

# “互联网+”智慧环保技术发展研究

刘锐<sup>1,2</sup>, 刘文清<sup>3</sup>, 谢涛<sup>1,2</sup>, 杨婧文<sup>3</sup>, 席春秀<sup>2</sup>, 姚逸斐<sup>1</sup>, 韦维<sup>1</sup>

(1. 中科宇图资源环境科学研究院, 北京 100101; 2. 中科宇图科技股份有限公司, 北京 100101;  
3. 中国科学院合肥物质科学研究院, 合肥 230031)

**摘要:** “互联网+”智慧环保将互联网创新成果与生态环境保护进行深度融合, 在推动生态环境领域技术进步的同时, 对全面提高生态环境保护综合决策、监管和公共服务水平, 加快环境管理方式和工作方式转变具有重要意义。本文从“互联网+”智慧环保的发展需求出发, 梳理了生态环境信息采集、传输、管理和决策方面的技术现状并凝练发展面临的问题, 针对性提出了“互联网+”智慧环保总体架构, 具体阐述了精准治气、系统治水、生态监管、资源交易 4 个典型方向应用。研究建议, 在技术层面发展多源生态环境监测、数据深度挖掘分析、多业务协同建模, 在应用层面注重环保数据开放共享的政策推动, 在产业层面培育以环境信息服务为代表的新兴业态。

**关键词:** 互联网+; 智慧环保; 应用方向; 环境信息服务业

**中图分类号:** F202      **文献标识码:** A

## Development of Internet Plus Smart Environmental Protection

Liu Rui<sup>1,2</sup>, Liu Wenqing<sup>3</sup>, Xie Tao<sup>1,2</sup>, Yang Jingwen<sup>3</sup>, Xi Chunxiu<sup>2</sup>, Yao Yifei<sup>1</sup>, Wei Wei<sup>1</sup>

(1. Institute of Resources and Environment Science, China Sciences Mapuniverse Technology Co., Ltd., Beijing 100101, China; 2. China Sciences Mapuniverse Technology Co., Ltd., Beijing 100101, China;  
3. Hefei Institute of Physical Science, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

**Abstract:** Internet Plus Smart Environmental Protection integrates Internet innovations with ecological environment protection and can promote technological progress in the ecological environment protection field. It also promotes the decision-making, supervision, and public service levels of ecological environmental protection, and accelerates the transformation of the environmental management mode. This study analyzes the demands for Internet Plus Smart Environmental Protection, summarizes the technical status in terms of ecological environment information collection, transmission, management, and decision-making, and identifies the problems concerning the development of Internet Plus Smart Environmental Protection. An overall framework of Internet Plus Smart Environmental Protection is also proposed, and four typical application fields are studied: precise air pollution control, systematic water pollution treatment, ecological surveillance, and resource trading. To promote Internet Plus Smart Environmental Protection, it is necessary to develop multisource ecological monitoring, deep data analysis, and multi-business co-modeling, promote policies that encourage data sharing concerning environmental protection, and foster new businesses represented by environmental information services.

**Keywords:** Internet Plus; smart environmental protection; direction of application; environmental information service

收稿日期: 2020-06-10; 修回日期: 2020-07-05

通讯作者: 刘锐, 中科宇图资源环境科学研究院教授, 研究方向为地理信息系统与卫星遥感技术的综合应用、环境监测与管理、环境大数据、智慧环保技术等; E-mail: liur@mapuni.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“‘互联网+’行动计划战略研究(2035)”(2018-ZD-02)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

## 一、前言

在全球新一轮科技革命和产业变革中,互联网与各领域的融合发展具有广阔前景,成为了时代潮流。“互联网+”是将互联网的创新成果与经济社会各领域深度融合,形成更广泛的以互联网为基础设施和要素的经济社会发展新形态,“互联网+”行动计划在推动技术进步、效率提升和组织变革,增强实体经济创新力和生产力方面潜力突出。

我国高度重视“互联网+”的发展,《国务院关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》明确了推动“互联网+”的11项重点行动[1]。在“互联网+”绿色生态重点行动方面,要求推动互联网与生态文明建设深度融合,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资源环境承载能力动态监测网络;就发挥互联网在逆向物流回收体系中的平台作用,促进再生资源交易利用的便捷化、互动化、透明化方面也作了具体部署[2]。生态环境部《生态环境大数据建设总体方案》进一步提出[3],运用大数据、云计算等现代信息技术(IT)手段,提高生态环境保护综合决策、监管治理和公共服务水平,转变环境管理方式和工作方式。

新一代移动互联网的应用日新月异,人工智能(AI)在环保领域的应用初见端倪,区块链、边缘计算等技术的发展也在不断创新,新型IT技术成为推动“互联网+”智慧环保发展的重要支撑。随着“十一五”至“十三五”时期一系列重大环保项目的实施,“互联网+”智慧环保建设在相关技术、产业、应用、政策与保障层面均取得了显著进展,为推进环境保护历史性转变奠定了坚实基础。也要注意,在“互联网+”与智慧环保领域融合发展的过程中,技术发展和应用拓展方面仍然存在一些亟待解决的问题,如数据共享、业务协同、市场应用等。本文重点围绕这些问题,就发展需求、技术与应用现状、面临问题、对策建议等开展探讨,以期“互联网+”智慧环保的研究与应用提供借鉴。

## 二、“互联网+”智慧环保的发展需求

为了充分调度政府、企业、公众的资源和力量,促进形成环境治理协同创新的格局,将互联网与智慧环保深度结合来形成“互联网+”智慧环保体系

成为现实选择。“互联网+”智慧环保综合运用互联网、云计算、大数据、物联网等新型IT技术,以多源环境监测网络建设为基础,推动污染源监管数据、环境质量监测数据、环境治理数据、环境产业数据的开放共享,支持“源头防控、过程监管、综合治理、全民共治”环境管理闭环;在助力环境质量改善和环境风险防范的基础上,为社会提供更加优质的生态环境产品。

“互联网+”智慧环保具有切实的市场需求和良好的增长潜力。随着互联网技术在环保领域的应用深化,未来发展需求更加丰富全面:环保智能化要求更高效、更精确的监测和分析技术以及与“互联网+”有机结合的完整技术生态;环保产业与互联网的全方位结合尤为迫切,包括完善现有技术路线、商业模式和管理方式;环境监测行业面临重大发展机遇,涉及大气、土壤、水的智慧化监测[4];有关实施和运维服务也成为重点需求,依托“互联网+”实现智能实时动态的监测维护服务,提高智慧环保应用效率,最大限度地降低成本和不确定干扰因素[5]。

## 三、“互联网+”智慧环保的技术与应用现状

### (一) 生态环境信息采集与传输

近年来,我国生态环境信息采集能力随着环境监测体系的逐步建设取得了长足进展:生物监测、物理监测、生态监测、卫星遥感监测等多种监测技术投入使用,天/空/地一体化的立体监测体系基本建成;环境监测微站、尾气遥测、激光雷达、高清视频等新型监测设备规模化投入应用,监测精度大幅提高。例如,在大气环境监测方面,天/空/地一体化生态环境立体监测体系实现了卫星遥感大气污染物浓度监测、无人机航空遥感大气污染物浓度监测、微型空气子站污染物浓度监测;相较常规空气质量监测站,全面提升了对大气污染的多时相、多维度感知与实时监控能力[6]。

基于物联网感知体系对水、空气、土壤、生态等多种环境要素进行全面感知,在一定程度上实现了生态环境质量现状评估、生态环境质量变化趋势预测,进而科学预警可能的环境污染事故;初步实现了粗放式监管转向精细化监管,对各种污染源和污染物末端排放、工况监测等能力基本成型,环保

管理模式已由事后处理为主转向事前预防为主；具备对核与辐射、危险废物和危险化学品运输等风险源进行全程监管的能力，防范了环境风险的发生发展，从而快速高效地应对重污染事件和突发环境污染事件，保障了区域污染联防联控工作。

从技术角度看，生态环境立体综合监测、数据融合、第五代移动通信（5G）等技术在“互联网+”智慧环保体系中的应用仍有待深化，未来发展空间主要体现在两方面：①运用多源生态环境监测技术采集生态环境信息，整合生态环境管理数据资源，建立具有时空完整性的生态环境监测数据体系，在验证技术可行性、经济性和科学性之后遴选出具有重大价值的技术及其应用方式；②利用以5G为代表的高效数据传输技术来完善监管体系，实现立体化、全方位监测和实时高效的数据传输，相关生态环境物联网感知设备涵盖标准监测站、微/小型监测站、遥感卫星、无人机、无人船等。

### （二）生态环境管理与决策支持

面向专有业务的应用需求，生态环境管理部门逐步建立业务应用系统：建设项目管理、环境统计信息、排污收费、排污申报登记、生物多样性管理、环境质量管理、污染源管理、核与辐射管理、卫星环境遥感应用、环境空气质量预测预报等系统，通过业务管理流程的优化和协同，显著提高工作效率。环境信息资源开发和利用水平整体较高，定期发布环境质量公报、环境统计年报、空气质量日报、水质监测周报、卫星遥感监测简报等信息产品，为环境保护工作提供了重要基础。

随着污染源管理模式从分散分段管理转向体现要素的综合性管理，建立专业性的生态环境管理平台，体现大气、水、自然生态等核心环境要素特征，成为智慧环保的发展方向和应用趋势 [7]。适应生态环境管理与决策支持的技术需求主要体现为：利用大数据信息管理技术开展数据汇集和整合，通过环境综合模拟和多业务协同建模技术预测未来情景，应用云计算技术提高预测效率，采用 AI 技术对多源数据进行综合分析和处理，发布预警及处置信息以实现应急预警和快速溯源，通过感测设备和公众反馈实现环境风险的智慧化管理。

科学的顶层设计是“互联网+”智慧环保应用实施的关键前提。从全局视角出发设计相应的总体

技术架构，对架构涉及的各方面、各层次、各类服务对象和因素进行统筹考虑。梳理环境管理的业务流程，分析信息化建设体系需求，前瞻性地设计信息化总体框架，以统一规划、同一平台、统一标准、统一安全等级、统一运行维护的方式推进环保信息化建设。采取切实举措来缓解机构部门之间资源难以共享、信息难以互联互通的问题，为总体规划实施铺平道路。结合云计算、大数据、AI 等技术实现生态环境的评价预测和污染快速溯源，推动从监测到监管的自动化和智能化。

## 四、“互联网+”智慧环保面临的问题

“十一五”以来，一系列重大环保项目的建设 and 实施，促进了“互联网+”智慧环保建设的突出成效，为实现环境保护的历史性转变打下良好基础。也要注意，在“互联网+”与智慧环保融合发展的过程中，技术、产业、应用方面仍然存在一些亟待解决的问题。

### （一）技术层面

推动互联网技术和智慧环保的深度融合是智慧环保创新发展的技术基础，然而相关新技术的创新应用尚不匹配环境保护业务快速发展的步伐。国内企业和机构亟待加强环境监测与智能化治理设施领域的技术研发和创新应用，以有效缓解部分国外先进环保技术引进途径不畅的现象。大数据、5G、AI 等技术与“互联网+”智慧环保的融合应用仍显不足，尤其在综合性决策服务方面的深度应用有待加强。另外，通过科研、示范、实践等多类措施来推动环境保护信息资源公开、数据深层次开发利用、环保服务模式创新，也是应当着力解决的问题。

### （二）应用层面

针对环境管理的现实需求，环保主管部门建立了众多类别的业务应用系统，提高了我国环境信息资源的开发和利用水平。也要注意，我国在以“互联网+”智慧环保为中心的创新应用体系方面尚处于起步阶段，特别是没有形成“互联网+”智慧环保的标准化顶层设计、合作模式、跨界融合核心标准指南等关键内容，阻碍了“互联网+”智慧环保技术的推广应用范围和力度。



### （三）产业层面

我国拥有强烈的环境改善诉求和规模庞大的环保市场，环保产业具有以先进除尘脱硫、生活污水处理、余热余压利用、绿色照明装备供给为代表的业务能力。然而，环保产业也存在着薄弱环节，主要表现在：①因市场竞争无序导致优秀环保技术在国内推广缓慢，加之环保和互联网融合不足、信息严重不对称，导致环保产业供给能力远远不能满足生态文明建设要求和市场需求；②缺乏具有权威性、国际化程度高、能够获得政府和市场广泛认可的环保综合服务平台，许多地方政府和产污企业因缺乏获取适用环保技术的信息渠道而导致技术供需对接困难；③以企业为主体的环境技术创新体系建设进展迟缓，新技术示范推广渠道不畅，环境服务业发展相对滞后。

## 五、“互联网+”智慧环保体系框架及其典型应用

### （一）总体架构

考虑环境保护全生命周期活动规律，兼顾“互联网+”智慧环保建设的标准规范、安全管理、运维管理等要求，提出了“互联网+”智慧环保体系架构（见图1）。这一总体框架主要包括以下四方面内容。

环保数据资源中心，用于汇集“互联网+”智慧环保的全部数据资源，为业务应用提供数据支撑。环境管理涉及业务纷繁复杂，数据类型形式多样（维度多、尺度多、涉及面广），在数据层面按照数据的主题进行划分，分别形成各自的主题数据库。

感知/接入/通信层，用于实现数据的感知、传输和处理。通过传感器、摄像头、雷达等感知单元来获取数据，通过环保物联网、专网、内网、互联网、移动网等网络传输数据；经过数据预处理、数据融合、异常数据识别、数据质量保证等处理环节来实现智慧信息的融合。

智慧环保云服务平台层，主要分为：①专业云服务资源层用于封装污染产生、处理过程监管、环境综合治理等方面的数据；②云服务支撑功能层涵盖大数据引擎、AI、协同服务等基础服务以及天/空/地一体化立体监测、精准治霾智能调控、水环

境质量监管、生态红线监管、废弃物在线交易等环保应用服务；③智慧用户界面包括政府、企业、科研院所、公众等不同用户类型以及门户网站、在线系统、应用程序等终端交互设备。

智慧云服务应用层，用于对“互联网+”智慧环保服务模式进行分类，一般分为环保软件服务模式、环保数据产品服务模式、环保咨询服务模式、环保技术服务模式等。

### （二）典型应用方向

#### 1. 精准治气应用

开展“互联网+”智慧环保在大气污染防治方面的应用探索，对于推动精准治理和系统治理、促进大气环境的持续改善具有科学意义和实用价值。国内企业具有大气污染防治综合服务的基础能力，相关市场规模约为数十亿元。①建立立体监测体系，综合卫星遥感、高空视频、无人机、网格化监测微站、激光雷达、污染源在线监测设备等先进监测技术，全面采集空气质量和污染源数据。②实施精准研判，通过环境大数据分析和印痕、情景模拟等多元模型，抓准污染症结，快速诊断污染排放趋势，契合空气质量的动态调控需求。③提出靶向管控建议，结合污染治理的专家团队经验，开展科学达标分析，在长效靶向治污的同时具有应急精准管控能力。④进行科学成效评估，面向各类防治措施和监管手段，针对性提供区域污染防治成效和绩效考核评估服务。

以天/空/地一体化的立体化监测和环境大数据分析为基础，建立一套以“立体监测、精准研判、靶向管控、科学评估”为核心特征的大气污染防治业务流程。突出专家团队经验的运用，支撑构建大气污染精准防治、智慧管控和科学评估的工作模式[8]，初步实现大气环境污染防治的科学化、精细化和经济性。

#### 2. 系统治水应用

针对水污染防治，“互联网+”智慧环保的作用重点体现为智慧监管和靶向治理。国家机构管理职能调整之后，排污口全面纳入生态环境管理体系之中。系统治水的智慧化监管体系具有“污染源—排口—水体”全链条信息化监管能力，从而实现对水污染源、流、汇的统一监管。在普查、详查污染源和排污口的基础上，准确把握污染底数，建立和

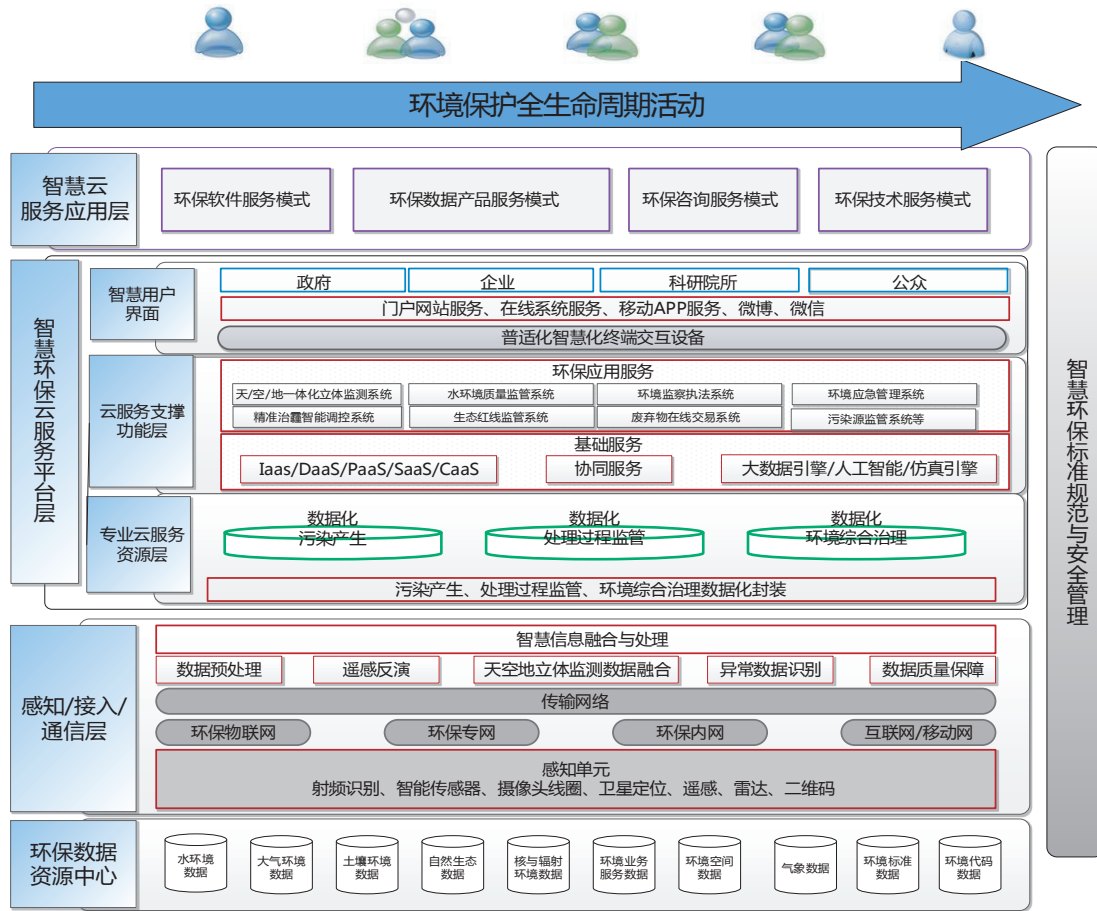


图1 “互联网+”智慧环保总体架构示意图

注：APP表示应用程序；IaaS表示基础设施即服务；DaaS表示数据即服务；PaaS表示平台即服务；SaaS表示软件即服务；CaaS表示通信即服务。

应用动态的数据库支撑系统。此外，水环境科学精细化管理重在体现污染源排口的拓扑关系，把握污染产生-排放-入河（湖）的量化关系、入河（湖）排污通量和断面水质的响应关系。重点建设污染源监管、水质监测、执法监管、河长制平台等业务应用子系统，全面掌握水环境及其相关信息，具备对污染事件的快速响应能力。

系统治水的另一个重点方面是水环境的工程治理。作为水环境质量保障的重要组成部分，相关工程设施的建设、运行通过整体性设计与优化，体现靶向性工程治理体系的理念，确保水质目标的可达性。“互联网+”智慧环保在这一方向的应用，如生态补水与污染治理设施的协同运行控制决策，有力促进了工程调度的整体优化和能效发挥。

### 3. 生态监管应用

“互联网+”智慧环保在生态监管领域的应用包括生态红线监管、自然保护区监管、生物多样性

监管等。综合利用卫星遥感、云计算、地理信息系统，建立多尺度/多时相、天/空/地一体化的生态监管信息数据资源库。依托无人机航空遥感与地面生态观测方面的数据快速获取能力，开展生态保护红线巡查、人类活动监控、生态系统格局、生态系统质量、生态风险监管、生态资产统计核算、生态保护成效评估、移动核查与执法等领域的业务应用，提升国家生态监管水平。

作为我国“三线一单”环境管理模式的重要组成部分，生态红线是未来生态监管体系建设的重要方向。“互联网+”智慧环保在生态监管领域具有重大应用前景的业务有：将生态红线的划定、勘定与建设项目审批、规划环评等业务审批相结合；从人类活动干扰、生态环境质量等维度科学评估红线保护成果。例如，生态环境部卫星环境应用中心应用了多种业务化系统，标志着基于卫星遥感的生态监管体系建设取得了阶段性成效。

#### 4. 资源交易应用

环保产业与互联网技术的全方位结合,推动了“互联网+”环保领域的深化应用,涌现了废弃物在线交易、环保技术线上对接、企业网上排污权交易等新兴业态。这些环保业态的发展需要对技术路线、商业模式、管理方式进行优化,从而促进产业技术进步、环保产业的颠覆性变革。

进一步鼓励互联网企业参与构建城市废弃物回收平台,推动再生资源回收模式创新:利用电子标签、二维码等物联网技术跟踪重点电子废物流向,实施各类产业园区废弃物信息平台建设;推动现有骨干再生资源交易市场朝着线上线下结合的方向转型升级,逐步形成行业性、区域性产业废弃物和再生资源在线交易系统。重点推进主要污染物总量减排,探索企业网上排污权交易试点;开展碳排放权交易市场的先行先试,通过循环经济信息交流平台来推动企业节能低碳成果的在线展示和经验推广。通过示范工程的推动,加快废弃物在线交易的全面实施进程。

## 六、对策建议

### (一) 技术层面

发展多源生态环境监测技术,注重技术的可行性、经济性和科学性,遴选出实用价值突出的应用方式,保障“互联网+”智慧环保的深入发展。综合互联网、物联网、移动通信、云计算等方面的技术成果,与生态环境监管体系进行融合应用,推动信息采集、传输、处理效率的全面提升。突出生态环境管理业务需求导向,优化相关系统的顶层设计,采用大数据技术高效实施数据汇集和整合;运用环境综合模拟、多业务协同建模等技术合理预测未来情景,采用 AI 技术辅助实现多源数据的综合分析和处理,支持生态环境的管理决策。

### (二) 应用层面

进一步加大数据开放共享政策推动力度,保障“互联网+”智慧环保在环境管理和决策方面的能效发挥。准确界定主管部门和相关单位的具体职责,尤其是强化相关单位的主体责任,同时对数据的生产者和使用者提出明确要求并结合实际情况予以更新。合理监管数据的交流与利用,主管部门和相关

单位应依法明确数据密级和开放条件。重视数据保护,规范数据使用者的行为,体现对数据生产的尊重。注重数据积累、促进开放共享,要求环保信息化项目产生的数据进行强制性汇交,通过数据中心来规范管理和长期保存。加强数据管理能力建设,相关单位建立具体的工作机制和激励机制,明确考核责任。

### (三) 产业层面

进一步推进“互联网+”智慧环保,为环保产业链条式发展、环保产业技术升级变革、环保企业扩大规模并提升竞争力进行充分赋能。环保企业加大智慧环保建设的投入力度,谋划环保产业转型升级。在环保产业政策体系、环境服务行业规范性等方面重点突破,规范和引导行业性的技术规划、金融支持、人才培养等。合理扶持环保产业,推动作为新兴事物的环境信息服务业的规范化和规模化发展。

#### 参考文献

- [1] 中华人民共和国国务院. 国务院关于积极推进“互联网+”行动的指导意见 [EB/OL]. (2015-07-04) [2020-04-12]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-07/04/content\\_10002.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-07/04/content_10002.htm). State Council of the People's Republic of China. The State Council guidelines on actively promoting the “Internet Plus” Action [EB/OL]. (2015-07-04) [2020-04-12]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-07/04/content\\_10002.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-07/04/content_10002.htm).
- [2] 中华人民共和国国务院. 国务院关于印发“十三五”国家信息化规划的通知 [EB/OL]. (2016-12-27) [2020-04-12]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-12/27/content\\_5153411.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-12/27/content_5153411.htm). State Council of the People's Republic of China. Circular of the State Council on the issuance of the “13th Five-Year” national informatization planning [EB/OL]. (2016-12-27) [2020-04-12]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-12/27/content\\_5153411.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-12/27/content_5153411.htm).
- [3] 中华人民共和国生态环境部. 关于印发《生态环境大数据建设总体方案》的通知 [EB/OL]. (2016-03-08) [2020-04-12]. [http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgt/201603/t20160311\\_332712.htm](http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgt/201603/t20160311_332712.htm). Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Notice on the publication of *The overall plan for the construction of large ecological environment data* [EB/OL]. (2016-03-08) [2020-04-12]. [http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bgt/201603/t20160311\\_332712.htm](http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bgt/201603/t20160311_332712.htm).
- [4] 王立波. 文一波:“互联网+”将在环保产业落地 [N]. 中国环境报, 2015-07-27(7). Wang L B. Wen Yibo: “Internet Plus” to be implemented in the environmental protection industry [N]. China Environment News, 2015-07-27(7).
- [5] 胥彦玲, 李纯, 闫润生. 中国智慧环保产业发展趋势及建议 [J].

技术经济与管理研究, 2018 (7): 119-123.

Xu Y L, Li C, Yan R S. Trends and suggestions for the development of smart environmental protection industry in China [J]. Journal of Technical Economics & Management, 2018 (7): 119-123.

- [6] 蒋洪强, 卢亚灵, 周思, 等. 生态环境大数据研究与应用进展 [J]. 中国环境管理, 2019, 11(6): 11-15.

Jiang H Q, Lu Y L, Zhou S, et al. Progress in research and application of ecological environment big data [J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2019, 11(6): 11-15.

- [7] 魏斌, 黄明祥. 新形势下环境信息化发展展望 [J]. 中国环境管

理, 2015, 7(1): 14-17.

Wei B, Huang M X. Prospects of environmental informatization development under new situation in China [J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2015, 7(1): 14-17.

- [8] 刘文清, 刘建国, 谢品华, 等. 区域大气复合污染立体监测技术系统与应用 [J]. 大气与环境光学学报, 2009, 4(4): 243-255.

Liu W Q, Liu J G, Xie P H, et al. Spatio-temporal monitoring system and its application in regional complex air pollution study [J]. Journal of Atmospheric and Environmental Optics, 2009, 4(4): 243-255.