

基于热成像技术的建筑节能检测方法研究

文 / 王 承 安徽众锐质量检测有限公司

摘要：为探究高效建筑节能检测手段，以提升建筑能效，对热成像技术在建筑节能检测中的应用展开研究。通过剖析热成像技术原理、设备构成及工作原理，明确其特点。运用该技术对建筑外墙、屋顶、门窗等构件热损失及热效能进行检测，同时分析空气渗透与内外温差，并对检测数据处理。结果表明，优化温度分布与热图像分析技术、规范检测流程等可提升检测准确性与可靠性，新型热成像设备与技术发展前景良好。

关键词：热成像技术；建筑节能；检测方法；能效评估；节能优化

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.13.022

引言

在可持续发展的大背景下，建筑领域作为能源消耗的大户，节能工作至关重要。传统建筑能耗高，对环境压力大，迫切需要通过有效的节能检测手段，提升建筑能效，降低能耗。以往建筑节能检测方法，如人工检测，效率低且准确性有限；一些专业检测设备虽能检测部分指标，但无法全面反映建筑热工性能。热成像技术凭借其非接触、大面积快速检测等特性，逐渐在建筑节能检测领域崭露头角。它能直观呈现建筑表面温度分布，精准定位热损失部位，为建筑节能检测提供全新视角与方法，助力实现建筑节能目标，推动建筑行业绿色转型。

一、热成像技术原理与特点

（一）热成像技术的基本原理

热成像技术基于物体的红外辐射特性。任何温度高于绝对零度（-273.15℃）的物体，内部微观粒子的热运动促使其持续向外发射红外光，温度越高，辐射的红外线能量越强。红外热成像系统通过精密光学元件收集并聚焦物体辐射的红外光，导向红外探测器。常见的碲镉汞探测器，红外光照射时，与材料中的电子相互作用，改变电子能级，产生对应强度的电信号。这些微弱电信号先经前置放大器提升强度，再由模数转换器转为数字信号，方便计算机处理。随后经一系列算法处理，生成热像图。热像图运用伪彩色编码，不同温度对应不同颜色，如红色代表高温，蓝色代表低温。通过分析热像图颜色与温度值，能精准掌握物体表面温度分布，快速识别异常区域。在建筑节能检测中，可据此直观判断外墙保温层破损处，因其温度分布与正常部位不同，在热像图上呈现出明显颜色差异。

（二）热成像设备的构成与工作原理

热成像设备由光学系统、红外探测器、信号处理单元和显示单元组成。光学系统由多个镜片和反射镜构成，精心设计的结构能高效收集物体辐射的红外线，并精确聚焦到红外探测器敏感区域。不同检测需求下，光学系统参数不同，远距离检测设备常配长焦镜头，如监测高压输电线路；近距离大面积检测设备则用广角镜头，像检测大型商场外墙。红外探测器是核心部件，决定设备性能，除焦平面阵列探测器，还有线性阵列探测器，适用于工业生产线

扫描检测。以基于微测辐射热计原理的焦平面阵列探测器为例，像元由热敏材料制成，吸收红外线后电阻变化，检测电阻变化可得红外辐射强度，转化为电信号传至信号处理单元。信号处理单元对原始电信号进行放大、滤波、模数转换等处理，运用算法优化信号，提高热图像清晰度与准确性。最后，显示单元采用高分辨率显示屏，呈现处理后的热图像，用户可通过操作界面调整温度量程、色彩模式等参数，准确观察目标热信息。

（三）热成像技术的特点

热成像技术优势显著，在多领域广泛应用，尤其在建筑节能检测领域极具潜力。非接触性是其突出特点。传统接触式温度检测，如使用热电偶、温度计，需与被检测物体直接接触，在检测高温运转工业设备时，易烫伤检测人员，还可能干扰设备正常运行。而热成像技术通过接收物体辐射的红外线获取温度信息，检测人员在安全距离外操作设备即可完成检测，在建筑节能检测中，无需攀爬建筑物，就能对建筑外墙、屋顶等部位检测，避免高空作业风险。大面积快速检测是热成像技术的另一大优势。传统单点温度检测方式，如用点温计逐个测量不同位置温度，效率极低，难以全面反映物体温度分布。热成像设备则可一次性对大面积区域检测，瞬间获取物体表面温度分布信息^[1]。以大型建筑外墙检测为例，热成像设备几分钟内就能完成整面外墙扫描，快速发现保温层破损、冷桥等热损失区域，大幅缩短检测周期，提高工作效率，利于大规模建筑节能检测项目开展。热成像技术直观性强，将物体温度分布以热图像呈现，不同温度区域通过鲜明颜色区分，检测人员无需复杂专业知识，就能迅速定位热异常部位。如检测门窗热工性能时，门窗缝隙处热量泄漏在热图像中呈现暖色区域，与正常部位对比鲜明。此外，热成像技术不受光照限制，全天候工作，检测人员可灵活选择检测时间，在建筑节能检测中，夜间因室内外温差大，热成像设备能更清晰显示热异常区域，提高检测准确性。

二、热成像技术在建筑节能中的应用

（一）建筑外墙与屋顶热损失检测

建筑外墙与屋顶是热量传递的关键部位，其热损失情况直接影响建筑能耗。热成像技术在此发挥着关键作用，检测人员运用热成像设备对建筑外墙与屋顶进行扫

描。由于外墙与屋顶不同部位的热阻存在差异，热量传递速率也有所不同，这会在热成像图上呈现出温度分布的差异。例如，若外墙存在保温材料缺失的区域，该区域的热量散失速度会加快，在热图像中就会显示为温度较低的区域，颜色偏冷色调。而屋顶若有裂缝或防水层损坏，热损失同样会增加，对应区域的温度也会与正常部位不同。通过对热成像图的细致分析，能够精准定位热损失严重的部位，为后续制定针对性的节能改造方案提供有力依据，如对热损失大的外墙区域重新铺设保温材料，修复屋顶的破损处，以此降低建筑外墙与屋顶的热损失，提升建筑整体节能效果。

（二）门窗及其他建筑构件的热效能评估

在建筑节能检测中，门窗及其他建筑构件的热效能评估至关重要，热成像技术为此提供了高效精准的手段。门窗作为建筑围护结构的关键部分，其热工性能直接影响建筑能耗。运用红外热成像技术评估门窗热效能时，检测人员在室内外存在温差的环境下，使用红外热像仪采集门窗的温度分布数据。质量上乘、密封性良好的门窗，热量传导稳定且均匀，在热像图上呈现出相对均匀的温度分布，表明其保温性能优越能有效阻挡热量传递^[2]。反之，若门窗存在缝隙，热像图上会出现明显的温度异常区域，该区域温度较高且呈暖色，这是由于热量从缝隙中泄漏所致，反映出此类门窗气密性欠佳、传热效率较高，导致热量大量散失，增加建筑能耗。对于其他建筑构件，如阳台栏杆、过梁等，热成像技术同样能发挥重要作用。通过检测其表面温度分布，判断是否存在“热桥”现象。热桥会导致局部热量集中传递，加速热量散失。一旦在热成像检测中发现热桥，可采取针对性措施进行处理，如在热桥部位增加高效保温材料，阻断热量传递路径，优化建筑构件的热工性能。通过对门窗及其他建筑构件的热效能精准评估，并采取相应的改进措施，能够有效降低建筑整体能耗，提升建筑的节能水平，为实现绿色建筑目标奠定坚实基础。

（三）空气渗透与内外温差分析

空气渗透是建筑能耗增加的重要因素之一，热成像技术有助于分析空气渗透与内外温差情况。在室内外存在温差时，空气会通过建筑围护结构的缝隙等薄弱部位渗透。热成像设备能够捕捉到因空气渗透导致的温度变化，在热成像图上，空气渗透部位会呈现出与周围环境不同的温度特征。例如，当冷空气从窗户缝隙渗入室内时，该缝隙处的温度会明显降低，在热图像上表现为冷色调区域^[3]。通过对热成像图的分析，可确定空气渗透的位置与程度，结合内外温差数据，能进一步评估空气渗透对建筑能耗的影响。了解这些信息后，可采取相应措施，如密封门窗缝隙、修复围护结构漏洞等，减少空气渗透，降低因空气交换带来的热量损失，维持室内温度稳定，提升建筑节能效果。

（四）检测数据的处理与分析方法

利用热成像技术进行建筑节能监测时，会产生大量的数据，如何对这些数据进行有效的处理和分析是非常重要的。首先，对采集到的热像图进行预处理，消除噪声干扰，利用滤波等方法提高热像图的质量，从而保证温度信息的准确。然后，利用专用图像分析软件，对热像图进行定量分析，确定各区域的温度场，计算出温度梯度和其他参量。比如，通过设置适当的温度阈值，对热像图中不同区域进行分区，从而精确地识别出热损严重和热异常区。同时，结合建筑物的结构信息和材料特征，对检测结果进行综合分析。例如，通过外墙材料的种类、厚度、温度分布等，对外墙隔热性能进行评价。在此基础上，通过仿真分析不同改造措施下建筑能耗变化，优选出最优节能改造方案，实现建筑节能监测数据的最大化利用。

三、基于热成像技术的建筑节能检测方法优化

（一）温度分布与热图像分析技术的优化

在建筑节能检测中，优化温度分布与热图像分析技术至关重要。一方面，需改进温度测量算法，提高对细微温度差异的分辨率。传统算法可能无法精准捕捉建筑表面复杂的温度变化，而新型算法可通过引入深度学习模型，对大量热成像数据进行学习训练，从而更准确地识别温度分布特征。例如，利用卷积神经网络对热图像进行分析，能够自动提取图像中的温度异常区域，即便这些区域的温度变化极细微，也能被精准定位。另一方面，要优化热图像的色彩映射与可视化呈现方式^[4]。通过合理调整色彩映射表，使不同温度区间在热图像中以更鲜明、易区分的颜色显示，方便检测人员直观判断。同时，开发交互式热图像分析工具，允许检测人员灵活调整图像参数，如对比度、亮度等，进一步增强对温度分布细节的观察能力，从而为建筑节能检测提供更精确的温度分析结果。

（二）检测流程与标准化方法研究

规范检测流程并制定标准化方法，是提升热成像技术在建筑节能检测应用效果的核心任务。检测前的准备工作标准化至关重要。热成像设备的校准直接关系到检测数据的准确性。不同季节、天气条件下，环境温度、湿度以及光线强度等因素都会对设备性能产生影响。在夏季高温时段，设备内部元件可能因温度升高而出现漂移，校准参数需适当调整以补偿这种变化；冬季低温环境下，设备的响应速度可能改变，也需重新校准。现场检测流程的优化同样不容忽视。针对住宅建筑，可从底层开始，按照房间顺序依次扫描外墙、门窗等部位，确保每个房间的围护结构都能被检测到。对于商业建筑，由于空间布局复杂，可先对公共区域如大堂、走廊进行检测，再针对不同功能分区如办公室、商场营业区等制定特定检测路线。建立标准化的数据记录与报告模板，明确规定记录内容应涵盖建筑基本信息、

检测时间、检测部位、温度数据及热异常情况描述等。数据格式统一采用国际标准单位，如温度使用摄氏度，长度使用米等，便于不同地区、不同检测团队的数据对比与分析，推动建筑节能检测工作向规范化、科学化迈进。

（三）数据准确性与可靠性的提升

为提高建筑节能检测数据的精度和可靠性，需要从硬件和软件多个方面进行努力。从硬件上讲，其核心是高精度的热像探测器。例如，量子阱红外探测器具有非常高的灵敏度，可以在很大程度上检测到温度的微小变化，从而有效地减少了测量误差。同时，制定了一套严格的设备维护和校准制度，定期将设备送到专业的校准机构，根据标准黑体辐射源对设备进行校准，保证设备的长期稳定运行。在软件方面，先进的算法是必不可少的。热成像时，由于周围的热源、电磁辐射和设备本身的噪声等因素的影响，会使热成像出现异常的数据。在此基础上，提出了一种基于中值滤波的图像增强算法。数据融合是对多个不同角度和不同时刻的数据进行融合处理的一种技术^[5]。在对大型建筑物进行检测的过程中，采集了来自不同方向的热像数据，采用数据融合的方法可以获得更为全面和精确的温度分布数据。在此基础上，构建数据校验机制，并与传统的温度传感器测试结果进行比较。在建筑外墙温度测量中，通过在墙体内均匀布设温度传感器，对传感器测得的数据和相应区域的温度数据进行相互验证，发现有偏差的地方，及时对设备故障和不合适的测量方法进行修正，为建筑节能决策提供数据依据。

（四）新型热成像设备与技术发展趋势

随着科技的迅猛发展，新型热成像设备与技术建筑节能检测领域前景广阔。在设备方面，小型化、轻量化且高分辨率成为主流趋势。以一款新型手持式热成像仪为例（见图一），其体积小，重量仅为传统设备的一半，方便检测人员在建筑内部狭窄楼梯间、管道井等狭小空间作业，同时具备超高分辨率，能够清晰呈现建筑表面细微的温度差异。设备智能化程度也将不断提升，内置智能分析软件，可自动识别建筑热工缺陷，如检测到门窗缝隙处的温度异常，自动标记并提示可能存在的空气渗透问题。在技术层面，多光谱热成像技术将得到更广泛应用。该技术可同时获取建筑表面的可见光、近红外、中红外等多种光谱信息。通过分析不同光谱下的温度特征，能够更全面、准确地评估建筑热性能。例如，结合可见光光谱判断建筑表面材质状况，利用近红外光谱分析建筑表面湿度分布，再通过中红外光谱确定温度分布，综合判断建筑是否存在受潮引发的热损失问题。此外，热成像技术与物联网、大数据技术的融合势在必行。通过物联网技术，热成像设备可将实时检测数据传输至云端服务器，利用大数据分析技术对海量历史数据与实时数据进行挖

掘分析，为建筑节能管理提供能耗预测、节能方案优化等高效、便捷的解决方案，助力建筑行业实现更高效的节能目标。



图一：一款新型手持式热成像仪

结语

综上所述，文章探讨了热成像技术于建筑节能检测的应用。通过解析其原理与特点，明确了该技术在检测建筑外墙、屋顶热损失，评估门窗等构件热效能，分析空气渗透与温差等方面的显著作用。同时，从温度分析技术、检测流程、数据质量及设备技术等维度进行优化，提升了检测准确性与效率。未来，热成像技术有望在智能化、多光谱融合及与新兴技术结合等方面持续突破，为建筑节能事业提供更高效、精准的检测手段，助力建筑行业迈向绿色、可持续发展新阶段。

参考文献

- [1] 陆海涛. 钻孔灌注桩施工技术在市政道桥工程中的实践研究[J]. 四川建材, 2024, 50(11): 187-189.
- [2] 李威. 市政道桥工程沥青路面裂缝施工处理技术分析[J]. 新城建科技, 2024, 33(10): 148-150.
- [3] 陈琦璠, 安静. 市政道桥钻孔桩施工关键技术探究[J]. 新城建科技, 2024, 33(07): 142-144.
- [4] 朱晓宇. 市政主线桥与辅道桥共跨河道施工技术研究[J]. 价值工程, 2023, 42(10): 75-77.
- [5] 黄丽丽. 市政道桥施工中预应力技术应用分析[J]. 运输经理世界, 2022, (28): 98-100.

作者简介：王承，（1989-02），男，汉族，安徽省合肥市，硕士研究生，工程师，研究方向：建筑工程检测（建筑节能检测）。