

基于GIS的页岩气开发生态环境数据管理系统设计

张思兰^{1,2},梅绪东^{1,2},徐烽淋^{1,2},陈龙利³,杨凤^{1,2}

(1. 重庆市涪陵页岩气环保研发与技术服务中心,重庆 408000;2. 重庆市页岩气开发环境保护工程技术研究中心,重庆 408000;3. 重庆市涪陵区生态环境监测站,重庆 408000)

摘要:分析了数据管理系统在生态环境领域的应用现状,以及页岩气开发生态环境数据的特性和管理需求,提出了基于地理信息系统和关系型数据库有效集成的数据管理系统框架,实现对页岩气开发区域水环境、土壤环境、环境空气及污染源负荷在时间和空间尺度的分析与评价,指出大数据、物联网技术的运用是系统发展的重要方向。

关键词:页岩气开发;生态环境保护;地理信息系统;关系型数据库;数据管理系统

中图分类号:X321;P208 文献标志码:B 文章编号:1006-2009(2021)06-0005-04

Design of Ecological Environment Data Management System for Shale Gas Development Based on GIS

ZHANG Si-lan^{1,2}, MEI Xu-dong^{1,2}, XU Feng-lin^{1,2}, CHEN Long-li³, YANG Feng^{1,2}

(1. Chongqing Fuling Shale Gas Environmental Protection Research and Technical Service Center, Chongqing 408000, China; 2. Chongqing Shale Gas Development Environmental Protection Engineering Technology Research Center, Chongqing 408000, China; 3. Monitoring Station of Ecology and Environment of Fuling District in Chongqing, Chongqing 408000, China)

Abstract: This paper analyzed the application status of ecological environment data management system, as well as the characteristics of ecological environment data and the management requirements of shale gas development. It proposed to analyze and evaluate the water environment, soil environment, ambient air and pollution source load in shale gas development area on temporal and spatial scales based on the data management system framework integrated effectively by GIS and relational database. It pointed out that the application of big data and internet of things technology was the important trend for system development.

Key words: Shale gas development; Ecological environment protection; Geographic information system; Relational database; Data management system

页岩气是一种清洁、高效的能源,其生产过程须经历勘探、钻井、压裂、开采、闭井等5个阶段,会产生水资源消耗与污染、土地占用、植被破坏、土壤污染、地面塌陷、噪声污染和光污染等环境问题,且会诱发地震^[1]。因此,预测预警与防治各类环境问题是页岩气绿色开发的重要内容。页岩气开发环境影响研究、监测等过程积累了大量水、土壤、空气等环境质量数据,废水、废气、固体废物、噪声等污染源数据,以及水文地质、植被现状、土地利用现状等空间数据,具有体量大、种类多、空间变异性强、价值大等特征^[2],有效储存、分析、运用这些数

据,可以为页岩气开发污染防治技术研究提供参考。今通过对数据管理技术应用现状的分析,基于地理信息系统(Geographic Information System, GIS)和关系型数据库的集成运用,从数据特性和数据管理系统需求出发,探索页岩气开发生态环境数据管理系统的建设内容与总体架构,旨在为页岩气开发

收稿日期:2020-11-25;修订日期:2021-09-09

基金项目:重庆市自然科学基金资助项目(cstc2019jcyj - msxmX0651)

作者简介:张思兰(1990—),女,四川万源人,工程师,硕士,从事页岩气开发环境影响调查与评价研究。

生态环境数据管理提供支撑。

1 数据管理系统在生态环境领域的应用

1.1 数据管理系统

20世纪80年代中期,计算机技术逐步在我国生态环境管理工作中得到应用,各地陆续开展了生态环境数据库研究。1999年中国环境监测总站开始推进国家级环境数据库标准化建设^[3];2002年周勇等^[4]以三峡库区秭归县为例构建了区域土壤资源与生态环境数据库;2006年郑泽忠^[5]设计了四川省生态环境动态数据库。随着组件式GIS技术的发展,基于GIS的数据库系统在土壤污染防治^[6]、耕地质量评价^[7]、地下水脆弱性评价^[8]、矿产资源评价^[9]等方面得到了广泛应用。国外相关研究起步较早,20世纪70年代GIS就被深入应用于土地利用、植被覆盖、土壤侵蚀等领域^[10]。在油气田开发领域,数据管理系统主要应用在油气资源评价、勘探、开发等方面^[11-12],在油气田开发生态环境领域的应用较少。

1.2 数据管理技术

不同的数据库系统被设计应用于不同规模的数据集成与分析,数据管理技术的进步促成了大数据时代的来临,也促进了生态环境领域的智能化、信息化发展。2016年原环境保护部印发了《生态环境大数据建设总体方案》,指出大数据、“互联网+”等信息技术已成为推进环境治理体系和治理能力现代化的重要手段,为生态环境监测评价、模拟预测、环境监管执法、环境信息安全管理等提供了强有力支撑^[13-14]。

覃雄派等^[15]研究指出,关系型数据库系统(Relational Database Management System, RDBMS)存在着扩展性不足、支持数据类型单一等缺点,非关系型数据库(NoSQL)实现了对多种类型数据的有效管理、处理和分析,成为大数据时代的主流数据管理技术。RDBMS由20世纪70年代IBM工程师Codd提出的关系数据模型衍生而来,基于表格、行、列、属性等基本概念将各类实体及其关系映射到表格上^[15]。经过40多年的发展,RDBMS数据的一致性、系统的可靠性逐渐成熟,DB2、Oracle、Informix、Sybase、SQL server等产品在各领域实现了大规模应用。随着数据的多样性发展,RDBMS建立了扩展性关系模型,通过用户自定义类型和函数提供面向对象的处理能力,用于支持非结构化和

半结构化数据管理,同时在关系模型上支持数据统计分析、数据挖掘、数据展示等功能。对于小规模数据集,RDBMS因其技术的成熟性和完整性占有主导地位。

相较于传统数据,大数据具有4Vs特征,即容量大(Volume)、多样性(Variety)、速度快(Velocity)、价值大(Value)。4Vs特征限制了传统关系方法的数据分析处理能力,需要使用水平扩展机制,以提高处理效率^[16]。NoSQL是在大数据背景下衍生的一类与关系数据模型不同的数据库技术,具有模式自由、易于复制、提供简单API、最终一致性和支持海量数据等特性,逐渐成为处理大数据的标准。NoSQL技术从应用角度被分为操作型和分析型两类,前者包括4类存储模型,即基于键值(key-value)、基于列分组(column family)、基于文档和基于图像;后者主要指MapReduce技术,旨在构建大规模非结构化数据快速批量处理的并行技术框架,具有高度扩展性和容错性。与RDBMS相比,NoSQL数据库系统具有数据模型灵活、支持多种数据类型、高度扩展性的优势。在实际应用中,数据库的选择应基于被管理数据的自身特性,只有准确把握数据库的功能,才能实现数据的有效管理和运用。

2 页岩气开发生态环境数据特性分析

2.1 数据分类

根据数据来源,页岩气开发产生的生态环境数据主要分为遥感影像、在线监测数据、人工监测数据、监控视频、GIS专题数据、统计分析数据和其他基础数据。遥感影像包括开发区域的卫星遥感和低空遥感影像,为制作专题图提供支撑;在线监测数据包括开发区域溶洞出水口和河流断面的地表水、地下水及废水处理站排口的在线监测数据;人工监测数据包括地表水、地下水、大气、土壤、噪声、废水、固体废物、废气等监测数据,为主要数据类型;监控视频包括油基钻屑处理站、废水处理站和钻屑处理系统等污染治理设施的监控视频;GIS专题数据包括开发区域的植被现状图、土地利用现状图,以及污染源和环境质量现状专题图等,可直观反映页岩气开发区域的生态环境状况;统计分析数据包括利用数理统计方法及相关模型制作的图表,为数据运用提供指导;其他基础数据包括监测报告、标准规范、图片记录等文本和图像数据。数据分类详情见表1。

表 1 生态环境数据分类

Table 1 The classification of ecology and environment data

分类	来源	类型	格式	形式
遥感影像	卫星遥感、低空遥感	图像	栅格图层、矢量图层	非结构化
在线监测数据	地表水、地下水、废水处理站	数值	数据表	结构化
人工监测数据	地表水、地下水、大气、土壤、噪声、污染源	数值	数据表	结构化
监控视频	钻屑回收利用站、采出水处理站、钻井平台	视频	MPEG、DV 等	非结构化
GIS 专题数据	专题地图	图像	矢量图层	非结构化
统计分析数据	统计图表	数值	数据表	结构化
其他基础数据	资料统计	文本 + 图片	文本、图像	非结构化

2.2 数据特点

由表 1 可见,页岩气开发产生的生态环境数据具有以下特点:一是数据体量大、种类多。随着页岩气生产活动的持续开展及开发区域的不断扩大,数据体量在时间、空间和类别尺度不断增加,不仅数据种类多,不同类型数据还包括多项指标,如水环境包括 pH 值、BOD₅、COD、氨氮、总磷、硫酸盐、挥发酚、石油类、氯化物等指标。二是数据具有多源性。数据来源丰富,具有栅格图层、矢量图层、数据表、文本等不同表现形式。目前数据库技术已经比较成熟,小规模的结构化、半结构化和非结构化数据均能利用 RDBMS 管理。三是数据结构复杂、空间变异性强。从结构上分析,数据多层次、多分类、多交互,而 RDBMS 可以满足多层次分类管理的需求;从面上分析,数据在不同区域的属性值和变化趋势各不相同,利用 GIS 图层可以直观分析和可视化管理。对比 4Vs 特征,页岩气开发生态环境数据尚未达到大数据级别,采用面向对象的 RDBMS 即可满足管理需求,其中 GIS 与 RDBMS 的有效集成是系统建设的关键内容。

3 页岩气开发生态环境数据管理系统架构

3.1 需求分析

系统旨在以页岩气开发区域的生态环境数据为基础,对区域水环境、土壤环境、环境空气及污染源负荷进行时间和空间尺度的统计分析、评价与预测,为开展页岩气开发污染防治技术和政策研究、制定页岩气开发污染防治决策、强化页岩气开发环境监管、保护开发区域生态环境和促进页岩气绿色发展提供支撑。系统需求以生态环境保护为目标,以对象管理为基础,重点实现页岩气开发区域环境质量、污染源相关数据的存储、分析和应用,具体功能包括数据存储、数据查询、数据分析、视频监控、

系统展示和系统管理。数据存储功能实现对不同形式人工监测数据、在线监测数据、遥感数据、GIS 数据和文档的管理,满足层次清晰、结构合理的要求,便于数据提取;数据查询功能实现对原始数据、地图、文档和分析数据的智能查询;数据分析功能实现数据统计、对比分析、空间分析、趋势分析、模型分析和专题图制作等;视频监控功能实现对油基钻屑回收利用站、污水处理站等污染治理设施的管理;系统展示功能通过空间引擎将属性数据与空间数据关联,实现数据分析结果展示、空间地图展示和点线面的数据可视化;系统管理包括系统权限与字典管理,保障数据的安全性和稳定性。

3.2 系统结构体系

按照数据价值链,数据管理体系包括数据生成、获取、存储和分析 4 个部分^[16]。今不考虑数据生成,基于系统使用需求,按照数据获取、存储、分析与展示的层次观点,设计数据管理系统总体框架,见图 1。由图 1 可见,系统总体架构由下至上按照数据采集与网络层、数据存储层、应用服务层、展示层 4 个部分设计。数据采集与网络层通过移动无线网络(GPRS/3G/4G)、VPN 专网和内部局域网,将数据传输录入数据中心;数据存储层利用关系数据库和 GIS 平台提供的空间数据库引擎,建立整个系统的业务数据存储系统,管理不同类型的数据,同时封装关系数据库访问 API、空间数据库引擎,形成数据访问中心,统一对上提供数据访问支持;应用服务层基于接口将主要业务逻辑封装为服务,供前端调用,服务内容包括环境质量、污染源、生态敏感点和档案管理 4 个模块;展示层为不同角色用户提供不同的展现方式,用户可通过 PC、手机、大屏等方式访问系统。从整体上看,系统结构将面向对象的设计过程应用到每一层,各层之间通过标准接口进行交互,使应用更加安全、稳定。



图 1 数据管理系统框架

Fig. 1 The framework of data management system

4 系统应用与发展方向

基于系统设计方案,以 SQL Server 2014 数据库和 SuperMap 8C GIS 为软件平台,运行在局域网和本地服务器上,以面向对象的方法设计了一套页岩气开发生态环境数据管理系统。该系统以数据管理和展示分析两个功能模块为主,数据管理包括环境监测数据,污染源数据,生态敏感点等所有数值、文本和图像,以及空间类型数据的存储、查询与统计分析,展示分析实现属性数据与空间数据的集成和可视化展示,基本满足现有数据的管理需求。从系统灵活性和扩展性的角度分析,该系统的升级方向主要包括以下几点:一是扩展统计分析功能,在描述性统计分析的基础上增加回归分析、因子分析、聚类分析、判别分析等多元统计分析功能,充分挖掘数据的潜在价值;二是充分利用云计算技术,将数据系统部署在云平台,减少基础设施建设,在增强系统灵活性的同时降低运维成本;三是充分利用大数据、物联网技术,提高数据管理系统的扩展性。

5 结语

生态环境保护是页岩气可持续发展的重要内容,通过构建数据管理系统,对大量科学数据进行规范化管理和应用,为污染防治技术和环境保护政策研究及监督管理等提供数据支撑很有必要。基

于页岩气生态环境数据体量大、种类多、多源性强、结构复杂和空间变异性强的特点,GIS 与 RDBMS 的有效集成是该数据管理系统建立的重要内容,大数据、物联网技术的运用是系统发展的重要方向。

[参考文献]

- [1] 朱继良,付杰,王赛,等.重庆涪陵页岩气勘查开发区环境地质调查进展[J].中国地质调查,2019,6(5):64-73.
- [2] 赵海凤,李仁强,赵芬,等.生态环境大数据发展现状与趋势[J].生态科学,2018,37(1):211-218.
- [3] 王文杰,李雪.国家级环境数据库系统的建立与应用开发[J].中国环境监测,1999,15(3):16-18.
- [4] 周勇,张海涛,BIRNIN R V,等.土壤资源与生态环境数据库的建立及应用——以三峡库区秭归县为例[J].土壤学报,2002,39(5):653-663.
- [5] 郑泽忠.“3S”技术在四川省生态环境动态监测中的应用[D].成都:成都理工大学,2006.
- [6] 张榆霞,卞娜娜,张彤,等.云南省土壤污染防治和管理信息系统的质量评价溯源查询和制图[J].环境监测管理与技术,2014,26(6):59-62.
- [7] 黄厅厅,卢德彬,杨建.基于 GIS 的省级耕地质量综合评价及时空演变分析——以贵州省为例[J].水土保持研究,2017,24(3):253-257.
- [8] 唐学芳,吴勇,陈晶,等.基于 DRASTIC-GIS 模型的成都典型区域地下水脆弱性评价[J].环境监测管理与技术,2020,32(6):28-32.
- [9] 黄文斌,肖克炎,丁建华,等.基于 GIS 的固体矿产资源潜力评价[J].地质学报,2011,85(11):1834-1843.

(下转第 13 页)