

DOI: 10.5846/stxb201611082269

李新, 刘绍民, 孙晓敏, 吴冬秀, 周燕, 郭建文, 温学发, 陈世革, 马明国, 晋锐, 赵宁. 生态系统关键参量监测设备研制与生态物联网示范. 生态学报, 2016, 36(22): - .

Li X, Liu S M, Sun X M, Wu D X, Zhou Y, Guo J W, Wen X F, Chen S P, Ma M G, Jin R, Zhao N G. Innovative development of equipments and internet-of-things techniques for ecosystem monitoring and its demonstration. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(22): - .

生态系统关键参量监测设备研制与生态物联网示范

李 新¹, 刘绍民², 孙晓敏^{3, 7}, 吴冬秀⁴, 周 燕⁵, 郭建文¹, 温学发³, 陈世革⁴, 马明国⁶, 晋 锐^{1, *}, 赵 宁¹

1 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000

2 北京师范大学, 北京 100875

3 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

4 中国科学院植物研究所, 北京 100093

5 中国科学院半导体研究所, 北京 100083

6 西南大学, 重庆 400715

7 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: 本文主要介绍国家重点研发计划“典型脆弱生态修复与保护研究专项”2016 年首批立项的重点专项“生态系统关键参量监测设备研制与生态物联网示范”(2016YFC500100) 的项目立项背景、主要研究内容及总体目标。本项目紧密围绕国家生态监测需求, 与国际上生态监测科学技术前沿并跑, 研发生态系统关键参量监测设备和生态物联网关键技术, 开展示范和产业化推广, 推动我国生态监测技术的自主创新, 服务我国脆弱生态修复与保护需求, 增强我国生态监测的立体化、自动化、智能化水平, 满足国家实时生态监测的需求。

关键词: 生态监测设备; 生态监测物联网; 脆弱生态

Innovative development of equipments and internet-of-things techniques for ecosystem monitoring and its demonstration

LI Xin¹, LIU Shaomin², SUN Xiaomin^{3, 7}, WU Dongxiu⁴, ZHOU Yan⁵, GUO Jianwen¹, WEN Xuefa³, CHEN Shiping⁴, MA Mingguo⁶, JIN Rui^{1, *}, ZHAO Ning¹

1 Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

2 Beijing Normal University, Beijing 100875, China

3 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

4 Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

5 Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China 6 Southwest University, Chongqing 400715, China

7 University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China

Abstract: This paper introduces the background, research objectives and contents of a kicked-off project titled “Innovative development of equipments and internet-of-things techniques for ecosystem monitoring and its demonstration”. The project is funded by the Key Special Projects entitled “Rehabilitation and Protection of Typical Fragile Ecosystems in China” in the framework of National Key Research and Development Plan. To meet the requirements of national ecosystem monitoring and parallel the international science and technology frontiers of ecosystem monitoring, this project aims at developing some

基金项目:

收稿日期: 2016-11-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: inrui@lzb.ac.cn

innovative equipments and internet-of-things technologies for ecosystem monitoring. These equipments and internet-of-things technologies will be demonstrated in selected fragile ecosystems across China to verify their usefulness in constructing a real-time, stereo, automatic and intelligent ecosystem observing system. The eventual purpose is to enhance observation ability of ecosystems and therefore serve the national priorities in fragile ecosystem protection and rehabilitation.

Key Words: Ecosystem monitoring equipment; Internet-of-Things for ecosystem monitoring; Fragile ecosystem

1 引言

推进我国生态文明建设、实现脆弱生态修复与保护、构建国家生态监测网络体系,都急需监测设备和方法的自主创新与研发。国家《生态环境监测网络建设方案(2015年)》提出要“强化高新技术、先进装备与系统的应用,提高生态环境监测立体化、自动化、智能化水平”。然而,我国生态监测仪器存在严重依赖进口、观测自动化、智能化、网络化程度不高等瓶颈问题。目前,我国多种实验室原型机已展现出与国际先进仪器性能相当甚至超越的创新潜力,但其市场化程度甚低。因此,本项目在分析国家生态监测需求并参考国内外主要生态观测网络科学规划的基础上^[1-6],选择急需并可能取得重要突破的水热、土壤温室气体、植被、动物生态关键参量,开展仪器研发和物联网示范研究。

本项目将研制一系列监测生态系统水-土-气-生关键参量的新设备,构建基于物联网的天地一体化生态系统监测体系,打破国外技术垄断,实现我国生态监测技术的自主创新;并将实现对重要生态功能区的大范围、全天候、立体化监测,对推进我国生态文明建设具有重要支撑作用。

2 研究内容和关键技术方

2.1 主要研究内容

本项目的研究内容包括:

1、生态系统水热关键参量监测设备研制

针对蒸散发、植被蒸腾和土壤水分三个关键参量,研制以下“单株-群落-生态系统-景观”多尺度监测设备:

双波段闪烁仪:集成双波段电磁波传播技术、信号调制解调技术及微气象数据分析与控制等技术,研制双波段闪烁仪的硬件系统(近红外、微波波段的发射器与接收器等)与软件系统,并进行系统整合与

性能调试;在多种天气与下垫面条件下,开展野外检测,并对系统硬件与软件进行改进。

植物液流仪:针对不同植物类型,改进单株蒸腾量测算模型;研究建立间断加热情况下的热消散法液流解析解,提出热示踪法间断加热技术;研究与分析树木液流径向变化规律,研制“一针多点”探针式传感器;分析热平衡特征,研制包裹式传感器;进行野外测试,最终实现对多种植物(不同材性乔、灌木与农作物等)单株蒸腾量的测量。

非插入便携式土壤水分测定仪:基于高频振荡技术,研制0—40cm深度范围内点尺度、非插入、便携式土壤水分测定仪,研发基于FDR(Frequency Domain Reflectometry)的土壤水分传感器,集成国内外高精度微型数据采集与存储器、GPS(Global Positioning System)定位系统、可调式多类型无线传输与控制模块于一体,并研发数据采集、系统控制和数据检验与控制软件系统。

中尺度土壤水分测定仪:基于 He^3 宇宙射线中子捕获技术,研制700m直径范围中尺度土壤水分测定仪,集成国内外高精度探测器和高精度微型数据采集与存储器,并研发低功耗数据采集、系统控制和数据检验与质控系统。

2、土壤生物化学过程二氧化碳同位素综合观测系统研制

根据土壤生物化学过程温室气体(CO_2 和 $\delta^{13}\text{C}$)产生和输送的特点,基于稳定同位素红外光谱技术,兼顾野外原位连续观测和室内模拟控制观测的客观需要,研制直接测定土壤-大气界面 CO_2 和 $\delta^{13}\text{C}$ 通量的多通道双循环土壤呼吸 $\delta^{13}\text{C}$ 观测系统、直接测定土壤和大气 CO_2 和 $\delta^{13}\text{C}$ 垂直运动过程的土壤和大气 $\delta^{13}\text{C}$ 廓线协同观测系统、室内模拟变温条件下直接测定土壤有机质分解过程 CO_2 和 $\delta^{13}\text{C}$ 的土壤微生物呼吸 $\delta^{13}\text{C}$ 全自动变温模拟与测定系统共3个装置。

重点研发低浓度与高浓度温室气体(CO_2 和 $\delta^{13}\text{C}$)

C)兼顾的野外与室内仪器非线性响应的在线标定系统部件、多通道气路间的双循环的 CO_2 和 $\delta^{13}\text{C}$ 高效循环的关键气路部件、符合野外和室内试验特点的 CO_2 和 $\delta^{13}\text{C}$ 浓度预降低的关键气路部件、可模拟冻融过程的全自动变温系统部件。基于上述关键部件研发,开展三个装置的硬件与软件设计与研发、系统的调试与检验、野外和室外测试等。

3、植被关键参量自动监测设备研制

针对植被结构和生产力等表征生态系统健康状况的重要参数,研发自动化、多尺度监测仪器,包括:

冠层微细立体结构三维观测仪:基于微细立体结构的超分辨率三维成像方法以及叶片特征尺寸的反演算法,突破纳秒时间同步控制、图像增强处理等关键技术,实现冠层微细结构的三维成像。

分布式叶面积指数自动观测仪:改进植被冠层的叶面积指数分布式探测方法与技术,开发满足复杂空间异质性条件的真实叶面积指数实时算法软件,集成适合多种植被类型的叶面积指数分布式观测系统。

树木径向生长自动观测仪:通过高精度位移应变传感器的研发,结合温度补偿算法,集成无线传输模块实现植物径向生长高频、自动、组网观测。

活立木密度观测仪:建立微波信号特征与树木密度分布模型,集成微波信号发射、接收、定位、及无线传输功能器件,研制活立木密度地面测量设备。

植物物候自动观测仪:基于图像自动识别和光谱分析技术的植物关键物候期的精细提取算法,研发多光谱植物物候观测仪,实现对植物关键物候信息的自动、高频获取和无线传输。

4、陆生脊椎动物监测设备研制

针对现有动物监测系统中存在的数据离散、监测单一、难以量化等难题,重点研制以下设备:

双 CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) 红外原位立体相机:研究基于双目立体匹配的野生动物尺寸反演算法、复杂背景下双目立体视觉的图像匹配及矫正算法、夜间辅助照明及图像增强技术、上位机显示及信息处理技术、红外触发及时序控制技术,实现双 CMOS 相机研制。

小型脊椎动物侦测系统及触发传感器:基于传感器阵列的方位和距离获取技术、多模信息整合和处理技术,实现小型脊椎动物侦测系统及触发传

感器。

陆生脊椎动物全天候监测数据自动采集终端:研究基于物候传感器和红外立体相机的多传感器同步触发及控制技术,适应低温、高湿等复杂环境,满足实时监测与传输的持续供电技术;制定适应不同网络传输带宽的多类型数据分层存储的技术标准,并提供主动传输接口,与课题 5 研制的记录仪对接,实现数据的无线组网传输,构成具有综合管理功能的监测节点。

5、生态监测物联网关键技术研发

针对生态监测物联网应用体系中的几个核心环节开展关键技术研发,包括:

生态监测物联网标准体系:攻克生态监测物联网系统体系框架、数据采集、数据描述、数据融合、数据共享、传输接口等关键技术标准,形成一套组建规范化生态监测物联网系统的核心技术标准。

数据记录传输技术:设计自主硬件体系架构,开发嵌入式微处理器运行程序、各个外围电路的驱动程序及应用程序,优化性能测试,研制多通道、高精度、低成本的国产通用型生态监测数据记录传输仪。

远程无线组网与传输技术:研制低功耗长距离无线组网传输器件和中继设备,满足偏远无基站环境下生态监测物联网系统组网需求。

生态监测信息化技术:研究异源数据汇集接口、监测数据存储技术、数据自动预处理方法、数据在线可视化管理应用体系,研建以生态监测物联网标准为规范的生态监测信息系统平台。

6、生态监测设备产业化与物联网监测系统示范

在 4 类仪器研发和生态监测物联网关键技术研发内容完成室内测试的基础上,组织开展新研制仪器的中试,主要针对硬件、结构、软件、工艺、测试、维修、物料等方面开展验证,并评估研制仪器的可靠性、连续性、稳定性和适应性等参数,检测生态监测物联网的联网能力。

依托中国生态系统研究网络 (CERN: Chinese Ecosystem Research Network) 和中国科学院遥感试验与地面观测网络 (RSON: Remote Sensing Experimental Research and Ground-based Observation Network of Chinese Academy of Sciences), 在西北荒漠绿洲交接生态脆弱区、西南岩溶山地石漠化生态脆弱区、东北珍稀濒危野生脊椎动物保护区选择三个典型试验

场,部署新研制的生态监测物联网,开展植被生态系统及濒危脊椎动物监测示范,同时开展与同类型进口仪器的对比观测,获取示范区内新研制仪器和进口仪器的观测基础数据集,并针对不同脆弱生态区的科学问题开展数据应用。

以黑河流域生态水文综合试验场为依托,将新研发生态监测物联网与台站已有观测系统有机集成,形成天地一体化的综合监测系统。开展遥感-地面同步观测试验,检测生态监测物联网和已有观测系统的集成能力,实现生态、经济、社会等综合效益。

2.2 技术路线

如图1所示,项目研究内容的第一部分是15种

生态监测关键参量监测设备研发,第二部分是生态物联网关键技术研发,第三部分是示范应用和综合监测体系构建。项目将通过原始和集成创新,以新型生态监测设备研制为重点,物联网为集成方式,示范为检验手段,产业化为出口,通过产学研密切合作,完成预设的研究内容。第一部分的监测设备通过第二部分接入网络和信息系统。第三部分,一方面为监测设备和物联网提供中试基地,以辅助相关设备的定型和产业化;另一方面通过建立天地一体化的生态系统物联网监测体系,支持脆弱生态系统的实时、综合监测。

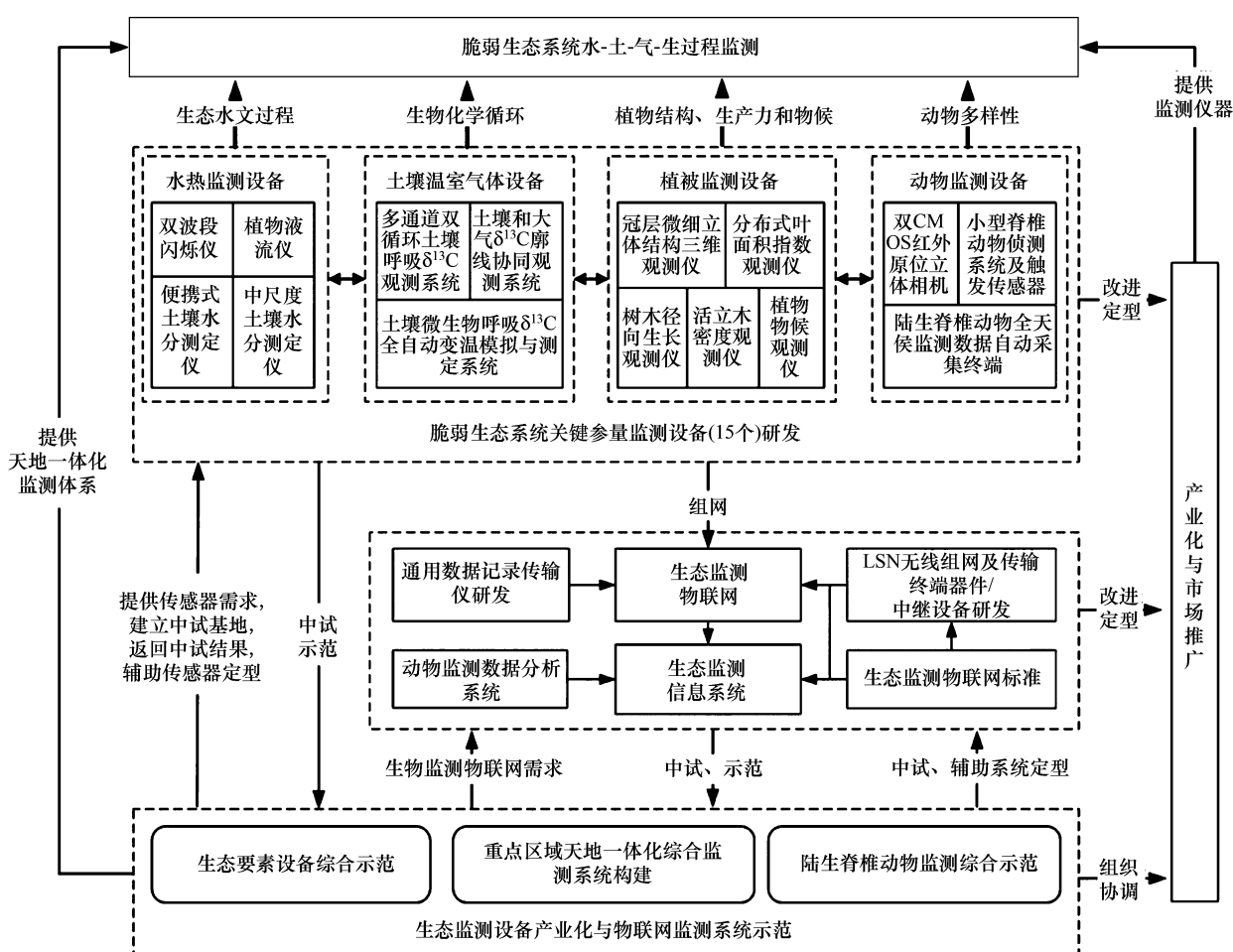


图1 项目总体技术路线图

Fig.1 Overall technical route

3 总体目标

项目总体目标为:研发生态监测设备和物联网关键技术,推动我国生态监测技术自主创新,增强生

态监测立体化、自动化、智能化水平,服务国家脆弱生态修复与保护,逐步满足国家实时生态监测的需求:

(1)研发水-土-气-生过程关键参数监测设备,精

度不低于国际同类仪器,实现单点/单株/个体到群落-生态系统-景观多尺度立体化、自动化观测;

(2)制定生态物联网标准,研制支持远程联网通用数据记录传输仪、无线传输器件及中继设备,开发数据全自动采汇、实时共享、可在线应用的生态监测信息系统,形成智能化生态监测物联网;

(3)提高生态监测设备的国产化率,提升国产生态监测设备市场竞争力,打破相关设备严重依赖进口的局面;

(4)在脆弱生态区示范应用,构建立体综合、与遥感监测天地一体化的群落-生态系统-景观多尺度生态物联网监测系统;

(5)产出一系列原创知识产权,包括专利、论文、软件著作权和物联网标准。

4 结语

本项目将紧密围绕国家“两屏三带”生态安全屏障建设的科技需求,推进我国生态文明建设和国家生态安全保障,实现生态系统关键监测设备和监测方式的自主创新与升级换代,并在我国脆弱生态区开展示范应用,全面提升我国生态环境和经济社会可持续发展的综合效益。研制的仪器设备可运用于:森林、草地、湿地、荒漠、农田和城市等生态系统变化的自动监测与观测。相对于国外同类产品,成本将大幅降低,打破国外垄断技术及产品严重制约我国相关学科及业务发展的不利局面。

通过对生态监测物联网技术的应用,可提升我国生态监测的信息化水平,具有重要社会意义。本项目研制的生态系统关键参量监测设备、观测规范与数据处理方法、生态监测物联网等,可以推广应用

到中国生态系统研究网络、国家生态系统观测研究网络以及其它相关部门类似的野外台站,将有助于大幅提升我国对生态监测与评估的科技研发能力、水平和国际影响力,为国家生态建设和生态安全调控提供技术支撑,有效地促进生态建设、以及经济和社会的可持续发展。

参考文献 (References):

- [1] 傅伯杰, 刘宇. 国际生态系统观测研究计划及启示. 地理科学进展, 2014, 33(7):893-902.
- [2] Li X, Cheng G D, Liu S M, Xiao Q, Ma M G, Jin R, Che T, Liu Q H, Wang W Z, Qi Y, Wen J G, Li H Y, Zhu G F, Guo J W, Ran Y H, Wang S G, Zhu Z L, Zhou J, Hu X L, Xu Z W. Heihe Watershed Allied Telemetry Experimental Research (HiWATER): scientific objectives and experimental design. Bulletin of American Meteorological Society, 2013, 94(8): 1145-1160.
- [3] Liu SM, Xu Z W, Wang W Z, Jia Z Z, Zhu M J, Bai J, Wang J M. A comparison of eddy-covariance and large aperture scintillometer measurements with respect to the energy balance closure problem. Hydrology and Earth System Sciences, 2011, 15(4):1291-1306.
- [4] Dassot M, Constant T, Fournier M. The use of terrestrial LiDAR technology in forest science: application fields, benefits and challenges. Annals of Forest Science, 2011, 68(5):959-974.
- [5] Keenan T F, Darby B, Felts E, Sonnentag O, Friedl M A, Hufkens K, O'Keefe J, Klosterman S, Munger J W, Toomey M, Richardson A D. Tracking forest phenology and seasonal physiology using digital repeat photography: a critical assessment. Ecological Applications, 2014, 24(6), 1478-1489.
- [6] Rowcliffe J M, Carbone C. Surveys using camera traps: are we looking to a brighter future? Animal Conservation, 2008, 11(3): 185-186.