

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第34卷 第11期 Vol.34 No.11 **2014**

中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 11 期 2014 年 6 月 (半月刊)

## 目 次

### 前沿理论与学科综述

土壤大孔隙流研究现状与发展趋势..... 高朝侠,徐学选,赵娇娜,等 (2801)

### 能源基地生态修复

我国大型煤炭基地建设的生态恢复技术研究综述..... 吴 钢,魏 东,周政达,等 (2812)

国家大型煤电基地生态环境监测技术体系研究——以内蒙古锡林郭勒盟煤电基地为例.....

..... 魏 东,全 元,王辰星,等 (2821)

基于 DPSIR 模型的国家大型煤电基地生态效应评估指标体系 ..... 周政达,王辰星,付 晓,等 (2830)

西部干旱区煤炭开采环境影响研究..... 雷少刚,卞正富 (2837)

露天煤矿区生态风险受体分析——以内蒙古平庄西露天煤矿为例..... 高 雅,陆兆华,魏振宽,等 (2844)

草原区矿产开发对景观格局和初级生产力的影响——以黑岱沟露天煤矿为例.....

..... 康萨如拉,牛建明,张 庆,等 (2855)

三七对土壤中镉、铬、铜、铅的累积特征及健康风险评价 ..... 林龙勇,阎秀兰,廖晓勇,等 (2868)

某焦化场地土壤中多环芳烃分布的三维空间插值研究..... 刘 庚,毕如田,权 腾,等 (2876)

### 个体与基础生态

杉木人工混交林对土壤铝毒害的缓解作用 ..... 雷 波,刘 彬,罗承德,等 (2884)

基于  $\delta^{15}\text{N}$  稳定同位素分析的人工防护林大型土壤动物营养级研究 ..... 张淑花,张雪萍 (2892)

铅镉抗性菌株 JB11 强化植物对污染土壤中铅镉的吸收 ..... 金忠民,沙 伟,刘丽杰,等 (2900)

陕北地区石油污染土壤中不动杆菌属的筛选、鉴定及降解性能 ..... 王 虎,吴玲玲,周立辉,等 (2907)

祁连山高山植物根际土放线菌生物多样性..... 马爱爱,徐世健,敏玉霞,等 (2916)

新疆沙冬青 AM 和 DSE 真菌的空间分布 ..... 姜 桥,贺学礼,陈伟燕,等 (2929)

聚糠茶水剂对不同积温带玉米花后叶片氮同化的影响..... 高 娇,董志强,徐田军,等 (2938)

内蒙古河套灌区玉米与向日葵霜冻的关键温度..... 王海梅,侯 琼,云文丽,等 (2948)

四种类型栓皮栎栲胶含量..... 尹艺凝,张文辉,何景峰,等 (2954)

食物胁迫对翅二型丽斗蟋飞行肌和繁殖发育的影响..... 吴红军,赵吕权,曾 杨,等 (2963)

颜色对梨小食心虫产卵选择性的影响..... 杨小凡,马春森,范 凡,等 (2971)

缓释单萜类挥发物对落叶松毛虫行为及落叶松主要防御蛋白的影响..... 林 健,刘文波,孟昭军,等 (2978)

### 种群、群落和生态系统

黄土丘陵沟壑区不同植被恢复格局下土壤微生物群落结构 ..... 胡婵娟,郭 雷,刘国华 (2986)

刺参池塘底质微生物群落功能多样性的季节变化..... 闫法军,田相利,董双林,等 (2996)  
基于 DGGE 技术的茯砖茶发花过程细菌群变化分析 ..... 刘石泉,胡治远,赵运林 (3007)

### 景观、区域和全球生态

中国区域间隐含碳排放转移..... 刘红光,范晓梅 (3016)  
西南地区退耕还林工程主要林分 50 年碳汇潜力 ..... 姚 平,陈先刚,周永锋,等 (3025)  
青海湖流域草地植被动态变化趋势下的物候时空特征..... 李广泳,李小雁,赵国琴,等 (3038)  
黑龙江省温带森林火灾碳排放的计量估算..... 魏书精,罗碧珍,孙 龙,等 (3048)  
三峡库区森林植被气候生产力模拟..... 潘 磊,肖文发,唐万鹏,等 (3064)  
三峡水库支流拟多甲藻水华的形成机制..... 朱爱民,李嗣新,胡 俊,等 (3071)  
流域库坝工程开发的生物多样性敏感度分区..... 李亦秋,鲁春霞,邓 欧,等 (3081)

### 城乡与社会生态

基于集对分析的京津冀区域可持续发展协调能力评价..... 檀菲菲,张 萌,李浩然,等 (3090)  
江西省自然保护区发展布局空缺分析 ..... 黄志强,陆 林,戴年华,等 (3099)  
鄱阳湖生态经济区生态经济指数评价 ..... 黄和平,彭小琳,孔凡斌,等 (3107)  
基于有害干扰的中国省域森林生态安全评价..... 刘心竹,米 锋,张 爽,等 (3115)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 328 \* zh \* P \* ¥90.00 \* 1510 \* 35 \* 2014-06



**封面图说:** 三峡库区森林植被——三峡地区属亚热带区域,山高坡陡、地形复杂、物种丰富,森林是其最重要的自然资源之一,其面积占到库区总面积的 37%左右,库区内现有森林可初步分为 2 个植被型组,8 个植被型,18 个群系组,44 个群系,102 个群丛,主要树种有马尾松、杉树、柏树等,低海拔处多为落叶阔叶林、常绿阔叶林,较高海拔分布有针阔混交林、针叶混交林、灌木林等,人工林主要有经济林、竹林等。对三峡库区森林气候生产力进行模拟,分析库区森林植被的生产力并进行预测,可以为三峡库区的生态建设决策提供科学依据。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201308192112

魏东, 全元, 王辰星, 付晓, 周政达, 王毅, 高雅, 吴钢. 国家大型煤电基地生态环境监测技术体系研究——以内蒙古锡林郭勒盟煤电基地为例. 生态学报, 2014, 34(11): 2821-2829.

Wei D, Quan Y, Wang C X, Fu X, Zhou Z D, Wang Y, Gao Y, Wu G. The ecology and environment monitoring technical systems in national large-scale coal-fired power base: a case study in Xilingol League, Inner Mongolia. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(11): 2821-2829.

# 国家大型煤电基地生态环境监测技术体系研究

## ——以内蒙古锡林郭勒盟煤电基地为例

魏 东<sup>1,3</sup>, 全 元<sup>2,3,\*</sup>, 王辰星<sup>2,3</sup>, 付 晓<sup>2</sup>, 周政达<sup>2,3</sup>, 王 毅<sup>2,3</sup>, 高 雅<sup>2,3</sup>, 吴 钢<sup>2</sup>

(1. 中国科学院城市环境研究所城市环境与健康重点实验室, 厦门 361021;

2. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域国家重点实验室, 北京 100085; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:**随着我国煤电基地建设进程的不断加快, 煤电基地建设及开发活动引起的环境问题也日趋严重。了解生态环境质量现状, 评估其对生态系统与人民健康水平的影响, 制定合理的保护、治理、恢复策略是煤电基地环境保护工作的重中之重, 而生态环境监测是解决上述问题的基础。然而, 现有的监测技术体系普遍存在自动化水平较低、成本较高、时空覆盖面较低等问题。鉴于物联网技术在提高信息采集效率和改善信息获取方式方面的作用日益显著, 所以将物联网技术应用于煤电基地生态环境监测, 从感知层、传输层、支撑层、应用层、用户层的角度明确生态环境监测技术体系, 为解决上述问题提供有效途径。

**关键词:** 煤电基地; 生态环境监测; 物联网

## The ecology and environment monitoring technical systems in national large-scale coal-fired power base: a case study in Xilingol League, Inner Mongolia

WEI Dong<sup>1,3</sup>, QUAN Yuan<sup>2,3,\*</sup>, WANG Chenxing<sup>2,3</sup>, FU Xiao<sup>2</sup>, ZHOU Zhengda<sup>2,3</sup>, WANG Yi<sup>2,3</sup>, GAO Ya<sup>2,3</sup>, WU Gang<sup>2</sup>

1 Key Laboratory of Urban Environment and Health, Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361021, China

2 State Key of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract:** As the construction of coal-fired power bases in China accelerates, the amount of ecological damage and environmental pollution caused by this and their subsequent operation and servicing becomes more serious. It should be a priority to establish the ecological and environmental risks posed by coal-fired power bases, to assess their impact on ecosystems and human health, and to develop reasonable strategies for the protection, governance, and restoration of the environment. A sustained and methodical program of ecological and environmental monitoring is the basis for solving these problems. However, currently, the monitoring of technical systems still presents several operational shortcomings, such as low levels of automation, high operating costs, and poor spatial and temporal coverage. At the same time, significant developments in the Internet of Things are improving both the production efficiency of data collection and the way in which data are captured. Accordingly, we believe that the Internet of Things could be one of the more effective ways of solving the problems inherent in the current monitoring of technical systems, in respect of the sensing layer, transport layer, supporting layer, application layer, and client layer. For the study area in the current work, we used Xilinguolemeng in Inner

**基金项目:** 国家科技支撑计划课题“国家大型能源基地格局生态效应评估与决策支持技术研究及应用”(2012BAC10B01)

**收稿日期:** 2013-08-19; **网络出版日期:** 2014-03-07

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yquan@iue.ac.cn

Mongolia, an area that is rich in coal resources and one of the principal regions for coal-fired power base operation in China. To obtain the reference information regarding the problems of the atmospheric environment, meteorological data, surface water, groundwater, and soil environment, we needed to deploy the appropriate number of relevant sensors around the study area, after having established the principles for selecting the most suitable sensors. The data were transferred to the central platform via wireless sensor networks and the general packet radio service. Then, we analyzed these data and determined the state of the ecological systems and environmental pollution. At the same time, the platform provided the following functions: monitoring of environmental quality, environmental impact assessment, environmental management and decision-making support, ecological efficiency analysis, and environmental emergency response. The government, especially the environmental protection department, and the company can both easily obtain ecological and environmental information using a technical system based on the Internet of Things. The advantages of the Internet of Things system are as follows. First, it provides a large amount of high-quality data on the ecology and environment because of the avoidance of errors caused by manual operation. Second, the data are available for analysis in near real time. This means that problems can be identified quickly and that data are handled online, such that the builders and managers can respond quickly, helping in the implementation of ecological restoration and environmental protection policies and measures. Finally, the cost of monitoring and management is reduced. Therefore, technical systems for the ecological and environmental monitoring of national large-scale coal-fired power bases, which are based on the Internet of Things, can satisfy the requirements for providing high-quality ecological and environmental data at relatively low cost. Because of the large number of coal-fired power bases, ecological and environmental monitoring based on the Internet of things, offers the advantages of low cost, high precision, high universality, and widespread appeal.

**Key Words:** coal-fired power base; environment monitoring; the internet of things

近年来,随着能源基地建设规模的不断扩张,区域生态环境压力逐渐增加,保护生态环境成为能源化工基地能否实现可持续发展的重大问题<sup>[1]</sup>。了解能源基地生态环境状况,分析找出能源基地生态环境的主要问题,并在此基础上提出加强基地生态环境建设的有效对策措施是缓解生态压力解决环境问题的关键,而对煤电基地的生态系统和环境监测工作是获取建设开发活动对生态环境影响信息的最为有效的途径<sup>[2-3]</sup>。因此,科学、合理的生态环境监测技术体系能够为研究大型能源基地的开发过程中生态系统演变的机制、自然环境变化的规律提供坚实的数据基础,进而使能源基地的建设开发能与生态系统、自然环境协调发展。

“十二五”期间,我国将重点建设 14 个大型煤炭基地,同时依托煤炭基地资源优势,将在蒙、新、晋、陕、甘、宁、黔等省(自治区)建设 16 个大型煤电基地,包括:山西(晋东南、晋中、晋北)、陕北、彬长、宁东、准格尔、鄂尔多斯、锡林郭勒、呼伦贝尔、霍林河、宝清、哈密、准东、伊犁、淮南、陇东以及贵州<sup>[4]</sup>。煤电基地生态环境监测是保护当地生态系统和环境质

量的基础。煤电基地的建设与开发产生了一系列生态系统破坏与环境质量恶化的问题,如生产排放对水体的污染,煤粉、扬尘对空气质量的影响,排土场的植被恢复等。生态环境监测是通过先进的监测技术和监测方法,对环境污染现状进行正确的评价,为煤电基地建设开发者和当地环境管理者制定环境保护政策、推行控制措施提供参考<sup>[5]</sup>。

物联网对社会经济发展各方面的影响日渐凸显<sup>[6-8]</sup>。由于其理念与技术上的先进性,以及能够与环保技术相互促进的特点,使物联网在生态环境保护领域拥有较大的应用空间和发展前景。国家工信部在 2012 年 2 月发布的《物联网“十二五”发展规划》中明确指出了物联网技术在环境领域中的地位 and 重要性。环境物联网的出现则为研究、解决生态环境问题提供了全新的思路,并且基于环境物联网也开发出了众多集成度较高的工具<sup>[9-10]</sup>。

科学、全面的生态环境监测体系有助于深刻认识煤电基地的建设开发活动对生态系统的破坏与环境质量的影响,基于对物联网和生态环境监测体系的全面了解,本文提出了基于物联网技术的煤电基

地生态环境监测技术体系的设计方案,并从感知层、传输层、支撑层、应用层、用户层的角度,论述了利用物联网技术在煤电基地进行生态环境监测的技术体系的具体方法与监测成本低、数据质量高的优势,有一定的推广价值。

## 1 研究区概况

内蒙古锡林郭勒盟煤电基地位于内蒙古锡林郭勒盟东北部,包括锡林浩特市、阿巴嘎旗、东乌珠穆沁旗(含乌拉盖管理区)和西乌珠穆沁旗4市(旗),总面积为114364 km<sup>2</sup>(图1),其中矿区总面积3339.56 km<sup>2</sup>。基地围绕其内部七大矿区(胜利、五间房、巴彦宝力格、查干淖尔、白音华、贺斯格乌拉和乌尼特矿区),以煤炭集中综合开发为主,加快大型高效煤矿建设,到2015年,使七大矿区的煤炭生产能力达到26480万t/a。同时,由七大矿区的坑口火电集群组成,根据煤矸石和劣质煤资源条件建设一批煤矸石电厂和热电厂,所发电量均接入蒙西电网。

根据《锡林郭勒盟电源基地开发规划》,按照“煤为基础、多元开发、循环发展、高效集约”的发展思路,充分发挥资源、区位、环境、政策等优势条件,实现能源科学、合理、有序开发利用,将锡盟建设成为国家重要的绿色能源基地。

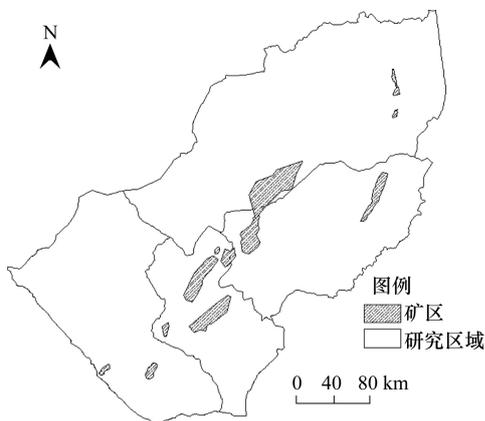


图1 研究区域区位图

Fig.1 Location of the study area of Xilingol League

## 2 煤电基地建设造成的主要环境问题

煤电基地的建设与开发,为社会发展带来经济效益的同时,也带来诸多生态环境问题<sup>[11-12]</sup>,包括生态系统的严重退化和环境的严重破坏。主要表现在地表水、地下水、大气质量、土壤环境问题这4个

方面。

### 2.1 地表水环境问题

地表水是指存在于地壳表面,暴露于大气中的水,亦称“陆地水”,是人类生活用水的重要来源之一。煤电基地建设造成的地表水环境问题主要表现在以下几个方面:(1)煤炭资源的开采、运输、转化、利用过程中产生的大量废水和废渣,往往不经过处理直接排入河道,造成地表水严重污染;(2)露天开采会改变地表河流的原有流向,使河流出现水源枯竭、断流等现象,从而导致地表植被枯萎等环境问题,严重时造成土地沙漠化;(3)露天开采的过程中采出的大量废石、煤矸石等,直接堆放在排土场中,长期暴露于露天环境中的废石和煤矸石,在雨水冲刷和风力侵蚀下,岩石极易发生风化、分解等不同程度的物理和化学变化,溶解于地表水系中,使水体中含有不同程度的悬浮物、溶解物、重金属离子及放射性物质并使水体酸化,从而污染地表水进而污染地下水资源<sup>[13-14]</sup>。

### 2.2 地下水环境问题

地下水是存在于地下多孔介质中的水,地下水因其供水稳定水质良好往往是农业灌溉、工矿企业以及城市生活用水的重要水源。煤电基地建设开发导致的地下水环境问题主要表现在水质污染与地下水水位下降两个方面<sup>[15]</sup>。

在水质污染方面,露天开采过程中露天煤矿排土场的淋溶水、工业场地产生的生活污水以及矿坑涌水对地下水环境均具有较大的污染。排土场的煤矸石中富含碱金属、碱土金属和硫等污染物,大气降水对煤矸石中的无机盐类产生淋溶效应,含无机盐类的淋溶水流入地表水体,通过地表水河床和土壤渗透渗入地下含水层,严重污染地下水。工业场地的生活污水和矿坑涌水也是对地下水环境污染较为严重的排放污水,其主要污染因子为石油类污染物、悬浮颗粒物和化学需氧量等,绝大多数排放的污水没有经过处理而直接排放,将对污水受体土壤和地表植被产生较大影响,通过透水地面和土壤渗入地下也会造成地下水的严重污染。

在地下水水位下降方面,为保证露天矿边坡的稳定性及设备正常高效的作业,需要对采矿区内的水资源进行疏干排水,这将对地下水水位的补给造成严重影响,打破了大气降水-地表水-地下水转化的

系统平衡。

### 2.3 大气环境问题

大气环境问题的产生原因多种多样,就煤电基地建设开发现状来看,大气环境污染物主要包括:(1)露天开采过程中表层剥离、爆破、铲装、运输、卸载、排土过程中产生的粉尘与煤尘;(2)储煤场产生的粉尘;(3)煤矸石以及灭火区自燃产生的一氧化碳、二氧化硫和氮氧化物等有毒有害气体<sup>[16]</sup>。

### 2.4 土壤环境问题

由煤电基地建设开发活动带来的主要土壤环境问题为:

(1)煤炭开采尤其是露天开采对土地资源的侵占

露天开采因其资源利用率高、贫化率低等优势适宜于浅层煤区,然而露天开采需要占用大量土地进行土方剥离,露天开采工程对土地的直接挖损和外排土场对土地压占情况极为严重。由露天开采导致的土地占用,造成原有土地变成了选煤场、厂房、排土道路、运煤铁路、供电线路及排水管道等矿工用地,对土地功能格局造成破坏。煤炭资源开采对地表形态、生物种群以及浅部地层的直接损毁也相当严重,通过土地占压与土地挖损将造成土地表层植被的严重破坏,而此区域原本稳定的生态系统必将受到严重干扰,造成植被、地貌、生态系统以及社会环境的大变化。

(2)煤炭开采行为造成的水土流失

表土剥离会使原有的植被枯萎,造成土地沙漠化,导致严重的水土流失。煤炭开挖也会引起地应力的改变,从而导致岩层的移动,使地表出现裂隙,甚至塌陷,使大片的土地无法使用。

(3)矿渣造成的土壤重金属污染

矿渣中含有较多的重金属离子镉、铬、铅、铜、锌、金、汞等,以及大量的有害无机物和有机物(氰化物、挥发酚、矿物油等),矿区往往缺乏相应的污染防治措施,受到雨水冲刷和淋浸作用,直接渗透进入地表土壤,造成表层土的重金属污染。随矿渣堆放时间的增长,进而也危害的深层土壤土质。

## 3 基于物联网的煤电基地生态环境监测技术体系设计

随着煤电基地建设开发活动引起环境问题日益突出,传统生态环境监管模式已不能满足环境管理

工作对信息处理的需要,环境管理者不仅需要实时、动态掌握资源环境信息,而且需要全面、持续不断获取变化信息,从而得到环境信息和与发展相关的变化信息的实时、动态的监测,以确保可持续发展所需的信息提供。将物联网技术应用于环境监测领域正是解决这个问题的有效途径<sup>[17-18]</sup>。

物联网概念自1999年于MIT问世以来,随着技术的不断进步,在经济社会领域的影响力不断扩大,呈现出蓬勃的发展趋势。2005年11月,国际电信联盟(ITU)发布了《ITU互联网报告2005:物联网》,该报告阐述了物联网为社会进步服务的可能性,并提出了任何时间、任何地点、任意物体之间互联的理念<sup>[19]</sup>。此外,该报告还指出无所不在的网络和无所不在的计算的发展愿景,以及射频识别技术、传感器技术、纳米技术、智能嵌入技术将得到更加广泛的应用。在我国,2009年8月,温家宝总理提出启动“感知中国”建设;2009年11月,在温家宝总理题为《让科技引领中国可持续发展》的重要讲话中,物联网被列为国家五大新兴战略性新兴产业之一;2010年3月,《政府工作报告》中对物联网进行的注释为:“物联网是指通过信息传感设备,按照约定的协议,把任何物品与互联网连接起来,进行信息交换和通讯,以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。它是在互联网基础上延伸和扩展的网络”。并指出“要大力发展新能源、新材料、环境保护、生物医药、信息网络和高端制造产业,加快物联网的研发应用,加大对战略性新兴产业的投入和政策支持”。

由物联网技术在环境领域应用的一般模式可以看出(图2)根据用户需求、物联网的感知层一般是由各种监测设备,获取生态环境数据或者环境质量数据,例如大气、水质、噪声等环境质量数据,通过有线、无线的通信技术将数据发送至平台,平台一则对

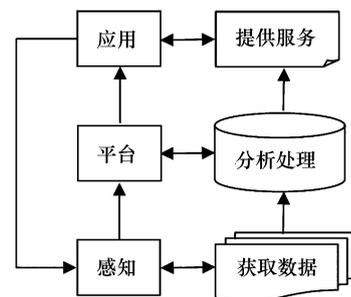


图2 物联网应用的一般模式

Fig.2 The application of the Internet of Things

数据进行存储管理、二则根据应用需求,对数据进行量化分析,为满足应用目的提供相应的服务。

本文根据煤电基地建设活动对生态环境监测的

基本需求,结合物联网技术在生态环境应用中的一般模式,提出了基于物联网的煤电基地生态环境监测技术体系(图3)。

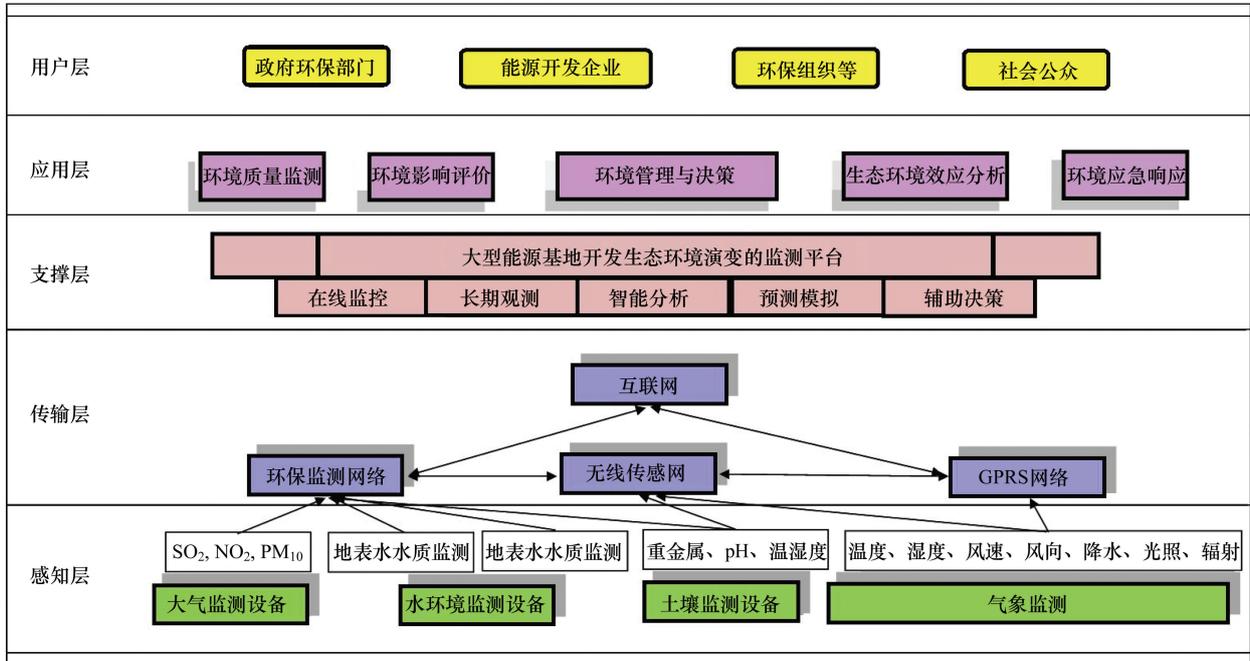


图3 基于物联网的煤电基地监测技术体系框架

Fig.3 The framework of monitoring based on the IoTs

3.1 感知层

感知层在物联网中的作用为采集、识别信息,其主要解决监测系统实时、实地数据获取的问题。

3.1.1 传感器选择

合适的前端传感设备的选择是感知层构建的一个非常重要的环节<sup>[20]</sup>。传感器的选择重点考虑以下五点原则:

(1)稳定性优先 传感器的布设位于露天的矿场周边,传感器的选择应充分考虑防水、防尘、防冰冻、防雷等要求。研究区冬寒夏炎,1月平均气温-20℃,7月平均气温21℃,传感器的有效工作温度应至少大于这一范围。

(2)灵敏度与精度适当 虽然通常使用者希望传感器具有更高的灵敏度,一般情况下,只有在灵敏度较高时,与被测量信息变化相对应的输出信号的值会比较大,有利于信号处理。然而值得注意的是,传感器的灵敏度越高,与被测量信息无关的外界干扰也越容易混入,并被放大系统放大,严重影响测量精度。因此,传感器的选择应在满足精度的条件下,适当降低对灵敏度的要求。

(3)具体性能要满足国家标准 传感器的选择过程中应基于传感器的原理,先确定何种类型的传感器,再根据国家标准的要求考虑传感器的具体性能指标。

(4)通用性原则 选择传感器时,应当选择兼容性、可扩展性较好的产品。

(5)经济性原则 水、土、气、声等多重环境要素的共同监管对传感器的需求量较大,因此在选择传感器的时候要选择价格适中,适于大量使用的传感器。

表1给出了传感器选择的具体参数标准等。

3.1.2 感知场的形成

感知场是感知节点的有机结合,并包含其内在拓扑结构的网络。基于物联网的煤电基地生态环境监测技术体系感知场的构建涉及监测设备、数据传输技术、应用目的等多方面的内容,关键在于科学、高效地部署监测设备,制定合理的监测方案,形成大气环境、水环境(图4)、土壤环境的监测网络。在具体的部署中,首先要遵循国家关于大气、地表水与地下水、土壤环境监测的相关法规与标准,其次根据监

测目的、实际环境布设监测点,并进行节点优化,形成稳定、高效的感知场。

表 1 传感器选择

Table 1 Sensors

监测要素 Monitoring elements	监测指标 Monitoring indexes	监测仪器及说明 Explanation
气象环境监测传感器 Meteorology	温度、湿度、降雨量、风速、风向等	气象环境监测的方式是在研究区内设置小型气象站,要求气象站可在-45—60℃温度范围内工作,监测项目包括风速、风向、温度、湿度、大气压力、降水量等
大气环境监测传感器 Atmosphere	SO <sub>2</sub> 、氮氧化物、颗粒物	空气质量监测传感器要求其能够在-20—50℃温度范围内工作,精度达到 ppb 级,防护等级 IP55,需适宜户外安装
土壤环境监测传感器 Soil	土温、土湿、重金属	土壤环境监测设备要求可以监测土壤温度、湿度、盐度等参数,其中土壤温度传感器精度达到±0.3℃,土壤盐度传感器精度达 3%
水体环境监测传感器 Water	pH、溶解氧、温度、浊度、铵/氮离子	水质监测设备要求能够监测常见的参数,且能够对水质的异常变化实时预警,可连接无线网络等

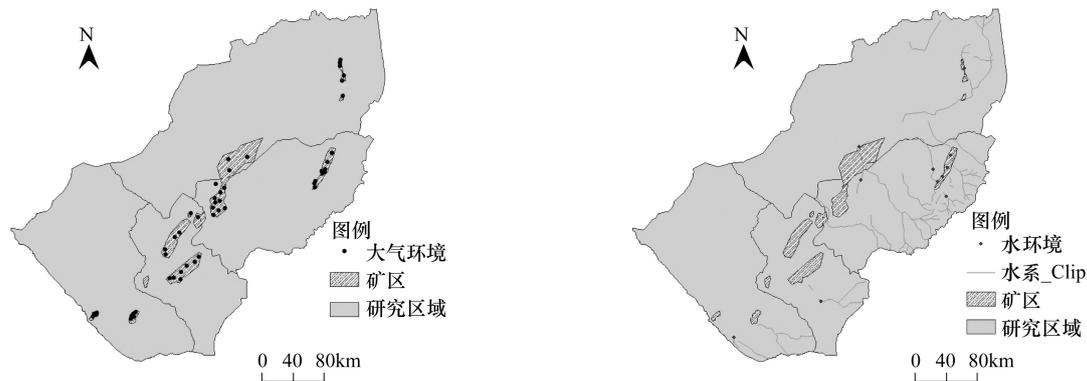


图 4 大气、水环境监测节点

Fig.4 The atmospheric and the water environment monitoring sites

### 3.2 传输层

传输层是指通过无线局域网、无线传感网络、互联网等多种网络媒介,构建监测系统的网络平台,将感知层采集的信息实时准确地传递至信息数据中心,进而实现对数据统一的整理、汇总、分析等。这些常用的技术有射频识别技术(RFID)、产品电子代码技术(EPC)、无线传感器网络(WSN)、WiFi、GPRS等<sup>[21-22]</sup>。根据所要采集的生态环境信息及传输距离,一般采用GPRS通信技术进行数据传输。

GPRS技术是通用分组无线服务技术(General Packet Radio Service)的简称,它是GSM移动电话用户可用的一种移动数据业务。GPRS和以往连续在频道传输的方式不同,是以封包(Packet)式来传输,因此使用者所负担的费用是与其传输资料单位计

算,并非使用其整个频道,理论上成本较低。由于其基站设施为大型电信运营商广泛架设,因此可用于远距离跨区跨城市的传感器数据传输。

### 3.3 支撑层-监测平台

支撑层,即基于物联网监测技术体系的监测平台,其作为监测系统的核心与“大脑”,主要内容是通过建设相关的数据库对传输到数据中心的环境信息进行存储与分析,其主要功能是感知层通过传感器将环境信息通过传输层发送回支撑层的数据中心,建设监测体系的数据库,并开发相应的软件,实现相应的功能(图5)。

具体功能包括:(1)在线监控与实时分析,(2)长期观测,(3)模拟预测,(4)辅助决策。

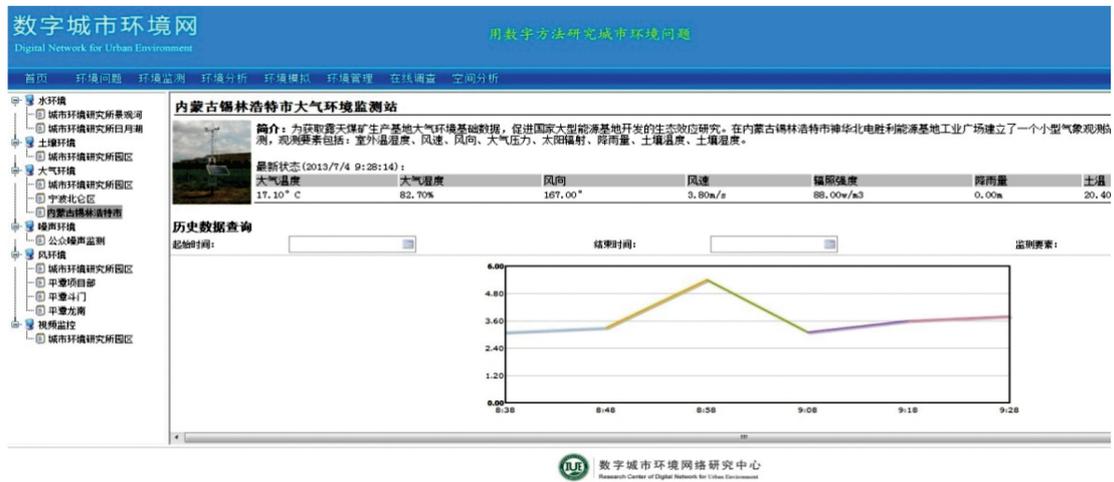


图 5 在线监测与分析模拟

Fig.5 Online monitoring, analysis and modeling

3.4 应用层

应用层是将支撑层数据分析的结果与实际相结合,来解决实际的环境问题,提供科学、合理的解决方案。

(1) 环境质量监测

基于物联网的环境监测体系可形成研究区内较为完备的水环境、土壤环境、大气环境监测系统,便于我们及时、全面地掌握相关的环境信息。

(2) 环境影响评价

环境影响评价的应用表现在:一是基于物联网的质量监测体系可以为环境影响评价提供完备的环境质量信息等资料;二是可以对环境影响评价的结果进行可视化与深层次地分析。

(3) 环境管理与决策

基于物联网的环境监测体系的最终目的是实现研究区内环境科学管理与正确决策。因此,通过环境监测体系可以及时发现示范区内存在的环境问题,进而找出解决这些问题的方法等。

(4) 生态环境效应分析

生态环境效应的分析需要结合示范区内开发活动与生态环境变化的相关信息,基于物联网的环境监测体系为这一应用提供了切实可行的平台。

(5) 环境应急响应

基于物联网的环境监测体系可在环境突发事件发生时及时获取相关环境信息,迅速做出反应,如锁定污染源、模拟污染扩散等。

3.5 用户层

用户层的含义是政府环境管理部门、研究区内

相关企业、科研院所以及一些民间环保组织均可以通过应用层提供的相关服务来满足自身不同的需求。如政府环境管理部门,借助支撑层的环境监测数据的分析结果,对相应的环境危害进行全面地评估,及时调整环境管理的目标,采取有针对性的环境管理政策工具等。而研究区内的企业,通过监测系统的分析结果,正确评估开发、建设活动对生态环境的影响,及时调整、遏制对环境产生负外部性的经济活动,保证生态系统健康<sup>[23]</sup>。

4 结论与讨论

本文基于物联网建立了煤电基地生态环境监测技术体系,与传统的生态环境监测手段相比,使用物联网进行生态环境监测有如下的优势:

(1) 煤电基地建设项目所涉及的环境要素种类繁多,环境问题复杂,需要进行大范围、长时间的生态环境监测,积累了丰富的生态环境信息。而传感器节点具有体积小、数量大、分布密度高,每个节点可以监测到局部环境的详细信息并汇总到汇聚节点,因此利用物联网进行生态环境监测具有数据采集量大和精度高的特点。

(2) 传感网络节点本身具有计算能力和信息处理能力,可以根据环境的变化进行较为复杂的监测,并可进行多节点、多类型传感器之间的信息融合和协同处理。生态环境监测的环境要素涉及大气、土壤、地表水等,网络节点通过前端处理。可实现多种环境要素融合,与实际应用更加契合。同时网络的健壮性和抗毁性可以满足特定环境下的应用需求。

(3)提高数据质量 首先,避免了诸多人工操作导致的数据质量低、误差大的问题;其次,丰富的数据量,为分析实际问题奠定了坚实的基础。现场采集的数据可通过中间节点进行(路由)传送,在不增加功耗和成本的前提下可提高系统性能。

(4)节约了监测成本 实现了政府、企业环境管理的精细化。如锡盟煤电基地排土场的喷灌系统,通过气象传感器、土壤湿度传感器等,实现了喷灌的自动控制,实现了水资源的高效利用,节约环保投入的同时,提高环境管理水平。

基于物联网的煤电基地生态环境监测技术体系,能够满足煤电基地建设与开发活动生态环境监测的需求,并能保证以相对较低的监测成本,获得数据质量较高的生态环境监测信息。本文构建的监测体系可以实现监测数据的实时分析和在线分析,以便建设者和管理者能够及时的做出响应,有助于生态恢复和环境保护政策、措施的推行。同时由于基于物联网的大型煤电基地生态环境监测系统低成本、高精度等优势,使其在能源基地和煤电基地的开发过程中具有较高的普适性和推广价值。

#### References:

- [ 1 ] Wu D, Dai F Z, Yan Y, Liu X, Fu X. The environmental and economic influence of coal-electricity integration exploitation in the Xilingol League. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31 ( 17 ): 5055-5060.
- [ 2 ] You C F, Xu X C. Coal combustion and its pollution control in China. *Energy*, 2010, 35(11): 4467-4472.
- [ 3 ] Si H, Bi H, Li X H, Yang C H. Environmental evaluation for sustainable development of coal mining in Qijiang, Western China. *International Journal of Coal Geology*, 2010, 81(3): 163-168.
- [ 4 ] KeyLaboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes. CAS Coal-Water Bit. Beijing: China Environment Press, 2012.
- [ 5 ] Ma T, Wang Y J, Hao D, Guan S, Dan D Z, Wang B. Ecological monitoring and its development in China. *Sichuan Environment*, 2003, 22(2): 19-25, 34-34.
- [ 6 ] Atzori L, Iera A, Morabito G, Nitti M. The Social Internet of Things (SIoT) - When social networks meet the Internet of Things: Concept, architecture and network characterization. *Computer Networks*, 2012. 56(16): 3594-3608.
- [ 7 ] Domingo M C. An overview of the internet of underwater things. *Journal of Network and Computer Applications*, 2012, 35 ( 6 ): 1879-1890.
- [ 8 ] Sun E, Zhang X K, Li Z X. The internet of things (IOT) and cloud computing (CC) based tailings dam monitoring and pre-alarm system in mines. *Safety Science*, 2012, 50(4): 811-815.
- [ 9 ] Zhao J Z, Zheng X C, Dong R C, Shao G F. The planning, construction, and management toward sustainable cities in China needs the Environmental Internet of Things. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2013, 20 ( 3 ): 195-198.
- [ 10 ] Tang L N, Zheng X C, Su X D, Zheng S N, Shao G F. Experimental mobile environmental monitoring and real-time analysis as an initial application of EIoT in town villages in China. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2013, 20(3): 267-271.
- [ 11 ] Bai R C, Bai Y, Liu G W, Wang Z P, Wang X X. Simple discussion the environmental problem of open coal mine and thire solutions. *Energy Environmental Protection*, 2012, 26 ( 5 ): 36-39.
- [ 12 ] Fan Y H, Lu Z H, Cheng J L, Zhou Z X, Wu G. Major ecological and enviromental problems and the ecological reconstruction technologies of the coal mining areas in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(10): 2144-2152.
- [ 13 ] Ding Z L, Deng J X, Li J F. Wear surface studies on coal water slurry nozzles in industrial boilers. *Materials & Design*, 2007, 28 ( 5 ): 1531-1538.
- [ 14 ] Li W D, Li W F, Liu H F, Yu Z H. Influence of sewage sludge on the slurryability of coal-water slurry. *Fuel*, 2009, 88 ( 11 ): 2241-2246.
- [ 15 ] Liu S Q, Li J G, Mei M, Dong D L. Groundwater pollution from underground coal gasification. *Journal of China University of Mining and Technology*, 2007, 17(4): 467-472.
- [ 16 ] Blaha U, Sapkota B, Appel E, Stanjek H, Rosler W. Micro-scale grain-size analysis and magnetic properties of coal-fired power plant fly ash and its relevance for environmental magnetic pollution studies. *Atmospheric Environment*, 2008, 42(36): 8359-8370.
- [ 17 ] Wang H W, Zhang T H, Quan Y, Dong R C. Research on the framework of the Environmental Internet of Things. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2013, 20 ( 3 ): 199-204.
- [ 18 ] Dong R C, Tang M F, Zhou K, Li S Y, Wu G. Study on the modified quadrat sampling method for urban ecosystem network monitoring. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2013, 20(3): 210-215.
- [ 19 ] Younis M, Akkaya K. Strategies and techniques for node placement in wireless sensor networks: A survey. *Ad Hoc Networks*, 2008. 6(4): 621-655.
- [ 20 ] Su X D, Shao G F, Vause J, Tang L N. An integrated system for urban environmental monitoring and management based on the Environmental Internet of Things. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2013, 20 ( 3 ): 205-209.

- [21] Ozdemir S, Xiao Y. Secure data aggregation in wireless sensor networks: A comprehensive overview. *Computer Networks*, 2009, 53(12): 2022-2037.
- [22] Yick J, Mukherjee B, Ghosal D. Wireless sensor network survey. *Computer Networks*, 2008, 52(12): 2292-2330.
- [23] Li C M, Wei D, Vause J, Liu J P. Towards a societal scale environmental sensing network with public participation. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2013, 20(3): 261-266.
- [4] 中国科学院地理科学与资源研究所陆地水循环与地表过程重点实验室, 噬水之煤. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.
- [5] 马天, 王玉杰, 郝电, 关胜, 但德忠, 王斌. 生态环境监测及其在我国的发展. *四川环境*, 2003, 22(2): 19-25, 34-34.
- [11] 白润才, 白羽, 刘光伟, 王志鹏, 王喜贤. 浅谈露天煤矿环境问题及其解决方法. *能源环境与保护*, 2012, 26(5): 36-39.
- [12] 范英宏, 陆兆华, 程建龙, 周忠轩, 吴钢. 中国煤矿区主要生态环境问题及生态重建技术. *生态学报*, 2003, 23(10): 2144-2152.

#### 参考文献:

- [1] 吴迪, 代方舟, 严岩, 刘昕, 付晓. 煤电一体化开发对锡林郭

**ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.11 June, 2014 (Semimonthly)**  
**CONTENTS**

**Frontiers and Comprehensive Review**

Review on macropore flow in soil ..... GAO Zhaoxia, XU Xuexuan, ZHAO Jiaona, et al (2801)

**Ecological Restoration**

A summary of study on ecological restoration technology of large coal bases construction in China .....  
..... WU Gang, WEI Dong, ZHOU Zhengda, et al (2812)

The ecology and environment monitoring technical systems in national large-scale coal-fired power base: a case study in Xilingol  
League, Inner Mongolia ..... WEI Dong, QUAN Yuan, WANG Chenxing, et al (2821)

Evaluation index system on ecological effect of national large-scale coal-fired power base based on the dpsir conceptual model .....  
..... ZHOU Zhengda, WANG Chenxing, FU Xiao, et al (2830)

Research progress on the environment impacts from underground coal mining in arid western area of China .....  
..... LEI Shaogang, BIAN Zhengfu (2837)

Ecological risk receptors analysis of pingzhuang western open-cut coal mining area in inner mongolia .....  
..... GAO Ya, LU Zhaohua, WEI Zhenkuan, et al (2844)

Impacts of mining on landscape pattern and primary productivity in the grassland of Inner Mongolia; a case study of Heidaigou  
open pit coal mining ..... KANG Sarula, NIU Jianming, ZHANG Qing, et al (2855)

Accumulation of soil Cd, Cr, Cu, Pb by *Panax notoginseng* and its associated health risk .....  
..... LIN Longyong, YAN Xiulan, LIAO Xiaoyong, et al (2868)

3D interpolation of soil PAHs distribution in a coking contaminated site of China ... LIU Geng, BI Rutian, QUAN Teng, et al (2876)

**Autecology & Fundamentals**

Catabatic effect from artificial mixed plantation of *Cunninghamia lanceolata* on soil aluminum toxicity .....  
..... LEI Bo, LIU Bin, LUO Chengde, et al (2884)

Study on the trophic levels of soil macrofauna in artificial protection forests by means of stable nitrogen isotopes .....  
..... ZHANG Shuhua, ZHANG Xueping (2892)

Lead- and cadmium-resistant bacterial strain JB11 enhances lead and cadmium uptake in the phytoremediation of soils .....  
..... JIN Zhongmin, SHA Wei, LIU Lijie, et al (2900)

Identification and oil-degrading performance of *Acinetobacter* sp. isolated from North Shaanxi oil-contaminated soil .....  
..... WANG Hu, WU Lingling, ZHOU Lihui, et al (2907)

Phylogenetic and physiological diversity of actinomycetes isolated from plant rhizosphere soils in the Qilian Mountains .....  
..... MA Aiai, XU Shijian, MIN Yuxia, et al (2916)

Spatial distribution of AM and DSE fungi in the rhizosphere of *Ammopiptanthus nanus* .....  
..... JIANG Qiao, HE Xueli, CHEN Weiyan, et al (2929)

Effects of PASP-KT-NAA on maize leaf nitrogen assimilation after florescence over different temperature gradients .....  
..... GAO Jiao, DONG Zhiqiang, XU Tianjun, et al (2938)

Key temperatures of corn and sunflower during cooling process in Hetao irrigation district, Inner Mongolia .....  
..... WANG Haimei, HOU Qiong, YUN Wenli, et al (2948)

The content of tannin extract in four types of *Quercus variabilis* ..... YIN Yining, ZHANG Wenhui, HE Jingfeng, et al (2954)

Effect of food stress on flight muscle and reproduction development in a wing dimorphic cricket, *Velarifictorus ornatus* .....  
..... WU Hongjun, ZHAO Lüquan, ZENG Yang, et al (2963)

- Effect of colours on oviposition preference of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta* Busck ..... YANG Xiaofan, MA Chunsen, FAN Fan, et al (2971)
- Monoterpene volatiles affecting host selection behavior of *Dendrolimus superans* and the activities of defense protein in larch needles ..... LIN Jian, LIU Wenbo, MENG Zhaojun, et al (2978)
- Population, Community and Ecosystem**
- Soil microbial community structure under different vegetation restoration patterns in the loess hilly area ..... HU Chanjuan, GUO Lei, LIU Guohua (2986)
- Seasonal variation of functional diversity of microbial communities in sediment and shelter of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) cultural ponds ..... YAN Fajun, TIAN Xiangli, DONG Shuanglin, et al (2996)
- Analysis of bacterial flora during the fahua-fermentation process of fuzhuan brick tea production based on DGGE technology ..... LIU Shiquan, HU Zhiyuan, ZHAO Yunlin (3007)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- CO<sub>2</sub> emissions transfer embedded in inter-regional trade in China ..... LIU Hongguang, FAN Xiaomei (3016)
- Carbon sequestration potential of the major stands under the Grain for Green Program in Southwest China in the next 50 years ..... YAO Ping, CHEN Xiangang, ZHOU Yongfeng, et al (3025)
- Characteristics of spatial and temporal phenology under the dynamic variation of grassland in the Qinghai Lake watershed ..... LI Guangyong, LI Xiaoyan, ZHAO Guoqin, et al (3038)
- Estimates of carbon emissions caused by forest fires in the temperate climate of Heilongjiang Province, China, from 1953 to 2012 ... WEI Shujing, LUO Bizhen, SUN Long, et al (3048)
- Simulation of the climatic productivity of forest vegetation in Three Gorges Reservoir area ..... PAN Lei, XIAO Wenfa, TANG Wanpeng, et al (3064)
- The mechanism for occurrence of *Peridiniopsis* blooms in the tributaries of Three Gorges Reservoir ..... ZHU Aimin, LI Sixin, HU Jun, et al (3071)
- Biodiversity sensitivity zoning of river dam and reservoir engineering development ... LI Yiqiu, LU Chunxia, DENG Ou, et al (3081)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Assessment on coordinative ability of sustainable development of Beijing-Tianjin-Hebei Region based on set pair analysis ..... TAN Feifei, ZHANG Meng, LI Haoran, et al (3090)
- Vacancy analysis on the development of nature reserves in Jiangxi Province ..... HUANG Zhiqiang, LU Lin, DAI Nianhua, et al (3099)
- Evaluation of ecological economy index in the poyang lake ecological economic zone ..... HUANG Heping, PENG Xiaolin, KONG Fanbin, et al (3107)
- Research on China's provincial forest ecological security appraisal based on the detrimental interferences ..... LIU Xinzhu, MI Feng, ZHANG Shuang, et al (3115)

# 《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 34 卷 第 11 期 (2014 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 11 (June, 2014)

编 辑 《生态学报》编辑部  
地址:北京海淀区双清路 18 号  
邮政编码:100085  
电话:(010)62941099  
www.ecologica.cn  
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 王如松  
主 管 中国科学技术协会  
主 办 中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
地址:北京海淀区双清路 18 号  
邮政编码:100085

出 版 科 学 出 版 社  
地址:北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂  
发 行 科 学 出 版 社  
地址:东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717  
电话:(010)64034563  
E-mail: journal@cspg.net

订 购 全国各地邮局  
国外发行 中国国际图书贸易总公司  
地址:北京 399 信箱  
邮政编码:100044

广告经营 京海工商广字第 8013 号  
许 可 证

Edited by Editorial board of  
ACTA ECOLOGICA SINICA  
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China  
Tel: (010)62941099  
www.ecologica.cn  
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

Editor-in-chief WANG Rusong  
Supervised by China Association for Science and Technology  
Sponsored by Ecological Society of China  
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS  
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,  
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North  
Street, Beijing 100717, China  
Tel: (010)64034563  
E-mail: journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China  
Foreign China International Book Trading  
Corporation  
Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元