

非接触式污染道面积水监测技术追踪

刘泽宇 王蕴智 周冰茵 魏 豪

(中国民航大学交通科学与工程学院, 天津 300300)

摘要: 污染道面起降是机场运行面临的突出问题, 与跑道积水相关航空安全事故占比突出, 开展污染道面积水监测研究对保障飞机起降安全至关重要。当前, 民航采用跑道状况评估矩阵(简称RCAM)对污染物类型及厚度标准给出详细规定, 但缺乏获取道面污染状况手段, 可导致飞行员对飞机姿态控制和滑跑距离产生误判。对此, 本课题开展一种非接触式道面积水监测装置研究, 通过电阻传感获取液位信息, 为RCAM评估提供数据支撑。

关键词: 污染跑道; 道面积水; 实时检测; 浅水方程

一、污染道面监测目的

(一) 道面污染物主要危害

“安全”是民航业的生命线。随着航空运输业的迅速发展, 国内外飞机在污染跑道起飞和着陆过程中发生冲、偏出跑道事故及事故征候时有发生。飞机起飞、滑行和着陆阶段是航空事故高发阶段。据统计, 20世纪90年代以来到21世纪初, 发生在滑行、起飞和着陆阶段的事故占总事故的百分比高达64%, 而死亡事故占总事故总数10%, 在数百起地面飞行事故中, 湿跑道和污染跑道所造成的地面失事超过50%。受污染跑道表面状况评估和报告不准确、不及时, 造成制动性能下降, 是飞机冲偏出跑道的主要因素之一。因此, 对污染跑道状况进行及时准确地评估, 对保障飞行安全具有重要意义。



图1 污染道面飞机冲偏出跑道事故

(二) RCAM 污染评估规定

在受污染的跑道上运行, 飞机的操纵性和稳定性都会受到道路污染的影响。为了飞机运行安全, 可以依据跑道状况评估矩阵(Runway Condition Assessment Matrix, 简称RCAM)评估跑道状况, 改善机场在恶劣的天气下运行的安全性。跑道表面状况主要包括跑道状况代码、污染物的种类、深度和覆盖范围。RCAM以飞机制造商提供的飞机性能数据为基础, 以标准格式显示每种规定的污染物类型和深度。RCAM用与污染物类型和深度类别直接相关的客观评估代替跑道表面状况的主观判断。跑道污染物评估是以污染物属性为基础, 机场运营人对跑道表面状况所作的综合性判断, 反映到结果上就是跑道状况代码(RwyCC), 跑道状况代码反映的是依据跑道表面状况得到的跑道制动能力。

RCAM评估跑道表面状况的基本流程可以分为三步: (1) RCAM适用性; (2) 应用评估标准; (3) 验证RwyCC。在步骤一中, 首先确定跑道是否每三分之一段污染物覆盖率都超过了10%, 如果没有则不需要对该条跑道进行评估。若超过, 则确定每个三分之一跑道, 污染物并分配跑道状况代码。然后确定是否要对跑道状况代码降级或升级。若不需要, 直接通过FICONNOTAM报告污染物和跑道状况代码。最后将所分配, 代码与工程经验所得出的

抗滑能力做对比, 根据其他观测结果决定是否降级或升级。如果跑道某三分之一段道面干燥或覆盖的污染物少于10%, 该段跑道状况代码为6, 不报告污染物, 相应的跑道三分之一段填入“无”来表示。

(三) 当前存在问题

当跑道积水或覆盖污染物时, 跑道开放关闭标准不好把握。根据《民用机场运行安全管理规定》(CCAR-140)第八十四条规定: “当跑道上积雪或者局部结冰时, 如跑道摩擦系数低于0.30, 应当关闭跑道。跑道开放运行期间下雪时, 应当根据雪情确定测试跑道摩擦系数的时间间隔, 并及时对跑道进行除冰雪作业, 保证跑道摩擦系数不低于0.30”, 《民用机场飞行区技术标准》(MH5001-2006)附件D明确要求不同跑道摩擦测试设备测定摩擦系数时最低测试速度不得低于65km/h。但是, 在跑道道面情况不佳、摩擦系数处于0.30临界值边缘时, 摩擦系数车在跑道行驶速度不能达到正常测量所规定的65km/h, 因此无法保证测量数据真实性。

二、积水检测技术原理

地理式液位监测仪采用埋地式安装, 不受地形限制; 通过物联网技术实现云平台监测预警。能够应用于积水监测领域, 可实时监测低洼路段的积水情况, 构建完善的预警系统, 为机场的防灾指挥调度决策提供跑道积水实时信息, 同时为机场分析提供相应数据; 为机场跑道飞机起降提供预警提醒, 避免公众生命财产遭受损失。

(一) 传感原理与测量方式

通过数据分析, 能够发现水的电阻率通常小于 $1M\Omega$, 而空气电阻率大于 $1000M\Omega$, 两者的电阻率差距悬殊。根据空气和水的电阻率, 将被监测区域划分为两个不同区域, 积水越多, 积水的深度越深, 再由传感器设备内部的锂电池将机场道面积水在不同深度下具有的不同电阻、电导率转化成不同的电流/电压, 从而将积水深度和相对应的电阻对应, 建立起变化图像, 再由内置的通信系统传输至终端, 进而实现对机场跑道积水深度的监测。

在设备内部装上芯片和电池后置入待测点, 并在待测点附近装上基站, 进行实时感应。当待测点出现积水后, 设备内部的传感器便将当前的积水厚度转化成不同的电流/电压, 再转化成通过信号发送到指挥部。多个待测点就能够组成机场跑道积水的实时图像。由于将设备埋置于跑道下, 因此不受地形空间限制, 能够将设备装置在恰当的积水点, 采集最有效的数据。电阻式传感器利用液体的电阻性来改变电流/电压, 因此不受机场车辆、泥土等外在影响, 测量数据相对准确。

(二) 污染物量程和测量精度

地理式液位监测仪通过积水探测器非接触式监测道面积水深度, 通过内置GPRS/4G/NB-IoT等通信方式上报至云服务器, 为

行业用户指挥决策提供数据支持,提升城市水文监测能力。同时可通过 LoRa 通信方式传送至附近监测主机进行现场预警指示。工作具体方式如图 2 所示。

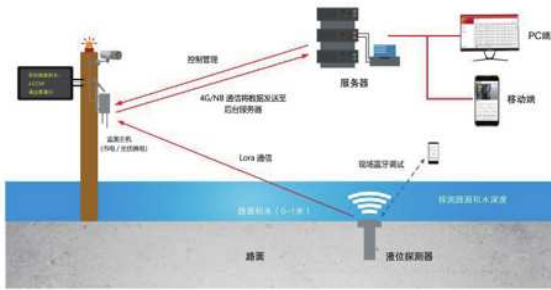


图 2 非接触污染物传感系统

传感器通过内置锂电池和太阳能电池板供电,由于积水深度不同会导致其在设备环路内产生电阻不同,同时又因为所使用的传感器受限于电场、磁场、振动、辐射、气压、声压、气流等的影响,因此在跑道积水进行监测时,受限于水下电磁波被屏蔽——超过 1m 电磁波信号无法发送出来,导致设备测量的最大量程为 1m。设备分辨率目标设定 1mm,测量精度为 0.5%。

(三) 数据记录与远程控制

传感器在没有积水时不采集信息,进入“待机”状态,减少用电,延长使用寿命。当有积水时,传感器检测积水状态,进行积水探测。设备采集周期定时采集水位,水位量程 1m。采集水位的数据包括水位、水位计状态。设置水位参数:水位计量程、水位上下限。多个采集频度自动控制,水位越高采集越频繁。可保存不少于 10 万条数据记录,掉电数据不丢失。可控制现场 LED 诱导屏预警指示和现场摄像机拍照上报。测控终端可以对仪表的水位信息,进行采集、存储、处理等。

传输方式为无线传输:通过 GPRS 方式传输数据,测控终端具有长期在线、即时通信特点。终端能够接收设备定时发送的数据。设备具有 GSM 短信备用信道并且支持同时向多个中心上报。上报方式为主动上报和上位机问讯。主动上报即监测点测控终端主动向中心发送测点数据,包括定时上报、告警主动上报;上位机问讯即远程召测包括定时召测、即时召测,是指监控系统下发命令召测监测点测控终端数据。设备应具备远程操作与维护功能。

三、积水分布与监测设计

(一) 道面积水分布计算

道面表面径流一般来说属于由降雨造成的二维非恒定流,道面积水厚度由降雨强度为主要决定因素,受到道面坡度、道面宽度、道面平整度、道面所处的地形地貌和道面排水设施等因素的影响。对于机场道面而言,为了满足飞机起飞和降落的平稳运行,道面平整度很好,排水设施的制作也一直在改进中;机场道面选址区一般在平原,即便是高原地区修建机场也会将修建区域平整完毕后再行修建。对于常见 4F 和 4E 等级机场道面,纵坡长度大于 1800m,横坡长度在 45m 到 60m 之间,可以看出机场道面的水平尺度要远远大于垂直尺度,道面径流深度只在数 mm 之间,要远远小于道面分布面积,所以可以近似的采用二维浅水方程进行简化处理。

(二) 道面积水边界条件

使用 Matlab 等计算模拟软件进行道面积水厚度计算,需要根据现有的跑道设计规范和标准设定边界条件,方便编程与计算。

如前文降雨强度是对道面积水厚度影响最大因素,道面径流主要来源就是降雨。道面积水厚度主要受到短时强降雨的影响,

因此,在研究资料后显示,根据吴建军教授的《短时强降雨对能见度的影响》一文中描述道:当达到每 3 小时降雨量超过 50mm 时的降雨强度会导致道面积水过深,此时便可以用此作为降雨强度的边界条件

当前道面结构材料多为沥青混凝土,此种材料粗糙度较大,相对于水泥混凝土透水性强。根据粗糙系数取值表和 MH/T5036-2017 民航机场排水设计规范,沥青混凝土粗糙系数取 0.015;根据国际民航公约附件-14,机场道面纵横坡和宽度规定取 100m;机场道面宽度取 45m,由于机场道面以中轴对称,为方便取一半 22.5m 计算。

机场道面坡度包括纵坡与横坡,除了少数特殊条件下机场需要进行特别设计以外,纵坡坡度可近似视为 0。对于横坡坡度而言,根据国际民航公约附件-14 要求,在跑道基准道面代号为 C-F 的机场跑道,其理想条件为 1.5%,但是由于实际施工情况不会圆满的满足 1.5% 横坡坡度的要求,分别取 1.3% 和 1.7% 为横坡坡度更符合实际条件。

(三) 积水分布模拟与监测

采用 Matlab 商业数学软件进行道面积水分布模拟计算。共考虑 1.3%、1.5% 和 1.7% 三种横坡坡度情况。拟合曲线积水分布规律,作为非接触式污染道面积水监测方案设计依据。测点布置在靠近道面边缘处。降雨来临后通过地表横坡径流在监测装置附近快速积聚水膜并测得污染物厚度,通过装置内置积水分布耦合函数推测道面横向各点(如接地带)单点污染物厚度(图 3),为 RCAM 流程提供评估依据,从而最大程度确保飞机起降安全。

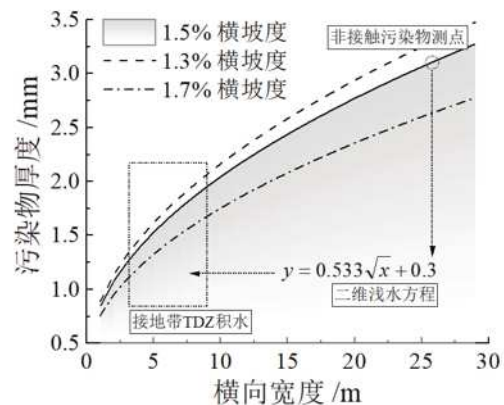


图 3 非接触式积水监测方案设计

四、结论

污染道面起降是机场运行面对的突出问题,与跑道积水相关航空安全事故占比突出,开展污染道面积水监测研究对保障飞机起降安全至关重要。当前,民航采用跑道状况评估矩阵(简称 RCAM)对污染物类型及厚度标准给出详细规定,缺乏获取道面污染状况手段,可导致飞行员对飞机姿态控制和滑跑距离产生误判。对此,本课题开展一种非接触式道面浸水监测装置研究,通过压力传感获取液位信息,为 RCAM 评估提供数据支撑。

参考文献:

- [1] 张理,张卓.路面坡度对水膜厚度的影响分析[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2013(3):404-406,423.
- [2] 吴建军,袁成松,周曾奎,等.短时强降雨对能见度的影响[J].气象科学,2020(2):274-278.

课题研究工作是在大学生创新创业训练计划项目(编号:202110059165)资助下完成的。