

# 页岩气开发过程中地下水监测预警系统建设技术浅析

姜海宁

中煤科工重庆设计研究院(集团)有限公司, 重庆

收稿日期: 2023年4月22日; 录用日期: 2023年5月23日; 发布日期: 2023年5月30日

## 摘要

地下水环境保护工作在我国越来越得到重视, 为了探索页岩气开发过程中地下水环境污染防治的技术方法, 本文以页岩气开发过程中地下水监测预警系统建设为切入点, 分析了页岩气开发过程中的地下水监测预警系统组成和功能, 并从设计集成的角度, 对其建设的关键技术进行了研究, 得出了页岩气开发过程中地下水监测预警系统建设应重点关注污染风险源识别、水文地质勘察、监测井建井、环保物联网和可视化监测预警系统等技术。通过对页岩气开发过程中地下水监测预警系统建设技术浅析, 旨在更好地服务和支撑页岩气开发区的地下水环境污染防治、管理与风险决策, 为页岩气区块绿化开发建设提供科学的技术支撑。

## 关键词

页岩气, 地下水, 监测预警, 关键技术

## Analysis on the Construction Technology of Groundwater Monitoring and Early Warning System in the Process of Shale Gas Development

Haining Jiang

China Coal Technology and Engineering Chongqing Design and Research Institute (Group) Co., Ltd., Chongqing

Received: Apr. 22<sup>nd</sup>, 2023; accepted: May 23<sup>rd</sup>, 2023; published: May 30<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

The protection of groundwater environment has been paid more and more attention in my coun-

try. In order to explore the technical methods for the prevention and control of groundwater environmental pollution in the process of shale gas development, this paper takes the construction of groundwater monitoring and early warning system in the process of shale gas development as an entry point, and analyzes the composition and function of the groundwater monitoring and early warning system in the process of shale gas development, and from the perspective of design integration, the key technologies of its construction are studied, and it is concluded that the construction of the groundwater monitoring and early warning system in the process of shale gas development should focus on pollution risks Source identification, hydrogeological survey, monitoring well construction, environmental protection Internet of Things and visual monitoring and early warning systems and other technologies. Through the analysis of the construction technology of the groundwater monitoring and early warning system in the process of shale gas development, it aims to better serve and support the prevention, management and risk decision-making of groundwater environmental pollution in shale gas development zones, and provide green development for shale gas blocks Construction provides scientific and technical support.

## Keywords

Shale Gas, Groundwater, Monitoring and Early Warning, Key Technologies

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 前言

随着我国经济技术的快速发展, 各类地下水污染源种类、污染途径、污染程度日益复杂, 环境污染负荷逐渐增加, 环境污染事故时有发生[1]。同时, 随着公众对生态美好生活的向往和环境保护意识逐渐增强, 各类环境污染投诉纠纷日益频繁, 因此, 对环境污染防控、监测与管理的要求越来越高[2]。自 2011 年以来, 《环境影响评价技术导则 地下水环境》《工业企业土壤和地下水自行监测技术指南(试行)》《地下水管理条例》等一系列相关政策、法规及规范性文件先后出台, 地下水环境问题越来越被重视[3] [4] [5]。这些文件的发布, 为我国加强地下水环境管理与保护, 遏制地下水环境污染, 改善地下水环境质量, 维护生态环境和人体健康, 提供了坚实的政策支持, 有力地指导着我国地下水污染防治的工作开展[1]。

近年来, 我国针对如页岩气等非常规天然气的理论和技术也不断发展完善, 页岩气开采行业开启了蓬勃发展的快车之路[6] [7]。随之开发区域的地下水环境也正承受着开发所带来的环境风险冲击, 特别是在页岩气开发过程中开采井建设、储层改造和开采气田水等可能引起地下水环境污染的问题广受关注[8]。在过去十年中, 页岩气开发对地下水质量的影响一直是科学界的一个有争议的问题, 但多数研究结果证实[9] [10], 页岩气开发区域附近的水体确实受到了不同程度的污染。从页岩气开发对浅层地下水的污染类型来看, 主要包括废水污染、游离气体污染、钻井废弃物污染以及地表活动产生的污染。虽然页岩气开发建设时对地下水采取了相应的环境保护措施, 但页岩气开发过程中可能还存在着潜在的地下水环境风险问题, 尤其令人担忧的是对具有供水价值的浅层地下水的污染风险问题。

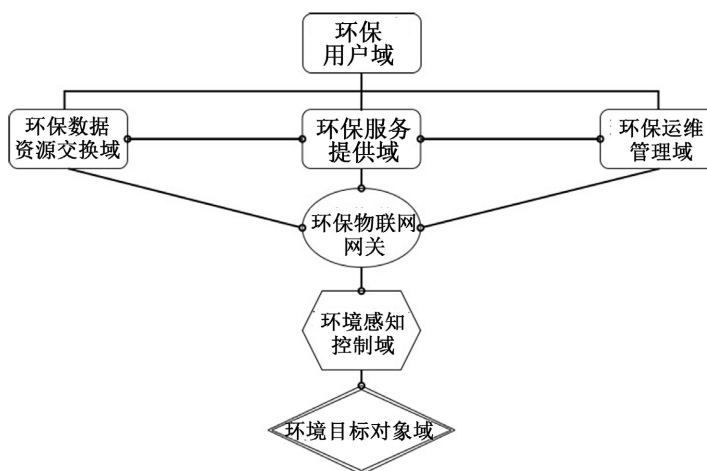
随着国内对页岩气开采区内地下水环境污染问题的关注逐渐提高, 这就需要针对目前我国页岩气开发区潜在的地下水环境污染风险问题, 建设一套地下水环境的监测预警管理与污染防治技术体系和污染监测预警数字化系统[11] [12] [13]。我国总体上地下水污染预警研究还处于起步阶段, 国内外预警对象主要是针对环境敏感目标水源地等[12], 而单独将污染风险源作为预警对象的研究非常少见, 同时将监控技

术引入到地下水污染预警中也不常见[14] [15]。因此,为了更好地服务和支撑页岩气开发区的地下水环境管理与风险决策,为页岩气区块绿化开发建设提供科学的技术支撑,探索页岩气开发过程中地下水监测预警系统建设技术显得尤为重要。

## 2. 页岩气开发过程中的地下水监测预警系统构建

### 2.1. 页岩气开发过程中的地下水监测预警系统结构

依据《环保物联网总体框架(HJ 928-2017)》[16],页岩气开发过程中的地下水监测预警系统总体框架由环境目标对象域、环境感知控制域、环保服务提供域、环保运维管理域、环保数据资源交换域和环保用户域组成(图 1)。



**Figure 1.** Structural diagram of the groundwater monitoring and early warning system in the process of shale gas development

**图 1.** 页岩气开发过程中的地下水监测预警系统结构图

#### (1) 环境目标对象域

本系统的目标对象是地下水环境,对于地下水污染而言,地下水水质是反映其污染状况的重要手段,地下水流动是污染物迁移的重要与主要途径。因此,可以通过布设地下水在线监测系统来反映场地污染事故的影响情况。

#### (2) 环境感知控制域

本系统通过建设地下水监测微站,实现对地下水的环境指标与污染指标的实时在线监测。监测指标包括:水位、水温、pH、氯化物、水中油、溶解性总固体等,这些属于通过物联网获取感知对象的环境信息。

#### (3) 环保服务提供域

本系统在线监测信息系统负责接收、存储与管理污染监测重点站和微站的实时在线监测数据,为用户提供污染在线监测服务和污染溯源服务,实现污染事故追查与企业问责的功能;构建地表与地下空间的三维虚拟仿真模型,通过科学计算可视化技术提供“所见即所得”的环保一张图管理服务。

#### (4) 环保运维管理域

本系统建设完成后,继续为用户提供为期一定周期的系统运维服务,包括污染监测站的硬件系统运行维护与软件平台的运行维护。

#### (5) 环保数据资源交换域

本系统在线监测信息系统、污染分析系统、污染溯源系统和三维可视化系统四个模块之间有大量空间与非空间数据的交互，是通过环保数据资源交换模块来实现数字的转换。

(6) 环保用户域

本系统平台实现台式计算机、手机等智能设备操控，三维可视化界面能够极大方便用户的使用，实时获得不同场站地下水环境质量信息、污染预警信息、污染溯源信息等，有效提高企业地下水环境管理效率。

## 2.2. 地下水监测预警系统设计集成方案

(1) 系统组成

本系统综合应用环境在线监测、环境数值模拟、人工智能、云计算、科学计算可视化、硬件系统集成、软件系统集成等技术，为页岩气开发过程中的地下水环境监管构建地下水污染监测、溯源、预警数字化系统平台，提供一整套智慧环保解决方案，该系统具备良好的可扩展性能，可将各场站逐步纳入整体的监测网络。在打造统一数字化平台的基础上，通过对地下水水位、水质等信息的自动连续实时在线监测，实现污染预警及溯源等网络在线实时计算功能，达到发现污染快速预警的目的。本项目系统设计集成主要由三大部分组成(图 2):

1) 软件部分：数字化系统平台建设，以地下水在线监测和污染溯源模型为核心，设计并开发基于 Web Services 的决策支持系统，该系统采用完好封装、松散耦合、规范化协议的方式，整合企业污染源信息数据库和地下水在线监测数据库，形成知识库与推理机，在线监控数据进入 GIS 数据库后[13] [17]，由在线监控系统统一管理，利用大屏幕实时数据展示、电子地图展示、数据监控并进行统计分析，生成监测数据报表，实现污染溯源与应急预测等功能的网络服务。同时，为用户提供面向台式计算机、平板电脑与智能手机等全平台设备的应用服务。另外，系统具备高度扩展性，可以与其他环境监测或管理信息系统相融合，为全要素的环境监测与决策支持系统开发打下基础。

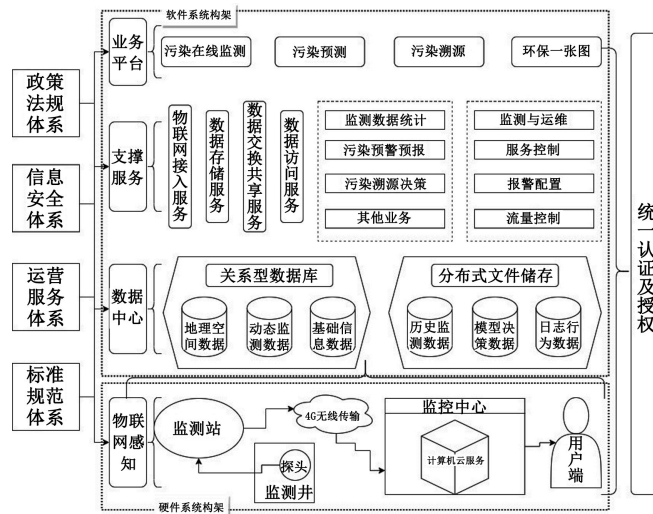


Figure 2. Architecture diagram of design integrationscheme of groundwater monitoring and early warning system

图 2. 地下水监测预警系统设计集成方案架构图

2) 硬件部分：地下水污染监测站，主要利用地下水分析仪器设备进行专业化集成，为系统科学化、精准化综合分析提供可靠的数据来源。地下水监测信息采集主要包括水位、水质等参数的信息采集，地

下水水位、水质的监测方式采用自动采集、实时存储、任意设定采样频率等工作方式,实现全自动无人值守自动监测的目的,采用标准的通讯接口协议,具备远程监测功能。信息采集主要通过井下探头或抽提采样方式进行水质监测,设备主要实现水位、水质信息自动实时采集与存储功能。

3) 物联网数据传输:建立基于物联网的监测数据实时传输系统,把采集的环境数据传输至后台进行存储和分析,可实现对地下水水位、水质等常规参数的远程传输。支持前端通过有线或无线方式上传数据,采集数据通过 GPRS、CDMA、WIFI 或者有线的方式进行接入,用户端通过 PC 或手机进行有线或无线检测,将传统的有线检测系统全面升级为融合有线宽带和移动网路等多种接入技术的融合型检测系统,全面提升用户系统的适应领域和检测能力。采集数据经互联网定时打包发送,达到全自动无人值守。

### (2) 集成内容

地下水监测预警系统数字化平台的集成内容,按照不同应用层次发展阶段的需求分为数据集成、应用集成、业务流程集成等三个层级(图 2)。数据集成利用通信技术和共享数据库技术,在共享信息模型的支持下,实现不同环境信息系统之间的信息共享。应用集成实现异构应用网络环境下不同应用系统之间的交互与操作,提供应用网络中不同节点应用对共享数据的访问接口。业务流程集成利用工作流引擎高效、实时地实现不同环境信息系统间的数据、资源的共享和应用间的协同工作,使环境保护不同部门、不同业务系统能实现流程整合。

### (3) 系统架构

地下水监测预警系统数字化平台采用物联网感知、数据中心、支撑服务与业务平台、政策法规体系、标准规范体系、信息安全体系、运营服务体系的系统构架(图 2)。

1) 物联网感知层基于物联网接入服务的相关程序,对现场监测设备发送的监测数据进行存储、校验、动态分析等业务,并对监测站设备发送远程控制信息。

2) 数据中心层基于接口的数据集成模式利用应用适配器提供的编程接口实现不同环境应用系统间的互相调用,应用适配器通过接口将环境业务信息从其所封装的具体环境应用系统中提取出来,实现不同环境应用系统间业务数据的共享与交换。

3) 支撑服务层通过业务流程集成,实现不同环境信息系统与模型计算系统间的协同工作。

4) 业务平台层通过“数据、应用、业务”三层次的集成,实现统一门户的共享互联互通平台用户界面。

5) 基于政策法规与标准规范体系,制定平台总体框架下的技术规范,为平台建设和运行提供标准支持。构建环境信息元数据管理平台,提供统一数据口径、统一编码体系、统一基础信息、统一数据库的架构。

6) 信息安全体系按照相关的标准规范,提供应用程序接口、服务程序接口、安全支撑运行环境、安全审计功能,将特定安全技术的实现与应用分开,满足数字化平台的安全服务以及各类应用系统安全访问的需要。

7) 运营服务体系按照所制定的标准规范,确定软件系统与硬件系统的运营服务技术体系,为用户提供后续的运行维护服务。

## 2.3. 地下水监测预警系统功能的构建

地下水监测预警系统基于计算机技术,建立有污染在线监测信息模块、全局地图可视化数字化系统监测预警平台。通过硬件监测、物联网数据传输、软件分析展示的方式,实现“地下水环境一张图”监测预警,构建页岩气开发过程地下水环境监测预警管理系统。本系统集成监控、预警于一体,用户可以在任何地方操作和使用,可实现地下水自动监测、无线传输的远程管理及数据浏览。基于上述设置要求,本系统系统功能主要包括:① 地下水自动监测站设置添加、修改、删除与查询等;② 卫星地图自动监

测站点击查询；③ 监测仪器参数、运行状况可辨识、数据可回补；④ 自动监测站配备数据浏览、查询、统计、下载等；⑤ 地下水人工监测数据、评价标准的录入与修改；⑥ 在线监测数据的污染预警能；⑦ 支持手机 APP 或微信小程序查看数据；⑧ 系统安全验证；⑨ 监测站、监测设备、通信设备信息管理等功能。

### 3. 监测预警系统建设的关键技术

#### 3.1. 页岩气开发过程中地下水环境风险识别

根据典型页岩气开发区域的水文地质特征、工程建设开发的工艺特征，通过污染源采样监测和室内实验测试分析的方法查明页岩气开发工程典型污染物特征和地下水的背景化学特征，查明各类型指标之间的区别与联系。并基于地下水环境背景值监测，结合现场调查，对页岩气开发区产生的地下水风险污染源类型、污染物种类、污染途径、污染方式、污染特征等进行识别和分析。

页岩气开发过程中地下水监测按照地下水监测体系建设目标和工作部署原则，结合不同工程内容的类型和地下水敏感程度，应针对页岩气开发过程中集中收集、转运、处理和处置污水和污废物且具有污染物种类多、污染物浓度高、污染量大、污染物较集中等特征的主要涉污场站，作为页岩气开发过程中地下水污染风险重点识别对象，主要包括回注井、危险废物(特别是油基钻井废物)储存设施、采出水及压裂返排液贮存与处理设施等涉及污水和固体废物和涉及地下水环境敏感区等场所，例如：① 平台建设及开采井站实施区、② 增压、集气、脱水站等中心站实施区、③ 回注井实施区、④ 岩溶强发育地段实施区、⑤ 重要水源地补给区实施区等。

#### 3.2. 水文地质勘察技术

监测场地的水文地质勘察主要包括现场走访调查、水文地质测绘、水文地质钻探、地球物理勘探、水化学分析等，通过查明重点场站的水文地质条件，为场地监测井布设提供依据[18]，主要解决的监测预警系统建设过程中的问题如下：

(1) 监测井位布设。通过水文地质勘察查明场地的补径排条件和流场特征，以及页岩气开发过程中潜在的污染途径及污染受体，分析场地区潜在地下水污染风险源泄漏运移径流路径，确保监测井位于污染风险源的下游区域，同时，能够满足监测系统的及时性和准确性的基本要求。

(2) 监测目标含水层位选择。根据不同工程类型对不同含水层的潜在风险不同，监测预警系统包含了浅层地下水监测井和深层地下水监测井，浅层地下水监测的监测目标是地表潜在地下水风险源，深层地下水监测井则是深部潜在风险源的监测(如回注井回注层)。地面池体的风险泄漏事故主要是从地表发生并逐渐向下迁移的过程，受污染的含水层主要为第一层含水层及其与其有水力联系的含水层，即为本次监测的目标含水层。通过水文地质勘察可获取监测场地下部含水层分布情况，故浅层监测井深度以不破坏第一层含水层为准；同时，受水文地质条件的复杂型和不确定性，监测井深度应结合现场实际水文地质勘探情况，达到设计监测层位为目的，以实现最佳监测效果为宜。尤其是值得注意的回注井场地，监测层位的确定应结合回注井的工程特征，宜在分析区域地质构造、含水层岩性及阻隔水特征、地层空间分布等基本条件的基础上，划分回注层位的潜在环境风险区域，并在回注层位的潜在环境风险区域内布设深层地下水监测井，监测井位置应结合周边环境敏感情况及与保护目标含水层的空间位置关系布设，监测井深度应结合地质构造与地层发育情况进行布设。

#### 3.3. 监测井建井技术

地下水监测井是采用水文地质钻探完成的监测地下水环境指标变化情况的专用井，按目的可分为简易监测井和标准监测井；按井结构可分为单管单层监测井、单管多层监测井、巢式监测井和丛式监测井

等。其施工方法和常规水井相似，但完井后在井中放置监测仪器，并定时采取水样进行分析测试。新建监测井建设内容主要包括水文地质钻探、水文测井、钻井工艺、洗井、取芯、抽水试验、井口测绘等，同时，地下水环境监测井建设过程中应注意井身结构、井口保护装置结构、井壁管材质、封隔止水层位置、滤水管位置连接材质、围填滤料材质及粒径、沉淀管和井底结构等组成部分的材质和施工工艺[19]。上述关键建井技术和材料选择是监测井监测的准确性和有效性的关键，在监测井建井技术方面应按照相应的规范要求施工，以达到最终的监测目的。

### 3.4. 环保物联网技术

环保物联网起到了远程操控和无线传输的作用，是地下水监测预警系统建设实现的核心技术。环保物联网也称为环境在线监控网，是指在传统环保行业引入自动化和信息化的技术来实现环境保护科学化管理的系统网络。环保物联网分为感知、通信、应用三个部分，主要由污染源前端监控系统、传输网络、监控中心和数据应用组成。感知和识别技术是环保物联网的首要环节，在环保物联网中主要用污染源自动监测设备来感知和识别环保监控数据信息。环保物联网感知端安装在企业现场，用于环境或污染源排污状况实时监测，主要为自动监测设备等。采集的监测数据通过有线专网或无线的网络传输方式将污染源在线监控数据传回监控中心。在线监控数据进入地理信息系统 GIS 数据库后，由在线监控系统统一管理，利用终端实时数据展示、电子地图展示、数据监控并进行统计分析，生成监测数据报表，企业管理人员可以通过无线通讯设备在移动状态查看在线监测数据。

### 3.5. 可视化监测预警系统

可视化监测预警系统在将空间数据、在线监测数据等数据图形图像可视化中，在服务器端的程序开发主要应用了 Java 语言的 Graphics 接口[20]。Graphics 作为 Java 的图形引擎绘制接口，几何形状、文字、图像的绘制都必须通过它来完成，此外，Graphics 还支持绘制过程的控制，可以设置画笔颜色、纹理、颜色填充方法、合成与裁剪路径及各种 Stroke 与 Fill 的属性等。用户程序通常都是通过 Graphics 来访问绘制引擎，从而实现各种图形与图像绘制的。另外，在 Java2D 中，Graphics 还可以被转型为 Graphics2D 对象，从而提供更高精度的图形绘制，设置更多绘制属性来控制绘制过程。因此，Graphics 接口可以满足系统的功能需求，且易于维护升级，提供直观，交互丰富，可高度个性化定制的数据可视化图表。

为了实现地下三维模型中的动画展示与点击查询等功能，需要将空间数据与非空间数据，特别是污染溯源计算获得的矩阵和数组数据进行高效地存储与查询。系统选择 PostgreSQL 作为科学计算数据库，PostgreSQL 是一种特性非常齐全的自由软件的对象-关系型数据库管理系统，支持大部分的 SQL 标准并且提供了很多其他现代特性，如复杂查询、外键、触发器、视图、事务完整性、多版本并发控制等。最关键的 PostgreSQL 是各种主流数据库系统中少有的支持数组类型的数据库管理系统，所支持的数组可以是基本类型或任何数据库内建的类型、用户自定义的类型、枚举类型，这个功能有着极大的优势，可以为地下三维模型中的动画展示与点击查询等功能提供最好的技术支持，为用户提供更加便利的微观数据使用功能。

通过对页岩气开发过程中的地下水环境监测预警系统建设的关键技术分析可知，针对该类行业，应在对页岩气开发过程中地下水环境风险识别的基础上，对其建设开发过程中潜在的环境风险问题，有针对性、有选择性的确定监测对象，同时在结合水文地质勘察技术和水文地质钻探建井技术确定监测点位和监测目的层位，最后依托物联网和可视化监测预警系统技术，形成页岩气开发过程地下水环境监测预警系统。上述关键技术针对页岩气行业的工艺特征、区域水文地质条件和环保管理需求等总结而得，对比于传统监测技术，系统监测的关键技术基本上融合了专业上的先进技术，通过系统整合的方式达到高

效快速准确的环保监测,解决了传统的人工采样监测时效慢、费用高、数据差异大、管理混乱等诟病,极大地提高了页岩气行业的环保管理效率。本文也期望通过对页岩气开发过程中的地下水环境监测预警系统建设关键技术的浅析,探索页岩气开发行业地下水污染防治与保护技术,形成行业环保标准技术。

#### 4. 结论

(1) 页岩气在逐渐变成我国社会与经济发展所需的重要能源的同时,也要注意开发过程中的环境保护,近些年出台了一些政策法规,要求并指导着页岩气开发过程中地下水监测实施,建设页岩气开发过程中地下水监测预警系统是行业对政策法规的践行,同时建立可视化智慧型的地下水环境监管系统也是页岩气开发行业环境保护的发展趋势。

(2) 国内近些年地下水监测预警处于新兴阶段,虽然针对化工园区等地区开展了地下水监测预警工作的探索,但其在地下水环境监测、管理、污染防治、应急处理、决策溯源等方面的时效性和可靠性还相对薄弱,特别是在页岩气开采行业的地下水监测预警工作尚属空白领域,因此就需要针对目前我国页岩气开发区潜在的地下水环境污染风险问题,建设一套地下水环境监测预警的数字化系统,更好地服务和支撑页岩气开发区的地下水环境管理与风险决策。

(3) 页岩气开发过程中的地下水监测预警系统由环境目标对象域、环境感知控制域、环保服务提供域、环保运维管理域、环保数据资源交换域和用户域组成,主要通过软件系统、硬件系统和物联网数据传输系统三部分集成,通过硬件监测、物联网数据传输、软件分析展示的方式,实现“地下水环境一张图”监测预警。

(4) 页岩气开发过程中的地下水监测预警系统的建设首先应在对页岩气开发区产生的地下水风险污染源类型、污染物种类、污染途径、污染方式、污染特征等进行识别的基础上,然后结合水文地质勘查技术和建井技术进行监测井布设,最后通过环保物联网技术和可视化监测预警系统,为企业用户提供及时、准确、全面的环保预警决策信息。

(5) 本监测预警系统在做好页岩气开发地下水污染监测的同时,还加强了重点场站周边地下水环境的监测与监管能力,对提高页岩气开发过程地下水环境监测能力和环境保护等具有重要的作用,对地下水污染问题早发现早处置、保障当地地下水环境良好、保持页岩气开采行业可持续绿色开发有着非常重要的意义。

#### 参考文献

- [1] 任静,李娟,席北斗,等.我国地下水污染防治现状与对策研究[J].中国工程科学,2022,24(5):161-168.
- [2] 侯德义.我国工业场地地下水污染防治十大科技难题[J].环境科学研究,2022,35(9):2015-2025.
- [3] 杜丙照.贯彻《地下水管理条例》依法强化地下水监督管理[J].中国水利,2022(6):5-6+18.
- [4] HJ 1209-2021,工业企业土壤和地下水自行监测技术指南(试行)[S].2021.
- [5] HJ 610-2016,环境影响评价技术导则地下水环境[S].2016.
- [6] 韩民,黄晨,刘世洋,等.页岩气开采水力压裂返排水中化学污染物的组成特征[J].环境化学,2022,41(1):305-314.
- [7] 江丽,刘春艳,王红娟,等.国内外页岩气开发环境管理现状及对比[J].天然气工业,2021,41(12):146-155.
- [8] 李绍康,袁颖,李翔,等.页岩气开发地下水污染风险评价指标体系构建[J].环境科学研究,2018,31(5):911-918.
- [9] 张虹,张代钧,卢培利.重庆市页岩气开采的浅层地下水污染风险评价[J].环境工程学报,2017,11(4):2016-2024.
- [10] 刘兆彬.岩溶区页岩气开采浅层地下水污染风险评价[D]:[硕士学位论文].北京:中国地质大学(北京),2016.
- [11] 关琴,柳浩然,马雪莹,等.地下水监测预警综合信息平台建设研究[J].绿色科技,2020(20):200-204.
- [12] 左锐,石榕涛,王骥,等.地下水型水源地水质安全预警技术体系研究[J].环境科学研究,2018,31(3):409-418.
- [13] 郑志伟.基于GIS的大牛地气田地下水质量评价与预警信息系统[D]:[硕士学位论文].西安:长安大学,2018.



- 
- [14] 孙巍, 王海莉. 地下水监测信息化系统建设面临的问题及对策研究[J]. 地下水, 2019, 41(5): 35-36, 124.
- [15] 王志刚. 地下水污染的监测与预警[J]. 内蒙古水利, 2018(11): 32-33.
- [16] HJ 928-2017, 环保物联网总体框架[S]. 2017.
- [17] 陈媛华, 张丽娜, 刘亮. 基于 GIS 信息技术的地下水监测预警系统[J]. 中国水运: 下半月, 2013, 13(3): 106-107.
- [18] HJ164-2020, 地下水环境监测技术规范[S]. 2020.
- [19] DZ/T 0270-2014, 地下水监测井建设规范[S]. 2014.
- [20] 吴浩. 国产环境移动端地理信息平台的设计与实现[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国电子科技集团公司电子科学研究院, 2021.