

无人机搭载双光相机 探测堤防渗漏试验分析

曹文星, 张炜杰, 游天宇, 聂 帅, 陈 哲, 张友明

(江苏省防汛防旱抢险中心, 江苏 南京 211500)

摘要:为探索无人机搭载双光相机巡航探测堤防渗漏险情的实用方法,在标准管护条件下的堤防现场,开展连续 24 h 的不同介质测温试验,目视辨识查找堤防渗漏险情,与人工巡查进行效率对比试验。研究表明在晴朗天气的白天时,对标准管护的堤段,将红外热成像与可见光图像结合,夜间单独使用红外热成像,可通过目视辨识方法有效探测渗漏堤防险情,无人机的巡查能力高于人工方式,且在夜间巡查、安全监测等方面优势明显。

关键词:无人机; 双光相机; 堤防渗漏; 红外热成像

中图分类号:TV871

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2022)10-0063-0003

Test analysis on dike-leakage-detection by using UAV equipped with visible-and-infrared-light-lens

CAO Wenxing, ZHANG Weijie, YOU Tianyu, NIE Shuai, CHEN Zhe,
ZHANG Youming

(Jiangsu Provincial Flood Control and Drought Relief Center, Nanjing 211500, China)

Abstract: In order to explore the practical method of dike leakage danger detection by using UAV (Unmanned Aerial Vehicle) equipped with visible-and-infrared-light-lens, on the embankment site under standard pipe protection conditions, a continuous 24-hour temperature measurement test on different media is carried out to visually identify the leakage danger of the embankment, and conduct an efficiency comparison test with manual inspection. Research shows that in the daytime in clear weather, combining infrared thermal imaging with visible light images for standard pipe-protected embankments, and using infrared thermal imaging alone at night can effectively detect the dike leakage danger through visual identification methods. The inspection ability is higher than that of manual methods, and it has obvious advantages in night inspection and safety monitoring.

Key words: UAV (Unmanned Aerial Vehicle); visible-and-infrared-light-lens; dike leakage; infrared thermal imaging

江河堤防在面临高水位行洪时,容易发生渗水、管涌、漏洞等渗漏险情。为保障堤防安全运行,必须定期开展堤防巡检,超过警戒水位时需组织人员开展驻地巡查以及险工险段重点监测。当前,针对堤防渗漏险情的巡查方法仍以人工为主,不仅费时、费力,还可能因为专业知识、经验、责任心等方

面的不足而出现漏检漏查情况^[1]。以无人机为平台搭载可见光和红外光(以下简称双光)相机巡航探测堤防渗漏险情,是解决上述问题的一个重要研究方向。目前,在运用红外热成像进行混凝土坝渗漏探测的模拟实验方面,国内外已经开展了相关研究,为堤防渗漏险情的实地试验研究提供了理论基

收稿日期: 2022-06-10

作者简介: 曹文星(1985—),男,工程师,本科,主要从事防汛抢险方面研究工作。E-mail: lasthosi@live.cn

础和参考方法。

双光相机的可见光部分是接收环境反射的可见光进行光学成像,红外光部分是接收堤防环境各类物体自身红外辐射后转换生成对应的图像,可以有效探测目标区域表面温度场分布情况。堤防表面环境中的不同类型物体,由于比热容、热传导率、热辐射吸收率、植物体热时间常数等方面的差异^[2],其自身温度随时间的变化速度不同,从而形成了有规律的温度场分布。开展全天24 h多天气条件下的模拟渗漏险情识别,无人机与人工巡查效率对比,堤防表面多介质温度关系及演变情况等试验研究,为使用无人机搭载双光相机进行堤防渗漏险情探测实战提供参考经验。

1 试验概述

1.1 工程概况

本次试验地点为江苏省防汛抢险训练场堤防、滁河堤防南京段、长江堤防南京段。江苏省防汛抢险训练场位于南京市六合区瓜埠镇,演练区堤防底高程8.5 m(吴淞高程系,下同),顶高程11.5 m。长江堤防轧花厂站附近堤段堤顶宽6.0 m,草皮护坡。滁河堤防六合段堤顶高程11.2~13.0 m,堤顶宽8.0 m。试验堤段,堤防保持竣工验收时尺度,堤顶为沥青路面,管理单位按照堤防工程养护标准,定期组织清理堤防表面杂草,植被深度小于10 cm,无禁飞区。试验过程中,避开了有树木、高压线、高塔、房屋等影响航行安全的障碍物的堤段。

1.2 试验目标

探索堤防渗漏险情在无人机双光相机下的成像规律,为精准识别堤防渗漏险情积累实践经验,并通过反复试验和训练提升使用无人机开展巡查的准确性和工作效率。

1.3 试验方法

在不同天气、温度、湿度等条件下,对已发现的渗漏点和模拟渗漏点,使用无人机搭载双光相机在指定堤段进行巡航探查,对回传的双光图像进行目视观察,发现疑似时利用GPS定位坐标引导人工到达现场进行核查确认,返航后再使用红外分析工具对拍摄的双光图像进行处理,分析总结出险区域的温度场、异常区域形状等特征信息。

1.4 试验设备

考虑试验堤段巡查目标温度较低(一般在40℃以下),探测距离较远(一般在15 m左右),背景辐射较为复杂,选用大疆H20T双光相机及配套的

M300RTK无人机,抗风等级为7级^[3]。此外,还使用了小型水泵、风速仪、点温计、大疆红外分析工具等设备。

2 堤防常见介质的温度变化规律

2.1 堤防常见介质温度关系

通过在堤防渗漏处设置渗点(渗漏出水点)、草皮、水流(渗漏形成的地表水流)、积水、砖石等目标,使用无人机搭载双光相机在白天、晚上等不同时间拍摄红外热像图,采集记录各目标介质的区域平均温度。

经对比分析,晴朗天气下,白天堤防环境中的各类材质目标温度由低到高依次为渗点、草皮、水流、积水、砖石;晚间各类材质目标温度由低到高依次为草皮、砖石、水流、积水、渗点,渗点温度较其他介质呈现明显差异性。阴雨天气和低温天气时,因阳光、空气等供热来源减弱,导致堤防环境中各类材质目标的温度差异降低,红外热像图中的温差特征相对减弱,渗点与其他介质温度差异不明显。

2.2 表面温度随时间演变规律

在渗漏出水区域,使用无人机搭载双光相机每隔1 h拍摄采集1次红外热像图,测量记录图中相同的渗水区域和非渗水区域的平均温度。经分析可知,在一天中随着昼夜、光照等条件变化,水的比热容较大,温度变化需要吸收或散失更多热量,温度变化速度较慢,渗水与堤防表面的温度高低关系存在2次反转,一般在昼夜交替的前后产生,时段一般在6:30~7:30和17:00~18:00。

以上分析表明,在渗点温度相对堤防表面差异不明显的天气及时段下,应避免采用无人机搭载双光相机巡航探测,可进行人工巡查。

3 堤防渗漏险情探测分析

3.1 渗漏险情成像的共性特征

在试验中,渗水、管涌、漏洞等3种渗漏类险情均在红外热像图中呈现出明显特征,水流对应区域的灰度连续平滑,积水对应区域的灰度分布均匀,水流、积水区域的边缘灰度(温度)过渡平顺。从形态走势来看,因渗漏类险情的点发性,形态走势多呈由上向下的扩散状或由内而外的外涌状。

3.2 渗漏险情成像的个性特征

(1)渗水险情的渗出水流量较小、流速较慢,常形成细条状流动痕迹,随着流动距离增长而扩散加宽,最终各条细流按照地表地形特点汇合形成单片

或多片积水。

(2)管涌险情常发于堤基为砂土的堤防,河道高水位时水在渗透压力作用下,经过堤基强透水层到达堤防背水侧地面,水由下往上冲破表层土壤后流出,不断将堤基沙粒带出。在出水点周围沉积形成沙环,在红外热像图中自内而外呈现出中心涌水点、沙环区、外围积(流)水区3个层次,在红外热像图中可见明、暗、明间隔分布的图像形态。

(3)漏洞险情与渗水险情类似,但因出水速度更快且出水量更大,会快速形成大片积水区,在红外热像图中可见扩散状大面积明亮区域。

3.3 干扰因素及应对办法

复杂的环境条件下,多种干扰因素影响红外识别的准确性。其中,以绿植为代表的同温介质和遮挡介质,是巡堤实践中影响险情判断准确率的最大干扰因素。绿植的长势充满随机性,高低疏密排列多样,其对应的红外热像图区域与渗水区域高度相似。在典型的堤防绿植区红外图像中,绿植区与渗漏区的灰度分布采用目视方法难以区分。在红外软件中进行温度测量,温度范围高度重叠范围同样难以区分。而当渗漏险情恰好发生在绿植区内部时,由于渗水处于绿植下方,其红外辐射基本被绿植遮挡,即使有温度差异也无法发现。

针对堤防现场环境不利巡查的影响因素,可采取以下办法进行处理:一是在堤防巡查作业前,应对堤防进行清表,减少绿植、枯草等覆盖物;二是对于堤防环境中存在的少量绿植干扰,在白天可结合可见光对比排除,在夜间渗漏水温一般高于绿植,可拟合零星绿植的分布特点,进行综合判断。

4 人工和无人机查险对比分析

4.1 巡查能力

以滁河堤防(迎水、背水面各约16 m覆盖范围)、每2 h完成1次全面巡查作为巡查任务,按照正常休息、设备维护等要求^[4],以4人和2架无人机进行巡查速度对比。经过实践验证,无人机巡查堤长约为人工的3.5倍,如表1所示。在实际作业时,人工徒步巡查体力消耗大,随着时间推移巡查能力有所下降。

表1 人工与无人机的巡查能力对比

对比项目	巡查时间/min	巡查堤长/m
4人	60	1 000
2架无人机	60	3 500

4.2 辨识能力

白天巡查时,光照条件好,人工和无人机可见光图像查找险情效果接近。夜间巡查时,人工巡堤时主要依靠手提探照灯照明查找险情,灯光覆盖范围小,搜索查找效率不高且容易遗漏;无人机依靠红外热成像进行辨识查找,覆盖范围较全面,渗漏类险情的渗漏水流和积水在多数时段具有明显的红外特征,较容易辨识。

4.3 安全监测

针对堤防险工险段定时监测及已处置险情跟踪监测等特殊应用场景,无人机通过预定航线自动定点拍照监测,实现精准复飞、定时监测,不同航次拍摄照片可保持较一致的拍摄距离、角度、焦距等参数,便于对比监测险情变化。而人工执行上述任务时,一般需要安排人员驻点连续观察。因此,无人机搭载双光镜头巡航探测渗漏险情相较于人工巡查,在巡查能力、夜间辨识、持续监测等方面有一定的优势。

5 结 语

(1)在试验条件下,渗漏险情渗出水流的红外成像具有较明显的温度差异,分布形状与实际基本对应,区域内部温度分布较均匀。无人机搭载双光相机,在晴朗的白天时,对标准管护的堤段,将红外热成像与可见光图像结合。夜间单独使用红外热成像,通过目视辨识方法可探测渗漏类堤防险情。

(2)在现有装备和软件条件下,无人机巡堤方式的巡查效率约为人工方式的3.5倍,且在夜间巡查、安全监测等任务中具有独特优势,信息化程度高,有效节约人力成本。

(3)无人机搭载双光镜头巡航探查堤防渗漏隐患,受天气、时段、干扰物种类及覆盖率等因素影响较大,须进一步进行实战应用,提高其准确性和工作效率。

参考文献:

- [1] 孙长城,廖鸿志. 2020年长江中下游堤防巡堤查险暗访督查实践与思考[J]. 水利水电快报, 2021, 42(1): 77-80.
- [2] 任杰,刘豪杰. 大坝下游河床潜流带温度场的影响因素研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2019, 17(1): 244-247.
- [3] 安文强,王春艳,孙昊,等. 红外探测系统中探测波段的选择对比分析[J]. 长春理工大学学报(自然科学版), 2018, 41(2): 76-79.
- [4] 姜孟津,任一支,段晨健,等. 无人机在次生灾害巡查中的优化运用[J]. 数学的实践与认识, 2018, 48(15): 46-54.