

上海市浅层地下水在线监测技术要点

刘丹青, 汤琳, 吴阿娜

上海市环境监测中心, 上海 200232

摘要:地下水在线监测技术可以实现地下水水质的高频监测,是未来发展的重要趋势。梳理国内外地下水在线监测技术研究进展,以上海市典型水文地质特征与环境质量状况为例,探讨地下水在线监测点位布设、指标筛选、监测方式及监测井设计等技术要点。首先,优化监测点位布设,对需要开展高频监测的区域或重点风险源开展在线监测,以代表性点位反映总体地下水环境质量状况。其次,综合筛选监测指标,除常规参数外,优先选取水体中的氨氮、高锰酸盐指数等作为在线监测指标,在具有潜在有机污染的区域,选取水中有机物、水中油等作为有机污染指示性指标。应进一步加强指标之间的相关性分析,为指示性指标的确立提供依据。再次,合理确定监测方式,根据取样方式以及污染源风险等级,设置相应的微型站和小型站。最后,优化监测井设计技术方案,进一步研究不同井管材质对地下水中无机或有机污染物的长期吸附(解吸)作用。

关键词:地下水;在线监测;监测井设计;指标筛选

中图分类号:X84 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-6002(2022)06-0196-08

DOI:10.19316/j.issn.1002-6002.2022.06.21

Discussion on Key Technical Points of On-line Monitoring of Shallow Groundwater in Shanghai

LIU Danqing, TANG Lin, WU Anuo

Shanghai Monitoring Center, Shanghai 200232, China

Abstract: Groundwater on-line monitoring technology can realize high frequency monitoring of groundwater quality, which is an important trend in the future. This paper reviews the research progress of groundwater online monitoring technology at home and abroad, takes the typical hydrogeological characteristics and environmental quality situation of Shanghai as an example, and discusses the technical key points such as point layout, index screening, monitoring method selection and monitoring well design. Firstly, the layout of monitoring points is optimized. It is advisable to carry out online monitoring for the regions or key risk sources that need to be monitored with high frequency, so as to reflect the overall groundwater environmental quality with representative points. Secondly, comprehensive screening of monitoring indicators. In addition to conventional parameters, pollutants of concern in water, such as ammonia nitrogen and permanganate index, are selected as online monitoring indicators. In areas with potential organic pollution, organic matter and oil in water are selected as indicators of organic pollution. The correlation analysis between indicators should be further strengthened to provide a basis for the establishment of indicative indicators. Then, the monitoring method is reasonably determined. According to the sampling method and the risk level of the pollution source, the corresponding mini-stations and mini-stations can be set up. Finally, the technical scheme of monitoring well design is optimized to strengthen the study on the long-term adsorption/resolution of inorganic or organic pollutants in groundwater by different well pipe materials.

Keywords: groundwater; on-line monitoring; monitoring well design; index screening

提升地下水环境质量监测综合能力,实现水质动态预警,是实施地下水污染防治分区管理及持续开展地下水污染状况调查评估工作的基础^[1]。上海市浅层地下水埋深较浅,容易受人类活动影响。上海是国内最早实现工业化的城市之一,大规模的工业化、城镇化发展使上海浅层地下

水环境问题日益突出。局部地区的工业和农业生产、废弃物处置及垃圾填埋等活动对浅层地下水环境造成了一定影响^[2-5]。实时捕获特征污染物浓度,或长期观测污染物变化趋势,是落实精准治污的一项重要前提。在线监测是实现地下水实时监测与长期观测的有效手段。目前,全国基本实

收稿日期:2022-08-17;修订日期:2022-10-20

基金项目:上海市生态环境局青年科研项目(沪环青科[2022]第8号)

第一作者简介:刘丹青(1989-),女,江苏泰州人,硕士,工程师。

通讯作者:吴阿娜

现了地下水水位的在线监测,水质监测仍以手工监测为主。随着重点污染源地下水监管力度的加大,亟需研发配套的在线监测手段,使手工监测和在线监测相结合提高监测频次,不断满足日益增长的精细化管理需求。

地下水在线监测技术目前主要参考地表水相关要求,关于指标的筛选、监测方式的选取以及监测井的设计和建设等研究还不多。该研究基于上海市典型水文地质特征和环境质量状况,探讨了地下水在线监测技术的要点及应用状况,为推进地下水污染防治数字化转型,构建地下水环境信息化管理平台,揭示不同时间跨度的水质变化趋势提供技术参考。

1 国内外地下水在线监测技术研究进展

《2021年世界地下水监测报告》显示,包括美国、新西兰、澳大利亚等在内的至少42个国家和地区开展了地下水在线监测工作,其中智利、法国、塞尔维亚等28个国家和地区采取了在线监测与手工监测相结合的方式^[6]。美国地质调查局(USGS)网站采用动画形式生动展现了约20000口井的水位测量情况,涵盖了定期、连续或实时监测井内水位的数据及监测井信息^[7]。为了解不同时间尺度的水质变化趋势,从2013年起,美国国家水质评价(NAWQA)项目实施了增强趋势网络(ETN)工程,在8个主要含水层系统的25个地下水站收集高频水质数据,基本实现了水温、电导率、pH、溶解氧、硝酸盐和浊度等指标的实时监测^[7]。针对高频率地下水水质自动监测站的设计、操作与记录等,NAWQA还制定了专门的指南和标准程序文件^[8]。

中国地下水在线监测工作起步相对较晚。根据不同的监测对象和指标,在线监测技术主要分为2类。第一类是针对区域地下水水位、水量或水温等指标的在线监测^[9-10],水利部和自然资源部已基本实现了地下水常规指标监测的信息化和自动化,包括流域浅层或深层地下水埋深、重点区域水温的动态监测;第二类是针对重点风险源区域(包括工业园区和垃圾填埋场等)地下水水质的在线监测与预警^[11-13],监测指标涵盖常规参数和特征参数。

有研究认为,高矿化度咸水会影响在线监测传感器对污染物的灵敏度,且在低地下水流速条

件下,井水易发生变质,污染监测预警难度增加^[11]。考虑到上海市水文地质条件的特殊性,十分有必要开展地下水在线监测技术研究,为实现区域或重点风险源地区地下水实时监测预警提供理论参考,为日后制定地下水在线监测技术指南提供技术支撑。

2 上海市潜水水文地质特征和环境质量状况

上海位于长江口南岸,属于长江三角洲地下水系统,与江苏、浙江等邻省有着密切的水力联系。境内主要分布松散岩类孔隙水,小范围地区分布着碳酸盐岩类岩溶裂隙水。潜水含水层岩性结构类型较复杂,一般概括成2种结构类型:一种以单一粘性土为介质,基本无成层砂层分布,主要分布于西南部和东南部,分布面积相对较大,地层渗透性和富水性较弱;另一种为二元结构,上部是黏性土,下部为砂性土,有一定厚度的砂层分布,主要分布于苏州河以北、河口砂岛及滨海地带^[14-15]。按照补给和排泄特征分析,该市潜水属于大气降水-蒸发型地下水。潜水平埋深相对较浅,深度为0.5~1.5 m,局部达到1.5~2.0 m,潜水易受人类活动影响且随气象环境发生周期性变化,潜水化学类型呈现由西北向东南变咸的趋势^[16]。

在沉积环境和成陆时间等因素的显著控制下,沿海区域的地下水氯化物、溶解性总固体、总硬度等指标普遍偏高,个别指标(如氨氮等)受到一定程度的人类活动影响,有机指标零星分布且含量较低^[17]。这与长江三角洲其他地区地下水监测结果基本一致^[18]。境内水网密布,地表水与地下水联系密切。氨氮是地表水水质改善的重点指标,也是地下水中常见的污染指标。氨氮的出现往往被认为是浅层地下水环境受到了生物有机污染。因此,地表水和地下水的污染协同防治具有十分重要的意义。目前全市200多个地表水断面已基本实现水质自动监测,这对地下水在线监测技术研究具有一定的借鉴意义。

3 浅层地下水在线监测技术要点

基于上海市典型水文地质特征与环境质量状况,笔者从点位布设、指标筛选、监测方式选取以

及监测井设计与建设等方面,探讨了浅层地下水在线监测技术要点。

3.1 监测点位布设

点位布设总体上应能反映区域地下水环境质量状况。遵循空间布点的代表性、监测数据的连续性 & 实际操作的可行性等原则,对需开展高频监测的区域或重点污染源开展监测。在线监测涉及站房建设与系统运维,一旦建成投入运行后,点位位置调整的成本较高。在满足《地下水环境监测技术规范》(HJ 164—2020)和《区域地下水水质监测网设计规范》(DZ/T 0308—2017)等点位布设要求的前提下,根据调查面积、土地属性、规划用途以及排水系统等,筛选出具备在线监测条件的场地并细化站点选址^[19-20]。前期准备工作需充分,包括站房用地协调,“四通一平”(通路、通

水、通电、通讯和场地平整),安全保障及运维保障等。

根据上海市地下水污染防治分区要求,监测对象优先考虑涉化工类和金属制品类行业工业园区、危险废物处置企业、生活垃圾处置场等重点污染源,或污染防控高值区域等优先防控区^[21]。布点方式参照《地下水环境监测技术规范》(HJ 164—2020)、《地下水环境状况调查评估工作指南》及化工园区、危险废物处置场和垃圾填埋场等相关调查工作方案^[19,21-23]。以化工园区为例,按照生产规模等布设一定数量的边界控制点和内部监测点,内部监测点主要布设在重点关注企业的占地红线之外并尽量靠近污染源,边界控制点布设在园区边界处或占地红线之外并尽量靠近园区(表1)。

表1 在线监测点位的布设
Table 1 Layout of online monitoring points

监测对象	布设类型	布设方法
工业园区	内部监测点	根据调查面积布设,对于规模较大的园区,点位布设数量不少于3个,以实际建成区为主,主要布设在识别到的潜在污染源地下水下游方向,点位宜选在企业占地红线之外并尽量靠近污染源处
	污染扩散点 (边界控制点)	沿地下水流向为主,与垂直地下水流向为辅,两者相结合布点,点位宜选在园区边界处或占地红线之外并尽量靠近园区处
危险废物处置场和 垃圾填埋场	污染扩散点 (边界控制点)	沿地下水流向为主与垂直地下水流向为辅相结合布设,点位宜位于场地边界处或占地红线之外并尽量靠近场界处

3.2 监测指标的筛选

要实现地下水污染的精准高效监测,指标的选取与优化是关键。地下水常规参数测定能很好地反映水质基本状况,并能与地表水监测结果相衔接^[24-25]。此外,还可以结合区域环境质量状况、历史污染物以及较为成熟的自动监测仪等选取具代表性的特征指标。

可通过在线监测传感器监测的项目有水位、水温、pH、溶解氧、电导率、浊度、氧化还原电位等常规指标以及氨氮、高锰酸盐指数、硝酸盐、水中油、水中有机物等表征污染状况的特征指标^[26-27]。指标越多,配套建设的站房配置及监测、维护成本越高。有研究认为,电导率能客观反映地下水中氯化物的浓度,自动监测技术相对成熟且兼具经济实用性,在沿海区域可采用测定电导率的方式代替氯化物测定^[27-29]。溶解氧、pH和电导率的变化会在一定程度上影响地下水中砷的地球化学性质,电导率和钠、氯化物浓度之间具有很好的相关性^[30-31]。

结合实际,除常规参数外,优先选取水体中的

氨氮、高锰酸盐指数作为在线监测指标。针对位于沿海地区的重点污染源,通过电导率、氯化物的测定来直接或间接反映水质矿化度等指标变化情况。在潜在有机污染区域,选取水中有机物、水中油等作为有机污染指示性指标。应重点研究各个指标间的相关性,为在线监测指标的选取与优化提供参考。

3.3 监测方式的选取

根据不同的取样方式,可将监测方式分为原位监测(投入式取样)、异位监测(抽取式取样)和复合型监测。一般不需要进行样品预处理的检测方法,如电极法(电化学分析法)、全光谱法等,可以采用原位监测^[32]。该方式的优势在于产生废液少,对环境的影响较小且省去了取配水环节,所需站房面积小,用电功率较小,可采用太阳能供电;但在设计原位监测井时,井口大小应提前预留足够空间以满足投入式安装要求^[33],应加强探头及接头材料的抗腐蚀性和防水性。需要进行水样预处理的检测方法(如化学分析法等),可以采用异位监测或复合型监测。该方式的优势在于增加了

取配水系统进行预处理,将水样中的某些杂质过滤掉而又能不改变水样的代表性;但所需站房面积较大,用电功率较高,且化学法产生的废液需定期处理(表2)。

根据取样方式及污染源风险等级,可以设置相应的微型站和小型站。微型站内常规指标可优先设置为投入式取样,其余特征指标设置为抽取

式,监测井口径较大,所需站房面积与用地功率较小。小型站内除水位外的指标均可设置为抽取式,增加取配水环节,所需站房面积较大,同时设计智能化地下水低速采样系统,通过气囊泵采样、水质分析和系统控制来实现自动采样洗井,测定水中挥发性有机物时,应设计取水位置自动调节功能^[34]。

表2 在线监测方式的适用范围及优缺点

Table 2 Application scope, advantages and disadvantages of online monitoring method

监测方式	适用范围	优点	缺点或注意事项
原位监测	① 不需要进行样品预处理的检测方法,如电极法(电化学分析法)、全光谱法等 ② 针对市电接入较为困难的区域或点位	① 产生的废液较少,对环境影响较小 ② 省去取配水环节,所需站房面积及用电功率较小,可采用太阳能供电	① 井口大小应提前预留足够空间以满足投入式安装要求 ② 需加强探头及接头材料的抗腐蚀性和防水性
异位监测或复合型监测	需要进行水样预处理的检测方法,如化学分析法等	增加取配水系统,对所采水样进行相应的预处理,将水样中的某些杂质过滤而又不改变水样的代表性	① 所需站房面积及用电功率较高 ② 化学法产生的废液需定期处理

3.4 监测井的设计建设

监测井的设计与建设是获取代表性水质数据的关键前提,应保证测定水样能充分反映监测含水层介质的地下水环境质量状况。结构设计基本遵循已有技术规范^[19,35-36],但已有的监测井结构类型各有优缺点^[37-40]。在明确污染层次的前提下,结构设计选用单管单层监测井。在管材选取与管径设计等方面,应根据在线监测要求进行优化调整以满足水质长期观测要求。

3.4.1 监测井的材质筛选

井管材质应坚固、耐腐蚀,宜选用对水质分析不会产生干扰的无污染材质^[34-36]。地质部门建设的监测井以普通钢管为主,场地调查的监测井管材一般为PVC或PVC-U材质。包括普通钢管在内的金属管井在地下水或潮湿地层中存在不同程度的腐蚀结垢问题^[41]。针对溶解性总固体或氯离子浓度较高的沿海区域,管材选取应充分考虑材料的长期抗腐蚀性抗干扰性。

目前,针对潜水含水层的在线监测井,主要选用PVC-U或无缝不锈钢管,第一承压含水层选用无缝不锈钢管^[11-13]。一般认为在溶解性总固体高于1000 mg/L或氯离子浓度高于500 mg/L的情况下,不锈钢材质易发生电解腐蚀现象,腐蚀条件的叠加会增强腐蚀作用^[42]。较高的氯离子浓度往往导致不锈钢表面钝化膜的溶解,发生Cr、Ni、Fe、Mn等金属析出现象,采样前的洗井也不足

以排除干扰^[42-44]。与不锈钢材质相比,PVC或PVC-U材质具有抗腐蚀性,后期维护成本较低,但这些材质对有机污染物具有一定吸附作用,《地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则》(HJ 1019—2019)中也明确列出不锈钢较PVC或PVC-U材质更适用于非水相液体污染的环境^[35,43],关于PVC或PVC-U材质对地下水无机或有机污染物吸附(解吸)作用的研究还有很多。针对低浓度污染的无机或有机组分,采用此类材质往往是一种折衷行为^[44-45],从经济效益和长远角度分析,PVC-U的经济性优于钢管。未来应进一步研究不同材质井管对地下水中无机或有机污染物的长期吸附(解吸)作用,针对沿海区域水文地质条件研发适合的耐腐蚀和抗干扰材料,以保障长期观测使用。

3.4.2 监测井的管径设计

《地下水环境监测技术规范》(HJ 164—2020)要求井管内径不小于50 mm,以能够满足洗井和取水要求的口径为准^[19];《地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则》(HJ 1019—2019)要求井管内径一般为5~10 cm,特殊情况下可依据实际需求适当放大^[35];《地下水监测井建设规范》(DZ/T 0270—2014)要求井径应满足洗井维护的要求,外径设计应不小于146 mm,松散岩层孔壁与管壁的环状间隙不小于100 mm^[36]。采用投入式取样时,监测井的管径设计应充分考

虑探头以及探头保护装置放入后的空间大小,设计合适的管径以满足原位在线监测需求^[33]。

实际场地调查监测井井径普遍小于100 mm,地质部门建设的监测井外径普遍大于146 mm。在井管材质、井深等符合要求的前提下,优先选用异位监测(抽取式)。在已有手工监测井无法满足在线监测要求时,应充分考虑区域水文地质情况、指标选取及监测方式,使设计的监测井管径既能满足相关技术规范要求,又能满足在线监测需要。

3.5 监测频次的确定

区域手工采样频次主要参照《区域地下水水质监测网设计规范》(DZ/T 0308—2017)执行,高、较高及中等(或较低、低)风险区分别按照每年4、2、1次开展监测^[20]。污染源手工采样频次参照《地下水环境监测技术规范》(HJ 164—2020)、《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889—2008)和《危险废物填埋污染控制标准》(GB 18598—2019)执行。生活垃圾填埋场排水井水质监测频次较高(不少于每周一次)^[46-47]。除生活垃圾填埋场、危险废物处置场以外的其他污染源监测点的采样频次宜不少于每年2次。

除高锰酸盐指数外的常规指标在线监测基本可以实现每隔5~15 min监测一次的高频监测^[7],但监测频次的确定还需充分考虑洗井周期。在线监测井的井管口径大,加上开筛长度,井内水量的增加易造成洗井周期长、洗井量大等问题。有研究发现,位于低渗透层区的潜水井在洗井后1 d,电导率和总有机碳等发生较明显变化^[11]。上海市地下水流速较慢,普遍存在低渗透层,井内水易变质,更需要定期洗井以更新井内地下水。项目试运行阶段设置每24 h洗井一次,洗井之后按照小时读数;项目实施后期根据实际风险预警等级设置监测频次,测定前均需洗井。洗井及设备清洗产生的废水可使用固定容器收集并定期清理或排入雨水管网,不应任意排放。目前关于水质随洗井后静置时间长短以及抽水速率快慢的变化研究还不多,且洗井体积越高,后期维护成本也越大。如何在保障水质良好的前提下开展实时有效监控,减少洗井体积并缩短洗井时间是未来探讨的关键性问题。

4 结论与展望

手工监测与在线监测的有机结合能够为摸清

区域或重点污染源周边浅层地下水环境质量状况与变化规律提供丰富的基础数据,为构建地下水环境数据库系统和信息管理平台,逐步实现区域监管与“双源”监控的地下水环境监测体系提供有力的技术支撑。实现地下水在线监测需充分考虑浅层地下水水文地质特征、历史调查情况以及在线监测需求,需从监测点位的布设、指标筛选、监测方式以及监测井的设计等方面不断优化调整。

1)根据地下水污染防治分区规划,选取优先防控区作为在线监测对象。在已有手工点位布设及历史调查结果的基础上,优化在线监测的点位布设,以较少的代表性点位来反映地下水总体环境质量状况。可以按照生产规模等布设一定数量的边界控制点和内部监测点。

2)结合区域环境质量状况、地下水污染物以及应用较为成熟的自动监测仪等综合筛选监测指标。优先选取水体中的氨氮、高锰酸盐指数等作为监测指标;在具有潜在有机污染的区域,补充选取水中有机物、水中油等作为有机污染指示性指标。未来需加强监测指标之间的相关性分析,为指示性指标的确立提供依据。

3)根据取样方式和污染源风险等级等设置相应的微型站和小型站。微型站内常规指标优先设置为投入式取样,其余特征指标设置为抽取式取样,监测井口径较大,所需站房面积与用地功率较小。小型站内除水位外的指标均可设置为抽取式,增加取配水环节,所需站房面积较大。

4)优化在线监测井设计技术方案。进一步研究不同井管材质对地下水中无机或有机污染物的长期吸附(解吸)作用,尤其在沿海区域的特殊水文地质条件下,应加强对新型耐腐蚀和抗干扰材料的研制,保证测定水样能够反映监测含水层介质的地下水环境质量状况。

参考文献(References):

- [1] 上海市生态环境局. 关于印发《上海市土壤及地下水污染防治“十四五”规划》的通知. 沪环土〔2022〕52号[S/OL]. (2022-03-10) [2022-06-09]. <https://sthj.sh.gov.cn/hbzhwypt1272/hbzhwypt5406/20220310/2a05a4e312cd4e55b955deed4f75c60e.html>.
- [2] 郭琳. 上海某污染场地浅层地下水中氯代烃自然降解机制及能力研究[J]. 环境科技, 2013, 26(3): 9-13.

- GUO Lin. Natural Attenuation Mechanism and Capability of Chlorinated Hydrocarbons in Shallow Groundwater in a Study Area in Shanghai [J]. Environmental Science and Technology, 2013, 26(3):9-13.
- [3] 马长文. 地下水中四氯乙烯迁移归宿与修复技术研究[D]. 上海:上海交通大学,2007.
- [4] 朱瑞利,张施阳,李辉,等. 上海浦东浅层地下水环境三氯乙烷自然衰减规律及过程模拟[J]. 华东理工大学学报:自然科学版,2015,41(3):342-348.
ZHU Ruili, ZHANG Shiyang, LI Hui, et al. Natural Attenuation Simulation of 1, 1, 1-Trichloroethane in Shallow Groundwater at a Contaminated Site in Pudong, Shanghai [J]. Journal of East China University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2015, 41(3):342-348.
- [5] 张琢,温晓华,何中发. 上海典型垃圾场及其周边地区土壤和浅层地下水环境质量特征及评价[C]//地质调查 环境保护 实现找矿新突破. 2012年华东六省一市地学科技论坛文集. 济南:山东省地质学会,2012.
- [6] IGRAC. Groundwater Monitoring Programmes: A Global Overview of Quantitative Groundwater Monitoring Networks[R/OL]. (2020-12-30) [2022-06-09]. <https://www.un-igrac.org/stories/national-groundwater-monitoring-programmes>.
- [7] USGS Groundwater Watch. Active Groundwater Level Network [EB/OL]. [2022-06-09]. <https://www.usgs.gov/media/images/april-2022-usgs-active-groundwater-level-network-animation>.
- [8] MATHANY T M, SARACENO J F, KULONGOSKI J T. Guidelines and Standard Procedures for High-Frequency Groundwater-Quality Monitoring Stations-Design, Operation, and Record Computation: U S Geological Survey Techniques and Methods 1 - D7, 54 p[R/OL]. (2019-09-11) [2022-06-09]. <https://www.usgs.gov/publications/guidelines-and-standard-procedures-high-frequency-groundwater-quality-monitoring>.
- [9] 王宁涛,谭建民,闫举生,等. 矿区地下水监测与预警系统研究——以福建省龙岩市马坑铁矿为例[J]. 安全与环境工程,2011,18(1):95-100.
WANG Ningtao, TAN Jianmin, YAN Jusheng, et al. Research on Groundwater Monitoring and Early Warning System for Mining Area: A Case of Makeng Iron Mine in Longyan City of Fujian Province [J]. Safety and Environmental Engineering, 2011, 18(1):95-100.
- [10] 杨磊,霍艾迪,管文轲,等. 塔里木河中下游地下水动态在线监测系统的设计与应用[J]. 湖北农业科学,2020,59(12):167-170.
YANG Lei, HUO Aidi, GUAN Wenke, et al. Design and Application of Groundwater Dynamic Online Monitoring System in Middle and Lower Reaches of Tarim river [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2020, 59(12):167-170.
- [11] 雷抗. 垃圾填埋场地下水污染监测预警技术研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2018.
- [12] 徐博宇,沈毅,潘建飞,等. 台州市某医化园区土壤地下水污染预测预警模型研究[J]. 皮革制作与环保科技,2021,2(20):142-143.
XU Boyu, SHEN Yi, PAN Jianfei, et al. Study on Prediction and Early Warning Model of Soil and Groundwater Pollution in a Medical Park in Taizhou [J]. Leather Manufacture and Environmental Technology, 2021, 2(20):142-143.
- [13] 姚宇平. 在线监测系统在地下水环境监测中的应用[J]. 黑龙江环境通报,2017,41(4):37-39.
YAO Yuping. On-line Monitoring System for Application in the Groundwater Environmental Monitoring [J]. Heilongjiang Environmental Journal, 2017, 41(4):37-39.
- [14] 夏晨,李金柱,何中发. 上海市浅层地下水环境地球化学背景值研究[J]. 上海地质,2006(1):24-28.
XIA Chen, LI Jinzhu, HE Zhongfa. Research on Geochemistry Background Value for Subsurface Water in Shanghai [J]. Shanghai Geology, 2006(1):24-28.
- [15] 李宇庆,赵建夫,陈玲,等. 上海化学工业区地下水环境质量评价[J]. 安全与环境学报,2004(4):28-31.
LI Yuqing, ZHAO Jianfu, CHEN Lin, et al. On Groundwater Quality Evaluation in Shanghai Chemical Industry Zone [J]. Journal of Safety and Environment, 2004(4):28-31.
- [16] 陆志坚. 上海地区水文地质条件简介[J]. 上海地质,1980(2):1-9.
LU Zhijian. Brief Introduction of Hydrogeological Conditions in Shanghai [J]. Shanghai Geology, 1980(2):1-9.
- [17] 李金柱. 上海地区浅层地下水有机污染基本特征[J]. 上海国土资源,2012,33(2):25-28.
LI Jinzhu. Basic Characteristics of Organic Pollution of Shallow Groundwater in Shanghai [J]. Shanghai Land Resources, 2012, 33(2):25-28.
- [18] 吴夏懿,理继红,姜素,等. 长江三角洲江苏地区浅

- 层地下水质量评价[J]. 地下水, 2013, 35(6): 11-13.
- WU Xiayi, LI Jihong, JIANG Su, et al. Quality Evaluation of Shallow Groundwater in Jiangsu Area of Yangtze River Delta[J]. Groundwater, 2013, 35(6): 11-13.
- [19] 生态环境部. 地下水环境监测技术规范: HJ 164—2020 [S/OL]. (2022-03-10) [2022-06-09]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/jcffbz/202012/t20201203_811333.shtml.
- [20] 国土资源部. 区域地下水水质监测网设计规范: DZ/T 0308—2017 [S/OL]. (2017-11-01) [2022-06-09]. <https://www.biao-zhun.cn/83143.html>.
- [21] 上海市生态环境局. 上海市地下水污染防治分区. 沪环规[2021]5号 [S/OL]. (2021-07-02) [2022-08-17]. https://sthj.sh.gov.cn/hbzhwypt1103/hbzhwypt5309/20210702/e785c3_e5083_f40ee94236417512d0250.html.
- [22] 生态环境部. 关于公开征求《关于加强化工园区地下水环境管理的通知(征求意见稿)》意见的通知. 环办便函[2022]97号 [S/OL]. (2022-03-22) [2022-08-17]. https://mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202203/t20220322_972230.html.
- [23] 生态环境部. 关于印发《地下水环境状况调查评价工作指南》等4项技术文件的通知. 环办土壤函[2019]770号 [S/OL]. (2019-09-29) [2022-08-17]. <http://www.szgvanjia.cn/article/666>.
- [24] 吴阿娜, 汤琳, 张锦平. 小型岸边站技术在水质自动监测中稳定性和可靠性分析[J]. 中国环境监测, 2019, 35(2): 129-135.
- WU Anuo, TANG Lin, ZHANG Jinping. Stability and Reliability Analysis of Shore Station for Automatic Water Quality Monitoring [J]. Environmental Monitoring in China, 2019, 35(2): 129-135.
- [25] 张海春, 胡雄星, 韩中豪, 等. 黄浦江上游水源地水质预警监测因子筛选[J]. 净水技术, 2012, 31(5): 6-8.
- ZHANG Haichun, HU Xiongxing, HAN Zhonghao, et al. Screening and Selection of Pollution Indicators of Early Warning and Monitoring System for Water Source on Upper Reaches of Huangpu River [J]. Water Purification Technology, 2012, 31(5): 6-8.
- [26] WANG Y F, ZHANG Y X, HU X, et al. Study and Application on Detection of Groundwater Water Quality On-line Monitoring Index [J]. Advanced Materials Research, 2013(726/731): 1530-1533.
- [27] 雷抗, 李瑞, 李鸣晓, 等. 海积平原区浅层地下水污染在线监测预警指标的确定——以天津市某简易生活垃圾填埋场为例[J]. 环境工程, 2018, 36(11): 179-184.
- LEI Kang, LI Rui, LI Mingxiao, et al. Determination of Indexes of On-line Monitoring and Early Warning for Shallow Groundwater Contamination Around Landfills in Marine Plains: A Case of a Simple Msw Landfill in Tianjin [J]. Environmental Engineering, 2018, 36(11): 179-184.
- [28] 戴昕, 李钦钦, 郭燕. 天津市某生活垃圾填埋场地下水水质自动监测研究[J]. 地下水, 2021, 43(2): 70-73.
- DAI Xin, LI Qinqin, GUO Yan. Study on Automatic Monitoring of Groundwater Quality in a Domestic Waste Landfill in Tianjin [J]. Ground Water, 2021, 43(2): 70-73.
- [29] 孙乃波, 钱玉香, 田仙言, 等. 电导率替代氯离子在海水入侵自动监测管理系统中的应用研究[C]//山东水利科技论坛. 济南: 山东省科学技术协会, 2007.
- [30] JAMES R D, JOSEPH P L, et al. Time Scales of Arsenic Variability and the Role of High-Frequency Monitoring at Three Water-Supply Wells in New Hampshire, USA [J]. Science of the Total Environment, 2020, 709: 1-13.
- [31] ERICKSON M L, MALEND A H F, BERQUIST E C, et al. Arsenic Concentrations after Drinking Water Well Installation: Time-Varying Effects on Arsenic Mobilization [J]. Science of the Total Environment, 2019, 678: 681-691.
- [32] 张永祥, 王一凡, 任仲宇, 等. 典型段水质联动监测技术与预报系统的研究与应用[C]//中国环境科学学会学术年会. 成都: 中国环境科学学会, 2014.
- [33] 董悦安, 王峰, 王慧玲. 北京市垃圾填埋场地下水水质自动监测特征指标筛选[J]. 勘察科学技术, 2012(4): 46-53.
- DONG Yuean, WANG Feng, WANG Huiling. Screen on Characteristic Index of Groundwater Quality Automatic Monitoring in Solid Garbage Landfill Site of Beijing [J]. Site Investigation Science and Technology, 2012(4): 46-53.
- [34] 生态环境部. 地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则: HJ 1019—2019 [S/OL]. (2019-09-01) [2022-06-09]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/jcffbz/201905/t20190513_702683.shtml.
- [35] 国土资源部. 地下水监测井建设规范: DZ/T 0270—2014 [S/OL]. (2015-01-01) [2022-06-09]. <https://www.doc88.com/p-2963999589958.html>.

- [36] 生态环境部. 建设用土壤污染风险管控和修复监测技术导则: HJ 25.2—2019[S/OL]. (2019-12-05) [2022-06-09]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/trhj/201912/t20191224_749891.shtml.
- [37] POWELL R M, PULS R W. Passive Sampling of Groundwater Monitoring Wells without Purging; Multilevel Well Chemistry and Tracer Disappearance [J]. *Journal of Contaminant Hydrology*, 1993, 12(12): 51-77.
- [38] 叶成明, 李小杰, 郑继天, 等. 国外地下水污染调查监测井技术[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2007(11): 57-60.
YE Chengming, LI Xiaojie, ZHENG Jitian. Well Technology for Groundwater Pollution Investigation and Monitoring Abroad [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2007(11): 57-60.
- [39] 潘德元. 多通道地下水监测技术应用示范[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2014, 41(11): 1-4.
PAN Deyuan. Demonstration of the Application of Multi-channel Groundwater Monitoring Technology [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2014, 41(11): 1-4.
- [40] 郭燕, 戴昕, 洪有成. 多层位采样监测预警技术在填埋场地下水监测中的应用[J]. *广东化工*, 2019, 46(24): 72-73.
GUO Yan, DAI Xin, HONG Youcheng. Application of Multi-layer Sampling Monitoring and Early Warning Technology in Groundwater Monitoring of Landfill [J]. *Guangdong Chemistry*, 2019, 46(24): 72-73.
- [41] 卢予北, 李艺, 陈莹, 等. 国家地下水监测井建设关键问题研究[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2016, 43(6): 1-6.
LU Yubei, LI Yi, CHEN Ying, et al. Analysis on Key Issues of National Groundwater Monitoring Well Construction [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2016, 43(6): 1-6.
- [42] USEPA. RCRA Groundwater Monitoring: Draft Technical Guidance [R/OL]. (1992-11-01) [2022-06-09]. <https://www.epa.gov/quality/rcra-groundwater-monitoring-draft-technical-guidance>.
- [43] 苏建文, 董小平, 高腾远, 等. SO_4^{2-} 浓度对含 Cl^- 溶液中 304 不锈钢腐蚀损伤影响[J]. *钢铁钒钛*, 2022, 43(1): 165-173.
SU Jianwen, DONG Xiaoping, GAO Tengyuan, et al. Effect of SO_4^{2-} Concentration on Corrosion Damage of 304 Stainless Steel in Cl^- Solution [J]. *Iron Steel Vanadium Titanium*, 2022, 43(1): 165-173.
- [44] 韩小康, 覃明, 李佳润, 等. 不锈钢在海水中的腐蚀行为研究进展[J]. *材料保护*, 2017, 50(9): 75-81.
HAN Xiaokang, QIN Ming, LI Jiarun, et al. Research Progress on Corrosion Behavior of Stainless Steel in Seawater [J]. *Material Protection*, 2017, 50(9): 75-81.
- [45] PARKER L V, HEWITT A D, JENKINS T F. Influence of Casing Materials on Trace-Level Chemicals in Well Water [J]. *Ground-Water Monitoring Review*, 1990: 146-156.
- [46] 环境保护部. 生活垃圾填埋场污染控制标准: GB 16889—2008[S/OL]. (2008-07-01) [2022-06-09]. <https://wenku.baidu.com/view/f8d89ba301d276a20029bd64783e0912a3167c5c.html>.
- [47] 生态环境部. 危险废物填埋污染控制标准: GB 18598—2019[S/OL]. (2020-06-01) [2022-06-09]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/gthw/wxfwjbffbz/201910/t20191012_737241.shtml.