

超高层写字楼空调系统选型论证与工程实践

魏哲聪

佛山建发产业园区开发有限公司, 广东 佛山 528000

[摘要]文中以佛山建投城市发展中心项目为背景,结合笔者全程参与该项目空调系统选型论证的实际经历,系统阐述了超高层写字楼在 VRV 多联机系统与 VAV 变风量系统之间进行方案比选的技术决策过程。文章从地域市场特征、场地条件约束、初期投资与全生命周期成本、室内空间品质、疫情防控、维护管理等维度,深入分析了两种系统的适用性差异。研究表明,在佛山这类二线城市,受限于写字楼入驻率偏低、中小企业加班需求旺盛、开发商成本控制压力较大等条件,多联机系统在运营灵活性、计费准确性、二次装修适应性等方面具有显著优势。文中还总结了多联机室外机避难层布置、冷媒管路施工等关键实施要点,可为同类项目提供参考。

[关键词]超高层写字楼;多联机系统;变风量系统;方案比选;工程实践

DOI: 10.33142/aem.v8i8.20502

中图分类号: TU831.3

文献标识码: A

Demonstration and Engineering Practice of Air Conditioning System Selection for Super High-rise Office Buildings

WEI Zhecung

Foshan Construction& Development Industrial Park Co., Ltd., Foshan, Guangdong, 528000, China

Abstract: Taking the Foshan Construction Investment Urban Development Center project as the background, combined with the author's actual experience of participating in the selection and demonstration of the air conditioning system for the project, this article systematically elaborates on the technical decision-making process of comparing the VRV multi split system and VAV variable air volume system for super high-rise office buildings. The article deeply analyzes the applicability differences between the two systems from the dimensions of regional market characteristics, site constraints, initial investment and full life cycle costs, indoor space quality, epidemic prevention and control, and maintenance management. Research has shown that in second tier cities such as Foshan, multi split systems have significant advantages in operational flexibility, billing accuracy, and adaptability to secondary decoration due to low office occupancy rates, strong overtime demand from small and medium-sized enterprises, and high cost control pressure on developers. The article also summarizes key implementation points such as the layout of the refuge layer for multi split outdoor units and the construction of refrigerant pipelines, which can provide reference for similar projects.

Keywords: super high-rise office buildings; multi connected system; variable air volume system; scheme comparison and selection; engineering practice

1 工程概况

佛山建投城市发展中心项目(以下简称城发中心)位于佛山市禅城区季华路核心商务区,是一座集办公、商业、城市展厅于一体的超高层综合体建筑。项目塔楼地上 30 余层,建筑高度接近 200m,标准层办公面积约 170m²,定位为佛山季华路沿线的超甲级写字楼。笔者作为建设单位机电专业负责人,全程参与了该项目从方案策划、系统选型到施工配合的各个环节。

项目方案阶段面临一个核心问题:作为佛山本地的超

甲级写字楼,空调系统应采用目前国内超甲级写字楼主流的 VAV 变风量全空气系统,还是采用在华南地区应用日益广泛的 VRV 多联机系统?设计单位初步推荐 VAV 系统,理由是其在广州、深圳等一线城市应用广泛,舒适性好、空气品质高。但笔者结合佛山本地实际情况和以往项目运营经验,认为不能简单照搬一线城市做法,有必要对两种系统进行深入的技术经济比选。为此,建设单位组织设计单位、机电顾问开展了数月的方案论证,包括现场考察同类项目、咨询设备厂家、测算投资造价等,最终形成了完

整的比选结论。

2 两种空调系统的技术特征

2.1 VRV 多联机系统

多联机中央空调是一台室外机通过冷媒配管连接两台或两台以上室内机的空调形式,室外侧采用风冷换热,室内侧采用直接蒸发换热,属于一次制冷剂空调系统。其通过变频压缩机调节制冷剂流量,根据室内负荷变化自动调节制冷(热)量,实现对多个区域的独立温度控制。

多联机系统的主要优点:一套设备即可实现制冷和供暖双重功能,不需额外增加供暖设备;可按楼层或租户设置独立系统,通过智能电量划分实现分户计费;各租户可根据自身需要自行启停,运营方便;日常维护简单,不需配备专职运行管理人员。不足之处是室外机与室内机须同一品牌,设备寿命一般为15~20年。

2.2 VAV 变风量系统

变风量空调系统的主机侧与传统冷水系统一致,由水冷冷凝主机、冷却塔、冷却水泵、冷冻水泵等组成;末端侧由变频空调机组(AHU)、变风量末端装置(VAV BOX)、控制组件及送回风口等组成。其工作原理是空调机组将处理后的空气经送风管道及变风量末端装置送入室内,当室内负荷变化时,末端装置自动调节送风量,空调机组则根据总风量变化降低风机频率,实现节能运行。

VAV系统的优势在于舒适性高、空气品质好,新风和回风均经空调机组集中处理,可方便设置初效过滤、静电除尘、光触媒杀菌等净化装置;智能化程度高,可与楼宇自控系统深度集成;制冷主机使用寿命较长。缺点是系统复杂、技术门槛高,对调试和物业管理的专业能力要求高;需要设置制冷机房、空调机房、冷却塔等大量配套设施,占用建筑面积多;运行管理需专职人员,加班空调费用高;各租户无法独立控制,使用灵活性差。

3 选型决策的关键因素分析

3.1 地域市场特征与运营模式适配性

空调系统选型不能脱离项目所在地的市场环境和运营模式,这是笔者体会最深的一点。广州、深圳等一线城市的超甲级写字楼普遍采用VAV系统,有其特定的市场基础:入驻率常年维持在85%以上,冷水机组可在较高负荷率下稳定运行;入驻企业以大型企业、外资企业、金融机构为主,办公时间规律,加班需求少;租金水平较高,广州珠江新城约为160~200元/m²/月,租户有能力承担较高的物业费和空调加班费。

但佛山的情况截然不同。笔者在招商调研中发现,佛山季华路沿线超甲级写字楼的企业入驻率普遍偏低。若采

用冷水机组系统,在项目前期招商阶段,由于入驻率低、回水温度上不去,制冷主机会频繁出现启停保护,不仅能耗高,而且对设备寿命不利。这并非理论推测——季华路上早前开发的绿地中心、万科金融中心一期,最初都采用水机系统,运行一段时间后总结经验,二期全部改为多联机系统。笔者曾带队考察,物业管理人员普遍反映水机系统在低入驻率阶段运行管理非常被动。

此外,佛山企业以中小企业为主,大部分实行6天工作制,晚上和周末加班需求旺盛。若采用VAV系统,哪怕只有1间办公室加班,也必须启动整层甚至整栋楼的制冷主机、水泵、风机等全套设备,运行成本很高。笔者考察了解到,佛山同类VAV写字楼的空调加班费普遍在200~450元/小时,且不足3小时按3小时计算,中小企业根本承担不起。而多联机系统可实现分户独立控制,哪个租户加班就开哪套系统,运行成本由租户自行承担,既公平又灵活。从招商端反馈来看,不少佛山企业入驻时会明确要求在租赁楼层增设多联机,以满足自行控制的需求,这已成为招商谈判中的一个实际竞争力因素。

3.2 建筑场地条件约束

城发中心项目用地面积紧张,地下室车位规划已非常紧凑,没有多余空间设置制冷机房,这是VAV方案的一个硬伤。一般200m以下的超高层写字楼,制冷机房大都设在地下室,因为放在塔楼避难层会带来噪音和振动问题。但城发中心地下室已没有近200m²的空间布置制冷机房。若强行将制冷机房设在避难层,不仅造价高,而且会对上下层办公区域产生较大的振动和噪音影响。

根据广东省建筑设计研究院(广州西塔机电顾问)的经验,制冷机房设在避难层,会对所在层及上下各约两层产生较大振动和噪音影响;冷却塔设在塔楼屋顶,则会对下面约3层产生较大影响。为减轻影响,制冷机房和冷却塔区域需做浮筑地板处理,经咨询厂家,浮筑地板全包造价约3200元/m²,本工程需设置浮筑地板的区域约380m²,仅此一项增加造价约121万元。此外,VAV系统还需在塔楼顶部设置冷却塔,占地约180m²,而城发中心天面规划有屋顶观光平台和顶层城市展厅,冷却塔的散热、噪音和振动会严重影响这些区域的使用体验。笔者在考察广州国际金融中心、AIA友邦金融中心时,均了解到冷却塔噪音振动影响相邻楼层的实际投诉案例。

采用多联机系统则上述问题迎刃而解。多联机不需要制冷机房和冷却塔,室外机可分散布置在各避难层,结合外立面设置通风百叶即可,既节省了建筑面积,又避免了集中设备带来的噪音振动问题。

3.3 初期投资与全生命周期成本

从初期投资来看,按中低区办公及总部办公面积测算,VAV 系统造价约为 500~650 元/m²,VRV 多联机系统约为 400~500 元/m²,VAV 系统初期投资比多联机多出约 500 万元(含机房隔音降噪措施)。佛山季华路核心区超甲级写字楼售价约 13500~14500 元/m²,租金约 85~90 元/m²/月,仅为广州珠江新城核心区同级别项目的约 1/3。在该市场条件下,额外增加的 500 万元投资很难通过租金或售价提升实现回收

更重要的是建筑面积的损失。VAV 系统每个标准层需在核心筒设置 2 个约 30m²的空调机房,单层增加约 60m²,办公楼层按 23 层计算,累计损失办公面积约 1380m²,标准层使用率下降 4%~5%。在写字楼市场上,使用率是客户非常看重的指标,使用率下降意味着产品竞争力的直接下降,按售价折算这部分面积损失的价值远超 500 万元的设备差价。

多联机系统还有一个对开发商极为有利的成本优势:前期只需配置室外主机及公区入户铜管,室内机可在企业入驻后由租户自行配置。这样一来,开发商在建设阶段可以节省大量室内机设备采购费用,显著降低前期投入;同时,由于室内机由租户根据自身装修间隔和使用需求自行选配,避免了因企业内装修重新分隔导致原有室内机移位而产生的拆改成本。对于招商周期较长、租户需求差异较大的写字楼项目而言,这一点经济效益十分可观。

从全生命周期成本来看,多联机系统也具有优势。VAV 系统需配备专职空调运行管理人员,人力成本逐年上升;多联机系统不需专人维护,日常运维成本较低。计费方面,多联机系统按租户实际用电量分摊,准确方便,不易产生纠纷;VAV 系统只能根据能量计分摊或按面积收取,准确性较差,实际运营中容易引发租户与物业之间的矛盾。此外,多联机系统的冷媒铜管和室内机布置灵活,后期租户更替重新分隔时,可利用原有室内机进行二次风管设计,甚至保留原有管道仅更换室内外机,改造成本和工期都远低于 VAV 系统。

3.4 室内空间品质与净高影响

对于写字楼产品而言,室内净高是影响空间品质感和客户体验的关键指标。VAV 系统需在公共区域布置大量空调风管、新风管、排风管,且管径较大、管线交错复杂,对吊顶空间占用较多。多联机系统的冷媒管管径较小,新风管也可做得较小并穿梁布置,吊顶可贴梁布置,占用空间明显更少。

设计单位针对城发中心办公楼层管线最密集区域做

了综合管线分析,结果显示:采用 VAV 系统的走道净高约为 2450mm,大办公区净高约 3300mm;采用多联机系统的走道净高约为 2650mm,大办公区净高约 3400mm。仅从空调专业计算,两种系统吊顶净空相差约 400~500mm,这个差距在实际使用中非常明显,净高更高的空间给人更加开阔舒适的感受,对提升写字楼产品档次有直接帮助。

当然,VAV 系统在空气品质方面确有优势,新风和回风均经空调机组集中处理,可方便设置多种净化装置。多联机系统新风机默认只带初效过滤,但若选配高效过滤组件,同样可实现 PM2.5 和氮氧化合物的高效过滤。城发中心项目就在多联机新风机组中选配了高效过滤装置,基本达到了与 VAV 系统相当的空气品质水平。

3.5 疫情防控与制热功能

城发中心项目开发建设阶段正值新冠病毒全球大流行期间,疫情防控成为设计中必须重点考虑的因素。VAV 系统采用全空气形式,通过风管将各办公室连接在一起,新风和回风混合后经空调机组处理再送至各区域,在疫情状态下存在交叉感染风险。多联机系统每个室内机独立运行,空气在各自房间内循环,不同房间之间没有空气管路连接,相对独立,不易造成空气交叉感染;新风系统采用全热回收新风机,新风和排风通过换热芯进行能量回收,空气流路完全分开,不会发生交叉混合。从疫情防控角度看,多联机系统的空气安全性明显优于 VAV 系统。

在制热功能方面,佛山地处华南,冬季虽温和但仍有一段时间需要供暖。多联机系统一套设备即可实现制冷和供暖双重功能,冬季可直接切换到制热模式,不需额外增加投入。VAV 系统若要实现制热,需增加锅炉或热泵等热源设备,造价较高,广东地区办公写字楼的 VAV 系统基本不设供暖,冬季外区温度较低时只能在 VAV BOX 内设电加热装置,能耗显著增加。笔者在与佛山本地企业沟通时了解到,不少企业对冬季供暖是有需求的,尤其是一二月份的湿冷天气,多联机系统天然具备的制热功能成为一个实用优势。

3.6 两方案综合对比汇总

综合以上各维度分析,两种空调系统的主要差异汇总如表 1 所示。从表中可以清晰看出,在城发中心项目的具体条件下,多联机系统在初期投资、建筑面积占用、净高影响、计费准确性、控制灵活性、维护便利性、二次装修适应性等多个方面都具有明显优势,而 VAV 系统的优势主要集中在空气品质和设备使用寿命方面,且这些优势并非不可弥补。

表 1 VRV 与 VAV 空调系统综合对比表

对比项	VAV 变风量系统	VRV 多联机系统	优势方
初期投资	500~650 元/m ²	400~500 元/m ²	VRV
建筑面积	每层增加约 60m ² 机房	仅需管井	VRV
吊顶净高	较低 (低 400~500mm)	较高	VRV
空气品质	优, 可集中净化	良, 需选配高效过滤	VAV
制热功能	基本无 (增加热源成本高)	冷热两用	VRV
计费方式	按面积或能量分摊, 精度低	分户计量, 准确方便	VRV
控制灵活性	整栋统一控制, 加班费用高	分户独立控制, 灵活方便	VRV
维护管理	需专人维护, 技术门槛高	不需专人, 维护简单	VRV
噪音振动	机房和冷却塔影响大	室外机分散, 影响小	VRV
二次装修	风管调整复杂, 难度大	冷媒管灵活, 改造方便	VRV
设备寿命	主机约 25 年	约 15~20 年	VAV
疫情防控	集中回风, 存在交叉感染风险	独立循环, 空气安全性高	VRV

4 多联机系统设计实施要点

4.1 室外机避难层布置与通风散热

城发中心项目的多联机室外机全部设置在塔楼避难层。室外机集中布置在避难层, 通风散热是必须重点解决的问题, 如果散热不良, 室外机换热效率会大幅下降, 导致制冷效果变差、能耗增加, 严重时甚至触发高压保护停机。

在设计过程中, 笔者与设计单位、设备厂家共同研究了室外机布置方案, 主要采取以下措施: 一是将室外机沿避难层外围布置, 确保每台室外机的进风侧和出风侧都有足够的通风空间; 二是在避难层对应的外立面位置设置通风格栅, 保证进排风顺畅, 格栅通风率不低于 70%; 三是合理规划室外机排列间距, 避免相邻室外机排风互相干扰形成热风短路; 四是对室外机数量较多的避难层, 适当增加排风导风措施。施工配合阶段, 笔者特别强调室外机基础的减振措施, 所有室外机均设置橡胶减振垫, 冷媒管与室外机连接处设置减振弯, 防止振动通过建筑结构传递到上下楼层。

4.2 冷媒管路施工质量控制

多联机系统的冷媒管路是整个系统的生命线, 施工质量直接关系到系统能否长期稳定运行。城发中心项目冷媒管采用紫铜管, 焊接采用钎焊工艺, 焊接时必须充氮保护, 防止铜管内壁氧化产生氧化皮堵塞管路。笔者在现场检查中发现, 有些施工队伍为赶进度在焊接时不充氮或充氮不充分, 这是严重的质量隐患, 为此项目专门制定了冷媒管焊接质量检查制度, 要求每道焊口都有施工记录和检查记录, 监理单位旁站监督。

保压试验是检验冷媒管密封性的关键工序。施工完成后, 冷媒管系统必须充入氮气进行保压试验, 试验压力约四兆帕, 保压时间不少于 24 小时, 压力降不超过允许值

方可合格。笔者要求保压试验必须在隐蔽工程验收前完成, 保压合格后才能进行吊顶封板, 保压期间安排专人定期巡查记录压力变化。保温施工同样不能忽视, 冷媒管保温采用闭孔橡塑保温材料, 所有接口处采用专用胶水粘接并用保温胶带缠绕密封, 穿墙和穿楼板处保温连续不断开, 笔者在现场巡查时重点检查保温层完整性和接口处理质量, 防止夏季制冷时管道表面产生冷凝水滴落损坏吊顶。

4.3 新风系统配合

多联机系统本身只处理室内回风, 新风需单独设置。城发中心项目采用全热回收新风机组, 新风经过滤、热回收处理后送入室内, 排风同时经热回收芯排出, 既保证了新风量, 又回收了排风中的能量。新风机组除标配初效过滤器外, 还选配了中效过滤器和活性炭过滤段, 新风量按办公建筑 30m³/(h·人) 设计, 运行控制与多联机系统联动, 可根据室内二氧化碳浓度自动调节新风量。施工中, 新风管布置需与冷媒管、冷凝水管、电气管线等进行综合协调, 设计单位在施工前绘制了综合管线图, 明确各专业管线标高和位置, 确保有序布置、不影响吊顶净高。

5 运行效果与经验总结

5.1 项目实施效果

城发中心项目多联机空调系统投入使用以来, 运行情况总体良好, 主要体现在以下几个方面: 一是运行灵活性好, 各租户可根据自身办公时间独立控制空调开关和温度, 不受整栋楼统一运行时间限制, 对实行六天工作制、经常加班的中小企业非常友好, 租户满意度较高; 二是计费准确纠纷少, 采用分户计量方式按实际用电量收取电费, 公平合理, 投入运营以来未发生过因空调计费引发的投诉; 三是维护管理简单, 不需配备专职空调运行管理人员, 设备运行稳定、故障率较低, 即使某台室内机故障也只影响该区域, 维修方便; 四是空间品质得到认可, 室内净高较

高,办公空间开阔明亮,在招商过程中成为项目的一个卖点。

5.2 经验与体会

回顾城发中心项目空调系统选型的整个过程,笔者有以下几点深刻体会:

第一,空调系统选型必须因地制宜,不能盲目照搬一线城市的做法。VAV 系统在广州、深圳有其合理性,但并不意味着在佛山这样的二线城市同样适用。不同城市的市场环境、租户结构、租金水平、运营模式都有差异,选型必须与项目所在地的实际情况相匹配。作为建设单位的机电负责人,不能简单地以别人都这么做为理由确定方案,而要深入分析本项目的具体条件,做出最适合的选择。

第二,方案比选要从全生命周期角度出发,不能只看初期投资。很多人容易只关注设备造价高低,而忽视运营成本、维护成本、建筑面积损失、二次装修成本等长期因素。对于写字楼项目,空调系统的全生命周期成本往往远超初期投资,必须建立全生命周期成本的概念,综合考虑各种因素。特别是多联机系统前期只配主机和公区铜管、室内机由租户自行配置的模式,对开发商降低前期投入、规避拆改风险具有显著价值,在比选中应予以充分考量。

第三,要重视实际案例的考察调研。笔者带队考察了多个采用不同空调系统的写字楼项目,与物业管理人员、租户深入交流,这些第一手信息比书本上的理论分析更有说服力。特别是季华路沿线其他项目从水机改多联机的实际教训,对城发中心的选型决策起到了关键参考作用。

第四,空调系统选型要与项目招商运营策略紧密结合。空调系统不仅是技术系统,更直接影响项目的招商竞争力和运营管理模式。在佛山这样的市场环境下,多联机系统的分户控制、分户计费、灵活运行等特点,与中小企业为主的租户结构高度匹配,能够有效提升项目招商吸引力。技术管理人员要有运营思维,把技术选型与项目的商业成功结合起来考虑。

6 结束语

本文以佛山建投城市发展中心项目为实例,系统总结了超高层写字楼空调系统在 VRV 多联机与 VAV 变风量两

种方案之间进行比选论证的过程。通过从地域市场特征、场地条件约束、投资与全生命周期成本、室内空间品质、疫情防控、维护管理等多个维度的分析,可以得出结论:在佛山这类二线城市的超甲级写字楼项目中,受限于入驻率偏低、中小企业加班需求旺盛、开发商成本控制压力较大、建筑场地紧张等现实条件,多联机系统在运营灵活性、计费准确性、二次装修适应性、空间净高、维护便利性等方面具有显著的综合优势,是比 VAV 系统更为切合实际的选择。

当然,这并不意味着 VAV 系统在所有项目中都不适用。在广州、深圳等一线城市核心商务区,入驻率高、租金水平高、租户以大型企业为主、对空气品质和舒适性要求极高的项目中,VAV 系统仍具有不可替代的优势。空调系统选型没有绝对的优劣之分,关键在于是否与项目的具体条件和定位相匹配。城发中心项目的实践表明,作为建设单位的机电专业负责人,不能简单照搬所谓主流方案,而要立足项目实际,深入开展调查研究,从全生命周期和项目运营的角度进行系统论证,才能做出技术上合理、经济上优化、运营上可行的正确决策。

[参考文献]

- [1]陆耀庆.实用供热空调设计手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [2]中华人民共和国住房和城乡建设部.公共建筑节能设计标准:GB 50189-2015[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [3]中华人民共和国住房和城乡建设部.民用建筑供暖通风与空气调节设计规范:GB50736-2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [4]彦启森.空气调节用制冷技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [5]王东,李国庆.多联机空调系统在超高层建筑中的应用与分析[J].暖通空调,2019,49(6):78-83.

作者简介:魏哲聪(1985—),男,广东佛山人,本科,现就职于佛山建发产业园开发有限公司,建筑工程施工工程师,从事建筑工程方向工作。