

毛细空调系统实用问题分析与解决方案

刘吉

上海天宸健康管理有限公司, 上海 310000

摘要： 本研究以天宸健康管理有限公司开发的 INNera 和院项目为背景，详细介绍了项目中采用的毛细空调系统的架构、工作原理以及智能控制系统。分析了在施工阶段和使用阶段遇到的多种问题，如新风量不足、空气源热泵无法正常运行、结露、设备运行水流故障等，并提出了相应的解决方案。在此基础上，探讨了毛细空调系统的优缺点，包括其无风感、噪音低、节能环保等优点以及除湿能力低、使用成本高等缺点。最终，本研究着重指出，在设计建筑方案时，预先考虑毛细空调系统的安装空间与结构需求至关重要。同时，本文也探讨了如何有效利用该系统的优势，以营造一个更加舒适的环境供使用者享受。

关键词： 毛细空调系统；实用问题；分析；解决方案；热舒适性

Practical Problem Analysis And Solution Of Capillary Air Conditioning System

Liu Ji

Shanghai Tianchen Health Management Co., Ltd., Shanghai 310000

Abstract： This study takes the INNera and Institute project developed by Tianchen Health Management Co., Ltd. as the background, and provides a detailed introduction to the architecture, working principle, and intelligent control system of the capillary air conditioning system used in the project. Analyzed various problems encountered during the construction and usage phases, such as insufficient fresh air volume, inability of air source heat pumps to operate normally, condensation, equipment water flow failures, etc., and proposed corresponding solutions. On this basis, the advantages and disadvantages of capillary air conditioning systems were discussed, including their lack of wind sensation, low noise, energy conservation and environmental protection, as well as their low dehumidification capacity and high operating costs. Finally, this study emphasizes that it is crucial to consider the installation space and structural requirements of capillary air conditioning systems in advance when designing building schemes. Meanwhile, this article also explores how to effectively utilize the advantages of the system to create a more comfortable environment for users to enjoy.

Keywords： capillary air conditioning system; practical issues; analysis; solution; thermal comfort

背景：

天宸健康管理有限公司开发的 INNera 和院项目，地下两层、地上两层总面积为 500-800 平方米多层别墅住宅，地上两层均为 270 度落地玻璃窗，设备平台位于负一层，原计划采用传统空调。主体结构完成后，为了打造舒适、科技、宜居的住宅项目，故在两套样板房尝试采用恒温、恒湿、恒氧的科技系统即毛细空调系统，这也导致该系统在设计、施工阶段充满挑战。

一、本项目中两套科技系统架构及工作原理简介

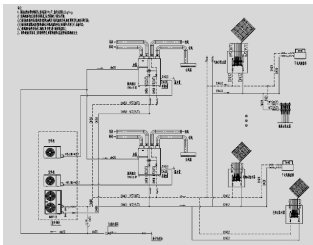
1. 两套毛细空调系统组成架构存在少许差异

其中，B 户型采用一台空气源热泵、两台双冷源新风机、两台风机盘管、毛细管席及地暖盘管，如（图一）所示；而 D 户型则采用两台空气源热泵、一台双冷源新风机、两台风机盘管、毛细管席、石墨辐射板及地暖盘管，如（图二）所示。

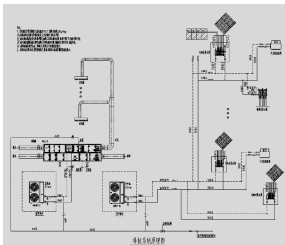
2. 两套系统工作原理

① 冷热源系统存较明显差异

B 户型，制冷季，空气源热泵出高温水同时供给新风机、毛细与地面辐射的分集水器，供水温度 16℃，回水温度 19℃，再由分



>（图一）B 户型科技系统原理图



>（图二）D 户型科技系统原理图

集水器供给毛细管网与地板辐射的末端，进行室内温度调节；供暖季，空气源热泵出热水同时供给新风机、毛细分集水器，供水温度 35℃，回水温度 30℃，再由分集水器供给毛细管网与地板辐

射的末端,进行室内温度调节;两台新风机冷热源除了来自空气源热泵,还分别设置一台氟外机(辅助制冷、制热)。

D户型,制冷季,其中一台空气源热泵出高温水供给毛细、地面辐射及石墨辐射板分集水器,供水温度16℃,回水温度19℃,再由分集水器供给毛细管席、地暖盘管及辐射板末端,进行室内温度调节;另外一台两缸空气源热泵出低温水供给新风机,供水温度7℃,回水温度12℃,对新风进行温湿度调节;供暖季,其中一台空气源热泵出热水供给毛细、地面辐射及石墨辐射板分集水器,供水温度35℃,回水温度30℃,再由分集水器供给毛细管席、地暖盘管及辐射板末端,进行室内温度调节;另外一台两缸空气源热泵出热水供给新风机,供水温度45℃,回水温度40℃,对新风进行温湿度调节;新风机冷源除了来自空气源热泵,其自身还内置压缩机。

②新风湿度调节系统大致相同

目前新风处理的方式主要有固体吸湿材料除湿、液体吸湿材料除湿、冷却除湿、直膨式机组除湿,这些除湿方式各有优缺点^[1]。每个房间地面设置新风口,采用集中式回风口,地下部分集中回风口设置于地挑空位置的天花吊顶上;地上部分集中回风口设置于楼梯间天花吊顶上。经过调温、调湿、净化的新风通过新风立管送至各层分风箱,再从分风箱通过地埋分支风管输送至各个房间,提高新风利用率和室内舒适度,地风口风速0.5m/s左右;

③智能控制系统

每个房间设置温控面板,整个系统通过一块智能大屏控制,控制模式分有制冷、制热、除湿、通风等;新风机自带控制系统,内置新风电动阀,配备风机的电机变频装置,可根据控制要求改变风机转速,实现风量调节,根据送风状态,控制供水电动阀(新风机内置)开度,调节送风温度^[2];末端采用防结露分室控制,每个房间均设置带露点温控器,通过控制集分水器支管上的电动阀,实现支路毛细管网的开关调节控制,从而达到防结露控制;卫生间和厨房的管席水回路,集分水器热电动阀采用冬开夏闭模式,既满足夏季制冷不结露,又满足冬季取暖功能。B、D两套系统均未采用设备原配控制面板及智能大屏,而是接入家具智能系统中的控制设备。

二、施工中遇到的问题与解决方案

1. 新风量不足原因分析与解决方案

众所周知,通风管道是空调系统室内部分,最占空间的组件;同时新风系统又是毛细空调系统中不可缺少的重要组成部分^[3]。新风系统,不仅能有效去除室内空气中的浮尘、细菌、甲醛及PM2.5等有害物质,保证空气的纯净度,更重要的是能起到控制湿度,避免毛细管网系统在制冷时产生结露的作用。因而风管的路径规划与安装也成了此系统成败的关键因素。

本项目中就遇到了风管路由及规格的规划与安装的难题,原建筑结构的预留施工条件是按照传统空调考虑,车库上方仅预留了冷媒管穿梁套管(直径160mm)^[4]。新风系统取风管(规格500mm*200mm)路径恰好好在从车库上方,按照常规做法,风管只能贴梁底安装,经计算风管尺寸加上保温层厚度(30mm),风管完成底标高将影响车库净高。为保证车库净高,风管只能在梁窝儿内贴楼板底安装,在不破坏结构的前提下,只能利用原穿梁套

管。经与设计单位沟通,采取在穿梁套管两侧设置静压箱(规格600mm*300mm),将风管安装于梁窝中,风管通过静压箱过渡穿越结构梁,从而达到净高要求^[5]。但后期系统调试过程中,实测各房间总风量未能达到设计值,偏离较多,经计算分析,虽然增设静压箱,但过滤套管通风面积较风管面积小太多,故需要补足风管^[6]。

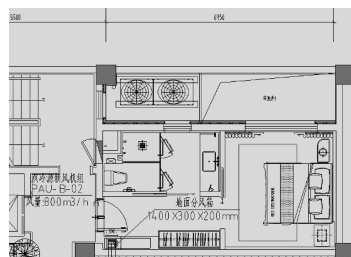
设计要求风管规格: $500 \times 200 = 100000 \text{ mm}^2$

现场梁上实际通道: $3.14 \times 2 \times 802 = 40192 \text{ mm}^2$

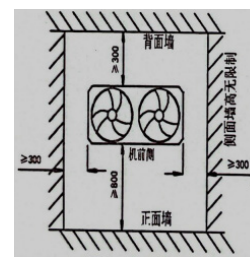
需增补风管截面积: $100000 - 40192 = 59808 \text{ mm}^2$

经计算需增补风管截面积约60000 mm²,为保证车库净高要求,采用沿车库边缘增设400mm*150mm规格的风管与取风口连接,最终保证了新风风量既达到设计要求,又保证了系统工作效果,同时室内空气净化化指标达到了well认证的标准;

2. 空气源热泵无法正常运行原因分析与解决方案



> (图三) 施工图空气源热泵安装位置



> (图四) 热泵安装示意图

B户型设备平台位于负一层楼梯间外侧,像一个大盒子,上有盖下有底,三面有墙,仅采光井一处与室外连通,如(图三)所示;而且净空尺寸是按照VRV主机安装空间考虑的,而毛细系统主机采用的是水机,相对氟机水机体积较大,按照施工图将热泵安装好之后,迎之而来的问题是空气源热泵正面与墙面间距仅300mm,背面与墙间距200mm,上方距顶板仅500mm而且还有上方卫生间排水管,这不符合厂商安装空间要求,如(图四)所示,导致设备开机调试时,出现过热保护锁机问题。

为解决此问题,毛细设计单位建议拆除设备平台四周墙面石材,增加热泵与墙面间距,同时在热泵上方设置导流罩,将气流从采光井处引至室外,此方案遭到建筑院以及厂方技术部门反对^[7]。原因:外墙石材内部还有保温层,拆除石材对空间扩大无实质性帮助;导流罩距热泵出口过小,可能会出现气流回弹,导致气流不畅,可能会适得其反。因调改方案迟迟无法定案,且房间对外展示在即,现场根据厂商的安装空间要求,复核热泵循环扬程后,将主机移位至二层小屋面,垂直移位高度约6米,水平移位约6米,系统得以顺利启动调试并投入运行。

通过解决上述问题,充分验证了空调设备对安装空间、气流顺畅等技术要求的重要性,同时也为解决空调制冷效果差、频繁过热保护等问题提供了解决思路及故障排除切入点^[8]。

三、使用阶段遇到的问题与解决方案

1. 关于结露问题原因分析与解决方案

B、D户型在使用阶段,均出现过局部区域结露问题,分析有如下几种情况:

①梅雨季节,室外湿度大,门窗敞开或关不严导致冷气流对冲;因两户作为样板房对外展示,经常有客人参观,门窗开关频繁,湿热空气进入房间,与低温管席辐射吊顶相遇凝结,导致吊顶潮湿。这个过程虽然露点温控器向热电磁阀发出关断信号,但毛细管内的水温不能快速回升,所以形成结露。随着新风系统将房间内湿度带走,分集水器热电磁阀再次打开,水温再下降,再遇到湿热空气,再结露,形成一个恶性循环。这种情况,协调销售及物业安排专人陪同客人参观,门窗开启要及时关闭,发现结露要及时关停对应房间的毛细管席。

②末端露点温控探测器失灵;导致露点温控器失灵,遇到过两种情况,一种是设备本身存在故障无法有效探测;预防这种情况,提醒物业安排专业人员经常巡查,定期保养,一旦发现异常,及时处理,将损失降到最低;另一种情况是温控探测器被环境干扰,探测有误;使用过程中,个别温控探测器被塑料纸遮挡,导致已经结露,还未关断分集水器热电磁阀,解决这个问题,现场先安排施工技术人员对所有露点探测温控器进行全面排查,并清理排除可能导致误动作的不确定因素,同时提醒物业及使用方定期巡查,保证设备稳定运行。

③毛细管席分集水器热电磁阀失控;D户型,使用过程中出现过一层厨房、二层卫生间及儿童房吊顶结露情况,经排查发现这些房间有门窗长时间打开情况。分集水器热电磁阀控制器,接收到关阀信号有动作,但是执行机构在关阀时,反作用力将热电磁阀执行器反推脱离阀体,使热电磁阀处于常开状态,毛细管席辐射吊顶持续低温,导致结露严重。这种情况属于设备元器件故障导致,需维保人员更换热电磁阀执行器,并安装牢固;预防措施为加强巡视,定期对易耗配件保养、更换,确保系统可靠运行。

④新风机过滤器堵塞,除湿能力减弱;B、D户型作为样板房先行投入使用,其间其他楼栋还在大面积施工,场内粉尘较大,空气质量较差;两户曾同时出现大面积结露情况,经排查现场未出现长时间开门开窗情况,热电磁阀及露点温控器均工作正常,依次排除故障点后,将问题成因锁定在新风系统,低风口出风量明显降低。首先排查取风口未被遮挡,然后检查初效、中效过滤器均被粉尘堵塞,加上空气潮湿,粉尘像泥一样附着在过滤器上,严重阻挡新风吸入,导致系统除湿效率下降,因而导致结露;针对此问题,协调物业制定有效的保养计划,定期检查更换初效、中效过滤器,保证新风机取风畅通。

⑤房间内使用仿真火焰雾化壁炉;D户型一层吊顶为石墨辐射板,表面曾长时间附着一层像浮灰一样的水汽,开始以为是保洁没做好,后来发现是轻微结露现象;后来经排查分析发现,一层安装了一种雾化仿真火焰壁炉,为了展示效果,全天都处于启动状态。这种装置类似于空气加湿器,不断为室内增加湿度,而一楼吊顶面层是金属材质,遇到潮湿空气更容易结露,由于新风的除湿功能将空气中的水分带走一部分,所以结露并不严重,不易被觉察^[9];为了解决这个问题,采取降低雾化仿真火焰壁炉的开启时长,仅在客户参观时打开,其他时间均不启动,确保室内的空气湿度恒定,从而解决结露问题。

2. 关于设备运行水流故障原因分析与解决方案

B户型在投入使用时,遇到过主机频繁自动关机问题,主机故障代码显示为水流故障。现场排查分析,有如下几种可能会引发这个问题:①现场使用的是临时水,水压及供水连续性不稳定,供水压力经常达不到系统要求的0.25 MPa;②管道内未冲洗干

净,水系统过滤器堵塞,水流不畅;③管道翻弯过多,系统内空气未排尽;④空气源热泵供回水温度传感器故障。

按照轻重缓急的先后,逐条排查解决,首先,在系统进水端增设稳压泵,确保系统内水压保持在0.3MPa左右;然后,对Y形过滤器进行清洗,发现滤网被水垢及杂质堵塞,检查软水设备运行情况,发现软化剂用尽;

通过两套样板房投入运营,毛细空调系统在使用过程中的优缺点,也逐渐显现出来。

使用过程中发现有较多优点:运转中没有风感,不直吹冷风,室内无噪声安静舒适;节省空间,房间内看不到空调设备,大幅提升了房间整洁度;毛细空调以水为主要介质,冷媒为辅,与传统空调相比更加节能、环保;夏天室温控制在23~27℃,冬天室温控制在19~23℃,相对能耗较低,关机或停电很长一段时间不会有较高温度波动,有较好的储热储冷能力。

同样也发现了许多缺点:除湿能力较低,门窗打开形成气流对冲,毛细辐射吊顶容易结露;系统升温、降温慢,毛细空调从开机至设定参数的过程较慢,在最冷或最热的时间,空调调节到预设的温度需要24个小时以上;对新风要求较高,室内空气质量及湿度完全依赖新风系统;对水质要求较高,需要配备软水设备增加成本;需要经常更换新风机初效滤网、中效滤网,使用及运行成本较高^[10];装修饰面材料选择受毛细管席限制,饰面材料导热差会直接影响制冷效果;施工难度较高,毛细管席的敷设需要与装修交替施工,直接影响施工周期。

结语

建筑若采用毛细空调系统,应在建筑方案阶段充分考虑,为毛细水系统、新风系统管道及主机预留充足合理的安装空间,以确保系统运行顺畅;科学的建筑结构、良好的外墙保温及合理的门窗面积占比,才能充分发挥出毛细空调系统独特优势,才能为使用者带来更完美的体验及优质舒适的室内环境。

参考文献

- [1] 吉煜,丁云飞,刘龙斌,等. 温湿度独立调节空调系统预冷型新风机组运行性能分析[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2019,42(09):1234-1238.
- [2] 程梦凡,梁珍,尹雪芹,等. 单冷源与双冷源的毛细辐射空调系统的能耗分析[J]. 制冷与空调,2022,22(01):84-89.
- [3] 崔政. 住宅项目毛细管网空调系统质量管理及工序优化思路[J]. 建设监理,2023,(08):86-88.DOI:10.15968/j.cnki.jsjl.2023.08.014.
- [4] 程梦凡. 不同冷热源组合的毛细辐射空调系统能耗分析与节能优化[D]. 东华大学,2021.DOI:10.27012/d.cnki.gdhuu.2021.000575.
- [5] 郭思炜,胡自成. 室内毛细辐射空调运行能耗集成动态模拟分析[J]. 电子设计工程,2023,31(23):167-170+175.DOI:10.14022/j.issn1674-6236.2023.23.036.
- [6] 田中杰. 住宅新风系统新风量及气流组织优化设计研究[D]. 长安大学,2022.DOI:10.26976/d.cnki.gchau.2022.000838.
- [7] 苗莉娜. 半集中式空调系统的变新风量设计研究[D]. 大连理工大学,2021.DOI:10.26991/d.cnki.gdlu.2021.001321.
- [8] 吕佳辉,周小皮,王士坤,等. 空气源热泵冷凝器和蒸发器能力提升的研究[J]. 区域供热,2024,(03):29-36.DOI:10.16641/j.cnki.cn11-3241/tk.2024.03.005.
- [9] 苏晓峰,符竹舟,全巍. 地源热泵与低温空气源热泵耦合供能系统的应用研究[J]. 暖通空调,2024,54(S1):146-149.
- [10] 陈健勇,李浩,陈颖,等. 空气源热泵空调技术应用现状及发展前景[J]. 华电技术,2021,43(11):25-39.