

# 天然气开采对地下水环境的影响及保护策略

李小俊

(中国石油化工股份有限公司西南油气分公司, 四川 成都 610095)

**摘要** 在勘探、开发天然气资源规模不断扩大的背景下, 不仅优化了能源结构、提高了经济发展的质量, 同时也对开采区域的地下水环境造成了一定的影响。地下水在民生用水、生态系统维系中发挥着不可忽视的重要价值, 地下水环境与区域的可持续发展存在着密切的关系。基于此, 本文针对天然气开采的各个环节(如钻井、压裂、采气、废水处置等)进行了梳理, 并分析了天然气开采可能对地下水环境产生的不良影响, 提出了从优化开采工艺、加强套管管理、动态监测的维度保护地下水环境, 旨在为提高天然气开采的绿色化水平和协调保护地下水资源提供有益参考。

**关键词** 天然气开采; 地下水环境保护; 钻井液; 套管  
**中图分类号**: X74 **文献标志码**: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.01.039

## 0 引言

天然气是清洁能源的一种, 天然气的开发在能源消费转型中发挥着不可忽视的重要作用。近些年, 非常规天然气的开采(如页岩气、致密气等)逐渐规模化, 开采范围不断扩大, 现场地质条件越来越复杂, 开采过程中面临着诸多的地下水环境风险。一旦地下水环境被污染, 不仅面临着较大的治理困难, 还需要花费较长的时间, 很容易对生态环境以及经济发展造成不可逆的损害。所以, 在开发、利用天然气资源时, 需大力保护地下水环境, 精准地识别天然气开采中潜藏的破坏地下水环境的风险因素, 并通过有效措施的实施做好防控工作。本文全面梳理开采天然气工艺的主要特征和地下水环境的脆弱性, 并针对天然气开采对地下水环境的影响展开了探究, 同时提出对地下水环境进行全程化、多层次保护的策略, 以期为提高天然气开采的绿色性与安全性提供参考。

## 1 天然气开采工艺与地下水系统的关联性

### 1.1 开采天然气工艺的主要类型

常用的开采天然气的工艺有常规钻井工艺和非常规钻井工艺、多分支钻井工艺等<sup>[1]</sup>。其中常规工艺主要应用于垂直井, 其天然气储层较为集中、井体结构较为简单, 目前该技术已经较为成熟, 且成本较低, 但是对于复杂结构的井体, 该工艺的应用存在较大局限性。针对致密气、页岩气等的开采, 适宜选择采用非常规开采工艺。其中水平井开采工艺的运用, 可增加气藏和井眼之间的接触面积, 不仅可增加开采量,

还可提高开采效率; 多分支井开采技术则是在主井眼的基础上设置多个不同的分支, 对于气藏分布较为分散的区域, 适宜采取该工艺进行高效开采。但是, 这些开采工艺的应用, 不仅需要深度钻井, 还需穿越含量较多的水层, 所以在应用这些开采工艺时, 需要注意保护地下水环境。

### 1.2 地下水系统的生态与服务功能

地下水是区域水循环的重要组成部分, 具有重要的生态支撑功能与服务价值。在自然生态系统中, 地下水是维系湿地、泉水与河流基流的关键水源, 对区域生物多样性保护与水生态健康具有不可替代的作用。在人类社会层面, 地下水是许多地区城乡居民饮用水、农业灌溉和工业用水的主要来源, 尤其在北方干旱半干旱地区, 其资源战略地位尤为突出。地下水环境一旦因人为活动受到污染, 不仅威胁公众健康与社会稳定, 还可能引发跨境、跨流域环境问题, 治理成本高昂且恢复周期漫长。

## 2 天然气开采对地下水环境的主要影响

### 2.1 钻井液泄漏导致地下水化学污染

钻井液在钻井过程中承担着润滑钻头、携带岩屑、稳定井壁与控制地层压力等多重功能。其组成通常包括基础液相(水基、油基或合成基)、重量材料(如重晶石)、黏土矿物(如膨润土)以及各类化学添加剂(如增粘剂、降滤失剂、防腐剂等)。其中, 油基钻井液因其良好的耐高温高压性能和润滑效果, 在复杂地质条件下应用广泛, 但其基础油(如矿物油、柴

作者简介: 李小俊(1980-), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向: 环境保护。

油)以及部分添加剂含有烃类等物质,在钻井过程中,若井身结构存在缺陷、套管密封不严,或钻遇断裂带、裂隙发育区,钻井液可能发生漏失并进入含水层,导致地下水中石油类、盐分及有机污染物浓度升高,造成水质恶化<sup>[2]</sup>。

## 2.2 防范套管破损、腐蚀污染地下水环境

天然气开采中套管的使用,可将产气层和含水层有效地隔离开,为了保证其隔离作用的充分发挥,需保证套管的完整性。经过长时间的天然气开采,套管很容易在地层应力、电化学腐蚀、酸性气体等的作用下,发生腐蚀或者破损,导致套管出现孔隙,隔离作用失效。气层内的凝析油、烃类气体以及矿化度较高的地层水很容易向饮水层流窜,致使饮水层浑浊、出现异味,同时还会增加其可燃性,甚至可能诱发爆炸风险。气层内逸出的甲烷,会对地下水的氧化还原环境造成破坏,导致重金属(如锰、砷等)释放,使水质更加复杂,治理地下水环境的难度将进一步增加。

## 2.3 开采废水回注对地下水水质与动态的潜在影响

在气田开发过程中,压裂返排液和采气废水产生量大,且成分复杂,常含有高浓度盐类、石油类及残留化学药剂。为处置这类废水,部分气田采用深层回注方式,将其泵入与淡水含水层相隔离的深层地质构造。然而,若回注井建设不规范、固井质量差,或目标层与上部含水层之间存在天然通道(如断裂、裂隙),回注液可能发生迁移并进入饮用水含水层。其所引入的高盐度、高化学需氧量(COD)、有机物等组分将改变地下水化学特征,导致水质变化,且污染羽可能随地下水流场扩散,造成大范围、长期性的环境影响,恢复治理极为困难。

## 2.4 防渗失效及渗漏污染地下水

在天然气开采现场,如果防渗处理不到位(如接缝位置未做密封处理等)或者质量不达标(如防渗层破损、老化等),很容易出现污染物跑冒滴漏的情况,含油污水、钻井废水以及压裂返排液等将向地下水渗漏,造成地下水污染。除此之外,如果储罐接口位置、运输管道等密封性失效,污染物也可能发生滴漏,并向地下渗入。因渗漏造成的地下水污染不仅隐蔽,而且扩散速度较慢,所以很难在初期阶段察觉,会对地下水资源造成较大危害。

## 3 系统化保护地下水环境的有效策略

### 3.1 加强对开采工艺和钻井液的优化,从根源减少污染

为了避免在开采天然气时钻井液污染地下水环境,需优先选择使用环保型钻井液,不仅需严格控制化学

添加剂的有害物质含量,还需保证钻井液的生物降解性。对于容易发生天然气渗漏的地层,需注意强化井壁,并加强随钻堵漏技术的运用,从源头上避免因为钻井液渗漏而影响地下水环境<sup>[3]</sup>。同时,对井身结构设计加以完善,保证套管深度可将地下主要含水层有效隔离开,在设置技术套管、中间套管时,需针对现场的地质条件、天然气开采安全性要求进行综合分析。在天然气开采关键环节,通过智能监控和大数据技术的运用,动态获取井筒情况与钻井液的性能参数,并对风险进行自动预警。

大力研发性能较高的环保型钻井液,是升级天然气开采工艺的主要方向。可将特殊的聚合物添加至钻井液内,以此提高钻井液的热稳定性与抗盐性<sup>[4]</sup>。该类钻井液在盐度、压力与温度较高的地层中,依然可维持稳定的性能。除此之外,还可将纳米材料加入钻井液中,该材料物理、化学性质较为独特,可使钻井液更具稳定性,最大化降低泄漏风险。另外,对钻井设备进行升级、改造也十分关键。提高钻井设备的科技含量,可明显提高开采作业的精确度,防止人为疏忽或者操作失误而污染地下水环境。

### 3.2 加强套管管理,避免套管破损引发层间窜漏

在实施套管管理的过程中,需构建覆盖套管整个生命周期的完善管理体系(主要包括设计环节、施工环节、运行环节和报废环节)。在设计环节,设计人员需结合现场的地质条件、介质腐蚀性选择适宜材质的套管,优先选用具有良好耐腐蚀性的复合材料或合金材料。在施工环节,需加强对固井质量的控制与检测,保证水泥环封固施工的质量。在运行环节,通过超声波成像技术、多臂井径技术、电磁探伤技术等运用,定期检测套管的运行、腐蚀和壁厚情况<sup>[5]</sup>。尤其是对于腐蚀风险系数较高的区域,需做好防腐处理,常用的防腐处理措施有阴极保护、加注缓蚀剂等。在报废环节,需严格按照规定对开采井进行封井,避免窜漏风险。

### 3.3 严格处理废水和加强回注管理,防止次生污染

对于天然气开采中的回注废水,需严格对其进行预处理,保证其与要求标准相符,尤其需加强对回注废水中微生物、腐蚀性离子、悬浮物以及石油类浓度的控制。在选择回注井的地址时,需对现场的水文地质进行精细勘探,保证饮水层和目标层间的隔水层有足够的厚度和较低的渗透性,并且与活动断裂层距离较远。为了避免注入压力超出要求标准,引发流体窜层、裂缝扩大,需构建动态化回注压力、水质以及流量监测体系,防止次生污染情况的出现。

### 3.4 强化防渗漏处理, 阻断地面污染

针对天然气开采现场关键区域, 联合使用抗渗混凝土、膨润土防水毯以及高密度聚乙烯膜等材料进行防渗漏处理, 以此形成多重防护结构。对于储罐基础与污水池等区域, 需先压实再铺设防渗衬垫, 接缝位置需采取热焊接处理, 并通过充气检测, 保证其严密性。同时, 构建完善的防渗检测机制, 明确全面巡查天然气开采现场防渗层的周期、防渗检测仪器(如超声检测仪、电法探测仪)、重点检测区域(如管道接口位置、污水池、阀门等部位)。一旦发现防渗层破损、老化或者接口位置密封失效需及时重新进行防渗处理。除此之外, 加强对泄漏应急设施的完善。在易发生渗透污染的区域设置应急收集池、导流槽以及围堰, 一旦出现跑冒滴漏的情况, 可及时对污染物进行收集, 防止其向地下水扩散。

## 4 天然气开采与地下水保护的技术治理路径

### 4.1 加强人工智能与预警技术的运用, 实时监管地下水环境

随着科技的不断发展与进步, 在保护天然气开采区域地下水环境时, 需加强人工智能与预警等技术的运用, 以此实现对地下水环境的实时性监测, 尤其是对于重点开采区域的地下水更加有必要对其参数进行动态化监测, 监测参数主要有气体浓度、水位以及水质等, 并通过大数据技术的运用, 实现数据的高效传输和综合分析。通过构建地下水环境模型, 根据数据分析结果, 对天然气开采对地下水环境造成的破坏与污染进行预测与预警, 同时针对治理决策的制定提出可行性建议。

在开采天然气的过程中, 通过人工智能技术的运用, 对地下水环境进行动态化监测, 其主要目的为将地下水环境污染防治工作进行前移, 由以往的事后治理转变为事前预警和主动防范。而传感器则是实现实时监测的主要设备之一, 尤其是可同时监测多个参数的智能传感器, 可同时对地下水环境的多个重要指标进行精准监测(如酸碱度、溶解氧、电导率以及重金属含量等)。该类传感器在灵敏性、精确度方面有明显的应用优势, 可精准地获取地下水环境的细微改变, 并实时将监测数据向监控中心传输。一旦某一指标超出系统预先设置的阈值, 系统将立即发出预警, 提示工作人员立即进行整改<sup>[6]</sup>。

### 4.2 从多元的角度治理地下水环境

在进行天然气开采的过程中, 需积极地构建多方协同治理体系, 从多元的角度保护地下水环境<sup>[7]</sup>。在

开采天然气时, 保护开采区域内的地下水环境, 仅凭借开采企业单一的力量, 并不能够达到理想的保护效果, 企业需联合科研机构、政府相关部门和社会群众等多方协同治理。其中, 政府相关部门的主要职责为加强对有关天然气开采标准体系以及法律法规的完善, 明确天然气开采审批流程与标准, 同时加强对开采过程的监管, 一旦发现问题立即要求开采企业做出整改。开采企业则是保护地下水环境的责任主体, 其需在整个开采的过程中贯彻落实绿色开采理念, 大力引进环保型开采工艺。科研机构需加强对地下水环境治理、修复技术的研究, 以此助力天然气产业朝着绿色化的方向发展。

## 5 结束语

天然气的开采与应用对我国能源结构优化与安全有着不可忽视的价值。在开采天然气的过程中, 大力保护地下水环境, 不仅可助力生态文明建设, 还可促进社会的可持续发展。为此, 在开采天然气时, 需在早期阶段精准地识别影响地下水环境的主要因素, 并通过优化开采工艺、精准防控、实时监测、多元治理策略的实施, 最大限度地避免天然气开采对地下水环境造成的不良影响。未来, 随着科技的不断发展, 需加强智能化技术的融入, 以此为地下水环境的监测与治理提供先进的技术支撑, 持续推动天然气开采行业的绿色化发展, 为人类和自然之间的和谐共生提供重要保障。

## 参考文献:

- [1] 彭丽梅, 李波, 曾久聪. 浅析天然气采出水预处理工艺[J]. 中国井矿盐, 2025, 56(04): 11-13, 19.
- [2] 张继红, 金家良, 谭欣剑, 等. 自生热体系开采天然气水合物藏作用机理[J]. 当代化工, 2025, 54(06): 1388-1392.
- [3] 郭克星, 闫光龙, 张晨球, 等. 天然气水合物开采技术研究现状[J]. 天然气与石油, 2025, 43(02): 49-57, 98.
- [4] 徐欢欢. 深层天然气开采安全保障与环保技术协同应用研究[J]. 化工安全与环境, 2025, 38(04): 108-110, 114.
- [5] 陈小刚, 李晓玲, 侯建炜, 等. 天然气开采中排水采气技术的应用研究[J]. 能源与节能, 2024(10): 91-94, 111.
- [6] 孙铭伟. 基于节能理念的非常规天然气开采技术研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(15): 190-192.
- [7] 吕晓航, 刘源, 薛元杰, 等. 不同地貌天然气开采工程对土壤流失及其养分组成的影响: 以四川地区为例[J]. 绿色科技, 2024, 26(12): 13-16.