁净用房等级根据医院方或建设方要求确定
	重症监护病房	宜 III 级或 IV 级	8 级或 8.5 级	P		脏器移植、新生儿、外科术后、内科重症监护等病房可采用洁净用房, 重点控制过敏因子及温湿度
生殖中心 ^[3]	过敏性哮喘病房	可 IV 级	8.5 级	P	—	
	体外受精实验室	I 级	6 级	P		
	取卵室、移植室、人工授精室	II 级	7 级	P		
放射科 ^[3]	冷冻室、工作室、洁净走廊等其他洁净辅助用房	IV 级	8.5 级	P	—	
	心血管造影室	宜 III 级	8 级	P		心血管造影室宜为 III 级, 洁净走廊低于操作间一级
检验科、病理科	PCR 实验室	III 级或 IV 级	8 级或 8.5 级	根据工艺要求确定	—	
动物实验室 ^[4]	动物实验区、动物生产区	—	7 级	P	—	
转化医学 ^[5,6]	医药厂房、医疗器械厂房、生物安全实验室、动物实验室	—	—	—	各区域洁净用房等级根据相应规范要求确定 ^[5,6]	

注: 表中 P 表示正压, N 表示负压。

洁净用房的洁净等级除按照相应规范要求设置, 通常情况下还需要和医院方或建设方根据建设要求协商确定。

急诊手术室、日间手术室等非洁净手术室, EICU、ICU 等重症监护病区, 产房、新生儿室等

区域为《医院消毒卫生标准》(GB 15982-2012) 中要求的 II 类环境, 对空气及物体表面平均菌落数有一定要求, 该区域是否采用洁净用房一般根据医院建设标准, 由医院方或建设方提出。一般情况下不要求设置净化空调系统, 仅对该区域房间做净化

装饰,满足室内装饰不产生、不易积尘、防潮防霉、容易清洁等卫生要求。

1.2 空调负荷特性

(1) 空调负荷

空调负荷及其特性是选择冷热源形式及确定总装机容量的主要依据。

为保证洁净区的气密性,洁净区一般设置为内区,其围护结构空调负荷占比小,空调负荷的来源主要有医务人员、患者、照明、医疗器械等。一般情况下,人员、照明的发热量相对稳定,对于特定的洁净区,医疗器械的设备台数和种类相对固定,所以设备的发热量也相对稳定;洁净区的湿负荷来源主要为人员散湿量,湿负荷也相对稳定(湿式消毒时可能导致洁净区散湿量瞬间陡增,但维持时间短)。因此,洁净区室内的全年空调负荷和湿负荷均波动不大,热湿比也是在一定区间内变化。

表 2 某医院I级手术室的室内空调负荷^[7]

洁净手术室等级	显热负荷 (kW)	全热负荷 (kW)	散湿量 (g/h)	热湿比 (kJ/kg)
I级	3.1~4.9	4.7~6.6	2500	6768~9504

(2) 空气处理

净化空调的空气处理过程与舒适性空调不同,舒适性空调通过负荷、热湿比确定送风量,可以说送风量是最后确定的。洁净区的换气次数或截面风速根据洁净度等级不同而确定,即总送风量和新风量是首先确定的,再通过室内负荷计算确定室内热湿比线,通过已定的室内状态点、热湿比线、总冷负荷和总送风量确定送风状态点,通过送风状态点确定空调表冷器应处理到的机器露点。

以一次回风处理过程为例,如图 1 为某洁净区夏季一次回风处理过程,根据室内冷负荷、系统总送风量和室内状态点空气比焓值,按照式(1)计算出送风状态点比焓值,结合热湿比线确定送风状态点 O,通过 O 点作等含湿量线交相对湿度 90% 线于 L 点(机器露点),由 L 点再热到 O 点,其中 W 为室外状态点, N 为室内状态点, C 为一次混风点。而对于舒适性空调而言,如图 2 所示,热湿比线确定送风状态点 O(也即机器露点 L),根据室内冷负荷、和室内外状态点空气比焓值,按照式(1)计算出送风量,同时根据新风量设计值确

定一次回风量,即可确定一次混风点 C。

$$Q_o = G(h_N - h_o) \tag{1}$$

式中: Q_o 为室内冷负荷, kW; G 为系统总送风量, kg/s; h_N 为室内状态点空气比焓值, kJ/kg; h_o 为送风状态点空气比焓值, kJ/kg。

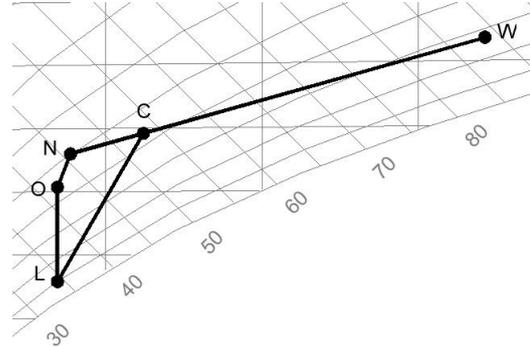


图 1 某洁净区夏季一次回风处理过程

Fig.1 A return air treatment process in a clean area in summer

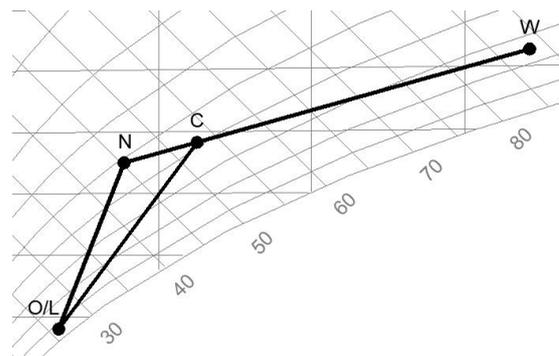


图 2 某舒适性区夏季一次回风处理过程

Fig.2 A return air treatment process in a comfort zone in summer

由焓湿图对比可知,普通舒适性空调可以最大温差送风,无需再热处理,洁净区送风温差小,存在再热负荷,需要再热热源。

(3) 空调负荷特性

由以上分析可知,洁净区的空调负荷特性如下:

① 洁净区一般为内区房间,受围护结构影响小,室内发热量相对固定,室内散湿量除受短时间的湿式消毒影响,其他时间相对稳定;

② 洁净区送风量根据洁净度等级不同而确定,送风量大,送风温差小,空气处理过程存在再热,且洁净度等级越高,再热量越大;

③ 部分洁净区室内设备仪器多,发热量大,可能需要全年制冷。

2 冷热源需求特点分析

医院洁净区冷热源设置一般要从使用时间、初投资、当地的能源结构、气候特点、冷源保障性、设备利用率、运行能耗、运维管理等方面综合考虑如下:

(1) 为消除冷负荷全年需要冷源(冷源包括人工冷源和自然冷源)。

(2) 洁净区空调系统空气处理存在再热需求,夏季需要热源解决再热问题。

(3) 洁净区对温湿度要求较高,部分洁净区需要24h运行,对冷热源的可靠性要求高。

(4) 根据医院的运维管理要求,面积较大的洁净区如洁净手术部可能有冷热源独立或单独计量的需求。

(5) 不同洁净区,冬季、过渡季对冷热的需求可能不同。

3 夏热冬冷地区常见冷热源方案技术比较

根据项目的建设条件、规模和要求,目前夏热冬冷地区医院洁净区较为常用的冷热源方案有:

(1) 医院集中空调系统共用冷热源;(2) 医院集中空调系统共用冷热源+单设空气源热泵;(3) 单设空气源热泵;(4) 四管制多功能热泵机组;(5) 四管制多功能热泵机组+两管制空气源热泵。对5种常见方案技术优缺点分析如下。

3.1 方案一:集中空调系统共用冷热源

洁净区冷热源和医院集中空调系统共用。冷源:医院集中冷源在整体负荷分析的基础上设置大小冷机搭配的方式,夏季日间冷负荷较高的情况开启大冷机,夜间、过渡季节、冬季等部分负荷情况下切换为小冷机,为洁净区提供全年冷源;热源:医院集中热源采用热水锅炉,需全年运行,为洁净区提供冬季新风加热热源及再热热源。

该方案优点是初投资低,设计合理的前提下,冷水机组全年在负荷适应性高的范围内运行,能效比高,运行费用低。缺点是系统、管路复杂,自控系统逻辑复杂,未设置洁净区独立的备用冷源,可能存在未满足最低运行负荷时无法开机或冷水供水温度高无法除湿的情况;夏季热水锅炉若达不到最小启动负荷,则无法提供热水再热,需要另外考虑再热热源,一般为电再热方式,能源利用率低,运行费用增加。

3.2 方案二:集中空调系统共用冷热源+单设空气源热泵

洁净区空调季节和医院集中空调系统共用冷热源,同时配置空气源热泵机组满足洁净区夜间、过渡季节及冬季部分冷负荷运行需求,兼顾大系统的小负荷衔接。

该方案的优点是医院集中空调系统设备利用率高、运行费用低,医院集中空调系统与空气源热泵机组互为备用,可靠性高。缺点是系统、管路复杂,自控逻辑复杂,锅炉仅在冬季运行,夏季无再热热源,无法满足全年同时供冷供热的需求,若单独设置一台空气源热泵作为再热热源,则增加初投资,使用电再热则能源利用率低,同时增加运行费用。

3.3 方案三:单设空气源热泵

洁净区单独设置空气源热泵作为冷热源。设置两套空气源热泵系统,分别为洁净区提供全年冷源、夏季再热热源和冬季新风加热热源。

该方案适用于夏季平均室外干球温度不超过35℃,可全年使用热泵供热的地区(在夏季工况下,空气源热泵的制热环境温度通常要求在15℃~30℃之间,受冷凝器散热影响,当室外温度高于35℃时,空气源热泵的制热效果也会明显下降)。优点是与医院集中空调系统完全脱离,可独立控制计量,系统简单可靠;缺点是初投资高、设备闲置率高、空气源热泵COP一般低于冷水机组,运行费用高。

3.4 方案四:四管制多功能热泵机组

洁净区单独设置四管制多功能热泵机组作为冷热源。四管制多功能热泵机组集冷热源于一体,能够在蒸发器获得冷水的同时,还从冷凝器获得冷凝热作为再热热源,冷、热不平衡部分通过平衡换热器排放,从而实现持续的同时制冷和制热,满足洁净区全年供冷供热的需求。

该方案适用性较广。优点是输入一份能源即可同时获取冷量和热量,实现能量的综合利用,能源利用率高;缺点是初投资高,需要实现冷、热自动平衡,对设备本身的控制系统要求高。

3.5 方案五:四管制多功能热泵机组+两管制空气源热泵

洁净区单独设置四管制多功能热泵机组+两管制空气源热泵机组作为冷热源,按照夏季再热负

荷、冬季热负荷配置四管制多功能热泵机组，额外选择两管制空气源热泵补充夏季冷负荷差值。运行时优先启动四管制多功能热泵供冷供热，当四管制多功能热泵制冷能力不足，开启两管制空气源热泵作为补充，为洁净区提供全年供冷供热需求。

该方案适用性较广。优点是既可以通过四管制多功能热泵机组实现能量的综合利用，相比方案四，初投资更低；缺点是对设备本身的控制系统要求高。

表 3 夏热冬冷地区某医院洁净区设计工况冷热负荷

Table 3 Cooling and heating load in design conditions of a hospital clean area in hot summer and cold winter area

面积 (m ²)	夏季冷负荷 (kW)	夏季再热负荷 (kW)	冬季热负荷 (kW)	冬季冷负荷 (kW)	过渡季节冷负荷 (kW)	过渡季节热负荷 (kW)
1945	1033	310	175	105	361	100

4.1 初投资及全年运行费用

方案一：配置 4 台 2462kW (700TR) 的电制冷离心式冷水机组（其中两台变频），1 台 775kW (220TR) 的电制冷变频螺杆式冷水机组，冷水供回水温度为 7/12℃；2 台制热量为 2100kW 的燃气型常压热水机组，1 台制热量为 1400kW 的燃气型常压热水机组，供回水温度为 50/40℃（一般夏季锅炉不运行，为保障洁净区室内温湿度需求，净化空调机组增设电再热）。

方案二：空调季节配置 4 台 2462 (700TR) 的电制冷离心式冷水机组（其中两台变频），1 台 775kW (220TR) 的电制冷变频螺杆式冷水机组，冷水供回水温度为 7/12℃；配置 2 台制热量为 2100kW 的燃气型常压热水机组，1 台制热量为 1400kW 的燃气型常压热水机组，供回水温度为 50/40℃。过渡季节配置 1 台制冷量为 340kW 的涡旋式空气源热泵机组，冷水供回水温度为 7/12℃。夏季无再热热源，采用电再热。

方案三：配置 2 台螺杆式空气源热泵机组（单台制冷量 580kW）作为全年供冷冷源，冷水供回水温度为 7/12℃，配置 2 台涡旋式空气源热泵机组（单台制冷量 170kW）作为夏季再热及冬季热源，热水供回水温度为 45/40℃。

方案四：配置 2 台四管制多功能空气源热泵机组（同时供冷供热时，单台制冷量 532kW，制热量 667 kW），冷水供回水温度为 7/12℃，热水供回水温度为 45/40℃。

方案五：配置 2 台四管制多功能空气源热泵机

4 冷热源方案经济性分析

下面以夏热冬冷地区某医院洁净区为例，对以上五种冷热源方案进行经济性分析。

该医院洁净区主要有肠内营养配置区、静脉配液区、无菌物品存放区、手术中心（4 间 I 级手术室，3 间 III 级手术室及洁净辅房）面积及空调冷热负荷如表 3 所示。

组（同时供冷供热时，单台制冷量 135kW，制热量 171kW），配置 2 台空气源热泵机组（单台制冷量 460kW），冷水供回水温度为 7/12℃，热水供回水温度为 45/40℃。

经调研各设备品牌供货商，以表 4 所列数据为基准计算各方案投资运行费用。

表 4 各设备价格及性能系数

Table 4 Price and performance coefficient of each equipment

设备类型	价格(元/kW)	COP(W/W)/热效率
电制冷离心式冷水机组	330	6.254
电制冷螺杆式冷水机组	355	5.512
空气源热泵	490	3.18
四管制多功能热泵	950	COP ₀ =3.18/COP _h =3.7
锅炉	350	92%

注：根据 GB/T 50378《绿色建筑评价标准》，电机驱动的蒸汽压缩循环冷水（热泵）机组 COP 均在 GB 50189 规定的基础上提高 6%。

电价以 1 元/kWh 计，燃气费以 3 元/m³ 计，燃气热值以 9.8kW/m³ 计。运行时间：夏季供冷 4 个月，冬季供热 3 个月，过渡季供冷 4 个月，过渡季供热 1 个月，每天运行 10 小时。方案一和方案二的洁净区全部或部分采用的医院集中冷热源，此处根据洁净区负荷和医院总负荷的占比进行折算，得出洁净区的初投资和年运行费用如图 3 所示。

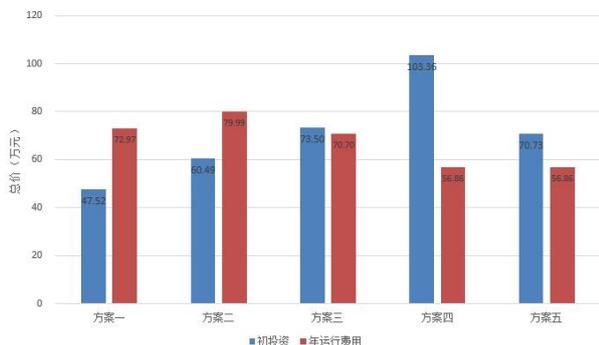


图 3 各方案初投资及年运行费用

Fig.3 Initial investment and annual operating cost of each schemes

由图可知, 方案一洁净区冷热源和医院集中空调系统共用, 初投资最低, 由于冷水机组 COP 较高, 整体运行费用并不高, 若夏季锅炉不运行, 采用电再热, 则运行费用较高(多数情况下, 锅炉只在冬季使用, 图 3 中夏季再热按照电再热计算); 方案二因为增加了空气源热泵机组, 初投资较方案一高, 空气源热泵的制冷性能系数较冷水机组低, 再热采用电再热, 因此年运行费用较方案一高; 方案三设置独立空气源热泵作为冷热源, 因此初投资较方案一和方案二高, 方案三全年制冷制热采用性能系数较低的空气源热泵, 运行费用较高; 方案四初投资最高, 但四管制多功能热泵机组运行过程中输入一份能源即可同时获取冷量和热量, 降低了能耗, 因此运行费用低; 方案五初投资较方案一和方案二高, 但方案五减少了四管制多功能热泵机组的配置容量, 因此初投资低于方案四, 而运行费用和方案四基本持平。

五种方案均设置有空调冷热水循环泵, 本方案比较未计入水泵产生的初投资及运行费用。

4.2 投资增量静态回收期估算

以方案一作为基础方案(初投资 47.52 万元, 年运行费 72.97 万元), 对剩余四种方案进行投资增量静态回收期估算如下。

由表 5 可知, 方案二在方案一基础上增加了初投资(即单设空气源热泵), 同时年运行费也增加, 导致投资增量不能回收。因此, 在初投资有限的情况下, 可以选择方案一作为冷热源方案; 医院未设置集中冷热源或考虑寿命期总花费时, 则宜选择方案五作为冷热源方案。

表 5 方案二~五相对于方案一的投资增量静态回收估算

Table 5 Estimates of static recovery of incremental investment in Schemes 2 ~ 5 compared with Scheme 1

项目	方案二	方案三	方案四	方案五
投资增量(万元)	12.96	25.98	55.84	23.21
年节约运行费用(万元)	-7.02	2.28	16.11	16.11
投资增量静态回收期(年)	不能回收	11.42	3.47	1.44

5 结论

医院洁净区在医院中占比虽小, 但因存在降温除湿、再热冷热抵消的空气处理过程, 能耗较大, 在确保洁净区空气品质、满足洁净区功能、工艺安全可靠要求的前提下, 采用高效、节能的冷热源方案及设备, 能够大大降低运行费用。本文对夏热冬冷地区医院常见科室洁净区负荷特性及冷热源需求特点进行了分析, 总结了五种洁净区常用的冷热源方案, 对五种方案的适用性及优缺点进行了比较, 通过经济性分析, 得出在初投资有限的情况下, 可以选择集中空调系统共用冷热源作为冷热源方案; 而在医院未设置集中冷热源或考虑寿命期总花费时, 则宜选择四管制多功能热泵机组+两管制空气源热泵方案作为冷热源方案。

参考文献:

- [1] 许钟麟. 医用洁净装备工程实施指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
- [2] GB 50333-2013, 医院洁净手术部建筑技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- [3] GB 51039-2014, 综合医院建筑设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
- [4] GB 50447-2008, 实验动物设施建筑技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [5] GB 50457-2019, 医药工业洁净厂房设计标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 2019.
- [6] GB 50346-2011, 生物安全实验室建筑技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [7] 黄中. 医院通风空调设计指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.