

备案号: J2821—2020

中华人民共和国化工行业标准



HG/T 20717—2019

污染场地岩土工程勘察标准

Standard for geotechnical investigation of contaminated sites



2019-12-24 发布

2020-07-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

中华人民共和国化工行业标准

污染场地岩土工程勘察标准

Standard for geotechnical investigation of contaminated sites

HG/T 20717—2019

主编单位：化学工业岩土工程有限公司

东南大学

批准部门：中华人民共和国工业和信息化部

实施日期：2020年7月1日



 北京科学技术出版社

中华人民共和国化工行业标准
污染场地岩土工程勘察标准
HG/T 20717—2019

北京科学技术出版社

网址: www.bkydw.cn

社址: 北京西直门南大街 16 号

邮政编码: 100035

电话传真: 0086-10-66135495 (总编室)

0086-10-66113227 (发行部) 0086-10-66161952 (发行部传真)

北京科学技术出版社发行 全国各地新华书店经销

三河市文阁印刷有限公司

开本: 880mm × 1230mm 1/16 印张: 6 字数: 92 千

版次: 2020 年 7 月第 1 版 2020 年 7 月第 1 次印刷

统一书号: 155714·78

定价: 85.00 元



京科版图书, 版权所有, 侵权必究。
京科版图书, 印装差错, 负责退换。

中华人民共和国工业和信息化部

公告

2019 年 第 61 号

工业和信息化部批准《5G 移动通信网 核心网总体技术要求》等 447 项行业标准（标准编号、名称、主要内容及实施日期见附件），其中通信行业标准 32 项、电子行业标准 14 项、化工行业标准 151 项、石化行业标准 8 项、冶金行业标准 19 项、有色金属行业标准 4 项、建材行业标准 23 项、机械行业标准 39 项、汽车行业标准 3 项、船舶行业标准 29 项、航空行业标准 2 项、轻工行业标准 68 项、纺织行业标准 55 项，现予公布。

以上通信行业标准由人民邮电出版社出版，电子行业标准由中国电子技术标准化研究院组织出版，化工行业标准由化工出版社出版，化工行业标准（工程建设类）及汽车行业标准由北京科学技术出版社出版，石化行业标准由中国石化出版社出版，冶金行业标准由冶金工业出版社出版，有色金属行业标准（工程建设类）由中国计划出版社出版，建材行业标准由中国建材工业出版社出版，机械行业标准由机械工业出版社出版，船舶行业标准由中国船舶工业综合技术经济研究院组织出版，航空行业标准由中国航空综合技术研究所组织出版，轻工行业标准由中国轻工业出版社出版，纺织行业标准由中国标准出版社出版。

附件：2 项化工行业工程建设标准编号、标准名称和实施日期

中华人民共和国工业和信息化部

二〇一九年十二月二十四日

附件：

2 项化工行业工程建设标准编号、标准名称和实施日期

序号	标准编号	标准名称	被代替标准编号	实施日期
196	HG/T 20717—2019	污染场地岩土工程勘察标准		2020-07-01
197	HG/T 20722—2019	橡胶工厂建设项目可行性研究报告内容和深度规定		2020-07-01

前 言

本标准是根据工业和信息化部办公厅《关于印发 2017 年第三批行业标准制修订计划的通知》（工信厅科〔2017〕106 号文）的要求，由中国石油和化工勘察设计协会为主编部门，委托化学工业岩土工程有限公司、东南大学为主编单位，会同有关勘察、设计、施工单位制定而成。

本标准在编制过程中，编制组进行了广泛调查和专题研究，总结了近年来的污染场地岩土工程勘察理论与实践经验，同时参考国内外有关标准，在以多种形式征求各方意见的基础上，对主要问题进行反复修改，最后经审查定稿。

本标准主要包括总则、术语、基本规定、调查与测绘、勘探和取样、监测、现场测试、室内分析与试验、成果报告等。

本标准由工业和信息化部负责管理，由中国石油和化工勘察设计协会负责日常管理，由化学工业岩土工程有限公司、东南大学负责技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送至化学工业岩土工程有限公司（地址：南京市浦口区浦东北路 5 号扬子科创基地 4 号楼；邮编：210031；电话：025-57737590）或东南大学（地址：南京市江宁区东南大学路 2 号；邮编：211189；电话：025-83795086），以供今后修订时参考。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人：

主编单位：化学工业岩土工程有限公司

东南大学

参编单位：南京工业大学

湖南化工地质工程勘察院有限责任公司

中化明达（福建）地质勘测有限公司

中国电力工程顾问集团华东电力设计院有限公司

化工部马鞍山地质工程勘察院

华东建筑设计研究院有限公司

中石化石油工程设计有限公司

上海申元岩土工程有限公司

青岛中油岩土工程有限公司

中国化学工程第一岩土工程有限公司

浙江化工工程地质勘察院有限公司

江苏长江建设工程质量检测有限公司

杭州广测环境技术有限公司

主要起草人：刘松玉 尤苏南 荆少东 蔡国军 刘 东 范日东 王旭东

康 旭 何 平 赵万里 杜延军 梁志荣 刘运刚 钱 明

邹思竟 黄晓毅 李 森 杨 峰 李文鹏 尹荣曹 杨西飞
钟储汉 刘文东 孙会青 钟建东 周 峰 朱海骏 余小奎
张志豪 张鸿斌 全明周 魏 川 赖志贤 高理华
主要审查人：郑建国 丘建金 詹良通 郭书太 谭新平 赵迷军 丁晓峰

目 次

1	总则	(1)
2	术语	(2)
3	基本规定	(4)
4	调查与测绘	(6)
4.1	调查	(6)
4.2	测绘	(6)
5	勘探和取样	(8)
5.1	一般规定	(8)
5.2	勘探工作量布置	(8)
5.3	钻探	(8)
5.4	取样	(9)
6	监测	(11)
6.1	一般规定	(11)
6.2	地下水监测井布置	(11)
6.3	监测井构造与施工	(11)
6.4	监测项目	(12)
7	现场测试	(14)
7.1	一般规定	(14)
7.2	现场快速测试	(14)
7.3	水文地质参数原位测试	(15)
7.4	电阻率静力触探测试	(15)
7.5	工程物探测试	(16)
8	室内分析与试验	(17)
8.1	一般规定	(17)
8.2	污染场地土的物理力学性质试验	(17)
8.3	土和水的环境质量分析试验	(18)
8.4	污染场地土和水的腐蚀性评价试验	(18)
8.5	污染场地固体废物鉴别	(18)
8.6	污染场地土浸出毒性试验	(19)
8.7	污染场地气样化学分析试验	(19)
9	成果报告	(20)

9.1 一般规定	(20)
9.2 污染场地评价	(20)
9.3 报告内容	(20)
附录 A 样品保存方法	(22)
附录 B 地下水监测井井身结构	(25)
附录 C 水文地质参数测定方法	(27)
附录 D 基于孔压静力触探 (CPTU) 的场地土层渗透系数测试方法	(28)
附录 E 基于目标 pH 的污染土浸出毒性平行批处理试验方法	(31)
附录 F 污染土浸出毒性的土柱试验方法	(35)
附录 G 污染土浸出毒性的一维半动态水槽试验方法	(38)
本标准用词说明	(43)
引用标准名录	(44)
附：条文说明	(45)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms	(2)
3	Basic requirement	(4)
4	Survey and mapping	(6)
4.1	Survey	(6)
4.2	Mapping	(6)
5	Exploration and sampling	(8)
5.1	General requirement	(8)
5.2	Workload arrangement	(8)
5.3	Drilling	(8)
5.4	Sampling	(9)
6	Site Monitoring	(11)
6.1	General requirement	(11)
6.2	Layout of groundwater monitoring well	(11)
6.3	Construction of monitoring well	(11)
6.4	Monitoring terms	(12)
7	In-situ tests	(14)
7.1	General requirement	(14)
7.2	Field quick testing	(14)
7.3	Hydrogeological parameter testing	(15)
7.4	Resistivity piezocone penetration testing	(15)
7.5	Geophysical testing	(16)
8	Laboratory tests	(17)
8.1	General requirement	(17)
8.2	Physicomechanical tests of contaminated soils	(17)
8.3	Quality assessment of soils and water	(18)
8.4	Corrosiveness assessment of soils and water	(18)
8.5	Identification of solid waste at contaminated sites	(18)
8.6	Toxicity analysis of soil leaching	(19)
8.7	Chemical analysis of gas sample at contaminated site	(19)
9	Survey results report for contaminated site	(20)

9.1	General requirement	(20)
9.2	Assessment of contaminated site	(20)
9.3	Report contents	(20)
Appendix A	Sample storage methods	(22)
Appendix B	Structure of monitoring well	(25)
Appendix C	Method for determination of hydrogeological parameters	(27)
Appendix D	Evaluation of soil permeability using CPTU	(28)
Appendix E	Test method for leaching toxicity with a parallel batch extraction procedure	(31)
Appendix F	Test method for leaching toxicity with up-flow percolation column procedure	(35)
Appendix G	Test method for leaching toxicity with one dimensional semi-dynamic tank leaching procedure	(38)
	Explanation for wording in this code	(43)
	List of quoted standards	(44)
Addition:	Explanation of the provisions	(45)

1 总 则

1.0.1 为了在污染场地岩土工程勘察工作中贯彻执行国家有关工程技术与环境管理政策，做到技术先进合理，保护生态环境与人体健康，保证工程经济安全，特制定本标准。

1.0.2 本标准适用于工业、矿山等污染场地的勘察，不适用于放射性污染和致病性生物污染场地的勘察。

1.0.3 污染场地勘察应查明工程地质与水文地质条件、污染现状，提供污染场地治理修复相关的资料完整、数据翔实、设计参数正确的岩土工程勘察报告。

1.0.4 污染场地勘察除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1

污染场地勘察 investigation of contaminated sites

针对污染场地,采用岩土工程勘察技术方法,查明并分析评价场地的工程地质与水文地质条件、场地污染现状和发展趋势的工程活动。

2.0.2

环境调查 environmental site investigation

采用系统的调查方法,确定场地是否被污染及污染程度和范围的过程。

2.0.3

环境水文地质条件 environmental hydrogeological condition

场地水文地质要素与环境要素的综合,包括场地一定深度范围的地层分布及其渗透性,地下水的类型、埋藏条件及补给、径流与排泄条件,污染源分布及其类型,岩土和地下水污染物种类、污染程度和范围、污染途径等。

2.0.4

监测井 monitoring well

为准确把握污染场地地下水水位、环境质量和地下水体中污染物的动态变化情况而设立的井。当同时用于水文地质试验时,也称之为试验井。

2.0.5

土壤环境背景值 environmental background values of soil

指基于土壤环境背景含量的统计值。通常以土壤环境背景含量的某一分位值表示。土壤环境背景含量是指在一定时间条件下,仅受地球化学过程和非点源输入影响的土壤中元素或化合物的含量。

2.0.6

场地土壤污染风险筛选值 risk screening values for soil contamination

指在特定土地利用方式下,场地土壤中污染物含量等于或者低于该值的,对人体健康的风险可以忽略;超过该值的,对人体健康可能存在风险,应当开展进一步的详细调查和风险评估,确定具体污染范围和风险水平。

2.0.7

污染场地风险评估 risk assessment for contaminated site

在场地岩土工程勘察与环境调查的基础上,评估污染物危害人体健康风险及生态系统的概率或水平与程度。

2.0.8

地下水污染羽 **groundwater plume**

指污染物随地下水移动从污染源向周边移动和扩散时所形成的污染区域。

2.0.9

危险废物 **hazardous wastes**

指列入国家危险废物名录或者根据国家规定的危险废物鉴别标准和鉴别方法认定的具有腐蚀性、毒性、易燃性、反应性和感染性等一种或一种以上危险特性，以及不排除具有以上危险特性的固体废物。

2.0.10

浸出毒性 **leaching toxicity**

固体废物、污染土遇水浸沥，浸出的有害物质迁移转化并污染环境，这种危害特性称为浸出毒性。

2.0.11

表观扩散系数 **observed mass diffusivity**

描述浓度梯度引起的污染物从固相质量迁移进入液相的宏观速率。

2.0.12

水动力弥散系数 **hydrodynamic dispersion coefficient**

表征一定流速下水对污染物弥散能力的参数，包括机械弥散系数与分子扩散系数。

3 基本规定

3.0.1 污染场地岩土工程勘察工作应包括下列内容：

- 1 对不同用地类型，明确场地土壤环境背景值；
- 2 查明场地地层结构、含水层分布、地下水补给、径流与排泄条件及水位动态特征等；
- 3 查明场地污染源特征与分布，岩土及地下水中污染物种类、浓度及分布；
- 4 提供满足场地环境评价、污染治理修复设计所需的地质、水文地质参数及污染物运移参数；
- 5 分析和评价场地环境岩土工程相关问题，并提出防治建议。

3.0.2 污染场地勘察前，应进行资料收集、现场踏勘与调查。

3.0.3 污染场地岩土工程勘察宜分初步勘察与详细勘察两个阶段进行。当已经判定场地存在污染且污染种类明确时，可合并勘察阶段，直接进行详细勘察。

3.0.4 勘察工作量应根据下列条件确定：

- 1 已有环境调查、水文地质与工程地质资料；
- 2 不同勘察阶段要求；
- 3 场地未来开发利用要求；
- 4 场地水文地质与工程地质条件；
- 5 污染物基本特征；
- 6 治理修复方法。

3.0.5 初步勘察应满足下列要求：

- 1 初步勘察方法应以现场调查测绘为主，配合少量的勘探测试；
- 2 通过调查场地水文地质与工程地质、气象、环境资料，分析场地污染的可能性；
- 3 初步查明地层结构，地下水类型与动态特征；
- 4 初步查明场地污染源特征与分布、岩土体中污染物种类、浓度，初步判断场地污染途径及污染区域。

3.0.6 详细勘察应满足下列要求：

- 1 详细勘察应在初步勘察的基础上，结合工程特点、可能采取的治理修复措施，有针对性布置勘察工作量；
- 2 查明场地地层结构、地下水类型、补给、径流与排泄条件、渗流场特征；
- 3 查明场地污染源特征与分布，明确场地岩土体中污染物类型和浓度，分析污染物运移途径，确定污染范围；
- 4 确定场地水文地质和岩土工程参数及污染物运移参数；
- 5 分析污染场地治理及土地开发建设相关环境岩土问题，提出修复与处理方案的建议。

- 3.0.7 当场地环境水文地质条件复杂或污染治理修复设计有特殊要求时，应进行专项勘察。
- 3.0.8 应结合场地区域水文地质与工程地质及环境资料，根据不同的勘察阶段选择勘察方法。
- 3.0.9 污染场地勘察全过程应进行监测工作。监测井宜与场地环境调查监测和水文地质试验井相结合。
- 3.0.10 污染场地勘察评价应包括环境评价和岩土工程评价。环境评价宜结合场地风险评估需要进行。
- 3.0.11 污染场地勘察工作全过程应有环境和职业健康安全保护计划，应采取相应的防护措施，保障作业人员健康安全。
- 3.0.12 污染场地勘察工作全过程应防止污染扩散，并采取措施避免废弃物扩散。

4 调查与测绘

4.1 调查

- 4.1.1 污染场地调查应包括资料收集、现场踏勘、人员访谈。
- 4.1.2 污染场地资料收集应包括场地及邻近区域的下列资料：
 - 1 已有场地环境调查资料；
 - 2 工业污染场地的场地利用与变迁、污染成因资料；
 - 3 岩土工程勘察资料；
 - 4 人类活动、生态环境等相关的自然和社会信息；
 - 5 道路、建筑物、地下管线和其他设施资料。
- 4.1.3 工业污染场地的场地利用与变迁、污染成因资料收集应包括：
 - 1 场地利用的基本资料；
 - 2 场地变迁的基本资料；
 - 3 场地主要设施分布的资料；
 - 4 生产活动中所产生固体废物，尤其是涉及有毒有害化学品等情况的资料；
 - 5 其他反映污染成因的资料。
- 4.1.4 现场踏勘范围应以场内为主，当场地周边存在潜在污染源或污染点时，应扩大踏勘范围。
- 4.1.5 现场踏勘应了解地形地貌、周边环境条件、水系分布、场地使用历史和现状，初步判断污染状况。
- 4.1.6 人员访谈应重点针对资料收集和现场踏勘所涉及的疑问，进行资料补充与考证。

4.2 测绘

- 4.2.1 污染场地地质条件复杂时应进行水文地质与工程地质测绘，对地质条件简单的场地可用调查代替测绘。
- 4.2.2 污染场地测绘内容应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的相关规定，并可针对下列内容进行专门测绘：
 - 1 包气带特性；
 - 2 含水层易污染特征；
 - 3 环境水文地质问题。
- 4.2.3 污染场地水文地质工程地质测绘的比例尺和精度应符合下列要求：
 - 1 测绘的比例尺宜为 1:500~1:10 000，当场地岩体和水文地质条件复杂时，应选用大比例尺；
 - 2 地质界线和测绘点的精度在图上不应低于 3mm。

4.2.4 测绘观测点的布设应符合下列要求：

- 1 在地质构造线、地层接触线、岩性分界线、标准层位和每个地质单元体应布置地质观测点；
- 2 地质与水文地质观测点的密度应根据场地的地貌、地质条件、成图比例尺并结合场地污染源分布状况等具体要求确定，并应具代表性；
- 3 地质观测点应利用露头。当露头少时，应根据具体情况布置一定数量的探坑或探槽；水文地质观测点应利用已有的井点、泉点等。当井点较少时，宜按本标准第 6.3 节的规定布置相应的地下水监测井；
- 4 观测点的定位应根据精度要求选用适当方法；地质构造线、地层接触线、岩性分界线、软弱夹层、地下水露头和不良地质作用等特殊地质观测点，宜用仪器定位。

4.2.5 测绘时可利用不同时期的遥感影像追溯污染场地的演变过程，并应进行现场检验。检验点数宜为测绘点数的 30%~50%。

5 勘探和取样

5.1 一般规定

- 5.1.1 勘探方法应根据场地条件、地层结构、污染类型、取样、监测及测试要求等确定，勘探方法包括钻探、井探、槽探等。
- 5.1.2 当污染物埋藏较浅且位于地下水位以上时，可采用槽探、井探进行识别观察，宜采用快速检测方法判断污染物类型及浓度。
- 5.1.3 勘探过程中应采取隔离、保护措施，避免污染扩散、交叉污染及二次污染。
- 5.1.4 勘探记录除应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的相关规定外，尚应记录污染土及孔隙液颜色、气味状态等感官鉴别结果。
- 5.1.5 勘探完成后，应采用无污染、低渗透材料及时回填封孔。
- 5.1.6 污染土取样技术应根据样品质量要求和污染物特征，分别选择压入式、贯入式、旋转式。

5.2 勘探工作量布置

- 5.2.1 初步勘察勘探取样点平面布置应符合下列要求：

- 1 污染源明确的场地宜采用专业判断布点法，场地中每个污染区中央或有明显污染的部位应布置勘探取样点，且污染区内布置不应少于 3 个勘探取样点；

- 2 污染源不明的场地宜采用网格布点法，勘探取样点间距应取（40~100）m，场地面积较小或工程地质及水文地质条件复杂时，宜取 40m；当场地面积小于 10 000m² 时，勘探取样点间距不宜超过 40m；

- 3 针对污染源不明的场地，当场地面积小于等于 5 000m² 时，场地勘探点数量不应小于 3 个；当场地面积大于 5 000m² 时，场地勘探点数量不应小于 5 个。

- 5.2.2 详细勘察的勘探取样点平面布置，应根据初步勘察得到的污染场地分布情况，结合污染物在土层中的迁移特征和污染场地使用类型与修复方法综合确定，并应符合下列要求：

- 1 在初步划定的污染区内，勘探取样点间距宜小于 20m，污染边界附近应加密；
 - 2 未污染的区域应布置不少于 2 个对照勘探取样点；
 - 3 当场地地貌单元复杂、土层变化大时，宜增加勘探取样点。

- 5.2.3 勘探取样点的深度应根据初步勘察判断的污染源位置与污染物迁移特征和地层结构等确定，应穿过潜在污染土层，并进入不透水层或弱透水层不小于 1m。

- 5.2.4 各类勘探点共用布设时宜综合使用需求确定勘探点深度。

5.3 钻探

- 5.3.1 钻进方法和工艺宜选用回转法、振动法、锤击法、冲洗法等。

5.3.2 钻进方法与工艺应根据地层结构、岩土体类型、污染物特征、取样质量要求、地下水位、环境敏感性等因素进行选择。

5.3.3 钻探需钻穿污染含水层下伏隔水层时，宜采用多级套管、分层灌浆回填的钻探方式。

5.3.4 钻探孔径应分别满足建井、取样或测试等要求，终孔直径不宜小于 0.25m。

5.3.5 钻探工作中冲洗液的使用应符合下列规定：

- 1 地下水位以上钻探工作不应使用冲洗液；
- 2 地下水位以下的地层中使用冲洗液时应使用套管，套管之间的螺纹连接处不应使用润滑油；
- 3 用于环境质量分析的土试样取样的钻探不应使用冲洗液。

5.3.6 监测井钻探宜采用清水钻进或跟管钻进。

5.4 取 样

5.4.1 采取试样宜包括土样、水样与气样。取样应进行详细记录与标识，包括样品编号、日期、取样点坐标、周边基本环境信息、取样时刻气象气候信息、深度、水位标高等信息，并收集现场取样图片。

5.4.2 取样深度应根据土层结构、地下水条件和污染物运移条件确定。

5.4.3 用于土的物理力学性质的取样数量应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的相关规定。

5.4.4 用于潜在污染物检测的土、地下水试样的取样间距应为 (0.5~2.0) m，并应符合下列规定：

- 1 3m 深度以内取样间距应为 0.5m，(3~6) m 取样间距应为 1m，6m 以下取样间距宜为 2m；
- 2 当含水层厚度小于 3m，可不分层采取地下水试样；当含水层厚度大于等于 3m，宜按含水层上、中、下部分别取样，取样数量不应小于 3 个。

5.4.5 用于污染物检测的样品，取样前宜采用现场快速测试方法进行筛选。

5.4.6 污染物检测现场取样应符合下列要求：

1 取样过程中应防止交叉污染，每采取完一个位置的样品，应将取样工具清洗干净，非扰动取样器应为一次性取样器；

2 土样和地下水样品应按 10% 的比例采取现场平行样，每批次送检样品设置不少于 1 个现场空白样和 1 个旅行空白样。

5.4.7 用于污染物项目检测的试样保存要求、单项检测用量要求应符合本标准附录 A 的规定。

5.4.8 土试样采取方法应符合下列规定：

- 1 表层土试样采取可采用槽探方式，深层土试样的采集可采用压入式、贯入式、旋转式取土器；
- 2 土试样采取应使用清洁的取样工具；
- 3 采取挥发性有机物、半挥发性有机物污染的土试样时，应采用无扰动的取样方法和工具；
- 4 使用现场压入装备采用压入法取样时，应采用专门的薄壁取土器，并采用专用机械进行静压直推连续取样，贯入速率宜保持为 0.1m/s；
- 5 取土器中衬管材质不应与土试样中潜在污染物发生化学反应；

6 土试样的保存和运输应避免因保存不当引起土试样污染或失效，并应符合本标准附录 A 的规定。

5.4.9 地下水试样采取方法应符合下列规定：

1 浅层地下水试样可采用渗（试）坑方式采取。

2 采用地下水监测井采取地下水样时，应符合下列规定：

1) 取样前应进行洗井，可采用便携设备测试水量、pH、氧化还原电位（ORP）、温度、电导率及浊度等。连续 3 次的测试误差小于 10%后，方可取样；

2) 当地下水监测井内存在非水相液体时，宜在地下水洗井取样前利用油水界面仪测试非水相液体的厚度，并利用可调节取样深度的取样器采取非水相液体样品；

3) 取样洗井结束后应于 2h 小时内采取地下水样品，取样设备宜与洗井设备一致，宜采用低流量泵进行取样，取样深度不应小于 0.5m，流速应控制在 200mL/min 以下，管线中应无气泡存在。当采取含挥发性污染物的水样时不应使用蠕动泵。当采用贝勒管取样时，宜降低对水体的扰动，出水口宜配置流速调节阀，使水样经由调节阀转移至样品保存瓶内；

4) 试样采取时应先采取分析 VOCs 的地下水样品，试样应装满样品瓶并形成凸液面后拧紧瓶盖并缠上封口膜，瓶内不应存在顶空及气泡。

5.4.10 对场地附近潜在受场地污染影响的河流、湖泊、坑塘，应分别采取 1 份地表水试样进行环境质量检测。

5.4.11 对有机污染场地或具有显著恶臭、化学品味道、刺激性气味、异常气味场地宜进行包气带土层中的气样采取，并应符合下列规定：

1 气体采取宜采用主动式抽取法；

2 宜通过气体采取装置在已有或设置的监测井中采取，气体采取装置应包括真空箱、取样袋、抽气泵、气体导管和阀门等；

3 正式采取前，应用被测气体将取样袋充洗 3 次，取样结束后应将取样袋避光保存，并在 24h 内完成室内试验测试。

5.4.12 用于污染场地土和水的腐蚀性评价的试样取样点位应根据初步污染状况调查结果、用地类型进行确定，并应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的相关规定。

5.4.13 用于固体废物物的鉴别分析试样的取样点位、取样深度及取样方法应根据场地类型、详细勘察、现场测试成果等综合确定，并应符合现行行业标准《工业固体废物采样制样技术规范》HJ/T 20 的相关规定。

6 监 测

6.1 一 般 规 定

- 6.1.1 污染场地监测应结合场地环境调查和风险评估、治理修复与工程验收等各阶段的目标和要求进行。
- 6.1.2 污染场地监测应在初步勘察阶段开始，并根据需要在详细勘察阶段增加监测点布置数量、监测项目的工作量。
- 6.1.3 污染场地监测范围应为前期环境调查初步确定的场地边界范围。
- 6.1.4 监测对象应包括岩土、地下水、地表水及场地气体，监测工作宜与场地环境调查相结合。
- 6.1.5 场地深层地下水监测应采用监测井。
- 6.1.6 地下水监测的取样频次宜每月取样 1 次，每年丰水期及枯水期至少应取样 1 次；当遇到特殊情况或监测发现污染加剧，应随时增加监测地下水的取样频次。地表水与地下水的监测频次宜保持一致。
- 6.1.7 场地内或其附近分布地表水时，每个地表水体至少应设置 1 个地表水监测点。

6.2 地下水监测井布置

- 6.2.1 地下水监测井应根据地下水流向进行布设，可在地下水流向上游、污染区域和下游分别布设。当不能判明地下水流向时，应增加井点数量。
- 6.2.2 地下水监测井深度应根据监测目的、含水层类型和厚度分析确定，并应进入底板弱透水层不小于 0.5m，且不得穿透下卧底板弱透水层。
- 6.2.3 当涉及多层地下水时，应针对可能污染的含水层分层设置监测井。
- 6.2.4 试验井点布设宜根据场地风险评估和修复设计的需要，并与监测井点结合。
- 6.2.5 初步勘察时，地下水监测井点数量不应少于 3 个，且宜布置在潜在污染区或附近。
- 6.2.6 当确认场地地下水污染时，地下水监测井点布置应满足查明地下水污染范围的要求，数量不应少于 9 个，其中污染区内地下水流向上游、两侧至少应各有 1 个地下水监测井点，地下水流向下游应有 2 个地下水监测井点，地下水污染区外的上游、下游、两侧应各有 1 个地下水监测井点；当污染含水层之下另有含水层时，至少应设置 1 个地下水监测井点。
- 6.2.7 当场地内或其附近地表水污染且需分析影响时，应监测地表水流量及水质，监测布点可按现行行业标准《地表水和污水监测技术规范》HJ/T 91 执行。

6.3 监测井构造与施工

- 6.3.1 监测井包括井孔、井管、填充料与井台，井管自上而下为井壁管、滤水管、沉淀管，井身结构应符合本标准附录 B 的规定。

6.3.2 井管口径、材质及连接方式应符合下列规定：

1 井管的口径应满足洗井和取样要求，宜选择 DN50mm 的井管；当该井同时作为抽水试验或修复用井时，宜选择不小于 DN100mm 的井管；钻探成孔直径宜超过井管直径 100mm，且围填滤料厚度不宜小于 50mm；

2 井管材质应满足不污染井内水质和监测井强度的要求；

3 井管连接不应使用有机黏接剂。

6.3.3 滤水管应置于监测目标含水层中，滤水管长度应根据地下水中污染物特征和水位动态确定，滤水管的孔隙大小应能防止 90% 的滤料进入井内。

6.3.4 监测井填充材料自下而上分别为主要滤料层、次要滤料层、止水层、回填层，各层设计与填充应符合下列规定：

1 主要滤料层位于滤水管周围，应填充至超过滤水管上部 60cm。滤料宜选用石英砂，滤料的粒径宜根据目标含水层土壤的粒径确定；

2 次要滤料层填充厚度宜大于 20cm，填料宜选用直径为 0.1mm~0.2mm 的石英砂；次要滤料层的平均粒径 D₅₀ 应为主要滤料层平均粒径 D₅₀ 的 1/3~1/2，但不应大于 0.833mm；

3 止水层填料厚度应大于 60cm，填料宜选用直径为 0.6cm~1.2cm 的球状或扁平状膨润土颗粒；

4 回填层可用水泥浆、含 5% 膨润土的水泥浆或膨润土浆回填至地表，固定井管并防止地表渗漏影响监测；

5 填料过程应选择合适的填充工艺，避免出现架桥、卡锁或填充不实等现象。

6.3.5 当钻探引入外来浆液或产生较多钻屑时，下管前应进行清孔。

6.3.6 监测井可根据实际情况设为平台式或隐蔽式监测井。监测井管套顶盖可加锁，井外设标示牌并注明相关信息。

6.3.7 监测井结构记录可按本标准附录 B 执行。

6.3.8 监测井设置后应进行成井洗井，洗井标准为总悬浮固体含量小于 5mg/L 或出水浊度小于 5NTU。

6.4 监测项目

6.4.1 污染场地中土的监测项目应包括土的污染物浓度、基本理化性质指标，并应符合下列规定：

1 污染物浓度监测的必测项目及选测项目应根据勘探和取样成果确定，并应符合现行国家标准《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》GB 36600 的相关规定；

2 基本理化性质指标宜包括土的含水率、pH、氧化还原电位、电阻率等。

6.4.2 污染场地地下水的监测项目应包括水文地质项目及现行国家标准《地下水质量标准》GB/T 14848 所分类的感官性状、一般化学指标及非常规指标，并应符合下列规定：

1 水文地质项目应包括地下水水位、水量、水温，并宜包括流速、流场变化等；

2 一般化学指标及非常规指标应根据勘探和取样成果、地下水质量评价、场地风险评价及治

理修复要求综合确定，可在现行国家标准《地下水质量标准》GB/T 14848 所规定的分类指标基础上酌情增加；

3 地下水的基本理化性质指标应包括电导率、氧化还原电位、溶解氧。

6.4.3 污染场地地表水的监测项目的确定原则应符合现行行业标准《地表水和污水监测技术规范》HJ/T 91 的相关规定，并根据地下水的监测项目综合确定。

6.4.4 污染场地气体监测项目应根据勘探和取样成果、场地风险评价及治理修复要求综合确定。

7 现场测试

7.1 一般规定

- 7.1.1 污染场地可采用现场快速测试、多功能孔压静力触探和工程物探等方法，初步查明污染土分布范围及地下管线等地下设施位置。
- 7.1.2 宜根据场地条件及污染特征选取工程物探方法，解译成果应通过钻探取样验证。
- 7.1.3 当场地治理修复设计需要提供污染场地岩土力学参数时，宜采用原位测试方法进行岩土的物理力学性质测试，测试应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定。
- 7.1.4 孔压静力触探可用于污染场地土层渗透参数测试。
- 7.1.5 电阻率静力触探可用于污染场地污染范围划分，应通过电阻率测试值与背景值对比确定。
- 7.1.6 应利用试验井进行水文地质试验，测定场地水文地质参数。

7.2 现场快速测试

- 7.2.1 污染场地土的现场快速测试应符合下列规定：

- 1 土的 pH/电导率的现场测定，可使用便携式 pH/电导率测试仪法。土的氧化还原电位的现场测试，可采用电位法；
- 2 土的重金属污染元素快速定位和识别可采用手持式 X 射线荧光光谱仪法；
- 3 中挥发性有机物污染程度初步评价可采用便携式挥发性有机物测定仪法、比长式检测管法、电化学传感器法或便携式傅里叶红外仪法。

- 7.2.2 污染场地地表水、地下水的现场快速测试，应符合下列规定：

- 1 浊度、色度、悬浮物、余氯、总氯、化合氯、二氧化氯、溶解氧等水质参数的快速测定，可用便携式多参数水质测定仪法、便携式水质检测箱法；
- 2 地下水、地表水、生活污水和工业废水中氰化物、氟化物、硫化物、二价锰、六价铬、镍、氨氮、苯胺、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、磷酸盐以及化学需氧量等污染物的快速测定，可采用真空检测管-电子比色法；
- 3 水中游离氯和总氯的现场快速测定，可采用 N，N-二乙基-1，4-苯二胺滴定法或 N，N-二乙基-1，4-苯二胺分光光度法；

- 4 水中溶解氧的现场快速测定，可采用便携式溶解氧测定仪法。

- 7.2.3 污染场地气体的现场快速测定应符合下列规定：

- 1 挥发性有机物、无机有害气体的定性半定量现场快速测定，可用便携式傅里叶红外仪法；
- 2 有毒有害气体的定性半定量现场测定，可用比长式检测管法或电化学传感器法。

7.3 水文地质参数原位测试

7.3.1 勘探孔钻遇地下水时应量测初见水位和稳定水位，并应利用地下水监测试验井统一量测稳定水位和水温，量测读数至厘米。多层含水层的水位量测，应采取止水措施，将被测含水层与其他含水层隔开，分别测定。

7.3.2 场地的水文地质参数可按本标准附录 C 测定，包括地下水位、地下水流速、渗透系数、给水度、储水系数、水动力弥散系数等。

7.3.3 测定地下水流向可用几何法，量测点不应少于 3 个，且同时量测水位，测点（孔）呈三角形分布，测点间距按岩土渗透性、水力梯度和地形坡度确定，宜为 50m~100m；测定地下水流速可利用指示剂或示踪剂，采用化学方法、比色法、电解法、充电法、放射性示踪法。

7.3.4 场地含水层渗透和固结参数可采用孔压静力触探试验确定。具体可按本标准附录 D 进行。

7.3.5 当需要采用水文地质试验确定场地水文地质参数时，宜选择对地层和地下水扰动小的注水试验，包括钻孔注水试验、渗水试验，工程需要时可进行钻孔抽水试验，并应符合下列规定：

1 注水试验可在试坑或钻孔中进行，试验深度较大时可采用钻孔注水试验，并应符合现行行业标准《水利水电工程注水试验规程》SL 345 的相关规定。

2 通过抽水试验测定水文地质参数时，除应符合国家现行标准《供水水文地质勘察规范》GB 50027、《水利水电工程钻孔抽水试验规程》SL 320 的相关规定外，尚应符合下列要求：

1) 抽水试验应控制流量，宜采用低流量进行；

2) 抽水试验过程中宜同时于抽水试验井中采取地下水样品进行水质检测，地下水样品应于抽水试验开始前、降深稳定时、试验结束前、水位恢复后分别采取 1 份。

7.3.6 需要确定地下水污染羽范围、污染治理修复设计的专项勘察应提供含水层的水动力弥散系数。水动力弥散系数的原位测试方法宜根据场地水文地质条件、污染源的分布以及污染源与地下水的相互关系确定，可采用示踪剂法。示踪剂种类不应与潜在污染物发生化学反应。

7.4 电阻率静力触探测试

7.4.1 电阻率静力触探测试适合于黏性土、粉性土与砂土类污染场地。

7.4.2 电阻率探头应符合下列要求：

1 采用四电极环形排列方式。

2 电阻率测试量程为 $(0 \sim 10\,000) \Omega \cdot m$ 。

3 电极之间塑料绝缘体的电阻率不应小于 $20M\Omega \cdot m$ 。

4 定期校准和标定。

7.4.3 土层电阻率背景值测试点不应少于 2 个。

7.4.4 污染土与地下水的分布范围应根据电阻率实测值与背景值对比确定。

7.4.5 电阻率静力触探贯入装备、数据采集和现场测试方法可按本标准附录 D 执行。

7.5 工程物探测试

7.5.1 采用工程物探方法进行污染场地调查时，应选择对污染成分敏感、异常场与背景场差异明显的方法。

7.5.2 高密度电阻率法、电阻率层析成像法可用于重金属污染、有机物污染等场地的测试。现场测试时应符合下列要求：

- 1 应根据场地条件和测试要求选用不同的方法；
- 2 高密度电阻率法的剖面长度宜大于 6 倍最大目标探测深度；
- 3 电阻率层析成像布孔深度宜大于最大目标探测深度与 1 倍测孔间距之和；相邻测孔间距不宜大于测孔深度的 1/2。

7.5.3 探地雷达法可用于石油烃类污染场地测试。现场测试应符合下列要求：

- 1 天线频率选择应根据工作条件和探测深度确定，宜通过现场试验确定；
- 2 同等条件下宜选择屏蔽天线；
- 3 现场测试时应避开强干扰物。

7.5.4 污染场地可联合采用多种物探方法，通过综合判释，分析污染分布范围和污染程度，并结合取样检测，进行验证确定。

8 室内分析与试验

8.1 一般规定

- 8.1.1 室内分析与试验的对象应包括土、地表水、地下水、场地气样、场地固体废物。
- 8.1.2 室内分析与试验内容应根据污染场地类型、用地类型、场地勘察阶段、风险评价和污染场地处治与管理目标综合确定，并宜包括下列内容：
- 1 土的物理力学性质、土的腐蚀性、土的环境质量；
 - 2 地表水及地下水的环境质量及水的腐蚀性；
 - 3 固体废物鉴别；
 - 4 土的浸出毒性；
 - 5 气样化学分析试验。
- 8.1.3 当室内试验中使用有毒、有害化学品时，溶液配制、样品预处理及试验过程应在通风橱中进行，并应按规定要求佩戴防护器具或防毒面具，操作时应避免接触皮肤和衣物。
- 8.1.4 对现行国家标准或行业标准没有做出规定的项目，可使用经方法验证能够达到准确度和精密度要求的其他方法。
- 8.1.5 室内试验所产生废液与废物、余留试样应分类收集、设置明显标志、妥善保管，并定期回收处理。

8.2 污染场地土的物理力学性质试验

- 8.2.1 污染场地土的物理力学性质试验内容和方法应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021、《土工试验方法标准》GB/T 50123 的相关规定。
- 8.2.2 对重金属、有机物、强酸、强碱及其他对人体健康安全存在潜在风险的污染土进行液限及塑限测试时，宜采用现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 所规定的液限、塑限联合测定法。
- 8.2.3 污染土的渗透试验应符合下列规定：
- 1 试验所用的主要仪器设备、试样制备、试验步骤应采用现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 的相关规定；
 - 2 应采用污染场地取样处地下水或相近性质的水作为渗透溶液；
 - 3 渗透过程中应收集并测定渗出液的体积、pH、电导率和污染物浓度。
- 8.2.4 室内渗透试验的试验终止条件应符合下列规定：
- 1 连续 4 次所测定的渗透渗入量与渗出量的比值应在 0.75~1.25 之间；
 - 2 初步获取渗透系数大于 10^{-8} cm/s 时，至少连续 4 次所测定渗透系数的变化幅度应小于等于 25%；初步获取渗透系数小于 10^{-8} cm/s 时，至少连续 4 次所测定渗透系数的变化幅度应小于 50%；

渗透系数随试验时间应无明显单调升高或降低趋势；

3 测定渗入液与渗出液 pH、电导率及污染物浓度之间的相对误差小于 10%，且渗出液 pH、电导率及污染物浓度随试验时间应无明显单调升高或降低趋势；

4 累积渗出液体积与试样孔隙体积的比值不宜小于 2.0。

8.3 土和水的环境质量分析试验

8.3.1 污染场地土和水的环境质量的分析项目应根据用地类型、调查与测绘、原位试验结果等综合确定，并宜选择超出现行国家标准《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》GB 36600、《地下水质量标准》GB/T 14848、《地表水环境质量标准》GB 3838 所规定限制的项目。

8.3.2 污染场地土的环境质量分析项目的分析方法应符合现行国家标准《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》GB 36600 的相关规定。

8.3.3 地下水环境质量分析项目的分析方法应符合现行国家标准《地下水质量标准》GB/T 14848 的相关规定。

8.3.4 地表水的环境质量分析项目的分析方法应符合现行国家标准《地表水环境质量标准》GB 3838 的相关规定。

8.4 污染场地土和水的腐蚀性评价试验

8.4.1 根据污染场地污染分布空间差异、地下结构深度与材料种类，每个污染场地土和水腐蚀性试验应分别不少于 5 组。

8.4.2 污染场地土和水的腐蚀性评价的测试项目应根据场地污染源、场地既有地下构筑物及场地用途确定，并应符合下列规定：

1 污染场地中土对混凝土结构腐蚀性的测试项目包括 pH、重金属、硫酸盐（以 SO_4^{2-} 计）、氯化物（以 Cl^- 计）、阴离子表面活性剂、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、碳酸盐（以 CO_3^{2-} 计）及碳酸氢盐（以 HCO_3^- 计）；

2 污染场地中土对钢结构腐蚀性的测试项目包括 pH、氧化还原电位、极化电流密度、电阻率、质量损失；

3 污染场地中地下水对混凝土结构和钢结构腐蚀性的测试项目包括 pH、重金属、硫酸盐（以 SO_4^{2-} 计）、氯化物（以 Cl^- 计）、阴离子表面活性剂、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、碳酸盐（以 CO_3^{2-} 计）、碳酸氢盐（以 HCO_3^- 计）、侵蚀性 CO_2 、游离 CO_2 、铵盐（以 NH_4^+ 计）、苛性碱含量（以 NaOH 、 KOH 中 OH^- 含量之和计）、总矿化度、电阻率。

8.4.3 腐蚀性测试项目的试验方法、评价及分级应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的相关规定。

8.5 污染场地固体废物鉴别

8.5.1 污染场地中固体废物与非固体废物的鉴别应根据《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》、现行国家标准《固体废物鉴别标准通则》GB 34330 的相关规定进行判断。

8.5.2 凡列入《国家危险废物名录》的固体废物，属于危险废物的，不需要进行危险特性鉴别。

8.5.3 对未列入《国家危险废物名录》的固体废物，应向具有危险废物鉴别资质的机构送检，进行危险废物鉴别。

8.6 污染场地土浸出毒性试验

8.6.1 土试样的污染物浸出毒性的分析项目应根据土的环境质量分析结果、场地水文地质条件综合确定。

8.6.2 土试样的污染物浸出毒性的试验方法及试样数量应符合现行行业标准《固体废物浸出毒性浸出方法硫酸硝酸法》HJ/T 299 的相关规定。针对特殊要求，可按照下列方法进行浸出毒性试验：

- 1 基于环境 pH 影响，可按本标准附录 E 测定；
- 2 基于长期浸出累积效应及固液比影响，可按本标准附录 F 测定。

8.6.3 原状或扰动土试样的表观扩散系数应采用一维半动态浸出试验，试验方法可按本标准附录 G 测定。

8.7 污染场地气样化学分析试验

8.7.1 污染场地气样化学分析试验的种类应根据场地污染调查结果、刺激性气味、异常气味的现场辨识综合确定。

8.7.2 污染场地气样污染物浓度测定方法应按表 8.7.2 所列现行国家环境保护标准进行。

表 8.7.2 气样污染物浓度测定方法

气相污染物	测定方法	现行标准
总烃、甲烷和非甲烷总烃	直接进样-气相色谱法	HJ 604
苯可溶物	索氏提取-重量法	HJ 690
氮氧化物	非分散红外吸收法	HJ 692
	定电位电解法	HJ 693
气相挥发性有机物	气相色谱-质谱法	HJ 734
硝基苯类化合物	气相色谱法	HJ 738
	气相色谱-质谱法	HJ 739
有机氯农药	气相色谱-质谱法	HJ 900
	气相色谱法	HJ 901
多氯联苯	气相色谱-质谱法	HJ 902
	气相色谱法	HJ 903
多氯联苯混合物	气相色谱法	HJ 904

9 成果报告

9.1 一般规定

- 9.1.1 勘察报告应在整理、检查和分析原始资料的基础上，对污染场地进行环境评价和岩土工程评价。
- 9.1.2 勘察报告宜对治理修复方法和场地再开发利用提出建议。
- 9.1.3 勘察报告应资料完整、数据准确、图表清晰、分析评价合理、结论正确。
- 9.1.4 勘察报告编制应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的相关规定。

9.2 污染场地评价

- 9.2.1 污染场地环境评价应结合场地用地类型、场地污染风险筛选值和再开发利用要求进行。
- 9.2.2 污染场地环境评价内容应包括污染物类型、空间分布、浓度及其超标率、毒性特征，污染对岩土体工程性质的影响，污染对工程建设的影响等。
- 9.2.3 污染场地评价应结合污染分布和程度、场地再开发利用要求，对治理修复的必要性、修复方法和设计参数提出建议。
- 9.2.4 污染场地岩土工程评价应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的相关规定。

9.3 报告内容

- 9.3.1 勘察报告应包括下列内容：

- 1 项目概况；
- 2 勘察目的、任务和要求、依据的技术标准；
- 3 勘察方案、工作量、勘察方法和程序；
- 4 场地地形、地貌、水文、气象概况；
- 5 场地利用与污染历史；
- 6 场地地层、岩土性质及分布、岩土物理力学性质；
- 7 地下水埋藏、分布、水位与渗流场特征，水文地质参数；
- 8 场地污染特征；场地土壤和地下水中污染物类型、浓度及空间分布；场地内或其附近分布地表水的污染类型和浓度；污染物运移路径、运移特点；
- 9 污染场地环境评价和岩土工程评价：场地土壤和地下水污染状况评价，可能影响治理修复设计、工程施工的环境岩土问题预测分析与预防建议。

- 9.3.2 成果报告宜包括下列图表：

- 1 勘探点平面布置图；

- 2 污染源分布图；
- 3 钻孔柱状图；
- 4 工程地质剖面图；
- 5 水文地质剖面图；
- 6 地下水流场图；
- 7 土体与地下水中污染物分布图；
- 8 监测井结构图；
- 9 现场原位试验成果图表；
- 10 室内试验成果图表；
- 11 治理修复方法建议参数表。

附录 A 样品保存方法

A.0.1 土试样的保存要求应按表 A.0.1 执行。

表 A.0.1 土试样的保存要求

测试项目	容器	最少取样量/g	保存时间/d	保存条件
金属(汞和六价铬除外)	G、P	250	180	4℃低温条件避光保存
汞	G	250	28	4℃低温条件避光保存
砷	G、P	250	180	4℃低温条件避光保存
六价铬	G、P	250	1	4℃低温条件避光保存
氰化物	G、P	250	2	4℃低温条件避光保存
挥发性有机物	G(棕色)	120	7	装满装实并用聚四氟乙烯薄膜密封瓶盖密封, 4℃低温条件避光保存
半挥发性有机物	G(棕色)	250	10	装满装实并用聚四氟乙烯瓶盖密封, 4℃低温条件避光保存
难挥发性有机物	G(棕色)	250	14	4℃低温条件避光保存
总石油烃(C6~C9)	G(棕色)	120	14	装满装实并用聚四氟乙烯薄膜密封瓶盖密封, 4℃低温条件避光保存
总石油烃(C10~C36)	G(棕色)	250	14	装满装实并用琥珀密封瓶盖密封, 4℃低温条件避光保存

注: G 为硬质玻璃瓶; P 为聚乙烯瓶。

A.0.2 水试样的保存要求应按表 A.0.2 执行。

表 A.0.2 水试样的保存要求

测试项目	容器	最少取样量/mL	保存时间/d	容器洗涤	保存条件
锰、铁、镍、铜、锌、镉、铅、钼、钴、铍、钨、锑、银、铊、砷	G、P	250	14	Ⅲ	1L 水试样中加 10mL 浓 HNO ₃ , 使 pH < 2, 4℃低温条件避光保存
汞、硒	G、P	250	14	Ⅲ	1L 水试样中加 10mL 浓 HCl, 使 pH < 2, 4℃低温条件避光保存
六价铬	G、P	250	1	Ⅲ	加 NaOH, 使 pH=8~9
硫化物	G、P	250	1	I	水样充满容器。1L 水试样加 NaOH 至 pH=9, 加入 5%抗坏血酸 5mL, 饱和 EDTA 3mL, 滴加饱和 Zn(Ac) ₂ , 至胶体产生, 常温避光

表 A.0.2 (续)

测试项目	容器	最少取样量/mL	保存时间/d	容器洗涤	保存条件
总氰化物	G、P	250	0.5	I	添加少量固体氢氧化钠和固体硝酸镉作为保存剂, 使 pH > 9
F ⁻ 、Br ⁻	G、P	250	14	I	4℃低温条件避光保存
SO ₄ ²⁻ 、Cl ⁻	G、P	250	30	I	4℃低温条件避光保存
硫酸盐、溴化物、氯化物	G、P	250	30	I	1℃~5℃冷藏
总磷、溶解磷酸盐	P	250	30	I	-20℃冷冻
碘化物	G	500	30	I	1℃~5℃冷藏
氟化物	P (聚四氟乙烯除外)	250	14	I	1℃~5℃冷藏
氨氮	G、P	250	1	I	加 H ₂ SO ₄ , 使 pH < 2
挥发性有机物	G(棕色)	40mL × 2	7	I	0.008%Na ₂ S ₂ O ₃ (对挥发性芳香烃加 HCl 使 pH < 2), 用聚四氟乙烯薄膜密封瓶盖密封, 1℃~5℃冷藏, 避光保存
半挥发性有机物	G(棕色)	1 000	7	I	0.008%Na ₂ S ₂ O ₃ , 用聚四氟乙烯瓶盖密封, 1℃~5℃冷藏, 避光保存
总石油烃	G(棕色)	1 000	30		加 HCl 或 H ₂ SO ₄ , 使 pH < 2, 现场萃取不能用水样冲洗取样容器, 不能水样充满容器
石油类	G(棕色)	500	7	II	加 HCl, 使 pH < 2
有机磷及有机氯农药	G(棕色)	1 000	1	I	不能用水试样冲洗取样容器, 不能水试样充满容器, 聚四氟乙烯瓶盖密封, 1℃~5℃冷藏, 避光保存
多氯联苯	G(棕色)	1 000	7		尽可能现场萃取。不能用水试样冲洗取样容器, 如果样品加氯, 取样前加 80mgNa ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O 1L, 聚四氟乙烯瓶盖密封, 1℃~5℃冷藏, 避光保存
多环芳烃	G(棕色)	1 000	7		尽可能现场萃取。如果样品加氯, 取样前加 80mgNa ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O 1L, 聚四氟乙烯瓶盖密封, 1℃~5℃冷藏, 避光保存

注 1: G 为硬质玻璃瓶; P 为聚乙烯瓶。

注 2: I、II、III、IV 分别表示 4 种洗涤方法:

I——无磷洗涤剂洗 1 次, 自来水洗 3 次, 蒸馏水洗 1 次, 阴干或吹干;

II——无磷洗涤剂洗 1 次, 自来水洗 2 次, (1+3) HNO₃ 荡洗 1 次, 自来水洗 3 次, 蒸馏水洗 1 次, 阴干或吹干;

III——无磷洗涤剂洗 1 次, 自来水洗 2 次, (1+3) HNO₃ 荡洗 1 次, 自来水洗 3 次, 去离子水洗 1 次, 阴干或吹干;

IV——铬酸洗液洗 1 次, 自来水洗 3 次, 蒸馏水洗 1 次, 阴干或吹干。

A.0.3 气试样的保存要求应按表 A.0.3 执行。

表 A.0.3 气试样的保存要求

测试项目	容 器	保存时间	保存条件	单项检测用量
挥发有机物	内壁惰性化处理的不锈钢取样罐	20d	常温避光保存	400mL
半挥发性有机物	取样筒用经正己烷清洗过的铝箔包裹,然后放在样品保存筒内,两端用特氟龙盖密封	如不能在 24h 内分析,将滤膜和吸附剂放置于专用的密封样品盒内	4℃低温条件避光保存	
多氯联苯	玻璃取样筒	7d	4℃低温条件避光保存	350m ³ (标准状态); 浓缩定容体积 1.0mL
		24h	常温避光保存	
气态汞	用聚乙烯/聚四氟乙烯塞子塞紧两端的样品富集管(含金膜的石英管),置于聚乙烯自封袋/专用具塞玻璃管中保存	30d		0.06m ³ (进气 60min); 1.44m ³ (进气 24h)
酚酸酯类	玻璃取样筒	7d	4℃低温条件避光保存	144m ³ (标准状态)
五氧化二磷	过氧乙烯滤膜	7d	2℃~5℃低温条件避光保存	5m ³
硝基苯类化合物	硅胶取样管	7d	4℃低温条件避光、干燥剂保存	0.025m ³
有机氯农药	玻璃取样筒	24h	常温避光保存	350m ³
		7d	4℃低温条件避光保存	
总烃、甲烷和非甲烷总烃	用惰性密封头密封的玻璃注射器/气袋	用玻璃注射器保存 8h	常温避光保存	1mL
		用气袋保存 48h		
		仅测定甲烷 7d		

附录 B 地下水监测井井身结构

B.0.1 地下水监测井井身结构可见图 B.0.1。

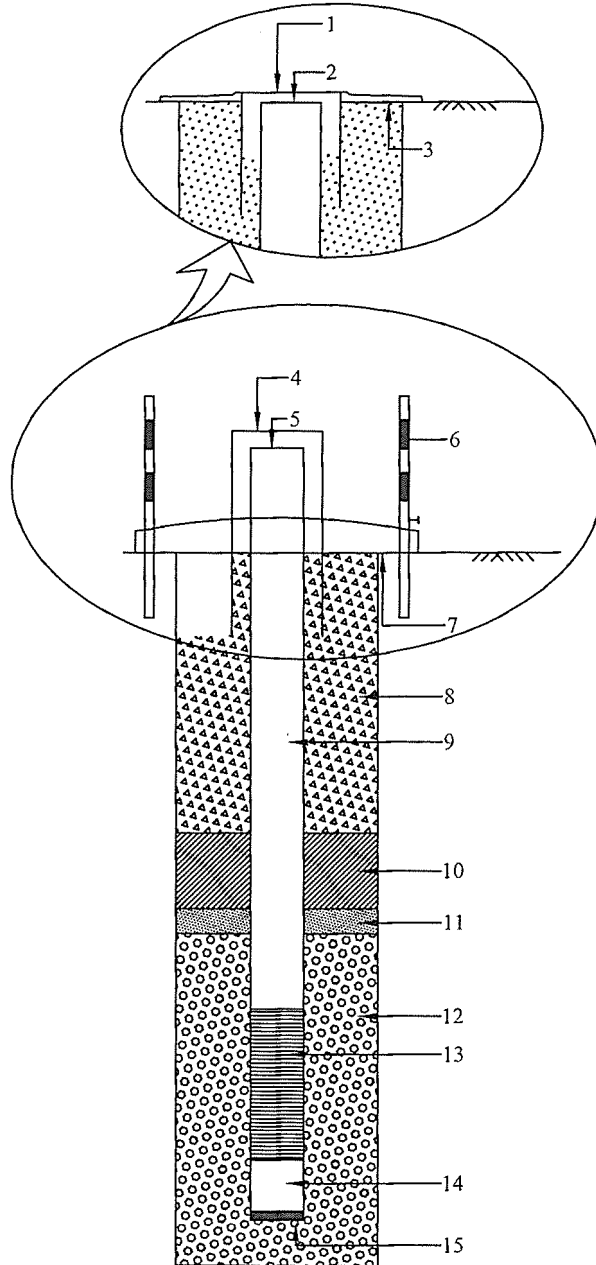


图 B.0.1 地下水监测井井身结构图

- 1—加锁的防水手孔盖；2、5—防水井盖；3、7—具轻微排水坡度的水泥保护座（15cm）；
 4—顶盖加锁的不锈钢保护套管；6—警示柱（50cm）；8—回填材料（至少 50cm）；9—井管；
 10—主要止水层（至少 60cm）；11—次要滤料层（至少 20cm）；12—主要滤料层（至少 60cm）；
 13—滤水管；14—沉淀管（视情况而定）；15—井堵

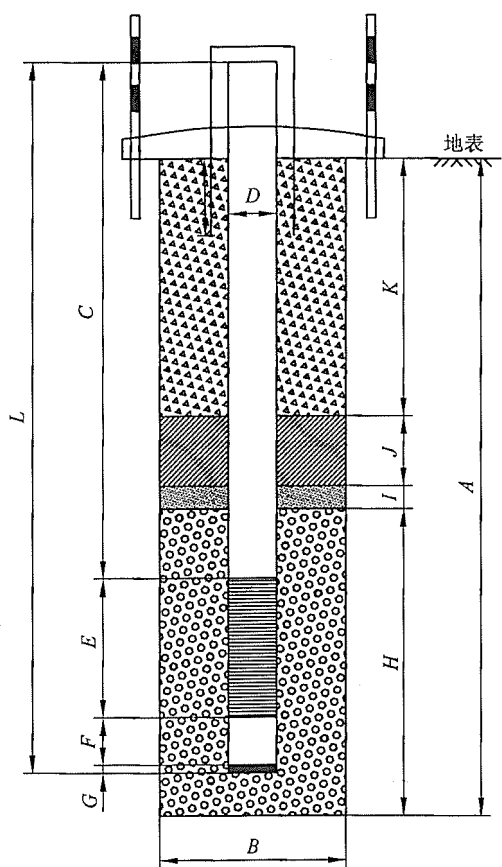
注 1：图未按比例绘制；

注 2：除带“至少”字样的标注尺寸外，其他尺寸为建议尺寸。

B.0.2 监测井结构信息记录可按表 B.0.2 执行。

表 B.0.2 监测井结构信息表

项目信息	工程编号			工程名称		
	地点			建井日期		
	周边情况					
基本信息	井编号			钻孔编号		
	井顶管标高			井坐标	X____, Y____;	
	地下水水位标高					
	实管数量/根	3m	2m	1m	0.5m	0.3m
监测井结构信息			监测井结构示意图			
井台类型						
A—钻井深度	地表下至____m					
B—井孔直径	____mm					
监测井结构						
C—井壁管总长	____m					
井管型号						
距地表高度	地表上____m					
D—井管直径	____mm					
E—滤水管总长	____m					
滤水管型号						
开筛区间	井顶下至____m					
筛孔尺寸						
F—沉淀管	地表下至____m					
沉淀管型号						
G—井底封	地表下至____m					
井底封材质						
H—主要滤料层	地表下至____m					
滤料类型						
滤料粒径						
均匀系数 C_u						
I—次要滤料层	地表下至____m					
滤料粒径						
J—止水层	地表下至____m					
止水材料类型						
K—回填层	地表下至____m					
回填材料类型						
L—监测井井深	井顶下至____m					
备注（设置至承压含水层的监测井须另制表补充说明）						
高程系统：	平面坐标系：					
施工单位：	施工人员签字：					



（未按比例绘制）
注：井底下——从管口算起。

孔位略图

附录 C 水文地质参数测定方法

表 C 水文地质参数测定方法

测定方法		测定参数	应用范围
抽水试验	不带观测孔抽水	渗透系数	初步测定含水层的渗透性参数
	带观测孔抽水	渗透系数、影响半径、给水度、释水系数	准确测定含水层的各种参数
压水试验	钻孔压水试验	透水率、渗透系数	探查岩层的渗透性
渗水试验	试坑法	渗透系数	表层砂土的渗透系数
	单环法		地下水位以上的砂土、卵砾石等土层
	双环法		地下水位以上的粉土层和黏性土层
注水试验	钻孔常水头法	渗透系数	渗透性比较大的粉土、砂土和砂卵砾石层，或不能进行压水试验的风化、破碎岩体、断层破碎带等透水性较强的岩体
	钻孔变水头法	渗透系数	地下水位以下粉土、黏性土层或渗透系数较小的岩层
室内渗透试验	常水头试验	渗透系数	粗粒土
	变水头试验	渗透系数	细粒土
孔压静力触探测试		渗透系数、孔隙水压力	黏性土
示踪剂弥散系数试验		水动力弥散系数	示踪剂类型包括放射性同位素示踪剂、氯离子及染色剂等
充电法		地下水流速	适用于地下水位埋深不大于 5m 的潜水

附录 D 基于孔压静力触探 (CPTU) 的场地 土层渗透系数测试方法

D.1 准备工作

D.1.1 孔压静力触探测试前的情况调查、资料收集应包括下列内容:

- 1 工程类型、测试孔位分布和孔深要求;
- 2 测试作业区地形、交通和供电情况;
- 3 场地地层概况及勘探资料;
- 4 作业区及附近地下管线、人防工程等情况;
- 5 作业区范围内高压电线、强磁场源等。

D.1.2 测试用电缆应按探杆顺序一次穿杆连接, 电缆长度应满足测试要求。

D.1.3 孔压过滤环应采用室内真空抽吸法进行饱和, 抽真空时间不得少于 24h。

D.1.4 测试作业前, 应检查使用的探头是否符合使用要求, 并核对探头标定记录, 调零试压。

D.1.5 探头在贯入前, 应采用注射器对孔压传感器的应变腔注入脱气液体 (硅油或甘油) 进行饱和。

D.1.6 探头、电缆、数据采集仪和深度编码器的接插与调试, 应符合孔压静力触探仪的使用规定。

D.1.7 孔压静力触探主机的安放位置应场地平整。主机就位后, 应调平机座并使用水平尺校准, 使之与反力装置衔接、锁定; 当孔压静力触探主机不能按指定孔位安装时, 应记录移动后的孔位和地面高程。

D.2 贯入装备与数据采集

D.2.1 贯入系统应满足下列要求:

- 1 贯入力应满足触探设计深度的需要;
- 2 额定起拔力不应小于额定贯入力的 120%;
- 3 贯入和起拔时施力作用线应垂直机座基准面, 垂直度公差宜为 0.5°;
- 4 施力作用线偏离铅垂线的角度不应大于 2°;
- 5 反力装置宜采用地锚或压重, 提供的反力不应小于额定贯入力, 且应限制主机在贯入中相对地表移动;
- 6 自探头锥底起算的 1 000mm 长度范围内, 探杆直径不得大于探头直径。

D.2.2 数据采集仪应符合下列规定:

- 1 电源的额定电压和电流应满足工作需要;
- 2 非线性度小于等于 40ppm, 温漂小于等于 0.6 μ V/°C;
- 3 工作环境温度为-10°C~45°C;

- 4 静力触探完成后，数据采集仪应具有调零复位功能；
- 5 数据采集间隔沿深度不得大于 5cm。

D.2.3 测试数据采集内容应包括下列内容：

- 1 贯入深度；
- 2 锥尖阻力；
- 3 侧壁摩阻力；
- 4 孔隙水压力；
- 5 电阻率；
- 6 孔压消散测试等。

D.2.4 测试数据保存格式宜与数据后处理软件相匹配。

D.3 现场测试

D.3.1 现场测试应同时测试锥尖阻力、侧壁摩阻力、孔隙水压力及贯入深度。

D.3.2 在贯入过程中应采取措施保证匀速贯入和探杆的垂直度要求。

D.3.3 贯入操作过程应匀速，速率应为 (1.2 ± 0.3) m/min，且有保证匀速贯入的控制装置。

D.3.4 在正常贯入过程中不应提拔探杆。

D.3.5 孔压消散试验应符合下列规定：

- 1 孔压消散试验前，宜查明地下水位情况；
- 2 当贯入到预定深度时，应从探头停止贯入之时起记录不同时刻的孔压值；在测试过程中，不得松动、碰撞及对探杆施加外力；
- 3 孔压消散试验数据的记录时间间隔应符合表 D.3.5 的规定；
- 4 当测试场地地下水位未知时，至少应有一个触探孔做到孔压消散达到稳定值为止。

表 D.3.5 孔压消散试验数据记录时间间隔

孔压消散时间阶段/min	记录时间间隔/(秒/次)
0~1	0.5
1~10	1
10~100	2
> 100	5

D.3.6 当孔压静力触探孔位附近已有其他勘探孔时，应将触探孔布置在距原勘探孔 1.1m 以外的范围。当需与其他勘探孔结果进行对比试验时，两孔间距不宜大于 2m，并应先进行孔压静力触探，然后进行其他勘探。

D.3.7 软黏土中孔压静力触探测试应做孔压消散试验。孔压消散试验的持续时间不应少于超静孔隙水压力消散达到 50% 的时间。

D.3.8 孔压静力触探现场测试遇下列情况之一时，应停止贯入：

- 1 孔压静力触探主机负荷达到其额定荷载的 120%;
- 2 贯入时探杆出现明显弯曲;
- 3 贯入时探杆出现明显的倾斜, 或者探头偏离铅垂线的角度达到 10°;
- 4 反力装置失效;
- 5 探头负荷达到额定荷载;
- 6 记录仪器显示异常。

D. 3. 9 贯入结束起拔探杆、取回探头, 应符合下列规定:

- 1 探头拔出后, 探头的侧壁摩擦筒应能进行 360°旋转;
- 2 探头拔出地面后, 应清理探头;
- 3 探头应避免阳光直射, 获取基线读数, 并将此次基线读数与初始基线读数进行对比;
- 4 孔压静力触探测试完成后应封孔。

D. 3. 10 孔压静力触探测试移位时, 探头的应变腔应重新进行饱和, 并应更换经饱和的孔压过滤环。

D. 4 渗透系数确定

D. 4. 1 黏性土水平向固结系数可根据孔压消散试验结果按式 (D.4.1) 计算:

$$c_h = \frac{t^* \cdot r^2 \cdot \sqrt{I_r}}{t_{50}} \quad \dots\dots\dots (D.4.1)$$

式中:

c_h ——水平向固结系数, cm^2/s ;

r ——探头半径, 取值 17.85mm;

I_r ——刚度指数, $I_r = 1000 \frac{G_0}{S_u}$;

式中:

G_0 ——小应变动剪切模量, MPa;

S_u ——不排水抗剪强度, kPa。

t_{50} ——超孔压消散达 50%时对应的时间, s;

t^* ——相应于 t_{50} 的时间因数, 取值 0.245。

D. 4. 2 黏性土水平向渗透系数可根据孔压消散试验结果按式 (D.4.2) 计算:

$$k_h = (251t_{50})^{-1.25} \quad \dots\dots\dots (D.4.2)$$

式中:

k_h ——水平向渗透系数, cm/s ;

t_{50} ——超孔压消散达 50%时对应的时间, s。

附录 E 基于目标 pH 的污染土浸出毒性平行批处理试验方法

E. 0. 1 基于目标 pH 的污染土浸出毒性平行批处理试验方法流程可按图 E.0.1 执行。

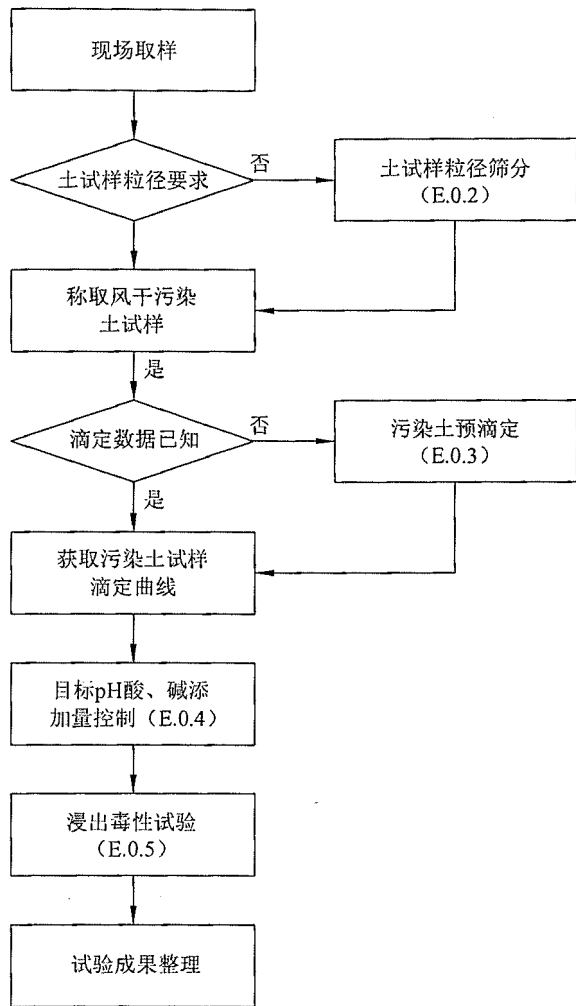


图 E.0.1 基于目标 pH 的污染土浸出毒性平行批处理试验方法

E. 0. 2 根据风干污染土的含水率、粒度分析，应确定试验所需的污染土质量，并将污染土封存于密闭容器，宜对污染土进行粉碎、研磨。对潜在有机污染土，不应采用烘干法干燥污染土。污染土质量、容器体积、浸出试验的振荡时间应根据表 E.0.2 确定，容器不得与污染土中潜在污染物、酸、碱发生化学反应。

表 E.0.2 污染土试样质量与容器体积

粒径/mm（85%通过率）	干土质量/g	密闭容器体积/mL	振荡时间/h
0.3	20	250	24
2.0	40	500	48
5.0	80	1 000	72

E.0.3 污染土的预滴定试验应按以下步骤进行：

- 1 根据风干污染土含水率，取干土质量为 10g 的风干污染土试样；
- 2 按照 100mL : 10g 干土 (mL/0.1g) 的液固比，制备 5 组土-去离子水混合体，分别进行平行滴定试验；
- 3 分别采用硝酸、氢氧化钾溶液进行污染土试样预滴定，确定每次滴定所消耗酸当量（每克干土所需氢离子摩尔质量，mmol/g）或碱当量（每克干土所需氢氧根离子摩尔质量，mmol/g），并测定滴定后污染土试样 pH，滴定的 pH 范围宜达到 2~13；
- 4 建立污染土试样 pH 与滴定酸、碱当量的关系，绘制成污染土试样滴定曲线。

E.0.4 制备标准酸、碱添加物，确定酸、碱添加量，应按下列步骤进行：

- 1 制备硝酸溶液，作为标准酸添加物，酸（硝酸）浓度可取为 2mmol/mL；
- 2 制备氢氧化钾溶液，作为标准碱添加物，碱（氢氧化钾）浓度可取为 1mmol/mL；
- 3 根据污染土试样滴定曲线，确定 0.1g/mL 的固液比控制要求下污染土试样目标 pH 分别为 13.0、12.0、10.5、9.0、8.0、7.0、5.5、4.0 及 2.0 时所需酸当量或碱当量，并计算所对应需要添加的酸、碱添加量（即硝酸体积、氢氧化钾体积）及去离子水体积，去离子水体积计算中应计及风干污染土试样中孔隙水体积，计算过程可按表 E.0.4 进行。

E.0.5 浸出毒性试验应按下列步骤进行：

- 1 根据污染土试样粒径，按照表 E.0.2 确定浸出毒性试验所需污染土试样的质量及密闭容器体积；
- 2 根据表 E.0.4 所计算确定去离子水体积，制备 9 个相同的污染土试样-去离子水混合物，储存于密闭容器；
- 3 根据表 E.0.4 所确定目标 pH 下需酸当量或碱当量，向 9 个污染土试样-去离子水混合物中分别滴入硝酸或氢氧化钾溶液，作为浸提样；
- 4 向去离子水中滴入硝酸或氢氧化钾溶液，制备无污染土试样条件下目标 pH 为 13.0、7.0、2.0 的浸提液，作为试验质量控制样；
- 5 对室温（20±2）℃状态下 9 个浸提样、3 个质量控制样进行翻滚振荡，振荡速率应控制为 30rpm，振荡时间应根据表 E.0.2 确定；
- 6 振荡后浸提样、质量控制样静置 20min，采用离心方法进行固液分离，离心转速可取为 4 000rpm，离心时间可取为 10min；
- 7 测定固液分离后浸提液的 pH、电导率（EC）、氧化还原电位（ORP），测定工作宜在固液分离完成后 15min 内完成，并应避免浸提液与空气中 CO₂ 发生中和；
- 8 对浸提液采用 0.45μm 孔径滤膜进行过滤处理，测定污染物浓度，测定方法应符合本标准 8.3.3 的相关规定；
- 9 可按表 E.0.5 进行试验记录和成果整理。

表 E.0.4 污染土试样目标 pH 控制计算

浸出 编号	目标 pH	土试样质量/g	干土质量/g	孔隙水体积/mL	酸/碱当量/(mmol/g)	酸/碱浓度/(mmol/mL)	酸/碱添加量/mL	液固比/(mL/g)	去离子水体积/mL
		(1)	(2)	$(3) = \frac{(1)-(2)}{\rho_w}$	(4)	(5)	$(6) = \frac{(4) \times (2)}{(5)}$	(7)	$(8) = (2) \times (7) - (3) - (6)$
T01	13.0								
T02	12.0								
T03	10.5								
T04	9.0								
T05	8.0								
T06	7.0								
T07	5.5								
T08	4.0								
T09	2.0								
P01	质量控制样	0	0						
P02	质量控制样	0	0						
P03	质量控制样	0	0						

注 1: P01~P03 质量控制样分别采用去离子水、去离子水加入最大酸添加量、去离子水加入最大碱添加量;

注 2: 酸/碱当量——试验要求固液比条件下, 单位质量污染土试样达到目标 pH 所需消耗的酸/碱量 (mmol/g), 通过污染土试样滴定曲线确定;

注 3: 酸添加量——2mol/L 硝酸溶液体积 (mL);

注 4: 碱添加量——1mol/L 氢氧化钾溶液体积 (mL);

注 5: ρ_w ——孔隙水密度, 可取 1g/mL。

表 E.0.5 基于目标 pH 的污染土浸出毒性平行批处理试验记录和成果整理

污染土试样编号		浸出编号	
污染土试样基本信息	取样点位及取样深度:		
	污染特征 (污染种类、污染浓度等):		
	保存条件:		
	土的分类:		
	天然含水率:		
污染土试样质量	g	目标 pH	
酸/碱浓度	mmol/L	酸/碱添加量	mL
液固比	mL/g	去离子水体积	mL
浸提液化学性质	pH:	EC:	ORP:
浸提液污染物	污染物种类	浸出浓度/(mg/L)	测试方法

试验时间:

试验员:

附录 F 污染土浸出毒性的土柱试验方法

F.0.1 对污染土进行风干处理，测定风干污染土的比重、含水率、级配，宜对污染土进行粉碎、研磨，并过 8 目筛（2.36mm）。对潜在有机污染土，不应采用烘干法干燥污染土。

F.0.2 试验装置示意图见图 F.0.2，包括土柱试验腔室、浸提液供给装置、浸提液储液罐、浸出液收集罐、气压供给装置等，并应符合下列规定：

- 1 试验装置所使用材料不应与污染土试样发生化学反应，并应耐酸、碱腐蚀；
- 2 土柱试验腔室，应为圆柱形、顶底两端可密封腔室，直径应大于 20 倍的污染土试样最大粒径；
- 3 浸提液供给装置可采用流量可控的蠕动泵或注射泵，溶液泵送管材应采用惰性材料，应耐酸、碱腐蚀；
- 4 当污染土试样受到浸提液中溶解氧影响时，可向浸提液中通入氮气以置换氧；
- 5 当需要碱性或其他空气敏感类型的浸提液时，可在浸出液收集前用氮气对其收集罐进行净化。

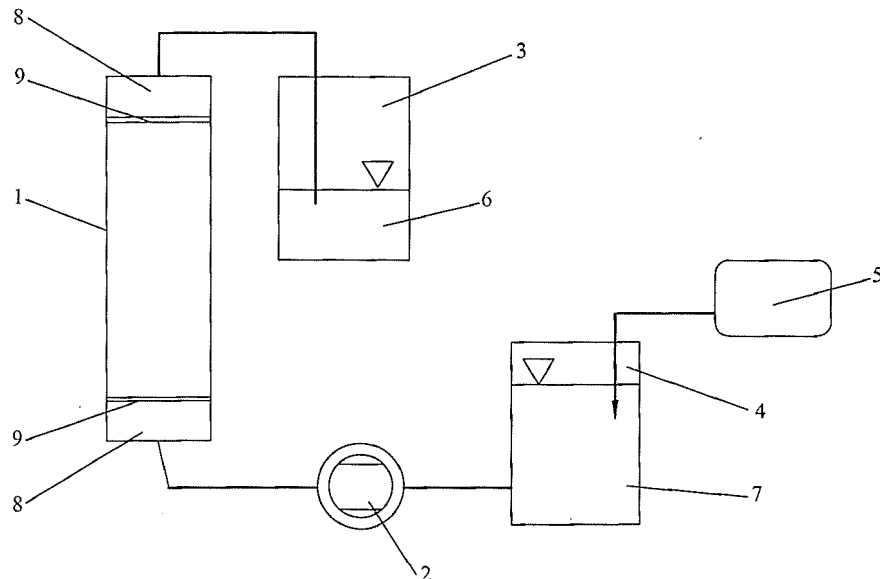


图 F.0.2 污染土浸出毒性的土柱试验装置示意图

1—土柱试验腔室；2—浸提液供给装置；3—浸出液收集罐；4—浸提液储液罐；
5—气压供给装置；6—浸出液；7—浸提液；8—透水石；9—滤纸

F.0.3 土柱试验腔室装样应符合下列规定：

- 1 根据场地工程地质条件，应设计污染土试样干密度，将污染土试样分层填筑入，污染土试样的干土质量不宜小于 300g，分层次数宜为 5 次，在土柱试验腔室顶底两端预留长度为 1cm 空间，

并测定填入质量；

2 在顶底两端预留空间依次放入滤纸、透水石，透水石可由厚度为 1cm 的清洁石英砂代替；

3 污染土试样、顶底两端透水石应完全填充土柱试验腔室；

4 污染土试样应进行饱和。饱和操作应符合现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 的相关规定；

5 根据污染土试样干密度、土柱试验腔室体积，应计算饱和污染土试样中孔隙水总体积，确定土柱试样腔室中的初始液固比 L/S ；

6 土柱试样腔室底部浸提液流入端依次与浸提液供给装置、储液罐、气泵连接，顶部浸出液流出端与收集罐连接，并应排除管路中气体。

F.0.4 浸提液可采用浓度为 1mmol/L 的氯化钙溶液、地下水或与地下水化学性质一致的人工合成水溶液。

F.0.5 浸提液供给装置的浸提液流量应根据浸出液流量进行调节，浸出液的每日流量宜取为 (0.75 ± 0.25) 倍的液固比 L/S 。第 i 次收集浸出液时液固比及累积液固比可按式 (F.0.5-1) 和式 (F.0.5-2) 计算，并记录于表 F.0.5：

$$(L/S)_i = \frac{V_e^i}{m_d} \quad \dots\dots\dots (F.0.5-1)$$

$$\sum_{i=1}^n (L/S)_i = \sum_{i=1}^n \frac{V_e^i}{m_d} \quad \dots\dots\dots (F.0.5-2)$$

式中：

V_e^i ——第 i 批次收集浸出液的体积，mL；

m_d ——污染土试样的干土质量，g；

$(L/S)_i$ ——第 i 次浸出液收集的液固比；

n ——收集总数，次。

表 F.0.5 污染土浸出毒性的土柱试验浸出液及液固比记录

试样编号	取样信息			
土试样信息	含水率：	颗粒粒径：		土的分类：
浸出液收集批次/次	土试样干土质量/g	浸出液体积/mL	阶段性液固比/(mL/g)	累积液固比/(mL/g)
	(1)	(2)	(3)= $\frac{(2)}{(1)}$	$\sum(3)$

试验时间：

试验员：

F.0.6 持续进行浸出毒性试验，每当收集浸出液的体积达到孔隙水总体积时，应进行化学性质测定，测定内容包括潜在污染物浓度、pH、电导率、氧化还原电位等，测定工作宜在收集完成后 15min 内完成，浸出液不应与空气中 CO_2 发生中和。用于污染物浓度测定的浸提液水试样的保存应符合本

标准附录 A 的相关规定。

F.0.7 当累积的浸出液体积达到 10 倍的孔隙水总体积时，可判定浸出毒性试验达到终止条件。

F.0.8 浸出毒性试验记录可按表 F.0.8。

F.0.9 试验成果整理应包括以下内容：

- 1 浸出液中污染物浸出浓度与累积液固比的关系；
- 2 污染土试样中污染物累积浸出量与累积液固比的关系。

表 F.0.8 污染土浸出毒性的土柱试验记录

土试样编号		土试样浸出编号	
土试样基本信息	取样点位及深度：		
	污染特征（污染种类、污染浓度等）：		
	保存条件：		
	土的分类：		
	天然含水率：		
浓度测试方法			
土试样颗粒级配		土试样干土质量（1）	g
土试样含水率	%	土柱直径/高度	mm
试验周期	天	浸出液收集总数	次
浸出液收集批次：第 1 批次			
液固比（2）	mL/g	累积液固比	mL/g
浸出液化学性质	pH：	EC：	ORP：
浸出液污染物种类	浸出浓度/（mg/L）	浸出量/（mg/kg）	累积浸出量/（mg/kg）
	（3）	（4）=（2）×（3）	（5）=（4）
浸出液收集批次：第 2~n 批次			
液固比	mL/g	累积液固比	mL/g
浸出液化学性质	pH：	EC：	ORP：
浸出液污染物种类	浸出浓度/（mg/L）	浸出量/（mg/kg）	累积浸出量/（mg/kg）
	（6）	（7）=（2）×（6）	（8）=（7）+∑（5）

试验时间：

试验员：

附录 G 污染土浸出毒性的一维半动态水槽试验方法

G.0.1 污染土浸出毒性的一维半动态水槽试验方法流程可按图 G.0.1 执行。

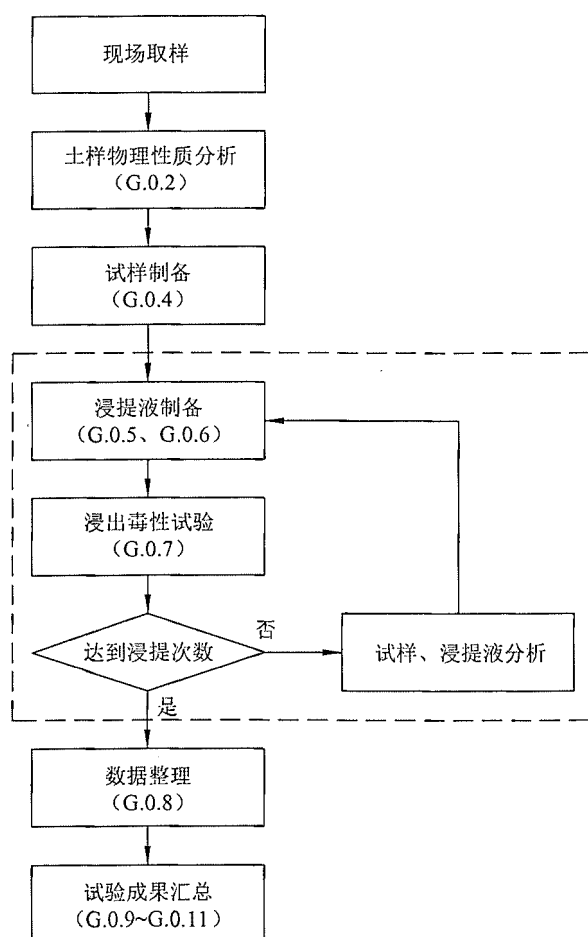


图 G.0.1 污染土浸出毒性的一维半动态水槽试验流程图

G.0.2 污染土应进行风干处理，粉碎、研磨后过取颗粒粒径 $\leq 2\text{mm}$ 部分，并测定风干污染土的比重、含水率、级配、土中污染物含量。对潜在有机污染土，不应采用烘干法干燥污染土试样。

G.0.3 浸出试验的工具包括污染土试样模具、浸提液盛放容器，并应符合下列规定：

1 污染土试样模具形式，见图 G.0.3，应根据场地水文地质条件和污染土试样的浸出毒性路径确定，并应能满足污染土试样与浸提液的三维或一维接触。可自立、块体污染土试样可不使用污染土试样模具固定；

2 污染土试样模具的材质不得与污染土、浸提液发生化学反应；

3 模具容积应恰好放置土试样，内径和高度应大于 50mm；

4 浸提液盛放容器的容积应满足置入模具的要求，侧壁与模具间距宜小于 5mm，并宜采用透

明玻璃容器；

5 模具上部应预留倒入浸提液的空间，浸提液的液面距污染土试样接触面的高度应大于 50mm。

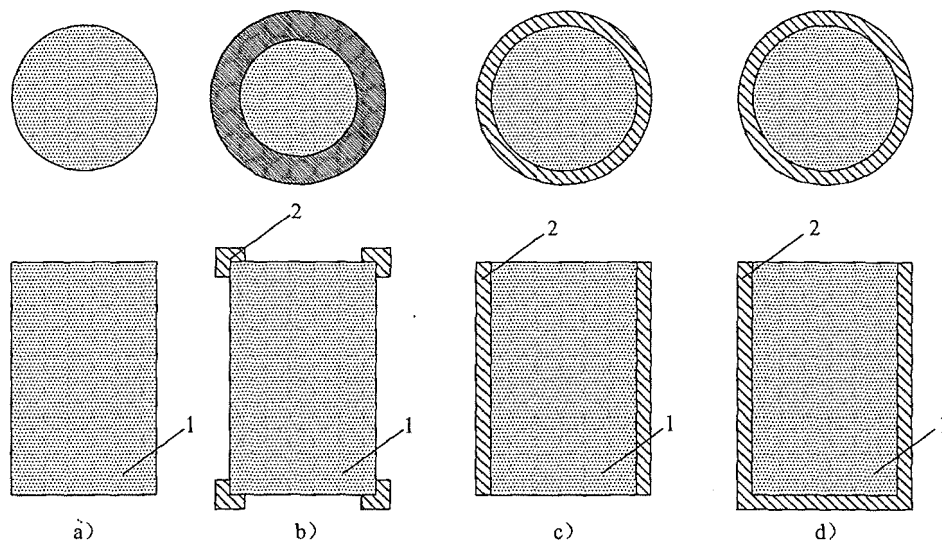


图 G.0.3 污染土试样模具形式

a) 可自立、呈块体的污染土试样；b) 需确保自立的呈块体污染土试样；c) 顶、底双面与浸提液接触的呈块体或散粒体污染土试样；d) 单面与浸提液接触的呈块体或散粒体污染土试样

1—污染土试样；2—模具

G.0.4 试验装样应符合下列规定：

- 1 根据场地地质条件，确定试样制备方法，可包括压实土试样、击实土试样、扰动土试样、散粒体土试样；
- 2 试样直径和高度不应小于 50mm；
- 3 污染土试样填筑入模具前应在模具与土试样接触面处均匀地涂一层硅脂；
- 4 根据场地地质条件，设计污染土试样干密度，将污染土试样分层填筑入，分层次数宜取 5 次，并确保填筑入污染土试样与模具内壁紧贴；
- 5 制样后应记录土试样实际直径、高度、含水率、干密度，并计算干土质量、浸提液体积与污染土试样接触的固液接触面积。

G.0.5 制备浸提液的化学性质应根据模拟工况条件下的污染场地地下水水质、降雨 pH 等确定。浸提液用于试验前应测定 pH、电导率、氧化还原电位、化学成分浓度等化学性质。

G.0.6 浸提过程中固液接触面积应控制为 $(9 \pm 1) \text{ mL/cm}^2$ 。

G.0.7 试验周期宜为 63d，浸提过程中需更换 9 次浸提液，宜取 3 个平行样，并按下列步骤进行：

- 1 将浸提液按设计体积分别注入若干个浸提液盛放容器，并缓慢将装样后的模具缓慢垂直放入第一个容器，并密封容器；
- 2 保持静置状态 2h；
- 3 从第一个容器中取出装样后的模具，迅速擦拭模具外侧、底部浸提液，测定质量、质量损失率等土试样物理性质，并将其缓慢垂直放入第二个盛有新鲜浸提液的容器，并密封容器；
- 4 测定第一个容器中浸提液的污染物浓度、pH、电导率、氧化还原电位等化学性质；

5 依次按 23h、23h、5d、7d、14d、14d、7d、14d 的静置时间，见表 G.0.7，重复（2~4）遍，记录静置时间间隔、累积静置时间内浸提液的污染物浓度、pH、电导率、氧化还原电位等化学性质；

6 浸提液化学性质的测定工作宜在 15min 内完成，浸提液不应与空气中 CO₂ 发生中和；用于污染物浓度测定的浸提液水试样的保存应符合本标准附录 A 的相关规定。

表 G.0.7 静置浸提时间表

浸提次数	静置浸提时间 Δt_i	累积浸提时间	中间时刻/d
1	2h	2h	0.021
2	23h	25h	0.429
3	23h	2d	1.482
4	5d	7d	4.121
5	7d	14d	10.200
6	14d	28d	20.399
7	14d	42d	34.646
8	7d	49d	45.433
9	14d	63d	55.780

G.0.8 试验数据宜根据表 G.0.8 进行记录，并进行下列计算：

1 第 i 次静置浸提时间间隔内单位面积上污染物的浸出量 M_i 可按式（G.0.8-1）计算：

$$M_i = \frac{c_i \times V_i}{A} \quad \dots\dots\dots (\text{G.0.8-1})$$

式中：

M_i ——第 i 次静置浸提时间间隔内单位面积上污染物的浸出量，mg/m²；

c_i ——第 i 次静置浸提时间间隔内浸提液中污染物浓度，mg/L；

V_i ——浸提液体积，L；

A ——浸提液与污染土试样的固液接触面积，m²。

2 至第 i 次静置浸提完成后污染土试样单位面积上污染物累积浸出量 M_{ti} 可按式（G.0.8-2）计算：

$$M_{\text{ti}} = \sum_{i=1}^n M_i \quad \dots\dots\dots (\text{G.0.8-2})$$

式中：

M_{ti} ——至第 i 次静置浸提完成后污染土试样单位面积上污染物累积浸出量，mg/m²；

n ——累积静置浸提次数。

3 第 i 次静置浸提时间间隔内单位面积上污染物的浸出通量 F_i 可按式（G.0.8-3）计算：

$$F_i = \frac{M_i}{\Delta t_i} \quad \dots\dots\dots (\text{G.0.8-3})$$

式中：

F_i ——第 i 次静置浸提时间间隔内单位面积上污染物的浸出通量，mg/m²·s；

Δt_i ——第 i 次静置浸提时间间隔, s。

4 至第 i 次静置浸提完成后污染土试样单位面积上污染物累积浸出通量 F_{ti} 可按式 (G.0.8-4) 计算:

$$F_{ti} = \sum_{i=1}^n \frac{M_i}{\Delta t_i} \quad \dots\dots\dots (G.0.8-4)$$

式中:

F_{ti} ——至第 i 次静置浸提完成后污染土试样单位面积上污染物累积浸出通量, $\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$;

5 第 i 次静置浸提时所对应中间时刻 $\bar{t}_i$ 可按式 (G.0.8-5) 计算:

$$\bar{t}_i = \left(\frac{\sqrt{t_{i-1}} + \sqrt{t_{i-1} + \Delta t_i}}{2} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (G.0.8-5)$$

式中:

$\bar{t}_i$ ——第 i 次静置浸提的中间时刻, s;

t_{i-1} ——第 i 次静置浸提的起始时刻, s;

Δt_i ——第 i 次静置浸提时间间隔, s。

表 G.0.8 污染土浸出毒性的一维半动态水槽试验记录

土试样编号	浸出次数		
土试样基本信息	取样点位及深度:		
	污染特征 (污染种类、污染浓度等):		
	保存条件:		
	土的分类:		
	天然含水率:		
浓度测试方法			
土试样颗粒粒径		土试样质量	g
制样方式	%	土柱直径/高度	mm
静置浸提时间		固液接触面积 (1)	m^2
累积静置浸提时间		浸提液体积 (2)	L
浸提液化学性质	新鲜浸提液	静置后浸提液	污染物浸出量/ (mg/m^2)
pH			
电导率			
氧化还原电位			
污染物浓度/ (mg/L)	(3)	(4)	(5) = [(4)-(3)] $\frac{(2)}{(1)}$

试验时间:

试验员:

G. 0. 9 试验成果整理可包括以下内容：

- 1 浸提液的污染物浓度、浸出量、累积浸出量、pH 与累积浸提时间关系；
- 2 浸提液 pH 与污染物浓度关系；
- 3 浸出通量与中间时刻关系；
- 4 累积浸出通量与累积浸提时间关系；
- 5 浸提作用下污染物自污染土试样迁移出的控制机理判别；
- 6 污染土试样中污染物浸出的表观扩散系数。

G. 0. 10 应按下列步骤判别试验条件下污染物自污染土试样迁移出的控制机理：

1 绘制横坐标为浸提中间时刻对数（ $\lg \bar{t}_i$ ）、纵坐标为累积浸出量对数（ $\lg M_{ti}$ ）的关系曲线，通过最小二乘法进行线性拟合，并获取斜率。

2 根据拟合直线斜率判别控制机理：

- 1) 直线拟合的斜率 <0.35 时，控制机理为表面侵蚀；
- 2) 直线拟合的斜率为 $0.35\sim 0.65$ 时，控制机理为扩散作用；
- 3) 直线拟合的斜率 >0.65 时，控制机理为污染物溶解。

G. 0. 11 当判别控制机理为扩散作用时，污染土试样中污染物的表观扩散系数应按式（G.0.11-1）和式（G.0.11-2）计算：

$$D^{\text{obs}} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i^{\text{obs}}}{n} \quad \dots\dots\dots (\text{G.0.11-1})$$

$$D_i^{\text{obs}} = \pi \left[\frac{M_i}{2\rho_d C_0 (\sqrt{t_{i-1} + \Delta t_i} - \sqrt{t_{i-1}})} \right]^2 \quad \dots\dots\dots (\text{G.0.11-2})$$

式中：

D^{obs} ——污染土试样中污染物的表观扩散系数， m^2/s ；

D_i^{obs} ——第 i 次浸提时间间隔内污染土试样中污染物的表观扩散系数， m^2/s ；

ρ_d ——污染土试样的干密度， kg/m^3 ；

C_0 ——试验前污染土试样中污染物含量， mg/kg 。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 标准中指定应按其他有关标准、规定执行时的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- [1] 《岩土工程勘察规范》GB 50021
- [2] 《供水水文地质勘察规范》GB 50027
- [3] 《土工试验方法标准》GB/T 50123
- [4] 《地表水环境质量标准》GB 3838
- [5] 《地下水质量标准》GB/T 14848
- [6] 《固体废物鉴别标准—通则》GB 34330
- [7] 《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》GB 36600
- [8] 《工业固体废物采样制样技术规范》HJ/T 20
- [9] 《地表水和污水监测技术规范》HJ/T 91
- [10] 《固体废物 浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法》HJ/T 299
- [11] 《环境空气 总烃、甲烷和非甲烷总烃的测定 直接进样-气相色谱法》HJ 604
- [12] 《固定污染源废气 苯可溶物的测定 索氏提取-重量法》HJ 690
- [13] 《固定污染源废气 氮氧化物的测定 非分散红外吸收法》HJ 692
- [14] 《固定污染源废气 氮氧化物的测定 定电位电解法》HJ 693
- [15] 《固定污染源废气 挥发性有机物的测定 固相吸附-热脱附/气相色谱-质谱法》HJ 734
- [16] 《环境空气 硝基苯类化合物的测定 气相色谱法》HJ 738
- [17] 《环境空气 硝基苯类化合物的测定 气相色谱-质谱法》HJ 739
- [18] 《环境空气 有机氯农药的测定 气相色谱-质谱法》HJ 900
- [19] 《环境空气 有机氯农药的测定 气相色谱法》HJ 901
- [20] 《环境空气 多氯联苯的测定 气相色谱-质谱法》HJ 902
- [21] 《环境空气 多氯联苯的测定 气相色谱法》HJ 903
- [22] 《环境空气 多氯联苯混合物的测定 气相色谱法》HJ 904
- [23] 《水利水电工程钻孔抽水试验规程》SL 320
- [24] 《水利水电工程注水试验规程》SL 345

中华人民共和国化工行业标准

污染场地岩土工程勘察标准

HG/T 20717—2019

条文说明

目 次

制订说明	(47)
1 总则	(48)
3 基本规定	(49)
4 调查与测绘	(52)
4.1 调查	(52)
4.2 测绘	(53)
5 勘探和取样	(55)
5.1 一般规定	(55)
5.2 勘探工作量布置	(56)
5.3 钻探	(57)
5.4 取样	(58)
6 监测	(63)
6.1 一般规定	(63)
6.2 地下水监测井布置	(64)
6.3 监测井构造与施工	(64)
6.4 监测项目	(66)
7 现场测试	(68)
7.1 一般规定	(68)
7.2 现场快速测试	(74)
7.3 水文地质参数原位测试	(76)
7.4 电阻率静力触探测试	(78)
7.5 工程物探测试	(80)
8 室内分析与试验	(82)
8.1 一般规定	(82)
8.2 污染场地土的物理力学性质试验	(82)
8.3 土和水的环境质量分析试验	(83)
8.6 污染场地土浸出毒性试验	(83)
9 成果报告	(84)
9.2 污染场地评价	(84)

制 订 说 明

《污染场地岩土工程勘察标准》（HG/T 20717—2019），经工业和信息化部 2019 年 12 月 24 日以第 61 号公告批准发布。

本标准制订过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了我国污染场地岩土工程勘察的实践经验，同时参考了国外先进技术法规和标准，通过研究分析总结综合，统一污染场地勘察工作的技术要求。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，《污染场地岩土工程勘察标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

1 总 则

1.0.1 本条明确了制定本标准的目的和指导思想。污染场地已成为我国重要环境问题之一，明确场地污染的程度和范围、查明场地的工程地质与水文地质条件，是进行污染场地环境管理、利用规划与再开发建设的基础。而现行工程建设领域及环保领域相关勘察或调查标准中，工程勘察规范侧重于土的物理力学性质分析、污染土和水对建筑材料的腐蚀性评价，环境调查评价导则主要从健康风险角度出发，侧重于查明污染的分布特征，因此迫切需要有综合考虑环境与岩土特点、可操作性强的勘察方法技术标准。

本标准针对我国的实际情况，借鉴国内外已有有关研究成果，经过分析总结综合，统一污染场地勘察工作的技术要求。该标准能够对污染场地勘察起到具体的规范性指导作用，是对现有场地环境调查、评价标准的有益补充。

1.0.2 本条主要阐明本标准的适用范围。随着我国工业化、城市化的快速发展，大量的污染场地包括搬迁遗留工业污染场地及加油站、废弃矿山遗留地对土壤和地下水造成严重污染。本标准重点针对工业污染场地的勘察工作。工业污染场地重点指有机污染场地和重金属污染场地，如化学原料与化学品制造、石油加工、炼焦、金属冶炼与延压加工、塑料与橡胶制造等类场地。放射性污染场地和致病性污染场地是污染场地中的特殊情况，其勘察测试方法均不同于普通工业污染场地，故特别强调本标准不适用于该二类特殊污染场地。

1.0.3 污染场地的勘察工作是污染场地风险评价、污染治理修复以及规划利用基础，通过详细掌握场地的工程水文地质特征和土壤、地下水污染特征，为场地的风险评价、制定场地治理修复方案、合理制定土地利用规划提供资料支撑。因此，污染场地勘察报告需要提供完整可靠的钻探、测试以及试验资料，正确反映场地工程水文地质条件和污染状况；采用环境岩土工程分析方法，分析场地环境岩土工程问题；对需要治理修复的场地提供必要的土工和环境安全参数，并提出修复方案建议，供建设部门参考。

1.0.4 本条明确了执行相关标准的要求。由于标准的分工，本标准不可能将场地土壤与地下水污染勘察中所遇到的所有技术问题全部包括进去。勘察人员进行工作时，还需遵守其他有关标准的规定，有关标准见引用标准名录。

3 基本规定

3.0.1 本条对污染场地的勘察内容进行了原则规定。在总结污染场地勘察工作实践的基础上，明确污染场地勘察工作是在环境调查第一阶段结束即在场址污染识别之后进行。勘察工作应充分搜集、利用场址污染识别的相关资料，对于一个具体的场址而言，勘察工作需要全面完整地获取地质、水文地质数据，掌握水文地质条件，确定污染物来源、性质，污染源的分布、物质组成和含有物等，确定土壤和地下水中污染物的类型、浓度和分布，并提供场址风险评价、污染治理修复设计所需的地质、水文地质参数及污染物运移参数。这些参数主要包括渗透系数、扩散系数、弥散系数、水力梯度等。

3.0.2 污染场地勘察应遵循岩土工程勘察程序。应重视资料收集，包括气象水文资料、场址及邻近的水文地质和工程地质资料，特别要收集环境相关资料。具体的资料收集、现场踏勘和访谈要求及规定，按本标准第4章进行实施。

3.0.3 国内2014年实施的《场地环境调查技术导则》中将污染场地管理前期的场址环境调查工作分为三个阶段：第一阶段初步识别场址污染；如有必要，则需进行以采样分析为主的第二阶段场址环境调查，进一步确认场址是否污染，并确定污染种类、程度和范围；第三阶段场址环境调查满足风险评估和土壤及地下水修复过程所需参数的调查和测试需求。

根据环保领域场址环境调查与工程建设领域污染场地勘察的经验，污染场地管理的不同阶段对勘察成果的要求也不同，在总结北京、上海、江苏、浙江等地污染场地勘察经验的基础上，本条规定污染场地勘察工作宜分阶段进行，将场址勘察分为两个阶段：初步勘察和详细勘察。初步勘察在场址污染识别之后，初步勘察明确场址存在污染或风险后方开展详细勘察工作，勘察单位要根据不同阶段的需求开展相应的勘察工作。

3.0.4 本条规定了污染场地勘察工作量确定的原则。

本条强调污染场地勘察工作量布置应在分析利用已有勘察与环境调查资料的基础上进行。针对已有工程地质与水文地质资料较为丰富的场址，可根据已有资料大致判断场址的地层与地下水分布特征，符合要求的勘探点资料应予以利用。如果勘察之前场址曾开展过环境调查或环境监测，则应收集相关资料，以了解污染源、污染物种类、污染土与地下水的分布范围。

不同污染场地和建设工程的工程性质、修复治理目标对勘察重点和技术要求有一定差异，故在布置勘察工作量前，了解建设工程的性质、修复治理目标。

3.0.5 初步勘察的目标是确定场址是否存在污染或环境风险的问题，如果有污染还应确定污染物的种类。场址是否存在污染或风险可通过与国家、地方相关标准以及环境背景对比判定。

如果场址经过初步勘察后不存在环境风险，不需要进行污染场地的详细勘察工作，但应使污染场地的勘察工作能够服务于后期的开发建设，对工程建设可能涉及的环境岩土问题进行初步分析。

3.0.6 对于前期已进行了环境调查，基本明确污染范围并初步查明污染物的种类及浓度的场地，可直接进行详细勘察；对虽未开展过场地环境调查，但污染源位置较为明确且污染物质已基本确定的场地，也可直接进行详细勘察工作。对于复杂场地，可分步骤实施不同阶段的勘察工作，分批次、逐步推进场地的勘探采样、现场测试等。

3.0.7 专项勘察非固定阶段，对于复杂场地，可分步骤实施各个阶段的专项勘察工作，对于特殊污染类型、特殊地质条件等要采用专门的勘察方法和采样方法。

3.0.8 本条对污染场地勘察工作方法选择进行了原则性规定。大部分勘察方法与常规的工程勘察类似，包括现场调查、勘探与取样、原位测试和室内土工试验等。由于污染土和地下水的特殊性，还需要采用环境领域的一些方法，包括现场采用便携式仪器进行污染物性质的快速检测和筛查、室内土与地下水样的环境指标检测等。

3.0.9 监测工作是污染场地调查和勘察区别于一般建设场地勘察的主要方面，由于场地污染后在不断运移扩散过程中，通过监测可以了解掌握场地的污染状况、范围和扩散程度等。污染场地监测在环境调查中也是重要手段，在环境调查阶段也布置监测工作，勘察工作是在环境调查第二阶段开始进行，因此，勘察阶段的监测工作应该在环境调查监测的基础上进行，以利于资料的连续性和完整性。勘察阶段要求做更多的定量评价，因此需要加大监测力度，并进行适量的水文地质试验，所以在布置监测工作时就要考虑到试验工作的需要，将监测井和试验井结合布置，以节省勘察工作量，提高勘察工作质量。

3.0.10 污染场地勘察成果评价除了满足场地岩土工程评价外，还需要对其进行环境评价，主要包括污染物类型、分布范围、污染浓度、超标情况、污染对岩土体工程性质影响以及对工程建设的影响等。这些资料也是环境部门进行污染场地风险评估的主要依据，因此，污染场地环境评价内容宜考虑风险评估的需要。

3.0.11 有别于常规岩土工程勘察，污染场地勘察的现场及室内作业人员极有可能接触到有毒有害物质。调查与测绘、勘探和取样、监测、原位测试等现场作业人员应着专门防护服、佩戴防护器具或防毒面具。例如，钻探过程中，钻具拆卸时应注意避免与污染土、水直接接触或吸入有毒有害气体；在槽探与井探施工时，需要施工人员在较为密闭的环境中进行施工作业，除应穿戴防护用具，还应采取通风等防护措施，这在有机类污染场地的勘探作业尤为重要。室内分析与测试的污染土、水以及需要使用的有毒有害化学品，有的具有强氧化性、强腐蚀性、强挥发性和刺激性，有的属于致癌物，有的属于有毒甚至剧毒化合物，对人体健康安全危害风险高。本条对操作人员的个体防护要求作出规定。常见有毒有害化学品归纳说明如下：

腐蚀性化学品：

- 1) 溴酸钾-溴化钾溶液具有腐蚀性。硝酸、盐酸、氢氟酸、高氯酸、过氧化氢具有强氧化性、强腐蚀性、强挥发性和刺激性，热的高氯酸与有机物接触易爆炸，因此消解后的溶液必须冷却后再加入高氯酸。

对人体健康有害化学品：

- 2) 四氯乙烯、丙酮、二氯甲烷、乙醚、戊烷、氟化钠、正己烷、挥发性卤代烃、氯苯类化

合物、乙腈、二硫化碳、浓硫酸等对人体健康有害。

3) 三氯甲烷为具麻醉作用和刺激性的有机溶剂，吸入蒸气有害。

致癌化学品：

4) 铍、砷、镉等为剧毒致癌物。多环芳烃、亚硝胺类化合物、乙撑硫脲属于致癌物。部分多氯联苯属于强致癌物，有毒，具有致癌、致畸、致突变效应，避免入口和接触皮肤。

有毒化学品：

5) 正己烷、硝磺草酮、灭多威和灭多威胍、甲苯、丙烯基硫脲、3, 3'-二氨基联苯胺、酚类化合物属于有毒化合物。

6) 乙醚为低沸点、易燃和具麻醉作用的有机溶剂，使用时周围应无明火，并在通风橱内操作，室温较高时，样品和乙醚宜先置冰水浴中降温后，再尽快进行萃取操作。

7) 氨基甲酸酯类农药、苯氧羧酸类除草剂属于有毒有机物，实验操作过程使用的有机溶剂具有较强的挥发性。

8) 二硫化碳为易挥发的有毒化学品。二氯甲烷、苯胺类化合物混合液等试剂和溶液均为挥发或半挥发有毒物。

剧毒化学品：

9) 酚类属于高毒物质，氰化物、吡啶、毒鼠强、黄磷属剧毒物质，进入人体可引起急性中毒。

10) 汞及其化合物有毒，硫酸汞、二氯化汞、碘化汞等汞盐、氰化钾 (KCN)、氢氰酸和氰化物、铊和铊盐属剧毒化学品。在酸性溶液中，剧毒的氢氰酸气体 (带有刺鼻的杏仁味) 会挥发出来。铊的氧化物和氯化物有一定挥发性。

3.0.12 污染场地现场勘探、建井与测试等过程中，会扰动土体和地下水，如果不采取隔离措施，污染物易扩散。因此污染场地勘察的勘探、取样、监测、原位测试，与常规勘察的最大区别就是需要采取严格的隔离措施，避免对环境造成不利影响；勘察作业所产生的废弃物，如取样剩余污染土、设备清洗废液、地下水监测井疏通和清洗过程中产生的废水、室内分析与测试所产生废物和废水等，也应采取有效隔离和处置措施，防止废弃物的污染扩散。

4 调查与测绘

4.1 调查

4.1.1 本条对污染场地调查的内容和方法作了规定。

4.1.2 本条对污染场地勘察应收集资料的范围作了规定，与常规勘察的不同在于：除了收集场地及邻近场地的勘察资料外，还应收集环境调查资料、场地利用变迁资料等，这些资料可为初步判断污染源的位置、污染物种类、污染分布范围等提供重要的基础信息，使现场调查工作内容及勘察方案更具针对性。

通过场地利用与变迁的记录信息可以初步识别污染源位置、潜在污染物种类等。污染源及附近区域一般是地基土与地下水污染相对严重的区域。

建设场地勘察之前，环境领域如已开展场地环境调查工作，基本查明了场地污染源的位置、污染物分布情况，判定污染场地对人体和生态的危害，并作出是否需要修复治理的结论，勘察单位应对相关资料进行收集并加以充分利用，以便勘察方案更具针对性，另外也避免开展重复性的污染土和地下水勘察与测试工作。这些场地环境调查资料包括场地环境评价报告、环境影响评价报告书（表）、场地环境监测报告等。

收集场地勘察资料，可提前掌握场地的工程地质和水文地质条件，了解土层的土性、渗透性以及含水层分布。污染物质的迁移与地质条件密切相关，特别场地内的暗滨、厚层填土等不良地质条件、含水层与邻近地表水的水力联通等。因此，掌握这方面资料有助于判别场地内土与地下水中污染迁移规律，能够针对性地布置探勘、取样、监测点位及深度。场地内或临近区域如曾进行过工程勘察，应收集资料并尽可能加以利用。

在污染场地修复治理过程中除了需要保障工程的安全与生态环境外，还需要采取措施保障周边人居健康、生态环境的安全，因此周边人类活动、生态环境等自然和社会信息资料的收集也十分重要。这些资料的收集，一是了解周边是否分布污染企业及可能对本场地的不利影响；二是了解周边是否有需要重点关注的敏感目标，根据行业标准《建设用地土壤污染状况调查 技术导则》HJ 25.1—2019，敏感目标是指污染场地周围可能受污染影响的居民区、学校、医院、饮用水源保护区以及重要公共场所等。鉴于自然保护区和水源地保护区是重要保护对象，如果场地周边分布自然保护区和水源地保护区，则勘察报告需要阐明与本场地的相对位置关系，因此需要收集相关资料。

污染场地勘察、修复、安全再利用均需要明确场地及周边道路、建筑物、地下管线等设施分布情况；勘察、修复及后期建设中需要考虑对周边设施的工程保护措施、明显指示标识。

4.1.3 结合行业标准《建设用地土壤污染状况调查 技术导则》HJ 25.1—2019，污染场地调查应对工业污染场地的场地利用与变迁、污染成因资料进行收集：

1 场地利用的基本资料宜包括名称、地理位置、使用时间、占地面积、企业规模、主要产品

及产量、主要原材料及用量等信息；

2 场地变迁的基本资料宜包括土地使用权证明及变更记录、房屋拆除记录等信息；

3 场地主要设施分布资料宜包括生产装备（生产区）、污染排放与控制设施及其他附属设施资料（宜包括生产设施分布资料、污水管网等废物管理设施分布资料、场地及周边的卫星遥感图像或航空图像等信息）；

4 副产品、有毒有害化学品宜包括种类清单、产量与规模、地下和地上储藏池（库）等储存方式、安全措施等信息；

5 其他反映潜在污染成因的资料宜包括污染排放及防治设施运行状况记录、企业环境管理的文件、各类环境污染事故记录等。

4.1.4 本条规定了现场踏勘的范围。遇下列情况时应适当扩大调查范围：

1 场地内污染物质迁移扩散可能影响到的周边区域；

2 场地周边存在可能导致本场地受污染的污染源；

3 后续场地内污染修复治理或开发建设等施工活动可能影响到的周边区域。

由于不同地质条件、不同污染物和污染程度，其污染扩散的方向、速度、范围等有很大不同，故本标准对踏勘时调查扩展的范围未作统一硬性规定，可视具体情况而定。

现场踏勘可辅助采用现场快速测定仪器，目前采用的便携仪器包括用于挥发性有机物（VOC）检测的便携式光离子化检测仪（PID）、用于重金属测试的便携式 X 射线荧光光谱分析仪（XRF）和酸碱度测试 pH 计等。

4.1.5 本条规定了现场踏勘的内容。通过踏勘获取的场地使用现状、地形地貌、地表水系、周边环境等资料，有利于科学合理制定勘察方案，并可了解现场勘探可能遇到的难点问题，事前考虑质量与安全保障措施。

4.1.6 人员访谈是污染场地勘察前期不可或缺的环节，通过访谈可为资料收集和现场踏勘提供必要的信息补充，同时可对收集资料的有效性进行核实。

4.2 测 绘

4.2.2 本条明确了污染场测绘内容。污染场地测绘在常规岩土工程勘察测绘内容基础上，可根据污染场地风险、修复设计需求，增加反映潜在污染物迁移、转化、浸出毒性行为等相关内容的工程地质及水文地质专门测绘。这些专门测绘包括：

1 包气带特性。主要包括包气带对污染扩散相关的特性，根据现行国家环境保护标准《环境影响评价技术导则 地下水环境》HJ 610，性能的评价需要提供包气带厚度、渗透性和包气带分布连续性等。

2 含水层易污染特征。含水层易污染特征可用于定性评价历史记录污染不当排放、泄漏等事故对含水层污染影响的程度。根据现行国家环境保护标准《环境影响评价技术导则 地下水环境》HJ 610，性能的评价需要提供含水层渗透性、地表水与地下水间水力联系等。

3 环境水文地质问题，指因自然或人类活动而产生的与地下水有关的环境问题。这类问题包

括地下水污染，地下水抽取引起的地面沉降、土的盐渍化、海水入侵等。

4.2.3 本条介绍了污染场地测绘比例尺和精度的要求。

4.2.4 本条规定了测绘点布置的原则。

4.2.5 对于大规模污染场地，可以采用遥感影像资料追溯污染场地的演变过程。

5 勘探和取样

5.1 一般规定

5.1.1 污染场地勘探方法取决于污染物特征、性质、土层条件和勘探目的，不同的场地可选择不同的勘探方法，也可以几种勘探方法结合使用。勘探方法还与监测内容相关，如场地需要监测，则勘探方法和监测方法可以结合使用，另可与工程物探相结合，以提高勘探效率。

5.1.3 根据已有场地环境调查资料，污染物一般分布在表部或浅部土层中。因此，如果不采取隔离措施，污染物易随着钻孔迁移至下部土层，造成污染扩散，交叉污染影响勘探质量，对环境造成二次污染。污染场地的勘探，与常规勘察的最大区别就是需要采取严格的隔离措施，故本条对此作出原则性规定。其他隔离、保护措施包括：

1 勘探及建井过程应采取及时清洗钻探设备、取样装置及采样工具，或使用一次性采样工具等措施防止交叉污染；

2 应按相关规定妥善处置勘探及建井过程产生的废弃土、废液、泥浆及其他废弃物，不得随意丢弃；

3 对确认为具有污染的废弃土、废液、泥浆及其他废弃物，应采用专用容器收集，根据检测结果作相应处置；

4 对确认为无污染的土可原地回填。

5.1.5 本条规定了钻探作业后的止水与封闭要求，防止不同深度污染物的竖向扩散造成二次污染或交叉污染。低渗透材料包括黏土球、钠化膨润土球、P·O42.5 及以上普通硅酸盐水泥或硫铝酸盐水泥。对有机类污染场地，可在黏土球、钠化膨润土球中掺入一定比例亲油疏水性改性膨润土。回填完成后可通过静力或振动方式缓慢拔除套管，以防止将回填材料带出孔外。

5.1.6 污染土取样技术是污染特征分析与评价的保证，取决于对样品的质量要求和污染物性质。

当需测试污染土的物理和水力性质时，土样需保持原状，其钻进取样技术与传统的岩土工程原状样的钻取相同。当需要测试污染土的成分和浓度时，取样技术涉及取样方法和取样器的选择，需要保证在相应的土体类型中顺利取样和尽可能减少对土样的扰动与污染。

本条参考美国材料与试验协会《环境调查勘探和取样技术规程》（ASTM D6169），推荐了压入式、贯入式和旋转式 3 种取样方法，其各自的特点、适合的土类及配套取样器见表 1。

表 1 取样方法、配套的取样器及其适合土类表

取样方法	压入式	贯入式	旋转式
特点	采用液压驱动或足够的重量使取样器连续向下运动；对土样的扰动较小	使用 63.5kg 的重锤锤击钻杆，使取样器向下运动；对土样的扰动较大	使用碳质合金钻头旋转切削使得取样器向下运动；对土样的扰动很小
配套取样器	薄壁取样器；活塞式取样器	厚壁取样器	Pitcher、Denison 取样器
适合的土体类型	流塑-可塑黏性土	黏性土、粉土、砂土	黏性土、粉土、砂土

5.2 勘探工作量布置

5.2.1 初步勘察工作应依据场地及其附近的地质、水文地质资料，并结合物探方法对场地污染状况的初步解译成果，布置少量的勘探点，勘探点数量要符合初步查明污染特征和水文地质特征的要求。根据场地污染源的分布特点，采用专业判断布点法或网格布点法进行勘探点的布设。

1 潜在污染明确的场地采用专业判断布点法，主要根据已经掌握的场地污染源分布信息、区域水文地质资料及专家经验来判断和选择采样点位。采样点数目应足以判别可疑点是否被污染，在每个疑似污染地块内或设施下部布置不宜少于 3 个采样点。

2 当污染状况不明或污染分布范围比较大、污染基本均匀分布时，采用网格布点法，可在场地内设定一定边长的正方形网格，在每个网格中心或交界点处布设勘探点。网格间距的划分依照现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 在初步勘察阶段，针对中等复杂地基的勘探点间距为 40m~100m 的要求。具体的网格间距主要根据场地面积大小以及场地环境水文地质条件的复杂程度确定，场地面积越小、环境水文地质条件越复杂，勘探点间距越小。对于污染分区特征明显的场地，可先将场地划分为相对均匀的区块，在各个区块内根据区域功能差异可能引起的污染程度差异，以及区块面积大小，分别设置不同间距的网格。勘探点的布设需满足明确场地是否存在污染，初步判定场地主要污染物种类的空间分布特征的要求。

3 当污染源不明确时，为了满足统计分析并初步确定污染范围需要，对最少采样勘探点数量作出规定是必要的。对于污染场地范围小的情况，要求布置不少于 3 个勘探点；一般场地不少于 5 个勘探点。

5.2.2 由于污染物在地层和地下水中迁移有差异，在详细勘察阶段需要针对性地查明污染物在两类介质中的分布特征，本条系查明土中污染特征对勘探采样点的布置要求。

详细勘察是基于初勘已初步判定污染源位置、污染物种类、污染物迁移情况、地层结构的前提下进行，对采样点最大深度要求穿过污染土分布深度。

详细勘察阶段地下水采样是基于初勘已判定的污染源位置、污染物种类、污染物迁移情况、水文地质条件的前提下进行的。地下水采样点包括从钻孔（探坑）、监测井中采集地下水样，地下水采样点的最大深度要求穿过污染深度。

本标准在总结上海、江苏等勘察工作的基础上，规定在初步勘察确定的污染区域内，当污染物分布较均匀时，可采用网格法布点，勘探点间距宜小于等于 20m。同时本款、第 2 款和第 5 款规定对污染边界、暗浜、厚填土以及浅部土层变化大的区域加密勘探点的要求，是为了详细查明污染土在场地内的分布范围。

详勘阶段一般已能确定非污染区，故规定在非污染区至少布置 1 个对照采样点。若场地范围较小，场地范围均属污染区时，则可通过该地区的土壤背景值或者借鉴地方相关标准推荐的区域环境背景值进行对比。

当场地分布暗浜、厚层填土或浅部土层性质变化大时，宜适当增加勘探采样点。对于暗浜边界的查明，一般可采用常规勘察手段（如小螺纹钻孔），控制其边界的孔距宜为 2m~3m。

5.2.3 本条根据浅部土层和地下水的分布特征，结合污染物运移特征，对不同类别勘探点的深度进行原则性规定。土样和地下水样的采样深度还应根据污染物的性质确定，尤其要关注非水溶性有机物 NAPL 的分布，故规定当发现有重质非水溶性有机物（DNAPLs）污染时，勘探采样点和地下水监测井深度应适当加深。

当第一层含水层为非承压类型时，采样勘探孔深度应至含水层底板顶部；当第一层含水层为承压水或层间水时，采样勘探孔深度一般应不超过第一层隔水层（含水层顶板），需结合建井的采样勘探孔应达到第一层含水层底板或当第一层含水层厚度大于 5m 时，应至少为地下水水面以下 5m。工业污染场地勘察及相关综合处治项目中隔水层指渗透系数小于等于 10^{-7} cm/s 的土层、弱风化或未风化岩层。

环境水文地质勘探孔和地下水监测井需要明确污染源是否会对其下的含水层造成影响，因此多含水层地区要求勘探深度宜穿透污染源下伏的第 1 个稳定含水层，可进入隔水层 0.5m。

5.2.4 勘探点共用作业具体可包括钻探取样、注（抽）水试验钻孔、地下水监测井等。勘探深度应综合各项作业目的和要求来确定。

5.3 钻 探

5.3.1 污染场地勘探是在工程地质勘探、水文地质勘探基础之上，增加场地污染物特征（种类、空间分布、浓度、污染趋势等）勘探的内容。因此，勘探工作的开展必须符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 并充分考虑：（1）污染土与污染地下水对钻探工作的影响，包括钻进方法、冲洗液和护壁堵漏等；（2）钻探取样要求，即是否需要兼顾物理性质及环境质量分析的土试样要求。钻探方法的选取可在综合考虑污染场地中目标污染物的特点、岩土特性、环境敏感性等因素基础上，从常用钻探方法中选择最优方法，不排除引入新型钻探技术。常用钻探方法及适用范围汇总于表 2。

表 2 钻探方法及适用范围

钻进方法		钻 进 地 层					勘 察 要 求	
		黏性土	粉土	砂土	碎石土	岩石	直观鉴别、取不扰动试样	直观鉴别、取扰动试样
回 转	螺旋钻进、	++	+	+	-	-	++	++
	无岩芯钻进、	++	++	++	+	++	-	-
	岩芯钻进	++	++	++	+	++	++	++
冲击钻进		-	+	++	++	+	-	-
锤击钻进		++	++	++	+	-	+	++
振动钻进		++	++	+	+	-	+	++
冲洗钻进		+	++	++	-	-	-	-

注 1：++：适用；+：部分适用；-：不适用；
注 2：螺旋钻进不适用于地下水位以下的松散粉土和饱和砂土。

5.3.2 本条规定了污染场地钻进方法和工艺选择需要考虑的因素。钻进方法应充分考虑：（1）污染土与污染地下水对钻探工作的影响，包括钻进方法、冲洗液和护壁堵漏等；（2）取样质量要求，即是否需要兼顾物理性质及环境质量分析的土试样要求。污染场地钻探取样中必须考虑地层中污染物扰动对环境质量分析结果的影响，例如，钻进过程导致地层中具有挥发性的有机污染物外溢，不仅导致二次污染与交叉污染，也造成取样浓度测试误差。根据污染物化学性质在受到扰动时是否发生改变，美国材料与试验协会《环境调查勘探和取样技术规程》（ASTM D6169）将岩土体中污染物划分成稳定污染物和不稳定污染物，前者是指在受到扰动时化学性质不易发生变化的污染物，代表性污染物有大多数无机污染物（如土中重金属形态稳定的锌、铜等）、难挥发有机污染物（例如有机氯农药）等；后者是指在受到扰动时，化学性质易发生变化的污染物，代表性污染物有易发生氧化还原反应的重金属（铬、砷、铁、锰、硒）、化学形态敏感的无机污染物（例如汞、氰化物）、含硫及含氮化合物、挥发性和半挥发性有机污染物等。对于不同的污染物性质采用不同的钻进工艺和取样方法，具体方法参见 5.4.8 条文说明。

5.3.3 污染场地钻探过程中，如措施不当，钻孔将成为不同深度水土交叉污染的通道，因此，需采取跟管钻进或其他有效隔离措施。穿透隔水层的钻孔可采用多级套管、分层灌浆回填的方式，防止上下含水层之间的交叉污染。当需要钻穿隔水层建立监测井时，应使用双重套管；钻孔钻至隔水层上部一定深度时中止钻孔，并下大套管，对其周围灌浆回填，以保持原地层的隔水性；在大套管内继续钻进，到目标深度后下小套管，建设监测井。现阶段环境调查取样经常采用直推式贯入机械钻进（例如 Geoprobe 直推式钻探设备）。

5.3.4 现行国家环境保护行业标准《地下水环境监测技术规范》HJ/T 164 规定：新凿监测井的终孔直径不宜小于 0.25m；本标准参考了该规定，并要求钻孔口径不宜小于 0.25m。

5.3.5 本条根据污染物特征对土试样取样的钻进冲洗液提出要求。钻进冲洗液用于钻进过程中排渣和冷却钻头，但对于污染场地钻探取样，冲洗液可能会改变土的化学性质，例如土中污染物浓度稀释；现行行业标准《建筑工程地质勘探与取样技术规程》（JGJ/T 87）规定：钻进时要求尽可能不采用洗孔液，在必要的情况下采用清水或不产生附加污染的可生物降解的酯基洗孔液。因此，为确保污染土试样取样的化学原状性，取样钻进应尽可能不使用或较少用冲洗液。地下水位以下钻进过程中使用冲洗液时，通过套管防止污染物的交叉污染。本条第 2 款参考了现行环境保护标准《地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则》HJ 1019。

5.3.6 为确保监测井成井质量、避免二次污染和交叉污染，本条对交叉井钻进冲洗液明确要求为清水，或跟管钻进。

5.4 取 样

5.4.2 为满足确认污染的目的，勘探孔在勘探过程中均应采取样品进行化学性质检测，而化学性质检测的样品采样间距主要根据现行的环保部标准制定，6m 以上根据导则要求执行，6m 以下一般而言污染程度相对减轻，采样间隔可适当加大。在勘探过程中，宜采用便携式仪器，快速检测和记录污染物浓度及有关物理化学参数随深度的变化情况，及时确定取样位置。当岩性、气味突变时，

以及在地下水波动带附近可以加密取样。地表非土壤硬化土层包括路面或其他混凝土面或防渗层等，化学性质检测样品可自杂填土、素填土开始。对于非水溶性有机物样品可采用可调节取样深度的取样器采取。

5.4.3 为了初步查明地层结构，同样需要采取土试样进行物理性质检测，物理性质检测应按照现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 执行。在场内地连续分布，且有一定厚度（不小于 0.5m）的土层为主要土层，每个主要土层采取土试样数量不少于 6 个。

5.4.4 本条规定了取样数量的要求。用于潜在污染物检测的土试样的取样间距参考了国家现行环境保护标准《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》HJ 25.2—2019。用于潜在污染物检测的水试样的采样量参考了《地下水环境状况调查评价工作指南（试行）》（环办函〔2014〕99 号）。

5.4.5 对于分析重金属浓度的样品，在现场可先采用便携式重金属分析仪测试，目前便携式重金属分析仪器主要包括电导率仪、分光光度计、光离子化气体检测仪（PID）、重金属检测 X 射线荧光光谱分析仪（XRF）。

（1）电导率仪的测试通常分为两电极法和四电极法。两电极方法是将一对电极对称布置在土样两个端面上，同时测得试样的电压和电流，根据欧姆定律计算得出其电阻率。四电极法是利用两组电极，分别连接在试样两端和中间；两端的电极用于量测电流，中间的电极用于量测电压，电极间保持一定间距。四电极方法通过分开测量电流和电压，降低了电极的极化效应对电导率量测的影响。

（2）分光光度计是将成分复杂的光，分解为光谱线的科学仪器，测量范围一般包括波长范围为 380nm~780nm 的可见光区和波长范围为 200nm~380nm 的紫外光区。不同的光源都有其特有的发射光谱，可采用不同的发光体作为仪器的光源。

（3）光离子化气体检测仪（PID）是一款简化的广谱手持式挥发性有机化合物气体检测仪，第三代 PID 检测范围达到 0.1ppm~5 000ppm。光离子技术的表现为响应时间短，检测范围宽，分辨率高，检测误差小，内置蓝牙或无线模块，实现实时数据传输，内置强力采样泵可外接长达 30m 的采样管路。

（4）重金属检测 X 射线荧光光谱分析仪（XRF）是利用放射源放射出 X 射线，激发待测物内层的电子，此时为保持能量平衡，分子外围电子补入内层电子的空缺。因外围电子能量较高，故外围电子进入内层轨域时，放出特定的荧光能量，由能量的大小推知待测物的量，据此便可以进行分析分析和定量分析。

（5）对进行挥发性有机污染物分析的样品采取应采用非扰动取样器，宜采用便携式设备每隔 0.5m 对土样进行扫描，同时采取每处扫描位置的样品于样品瓶内，最后结合土层岩性分布，采取扫描结果相对较高位置的样品，迅速转移至加有封存剂的棕色样品瓶内。

5.4.6 污染物检测现场取样方法。除规定的土试样和水试样采取外，尚应设置现场空白样和旅行空白样。现场空白样用于测试分析现场取样过程中样品是否受到污染。旅行空白样，又称运输空白样，用于测试分析运输过程中样品是否受到污染。通常可采用现场未受污染的土试样和蒸馏水作为现场空白样及旅行空白样，采用相同的保存、运输、检测方法，测定与土试样和水试样相同的检测项目。

5.4.7 本条所述附录 A 是结合《土壤环境监测技术规范》HJ/T 166 和《地下水环境监测技术规范》HJ/T 164 汇编而成。

5.4.8 土试样采取方法作如下说明：

1 污染场地土样的采集方法应根据地质条件、污染特征和采样目的，充分考虑土样的物理原状性和化学原状性。根据美国材料与试验协会（ASTM D6169），土样的物理原状性指在钻进、取样过程中土体的物理和水力性质（结构、密度、含水量）保持不变；土样的化学原状性指在钻进、取样过程中土体的化学性质（污染物成分及含量）保持不变。

用于查明地层物理力学性质的土样采集，除应符合现行行业标准《建筑工程地质勘探与取样技术规程》JGJ/T 87—2012 的相关规定外，尚应考虑扰动引起污染物浓度、化学成分变化等因素对分析结果的影响。化学原状性对于开展土的环境质量分析的土样采集尤为关键。根据土试样所需的测试项目和所含污染物的种类，ASTM D6169 对污染土的钻进取样质量要求作了如下规定：（1）对于要测定污染土的物理和水力性质的土试样，钻进取样过程中需保持物理原状性；（2）对于要测定污染土的化学性质（污染物成分及含量）的土试样，当含有稳定污染物时，钻进取样过程中需保持化学原状性，可以取扰动样；当含有不稳定污染物时，则需同时保持物理原状性和化学原状性。

地下水位以上表层土取样可以采用槽探方法，靠人工或机械挖掘采样槽，然后用取样铲或取样刀进行取样。槽探的断面呈长条形，根据场地类型和取样数量设置一定的断面宽度。槽探取样可通过锤击敞口取土器取样和人工刻切块状土取样。

污染场地深层土样采取方法，根据现行国家标准《土壤质量 土壤采样技术指南》GB/T 36197、行业标准《建筑工程地质勘探与取样技术规程》JGJ/T 87、环境保护标准《地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则》HJ 1019 和浙江大学詹良通教授等的研究成果，钻探与取样方法要求进行了总结，见表 3。

2 本款系为避免采样交叉污染所作出的规定。

3 受挥发性有机物、半挥发性有机物污染地层采集土试样时，应尽可能地避免对地层扰动，有机污染物经扰动导致迁移转化，将同时影响环境质量分析和物理力学性质测试结果。现行环境保护标准《地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则》HJ 1019 规定：含挥发性有机物的土样采集应用薄壁取土器、对开式取土器或直压式取土器等原状取土器。

4 当土样深度较深，人工或机械挖掘采样槽法受限时，可以采用专用直推钻机与 MC5 取样系统进行取样，如 7822DT。

7822DT 直推钻机，主要包括高架桅杆和绞车、落锤工具安装包、螺旋头、隔板软管、GH63 整栋锤、综合摆动钻杆、紧急停止系统、可调脚架、集成控制面板、久保田八缸发动机，可以驱动工具获得连续的土壤芯或离散的土壤样品，可以驱动采样器获取地水样品或蒸汽样品，可以插入永久性采样植入物和曝气点，可以驱动电导率传感器探头来映射地下岩性，可以安装小直径监测井。7822DT 直推钻机已被用于执行许多达到 100 英尺（30m）或地质和土壤条件适宜的更深的深度。

5 本条参考了美国材料与试验协会（ASTM D6169）中土试样采取工作中取样器的相关规定。取土器内管中安装的衬管，应选取合适的材质，确保土试样中污染物化学稳定性。

表 3 污染场地钻探与取样方法适用范围

取样目的	污染物特征	适用地层					
		黏性土		粉土	砂土		碎石土、软岩
		流塑-可塑	可塑-坚硬		粉：细砂	中：粗砂	
环境质量分析	稳定污染物	AB**C-①②③④	AB**C-①⑤	AB**C-①~⑤	AB**C-①⑤	AC-①⑥	A-①⑥
	不稳定污染物	A*B**C-①②③④	A*B**C-①⑤	A*B**C-①~⑤	A*B**C-①⑤	A*C-①⑥	A*-①⑥
物理力学性质分析	稳定污染物	AB-②③④	AB-⑤	AB-②~⑤	AB-⑤	AB-⑥	A-⑥
	不稳定污染物	A*B-②③④	A*B-⑤	A*B-②~⑤	A*B-⑤	A*B-⑥	A*-⑥

注 1：表中符号意义如下：A—回转钻探；B—冲击钻探；C—振动钻探；①—敞口厚壁取土器；②—敞口薄壁取土器；③—自由活塞式薄壁取土器；④—固定活塞式薄壁取土器；⑤—单动三重管取土器；⑥—双动三重管取土器。

注 2：用于物理性质分析的土试样质量等级为Ⅰ级（不扰动）、Ⅰ~Ⅱ级（不扰动~轻微扰动）。

注 3：A*回转钻探不适合钻进含挥发性及半挥发性有机污染物的地层（HJ 1019），但通常 VOCs 及 SVOCs 难以稳定存在于粉土、砂土、碎石土。

注 4：回转钻探中螺旋钻进法仅适合地下水位以上地层（JGJ/T 87）。

注 5：①~④属于贯入式取土器，⑤、⑥属于回转式取土器。

注 6：现阶段用于环境质量分析的土样采集主要依靠直推静压钻探（B**），分类上可归为冲击钻探，但以此法采集土样尚难用于查明土的物理力学性质。

注 7：根据现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定，冲击钻探包括了锤击钻探。

5.4.9 地下水试样采取作如下说明：

1 为保证采取地下水样的代表性，可能影响取样深度处地下水水质的行为均须避免。渗（试）坑作为临时性的采水方式，一般暴露面积较大且深度较浅，坑中地下水更易受地表水、降水、施工用水及浅部底层杂质的干扰，因此需妥善保护。该类方法采取的样品可用于常规水质简分析及现场表观判断，用于环境指标检测的地下水样仍需通过建设监测井采取方式获得，尤其是含挥发性、易分解和明显异味的污染物禁止采用该方法采取地下水样。

2 建立规范的监测井是采取代表性地下水样品的重要保证，本标准根据《地下水环境监测技术规范》HJ/T 7164—2004，明确规定采取地下水和渗滤液样品应在监测井中进行，以满足取样质量控制的要求。

1) 洗井的主要目的是抽换井中的存水，以采得地层中本身赋存的地下水样。对建于渗透性较好土层中的监测井，其汲水速率应控制在不产生明显水位下降为宜。根据国内外相关规范与工程实践，洗井时以适当流速，抽除不少于 3 倍井柱体积的水实现滞水置换，并保证现场测试指标（pH、水温或溶解氧、电导率）的基本稳定，从而取得代表性水样。

便携式设备使用前应进行检查，确保性能正常。对于洗井的要求和水质稳定的标准，不同规范的要求具有差异，表 4 列举了部分规范对现场测试指标、稳定标准和洗井水量的具体要求。

表 4 洗井测试指标和稳定标准一览表

规范或标准名称	现场测试指标	稳定标准规定
《地下水环境监测技术规范》 HJT 164—2004	水位、水量、水温、pH、电导率、浑浊度、色、嗅和味、肉眼可见物等	水位：连续两次差值 $\leq \pm 1\text{cm}/10\text{m}$ ； 水温：连续两次差值 $\leq 0.4^\circ\text{C}$
《建设场地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》 HJ 25.2—2019		
《地下水污染地质调查评价规范》 DD 2008—01	水温、pH、电导率、氧化还原电位、溶解氧	
《地下水样品采集技术指南》（征求意见稿）中国环境监测总站	pH、温度或溶解氧、电导率	洗井期间水质指标参数测量至少 5 次以上，直到最后连续 3 次符合稳定标准； pH ± 0.1 ，电导率 $\pm 3\%$ ，溶解氧符合 $\pm 10\%$ 或 $\pm 0.3\text{mg/L}$ 其中之一，氧化还原电位 $\pm 10\text{mV}$
《场地环境影响评价导则》 DB11/T 656—2009	pH、电导率、浊度、水温、色、味等	测量值连续 3 次的浮动在 $\pm 10\%$ 以内，或浊度小于 50NTU

综合比较不同技术规范的规定，本标准规定了洗出的每个井容积水的 pH、温度或溶解氧、电导率连续 3 次的测量值误差小于 10% 后，方可采取样品。

2) 采取样品时依据不同的目标物选取不同的采取位置，目的是保证水样能代表地下水水质。对于存在 NAPL 污染的监测井，应根据其密度特性确定采取深度，如污染物中存在轻质非水溶性有机物 (LNAPLs)，应在地下水位下采取地下水样，如污染物中存在重质非水溶性有机物 (DNAPLs)，应在井底部位置采取样品。

依据不同的需要和目标物选取合适的取样器具，取样器具包括气囊泵、小流量离心式潜水泵、惯性泵及贝勒管。采取常规无机物样品时，常规器具均可使用；采取挥发、半挥发有机物样品时，宜使用气囊泵或半挥发性有机物 (VOCs) 专用贝勒管。

3) 本款规定均为降低采样时的干扰，从而保证地下水样的代表性。

洗井后尽快采取样品是为了避免井中地下水与空气中氧气、二氧化碳接触时间过长，或非稳定成分的损耗或分解，采取样品时的流速控制是为了避免扰动过大，待测成分越不稳定，取样时流速应越低。对挥发性有机物的取样，应进行小流量汲水，以免造成浊度增加、气提作用、曝气作用等现象，影响地下水样的代表性。

4) 样品采集顺序按照检测物质的状态稳定性安排，先采取易挥发、易分解、易变质的样品，一般采取顺序为挥发性有机物，半挥发性有机物、稳定有机物及微生物样品、重金属和普通无机物。为避免空气接触对容器内样品组分和待测项目的干扰，以及运输途中的震荡，应使水样充满容器并密封保存（冷冻样除外），必要时可事先在样品瓶中投加一些化学试剂（固定剂或保存剂）固定水样中某些待测组分。

5.4.11 部分污染场地具有挥发性气体溢出，可利用已有的监测井或导气井采集气样，也可新设置监测井采集气样。收集气体前充洗 3 次气袋是为了保证气体的纯度，避光运回避免了气体在光作用下发生化学反应。

6 监 测

6.1 一 般 规 定

6.1.1 本条明确了监测的基本原则。

针对性原则。污染场地环境监测应针对环境调查与风险评估、治理修复、工程验收等各阶段环境管理的目的和要求开展，确保监测结果的代表性、准确性和时效性，为场地环境管理提供依据。

规范性原则。以程序化和系统化的方式规范污染场地环境监测应遵循的基本原则、工作程序和工作方法，保证污染场地环境监测的科学性和客观性。

可行性原则。在满足污染场地环境调查与风险评估、治理修复、工程验收及回顾性评估等各阶段监测要求的条件下，综合考虑监测成本、技术应用水平等方面因素，保证监测工作切实可行及后续工作的顺利开展。

6.1.3 本条规定监测范围。

1 场地环境调查监测范围为前期环境调查初步确定的场地边界范围。

2 污染场地治理修复监测范围应包括治理修复工程设计中确定的场地修复范围，以及治理修复中废水、废气及废渣影响的区域范围。

3 污染场地修复工程验收监测范围应与污染场地治理修复的范围一致。

4 污染场地回顾性评估监测范围应包括可能对地下水、地表水及环境空气产生环境影响的范围，以及场地长期治理修复工程可能影响的区域范围。

6.1.4 本条根据《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》（HJ 25.2—2019），明确监测内容：

监测对象应包括岩土、地下水、地表水及场地气体。

土壤为最主要监测对象，必要时也应包括地下水、地表水及场地气体等。

土壤包括场地内的表层土壤和深层土壤，表层土壤和深层土壤的具体深度划分应根据场地环境调查结论确定。场地中存在的硬化层或回填层一般可作为表层土壤。

地下水主要为场地边界内的地下水或经场地地下径流到下游汇集区的浅层地下水。在污染较重且地质结构有利于污染物向深层土壤迁移的区域，则对深层地下水进行监测。

地表水主要为场地边界内流经或汇集的地表水，对于污染较重的场地也应考虑流经场地地表水的下游汇集区。

场地气体是指场地污染区域中心的空气和场地下风向主要环境敏感点的空气。

场地环境调查的监测对象中还应考虑场地残余废弃物，主要包括场地内遗留的生产原料、工业废渣，废弃化学品及其污染物，残留在废弃设施、容器及管道内的固态、半固态及液态物质，其他与当地土壤特征有明显区别的固态物质。

场地治理修复监测的对象还应包括治理修复过程中排放的物质，如废气、废水及废渣等。

场地环境调查和风险评估过程中的环境监测，主要工作是采用监测手段识别土壤、地下水、地表水、场地气体、残余废弃物中的关注污染物及水文地质特征，并全面分析、确定场地的污染物种类、污染程度和污染范围。

污染场地治理修复过程中的环境监测，主要工作是针对各项治理修复技术措施的实施效果所开展的相关监测，包括治理修复过程中涉及环境保护的工程质量监测和二次污染物排放的监测。

对污染场地治理修复工程完成后的环境监测，主要工作是考核和评价治理修复后的场地是否达到已确定的修复目标及工程设计所提出的相关要求。

污染场地经过治理修复工程验收后，在特定的时间范围内，为评价治理修复后场地对地下水、地表水及场地气体的环境影响所进行的环境监测，同时包括针对场地长期原位治理修复工程措施的效果开展验证性的环境监测。

监测计划制定与资料收集分析，根据场地环境调查结论，同时考虑污染场地治理修复监测、工程验收监测、回顾性评估监测各阶段的目的和要求，确定各阶段监测工作应收集的污染场地信息，主要包括场地环境调查阶段所获得的信息和各阶段监测补充收集的信息。

6.1.5 在污染场地勘察工作中，为查明含水层污染状况，可使用直接贯入采样、设置地下水环境监测井等方法，但后者是更可靠、有效且具有法律效力的调查方法，也是水质调查中最常规、最重要的手段。因此，当需监测含水层地下水水质，采取地下水代表性水样时，应设置地下水环境监测井。

6.2 地下水监测井布置

6.2.1 地下水监测点位应沿地下水流向布设，可在地下水流向上游、地下水可能污染较严重区域和地下水流向下游分别布设监测点位。确定地下水污染程度和污染范围时，应参照详细监测阶段土壤的监测点位，根据实际情况确定，并在污染较重区域加密布点。

6.2.2 应根据监测目的、所处含水层类型及其埋深和相对厚度来确定监测井的深度，且不穿透浅层地下水底板。地下水监测目的层与其他含水层之间要有良好止水性。一般情况下采样深度应在监测井水面下 0.5m 以下。对于低密度非水溶性有机物污染，监测点位应设置在含水层顶部；对于高密度非水溶性有机物污染，监测点位应设置在含水层底部和不透水层顶部。

6.2.3 若前期监测的浅层地下水污染非常严重，且存在深层地下水时，可在做好分层止水条件下增加一口深井至深层地下水，以评价深层地下水的污染情况。

6.2.5 初步勘察工作地下水监测井点的数量，需要符合初步控制场地地下水流场特征的要求，要求其数量不少于 3 个，同时为满足污染分析的需要，监测井点宜分散布置在可能的重污染区域。地下水流向的判断至少需要 3 个井点，且尽量呈三角形布设，因不同场地水文地质条件复杂程度存在差异，且污染场地中地下水监测井点需兼顾污染检测要求，3 个井点有可能难以满足初步判断流场地的要求，如果无法满足，就需要增加井点数量。

6.3 监测井构造与施工

6.3.1 地下水环境监测井的设立方法，在现行环境保护行业标准《地下水环境监测技术规范》HJ/T

164 中均有规定。

污染场地中所用到的地下水环境监测井类型多样，按井结构可分为单管单层监测井、单管多层监测井、巢式监测井和丛式监测井等。从结构上划分，地下水环境监测井主要包括井孔、井管、填料与井台四部分，监测井管自上而下依次为井壁管（俗称“白管”）、滤水管（俗称“花管”）、管堵，特殊情况下，可在滤水管下设置沉淀管。

监测井的井身结构设计应根据场地地层和含水层分布特征，滤管以及滤水层应覆盖拟采集地层或含水层。

本标准附录 B 中关于井身结构的要求参照了环保领域标准监测井和简易监测井的建设要求，井结构为常用的单管单层监测井。

6.3.2 为取得代表性水样，应合理选择监测井井管，井管口径、材质、连接方式。北京市地方标准《污染场地勘察规范》（DB11/T 1311—2015）详细比较了国内外监测井的构造、材质要求，在其条文说明中有详细说明，可供参考。

6.3.3 滤水管置于监测目标含水层中以取得代表性水样。滤水管的孔隙设计必需配合滤料的尺寸，以避免孔隙太大使得滤料在成井和洗井采样时随水流进入井中，破坏滤层的完整性，进而导致含水层的材料通过滤层与滤水管进入井中影响水质。一般情况下，滤水管孔隙应挡住 90% 的滤层材料。

监测潜水含水层水质时，滤水管区间需覆盖丰、枯水期的地下水位面，且枯水期间至少需有 1m 的滤水管位于地下水面以下；监测承压含水层水质时，滤水管宜置于含水层中合适深度。进行污染预防、调查或查证时，滤水管长度不宜超过 3m，若丰、枯水期地下水位变化超过 3m 以上，可设置多个监测井以监测丰、枯水期水质变化。

滤水管置于监测目标含水层中方能取得代表性水样。有轻质非水溶性有机物（LNAPLs）污染物的监测井滤水管应覆盖高水位面；有重质非水溶性有机物（DNAPLs）污染物的监测井深应在隔水层顶板以下 0.5m（但不可穿透）；监测井滤水管长度应保证其在高、低水位时均能采集到水位面下至少 1m 处水样。

滤水管段应使用缠丝包扎过滤网片。滤水管的孔隙设计应配合滤料的尺寸，以避免孔隙太大使得滤料在成井和洗井采样时随水流进入井中，破坏滤层的完整性，进而导致含水层的土颗粒通过滤层与滤水管进入井中影响水质。

6.3.4 填料设计是监测井设计的另一重要部分，对各填料设计要求说明如下：

1 主要滤料层位于滤水管与沉淀管外，并应高出滤水管、低于管堵一定距离，起到透水作用。

2 次要滤料层，起到透水与防止止水材料掉落至主要滤料层的作用。次要滤料层的平均粒径 D50 应为主要滤料层平均粒径 D50 的 $1/3 \sim 1/2$ ，但不应大于 0.833mm。本标准参考北京市地方标准《污染场地勘察规范》（DB11/T 1311—2015）推荐填充直径为 0.1mm~0.2mm 的石英细砂，其厚度应为 20cm 以上。

3 本款规定的目的是确保监测井目的层与其他层之间止水良好。止水层可防止上部外来水体通过填料层进入井内，影响采集的地下水样的代表性。粉末状膨润土溶胀性大，遇水易成浆，不便使用，且填充效果较差，不推荐使用。若选用水泥浆作为止水层之上回填层的回填材料，则止水层

应使用球状或扁平状的膨润土以防止水泥浆进入滤层和筛管，不得用膨润土粉或现场揉制的膨润土丸代替，且止水层膨润土水化 8h（或膨润土供应厂商建议的水化时间）后，才能回填水泥浆层。

4 回填层位于止水层之上至监测井顶部，宜根据场地特点选择合适的回填材料。通常情况下，建议使用膨润土作为回填材料。但是，当地下水或土壤中含有高浓度的溶解固体或特殊的成分而导致膨润土水化不良时，宜选择水泥浆作为回填材料。使用水泥浆作为回填材料时，为延缓水泥固化时间，可在水泥浆中添加 5%~10%的膨润土。

5 填料填充时，应根据填料性质、现场情况等选择合适的填充工艺，防止产生架桥或充填不实现象。

填料是监测井的重要组成部分。填料从下至上分为透水层、止水层、密封固定层。目标层位地下水通过透水层与滤水管进入监测井；透水层之上设置止水层以隔离上部土层与地下水对目标含水层地下水样的影响；止水层上至井口为密封固定层，起到隔离地表水、大气降水及固定保护井口管的作用。

6.3.6 监测井设置完毕后，应设置监测井保护座以避免监测井因为车辆通行、地表径流等的影响受到破坏。为便于监测井的识别，应在井外设标示牌，注明监测井编号、井的管理单位、联系人电话等信息。监测井保护座规格可根据实际情况设置。

6.3.7 监测井设置过程中，应将监测井构造详细记录于监测井构造记录表中，以作为后期水样代表性分析的重要依据。

对监测井构造的记录，应包含地层和井管结构、滤料等信息，目的是为综合分析提供更多的信息，在必要时作为复核依据。

6.3.8 监测井设置完成后，应进行洗井以清除井筛周边的细小颗粒。一般情况下，应在监测井设置完至少 24h 后，待井内的填料得到充分养护，结构稳定时，才能进行洗井。为确保采集水样的代表性，洗井出水水质应满足总悬浮固体含量小于 5mg/L 或出水浊度小于 5NTU 的标准 [1L 的水中含有 1mg 的 SiO_2 （或是 1mg 白陶土、硅藻土）时，所产生的浑浊程度为 1 度，1NTU=1 度]。

一般情况下，应在洗井完成数天后，待地下水恢复至自然状态时，方能进行地下水水样的采集工作。由于场地不同，洗井完成后含水层恢复自然稳定状态的时间也不同，根据国内外相关经验，推荐洗井完成 7 天后采样。含水层渗透性好时，时间可适当缩短。

成井后洗井有时需要借助现场测试 pH、温度、电导率、溶解氧、氧化还原电位等指标，确定停止洗井时间，便于在正式采样前的洗井能尽快达到水质稳定的要求。

6.4 监测项目

6.4.1 本条规定了污染场地中土的监测项目。现行行业标准《土壤环境监测技术规范》HJ/T 166—2004 规定的监测项目、分类方法以《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》GB 15618—2018 为基础。本标准土的污染物监测项目、项目分类参考了现行行业标准《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》GB 36600—2018：

1 本标准污染物浓度监测的必测项目根据勘探和取样成果、现行行业标准《土壤环境质量 建

设用地土壤污染风险管控标准（试行）》GB 36600—2018 的 45 项基本项目确定；

2 根据本标准污染物浓度监测的选测项目根据勘探和取样成果、现行行业标准《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》GB 36600—2018 的 40 项基本项目确定。

本标准同时规定对土的基本理化性质指标进行监测，包括土的含水率、pH、氧化还原电位等。这些指标是影响污染物迁移、转化、浸出毒性的重要因素。

6.4.2 本条规定了污染场地地下水的监测项目，包括水文地质项目、感官性状、一般化学指标及非常规指标。水文地质项目要求参考了现行行业标准《地下水环境监测技术规范》HJ/T 164—2004 所要求的水位、水量、水温，并在此基础上增加了地下水流速、流场变化。地下水流速是污染场地风险评价、修复设计的重要参数；污染场地设置阻隔屏障、活性反应墙后，流场将发生变化，因此也宜作为监测项目。按照现行国家标准《地下水质量标准》GB/T 14848—2017 分类方法：感官性状包括色、嗅和味、肉眼可见物；一般化学指标包括 13 项一般化学物、2 项微生物指标、15 项毒理学指标；非常规指标为 54 项毒理学指标。

7 现场测试

7.1 一般规定

7.1.1 采用工程物探等测试方法初步探查储存污染物质的地下设施，在常规岩土工程勘察中已涉及。根据目前的研究成果及部分工程实践验证，通过测试电阻率等工程物探方法可初步探测重金属、有机污染土及地下水“物性指标”的异常，从而初步圈定污染土和地下水的分布范围，属于快速测试方法的范畴，国外也有应用案例。不同物探方法对污染物种类的敏感性具有差异性，且工程物探本身解释技术存在多解性问题，目前工程研究与工程实践尚需进一步深化，因此本条标准用词是“可”采用。

土壤中挥发性有机物浓度现场检测宜选用光离子检测仪（PID）或火焰离子检测仪（FID）进行检测；土壤中重金属浓度现场检测宜选用 X 射线荧光光谱仪（XRF）进行检测；地下水的 pH、氧化还原电位、溶解氧、电导率、温度、浊度等指标宜采用多功能检测仪进行现场检测；使用便携式仪器进行初步快速检测与筛查，并与常规探测手段的有机结合，是未来技术发展的方向，目前在污染境调查工作中已有使用。可选用的便携式仪器有 pH 计、电导率仪、分光光度计、微电脑测定仪（可同时测定 pH、电导率、总溶解性固体和温度）、光离子化气体检测仪（PID）、光谱仪、环境分析仪、重金属检测 X 射线荧光光谱分析仪（XRF）等。鉴于便携式设备适用性研究需要进一步积累经验，故本标准未作出强制性要求，而是表述为“条件具备时，宜采用便携式仪器进行现场快速检测和筛查”。

7.1.2 本条原位测试手段包括两方面的内容：一指常规岩土工程勘察中的静力触探试验、标准贯入试验、十字板剪切试验等。这类原位测试可用于测试污染土的力学性质参数，经与未受污染土的对比，以判断受污染后土体性质的变化；二指在污染场地的调查中，可采用多功能探头同时测定土的电阻率、温度、比贯入阻力 p_s （或锥头阻力 q_c 、侧壁摩阻力 f_s ）等参数，也可采用单一测定土层电阻率的探头。根据获得的电阻率与背景值的比较，初步判定污染土和地下水的分布范围。

7.1.3 孔压静力触探（CPTU）是在传统静力触探（CPT）的基础上，增加孔隙水压力测试元件，测试贯入过程中土体孔隙水压力的变化或消散过程，以更加准确地确定土层基本性质，CPTU 探头结构示意图如图 1 所示。CPTU 技术具有理论系统、功能齐全、参数准确、精度高、稳定性好等优点，既可以用超孔压的灵敏性准确划分土层、进行土类判别，又可求取土的原位固结系数、渗透系数、动力参数、结构参数、承载特性等。

采用孔压静力触探（CPTU）测试方法确定土体渗透参数，具有准确、快速、扰动小、经济的特点，并能够反映含有互层和薄夹层地层的渗透特点。

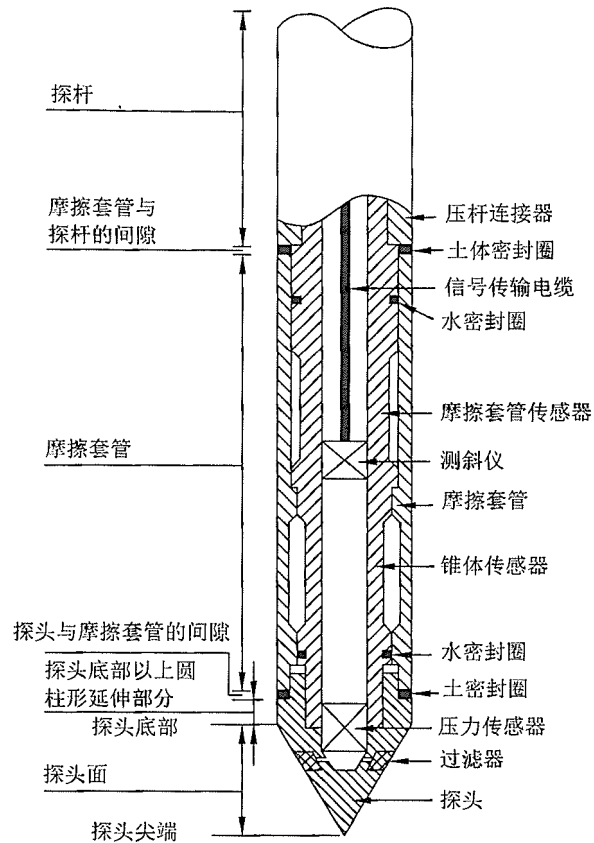


图 1 孔压静力触探 (CPTU) 探头结构示意图

黏性土中贯入满足完全不排水状态条件, 因此可以基于孔压消散试验获得其固结系数, 再得到渗透系数。孔压静力触探探头贯入过程中产生的超静孔隙水压力, 可采用圆柱形孔穴扩张理论进行分析, 得到孔压消散理论曲线。

根据消散曲线, 牛津大学 Houlsby 和 Teh 考虑了刚度指数 I_r 的变化效应, 采用修正后的时间因数 T^* 取代时间因数 T , 利用式 (1) 计算得到水平固结系数 c_h :

$$c_h = \frac{r_0^2 \sqrt{I_r T^*}}{t} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

I_r ——刚度指数, $I_r = 1000 \frac{G_0}{S_u}$;

式中:

G_0 ——小应变动剪变模量, MPa;

S_u ——不排水抗剪强度, kPa。

T^* ——修正后的时间因数, 应根据现行团体标准《孔压静力触探试验技术规程》(T/CCES 1) 查表获得;

r_0 ——圆锥探头半径 (圆柱形模型)。

利用孔压消散曲线能够计算土体的固结系数, 而土的水平渗透系数与固结系数存在以下的关系:

$$k_h = c_h \gamma_w / E_s \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

k_h ——土的渗透系数, m/s;

E_s ——压缩模量, kPa;

c_h ——土的固结系数, m^2/s ;

γ_w ——水的重度, kN/m^3 。

压缩模量 E_s 的确定也可以根据地震波 CPTU 测定的剪切波速直接据图 2 确定。

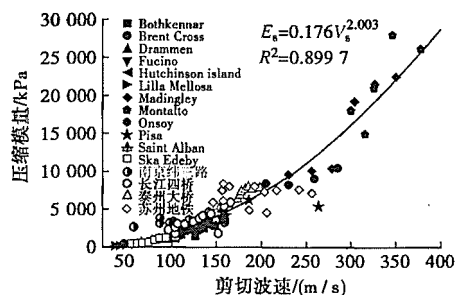


图 2 黏性土压缩模量与剪切波速的关系

Parez 和 Fauriel 提出了直接从 t_{50} 得到土的水平渗透系数的经验方法, 按式 (3) 近似计算:

$$k_h = (251t_{50})^{-1.25} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

k_h ——土的水平渗透系数, cm/s;

t_{50} ——超孔压消散 50% 时所对应的时间, s。

对于部分排水条件的中间土 (粉土类) 渗透系数确定方法, Elsworth 等提出了采用 CPTU 测试指标, 按 $B_q Q_t$ 确定原位渗透系数的方法, 该方法能够直接连续计算出土的水平渗透系数:

$$B_q = (u_2 - u_0) / (q_t - \sigma_{v0}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$Q_t = (q_t - \sigma_{v0}) / (\sigma'_{v0}) \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

B_q ——孔压参数比, 无量纲;

u_2 ——锥尖孔压, kPa;

u_0 ——静水压力, kPa;

q_t ——孔压修正后的锥尖阻力, kPa;

Q_t ——归一化锥尖阻力, 无量纲;

σ_{v0} ——上覆应力, kPa;

σ'_{v0} ——有效上覆应力, kPa。

针对 $B_q Q_t < 1.2$, $k > 10^{-5} m/s$ 的粉细砂类土, 假设在锥尖附近孔隙水流动面是动态稳定的, 流量 q 呈球形消散, 给出了式 (6) 计算渗透系数:

$$k = \frac{r_0 \gamma_w K_D U}{4 \sigma'_{v0}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

r_0 ——圆锥探头半径（圆柱形模型），mm；
 γ_w ——水的重度，kN/m³；
 K_D ——按式（7）确定；
 U —— t 时刻的归一化超孔隙水压力，按式（8）确定；
 σ'_{v0} ——有效上覆应力，kPa。

$$K_D = 1 / (B_q Q_t) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$U = \frac{u_t - u_0}{u_i - u_0} \quad \dots\dots\dots (8)$$

Chai 等对 Elsworth 方法的修正，提出采用半球面流的假定应当更加合理，并据此提出渗透系数计算公式。

现在国际通用 CPTU 孔压元件均位于锥肩位置（ u_2 ），孔压分布和消散主要按水平方向，需要对上述方法进行改进，刘松玉等采用圆柱面形式，并假定初始超孔隙水压力分布呈负指数衰减：

$$u - u_0 = (u_2 - u_0) \exp[-0.3(r/r_0 - 1)] \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$u - u_0 = (u_2 - u_0) \exp[-0.3(r/r_0 - 1)] \quad \dots\dots\dots (10)$$

可以得到土的水平渗透系数计算公式：

$$k_h = \frac{r_0}{2h} \cdot \frac{K_D}{0.3} \cdot \frac{U r_0 \gamma_w}{\sigma'_{v0}} \quad \dots\dots\dots (11)$$

对国际标准规格的 CPTU 探头， $h = 5\text{mm}$ ， $r_0 = 17.85\text{mm}$ ，本文方法计算的渗透系数是 Elsworth 方法的约 20 倍，是 Chai 方法的约 10 倍。

为了评价改进方法的适用性，对苏州地铁玉山公园站、星湖街站、红庄站、竹辉路站、长江四桥、长江隧道、泰州大桥等试验场地数据分析，分别利用 Elsworth 等方法、Chai 等方法和本文方法，以现场抽水试验和室内水平渗透试验为参考值，对部分排水条件下砂性土和不排水情况下的黏土渗透系数的计算进行了比较分析，共计数据点 56 个。结果如图 3、图 4 所示，表明采用本文改进方法所计算的渗透系数较大，但与实测结果相近。

渗透系数也可以根据土性分类指数进行估算。Robertson 和 Wride 提出了土性分类指数的计算公式：

$$I_c = \sqrt{(3.47 - \lg Q_m)^2 + (\lg F_r + 1.22)^2} \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$Q_m = [(q_t - \sigma_{v0}) / p_a] (p_a / \sigma'_{v0})^n \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$F_r = [f_s / (q_t - \sigma_{v0})] \times 100\% \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中：

q_t ——修正后锥尖阻力，kPa；
 f_s ——侧壁摩阻力，kPa；
 σ_{v0} ——上覆总应力，kPa；
 σ'_{v0} ——有效上覆应力，kPa；
 $(q_t - \sigma_{v0}) / p_a$ ——归一化净锥尖阻力，无量纲；

$(p_a/\sigma'_{v0})^n$ ——应力归一化系数，无量纲；

p_a ——大气压强，可取 100kPa；

n ——随土性分类 (SBT) 而变化的应力指数，在竖向应力不大的情况下：对粗粒土， n 取 0.5~0.9；细粒土 $n=1.0$ ；竖向应力超过 1MPa 时， $n=1.0$ 。

东南大学岩土工程研究所 CPTU 课题组根据我国规范土分类方法创立了我国基于 CPTU 的土分类图，根据该分类图的土类指数范围可以评估相应土类的水平渗透系数。根据长江下游地区 7 个基坑工程的土性分类指数与测试的渗透系数统计结果如图 5 所示，得到修正公式 (15)，可据此估计土的水平渗透系数：

$$k_h = 10^{-0.22-2.32I_c} \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中：

I_c ——土性分类指数，按式 (12) 确定。

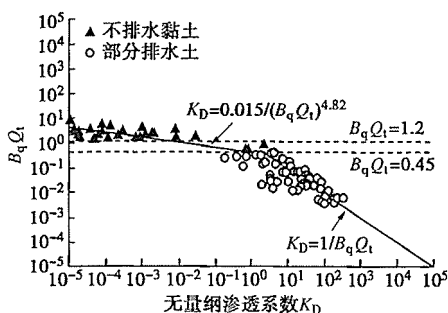


图 3 本文方法反演 K_D 与 $B_q Q_t$ 的关系

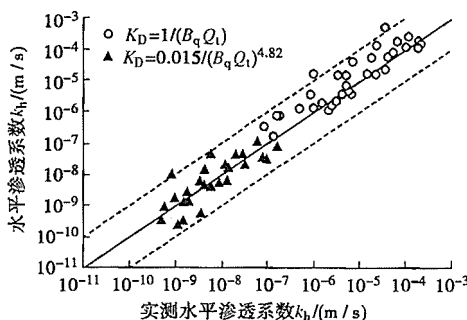


图 4 实测 k_h 与本文方法计算 k_h 对比

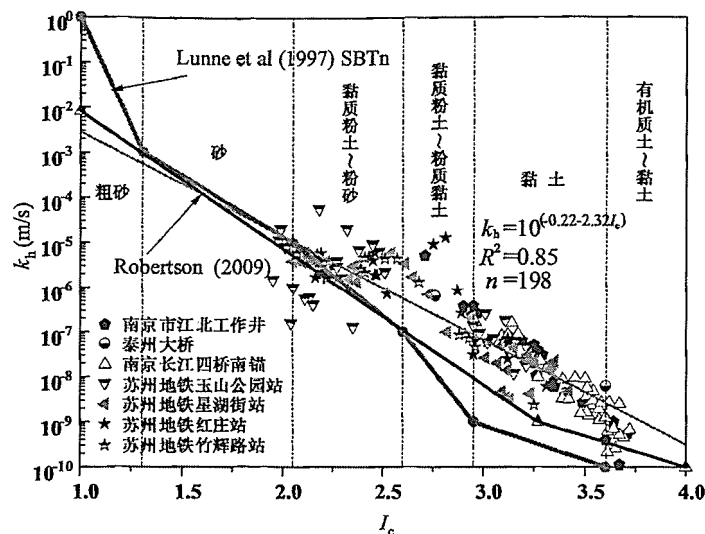


图 5 水平渗透系数 k_h 与土性指数 I_c 的拟合线

将上述估算土体水平渗透系数 k_h 的方法应用于上海中心大厦基坑工程, 得到的预测值与实测值对比如图 6 所示。从图中可以看出, 本研究所提出的新解析方法与现场注水试验得到的结果相一致, 且比室内渗透试验资料高出 1~2 个数量级。

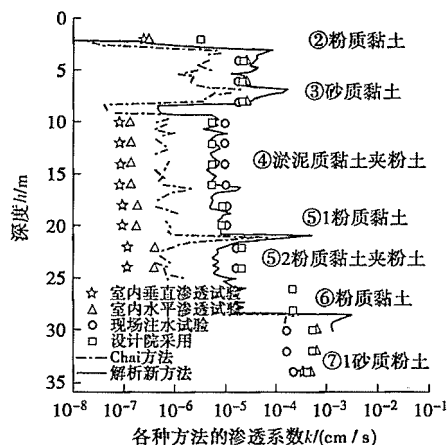


图 6 上海中心大厦工程不同试验方法得到的渗透系数与实测对比图

7.1.4 污染场地的调查中, 可采用多功能探头同时测定土的电阻率、温度、锥头阻力 q_c 、侧壁摩阻力 f_s 等参数, 也可采用单一测定土层电阻率的探头, 根据获得的电阻率与背景值的比较, 初步判定污染土和地下水的分布范围。

电阻率孔压静力触探 (RCPTU) 是在常规孔压静力触探 (CPTU) 基础上增加土体电阻率测量单元, 一种现场测试土电阻率的原位测试技术。RCPTU 电阻率测试装置主要由 4 个铜质电极以及内部的电路系统等组成, 铜电极之间用绝缘塑料隔离开来, 形成 O 形环状密封系统。通过其内部的电路系统与 4 个电极同步、连续地测量内部两电极间的电压变化, 并根据欧姆定律原理编制计算程序计算电极周围土体的电阻率大小。电阻率探头同时包含有全套的其他测试功能, 可同步记录贯入过程中的锥尖阻力、侧面摩擦力、孔隙压力与测斜等。有的电阻率探头还具有测试周围土体温度与

接收地震剪力波等功能。东南大学岩土工程研究所引进的美国 Hogentogler 原装多功能数字式车载 RCPTU 系统，配备了最新的电阻率功能测试探头（RCPTU 探头结构示意图如图 7 所示）。探头采用四电极排列方式，以消除气体发生和电镀可能造成的误差。探头有一特制的电伺服系统，使用自动修正技术确保在 0mS/cm~10 000mS/cm 范围内的测试精度。另外，探头采用了二级技术来消除钢质设备本身所形成的无关电路的影响。现场数据采集使用 E4FCS 计算机系统，通过 CPTSND 软件控制电阻率数据的采集，使用 CONELOT 和 CLEANUP 软件可以得到数据列表及有关电导率（mS/cm）或电阻率图像（ $\Omega \cdot m$ ）。不同土层对探头电阻率由传感器通过电信号输入记录仪表，测试贯入过程中电阻率变化，通过分析电阻率的变化确定土体的孔隙率、饱和度、含盐量、压实度、液化势、固结度、渗透特性以及污染物的分布。具体操作步骤按照本标准附录 E.0.1、附录 E.0.2 与附录 E.0.3 执行。

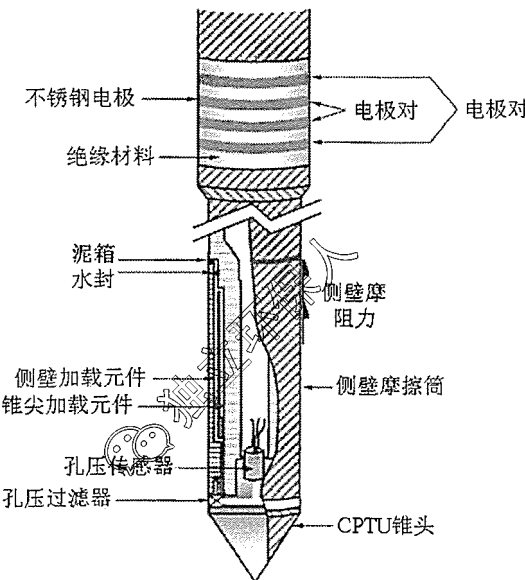


图 7 电阻率孔压静力触探（RCPTU）探头结构示意图

7.1.5 水文地质参数主要包括地下水水位、地下水流向、渗透系数、给水度、储水系数、弥散系数等。地下水水位、地下水流向、渗透系数一般每个项目均需测试，给水度、储水系数、弥散系数可根据工程需要开展。如果场地内没有符合要求的浅层地下水监测井，则可根据调查结论在地下水径流的下游布设监测井，利用监测井进行抽水试验、注水试验等确定水文地质参数。

7.2 现场快速测试

7.2.1 关于污染场地现场快速测定方法，作如下说明：

- 1 便携式 pH/电导率测试仪可用于土的 pH/电导率测试。现行国家标准《水质 pH 值的测定 玻璃电极法》GB/T 6920—86 要求最好现场测定。
- 2 现行行业标准《土壤氧化还原电位的测定电位法》HJ 746—2015 规定了土的氧化还原电位的现场测试方法。
- 3 手持式 X 射线荧光光谱仪：该仪器能够满足现场快速测试并对污染土壤分类，这意味着大

量节约垃圾掩埋费用，同时补救措施开始前对未知样品的初步分析可以节约大量费用，到初步筛选时还可以大量减少实验室分析费用。仪器可快速定位和识别污染元素，并找出“重点区域”的边界，现场可分析 EPA 6200 定义的所有元素，针对土壤中有害重金属污染元素进行高精度、高可靠性的定性半定量检测，保证用户能够对所感兴趣的重金属元素均可进行快速分析，并且提供更低的元素检测下限，简单快捷的传输数据使决策者快速做决断。分析元素范围 Mg、Al、Si、P、S、Sc、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ge、As、Se、Sr、Y、Zr、Nb、Mo、Ru、Pd、Ag、Cd、In、Sn、Sb、Te、La、Ce、Pr、Ir、Pt、Au、Nd、Hf、Ta、W、Re、Pb、Bi、Th 等 47 个元素。

7.2.2 关于污染场地地表水、地下水的现场快速测定方法，作如下说明：

1 便携式多参数水质测定仪是一种可以同时、快速检测水质的新型仪器，操作简便，结果准确。可与配套试剂同时使用，不需配置标准溶液、绘制标准曲线即可快速得到结果，便于野外采样，现场现测，有的可快速检测 78 个参数。便携式水质检测箱：可测量酸度、碱度、硬度、氨、溴、pH、电导率、溶解氧、氧化还原电位、溶解性总固体及温度等参数。

2 现行行业标准《水质 氰化物等的测定 真空检测管-电子比色法》HJ 659—2013，适用于地下水、地表水、生活污水和工业废水中氰化物、氟化物、硫化物、二价锰、六价铬、镍、氨氮、苯胺、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、磷酸盐以及化学需氧量等污染物的快速分析。按照现行行业标准《地表水和污水监测技术规范》HJ/T 91—2002、《地下水环境监测技术规范》HJ/T 164—2004、《突发环境事件应急监测技术规范》HJ 589—2010 的相关规定采集样品。样品应尽快现场测定，不需要添加固定剂。

3 现行行业标准《水质 游离氯和总氯的测定 N，N-二乙基-1，4-苯二胺滴定法》HJ 585—2010、《水质游离氯和总氯的测定 N，N-二乙基-1，4-苯二胺分光光度法》HJ 586—2010，均要求样品应尽量现场测定。

4 现行行业标准《便携式溶解氧测定仪技术要求及检测方法》HJ 925—2017 规定了便携式溶解氧测定仪的技术要求、性能指标及检测方法。

7.2.3 污染场地气体的现场快速测定，作如下说明：

1 便携式挥发性有机物测定仪可在采样现场对挥发性有机物样品进行浓度高低的初筛。现行行业标准《环境空气 挥发性有机物的测定 便携式傅里叶红外仪法》HJ 919—2017，适用于场地气体中丙烷、乙烯、丙烯、乙炔、苯、甲苯、乙苯、苯乙烯等 8 种挥发性有机物在互不干扰情况下的突发环境事件的应急监测，为定性半定量方法。其他挥发性有机物若通过验证也可用本方法测定。现行行业标准《环境空气 无机有害气体的应急监测 便携式傅里叶红外仪法》HJ 920—2017，适用于场地气体中一氧化碳、二氧化氮、一氧化氮、二氧化硫、二氧化碳、氯化氢、氰化氢、氟化氢、一氧化二氮、氨等无机有害气体的现场应急监测，以及筛选、普查等先期调查工作，也为定性半定量方法。其他无机气体若通过验证也可用本方法测定。

2 现行行业标准《环境空气 氯气等有毒有害气体的应急监测 比长式检测管法》HJ 871—2017 适用于氯气、一氧化碳、硫化氢、氯化氢、氰化氢、光气、氟化氢、氨气、甲醛、苯乙烯、砷化氢、臭氧、二氧化硫、氮氧化物、苯和甲苯等 16 种有害气体的现场应急监测，以及筛查、普查等先期调查工作，为定性半定量方法。

现行行业标准《环境空气 氯气等有毒有害气体的应急监测 电化学传感器法》HJ 872—2017 适用于场地气体中氯气、硫化氢、氯化氢、一氧化碳、氰化氢、光气、氟化氢、氨气和二氧化硫等 9 种有害气体的现场应急监测，以及筛查、普查等先期调查工作，也为定性半定量方法。

7.3 水文地质参数原位测试

7.3.1 污染场地勘察的水文地质试验工作目的是为场地的环境评价以及治理修复设计提供参考，为规划建设提供基础资料。为尽量准确地求取场地的水文地质参数，并能够同时为场地的治理修复提供参考，抽水试验宜布设在将要进行修复的污染区域，并可与修复井相结合一井多用，抽水试验过程中应确保抽出的污染地下水集中收集、妥善处理。抽水井位的选择上应遵循不增大污染范围，不加重污染的原则。当仅为获取必要的水文地质参数时，抽水试验井可布设于场地内远离污染源的区域，尽量减少对污染水体的干扰，但应与污染区位于同一个水文地质单元上。需要说明的是，为了避免污染物扩散的风险，为获得土层水文地质参数的试验，应尽量选择在非污染区域进行。地下水位量测，着重说明下列几点：

1 稳定水位是指钻探时的水位经过一定时间恢复到天然状态后的水位。地下水位恢复到天然状态的时间长短受含水层渗透性影响较大，当需要编制地下水等水位线图或工期较长时，在现场工作结束时宜统一量测一次稳定水位；

2 地下水位量测精度规定为厘米，是指量测工具、观测等造成的总误差的限值，因此量测工具应定期校正。

7.3.2 测定水文地质参数的方法有多种，应根据地层透水性能的大小和场地环境评价或修复设计对参数的要求，按本标准附录 C 选择。水文地质参数主要包括地下水水位、地下水流向、渗透系数、给水度、储水系数、弥散系数等。地下水水位、地下水流向、渗透系数一般每个项目均需测试，给水度、储水系数、弥散系数可根据工程需要开展。

7.3.3 对地下水流向、流速的测定作如下说明：

1 用几何法测定地下水流向的钻孔布置，除应在同一水文地质单元外，尚需考虑形成锐角三角形，其中最小的夹角不宜小于 40° ；孔距宜为 50m~100m，过大和过小都将影响量测精度；

2 用指示剂法测定地下水流速，试验孔与观测孔的距离由含水层条件确定，一般细砂层为 2m~5m，含砾粗砂层为 5m~15m，裂隙岩层为 10m~15m，对岩溶水可大于 50m；指示剂可采用各种盐类、着色颜料等，其用量决定于地层的透水性和渗透距离。

7.3.4 本条明确了采用孔压静力触探试验评价场地渗透系数的方法，具体测试方法参照附录 D。具体方法可参考 7.1.3 条文说明。

7.3.5 注水试验、抽水试验是确定场地水文地质条件重要的原位测试手段。考虑到污染场地勘察重要原则是避免勘察引起交叉污染、污染扩散、二次污染，本标准优先选择对地层和地下水扰动小的注水试验，且注水试验测试深度范围大于抽水试验。抽水试验的优势则在于可在试验阶段直接获取地下水水试样。

注水试验包括钻孔注水试验、试坑注水（渗水）试验两类。钻孔注水试验包括常水头法渗透试

验和变水头法渗透试验，常水头法适用于砂、砾石、卵石等强透水地层；变水头法适用于粉砂、粉土、黏性土等弱透水地层，又可分为升水头法和降水头法。试坑注水（渗水）试验是测定包气带非饱和岩（土）层渗透系数的简易方法。最常用的是试坑法、单环法和双环法。现行行业标准《水利水电工程注水试验规程》SL 345 规定了试坑单环注水法和试坑双环注水法的适用条件、试验设备、试验方法、成果整理。

钻孔抽水试验主要用于确定含水层水文地质参数，包括渗透系数、导水系数、释水系数、越流系数等，并且是了解地表水与含水层及含水层之间水力联系的重要手段。根据水动力特征分为稳定流抽水试验、非稳定流抽水试验；根据抽水试验孔的数量和组合方式，分为单孔抽水试验、多孔抽水试验等。本标准同时采用现行国家标准《供水水文地质勘察规范》GB 50027、国家水利行业标准《水利水电工程钻孔抽水试验规程》SL 320。

7.3.6 地下水污染羽是指污染物从污染源向周边移动和扩散时所形成的污染区域。水动力弥散是一种宏观现象，反映了污染物在土中的分子扩散、机械弥散。这一现象通过水动力弥散系数评价。因此，水动力弥散系数是分析地下水污染、建立污染物运移模拟及预测的一项关键参数。水动力弥散系数是一个与流速及多孔介质有关的张量；简化为一维流场问题时，水动力弥散系数数值上等于分子扩散系数与机械弥散系数之和。

含水层的水动力弥散系数的原位测试方法原理是：根据示踪剂注入含水层的边界条件、初始条件，借助水动力弥散方程的解析解，拟合示踪剂迁移观测数据，以确定水动力弥散系数。示踪剂注入方式主要包括天然状态法、附加水头法、连续注入法、脉冲注入法等。

天然状态法：向钻孔内定量注入示踪剂溶液，观察天然状态下水中污染物的弥散，测定其弥散系数，示踪剂溶液投放时间作为弥散试验起始时间。

附加水头法：向钻孔内定量注入含示踪剂的溶液，抬高钻孔水头至一定高度后停止向孔内注水。该方法适用于渗透性较大的土层，如粉性土、砂土等。

连续注入法：往钻孔中连续定量注入含示踪剂的溶液，使孔内保持一定水位。该方法适用于地下水位以下渗透性较小的土层，如粉性土、黏性土等。在渗透性较大的土层中，因抬高水头后下降速度较快，观测难度大，故该方法不适用。同时，其所需示踪剂溶液用量多、体积大、投放时间长，不但会引起地下水物理性质的改变，且流场性质也不好控制。故一般情况下连续注入方式较少采用。

脉冲注入法：利用压力脉冲注水工具将稳定的注入水（含示踪剂）转化成周期性脉冲注水而产生脉冲波的一种机制。在脉冲注水技术原理下所产生的低频脉冲、高幅压力、振动波等可以起到破碎杂物的作用，从而可以有效提高低渗透性土的渗透率，达到降低压强和增加注水的目的。另外，高低压交替的纵向脉冲波可以更好地使水流注入渗透层，增大注水量。

观测孔布设一般可采用以试验孔为中心“十”字形剖面，孔距可根据水文地质条件、含水层岩性等考虑，一般可采用 5m 或 10m。也可采用试验孔为中心的同心圆布设方法，同心圆半径可采用 3m、5m 或 8m，在卵砾石含水层中半径一般以 7m、15m、30m 为宜。

现行国家环境保护行业标准《环境影响评价技术导则 地下水环境》HJ 610 规定了 4 种常用解析解，包括：（1）一维无限长多孔介质柱体，示踪剂瞬时注入；（2）一维无限长多孔介质柱体，一端

为定浓度边界；（3）瞬时注入示踪剂——平面瞬时点源；（4）连续注入示踪剂——平面连续点源。

7.4 电阻率静力触探测试

7.4.1 土的电阻率定义为当电流垂直通过边长为 1m 的立方体土时所呈现的电阻大小，单位为 $\Omega \cdot m$ 。土的电阻率是表征土的导电性的基本参数，是土的导电率的倒数，是土的固有物理特性参数之一。土的电阻率受许多因素影响，如孔隙率、孔隙液的电阻率、固体颗粒的组成、饱和度、颗粒形状与排列方向、孔隙结构以及温度等。电阻率孔压静力触探（RCPTU）是现场测试土电阻率的一种专门原位测试技术。因其所测定为土的固有物理性质，故适用于包括黏性土、粉土、砂土在内的各类地层。

7.4.2 由于探杆周围土中电场的复杂性，且边界条件难以控制，使得由探头所测得的土电学特征很复杂。通过欧姆定律得出了触探试验的理论方程，土电阻率是通过测试恒定电流下两电极间的电压降 ΔV ，并根据欧姆定律计算出土电阻 R 的大小而得出的。因此，需要对电阻率探头进行规定。

RCPTU 电阻率测试装置主要由 4 个铜质电极以及内部的电路系统等组成，铜电极之间用绝缘塑料隔离开来，形成 O 形环状密封系统。通过其内部的电路系统与 4 个电极同步、连续地测量内部两电极间的电压变化，并根据欧姆定律原理编制计算程序计算电极周围土体的电阻率大小。

7.4.3 电阻率孔压静力触探是评价土壤污染和地下水污染特征的有效手段。根据相关研究与工程实践，土的电阻率或介电常数与土的孔隙率、饱和度、温度和离子浓度等多种因素有关。特定类型的土都有相对固定的电阻率或介电常数，其电阻率或介电常数的变异可能意味着受到污染。因此，需要对未污染的土体进行电阻率测试，以供比较。Davies 和 Campanella 总结了典型的土壤体积电阻率与孔隙流体电阻率的数值范围（表 5），可供参考。

表 5 典型场地类型的电阻率表

场 地 类 型	体积电阻率 $\rho_v/\Omega \cdot m$	流体电阻率 $\rho_f/\Omega \cdot m$
受盐水入侵影响的三角洲砂土	2	0.5
来自于砂土层中的饮用水	>50	>15
典型的垃圾沥出液	1~30	0.5~10
尾矿（base metal）或氧化硫化物沥出液	0.01~20	0.005~15
无氧化硫化物沥出液的尾矿	20~100	15~50
砷污染砂砾土	1~10	0.5~4
工业场地：无机污染砂土	0.5~1.5	0.3~0.5
工业场地：碳酸污染淤泥土和砂土	200~1 000	75~450
工业场地：木材腐烂类污染的黏质粉土	300~600	80~200

7.4.4 通常情况下，受有机物污染的土，其电阻率会增大；受重金属污染的土，其电阻率会降低。因此，采用测试电阻率或介电常数的探头获取土层电阻率或介电常数，再与区域背景值比较，可快速诊断场地土是否受到污染。

刘松玉等采用硝酸盐溶液作为重金属污染源,孔隙湿密度为 0.397g/cm^3 下的 3 种重金属污染土的污染浓度与电阻率之间的关系如图 8 所示。3 种重金属污染土的电阻率基本一致,略有不同,主要因为 3 种重金属离子的导电性对比为 $\text{Zn}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Pb}^{2+}$ 。

刘松玉等对农药污染的粉质黏土与黏土电阻率测试分析结果如图 9 所示,电阻率变化幅度都随着农药含量的增加呈对数关系增大,且变化幅度逐渐减小。

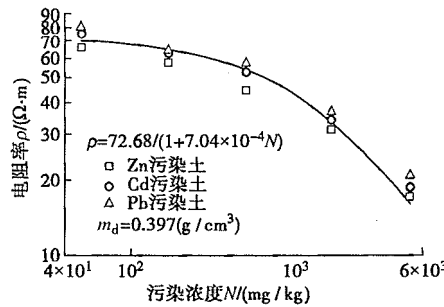


图 8 电阻率与重金属污染土污染浓度关系

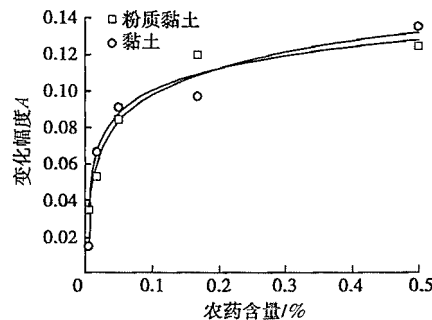


图 9 农药含量与电阻率变化幅度间相关关系

图 10 为东南大学岩土工程研究所对江苏省某有机污染场地单孔电阻率孔压静力触探测试结果,测试获取原始数据包括锥尖阻力、侧壁摩擦阻力、孔隙水压力及电阻率沿测试深度的连续变化曲线。电阻率孔压静力触探测试结果表明,受到有机物污染的土层其电阻率均略高于受到无机物污染的土体电阻率。采用等效电阻率偏差率 $\Delta R/R_r$ (%),可以对污染程度进行评估:

$$\frac{\Delta R}{R_r} = \left(\frac{D_r}{D_{rr}} R - R_r \right) / R_r \times 100\% \quad \dots\dots\dots (16)$$

式中:

D_r ——地层相对密实度, %;

D_{rr} ——相对密实度参考值, %;

R ——实测土的电阻, $\Omega \cdot \text{m}$;

R_r ——土的电阻率背景值, $\Omega \cdot \text{m}$ 。

当 $\Delta R/R_r$ 绝对值越大时,表明土受到污染的程度越大;当 $\Delta R/R_r < 0$ 时,表明污染物使得土体电阻率降低;反之,若 $\Delta R/R_r > 0$,则表明污染物使得土体电阻率增大。通过 $\Delta R/R_r$ 随深度变化规律即可判别受污染地层分布范围。图 11 给出不同试验电阻率孔压静力触探孔各深度处等效电阻率偏差

率解译结果。

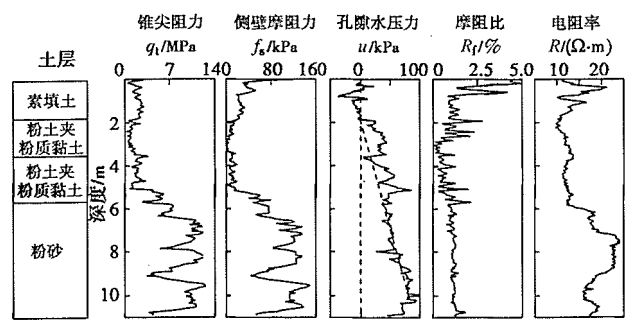


图 10 江苏省某有机污染场地单孔电阻率孔压静力触探测试结果

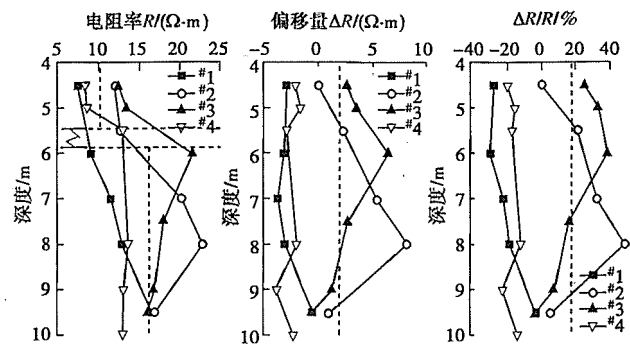


图 11 电阻率孔压静力触探测试解译结果

7.4.5 电阻率静力触探有关的仪器与设备标定可参考现行中国土木工程学会标准《孔压静力触探试验技术规程》(T/CCES 1)的相关规定。如测试仪器与设备不定期校准、标定,则会影响数据的准确性。探头如未密封,测试数据会失真或无法开展测试。附录 D 对孔压静力触探测试的现场准备、贯入准备、数据采集、现场测试方法等进行了规定,电阻率静力触探试验采用与孔压静力触探测试相同的贯入装备和数据采集仪,可以参考。

7.5 工程物探测试

7.5.1 行业标准《城市工程地球物理探测规范》CJJ7 是我国地球物理勘探行业的通用性技术规范,对各类物探方法适宜采用的仪器、不同场地适宜采用的方法有具体规定,本标准不再赘述。污染场地开展工程物探测试,属于特定的应用领域,其仪器及方法的选择尚应符合本节的相关要求。工程物探包含很多种技术方法,每种物探方法应用的物理基础就是探测目标对象与周围介质间存在某一种或多种物性参数的差异。污染场地因污染物的存在而使得土和地下水的物性参数(电阻率、介电常数等)发生变化,如重金属污染场地土的电阻率会降低。因此,针对不同污染土引起土的物性参数变化,应选择对该物性参数比较敏感的方法才能进行有效探测,比如重金属污染场地,应选择对电阻率变化特征敏感的高密度电阻率法、电阻率层析成像等方法进行探测。由于每种物探方法有特定的探测精度和分辨率,因此选用物探方法进行污染场地探测时,探测的污染土分布范围应具有一

定的规模，且引起的物性特征变化应具有一定的量级。本条款明确了应用工程物探方法进行污染场地调查的前提条件。

7.5.2 本条明确了高密度电阻率法和电阻率层析成像法的适用范围、工作方法和工作参数的选择要求。由于重金属、石油烃类及有机污染会导致土壤电阻率发生变化，而电阻率法对电阻率变化特征较为敏感，因此适用于该类污染场地的测试。当污染场地较为开阔，且需要查明较大范围的污染土和地下水分布时，可选用高密度电阻率法；当污染场地较为狭小，地表电磁干扰很大时，可选用孔中电阻率层析成像法。

本条的第 2、3 款是根据此方法的技术特点及工程经验，推荐选用的工作参数，具体应用时，可根据现场试验结果做适当调整。

7.5.3 本条明确了探地雷达法的适用范围、装置参数选择及测线布设的要求。由于石油烃类污染场地、垃圾填埋场等场地的介电常数或电磁波衰减特征会产生变化，而地质雷达法对介电常数变化及土中的电磁波衰减特征较为敏感，因此可以适用于该类污染场地的调查。

1 在物探工作开始之前，一般可结合工作条件和探测深度要求，根据类似工程经验选择合适的天线频率。当地质条件或环境条件复杂、常规经验无法满足要求时，应通过现场试验确定合适的天线频率。因为雷达天线频率越高，探测精度越高，但探测深度越浅，为获得高精度的测试结果，当多个频率的天线均能满足探测深度要求时，优先选用高频天线。

2 因为屏蔽天线对场地地表以上的各类电磁干扰具有更好的屏蔽作用，因此在场地条件、探测深度要求等条件相同的情况下，为降低各类外在电磁干扰对探测结果的影响，需要优先选用屏蔽天线。

需要说明的是，探地雷达法受地表环境干扰影响大，实际工作中应注意环境干扰对其判断与解释结论的不利影响。

7.5.4 本条规定了物探成果的判释原则，由于物探方法为间接探测方法，易受环境干扰，探测结果存在多解性，条件允许时，应尽可能采用多种方法进行综合探测，对不同物探方法的探测结果进行综合解释，保证探测成果的可靠。必要时，采用取样检测、分析等直接方法对探测成果进行验证，并对物探方法测试的物性数值进行标定。

8 室内分析与试验

8.1 一般规定

8.1.1 固体废物的简易堆放是场地土、地表水、地下水重要污染源。固体废物鉴别与浸出毒性分析，可以作为周边区域土、地表水、地下水主要污染物项目的重要依据，是对其进行分类填埋、储存、处置污染控制的基础。

8.1.2 本条明确了污染场地土的室内分析与测试项目，包括土的物理力学性质、土的环境质量、土的腐蚀性、土的浸出毒性。土的物理力学性质、土的腐蚀性是国家现行标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 所规定测试的项目。土的环境质量测试用于特定土地利用方式下污染土对人体健康、农业安全、生态环境的风险筛查和风险管制，参考的国家现行标准包括《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》GB 36600、《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》GB 15618 及《建设用地土壤污染风险评估技术导则》HJ 25.3。土的浸出毒性测试用于土中有机物和无机物的浸出毒性鉴别，测试模拟土在不规范填埋处治、堆存时，其中的有害组分在酸性降水的影响下，从土中浸出而造成环境二次污染的过程，参考现行行业标准《固体废物 浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法》HJ/T 299—2007。土的环境质量测试结果为土中污染物项目总量，而土的浸出毒性测试结果为试验条件下土中污染物项目浸出量；土中污染物项目总量大于等于土中污染物项目浸出量。

8.1.3 本条明确了污染土从取样之日起至开展物理力学性质试验的时间期限不宜超过 10d。污染土自取样后所处氧化还原环境、温度发生显著改变，明显影响土中金属元素化学形态及挥发性/半挥发性污染物含量，进而改变土的物理力学性质。国家现行标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 及地方建设标准《建设场地污染土勘察规范》DG/TJ 08—2233 均未对此进行规定。本条所规定时间期限充分估计了样品的现场临时储存、运输、试验试样制备时间。

8.2 污染场地土的物理力学性质试验

8.2.2 土的液限、塑限是土的最基本的试验项目，一般工程勘察都应进行。污染土的液限、塑限应符合现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123。我国《土工试验方法标准》GB/T 50123 同时规定液限、塑限联合测定及卡氏碟式仪两种方法测定液限；液限、塑限联合测定及滚搓法两种方法测定塑限。同时未限制测定方法适用范围。区别于常规土的测试：卡氏碟式仪测定液限时，污染土对碟式液限仪的铜碟具有腐蚀作用；滚搓法测定塑限需要试验人员与污染土直接接触，对人员健康安全造成巨大风险。由于测定方法的试验成果有差异，故应在试验报告上注明测试方法。

8.2.3 本条明确了室内渗透试验测定污染土渗透系数应采用场地取样地下水作为渗透液。现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 规定，土的渗透试验采用纯水；依此试验条件测定土的渗透系数与污染土的实际渗透系数存在较大误差，误差程度与土的基本物理性质、场地污染物项目及污染物浓度有关。

8.2.4 本条明确了污染土室内渗透试验的试验终止条件。现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 对渗透试验的试验终止条件规定以流量稳定作为控制依据。由于粉土、黏土颗粒表面带电特性，渗透过程中土与污染物之间存在复杂相互作用，渗透稳定即包括流量稳定，同时应包括土与污染物相互作用下的化学平衡稳定。对此，我国尚无直接现行标准可供参考。本条规定充分参考国际同类标准和科学研究，采用 pH、电导率、污染物浓度、累积渗出液体积与试样孔隙体积的比值作为评价化学平衡稳定的依据。

8.3 土和水的环境质量分析试验

8.3.1 本条规定了污染场地土和地下水的室内分析项目确定方法：

1 用地类型划分可按照现行国家标准《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》GB 36600 的规定。

2 调查与测绘成果初步判断了污染状态。

3 现场试验通过对取样的快速测试，识别污染物，并按照现行国家标准《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》GB 36600、《地下水质量标准》GB/T 14848、《地表水环境质量标准》GB 3838 所规定限值评价污染程度、超标项目、超标倍数、超标率，从而确定室内分析项目。

8.6 污染场地土浸出毒性试验

8.6.1 本条明确了污染土的浸出特性试验。我国现行 4 种固体废物浸出毒性浸出方法中仅《固体废物 浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法》HJ/T 299 适用于污染土。该方法与美国环保总署的浸出试验体系框架《EPA-600/R-10/170》中的 1312 试验方法（合成沉降浸出程序，SPLP）大体相当，模拟酸性降水的影响下散体土中污染物浸出特性。《EPA-600/R-10/170》中的 1313 和 1314 试验方法反映了不同 pH、固液比条件下散体土、块体土中污染物浸出特性；1315 试验方法是一种土体半动态浸出试验，可以模拟地下水作用下土中污染物扩散行为，确定扩散系数。我国尚未制定与 1313、1314、1315 试验方法相类似的规范。

8.6.2 本条明确了污染土的浸出毒性试验。我国现行行业标准《固体废物浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法》HJ/T 299 适用于污染土的浸出毒性分析。该方法与美国环保总署的浸出试验体系框架《EPA-600/R-10/170》中的 1312 试验方法（合成沉降浸出程序，SPLP）大体相当，模拟酸性降水的影响下散体土中污染物浸出特性。

pH、固液比是土的浸出毒性试验结果的重要影响因素。美国环境保护署分别给出了考虑环境 pH 影响的浸出毒性试验方法（即 1313 试验方法）及考虑长期浸出累积效应及固液比影响的浸出毒性试验方法（即 1314 试验方法）。我国尚未制定与 1313、1314 试验方法相类似的标准。

8.6.3 本条规定在原状或扰动土试样中污染物以扩散方式浸出条件下，表观扩散系数测试方法。该方法参考了美国环保总署 1315 试验方法。1315 试验方法是一种土的半动态浸出毒性试验，可以模拟地下水作用下土中污染物扩散行为，确定表观扩散系数。我国尚未制定与 1315 试验方法相类似的标准。

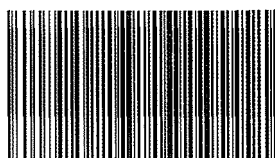
9 成果报告

9.2 污染场地评价

9.2.1 根据现行国家标准《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》GB 15618、现行行业标准相关规定及场地土壤污染风险筛选值，评价污染场地土的环境质量指标超标率及超标程度；

可按照场地用途，并根据现行国家标准《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》GB 36600 及《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》GB 15618 等评价污染场地土的风险；

根据现行国家标准《地下水质量标准》GB/T 14848、《地表水环境质量标准》GB 3838 的相关规定，评价污染场地水的环境质量指标超标比例及超标程度。



15571478

统一书号：155714·78

定价：85.00 元