

# 温州浅层地热能地源热泵系统应用实践

梁安辉

浙江省工程勘察设计院集团有限公司

**摘要:** 在收集调查区域水文地质及工程地质资料的基础上,通过岩土热响应试验,详细阐述了温州平原区地源热泵系统岩土热响应测试成果及应用实例,为充分开发利用地表浅层的能量,推动地源热泵技术在温州的推广和应用提供科学依据。

**关键词:** 地源热泵; 岩土热响应试验; 开发利用; 环境影响评价

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2022.12.072

## 一、概述

温州地区地处浙南沿海,总面积1423.6平方公里,属于能源匮乏的经验发达地区,节能降耗减排的任务艰巨。急需对温州地区浅层岩土体的热物理性质和资源分布情况进行基础性的调查与研究。

研究区域年平均气温 $17.9^{\circ}\text{C}$ ,极端最高气温达 $39.3^{\circ}\text{C}$ ,极端最低气温 $-4.5^{\circ}\text{C}$ ;多年平均降雨量1694.6mm,日最大降雨量256.61mm;区内瓯江干流全长388千米,上下游落差1300米,流域面积18028平方千米,平均年流量202亿立方米。

根据温州地区地温资料,温州地区恒温层埋深大约在13.6—23.6m,厚度8—28m,温度在 $18.8^{\circ}\text{C}$ — $19.8^{\circ}\text{C}$ ;变温带梯度大约为 $1.92^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ,温州地区全年平均地温在 $20.0^{\circ}\text{C}$ 左右,通常条件下换热器中循环介质温度与土壤温度保证 $10^{\circ}\text{C}$ 温差较为有利。

基本研究工作:

1、充分收集区域地质、水文地质、工程地质等资料,对本区进行地质单元分区工作通过勘探、试验和动态观测等工作,初步调查与了解岩土层的结构、岩土体的各种热物理参数及浅层地热条件;

2、在不同区域内分别进行初步的土热响应试验,通过测试仪器,对所在场区的测试孔进行一定时间的连续加热,获得岩土综合热物性参数及岩土初始平均温度,初步分析与评价浅层地源开发与利用可行性与实际利用效果。

3、在研究区域内布置一定数量的长期观测试验孔,连续观测不同深度土层的温度变化、地下水的水位、水温变化情况,初步研究与论证浅层地热能的开发利用能力。

4、分析浅层地热能的热来源和热成因机制,评价

区域浅层地热能资源,预测浅层地热能开发利用产生的环境影响,提出可持续开发利用的建议。

## 二、岩土热响应测试原理

### (一) 试验工作原理及分析

地温场是地球的热场,根据区域地温长期观测结果,变温带梯度大约为 $1.92^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。温州恒温层埋深大约在13.6—23.6m,厚度8—28m,温度在 $18.8^{\circ}\text{C}$ — $19.8^{\circ}\text{C}$ 。

根据区域地质条件,通过现场测试,获得埋管与岩土体的岩土热物性参数如:埋管区域内土壤初始地温、岩土体综合导热系数等。地源热泵埋管换热器地热响应埋管测试采用竖直埋管形式,获得埋管与岩土体的岩土热物性参数如:埋管区域内土壤初始地温、岩土体综合导热系数等。

换热能力与土壤温度以及周边土壤温度场的分布有关。本实验结果是在土壤温度为原始温度条件下测试的,实际运行时,随着时间的积累,土壤温度条件将发生变化,土壤的换热能力比本实验测试值会稍有变化。详见:图1 岩土热响应试验系统结构示意图。

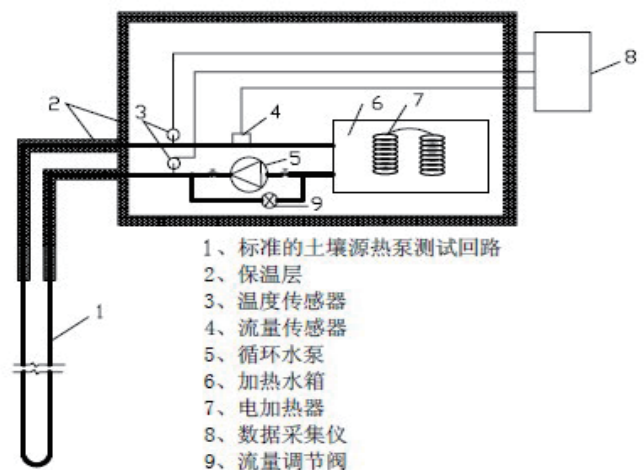


图1 岩土热响应试验系统结构示意图

### (二) 地源热泵系统岩土热响应测试试验井热物性测试

在测试深度范围内,场区地基土根据成因、时代及工程性质划分为素填土、吹填土、淤泥质粉质黏土、淤泥夹粉砂、淤泥、粉质黏土等工程地质层。

按照含水介质、赋存形式及水力特征将本区地下水

划分为：

孔隙潜水——场地表层地下水属潜水型，赋存于杂填土、黏性土及淤积软土层，地下水迳流条件较复杂，淤泥水平向较好，竖向较差，杂填土具强透水性；主要由邻近地表水体、大气降水及邻近生活用水补给；

承压水——赋存于冲积相的圆砾层、卵石层中，根据本地区经验，卵石层的承压水位一般位于该层顶部3~6m，圆砾层具强透水性和富含水性。

基岩裂隙水——基岩裂隙水贮存并运移于裂隙中，主要受裂隙密集度、张开度和连通性控制；和孔隙水相比，表现出更强烈的不均匀性和各向异性。

管材采用PE管，管径大小D25；下管及清除淤堵物，下管前持续打压合格，人工接管下管；回填料及人工，配备一整套软件将采集、记录、处理测试数据，动态显示水温变化，自动绘制其参数变化曲线，测试成果详见表1。

表1 温州地区测试成果参数表

项目名称	坐标及地面高程	测试深度(m)	钻孔直径(mm)	埋管类型	原始地温(°C)	延米换热(w/m)	岩土综合导热系数W/(m.K)	模拟时间(小时)
瑶溪科研基地	K1: X=3092707.30 Y=511451.74 H=4.07	98.0m	110.0	高密度聚乙烯管 HDPE单U	20.18°C	44.4	1.75	48小时
温州金融服务中心1#楼	K1: X=3100366.802 Y=505398.691 H=5.87m	62.0m	130.0	高密度聚乙烯管 HDPE单U	22.10	64.0	1.49	48小时
	K2: X=3100345.165 Y=505453.802 H=5.39m	53.0m	130.0	高密度聚乙烯管 HDPE双U	22.10	60.6	1.76	48小时
温州农行新大楼	K1: X=3100351.46 Y=505040.87 H=5.22m	53.0m	130.0	高密度聚乙烯管 HDPE双U	21.50	68.4	1.85	48小时
	K2: X=3100289.96 Y=504977.11 H=4.11m	54.0m	130.0	高密度聚乙烯管 HDPE双U	20.50	69.2	1.92	48小时

(三) 埋管地源热泵系统适宜性分区

埋管换热器系统适用性分析，施工主要通过地质勘探钻机或其他成孔设备成孔，温州地区孔深一般不超过100m，孔径一般不超过100—159mm，然后将化学性质稳定、耐腐蚀、流动阻力小以及导热系数相对较大的HDPE管（高密度聚乙烯）放入孔内，最后用合适的回填

料进行回填，回填料的具体配方要根据场地的地质条件来确定，但总体上回填料作为埋管向岩土体散发热量的介质应具有以下特点：①良好的导热性能；②价格低廉，便于现场施工；③封填钻孔，使地表水不能够污染地下水体。见表2。

表2

分区	分区指标（地表100m范围内）			综合评价标准
	第四系厚度m	卵石厚度m	含水层厚度m	
适宜区	>100	<5	>30	三项指标均应满足
较适宜区	<30或50-100	5-10	10-30	不符适宜区和不适宜区分区条件
不适宜区	30-50	>10	<10	至少两项满足

三、工程实例

(一) 温州世纪广场

项目位于温州市城市中心区行政中心南面，广场总用地面积8.3万m<sup>2</sup>。具有安装地源热泵空调的适宜条件。地源热泵设计为全空气集中空调系统，竖直单U型埋管，共80个钻孔，深50m。项目于2002年建成，是温州市乃至全国第一批地源热泵项目。

(二) 温州华侨新村别墅地源热泵

温州华侨新村别墅由新世纪房地产开发有限公司开发，地点位于鹿城区蒲州岛，总用地面积77686平方米，岛内水体景观近22000平方米，会所面积约1750平方米，岛内独栋别墅仅有59栋，绿化率70%，容积率0.33，建筑密度16.5%，绿化面积5400平方米，该别墅是温州市最高档的别墅区。

为了符合国内最新环保理念，项目方初期设定选用绿色环保利用可再生能源的中央空调，且要求采用高效

节能且稳定的冷水机组,运行稳定可靠,维护方便,耐用,自动化程度高。比电锅炉供热节省三分之二以上的能量,比燃料锅炉节省二分之一以上的能量。不燃烧燃料,不向大气中排放污染物。最大限度的满足客户环保、节能的要求。

解决方案:针对独立公寓、别墅的特点,可以根据售楼入户情况分期投资,降低一次投资;更方便配合二次装修;根据住户间隔区间,可提供廉价的生活热水。OAK与项目方统一选定地源热泵机组,OAK水/地源热泵机组是在采用国际先进技术的基础上,结合中国实际地理条件,优化设计的高科技中央空调机组,可利用20%的电能加80%的可再生能源,达到100%的有效能源利用。

该项目除要求夏季制冷,冬季供暖外,还要求满足居民日常的生活热水需要。OAK地源热泵机组刚好能够实现一机多用的功能,安装工期短。最关键的是,使用地源热泵机组符合国家政策。

### (三)温州市城建中专学校

温州市城建中专学校,校区改扩建项目包括学校,包含教室、食堂、宿舍等,总建筑面积12000平米。项目采用学校边河水作为空调冷热源,设计了水源热泵节能空调、热水系统项目,满足建筑制冷供暖的空调要求,并提供师生洗浴热水;

温州建校新教学楼利用塘河水水温比较稳定的特点,采用水源热泵系统空调,据测算,温州建校采用的水源热泵机组,空调费用每年可以节省37.41万元,热水每吨节省5.45元,如以每天制取60吨热水计,则一年可以节省11.94万元。比中央空调机组+燃气锅炉的方式节省49.35万元,而且水源热泵系统安全运行年限至少为15年,最初多投入的成本,3年时间就能节约回来。

### (四)乐清市图书馆、博物馆迁建工程

温州乐清市,图书馆、博物馆迁建工程设计以“山水乐清”的地域特点入手,在设计过程,融于自然、体现生态的理念始终贯穿,并利用了节能环保的地热资源。项目设计在东面规划中的文化公园地下,重点建设项目为铺设占地近70亩的地源热泵井,利用地热资源为两大场馆“取暖”、“降温”。场地铺设占地近70亩的地源热泵井共1403口,井深为70-80米,W型埋管,埋入地下的地热管47万米,造价约1100万元,设计寿命70年,预计系统使用5年就能收回建设成本。

### 四、温州埋管地源热泵工程开发利用分析

(1)埋管地源热泵系统具有冷热输出稳定,其对地质环境的影响主要是对土壤温度的影响。

(2)温州地区制冷期是大于供暖期,那么空调在

夏天向大地排放的热量必定大于冬天从大地提取的热量,设计时采用其他辅助形式如设置冷热塔系统或其他功能性设施,在夏天可以通过开启冷热塔来减少夏天向大地排放的热量,在冬天可以使用其他设施来从大地中取出多余的热量等方式来调节冷热不平衡问题,通过这些手段是完全可以减少和避免地下热不平衡问题。

(3)埋管换热器长期运行,易产生热堆积,影响换热器的换热效率,因此在设计时对于埋管的间距和布置形式应进行科学设计,一般说来埋管间距要大于3m,另外埋管的布置形式要尽量展开,呈长条形或尽量分散布置埋管,使堆积的热容易散出。

(4)地表水热泵系统的一个热源是池塘、湖泊或河溪中的地表水。这种地表水热泵系统也受到自然条件的限制。此外,由于地表水温度受气候的影响较大,与空气源热泵类似,当环境温度越低时热泵的供热量越小,而且热泵的性能系数也会降低。一定的地表水体能够承担的冷热负荷与其面积、深度和温度等多种因数有关,需要根据具体情况进行计算。这种热泵的换热对水体中生态环境的影响有时也需要预先加以考虑。

(5)地下水地源热泵系统由地下水换热系统、机房系统和末端系统三部分组成,地下水地源热泵系统工作原理是通过抽取地下水,利用地下水全年温度保持恒温的特点,与主机将信冷凝器或蒸发器进行热交换,或通过板式换热器与冷凝器产生的高温热水(冬季工作时)或蒸发器产生的低温热水(夏季工作时)进行热交换,然后将换量或热量的地下水全部会灌同一含水层中。该系统具有良好经济性和节能性。

### 参考文献

- [1]刘宪英,王勇,胡鸣明,等.地源热泵地下垂直埋管换热器的试验研究[J].重庆建筑大学学报.1999,(5).21-26.
- [2]沈军,刘徽,余国飞,等.浅议中国浅层地热能开发利用现状及对策建议[J].资源环境与工程.2021,(1).116-119.
- [3]徐伟,刘志坚.中国地源热泵技术发展展望[J].建筑科学.2013,(10).26-33.
- [4]王泮浩,蔡皖龙,王铭,等.地热能供热技术研究现状及展望[J].制冷学报.2021,(1).14-22.
- [5]沈军,刘徽,余国飞,等.浅议中国浅层地热能开发利用现状及对策建议[J].资源环境与工程.2021,(1).116-119.

作者简介:梁安辉(1988.4-),男,壮族,本科,广西南宁人,工程师,研究方向:地质灾害,勘查技术与岩土工程。