

Detection and Protection of Radioactive Pollutants in Groundwater

Manjiao Guo

Jingjiang Hydrological and Water Resources Survey Bureau, Hydrological Bureau of Yangtze River Water Resources Commission, Jingzhou Hubei
Email: 598340222@qq.com

Received: Nov. 19th, 2019; accepted: Dec. 6th, 2019; published: Dec. 13th, 2019

Abstract

Groundwater is an important water body, which is closely related to human production and life. Groundwater pollution is of concealment and complexity, and the harm of radioactive pollution is more difficult to detect. It can only be perceived with the help of special instruments and equipment. With the increasing of human radiation diseases, it is very important to use new instruments and new technologies to monitor the radioactive pollution of groundwater, protect the ecological environment of groundwater, master the protective measures to avoid radiation injury and protect the health of people. This paper introduces the detection principle, main structure and monitoring process of the latest domestic FYFS-400X series four channel low background α and β measuring instrument for detecting radioactivity in groundwater, analyzes the source and harm degree of groundwater radioactive pollution, and puts forward the protective measures for preventing radiation injury in laboratory analysis.

Keywords

Groundwater, Radioactive Pollution, Monitoring Methods, Safety Protection

地下水放射性污染物的检测与防护

郭满姣

长江水利委员会水文局荆江水文水资源勘测局, 湖北 荆州
Email: 598340222@qq.com

收稿日期: 2019年11月19日; 录用日期: 2019年12月6日; 发布日期: 2019年12月13日

摘要

地下水是一种重要水体, 与人类生产生活密切相关。地下水污染具有隐蔽性和复杂性, 且放射性污染危

害大更不容易察觉,需借助专门的仪器设备方可感知。随着人体放射性疾病与日俱增,采用新仪器新技术开展地下水放射性污染监测,保护地下水生态环境越来越重视,掌握避免放射性伤害的防护措施,保护人民身体健康极为重要。本文介绍了最新国产FYFS-400X系列四通道低本底 α 、 β 测量仪检测地下水中放射性的探测原理、主体结构及监测流程,分析了地下水放射性污染的来源与危害程度,提出了实验室分析中预防放射性辐射伤害的防护措施。

关键词

地下水,放射性污染,监测方法,安全防护

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

放射性对于人类和环境的危害主要是电离辐射,目前,国内外用于探测辐射的探测器主要有气体探测器、闪烁探测器和半导体探测器三类。利用辐射在气体、液体或固体中的电离、激发效应或其他物理、化学变化开展辐射探测。由闪烁体与光电倍增管组合的探测器灵敏度高,效率自动标定,且能测量射线能量,广泛用于地下水放射性污染物的检测。地下水与人类社会生活息息相关,我国饮用水源有四分之一来自地下水。警惕地下水放射性污染,预防辐射伤害是全世界共同面临的问题。

2. 地下水放射性污染的来源与危害

地下水是存在于地表以下岩(土)层空隙中的各种不同形式的水的统称。它是一种重要的水体资源,与人类社会生产生活有密切的关系。随着世界人口增加和社会经济的高速发展,人们对地下水的需求量与日俱增。无序的过度开采与利用,加上与浅层地下水有互补关系的地表水水生态环境的破坏与污染,地下水体受到各种水污染的威胁日益加剧。地下水污染物的来源主要有环境污染、生活污染、工业污染和农业污染。地下水放射性污染由水中放射性核素引起,经过放射性核素自身衰变,放射出 α 、 β 和 γ 射线。水体中放射性污染物质主要来自于天然放射性核素、核武器试验的沉降物、核工业废水和废液、放射性同位素的生产和应用等。地下水水生态环境遭受放射性污染的途径包括:1)非正常情况下,危险废物填埋场防渗衬层受到破坏后,含放射性物质渗滤液下渗污染地下水,如核污染事件、地震、台风、海啸等;2)工矿企业含放射性废渣废水违法偷排;3)地下水开采过程中人工或天然放射性物质泄露污染;4)有毒有害废弃物(城市垃圾、工业废渣、核废料等)堆放和地下填埋处置管理不当污染地下水;5)因地下水过度开采,采用人工回灌引起的污染等等[1][2][3][4]。可见,地下水放射性污染途径多且复杂。

地下水放射性污染危害不可小觑。放射源可在人体内、外形成照射,从而引起人体放射性疾病[5]。放射性核素辐射的固有属性不能通过物理、化学、生物等作用来改变,只能靠核素自然衰变来降低其放射性强度,因此,有害辐射的危害程度可能比化学毒物更大[6]。人体受到辐射损伤隐蔽性强,杀伤力高。轻者会出现恶心、呕吐、食欲不振、毛发脱落、指甲发育不良、腹泻等症状,严重者导致全身无力,血细胞数目急剧降低,造血干细胞坏死和凋亡,以致丧失生命。地下水污染最危险的放射性物质有铯 90、铯 137 等[7]。这些核素半衰期长,化学性能与组成人体的主要元素钙、钾相似,经水和食物进入人体后,能在一定部位累积,增加对人体的放射性辐射,超过一定的阈值,就会引起遗传变异,致畸致残,或者

增加癌症的发病率。放射性核素既以物质形态又以能量形式危害公众健康和破坏生态平衡，必须高度重视，警惕地下水的放射性污染状况，做到有的放矢，防止人体放射性疾病的发生，保护地下水生态环境和人民生命安全。

3. FYFS-400X 测量仪探测原理与构造

地下水体中放射性污染无色无味，难以察觉，需要借助专门的仪器设备方可探测感知。FYFS-400X 系列低本底 α/β 测量仪是监测辐射污染的大型国控检测仪器[8]，采用 FPGA 进行多通道并行同时采集总 α 和总 β 的活度浓度，能准确探测水、土壤及食品中的放射性物质核素的活度浓度。它采用塑料双闪先将 α 和 β 射线转化成可见光，再由光电倍增管将光转化成电，最后用前置放大器将电处理后送出，其工作原理如图 1 所示。

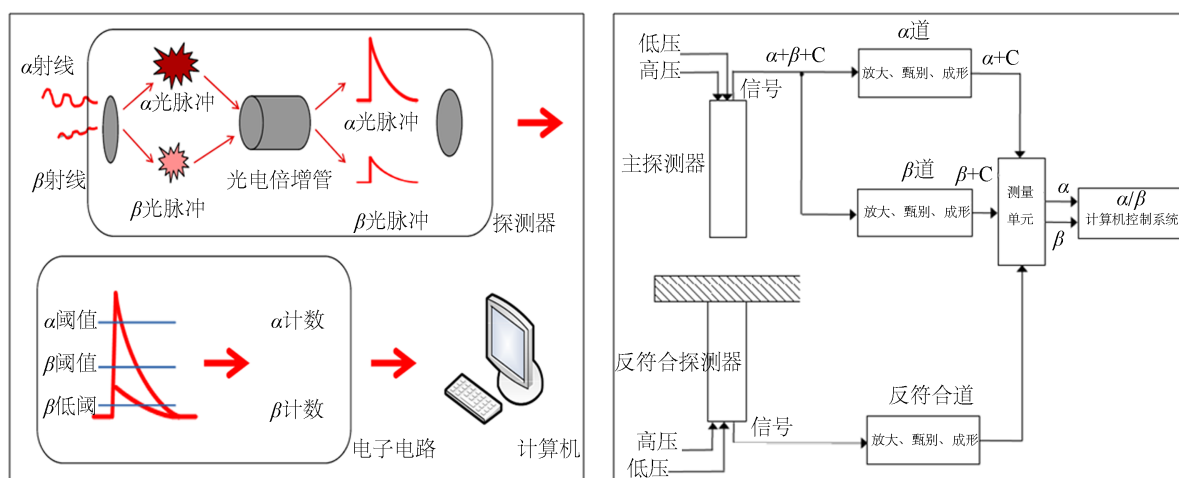


Figure 1. Detection schematic diagram of α and β measuring instruments

图 1. α 、 β 测量仪的探测原理图

FYFS-400X 系列低本底 α 、 β 测量仪采用自主开发的 ABMS 测量软件，仪器主体结构包括：主探测器、反符合探测器、铅室和控制器。主探测器由塑料双闪，光电倍增管和前置放大器组成；反符合探测器面积较大，用来屏蔽宇宙射线，主要是 γ 射线；铅室由上、中、下三层组成；控制器为长方体不锈钢组件；ABMS 测量系统操作软件作为信息终端，负责数据运算和报告输出。

4. 地下水放射性检测流程

地下水中总 α 、总 β 放射性是指在标准规定的制样条件下，样品中不挥发的所有天然和人工放射性核素的 α 、 β 辐射体总称。地下水中总 α 、总 β 放射性浓度较低，一般是将足够体积的水浓缩蒸干，使放射性核素沉积到少量固体残渣上，再取适量残渣均匀铺平在测量盘内，置于低本底 α 、 β 测量仪进行总 α 、总 β 放射性的测定。依据生活饮用水标准检验方法放射性指标 GB/T 5750.13-2006 开展地下水放射性监测[9]。

4.1. 样品采集

根据 HJ 495-2009 水质采样方案设计技术规范从监测井中采集地下水样品。监测井分为水源地、保留生产井和国家工程专用站井等。一般水源地监测井每月采样监测一次，生产井和工程专用站井每年汛期(6、7月)采样监测一次，由专门的有环保资质的水质检测机构或公司负责采集有代表性的水样品。

4.2. 样品检测

4.2.1. 建立模型

建模为测定仪器的计数效率和监督仪器的稳定性。建立模型需用到两类放射源：工作源(即电镀源)钷-239 (Pu-239)和标准源 α 源 ^{241}Am 、 β 源 KCL。建模的简单操作流程：1) 测量仪器本底，在铅室样品盘中放入干净的空样品盘，工作条件设置 10 次 6000 秒，分别采集 α/β 本底 R_0 (cps)数据；2) 测量工作源效率，在铅室样品盘中放入工作源(电镀源)，工作条件设置 10 次 60 秒，分别采集 α/β 工作源效率 η_S (%) 参数；3) 测量标准源效率，在铅室样品盘中分别放入已制备好的 α 标准源 ^{241}Am 和 β 标准源 KCL(各取标准物质粉末 160 mg 铺平于不锈钢样品盘内)，工作条件设置 4 次 6000 秒，分别采集 α/β 标准源效率 ϵ_S (%)。将测定结果分别保存到工作条件对应的参数中。工作源效率由仪器出厂时测定。水样分析人员只需每半年测量一次标准源效率，建立标准源模型。

4.2.2. 水样的前处理

测量水样品前需对水样进行前处理：消解和灼烧。消解(或称灰化)，采用湿式消解 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-HNO}_3$ 体系 [10]。1) 水样蒸发浓缩赶酸。取足量待测水样(保证样品残渣 > 160 mg)于大烧杯中，按照每升水样加 20 ml 浓硝酸制备，加热蒸发浓缩水样至 50 ml 左右冷却；再往冷却水样品中加入 1 ml 浓硫酸搅拌均匀后在电热板上小心加热蒸干。此过程可采用国产顺昕 7000 系列放射性水样蒸发浓缩赶酸仪完成，安全高效，无需人员值守；2) 将蒸干后的残渣放到马弗炉内 350℃灼烧 1 小时，直到残渣全部为白色粉末；3) 用 1/ 万天平称出在干燥器中已经冷却至室温的残渣总质量，将残渣研磨粉粹，取 160 mg 置于干净的不锈钢空样品盘中，用酒精 + 丙酮溶液(按 1:1 配比)铺平样品。将铺平样品放在干燥容器中干燥 2 小时备用。

4.2.3. 水样检测

开启仪器和计算机，仪器先预热半小时，将已经制备好的水样品小心地放入仪器铅室样品盘，打开计算机桌面 ABMS 测量系统，点击“仪器参数”，点击“设置高压”，水样品测量工作条件设置 4 次 6000 秒(6.7 小时)，在系统提示界面填写水样品信息，点“采集”按钮，仪器将同时自行采集并计算水样品中总 α 、总 β 放射性核素的活度浓度(Bq/L)，并生成检测报告输出。

4.2.4. 检测实例分析

取湖南和贵州部分地下水(水源地)近两年(2018~2019)平、丰水期放射性检测成果如表 1。从表中监测数据可以看出：湖南和贵州水源地地下水在两年平、丰水期总 α 放射性活度浓度均低于总 β 放射性活度浓度，地下水放射性核素活度的水平较低也较稳定，地下水水质基本为一类和二类水质，适用于各种用途，符合国家对水源地水质标准要求，可放心安全饮用，不必担心会发生辐射的急性健康效应。若放射性指标总 α 放射性活度浓度大于 0.5 Bq/L、总 β 放射性活度浓度大于 1.0 Bq/L，超过国家三类水质指导值，表明地下水中放射性核素组分含量较高，不适于农业和工业用水质量且存在人体和生物遭受辐射危害的健康风险，应对该地下水水体进行核素分析和评价。

依据地下水质量标准 GB/T 14848-2017 附录 B 地下水质量检测指标推荐放射性分析方法，水样品中总 α 比活度的测量采用厚样法，总 β 比活度的测量采用薄样法，生活饮用水标准检验方法放射性指标 GB/T 5750.13-2006 中水样品中总 α 比活度的测量也有比较测量法和标准曲线法。在厚样法和薄样法测量中，由于样品源的有效厚(薄)度与组成它的物质性质有关，当水样性质发生变化时样品源的有效厚(薄)度需重新测定。以上文献测量方法不仅流程复杂，人工参与时间长，容易造成环境和样品污染，而且计算工作量很大。采用 FYFS-400X 系列低本底 α 、 β 测量仪及 ABMS 测量软件系列检测地下水放射性污染物解决了上述难题，可对总 α 、总 β 放射性同时测量，实现了样品源测量过程的无人值守，检测结果仪器直读。

该仪器本底较低, 连续监测, 自动扣除, 灵敏度高, 探测效率高, 效率稳定性好, 串道比很低, 在地下水放射性检测工作中, 提高了工作效率, 保障了监测成果质量, 优化了实验人员的工作环境, 减轻了实验过程中产生的辐射伤害。

Table 1. Radioactive detection results of parts of groundwater (water source) in Hunan and Guizhou in 2018~2019
表 1. 湖南和贵州部分地下水(水源地) 2018 年~2019 年平、丰水期放射性检测成果

断面 名称	2018 年				2019 年			
	平水期(1~2 月)		丰水期(6~7 月)		平水期(1~2 月)		丰水期(7~8 月)	
	总 α 放射性 活度 (Bq/L)	总 β 放射性 活度 (Bq/L)	总 α 放射性 活度 (Bq/L)	总 β 放射性 活度 (Bq/L)	总 α 放射性 活度 (Bq/L)	总 β 放射性 活度 (Bq/L)	总 α 放射性 活度 (Bq/L)	总 β 放射性 活度 (Bq/L)
湖南	0.063	0.066	0.027	0.048	0.033	0.061	0.030	0.061
沅江	0.025	0.081	0.057	0.058	0.028	0.051	0.023	0.050
贵州	0.051	0.081	0.046	0.079	0.037	0.122	0.021	0.074
贵阳	0.035	0.058	0.031	0.079	0.037	0.133	0.055	0.087

5. 实验室辐射防护措施

放射源根据危害程度划分为五类: 极高危险源、高危险源、危险源、低危险源、极低危险源[11]。避免辐射伤害关键是预防。辐射防护分内照射防护和外照射防护。

1) 内照射防护, 开放性放射源可通过口、呼吸道、皮肤伤口等进入人体, 应尽一切可能防止放射性核素进入人体内, 减少实验场所及环境放射性污染, 定期进行污染检查和监测。保持实验人员放射性核素的年摄入量控制在国家规定的限值以内[12]。

2) 外照射防护包括: a) 距离控制, 尽量远离放射源; b) 时间控制, 尽量减少与放射物质的接触时间; c) 屏蔽控制, 合理地屏蔽放射源。辐射防护损伤的严重程度与所受照射剂量成正比关系, 有明显阈值, 剂量未超过阈值不会发生有害效应, 一般是在短期内受到较大剂量照射会发生急性损伤。总之, 辐射防护的目的就是防止有害的确定性效应, 使之达到可以接受的水平, 且使一切具有正当理由的照射保持在可以合理做到的正当水平[12]。

为此, 做好实验室防辐射保护的具体措施: 1) 合理设置作业点和相关通道, 制定科学有效的作业指导程序; 2) 办公区与实验区分开, 工作人员实验中应规范穿戴防辐射用品; 3) 持证上岗, 熟悉业务, 提高工作效率, 缩短照射时间; 4) 辐射岗位工作人员需定期参加国家规定的体检复查, 放射性标准物质由专人专柜妥善安全保管; 5) 严格控制放射性物质对外环境排放, 实验中产生的低水平放射性废液或固体废物集中收集, 统一保管, 做好相应标识, 委托有资质单位处理。

6. 结论

1) 地下水中的放射性污染对人民的身体健康危害巨大, 当代社会应时刻保持警惕, 防止各种环境因素和人为因素造成地下水污染。

2) FYFS-400X 系列低本底 α/β 测量仪实现了地下水放射性检测的智能化, 提高了工作效率和水环境监测能力, 保障了水质监测成果质量。

3) 为保证实验人员人身安全, 减少辐射伤害主要从距离防护、屏蔽防护和时间防护三方面做好防护措施。

基金项目

国家重点研发计划专题：洞庭湖与鄱阳湖多目标调控关键技术(2017YFC405305-1)。

参考文献

- [1] RA 费里泽, JA 彻里, 著. 地下水[M]. 吴静方, 译. 北京: 地震出版社, 1987.
- [2] 芮孝芳. 水文学原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 2013: 69, 166.
- [3] 候宇光, 杨凌真, 黄川友. 水环境保护[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1990.
- [4] 陆书玉. 环境影响评价[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [5] 唐培家. 放射性测量方法[M]. 北京: 中国原子能出版社, 2012.
- [6] 卞祖和, 译, 唐孝威, 校. 放射性测量[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1992: 18-19.
- [7] 包为民, 李琼芳, 李国芳, 瞿思敏, 庄一鸽. 水质预报[M]. 南京: 河海大学出版社, 2010: 7, 117.
- [8] 齐文启. 环境监测实用技术[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006: 43-44.
- [9] 生活饮用水标准检验方法放射性指标[Z]. GB/T 5750.13-2006.
- [10] 电离辐射防护与辐射源安全基本标准[Z]. GB 18871-2002.
- [11] 电磁辐射防护规定[Z]. GB 8702-88.
- [12] 章亚麟. 环境水质监测质量保证手册[M]. 第2版. 北京: 化学工业出版社, 2001.