

# Research and Application of Non-Destructive Testing Technology for Roof Leakage in Data Centers

Mingchan Xu Yijun Zhang Qiang Fu Xinchun Chen

Haoyun Changsheng Group, Shanghai, 200020, China

## Abstract

Roof leakage in data centers poses a severe threat to internal precision electrical equipment. Traditional detection methods suffer from limitations such as inaccurate positioning and high destructiveness. Aiming at the roof leakage problem of a data center project with completed structure, this paper proposes an accurate diagnosis method combining partition water storage test and multi-source non-destructive testing technology. The method adopts collaborative detection by comprehensively using infrared thermal imager, spherical moisture meter and RWS leakage inspector. Through on-site water storage test to stimulate leakage characteristics, the precise positioning of hidden leakage points and visual tracing of leakage paths are realized via multi-instrument data fusion analysis. Engineering application shows that this method can diagnose roof leakage diseases systematically and non-destructively, provide a reliable basis for subsequent accurate repair, and has important practical value for ensuring the safe operation of data centers.

## Keywords

data center; roof leakage; infrared thermal imaging; moisture content measurement

## 数据中心屋面渗漏检测技术研究与应用

许鸣蝉 张忆军 付强 陈新春

广东浩云长盛网络股份有限公司, 中国 · 上海 200020

## 摘要

数据中心屋面渗漏对内部精密电气设备构成严重威胁,传统检测方法存在定位不准、破坏性大等局限。本文针对某结构已完成的数据中心项目屋面渗漏问题,提出一种结合分区蓄水试验与无损检测技术融合的精准诊断方法。该方法综合利用红外热成像仪、球形水分仪与RWS渗漏巡检仪进行协同检测。通过现场蓄水试验激发渗漏特征,利用多仪器数据融合分析,实现了对隐蔽渗漏点的精准定位与渗漏路径的可视化追溯。工程应用表明,该方法可系统、非破坏性地诊断屋面渗漏病害,为后续精准修复提供了可靠依据,对保障数据中心安全运营具有重要实践价值。

## 关键词

数据中心; 屋面渗漏; 红外热成像; 含水率测量

## 1 引言

数据中心作为承载数字经济的核心基础设施,其物理环境的安全性、稳定性至关重要。屋面渗漏是数据中心建筑的典型病害之一,一旦发生,渗漏水极易侵入下方的电力电池室、UPS间、服务器机房等核心区域,引发电气短路、设备腐蚀乃至业务中断等灾难性后果[1]。对于已施工完成且机电设备即将进场的项目,快速、精准地诊断并根治屋面渗漏,是确保项目按期投运、规避远期运维风险的紧迫任务。传统的渗漏检测方法,如目测检查、局部泼水试验等,依赖经验且对隐蔽渗漏点识别能力不足;而大面积闭水试验虽能发现问题,却难以精确定位渗漏源,尤其对于复杂的屋面构

造层次(如防水层、保温层、结构层)内部窜水问题,诊断尤为困难[2]。近年来,无损检测技术,特别是红外热成像技术与含水率测量技术,在建筑渗漏诊断领域展现出独特优势[3、4]。然而,单一技术往往存在局限性:红外成像易受环境温差、日照等干扰,仅能反映表面温度场异常;含水率测量虽能直接反映材料湿度,但大面积普查效率低,且难以区分水分来源。

本文以某实际数据中心项目为背景,针对其屋面完工后出现的渗漏问题,创新性地提出并实施了一套“蓄水试验激发+多源无损检测技术融合”的综合诊断方案。该方案旨在通过多仪器协同、信息互补,实现对渗漏点的精准定位与渗漏机理的深入剖析,为类似工程问题的解决提供一套科学、高效的技术路径。

【作者简介】许鸣蝉(1989-),男,中国湖北仙桃人,硕士,从事土木工程研究。

## 2 检测原理与技术方案的

### 2.1 检测原理

#### 2.1.1 红外热成像原理

任何物体均辐射红外能量。当屋面存在渗漏时，水分的蒸发吸热效应会导致渗漏区域与周围干燥区域的表面温度产生差异。手持红外热成像仪可捕获这种细微的温度分布差异，并将其转化为可见的热图像，从而直观揭示可能的渗漏异常区[5]。

#### 2.1.2 含水率测量原理

RWS 渗漏巡检仪与球形水分仪基于介电常数测量原理。水的介电常数远高于大多数建筑材料（如混凝土、沥青）。当仪器探头接触或靠近潮湿材料时，其电磁场发生变化，通过校准可将该变化量转化为体积含水率百分比。通过网格化扫描并比对干燥基准值，可精准绘制屋面含水率分布图，锁定高湿度区域并追踪水分迁移路径[6]。

#### 2.1.3 多源信息融合优势

红外成像反映的是“温度效应”，可能受多种因素影响；含水率测量反映的是“水分存在”的直接证据，蓄水后肉眼观察是否有渗漏痕迹，三者结合，可相互验证，降低误判。具体而言，先通过红外热成像进行大面积快速筛查，发现疑似异常区；再使用含水率测量仪器对疑似区进行精细化定量检测，确认水分存在并量化其严重程度；最后利用 RWS 巡检仪的连续扫描模式，沿湿度梯度追踪，寻找最高含水率点（即最可能的渗漏源）。

### 2.2 技术方案与流程

针对数据中心项目屋面特点，制定“分区蓄水、协同检测、综合分析”的实施方案。选择屋面已知干燥、完好的典型区域，使用球形水分仪进行多点测量，取其平均值作为本项目屋面材料在当前环境下的“干燥常值”，用于后续异常判断。

#### 2.2.1 多仪器协同检测

阶段一（蓄水末期）：在清晨或日落后等环境温度稳定时段，使用手持红外热成像仪对蓄水区域下方室内顶板（或对应上方屋面区域）进行全面扫描，捕获因水分蒸发冷却或蓄水层保温效应形成的温度异常图像。

阶段二（排水后）：排干屋面明水后，待表面无明显积水时，在红外识别出的异常区域及其周边，用 RWS 渗漏巡检仪和球形水分仪进行网格化含水率扫描。记录各测点数据，绘制等含水率线图。

阶段三（追踪溯源）：在发现的含水率高值区，利用球形水分仪的高灵敏度模式进行精细扫描，沿含水率递减方向追踪，逐步缩小范围，直至找到含水率最高、最集中的点，即判断为主要的渗漏进水点或裂缝。

#### 2.2.2 数据融合与综合分析

将红外热图像与含水率分布图进行叠合比对分析。两者重合的异常区域，为高置信度的渗漏区域。结合屋面构造

图纸和现场勘察（如裂缝、收头、搭接缝），最终确定渗漏点的具体位置、范围及可能的成因类型（如开裂、孔洞、搭接不牢等）。

## 3 工程应用与结果分析

### 3.1 项目概况

选取广州某大型数据中心产业园 K 栋建筑作为应用案例，该楼栋建筑面积 73963 m<sup>2</sup>，地上 7 层，建筑高度 44.2 米，主体混凝土结构及屋面防水层（倒置式屋面，两道防水，3mm 厚自粘改性沥青聚酯胎防水卷材 +1.5mm 聚氨酯防水涂料）已施工完成。在机电设备进场前检查中，发现部分区域室内顶板有渗漏水渍。屋面面积约 10350 m<sup>2</sup>，上方有众多风机基础、管线穿墙等复杂节点。

### 3.2 检测实施与发现

结合屋面变形缝布置，将屋面划分为 720 个检测网格，每个网格作为一个独立检测单元，按以下步骤实施：

（1）分区蓄水：根据屋面结构特点，分 5 个批次进行闭水试验，每批次闭水结束后立即开展检测。

（2）红外初筛：使用无人机搭载红外热成像仪及手持红外热像仪，对每个蓄水区域进行扫描，捕获温度异常区域。

（3）含水率复核：对红外识别的异常区域，使用 RWS 渗漏巡检仪和球形水分仪进行网格化扫描，记录含水率读数。

（4）综合判读与记录：依据前述判据，将异常区域分类为“积水”或“渗漏”，并记录具体位置、面积、红外特征、含水率数据及可见光照片。

### 3.3 检测结果与分析

根据红外成像及含水率检测数据的组合特征，可区分两种不同严重程度的异常状态。

积水特征：部分网格闭水后红外成像呈现明显低温异常，但表层含水率读数正常（接近干燥基准值 8-12），肉眼无渗漏迹象，表面水分已进入防水层下方，但暂未突破结构自防水。此类区域需警惕，若不处理，未来可能发展为渗漏（见图 1）

渗漏特征：部分网格闭水后红外成像呈现明显低温异常，且表层含水率读数异常（普遍在 20 以上，严重区域达 30-100），部分区域肉眼可见渗漏痕迹，可判定水分已突破防水层，并通过结构裂缝进入楼板内部，从而导致渗漏（见图 2）。



图 1 积水特征

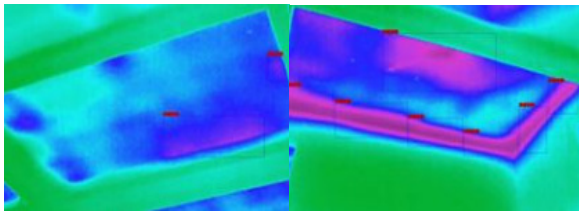


图2 渗漏特征

### 3.4 渗漏原因分析

经结合检测数据与现场构造核查,发现渗漏根源可归纳为以下三类:

类型一:防水层设计缺陷(材料不相容)。屋面原设计做法为“聚氨酯防水涂料(下)+SBS防水卷材(上)”。经分析,这两种材料物理性能不匹配,聚氨酯涂料中的增塑剂易被SBS卷材吸收,导致防水涂料逐渐弱化、失效。随着时间推移,防水层整体效用堪忧。

类型二:结构裂缝。屋面面积较大,施工过程中易产生冷缝,且建筑投入使用后,温度变化、沉降等因素可能导致结构裂缝发展。本次检测发现的18处渗漏点,均对应楼板结构存在贯通裂缝。

类型三:节点构造缺陷。女儿墙部位防水卷材收口普遍老化、脱落,雨水易从此部位渗入保温层并横向扩散;设备基础多处开裂,形成局部积水通道;女儿墙防护层普遍老化开裂,雨水可通过毛细作用渗入墙体。

## 4 屋面渗漏修缮建议

基于检测结论,针对本案例提出以下修缮建议:

(1) 迎水面处理:可从迎水面整体翻修或增设防水层,确保新旧材料兼容,避免因材料不匹配导致二次渗漏。施工过程中应严格做好基层处理(坚实、平整、干燥)和细部处理(管道穿墙、设备基础根部)。

(2) 结构裂缝处理:针对已发现的渗漏点,应从迎水面进行裂缝封闭处理。对于大面积楼板,建议增设防水层,避免逐点注浆的局限性。

(3) 节点加强:加强设备基础根部、女儿墙泛水部位处理,对压条部位进行补强,压条下方满填橡胶防水涂料、

聚氨酯密封胶等材料形成连续防水屏障。女儿墙应剔水平槽,用防水砂浆抹出坡度,将卷材伸入收头。

(4) 过程管控:后期改造过程易因施工原因、荷载变化导致新的渗漏点,应重点关注机电管道穿板部位套管安装和封堵,加强施工过程监督管理。

## 5 结语

本文针对数据中心屋面渗漏这一关键质量问题,提出并成功应用了一种结合分区蓄水试验、红外热成像与含水率测量的多源信息融合诊断技术。通过广州某数据中心屋面工程验证,得出以下结论:

(1) 该技术组合能够非破坏性地精准定位屋面隐蔽渗漏点,实现从大面积筛查到单点定位的逐级聚焦。

(2) 通过红外成像与含水率测量的数据融合,可建立“积水”与“渗漏”的分级判据,有效区分防水层失效与结构渗漏两种不同严重程度的状态,为修缮决策提供科学依据。

(3) 结合检测数据与构造分析,可追溯渗漏根源。本案例诊断出防水材料不相容、结构裂缝、节点失效三大主因,避免了盲目翻修带来的成本、工期浪费和二次风险。

该方法不仅适用于渗漏治理,也可作为数据中心等关键建筑防水工程竣工验收及运营期定期体检的强化手段,具有主动预防的广义应用价值。

## 参考文献

- [1] 王建国,李华.数据中心基础设施故障案例分析与启示[J].建筑电气,2020,39(8):1-5.
- [2] 张伟,孙明.建筑渗漏检测技术研究进展[J].施工技术,2019,48(15):72-75.
- [3] 刘强,等.红外热像法在建筑外墙渗漏检测中的应用研究[J].建筑材料学报,2017,20(3):456-461.
- [4] Balaras C A,Argiriou A A.Infrared thermography for building diagnostics[J].Energy and Buildings,2002,34(2):171-183.
- [5] 中华人民共和国国家标准.GB/T 50344-2019建筑结构检测技术标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2019.
- [6] 胡曙光,等.基于介电常数法的混凝土含水率无损检测技术[J].硅酸盐学报,2015,43(4):467-473.