

无人机技术综述及在水利行业的应用

刘昌军^{1,2} 郭 良^{1,2} 兰骐东³ 赵炎增⁴

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038; 2. 水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心, 北京 100038;

3. 北京市京密引水管理处, 北京 101400; 4. 河南省水文水资源局, 郑州 450003)

摘要:以无人机技术在水利行业的应用为核心, 简述了无人机技术的应用领域、关键技术及应用前景。在总结无人机类型及系统组成、我国民用无人机的发展现状和应用技术的基础上, 深入研究了水利行业无人机技术的应用范围和关键技术。无人机技术可在高精度地形数据获取、防汛抗旱、抢险救灾、水土保持监管、河道监管、水生态保护、动土监测、山洪灾害调查评价、水利工程设计、岩土勘察、水文分析和水利文物保存等水利行业的多个领域进行应用, 具有较好的应用前景。

关键词: 无人机; 激光雷达; 防汛抗旱; 河道监管; 水土保持

中图分类号: V279; P237; TV21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-9264(2016)03-34-06

DOI: 10.16867/j.cnki.cfdm.2016.03.012

1 引言

无人驾驶飞机简称“无人机”, 英文缩写为“UAV”, 是利用无线电遥控设备和自备的程序控制装置操纵的不载人飞机^[1]。无人机航测具备云下作业、高现势性、小范围、高清晰、大比例尺、小型轻便、高效机动的特点, 广泛应用于基础测绘、应急救援、突发事件处置、巡查监管、影视制作等领域。

我国无人机市场经历了30年从军用到民用的发展, 逐步形成了军工企业、民营企业相互结合的无人机应用新局面。军工企业利用专业和技术优势逐步涉足民用领域, 民用企业也逐步研发专业的无人机系统。我国无人机发展主要经历了3个阶段^[2-3]: (1) 20世纪80年代前, 此阶段的无人机多为军用无人机, 应用也为军用需求, 无人机的应用以科学实验和航拍测图等为主。此时无人机控制系统及航拍数据快速处理技术不成熟, 风险较大, 成本较高。(2) 20世纪90年代至2005年, 此阶段无人机系统多为民用专业级的无人机系统。随着对国外民用无人机的引进和国产民用无人机

的发展, 各行各业也开始进行了民用无人机技术的应用探索, 此时的无人机多为低端民用小型的专业级无人机。

(3) 2007年至今, 是无人机快速发展的10年, 民用消费级的无人机技术已逐步走向成熟, 开始广泛应用于各行各业。

近年来, 随着国产无人机企业的快速发展和旋翼无人机技术的快速崛起, 我国的消费级无人机企业开始受到全球的广泛关注, 并在全球消费级无人机市场占领较大份额。

随着多旋翼无人机在专业市场的应用增多, 多旋翼无人机成为民用无人机的主流机型, 在航测、农业、水利、环境、物流、防灾减灾、影视制作等各行各业得到广泛应用^[4]。

详细介绍了无人机分类及系统组成, 不同类型无人机应用领域及关键技术。结合水利行业应用需求, 重点介绍无人机技术在水利行业不同领域的应用案例和应用技术, 为进一步推动无人机航测技术在水利行业的应用提供借鉴。

2 无人机系统组成及分类

2.1 无人机系统组成

无人机系统又称为无人机驾驶航空器系统(UAS,

收稿日期: 2016-05-14

第一作者信息: 刘昌军, 男, 博士, 高级工程师, E-mail: lcj2005@iwhr.com。

基金项目: 全国山洪灾害调查评价无人机遥感技术应用示范项目(1261430112001); 山西省煤矿采空区特殊下垫面的下渗机制研究及采空区产汇流成果应用项目; 河南省山洪动态预警关键技术研究与应用项目; 北京市无人机航测技术应用项目。

Unmanned Aircraft System),是指由一架无人机、相关的遥控站、所需的指挥与管制链路以及批准的型号设计规定的任何其他部件组成的系统^[5]。无人机系统组成见图1。

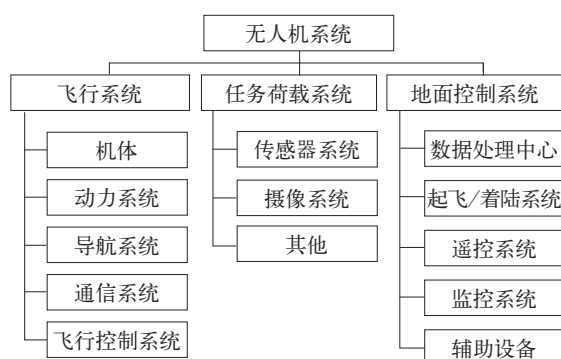


图1 无人机系统组成

无人机搭载传感器不同,得到的数据成果也不同。无人机可搭载摄像机、相机、激光雷达等一种或几种不同传感器设备,可同时得到影像、照片和激光雷达点云等不同数据,结合GPS、惯导系统可快速进行数据拼接和转换。

2.2 无人机分类

无人机按不同标准可划分为不同类型,常规的无人机可按以下进行分类^[6-8]。

(1)按应用领域分类:无人机可分为军用无人机和民用无人机。民用无人机包括专业级无人机和消费级无人机。专业级无人机应用于商业、公共管理、科研等行业领域;消费级无人机应用于大众消费者。

(2)按动力源分类:无人机可分为油动和电动两种。油动无人机优点是续航时间长,但存在安全隐患,坠机可能引发火灾;而电动无人机则安全得多,但受限于电池,续航时间较短。

(3)按外形结构分类:无人机可分为旋翼无人机、固定翼无人机和无人直升机,其他还包括无人飞艇、无人伞翼机和仿生无人机。旋翼无人机的螺旋桨数量越多,飞行越平稳,操作越容易。可折叠、垂直起降、悬停,对场地要求低;固定翼无人机采用滑跑或弹射起飞,伞降或滑跑着陆,对场地有一定要求,其巡航距离、载重等指标明显高于旋翼无人机;无人直升机体型较大、油动驱动、需要专业操作人员操控。

(4)按照载荷(或飞机重量)和续航时间分类:无人机可分为大型无人机、中型无人机、小型无人机和超轻型无

人机4种。大型、中型无人机可载重20 kg以上,巡航2 h以上,可使用摄影平台和测量级姿态定位系统;小型和超轻型无人机载重较小,一般小于5 kg,续航时间小于1 h,飞行姿态差。

(5)按照飞行半径分类:无人机可分为超近程无人机、短程无人机、中程无人机和远程无人机。超近程无人机活动半径在15 km以内,近程无人机活动半径为15~50 km,短程无人机活动半径为50~200 km,中程无人机活动半径为200~800 km,远程无人机活动半径大于800 km。

(6)按照飞行任务高度分类:无人机可分为超低空、低空、中空、高空和超高空5类。超低空无人机任务高度一般为0~100 m,低空无人机任务高度一般为100~1 000 m,中空无人机任务高度一般为1 000~7 000 m之间,高空无人机任务高度一般为7 000~18 000 m之间,超高空无人机任务高度般大于18 000 m。

3 无人机系统应用领域与优劣势

3.1 无人机系统应用领域

无人机在警用、能源、国土资源、水利、农业、林业、电力、商业、医疗、防灾减灾、娱乐和物流等领域得到越来越广泛的应用^[9],具体应用行业及案例见图2。

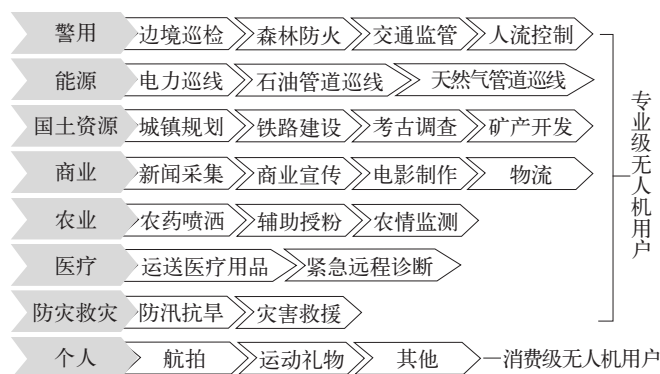


图2 无人机应用行业及案例

3.2 无人机技术应用优势

无人机技术应用优势^[10]如下。

(1)现场作业速度快、数据精度高,可同时获取高精度航拍数据和点云数据,适合小范围高精度数据获取。无人机搭载激光雷达设备,可穿透树木与植被得到地表信息;可通过对点云数据的分类处理,结合高分辨率影像数据,

快速和自动得到测区的数字高程模型(DEM)数据、线划图(DLG)数据、数字正射影像(DOM)数据等。

(2)实施周期短,成本低,能够得到地表和地面的各种高精度数据,可弥补人工实测效率低、不连续、不直观的缺点。

(3)利用专业数据处理软件,通过对航拍数据、点云数据及反射强度信息等得到水利、岩土、交通、林业、国土等行业的专用数据产品及参数数据,结合行业专业分析模型,可进一步拓展其应用范围。

3.3 无人机技术应用的不足因素

虽然无人机具有云下作业、高现势性、小范围、高清晰、大比例尺、小型轻便、高效机动的优势,但在行业标准、监管体系、安全问题、产业链和关键技术等方面存在影响其快速发展的不利因素^[7]。具体如下:

(1)行业标准。民用无人机生产和使用尚缺乏一定的标准,如生产标准、市场准入标准、无人机频谱标准等。

(2)监管体系。民用无人机的适航认证管理、飞行管制、从业人员管理等使用监管法律体系有待完善。

(3)安全问题。由于无人机缺乏一定的行业标准和监管体系,从业人员素质差异较大,因此易带来国家安全、公共财产安全、人身安全等问题。

(4)产业链。民用无人机产业链需要进一步提升,企业研发成本高,标准化低,商业应用需进一步扩展。

(5)关键技术。民用无人机的飞控技术、电池技术、适应环境能力、飞行半径、通信导航系统、航拍数据拼接与处理技术、行业应用数据处理技术及产品等关键技术需进一步突破。

4 在水利行业的应用案例及关键技术

4.1 无人机航测数据获取与处理

民用无人机技术应用最为成熟也最为广泛的是进行航测,利用搭载的照相机、激光雷达等设备进行快速获取航测的照片和激光雷达数据,经过空三加密或航空照片的自动拼接进行DEM、DOM、DLG等测绘产品数据的加工与生产。还可以用于建筑物建模、文物建模等三维场景模型的自动建立。图3为无人机航测技术流程图。

4.2 山洪灾害调查评价

为支撑各地山洪灾害项目建设,提高现场调查工作效

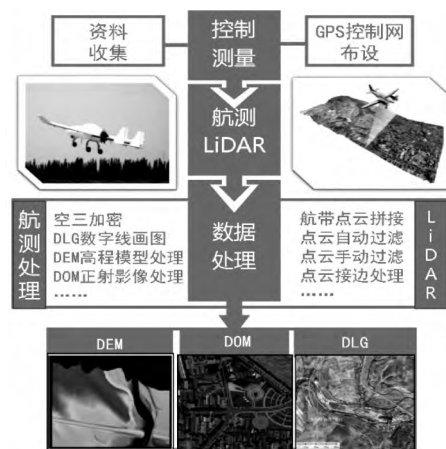


图3 无人机航测技术流程图

率,笔者在北京、江西、湖南、河南、安徽、贵州、广西、黑龙江、广东等省(自治区、直辖市)的典型山丘区小流域,应用无人机搭载激光雷达量技术进行调查评价示范应用和推广工作。在示范流域内获取了山洪灾害防治区高精度基础数据,主要包括0.2 m分辨率的影像数据,1 m×1 m的高精度DEM数据,1:2 000地形图,居民户位置和高度及人口分布,河道纵横断面数据,提取了小流域下垫面条件和糙率参数等各种数据,为山洪灾害分析评价工作提供了高精度基础数据支撑。

另外,笔者开展了基于激光雷达数据反射强度信息进行湿润河道提取和土壤含水量反演理论方法的研究,获得了较好的研究成果;利用激光雷达数据研究了微地形及不同DEM网格大小对水文模型计算的影响,开展了基于物理机制的小流域暴雨洪水的水文学方法、水力学方法等多种方法对比研究,研究了不同计算方法和尺度效应对小流域暴雨洪水过程的影响;开展了基于无人机航测数据的小流域防灾对象的三维建模和三维洪水过程仿真研究,探索大数据应用技术,都取得了较好的应用成果,为激光雷达在调查评价工作和小流域洪水计算方面的应用提供了技术支撑(图4)。



图4 无人机技术在山丘区小流域洪水计算中的应用

无人机在山洪灾害调查评价工作应用关键技术及有关成果详见文献[11-14]。

4.3 水土保持监测评价

在水土保持行业,无人机可与新一代高分辨率对地观测系统结合,形成空天地一体化水土保持监测评价。无人机航测可用于土壤侵蚀定量监测与评价,水土保持治理措施监测与评价和生产建设项目水保监测等方面^[15-16]。

基于无人机高分辨率影像数据的水土保持监测评价总体技术路线见图5。

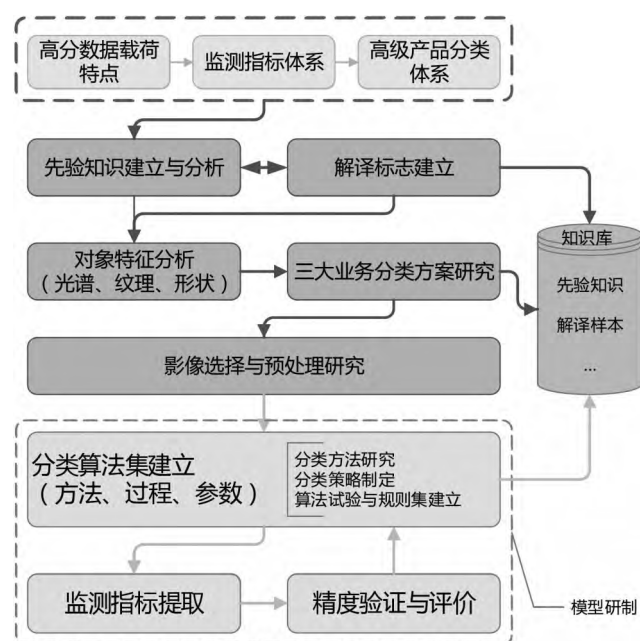


图5 水土保持监测评价总体技术路线

另外,笔者和同行利用无人机高分辨率数据,开展了基于神经网络的深度学习理论方法进行生产建设项目动土监测的自动识别研究(图6),该方法具有以下几个方面的优势:(1)计算量小,主要计算仅针对第二时相影像,第一时相影像仅在局部范围内计算;(2)特征选择自动化,特征交给深度学习训练得到;(3)针对性强,仅针对关心的敏感目标做监测;(4)变化图斑规则,识别以矩形窗口进行;(5)不容易生成琐碎图斑,可扩展性强,换识别模型则换监测对象。

图7给出了北京某生产建设项目动土监测结果。采用的方法主要是针对第二时相影像进行敏感目标识别,敏感目标包括:建筑物、道路和初期工地3种。初步识别结果为将训练得到的识别模型应用于第二时相,采用滑动窗口的

方式得到的初步目标窗口位置;合并识别结果指将上述初步目标窗口中空间相邻、类别相同的窗口合并为更大的区域。

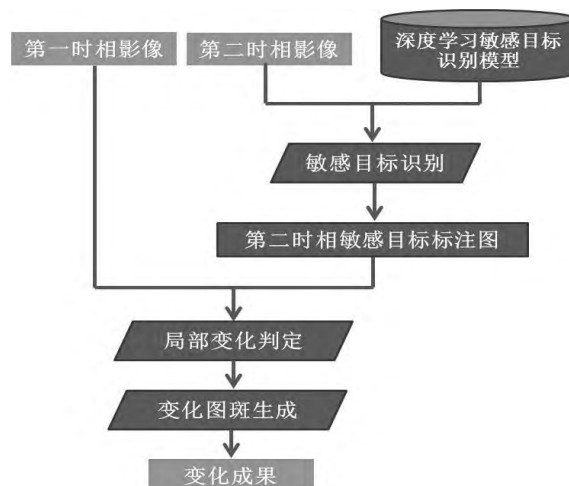


图6 动土变化识别流程图

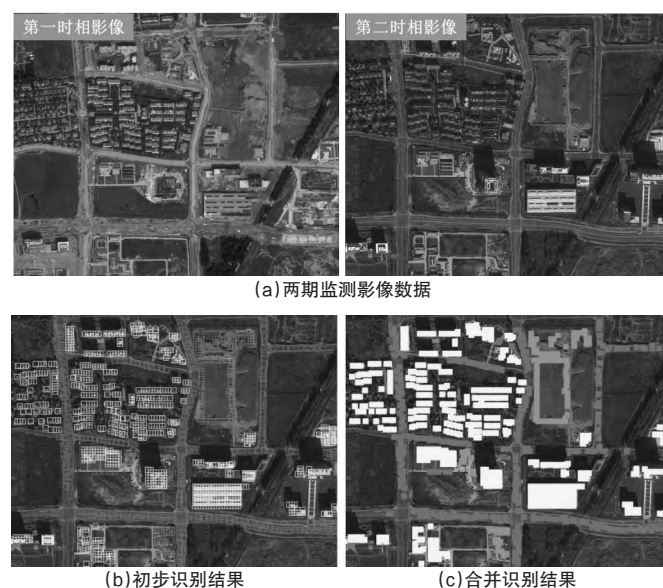


图7 无人机进行动土监测应用案例

4.4 河道监测与监管

应用无人机技术可进行河道监管,对河湖水库的水体信息和水利工程进行动态监测,监测频次可根据需要调整,并根据监测结果,撰写水情遥感动态监测简报。河湖水库水体信息监测内容包括:河道有水长度和水面宽度、水库湖泊水面面积、河湖水体富营养化或浊度、大面积漂浮物等。无人机可用于水利工程管辖范围内疑似违章建筑、违规种植与开发利用、垃圾倾倒、非法采砂等事件的辅助

监察,提取位置和范围等信息^[17-18],为水行政执法管理提供技术支撑。图8为利用无人机航测技术进行珠江流域、黑龙江等河道监测成果。

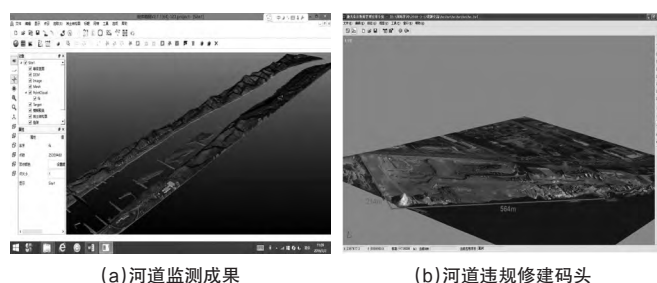


图8 无人机技术在河道监管中应用

4.5 防洪抗旱减灾

无人机技术在防洪抗旱减灾领域发挥了重要作用,可用于滑坡、山洪灾害、城市洪水、堤坝溃决、旱情监测、地震、滑坡等引发的堰塞湖等方面的监测。近年来,笔者和同行利用无人机技术在鲁甸地震、辽宁清源山洪灾害、黑龙江大洪水、黑龙江同抚大堤八岔段溃堤、湖南怀化暴雨洪水灾害、福建泰宁滑坡等防洪减灾领域进行了无人机航拍及三维模型建立,为防洪减灾提供了一手资料,发挥了较大作用(图9)。

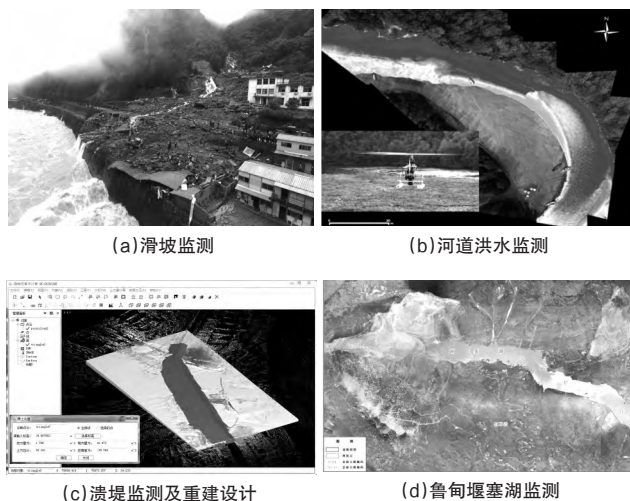


图9 无人机在防洪抗旱减灾中的应用案例

4.6 水利工程

无人机搭载相机、激光雷达等测量设备,可进行水利工程坝址区地形图测量、高陡边坡勘察、隧道建模与设计、危岩体识别、岩体体积计算和挖填方计算、岩体变形与设

计、岩体结构面统计分析、裂隙岩体和边坡应力、渗流等有限元计算、边坡变形监测、水库大坝三维建模及水利工程遗址保护等^[19-23]。

5 应用前景与展望

(1)民用无人机行业监管法律体系将进一步完善,产业链逐步成熟,生产成本将大幅下降,专业应用软件将逐步成熟和完善,专业级无人机市场潜力巨大,各个细分领域将不断壮大,在航拍、国土资源、能源、农业水利工程等领域将会得到更加广泛的应用。

(2)民用无人机产品将向小型化、智能化、任务荷载多样化发展,续航时间将得到大幅提升;飞行半径、高度不断扩展;民用无人机处理器技术逐渐成熟,智能化水平提升,民用无人机将具有更加广阔的应用前景。

(3)专业无人机操作复杂、保养难、飞控要求高,未来需要更多操作人员和专业应用人员,并需要专业的服务人员 and 公司提供无人机服务。未来结合更加细化的行业需求,需要开发定制更广泛行业的数据处理软件及提供软硬件定制化服务。

(4)专业无人机本质上是数据采集工具,可作为云计算和大数据服务的节点,提供前端的数据采集工作,为各行业提供实时、高精度的基础数据支撑。

(5)无人机技术在水利行业的各领域已开始探索性应用,未来结合水利行业的应用需求和专业技术的开发,无人机技术会进一步拓宽其应用范围,具有较大的应用前景。

参考文献

- [1] 吕厚谊.无人机发展与无人机技术[J].世界科技研究与发展,1998,20(6):113-116.
- [2] 秦博,王蕾.无人机发展综述[J].飞航导弹,2002,8:4-10.
- [3] Jeremiah U. Unmanned Aerial Systems[R].U S Congressional Research Service, USA,2012.
- [4] 金伟,葛宏立,杜华强,等.无人机遥感发展与应用概况[J].遥感信息,2009(1):88-92.
- [5] 李德仁,李明.无人机遥感系统的研究进展与应用前景[J].武汉大学学报(信息科学版),2014,39(5):505-513.
- [6] 孙绍红.无人机,“尖兵之翼”[J].世界知识,2015(6):64-65.
- [7] 陶于金,李沛峰.无人机系统发展与关键技术综述[J].航空制造技术,2014(20):34-39.

- [8] Wehr A, Lohr U. Airborne laser scanning—an introduction and overview[J]. ISPRS Journal of Photo-grammetry & Remote and Sensing, 1999,54(23): 68–82.
- [9] 李磊,熊涛,胡湘阳,等.浅论无人机应用领域及前景[J].地理空间信息,2010,8(5):7–9.
- [10] 范承啸,韩俊,熊志军,等.无人机遥感技术现状与应用[J].测绘科学,2009,34(5):214–215.
- [11] 郭良,刘昌军,丁留谦,等.开展全国山洪灾害调查评价的工作设想[J].中国水利,2012(23): 10–12.
- [12] 刘昌军,郭良,岳冲.无人机航测技术在山洪灾害调查评价中的应用[J].中国防汛抗旱,2014,24(3):2–8.
- [13] Liu Changjun, Li Jian, Ding Liuqian, et al. A Point Clouds Filtering Algorithm Based on Grid Partition and Moving Least Squares [C] //2012 International Conference on Modern Hydraulic Engineering, Nanjing:[s.n.].2012:476–483.
- [14] 刘昌军,黄乾,唐瑜,等.基于FCM的机载LIDAR数据的建筑物和植被分类方法[J].中国水利水电科学研究院院报,2013,(3):189–194.
- [15] 杨恺.无人机遥感技术在开发建设项目水土保持监测中的应用[J].陕西水利,2013(4):145–146.
- [16] 松辽水利委员会松辽流域水土保持监测中心站.无人机遥感技术在水土保持监管中的应用[J].中国水土保持,2015,(9):73–76.
- [17] 靳雷,刘洋,张硕,等.无人机遥感系统在某河流域环境监测项目中的应用[J].环境保护与循环经济,2013(8):55–57.
- [18] 洪运富,杨海军,李莹,等.水源地污染源无人机遥感监测[J].中国环境监测,2015,31(5):163–166.
- [19] 刘昌军,丁留谦,孙东亚.基于激光点云数据的岩体结构面全自动模糊群聚分析及几何信息获取[J].岩石力学与工程学报,2011,30(2):358–365.
- [20] 刘昌军,赵雨,叶长锋,等.基于三维激光扫描技术的矿山地形快速测量的关键技术研究[J].测绘通报,2012,(6):43–46.
- [21] 刘昌军,张顺福,丁留谦,等.基于激光扫描的高边坡危岩体识别及锚固方法研究[J].岩石力学与工程学报,2012,31(10):2139–2146.
- [22] 刘昌军,赵华,张顺福,等.台兰河地下水库辐射井抽水过程的非稳定渗流场的有限元分析[J].吉林大学学报(地球科学版),2013,43(3):922–930.
- [23] 刘昌军,刘会玲,张顺福.基于激光点云直接比较算法的边坡变形监测技术研究[J].岩石力学与工程学报,2015,34(S1):3281–3288.

Application review and prospects of UAV technology

Liu Changjun^{1,2}, Guo Liang^{1,2}, Lan Sidong³, Zhao Yanzeng⁴

(1.China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038,

2.Research Center on Flood and Drought Disaster Reduction, Ministry of Water Resources, Beijing 100038,

3.Beijing-Miyun Water Management Office, Beijing 101400,

4.Flood Control and Drought Relief Headquarters of Henan Province, Zhengzhou 450003)

Abstract: Taking application of unnamed aerial vehicle (UAV) technology in water conservancy industry as the core, this paper briefly describes the application areas, key technology and application prospects of UAV technology. On the basis of the summary of UAV types and system composition, as well as review of current development status and application of civil UAV technology in China, UAV application scope and key technologies in water conservancy industry are systematically studied. UAV technology can be applied in high-precision terrain data acquisition, flood control and drought relief, emergency response, water/soil conservation and supervision, river regulation, water conservation, groundbreaking monitoring, flash floods disaster investigation and assessment, project design, geotechnical investigation, hydrological analysis and hydraulic heritage preservation. UAV system has excellent prospects in all the water industry areas.

Keywords: Unnamed aerial vehicle (UAV); laser radar; flood control and drought relief; river regulation; water and soil conservation

责任编辑 田亚男