

城市放射性环境地质调查技术规范

Technical specification of urban radio active environmental geological
investigation

（征求意见稿）

（本草案完成时间：2026 年 1 月 7 日）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2026 – XX – XX 发布

2026 – XX – XX 实施

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 总则 3

5 设计编写及审批 6

6 仪器准备 7

7 野外调查技术要求 8

8 样品采集与测试 11

9 质量保证和质量控制 17

10 放射性地质环境评价 19

11 成果资料整理、验收与归档 22

附 录 A（资料性） 放射性环境地质调查记录表格式 24

附 录 B（资料性） 设计书编写提纲 26

附 录 C（资料性） 成果报告编写提纲 28

参 考 文 献 30

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由湖南省自然资源厅提出、归口，并组织实施。

本文件起草单位：湖南省核地质调查所，湖南省辐射环境监督站。

本文件主要起草人：李颖、赵胤淳、瞿畏、程云涛、李振全、汤朝晖、刘俊峰、彭剑刚、韦光景、曾鸣、杨清升、邱莉芬、沈亚飞、陶峰、李兴斌、肖佩岚、黄丹丹、骆姣、刘思晗、张文华、周咨丞、周姝锦。

本文件为首次发布。

城市放射性环境地质调查技术规范

1 范围

本文件规定了城市放射性环境地质调查的目的任务、内容方法、评价、质量控制及成果要求。

本文件适用于城市各类用地、重大工程建设区、城市地下空间的放射性环境地质调查工作，专项调查可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 50137—2011 城市用地分类与规划建设用地标准

GB 50325—2020 民用建筑工程室内环境污染控制标准

GB 45437—2025 核设施退役场址土壤中残留放射性可接受水平

GB 5749—2022 生活饮用水卫生标准

GB 6566—2010 建筑材料放射性核素限量

GB 8999—2021 电离辐射监测质量保证通用要求

GB/T 51358—2019 城市地下空间规划标准

GB/T 14848—2017 地下水质量标准

GB/T 8170—2008 数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB/T 16145—2022 环境及生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法

GBZ/T 182—2006 室内氡及其衰变产物测量规范

JJG 825—2013 测氡仪检定规程

HJ 1157—2021 环境 γ 辐射剂量率测量技术规范

HJ 1212—2021 环境空气中氡的测量方法

HJ 1009—2019 辐射环境空气自动监测站运行技术规范

DZ/T 0306—2017 城市地质调查规范

DZ/T 0295—2016 土地质量地球化学评价规范

DZ/T 0069—2024 地球物理勘查图图式图例及色标

DZ/T 0130.1—2006 地质矿产实验室测试质量管理规范 第1部分：总则

DZ/T 0130.2—2006 地质矿产实验室测试质量管理规范 第2部分：岩石矿物分析试样制备

DZ/T 0130.3—2006 地质矿产实验室测试质量管理规范 第3部分：岩石矿物样品化学成分分析

DZ/T 0130.4—2006 地质矿产实验室测试质量管理规范 第4部分：区域地球化学调查(1:50 000和1:200 000)样品化学成分分析

DZ/T 0130.6—2006 地质矿产实验室测试质量管理规范 第6部分：水样分析

DZ/T 0130.8—2006 地质矿产实验室测试质量管理规范 第8部分：同位素地质样品分析

DZ/T 0273—2015 地质资料汇交规范

DZ/T 0078—2015 固体矿产勘查原始地质编录规程

DZ/T 0352-2020 城市地质调查数据内容与数据库结构
EJ/T 611—2005 γ 测井规范
EJ/T 363—2012 地面伽玛能谱测量规范
EJ/T 605—2018 铀矿勘查氡及其子体测量规范
DD 2008—03 城市环境地质调查评价规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

城市放射性环境地质调查 urban radioactive geological survey

为查明城市区域岩石、土壤、水体、空气等环境介质中天然及人工放射性核素的分布、迁移、富集规律及其对生态环境和人体健康的影响而进行的综合性地质调查与评价工作。

3.2

地质单元 geological unit

与城市区域地质调查填图单位一致，野外可识别、图面按填图比例尺可表达的具有明确属性和边界的地质实体。

3.3

农用地 agricultural land

直接用于农业生产的土地，包括耕地、林地、草地、农田水利用地等。[来源：GB 45437—2025，3.

7]

3.4

一般调查区 survey area

城市规划涉及的区域及对城市规划建设、自然资源开发有影响的地质问题区域。[来源：DZ/T 0306—2017，5.1.1，有修改]

3.5

重点调查区 key-point investigation area

城市建成区，旧城改造、新城规划，城市重大建设区，农用地，城市地下空间等，其他根据实际情况需要纳入重点调查的区域。[来源：DZ/T 0306—2017，5.1.1，有修改]

3.6

特殊调查区 special investigation zone

城市中现有的伴生放射性矿开发利用、核技术应用等企业周边范围，具体调查范围按HJ 61—2021第5章辐射源环境监测范围的划定。

3.7

城市地下空间 urban underground space

城市行政区域内地表以下，自然形成或人工开发的空間，是地面空間的延伸和补充。[来源：GB/T 51358—2019，2.0.1]

3.8

城市重大建设区 major urban development zone

对城市空间结构、功能布局、经济发展或公共利益具有重大影响，并由政府以名录、计划或专项规划形式明确予以重点管控的建设区域。

3.9

背景值 back ground value

客观反映在一定深度范围内岩土表层原始地质环境中形成的放射性核素活度浓度，是表征无明显放射性元素矿化或人为污染的地质体中核素的正常丰度或正常变化，为判定超出正常丰度或正常变化范围的放射性核素异常区域而设定的值。

3.10

放射性异常 radioactive anomaly

环境介质中放射性核素活度浓度或辐射水平明显高于区域背景值，可能指示存在特殊地质体、矿化或人工污染源的现象。

3.11

环境地表 γ 辐射剂量率 ambient terrestrial gamma radiation dose rate

离地面一定高度处（通常为1m）由地表岩石、土壤等介质中天然放射性核素产生的 γ 辐射在空气中产生的吸收剂量率，不包括宇宙射线贡献。

3.12

氡析出率 radon exhalation rate

单位时间、单位面积介质表面（如土壤、建材）释放到空气中的 ^{222}Rn 活度。

3.13

内照射指数 internal exposure index

建筑材料中天然放射性核素镭-226的放射性比活度与本标准中规定的限量值之比。

3.14

外照射指数 external exposure index

建筑材料中天然放射性核素镭-226、钍-232和钾-40的放射性比活度分别与其各单独存在时本标准规定的限量值之比值的和。

3.15

放射性比活度 specific activity

物质中的某种核素放射性活度与该物质的质量之比。

3.16

放射性活度浓度 activity concentration

某种物质单位体积内的放射性活度。

3.17

指示生物 indicative biology

能够高度富集环境中放射性物质的生物。

4 总则

4.1 调查目的任务

城市放射性环境地质调查旨在系统查明城市区域环境介质中放射性核素的分布特征、来源及其环境地球化学行为，评估其对城市生态环境和公众健康的潜在影响，为城市规划、土地利用、辐射环境管理、人居环境安全评价及放射性污染防治提供科学依据和基础数据。其主要任务包括：

- a) 查明调查区岩石、土壤、水体、空气等环境介质中天然及人工放射性核素的种类、活度浓度及空间分布规律。
- b) 测量环境地表 γ 辐射剂量率、土壤氡浓度及氡析出率等辐射水平参数。
- c) 研究放射性核素的迁移、富集规律及其与地质背景、人类活动的关系。
- d) 识别和圈定放射性异常区，分析其成因及环境意义。

- e) 评估城市放射性环境质量现状及潜在风险，提出防治对策建议。
- f) 建立城市放射性环境地质数据库和图件体系。

4.2 调查原则

城市放射性环境地质调查工作应遵循以下基本原则：

- a) 科学性原则：调查工作应以地球科学、环境科学和辐射防护理论为指导，采用先进、可靠的技术方法，确保调查数据的科学性、准确性和代表性。
- b) 系统性原则：调查内容应全面、系统，涵盖岩石、土壤、水体、空气等多种环境介质，以及 γ 辐射、氡浓度等多种辐射参数，反映放射性核素在环境中的整体分布与迁移特征。
- c) 针对性原则：调查工作应紧密结合城市发展规划、土地利用现状和潜在辐射风险源分布，对重点调查区、特殊调查区等区域进行针对性部署，提高调查工作的效率和实用性。
- d) 规范性原则：调查工作的全过程，包括设计、采样、测试、质量控制和成果编制，均应严格遵守国家、行业及本文件的相关技术标准和规范，确保工作质量。
- e) 可操作性原则：调查方法和技术要求应切合实际，便于野外实施和室内操作，同时兼顾经济合理性，确保调查方案能够顺利执行。

4.3 调查对象及内容

4.3.1 调查对象

城市放射性环境地质调查对象应全面覆盖与城市辐射环境相关的各类环境介质和辐射类型，主要包括以下方面：环境地表 γ 辐射剂量率调查, 土壤、水体、大气、地质体放射性调查，特殊区域放射性调查（如：伴生放射性矿开发利用区、工业废渣堆放场、核技术应用企业、重大建设区、城市地下空间等）。

4.3.2 调查区域划分

调查区域可分为一般调查区、重点调查区、特殊调查区。

4.3.3 调查内容

调查对象和内容见表1。

表1 放射性环境地质调查对象及内容

调查分区	调查对象	调查内容
一般调查区	陆地 γ 辐射	γ 辐射剂量率
	土壤、岩石	^{222}Rn 浓度、析出率， ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K
	地层和岩体	地面 γ 能谱
重点调查区 ^a	陆地 γ 辐射	γ 辐射剂量率
	土壤、岩石	^{222}Rn 浓度、析出率， ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K
	地层和岩体	地面 γ 能谱
	动植物	^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K
	陆地水	总 α 、总 β 、 ^{226}Ra
	气溶胶	总 β 、 γ 能谱
	（室内）环境氡	^{222}Rn 浓度
	γ 测井	γ 照射量率
特殊调查区	岩芯	^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K
	陆地 γ 辐射	γ 辐射剂量率

表1 放射性环境地质调查对象及内容（续）

调查分区	调查对象	调查内容
特殊调查区	土壤、岩石	^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K 、 ^{137}Cs
	陆地水	总 α 、总 β 、 U 、 Th 、 ^{226}Ra 、 ^{210}Po 、 ^{210}Pb
	气溶胶	^7Be 、 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K 、 ^{137}Cs 、 ^{134}Cs 、 ^{131}I
	动植物	^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K 、 ^{210}Po 、 ^{210}Pb
	地层和岩体	地面 γ 能谱
	核技术利用企业关键核素	核技术利用企业关键核素

^a重点调查区陆地 γ 辐射，土壤、岩石，地层和岩体为基本调查对象，当调查农用地时，可增加动植物、陆地水为调查对象；当调查城市地下空间时，可增加气溶胶、（室内）环境氡等为调查对象；当调查城市重大建设项目时，可增加岩芯取样、 γ 测井等为调查对象。

4.4 调查精度技术要求

城市放射性地质调查区域应根据城市规划建设的现状、需求以及存在的放射性地质环境问题，一般调查区宜使用比例尺为1:50 000~1:25 000地形图，重点调查区宜使用比例尺为1:25 000~1:10 000地形图或更大比例尺的地形图，位置定位采用全球定位仪（北斗）并在地形图上标注。

4.4.1 一般规定

4.4.1.1 城市放射性地质调查应遵循“分级分区、突出重点、由面到点、逐步深化”的原则，根据城市规划功能、建设现状、潜在放射性风险及具体调查目标，合理确定调查范围与工作精度。

4.4.1.2 调查网度的布设应基于前期资料收集、现场踏勘和必要的试点工作，确保其科学性与经济性。在调查过程中发现放射性异常时，应对异常区进行加密调查，加密后的网度应不低于更高一级调查分区的要求。

4.4.1.3 本规定所述调查网度（网格间距）为控制性最大值，实际操作中可根据场地通达条件、仪器探测能力及初步成果进行优化，但不宜低于规定精度。针对断裂构造等线状地质体，应采用测线或剖面法，其点距设计应保证有效捕捉和圈定目标异常。

4.4.2 技术要求

根据调查区域的放射性环境特征与土地利用敏感性，可将调查网度划分为 I、II、III、IV 四个等级，具体规定见表 2。

表 2 城市放射性地质调查网度技术要求

调查分级	适用范围	规定调查网度（网格间距）
I 级	一般调查区适用。	$\leq 1\text{km} \times 1\text{km}$
II 级	重点调查区适用，规划或现存的农用地、城市地下空间、重大建设项目等。	$\leq 500\text{m} \times 500\text{m}$
III 级	特殊调查区适用，如：伴生放射性矿开发利用、核技术应用等企业周围。	参照 HJ 61
IV 级	专项调查采用，如：民用建筑工程场地 ^a 。	$\leq 100\text{m} \times 100\text{m}$

^a当民用建筑工程场地测量氡浓度时，应以间距 10m 作网格，测量布点应覆盖单体建筑基础工程范围；当民用建筑工程场地测量土壤表面氡析出率时，在测量建筑场地按 20m 建筑场地网格布点，布点数均不应少于 16 个。

4.5 工作流程

4.5.1 城市放射性环境地质调查工作应遵循科学、系统、规范的原则，按照从宏观设计到微观落实、从野外数据采集到综合成果提交的完整技术程序组织实施，确保调查成果的真实性、准确性与可用性。

4.5.2 工作程序始于项目任务的下达与承接，依次经过方案设计、野外实施、分析研究与评审归档四大阶段。具体包括：资料收集与现场踏勘、设计书（含调查网度等技术方案的详细论证）的编制与审查、仪器设备的准备与校准、野外现场调查与原始资料获取、全过程质量检查与控制、样品的测试分析、放射性地质环境评价、数据与成果的综合整理与研究、调查报告的编写与修改、成果的评审验收，直至所有技术资料的归档与汇交。

5 设计编写及审批

5.1 设计流程

项目设计应遵循“资料收集分析—现场验证—方案论证—编写送审”的科学程序，各环节应形成迭代与反馈，确保设计方案的针对性与可行性。

5.2 设计编写准备

5.2.1 资料收集

开展城市放射性地质调查前应做好以下资料收集工作：

- a) 地质资料：区域地质、矿产地质、水文地质、工程地质、放射性地质、航空 γ 能谱测量、区域地球化学等地质图件。
- b) 辐射环境资料：历史辐射环境监测数据、环境 γ 辐射本底调查资料、核技术利用企业信息、伴生放射性矿产资源资料等。
- c) 地理与规划资料：地形图、遥感影像、行政区划图、城市总体规划、土地利用现状图、人口分布资料等。
- d) 其他相关资料：气象资料、土壤类型分布图、水文资料、环境质量公报、相关科研报告等。

收集的资料应进行综合分析，评估其可靠性、时效性和可利用性，作为设计调查方案和解释调查成果的基础。

5.2.2 现场踏勘

开展城市放射性地质调查现场踏勘应了解以下内容：

- a) 区域内主要地层和岩体的空间分布，及其对应的放射性核素含量一般分布规律；
- b) 区域主要构造的规模及其基本特征。
- c) 区域主要的铀（钍）矿、伴生放射性矿产资源分布及开采情况。
- d) 地形、地貌、气候、植被、基岩出露及水系分布。
- e) 自然地理、交通条件、居民点分布等情况。
- f) 区域内涉核设施、伴生矿、涉核企业分布情况。
- g) 对踏勘过程中发现的与放射性相关的重要环境地质现象，应开展部分区域放射性现场检测或取样，以便验证网格布设的合理性。
- h) 通过现场踏勘初步形成调查区工作部署思路，初步确定调查方案。

5.3 设计书编写及内容

设计书应包括前言、资料收集利用和现场踏勘情况、区域地质环境背景概况、主要调查内容及工作方法、工作部署、质量保证、预期成果、经费预算、附图及附件等内容，详见附录B。

5.4 设计书的审查与审批

设计书审查由任务下达单位组织进行，也可由任务下达单位委托有关部门或单位组织。通过审查的设计书，由任务下达单位审批后方可组织实施项目。

6 仪器准备

6.1 野外仪器

野外仪器及性能指标应满足检测标准的要求，野外主要仪器及其参数要求见表3。

表 3 野外仪器参数要求

设备名称	参数要求	引自标准
环境 γ 辐射剂量率测量仪	1. 量程：量程下限应 $\leq 1 \times 10^{-8}$ Gy/h；量程上限按照辐射源的类型和活度进行选择，应急测量情况下，应确保量程上限符合要求，一般 $\geq 1 \times 10^{-2}$ Gy/h； 2. 相对固有误差： $< \pm 15\%$ ； 3. 能量响应：50keV \sim 3meV，相对响应之差 $< \pm 30\%$ （相对 ^{137}Cs 参考 γ 辐射源）； 4. 角响应：0° \sim 180° 角响应平均值（R）与刻度方向上的响应值（R）的比值应 ≥ 0.8 （对 ^{137}Cs γ 辐射源）； 5. 可使用温度范围：-10℃ \sim 40℃（即时测量），-25℃ \sim 50℃（连续测量）； 6. 使用相对湿度： $< 95\%$ （35℃）。	HJ 1157—2021
地面 γ 能谱仪	1. 对 ^{137}Cs 的661keV全能峰能量分辨率应 $\leq 12\%$ ； 2. 铀、钍、钾和总道含量检出限分别为 1×10^{-6} 、 2×10^{-6} 、0.2%、 2×10^{-6} ； 3. 应具有自动稳谱功能。在自动稳谱状态下，探头能经受住（500 \sim 1000）nC/（kg·h）镭源和钍源的交替照射，稳谱系统工作正常； 4. 应能正确设置四道伽玛能谱仪各道阈值； 5. 多道伽玛能谱仪应设置总道、铀道、钍道、钾道，各道的能量阈范围如下： ——总道：（0.40 \sim 2.80）MeV； ——铀道：（1.66 \sim 1.86）MeV； ——钍道：（2.40 \sim 2.80）MeV； ——钾道：（1.37 \sim 1.57）MeV。 6. 在3MeV以内，能量响应非线性小于0.5%； 7. 在伽玛照射量率1000nC/（kg·h）以内，伽玛能谱仪各道计数率的非线性 $< 2\%$ ； 8. 在-10℃ \sim 55℃温度范围内、95%相对湿度条件下，伽玛能谱仪各道计数率的相对误差在 $\pm 15\%$ 之内。	EJ/T 363—2012
氡测量仪	1. 不确定度 $\leq 20\%$ （k=2）； 2. 探测下限 $\leq 400\text{Bq/m}^3$ ； 3. 重复性。测氡仪的重复性不大于15%； 4. 体积活度响应测氡仪的体积活度响应达到仪器使用说明书规定的指标，年偏离量不超过 $\pm 20\%$ ； 5. 相对固有误差。测氡仪的相对固有误差应不超过 $\pm 20\%$ 。	GB 50325—2020 JJG 825—2013
γ 测井仪	1. 含量测量范围为0eU \sim 0.01eU； 2. 灵敏阈应达到0.0001eU。	EJ/T 611—2005
氡析出率测定仪	1. 不确定度 $\leq 20\%$ ； 2. 探测下限 $\leq 0.01\text{Bq}(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。	GB 50325—2020

6.2 样品采样仪器

采样仪器及工具性能指标应满足 HJ 61-2021 附录 A 中辐射环境检测推荐方法的要求，其中空气采样系统及其参数要求见表 4。

表 4 空气采样系统及其参数

设备名称	参数要求	引自标准
流量测量与控制装置	应具有即时流量显示、流量调节和采集体积累积等功能,流量测量装置应经法定计量单位标定,精度应优于5%。	GB/T 16145—2022
气溶胶采样器及滤膜	1. 超大流量气溶胶采样器流量不小于 600m ³ /h, 流量示值误差 $\leq \pm 5\%$; 大流量采样器流量不小于60m ³ /h, 流量示值误差 $\leq \pm 2\%$ 。采样前应确认采样器性能良好、稳定。 2. 滤膜:采样滤膜应符合 HJ/T 22-1998 要求。	HJ 1009—2019
气碘采样器及其过滤介质	1. 采样设备:流量 0~250L/min, 流量示值误差 $\leq \pm 5\%$ 。 2. 过滤介质:包括滤纸和碘盒。滤纸收集空气中微粒碘;碘盒收集元素碘、非元素无机碘和有机碘。	HJ 1009—2019

6.3 样品检测仪器

实验室样品检测仪器及性能指标应满足检测标准的要求,辐射环境检测推荐方法见 HJ 61-2021 附录 A。

6.4 仪器溯源性、可靠性要求

6.4.1 所有用于测量的仪器设备均应定期送至有资质的计量技术机构进行检定或校准,或通过其他有效的量值传递方式,确保其量值能够溯源至国家计量基准。检定/校准证书应在有效期内。对于无国家检定规程的专用设备,应按照相关行业标准或仪器说明书进行性能测试和比对。

6.4.2 在每次开展野外调查工作前,应对仪器的稳定性、准确性和一致性等关键性能进行检查,确保仪器处于正常工作状态。不同类型仪器的性能检查应按照以下要求执行:

a) 环境 γ 辐射剂量率测量仪:按照HJ 1157—2021中第2章的相关规定执行,通常包括本底测量、重复性测量、对参考源的响应检查等。

b) 地面 γ 能谱仪:按照EJ/T 363—2012中6.2和6.3的规定执行,检查内容应包括能量刻度、稳谱功能测试、各道计数率稳定性检查等。

c) 氡测量仪:按照EJ/T 605—2018中7.1的规定执行,通常包括仪器本底测量、对标准氡室的响应检查、重复性测试等,仪器的刻度根据HJ 1212—2021连续采样测量方法要求,按JJG 825—2013相关规定执行。

d) γ 测井仪:按照EJ/T 611—2005中第5章的规定执行,进行必要的性能测试和刻度检查。

6.4.3 仪器出现异常时应停止工作,经检修、调试及送检后,达到相关标准要求方可投入工作。

6.4.4 推荐选用具备自动记录数据功能或者远程无线传输数据功能的现场测量仪器。

7 野外调查技术要求

测量点的布设密度应根据调查网格或精度要求、地质复杂程度、城市功能区重要性等因素,按4.4条及设计书要求布设,调查路线应垂直于调查区主要地质构造,调查手图应大于或等于工作区成图比例尺,在特殊地段辅以剖面测量,城市建成区可结合街区、道路网络灵活布设。

7.1 环境地表 γ 辐射剂量率、地面 γ 能谱测量技术要求

7.1.1 点位布设

测量点位布设应符合 HJ 1157—2021 要求,包含但不限于:

a) 测量点应均匀布设,城市中的草坪,公园中的草地以及某些不易受人为活动影响的地方,可适当选设点位。

- b) 测量点应远离高大的树木或建筑，距附近高大建筑物的距离需大于 30m。
- c) 开展道路测量时，点位应设置在道路中心线。
- d) 测量点地势应平坦、开阔，无积水、有裸露土壤或有植被覆盖，避免选择环境中表层土壤改变的位置。
- e) 针对断裂构造、地裂缝、蚀变带等放射性异常重点调查对象，在满足 4.4 网度要求基础上增加网格密度或控制性测线，布设点密度应保证至少有相邻的 3 个测量点能反映设计要求的最小探测对象产生的异常。
- f) 测量结果与地面（包括周围建筑）、地下水位、土壤成分及含水量、降雨、冰雪覆盖、潮汐、放射性物质地面沉降、射气的析出和扩散条件等环境因素有关，测量时应注意其影响；避免周围其他一些天然或人为因素对测量结果的影响，如湖海边，砖瓦、矿石和煤渣等堆置场附近等，对于特殊关注测量点，可不受这些限制。

7.1.2 技术要求

7.1.2.1 环境地表 γ 辐射剂量率测量方法

测量方法应符合 HJ 1157—2021 要求，包含但不限于：

- a) 测量应选择具有代表性的天气和时间进行。雨天、雪天、雨后和雪后 6h 内一般不开展测量，以避免降水干扰。
- b) 测量开始前，操作员应在点位外围约 10m×10m 范围内进行巡测，确认巡测读数值变化小于 30% 后，方可确定最终测量点位，以确保点位处于局部相对均匀区域。
- c) 测量时，仪器探头中心应距离地面 1m 高度，并保持水平。测量结果应扣除仪器对宇宙射线的响应部分。
- d) 待仪器读数稳定后开始记录。通常以约 10s 的时间间隔连续读取或选取 10 个数据。
- e) 测量时应远离大型金属物体、建筑物墙体（距离大于 3 m）、车辆等可能产生屏蔽或散射影响的地物。操作人员也应与仪器探头保持一定距离（通常大于 1 m），以减少人体对辐射场的干扰。

7.1.2.2 地面 γ 能谱测量方法

测量方法应符合 EJ/T 363—2012 要求。包含但不限于：

- a) 测点应选择在比较平坦的基岩露头或地面上，保证辐射立体角为 2π 。
- b) 测量时间根据仪器探测器体积大小及测量对象的含量高低确定，若被测对象为背景含量时，一般测量时间为 1min，取一次读数；当发现异常时，测量两次以上取其平均值。
- c) 测量过程中遇到下雨，应停止测量，雨停后 (3~8)h 方可继续测量。
- d) 对各种地层单元或主要岩性，应采集不少于 30 个有代表性的岩石样品，用于分析铀、镭、钍、钾等元素含量。
- e) 测量点应选择在开阔、地表覆盖物均一的地点，测量时间应足够长以保证统计精度。数据解释时应考虑地形、土壤湿度、探测器几何条件等因素的影响。

7.2 土壤氡测量技术要求

土壤氡测量包括测量土壤中氡气浓度，土壤表面氡气析出率。

7.2.1 点位布设

测量点位布设包含但不限于：

- a) 针对断裂构造、地裂缝、蚀变带等放射性异常重点调查对象，采用测网或剖面布设测量点，布设点密度应保证至少连续有 3 个测量点能反映设计要求的最小探测对象产生的异常。
- b) 因地形、建筑等原因，测量点位布置可按以下方法适当调整：
 - 1) 采用等边长网格布设的测量点的偏移距离应 $\leq 1/3$ 倍网格边长，偏移后，相邻测量点间的距离应 $\geq 1/2$ 倍网格边长。
 - 2) 采用不等边长网格或测线布设的测量点需偏移时，采用连续偏点原则（偏点后，测量点间距无法满足偏点要求时，可适当增加测量点数量），且单次偏点范围垂直测线方向 $\leq 1/5$ 倍测线间距、顺测线方向 $\leq 1/10$ 倍点距，测线总偏离距 $\leq 1/2$ 倍测线间距。
 - 3) 每个城市测点数量不应少于 100 个。

7.2.2 技术要求

7.2.2.1 土壤氡浓度测量方法

测量方法宜采用瞬时法（闪烁室法或静电收集法），应符合 GB 50325—2020 要求。包含但不限于：

- a) 打孔要求：应使用专用工具打孔。调查打孔深度应统一规定为 500 mm~800mm，孔径应为 20mm~40mm。打孔过程应避免剧烈震动导致孔壁坍塌堵塞。
- b) 取样与密封：成孔后，应使用头部带有进气孔的专用土壤气体取样器，缓慢插入孔底。取样器在靠近地表处必须进行有效密封，防止大气空气渗入稀释孔中气体。
- c) 抽气测量：连接氡测量仪进行抽气测量。抽气测量宜连续进行 3 次~5 次。通常第一次抽气测量的数据因混入较多管道及取样器内残留空气而舍弃。每一测点应重复测量 3 次。
- d) 结果表示：以 3 次有效测量值的算术平均值作为该测点的土壤氡浓度值。另一种替代方法是，在约 3m² 范围内打 3 个孔，每孔测量一次，以 3 个孔测量值的算术平均值作为该点浓度。
- e) 时间与环境要求：现场取样测试工作宜在 8:00~18:00 之间进行，应避开雨天，若遇雨天应在雨后 24h 后进行。工作环境温度宜为-10℃~40℃，相对湿度不应大于 90%。

7.2.2.2 土壤表面氡析出率测量方法

测量方法宜采用主动抽气型，应符合 GB 50325—2020 要求。包含但不限于：

- a) 测点处理：测量前，应清扫采样点地面，去除腐殖质、杂草、石块等杂物，使被测介质表面尽可能平整。
- b) 测量装置放置与密封：将累积罩（取样器）扣在处理平整的地面上，并使用细土、黏土或专用密封材料对罩体周边进行严密密封，确保罩内空间与外界大气隔离。
- c) 测量过程：密封就绪后，启动测量仪器并开始计时。测量过程中应确保罩内空间的容积不出现明显变化。测量时间参数应与仪器的测量灵敏度相适应，以保证足够的计数统计，一般为 1 h~2 h。
- d) 环境条件：测量宜在无风或微风条件下进行。工作环境温度宜为-10℃~40℃，相对湿度不应大于 90%。

7.3 （室内）空气氡测量技术要求

7.3.1 点位布设

空间使用面积 $<100\text{m}^2$ 时，设 2~3 个测量点，空间使用面积 $100\text{m}^2\sim500\text{m}^2$ 时，设 3~5 个测量点，面积超过 500m^2 时至少设 5 个测量点，具体应符合 GBZ/T 182—2006 要求。

7.3.2 技术要求

测量方法宜采用瞬时测量或连续测量，测量方法应符合 GBZ/T 182—2006 或 HJ 1212—2021 的相关要求。包含但不限于：

- a) 仪器测量高度原则上与人的呼吸带 0.5m~1.5m 高度一致。也可根据房间的使用功能人员身体的高低以及在房间立、坐或卧时间的长短，来选择采样高度。
- b) 应避开房间的通风口、加湿器和加热装置，离墙壁距离应大于 0.5m, 离门距离应大于 1m。应尽量选择在测量期间不易受到阳光直射和人员活动干扰的地方放置。
- c) 对于城市地下空间（如地铁站、地下车库、商场），应重点在人员密集且通风相对较差的区域布点测量，且应靠近地基土壤。仪器布置在室内通风率最低或者人员停留时间较长的地方，不设在走廊、厨房、浴室、厕所等用水的地点。
- d) 采样前 12 h（在用房屋）或 24 h（新建房屋）和整个测量采样期间关闭所有门窗，正常出入时外面门打开的时间不能超过几分钟；采样期间内外空气调节系统（通风系统和中央空调等）要停止运行。

7.4 γ 测井测量技术要求

7.4.1 点位布设

为了解城市地下空间放射性地质情况，在有必要的地方实行 γ 测井和 γ 能谱测井，应充分利用工程钻孔，宜选取城市重大建设项目、新建地下空间区域进行 γ 测井。

7.4.2 技术要求

测量方法应符合 EJ/T 611—2005 要求，包含但不限于：

- a) γ 测井仪应进行校准、野外核查和井场检查。
- b) 钻孔深度应超过拟检测目标层 3~4m，钻孔直径应不小于测井仪器外径 20mm，测井前应冲洗钻孔，测井前井液应充斥钻孔。
- c) 点法测井：探管由下而上逐点进行测量，正常地段点距应采用 1m，放射性偏高地段和异常地段点距应采用 0.1m，且异常测量段应伸入正常地段 5 个点。
- d) 连续测井：在放射性正常地段提升速度不大于 4m/min，异常地段提升速度不大于 2m/min。测升速度应保持匀速，速度变化不大于 5%。连续测井点距为 0.05m。
- e) 使用泥浆冲孔时，测井前应测量泥浆的密度，测量允许最大误差为 $0.1 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 。
- f) 电缆下井速度应不大于 20m/min。探管下放过程中，操作人员应通过耳机、率表或仪器控制面板进行监测，概略了解井内矿化情况并做好记录，探管放至井底后，应立即上提 0.1m~0.3m。

7.5 野外记录要求

7.5.1 所有野外测量、采样、调查等活动，均应及时、准确、完整地记录在统一格式的野外记录表（参见附录 A）中。

7.5.2 记录内容应包括但不限于：项目名称、工作日期、天气状况、点位编号、坐标与高程、仪器型号与编号、测量/采样方法、现场观测数据、地质与环境描述、记录、复核与审核签名等。

7.5.3 记录应使用不易褪色的笔填写，字迹清晰，严禁涂改。如需更正，应划改并签名。

8 样品采集与测试

8.1 样品采集

样品采集应遵循以下基本要求：

- a) 从采样点布设到样品分析前的全过程，都必须在严格的质控措施下进行，现场监测和采样应至少有 2 名监测人员在场。
- b) 采集的样品必须有代表性，采样点位、深度、数量需反映调查区域放射性核素自然分布特征及人为影响程度。
- c) 根据调查内容和现场具体情况有针对性地确定相应的采样方案，包括项目、采样容器、方法、采集点的布置和采样量。
- d) 采样器具和容器的选用，必须满足环境调查的具体要求，并符合国家技术标准的规定，使用前须事先清洁并经过检验，保证采样器和样品容器的合格和清洁，容器壁不应吸收或吸附待测的放射性核素，容器材质不应与样品中的成分发生反应。
- e) 在样品采集和制备过程中应严防交叉污染和制备过程中的其他污染，包括通过空气、水和其他与样品可能接触的物质带来的污染，以及加入试剂带来的干扰或污染陆地水采集技术要求。

8.1.1 陆地水采集技术要求

8.1.1.1 点位布设

陆地水采样范围包括但不限于：

- a) 抽水试验孔（井）、民井及泉、地表水体、城市集中供水水源井。
- b) 放射性高背景或高异常地区的水体。
- c) 其他特殊场景水样，包括工业企业和核技术利用单位排口水、伴生矿开发利用单位排水、生活污水等。
- d) 调查范围内，灌溉和饮用水井每 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 调查 1 处。
- e) 灌溉和居民使用的河流、每 1km 取 1 个点位，水库、湖泊面积大于 1000m^2 的取 1 个点位。

8.1.1.2 采集方法

陆地水采集主要对象及方法包括但不限于：

- a) 地表水：河川水、湖泊水、溪流、池塘水等。采样点应设在能代表水体整体状况的断面，避开岸边污染源和紊流区。采样时，采样器应在水面下一定深度（如 0.5m ）采集，避免采集表层漂浮物。宽度小于 50m 的河流只需采集河流中心水样，宽度大于 50m 的河流需要采集河流左中右 3 条水垂线进行采样混合。湖库按湖心、近岸、入湖口点采样混合。
- b) 地下水：包括钻孔、民井、泉眼、溶洞水等。采样前应先充分抽汲井水，待水质稳定后再采集。泉点应直接在出水口采集。应记录水温、pH 值、电导率等现场参数。
- c) 重点区域：在环境 γ 辐射剂量率高值区的主要集中式饮用水源地，必须设置采样点进行监测。
- d) 样品量与保存：根据分析项目确定采样体积，通常不少于 5L 。水样采集后应按规定添加保存剂（如硝酸），并低温避光保存，尽快送检。

8.1.1.3 样品预处理方法

样品处理方法包括但不限于：

- a) 取样以后，立即在样品中加入盐酸（1+1）或者硝酸（1+1）。每升样品水加 2ml 酸，然后盖严。监测 ^3H （HTO）、 ^{14}C 、 ^{131}I 的水样不用加酸。
- b) 如有需要，测量 pH 值、水温。
- c) 为了排除沉淀物的影响而采用过滤（澄清）时，要在野外记录表上记录清楚，再完成上述 a) 步骤。

8.1.2 地表土壤采集技术要求

8.1.2.1 点位布设

地表土壤采样点布设原则包括但不限于：

- a) 布设点密度应均匀分布并保证至少连续有 3 个样点能涵盖设计要求的最小地质单元。
- b) 城市土壤采样点以网格布设为主，功能区布点为辅，每个网格设一个采样点，对于专项研究和调查的采样点可适当加密。
- c) 伴生放射性矿区和重点核设施周边应加密采集 3~5km 以内主导风下风向处的表层土壤。
- d) 受人为改造或人类活动干扰后的土壤区域应综合考虑土壤被改造或干扰的深度和被调查放射性核素的垂向迁移能力，确定最深采样深度，采集垂直深度范围为 0cm 至最深采集深度的土壤。

8.1.2.2 采集方法

土壤样品采集方法包含但不限于：

- a) 可利用同区域开展的土壤质量地球化学调查或区域地球化学调查中取得的土壤样品进行分析。
- b) 布设点密度应均匀分布并保证至少连续有 3 个样点能涵盖设计要求的最小地质单元。
- c) 可利用同区域开展的土壤质量地球化学调查或区域地球化学调查中取得的土壤样品进行分析。
- d) 以野外实际确定的采样点为中心，在同一地质单元内的不同方位，采用梅花形布点或根据地形采用蛇形布点，由 4~6 个子样等量混合组成 1 件样。
- e) 土壤样品取样深度范围为 0cm~20cm，采样时需用铁铲、竹铲或竹片剔除地表杂物与植物根系等，用铁锹挖采样坑时，先挖好坑，然后用竹片去除与金属采样器接触的土壤，再采集样品。每件样品采集后，应将采样工具上的泥土清除干净，再采集下一件样品。
- f) 采样时应避开沟渠、路边、旧房基、粪堆及被污染的代表性地段。
- g) 将采集的各子样点的土壤掰碎，挑出根系、石块等杂物，充分混合后用四分法留取 2kg 装入样品袋。样品袋一般为干净结实的棉布袋。

8.1.2.3 样品预处理方法

土壤样品处理方法包括但不限于：

- a) 从野外采回的土壤样品及时清理、登记后，置于干净整洁的室内通风场地晾干，严禁暴晒和烘烤，并注意防止雨淋及被酸碱等气体和灰尘污染；在风干过程中，适时翻动，并将大土块用木棒敲碎以防止黏结成块，加速干燥，同时剔除土壤以外的杂物；
- b) 风干后的样品平铺在制样板上，用木棍或塑料棍碾压，压碎的土样要全部通过 2mm 孔径筛；
- c) 过筛后土壤样品称量后混匀，一部分样品送实验室分析，可用塑料瓶或纸袋盛装；副样（质量不低于 300g）装入干净塑料瓶，送样品库保存，多余部分可弃掉。

8.1.3 岩(矿)石采集技术要求

8.1.3.1 点位布设

岩(矿)石取样范围包括但不限于：

- a) 土壤测点布设不能满足要求的区域。
- b) 需进行土壤放射性异常推断解释的区域。

8.1.3.2 采集方法

岩(矿)石样品采集方法及注意事项包含但不限于：

- a) 在岩石出露区优先采集风化程度低的岩石。

- b) 采样时应在采样点周围或点线距的 1/3 范围内, 采用连续捡块的方法, 均匀敲取同种或同类岩性的岩石碎块组成一件样品。
- c) 岩石样的采样量应 $\geq 300\text{g}$, 样品采集时, 应在样点周围与沿途进行地质观察、搜寻矿化蚀变地质体, 当遇到明显矿化蚀变现象时, 应采集蚀变样品。

8.1.4 气溶胶采集技术要求

8.1.4.1 点位布设

气溶胶采样点布设原则包括但不限于:

- a) 每 1 处城市地下空间应至少进行 1 次气溶胶采样。
- b) 每次采样体积应不低于 10000m^3 。
- c) 高度通常选在距地面或基础面约 1.5m 处。
- d) 采样时应进行 24 小时连续采样, 不能挑选时间断续采样。

8.1.4.2 采集方法

采用滤膜采样, 实验室内 α 计数测量方法(用延时法或能谱法测量样品的 α 粒子计数率)也可采用便携式 α 气溶胶测量仪现场测量, 气溶胶采样应避开临时局部污染源(如汽车尾气、施工扬尘)。

8.1.5 钻孔岩芯采集技术要求

8.1.5.1 点位布设

钻探点位布设原则包括但不限于:

- a) 取样钻孔孔位布设按 DZ/T 0306—2017 中 5.2、5.3 的具体要求执行。
- b) 钻孔点位应涵盖调查区内主要地质单元。

8.1.5.2 采集方法

钻孔岩芯采集方法及注意事项包括但不限于:

- a) 钻孔分布区优先采集钻孔岩芯样。
- b) 按照钻孔内不同岩性层对岩芯进行分层取样。
- c) 鼓励使用 γ 测井设备辅助采样。
- d) 岩芯取样采用劈心取样, 将目标岩芯利用岩芯锯切割劈半取样, 劈分的一半作为岩矿芯副样留存, 同时做好采样记录及送样登记。

8.1.6 生物样品采集技术要求

生物样品采集用于研究放射性核素通过食物链向人体转移的途径和程度, 应采集地区代表性农作物, 蔬菜, 家禽、畜, 陆地水生物, 指示生物等。

8.1.6.1 采集方法

包括但不限于:

- a) 采集谷类食用作物时, 以大米和玉米是代表性谷物, 选择当地消费较多和种植面积较大、生长均匀的地方, 在收获季节现场采集谷类样品。
- b) 采集蔬菜类时, 主要以普通蔬菜或者当地居民消费较多或种植面积较大的蔬菜为采集对象。原则上不选择大棚或水箱中培植的蔬菜样品。对非结球性叶菜, 选定菜地中央部分几处生长均匀的场所, 采集生长在该垄上一定距离(如 1 m)范围内的全部作物; 对结球性叶菜、大型

果菜、根菜以及芋类，在菜地中央部位选择 5~7 处生长均匀的场所，选择大小均匀的个体作为样品。新鲜蔬菜需 25kg 左右，大豆等需 20kg 左右。

- c) 家禽、畜根据介质的相关性，选择合适的采样场，首先选择健康的群体，随机选取若干个体。作为分析和保存目的，一般采集数千克。
- d) 陆地水生物以食用鱼类和贝类为淡水生物中的取样对象。一般委托取样，应向受委托部门详细记录。
- e) 作为放射性核素用的指示生物，陆上生物有松叶、杉叶、艾蒿、苔藓、菌菇等。选择树高 4m 以下、树干直径小 10cm 的年轻树，并且尚未经过人工修枝。只采集二年生的松叶，共采集 20kg 左右。采集艾蒿等野草时，选择上空没有树木覆盖的场所，只取新鲜叶子。苔藓可借助专门工具采集，取整体，不必去除假根，但需去除泥沙。

8.1.6.2 样品预处理方法

生物样品的处理方法及注意事项应符合 HJ 61—2021 第 6.2.14 处理要求，包含但不限于：

- a) 谷类食用作物预处理：把收割下来的作物晾晒风干后脱粒处理，去除夹杂物，只收集干籽实数 25kg。
- b) 家禽、畜预处理：将采来样品的可食部分洗净、晾干表面水分，称鲜重并记录。
- c) 陆地水生物预处理：采集到的样品，在其新鲜时用净水迅速洗净。
- d) 指示生物预处理：采集到的样品，去除枯叶等杂物。只把叶子选出来。清洗干净。

8.2 样品管理

8.2.1 现场记录

8.2.1.1 所有采样过程中记录的信息应原始、全面、详实，对采集的样品应一样一表一码，记录内容包括点位坐标、介质类型、采样深度、环境参数、仪器编号、采样人等信息。

8.2.1.2 必要时，可用卫星定位、摄像和数码拍照等方式记录现场，以保证现场监测或采样过程客观、真实和可追溯。电子介质存储的记录应采取适当措施备份保存，保证可追溯和可读取，以防止记录丢失、失效或篡改。当输出数据打印在热敏纸或光敏纸等保存时间较短的介质上时，应同时保存记录的复印件或扫描件。

8.2.1.3 采样人员要及时真实地填写采样记录表和样品卡（或样品标签），并签名。记录表和样品卡由他人复核，并签名。保持样品卡字迹清楚，不能涂改。所有对记录的更改（包括电子记录）要全程留痕，包括更改人签字。样品卡不得与样品分开。记录表的内容要尽量详尽，其格式与内容可以随采样类别的不同而不同。

8.2.2 样品的运输

8.2.2.1 样品采集完毕应尽快运输至分析实验室，应采用样品运输车辆专门运输，在法律法规许可条件下可以委托物流公司运送，但必须保证样品不被污染和性状改变。

8.2.2.2 妥善包装，防止样品受到污染，也防止样品破损洒落污染其他样品，特别是水样瓶颈部和瓶盖在运输过程中不应破损或丢失，注意包装材料本身不能污染样品。

8.2.2.3 为避免样品容器在运输过程中因震动碰撞而破碎，应用合适的装箱和采取必要的减震措施。

8.2.2.4 需要冷藏的样品（如生物样品）必须达到冷藏的要求，运输车辆需经特别改装。水样存放点要尽量远离热源，不要放在可能导致水温升高的地方（如汽车发动机、制冷机旁），避免阳光直射。冬季采集的水样可能结冰，如容器是玻璃瓶，则应采取保温措施防止破裂。

8.2.2.5 对于半衰期特别短的样品，要保证运输时间不影响测量。

8.2.2.6 严禁环境样品与放射性水平特别高的样品（如流出物样品）一起运输。

8.2.3 样品的保存

8.2.3.1 经过现场预处理的水样，应尽快分析测定，保存期一般不超过 2 个月。

8.2.3.2 密封后的土壤样品必须在 7d 内测定其含水率，晾干保存。

8.2.3.3 生物样品在采集和现场预处理后要注意保鲜。牛（羊）奶样品采集后，立即加适量甲醛，防止变质。

8.2.3.4 采集后的样品要分类分区保存，并有明显标识，以免混淆和交叉污染。

8.2.3.5 测量完后的样品，仍应按要求保存相当长一段时间，以备以后复查。对于运行前本底调查样品，以及部分重要样品需要保存至设施退役后若干年（如 10 年）。

8.2.4 样品的交接、验收和领取

8.2.4.1 送样人员、接样人员会同质保人员应按送样单和样品卡信息认真清点样品，接样人员应对样品的时效性、完整性和保存条件进行检查和记录，对不符合要求的样品可以拒收，或明确告知客户（送样人）有关样品偏离情况，并在报告中注明。确认无误后，双方在送样单上签字。

8.2.4.2 样品验收后，存放在样品贮存间或实验室指定区域内，由样品管理人员妥善保管，严防丢失、混淆和污染，注意保存期限。

8.2.4.3 分析人员按规定程序领取样品。

8.2.5 建立样品库

8.2.5.1 监测完成后的样品可入库保存。放射性活度较高的样品由委托单位收回或暂存至城市放射性废物库。

8.2.5.2 进库的样品应为物理化学性质相对稳定的固体环境样品，适合长期保存。

8.2.5.3 样品库应为独立房间，并应防止外界污染，保证安全。样品库的环境条件应满足长期稳定保存样品，根据样品的性质合理分区。

8.2.5.4 样品库由样品管理人员负责，并建立样品保存档案。

8.3 样品测试

8.3.1 承担放射性地质调查评价样品测试工作的实验室应具有国家或者省级检验检测机构资质或放射性检验检测机构资质，并根据需要取得国家实验室认可（CNAS）及放射卫生技术服务机构资质，确保其资质范围覆盖本规范中所列全部测试项目的技术能力要求。

8.3.2 样品分析测量过程应满足 GB 8999—2021 和 DZ/T 0130—2006 中关于质量管理方面的要求。所有分析仪器需经法定计量机构检定/校准合格，在有效期内使用，关键仪器（如 γ 能谱仪）每年至少开展 1 次期间核查。

8.3.3 样品分析的方法中土壤、岩石、动植物、气溶胶中的 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K 、 ^{137}Cs 和 γ 能谱优先采用 GB/T 16145—2022，水中总 α 优先采用 HJ 898—2017、水中总 β 优先采用 HJ 899—2017、水中 U 优先采用 HJ 840—2017、水中 Th 推荐采用 GB 11224—1989、水中 ^{226}Ra 推荐采用 GB 11214—1989、水中 ^{210}Po 优先采用 HJ 813—2016、水中 ^{210}Pb 优先采用 EJ/T 859—1994，气溶胶中总 β 推荐参考 HJ 899—2017，动植物中 ^{210}Po 推荐参考 HJ 813—2016、动植物中 ^{210}Pb 推荐参考 EJ/T 859—1994。其他特定核素的分析方法优先采用国家标准和行业标准方法，在无标准方法时，可采用经过验证的等效方法。

8.3.4 分析方法的检出限应满足调查要求，一般应低于评价标准值的 1/10。

8.3.5 陆地水测试分析指标为总 α 、总 β ，当总 α 、总 β 超过 GB/T 14848—2017 或 GB 5749—2022 中规定的指导值时，应加测 U、Th、 ^{226}Ra 、 ^{40}K 等指标和特征人工核素。

8.3.6 土壤、岩（矿）石、钻孔岩芯的测试指标按如下要求执行：

- a) 测试指标为 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K 等参数。
- b) 宜充分利用土地质量地球化学调查或区域地球化学调查中的 U、Th、 K_2O 等测试数据，对于放射性异常区域的地球化学样品，应加测 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K 等指标。

8.3.7 气溶胶样品用 γ 能谱分析，测定滤膜上收集的放射性核素活度。

9 质量保证和质量控制

9.1 质量管理体系

9.1.1 开展城市放射性地质调查应当建立科学规范、权责明确、覆盖全面的质量管理体系，体系应覆盖项目全生命周期，以质量管理七项原则为基础，以风险防控为导向，以数据质量为核心，确保调查结果的准确性、可比性和可靠性。

9.1.2 质量管理体系应当实行法人负责制，以法人主体对项目实施全过程负总责，设立独立的质量管理机构，独立于项目实施团队，明确质量管理机构在项目中的地位和作用，确保质量管理工作不受其他因素干扰。

9.1.3 项目应该编制覆盖立项、设计编制、现场调查、采样和分析、报告编写、资料汇交等全生命周期的管理性程序文件和技术性程序文件；应当按专业分别编制现场调查作业指导书和采样分析工作作业指导书，确保操作规范。应当建立统一规范的现场调查记录、采样分析记录和质量管理工作记录等原始记录表格，确保可追溯性。

9.1.4 项目应该在工作设计、仪器准备、点位布设、现场测量、样品采集、预处理与管理、样品分析等环节设立关键质量控制点，实施“自检—互检—抽检”三级质量检查，项目实施团队自检和互检 100%，质量管理机构（或者委托第三方）抽检率不低于 30%。

9.2 现场调查质量管理

9.2.1 开始现场调查前，应组织对项目实施人员开展实施方案、规范操作和安全应急等方面的培训，并对关键岗位进行授权和持证上岗。应对参与现场调查的仪器进行校核和验证，确保仪器处于有效状态并满足检验检测规范的要求。

9.2.2 现场调查工作应尽量做到留痕，或者尽量保证获取的信息可追溯。对现场开展监测的点位应在现场设有标志或对确定该点位的特征物拍照备案，保证点位的可重现性。

9.2.3 现场调查开展的采样工作（包括样品运输和保存）应严格遵循 HJ 61—2021、GB 8999—2021 中要求的质量管理程序。采样前开展现场踏勘，核实点位地质条件、周边环境，排除污染源干扰。样品交接验收时被告知不符合要求的样品需重新采样。

9.2.4 现场质控工作与现场调查工作同步开展，适时对检测、取样点进行抽样与现场核查。

9.2.5 现场质控工作应按“一同三不同”（同点位，不同日期，不同仪器，不同操作员）方式进行。

9.2.6 质量控制点的布设应综合考虑代表性及整体性，测点布设应相对均匀，代表性的异常区/点应布置检查工作，应采用相同的测量/测试分析方法。

9.2.7 面积性工作的质量控制率不低于总量的 10%，剖面性工作的质量控制率不低于总量的 10%，且绝对点数宜 ≥ 30 ，钻孔岩心、地下水等应重点检查，检查比例不低于总量的 10%，质量控制点应均匀分布。

9.2.8 现场质控工作应检查样品加工、存放及处理场地是否无污染，各类样品加工及保存是否符合相关规范。

9.2.9 现场质控工作应检查送检样品中重复样的统计结果是否超差，否则同批次送检样品应予作废处理。

9.2.10 质量检查结果的偏离程度用相对偏差来衡量，相对偏差计算公式为：

$$\bar{\eta} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \eta_i \dots\dots\dots (9.1)$$

$$\eta_i = \left| \frac{T_{i2} - T_{i1}}{T_{i2} + T_{i1}} \right| \times 100\% \dots\dots\dots (9.2)$$

式中：

$\bar{\eta}$ ——平均相对偏差；

n——检查点数；

η_i ——第i点的相对偏差；

T_{i2} ——第i点的检查观测值；

T_{i1} ——第i点的原始观测值。

计算时，可将误差过大的个别点舍弃，但舍弃数不应超过相应检查点数的1%，并说明舍弃依据，平均相对偏差应≤20%。

9.2.11 当检查结果平均相对偏差超过 20%，可适当增加检查量，当检查量增加到总量的 20%时，质量检查结果仍不符合要求，则相应工作量应予作废。

9.2.12 平行样品从样品的采集、预处理到分析测量，随机抽取 10%~20%的双样，不同的工作人员分别独立完成采样。

9.2.13 样品平行测定所得相对偏差不得大于标准分析方法规定的相对标准偏差的两倍，如果不满足要求，重新进行取样。

9.3 测试分析的质量控制

9.3.1 样品的交接应进行完善的登记并赋予唯一性标识，必要时实施样品信息隔离制度，确保检测结果的公正性和可追溯性。

9.3.2 土壤样品中 U、Th、K₂O 等指标测试分析质量控制按 DZ/T 0130.4—2006、DZ/T 0130.8—2006 执行，分析质量控制方法及要求应包含但不限于：分析方法选择、准确度控制、精密度控制、样品重复性密码分析、异常样品抽查分析、分析质量要求等。

9.3.3 岩（矿）石测试分析质量控制按 DZ/T 0130.3—2006 中的 4 执行，分析质量控制方法及要求应包含但不限于：实验室样品验收和制备、分析方法选择、准确度控制、精密度控制、空白试验控制、实验室外检评价等。

9.3.4 土壤（测试指标：²³⁸U、²³²Th、²²⁶Ra、⁴⁰K）、水（测试指标：总 α、总 β）测试分析质量控制按 GB 8999—2021 执行，质量控制方法及要求应包含但不限于：质量管理体系、质量保证计划、组织机构和人员、计量器具、样品的质量控制、分析测量中的质量控制、原始记录、质量保证核查等。实验室内分析测量的质量控制按 HJ 61—2021 中的 9.9 执行，实验室间的质量控制按 HJ 61—2021 中的 9.10 执行。

9.3.5 项目负责方应该组织各个参与分析检测的实验室开展实验室间比对，比对项目原则上应覆盖本次调查的所有项目，必要时参加有能力有资质单位组织的能力验证活动。

9.4 数据处理与审核质控

- 9.4.1 数据处理需严格按照分析方法要求进行，包括空白扣除、效率校准、衰减校正等。
- 9.4.2 数据修约需符合 GB/T 8170—2008 要求，保留有效数字位数。
- 9.4.3 数据处理与审核质控应建立三级审核制度：
- a) 现场采样检测人员自查，自查内容为原始记录完整性、数据合理性、采样点位准确性等；实验室分析人员自查，自查内容为原始数据完整性、分析过程合理性、结果计算准确性等。自查比例 100%，现场完成，发现问题立即纠正或重新采样。
 - b) 现场负责人检查，检查内容为采样方法规范性、测量仪器工作状态、数据记录准确性；分析组长检查，检查内容为分析方法正确性、质量控制执行情况。检查比例 30%，现场完成，发现问题立即纠正或重新采样。
 - c) 技术负责人抽查，抽查内容为采样点布设合理性、测量数据可靠性和合理性、质量控制执行情况等，抽查比例 10%，重点抽查不同地质单元和异常区域，定期进行，形成检查报告。
- 9.4.4 审核发现问题需及时反馈给操作人员，进行核实与修正，审核记录存档备查。
- 9.4.5 异常数据需进行溯源分析，查明原因，如为系统误差需调整分析方法，如为偶然误差需重新分析。

10 放射性地质环境评价

10.1 评价总则

- a) 放射性地质环境评价旨在采用定性与定量相结合的方法，综合分析调查区放射性水平、空间分布规律、地质成因，评估人类活动对环境放射性的影响程度，从而对城市放射性地质环境质量现状进行科学分级与评价。
- b) 评价结果应为城市规划、土地利用、辐射环境管理及公众健康防护提供决策依据。
- c) 评价工作应基于本文件第 7 章、第 8 章获取的现场测量数据和实验室分析数据，并充分结合区域地质、环境和社会经济背景资料。

10.2 放射性水平分区

10.2.1 环境地表 γ 辐射剂量率、γ 核素含量分区

10.2.1.1 采用算术平均法、几何平均值、累积频率法，计算出调查区放射性核素的算术平均值、算术标准差、几何平均值、几何标准差、中位值、绝对中位值差，得出调查区各环境介质中放射性核素统计分析结果及分类，然后按背景值的 1、2、4 倍，对调查区放射性水平进行分区，即分为背景值区、偏高值区、高值区、超高值区，其中背景值参照《中国环境天然放射水平》对应选取，分区情况详见表 5。

表 5 环境地表 γ 辐射剂量率、γ 核素含量分区及评估技术要求

分区类别	分区指标	分类评估
背景值区	放射性水平处于背景值1倍范围内。	该区域代表调查区正常的放射性本底水平。
偏高值区	放射性水平介于背景值的1倍至2倍之间。	该区域放射性水平略高于背景，可能由局部地质因素或轻微人为活动引起。
高值区	放射性水平介于背景值的2倍至4倍之间。	该区域放射性水平显著偏高，可能存在特定的放射性富集地质体或受到一定程度的污染，需进一步详细调查。
超高值区	调查区放射性水平超过背景值的4倍。	该区域属于强放射性异常区，可能指示存在矿化、重要污染源或特殊地质构造，应进行专项调查，并评估其对环境 and 公众健康的影响。

10.2.1.2 如调查地块用途为核技术应用退役或放射性污染治理项目，则需要对调查地块按照残留放射性水平进行确定，不同土地利用类型下土壤中残留主要放射性核素的筛选水平参照 GB 45437—2025 见附录 A，如超过筛选水平，需要按照残留放射性水平确定的工作流程并提出有效限制措施。

10.2.2 土壤氡浓度分区

如调查地块用作民用建筑工程场地,应依照GB 50325-2020将土壤氡浓度分为氡浓度正常区,偏高值区,高值区,超高值区,同时采取不同的处置措施,详见表6。

表 6 土壤氡分区及处置技术要求

分区类别	土壤氡分区指标	处置措施
正常区	氡浓度 $\leq 20000\text{Bq}/\text{m}^3$ 或土壤表面氡析出率 $\leq 0.05\text{Bq}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。	可不采取防氡工程措施。
偏高值区	$20000\text{Bq}/\text{m}^3 < \text{氡浓度} < 30000\text{Bq}/\text{m}^3$, 或土壤表面氡析出率 $> 0.05\text{Bq}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	应采取建筑物底层地面抗开裂措施。
高值区	$30000\text{Bq}/\text{m}^3 \leq \text{氡浓度} \leq 50000\text{Bq}/\text{m}^3$, 或 $0.10\text{Bq}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}) \leq \text{土壤表面氡析出率} \leq 0.30\text{Bq}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	除采取建筑物底层地面抗开裂措施外,还必须按现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108—2008中的一级防水要求,对基础进行处理。
超高值区	氡浓度平均值 $\geq 50000\text{Bq}/\text{m}^3$ 或土壤表面氡析出率平均值 $\geq 0.30\text{Bq}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时	1.应采取建筑物综合防氡措施。 2.应进行工程场地土壤中的镭—226、钍—232、钾—40比活度测定。当土壤内照射指数(I_{Ra})大于1.0或外照射指数(I_{γ})大于1.3时,工程场地土壤不得作为工程回填土使用。

10.2.3 建筑材料放射性核素限量

10.2.3.1 调查区域如砂、石等用作建筑材料,其放射性限量应符合GB 6566-2010的规定,外照射指数(I_{γ})与内照射指数(I_{Ra})计算如下:

a) 计算公式:

1) 外照射指数(I_{γ})

$$I_{\gamma} = \frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{260} + \frac{C_K}{4200} \dots\dots\dots (10.1)$$

式中:

I_{γ} ——外照射指数,

C_{Ra} 、 C_{Th} 、 C_K ——分别为建筑材料中天然放射性核素镭-226、钍-232、钾-40的放射性比活度,单位为贝克每千克($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$);

370、260、4200——分别为仅考虑外照射情况下,本标准规定的建筑材料中天然放射性核素镭-226、钍-232、钾-40在其各自单独存在时本标准规定的限量,单位为贝克每千克($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$)。

2) 内照射指数(I_{Ra})

$$I_{Ra} = \frac{C_{Ra}}{200} \dots\dots\dots (10.2)$$

式中:

I_{Ra} ——内照射指数;

C_{Ra} ——建筑材料中天然放射性核素镭-226的放射性比活度,单位为贝克每千克($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$);

200——仅考虑内照射情况下,本标准规定的建筑材料中放射性核素镭-226的放射性比活度限量,单位为贝克每千克($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$)。

b) 建筑材料放射性分类

10.2.3.2 当调查区用作建筑材料时，应按照 A.2.4.a)进行外照射指数(I_{γ})与内照射指数 (I_{Ra}) 计算,再分为 I、II、III、IV类限制用途，详见表 7。

表 7 建筑材料放射性分类与限制用途

分类编号	建筑材料放射性分类指标	限制用途
I	$I_{Ra} \leq 1.0$ 和 $I_{\gamma} \leq 1.0$	可用于建筑主体材料。
II	$I_{Ra} \leq 1.0$ 和 $I_{\gamma} \leq 1.3$	可用于空心率大于25%建筑主体材料，I类民用建筑的内饰面。
III	$I_{Ra} \leq 1.3$ 和 $I_{\gamma} \leq 1.9$	用于II类民用建筑物、工业建筑内饰面及其他一切建筑的外饰面。
IV	$I_{\gamma} \leq 2.8$	可用于建筑物的外饰面及室外其他用途。

10.3 综合研究与对策建议

通过综合分析研究，对调查的成果和认识进行概括和总结，并提出对策建议。

- a) 主要结论：应列出关于调查区放射性环境特征、分布规律、环境质量现状、主要问题及风险等方面结论。
- b) 对策与建议：针对调查发现的问题和潜在风险，从城市规划、土地资源管理、人居环境安全、辐射环境监管、污染防治提出有针对性的对策。

11 成果资料整理、验收与归档

11.1 成果资料整理

11.1.1 在编制成果报告和图件前，必须对所有原始数据进行严格的预处理和统计分析。

- a) 数据预处理：包括对原始观测值进行本底扣除、仪器系数校正、单位统一换算。对于明显的录入错误或由已知干扰造成的异常值，应在核实后予以剔除或标注，并说明原因。数据预处理方法应在设计书或技术总结中明确。
- b) 背景值统计：采用科学合理的统计方法计算调查区各放射性参数的背景值。背景值统计应区分不同的地质单元、土地利用类型或行政区划，以反映区域特征。
- c) 异常识别与圈定：参考第 10 章方法识别放射性异常点或异常区。对异常点应进行复核和成因分析。

11.1.2 成果报告应包括绪论、城市地质环境背景概况、城市放射性地质环境特征、城市放射性地质环境评价、结论与建议、参考文献、附图及附件等，详见附录 C。

11.1.3 图件、图示、图例及用色制作标准应按 DZ/T 0069—2024 执行，图件比例尺按设计要求执行，包括但不限于以下图件：

- a) 基础图件：包含相应比例尺的地质图、地形地貌图、行政区划图等。
- b) 实际材料图：包含测量点及采样点的测点图及其他可表达实际工作的材料图，测量点、采样点、监测点等均应标明编号及类型等信息，清晰地表达在相应比例尺的地质图、地形图或坐标校准后的遥感影像图上。
- c) 成果图件：用等值线图、统计图表、手工绘图等方式绘制含环境地表 γ 辐射剂量率图、土壤氡浓度分布图、土壤/岩（矿）石核素分布图等；土壤氡浓度，环境地表 γ 辐射剂量率，地下空间 γ 照射量率，U (^{238}U)、Th (^{232}Th)、K (^{40}K) 及 ^{226}Ra 等多要素三维地质图。

11.2 数据库建设要求

11.2.1 为便于数据的管理、查询、更新和共享，应建立城市放射性环境地质调查数据库。数据库应包含野外测量数据点位、样品信息数据、实验室分析数据、质量控制数据等。

11.2.2 数据库设计应科学合理，定义清晰的表结构和字段，建立表间关联。数据格式应符合相关标准或行业惯例，详细要求可参考 DZ/T 0352—2020。

11.2.3 所有点位数据应具有空间坐标属性，支持与 GIS 平台无缝对接，进行空间查询和分析。

11.2.4 入库数据必须经过严格审核，确保准确性、完整性和一致性。

11.3 成果资料验收

11.3.1 成果资料验收包括项目任务书、项目设计书及审查意见、质量检查意见、野外验收意见、成果报告及相关图件等。

11.3.2 其中野外验收工作需要的资料包括但不限于野外记录、原始数据记录、相册、统计表格、仪器检定/校准证书、仪器性能试验结果、野外原始编录资料等相应图件、样品测试送样单和分析测试结果、岩芯/岩样等各类典型实物标本、阶段性解释成果资料、综合整理/研究成果资料、质量检查记录、野外工作总结等。

11.4 成果资料归档

资料归档应按 DZ/T 0273—2015 执行，归档材料包括但不限于以下内容：

- a) 成果类：成果报告、专题报告、附图、附表、附件、评审意见书等。
- b) 野外调查类：野外工作实际材料图、调查点记录簿及记录卡片、照片、摄像、调查小结等。
- c) 样品实验测试类：岩、土、水等介质样品分析报告，采样记录表等。
- d) 技术文件类：项目任务书，设计书、设计与成果审批意见书，野外质量评审文件等。
- e) 电子文件类：调查中形成的磁盘、光盘等电磁介质载体的文件、图表、数据、图像等。
- f) 实物标本样品类：岩石、土壤等样品中具有特殊性或重要性的实物标本或副样。
- g) 其他应归档的原始资料。

归档资料纸质版和电子版同步归档，确保长期安全保存和可追溯。

附 录 A

(资料性)

放射性环境地质调查记录表格式

表 A.1 环境地表 γ 辐射剂量率测量记录表

项目名称 _____ 地点 _____ 天气 _____ 温度 _____ 相对湿度 _____
仪器名称 _____ 仪器型号 _____ 仪器编号 _____ 检定/校准因子 K_1 _____
测量日期 _____ 年 _____ 月 _____ 日

序号	点位名	坐标		读数值										备注
		经度	纬度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1														
...														

检测：_____ 复核：_____ 审核：_____

表 A.2 土壤/岩石样品采集记录表

项目名称：_____ 天气：_____ 日期：_____ 年 _____ 月 _____ 日

编号	点位名	坐标		采样信息			气象参数			感官指标描述	备注
		经度	纬度	层位	深度 (m)	重量 (kg)	气温	相对湿度	天气状况		
1											
...											

采样：_____ 复核：_____ 审核：_____

表 A.3 水体样品采集记录表

项目名称：_____ 天气：_____ 水体类型：☐地表水 ☐地下水 日期：_____ 年 _____ 月 _____ 日

样品编号	经度	纬度	样品容器	颜色	容量	处理方式	采集时间	样品状态 感官描述	保存剂名称	备注
1										
...										

采样：_____ 复核：_____ 审核：_____

表 A.4 土壤瞬时测氡记录表

项目名称：_____ 日期：_____ 天气：_____ 仪器型号：_____ 仪器编号：_____

点号	经度	纬度	读数 (Bq/m^3)			平均氡浓度 (Bq/m^3)	地质描述	备注
1								
...								

检测：_____ 复核：_____ 审核：_____

表 A.5 地面伽玛能谱测量记录表

项目名称：_____日期：_____天气：_____仪器型号：_____仪器编号：_____

点号	坐标		仪器读数				地质描述	备注
	经度	纬度	TOTAL	K ($\times 10^{-2}$)	U ($\times 10^{-6}$)	Th ($\times 10^{-6}$)		
1								
...								

检测：_____复核：_____审核：_____

表 A.6 岩芯物探编录记录表

项目名称：_____日期：_____天气：_____仪器型号：_____仪器编号：_____钻孔编号：_____

回次 编号	深度		岩芯长度 (m)	测点距离 (m)	读数				岩性
	自 (m)	至 (m)			$\gamma + \beta$		γ		
					计数率 (cps)	照射量率 (nC/k g · h)	计数率 (cps)	照射量率 (nC/k g · h)	
1									
...									

编录：_____复核：_____审核：_____

附 录 B
（资料性）
设计书编写提纲

B.1 设计书编写提纲包括但不限于以下内容：

B.1.1 前言。应包括以下内容：

- a) 项目概况：任务来源、工作区范围与坐标、目标任务、工作起止时间、主要工作依据（规范、标准）、主要实物工作量及最终成果提交时间。
- b) 自然地理和社会经济概况：包括地形地貌、气象水文、交通条件、社会经济现状及主要人类工程活动概况。
- c) 以往工作程度概述：系统阐述工作区以往区域地质、水文地质、环境地质及放射性地质（包括航空/地面能谱、环境辐射本底监测等）工作的主要成果、结论及可利用性。

B.1.2 资料收集利用和现场踏勘。应包括以下内容：

- a) 资料收集与利用分析：详细列出所收集的地质、辐射环境、地理信息、规划等资料清单，并对其完整性、可靠性及对本项目设计的支撑作用进行综合分析。
- b) 现场踏勘总结：总结踏勘主要发现，包括关键地质露头、疑似异常现象、潜在污染源现状、实地工作条件等，并说明踏勘成果对初步工作部署（尤其是调查分区与网度设计）的修正与支撑依据。

B.1.3 城市地质环境背景。应包括以下内容：

- a) 城市地质环境条件：系统分析工作区地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质、工程地质及主要环境地质问题。
- b) 放射性地质背景：综合分析区域放射性地球化学特征、主要岩体放射性核素（U、Th、Ra、K）本底水平、已知放射性异常或矿产信息、环境介质（水体、土壤）放射性历史水平。

B.1.4 调查内容及工作方法。应包括以下内容：

- a) 主要工作内容：明确本次调查拟解决的具体问题，如区域放射性本底填图、重点区风险筛查、异常查证等。
- b) 工作方法与技术要求：分项说明各项工作的具体方法、技术指标及依据的规范标准，调查分级分区原则（一般、重点、特殊调查区及小面积场地的界定标准）。
- c) 各分区调查网度（采样密度）：明确不同分区的具体布设方案及科学/规范依据。
- d) 野外测量方法：环境地表 γ 辐射剂量率、地面 γ 能谱、氡浓度/析出率测量的仪器、测点要求、数据记录格式。

B.1.5 工作部署。应包括以下内容：

- a) 工作部署原则：阐述总体工作思路、技术路线和实施策略。
- b) 总体工作部署：以文字结合工作部署图的形式，清晰展示不同调查分区的空间分布、工作方法 & 工作量配置。说明分阶段（如先行扫面、重点详查、异常查证）或分年度的主要工作内容、工作布置和实物工作量。
- c) 年度工作安排：若为多年度项目，需列出年度实施计划、进度安排及阶段成果目标。

B.1.6 组织管理与质量控制。应包括以下内容：

- a) 项目组织管理与人员分工：明确项目组织结构、各岗位人员职责与分工。

- b) 安全、保密与劳动保障措施：制定野外作业、辐射防护、资料保密、职业健康等方面的具体措施。
- c) 质量控制措施：制定覆盖野外作业、样品流转、实验室分析、数据处理的全过程质量保证与质量控制（QA/QC）方案，明确“三级质量检查”制度的具体执行程序。

B.1.7 预期成果。应包括以下内容：

- a) 阶段性成果：列出项目执行过程中计划提交的中间成果。
- b) 最终成果：明确提交的最终成果清单，包括成果报告文本、系列成果图件（如放射性水平分布图、评价分区图等）、专题数据库、图册及其他载体形式成果。

B.1.8 经费预算。应包括以下内容：

- a) 说明经费预算编制的依据（如参照的定额标准、收费标准）。
- b) 列出总预算、分年度或分工作手段的详细经费预算，并附上规范的预算表格。

B.2 附图。应包括以下内容：

- a) 工作程度图。
- b) 放射性地质调查工作草图（反映初步工作布置思路）。
- c) 放射性地质调查工作部署图（正式、详细的最终工作布置图，应清晰反映不同分区的网度、测线/点布置及方法手段）。

附 录 C
(资料性)
成果报告编写提纲

C.1 成果报告的提纲包括但不限于以下内容：

C.1.1 绪论。应包括以下内容：

- a) 项目概况：详细说明项目的任务来源、项目性质、委托单位与承担单位、项目起止时间。明确阐述本次调查的目的、具体任务与要求。概述本次工作的实施过程、完成的主要实物工作量及成果提交情况。
- b) 调查区概况：系统描述调查区的自然地理概况，包括地理位置、行政区划、地形地貌、气象水文、植被土壤等。简述城市经济社会发展概况、主要功能区划、人口分布及人类工程活动特点。应附调查区交通位置图。
- c) 以往放射性工作程度及研究现状：全面收集和评述调查区内及周边地区以往开展的区域地质、地球物理、地球化学、放射性地质、环境监测等相关工作成果。重点总结以往放射性工作的程度、主要结论、存在问题及对本项目工作的借鉴意义。附调查区以往工作程度图。

C.1.2 城市地质环境背景。应包括以下内容：

- a) 地形地貌概况：详细描述调查区的地形地貌类型、特征、分布规律及其对放射性物质迁移、富集可能产生的影响。
- b) 城市地质概况：区域地层、岩浆岩、变质岩、构造、矿产等。

C.1.3 工作方法与质量控制。应包括以下内容：

- a) 工作方法：详细说明本次调查采用的工作方法和技术手段。
 - 1) 技术路线与工作程序：概述总体技术路线和实施步骤。
 - 2) 现场测量方法：分项说明环境 γ 辐射剂量率、土壤氡浓度、氡析出率、地面 γ 能谱、 γ 测井等测量的仪器设备、测量条件、操作步骤和数据处理方法。
 - 3) 样品采集与测试方法：说明土壤、岩石、水体、气溶胶等样品的布点、采集、保存、运输及实验室分析方法。
 - 4) 资料收集与整理方法：说明收集的资料类型、来源及数据处理、图件编制、数据库建设所采用的技术方法。
- b) 质量控制：
 - 1) 质量保证体系：简述项目运行的质量管理体系。
 - 2) 各环节质量控制：分别说明野外测量、样品采集、样品分析、数据处理等环节的具体质量控制方法、检查比例、检查结果及符合性评价。
 - 3) 质量检查报告：可将项目质量检查报告作为本报告的附件，或在正文中概括其主要结论。

C.1.4 城市放射性地质特征。应包括以下内容：

- a) 环境 γ 辐射剂量率分布特征。
- b) 土壤氡浓度分布特征。
- c) 水放射性特征。
- d) 土壤放射性特征。
- e) 岩（矿）石放射性特征。

- f) 放射性异常特征。对调查中发现的放射性异常（如 γ 剂量率高值区、土壤氡浓度异常区、介质中核素含量异常点）进行描述，包括异常位置、规模、强度、地质控制因素等，并进行初步的推断解释。

C.1.5 城市地质环境放射性水平评价。基于第C.1.4章的调查数据，对调查区的放射性地质环境进行综合评价，应包括以下内容：

- a) 放射性水平现状评价：对照国家相关标准、规范或区域背景值，评价调查区环境 γ 辐射剂量率、土壤氡浓度、介质中核素含量的总体水平及空间差异。
- b) 放射性环境质量分区：根据多指标综合评价结果，对调查区进行放射性环境分区。应附放射性环境质量分区评价图。评价方法可参照第10章。
- c) 成因与来源分析：综合分析放射性异常或高值区的成因，区分天然本底增高与人为活动影响。
- d) 潜在影响与风险初步评估：分析当前放射性环境状况对城市地质安全、生态系统及人体健康的潜在影响，进行初步的风险识别与评估。

C.1.6 结论和建议。应包括以下内容：

- a) 结论：给出调查区辐射水平现状，高度概括本次调查取得的主要成果和认识，结论应明确、简洁、有数据支撑。
- b) 建议：客观指出本次调查工作中存在的不足或未解决的问题。针对调查发现的问题和结论，从城市规划、土地利用、工程建设、辐射环境监管、公共卫生、后续研究等方面提出具体、可行的对策与建议。

C.1.7 附图附件。包括但不限于以下内容：

- a) 附件：任务书、项目设计书及审查意见、质量检查意见、野外工作总结及验收意见、成果报告验收意见等。
- b) 附图：基础图件、实际材料图及成果图件。

参 考 文 献

- [1] GB 18871—2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准
 - [2] GB 11224—1989 水中钍的分析方法
 - [3] GB 11218—1989 水中镭的 α 放射性核素的测定
 - [4] GB 11214—1989 水中镭-226 的分析测定
 - [5] GB 14883.7—2016 食品安全国家标准 食品中放射性物质天然钍和铀的测定
 - [6] GB/T 11713—2015 高纯锗 γ 能谱分析通用方法
 - [7] GB/T 13073—2010 岩石样品 ^{226}Ra 的测定 射气法
 - [8] GB/T 14506.30—2010 硅酸盐岩石化学分析方法 第 30 部分：44 个元素量测定
 - [9] GB/T 16140—2018 水中放射性核素的 γ 能谱分析方法
 - [10] GB/T 4882—2001 数据的统计处理和解释正态性检验
 - [11] HJ 1185—2021 区域性土壤环境背景含量统计技术导则（试行）
 - [12] HJ 700—2014 水质 65 种元素的测定电感耦合等离子体质谱法
 - [13] HJ 840—2017 环境样品中微量铀的分析方法
 - [14] HJ 898—2017 水质 总 α 放射性的测定 厚源法
 - [15] HJ 899—2017 水质 总 β 放射性的测定 厚源法
 - [16] HJ 840—2017 环境样品中微量铀的分析方法
 - [17] HJ 813—2016 水中钋-210 的分析方法
 - [18] EJ/T 859—1994 水中铅-210 的分析方法
 - [19] EJ/T 1117—2000 土壤中镭-226 的放射化学分析方法
 - [20] DB44/T 2627—2025 城市放射性地质调查技术规范
 - [21] 罗国桢，何振芸等. 中国环境天然放射性水平[G]. 北京：中国原子能出版社，2015 年 7 月.
-