



中国地质调查局地质调查技术标准

DD 2023—07

含水层地球物理探测技术要求（试行）

The technical requirements for geophysical exploration of aquifers

中国地质调查局

2023 年 8 月

目 次

前 言	II
引 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总体要求	1
4.1 目的任务	1
4.2 方法选择	2
4.3 工作流程	2
4.4 基本要求	2
5 技术设计	2
5.1 资料收集	2
5.2 野外踏勘	2
5.3 方法试验	2
5.4 设计书编写	3
5.5 设计书审批	3
6 外业测量	3
6.1 基本要求	3
6.2 直流电法	3
6.3 电磁法	5
6.4 地震勘探法	7
6.5 天然放射性法	8
6.6 井中地球物理	9
7 资料整理与解释	10
7.1 基本要求	10
7.2 直流电法	10
7.3 电磁法	11
7.4 地震勘探法	13
7.5 天然放射性法	13
7.6 井中地球物理	14
7.7 综合地质解释	14
8 成果编制与资料提交	14
8.1 成果编制	14
8.2 资料汇交	15
附 录 A (资料性) 常见岩土介质物性参数	16
附 录 B (资料性) 地球物理方法适用范围	17
附 录 C (资料性) 设计书编制提纲	20
附 录 D (资料性) 含水层地球物理探测中不同目标体的地球物理响应特征	21
附 录 E (资料性) 成果报告编制提纲	22
参 考 文 献	24

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。

本文件由自然资源部中国地质调查局提出并归口。

本文件起草单位：中国地质科学院水文地质环境地质研究所、河北地质大学、中国地质大学(北京)、山西省水文水资源勘测局、中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司、中国地质调查局水文地质环境地质调查中心、河北省地质环境监测院、甘肃省地质环境监测院、青海九零六工程勘察设计院有限责任公司。

本文件主要起草人：刘景涛、王天意、刘国辉、孙继朝、杨进、张媛静、周冰、王俊业、陈玺、米晓利、张玉玺、杨小荟、朱亮、向小平、李备、解飞、李亚松、刘丹丹、易冰、杨明楠、荆继红、于开宁、侯征、刘春燕、王慧玮、朱小龙、魏玉涛、赵振、王凤林、陈建一、彭红明、何胜、王新峰、高明辉、张英、马永君、石万鹏、张美慧、康玮。

引 言

地球物理探测方法以高效率、低成本、大信息量、无损探测、不扩散污染物等特点在含水层调查中发挥着重要作用，已成为含水层调查中的重要手段之一。鉴于含水层调查需解决的问题复杂多样，加之地球物理探测方法本身具有分支多、应用差异大的特点，制定统一的含水层地球物理探测技术要求显得十分迫切。为更好地发挥地球物理探测方法在含水层探测中的技术支撑作用，中国地质科学院水文地质环境地质研究所会同河北地质大学、中国地质大学(北京)、山西省水文水资源勘测局、中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司、中国地质调查局水文地质环境地质调查中心、河北省地质环境监测院、甘肃省地质环境监测院、青海九零六工程勘察设计院有限责任公司等单位共同编制了本文件。

本文件对规范含水层地球物理探测工作，充分发挥地球物理探测方法技术优势，支撑服务水资源开发利用和水质污染调查评估与修复工作具有十分重要的作用。

含水层地球物理探测技术要求（试行）

1 范围

本文件规定了含水层地球物理探测的目的任务、技术设计、外业测量、资料整理与解释、成果编制与提交等方面的技术要求。

本文件适用于浅部（深度小于500米）含水层结构、地下水空间分布及水质污染状况的探测。

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。

- CJJ/T 7 城市工程地球物理探测规范
- DZ/T 0070 时间域激发极化法技术规程
- DZ/T 0073 电阻率剖面法技术规程
- DZ/T 0081 自然电场法技术规程
- DZ/T 0170 浅层地震勘查技术规范
- DZ/T 0187 地面磁性源瞬变电磁法技术规程
- DZ/T 0205 地面 γ 能谱测量技术规程
- DZ/T 0280 可控源音频大地电磁法技术规程
- DZ/T 0281 相位激发极化法技术规程
- DZ/T 0305 天然场音频大地电磁法技术规程
- DZ/T 0374 绿色地质勘查工作规范
- DZ/T 0407-2022 广域电磁法技术规程
- EJ/T 605 铀矿勘查氡及其子体测量规范
- NB/T 10225 水电工程地球物理测井技术规程
- NB/T 10701 地热微动探测技术规程
- NB/T 35112 水电工程层析成像技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

含水层地球物理探测 **aquifer geophysics detection**

利用地球物理方法对含水层结构、地下水空间分布及水质污染状况进行探测的过程。

3.2

地球物理响应特征 **geophysical response characteristics**

基于地下不同介质间的物理性质差异，所表现出的天然或人工地球物理场在空间及时间上的变化规律（如重磁场、激电二次场、电磁感应场、地震波场、放射性场等）。

4 总体要求

4.1 目的任务

利用地球物理方法获取含水层信息，结合水文地质、环境地质调查成果，基本查明含水层结构、地下水空间分布与赋存状态、水质污染状况与潜在污染源，为水资源开发利用和水质污染调查评估与修复工作提供依据。

4.2 方法选择

4.2.1 本文件所涉及的地球物理探测方法主要为常规地面探测方法及测井方法。

4.2.2 应在对收集测区资料及现场踏勘结果进行充分分析的前提下，依据不同的目的任务和设计要求，结合场地实际条件及物性前提（参见附录 A），进行含水层探测方法的选取。

4.2.3 方法选择应结合现场试验的结果进行，或借鉴以往可以证实或验证其效果可靠的同类调查任务、相近场地条件的实践成果。应充分考虑到所选方法的经济、有效、易实现性。

4.2.4 宜采用两种或两种以上方法开展综合地球物理探测，并进行充分论证，做到所选方法间优势互补，跨属性组合（如地震类、地电类等），达到提高探测精度和解释可靠性的目的。

4.2.5 宜优先采用施工难度小、对环境影响小、探测精度高的方法或方法组合。探测方法选择与方法组合参见附录 B。

4.3 工作流程

含水层地球物理探测的一般工作流程包括：技术设计（包括收集资料，现场踏勘，方法试验等）与审批、外业测量、资料整理与解释、成果编制与提交。

4.4 基本要求

4.4.1 用于现场探测的地球物理仪器及其附件应符合工作设计的各项技术指标要求，确保其处于良好的工作状态。仪器应定期进行检查、校准和保养；同测区投入两台（套）以上的测量仪器进行工作时，野外施工前应开展仪器一致性检测，保证各台仪器间有良好的一致性，相对均方差应不大于设计观测精度的 1/3。

4.4.2 参加野外工作的人员均需了解总体目标和工作任务，明确各自的职责及与工作有关的技术要求，并接受过安全生产培训；现场技术负责人和仪器操作员要明确工作设计中所从事的地球物理方法的各项技术要求，能熟练掌握野外工作中相关仪器设备的操作技能，具有日常维护能力。

4.4.3 地球物理探测效果应采取钻探或样品化学分析手段对其进行验证核实。验证核实的工作成果可作为含水层与水质污染评价的依据。

4.4.4 鼓励采用地球物理新技术、新方法，如微重力勘探、广域电磁法、时频电磁法、半航空式电磁法等，应在满足方法开展前提的基础上按规范开展工作。

5 技术设计

5.1 资料收集

5.1.1 收集分析测区的地形地貌、区域地质、水文地质、地下水水质与污染、地球物理探测成果、钻孔及其它相关资料，必要时可开展补充水文地质调查。

5.1.2 对收集到的相关资料进行综合分析，建立测区地质-地球物理模型，并在此基础上开展正演模拟分析，为方法的有效性分析与参数选取提供依据。

5.2 野外踏勘

5.2.1 野外工作开展前，应通过踏勘了解场地的自然环境和工作条件，若调查区较小，应对全区进行踏勘；若调查区较大，所选的现场踏勘路线应具有代表性。

5.2.2 踏勘过程中宜对测区内的各种可能对地球物理方法应用产生干扰的因素进行调查。主要包括地电干扰、电磁干扰、振动干扰、温度干扰等，其它影响因素包括交通条件、开阔程度与各类安全隐患等。

5.3 方法试验

5.3.1 方法试验的内容主要包括观测方式确定、工作参数选取、干扰和环境噪声调查等内容，通过试验最终确定最佳方法、技术及措施。

5.3.2 试验资料应及时分析处理，在结果中应明确各项工作参数及指标，试验结果可作为成果报告的

一部分，未经试验或结论不明确，不得开展正式野外工作。

5.3.3 地球物理方法工作参数应结合室内数值模拟及现场试验的结果综合确定，所选参数应能保证探测精度和设计的要求。应充分考虑现场的干扰条件，能最大程度的压制由于场地干扰而引起的探测误差，保证探测数据的质量。

5.3.4 地球物理方法工作参数设计时应兼顾工作区内的整体条件，所设计参数应适用全工作区的数据采集工作，局部干扰较大的区段可适当调整设计参数，调整时应在记录中注明原因。

5.3.5 按现行地球物理单方法规范选取工作参数时，宜按规范中规定的最高探测精度要求开展。

5.4 设计书编写

5.4.1 工作设计书应依据委托单位下达的任务书或有关合同（协议）规定，由承担单位组织收集和分析测区及邻区有关地质、钻探、物探及其它技术资料，并在现场踏勘的基础上进行编写。

5.4.2 设计书内容应包含工作区地质及地球物理特征、技术方法、工作布置与技术要求、施工组织及工作进度、质量与安全保证、预期成果、项目经费预算、存在的问题与对策等内容，设计书编写提纲参见附录 C。

5.5 设计书审批

5.5.1 设计书经编制单位初审，由上级主管单位或下达单位审批后，方可正式实施。

5.5.2 实施过程中由于客观条件变化或其它原因确需修改设计时，应及时将修改理由及内容报至审批单位，经确认同意后再修改、变更原设计，变更内容和依据应详细说明，并经重新审批后方可实施。

6 外业测量

6.1 基本要求

6.1.1 测线布置范围应略大于设定的探测范围，一般要求测线为直线形式，以剖面或测网形式进行布设，测线布设应与地下水流向或构造走向基本垂直，同时应考虑与水质异常体的空间方向关系，尽量与钻探、地下水露头及取样分析剖面/点重合，避开地形起伏、建筑物和干扰源。所有测点均应采用高精度差分全球卫星定位系统进行定位标记，并记录高程。

6.1.2 进行剖面测量时，测线间距以达到控制目标体的分布精度要求为准，至少有 2 条~3 条测线穿过目标体异常分布区，并确保延长至异常区外一定范围，保证异常在相邻测点上清晰地可连续追踪反映。面积测量时，异常区测线上至少有 3 个~5 个探测目标体的异常测点，遇探测条件复杂时应适当加密。

6.1.3 野外施工时应贯彻环境保护及绿色施工的理念，宜按 DZ/T 0374 规定执行。

6.1.4 外业质量检查工作应按所选择方法的规范要求进行，随工作进度进行系统的质量检查工作，做到质检工作在时间上和空间上的均匀分布，并侧重异常地带质检点分布的代表性检查，要求检查点数量不得少于总工作量的 3%~5%，经质检合格的观测资料方可作为基础性成果归档、应用。

6.1.5 对野外采集的数据进行处理时，不得使用未经检查或检查不合格的数据。

6.2 直流电法

6.2.1 电测深法

外业测量时主要要求：

- a) 电测深法以探测目标体相对周围介质存在明显的电阻率或极化效应差异为地球物理前提条件，宜利用其进行不同深度的地下水、含水层分布结构与水质污染探测，亦可探查测区填埋垃圾体、污染源及其扩散晕的分布；
- b) 电测深法测线测点敷设应综合考虑探测对象规模、埋深及地电条件等。地下水及水质污染探测时应优先选用偶极测深装置，含水层结构探测优先选用施伦贝格装置，其它探测目的宜采用温纳装置及偶极装置联合测量；
- c) 最大供电电极距应为探测深度的 3 倍~6 倍；最小供电电极距应保证目标体的上方有 3 个以上采样点为宜。结合实际探测任务可适当对极距进行对数间隔加密，确保探测目标体的层位处有 2 个~3 个有效极距点；

- d) 测量电极宜使用不极化电极，为消除电极间极差的影响，应在布极后至少 1 min 后方可进行观测；
- e) 现场探测结果应立即计算，并绘制电测深曲线图，出现非圆滑异常点应及时检查仪器和线路连接与绝缘是否正常，而后进行复测。重复观测符合野外探测精度要求后方可保存该测点观测值，观察周围内有无地形及岩性变化，并作相应记录。

6.2.2 高密度电阻率法

外业测量时主要要求：

- a) 高密度电阻率法以探测目标体相对周围介质存在明显的电阻率差异为地球物理前提条件，宜利用其探测与研究浅部（埋深 ≤ 150 m）某一垂直断面（二维）或地下空间（三维）内的电阻率变化，开展地下水、含水层结构、水质污染变化、垃圾填埋体、污染源及其扩散晕分布的探测；
- b) 按 DZ/T 0073—2016 规定的要求开展野外探测工作；
- c) 应选择工作区内典型已知地段进行方法有效性及探测装置选取试验，试验线应选择 1 条~3 条，线距以 5 m~20 m 为宜，观测装置应适合探测任务的要求和场地的干扰水平；
- d) 高密度电阻率法测线测点敷设应根据探测对象的深度、规模和设计精度选择电极距和隔离系数。隔离系数尽量从 1 开始，最大值应保证探测深度超过探测对象埋深的 20% 以上，电极距应同预期的水平分辨力相当；
- e) 成本允许条件下，一个排列尽可能多测几种装置的数据。复杂条件和恶劣环境下，应采用抗干扰性和分辨能力不同的两种或两种以上探测装置分别完成，且不应采用同一探测装置中的互相换算值代替另一组观测数据。对于每个排列的观测，坏点总数不应超过测量总数的 1%，对意外中断后的复测，应有不少于 2 个深度层的重测值；
- f) 电极接地电阻不应大于 $2\text{ K}\Omega$ ，若接地电阻过大，可采用浇水、电极并联或放置泥袋的方式进行处理；当探测剖面的地形坡度大于 15° 时，应测量各电极处的坐标及高程，以便后期数据处理中进行地形改正；
- g) 条件允许的情况下尽可能采用 3D 的探测方式，并可同时对视电阻率及视极化率进行观测，为探测目标体的分析提供电性及极化特征信息；
- h) 对于不同类型地下水进行探测时，松散沉积孔隙水宜采用温纳装置，基岩裂隙水、岩溶水的探测宜选用偶极装置；
- i) 对二极、井间和三维探测装置，应采集电压和电流强度值，数据处理时，应另行计算出视电阻率值；当远电极极距 OB 不满足 5 倍以上 OA 时，应在数据处理中进行远电极修正；
- j) 现场观测时，应记录排列位置，并注明特殊环境因素的位置，同时应在草图上标明。当确认测区附近存在较明显干扰源时，其总均方相对误差可放宽到 $\pm 8\%$ 。

6.2.3 自然电场法

外业测量时主要要求：

- a) 自然电场法以地下水渗流作用产生的过滤电场效应和溶质扩散-吸附电场效应为地球物理前提条件，宜利用其查明中浅层地下水的径流方向及其与地表水的补给关系，亦可对污染源及其扩散晕进行探测；
- b) 按 DZ/T 0081 规定的要求开展自然电场法的野外探测工作；
- c) 应根据探测对象规模、埋深及地电条件等选择电位观测、梯度观测和环形观测方式。开展小比例尺剖面调查时宜采用梯度观测方式，探测地下水径流方向及污染扩散晕时宜选用环形观测方式；
- d) 自然电场法的测点间距应小于探测目标体埋深的一半，剖面间距宜为点距的 2 倍~4 倍或按比例尺选择。保证至少有 3 条线通过异常区，且测线上至少有 5 个以上的异常点，相邻点距最大误差小于 5%；
- e) 电位观测的总基点宜选在测区自然电场平稳的背景地段，且接地条件良好，同时兼顾基点网联测；分基点宜选在可利用最短导线测完预控观测面积的地点；基点网联测时可采用直接联测法、间接联测法和多边形联测法。梯度观测时宜选 MN 电极距为测点间距；

- f) 电位观测和环形观测的测站应布设在测区中心位置，并避开高压线、变压器和广播站接地点等设施。导线漏电电阻不应小于 $5 \text{ M}\Omega/\text{km}$ ，MN 宜选用极差小于 $\pm 2 \text{ mV}$ 不极化电极，电极埋深 $0.1 \text{ m} \sim 0.2 \text{ m}$ ，接地电阻小于 $2 \text{ K}\Omega$ 。

6.2.4 激发极化法

外业测量时主要要求：

- 激发极化法以探测目标体相对周围介质存在明显的激发极化效应差异为地球物理前提条件，宜利用其探测中浅层（埋深 $\leq 200 \text{ m}$ ）地下水、含水层结构及水质变化特征；配合一定的钻孔取样分析成果，可实现含水量的预测，利用频率域激发极化法还可探测相关水文地质参数；
- 按 DZ/T 0070 及 DZ/T 0281 规定的要求开展时间域及频率域激发极化法的野外探测工作；
- 在地形切割剧烈、覆盖层厚度较大、表层电阻率低及无法避免游散电流干扰的地区，不宜布置激发极化法工作；
- 激发极化法可根据需要选择使用偶极装置、对称四级测深装置和中间梯度装置等，大于 100 m 的含水层、松散沉积孔隙水探测优先选用对称四极装置，浅部含水层、基岩裂隙水及岩溶水探测优先选用偶极装置；
- 工作过程中应保证测量电极的极差稳定，在开工前不应大于 2 mV ；当测完一条剖面重复返回时应测量极差，测量的极差应不大于 5 mV 。电极不应安置于流水旁，其周围不应有金属物体扰动，电极的引出线头不得与土壤、杂草等接触，接地电阻应小于 $1 \text{ K}\Omega$ ，电极在标准测点上安置困难时，可沿垂直测线方向移动，但移动距离应小于点距的 $1/5$ ；
- 二次场的电位差值应大于 1 mV ；仪器的调零工作应在规定的供电时间内完成，不得延长。

6.3 电磁法

6.3.1 音频大地电磁法

外业测量时主要要求：

- 音频大地电磁法以探测目标体相对周围介质存在明显的电性差异为地球物理前提条件，宜利用其探查中深部（埋深 $> 50 \text{ m}$ ）地下水、含水层结构及水质变化；
- 按 DZ/T 0305 及 DZ/T 0280 规定的要求开展天然源音频大地电磁测深法及可控源音频大地电磁测深法的野外探测工作；
- 存在明显电磁干扰区应选择双源（天然与高频段人工源）音频大地电磁法或可控源音频大地电磁法。在接地电阻过大且难以改善的地区、水域与沼泽地区、地下存在强大的无法克服的工业游散电流的地区不宜采用音频大地电磁法工作；
- 正式工作前，应在测区内典型已知地段处进行仪器设备校正、收发距、平行测试及其它参数选取的试验观测，试验宜在大于探测深度 1.5 倍范围内的不同步长频点上进行，同时对测区电磁噪声水平进行调查；
- 数据采集时宜采用标量或张量测量方式，最低频点以满足探测深度而定，最高频点结合允许探测盲区而定，相邻频点间距应满足垂向分辨率的要求；
- 测量电极应使用不极化电极，根据工作任务或探测深度可分段选择高频段或低频段探头开展探测工作。

6.3.2 电磁偶极剖面法

外业测量时主要要求：

- 电磁剖面法以探测目标体相对周围介质存在明显的导电性或导磁性差异为地球物理前提条件，宜利用其查明地下浅部（埋深 $\leq 50 \text{ m}$ ）地下水、含水层结构及水质变化，还可探测垃圾填埋体、圈定污染源及扩散晕的分布范围；
- 按 CJJ/T 7 规定的要求开展电磁偶极剖面法的野外探测工作；
- 电磁偶极剖面法根据水文地质条件、地电分布特征、场地条件和探测要求可选择使用磁偶极和电偶极间不同组合的收发方式，通常采用共面水平或垂直磁偶极收发方式；
- 探测深度小于 6 m 时，应固定采用一个通过（已知）点试验确定的收发距；探测深度大于 6 m 时，可分别采用不同的收发距，同一测区收发距应保持相同；

- e) 应采用固定间距的发收线圈同步沿测线移动，可采用共面水平线圈法或虚分量振幅法进行观测，其水平误差和方向误差不得超过 3° ；可将测量装置放置地面探测，也可置于地面固定高度探测；
- f) 同测区探测方式和所探测参数必须一致，在电磁干扰区同点观测叠加次数不得少于 30 次，对于异常点要进行重复探测，重复探测的相对误差电场不应超过 5%，磁场不应超过 8%，二者比值不应超过 10%，相位测量不应超过 $\pm 2^\circ$ 。

6.3.3 瞬变电磁法

外业测量时主要要求：

- a) 瞬变电磁法以探测目标体相对周围介质存在明显的导电性差异为地球物理前提条件，宜利用其探查中深部（埋深 30 m~500 m）地下水、含水层结构及水质变化及垃圾填埋体分布，亦可圈定具有一定规模（ $>1/3$ 倍的含水层埋深）污染源及扩散晕分布；
- b) 按 DZ/T 0187 规定的要求开展瞬变电磁法的野外探测工作；
- c) 瞬变电磁法应根据工作条件和探测任务选择使用工作装置类型，松散沉积孔隙水宜选用中心回线与重叠回线装置，岩溶水探测宜选用大定源回线装置，基岩裂隙水及陡倾含水层结构宜选用偶极装置；
- d) 应在工作区内已知典型地段进行仪器设备标定及探测参数选取的试验观测，在试验前应对工作区电磁噪声水平进行调查；
- e) 对于浅层土壤和地下水、含水层精细结构及水质调查时，应选用具备纳米瞬变电磁或等值反磁通功能的设备进行探测。发射频率应满足探测深度要求，观测时窗应通过已知点试验确定，采样频率（道间距）应满足其纵向分辨率确定；
- f) 一次场的关断时间和二次场的观测延迟时间要满足设计最小盲区的要求；除最后的 3 个~5 个观测道外，现场观测值应在噪声水平以上。

6.3.4 探地雷达法

外业测量时主要要求：

- a) 探地雷达法以探测目标体相对周围介质存在明显的导电性和介电性差异为地球物理前提条件，宜利用其探测超浅层（埋深 <15 m）地下水、含水层结构及水质变化，亦可探测垃圾填埋体、浅层土壤及地下水污染源及扩散晕的分布；
- b) 按地下水污染地球物理探测技术指南（试行）的要求开展探地雷达法的野外探测工作；
- c) 探地雷达法开展工作前应通过在测区内已知地段开展试验，选择天线的工作频率，确定采集时间窗口、采样间隔、增益等参数。条件允许时，宜通过金属板反射法或宽角法观测获取波速参数；
- d) 当探测条件复杂时应选择两种或两种以上不同频率的天线，满足探测条件前提下尽可能采用屏蔽天线，有条件的区域宜优先开展 3D 探测，同时应考虑地下水及各种干扰因素的影响；
- e) 工作过程中应尽量保证各项工作参数不变，在信号剧烈变化的地区，可在数据采集过程中根据干扰情况及图像效果及时调整工作参数；
- f) 连续测量时的天线移动速度应均匀，并应与仪器的扫描率相匹配；使用测量轮进行距离模式测量时，应选取测区内具代表性地形起伏的地段对测量轮进行标定，地形复杂的区域不宜采用距离模式测量；使用分离天线进行点测时，应通过调整天线距离使来自目标体的反射信号最强；使用偶极天线时，天线取向宜使电场的极化方向与目标体长轴或走向平行，当目标体长轴方向不明时，宜使用两组正交方向的天线分别进行探测。

6.3.5 核磁共振勘探

外业测量时主要要求：

- a) 地面核磁共振法以水分子核磁矩自旋-自旋弛豫性与围岩介质间存在明显差异为地球物理前提条件，宜利用其探测地下中浅层（埋深 ≤ 150 m）地下水，确定地下水的赋存位置以及单位体积含水量；
- b) 按 DZ/T 0263 规定的要求开展核磁共振法的野外探测工作；

- c) 地面核磁共振法应根据地质条件和探测任务采用不同的测深方式。探测深度大于 150 m 时和环境噪声大于 1500 nV 的强电磁干扰条件下，不宜使用地面核磁共振法；
- d) 在进行全程地面核磁共振法测量前，应利用测得的地磁场强度换算出激发频率初值，发射相应频率电流脉冲，进行 5 个脉冲矩的测量试验，经频率分析确定激发频率。确定用作全程核磁共振测量的激发脉冲频率与接收到的信号频率差值应小于 1 Hz；
- e) 地面核磁共振法应根据探测深度要求以及电磁噪声干扰的强弱和方向，选择正方形、圆形或“∞”字形的线圈敷设方法。

6.4 地震勘探法

6.4.1 折射波法

外业测量时主要要求：

- a) 折射波法以不同地质体间存在明显弹性波速差异为地球物理前提条件，宜利用其探测中浅深度（埋深<100 m）地下水潜水面、含水层结构（第一含水层）、垃圾填埋体分布范围；
- b) 按 DZ/T 0170 规定的要求开展折射波法的野外探测工作；
- c) 若受场地条件限制需要测线转折时，应保证同一排列内检波器在一条直线上，转折点应安排在排列端部，并应布置重叠观测点；河谷测线宜垂直河流或顺河流布置，当河谷较狭窄、折射波相遇段较短时，可斜交河流布置测线；测线布置时应考虑旁侧影响；
- d) 折射波法在正式工作前应进行试验工作。试验工作应包括：环境噪声分析，压制干扰波的措施，选择激发接收方式、仪器工作参数及探测系统；
- e) 所选用的观测系统，应保证各目的层折射波的连续对比追踪，为有效追踪直达波可将震源近道的间距布设密集，远离震源道布设稀疏；
- f) 当观测面和被探测界面平坦、地层结构简单时，可采用简单探测系统。当地层倾角较大时，应注意改变测线方向，避免界面倾角过大。若下部界面起伏较大或不规则时，宜采用相遇时距曲线探测系统，应确保在相遇段内至少有 4 个检波点接收来自同一折射界面；为了解折射界面是否有投射现象或速度横向变化，宜采用追踪时距曲线探测系统，应确保在两支时距曲线中至少有 3 个检波点重复接收同一界面的折射波；
- g) 实施横波折射波法勘探时，应保证检波器的水平安置，灵敏度方向轴应垂直于测线，且取向一致。可利用原始记录直接读取波的初至时间。对原始记录作滤波处理时，滤波器不得有相移；直接读取初至有困难时，可读取初至波的极值时间，并读取相位校正量，进行初至校正；在波的干扰位置或者置换位置读取初至时，应分析波的叠加情况后读取。

6.4.2 反射波法

外业测量时主要要求：

- a) 反射波法以不同地体（地质体/介质）间存在明显弹性波阻抗差异为地球物理前提条件，宜利用其探查不同深部（埋深<500 m）含水层结构，确定垃圾填埋体分布范围、基岩埋深、断层、破碎带和岩溶分布，亦可划分松散层和基岩风化带；
- b) 按 DZ/T 0170 规定的要求开展反射波法的野外探测工作；
- c) 为有效压制场地环境噪声干扰，优先采用可控震源方式提高采集数据的信噪比；
- d) 反射波法试验工作应包括：工作方法、观测系统、震源和仪器工作参数的选择等，还应采用噪声调查确定有效反射波和折射波、面波、声波等干扰波，确认观测有效反射波的最佳窗口；
- e) 应确保被追踪目标层、标志层与其相邻层之间应存在明显的波阻抗差异，且被追踪地层厚度不宜小于有效波长的 1/4；
- f) 反射波法应根据试验结果，并结合场地的地震地质条件，选择合适的震源、激发能量，对于倾斜地层，应在地层下倾方向激发，上倾方向接收；
- g) 单边展开排列的最大炮检距应为目的层深度的 0.8 倍~2.0 倍，道间距应能满足有效反射波的追踪对比而不漏掉沿剖面分布有限的异常地质体（至少有 3 个以上接收反射点）；
- h) 反射波法可采用简单连续探测系统、间隔连续探测系统、多次覆盖探测系统或展开排列探测系统，可选用单边、双边或排间激发方式。在条件允许的场地，应尽可能使用多次覆盖探测

系统，当地面与被探测界面平坦，地层结构简单且深度较小，可采用单道等偏移距（或高密度地震映像）探测系统；

- i) 宜根据实际目的，采用不同的组合检波方法，利用视速度差异来突出有效波，压制干扰（正向组合加强大视速度波、压制小视速度波，反向组合加强小视速度波、压制大视速度波）。

6.4.3 瑞雷波法

外业测量时主要要求：

- a) 瑞雷波法以不同地体（地质体/介质）间存在明显弹性波速频散差异为地球物理前提条件，宜利用其探测地下浅层（埋深 $<50\text{ m}$ ）含水层结构，确定垃圾填埋体分布范围，探测基岩风化带、断层、破碎带和地下洞穴分布等；
- b) 按 DZ/T 0170 规定的要求开展瑞雷波法的野外探测工作；
- c) 瑞雷波法应结合探测目的和已知资料，在工作区典型地段通过试验确定观测系统布置方式、采集参数和激发方式；
- d) 瑞雷波法根据工作条件和探测要求可选择使用人工稳态和瞬态震源工作方式。其中，稳态瑞雷波法应采用稳态面波仪和稳态激振设备，瞬态瑞雷波法可采用多道数字地震仪和锤（夯）击激震设备。稳态瑞雷波法的数据采集时，激振器的安置应与地面紧密接触，并使其保持竖直状态。应根据探测对象和任务要求选择相应自然频率的检波器，同一排列的检波器之间的自然频率差不应大于 0.1 Hz 。检波器应竖直安置并与地面紧密接触；
- e) 瞬态瑞雷波法探测浅地层时应激发高频率波，用小锤或较轻的大锤锤击地面垫板，并采用小道间距；探测大深度地层时则相反；
- f) 瞬态瑞雷波法的数据采集时，采用重锤震源时应根据需要加不同材质的垫板；探测排列长度一般应大于探测深度所需波长的 $1/2$ ，道间距 Δx 应使相邻道接收信号有足够的差值；
- g) 多道瞬态瑞雷波法采样间隔的选择，应视记录长度要求，保证各道采集到基阶瑞雷波。

6.4.4 微动探测法

外业测量时主要要求：

- a) 微动探测法以不同地体间存在明显横波速度差异为地球物理前提条件，宜利用其探测地下中浅层（埋深 $<150\text{ m}$ ）含水层结构、基岩风化带、断层、破碎带和地下洞穴的分布；
- b) 按 NB/T 10701 规定的要求开展微动探测法的野外探测工作；
- c) 应通过已知点试验选择合适的台阵形式，确定观测半径、探测深度、观测时间等参数；
- d) 微动台阵法要求使用单分量或三分量检波器，微动谱比法要求使用三分量检波器，所使用检波器自然频率范围宜大于 2 Hz ，地形复杂区开展工作时宜节点式采集站；
- e) 微动台阵法相较于微动谱比法可获取更为丰富的地下信息，有条件时应采用三分量检波器进行台阵探测以获取更丰富的地下信息。

6.5 天然放射性法

6.5.1 氡（Rn）气测量（ α 测量）法

外业测量时主要要求：

- a) 氡（Rn）气测量法以调查区内氡（ ^{222}Rn ）及子体的浓度不同为地球物理前提条件，宜利用其探查含水断裂构造、放射性岩体分布，圈定地下放射性填埋体的范围，亦可进行放射性环境评价；
- b) 按 EJ/T 605 及 DZ/T 0205 规定的要求开展天然放射性法的野外探测工作；
- c) 应避开扰动土、沼泽地、田埂和地下潜水面接近地表的地段。天然放射性测量不适用于在水上或水下工作；
- d) 野外工作开展前应用模型或标准源对仪器进行标定；
- e) 直接进行大地氡气瞬时测量时，测区应有表土层，厚度宜大于 600 mm ；氡气收集器的埋藏深度应大于 300 mm ，并应有防止大气渗入的措施；
- f) α 卡和活性炭等累积测量时，依据研究其不同的子体则收集介质的地下埋设时间不尽相同，收集介质的上方应有防止大气渗入的措施。

6.5.2 伽玛 (γ) 量法

外业测量时主要要求:

- a) 伽玛 (γ) 量法以调查区内的 γ 射线活度不同为地球物理前提条件, 宜利用其探查地下水资源、含水断裂构造、确定埋体的分布, 亦可进行放射性环境评价;
- b) 按 EJ/T 605 及 DZ/T 0205 规定的要求开展天然放射性法的野外探测工作;
- c) 在投入生产之前, 必须对能谱仪进行性能检查, 选择测量谱段, 测定换算系数(或称能谱仪的标定)等工作;
- d) 测量过程中尽量避免可能的干扰地段, 如腐殖质较厚的地区, 坟区等, 如无法避开, 则要在野外记录中详细说明;
- e) 同时进行 γ 测量和 R_n 气测量时, 应保持两者测点位置一致。

6.6 井中地球物理

6.6.1 电测井

外业测量时主要要求:

- a) 电测井包括视电阻率测井(普通电极系、微电极系和井液电阻率)和自然电位测井, 宜利用其测定地层和井液电阻率, 划分含水层精细结构, 研究水质变化, 计算含水层的相关水文地质参数;
- b) 按 NB/T 10225 开展电测井的野外探测工作;
- c) 钻孔中应无金属套管且应有井液; 孔壁应光滑, 不应坍塌和掉块;
- d) 被探测目的层相对上下层应存在电性差异, 有一定厚度;
- e) 电测井电极系、电极距的选择应根据探测任务要求和不同测区的地球物理条件, 经试验后确定;
- f) 自然电位测井应采用不极化电极; 使用金属重锤时, 测量电极应距离重锤 2 m 以上;
- g) 井液电阻率测井宜在电缆下放时进行正式测量记录, 其他测井方法宜在提升电缆时进行正式测量记录。

6.6.2 声波测井

外业测量时主要要求:

- a) 声波测井适用于测定钻孔中不同岩层的弹性波速度, 宜利用其推测岩体的完整性, 计算岩体的弹性力学参数, 划分含水层精细结构, 确定含水破碎带等;
- b) 按 NB/T 10225 开展声波测井的野外探测工作;
- c) 被探测目的层应具有厚度, 相对上下层应存在弹性波波速差异;
- d) 钻孔中应无金属套管且应有井液; 探头下井前, 应要求钻探单位对井孔进行全孔清水清洗, 使井液不致过于黏稠; 松散地层的孔段, 可放置事先穿孔的塑料套管。下井探头应居井孔中心, 应防止其与井壁碰撞;
- e) 声波测井前后均应对记录仪器进行标定和对零检查, 探头下井前应在钢套管中进行校验;
- f) 源距 L 的选择应保证到达接收探头的初至波是地层的折射波, 其间距的大小选择应满足分层和曲线分辨率的要求;
- g) 超声成像测井应根据观察结果对井壁地质现象进行直观描述, 并确定出裂隙、断层、软弱夹层等的倾角、倾向及厚度; 在顶角大于 5° 的斜孔中求取产状时, 还应利用井径、井斜测量等资料进行斜度校正。

6.6.3 放射性测井

外业测量时主要要求:

- a) 放射性测井主要包括: 自然 γ 测井, γ - γ 测井, n - n 测井, n - γ 测井和同位素测井。宜利用其测定钻孔中岩层的放射性活度, 确定含水层, 计算其富水性, 查明放射性污染分布等;
- b) 按 NB/T 10225 开展放射性测井的野外探测工作;
- c) 放射性测井仪应定期用检查源对仪器进行标定, 保证仪器的性能状态良好; 现场工作前应检查仪器确认工作性能正常, 并应在目的层井段上观测统计起伏, 观测时间应大于测井时所选

用时间常数的 10 倍，并应在统计起伏相对误差不超过 5.0% 的条件下，选择横向比例、最佳提升速度和最小的时间常数；

- d) 进行 γ - γ 测井时，对于有密度刻度器的，应在井场标定曲线的横向坐标，并应以“g/cm³”为单位，对于无密度刻度器标定的，可作视密度测量；
- e) 对于直接显示密度数值的测井仪，每年应用标准密度源校核一次；测量结果受井径影响较大时，还应进行井径校正。

6.6.4 井间地球物理层析成像法

外业测量时主要要求：

- a) 井间层析成像（CT）法包括电阻率层析成像，弹性波层析成像和电磁波层析成像，宜利用其圈定含水层、含水断裂和岩溶分布，结合已知钻孔水土样品的化学分析还可确定污染扩散晕分布范围；
- b) 按 NB/T 10225 及 NB/T 35112 开展井间地球物理层析成像的野外探测工作；
- c) 钻井间被探测的目标体与周围介质间应存在弹性、导电性、电磁性的差异。被探测的目标体应位于收-发井间扫描剖面中间，其规模大小与成像单元应具有可比性；
- d) 井深至少应为井间距的 1.5 倍，井距一般为 20 m~50 m，而成像段要大于孔间距；
- e) 在井内完成一次完整的观测后，发射井和观测井应互换后实施第二次测量，对水平分辨要求较高的探测任务，应在井间的地表处补加激发点或观测点；
- f) 成像方法的选用应适合探测目标体的特点、井壁质量、泥浆条件、井间距离和成像精度要求等条件；
- g) 井间地震波层析成像法使用的检波器应具有三分量，且应经推靠装置紧贴于井壁。检波器串移动时，应有至少一个点的重复测量；
- h) 井间声波层析成像法除使用的检波器应为单分量的高频水声探头，检波器串的间距可为 1.0 m~2.0 m；
- i) 井间电磁波层析成像法宜实施双频探测，工作频率应由现场试验确定。观测井和发射井互换，应由两次探测完成数据采集；
- j) 井间电阻率层析成像法宜在井间和两井连线外侧的地表同时布设地表测量电极，改善成像的精度。

7 资料整理与解释

7.1 基本要求

7.1.1 内业工作应保证原始数据可靠，测点空间位置正确，处理方法选择适当，处理参数及流程选择合理，图件布局合理、清晰、美观，有效异常突出。应及时对处理结果进行检查，各定性及定量分析成果中反映的异常应 100% 复检，并将其与已知资料对比，必要时应对解释异常区进行重新处理。

7.1.2 在资料解释时，应在分析各项物性资料与异常特征的基础上，充分利用各种已知水文地质资料和样本化学分析结果，按照从已知到未知、先易后难、点面结合、定性指导定量的原则进行。应遵循解释-验证-再解释的过程，以降低地球物理数据的多解性，提高解译精度。含水层探测目标体不同地球物理一般异常特征判别参见附录 D。

7.2 直流电法

7.2.1 电测深法

资料整理与解释时应遵循以下原则：

- a) 电测深资料的定性解释应研究电测深点的曲线类型、斜率、渐近线、极值点、拐点、局部畸变点等特征，宜结合部分正演模拟工作进行综合分析；
- b) 用于定量解释的电测深曲线接头应结合实际地质与干扰情况进行圆滑处理，处理后的电测深曲线应连续完整，主要电性标志层应反映明显，首尾支渐近线应符合定量解释的要求；

- c) 对电测深资料进行定量解释时应结合测区的地质岩性和电性条件，合理使用各种评价参数，如极化率、半衰时等，参数应在电测深曲线图上标明。优先采用性能较好的一维或高维电测深反演软件进行定量解释；
- d) 资料解释时，应注意到基岩裂隙水、岩溶水与松散沉积孔隙水的地球物理响应特征差异，一般松散沉积孔隙水为高阻的含水层表征，基岩裂隙水、岩溶水为低阻的水体响应表征；
- e) 电测深法应充分利用钻孔或其他方法获取的资料进行综合解释，依据已知钻孔岩性及样本化学分析结果划分含水层分布，圈定污染体范围。

7.2.2 高密度电阻率法

资料整理与解释时应遵循以下原则：

- a) 高密度电阻率法数据预处理时，应进行数据平滑、异常点剔除和滤波处理，并可结合实际情况进行视参数计算。反演成像时，对于地下起伏条件下的观测数据宜采用带地形反演功能的软件进行处理；
- b) 高密度电阻率法资料解释时，应结合试验剖面或已知目标体探测的视电阻率及反演电阻率等值断面图进行分析，研究探测目标体在视电阻率及反演电阻率断面上的电性标志特征，以此为依据对探测剖面成果进行解译；
- c) 对同一工作区多剖面成果或时延探测成果进行解译分析时，应注意数据处理及反演方法的一致性和成果图色标统一，以便进行相邻剖面及不同时间成果的对比分析；
- d) 对于钻孔取样分析资料详细的测段，宜开展正演计算及特征分析工作，以指导其他测线段的资料处理解释工作。在进行成果解译时，可进行约束反演提高精度。

7.2.3 自然电场法

资料整理与解释时应遵循以下原则：

- a) 自然电场法数据处理时，梯度观测结果（交叉跑极）转换为电位观测结果时，允许对转换后跳跃电位进行平均圆滑处理；对于异常不明显的测区，应进行多条相邻剖面相关处理计算，以压制地质噪音或地形干扰，增强有意义异常信息；
- b) 结合已知水文地质资料，由自然电位异常的正负极值特征或梯度异常的零值处的正负变号特征判断地下水的补排关系，由电位玫瑰图推断地下水的径流方向及扩散晕范围。

7.2.4 激发极化法

资料整理与解释时应遵循以下原则：

- a) 激发极化法时间域观测数据宜进行基于等效电阻率法的二维反演计算，频率域数据宜进行基于柯尔-柯尔模型的迭代反演计算；
- b) 绘制参数等值线平面图时，宜选择最能反映含水层构造或污染体异常特征的极距绘制。参数等值线断面图的起始值应结合异常的下限值确定；
- c) 应用激发极化法调查含水层，应确定含水层背景及其污染异常值，并依据已知水化学资料和其他探测资料，经过综合相关分析后估算含水层的富水性，推测污染源及扩散晕分布；
- d) 应用频率域激发极化法探测含水层的相关水文地质参数，复电阻率法（频率激电法）资料解释时要充分利用已知水文地球物理测井记录，遵循从已知到未知的原则。

7.3 电磁法

7.3.1 天然及人工源音频大地电磁法

资料整理与解释时应遵循以下原则：

- a) 音频大地电磁法资料处理时，应对观测电磁场分量数据进行滤波以消除干扰，之后进行傅里叶变换，计算出波阻抗值，进而求出视电阻率和相位值；不能随意删除观测数据中的疑点，应参考相邻测点对视电阻率、视相位曲线首尾支畸变严重的频点观测值进行校正；对测点中偏离较大或明显畸变的曲线应进行平滑插值处理；

- b) 静态校正应结合数据分析及实际地质情况，判断静态位移现象及其严重性，再选择最佳静态位移校正方法对数据进行静态位移校正处理。对于有源情况下的平面电磁波近场校正，可采用全区视电阻率校正法，也可采用专门近场校正软件进行，校正后的曲线应光滑连续；
- c) 资料定性解释时，应研究测区曲线类型，对井旁测深曲线进行正反演计算，研究测区的地电模型；结合测区视电阻率和相位拟深度断面，了解剖面的电性异常特征，并开展综合剖面对比分析；
- d) 根据定性解释结果，综合其他水文地质、地球物理资料，确定初始地电模型，利用成熟的数据处理软件开展一维、二维或三维反演，充分利用已知的钻探、样本分析结果等资料对其进行约束反演以提升解译精度。

7.3.2 电磁偶极剖面法

资料整理与解释时应遵循以下原则：

- a) 电磁偶极剖面法数据处理时，对采用不同收发距或不同工作频率的视电导率或视磁化率法的资料，要进行电导率和厚度的定量计算，以获取地下电性分布；
- b) 采用虚实分量法资料进行推断解释时，应先进行定性解释，确定异常范围、走向长度、倾斜方向等，在此基础上，选择干扰影响较小的光滑曲线进行定量解释；采用振幅比—相位差法资料进行解释时，可先对异常进行实、虚分量转换，制作平面图后，再按照先定性后定量的方法进行解释。

7.3.3 瞬变电磁法

资料整理与解释时应遵循以下原则：

- a) 瞬变电磁法数据应通过专业处理软件对数据进行滤波处理和发送电流切断时间影响的改正处理，计算和绘制多道 V/I 异常剖面曲线、视电阻率、 $\rho\tau(t)$ 拟断面等值线图，也可计算视时间常数等其他参数，应采用已被验证效果的软件开展一维或高维定量反演；
- b) 应根据瞬变电磁的响应时间特征和剖面曲线类型划分背景场及异常场，确定地电模型和划分异常，并依据已知钻孔资料，在对瞬变电磁法的资料进行定性解释和异常的半定量、定量解释的基础上进行合理地质解释。

7.3.4 探地雷达法

资料整理与解释时应遵循以下原则：

- a) 对探地雷达数据进行处理时，可根据需要选取删除无用处、零点校正、水平比例归一化、增益调整、地形校正、频率滤波、F-K 倾角滤波、速度分析、反褶积、偏移归位、空间滤波、点平均等处理方法；
- b) 处理方法和处理步骤的选取应根据外业记录数据质量及解释要求进行，当反射信号弱、数据信噪比低时不宜进行反褶积、偏移归位处理，在进行 F-K 倾角滤波和偏移归位处理前应删除无用处，并进行水平比例归一化和地形校正；可利用反射系数法、CMP 法、双曲线弧度法、迭代偏移处理等方法求取速度，宜采用两种以上方法计算速度并相互验证；
- c) 在数据处理各阶段均可选择频率滤波，消除某一频段的干扰波；可用 F-K 倾角滤波消除倾斜层干扰波；可用反褶积来压制多次反射波，用于反褶积的反射子波宜是最小相位子波；可采用时间偏移或深度偏移方法将倾斜层反射波界面归位，使绕射波收敛，在进行深度偏移处理时应选择可靠的介质电磁波速度；
- d) 可利用有效道叠加和道间差方法，使异常具有更好的连续性或独立性，提高数据图像的可解释性；可用平滑数据的点平均法消除信号中的高频干扰，参与计算的点数宜为奇数，最大值宜小于采样率与低通频率之比；
- e) 成果解释时宜结合雷达数据的几何属性及波动属性信息综合进行，并充分考虑到各种干扰因素的影响，如地下水位、侧向反射、各种电力设施等。

7.3.5 核磁共振法

资料整理与解释时应遵循以下原则：

- a) 核磁共振法的数据应经过零时外延、化为标准观测值、噪声滤波等预处理后，进行资料处理。在资料处理时除应提供仪器存储的数据文件外，还应提供记录工区位置、高程、文件名、天线形状、电磁干扰及其分布特点、周围岩性、地层、地形、水文地质等相关内容；
- b) 对核磁共振法资料进行反演时，应根据线圈的形状和大小、激发频率(拉摩尔频率)、地磁场的倾角、最大探测深度、大地电阻率等测量条件和测量技术参数进行计算，构建反演所需要的矩阵文件；再结合选择的信号长度、滤波时间常数及正则化系数进行资料反演；
- c) 核磁共振法提供的成果图件应包括含水量直方图、衰减时间常数直方图、含水层断面分布图以及含水量分布图等。

7.4 地震勘探法

7.4.1 折射波法

资料整理与解释时应遵循以下原则：

- a) 绘制折射波时距曲线时，应对旅行时读数进行校正。校正内容包括：相位校正、爆炸深度校正、表层低速带校正及地形校正。综合时距曲线的互换时间差不应大于 3.0 ms；
- b) 应根据场地条件、方法特点和精度选择折射波解释计算方法，即：单支时距曲线探测可选择截距时间法、临界距离法、正演拟合计算法；相遇时距曲线可选择 t_0 法、延迟时法、时间场法、共轭点法、正演拟合计算法、表层剥去法等；
- c) 折射波资料推断解释应以钻孔或物性资料为依据，确定地震波折射界面与地质界面的对应关系，推断水平方向上的岩性变化，可通过原始记录上有无伴随振幅衰减、波形变化等现象确定低速带与断层破碎带的对应关系。

7.4.2 反射波法

资料整理与解释时应遵循以下原则：

- a) 反射波法的资料处理应包括预处理、静校正、滤波、抽道集、速度分析、动校正、CDP 迭加等过程，宜先结合已知资料地段数据进行参数选取分析工作；
- b) 层速度可根据地震测井、浅层折射波法、速度谱分析方式获得，并应充分考虑其近地表介质波速的不均匀性和低速带厚度与下伏层厚度的相对变化对层速度的影响；
- c) 在资料解释过程中，应参照钻孔资料和地质资料确定地层层位和反射波组之间的关系，对反射波组进行对比追踪，推断解释含水层或场地目标体边界。

7.4.3 瑞雷波法

资料整理与解释时应遵循以下原则：

- a) 瑞雷波法数据预处理时应剔除明显畸变点、干扰点，并将全部数据按频率顺序排列；
- b) 对资料进行预处理后，应准确区分瑞雷波和体波，正确绘制频散曲线，即波速—频率曲线；
- c) 应结合已知的钻探等资料对曲线的“之”字形拐点和曲率变化作出正确解释，求出对应层的瑞雷波相速度，并根据换算的深度绘制速度—深度曲线；
- d) 利用瑞雷波相速度换算横波速度时，应结合已知钻孔和测井资料求得瑞雷波相速度与横波速度对应关系后进行；利用瑞雷波法换算深度时，应在已知孔旁的瑞雷波资料标定解释后进行。

7.4.4 微动探测法

资料整理与解释时应遵循以下原则：

- a) 微动探测法的数据预处理软件应具有现场面波频率曲线反演计算、二维微动视速度剖面计算功能。数据处理软件应具有空间自相关分析 (SPAC) 或频率-波数 (F-K) 域分析功能及 HV 谱比计算功能；
- b) 应利用成熟或已验证的专业软件对提取的频散曲线及谱比曲线进行反演，获取地下的视横波速度，若两种数据均被采集，则可采用联合反演方法获取地下的横波结构。

7.5 天然放射性法

7.5.1 氡 (Rn) 气测量 (α 测量) 法

资料整理与解释时应遵循以下原则：

- a) 天然放射性测量法工作结束后，应及时进行数据处理、资料汇总、综合整理、汇编各种综合图件等资料整理工作；
- b) 因观测条件变化引起观测数值 N 的变化时，应在进行多次观测查明原因后再进行解释；
- c) 应检查观测数据并采用合理的数理统计方法计算放射性背景值，划分异常并进行异常登记；
- d) 天然放射性测量法的资料解释应研究异常的分布规律和特征，分辨异常性质并排除假异常；并依据异常最大值的二分之一等值线圈定其异常体在地面的投影分布范围。

7.5.2 伽玛 (γ) 量法

资料整理与解释时应遵循以下原则：

- a) γ 测量应计算 γ 照射量率，必要时应计算有效平衡系数或铀 γ 当量含量，并应统计 γ 照射量率变化或绘制变化曲线；进行剖面测量或面积测量时，还可绘制剖面图、等值线图；
- b) 进行有效射气系数校正时，应考虑到射气系数不仅和岩石类型、成分结构有关，而且和温度、湿度、气压、风速等因素有关；进行底数校正时，应考虑到降雨的影响；
- c) 应研究异常的分布规律和特征，分辨异常性质并排除假异常；并依据异常最大值的二分之一等值线圈定其异常体在地面的投影分布范围；
- d) 结合地质、水文地质资料推断地下隐伏含水断裂构造，依据已知钻孔水土样本化学分析资料圈定放射性污染带（体）分布范围。

7.6 井中地球物理

7.6.1 测井

资料整理与解释时应遵循以下原则：

- a) 在测井曲线绘制图时，应对符合允许深度误差的曲线在相邻深度记号内平差，每个平差点一次平差不得大于 1 mm；同张图中所有曲线绘制的深度坐标应一致，并按各自的横向比例分别绘出参数坐标，并注明曲线名称及技术条件；
- b) 对同一钻孔进行的电测井、自然电位测井、声波测井、放射性测井、井液电阻率测井，其测井曲线均应绘制在一张综合测井解释图上，其他方法所得资料可单独成图或列表，但其成果均应以文字形式反映到综合测井曲线解释图上；
- c) 解释推断应根据测井资料和各种测井曲线的分层特征，对不同参数曲线进行综合对比，结合钻探和样本化学分析等有关资料，对钻孔剖面按物理性质、含水结构和咸淡水分层分析，确定污染段；同一测区，水文地质条件相同时，应统一解释原则。

7.6.2 井间地球物理层析成像法

资料整理与解释时应遵循以下原则：

- a) 井间地球物理层析成像法的观测数据要利用专用层析成像软件进行反演，并重建井间剖面内的物理性质分布图像；
- b) 应结合已知水文地质、钻孔水土样本化学分析、物性和测井资料，在综合分析的基础上，划分井间含水层结构，分析地下水赋存位置及水质变化情况。

7.7 综合地质解释

结合工作区地质、水文、物性、污染、钻孔资料和干扰情况，对综合地球物理方法的成果进行分析，对工作区内含水层分布及水质变化特征进行推断解释。

8 成果编制与资料提交

8.1 成果编制

8.1.1 成果报告应围绕利用地球物理探测所查明的含水层分布特征和对水质评价有关的成果进行阐述，重点应论述所选方法的有效性和可行性，探测精度，质量保障，反演方法的选取，综合解释的结论及验证结果，报告编制格式参见附录 E。

8.1.2 成果报告应确保内容全面，重点突出，立论有据，逻辑严谨，文字简练，结论明确，附图附表等资料齐全。

8.1.3 成果报告中所附表格应填写齐全，数据应准确无误；附图或插图应规范，按图件责任表中逐级审核，所有地球物理的原始图件均应备注有关观测方式和工作参数。

8.1.4 所有数据处理和解释成果图件均采用于计算机成图归档保存。其中，数据宜采用通用格式的文件，如 txt, csv 等。成果图件原则上应采用通用矢量化的图件格式进行保存。

8.1.5 数据库成果应包含以下要素：测区的位置信息、地质及地球物理特征、不同地球物理方法的响应特征、反演的地球物理模型、推断的地质模型及异常验证成果。

8.2 资料汇交

8.2.1 汇交的纸质成果应包括：工作设计及成果报告、野外观测记录表、野外观测质量检查表、实际材料图、地球物理综合解释成果图。

8.2.2 汇交的电子成果应包括：汇交的纸质成果材料对应的电子版、仪器保存的原始数据、野外工作全球卫星定位系统记录、成果数据表。

8.2.3 汇交的纸质及电子成果应确保资料完整、图件齐全，形式符合本文件及相关技术要求。

附 录 A
(资料性)
常见岩土介质物性参数

表A.1给出了常见岩土介质的物性参数,可结合各参数的差异进行地球物理方法及组合方案的选取。

表A.1 常见岩土介质物性参数表

岩土介质名称	电阻率 $\Omega \cdot m$	相对介 电常数	纵波速度 m/s	横波速度 m/s	磁化率 $4\pi \times 10^{-6}SI$	密度 g/cm^3
粘土	$10^1 \sim 10^3$	5~40	1200~2500	120~400	--	0.8~1.4
粉土	$10^1 \sim 10^3$	5~10	200~800	130~300	--	1.0~1.8
湿砂、卵石	$10^2 \sim 10^3$	25~30	600~800	300~500	--	1.6~2.2
干砂、卵石	$10^3 \sim 10^5$	2~6	200~800	120~500	--	1.7~2.4
泥岩	$10^1 \sim 10^2$	5~25	3000~4000	1800~2400	--	--
页岩	$2 \times 10^1 \sim 10^3$	4~9	2500~4100	1500~2700	5~1480	2.3~2.7
片岩	$2 \times 10^2 \sim 10^3$	2~5	3000~4500	1800~3200	25~240	2.6~3.0
砾岩	$10^2 \sim 10^3$	1~50	3500~5500	1800~3000	--	2.2~2.4
板岩	$10^1 \sim 3 \times 10^2$	--	5000~6000	3000~4000	500	2.5~2.6
石灰岩	$3 \times 10^2 \sim 10^4$	7.5~9.2	5000~6400	2500~3200	2~280	2.2~2.9
白云岩	$10^2 \sim 10^4$	7~11	5500~6900	2800~3800	0~75	2.8~3.0
碳质岩层	$10^0 \sim 10^2$	6~10	5200~6000	2500~3600	--	--
花岗岩	$2 \times 10^3 \sim 10^5$	5~7	5000~5800	2700~3400	0~4000	2.5~3.0
闪长岩	$5 \times 10^2 \sim 10^5$	8	5500~6200	2800~3500	50~10000	2.7~3.0
玄武岩	$5 \times 10^2 \sim 10^5$	18.8	4500~8000	2700~4800	20~14500	2.7~3.0
片麻岩	$2 \times 10^2 \sim$	--	4200~5000	2500~3100	25	2.5~3.3
大理岩	$10^2 \sim 10^4$	7~10	5500~6200	2800~3600	5	2.6~2.9
岩盐	$10^4 \sim 10^8$	5~8	4200~5500	2500~3300	--	2.07~2.17
民用垃圾	12~30	--	200~600	--	--	--
生活垃圾淋漓液	$10^{-1} \sim 10^1$	--	--	--	--	--
倾倒废石与土壤	200~350	--	400~1000	--	--	--
石油	--	2~2.4	--	--	--	--
雨水	$>10^3$	81	1430~1590	--	1.0	--
海水	$5 \times 10^{-2} \sim 10^0$	81	1430~1590	--	1.025	--
地下水	$<10^2$	81	1430~1590	--	1.0	--
冰	$10^4 \sim 10^8$	3.2	3100~3600	--	0.92	--

附 录 B
(资料性)
地球物理方法适用范围

表B.1和B.2分别给出了含水层地球物理探测中不同地球物理方法的适用范围及针对不同任务的推荐地球物理方法组合方案。

表B.1 地球物理方法适用范围

		相对误差	探测深度	地下水探测			含水层结构探测		地下水水质探测/监测				污染源及扩散晕探测		
				孔隙水	裂隙水	岩溶水	区域结构	场地结构	咸淡水	无机污染	有机污染	放射性污染	无机类	有机类	污染埋物
电法勘探	电测深法	±10%	浅中	●	●	●	●	○	●	●	○	--	●	○	●
	高密度电	±10%	浅层	●	●	●	○	●	●	●	●	--	●	●	●
	自然电场	±5%	中浅	○	○	--	--	--	--	○	--	--	○	--	--
	激发极化	±10%	中浅	●	●	●	●	○	--	○	○	--	○	○	○
	电磁剖面	±15%	浅层	○	●	●	--	●	○	○	○	--	●	○	●
	音频大地	±20%	中深	○	●	●	●	○	○	●	○	--	●	○	○
	探地雷达	±2%	超浅	○	○	○	○	●	--	●	●	--	●	●	●
	瞬变电磁	±15%	中浅	●	○	●	●	●	○	●	○	--	●	●	○
	核磁共振	±5%	中浅	●	●	●	--	--	--	--	○	--	--	○	--
浅地震法	折射波法	±10%	浅层	○	--	--	○	○	--	--	--	--	--	--	○
	反射波法	±5%	浅中	●	○	○	●	○	--	--	--	--	--	--	○
	面波法	±5%	超浅	○	○	○	●	●	--	--	--	--	--	--	●
	微动法	±15%	浅中	●	○	○	●	●	--	--	--	--	--	--	●
放射性勘探	γ 测量法	±25%	浅中	--	○	--	--	--	--	--	--	●	--	--	○
	α 测量法	±25%	浅中	--	○	--	--	--	--	--	--	○	--	--	○
	Rn 测量法	±25%	浅中	--	●	--	--	--	--	--	--	○	--	--	○
井中地球物理	电阻率成	±10%	中浅	○	●	●	○	●	○	●	●	--	●	○	○
	弹性波成	±5%	中浅	--	●	●	○	●	--	--	--	--	--	--	○
	电磁波成	±10%	中浅	○	○	○	○	●	--	○	○	--	○	○	○

表 B.1 地球物理方法适用范围 (续)

		相对误差	探测深度	地下水探测			含水层结构探测		地下水水质探测/监测				污染源及扩散晕探测		
				孔隙水	裂隙水	岩溶水	区域结构	场地结构	咸淡水	无机污染	有机污染	放射性污染	无机类	有机类	污染埋物
测井	电测井	±5%	浅中	●	●	●	○	○	●	●	○	○	●	○	●
	自然电位	±5%	浅中	●	●	●	○	○	●	○	○	--	○	○	--
	放射性测	±5%	浅中	○	○	○	○	○	--	--	--	●	○	--	○
	声波测井	±5%	浅中	○	○	○	○	○	--	--	--	--	--	--	○
注1: 一般情况下, 超浅为0 m~10 m, 浅层为10 m~50 m, 中浅为50 m~100 m, 中深为100 m~300 m, 深层为300 m~500 m。 注2: ●为推荐方法, ○为可选方法。 注3: 进行地下水水质监测中, 可按固定参数及位置开展不同时间的数据采集。															

表B.2 推荐地球物理方法组合方案

探测目标体埋深深度(m)	地下水探测			含水层结构探测		地下水水质探测				污染场地探测		
	孔隙水	裂隙水	岩溶水	区域结构	场地结构	咸淡水	无机污染	有机污染	放射性污染	无机污染	有机污染	埋埋物
超浅 (<10)	⑨+ ②+ ③+ ⑫	③+② +⑮+ ⑫	②+ ⑫+ ③	③+⑥ +⑫	⑥+② +⑬	②+③ +①	⑥+④ +②+ ③	⑥+② +④	⑭+ ⑮+ ⑯	④+⑥ +②+ ③	④+⑥ +②+ ⑭	⑥+④ +②+ ⑫
浅部 (10~50)	⑨+ ③+ ⑬	⑨+⑦ +⑬+ ⑮	⑨+② +⑦+ ⑬	③+⑦ +⑬+ ⑥	⑥+② +⑪+ ⑦	②+③ +⑦	③+② +⑤	②+③ +⑭		⑥+③ +②	⑥+② +③	⑥+② +⑭+ ⑪
中浅 (50~100)	⑨+ ③+ ⑪	⑨+⑦ +⑪+ ⑯	⑨+② +③+ ⑪	③+ ⑬+ ⑦+ ⑪	②+ ⑪+ ③	②+③ +⑦	②+③ +⑰	②+① +③+ ⑭		⑥+③ +②+ ⑦	⑥+② +③+ ⑦	②+ ⑪+ ⑬+ ③
中深 (100~300)	③+ ⑪+ ⑦	⑦+ ⑬+ ⑯	⑦+ ⑪+ ⑬	③+ ⑬+ ⑦	⑦+ ⑪+ ⑬	①+⑦	③+⑦	⑦+③		--	--	--
深部 (300~500)	③+ ⑧+ ⑪	⑧+ ⑪+ ⑯	⑧+ ⑪	⑧+ ⑬	⑧+ ⑪	⑧+③	③+⑧	③+⑧		--	--	--

注1: 表中序号与方法名称对应关系为: ①电阻率测深法; ②高密度电阻率法; ③激发极化法; ④电磁偶极剖面法; ⑤自然电场法; ⑥探地雷达法; ⑦瞬变电磁法; ⑧音频大地电磁法; ⑨核磁共振法; ⑩地震折射波法; ⑪浅层地震反射波法; ⑫主动源地震面波法; ⑬微动法; ⑭ γ 测量法; ⑮Rn测量法; ⑯ α 测量法; ⑰高精度磁梯度法。

注2: 表中推荐组合方法优先级按先后顺序排列, 实际工作过程中可结合场地实际条件、易操作及经济性进行选择及适当调整。

附录 C
(资料性)
设计书编制提纲

- C.1 前言
 - C.1.1 项目来源
 - C.1.2 目的任务
 - C.1.3 工作区范围
 - C.1.4 工作量及期限
- C.2 水文地质及地球物理特征
 - C.2.1 水文地质特征
 - C.2.2 地球物理特征
- C.3 工作布置与技术要求
 - C.3.1 测网布设
 - C.3.2 测量仪器及精度
- C.4 地球物理方法技术
 - C.4.1 仪器及设备
 - C.4.2 野外探测方法
 - C.4.3 数据质量控制
 - C.4.4 资料处理及解释
- C.5 施工组织及工作进度
 - C.5.1 人员组成
 - C.5.2 任务分工
 - C.5.3 工作进度安排
- C.6 质量与安全保证
 - C.6.1 质量保障体系与措施
 - C.6.2 安全责任与措施
- C.7 预期成果
- C.8 项目经费预算
- C.9 附图

主要包括工作区交通位置图，工作布置图。

附 录 D
(资料性)

含水层地球物理探测中不同目标体的地球物理响应特征

表D.1给出了含水层地球物理探测中不同目标体的地球物理响应特征。

表D.1 含水层地球物理探测中不同目标体的地球物理响应特征

物性类型	重力勘探	磁法勘探	电法勘探（导电性、介电性）					地震勘探（波速、波阻抗）		放射性	热性	水文测井
			电阻率法	激发极化法	电磁法	探地雷达法	核磁共振法	折射波	反射波			
孔隙水	高密	无	高阻	高极化	高介电	中等衰减, 含水层杂乱反射	长信号	高速	高阻抗	低含量	高温、高热比	--
裂隙水	低密	低磁	低阻	高极化	高介电	强衰减, 边界强反射	长信号	低速	低阻抗	高含量	高温、高热比	--
岩溶水	低密	无	低阻	高极化	高介电	强衰减, 边界强反射	长信号	低速	低阻抗	高含量	高温、高热比	--
潜水面探测	--	--	负梯度带	高极化	--	高介、高导电性 跳跃—强反射波	共振衰减 弛豫时间变大	纵波速度变高	纵波阻抗变大	--	--	--
含水结构探测	--	--	高阻性	高极化	高阻性	高介电性、高导电性	共振衰减 弛豫时间变长	--	纵波阻抗变大	--	--	高阻性, 低自电, 高密, 弹性高速, 低放射性
含水层水文参数估算	--	--	高阻性→孔隙度, 给水度, 单孔单位涌水量	高极化、大时间常数→孔隙度, 饱和度	高阻性→孔隙度, 给水度	--	共振衰减 弛豫时间→含水量	--	波阻抗变大→孔隙度	--	--	

附 录 E
(资料性)
成果报告编制提纲

E.1 前言

E.1.1 项目概况

阐述项目来源、目的与任务、工作区概况。

E.1.2 工作依据

E.1.3 工作完成情况

包括生产组织及使用的主要仪器设备、工作周期、实际工作天数、完成总实物工作量、室内工作结束日期及天数。

E.1.4 取得的主要成果

E.2 工作区水文地质及地球物理特征

E.2.1 水文地质特征

包括与地球物理探测工作有关的地质、水文地质、地下水污染源及类型。

E.2.2 地球物理特征

重点叙述与地下含水层及水质探测有密切关系的地物性参数、地球物理前提条件等，说明探测方法的条件、有效性，探测目标体的地球物理异常响应特征。

E.3 工作方法与技术

E.3.1 测网布设

包括测网的选择、测线方向、测点距选择。

E.3.2 野外数据采集

介绍所采用方法所解决的具体问题，以及方法的有效性与合理性，采用的仪器及性能、参数设置及观测方法，质量要求等的合理性。

E.3.3 质量检查

阐述检测工作的完成情况，根据资料的整理与计算数据质量。

E.4 数据处理与资料解释

E.4.1 数据处理

阐述采用的处理方法与技术，利用专业处理软件情况，处理结果与图件。

E.4.2 资料解释

以地球物理成果为基础，结合水文地质及钻孔资料，综述各种物性特征的对反演结果进行含水层分布特征解释，给出解释结果。

E.5 结论与建议

E. 5.1 结论

结合目的任务，给出探测的结论。

E. 5.2 建议

提出今后进一步开展探测工作的建议。

参 考 文 献

- [1] GB/T 14157 水文地质术语
 - [2] GB/T 14498 工程地质术语
 - [3] GB/T 18314—2009 全球定位系统（GPS）测量规范
 - [4] DZ/T 0263—2014 地面核磁共振法找水技术规程
 - [5] DZ/T 0407—2022 广域电磁法技术规程
 - [6] DZ/T 0288 区域地下水污染调查评价规范
 - [7] DZ/T 0391 地球物理勘查基本术语
 - [8] HJ/T 166 土壤环境监测技术规范
 - [9] Q/SH 0759 高密度电阻率测深法勘探技术规程
 - [10] SY/T 6688 时频电磁法勘探技术规程
 - [11] DB42/T 1795 微动勘探技术规程
 - [12] 地下水污染地球物理探测技术指南（试行）生态环境部2022
-