

# “互联网+”智慧环保生态环境多元感知体系发展研究

刘文清<sup>1</sup>, 杨靖文<sup>1</sup>, 桂华侨<sup>1</sup>, 谢品华<sup>1</sup>, 刘锐<sup>2</sup>, 卫晋晋<sup>2</sup>

(1. 中国科学院安徽光学精密机械研究所, 合肥 230031; 2. 中科宇图科技股份有限公司, 北京 100101)

**摘要:** 伴随信息化、大数据的蓬勃发展, “互联网+”智慧环保时代已经来临, 作为数据来源的基础, “互联网+”智慧环保生态环境多元感知体系的发展和研究尤为重要。本文针对我国当前环境污染的特点和变化趋势, 全面调研国内外生态环境多元感知技术的现状, 分析我国在新型复合环境污染形势下对大气环境综合立体监测网络、快速环境监测技术、在线监测平台等方面的需求, 系统评估我国环境监测体系差距、关键创新技术特征和发展趋势, 重点考查大气、水体、土壤业务化监测和仪器分析的技术需求和瓶颈, 提出了我国“互联网+”智慧环保生态环境多元感知体系的发展目标、发展思路和对策建议。

**关键词:** 互联网+; 智慧环保; 多元感知体系

**中图分类号:** F202      **文献标识码:** A

## Study on the Development of Multi Perception System for “Internet Plus” Smart Environmental Protection

Liu Wenqing<sup>1</sup>, Yang Jingwen<sup>1</sup>, Gui Huaqiao<sup>1</sup>, Xie Pinhua<sup>1</sup>, Liu Rui<sup>2</sup>, Wei Jinjin<sup>2</sup>

(1. Anhui Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China; 2. China Sciences Mapuniverse Technology Co., Ltd., Beijing 100101, China)

**Abstract:** With the development of information technology and “Big data”, the “Internet Plus” smart environmental protection era has arrived. As sources of all environmental data, research and development of multi perception system for “Internet Plus” smart environmental protection is particularly important. China is now faced with some of the world’s most severe and complex environmental problems. Based on China’s present environmental issues as well as those abroad, we analyze the demands of stereoscopic monitoring technology, rapid environmental monitoring technology, and online monitoring platforms applied to multi perception system. Considering China’s environmental monitoring system gap, we determine key innovative technical features and development trends of multi perception system. By investigating the technical requirements and bottlenecks involved in atmospheric monitoring, water monitoring, and soil monitoring, we present potential targets, ideas, and suggestions for the development of multi perception system for “Internet Plus” smart environmental protection applicable to China.

**Keywords:** Internet Plus; smart environmental protection; multi perception system

收稿日期: 2018-03-13; 修回日期: 2018-03-30

通讯作者: 刘文清, 中国科学院安徽光学精密机械研究所, 研究员, 中国工程院, 院士, 主要研究方向为环境光学检测;

E-mail: wqliu@aiofm.ac.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“‘互联网+’行动计划的发展战略研究”(2016-ZD-03)

本刊网址: www.enginsci.cn

## 一、前言

中国共产党第十九次全国代表大会明确提出：加快生态文明体制建设，建设美丽中国。2016年3月，环境保护部印发了《生态环境大数据建设总体方案》。环境监测是环境保护工作的基础，通过对生态环境的监测和分析，以定性或定量的数据，描述环境质量。随着社会公众对环境质量的要求越来越高，环境质量的数据从原来的“单一数据”向“环境全要素数据”方向转变，监测范围也从一个监测站，发展到一个城市、一个区域乃至全国。这就使智慧环保在环境多元感知领域有了广阔的发展空间。环境信息多元感知能力的提升迫在眉睫，环境要素瞬息变化，监测任务日益繁重，不论是对监测的精度还是监测要素的种类，都提出了更高的要求。我国已有的自动监测站主要用于监测大气环境和水环境的常规指标，监测的范围和监测的指标都有待增加。我国需要加强具有业务化运行能力的服务平台研发，水环境和大气环境等自动监测设施的监测网络需要进一步完善。

## 二、国内外生态环境多元感知技术的发展与现状

### （一）国外生态环境多元感知技术的发展与现状

西方发达国家已经形成了比较完整的监测技术体系，在环境监测系统中，监测信息的传输、处理、共享、保存、信息化、网络化、模型化、平台化已经基本完成，一方面为全社会提供了基础环境信息；另一方面，由于始终重视提高数据的综合应用潜力（通过开发不同类型的模型）和基于监测数据开展环境质量评价（技术方法和指标体系），这些监测数据在环境管理中充分发挥了作用。这种环境监测技术体系不仅提高了管理部门的科学决策能力，使环境治理的投入有可能获得最好的效益，也为国家或地区政府科学评估因制定或修改环境质量标准所要付出的经济代价。

1. 区域环境质量监测、评价方法为环境管理奠定了技术基础

欧美发达国家经过几十年的努力，建立起了针对不同大气环境问题的区域、国家乃至大洲尺度的

空气质量监测网络。美国的环境空气污染监测工作是由联邦政府级的环境保护局（1970年成立）负责，全国有近万个监测站。在纽约、芝加哥、洛杉矶和圣路易斯等城市已建立了比较精细的监测和数据遥测网。美国在20世纪80年代就发射了太阳同步轨道的极轨业务环境卫星（POES）和地球同步轨道的静止业务环境卫星（GOES），用于提供全球天气和环境状况的定量数据。加拿大在大气环境监测方面同样投入了大量资金，尤其是对所有污染源进行定期监察，监察的频率因污染风险、污染源规模和污染物毒性的大小而不同，获取的信息通过空气质量电子公告向公众发布。日本的47个都道府县都建立了自动化环境空气监测局，并建设了两类监测网：目标监测网和区域监测网，目标监测网监测已知污染源，区域监测网则监测某一区域周围的大气质量。

2. 高新技术应用为区域环境监测提供了技术手段

从20世纪中叶开始，全球范围内的环境科学研究取得了迅速发展，国际上大型研究计划都是把监测系统的建立放在首位，并积极发展新型的探测技术。近年来，传感技术和计算机技术的突飞猛进更是增添了监测系统的可行性和稳定性。一个完整的大气监测系统包括设备、模型和相关研究。目前国际上观测大气成分的网络主要有：①欧洲气溶胶雷达观测网（EARLINET）：从2000年开始由欧盟委员会资助建立，由28个座落在15个欧洲国家的地面遥感站组成；②亚洲沙尘暴观测网（AD-Net）：2001年开始组建，主要目的是获取通过在亚洲各地建立的Lidar站点，监测沙尘暴的3D或4D传输路径；③BREDOM地基DOAS观测网络：由德国Bremen大学1991年开始组建BREDOM网络，主要用于卫星大气成分产品数据的校验；④美国国家海洋和大气管理局（NOAA）的国际NDACC（Network for the Detection of Atmospheric Composition Change）大气成分变化探测网络：由70多个高质量的地面观测站组成，研究平流层和对流层的物理化学过程，评估大气成分变化对全球气候的影响；⑤微脉冲激光雷达观测网（MPLNET）：美国国家航空航天局（NASA）为了实施“地球观测系统”计划而建立的地基微脉冲激光雷达观测网。

3. 遥感技术在环境监测中的应用推动了环境质量综合立体监测技术的发展

环境遥测技术的应用改变了传统环境研究方法, 并提供了一个全新的研究角度, 克服了传统环境研究中的诸多局限性。国外在建立完备的地面监测技术体系的同时, 十分注重机载和卫星平台上的遥感在环境监测中的应用, 各国在环境监测方面都纷纷出台相关计划。欧洲太空局在2002年搭载ESA Envisat卫星SCIAMACHY大气探测扫描差分吸收光谱系统, 能够以临边、天底和掩星三种几何模式, 测量气压、温度、气溶胶和云的总量与分布, 并测量出大气中O<sub>3</sub>、BrO、SO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、NO<sub>2</sub>、CO、CO<sub>2</sub>等十几种气体成分。环境管理更加依赖于网络化的长期连续环境监测资料的积累和分析。从1960年美国发射TIROS气象卫星以来, 卫星遥感技术已在全世界得到广泛的应用, 其应用范围已遍及气象、农业、林业、环保、矿产、城市规划等各个领域。总的看来, 目前国际上星载的环境监测类的传感器种类越来越多, 包括针对特定环境对象(如大气污染、臭氧等)的传感器, 如合成孔径雷达、高光谱成像仪等, 已在大气、水、海洋等环境监测中进入实际应用阶段[1]。

4. 环境变化研究推动了全球/区域环境监测体系的发展

自从1959年开始观测大气中的CO<sub>2</sub>变化以来, 为了确认和预测各种主要温室气体的变化趋势, 世界各国相继开展了大气中温室气体浓度的观测与研究, 并且在全球范围内建立了气态污染物通量观测网络。近年来, 一系列国际合作(IGBP、WCRP、IHDP、GCTE和LUCC等)的研究中都包含了陆地生态系统的长期观测计划。环境科技研究已进入以地球生态系统为对象的综合集成研究阶段, 整体观、系统观和可持续发展观的引导, 通过学科间的交叉、渗透和综合集成, 为解决环境的复杂系统问题提供了途径。

## (二) 国内生态环境多元感知技术的发展与现状

目前, 我国正处于与西方发达国家完全不同的发展阶段, 迅速发展的经济和城市化进程, 使区域整体环境质量下降。现在的环境污染形势已经呈现出多污染物复杂作用、多类型排放、多过程耦合关联的复杂污染体系。因此现有环境监测体系难以应

对区域化复合型污染, 滞后的环境监测技术制约环境保护水平的提高。

### 1. 自动化监测监管能力显著提高

国务院于2005年12月发布的《关于落实科学发展观加强环境保护的决定》明确提出要构建先进的环境监测体系, 为此, 要切实提高环境监测的技术支持能力, 集中力量加强先进环境监测体系的建设, 建立全面高效的环境质量监测网, 包括从传统常规监测扩展到污染全过程监测、从基于城市环境质量监测扩展到固定污染源和移动污染源的监测, 从而对我国环境污染进行全面和系统的监控, 并做到监测数据准确、传输及时、方法科学、代表性强。目前, 我国基本形成了覆盖主要典型区域的国家区域空气质量监测网, 全国338个地级及以上城市全部具备大气细颗粒物六项指标的监测能力, 区域空气质量监测网覆盖31个省市区, 15个空气背景监测网, 440个酸沉降监测点构建的酸沉降监测网, 沙尘天气监测网也已经覆盖北方14个省区, 自动数据的时间分辨率越来越高, 有效性不断增强, 新兴监测手段如视频监控、遥感监测等, 不断得到应用。在地表水监测方面, 全国建设完成了一个地表水水质监测网, 由2703个地表水国控断面监测点组成, 地表水的监测水平得到了大幅提高。同时, 建设了3.5万个土壤环境质量监测点, 向土壤自动监测及土壤大数据收集迈进了一大步, 为开展土壤污染防治与监管工作奠定了重要基础。

### 2. 高新技术手段赶超国际领先水平

在监测仪器发展方面, 国内环境监测技术与仪器正逐渐向自动化、适用化、智能化和网络化方向发展; 技术指标向着更高精度、更多成分、更大尺度方向发展; 监测规模正在向区域性、综合性的立体监测方向发展。由地表地面监测向“天地一体化”监测发展; 由物理光学仪表向多技术综合应用的高技术先进仪器发展。在监测技术发展方面, 我国已对环境噪声、工业污染源、环境空气、地表水、土壤、生物、生态、固体废物等环境要素进行了监测技术研究, 初步建立了科学的监测技术体系。但与欧美发达国家仍有较大差距, 被列入优先污染物的一些指标还缺乏监测手段, 如针对国家近期及中长期环境质量改善、污染物减排控制、环境变化对监测技术和仪器的重大需求等。在大气灰霾自动在线监测技术方面, 中国

科学院安徽光学精密机械研究所（以下简称中科院安光所）研制的 PM<sub>2.5</sub> 质量浓度自动监测仪、大气细粒子和臭氧时空探测激光雷达系统工程化样机，部分技术指标达到国际先进水平 [2]。2014 年我国初步实现 N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 自由基的测量。2014 年，中国香港理工大学联合山东大学采用 TD-CIMS 装置对香港城市区域大气中的 NO<sub>3</sub> 和 N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 总量进行外场测量等。图 1 是大气细颗粒物在线监测关键技术图，多技术综合应用为 PM<sub>2.5</sub> 的监测和成因研究提供了更有效的数据。

### 3. 综合立体监测技术不断提高

20 世纪 80 年代以来，我国的卫星及传感器研制水平得到了迅速发展。2008 年，我国首次发射了用于环境与灾害监测的 HJ-1A 和 HJ-1B 两颗卫星，携带了宽覆盖多波段 CCD 相机、高光谱相机和红外相机。2008 年发射的风云 3 号 FY-3A 卫星，携带了紫外臭氧垂直探测仪和紫外臭氧总量探测仪。另外，将传感器搭载在飞机、无人机、飞艇等的航空遥感平台，相比卫星、地面遥感平台，可以根据需求不同而更换传感器，又可以兼顾快速、大面的优势，并可以更加灵活地进入人力难以进入的区域开展遥感数据获取工作。“天空地”一体化大气环境监测系统，卫星、飞机、地面站点优势互补，对大气污染物进行监测有助于更加立体的对大气污染物的分布情况进行了解，实现精细化综合监测 [3]。中科院安光所研发的具有自主知识产权的机载大气和水环境污染时空分布遥测以及原位快速监测机载系统，实现了对区域大气环境多参数（如 NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub> 和气溶胶）的高时空分辨率监测，以及对水体浮游植物浓度分布的快速遥测，并在我国典

型区域开展应用示范。中科院安光所自主研发的大气环境综合立体感知系统（探测 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 和 O<sub>3</sub> 的被动差分吸收光谱仪和探测 CO<sub>2</sub> 的傅立叶探测系统），结合网络站点优化选取、高效安全的数据传输网络技术，准业务化提供 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 和 O<sub>3</sub> 柱浓度，与污染传输模型相结合研究区域污染分布及扩散情况，开展中国空气污染时空分布感知研究网络示范 [4]。

## 三、生态环境多元感知技术发展的机遇与挑战

目前我国环境监测技术与仪器行业得到了长足发展，但还存在以下问题：环境监测设备国产化程度提高，但部分核心器件仍受制于人；尽管自动在线监测设备取得了重要突破，但高精端分析仪器仍由国外“一统天下”；相比于大气环境监测设备发展迅速，水环境监测设备发展速度仍然缓慢，土壤环境监测设备尚未起步。主要国产气、水、土环境监测仪器和设备自动化程度相对国外还处于较低水平，不能适应我国环境监测发展的需要，主要设备仍然依赖进口。具体体现在以下几个方面。

### （一）自动化、智能化高端监测技术装备研发能力不足

目前，我国使用的监测装备多数依赖进口，尤其是智能化、自动化的高端设备。大气自动监测设备大部分依赖进口，主要包括监测 O<sub>3</sub>、细颗粒物、温室气体等的高精度测量仪器；在水自动监测设备中，主要是藻类自动监测、微生物和有机物等自动监测类设备依赖进口；实验室设备的研发也处于刚刚起步阶段，比如电感耦合等离子发射光谱仪（ICP）、液相色谱-质谱联用仪（LC-MS）、气相色谱-质谱联用仪（GC-MS）等；在应急监测设备中，便携式气相色谱仪、便携式 GC-MS 等多数使用国外产品，仅有个别国内公司开始研制便携式 GC-MS。而且，与进口设备相比，国产仪器在精度、准确度方面仍然存在差距。此外，我国环境常规污染物监测模式不完善、监测体系不够健全、痕量污染物监测装备科技水平不高、生物监测装备欠缺，这些问题都严重制约了国内环境多元感知能力的发展。因此要增加高技术监测仪器的研发投入，推动成套装

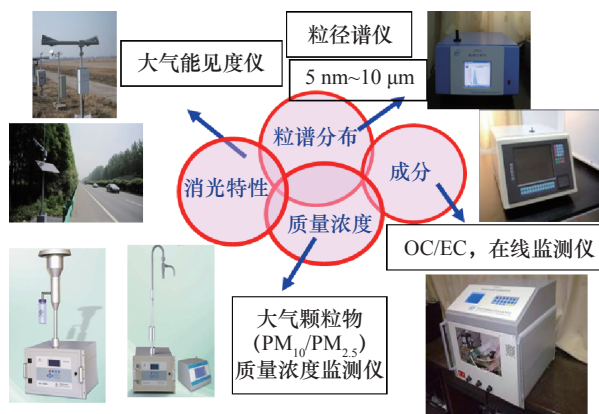


图 1 大气细颗粒物在线监测关键技术图

备技术突破及仪器的研制和产业化, 努力解决制约监测发展的设备问题。

### (二) 多元污染物监测的高新技术研究缺乏

我国的环境污染日益复杂, 多元污染物不断出现。同时, 随着突发污染事故的频发, 我国在针对此类污染物的常规监测设备以及设备的耐用性和稳定性方面存在不足, 针对特殊污染物的安全无接触、快速检测等方面的技术研发和应用依然存在较大缺陷。我国现有的环境监测技术及其标准体系不能匹配装备发展、监测技术和监测队伍技术水平的发展速度。技术规范、监测方法标准的更新速度不能满足应对新型污染物、应急监测和生物毒性、生物监测等的技术发展需求。需要进一步加大对新型多元污染问题监测技术体系的研究, 建立科学的技术规范、监测技术路线, 不断满足环境管理的技术需求。

### (三) “天空地” 立体监测技术亟需加强

环境立体监测技术在大气环境监测中得到了较广泛的应用, 在大气污染物区域分布、时空变化、多元感知等方面已经发挥出不可替代的优势, 传统监测手段获取数据不具代表性, 监测时间过短, 方法单一。需加强大气环境遥感监测技术设备开发, 构建并完善以常规监测、自动监测为基础, 机载与星载遥感监测相结合的“天空地”一体化环境监测体系, 利用地基、车载、机载及星载平台等多元感知体系, 实现对大气痕量气体、气溶胶、温室气体、大气风场、水汽、温度等大气多种成分和大气参数的多尺度、多时相、多数据源的快速和实时探测。

### (四) 不断推进环境监测技术集成化和信息化建设

虽然我国已经建立了一些大气环境和水环境自动监测站点, 并已初具规模, 例如, 已建立起约 600 套空气自动监测系统, 覆盖重点环保城市, 150 个地表水自动监测站系统覆盖我国十大流域等, 但其站点部署、覆盖面积和管理规范尚不完善, 不能更好地适应当前环境监管的需要。亟需在数据交换与共享、业务系统建设和应用、信息化跨界融合方面进一步加强, 通过多元感知技术的研究, 提高环境监测技术装备信息化和集成化水平, 满足环境质量监管需要, 提供更全面、更准确、更详实的数据。

## 四、生态环境多元感知技术研究及平台建设

### (一) “互联网+” 大气环境多元感知体系发展战略研究

党中央、国务院高度重视大气环境监测感知技术研究及发展, 多次召开专题会议研究部署相关大气环境的防治工作。多年来, 科学技术部加强科研统筹、加大经费投入、加强科普宣传、支撑区域联防联控, 取得了一大批成果, 有力推动了我国大气环境多元感知技术的发展。“十三五”期间, 将环境监测技术发展工作摆在科技创新总体布局中更加重要的位置, 作为《“十三五”国家科技创新规划》《“十三五”国家社会发展科技创新规划》《“十三五”环境领域科技创新专项规划》等相关规划的重点内容进行部署。完善“互联网+”大气环境多元感知体系, 准确、及时、全面地获取大气环境信息, 客观反映大气环境质量及变化趋势, 准确预警各类潜在的环境问题, 及时响应突发环境事件, 及时跟踪污染源变化情况, 奠定大气环境保护基础, 成为“互联网+”智慧环保的重要支撑。

1. 提高国产环境空气质量监测技术设备质量, 准确感知空气质量现状

由于我国环境污染严重, 监测系统建设较晚, 我国大气监测系统建设的进度更应该快马加鞭, 缩短周期。因此, 我国在完成计划的 1400 余个 PM<sub>2.5</sub> 监测国控站点的建设外, 未来应该部署更多的省控、市控及县控监测点, 建设更广泛的区域环境空气质量监测网, 包括工业区监测、农村背景站、大气背景监测网、道路周边监测网等, 同时带来环境空气质量监测行业的持续快速发展, 这些设备的需求量大、重要性高, 应作为首要任务来完成 [5,6]。

2. 发展大气氧化性、大气新粒子监测、面向超低排放的污染源在线监测等高端技术设备, 为环境科学研究提供可靠技术支持

中国大气污染物成因复杂, 其中大气复合污染来自于多种污染源排放的气态和颗粒态一次污染物, 以及在一系列的化学、物理过程中形成的二次细颗粒物和臭氧等二次污染物。加速推进高精尖技术和设备的自主研发(如大气氧化性自由基和中间态组分测定技术、大气新粒子测量技术、机载星载遥感测量监测技术、大气污染及健康影响的预报预

警技术等), 这些高端技术和设备对完善大气环境多元感知体系, 全面监控大气状态尤为重要, 图2为中科院安光所自主研发的大气 HO<sub>x</sub> 自由基测量系统。另外, 超低排放将成为燃煤发电等行业的“新常态”。发展面向超低排放的污染源在线监测等高端技术设备, 全面加强污染源排放监测, 已经成为检验大气综合治理效果、实现对重污染企业的监管和落实地方政府责任考核的依据 [7]。

3. 加快发展空气质量预报预警和应急技术, 推进区域大气污染联防联控工作

针对我国在突发性大气污染事故应急中对污染物快速、精准识别的需求, 亟需攻克突发事故现场复杂背景下光谱探测与解析、污染气团分布及排放

通量快速获取等关键技术, 集成突发大气污染事故的立体走航监测平台 [8], 为事故处理决策部门快速、准确地提供引起事故发生及所产生的污染气体类别、浓度分布、影响范围及发展态势等现场动态资料信息。《大气污染防治行动计划》(“大气十条”) 提出, 推进建立区域联防联控机制, 对各省(区、市) 实行目标责任考核体系。将重污染天气纳入地方政府突发事件应急管理, 并根据大气污染状况采取重污染企业限产限排、采取机动车限行等措施。针对这些问题, “天空地”一体化的多元感知平台建设研究迫在眉睫, 通过加快发展空气质量预报预警和应急技术, 利用“互联网+”大气环境多元感知系统的区域大气污染环境立体监测技术, 利用生态环境大数据综合管理平台推进区域大气污染联防联控工作 [9]。图3为大气环境综合立体监测技术图谱。



图2 基于FAGE技术的大气 HO<sub>x</sub> 自由基测量系统

## (二) “互联网+”水环境多元感知体系发展战略研究

2015年4月, 国务院印发《水污染防治行动计划》(“水十条”), 提出我国中长期水环境治理目标, 到2020年实现严重污染水体大幅减少, 饮用水安全保障水平持续提升, 严格控制地下水超采现象, 初步遏制地下水污染加剧趋势, 近海岸水环境稳中趋好, 京津冀、珠江三角洲、长江三角洲等区域水生态环境状况有所好转, 全国水环境质量得到阶段性改善。完善“互联网+”水环境多元感知体系, 及时、准确、全面地获取水

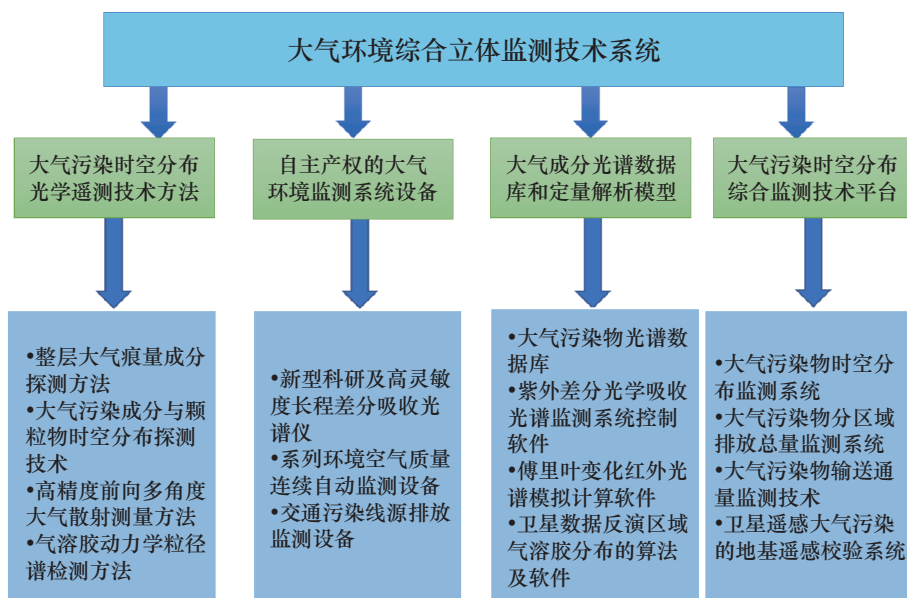


图3 大气环境综合立体监测技术图谱

环境信息，客观反映水环境质量和变化趋势，加强废水排放监管，实现全面的在线水污染物自动检测，使全国水环境质量总体改善，是水环境保护的基础，是“互联网+”智慧环保的重要支撑。

1. 完善饮用水源地环境质量监测指标和技术体系，实现水环境感知网络全覆盖

饮用水源地与人民生活密切相关，对饮用水源地开展环境质量监测至关重要。目前，地表水水源地监测项目共 61 项，并统计取水量，按要求应统计《地表水环境质量标准》中的 109 项，但相应的监测技术体系尚不完善。另外，目前水环境质量监测网的监测项目主要是常规指标，图 4 为中科院安光所自主研发的水体重金属在线监测系统 [10]，缺少生物监测指标。国内的水生生物监测仍有待提高，仅有部分地区有能力开展该项工作。

2. 加强长期自动化在线监测能力和污染源排放监管力度

不断升级现有国家重点监控的污水处理厂和废水排放企业需要的排污监控能力，根据住房和城乡建设部颁布的《城镇污水排入排水管网许可管理办法》，2015 年 1 月起被列入名录的重点监测企业，必须安装在线水污染物自动检测设备，这样能有效对水体污染物进行监测和预警，在一定程度上能够减少或避免重大水体污染事件的爆发，有利于保护水质安全，保障人民群众的生命安全与健康。

3. 延伸“互联网+”水环境感知网络的触角，发展地下水原位监测技术，建立完备的国家地下水监测网络

目前，环保系统还没有建立完备的国家地下水环境质量监测网。环境保护部发布的《全国地下水污染防治规划》，要求加快建立国控以及省控地下



图 4 水体重金属在线监测系统

水原位监测系统，因而地下水监测技术产业也需大力推进，同时也亟需自主研发的地方水监测技术产品，以满足地下水原位监测市场的广泛需求，以形成完备的地下水环境监测质量网，满足国家对地下水环境质量的监测要求。

### (三)“互联网+”土壤环境多元感知体系发展战略研究

2016 年 5 月，国务院印发《土壤污染防治行动计划》(以下简称《计划》)，《计划》提出土壤中长期治理目标，到 2020 年实现基本保障农用地和建设用地土壤安全，对土壤环境风险实施管控，初步遏制全国土壤污染加重趋势，保持土壤环境质量总体稳定。大力发展“互联网+”土壤环境多元感知体系，在线、实时、全面地获取土壤环境信息，客观反映土壤环境质量和变化趋势，加强废水排放监管，实现全面的土壤立体联网检测技术，通过测土配方施肥，使全国土壤环境质量总体改善，是“互联网+”智慧环保的重要支撑。

1. 土壤重金属快速、自动感知技术发展，利用“互联网+”土壤环境多元感知体系全面开展土壤污染调查

《计划》明确提出在现有相关调查的基础上，深入开展环境质量调查，通过对土壤污染进行全面调查，能够为法律、法规以及方针政策的制定与实施提供参考，也是评判土壤环境质量与治理结果的必要途径，发展土壤重金属快速在线监测技术具有重要意义，基于此，对发展土壤重金属便携式、现场监测式仪器提出了迫切需求。2015 年国务院办公厅在《关于加快转变农业发展方式的意见》中也提出，要深入实施测土配方施肥，扩大配方肥使用范围。测土配方施肥是提高化肥利用率的重要前提，目前测土配方施肥仍以化学试剂法为主，检测的营养元素种类少、速度慢，因此迫切需要发展土壤养分快速在线监测技术与仪器，图 5 为中科院安光所研制的土壤重金属检测系统，可有效提高测土配方施肥的效率，降低检测时间与成本，从而有效推广测土配方施肥的应用，切实降低化肥的使用量 [11]。

2. 发展区域土壤环境立体和联网监测技术，构建土壤环境治理体系

《计划》指出重点在土壤污染风险管控、源头预防、治理与修复等方面进行探索，力争到 2020 年

先行区土壤环境质量得到明显提升。目前我国缺少土壤立体监测技术，无法掌握污染物在土壤中的时空分布，缺乏能够同时检测土壤中重金属、有机污染物，对土壤污染状况进行总体评估的仪器系统，也缺乏能够进行土壤污染遥测的仪器等，要解决这些问题，亟需开展土壤综合污染监测平台，构建土壤环境质量监测与治理体系。

### 3.“互联网+”智慧环保多元感知体系发展战略研究

通过物理、生物、光学等多方面跨界融合，搭建多元感知体系，全面迈向“感知环境、智慧环保”的新兴环保模式，开发快速、灵敏、连续、自动监测技术和设备，以及污染物快速有效的检测技术和设备，发展重污染天气和突发环境污染事件预报预警和应急技术，逐步提高重大环境污染事故监测和应急处理的业务运行能力。我国主要环境监测设备和治理设备产业技术水平和制造水平接近国际知名企业水平，并推出一系列具有自主知识产权的环保设备产品，且在实践中实现大规模应用。“互



图5 土壤重金属检测系统

联网+”智慧环保将成为增进人民福祉的切实可行的战略方针。

### (四) 发展生态环境监测技术，全面建设生态环境监测网络

生态环境监测是生态环境保护的基础，是生态文明建设的重要支撑。2010年环境保护部印发的《全国农村环境监测工作指导意见》、2014年国务院印发的《国务院办公厅关于改善农村人居环境的指导意见》以及2015年提出的“水十条”中都提出了要大力开展村庄环境整治，重点治理农村垃圾和污水。农村垃圾中含有大量有毒有机物、重金属等，垃圾的堆积会带来土壤、水体的严重污染，所以在进行农村环境监测时，需要对农村区域的土壤、水体以及空气进行全方位的监测，此时需要多种监测仪器的联合使用及监测数据的联合对比分析，不能割裂农村区域水污染与土壤污染之间的关系。同时农村的畜牧养殖业也会污染水源、空气等，对养殖部门进行监测也对现有的环境监测仪器提出了挑战 [12]。

#### 1. 发展微型化、智能化环境监测传感器，实现多介质环境参数的全面感知与精细化管理

在国家“信息强环保”战略的指引下，信息化已成为推动环境管理模式转型创新，提升环境管理精细化水平的重要手段。物联网、云计算等新一代信息技术的突破发展，为环保信息化建设注入了新的活力，中国的环保信息化建设正处于由“数字环保”向“智慧环保”全面推进的新时期。

#### 2. 发展低成本环境遥感技术设备与平台，形成全球环境多要素立体监测网络

在全球化的背景下，准确把握全球环境多要素立体分布特征显得尤为重要。图6为中科院安光所研制的星载大气痕量气体差分吸收光谱仪和模型照

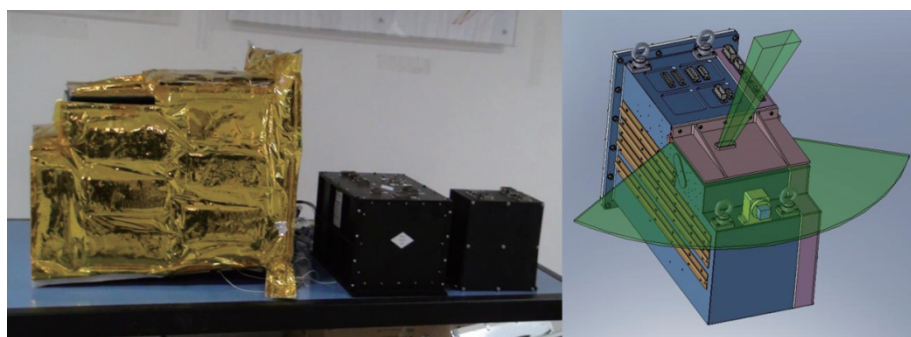


图6 星载大气痕量气体差分吸收光谱仪（左）和模型照片（右）



片。利用航天航空飞行器（卫星、平流层飞艇和飞机等）和地面各类平台所携带的光电仪器对人类生存所及的地球环境进行监测，将有助于对地球空间环境及其运动变化规律的研究。

3. 突破分子层次的快速环境监测技术，提高环境污染机理认知能力

由于环境污染的时空多变性、化学成分的复杂性，以及人们对于环境污染机理认知的不足，污染物对气候的直接和间接影响目前仍然处于一个较低的认知水平，是全球环境变化数值模拟和预测中最不确定的因子之一。从分子层次解决环境污染问题至关重要，将大大改进现有环境预测模型的精度，对促进环境科学的研究和解决人类面临的环境问题具有重要意义。

4. 完善支持环境变化的在线监测技术与平台

环境问题日益国际化，环境保护工作已经与国家的权益以及外交密不可分。我国要掌握环境监测的主动权，在维护国家的权益和外交活动中争取更多的发言权，扩大在国际上的影响，不断提高我国的环境外交能力。

5. 推进环境、气象、交通及科研监测数据融合共享，充分发掘“大数据”的作用和潜力

为推进环境、气象、交通及科研监测数据融合共享，通过实践建立多元数据获取的运行规范和共享机制，实现各级监测数据系统互联共享，实现全面信息化、不断提升监测预报预警和保障水平，监测与监管协同联动，初步建成天地一体、陆海统筹、信息共享、上下协同的环境监测网络。

针对国家环境质量改善、污染物减排控制、环境变化对监测技术和设备的需求，建成高精度、立体化、多尺度的环境污染监测技术体系，完善污染物监测及信息发布系统，形成覆盖主要生态要素的“互联网+”智慧环保生态环境多元感知体系，实现生态环境数据互联互通和开放共享，解决环境保护信息资源公开、数据深层次开发利用、推动创新环保服务模式等重大科技问题，促进信息技术与环境管理业务的深度融合，推动环境管理制度创新，推进生态环境治理体系建设和治理能力现代化。

#### 参考文献

[1] Groß S, Tesche M, Freudenthaler V, et al. Characterization of Saharan dust, marine aerosols and mixtures of biomass-burning aerosols and dust by means of multi-wavelength depolarization

and Raman Lidar measurements during SAMUM [J]. *Tellus Series B-Chemical & Physical Meteorology*, 2011, 63(4): 706–724.

[2] 刘建国, 桂华侨, 谢品华, 等. 大气灰霾监测技术研究进展 [J]. *大气与环境光学学报*, 2015, 10(2): 93–101.

Liu J G, Gui H Q, Xie P H, et al. Recent progress of atmospheric haze monitoring technology [J]. *Journal of Atmospheric and Environmental Optics*, 2015, 10(2): 93–101.

[3] 刘文清, 陈臻懿, 刘建国, 等. 中国大气环境光学探测研究 [J]. *遥感学报*, 2016, 20(5): 724–732.

Liu W Q, Chen Z Y, Liu J G, et al. Research progress on optical observations for atmospheric environment in China [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2016, 20(5): 724–732.

[4] 徐晋, 谢品华, 司福祺, 等. 机载多轴差分吸收光谱技术获取对流层NO<sub>2</sub>垂直柱浓度的研究 [J]. *物理学报*, 2012, 61(2): 282–288.

Xu J, Xie P H, Si F Q, et al. Determination of tropospheric NO<sub>2</sub> by airborne multi axis differential optical absorption spectroscopy [J]. *Acta Physica Sinica*, 2012, 61(2): 282–288.

[5] 王杨, 李昂, 谢品华, 等. 多轴差分吸收光谱技术测量NO<sub>2</sub>对流层垂直分布及垂直柱浓度 [J]. *物理学报*, 2013, 62(60): 476–477.

Wang Y, Li A, Xie P H, et al. Measuring tropospheric vertical distribution and vertical column density of NO<sub>2</sub> by multi-axis differential optical absorption spectroscopy [J]. *Acta Physica Sinica*, 2013, 62(60): 476–477.

[6] 王杨, Thomas W, 李昂, 等. 多轴差分吸收光谱技术的云和气溶胶类型鉴别方法研究 [J]. *物理学报*, 2014, 63(11): 1–13.

Wang Y, Thomas W, Li A, et al. Research of classification of cloud and aerosol using multi-axis differential optical absorption spectroscopy [J]. *Acta Physica Sinica*, 2014, 63(11): 1–13.

[7] 朱国梁, 胡仁志, 谢品华, 等. 基于差分光学吸收光谱方法的OH自由基定标系统研究? [J]. *物理学报*, 2015, 64(8): 80703(1)–80703(6).

Zhu G L, Hu R Z, Xie P H, et al. Calibration system for OH radicals based on differential optical absorption spectroscopy [J]. *Acta Physica Sinica*, 2015, 64(8): 80703(1)–80703(6).

[8] 刘文清, 陈臻懿, 刘建国, 等. 我国大气环境立体监测技术及应用 [J]. *科学通报*, 2016, 61(30): 3196–3207.

Liu W Q, Chen Z Y, Liu J G, et al. Stereoscopic monitoring technology and applications for the atmospheric environment in China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2016, 61(30): 3196–3207.

[9] Liu W Q, Chen Z Y, Liu J G, et al. Stereoscopic monitoring technology and applications for the atmospheric environment in China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2016, 61(30): 3196–3207.

[10] 刘文清, 陈臻懿, 刘建国, 等. 环境污染与环境安全在线监测技术进展 [J]. *大气与环境光学学报*, 2015, 10(2): 82–92.

Liu W Q, Chen Z Y, Liu J G, et al. On-line monitoring technology and applications for air pollution and environmental safety [J]. *Journal of Atmospheric and Environmental Optics*, 2015, 10(2): 82–92.

[11] Vodinh T. Transportable laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) instrument for field-based soil analysis [J]. *SPIE*, 1996, 2835: 190–200.

[12] Chen Z Y, Liu W Q, Heese B, et al. Aerosol optical properties observed by combined Raman-elastic backscatter lidar in winter 2009 in Pearl River Delta, south China [J]. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 2014, 119(5): 2496–2510.