

页岩气开发地下水环境影响评价技术要点探讨

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3月3日; 录用日期: 2023年4月5日; 发布日期: 2023年4月12日

摘要

页岩气在开发过程中可能会对地下水存在潜在的污染影响, 探讨其开发过程中的地下水环境影响评价技术要点, 可以降低开发区域地下水环境污染风险。本文通过分析页岩气开发项目特征及其对地下水环境影响方式, 并结合不同地区生态环境主管部门的审查要点和规范法规要求, 对页岩气开发地下水环境影响评价技术要点进行了探讨分析, 得出了该类型项目技术评价的重点, 对促进页岩气绿色开发, 保护地下水环境具有重要意义。

关键词

页岩气开发, 地下水, 环境影响评价

Discussion on Key Points of Groundwater Environmental Impact Assessment Technology for Shale Gas Development

Haining Jiang

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

Received: Mar. 3rd, 2023; accepted: Apr. 5th, 2023; published: Apr. 12th, 2023

Abstract

Shale gas may have potential pollution effects on groundwater during the development process. Discussing the technical points of groundwater environmental impact assessment during the development process can reduce the risk of groundwater environmental pollution in the development area. In this paper, by analyzing the characteristics of shale gas development projects and their impact on the groundwater environment, and combining the review points and normative requirements of the competent departments of ecology and environment in different regions, this

paper discusses and analyzes the technical points of groundwater environmental impact assessment for shale gas development. The focus of the technical evaluation of this type of project is highlighted, which is of great significance to promote the green development of shale gas and protect the groundwater environment.

Keywords

Shale Gas Development, Groundwater, Environmental Impact Assessment

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. 引言

近年来,随着经济增长和技术革新,我国对能源的需求逐渐增大,随之页岩气开发行业进入了高速发展期。同时,我国是一个水资源相对匮乏的国家,人均占有率低于世界水平,尤其是作为重要饮用水源的地下水资源更为匮乏。党的十八大以来,生态文明建设思想在新时代中国具有重要地位和战略意义,推动经济社会发展全面绿色转型、共建清洁美丽世界,促成了诸多环保技术法规的诞生。因此,页岩气开发和环境保护成为了人们关注的热点[1]。

页岩气是以吸附、游离状态赋存于页岩及其夹层的空隙或裂缝中的以甲烷为主要成分的非常规天然气[2]。页岩气开采造成地下水污染的方式有很多,诸如生活污水、钻井液、钻井废水等泄漏均会在一定程度上造成地下水污染[3]。地下水环境影响评价仍是环境影响评价中的薄弱环节,结合地下水环境的复杂性和不可预见性,综合考虑页岩气开发过程中的污染方式与途径,大大增加了地下水影响评价的难度[4]。目前,虽有环境影响评价技术导则规范了项目建设对环境影响评价的要求,但针对新兴的、污染方式多样、工程内容繁杂、污染途径及机理尚不明确、地下水环境影响相对滞后的页岩气开发对地下水环境影响评价工作还尚缺乏系统的技术评价指导[5]。因此,本研究希望通过对页岩气开发过程中地下水环境影响评价技术要点进一步探讨,为该项目的地下水影响评价工作提供评价参考,对完善页岩气开发行业地下水环境影响评价技术、保护开发区地下水环境质量具有一定程度的指导意义。

2. 页岩气开发地下水环境影响特征

2.1. 页岩气开发项目类型与地下水评价类别

Table 1. A list of classification of groundwater assessment categories

表 1. 地下水评价类别划分情况一览表

项目分类	项目类型	行业类别	地下水环评类别	备注
环境影响评价项目	钻井工程、采气工程、地面集输工程、回注工程、净化站、采气站、集气站、增压站、采气管线、污水处理系统工程、其他辅助配套工程	F 石油、天然气(38、天然气、页岩气开采(含净化))	II 类	项目类型可划分为天然气、页岩气开采(含净化)行业主体工程或辅助工程
	长输干线	F 石油、天然气(41、石油、天然气、成品油管线(不含城市天然气管线))	200 公里以上或涉及环境敏感区为 III 类,其余为 IV 类	涉及环境敏感区专指地下水环境
	勘探工程	C 地质勘查(24、矿产地质资源勘探(包括勘探活动))	IV 类	勘探工程主要指天然气、页岩气的勘探井

页岩气开发项目类型主要包括钻井工程、采气工程、地面集输工程、回注工程、净化站、采气站、集气站、增压站、采气管线、长输干线、污水处理系统工程等工程, 详见表 1。根据《环境影响评价技术导则地下水环境》(HJ610-2016) (以下简称“地下水导则”) 中地下水环境影响评价行业分类表[6], 结合建设项目对地下水环境的影响程度, 将页岩气开发建设项目分为四类, 详见表 1。

2.2. 页岩气开发项目特征

1) 开发区域周边地下水环境复杂

页岩气建设项目一般分布在居民地下水供水水源广布、地下水相关环境保护区繁杂交错的区域内, 工程一般在选址选线过程虽避开了上述敏感区, 但由于工程的分散开发特性, 其工程存在对环境敏感区的潜在影响, 这就提升了工程项目周边地下水环境的复杂性。同时, 以川渝地区为例, 开发区域多分布在岩溶区, 岩溶地下水系统的复杂发育特征也增加了地下水环境敏感性。

2) 开发过程水资源消耗量大

页岩气开发在钻井及储层改造期间需要消耗大量水资源, 四川、重庆地区统计页岩气开发单井需水量在 10,000~40,000 m³不等, 虽然各开发区实现循环系统、压裂系统污废水的循环利用, 但在处于水资源匮乏较为突出的区域, 建设项目虽采用地表水资源, 但也袭夺了地下水资源的补给来源, 进而引起地下水资源枯竭, 影响当地居民的生活生产用水。

3) 开发产生的污染物质浓度高、数量大、周期长

气田开采不仅造成水资源消耗还会带来水资源污染, 这与开发工艺有着密切的关系。钻井废水、压裂液、压裂返排液和气田水中含有多种物质, 其中压裂返排液含有溶解性盐类、重金属等其他化学物质, 钻井废水中含有高含盐量地层水、添加剂等物质。上述污废水进入地下水含水层中, 会对地下水环境产生一定影响。页岩气在开采运营期及各辅助工程中一直伴随气田水产生, 具有产生周期长, 对地下水潜在影响周期长的特征。

4) 开发深度大、揭露含水层多、井下条件复杂

根据开发区域特征, 页岩气开采层位埋深多数位于几百至几千米, 其间钻遇多个时代地层, 具有开采深度大、揭露含水层多的特征, 工程实施对地下水含水层会有一定扰动, 容易贯穿相邻含水层, 造成某些含水层的水质水量发生变化。页岩气开发工程井下条件复杂, 如溶孔、溶洞、大型裂隙均有发育, 易发生钻井液的漏失。

2.3. 页岩气开发地下水评价技术实施步骤及流程

在地下水导则技术规范的指导下, 依据页岩气开发项目实施阶段、实施方案, 结合多年的评价经验, 本文总结出了一套页岩气开发地下水评价技术实施步骤及流程, 分述如下:

首先根据建设方提供的选址选线方案, 在室内依据已掌握的官方发布的敏感区数据资料, 通过空间叠图的方式, 识别项目建设的环保合理性, 重点确定项目选址选线的潜在影响范围内是否存在地下水环境敏感区以及项目与敏感区之间的水文地质关系。当建设项目潜在影响范围内存在集中式饮用水源等环境保护区时, 项目应重新选址选线避让或提出其他保护措施, 反之则开展下一步工作。

然后根据地下水导则要求对项目的调查评价范围进行初步判定, 依据场地所在水文地质条件情况布设现场调查方案, 包括调查含水层情况、当地居民地下水开发利用情况、开展水文地质试验、水文点调查、地表水体调查等, 然后根据现场水文点调查情况进行地下水或包气带现状监测工作。

其次在根据资料收集、现场调查情况和工程特点分析已有资料是否能满足评价需求, 当地下水等级为一级或当地水文地质资料精度不够时, 还需开展水文地质补充勘察, 进一步分析场地水文地质条件和参数, 提供更精准的评价结果。

接下来根据上述工作成果，进行室内项目评价分析工作，报告形式依据项目类型和主管部门要求确定，报告主要对敏感目标特征进行统计分析、对水文地质条件及试验成果进行分析、水文地质图件绘制、对水质监测结果进行分析评价、进行预测模拟评价、针对工程内容制定地下水污染防治措施、得出评价结论等工作。

最后对报告报送主管部门审查，经过评审的专业指导建议后修改完善报批，结束评价工作。

3. 页岩气开发地下水评价技术要点分析

3.1. 页岩气开发项目地下水评价关注重点

根据地下水导则的评价内容要求，结合页岩气开发工程的建设特点，在分析不同地区生态环境主管部门的审查要点和最新政策法规的基础上，对页岩气开发项目地下水评价关注重点进行了深入的分析和总结。

重点关注页岩气开发工程选址问题，选址应避开地下水饮用水源保护区、地下水敏感区域、特殊地下水资源区、岩溶强发育地段、地下水集中开发区、重要湿地地下水涵养区等。

重点关注评价过程中的地下水保护目标识别、地下水预测影响程度分析、地下水环境质量现状分析、水文地质勘察成果、岩溶区岩溶勘察工作开展情况、回注工程的回注层位可行性论证、地下水污染防治措施制定情况、地下水质量现状监测布点合理性、地下水预测参数取值依据等。

重点关注评价提出的地下水环保措施的可行性，如钻井工艺、钻井液和压裂液的环保性，优先使用空气钻或清水钻、井场布局的合理性、污废水的储存设施可靠性、重要地下水敏感区跟踪监测点的及时性、分区防渗划分的科学性和防渗措施的可行性。

3.2. 页岩气开发项目地下水评价工作技术要点

Table 2. Identification table of groundwater environmental impact in shale gas development industry
表 2. 页岩气开发行业地下水环境影响识别表

项目分类	项目类型	污染物来源	处置方式	对地下水潜在影响
建设项目	钻井工程	生活污水、水基钻井液、油基钻井液、钻井废水、洗井废水、试压废水、压裂液、压裂返排液、储油罐	生活污水依托当地设施处置、其他污水首先回用，不能回用的，进行处理排放或处理回注，油品用于机械消耗	建设项目的工艺设备或地下水环境保护措施因系统老化、腐蚀等原因不能正常运行或保护效果达不到设计要求时的运行状况时，污废水会通过包气带逐渐进入到含水层中，向地下水下游方向运移，最终对整个含水层产生影响。
	勘探工程	拟回注气田水、生活污水、检修污水	生活污水依托当地设施处置、气田水等回注到地下储存空间内封存	
	回注工程	气田产生污水、生活污水、检修污水	生活污水依托当地设施处置、气田水等处理达标排放或回注	
	污水处理系统工程	生活污水	生活污水依托当地设施处置	
	采气工程、地面集输工程、净化站、采气站、集气站	天然气、页岩气分离水、气田产出地层水、压裂返排液、生活污水、检修污水	生活污水依托当地设施处置、气田水等处理达标排放或回注	
	增压站	生活污水	生活污水依托当地设施处置	
	采气管线	生活污水、天然气、页岩气分离水、清洗污水、检修污水	生活污水依托当地设施处置、气田水等处理达标排放或回注	
	长输干线	生活污水、天然气、页岩气分离水、清洗污水、检修污水	生活污水依托当地设施处置、气田水等处理达标排放或回注	
	其他辅助配套工程	气田水、生活污水、清洗污水、检修污水	生活污水依托当地设施处置、气田水等处理达标排放或回注	

(1) 页岩气开发潜在地下水环境影响识别

依据页岩气开发工程可研设计资料、工艺特征和项目组成结构，结合各建设项目产排污情况等，重点分析建设项目在建设、运营期间和运营期满后的污染源、污染物排放情况及其污染地下水的途径等，

识别出各建设项目对地下水环境潜在的影响如表 2 所示。

(2) 水文地质条件分析与补充勘查

通过分析评价区的地下水类型和赋存条件、地下水补径排条件、地下水水化学特征、地下水动态特征和地下水开发利用现状等水文地质条件，可为地下水环境影响评价保护提供科学依据。

水文地质条件分析还应进行地下水环境现状调查与评价，开展野外水文地质条件调查、地下水污染源调查、水文地质试验以及地下水环境现状监测等工作，进行评价区地下水环境的现状评价，查清评价区的地下水环境质量现状。

当评价区内水文地质资料不能满足评价要求时，还需开展水文钻探和抽水试验等工作，其目的是求取评价区的含水层结构及水文地质参数、地下水富水性、水力联系和水位动态变化等，为评价提供计算参数，布设点位还要综合考虑地下水环境现状监测及后期地下水跟踪监测的要求。抽水试验的目的是确定项目区主要含水层的水文地质参数。同时还要选取有选择代表性的地段开展渗水试验，测定包气带渗透性能及防污性能，为后续项目地下水污染防治提供依据。

(3) 评价工作等级确定

依据建设项目对地下水环境影响程度，地下水导则将页岩气开发建设项目分为四类，其中 I 类、II 类及 III 类建设项目进行相应内容的地下水环境影响评价工作，IV 类建设项目不开展地下水环境影响评价，最后结合建设项目周边的地下水环境敏感程度进行地下水环境影响评价等级判定。

(4) 调查评价范围划定

建设项目地下水环境影响现状调查评价范围可采用公式计算法、查表法和自定义法，结合区域地下水赋存和补径排特征，地下水评价范围主要选用三种方法相结合的方式划定，首先根据自定义法考虑场地所在水文地质单元边界，其次根据公式计算法着重控制位于区域地下水流向的下游地区，当项目距离天然边界大于或小于该范围时，以天然边界作为评价范围边界为准；最后参考查表法，当项目占地面积较大或上述两种方法无法实施时可采用查表面积作为最终评价范围。

(5) 地下水环境质量现状调查与评价

① 地下水环境现状调查

首先搜集调查评价区已有的环境水文地质资料，掌握调查评价区环境水文地质条件，然后开展现场野外调查评价区内具有与该项目产生或排放同种特征因子的地下水污染源，调查工作要在充分搜集现有资料基础上展开，并与水文地质调查同步进行。同时调查了解评价范围内工农业用水现状，主要供水水源类型及水源地的分布情况，特别是项目区附近当地居民地下水的开采利用现状，包括开发利用方式、用途、开采层位、开采井结构、水量、水质、水位等，明确项目周边地下水环境敏感目标类型、数量及位置等。

② 地下水环境现状监测

Table 3. List of indicators for monitoring the status quo of groundwater environment

表 3. 地下水环境现状监测指标一览表

类别	指标名称	指标个数
背景离子	K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-}	8 项
基本水质因子	pH、氨氮、硝酸盐、亚硝酸盐、挥发性酚类、氰化物、砷、汞、铬(六价)、总硬度、铅、氟、镉、铁、锰、溶解性总固体、钡、耗氧量、硫化物、硫酸盐、总大肠菌群、菌落总数	22 项
特征因子	COD、石油类、氯化物	3 项
	合计	33 项

以水文地质单元为基础,按照地下水导则中地下水环境现状监测点的要求进行布设,在充分利用项目区内居民饮用水源井及泉点的基础上适当增加水文地质勘探井,并兼顾整个调查评价范围。监测指标中的背景离子和基本水质因子根据地下水导则规定的指标进行选取,特征因子初步根据地下水环境影响分析结果确定。监测分析指标选择见表3所示。

(6) 地下水环境影响预测评价分析

页岩气建设项目地下水环境影响预测应遵循地下水导则规定的原则进行。预测应为环境保护措施的合理性提供依据;建设项目预测的范围、时段、内容和方法应根据评价工作等级、工程特征与环境特征,并结合当地环境功能和环保要求确定,重点预测地下水环境保护目标的影响;评价应以地下水环境现状调查和地下水环境影响预测结果为依据,对建设项目各实施阶段不同环节及不同污染防控措施下的地下水环境影响进行评价。

① 预测情景:按照地下水导则要求,本项目须对正常状况和非正常状况的情景分别进行预测。在设置预测源强时,充分结合页岩气开发工程产排污的特点,重点考虑非正常状况对环境敏感目标的影响,开展不同假设情景的预测评价,预测项目特征指标 COD、石油类以及氯化物对地下水环境的影响。

② 预测方法:通过对项目建设工程和水文地质条件的分析,结合评价等级划分情况,预测工作的预测方法适合采用解析法和数值法。解析法预测方法参考地下水导则附录中地下水溶质运移解析法公式,数值法预测采用数值模拟软件(如 Visual MODFLOW、GMS、FEFLOW 等)模拟计算。

③ 结果评价:根据预测结果,分析项目在假设情景的影响情况,同时结合区内敏感目标与项目的空间位置关系与水力联系,分析项目在污染情况下对周边敏感目标的影响(如含水层、保护区、分散井泉等),为本项目的可行性评估和后续环保措施的制定提供依据。

(7) 地下水污染防治措施

地下水污染防治措施应根据建设项目特点、调查评价区和场地环境水文地质条件,在建设项目可行性研究提出的污染防治对策的基础上,根据环境影响预测与评价结果,提出需要或完善的地下水环境保护措施和对策。改扩建及利旧场地项目应针对现有工程引进的地下水污染问题,提出“以新带老”的对策和措施,有效减轻污染程度或控制污染范围。给出各项地下水环境保护措施与对策的实施效果,提出合理、可行和操作性强的地下水污染防治的环境管理体系。页岩气开发过程中主要采取的污染防治措施如下:

源头控制措施:根据地下水导则的要求,结合页岩气开发项目在各个阶段存在不同程度及类型的产污现象,需要采取一定的控制措施,一方面是减少各个阶段污染物的排放量,另一方面是最大限度地降低污染物发生渗漏的风险。污染源头控制主要包括提出各类废物循环利用的具体方案,减少污染物的排放量;提出工艺、管道、设备、污水储存及处理构筑物应采取的污染防治措施,将污染物跑、冒、滴、漏降到最低限度。

分区防渗措施:根据地下水导则、已颁布污染控制国家标准或防渗技术规范的行业,水平防渗技术要求按照相应标准或规范执行。建设项目防渗技术要求参照《页岩气环境保护 第1部分:钻井作业污染防治与处置方法》(GB_T 39139.1-2020)和地下水导则执行,对该项目各个建设工程单元可能泄漏污染物的地面需进行防渗处理,有效防止污染物渗入地下,并及时地将泄漏、渗漏的污染物收集并进行集中处理。根据建设项目各阶段可能产生的污染物情况、构筑物特征、污染物种类和包气带防污性能,将项目场地划分为重点防渗区、一般防渗区和简单防渗区,根据各分区等级要求的不同进行相应防渗措施方案的实施。

地下水环境跟踪监测与管理:为了及时准确掌握页岩气开发过程中场站周边地下水环境质量状况动态变化情况,保护地下水环境,选择具有相关资质的监测机构和人员开展跟踪监测。跟踪监测依据地下

水导则监测原则, 参照《页岩气开发工程地下水环境监测技术规范(NB/T10848-2021)》等要求, 开展相应评价等级的监测工作。监测点优先利用已有现状监测点, 监测因子为色、嗅、味、pH、石油类、硫化物、氨氮、铅、砷、六价铬、氯化物、溶解性总固体、钡、耗氧量、总硬度、挥发性酚类、COD, 监测频率在丰水期和枯水期, 每期至少监测一次。最后要建立地下水环境监测管理体系, 按相关规定对监测结果及时建立档案, 并按照国家环保部门相关规定定期向相关部门汇报并备案。

应急响应预案: 制定地下水污染应急响应是要迅速而有效地将事故损失减至最小。制定风险事故应急预案的目的是为了在发生风险事故时, 能以最快的速度发挥最大的效能, 有序地实施救援, 尽快控制事态的发展, 降低事故对地下水的污染

(8) 地下水评价成果

根据建设项目对地下水环境影响特征形成地下水环境影响评价报告和主要相关技术图件, 图件包括评价区地下水敏感点分布及保护目标图、评价范围图、地理位置图、水系图、地形地貌图、地层柱状图、区域构造图、水化学 piper 三线图、地下水环境现状监测点分布图、地下水环境跟踪监测点分布图、渗水试验成果图、预测评价结果图、防渗分区图、水文地质剖面图、钻孔成果综合柱状图、评价区水文地质图等。

4. 结语

(1) 本文通过深入探讨页岩气开发地下水环境影响评价技术要点, 得出了页岩气开采行业项目工程及其环境影响特征, 页岩气开采在实施过程中具有开发区域周边地下水环境复杂、开发过程水资源消耗量大、开发产生的污染物质浓度高、数量大、周期长、开发深度大、揭露含水层多、井下条件复杂等特征, 并结合项目特征和工作经验给出了页岩气开发地下水评价技术实施步骤及流程。

(2) 本次还结合工程可研设计资料、工艺特征、项目组成结构和现行技术规范, 给出了该类型工程、各实施阶段不同地下水环境潜在影响问题类型的识别, 指出了页岩气开发地下水评价的核心关注点。

(3) 通过分析可知页岩气开发评价过程中应重点关注选址选线绕避敏感区、查清工程周边水文地质条件和地下水环境的敏感程度、建立工程场地环境质量现状本底值、选用合适的模型与参数预测评价、制定科学合理可行的污染防控措施等基本评价内容, 使得评价报告更加科学准确。

(4) 综上所述, 本文对页岩气开发地下水环境影响评价工作的探讨, 完善了页岩气开采地下水环评评价体系, 对我国后续页岩气绿色开发和地下水环境保护具有借鉴意义。

参考文献

- [1] 仲继燕, 鲁群岷. 页岩气开采对环境的影响分析及对策建议[J]. 云南化工, 2022, 49(1): 111-113.
- [2] 冯永超. 重庆页岩气勘探开发采出水污染防控研究[J]. 环境科学导刊, 2021(5): 43-46.
- [3] 韩嘉琛. 页岩气开采引起的地下水污染物溶质运移研究[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北地质大学, 2022.
- [4] 何环宇, 张丽. 某气田水回注项目地下水环境影响评价[J]. 萍乡学院学报, 2019(6): 60-63.
- [5] 赵芳, 彭瑶, 姜文斐. 重庆市建设项目环境影响评价文件审批制度分析[J]. 环境影响评价, 2022(6): 27-30.
- [6] HJ 610-2016, 环境影响评价技术导则地下水环境[S]. 2016.