

地源热泵在暖通空调设计中的应用研究

黄保凯

四川省第四建筑有限公司 四川 德阳 618000

摘要：在建筑暖通低碳化设计发展背景下，地源热泵依托浅层地热储能优势，逐步替代传统水冷、风冷空调机组，适配各类建筑冷暖供能需求。本文以暖通施工图设计为核心，阐述地源热泵换热原理与暖通适配特性，梳理场地勘测、管路选型、机组匹配等核心设计流程，针对住宅、商业、工业三类建筑制定差异化暖通设计方案。结合项目实操复盘，指出目前勘测粗放、负荷取值不准、管路施工不规范等设计问题，从勘测管控、负荷核算、工艺优化、多方联动角度提出整改对策，为同类建筑地源热泵暖通专项设计提供实操参考。

关键词：地源热泵；暖通空调；建筑设计；地理管系统；节能优化

引言：当下建筑暖通能耗占建筑总能耗比重居高不下，传统中央空调运行能耗高、外立面设备排布受限，难以适配绿色建筑节能审图要求。浅层地热属于可再生清洁能源，地源热泵系统运行稳定性、节能性优于常规暖通设备，国内多地新建建筑已普及应用。但现阶段部分暖通设计人员未结合场地地质、建筑功能差异化设计，照搬通用设计方案，极易引发换热效率不足、地层热失衡、机组故障等现场问题。基于此，本文立足暖通工程落地视角，梳理地源热泵全套设计要点，划分不同建筑适配方案，梳理行业设计通病并给出优化方案，规范项目全流程设计工作。

1 地源热泵系统核心原理及暖通适配特性分析

1.1 地源热泵能量转换工作原理

地源热泵依托浅层地表岩土、地下水恒温储能特性，依托蒸汽压缩式制冷循环完成热量转移，适配建筑全年冷热暖通供给。地表浅层岩土常年温度稳定，不受室外极端高低温气候干扰，冬季土壤水温高于室外气温，通过地下换热介质吸收地层低位热能，经热泵机组压缩升压后，将高位热能输送至室内采暖末端；夏季反向运行，抽取室内余热通过地下埋管排放至地层，实现建筑制冷。整套系统依托相变换热、能量梯级利用原理，仅消耗少量电能驱动循环泵与压缩机，即可完成低位地热与室内空气的热量交换，区别于传统机组直接产热、产冷的运行逻辑。

1.2 暖通工程常用地源热泵系统分类及优缺点对比

暖通施工现场主流分为封闭式埋管、地下水式、地表水式三类系统。封闭式埋管适用性最强，不受水源条件限制，施工运维简易，换热稳定性高，但前期钻孔埋管造价偏高；地下水式换热效率最优，占地小、机组负荷适配度高，仅适配地下水储量充足区域，需配套回

灌工艺规避地质沉降；地表水式依托河湖水体换热，建设成本低，冬季水体低温易出现管路结垢、换热衰减问题。结合民用、公建暖通负荷标准，目前项目暖通设计优先选用垂直闭式埋管系统。

1.3 地源热泵相较于传统暖通空调的应用优势

相较于风冷机组、水冷螺杆机组等传统暖通设备，地源热泵运行工况稳定，机组COP值常年维持3.6~4.2，冷热能耗降低25%~35%。设备机房占地更小，无室外冷却塔、风冷外机，降低建筑外立面暖通设备排布难度，适配绿色建筑暖通合规要求。同时系统一体化兼顾采暖、制冷、生活热水供给，管路损耗低，室外换热部件密闭运行，无扬尘、废气排放，适配低碳暖通设计标准，适配国内绝大多数地区民用及公共建筑暖通改造、新建项目^[1]。

2 暖通空调工程中地源热泵设计核心要点

地源热泵暖通设计区别于常规中央空调设计，需兼顾建筑冷热负荷、场地岩土条件、地下换热稳定性三大维度，所有设计参数需符合现行最新国标：《地源热泵系统工程技术规范》GB50366-2009(2018局部修订版)、《建筑节能与可再生能源利用通用规范》GB55015-2021全文强条要求，全程符合项目施工图落地标准，规避后期换热衰减、机组过载、管路冻堵等施工运维通病，核心实操设计要点如下：（1）场地岩土水文专项勘测设计。正式建模设计前，必须完成场地原位热响应测试，禁止套用片区通用地热参数。实测地层导热系数、土壤初始温度、地下水渗流流速，判定场地是否具备闭式埋管施工条件；同时勘察地下岩层硬度、地下水位高程，划定埋管施工禁挖区，核算单孔换热功率，以此核定可施工钻孔数量、钻孔深度，杜绝仅凭建筑负荷盲目布设换热井。（2）地下换热管路专项选型设计。民用及公建

暖通项目优先选用垂直U型地埋管,管材统一采用高密度聚乙烯PE100管材,管路公称压力按地下埋深承压值选型;根据冷热负荷不均衡度确定单井管路间距,常规井间距控制4.5m~6m,冬夏负荷差值偏大建筑,加大井距规避土壤热堆积;管路回路采用同程布置,保证各支路流量均衡,减少水力失衡带来的换热损耗。(3)热泵主机与暖通末端匹配设计。以建筑逐时冷热负荷为选型依据,预留10%负荷冗余,严禁主机选型偏大造成启停频繁、偏小造成供能不足;结合室内暖通形式匹配机组类型,风机盘管末端适配水-水式热泵机组,地暖采暖系统适配低温大流量机型;机房水路增设分集水器、自动过滤装置,匹配管路流量扬程选定循环泵参数。(4)配套防护与自控系统专项设计。北方严寒地区必须加注配比合规的乙二醇防冻液,根据当地极端低温确定防冻液浓度;系统设置冬夏四通阀自动切换模块,联动室内温控器实现模式自锁;加装地侧水温、管路压力监测仪表,设置低压保护、防冻停机联锁程序,同时单独设计旁通稳压管路,稳定地源侧水循环工况^[2]。

3 地源热泵适配不同建筑暖通场景差异化设计方案

3.1 民用居住建筑小型地源热泵暖通优化设计

民用住宅包含高层商品房、叠拼别墅、自建民居,具备分户独立使用、负荷波动碎片化、夜间负荷集中、场地绿化可利用、冷热负荷冬大于夏的特点,以小户型、分散式小型系统设计为主,核心设计要点如下:

(1)建筑冷热负荷取值设计。区别于公建负荷取值标准,住宅按人均使用面积精细化核算采暖制冷负荷,常规住宅采暖负荷取值42~50W/m²,制冷负荷取值55~60W/m²;别墅围护结构保温偏弱,负荷上浮15%核算;每户预留5%负荷冗余,杜绝大面积公摊负荷叠加,避免主机选型偏大。(2)地下换热管路定制设计。小区集中住宅利用园区绿地、车位下方布设垂直单U埋管,钻孔深度60~80m,井距4.0~4.5m,缩小井距节约小区绿化用地;独栋别墅受限场地选用水平并联埋管,埋深2.2~2.5m,避开地基持力层;分户管路采用异程布置,降低单户改造检修难度,每户增设独立支路球阀。(3)机房及末端配套设计。分户式选用变频小型水-水热泵机组,适配风机盘管+地暖双末端切换模式;集中住宅小区设置小型分集水机房,分区循环管控;北方居住区地源侧防冻液乙二醇浓度控制25%,适配冬季低温停机防冻;分户加装分时温控模块,适配住户作息启停使用,降低无效管路循环损耗^[3]。

3.2 公共商业建筑大型封闭式地源热泵系统设计

商场、写字楼、综合体等商业公建,具备建筑面积

大、人员设备散热量大、日间高负荷、全年制冷时长更长、冷热负荷失衡、场地大面积空地可施工特征,统一采用大型封闭式垂直双U地埋管系统,侧重平衡土壤冷热堆积、机组集群联控设计,核心设计要点如下:(1)动态负荷分区核算设计。按建筑功能分区拆分负荷,商超餐饮区制冷负荷取值90~110W/m²,办公走道区域取值70~80W/m²;结合全年逐时负荷模拟,夏季排热量远大于冬季取热量,设计阶段预留15%辅助风冷散热模块,平衡岩土热堆积,满足国标岩土温度年度波动限值要求。

(2)大型井群管网布局设计。整片场区规整排布换热井群,钻孔深度100~120m,采用梅花形布井方式,井距5.5~6m,规避井间换热干扰;地源侧主管采用同程环状管网,分区独立设置循环泵组,高低区水路分压设计,控制管路流速1.2~1.6m/s,规避大管网水力失调;井群设置测温观测井,定期监测地层温度变化。(3)主机集群与机房工艺设计。选用模块化螺杆式地源热泵机组,大小机组搭配组合,适配商业建筑峰谷负荷切换;机房设置全自动旁通稳压、多级过滤除污装置,配套软化水处理装置,抑制大型管路结垢腐蚀;系统设置冬夏模式联动联锁,夜间低负荷自动关停半数机组,匹配商业闭店运维工况。

3.3 特殊温湿度工业建筑复合型地源热泵暖通设计

加工车间、恒温仓储、精密厂房等工业建筑,对室内温湿度、空气洁净度、恒温精度有硬性工艺要求,车间设备散热稳定、24h不间断运行、场地岩土条件复杂,需采用地源热泵+辅助能源复合型系统,贴合工业工艺暖通标准,核心设计要点如下:(1)工艺负荷专项设计。摒弃民用舒适型负荷取值标准,结合设备发热量、车间通风换气次数核算工艺负荷,精密车间恒温精度±0.5℃,制冷负荷按设备散热叠加新风负荷核算;仓储厂房优先保证全年低湿工况,系统增设独立除湿换热支路,单独管控回风温湿度参数。(2)复合型热源换热系统设计。岩土换热条件较差厂区,采用地埋管+冷却塔复合型换热系统,高温工况切换冷却塔辅助散热;地下水条件达标厂区,合规采用地下水式地源热泵,配套一对一等量回灌井组,严格执行含水层原位回灌,杜绝地层沉降、水质污染;腐蚀类车间换热管路加装防腐内衬管材,提升管路使用寿命。(3)工艺自控与安全冗余设计。工业机组设置工艺参数自锁程序,室内温湿度偏离工艺值自动调节介质流量;核心生产车间配置一用一备热泵主机,满足不间断生产供能要求;管路增设高低压、防冻、防腐蚀多重联锁保护,区别于民商用简易自控逻辑,适配工业全天候连续运行工况^[4]。

4 现阶段暖通设计中地源热泵应用现存问题及优化对策

4.1 现阶段暖通设计中地源热泵应用现存问题

当前暖通专项设计阶段通病集中于前期勘测、负荷核算、管路设计三大板块,整体问题实操性突出,具体如下:(1)前期场地勘测流于形式。部分中小型项目省略原位热响应测试,直接套用区域土壤导热参数设计,未摸排地下破碎岩层、暗流地下水分布,导致换热井换热效率低于设计值20%以上。(2)建筑冷热负荷核算偏差较大。设计人员套用统一负荷指标取值,未结合建筑围护结构、门窗保温等级、人员作息分时校核负荷,公建项目普遍出现夏季排热大于冬季取热,土壤逐年蓄热失衡。(3)系统配套设计规范性不足。北方区域防冻液配比随意、管路同异程排布混乱,机房过滤、稳压保护构件选型偏小,外加设计、施工、运维各方脱节,后期机组频繁启停、管路冻堵频发。

4.2 优化地源热泵暖通空调设计质量的改进对策

针对上述设计类本源问题,立足暖通施工图全流程管控,从勘测、负荷、管网、机房、专项适配五大维度制定落地优化措施,从设计源头规避系统故障,具体对策如下:(1)落实场地全流程精细化勘测设计。项目立项后必须开展单孔原位热响应试验,实测土壤初始温度、导热系数、地下水渗流速率,出具岩土换热专项报告;规划换热井区域时,避让地下管线、地基承压区、岩溶破碎带,根据实测换热指标核定井深、井距,严禁经验化估算换热井数量,从源头保障地下换热能力达标。(2)采用逐时负荷模拟差异化核算设计。依托暖通负荷模拟软件分区建模,住宅区分户型核算昼夜负荷,商业建筑区分营业、闭店分时负荷,工业建筑叠加设备工艺散热负荷;冷热负荷差值超过15%的项目,设计阶段增设风冷辅助换热模块,平衡地层冷热收支,规避土壤热堆积、冷堆积问题,满足年度地层温度波动国标限值。(3)规范化地下管路与机房工艺设计。大型

公建地源主管统一采用同程环状布置,控制管路流速1.2~1.6m/s,均衡各支路水力流量;选用PE100承压地埋管材,按埋深水压核定管路公称压力;严寒地区依据极端最低气温精准配比乙二醇防冻液,配套全自动加药、除污、软化水处理装置,降低管路结垢腐蚀概率。(4)建立设计施工联动校核机制。暖通设计师全程对接钻孔、埋管施工班组,现场核验U型管打压密封性、回路长度;图纸专项标注系统防冻联锁、高低压保护参数,完善自控联锁图纸内容,交付运维方设计参数台账,实现设计、施工、运维参数统一,降低后期运维改造成本^[5]。

结束语:本文结合暖通工程实操案例,完成地源热泵原理剖析、设计要点、分场景方案、问题对策全方面研究,得出结论:地埋管式地源热泵适配国内绝大多数建筑暖通工况,不同功能建筑必须采用差异化负荷取值、埋管布局设计;项目前期地质勘测、逐时负荷模拟,是保障系统长效运行的核心环节。现阶段行业仍存在经验化设计、施工设计脱节等短板,后续暖通设计需严格落实国标强条,兼顾岩土冷热平衡、机房工艺管控。未来可结合光伏耦合能源模式,进一步优化地源热泵暖通节能设计,适配建筑低碳发展长期要求。

参考文献

- [1]张亚南.地源热泵在暖通空调设计中的应用研究[J].门窗,2026(6):82-84.
- [2]王敏希,孟朋.地源热泵在暖通空调设计中的应用研究[J].工程建设与设计,2025(3):44-46.
- [3]徐伟.地源热泵在暖通空调设计中的应用研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(5):098-101.
- [4]周航舟,石雨艳.地源热泵系统在建筑空调设计中的应用研究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2026(4):107-110.
- [5]魏景源,张国凯.地源热泵在建筑暖通空调设计中的应用研究[J].建筑与装饰,2024(9):34-36.