

北京朝阳医院暖通空调系统设计

中国中元国际工程公司 赵文成[☆]

摘要 结合先进的医疗流程,合理配置了通风空调系统,明确设计了房间的正负压、净化房间的压力梯度及气流流向,为防止医院内交叉感染提供了可靠的保证。该工程设计建成了国内首个净化的 RICU 和化学中毒紧急救治中心,急救中心分成 A、B、C 三区接诊及救治,详细介绍了这些场所的通风空调设计。

关键词 医院 交叉感染 正负压 气流流向 呼吸重症监护病房(RICU) 空调系统

HVAC system design for Beijing Chao-Yang Hospital

By Zhao Wencheng[★]

Abstract Combined with state-of-the-art medical processes, allocates ventilation and air conditioning systems rationally and determines the positive and negative pressure of different rooms, the pressure gradient of clean rooms and the air flow direction, providing a reliable guarantee against cross-infection within the hospital. The project constructs the first domestic clean respiratory intensive care unit (RICU), the chemical poisoning emergency treatment center and the emergency center with A, B, C three zones admissions and treatment mechanism. Expounds their ventilation and air conditioning design.

Keywords hospital, cross-infection, positive and negative pressure, air flow direction, respiratory intensive care unit, air conditioning system

①

★ China IPPE International Engineering Corporation, Beijing, China



= 赵文成 =

代表工程:

- ◎ 北京万通新世界广场
- ◎ 北京海淀新技术大厦
- ◎ 北京稻香湖景酒店
- ◎ 中国农业科学院农产品质量标准与检测中心
- ◎ 北京朝阳医院

集医疗、教学、科研、预防为一体的三级甲等医院。该工程为新建门急诊及病房楼,是北京奥运会唯一奥运示范医院,承担了奥运期间的医疗救治工作。

该工程新建建筑面积 83 937 m²,地上 13 层,地下 3 层,建筑高度 59.80 m。地下 3 层为停车库(战时六级人防物资库)、放疗科、设备用房;地下 2 层为停车库及设备用房;地下 1 层为急诊部、药库及病案库等;首层为门诊大厅、住院大厅及门急诊治疗室等;2 层为放射影像室、CT 室、儿科等;3 层为检验、功能检查、超声影像及门诊用房;4 层为中心供应室及门诊用房;5 层为中心洁净手术部、门诊手术部及门诊用房;6 层为血库、生殖中心及门诊用房;病房楼 7~12 层为标准护理单元,13 层为呼吸重症监护病房(RICU);门急诊楼 6~9 层为门诊用房,10 层为行政办公区、报告厅及计算机中心。

工程建成后,医院病床总数达 1 410 床(其中新建病床数为 285 床),日门急诊量已超过 10 000 人次,连续 5 年为北京市门诊量最大的医院。

1 工程概况

北京朝阳医院(见图 1)坐落于 CBD 商务区西北侧,是



图 1 北京朝阳医院外景

①[☆] 赵文成,男,1963 年 2 月生,大学,高级工程师
100089 北京市海淀区西三环北路 5 号中元国际工程公司建
筑三所
(010) 68732473
E-mail: zhaowencheng@ippr.net
收稿日期:2012-11-29

2 建筑特点

2.1 设计了化学中毒紧急救治中心

作为北京市全国职业病及化学中毒救治基地,该工程急诊部一直承担着北京市(包括奥运会期间)化学中毒紧急救治任务。化学中毒紧急救治中心紧密结合现有急救流线,分设了平灾结合的热区、温区、冷区,设置了急救车自动清洗、中毒患者自动清洗及重症患者自动清洗等设施。

2.2 设计了急救中心 A、B、C 三区接诊及救治机制

急救中心位于地下 1 层, A 区(抢救)、B 区(复苏留观)、C 区(普通诊区)围绕医技检查展开,分区明确,流线先进清晰,高效快捷。地下 1 层利用天井及下沉花园,实现了与地上建筑相同的采光通风效果。该急救中心是卫生部急诊医学教育合作项目培训基地和北京市急诊住院医师规范化培训基地。

2.3 建立了国内首家净化的 RICU

RICU 的整体设计着重体现了护理工作的高效率与便捷性,同时从病人角度出发,创造了舒适、积极的治疗环境。

2.4 门诊科室布置摒弃了传统的内外科设置

采用内外科集成,以中心(脑病中心、心脏中心等)为单元的集约型布局方式,大大提高了工作效率,弱化了就诊流程。

3 暖通空调系统设置

3.1 通风空调系统

门诊急诊及病房楼功能较多,根据各功能设置不同的通风空调系统。该项目共设:

1) 送排风系统 100 个;

2) 风机盘管加新风空调系统 33 个(主要服务区域为门诊、病房);

3) 全空气舒适性空调系统 25 个(主要服务区域为医疗主街、大厅等);

4) 生物净化空调系统 31 个(主要服务区域为洁净手术部、急诊重症监护病房(EICU)、RICU、心脏监护病房(CCU)、中心供应室、抢救室);

5) 恒温恒湿空调系统 2 个(主要服务区域为核磁共振体间、计算中心机房);

6) 多联机空调系统 4 个(主要服务区域为放疗科直线加速器治疗室、核磁共振辅房、变配电辅房、计算中心辅房)。

3.2 冷源

在本工程新建建筑中设计了供应全院区 15 万 m^2 建筑的集中制冷站。选用 2 台 3 869 kW(1 100 rt)的离心式冷水机组与 2 台 1 336 kW(380 rt)的螺杆式冷水机组,使得在高、低负荷下都能高效率运行,同时机组之间也能形成相互备用。其中螺杆机在冬季运行。

3.3 热源

采用市政热源,经换热后用于本工程建筑的空调和供暖,同时设置蒸汽锅炉房提供蒸汽用于消毒、冬季舒适性空调加湿并作为空调、供暖备用热源。净化空调系统的加湿采用电极式加湿器。

3.4 空调水系统

病房楼、地下 1 层各空调房间及所有净化空调系统的水系统为四管制,其余均为两管制。

4 通风空调设计

在医院暖通空调设计中,防止医院内以空气源传播方式造成的交叉感染尤其重要。该工程的设计特点是:

1) 与医学专家一起总结防控经验,结合先进的医疗流程,合理配置通风空调系统。地下 1 层的医疗用房设计了下沉式花园,实现了与地上建筑相同的通风效果,保证在疫情发生时能正常运行。

2) 将医护人员的休息区、办公区设计成正压区域,使气流由医护人员休息区、办公区流向公共区域,再由负压区排至室外。图 2 给出了病房的气流流向示意,医生办公室、值班室、示教室采用风机盘管+新风系统,保持房间正压;公共区域的气流由病房、卫生间、污物间排出,这些房间保持负压。图 3 给出了放射科的气流流向示意,医生停留的区域设计为正压区,病人停留的区域设计为负压区,以保护医务人员。

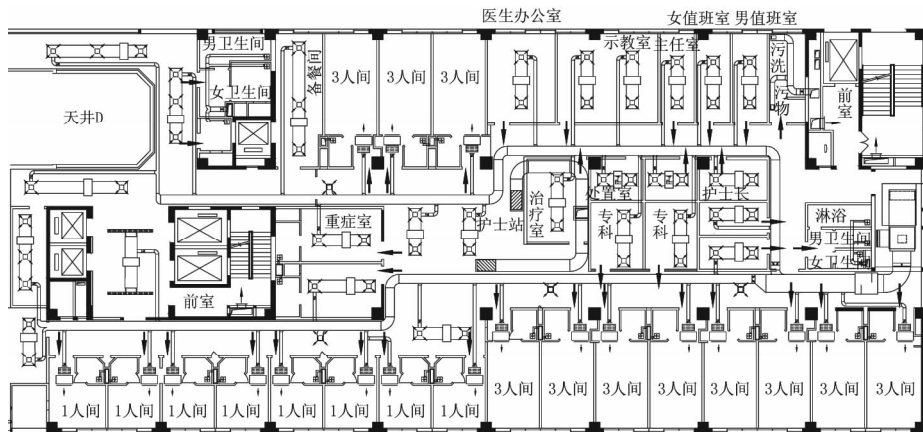


图 2 病房的气流流向示意

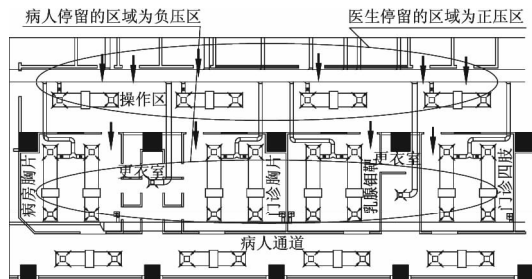


图3 放射科的气流流向示意

3) 在医护人员与病人共同存在的各医疗场所(诊室、检查室等)均设置新风和排风系统,提高空气的流动性,减小房间空气龄,降低有害物浓度。图 4 给出了妇产科门诊的气流流向示意,诊室、检查室采用风机盘管+新风+排风系统;公共区域的气流由诊室、卫生间、污物间排出,使空气流通,避免出现死角,降低有害物的浓度。

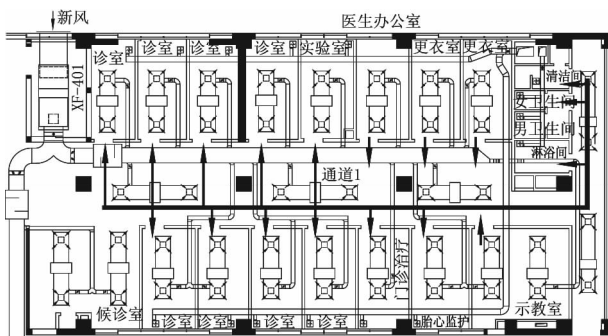


图 4 妇产科门诊的气流流向示意

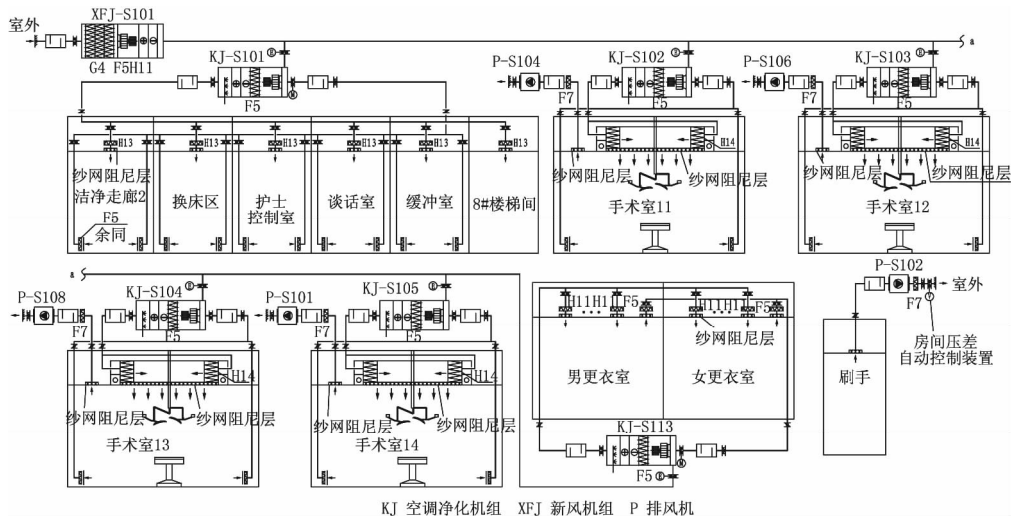


图 5 洁净手术部的净化空调系统图

6) 中心供应室分区域设置不同的空调系统。中心供应室是全院的消毒供应分发中心,无菌品及手术室的器械、敷料均在此消毒后分发给各部门,是清洁与污染并存的部门。在平面布置上污染区、清洁区、无菌存放区三区分立。流程包括接受回收、清洗、打包、消毒灭菌、无菌存放。对应

4) 各层医疗主街、门诊大厅、急诊抢救大厅、急诊留观大厅、急诊各交通廊、报告厅等公共空间采用全空气双风机空调系统。在疫情(如 SARS、流感)发生时或在过渡季,空调系统以全新风工况运行。急诊抢救大厅、急诊留观大厅的平时排风量均比新风量大 10%,使室内保持负压。医疗主街采用条缝型送风口,使送风均匀,降低了风速,减少了病人的吹风感。

5) 在医疗净化区域设置压力梯度,采用新风集中处理、分散独立送风的空调方式。在净化空调机组不工作时,由新风系统维持各区域的压力梯度,避免净化房间受到污染。

以手术部为例,手术部共有 I 级(100 级)手术室 3 间,其中 1 间用于心脏外科手术,2 间用于关节置换、器官移植及脑外科手术;II 级(1 000 级)手术室 1 间,用于胸外科、泌尿外科、肝胆胰外科手术;III 级(10 000 级)手术室 4 间,用于普通外科手术。

每间手术室对应 1 个空调系统。手术室采用集中高效过滤送风天花送风、双侧下回风,每间手术室设独立的排风系统来排除溢出的麻醉气体和异味,并控制手术室的压力。

Ⅰ级手术室的洁净走廊和体外循环机间接Ⅱ级辅助用房设计,Ⅲ级手术室的洁净走廊按Ⅲ级辅助用房设计,器械药品库、无菌品库按Ⅲ级辅助用房设计,清洁走廊按Ⅳ级辅助用房设计。在洁净走廊刷手处设置排风系统来控制洁净走廊的压力,在快速灭菌清洗处设置排风系统来控制清洁走廊的压力。

根据洁净度级别设计压力梯度。各洁净走廊设独立的排风系统以调节压力。净化区域压力比非净化区域高 15 Pa,高级别的净化区域(房间)压力比低级别净化区域(房间)高 8~10 Pa。图 5 给出了洁净手术部的净化空调系统图。

空调房间的压力梯度,设立独立的患者通道,严格医患分流。护理模式采用开放中心岛式,病床围绕护士站呈放射状布置,护士可直接观察到每位病人,抢救距离最短。RICU 的整体设计着重体现了护理工作的高效率与便捷性,同时从病人角度出发,创造舒适、积极的治疗环境。RICU 分区见图 6。

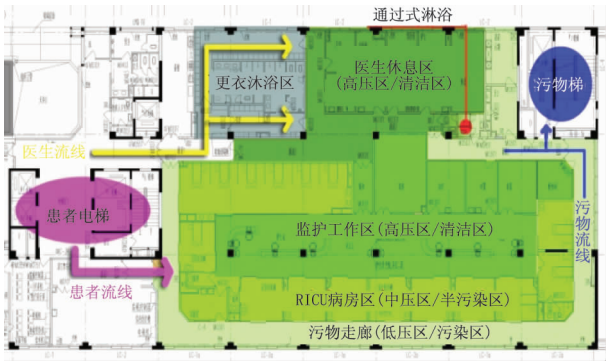


图 6 呼吸科 RICU 分区

RICU 的净化等级为 10 万级,共设 7 个净化空调系统,2 个新风集中处理系统。

① 严格控制空气流向,使气流流向为医护人员休息区→医护人员工作区→RICU 病房区。

② 排风口设在病人头部区域的侧下方。

③ 病房区采用直流式净化空调系统,避免交叉感染。为提高可靠性,病房空调系统设置备用机组。

④ 为了保证病房处于负压状态,在送风管上安装定风量阀,在排风管上采用 VRP-STP 房间压力控制器+TVT 变风量阀控制房间压力,实现各病房压力无关控制,病房压力设定为-15 Pa,有效地保证了病房内的空气不外溢。压力控制原理图见图 7。

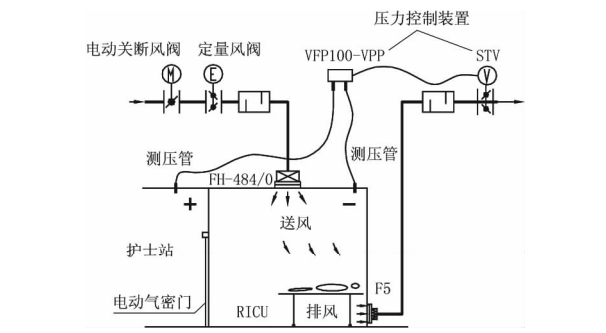


图 7 RICU 压力控制原理图

⑤ 设计 2 间正负压转换 RICU,室内为肺移植病人时调至正压状态,室内为普通病人时调至负压状态。

8) 急救中心对应 3 个不同的区域,采用不同的通风空调系统实现其功能,见图 8。

A 区(抢救):2 间抢救室按Ⅲ级净化手术室设计,用于紧急情况下的手术。抢救大厅采用全空气双风机空调系统,可全新风运行,以避免疫情发生时的交叉感染。

B 区(复苏留观):危重病人进入 EICU。为了防止交叉

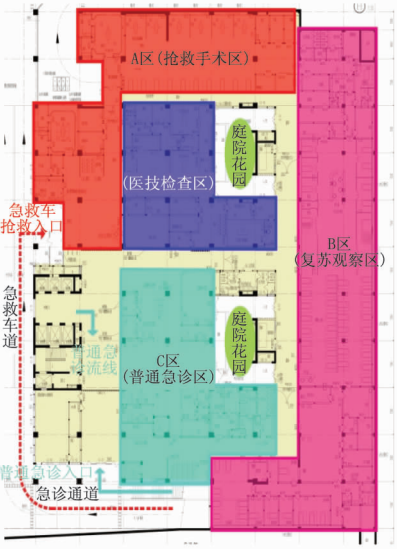


图 8 急救中心分区示意

感染并提高护理的可靠性,将 EICU 设计成 10 万级净化区域,病房设计成直流式负压病房,其中 2 间可实现正负压转换。为了保证病房的负压状态,在送风管上安装定风量阀,在排风管上采用 VRP-STP 房间压力控制器+TVT 变风量阀控制房间压力,实现各病房压力无关控制,病房压力设定为-15 Pa,有效地保证了病房内的空气不外溢。

普通病人进入留观大厅。由于病人的气味较大,同时为避免疫情发生时的交叉感染,留观大厅采用全空气双风机空调系统,可全新风运行。

C 区(普通诊区):采用风机盘管+新风+排风系统。

9) 净化空调机组采用正压无涡壳直联变频组合式机组。机组根据过滤器的阻力变化调整风量,实现稳定、节能运行。采用直联式风机,避免了皮带脱落的碎屑对高效过滤器造成污染。空调机组采用正压机组,即风机段在过滤段和表冷段之前,避免了机组漏风对空调系统造成污染。图 9 为净化空调机组功能段组合及控制点示意图。

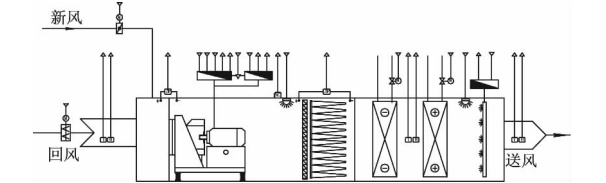


图 9 净化空调机组功能段组合及控制点示意图

10) 防止交叉感染的液体循环式热回收系统。在排风与进风完全隔离的情况下,回收排风中的冷热量来预热或预冷新风。在地下 2 层的 EICU 机房和 14 层的 RICU 机房设置 2 套乙二醇热回收系统。以 RICU 机房为例,其乙二醇质量分数为 30%,水汽比为 0.25,换热器迎面风速为 2 m/s;冬季房间排风温度 23℃、含湿量 9 g/kg,室外新风温度-12℃、相对湿度 45%。图 10 为 RICU 机房液体循环

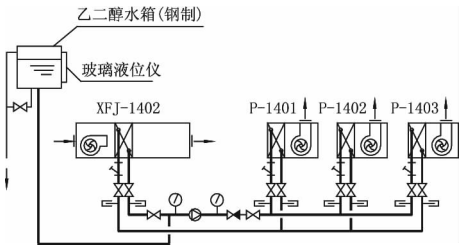


图 10 RICU 机房液体循环式热回收系统原理图

表 1 换热设备参数

设备编号	风量/(m³/h)	换热盘管排数	循环水量/(kg/h)	盘管阻力/kPa	盘管水容量/L	显热效率/%	平均效率/%
XFJ-1402	10 500	8	3 150	47.0	32.8	46.5	46.5
P-1401	2 400	8	720	14.3	6.8	45.5	46.1
P-1402	6 000	8	1 800	17.4	16.6	46.0	
P-1403	4 200	8	1 260	13.9	14.9	46.5	

11) 各污染区域设计成负压,防止有害物溢出。医疗场所的废气全部高空排放,避免采用侧墙排风的方式,以免出现气流短路的现象。

① 病房、诊室、检查室、扫描室等采用排气扇与离心排风机串联运行的排风系统,保证房间的换气次数和系统平衡,并保持房间负压。

② 污物间、污洗间设独立的排风系统,以排除有害气体和异味,并使房间保持负压。

③ 卫生间采用排气扇与离心排风机串联运行的排风系统,保证房间的换气次数和系统平衡,卫生间始终为负压状态。

④ 中心供应室的污车清洗和污染区设独立的排风系统,以排除生产过程中产生的有害气体,并使房间保持负压。

⑤ 在中心供应室高温蒸汽灭菌器上方设独立的排风系统,以排除灭菌过程中产生的废热,并使蒸汽灭菌器间相对于两侧的净化区域保持负压。

⑥ 低温环氧乙烷灭菌室设独立的排风系统,以排除灭菌过程中产生的强致癌物质,同时接独立的排气管排至屋面,并使房间保持负压。

⑦ 2 层放射科胃肠造影扫描室、乳腺 CAD、门诊四肢、乳腺钼靶、门诊胸片、病房胸片、CT 室设独立的排风系统,换气次数为 3 h⁻¹。扫描室为负压,控制室为正压。

⑧ 2 层检验中心、门诊化验室设独立的排风系统,以排除检查过程中产生的有害气体和检验试剂的异味,换气次数为 10 h⁻¹,并保持负压状态。各通风柜设独立的排风系统。

⑨ 地下 1 层滤过间是在发生化学品爆炸、中毒等事故后的急救过程中对中毒人员进行清洗的场所,为了防止有害物溢出、扩散,该房间设计了独立的排风系统,并保持房间负压。

⑩ 直线加速器治疗室设独立的排风系统排除产生的臭氧及余热。治疗室为负压,医生控制室为正压。

5 地板供暖系统

式热回收系统原理图。表 1 给出了根据空调设备公司软件计算得出的换热设备参数。

系统热回收显热效率 η 为

$$\eta = 0.5(\eta_k + \eta_p) + \Delta\eta_1 + \Delta\eta_2 \tag{1}$$

式中 η_k 为新风换热器的显热效率; η_p 为排风换热器的显热效率; $\Delta\eta_1, \Delta\eta_2$ 为显热效率修正,由《实用供热空调设计手册》查得 $\Delta\eta_1=0.04, \Delta\eta_2=0.02$ 。

代入数据计算得 $\eta=52\%$ 。

本工程门诊楼在 1,4,7,10 层共设有 4 个大堂主街,层高均在 13 m 以上,为了提高舒适性设计了地板供暖系统。同时在病房楼入口大厅及输液大厅设计了地板供暖系统,作为冬季辅助加热系统,为患者提供了舒适的就医环境,受到了患者的好评。

6 化学中毒紧急救治中心的设计

该工程设计了化学中毒紧急救治中心,作为北京市全国职业病及化学中毒救治基地,承担北京市(包括奥运会期间)化学中毒紧急救治任务。

在中毒患者更衣、清洗处设计了电热防水热风幕快速加热系统,保证了系统在冬季的良好运行。图 11 为地下 1 层化学中毒紧急救治部分流程图。

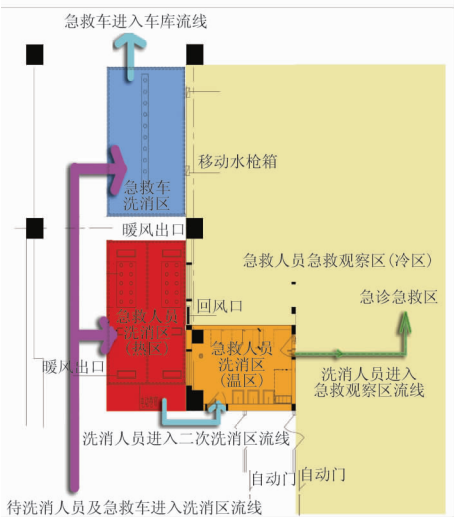


图 11 地下 1 层化学中毒紧急救治部分流程图

7 结语

暖通空调专业在医院设计中担负着重要角色,优秀的设计不仅能为医生、患者提供良好的工作和就医环境,同时对于降低医院的运营成本和减少院内的交叉感染也起着重要作用。