

陕西省工程建设标准

石油类污染场地勘查与修复技术规范

Technical specification for petroleum contaminated
site investigation and remediation

DBJ 61/T 120 – 2016

主编部门：陕西省住房和城乡建设厅

批准部门：陕西省住房和城乡建设厅

陕西省质量技术监督局

实施日期：2017 年 03 月 01 日

中国建材工业出版社

2017 北京

本标准的版权受到法律保护，未经著作权人书面许可，任何人不得以任何方式或方法复制抄袭本标准的任何内容，违者承担全部法律责任。

石油类污染场地勘查与修复技术规范

Technical specification for petroleum contaminated
site investigation and remediation

DBJ 61/T 120 – 2016

*

批准部门：陕西省住房和城乡建设厅

组织编制：陕西省建筑标准设计办公室

地址：西安市金花北路 32 号 710032

电话：029 – 83235169

*

出版发行：**中国建材工业出版社**

地址：北京市海淀区三里河路 1 号

邮政编码：100044

印刷：陕西锦绣印务有限责任公司

开本：889mm × 1194mm 1/32 印张：2.5 字数：48 千字

版次：2017 年 3 月第 1 版 印次：2017 年 3 月第 1 次印刷

*

统一书号：155160 · 957

定价：30.00 元

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题，可与陕西省建筑标准设计办公室联系退换 029 – 83235169

陕西省住房和城乡建设厅 陕西省质量技术监督局

文件

陕建发〔2017〕6号

关于发布陕西省工程建设标准 《石油类污染场地勘查与修复技术规范》的通知

各设区市住房和城乡建设局（建委）、质量技术监督局，杨凌示范区规划建设局，西咸新区建设环保局，韩城市住房城乡建设局，神木县、府谷县住房城乡建设局：

由中国有色金属工业西安勘察设计院主编的陕西省工程建设标准《石油类污染场地勘查与修复技术规范》，已经陕西省住房和城乡建设厅与陕西省质量技术监督局组织有关部门和专家审定通过，现发布为陕西省工程建设地方标准，标准编号为 DBJ61/T 120 - 2016，自 2017 年 3 月 1 日起实施。

本标准由省住房和城乡建设厅负责归口管理，省建筑标准设计办公室负责出版、发行，中国有色金属工业西安勘察设计院负责具体条文技术解释。

陕西省住房和城乡建设厅
陕西省质量技术监督局
2017 年 1 月 2 日

前 言

本规范是根据陕西省住房和城乡建设厅陕建函〔2014〕255号的要求，由中国有色金属工业西安勘察设计研究院会同有关勘查设计、高等院校、环境保护、石油企业等单位共同编制而成的。

本规范在编制过程中，编制组进行了广泛的调查研究，认真总结了我国石油污染场地勘查与修复的工程经验，并在广泛征求意见的基础上，通过反复讨论、修改和完善，最终经审查定稿。

本规范共分9章和5个附录，主要技术内容包括：总则、术语和符号、基本规定、污染场地勘查、土壤、地下水样品的采集与测试、污染场地监测、污染场地污染程度划分、污染场地修复技术、修复方案编制等。

本规程由陕西省住房和城乡建设厅负责归口管理，陕西省建筑标准设计办公室负责出版发行，由中国有色金属工业西安勘察设计研究院负责规范的具体解释。本规范在执行过程中，请各单位注意总结经验，并将意见和建议寄交至中国有色金属工业西安勘察设计研究院科技创新办公室（地址：西安市西影路46号，邮编：710054 邮箱：xkguifan@ysxk.cn）

本规范主编单位：中国有色金属工业西安勘察设计研究院

本规范参编单位：中国石油天然气股份有限公司西安输
油气分公司

西安长庆科技工程有限责任公司

陕西中圣环境科技发展有限公司

西安建筑科技大学

长安大学

陕西环境监测中心站

中石化石油工程设计有限公司

本规范主要起草人：董忠级 李珍英 赵军营 李 勇

张智锋 石 辉 王 玮 许 峰

刘 权 李合义 姬 瑜 况卫东

石嘉琳 刘 波 荆少东 钟储汉

郭志强 张吉宏 李 莹

本规范主要审查人：徐张建 冉新权 候光才 李稳哲

赵晓光 杨志刚 王 睿 张继文

王伟东

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	4
3	基本规定	5
4	污染场地勘查	6
4.1	一般规定	6
4.2	污染场地土壤勘查	6
4.3	污染场地地下水勘查	8
5	土壤、地下水样品的采集与测试	10
5.1	土壤样品的采集	10
5.2	土壤样品的测试	11
5.3	地下水样品的采集	12
5.4	地下水样品的测试	13
6	污染场地监测	14
6.1	一般规定	14
6.2	修复监测	15
6.3	工程验收监测	16
7	污染场地污染程度划分	18
8	污染场地修复技术	20
8.1	一般规定	20
8.2	污染土壤修复技术	20
8.3	污染地下水修复技术	23

8.4	复合修复技术	25
9	修复方案编制	26
9.1	一般规定	26
9.2	修复方案编制基本要求	26
附录 A	石油类污染场地应急勘查基本要求	29
附录 B	钻孔、探井、探槽回填材料及方法	31
附录 C	水文地质参数测试方法	32
附录 D	地下水修复模拟计算	33
附录 E	污染场地修复方案编制基本要求	38
	本规范用词说明	40
	引用标准名录	41
	条文说明	43

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	4
3	Basic Requirements	5
4	Investigation Exploration of Petroleum – contaminated sites ...	6
4.1	General Requirements	6
4.2	Investigation of Petroleum – contaminated sites’ soil	6
4.3	Investigation of Petroleum – contaminated sites’ groundwater	8
5	Collection and Testing of Soil and Groundwater sample	10
5.1	Collection of Soil sample	10
5.2	Testing of Soil sample	11
5.3	Collection of Groundwater sample	12
5.4	Testing of Groundwater sample	13
6	Monitoring of Petroleum – contaminated sites	14
6.1	General Requirements	14
6.2	Monitoring of Recovery	15
6.3	Monitoring of Engineering acceptance	16
7	Pollution degree divisions of Petroleum – contaminated sites	18
8	Recovery technologies of Petroleum – contaminated sites	20
8.1	General Requirements	20

8.2	Recovery technologies of Petroleum – contaminated sites’ soil	20
8.3	Recovery technologies of Petroleum – contaminated sites’ groundwater	23
8.4	Composite recovery technologies	25
9	Programming of Recovery	26
9.1	General Requirements	26
9.2	Basic requirements of Recovery plan	26
Appendix A	Basic requirements of Emergency exploration of Petroleum – contaminated sites	29
Appendix B	Backfill material and method of borehole, test pit and trench	31
Appendix C	Testing method of Hydrogeological parameter	32
Appendix D	Remediation simulation of groundwater	33
Appendix E	Basic requirements of Recovery plan of Petroleum – contaminated sites	38
	Explanation of wording in this code	40
	List of quoted standards	41
	Explanation of provisions	43

1 总 则

1.0.1 为了在石油类污染场地勘查与修复过程中，做到技术先进，经济合理，安全适用，保护环境，特制定本规范。

1.0.2 本规范适用于陕西省石油类污染土壤、污染地下水场地勘查、修复及监测。

1.0.3 石油类污染场地修复方案的编制，应以污染场地勘查资料为基础，结合场地及周边环境的特点，因地制宜。

1.0.4 石油类污染场地的修复工作除应符合本规范的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 石油类 petroleum

以碳氢化合物为主要成分的，有色可燃性油质液体矿物。包括各种烷烃、环烷烃、芳香烃等。

2.1.2 场地土壤 soil of contaminated site

场地土壤是指场地边界内及周边可能受到污染影响的土体。

2.1.3 污染场地 contaminated site

对潜在的污染场地进行调查和勘查后，确认石油类污染指标超过规定的指标限值或背景值的场地。

2.1.4 场地环境调查 environmental site investigation

通过场地勘查，系统地查明场地污染程度和范围的过程。

2.1.5 场地环境监测 site environmental monitoring

连续或间断地测定场地环境中污染物的浓度及其空间分布，观测、分析其变化及其对环境的影响的过程。

2.1.6 修复技术 remedial technology

可用于消除、降低、稳定或转化场地中目标污染物的各种处理、处置技术。包括可改变污染物结构、降低污染物毒性、迁移性或数量与体积的各种物理、化学或生物技术。

2.1.7 土壤修复 soil remediation

采用物理、化学或生物的方法转移、吸收、降解或转化场地土体中的污染物，使其含量或浓度降低到可接受水平，满足相应土壤类别的要求。

2.1.8 地下水修复

采用物理、生物的方法转移、吸收或转化场地水体中的污染物，使其含量或浓度降低到可接受水平，满足相应水质要求。

2.1.9 物理修复 physical remedial

借助于物理手段将污染物从土壤中分离出来以降低污染物浓度的方法。包括置换技术、土壤气相抽提技术、热脱附技术、土壤淋洗技术等。

2.1.10 化学修复 chemical remedial

利用化学修复剂与污染物发生一定的化学反应，使污染物被降解、毒性被去除或毒性降低的修复技术。包括溶剂萃取技术、土壤原位氧化技术、土壤焚烧技术等。

2.1.11 生物修复 bioremediation technology

利用具有特定功能的生物，在适宜环境条件下，通过自身的代谢作用，降低土壤中有害污染物活性或降解成无害物质的修复技术。包括生物通风技术、土壤耕作技术、生物堆肥技术、生物反应器技术和植物修复技术等。

2.1.12 原位修复 in – situ remediation

不移动受污染的土壤或地下水，直接在场地发生污染的位置对其进行原地修复。

2.1.13 异位修复 ex – situ remediation

将受污染的土壤或地下水从场地发生污染的原有位置挖掘或抽提出来，搬运或转移到异地进行修复。

2.1.14 复合修复 composite restoration

采用2种或2种以上修复技术对污染土壤或污染地下水场地进行修复。

2.2 符号

- C —— 浓度；
 C_s —— 固相浓度；
 $C(\psi)$ —— 容水度；
 C_w —— 源汇项的浓度；
 D —— 水动力弥散系数张量；
 h —— 水头；
 I —— 污染物源汇项；
 K —— 非饱和渗透系数；
 K_s —— 饱和渗透系数；
 m —— 土壤水分特征曲线形状参数；
 n —— 孔隙度；
 R_d —— 滞留因子；
 S_e —— 有效饱和度；
 S_s —— 弹性释水率；
 $S_r(\psi)$ —— 饱和度；
 V —— 地下水运动实际速度；
 W —— 源汇项；
 θ —— 体积含水量；
 θ_r —— 剩余含水量；
 θ_s —— 饱和含水量；
 ρ_b —— 多孔介质的密度；
 $\lambda、\lambda_s$ —— 分别为液相和固相的一级化学反应常数；
 ψ —— 压力水头；
 PN —— 内梅罗污染指数；
 $\overline{PI}$ —— 平均单项污染指数；
 $PI_{\max}$ —— 最大单项污染指数。

3 基本规定

3.0.1 修复方案编制前应进行污染场地勘查，查明土壤或地下水的污染范围、污染程度。

3.0.2 勘查工作应结合污染场地的污染特征，编制勘查大纲。

3.0.3 编制修复方案前，应确定场地土壤、地下水的修复标准。

3.0.4 污染场地在实施修复前，对修复措施拟采用的技术参数应进行室内或室外试验，以确定其可靠性。

3.0.5 在场地勘查与修复过程中应符合环境保护、安全、职业健康的相关要求，严禁发生二次污染。

4 污染场地勘查

4.1 一般规定

4.1.1 污染场地勘查应在现场踏勘，充分收集工程地质与水文地质资料、土地使用功能、周边环境条件等基础上，编制勘查大纲。

4.1.2 勘查方法宜采用现场调查与测绘、钻探、井探、槽探、物探、实验与测试等。

4.1.3 勘查点应结合场地工程地质与水文地质条件布置在有代表性地段。勘查点数量应根据污染场地范围、污染土层厚度的变化及地下水体污染情况确定。

4.1.4 水文地质测试孔的深度、孔径应根据试验目的确定，试验设备和试验方法应符合现行国家相关标准的规定。

4.1.5 勘查作业前应调查场地内各类管线、电缆、建（构）筑物等分布情况。

4.1.6 对突发的重大污染事件，应在启动应急预案的基础上进行应急勘查。应急勘查的基本要求见附录 A。

4.2 污染场地土壤勘查

4.2.1 勘查工作应查明污染范围、污染程度，为污染场地修复方案的编制提供依据，并进行下列工作：

- 1 调查污染源、污染方式及污染发生的时间；
- 2 查明场地及污染分布特征、污染途径、污染范围和污染

程度；

- 3 收集、分析已有的地形、地貌、水文、气象等资料；
- 4 查明污染场地土壤类型、土地利用情况等；
- 5 查明污染场地地层结构、成因、岩性及埋藏条件。

4.2.2 勘查工作应满足下列要求：

- 1 在收集已有资料基础上进行现场调查与测绘；
- 2 勘查方法可采用钻探、井探、槽探等，孔径及孔深应满足取样、测试与试验要求；
- 3 勘查过程中，应对土壤成因、岩性、颜色、稠度、气味等进行描述，岩芯应按钻进顺序排放于岩芯箱内，用标签纸标记岩芯所在钻孔的编号和深度，并用数码相机记录；
- 4 土样采集的具体要求应符合第5章的要求；
- 5 勘探结束后，应对钻孔、探井、探槽及时回填，回填方法见附录B。

4.2.3 勘查工作量布置应符合下列规定：

- 1 环境地质调查与测绘的比例尺应采用1:500~1:1000；
- 2 点状渗漏污染场地宜采用放射状布置勘探点，以污染源为中心，以 30° ~ 60° 为基准线布置勘探线，点间距宜为5m~15m；
- 3 井场、站场、加油站渗漏污染宜采用方格网状布置勘探点，点间距宜为10m~25m；
- 4 输油管线等线状渗漏污染宜采用方格网和放射状综合布置勘探点；
- 5 每条勘探线上污染区域外勘探点不应少于2个；
- 6 勘探点深度应进入未污染土层深度不小于2.0m；当遇地下水位时应终孔；
- 7 一般情况下勘查孔宜全部取样，当采用小间距勘查时可

隔孔取样，采用大间距时，宜全部孔取样；取样间距宜为 0.5m ~ 1.0m；

4.3 污染场地地下水勘查

4.3.1 勘查工作应查明石油类污染源种类、水文地质条件、地下水水质及污染范围、污染程度，预测污染物扩散趋势，并进行下列工作：

- 1 收集、分析已有的地形、地貌、地层、水文气象、水文地质资料等；
- 2 调查污染场地内及周边已有井位置、类型、管井结构，地下水开采方式、用途和开采量，分析水质变化情况；
- 3 调查污染场地及周边地表水类型和分布、规模、水质现状，以及与地下水的关系，必要时采样进行分析；
- 4 查明含水层岩性、厚度、渗透性，地下水的类型，地下水的补给、迳流、排泄条件、变化幅度及地下水流向、流速；
- 5 测试、试验孔完成后，应加强现场监管与保护。

4.3.2 勘查工作应满足下列要求：

- 1 调查与测绘的范围应满足地下水污染修复设计需要；
- 2 水文地质勘查应根据场地地层结构、施工条件、取样、测试与试验要求选择适宜成孔方法；
- 3 采集样品前应进行洗井，取样与洗井的间隔时间不应小于 3 天。采样的具体要求按第 5 章规定执行。
- 4 布设地下水污染勘探孔和监（检）测井时，应充分利用已有农灌井、工业井、饮用水井、泉等；
- 5 钻孔设计深度要穿透多层含水层时，应对上部含水层采取隔水措施；

6 钻孔应量测地下水位、观察地下水的颜色、气味和污染物等，记录其随深度的变化情况；岩芯应按钻进顺序排放于岩芯箱内，用标签纸标记岩芯所在钻孔的编号和深度，并用数码相机记录。

7 钻探采样、试验、测试结束后，必须对钻孔进行封填。封填方法应满足附录 B 的要求。

4.3.3 勘察工作量布置应符合下列规定：

1 水文地质调查与测绘的比例尺宜采用 1:500 ~ 1:1000，当地质条件复杂时，宜选用较大比例尺。

2 以污染源为中心，沿地下水流向呈扇形布置勘探线，勘探线不宜小于 3 条，其间距宜为 50m ~ 100m；勘探点间距宜为 50m ~ 80m。在地下水污染与未污染的边缘区，应逐次加密勘探点；

3 勘探孔深度应进入地下水相对隔水层一定深度，其中粉土层（含黄土）不宜小于 10m，粉质黏土层不宜小于 5m，黏土（含胶泥）层不宜小于 2m；

4 控制性勘探孔深度应根据地下水的流场特征确定，应满足修复建模计算的要求，且不宜少于 2 个；

4.3.4 污染场地水文地质参数测试应按工程要求进行选择，测试方法应符合本规范附录 C 的规定。

5 土壤、地下水样品的采集与测试

5.1 土壤样品的采集

5.1.1 采样器具宜选用锹、铲、螺纹钻、管钻等，采样瓶应采用广口棕色玻璃瓶。

5.1.2 采样器及采样瓶的洗涤方法应符合下列规定：

- 1 用专用洗涤剂清洗一次，再用自来水清洗二次；
- 2 用 $1 + 3\text{HNO}_3$ 荡洗一次，自来水清洗三次；
- 3 用蒸馏水清洗，晾干备用；
- 4 当在不同点位进行土样采集时，应按上述要求重新洗涤。

5.1.3 表层土样的采样宜采用挖掘方式进行，深层土样的采集宜采用钻孔取样为主，也可采用槽探的方式进行采样。

5.1.4 样品宜单独放入 1000mL 广口棕色玻璃瓶内，采集的土样应充满容器整个空间，且每个点位所采集土样的量不应少于 1kg。

5.1.5 采样过程应符合下列规定：

- 1 采样过程中应减少土壤扰动，防止二次污染；
- 2 样品标签应由专人填写，并做好采样记录；标签应注明工程名称、地点、坐标、识别号、采样时间、样品名称、采样深度等，并黏贴于样品瓶上；
- 3 采样记录内容、页码、编号应齐全便于核查，修改时应注明修改人及修改时间；
- 4 采样结束，应检查采样记录、样品瓶标签和土样，并在

采样示意图上标明采样地点名称及坐标，并做好记录。

5.1.6 土样的保存和运输应符合下列要求：

- 1 土样在常温下应在 24h 内测定；
- 2 土样在实验室低温、避光，4℃ 条件下保存期为 7d；
- 3 土样运输前应将容器盖密封，同一采样点的样品瓶应装在同一箱中。装箱时应用泡沫塑料隔离，并应标有“切勿倒置”标志；
- 4 土样交实验室时，应填写交接记录。

5.2 土壤样品的测试

5.2.1 土壤中石油类指标测试方法可采用红外分光光度法。

5.2.2 样品测试应符合下列要求：

- 1 样品制备间应清洁、无污染，样品制备过程中应远离有机蒸汽，使用的器具应按规定清洗；
- 2 每分析一批样品不应少于 2 个空白实验，空白值不应高于方法检出限值；
- 3 测油仪应定期检定且在检定周期内；
- 4 每次样品分析前，应对仪器进行校正检验，符合要求后进行样品的测定；
- 5 每批样品应随机抽取 10% ~ 20% 样品做平行双样检查，当样品量少于 10 个时，平行样不应少于 1 个。样品浓度在三倍检出限以内的相对偏差应 $\leq 66.6\%$ ，样品浓度在三倍检出限以上的相对偏差应 $\leq 50\%$ 。
- 6 每批样品应随机抽取 10% ~ 20% 做加标回收实验。实际样品加标回收率一般应控制在 70% ~ 120% 之间。

5.3 地下水样品的采集

5.3.1 采样器具应选用直立式采水器和棕色玻璃采样瓶。

5.3.2 采样器及采样瓶的洗涤方法应符合下列规定：

- 1 用专用洗涤剂清洗一次，再用自来水清洗二次；
- 2 用 $1 + 3\text{HNO}_3$ 荡洗一次，再自来水清洗三次；
- 3 用蒸馏水清洗。
- 4 当在不同点位进行水样采集时，应按上述要求重新洗涤。

5.3.3 采取水样应符合下列要求：

- 1 选用 1000mL 棕色玻璃瓶；
- 2 采样前先打碎可能存在地下水面的油膜；
- 3 垂直放入水面下 30cm 处，打开瓶塞，边采水边向上提，在到达水面时剩余适当空间连同表层水一并采集。
- 4 地下水采样量不应少于 1000mL。

5.3.4 采样过程中应符合下列规定：

- 1 水样应单独采集，采样前应按 5.3.2 要求对采样瓶进行清洗；
- 2 水样标签应由专人填写，并做好采样记录；标签应注明工程名称、地点、坐标、识别号、采样时间、样品名称、采样深度等，并粘贴于采样瓶上；
- 3 采样记录内容、页码、编号应齐全，便于核查，修改时应注明修改人及修改时间；
- 4 在采样过程中出现水体不均匀无法采到代表性水样等异常情况时，应立即记录并保留现场相关影像记录；
- 5 采样结束，应检查采样记录、样品瓶标签，在采样示意

图上标明采样地点名称及坐标，并做好记录。

5.3.5 水样的保存及运输应符合下列要求：

- 1 水样在常温下 24h 内测定；
- 2 水样加盐酸酸化至 $\text{pH} \leq 2$ ，并于 $2 \sim 5^{\circ}\text{C}$ 下冷藏保存，保存期为 7d；
- 3 水样运输前应将容器盖密封，同一采样点的样品瓶应装在同一箱中。装箱时应用泡沫塑料隔离，并应标有“切勿倒置”标志；
- 4 水样交实验室时，应填写交接记录。

5.4 地下水样品的测试

5.4.1 样品分析方法应符合《水质石油类和动植物油类的测定 红外分光光度法》（HJ637）要求。

5.4.2 样品测试应符合下列要求：

- 1 采集的水样应全部用于分析，不得分取水样；
- 2 水样分析间应清洁、无污染，样品制备过程中应远离有机蒸汽，使用的器具应按规定清洗；
- 3 每批样品不应少于 1 个空白实验，空白值应低于检出限值；
- 4 测油仪应定期检定且在检定周期内；
- 5 每次样品分析前，应对仪器进行校正检验，符合要求后进行样品的测定；
- 6 当地下水受石油类污染严重，出现萃取液中总油浓度大于方法的测定上限时，应在硅酸镁吸附前稀释总油萃取液。

6 污染场地监测

6.1 一般规定

6.1.1 污染场地监测分为修复监测和工程验收监测。

6.1.2 监测对象为土壤和地下水。

6.1.3 土壤监测应符合下列要求：

1 土壤监测范围包括污染场地土壤及污染边界外一定范围内的未污染土壤；

2 土壤的监测深度应根据修复工程的需要确定；

3 每个监测点垂直方向应均匀布点，土层交界面应布置监测点，每层土不应少于3个监测点；

4 土壤监测因子为石油类指标，其他因子可根据修复工程的技术要求确定；

5 土壤监测点位置应避开地下电缆、管线、沟、槽等地下障碍物。

6.1.4 地下水的监测应符合下列要求：

1 地下水的监测范围为污染场地内的地下水及下游汇集区的地下水；

2 监测点的布设宜按地下水的流向、修复设计采用的工艺、修复实施情况等综合确定；

3 监测因子主要为石油类指标，其他因子可根据修复工程的技术要求确定。

6.2 修复监测

6.2.1 污染场地修复监测应在修复工程实施过程中进行，以判定各项修复技术措施的修复效果，并根据监测结果对修复工作进行调整和完善。

6.2.2 采取原位修复工艺时，污染场地土壤和地下水监测的频次和点位可根据修复工程的需要确定，但在修复工程实施周期内监测频次每3个月不应少于一次，监测点位应选取能体现修复工程实施效果和污染物迁移转化趋势。

6.2.3 每个土壤样品代表的体积不应超过 500m³。

6.2.4 采取异位修复工艺时，土壤监测可在完成污染土壤清挖后对清挖界面进行，监测点位布设可参照本规范修复工程验收监测要求，监测结果也可作为验收结果的组成部分。对于清挖后未能达到修复标准的区域应根据监测结果确定二次清挖的边界，二次清挖后再次进行监测，直至达到要求。

6.2.5 抽出修复处理的地下水应对水质进行监测，监测频率可根据修复工程的需要确定，但不应少于每月一次；监测应同时包括进入处理设施前的水样和处理后排放的水样或回注前的水样。

6.2.6 修复工程开始实施前应制定第一次污染场地修复监测方案及实施期限，并在每次监测完成后及时制定下一次的监测方案及实施期限。

6.2.7 修复监测可根据修复工程的进展和程度分区域实施或分步实施。

6.2.8 污染场地修复过程中产生的废气、废水、噪声应进行监测，监测频率每月不应少于1次，监测方法应符合国家环境保

护相关规定的要求。

6.3 工程验收监测

6.3.1 污染场地修复工程验收监测应在污染场地修复工程完成后实施，以考核和评价场地是否达到工程设计的修复目标及相关要求。

6.3.2 监测范围应包括修复工程设计中所确定的场地修复范围，以及可能受到修复影响的周边区域。

6.3.3 监测点位的布设应确保监测结果的代表性和准确性，并应符合下列要求：

1 土壤监测点宜采用系统布点采样法，将场地分成面积相等的若干小区，在每个小区的中心位置或网格的交叉点布设一个采样点；

2 每个小区的面积不应超过 1600m^2 ，且监测点不宜少于 5 个。场地污染程度严重的区域应增加布点采样；

3 土壤监测点布点位置可参照场地勘查点位布设；

4 土壤监测点取样深度从污染源以下 3m 以内间隔宜为 0.5m，3m~6m 间隔宜为 1m，6m 至地下水间隔宜为 2m，具体间隔可根据实际情况适当调整；

5 异位修复应对污染土壤清挖后四周侧壁和坑底的原位土进行布点采样；侧壁宜采用等距离布点法，每段最大长度不应超过 25m，且总监测点数不应小于 5 个。当修复深度大于 1m 时，侧壁还应进行垂向分层布点；

6 原地异位修复应对处理后回填土壤进行监测，布点数量应根据修复效果、土壤的均匀性等实际情况确定，每个样品代表的土壤体积不应大于 500m^3 ；

7 地下水监测点的布设应沿地下水的流向布设，并综合考虑水力坡降、含水层渗透性、埋深和厚度等水文地质条件及污染源、污染物迁移转化等因素；

8 监测点布设应以污染源为中心，采用网格法或辐射法布设，污染严重区域应加密布点，监测点不宜少于 7 个；

9 在地下水流的上、下游应分别设置对照监测点和消减监测点。

6.3.4 修复验收后的场地，评估存在运营污染风险时，应制定回顾性评估监测计划。

6.3.5 工程验收监测可按修复目标分区进行。

7 污染场地污染程度划分

7.0.1 场地土壤类别可根据土地使用功能和环境保护目标划分为四类。

I类 适用于国家规定的自然保护区、集中式生活饮用水源地及其他保护区；

II类 适用于一般农田、蔬菜地、果园、茶园、牧（畜）场、自然林地等；

III类 适用于居住、公园/娱乐、商业和暴露状况下的人群聚集区；

IV类 适用于工（矿）企业、场站、管线及道路。

7.0.2 土壤污染评价指标限值可按表 7.0.2 采用。

表 7.0.2 石油类污染场地土壤污染评价指标限值

土 壤 类 别	I 类	II 类	III 类	IV 类
石油类（mg/ kg）	背景值	500	1000	3000

7.0.3 地下水污染评价指标限值可按场地背景值采用。

7.0.4 污染场地污染程度划分，宜按内梅罗污染指数评价，内梅罗污染指数按公式 7.0.4 计算：

$$PN = \sqrt{\frac{\overline{PI}^2 + PI_{\max}^2}{2}} \quad (7.0.4)$$

式中：PN —— 内梅罗污染指数；

$\overline{PI}$ —— 平均单项污染指数；

$PI_{\max}$ —— 最大单项污染指数。

注：单项污染指数 = 污染物实测值/评价指标限值

7.0.5 场地污染等级及污染程度划分标准见表 7.0.5。

表 7.0.5 场地污染等级及污染程度划分标准

污染等级	内梅罗污染指数	污染程度
I	$PN \leq 1.0$	无污染
II	$1.0 < PN \leq 2.0$	轻度污染
III	$2.0 < PN \leq 3.0$	中度污染
IV	$PN > 3.0$	重度污染

8 污染场地修复技术

8.1 一般规定

8.1.1 污染场地修复可根据处理污染的位置是否改变分为原位修复和异位修复。

8.1.2 原位修复适用于污染面积较大，土壤不易搬迁，轻度—中度污染的场地。

8.1.3 异位修复适用于重度污染，对环境质量要求较高的场地。

8.1.4 修复过程中产生的废水及污染物应选择合理、规范、经济的处理工艺进行后续处理，并应满足国家关于危险废物处理处置的相关规定。

8.1.5 根据场地环境条件建立污染土壤或污染地下水修复模型，并进行修复效果预测。

8.2 污染土壤修复技术

8.2.1 污染场地土壤修复技术应根据污染场地的范围、深度、污染程度等，选用物理修复技术、化学修复技术、生物修复技术、植物修复技术和复合修复技术等。

8.2.2 置换技术适用于各种污染程度的土壤修复，并应符合下列要求：

- 1 位于地下水位以上且污染厚度不大于 5m 的土壤；
- 2 置换土壤应采用未污染的土壤或其他符合环境要求的固

体材料；

3 置换深度应按照土地利用要求确定，置换厚度不宜小于 0.6m。

8.2.3 土壤气相抽提技术适用于挥发性的石油类土壤污染场地修复，并应符合下列要求：

1 地下水位以上，亨利系数大于 0.01 的物质或者蒸汽压大于 66.7Pa 的挥发性污染物质；

2 土壤渗透系数应大于 1.0×10^{-8} cm/s，当土壤渗透系数介于 1.0×10^{-10} cm/s ~ 1.0×10^{-8} cm/s 之间时，应评估其适用性；

3 处理前应进行小范围试验。

8.2.4 热脱附技术适用于处理面积小且重度污染场地的修复，并应符合下列要求：

1 轻质油污染可采用 150℃ ~ 315℃ 的低温热脱附，重油污染可采用 315℃ ~ 650℃ 的高温热脱附；

2 原位热脱附加热井间距宜为 1.5m ~ 3.0m；

3 原位热脱附修复的最大深度应在地下水位以上，且不宜超过 30 米；

4 异位热脱附处理的土壤含水量应控制在 10% ~ 20% 之间，胶结物最大直径不宜大于 50mm。

8.2.5 土壤淋洗技术适用于重度污染场地的预处理，并应符合下列要求：

1 黏粒含量低于 20% 的土壤，当土壤的黏粒含量高于 20% 时，应评估其适用性；

2 土壤淋洗剂应筛选无毒或毒性较小、易生物降解的表面活性剂、氧化剂等；

3 污染层之下的地层应为隔水层；

4 淋洗可采用注射式、灌溉式、喷淋式等方式，并在隔水层上设置淋出液收集、处理系统。

8.2.6 溶剂萃取技术适用于重度污染场地的处理，并应符合下列要求：

- 1 土壤黏粒含量小于 15%，含水量小于 20% 的土壤；
- 2 有机溶剂具有挥发性或毒性时，萃取设备应在密闭环境下作业；
- 3 萃取剂宜选取乙酸乙酯、丙酮、甲苯、三氯乙烯、乙醇、甲醇等；
- 4 萃取液和有机溶剂应按照危险废弃物处置要求进行处理。

8.2.7 土壤焚烧技术适用于重度污染场地的修复，并应符合下列要求：

- 1 土壤颗粒直径小于 25mm；
- 2 焚烧温度宜控制在 800℃ ~ 1200℃ 之间；
- 3 焚烧炉应配备气体回收装置，对焚烧过程中产生的有毒物质进行收集处理。

8.2.8 土壤耕作技术适用于轻度、中度污染场地的修复，并应符合下列要求：

- 1 石油类含量不超过 5000mg/kg；
- 2 污染深度小于 1.0m；
- 3 污染深度大于 1.0m 宜进行土壤异位耕作；

8.2.9 生物堆肥技术适用于轻度、中度污染场地的修复，并应符合下列要求：

- 1 石油类含量不超过 5000mg/kg；
- 2 采用的微生物种属，应选择经过驯化适应当地条件的微生物种类；

3 应在生物堆下安装防渗及液体回收设施，并应对其进行处理。

8.2.10 生物反应器技术适用于环境质量要求高，用其他生物方法不易处理的受污染严重的黏性土，并应符合下列要求：

1 浆态床生物反应器主要通过机械或气力混合悬浮液，土壤与溶液固液比宜为 0.1 ~ 0.3；

2 将土壤中的较大胶结物粉碎至 2mm 以下，并将其中的碎石颗粒过筛剔除；

3 为了提高反应器的效率，接种的微生物需经过驯化培养并寻求最适宜的活性工艺条件。

8.2.11 植物修复技术适用于轻度、中度污染场地，并符合下列要求：

1 石油类含量不超过 5000mg/kg 的浅层土壤；

2 植物可选用紫花苜蓿、披碱草、黑麦草、高羊茅等适应当地生长环境、对石油耐受性强，且生物量大、生长快和抗病虫害能力强的植物品种；

3 当污染土壤中石油类超过 5000 mg/kg 时，采用植物修复技术前宜进行预处理。

8.3 污染地下水修复技术

8.3.1 污染场地地下水修复技术应根据场地水文地质条件、污染范围、污染程度等，可采用抽出处理修复技术和原位处理技术。原位处理技术包括原位曝气技术、原位生物修复技术、渗透反应墙技术等。

8.3.2 抽出处理修复技术应符合下列要求：

1 抽出处理修复前应进行地下水修复模拟计算，建立地下

水修复模型；

2 模拟计算可采用类比法、解析法、数值法，模拟计算参照附录 D；

3 抽水井的深度应根据设计降深和降落漏斗确定，注水井深度不宜小于地下水位以下 2.0m；

4 抽水井、注水井的管径宜为 500mm ~ 600mm。

8.3.3 原位曝气技术宜符合下列要求：

1 土壤的渗透系数大于 1.0×10^{-8} cm/s，当土壤渗透系数介于 1.0×10^{-8} cm/s ~ 1.0×10^{-10} cm/s 之间时，应评估其适用性；

2 地下水的 Fe^{2+} 浓度小于 10mg/L；

3 空气注入深度应超出污染深度 0.5m；

4 空气注入井应均匀布置在污染场地内，注入井直径宜为 300mm ~ 600mm。

8.3.4 原位微生物修复技术适用于污染程度较轻以及污染物不易转移的污染场地修复，并应符合下列要求：

1 采用的微生物种属，应选择经过驯化适应当地条件的微生物种类；

2 处理前应进行小范围试验，确定地下水的温度、最佳 pH 值及电子受体、生物营养盐和优势菌等。

8.3.5 渗透反应墙技术，适用于地下水埋深小于 5.0m 的污染场地修复。应符合下列要求：

1 采用垂直式及水平式两种安装形式或其复合形式；

2 渗透反应墙可采用连续反应墙式、漏斗—导水式或灌注处理带式等；

3 渗透反应墙可选用零价铁、活性炭、沸石、石灰石、离子交换树脂、铁的氧化物、氢氧化物、磷酸盐或堆肥、木屑等

有机材料。

8.4 复合修复技术

8.4.1 污染土壤或污染地下水采用单一修复技术效果不明显时，宜采用2种或2种以上的修复技术进行复合修复。

8.4.2 当污染物在土壤和地下水之间存在迁移，引起二次相互污染时，应采用土壤—地下水复合修复技术。

8.4.3 对于重度污染区域，可采用物理或化学的方法进行预处理，降低污染浓度后，采用生物修复。

8.4.4 当原位物理、化学修复技术与生物修复技术联合使用时，应避免氧化剂对微生物活性产生抑制作用。

8.4.5 复合修复技术应进行小范围试验。

9 修复方案编制

9.1 一般规定

- 9.1.1 修复方案的编制应在全面收集和汇总资料的基础上，结合污染场地特点和要求以及相关的工程经验进行。
- 9.1.2 依据的资料必须全面、真实、准确、完整，图表齐全，计算正确、分析合理、结论明确。
- 9.1.3 修复方案应对修复工程的目标、依据、方法、工艺要求、过程控制等进行确定。
- 9.1.4 修复方案的编制应在定性分析的基础上进行定量分析。
- 9.1.5 修复方案应进行可行性分析，论证其方案的可靠性。

9.2 修复方案编制基本要求

- 9.2.1 修复方案的编制应根据污染场地的修复标准和要求编制。
- 9.2.2 修复方案应包括正文、图表和附件。正文部分应结构严谨、概念清晰，用词准确，术语符号和计量单位等均应符合国家现行有关标准的规定。图表应清晰、直观，图文相符。
- 9.2.3 修复方案编制大纲宜包括场地工程水文地质条件、场地污染特征、技术方案的可行性论证、监测维护及相应图表等，可参照附录 E。
- 9.2.4 污染场地工程、水文地质条件宜包括下列内容：
 - 1 场地的地理位置、地貌单元、地形条件；

- 2 岩土分布、产状、岩性等；
 - 3 地下水的类型和补给、径流、排泄条件，地下水的分布及变化规律；
 - 4 污染土壤及污染地下水的室内试验和现场测试数据；
 - 5 场地及周围对工程影响的不良因素。
- 9.2.5 场地污染特征宜包括下列内容：**
- 1 污染场地面积、土壤与土地利用类型等生态环境条件；
 - 2 污染物的来源、种类、迁移特征、污染持续时间、是否进行过处理等；
 - 3 污染场地污染程度划分；
 - 4 污染的平面和空间范围；
 - 5 污染指标的检测结果。
- 9.2.6 修复方案的可行性论证宜包括下列内容：**
- 1 修复技术现状；
 - 2 修复方案可行性评估；
 - 3 同类工程案例分析和效果。
- 9.2.7 修复方案宜包括下列内容：**
- 1 提出修复思路和评估修复技术；
 - 2 技术工艺及参数可行性分析；
 - 3 修复方案的能源消耗与投资概算；
 - 4 修复工期及效益分析；
 - 5 对修复过程中可能出现的环境问题作出预测分析；
 - 6 根据修复工艺过程中可能产生的污染，提出二次污染防治措施。
- 9.2.8 监测和维护方案宜包括下列方面：**
- 1 确定工程实施工序的监测节点；
 - 2 监测的因子和方法；

9.2.9 修复方案宜附下列图表：

- 1 勘探点平面布置图、剖面图等；**
- 2 土壤、地下水污染范围平面图；**
- 3 污染指标监测结果；**
- 4 现场试验成果图表；**
- 5 室内试验成果图表；**
- 6 场地条件的影象资料等。**

附录 A 石油类污染场地应急勘查基本要求

A.0.1 对于突发石油污染事故，勘查工作应在启动应急预案的基础上进行，主要任务是查明“渗漏源、截断污染源、控制污染扩散”，为应急阶段防止或减小污染扩散提供依据。

A.0.2 突发石油污染事故应急勘查主要工作内容如下：

- 1 收集区域地形、地貌、水文、气象等资料；
- 2 了解污染区地质构造、地层结构，特别是污染场地附近含水层、相对隔水层深度及分布；
- 3 了解主要含水层岩性、渗透性，含水层地下水位埋藏深度，年变化幅度及地下水流场特征，地下水与地表水关系，地下水受污染情况；
- 4 鉴别土壤气味、颜色，初步判定土壤污染平面范围；
- 5 初步分析污染物运移扩散的动态变化，确定可能受污染范围。采用抽出法控制地下水污染扩散时，应提供相应水文地质参数经验值。

A.0.3 应急勘查主要是进行现场环境地质调查与测绘工作，采用简易勘探手段获得相关资料，并应符合下列要求：

- 1 环境地质调查与测绘应在收集、分析已有地质资料基础上进行，测绘比例尺宜采用 1：1000 ~ 1：2000，当地质条件复杂，污染源不易查明时，可选择重点区域放大比例尺；
- 2 利用洛阳铲等简单钻探工具，以初步确定的污染源为中心，以辐射状布置探查孔，通过鉴别土壤颜色、气味等初步判断土壤在垂直与水平方向污染范围；
- 3 通过对污染场地已有井（孔）、泉进行调查取样，初步

判断水体是否污染，初步确定污染范围；

4 提供应急阶段防止污染扩散所需水文地质资料，以指导应急阶段工作。

A. 0.4 当采用抽出法控制防止污染扩散时，对抽出地下水应进行处置，符合相关排放标准，并经环保部门认可后方可排放。

附录 B 钻孔、探井、探槽回填材料及方法

B.0.1 钻孔、探井、探槽回填材料及方法见表 B.0.1。

表 B.0.1 钻孔、探井、探槽回填材料及方法

回填材料	回填方法
原 土	每 0.5m 分层夯实
直径 20mm 左右黏土球	均匀回填，每 0.5m ~ 1.0m 分层捣实
水泥、膨润土（4：1）制成浆液或水泥浆	泥浆泵送入孔底，逐步向上灌注
素混凝土	分层捣实
灰土	每 0.3m 分层捣实

注 1：钻孔、探井、探槽宜采用原土回填，并应分层夯实，回填土的密实度宜大于天然土层；

注 2：对有套管护壁的钻孔应边起拔套管边回填；

注 3：对隔水有特殊要求时，可采用水泥浆或 4：1 水泥、膨润土浆液通过泥浆泵由孔底向上灌注回填。

附录 C 水文地质参数测试方法

C.0.1 水文地质参数可选用表 C.0.1 的方法测定。

表 C.0.1 水文地质参数测定方法

水文地质参数	方法	适用条件
地下水水位及其动态	直接量测法	
渗透系数	抽水试验	潜水含水层
	注水试验	包气带非饱和土层；地下水埋藏较深、不便于抽水试验
	渗水试验	包气带非饱和土层
影响半径	抽水试验	有水位观测孔
给水度	抽水试验、室内试验	潜水含水层，抽水井为完整井
储水系数、释水系数、导水系数	抽水试验	承压含水层，抽水井为完整井
降水入渗系数	观测计算法、比拟法	有地下水长期动态观测资料
弥散系数	弥散试验	地下水水力坡度较大，粗粒含水层
流速、流向	示踪剂试验法、孔内流速仪测定	
岩石透水率	压水试验	清水钻进，孔壁平直完整，孔底无沉渣

附录 D 地下水修复模拟计算

D.0.1 场地地下水修复模拟计算时，应具备下列资料：

- 1 场地包气带及含水层的岩性、结构、厚度、分布规律及水文地质参数；
- 2 场地边界条件，地下水类型、补给、径流和排泄条件；
- 3 水文、气象资料和地下水动态观测资料；
- 4 地下水初步修复工程措施及方案；
- 5 场地石油污染现状，场地及周边土地利用类型。

D.0.2 水文地质参数的取值应满足下列要求：

- 1 计算参数的代表值应选用分区平均值；
- 2 统计时应剔除异常值。

D.0.3 饱和渗透系数的测定方法应符合下列要求：

- 1 包气带饱和渗透系数宜通过注水试验、室内渗透试验测定；
- 2 饱和带渗透系数可采用抽水试验方法，并结合相应的井流公式进行计算；
- 3 岩层渗透系数可采用压水试验方法，进行分段测定。

D.0.4 弹性释水率和给水度可采用非稳定流抽水试验方法，并结合相应的井流公式进行计算，给水度、孔隙度可通过采集原状土样进行室内测定。

D.0.5 土壤水分特征曲线可通过采集原状土样进行室内测定，并采用 Brooks – Corey 模型、Gardner 模型、van Genuchten 模型及 Gardner – Russo 模型对试验结果进行拟合，确定选用模型及有关系数。

D.0.6 场地范围较大且土壤参数变异性大于 30% 时，可采用

土壤转换函数法、分形法、土壤形态学法、数值反演法及经验公式等间接方法来确定土壤水分特征曲线。

D. 0. 7 非饱和渗透系数可通过土壤水分特征曲线求取，可按式 D. 0. 7 计算：

$$K = K_s \cdot S_e^{1/2} [1 - (1 - S_e^{1/m})^m]^2 \quad (\text{D. 0. 7})$$

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

式中： K —— 非饱和渗透系数，[m/d]；

K_s —— 饱和渗透系数，[m/d]；

S_e —— 有效饱和度；

θ —— 体积含水量；

θ_r —— 剩余含水量；

θ_s —— 饱和含水量；

m —— 土壤水分特征曲线形状参数。

D. 0. 8 采用类比法时，应满足下列条件：

1 类比分析对象与拟预测对象之间的水文地质条件、水动力条件相似；

2 类比分析对象与拟预测对象之间的污染特征及工程特征相似。

D. 0. 9 采用解析法进行计算时，应满足下列条件：

1 场地条件与解析解适用条件基本吻合；

2 场地内含水层水文地质参数变化较小。

D. 0. 10 采用数值法时，宜按照以下步骤进行：

1 确定模拟范围；

2 建立地下水系统概念模型；

3 建立地下水系统数学模型；

4 建立数值模拟模型；

5 模型的识别与参数确定；

6 地下水修复效果预测。

D. 0. 11 综合考虑自然状态及修复过程中的水文地质条件，确定地下水系统特征及边界条件，并选用适当的控制方程及定解条件来确定数学模型。

(1) 控制方程

以水头为因变量的变饱和连续性方程

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left[K_x(\psi) \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_y(\psi) \frac{\partial h}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K_z(\psi) \frac{\partial h}{\partial z} \right] + W \\ &= \frac{\partial h}{\partial t} [S_r(\psi) S_s + C(\psi)] \end{aligned} \quad (\text{D. 0. 11} - 1)$$

式中： h —— 水头，[m]；

ψ —— 压力水头，[m]；

$K_x(\psi)$ 、 $K_y(\psi)$ 、 $K_z(\psi)$ —— 分别为 x 、 y 、 z 三个方向上的渗透系数，[m/d]；

S_s —— 弹性释水率，[1/m]；

W —— 源汇项，[1/d]；

$C(\psi)$ —— 容水度，[1/m]；

$S_r(\psi)$ —— 饱和度。

变饱和流污染物迁移方程

$$R_d \frac{\partial (nC)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(nD_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (nC V_i) + WC_w - \lambda nC - \lambda_s \rho_b C_s + I \quad (\text{D. 0. 11} - 2)$$

式中： C —— 浓度，[g/L]；

C_s —— 固相浓度，[kg/kg]；

D —— 水动力弥散系数张量，[m²/d]；

V —— 地下水运动实际速度，[m/d]；

R_d —— 滞留因子；

- n ——孔隙度, 非饱和流条件下 $n = \theta$;
 ρ_b ——多孔介质的密度, $[\text{kg}/\text{m}^3]$;
 C_w ——源汇项的浓度, $[\text{g}/\text{L}]$;
 λ 和 λ_s ——分别为液相和固相的一级化学反应常数, $[1/\text{d}]$;
 I ——污染物源汇项, $[\text{g}/(\text{L} \cdot \text{d})]$, 为单位时间单位体积多孔介质得到的污染物质量。

(2) 初始条件

初始条件为模拟初始时刻水头、污染物浓度在空间上的分布。

$$h(x, y, z, 0) = h_0(x, y, z)$$

$$C(x, y, z, 0) = C_0(x, y, z)$$

(3) 边界条件

第一类边界条件:

指已知边界上水头、溶质浓度分布状况的边界条件。

$$h(x, y, z, t) |_{\Gamma_1} = h_1(x, y, z, t)$$

$h_1(x, y, z, t)$ 是第一类边界上的水头函数。

$$C(x, y, z, t) |_{\Gamma_1} = C_1(x, y, z, t)$$

$C_1(x, y, z, t)$ 是第一类边界上的浓度函数。

第二类边界条件:

指已知边界上流量、污染物弥散通量的边界条件。

$$K(\psi) \frac{\partial h}{\partial \mathbf{n}} |_{\Gamma_2} = q(x, y, z, t)$$

式中: $\mathbf{n}$ ——第二类边界外法线方向单位向量;

$q(x, y, z, t)$ 是第二类边界的上流量。

$$nD_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \cos(\mathbf{n}, \mathbf{u}_i) |_{\Gamma_2} = f(x, y, z, t)$$

式中: $\mathbf{u}_i$ ——各坐标轴方向单位向量, $i = x, y, z$;

$f(x, y, z, t)$ 是第二类边界上给定的污染物弥散通量。

第三类边界条件:

指已知边界上水头和其法向导数的线性组合、污染物对流弥散通量的边界条件。

$$\left(\frac{\partial h}{\partial \mathbf{n}} + \alpha h\right)|_{\Gamma_3} = \beta(x, y, z, t)$$

α 、 β 为已知函数。

$$n\left[D_{ij}\frac{\partial C}{\partial x_j} - CV_i\right]\cos(\mathbf{n}, \mathbf{u}_i)|_{\Gamma_3} = g(x, y, z, t)$$

$g(x, y, z, t)$ 是第三类边界上给定的污染物对流弥散通量。

D. 0. 12 模型识别与检验应符合下列要求：

- 1 模拟的地下水流场、污染物浓度要与实测值基本一致；
- 2 模拟地下水的动态过程要与实测的动态过程基本相似；
- 3 模拟的地下水均衡变化与实际要素基本相符；
- 4 识别的水文地质参数要符合实际水文地质条件。

D. 0. 13 采用数值法计算时，应采用拟合校正方法进行参数识别和模型验证；数值模型的识别和检验，应利用相互独立的不同时段资料分别进行。

D. 0. 14 修复效果预测应符合下列要求：

- 1 对计算区的气象水文要素进行分析，确定不同年份的降水量、蒸发度、河流水位、河川径流量等；
- 2 根据预测年限分时段预估边界流量、水位、垂向交换水量等；
- 3 论证地下水初步修复方案是否满足技术、经济和环境的要求；
- 4 预测成果的精度应采用地下水修复数值模型计算的地下水均衡结果分析评价；
- 5 提出推荐的修复方案。

附录 E 污染场地修复方案编制基本要求

1 项目概况

- 1.1 项目背景
- 1.2 修复的必要性及意义
- 1.3 执行的技术标准
- 1.4 采用的勘查方法及完成的工作量
- 1.5 方案的适用范围和适用年限

2 污染场地水文、工程地质条件

- 2.1 污染场地交通位置
- 2.2 地形、地貌
- 2.3 场地工程地质条件
- 2.4 场地水文地质条件
- 2.5 场地周围对工程影响的不良因素

3 污染场地污染特征

- 3.1 污染区的生态环境
- 3.2 污染源的基本情况
- 3.3 污染范围及污染程度

4 污染场地修复目标

- 4.1 污染场地土壤（地下水）利用现状
- 4.2 污染风险控制程度
- 4.3 修复目标

5 修复方案

- 5.1 修复技术现状及修复技术路线
- 5.2 修复方案技术分析

- 5.3 修复方案可行性论证
- 5.4 修复工程量及修复费用估算
- 5.5 修复方案比选
- 5.6 确定修复方案
- 6 监测**
 - 6.1 修复工程中的监测
 - 6.2 修复工程验收监测
- 7 安全保障措施与效益分析**

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对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：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

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：

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，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“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 《农用污泥中污染物控制标准》 GB 4284
- 3 《土壤环境质量标准》 GB 15618
- 4 《地下水质量标准》 GB/T 14848
- 6 《污染场地术语》 HJ 682
- 7 《地下水环境监测技术规范》 HJ/T 164
- 7 《土壤环境监测技术规范》 HJ/T 166
- 8 《场地环境调查技术导则》 HJ 25. 1
- 9 《场地环境监测技术导则》 HJ 25. 2
- 10 《污染场地风险评估技术导则》 HJ25. 3
- 11 《污染场地土壤修复技术导则》 HJ25. 4
- 12 《展览会用地土壤环境质量评价标准》 HJ350

陕西省工程建设标准

石油类污染场地勘查与修复技术规范

DBJ 61/T 120 – 2016

条 文 说 明

目 次

1	总 则	45
3	基本规定	46
4	污染场地勘查	47
4.1	一般规定	47
4.2	污染场地土壤勘查	48
4.3	污染场地地下水勘查	49
5	土壤、地下水样品的采集与测试	50
5.1	土壤样品的采集	50
5.2	土壤样品的测试	50
5.3	地下水样品的采集	50
5.4	地下水样品的测试	51
6	污染场地监测	52
6.1	一般规定	52
6.2	修复监测	52
6.3	工程验收监测	53
7	污染场地污染程度划分	55
8	污染场地修复技术	56
8.1	一般规定	56
8.2	污染土壤修复技术	56
8.3	污染地下水修复技术	59
8.4	复合修复技术	60
9	修复方案编制	61
9.1	一般规定	61
9.2	修复方案编制基本要求	61
附录 D	地下水修复模拟计算	62

1 总 则

1.0.1 本规范是针对石油类污染场地的勘查、修复、监测而编制的一本综合性规范。目前，石油类污染场地修复的方法有多种，有的修复方法比较成熟，在修复过程中取得了较好的效果，达到了保护环境的目的。为了在修复过程中能够结合污染特点，选用有效的修复方案，达到经济合理、保护环境的目的，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于陕西省石油开采、运输、装卸、加工和使用过程中，泄漏和排放引起的污染场地的勘查修复及监测。目前，陕西省的石油污染主要为原油和成品油的渗漏，污染土壤及地下水。对于石油类污染的地表水，目前修复、监测有较完善的处理措施，本规范不做具体规定。

1.0.3 由于污染场地的地层结构、地下水的补、径、排条件及边界条件不同，污染物的污染特征也不同。因此，编制方案前应采取相应的勘查手段，查明污染范围和污染程度，对修复方案进行可行性分析并比选，选用最优的修复方案。

1.0.4 由于石油类污染场地的多样性、复杂性，对于本规范未规定的问题，需遵守其他相关技术规范的规定。

3 基本规定

3.0.1 场地污染范围的分布与污染源所在场地土的结构及地下水的径流特征有密切的关系。因此，修复方案设计前应首先采取现场勘查工作，查明场地工程地质条件和水文地质条件，污染的平面和空间分布范围及污染的程度，取得修复设计所需的参数。

3.0.2 现场勘查工作前应根据相关技术标准制定勘查大纲。勘查大纲是对勘查工作的总策划，对勘查工作量的布置、水样土样采取及检测、现场试验等提出相应的要求。

3.0.3 修复标准是污染场地经过技术工艺的修复后，污染土壤和污染地下水要达到满足使用功能的标准。

3.0.4 ~ 3.0.5 石油类污染物含有多种重金属因子，选用修复方案时应充分考虑其科学性和合理性。采用的技术参数要经过科学实验对比，防止发生其它重金属的二次污染。

4 污染场地勘查

4.1 一般规定

4.1.1 石油污染场地工程地质与水文地质勘查，与传统的工程地质、水文地质勘察有所不同。其主要目的是查明场地的石油类污染现状并分类，提出土壤及地下水修复工程措施建议，为修复提供相应依据，避免污染场地使用对人类的生活及动植物造成影响。勘查工作大纲是根据污染场地的地质条件、染污情况，制定在技术与经济上合理的工作计划，使得勘查手段和勘查工作量的布置做到有的放矢。

4.1.2 ~ 4.1.3 勘探方法宜根据场地实际情况选择。由于场地土壤或地下水存在污染的问题，而污染物在土壤及地下水中扩散、迁移存在明显差别，应分别进行勘查，针对土壤污染和地下水污染的勘察点应布置在有代表性地段。

4.1.4 水文地质勘查孔的孔深、孔径应根据试验的目的确定，试验设备、方法应符合国家现行相关标准的规定。具体可参照国家标准《供水文地质勘察规范》（GB 50027）。

4.1.5 污染场地勘查是一项有潜在危险的工作，应高度重视，并采取相应的控制措施。勘查过程应严格执行环境、安全、职业健康的相关具体要求，杜绝发生二次污染及造成人身伤害。

4.1.6 对突发石油类污染事故，勘查工作应在启动应急预案基础上，由应急指挥部统一部署，以免引起相互作业影响。该阶段主要工作目的是查明“渗漏源，截断污染源，控制污染扩散”，防止和减少污染扩散。

4.2 污染场地土壤勘查

4.2.1 本条规定了污染场地土壤勘查的基本内容，是编制修复方案主要依据和工程分析所需要的基本内容。

4.2.2 本条规定了勘查工作应满足的基本要求。现场调查范围以污染场地内为主，并包括污染场地周围一定区域。周围区域的范围应由现场调查人员根据污染物可能迁移、扩散的范围来判断，将污染造成的土壤及地下水污染异常迹象全部反映出来。

污染场地勘查是以获取场地岩土物理参数、水文地质特征和参数以及场地污染物特征（如种类、特性、空间分布、深度、扩散、迁移等）内容。钻探方法选取应综合考虑污染场地中污染物的（污染源）特点，岩土特性、环境敏感性等因素，可以在常用钻探方法中选择最优方法，以满足取样、测试与试验要求。由于污染场地与一般场地不同，石油类污染物较易挥发、强刺激，所以应对土壤现状及时描述、判断。施工结束后对钻孔、探井、探槽应及时回填，防止发生意外事故。

4.2.3 勘查工作量布置是保证取样、测试和试验的基础。根据已往工程经验，对污染分布范围较大，污染分布均匀的场地，宜采用网格状布点比较适宜，点状污染源宜采用放射状。在陕西地区主要分布是黄土，由于大孔及垂直节理发育，垂直向渗透性大于水平向，污染后形成污染体是近似圆台形，采用放射状布置勘查点能更好反映污染实际状况；管线渗漏点可能呈串珠状沿管线走向分布，所以宜采用综合布点方法。勘查点布置应尽量逐步推进，可以从初步确认污染严重的区域开始布置，逐渐向外确认污染边界。

4.3 污染场地地下水勘查

4.3.1 场地环境水文地质勘查主要任务除了查明场地水文地质条件外，重点应查明场地地下水现状及污染分布特征。现阶段，我国污染场地修复刚刚起步，勘察工作仍未正式涉足该行业，缺乏污染勘查工程经验及具体要求，因此，勘查工作具体内容就显得尤为重要。本条根据已有工程经验规定了具体工作内容，以便在编制勘查大纲时具有针对性、有效性，保证实施过程中的质量及质量控制。

水文地质勘查应做好场地调查工作，对场地及周围的井、泉等进行采样监测。钻进过程中应针对地下水的颜色和气味等初步判断污染的范围。

4.3.2 ~ 4.3.3 勘查点布置应在充分调查基础上，根据掌握的场地水文地质资料，结合场地可能污染的范围布设，应能覆盖场地地下水污染区且充分考虑地下水流场和污染源分布特征，一般沿地下水流向布设，井间距应沿远离污染源方向由密至疏布设。当场地面积较小，环境水文地质条件复杂，勘查线、点间距取小值，对缺乏区域资料的场地宜在污染区外布置一定数量勘查点。

4.3.4 测定水文地质参数的方法，应根据场地工程地质和水文地质条件，工程重要性、修复参数的要求等进行选择。

5 土壤、地下水样品的采集与测试

5.1 土壤样品的采集

5.1.1 ~ 5.1.2 对采样的器具及清洗方法做了规定，以免采集的土壤受到二次污染。

5.1.4 石油类污染土壤具有挥发性，因此，采样时应将样品装满密封。

5.2 土壤样品的测试

5.2.1 ~ 5.2.2 本节的具体测试方法参照了《全国土壤污染状况调查样品分析测试技术规定》国家环境保护总局（2006 年）、《土壤 石油类测定 红外分光光度法》国家环境保护总局（征求意见稿）的要求。

5.3 地下水样品的采集

5.3.1 – 5.3.6 目前，对于地下水石油类的测定方法，国家相关标准还没有具体要求。本规范中参照了《地表水和污水监测技术规范》（HJT91）的相关规定，结合了实际工作的具体要求。

5.4 地下水样品的测试

5.4.1 ~ 5.4.2 地下水样品的测试要求参照了《水质 石油类和动植物油类测定》（HJ637）的规定。

6 污染场地监测

6.1 一般规定

6.1.3 本规范考虑土层垂直方向上的差异可能影响污染物迁移和转化过程，因此要求不同类型的土层不应少于3个监测点。

6.1.4 当修复工程需要本规范规定监测因子以外的其他指标以确定工艺参数时，也应将其作为监测因子，必要时可根据污染油品的性质及污染源样品分析结果确定需要补充的监测因子。

6.2 修复监测

6.2.2 当修复工程实施过程中，需要根据场地污染指标的变化进行工艺调整时，应进行污染场地修复监测，该时间一般不确定，但考虑如修复工程实施周期过长时，污染物可能进一步发生迁移转化作用，因此本规范建议在修复工程实施周期内至少每3个月进行一次。

6.2.3 考虑修复工程质量控制要求，需要对每个土壤样品代表的体积做出限定，过大可能导致监测样品不全面，过小又会严重增加监测工作量，造成浪费。因此本规范参照《场地环境监测技术导则》（HJ 25.2）要求，确定为500m³。

6.2.8 如当采用热解吸、焚烧或土壤气相抽提等处理技术时，由于其温度条件或处理方法等会产生挥发性有机物等废气，可能对大气环境造成影响；采取淋洗等处理技术时，会产生一定的废水排放，可能对地表水环境造成影响；在距离居民居住区

较近时，修复工程的机械和车辆还可能有一定的噪声影响；因此在修复过程中应对以上污染物进行必要的监测，并对其进行有效处理达标排放，以防对人体健康和生态环境产生危害。监测采样频次参照《环境监理事务工作制度（试行）》（环监〔1996〕888号）中第3条款现场环境监理事务规定“对重点污染源及其污染防治设施的现场监理事务每月不少于1次；对建设项目、限期修复项目现场监理事务每月不少于1次”，因此污染场地修复过程中的各类污染物排放源监测频次按每月1次执行。

6.3 工程验收监测

6.3.2 验收监测中不应忽视可能受到修复工程影响的周边非污染场地。

6.3.3 土壤监测布点一般都是先将场地划分为监测地块，然后在监测地块中设置一定数量的采样点，本规范参照《场地环境监测技术导则》（HJ 25.2）要求，规定每个监测地块面积不超过1600m²。如场地包括多个受污染的区块且区块间有明显的界限，或场地中有不同的土地使用功能，也可先将场地划分成不同的区块。监测点数量则考虑至少应在污染点及其四个方向各设置1个监测点位，因此本规范建议不宜少于5个。

对于每个监测地块，表层土壤和深层土壤垂直方向层次的划分应综合考虑污染物迁移情况、土壤特征等因素确定。必要时应分表层土和深层土分别布设监测点位，采样最大深度应直至未受污染的深度为止，采样深度应扣除地表非土壤硬化层厚度。因此土壤垂直方向上的分层采样，本规范参照《场地环境监测技术导则》（HJ 25.2）要求，规定3m以内土壤的采样间隔为0.5m，3m~6m采样间隔为1m，6m至地下水采样间隔为

2m。

侧壁监测一般均先等分成段，每段设置一个监测点位。本规范按照矩形考虑，中心增加一个监测点，因此规定监测点数不宜小于 5 个。

6.3.4 如采取原位隔离等修复措施，在验收后仍需考察修复工程措施效果的可靠性和稳定性，因此需进行污染场地回顾性评估监测。

6.3.5 在验收监测过程中，如发现未达到修复目标的地块，则应在二次修复后再次进行工程验收监测。

7 污染场地污染程度划分

7.0.1 污染场地土壤按使用功能和环境保护目标分为四类，同时也是污染场地修复技术方案选择的依据。如化学法可用于 III 类、IV 类，但不宜用于 I 类，II 类。IV 类主要针对陕西省众多的油气田站场，各种修复方法均可。

7.0.2 土壤污染评价指标限值参考了现有已知标准，给出了本规范限值规定，如：《土壤环境质量标准》GB15618；《展览会用地土壤环境质量评价标准（暂行）》HJ/T 350 等。

7.0.3 地下水中有石油类的控制指标在相关的技术标准中均没有，因此，采用了用污染场地背景值作为评价是否污染的标准，是比较符合实际情况的。背景值一般选用污染场地上游未污染场地的背景值。

7.0.4 ~ 7.0.5 本规范主要评价的是石油类单因子的污染，因此，推荐采用内梅罗污染指数方法进行评估。

我省某石油类污染场地，对 19 个监测井内采集的 36 个水试样进行了检测，石油类指标范围 0.08mg/L ~ 11.0mg/L，场地背景值为 0.08。采用内梅罗污染指数对地下水的污染程度进行划分，分为了两个区。I 区重度污染区：石油类浓度指标基本介于 0.20mg/L ~ 10.0 mg/L 之间；II 区轻度污染区：石油类浓度指标基本介于 0.08mg/L ~ 0.20mg/L 之间。根据污染程度的不同，修复方案设计在两个区域分别采用了不同井距布设。

8 污染场地修复技术

8.1 一般规定

8.1.1 原位修复是对未挖掘的土壤进行修复的过程，土壤的原始位置没有扰动；而异位修复指污染土壤被挖掘暂时或者永久离开原始位置进行修复，包括在原地对挖掘的土壤进行修复以及将挖掘出的土壤运至异地进行处理两种模式。

8.1.4 对于污染场地的废矿物油与含矿物油废物、废有机溶剂与含有机溶剂废物，以及在修复过程中产生的上述物质被列入环保部颁布的“国家危险废物名录（2016，部令 第 39 号）”，因此应按照《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》（GB 18599）、《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597）和《危险废物填埋污染控制标准》（GB 18598）等国家污染物控制标准的相关要求进行。

8.1.5 污染场地环境条件是指污染范围及深度，地形条件、土体结构及地下水环境条件等。

8.2 污染土壤修复技术

8.2.2 置换技术是将污染土壤通过深翻到土壤底层、或在污染土壤上覆盖新土、或将污染土壤挖走换上未被污染的土壤的方法。用清洁的土壤置换污染土壤的换土法，换土深度达到60cm，可满足植物生长的需要。污染厚度大于5m的土壤由于工程量过大，不宜采用。

8.2.3 土壤气相抽提是利用物理方法去除不饱和土壤中挥发性有机组分污染的一种原位修复技术，在污染土壤上打孔通风，利用真空设备产生负压驱使空气流过污染的土壤孔隙，从而夹带挥发性有机组分流向抽取系统，抽提到地面后收集和处理。为增加压力梯度和空气流速，可在污染土壤中安装若干空气注射井。一般气相抽提系统包括抽提井、真空泵（或引风机）、气液分离装置、气体收集管道、气体净化与处理设备以及其它附属设备。

8.2.4 热脱附主要包含两个基本过程：一是加热待处理物质，将目标污染物挥发成气态与土壤分离的过程；二是将含有目标污染物的尾气进行冷凝—收集—焚烧等处理至达标后排放的过程。按温度高低可分为低温热处理技术（土壤温度为 150 ~ 315℃）和高温热处理技术（土壤温度为 315 ~ 650℃）；分别用于处理轻质油污染和重油污染。

热脱附技术也分为原位处理和异位处理两种，目前广泛利用的是异位热脱附技术，多是针对汽油、苯等低沸点挥发性有机物污染的土壤修复，其脱附效率在 99.99% 以上；但目前对沸点高、挥发性低的有机物污染土壤热脱附修复研究甚少。该技术的缺点是黏粒含量高的土壤处理比较困难，处理含水量高的土壤耗电量多；由于成本较高，仅适用于小面积且污染情况比较严重的情况。

8.2.5 原位土壤淋洗修复技术适用于水力传导系数大于 10×10^{-8} cm/s 的多孔隙、易渗透的土壤，如砂土、砂砾土壤、冲积土等；异位土壤淋洗修复技术适用于粘粒含量低于 25% 的土壤。

8.2.6 一些研究表明，混合溶剂（乙酸乙酯、丙酮和水的比例为 5: 4: 1）在温度为常温、萃取时间为 10 min 和液固比为 8: 1 的萃取条件下，对土壤中石油烃污染物的去除率都达到了

90%以上，并且对砂土中石油烃污染物的去除率更高，达到95%以上。说明溶剂萃取技术可以在短时间内快速有效地去除土壤中的石油污染。

由于溶剂萃取过程中所用的大部分有机溶剂具有一定的毒性，且具有易挥发和易燃易爆的特点。因此，在实际的萃取操作过程中，部分萃取设备的运行都应在密闭条件下进行。通过监测修复后的土壤中所含污染物和溶剂的含量是否已经降到所要求的标准以下，如果已经达到预期目的，这些土壤才可以进行原位回填。

8.2.7 土壤焚烧技术是将挖掘出的石油污染土壤在焚烧炉中焚烧，使污染物降解为低分子烟气，同时焚烧过程还必须经过除尘、冷却和净化处理，达标排放，焚烧后的土壤回填。焚烧技术处理污染土壤的关键是土壤颗粒大小和含水量，颗粒太大处理效率低，含水量太高需要较多的能源。该方法可将土壤石油污染物完全处理，但成本较高。在废气排放中，必须满足相应的“危险废物焚烧大气污染物排放标准”。

8.2.8 土壤耕作技术是针对农地、草地等中度污染以下的污染场地修复，主要通过耕作、施肥等，进行物理稀释，以及为生物降解、光降解污染物提供有利条件。由于一般的耕作深度只有20cm，深耕只有40cm；同时植物的根系主要在离地表1m的范围生长，因此对于污染深度大于1m的效果相对较差。同时，在总石油烃浓度高于5000mg/kg时，已经影响了植物的生长，通过耕作管理来提高植物的降解能力得不到发挥，效果较差。

8.2.9 石油污染土壤中的湿度、养分和土壤调理剂的合理匹配，是满足微生物修复种群能源需求和实现最佳生物降解效率的关键；部分研究表明，堆肥可以使石油污染物的降解速度比单纯翻耕提高1~3倍，比仅仅向土壤提供氮磷等基质营养液的

方法的降解速度提高 20% ~ 40%。

8.2.10 生物反应器技术以水相为主要处理介质，传质速度快，反应条件便于控制在最佳状态，而且消除了自然环境变化的影响。在生物反应器中向含油污泥中投加高效降解石油烃的微生物菌剂，和肥料一起加入含油污泥，石油烃的降解率可达 88%。培养和驯化适应高浓度含油污泥的高效菌种、优化控制条件是生物反应器法的关键。

8.2.11 植物对石油污染具有一定的抵抗作用，只有浓度高于某一特定值时才导致植物受损，研究表明总石油烃浓度高于 5000mg/kg 时影响了植物的生长。因此当污染土壤中总石油烃浓度超过 5000 mg/kg 时，采用植物修复技术前宜进行预处理。一般大于 5000 mg/kg 高浓度阶段选择物理、化学方法进行处理处置；小于 2000 mg/kg 低浓度阶段直接选择生物方法。

8.3 污染地下水修复技术

8.3.2 抽出处理是地下水常用的一种处理方法。井位布置应充分考虑地下水的流向，注水井一般布置在水流的上游方向，井的数量应结合污染的范围及抽水形成的降落漏斗确定。

考虑到石油污染场地条件的多样性，以及溶质运移解析解的条件局限性，地下水修复模拟计算多采用数值法。对于水文地质条件简单的轻度污染场地，在满足 D.0.8、D.0.9 要求的基础上，可采用类比法或解析法进行计算。

8.3.5 渗透反应墙安装在地下含水层中，垂直于地下水流方向，当地下水流在自身水力梯度作用下通过可渗透反应墙时，污染物会在反应墙中被降解、吸附、沉淀消除毒害，从而达到地下水环境修复的目的。当地下水埋深大于 5m 时，安装渗透反

应墙设施相对困难。

目前，全世界范围内至少已有 400 多个关于 PRB 技术的实际应用工程，主要集中于美国、加拿大和欧洲。这些工程所用的反应介质有 FeO、活性炭、陶粒、释氧化合物、有机碳等；可处理的污染物有氯代烃、石油烃、重金属、天然有机物、无机盐等。其中，零价铁渗透反应格栅，由于其经济、环保、高效而受到更加广泛的关注和青睐。

8.4 复合修复技术

8.4.3 对于以农业生产和生态功能维护的污染场地，植物修复时合理的选择、能够满足植物生长需求也是最终的修复目标。但对于浓度超过 5000 mg/kg 的石油烃污染场地，植物难以生长，因此必须先采取合理的物理或化学方法进行预处理，等浓度降低到 2000 – 5000mg/kg 再进行生物修复，有利于降低修复成本以及满足修复目标的需求。

8.4.4 当原位化学修复技术与生物修复技术联合使用时，加入氧化剂、淋洗剂如果剩余过多，将会对微生物活性产生抑制作用，使土壤微生物种群和活性发生变化，从而不能满足修复的需要。因此应合理的估算其加入量，一旦土壤中剩余氧化剂、淋洗剂过多，应采取相应的措施处理。

9 修复方案编制

9.1 一般规定

9.1.1 ~ 9.1.2 修复方案是污染场地修复的指导性文件，因此，收集汇总资料、总结同类工程案例是基本要求。

9.1.3 污染场地经过修复后，使得土壤或地下水恢复到一个可接受的状态，就是修复目标。目标的确定决定着修复方案采用的修复技术、工艺及修复的过程。污染场地污染特征不同，其修复目标的要求也不同。因此，达到什么样的修复目标是修复方案的关键所在。

9.1.4 ~ 9.1.5 根据场地的实际条件和修复要求，进行定性定量分析，对修复方案进行论证，满足修复工程的需要。

9.2 修复方案编制基本要求

9.2.1 鉴于污染场地的污染规模、污染特征各不相同，修复的标准和场地自然条件也存在一定的差别。场地污染后通过采取不同的修复措施，有的场地可完全修复，有的场地修复后达不到污染前的状态。因此，修复到一个什么样的标准，是确定采取修复技术的关键。

9.2.3 ~ 9.2.4 编制修复大纲应根据工程特点、目的要求进行编制。由于每个污染场地采取的修复技术各有不同，因此，本条规定的是编制修复方案的基本内容。

附录 D 地下水修复模拟计算

D. 0. 3 ~ D. 0. 7 水文地质参数是地下水修复模拟计算必不可少的数据，鉴于目前对参数计算的经验总结和科研做得还不够，加之场地水文地质条件、试验井孔的情况以及试验方法的多样性，规范很难给出能满足各种情况下计算需要的规定。在选择试验方法、计算方法及公式时，应根据场地具体的水文地质条件和公式的适用范围，合理地选用公式，避免盲目的套用。

D. 0. 11 考虑到场地水文地质条件、污染物特征等的多样性，规范不能给出一个通用的数学模型，具体数学模型的建立应在水文地质概念模型基础上进行。模型的求解可采用有限差分法、有限单元法等。在满足计算要求的地区，应优先考虑使用通用的商业软件。对于水文地质条件复杂、商业软件不能满足计算需要的地区，应编制专业的计算程序进行数值模拟计算。对于自编计算程序应给出程序可靠性及数值解准确程度的检验结果。

D. 0. 12 ~ D. 0. 13 模型识别与检验是数值模拟工作及模型建设过程最为关键的一个环节。要在模型识别与检验过程中，重新认识水文地质概念模型、分析水文地质条件、进一步提升对水文地质模型的认识。对于所掌握勘察资料不能满足建模要求时，应根据模型识别与检验过程中对条件的认识指导水文地质补充勘察。模型识别与检验的优和劣，同样取决于建模过程中水文地质分析、模型概化、水文地质勘察等各个环节质量的优劣与否，不应将识别与检验工作仅仅视为是一个调参数的“数字”过程。