

某大型综合医院扩建 工程暖通空调设计

中国中元国际工程公司 黄中[☆] 林向阳 袁白妹 史晋明
吴丹芸 孙苗 李永祥

摘要 介绍了某大型综合医院扩建工程暖通空调系统设计的难点、特点、技术措施,着重介绍了Ⅰ级手术室、层流病房、配液中心、核医学制药室等房间的净化空调系统设计,检验、病理、放疗、核医学等科室的通风设计。

关键词 医院 暖通空调设计 冰蓄冷 层流病房 净化空调 CFD

HVAC system design of a major general hospital extension project

By Huang Zhong[★], Lin Xiangyang, Yuan Baimei, Shi Jinming,
Wu Danyun, Sun Miao and Li Yongxiang

Abstract Presents the features and technical measures in the HVAC system design, and emphatically presents the bio-clean air conditioning design of level I operating room, laminar air flow treatment unit, pharmacy intravenous admixture service and nuclear medicine pharmacy, and ventilation design for departments of inspection, pathology, radiotherapy and nuclear medicine.

Keywords hospital, HVAC design, ice storage, laminar air flow treatment unit, bio-clean air conditioning, CFD

① ★ China IPPR International Engineering Corporation, Beijing, China



图1 西院总平面图

1 工程概况

某医院扩建工程新增建筑面积 23 万 m²,分为东、西两院,其总平面图见图 1,2。西院工程主要由门诊急诊楼、南病房楼、西病房楼组成,总建筑面积 8 万 m²;东院工程主要由外科大楼和肿瘤中心组成,总建筑面积 15 万 m²。该工程涵盖综合性医院、老年病医院、肿瘤医院等多个医疗领域,是国内档次最高的干部保健基地,也是目前最大的疑难杂症诊疗中心和最大的医疗机构。该工程设计始于 2005 年 10 月,历时 8 个月完成设计,工程于 2008

年 6 月全部竣工。其主要医疗功能及其设计指标见表 1。

①[☆] 黄中,男,1974 年 3 月生,大学,高级工程师,注册公用设备工程师

100089 北京西三环北路 5 号中国中元国际工程公司医疗建筑设计研究院

(010) 68732382

E-mail: huangzhong@ippr.net

收稿日期:2012-11-29



图2 东院总平面图

表1 主要医疗功能及其设计指标

	病床数	净化房间	ICU	大型医疗设备
西院工程	430	9间手术室	10	3.0T 磁共振机;数字 X 线
外科大楼	1 350	47间手术室	56	术中磁共振机,术中 CT,术中 DSA
肿瘤中心	350	2间手术室 20间层 流病房		直线加速器,回旋加速器, PET/CT,ECT,CT,氚氘刀,钴 60,后装机,DR, SPECT, PET, 热疗机, HIFU 刀, DSA

2 室内设计参数(见表 2)

3 主要设计指标(见表 3)

表2 室内设计参数

	夏季干球温度/℃	夏季相对湿度/%	冬季干球温度/℃	冬季相对湿度/%	新风量	A 声级噪声/dB
一类病房	20	55	26	45	300 m ³ /(间·h)	≤34
二、三类病房	20	55	26	45	200 m ³ /(间·h)	≤35
直线加速器室	22	60	22	45	6 h ⁻¹	≤50
回旋加速器室	21±3	55	21±3	45	3~6 h ⁻¹	≤55
血液层流病房	24	50	23	50	10 h ⁻¹	≤50
普通病房	26	50	22	45	50 m ³ /(人·h)	≤40
检查室	26	50	20	45	3~6 h ⁻¹	≤55
候诊室	26	50	20	45	3 h ⁻¹	≤55
ICU	24	55	22	50	3 h ⁻¹	≤40
净化手术室	24	50	22	50	按规范规定	≤50
洁净走廊	26	55	22	50	3 h ⁻¹	≤45
术后恢复室	26	50	22	45	4 h ⁻¹	≤50
试验室	26	45	20	45	4 h ⁻¹	≤50
药品储藏室	22	≤60	16	≤60	2 h ⁻¹	≤50
放射线室	26	50	24	45	3~6 h ⁻¹	≤55
中心供应洁净区	26	60	20	40	3 h ⁻¹	≤55
中心供应清洁区	26	60	18	40	5 h ⁻¹	≤55

表3 主要设计指标

	建筑面积/ 万 m ²	设计冷负荷/ kW	装机容量/ kW	单位面积设计冷 负荷/(W/m ²)	设计热负荷/ kW	单位面积设计热负荷/ (W/m ²)	加湿负荷/ (t/h)	总新风量/ (m ³ /h)
西院工程	8.0	7 250	11 926 ¹⁾	90.6	8 050	100.6	2.6 ²⁾	281 800
外科大楼	11.8	13 612	17 725 ¹⁾	115.3	10 361	87.8	5.5 ²⁾	506 000
肿瘤中心	3.2	4 028	4 008	125.9	4 000	125.0	1.3 ²⁾	215 000

1) 区域制冷站;
2) 不含净化空调系统加湿负荷。

4 设计难点及解决措施

4.1 环境控制要求高

西院工程病房要求温度可以在 20~28℃ 之间调节,实际温度与设定温度之差小于 1℃;人员活动区域风速≤0.1 m/s;当环境背景 A 声级噪声低于 34 dB,使用空调时 A 声级噪声≤34 dB;视觉上看不到风口。

显然,传统的舒适空调是不能满足如此高的室内环境要求的,并且由于病房要求开窗面积大、玻璃透光率高,因此也并不适合采用精密空调,这就需要新的设计手段来实现。

设计中采取多种措施确保空调系统满足病房

楼的特殊要求:通过与厂家合作,研制了超低噪声风机盘管;通过计算机气流模拟分析,确定了送风形式;等等。图 3 为南区病房的模拟分析结果。

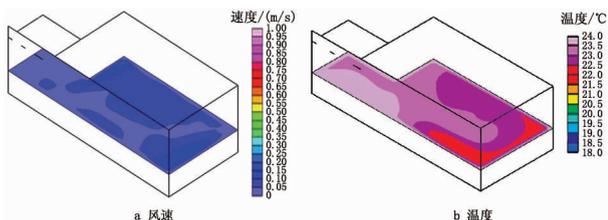


图3 南区病房 CFD 模拟结果

4.2 空间小,功能多,工艺要求复杂

外科大楼设有手术部、中心供应区、放射内镜

室、功能检查室、超声波室、病理室等医技部门及 ICU、中心药房等,多数部门规模超大并拥有大型高级医疗设施。手术部共设 47 间手术室,其中 I 级手术室 19 间,设有术中磁共振、术中 DSA、术中机器人等国际一流医疗设备,手术部无论规模或设施均为国内之最。

肿瘤中心包括放疗门诊、放疗中心、核医学中心、配液中心、生物治疗室、层流病房、肿瘤病房等功能房间。在局促的空间内布置了众多大型医疗设备,总计达 700 多台,设备的特殊环境要求与空间的矛盾给暖通设计带来了新的挑战。其中包括:核医学科的净化与放射性、有毒气溶胶、负压、工艺排风等多种要素相互影响,增大了设计难度;核医学科工艺房间要求室内的放射性气溶胶零污染排放,处理难度大;肿瘤中心血液层流病房内设置带淋浴的卫生间,存在淋浴排气与净化送风的矛盾等。

工程中的众多难点需要在设计中一一解决,在透彻理解医疗需求、工艺要求的基础上,既要根据不同情况分设或合设空调系统,也要根据室内污染物的性质分别设置独立的通风系统。对肿瘤中心的大型特殊医疗设备机房,采取就地处理、按需分设的原则设置空调系统,解决其常年散热问题;对肿瘤中心的核医学制药区、抗生素及肿瘤药物配制区,采用全新风变风量空气净化系统,新风与工艺排风联锁控制,保证室内为负压状态;对血液无菌层流病房内置的淋浴卫生间,采用侧排气、顶送风的方式,解决淋浴排气与净化送风的矛盾。

4.3 境外资料本土化

肿瘤中心大型、新型医疗设备数量众多,其中属于国内首次引进的设备有 10 种,包括亚洲第 1 台 TomoTherapy 直线加速器。机房要求均由外方提供,空调通风系统必须结合实际进行本土化设计,这也给设计增加了难度。

5 空调冷热源

5.1 冷热媒参数

空调冷水供回水温度 $7\text{ }^{\circ}\text{C}/12\text{ }^{\circ}\text{C}$,热水供回水温度 $60\text{ }^{\circ}\text{C}/50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

5.2 西院工程

冷热源均由西院原有冷热站改造扩建后供给,为满足特殊要求,空调冷热水采用四管制供给,在空调期及供暖期外也能保证供给,在制冷站单独设

置 2 台小型风冷冷水机组,作为南区病房楼冬季的冷源。

5.3 东院外科大楼

外科大楼制冷站作为区域供冷中心,兼为周边的新南楼、老南楼、老年心血管研究所、科技文化中心、礼堂及教学楼供冷。总供冷建筑面积为 $15.2\text{ } \text{m}^2$,设计冷负荷为 $17\ 219\text{ kW}$,设计日总冷负荷为 $236\ 560\text{ kW}\cdot\text{h}$ 。区域冷负荷逐时分布如图 4 所示。

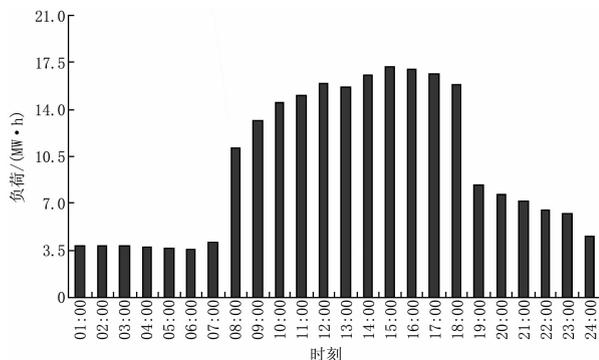


图 4 区域冷负荷逐时分布图

从图 4 可以看出,冷负荷集中在 08:00—18:00,夜间空调负荷相对较小,全天负荷存在较大的变化,适合采用冰蓄冷系统,故冷源采用制冷机上游串联的部分负荷蓄冰系统,采用 3 台双工况制冷机,单台制冷机标准工况制冷量为 $2\ 743\text{ kW}$;3 台基载制冷机,其中 1 台离心制冷机制冷量为 $2\ 462\text{ kW}$,2 台螺杆制冷机制冷量为 $1\ 055\text{ kW}$ /台;总装机容量为 $12\ 801\text{ kW}$,选用标准 TSC-380M 型蓄冰装置,蓄冰槽提供的最大总冷量为 $42\ 766\text{ kW}\cdot\text{h}$ 。蓄冷原理见图 5。

根据最大化节约电能的原则,冰蓄冷系统采用模糊控制判断和选择以下 5 种运行模式:双工况主机单独制冰模式、基载主机供冷+双工况主机制冰模式、主机与蓄冰装置联合供冷模式、融冰单独供冷模式、主机单独供冷模式。

5.4 东院肿瘤中心

空调计算冷负荷 $4\ 028\text{ kW}$,计算热负荷 $4\ 000\text{ kW}$ 。根据该建筑特点,为消除过渡季及冬季余热,设置 1 台容量较小的螺杆式制冷机作为部分负荷时的冷源。空调冷源配置为:2 台制冷量为 $1\ 758\text{ kW}$ /台的离心式制冷机和 1 台制冷量为 492 kW 的螺杆式制冷机。空调热源由换热站提供。

5.5 冷水系统的控制

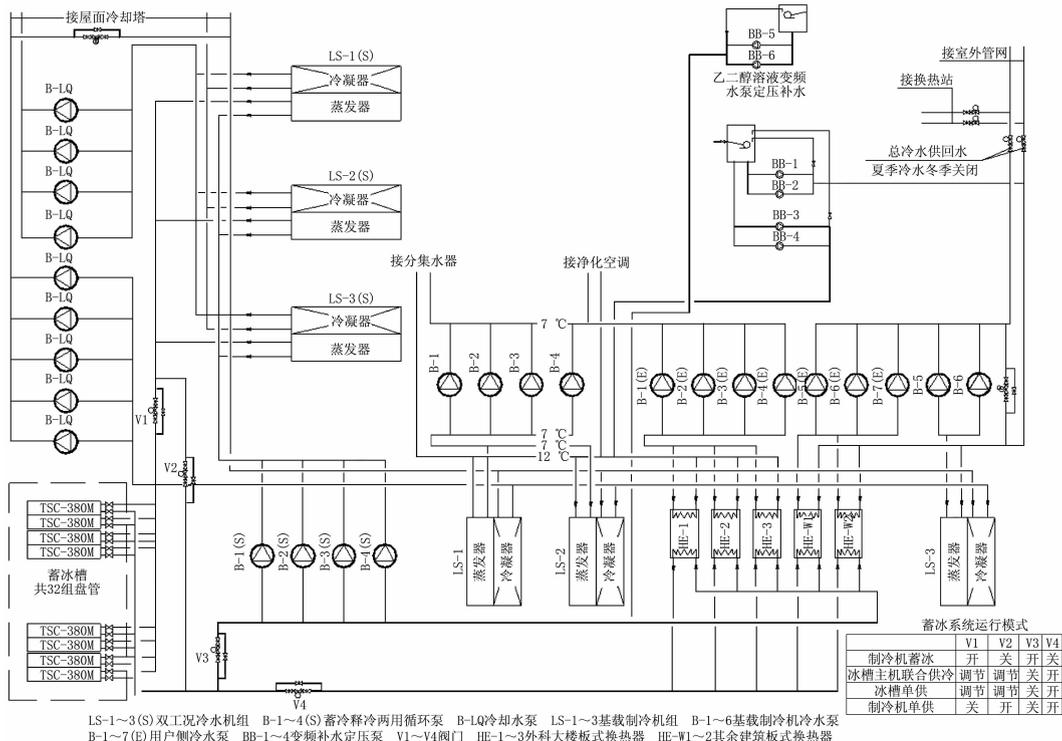


图5 冰蓄冷系统原理图

冷水系统采用一级泵系统,在分、集水器设置压差旁通控制装置,保持系统压差恒定并控制流量。

6 空调通风系统

6.1 空调水系统

6.1.1 系统形式

西院工程空调水系统采用四管制变流量系统,末端设置变流量动态平衡电动阀,以解决系统实际运行工况下的水力动态平衡问题。

对于大体量的医院建筑尤其是外科大楼,过夏季普遍存在内区过热的问题,而肿瘤中心更因各种医疗设备的常年散热,甚至在冬季也需要空调供冷。为解决建筑物内各区域空调冷热负荷在时间上的差异问题,空调水系统采用分区两管制系统。对于净化空调系统,由于手术室之间冷热负荷存在时间上的差异,因此采用四管制。

西院工程、肿瘤中心空调水系统均采用共用立管分层水平供回水形式,立管为异程式,每楼层水平干管为同程式。水平干管回水管设置静态平衡阀,解决系统高度方向上静压差较大产生的水力失衡问题。考虑到外科大楼体量巨大,从方便调节、节约管材等角度出发,裙房每楼层设2个环路,护理单元层采用竖向系统,总供回水干管敷设在设备层,竖向回水立管设置静态平衡阀。

6.1.2 定压补水及水处理措施

水系统均采用膨胀水箱定压,根据膨胀水箱液位高低控制补水泵启停,采用全自动软水装置向系统补充软化水。空调冷水采用旁流水处理器,冷却水采用全自动不间断清洗系统。

6.2 空调风系统

6.2.1 净化空调

设置净化空调系统的场合包括:洁净手术部、ICU、中心供应洁净区、层流病房、配液中心、核医学 GMP 制药室、生物实验室,各种洁净空间净化级别均不同,工艺要求也不同,设计复杂程度高、难度大。

外科大楼手术部、肿瘤中心包括19间Ⅰ级手术室、20间层流病房。为了降低能耗,采用二次回风系统以减少空气处理的再热量。净化空调的二次回风系统不同于舒适性空调系统,出于感染控制的需要,净化空调更注重室内相对湿度的控制,因此,净化空调二次回风系统并不适合采用调节一、二次回风比例的方法来满足室内温湿度要求,而是固定设计状态下的一、二次回风比例,增设电再热来满足室内温度的调节需求。相比一次回风系统,19间Ⅰ级手术室及20间层流病房总计分别减少制冷量400,150 kW。采用二次回风系统取得了可

观的经济效益。

肿瘤中心配液包括营养液配制、抗生素及肿瘤药物配制。根据不同功能,营养液配制采用一次回风净化空调系统,而抗生素及肿瘤药物配制采用全新风净化空调系统。配液中心空气洁净度等级为 10 000 级。设计营养液配制室相对邻室正压,而抗生素及肿瘤药物配制区域相对邻室负压。抗生素及肿瘤药物配制区的排风经无泄漏高效过滤风口截留有粉粉尘后高空排放,确保不对医院周边大气环境产生污染。

肿瘤中心核医学 GMP 制药分两个区,一个为 GMP 通道、洁净走廊,另一个为配制短半衰期核素药物区,设计空气洁净度等级为 10 000 级,均采用全新风净化空调系统。为了适应短半衰期核素药物配制区合成柜间歇运行的特点,新风送风管设置电动调节风量阀(见图 6)与合成柜排风连锁控制,避免室内出现正压,防止放射性气溶胶外泄。

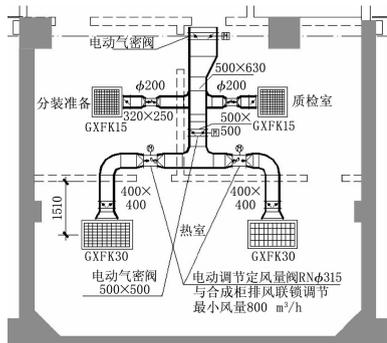


图 6 核素药物配制区送风平面图

肿瘤中心生物实验室净化区域内设有培养箱、II A1 级生物安全柜、离心机、水浴箱、 -80°C 冰箱、高压蒸汽灭菌器等设备,净化空调负荷相对较大,因此采用一次回风系统。由于操作人员身着防护服,夏季室内设计温度为 $20\sim 22^{\circ}\text{C}$ 。生物实验室净化级别为 10 000 级。

6.2.2 工艺性空调

工艺性空调主要为特殊医疗设备机房设置,如 MR, PET/CT 等。

6.2.3 舒适性空调

6.2.3.1 风机盘管加新风系统

对于诊室、候诊室、病房、病理检验室、内镜中心、急诊室、化验室、功能检查室等房间,设置风机盘管加新风系统。新风由独立的新风口送入室内,新风机组设置粗、中效两道过滤。

6.2.3.2 全空气系统

在餐厅、1 层大厅、报告厅等大空间设置低速单风道全空气系统,全空气系统的新风引入管、新风百叶尺寸均根据系统总风量计算,可实现 100% 新风运行,并根据不同情况设置变频排风机与空调机组新风阀连锁调节运行。

6.2.3.3 变制冷剂流量多联机空调加新风系统

为避免空调水系统漏水影响医疗设备,同时兼顾处理其常年散热问题,对放射影像、核医学影像、放疗等房间设置变制冷剂流量多联机空调加新风系统;消防控制室、楼宇控制中心、设置机柜的弱电井因负荷特性和运行时间的差异性,也采用变制冷剂流量多联机空调系统。

6.3 通风系统

医疗建筑由于室内污染源较多、人员密度较大,机械通风系统显得尤为重要。本工程设计中,除关注卫生间、车库、消毒间、污洗间、变配电室等设备机房,厨房等常规功能用房的机械通风外,应更多关注因医疗功能、医疗工艺而产生的通风需求。

6.3.1 检验科、病理科

检验科、病理科在使用过程中会散发一些酸碱挥发性气体,这些有害气体应在源发地第一时间排放。

检验科的接种、标本提取、鉴定、真菌等房间均配置有不同等级的生物安全柜,病理科的冷冻、取材、染色等房间则配置了不同尺寸的通风柜,而建设方往往在设计阶段不能确定生物安全柜、通风柜的台数,生物安全等级等技术条件,需要设计院考虑排风路由。生物安全柜共分三个等级,一般医院中采用的生物安全柜为 I, II 级,II 级中 B1, B2 级生物安全柜应独立外排,根据笔者以往的经验,在设计中预留竖向排风竖井,将检验科、病理科的室内排风,生物安全柜、通风柜的排风经竖井中的独立风道由屋顶排风机高空排放,既方便运行管理,又避免了对周边环境的影响。从实际运行来看,检验科、病理科本身以及周边科室空气质量未受影响,取得了良好效果。

6.3.2 放疗机房

放疗机房主要集中在肿瘤中心,配置有直线加速器、后装机、钴 60 等设备。放疗机房室内空气由于射线的电离作用产生臭氧、接受治疗的病人因不能经常洗澡而体味较重,因此气流组织应设计为上

送下排形式。放疗机房通风换气次数一般取 6 h^{-1} ,有特殊要求的直线加速器室通风换气次数取 $10 \sim 12 \text{ h}^{-1}$,肿瘤中心引进的亚洲第 1 台 TomoTherapy 直线加速器是集合影像放疗为一体的加速器,根据设备冷却送风的要求,设计采用超低阻亚高效过滤装置从机器底部送入净化空调风,洁净度为 100 000 级, TomoTherapy 直线加速器室空调通风平面图见图 7。

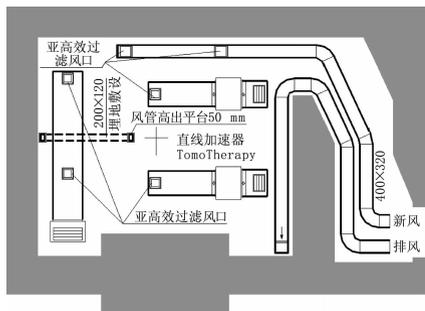


图 7 TomoTherapy 直线加速器室空调通风平面图

6.3.3 核医学科

核医学科无论是其制药区还是影像诊断区,室内都存在含有放射性核素的气溶胶,因此,通风系统应满足 3 个条件:1) 对相邻空间保持负压;2) 内部应保持空气由低活区向高活区的流向;3) 排风应在建筑物的屋顶高空排放。

肿瘤中心核医学科包括回旋加速器制药区域及 SPET, PET/CT 诊断区域,核素活性由高到低的顺序为:药剂制备室、实验室、加速器室、病人注射室、SPET 及 PET/CT 扫描间、病人休息及运动室、病人卫生间,通风设计严格按照各房间之间微负压控制计算风量,所有排风系统均经竖井由屋顶排风机高空排放,对于药剂制备区、合成柜、分装柜排除的高活性放射性气溶胶排风均经核工业专用放射性过滤吸附设备处理后高空排放。考虑到高空风压对室内压力及洁净度的影响,设计中还在屋

顶排风机入口处设置中效过滤箱。种种措施确保了核医学排风的顺畅并最大限度减少了对周边大气环境的污染。

7 新技术应用及设计优点

7.1 CFD 技术

在西院工程的高级病房、东院的外科大楼大厅、肿瘤中心的层流病房均应用了 CFD 技术,分别解决了高级病房的超高标准环境要求、大厅分层空调问题、层流病房内卫生间淋浴排风与净化送风的矛盾。CFD 技术的合理应用,使得有关计算流体力学的三大技术难点得以攻克,为医院顺利建设使用提供了保障。

7.2 冰蓄冷

通过对外科大楼区域空调负荷的详细计算及分析,结合该医院的实际情况,采用蓄冰槽冰蓄冷系统,既减少供电负荷,又节约运行费用。据测算,相比常规冷水机组制冷系统,供电负荷减少 15%,每年夏季空调运行费减少 59 万元,比常规空调减少 11%。为医院取得了可观的经济效益。

7.3 热回收

工程设计时积极响应国家节能政策,结合各建筑物特点,采用了转轮显热回收装置、热管式热回收装置。医院抽检测试结果表明热回收效率达到 62%,达到了医院的建设策划节能指标。

8 结语

该大型综合医院的改扩建工程是全国一次性整体建设规模最大的医院项目,拥有国家标准最高的高级健康保健基地、全国最大的单体病房楼、全国最为齐全的肿瘤设备、全国最大规模的血液层流病房等。工程设计难点多、难度高,对设计提出了前所未有的技术要求和挑战。项目中所采用的创新技术被作为范例推广应用到后续多个医院设计中,为我国超大型医院建设起到了借鉴作用。