

暖通设计中管道布置与保温技术研究

李跃鹏

河北建筑设计研究院有限责任公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]暖通空调系统在建筑物能耗中所占比例较大,而合理的暖通管道布局及保温措施对提高系统的能效以及正常运行具有重要意义。从暖通管道布置的技术要点、常见问题及其解决方案、保温技术的研究内容以及两者结合进行优化等方面进行阐述,在暖通管道布置上总结出相关标准、走向要求以及综合管线协调等,在保温技术上介绍了不同保温材料的特点并提出了保温层厚度的设计思路。研究发现,岩棉与橡塑用于管道保温时的区别在于工作温度范围、是否需要防止结露以及防火等级的不同,岩棉导热系数一般为 $0.036\sim 0.045\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,橡塑材料导热系数一般为 $0.032\sim 0.038\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。暖通空调系统在商业建筑中所消耗的能量占比达 $40\%\sim 60\%$,而在制冷机房中暖通空调系统所消耗的能量又占整个暖通空调系统的 $60\%\sim 70\%$ 。BIM 能够进行三维模型之间的碰撞检查,在工厂内进行模块化的生产以及在施工现场进行实时调节均可以达到毫米级精度。因此,对管道布置及保温进行同步优化是提高暖通系统能效的有效途径。

[关键词]暖通设计;管道布置;保温技术

DOI: 10.64635/ja.2026.1230

中图分类号: TU83

文献标识码: A

Research on Pipeline Layout and Thermal Insulation Technology in HVAC Design

Li Yuepeng

Hebei Architectural Design and Research Institute Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei 050000, China

Abstract: Heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) systems account for a relatively large proportion of building energy consumption, and reasonable HVAC pipeline layout and thermal insulation measures are of great significance for improving system energy efficiency and ensuring normal operation. This paper discusses the technical points of HVAC pipeline layout, common problems and corresponding solutions, thermal insulation technologies, and the integrated optimization of pipeline layout and insulation measures. In terms of HVAC pipeline layout, relevant standards, routing requirements, and comprehensive pipeline coordination are summarized. In terms of thermal insulation technology, the characteristics of different insulation materials are introduced, and design ideas for insulation layer thickness are proposed. The study finds that the differences between rock wool and rubber-plastic materials used for pipeline insulation mainly lie in their applicable working temperature ranges, condensation prevention requirements, and fire resistance grades. The thermal conductivity of rock wool is generally $0.036\text{--}0.045\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, while that of rubber-plastic materials is generally $0.032\text{--}0.038\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. HVAC systems account for $40\%\text{--}60\%$ of energy consumption in commercial buildings, and in refrigeration plant rooms, HVAC energy consumption accounts for $60\%\text{--}70\%$ of the total energy consumption of the entire HVAC system. BIM can be used for clash detection among three-dimensional models, while modular production in factories and real-time adjustment on construction sites can achieve millimeter-level accuracy. Therefore, the synchronous optimization of pipeline layout and thermal insulation is an effective approach to improving the energy efficiency of HVAC systems.

Keywords: HVAC design; pipeline layout; thermal insulation technology

引言

暖通空调系统是建筑能耗的重要部分,设计水平影响建筑运营成本以及使用体验,在暖通空调系统的设计过程中,管道布置以及保温是紧密相连并且同样重要的工作内容。管道布置决定整个系统的水力性能、所占空间大小及

检修方便程度,保温设计主要针对减少热量流失以及防止表面结露。目前对于这两方面的综合考虑不足,出现管道走向不合理、保温材料选择错误、施工质量差等现象。传统的基于计算机辅助设计方法仅能在二维平面上进行操作,无法真实反映建筑物内部结构,在一定程度上加大了

管线之间发生冲突的可能性。随着建筑信息模型技术的发展,在建筑设计中越来越多地采用三维建模的方法来解决管线之间的碰撞及空间的问题,更加方便、快捷地发现这些问题。而在保温方面,不同的材料具有不同的导热系数、耐火等级、抗结露性能等,需结合管道内介质温度、外界环境等因素合理选择。从暖通管道的设计要点出发,提出解决一些常见问题的办法,对保温技术和设计进行探讨并提出二者共同优化的方法,以供相关设计人员借鉴。

1 暖通管道布置的核心技术要求

1.1 管道布置的规范依据与设计原则

暖通管道布置需参考多种规范、标准图集。目前有《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》、《建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范》及其配套的标准图集08K507-1《管道与设备绝热—保温》等。此图集中针对六类常见的绝热材料给出了三种不同热价下室内、外架空敷设的管道保温层最经济厚度,还把全国分为十个不同的气候区,可以适用于全国各地大部分工业与民用建筑的要求。管道布置应满足如下要求:安全可靠,保证管道在工作、维护过程中的完好性防止出现泄露或破损等情况。经济性原则,在保证满足使用要求基础上尽量减少管道路径长度以及弯头数量而降低阻力损失;可维护性原则,应有足够的维修空间以及维修通道;协调性原则,应与其他建筑物主体结构、电缆桥架、给排水管道等进行合理布置。对于供热系统热力入口处静态水力平衡阀及自力式压差控制阀设置方式也有不同的规定,造成设计师困扰。因此设计师须结合实际情况进行选择,而非简单照搬相关规定。

1.2 管道走向、间距与标高控制

管道走向的选择要结合建筑物的功能分区、设备机房的位置、竖井的设置以及末端负荷的位置等因素考虑。供回水主管道尽量靠近负荷集中的地方布置,以缩短支管的距离。管道之间的距离需保证安装、保温及维修的要求:相邻两根管道净距应方便法兰、阀门等部件的操作;保温管道之间应留有保温层厚度以及膨胀余量;管道与墙面、顶棚等之间的距离不宜小于100mm。标高主要防止管道间互相干扰并且不能低于一定高度。一般走廊管道底部标高不低于2.2m,在车库等地必须保证汽车可以正常通过。在管线密集处应利用综合管线剖面图来决定各系统的标高顺序,一般从上至下为电缆桥架、喷淋管、暖通水管、风管。在埋地管地源热泵系统的设计过程中,水力平衡分配器的作用在于使各个环路之间流量分布均匀,而在一般的暖通管道系统中也是这样,合理布置平衡装置是保证水

力平衡的前提条件。

1.3 综合管线协同布置与空间协调技术

现代建筑机电系统由暖通、给排水、电气、智能化等组成,在设计过程中需要进行管线综合排布工作。协同布置主要目的为:避免管线之间发生碰撞;满足各种系统检修及维护所需的尺寸;合理安排净空高度;降低返工率。空间协调的方法有:建立综合管线三维模型并对该模型进行检查是否存在冲突现象;确定管线排布的原则以及优先级;绘制综合管线横断面图并标识重要位置标高;采取分层排布方式将相同类型的管线集中布置。而在复杂的建筑内部,对于暖通空调风管系统的安装精度对其实用性起到至关重要的作用。基于BIM技术的精度管理体系,有几何精度、工艺精度、系统精度三个方面的指标,在逆向建模、模块化预制、动态补偿等方法下可以达到毫米级精度要求。而这种方法也适合于水管系统精度管理。

2 暖通管道布置中的典型问题与规避策略

2.1 管道交叉与空间冲突问题

管道交叉冲突是暖通设计中常见的问题,主要有以下几种情况:水管与风管处于同一标高发生交叉;管道穿过建筑物结构梁、剪力墙位置没有留孔;保温管道与非保温管道距离不够;阀门、仪表等突出物与其他管线发生矛盾。解决办法有:在设计过程中使用BIM软件进行各专业间的碰撞检查,找出存在矛盾的地方;编制管线综合布置方案,确定避让原则一般情况下小管避让大管、有压避让无压、水管避让风管、低压避让高压;如果实在无法避免,则加装过桥弯或者用不同规格的管子改变标高;对于保温管道适当放宽净距的要求,以便保温层施工。应用人工智能的方法对管道进行路线优化可以有效减少管道的压力损失。改进型AI算法在路径规划中加入保护缓冲带以保证无碰撞净距,在基础上增加考虑注意力成本项留出检修通道并且尽可能使用135°弯头来减少局部阻力的方法是对于自动化的管线布置的一种新思路。

2.2 管道阻力过大与水力失衡问题

管道阻力过大将造成水泵扬程不足、末端流量分配不均匀以及运行能耗增大等问题。造成阻力过大的因素主要有以下几点:管径过小造成沿程阻力增大;弯头、三通等局部件过多;管道蜿蜒曲折;过滤器或阀门选取不当引起局部阻力较大。解决措施主要是:根据水力计算确定合适的管径大小,一般水力最佳流速为经济流速,在热水管道中,经济流速为0.8~1.5m/s,在冷冻水管道中,经济流速为1.0~2.0m/s;合理布置管道路径,避免不必要的弯

曲和迂回，弯头的数量也应当加以限制。还要在分支环路上安装水力平衡设备，例如静态平衡阀或者动态压差控制阀等，对设计流量进行调整。优化设计应对高阻力部分——即冷水机、过滤器、止回阀等——进行选择性优化，可以使每一个部件的压降减少 40%~75%。

3 暖通管道保温技术分析与设计方法

3.1 管道保温技术原理与传热机理

管道保温的作用是增大传热热阻来减少热能或者冷量传递。保温层内部存在三种传热方式：保温材料固体骨架传导；材料孔隙中空气对流；孔隙表面间辐射换热。良好的保温材料应该具有较低的导热系数、较高的孔隙率以及封闭型的孔隙结构等特性。对于热水管道，保温是为了降低热损失保持介质温度避免烫伤。而对于冷水管道的，则是为了避免凝结水产生以及减少冷量损失。这两种情况下对保温的要求不同：热水管道主要考虑的是热损失以及经济厚度的问题；而冷水管道的主要是防止凝结水形成并且做好防潮处理。在集中供冷中，对管道保温及阀门调节都有

较高要求。利用抑制阀门通过阀门驱动机构与外界进行热传导，将阀门与驱动机构分别位于隔热板两侧，有利于保证连接可靠性和提高保温以及快速响应能力，这对提高管道附件保温效果有借鉴意义。

3.2 常用保温材料性能比较与选用

岩棉以玄武岩等天然岩石为原料经过高温熔融后形成纤维状物质，是一种典型的无机纤维保温材料，纤维呈三维交叉排列，其中包含大量不动空气，从而减少传热，岩棉本身不易燃烧，耐温性良好，在高温管道以及对防火有较高要求场合有较大优势。橡塑保温材料是由合成橡胶发泡而成，内部为闭孔结构，防水性能优良，柔软，易贴在管壁上，更适宜用于防止结露场合^[1]。中央空调管道保温材料选择要考虑导热系数、防水性能、防火等级、施工便捷性和使用寿命等因素。由于橡塑同时具有保温和防结露的功能，所以橡塑是冷冻水管道的最佳选择；玻璃棉适用于风管系统并且具有良好吸音效果；而聚氨酯应用于高要求节能项目。

表 1 常用管道保温材料性能对比

材料名称	导热系数[W/(m·K)]	密度[kg/m³]	适用温度	燃烧等级	防结露能力	主要应用场景
橡塑	0.032~0.038	40~80	-40~105℃	B1 级	优	冷冻水管、空调冷凝管
玻璃棉	0.032~0.040	24~64	-120~400℃	A 级	需防潮层	风管、蒸汽管、热水管
岩棉	0.036~0.045	80~150	-240~650℃	A 级	需防潮层	高温管道、防火管井
聚氨酯	0.022~0.028	30~60	-180~120℃	B2/B1 级	良	直埋管、冷库、预制管

3.3 保温层厚度设计方法与防结露技术

保温层厚度有两种确定方式：经济厚度法以及防结露厚度法。经济厚度法是从年运行费用加上保温投资最少出发来选取保温层厚度，要考虑到燃料费、材料费、运行期数、热水单价等^[2]。国家标准图集中根据不同的热价范围给出不同材料的经济厚度供设计人员参考查阅。防结露厚度法用于冷水管线保温设计中，在此基础之上使保温层外表面温度大于环境空气露点温度以防止出现水滴现象发生，防结露厚度与管径大小、冷水温度高低以及周围环境湿度有关，在同样条件下，环境相对湿度过大或管子直径较小，则需要较大防结露厚度。国家标准图集依据全国气象资料划分为五个气候区，提供室内外冷管架空敷设绝热层经济厚度选择表以及防结露绝热层厚度选择表供工程设计人员参考使用，在保冷管道中，设置防潮层非常重要。橡胶类闭孔材料具有良好的防潮性，而岩棉、玻璃棉等开孔材料则需采用有效的防潮防汽渗透措施，否则水分渗入保温材料内部会严重影响其保温性能甚至使其失去保温作用。防潮层应在保温层外面，搭接处要紧密连接以

防止水汽进入。

4 管道布置与保温的协同优化及节能效果

4.1 优化管道布置降低能耗基础

管道布置及隔热保温息息相关，不是彼此孤立的技术难题，而是影响整个系统能耗高低的关键要素之一。就节能而言，管道布置的设计是最基础的节能步骤，必须要先于保温的设计统筹安排。科学地缩短管道长度、摒弃不合理的迂回行走，能够直接缩减管道外表面的面积进而减少热量损失；并且尽量降低弯头、三通、变径件等局部件的数量，也有利于降低水头损失，减小循环水泵的动力消耗，达到省电的效果。在冷热供应系统、蒸汽供应系统以及生活热水系统中，管线过长、管件过多，会导致大量的热量损耗与较大的水泵能耗，长久以往会产生巨大的能耗浪费^[3]。所以在设计时就应当根据建筑的功能分区情况，设备间位置以及垂直管井的分布来对主要管道路径以及分支管道的分配做整体的设计，让管道的走线尽可能的短而直顺畅，防止因为不合理的设计造成多余的回路或者额外的压力损失。此外减小管径不仅节省了用水量还可以有

效的缩小管道的散热表面积,实现了节流又节水的效果。例如,在制冷机房管道设计方案中综合运用优化措施之后能节省出大约 10.43m 的管道长度,系统水阻降低了 239.7KPa 之多,下降幅度高达 47.7%,并且通过十年的时间累计节约了一百九十万元的成本投入,由此可见管道布置的设计对于后期运行节能的重要性。

4.2 强化保温协同减少热桥损失

结合管道排布优化的基础上,合理的保温措施可以减少热量损失,增大系统的输能能力。保温不仅仅局限于直管部分,也应当包括阀门、法兰、补偿器以及过滤器这些非标准件上,否则会出现热桥的问题,热量聚集在某一处地方,降低了保温的整体水平。所以,对于管件、阀门及法兰等部件,应该使用定制化的可拆卸保温盒或者异型保温套,这样既可以做到保温连续无缝,又能方便后期维修。另外,在工程实施过程中存在的一个问题就是保温管道与非保温管道之间的间距不够,保温层厚度受到限制甚至不能够包裹完整,这样就达不到节能的效果。应用 BIM 等信息技术可以在三维环境下事先做好碰撞检验工作,并提前对保温层厚度进行模拟预留,改进管道间距,减少现场施工过程中因为空间干扰导致保温层厚度下降或者重新制作返工的现象发生;最后,在绿色建筑设计的过程中也要注重保温材料的选择以及施工过程中的质量管理,在满足导热系数小、耐用、防火等级达标的基础上尽量选用一些价格低廉的产品,并做好连接部分的防水防潮工作,以免时间久了之后出现保温层脱落的现象而导致保温能力下

降。综上所述,管道布设以及保温设计的统筹协调是增强暖通空调系统综合节能能力的关键所在,更是从根本上降低建筑物运行期能耗及温室气体排放量的一个有效方法。

5 结语

暖通管道布置及保温对整个系统的能耗以及使用性能都有较大影响。管道布置需符合相关标准要求,在此基础上确定其走向、间距、标高等,利用 BIM 等软件进行综合管线协调。保温材料的选择要依据介质温度和外界环境进行,同时考虑保温层厚度及其防护措施以及施工质量保证。这两者不是孤立存在,互相配合才能取得良好节能效益——良好的管道路径可减小水流损失又可降低热传导面积,即双管齐下。而在实际项目中必须做到从设计到施工再到运营过程信息共享并且形成闭合回路来实现这种协同优化。下一步的工作方向有以下几个方面:基于 AI 的方法进行自主管道布置的研究与开发;新型低导热率保温材料的研发;保温层老化检测及评价方法;既有建筑暖通管道保温改造技术等。随着建筑节能标准越来越高,暖通空调管道布置以及保温方式也将随之改变。

【参考文献】

- [1]赵申轶,赵建法,张林,等.架空蒸汽热网保温性能变化规律及恶化机制研究[J].区域供热,2023(03):132-139.
- [2]陈嘉,阳赛,王栋,等.基于数据分析的蒸汽热网损失特性与优化方法研究[J].纸和造纸,2022,41(02):6-9.
- [3]王伟.基于建筑节能要求的暖通设计优化研究[J].城市开发,2025(14):52-54.