

地下水污染监测井布设与采样技术研究

张文翔

凯乐检测认证集团（绵阳）有限公司，四川绵阳

DOI:10.62836/environment.v3i3.1467

摘要：地下水污染监测井是识别污染源、判断污染迁移方向、评价污染修复效果的重要手段，科学布设监测井并规范开展采样工作，直接关系到监测数据的代表性、准确性和可比性。本文围绕地下水污染监测井布设与采样技术展开研究，分析监测井布设的水文地质基础、污染源特征和含水层条件，重点探讨背景井、控制井、上下游井、侧向井、分层井及重点污染区加密井的布设方法，并从洗井、现场参数测定、低流量采样、定深采样、污染物分类采样、样品保存运输等方面提出技术要点，以期对地下水污染监测工作的规范化实施提供参考。

关键词：地下水污染；监测井布设；水样采集；含水层；污染监测

Study on the Layout and Sampling Technologies of Groundwater Pollution Monitoring Wells

Wenxiang Zhang

Kaile Testing and Certification Group (Mianyang) Co., Ltd., Mianyang, Sichuan

Abstract: Groundwater pollution monitoring wells are an important technical means for identifying pollution sources, determining pollutant migration directions, and evaluating the effectiveness of pollution remediation. The scientific layout of monitoring wells and standardized sampling operations are directly related to the representativeness, accuracy, and comparability of monitoring data. This paper focuses on the layout and sampling technologies of groundwater pollution monitoring wells. It analyzes the hydrogeological basis, pollution source characteristics, and aquifer conditions for monitoring well layout, with emphasis on the layout methods of background wells, control wells, upstream and downstream wells, lateral wells, stratified monitoring wells, and intensified monitoring wells in key pollution areas. In addition, technical points are proposed from the aspects of well purging, field parameter measurement, low-flow sampling, fixed-depth sampling, classified sampling of pollutants, sample preservation, and transportation, aiming to provide reference for the standardized implementation of groundwater pollution monitoring.

Keywords: groundwater pollution; monitoring well layout; water sample collection; aquifer; pollution monitoring

*作者简介：张文翔（1995年-），男，汉族，四川广安，本科，助理工程师，研究方向：环境监测。

1 引言

随着工业生产、农业面源污染、生活污水排放和固体废物堆存活动的增加,地下水污染问题逐渐受到关注。地下水具有隐蔽性强、流动速度慢、污染修复周期长等特点,一旦受到污染,污染物可能沿地下水流向持续迁移扩散,对饮用水安全、土壤环境和区域生态系统造成长期影响[1]。因此,开展地下水污染监测必须依托科学合理的监测井系统,通过连续、准确的水样采集掌握污染物浓度变化和空间分布特征。监测井布设是否符合水文地质规律,采样过程是否规范,都会直接影响监测结果的可靠性。基于此,有必要对地下水污染监测井布设与采样技术进行系统研究。

2 地下水污染监测井布设与采样的技术基础

地下水污染监测井布设与采样应以区域水文地质条件、污染源分布特征和监测目标为基础。首先,需要查明场地地层结构、含水层类型、地下水埋深、补径排条件及地下水流向,明确污染物可能进入地下水的途径和迁移方向。对于工业企业、垃圾填埋场、危废贮存区、加油站、化工园区等重点区域,应重点分析污染物种类、泄漏位置、污染持续时间及其在地下水中的迁移转化规律。其次,监测井布设应兼顾代表性与控制性,既要设置能够反映区域地下水本底状况的背景井,也要布设能够掌握污染羽扩散范围和浓度变化的控制井。采样技术应保证样品能够真实反映含水层水质状态,结合监测指标选择相应的采样方式,如挥发性有机物采样应减少曝气和扰动,重金属采样应注意过滤、酸化 and 容器洁净度。

3 地下水污染监测井布设技术方法

3.1 背景监测井与污染控制井布设

背景监测井主要用于获取地下水未受场地污染影响时的本底水质,布设在污染源上游、地形和水文地质条件相对一致、且不受场地生产活动和周边污染源影响的位置。若场地面积较小,可设置1眼

背景监测井;若场地范围较大、地层条件变化明显或地下水流向存在季节性波动,宜设置2~3眼背景井进行对比。背景井与污染源之间不宜过近,可根据地下水流速、场地边界和污染源规模控制在场界外或上游30~100m范围内,避免本底水样受到局部泄漏干扰[2]。污染控制井应布设在污染源附近和污染羽可能迁移路径上,用于识别污染物进入地下水后的浓度变化和扩散趋势。对于储罐区、危废暂存间、污水处理设施、渗滤液收集区、事故池、原料装卸区等高风险单元,在其下游5~20m范围内设置控制井,对于污染源面积较大的区域可沿污染源下游边界布设多眼控制井,井间距可控制在20~50m,污染物具有较强挥发性、溶解性或迁移能力,如苯系物、氯代烃、石油烃等,应适当缩小井间距,提高污染羽捕获能力[3]。

3.2 上游、下游及侧向监测井布设

上游、下游及侧向监测井布设是判断地下水污染迁移方向和污染羽空间形态的关键。上游井主要用于反映进入场地前的地下水质量,下游井用于掌握污染物随地下水流动后的扩散状况,侧向井则用于判断污染羽宽度及横向扩散边界。布设前应通过地下水水位统测确定水力坡度和主流向,水位测量精度宜控制在 $0.01 \pm m$ 以内并结合至少2~3次不同季节水位资料校核流向稳定性,地下水流向较稳定可按“一上游、两下游、两侧向”的基本思路布点,地下水流向受河流、抽水井、降雨或季节补给影响明显应适当增加不同方向的监测井。小型污染场地可在污染源下游10~30m设置第一道监测断面,在30~80m设置第二道监测断面,化工园区、填埋场等污染风险较高区域可根据场地尺度设置多道控制断面,断面间距一般为50~150m,侧向井应布设在主流向两侧用于判断污染羽是否横向扩散,侧向井与污染羽中心线的距离可根据含水层渗透性和污染物扩散能力确定,通常控制在20~60m。

3.3 不同含水层分层监测井布设

当地下水系统存在多个含水层或上层滞水、潜水、承压水共同分布时,应采用分层监测井布设方

式，避免不同含水层水样混合造成污染判断失真。分层监测的核心是“一井一层、一层一采”，即每眼监测井只控制一个目标含水层，对于浅层潜水污染监测，筛管布设在地下水位以下0.5~3.0m范围内并覆盖污染物可能进入的浅层含水段，对于承压含水层监测应根据隔水层厚度、承压水头和污染物是否具备穿透风险确定井深，井管必须穿过上覆地层后在目标含水层内开筛[4]。分层井施工时应特别重视止水封隔，非目标含水层段应采用膨润土、黏土球或水泥-膨润土浆封闭，封隔厚度一般不宜小于1.0~2.0m，当地层渗透性强或承压水头差较大时，应适当增加封隔厚度，防止形成井内短路通道。筛管长度应尽量短而精准，浅层污染监测可取1.0~2.0m，厚层含水层监测可根据污染垂向分布设置2.0~3.0m，但不宜过长，需掌握污染物垂向迁移规律可在同一监测点位附近设置井组，如浅层井、中层井和深层井，井间水平距离可控制在2~5m，以减少地层差异对对比分析的影响。

3.4 重点污染区域加密监测井布设

重点污染区域加密监测井主要用于提高污染源识别、污染羽边界控制和治理修复效果评估的精度。加密区域通常包括地下储罐区、化学品装卸区、渗漏管线沿线、危废堆存区、污水池周边、历史泄漏点、异常浓度检出区以及地下水流向突变位置。加密布井不能机械增加数量，而应结合污染浓度梯度和风险单元分布确定。对于已发现高浓度污染的点位，可在其周边5~10m范围内布设加密井，用于锁定污染核心区；在污染羽扩散方向上，可按照10~30m间距布设追踪井；在污染羽边界区域，可通过侧向加密井判断污染范围是否外扩。

加密监测井布设应与污染物性质相匹配。对于苯、甲苯、乙苯、二甲苯、氯代烃等挥发性有机物污染，应重点控制污染源下游近距离井和浅层地下水位波动带，井间距宜适当缩小至10~20m；对于重金属污染，应结合土壤酸碱度、氧化还原条件和地下水化学类型确定监测位置，重点关注pH变化区、还原环境区和渗滤液影响区；对于硝酸盐、氨

氮、总硬度、氯化物等常规污染指标，可沿补给—径流—排泄方向设置断面，判断污染影响范围。加密井施工完成后，应进行成井洗井、水位复测和井功能检查，确认井内浊度、电导率、pH、溶解氧等参数趋于稳定后方可纳入正式监测。对于修复工程区域，还应在修复单元上游、单元内部、下游边界和场界外分别设置监测井，形成“源区—过程—边界—外控”的监测网络。

4 地下水样品采集技术要点

4.1 采样前洗井、稳定水位与现场参数测定

采样前应先检查井口保护设施、井盖密封、井内异物和井管完整性，确认监测井未受到地表水倒灌、泥砂淤积或人为破坏影响。正式采样前应测定静止水位，水位计探头接触水面时读数，记录精度宜达到0.01m，并结合井深、井径和水柱高度计算井内积水体积。常规洗井可排出3~5倍井内水体积，但对于低渗透含水层或挥发性污染物监测，不宜采用大流量强抽方式，以免造成含水层扰动和污染物浓度偏差。洗井流量一般可控制在0.1~1.0L/min，低渗透井可降至0.05~0.2L/min；若采用潜水泵洗井，应避免泵体直接贴近井底，通常保持距井底0.5~1.0m。

洗井过程中应连续或间隔测定现场参数，判断井水是否达到稳定状态。一般可将pH变化控制在±0.1以内，电导率变化控制在±3%以内，水温变化控制在±0.2℃以内，溶解氧变化控制在±10%以内，氧化还原电位变化控制在±10mV以内，浊度宜降至10NTU以下；若地层细颗粒较多，短时间难以降浊，应记录实际浊度并避免继续强抽。稳定水位控制同样重要，低流量洗井时水位降深宜小于0.1~0.3m，最大不宜超过筛管顶部，防止含水层局部脱水和空气进入筛管。现场参数达到稳定后，应立即采样，避免洗井完成后长时间停放造成井内水体重新分层或氧化还原条件变化。

3.2 低流量采样、定深采样与分层采样技术

低流量采样适用于多数地下水污染监测场景，特别适合挥发性有机物、金属元素和低浓度污染物

监测。该方法强调在较小扰动条件下从筛管目标层位抽取地下水,采样泵进水口通常设置在筛管中部或目标污染层位,抽水流量一般控制在 $0.1\sim 0.5\text{L}/\text{min}$,低渗透地层可控制在 $0.05\sim 0.1\text{L}/\text{min}$ 。采样时应观察水位降深,降深持续增大应降低流量或间歇采样,使溶解态金属、挥发性有机物和氧化还原敏感指标更接近原位状态。定深采样主要用于掌握某一深度水质特征,适用于筛管较长、水体分层明显或污染物在垂向上差异较大的监测井[5]。采样器应缓慢下放至预定深度,下降速度不宜过快,可控制在 $0.1\sim 0.3\text{m}/\text{s}$,采样深度可根据地下水位、筛管位置和污染物性质确定,例如石油类轻质污染物应关注地下水位附近 0.5m 范围内,氯代烃等重质非水相液体风险区应关注含水层底部或隔水层顶板附近。分层采样适用于厚层含水层或多层地下水系统,优先采用独立分层井组、封隔器或多通道采样装置,采用封隔器时上下封隔段应覆盖目标采样层位两端,封隔压力应满足密封要求,采样层厚度可控制在 $0.5\sim 2.0\text{m}$,为修复深度、阻隔范围和风险控制提供依据。

3.3 挥发性有机物、重金属和常规指标采样控制

不同污染指标对采样扰动和保存条件的敏感性不同,应分类控制。挥发性有机物样品采集时应最大限度减少曝气、震荡和挥发损失,宜采用低流量泵或专用VOC采样装置,采样管路应尽量短,水流应沿瓶壁缓慢注入。样品瓶通常采用 40mL 棕色玻璃吹扫捕集瓶,采样时应使水样形成凸液面后立即加盖,瓶内不得留有气泡;倒置检查时如出现气泡,应重新采样。采集苯系物、氯代烃等指标时,流量宜控制在 $0.1\sim 0.3\text{L}/\text{min}$,不宜使用敞口桶中转,也不宜从高处倾倒装瓶。重金属样品采集应重点控制浊度、过滤和酸化,通常使用聚乙烯或聚丙烯瓶,采集后可加入优级纯硝酸酸化,使 $\text{pH}<2$,以抑制金属吸附和沉淀[6]。过滤装置、滤膜、采样瓶应提前清洗,现场空白和设备空白可用于判断污染引入风险,根据项目性质分别处理, pH 、水温、电导率、溶解氧、氧化还原电位等应现场测定,氨

氮、硝酸盐、氯化物、硫酸盐、总硬度等可按要求冷藏保存,采集微生物指标时应使用无菌瓶,避免接触瓶口和瓶盖内侧并优先在 6h 内送检。

3.4 样品保存、运输与交接管理

地下水样品采集后应立即贴好标签,标签内容包括样品编号、井号、采样日期、采样深度、检测项目、保存剂和采样人员,多数常规水质样品应置于冷藏箱内保存,运输温度控制在 $0\sim 4^{\circ}\text{C}$ 并避免冰袋直接压裂玻璃瓶或造成标签脱落[7]。挥发性有机物样品应使用棕色玻璃瓶密封保存,重金属样品应按检测要求酸化保存,有机污染物样品应避免光运输,防止光解或挥发,酸化样品、非酸化样品、VOC样品和微生物样品应分别包装。交接单应记录样品数量、保存条件、采样时间、送达时间、检测项目、保存剂使用情况、样品外观及接收人签字,例如 pH 、溶解氧等现场测定指标应现场完成,微生物样品宜当天送检,挥发性有机物和部分有机物样品应严格按照实验室方法规定时限分析。每批样品可设置现场平行样、现场空白样、运输空白样和设备空白样,平行样比例可按不少于样品总数的 10% 控制,提高地下水监测数据的可追溯性和法律证据效力。

4 结束语

地下水污染监测井布设与采样技术是地下水环境调查、污染识别和风险管控的重要基础。实际工作中应加强监测井成井质量检查和采样全过程质量控制,结合现场平行样、空白样和运输空白样提高数据可靠性,获得真实、连续、可追溯的地下水监测数据,为污染溯源、环境风险评价和治理修复决策提供可靠支撑。

参考文献

- [1]严丹.页岩气采区地下水污染监测井网的效能评价与布设优化研究[D].重庆:重庆大学,2024.
- [2]刘子翼.油区地下水监测水井井位自动优化算法研究[D].北京:中国地质大学(北京),2024.
- [3]熊羽.地下水LNAPL污染源识别与监测方案优化设计集成

- 研究[D].长春:吉林大学,2023. 367.
- [4]吴泓瑶.某工业园区地下水污染源解析及污染风险评价[D]. 成都:成都理工大学,2023. [6]刘明力.基于熵理论的地下水污染监测网优化设计研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2025.
- [5]蒋江俊男,陈奕云,陈敏,等.基于两步优劣解距离法的地下水污染监测网优化[J].环境污染与防治,2022,44(3):362- [7]李桐.基于自然衰减过程模拟的石油烃污染场地地下水监测网优化研究[D].长春:吉林大学,2021.

