

团 体 标 准

T/GDSES 9.1—2023

污染地块安全利用保障技术 第 1 部分：地块土壤和地下水中污染物安全阈 值

Guarantee technologies for contaminated site safe
utilization

Part 1: Safety threshold for soil and groundwater
contaminants of development land

2023 - 11 - 17 发布

2023 - 11 - 17 实施

广东省环境科学学会标准

目 录

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 大湾区建设用地用途类型	2
5 建设用地土壤和地下水中污染物安全阈值	2
6 建设用地土壤和地下水中污染物安全阈值的使用	2

广东省环境科学学会标准

前 言

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

《污染地块安全利用保障技术》系列标准围绕污染地块安全利用保障技术的不同方面提出了技术要求。本文件为第1部分，本文件规定了地块土壤和地下水中污染物安全阈值。

《污染地块安全利用保障技术》系列七项标准已经发布以下部分：

- 第1部分：地块土壤和地下水中污染物安全阈值
- 第2部分：污染地块安全等级划分技术指南
- 第3部分：污染地块安全利用划分标准
- 第4部分：复合污染地块高效绿色修复技术集成指南
- 第5部分：复合污染地块修复技术应用指南
- 第6部分：修复后地块再开发利用土壤环境状况调查技术规范
- 第7部分：修复后地块再开发利用风险评估技术规范

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由广东省环境科学学会提出并归口。

本文件起草单位：南方科技大学、广东省环境科学研究院、生态环境部华南环境科学研究所、香港科技大学、澳门科技大学、广东省环境科学学会。

本文件主要起草人：丁隆真、王占恺、王超、胡清、董敏刚、庄长伟、李朝晖、王钰钰、蔡信德、卢阳、劳敏慈、陈景豪、李瑛、陈桂红、陈诚、李娟。

本文件首次制定。

引 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国土壤污染防治法》，推动落实《粤港澳大湾区规划纲要》，推进生态文明建设，保护生态环境，保障公众健康，指导污染地块风险管控和修复，引导修复产业的良性发展，制定本文件。

《污染地块安全利用保障技术》系列标准围绕污染地块安全利用保障技术的不同方面提出了技术要求，由七个部分构成：

- 第1部分：地块土壤和地下水中污染物安全阈值。规定了地块土壤和地下水中污染物安全阈值；
- 第2部分：污染地块安全等级划分技术指南。规定了污染地块安全等级划分的技术要求，可用于评估污染地块的安全等级；
- 第3部分：污染地块安全利用划分标准。规定了污染地块安全利用划分标准，用于指导污染地块修复实现安全利用；
- 第4部分：复合污染地块高效绿色修复技术集成指南。规定了复合污染地块高效绿色修复技术集成的技术要求；
- 第5部分：复合污染地块修复技术应用指南。规定了复合污染地块修复方案编制和修复工程建设、运行与效果评估的技术要求；
- 第6部分：修复后地块再开发利用土壤环境状况调查技术规范。规定了修复后地块再开发利用土壤环境状况调查的技术要求；
- 第7部分：修复后地块再开发利用风险评估技术规范。规定了修复后地块再开发利用风险评估的技术要求。

广东省环境科学学会标准

地块土壤和地下水中污染物安全阈值

1 范围

本文件规定了建设用地用途类型、土壤和地下水中污染物安全阈值及其使用规则。
本文件适用于粤港澳大湾区（以下简称“大湾区”）污染地块作为建设用地的安全开发利用。
本文件不适用于放射性物质污染和致病性生物污染的地块。

2 规范性引用文件

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

GB/T 14848 地下水质量标准

GB 36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）

GB 50137 城市用地分类与规划建设用地标准

HJ 25.1 建设用地土壤污染状况调查技术导则

HJ 25.2 建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则

HJ 25.3 建设用地土壤污染风险评估技术导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

建设用地 development land

指建造建筑物、构筑物的土地，包括城乡住宅和公共设施用地、工矿用地、交通水利设施用地、旅游用地、军事设施用地等。

[来源：GB 36600—2018，3.1]

3.2

暴露途径 exposure pathway

指建设用地土壤和地下水中污染物迁移到达和暴露于人体的方式。主要包括：（1）经口摄入土壤；（2）皮肤接触土壤；（3）吸入土壤颗粒物；（4）吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物；（5）吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物；（6）吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物；（7）吸入室外空气来自地下水的气态污染物；（8）吸入室内空气来自地下水的气态污染物。

3.3

建设用地土壤中污染物安全阈值 safety threshold for soil contaminant of development land

指在特定土地使用功能下，建设用地土壤中污染物含量低于该值时，认为其对人体健康的风险可以接受；等于或超过该值时，认为其对人体健康有不可接受的风险，需采取风险管控或修复措施。

3.4

建设用地地下水污染物安全阈值 safety threshold for groundwater contaminant of development land

指在特定土地使用功能下，建设用地地下水中污染物含量低于该值时，认为其对人体健康的风险可以接受；等于或超过该值时，认为其对人体健康有不可接受的风险，需采取风险管控或修复措施。

4 大湾区建设用地用途类型

4.1 本文件主要针对以下六种大湾区建设用地土地使用功能制定，以反映大湾区居民可能暴露于受污染土壤或地下水的典型环境。

- a) 儿童公园用地：GB 50137 规定的绿地和广场用地中的公园绿地（G1）中供学龄前和学龄儿童进行游戏、娱乐、体育活动及文化科学普及教育的城市专业性公园。
- b) 居住用地：GB 50137 规定的城市建设用地中的居住用地（R），指住宅和相应服务设施的用地。
- c) 科教用地：GB 50137 规定的公共管理与公共服务用地中的中小学用地（A33）。
- d) 商业用地：GB 50137 规定的城市建设用地中的商业服务业设施用地（B），指各类商业、商务、娱乐康体等设施用地，不包括居住用地中的服务设施用地以及公共管理与公共服务用地内的事业单位用地。
- e) 工业用地：包括 GB 50137 规定的城市建设用地中的工业用地（M）和物流仓储用地（W）。其中，工业用地（M）指工矿企业的生产车间、库房及其附属设施等用地，包括专用的铁路、码头和道路等用地，不包括露天矿用地；物流仓储用地（W）指物资储备、中转、配送、批发、交易等的用地，包括大型批发市场以及货运公司车队的站场（不包括加工）等用地。
- f) 绿地用地：GB 50137 规定的绿地与广场用地（G），指公园绿地（除儿童公园外）、防护绿地、广场用地等开放空间用地，不包括住区、单位内部配建的绿地。

4.2 其他科教用地包括 GB 50137 规定的公共管理与公共服务用地中的教育科研用地（A33 除外），可以参考商业用地。

4.3 大湾区其他建设用地土地使用功能可根据与其最接近土地功能暴露场景，参照 4.1 划分类别。

5 建设用地土壤和地下水中污染物安全阈值

5.1 基于保护人体健康的大湾区建设用地土壤中污染物安全阈值见表 1。

5.2 基于保护人体健康的大湾区建设用地地下水中污染物安全阈值见表 2。

5.3 土壤及地下水中污染物可以包括但不限于表 1 和表 2 中所列项目。补充污染物项目主要依据建设用地的历史背景及计划用地类型，并参照 HJ 25.1、HJ 25.2 及相关技术规定确定。

6 建设用地土壤和地下水中污染物安全阈值的使用

6.1 表 1 和表 2 中未列入的污染物项目，可依据 HJ 25.3 及相关技术要求，结合大湾区区域特征，开展基于人体健康的风险评估，推导特定污染物在土壤和地下水中的安全阈值。

6.2 在大湾区建设用地地块内或附近抽取地下水使用是不常见的活动，例如用于饮用或灌溉等。因此本文件制定建设用地地下水中污染物安全阈值时没有考虑此类活动带来的暴露影响。若此类活动确实存在，则使用者必须对相应风险另外进行评估，而且必须遵守 GB/T 14848 等相关的地下水和饮用水国家标准。

表 1 建设用地土壤中污染物安全阈值

单位为 mg/kg

序号	污染物项目	CAS 编号	儿童公园用地	居住用地	科教用地	商业用地	工业用地	绿地用地
金属与无机物								
1	砷（无机） ^a		60	60	60	60	60	60
2	铍		37	37	36	76	74	110
3	镉		31	31	32	101	98	146
4	铬（三价）		10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f
5	铬（六价）		7.4	7.4	7.3	15	15	22

表1 建设用地土壤中污染物安全阈值（续）

单位为 mg/kg

序号	污染物项目	CAS 编号	儿童公 园用地	居住 用地	科教 用地	商业 用地	工业 用地	绿地 用地
金属与无机物								
6	镉		20	20	20	180	180	180
7	铜		2000	2000	2000	18000 ^e	18000 ^e	18000 ^e
8	铅		400	400	400	800	800	800
9	镍		340	340	335	900	900	1010
10	锌		10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f
11	钴 ^a		20	20	20	70	70	70
12	钒 ^a		165	165	165	752	752	752
13	硒		245	245	245	2240	2240	2250
14	铊 ^a		0.49	0.49	0.49	4.5	4.5	4.5
15	汞（无机）		8	8	8	38	38	38
16	甲基汞	22967-92-6	5	5	5	45	45	45
17	氰化物		22	22	22	170	135	135
18	氟化物		1930	1930	1930	10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f
卤代烃								
19	1,1-二氯乙烷	75-34-3	3	3	3	9	9	89
20	1,2-二氯乙烷	107-06-2	0.52	0.52	0.52	5	5	5.5
21	1,1,1-三氯乙烷	71-55-6	701	701	701	840	840	840
22	1,1,2-三氯乙烷	79-00-5	0.6	0.6	0.6	2.8	2.8	3.8
23	1,1,1,2-四氯乙烷	630-20-6	2.6	2.6	2.6	10	10	19
24	1,1,2,2-四氯乙烷	79-34-5	1.6	1.6	1.6	6.8	6.8	6.8
25	1,1-二氯乙烯	75-35-4	12	12	12	66	66	200
26	顺-1,2-二氯乙烯	156-59-2	66	66	66	596	596	596
27	反-1,2-二氯乙烯	156-60-5	10	10	10	54	54	163
28	1,2-二氯丙烷	78-87-5	1	1	1	5	5	5
29	1,3-二氯丙烷	142-28-9	18	18	20	104	108	357
30	氯甲烷	74-87-3	12	12	12	37	37	120
31	氯仿	67-66-3	0.3	0.3	0.3	0.9	0.9	7
32	一溴二氯甲烷	75-27-4	0.29	0.29	0.29	1.2	1.2	4.3
33	三溴甲烷	75-25-2	32	32	32	103	103	109
34	二氯甲烷	75-09-2	94	94	94	616	616	1270
35	二溴氯甲烷	124-48-1	9.3	9.3	9.3	33	33	33
36	氯乙烯	75-01-4	0.12	0.12	0.12	0.43	0.43	3.5
37	三氯乙烯	79-01-6	0.7	0.7	0.7	2.8	2.8	25
38	四氯乙烯	127-18-4	11	11	11	53	53	183
39	1,1,2-三氯丙烷	598-77-6	162	162	162	1490	1490	1490
40	1,2,3-三氯丙烷	96-18-4	0.05	0.05	0.05	0.5	0.5	0.5
41	1,2-二溴乙烷	106-93-4	0.07	0.07	0.07	0.24	0.24	0.24
42	四氯化碳	56-23-5	0.9	0.9	0.9	2.8	2.8	17
43	六氯环戊二烯	77-47-4	1.1	1.1	1.1	5.2	5.2	5.2
苯系物及其衍生物								
44	苯	71-43-2	1	1	1	4	4	16
45	甲苯	108-88-3	1200	1200	1200	1200	1200	1200
46	乙苯	100-41-4	7.2	7.2	7.2	28	28	55
47	间+对二甲苯		163	163	163	570	570	570
48	邻二甲苯	95-47-6	222	222	222	640	640	640
49	1,2,4-三甲苯	95-63-6	147	147	159	891	923	2550
50	1,3,5-三甲苯	108-67-8	108	108	117	640	673	2550

表1 建设用地土壤中污染物安全阈值（续）

单位为 mg/kg

序号	污染物项目	CAS 编号	儿童公 园用地	居住 用地	科教 用地	商业 用地	工业 用地	绿地 用地
苯系物及其衍生物								
51	苯乙烯	100-42-5	1290	1290	1290	1290	1290	1290
52	氯苯	108-90-7	68	68	68	270	270	818
53	苯酚	108-95-2	5050	9310	8610	10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f
54	1,2-二氯苯	95-50-1	560	560	560	560	560	560
55	1,3-二氯苯	541-73-1	1450	1450	1450	10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f
56	1,4-二氯苯	106-46-7	5.6	5.6	5.6	20	20	20
57	2,4-二硝基酚	51-28-5	78	78	78	562	562	562
58	4-甲酚	106-44-5	3470	3760	3730	10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f
59	2,4-二甲酚	105-67-9	768	768	768	5610	5610	5610
60	2-氯酚	95-57-8	250	250	250	2256	2256	2256
61	2,4-二氯苯酚	120-83-2	117	117	117	843	843	843
62	五氯酚	87-86-5	1.1	1.1	1.1	2.7	2.7	2.7
63	硝基苯	98-95-3	34	34	34	115	76	76
64	五氯苯	608-93-5	39	39	39	360	360	360
65	苯胺	62-53-3	92	92	92	291	260	260
多环芳烃类								
66	萘	83-32-9	2160	2160	2160	10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f
67	萘烯	208-96-8	2090	2090	2090	10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f
68	蒽	120-12-7	10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f
69	苯并(a)蒽	56-55-3	5.5	5.5	5.5	15	15	15
70	二苯并(a,h)蒽	53-70-3	0.55	0.55	0.55	1.5	1.5	1.5
71	苯并(a)芘	50-32-8	0.55	0.55	0.55	1.5	1.5	1.5
72	苯并(b)荧蒽	205-99-2	5.5	5.5	5.5	15	15	15
73	苯并(ghi)花	191-24-2	1050	1050	1050	7170	7170	7170
74	苯并(k)荧蒽	207-08-9	55	55	55	152	152	151
75	蒗	218-01-9	490	511	515	1460	1390	1293
76	荧蒽	206-44-0	1440	1440	1440	10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f
77	芴	86-73-7	1440	1440	1440	10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f
78	茚并(1,2,3-cd)芘	193-39-5	5.5	5.5	5.5	15	15	15
79	蔡	91-20-3	25	25	25	70	70	70
80	2-甲基蔡	91-57-6	144	144	144	1010	1010	1010
81	2-氯蔡	91-58-7	2880	2880	2880	10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f
82	菲	85-01-8	1050	1050	1050	7170	7170	7170
83	芘	129-00-0	1080	1080	1080	7560	7560	7560
84	喹啉	86-74-8	27	27	27	73	73	73
多氯联苯及二噁英类								
85	多氯联苯（总量） ^b		0.14	0.14	0.14	0.38	0.38	0.38
86	多氯联苯 169	32774-16-6	0.00014	0.00014	0.00014	0.0004	0.0004	0.004
87	多溴联苯（总量） ^c	59536-65-1	0.02	0.02	0.02	0.06	0.06	0.06
88	二噁英(TCDD2378)	1746-01-6	0.00000 53	0.00000 54	0.00000 54	0.000018	0.000018	0.000017
89	二噁英（总量） ^d		0.0001	0.0001	0.0001	0.00037	0.00037	0.00037
90	石油烃(C ₁₀ -C ₄₀)		826	826	826	4500	4500	4500
邻苯二甲酸酯类								
91	邻苯二甲酸（2-乙基己基）酯	117-81-7	42	42	42	122	121	121
92	邻苯二甲酸二甲酯	131-11-3	10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f
93	邻苯二甲酸二乙酯	84-66-2	10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f

表1 建设用地土壤中污染物安全阈值（续）

单位为 mg/kg

序号	污染物项目	CAS 编号	儿童公 园用地	居住 用地	科教 用地	商业 用地	工业 用地	绿地 用地
邻苯二甲酸酯类								
94	邻苯二甲酸二丁酯	84-74-2	3840	3840	3840	10000 ^f	10000 ^f	10000 ^f
95	邻苯二甲酸苄丁酯	85-68-7	312	312	312	900	900	900
96	邻苯二甲酸二正辛酯	117-84-0	390	390	390	2812	2812	2812
有机农药类								
97	<i>p,p'</i> -滴滴涕	72-54-8	2.5	2.5	2.5	7.1	7.1	7.1
98	<i>p,p'</i> -滴滴伊	72-55-9	2.2	2.3	2.3	8	8	7.8
99	滴滴涕（总量） ^e	50-29-3	2.1	2.1	2.1	6.8	6.8	6.7
100	α -六六六	319-84-6	0.09	0.092	0.092	0.3	0.3	0.3
101	β -六六六	319-85-7	0.32	0.32	0.32	0.95	0.92	0.92
102	γ -六六六	58-89-9	0.62	0.62	0.62	2	1.9	1.9
103	乐果	60-51-5	86	86	86	619	619	619
104	六氯苯	118-74-1	0.33	0.36	0.36	1.4	1.3	1
全氟化合物								
105	全氟丁磺酸盐	45187-15-3	12	12	12	84	84	84
106	全氟丁磺酸	375-73-5	12	12	12	84	84	84
107	全氟己烷磺酸盐	108427-53-8	0.77	0.77	0.77	5.6	5.6	5.6
108	全氟己磺酸	355-46-4	0.77	0.77	0.77	5.6	5.6	5.6
109	全氟壬酸酯	72007-68-2	0.12	0.12	0.12	0.84	0.84	0.84
110	全氟壬酸	375-95-1	0.12	0.12	0.12	0.84	0.84	0.84
111	全氟辛烷磺酸盐	45298-90-6	0.077	0.077	0.077	0.56	0.56	0.56
112	全氟辛磺酸	1763-23-1	0.077	0.077	0.077	0.56	0.56	0.56
113	全氟辛酸酯	45285-51-6	0.12	0.12	0.12	0.84	0.84	0.84
114	全氟辛酸	355-67-1	0.12	0.12	0.12	0.84	0.84	0.84
115	全氟丁烷磺酸钾	29420-49-3	12	12	12	84	84	84
116	全氟辛烷磺酸钾	2795-39-3	0.077	0.077	0.077	0.56	0.56	0.56
117	全氟-2-甲基-3-氧乙 酸铵	62037-80-3	0.12	0.12	0.12	0.84	0.84	0.84
其他								
118	3,3-二氯联苯胺	91-94-1	1.3	1.3	1.3	3.7	3.6	3.6
119	甲基叔丁醚	1634-04-4	36	36	34	147	153	466
120	二硫化碳	75-15-0	29	29	32	136	149	9180
注：a：对于砷、钴、钒、铈，如果地块检测值超过安全阈值，但没有超过土壤背景值水平的，可以修正为当地的土壤背景值；b：多氯联苯（总量）为PCB77、PCB81、PCB105、PCB114、PCB118、PCB123、PCB126、PCB156、PCB157、PCB167、PCB169、PCB189十二种物质含量总和；c：多溴联苯（总量）为该类物质检出含量的总和；d：二噁英（总量）为该类物质总毒性当量的安全阈值；e：滴滴涕（总量）为 <i>o,p'</i> -滴滴涕和 <i>p,p'</i> -滴滴涕的总和；f：以封顶值 10000 mg/kg 作为安全阈值。								

表2 建设用地地下水中污染物安全阈值

单位为 mg/L

序号	污染物项目	CAS 编号	儿童公园用地	居住用地	科教用地	商业用地	工业用地	绿地用地
金属与无机物								
1	砷（无机）		—	—	—	—	—	—
2	铍		—	—	—	—	—	—
3	镉		—	—	—	—	—	—
4	铬（三价）		—	—	—	—	—	—
5	铬（六价）		—	—	—	—	—	—
6	锑		—	—	—	—	—	—
7	铜		—	—	—	—	—	—
8	铅		—	—	—	—	—	—
9	镍		—	—	—	—	—	—
10	锌		—	—	—	—	—	—
11	钴		—	—	—	—	—	—
12	钒		—	—	—	—	—	—
13	硒		—	—	—	—	—	—
14	铊		—	—	—	—	—	—
15	汞（无机）		0.17	0.17	0.19	0.97	1	5.7
16	甲基汞	22967-92-6	—	—	—	—	—	—
17	氰化物		8	8	8.7	47	47	106
18	氟化物		—	—	—	—	—	—
卤代烃								
19	1,1-二氯乙烷	75-34-3	2.5	2.5	2.4	10	11	62
20	1,2-二氯乙烷	107-06-2	0.7	0.7	0.67	2.9	3.1	11
21	1,1,1-三氯乙烷	71-55-6	676	676	743	1290	1290	1290
22	1,1,2-三氯乙烷	79-00-5	0.53	0.53	0.57	3	3.1	10
23	1,1,1,2-四氯乙烷	630-20-6	2.1	2.1	2	8.7	9.1	37
24	1,1,2,2-四氯乙烷	79-34-5	1.7	1.7	1.7	7.4	7.5	20
25	1,1-二氯乙烯	75-35-4	13	13	15	76	81	589
26	顺-1,2-二氯乙烯	156-59-2	—	—	—	—	—	—
27	反-1,2-二氯乙烯	156-60-5	11	11	12	63	67	417
28	1,2-二氯丙烷	78-87-5	0.24	0.24	0.23	1	1.1	5
29	1,3-二氯丙烷	142-28-9	40	40	44	231	241	850
30	氯甲烷	74-87-3	12	12	14	70	75	478
31	二氯甲烷	75-09-2	273	273	299	1560	1650	8120
32	氯仿	67-66-3	0.29	0.29	0.27	1.2	1.3	6.2
33	溴二氯甲烷	75-27-4	0.42	0.42	0.4	1.8	1.8	7.2
34	三溴甲烷	75-25-2	85	85	82	364	372	986
35	二溴氯甲烷	124-48-1	3.1	3.1	3	13	14	39
36	氯乙烯	75-01-4	0.15	0.15	0.14	0.61	0.65	4.8
37	三氯乙烯	79-01-6	0.44	0.44	0.49	2.5	2.7	17
38	四氯乙烯	127-18-4	6.7	6.7	7.4	34	36	206
39	1,1,2-三氯丙烷	598-77-6	—	—	—	—	—	—
40	1,2,3-三氯丙烷	96-18-4	2.2	2.2	2.4	13	13	35
41	1,2-二溴乙烷	106-93-4	0.013	0.013	0.012	0.054	0.057	0.27
42	四氯化碳	56-23-5	0.2	0.2	0.19	0.84	0.9	6.3
43	六氯环戊二烯	77-47-4	0.041	0.041	0.045	0.23	0.25	1.6
苯系物及其衍生物								
44	苯	71-43-2	0.48	0.48	0.46	2	2.2	12

表2 建设用地地下水中污染物安全阈值（续）

单位为mg/L

序号	污染物项目	CAS 编号	儿童公 园用地	居住 用地	科教 用地	商业 用地	工业 用地	绿地 用地
苯系物及其衍生物								
45	甲苯	108-88-3	526	526	526	526	526	526
46	乙苯	100-41-4	1.4	1.4	1.3	5.8	6.2	38
47	间+对二甲苯		35.1	35.1	38	161	161	161
48	邻二甲苯	95-47-6	42	42	46	178	178	178
49	1,2,4-三甲苯	95-63-6	57	57	57	57	57	57
50	1,3,5-三甲苯	108-67-8	48	48	48	48	48	48
51	苯乙烯	100-42-5	310	310	310	310	310	310
52	氯苯	108-90-7	33	33	36	189	199	498
53	苯酚	108-95-2	10000 ^d	10000 ^d	10000 ^d	10000 ^d	10000 ^d	10000 ^d
54	1,2-二氯苯	95-50-1	156	156	156	156	156	156
55	1,3-二氯苯	541-73-1	—	—	—	—	—	—
56	1,4-二氯苯	106-46-7	1.3	1.3	1.2	5.3	5.6	24
57	2,4-二硝基酚	51-28-5	—	—	—	—	—	—
58	4-甲酚	106-44-5	10000 ^d	10000 ^d	10000 ^d	10000 ^d	10000 ^d	10000 ^d
59	2,4-二甲酚	105-67-9	—	—	—	—	—	—
60	2-氯酚	95-57-8	—	—	—	—	—	—
61	2,4-二氯苯酚	120-83-2	—	—	—	—	—	—
62	五氯酚	87-86-5	14	14	14	14	14	14
63	硝基苯	98-95-3	26	26	25	115	107	131
64	五氯苯	608-93-5	—	—	—	—	—	—
65	苯胺	62-53-3	461	821	764	6630	3540	1240
多环芳烃类								
66	萘	83-32-9	—	—	—	—	—	—
67	萘烯	208-96-8	—	—	—	—	—	—
68	蒽	120-12-7	—	—	—	—	—	—
69	苯并(a)蒽	56-55-3	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094
70	二苯并(a,h)蒽	53-70-3	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029
71	苯并(a)芘	50-32-8	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016
72	苯并(b)荧蒽	205-99-2	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015
73	苯并(ghi)芘	191-24-2	—	—	—	—	—	—
74	苯并(k)荧蒽	207-08-9	0.00089	0.00089	0.00089	0.00089	0.00089	0.00089
75	蒽	218-01-9	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
76	荧蒽	206-44-0	—	—	—	—	—	—
77	芴	86-73-7	—	—	—	—	—	—
78	茚并(1,2,3-cd)芘	193-39-5	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019
79	萘	91-20-3	2	2	1.9	8.5	8.7	26
80	2-甲基萘	91-57-6	—	—	—	—	—	—
81	2-氯萘	91-58-7	—	—	—	—	—	—
82	菲	85-01-8	—	—	—	—	—	—
83	芘	129-00-0	—	—	—	—	—	—
84	咔唑	86-74-8	—	—	—	—	—	—
多氯联苯及二噁英类								
85	多氯联苯（总量） ^a		0.12	0.12	0.12	0.53	0.54	1.5
86	多氯联苯 169	32774-16-6	0.00023	0.00023	0.00022	0.00051	0.00051	0.00051
87	多溴联苯（总量）	59536-65-1	—	—	—	—	—	—

表2 建设用地地下水中污染物安全阈值（续）

单位为 mg/L

序号	污染物项目	CAS 编号	儿童公园用地	居住用地	科教用地	商业用地	工业用地	绿地用地
多氯联苯及二噁英类								
88	二噁英(TCDD2378)	1746-01-6	0.00002	0.00002	0.000019	0.000085	0.000083	0.00014
89	二噁英（总量） ^b		0.000004	0.000004	0.000004	0.000004	0.000004	0.000004
石油烃类								
90	石油烃(C ₁₀ -C ₄₀)		—	—	—	—	—	—
邻苯二甲酸酯类								
91	邻苯二甲酸（2-乙基己基）酯	117-81-7	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
92	邻苯二甲酸二甲酯	131-11-3	—	—	—	—	—	—
93	邻苯二甲酸二乙酯	84-66-2	—	—	—	—	—	—
94	邻苯二甲酸二丁酯	84-74-2	—	—	—	—	—	—
95	邻苯二甲酸苄丁酯	85-68-7	—	—	—	—	—	—
96	邻苯二甲酸二正辛酯	117-84-0	—	—	—	—	—	—
有机农药类								
97	p,p'-滴滴涕	72-54-8	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
98	p,p'-滴滴伊	72-55-9	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
99	滴滴涕（总量） ^c	50-29-3	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055
100	α-六六六	319-84-6	2	2	2	2	2	2
101	β-六六六	319-85-7	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
102	γ-六六六	58-89-9	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3
103	乐果	60-51-5	—	—	—	—	—	—
104	六氯苯	118-74-1	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062
全氟化合物								
105	全氟丁磺酸盐	45187-15-3	—	—	—	—	—	—
106	全氟丁磺酸	375-73-5	—	—	—	—	—	—
107	全氟己烷磺酸盐	108427-53-8	—	—	—	—	—	—
108	全氟己磺酸	355-46-4	—	—	—	—	—	—
109	全氟壬酸酯	72007-68-2	—	—	—	—	—	—
110	全氟壬酸	375-95-1	—	—	—	—	—	—
111	全氟辛烷磺酸盐	45298-90-6	—	—	—	—	—	—
112	全氟辛磺酸	1763-23-1	—	—	—	—	—	—
113	全氟辛酸酯	45285-51-6	—	—	—	—	—	—
114	全氟辛酸	355-67-1	—	—	—	—	—	—
115	全氟丁烷磺酸钾	29420-49-3	—	—	—	—	—	—
116	全氟辛烷磺酸钾	2795-39-3	—	—	—	—	—	—
117	全氟-2-甲基-3-氧乙酸铵	62037-80-3	—	—	—	—	—	—
其他								
118	3,3-二氯联苯胺	91-94-1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
119	甲基叔丁醚	1634-04-4	158	158	152	672	696	2260
120	二硫化碳	75-15-0	66	66	73	379	404	2160
注：a：多氯联苯（总量）为PCB77、PCB81、PCB105、PCB114、PCB118、PCB123、PCB126、PCB156、PCB157、PCB167、PCB169、PCB189十二种物质含量总和；b：二噁英（总量）为该类物质总毒性当量的安全阈值；c：滴滴涕（总量）以p,p'-滴滴涕的计算值作为滴滴涕（总量）（计为o,p'-滴滴涕和p,p'-滴滴涕的总和）的安全阈值；d：以封顶值10000 mg/L作为安全阈值；“—”：参数缺失导致地下水安全阈值无法计算。								

团 体 标 准

T/GDSES 9.2—2023

污染地块安全利用保障技术 第 2 部分：污染地块安全等级划分技术指南

Guarantee technologies for contaminated site safe
utilization
Part 2: Technical guideline for the safety classification
of contaminated site

2023 - 11 - 17 发布

2023 - 11 - 17 实施

广东省环境科学学会标准

目 录

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语与定义	1
4 基本原则与工作程序	2
5 污染地块安全等级划分指标及分值	3
6 污染地块的环境安全指数计算方法	6
7 污染地块安全等级划分	6
附录 A（资料性） 污染地块安全等级划分指标释义及指标数值的计算方法	7
附录 B（资料性） 大湾区关注污染物毒性理化参数表	14

广东省环境科学学会标准

前 言

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

《污染地块安全利用保障技术》系列标准围绕污染地块安全利用保障技术的不同方面提出了技术要求。本文件为第2部分，规定了污染地块安全等级划分的技术要求，可用于评估污染地块的安全等级。

《污染地块安全利用保障技术》系列七项标准已经发布以下部分：

- 第1部分：地块土壤和地下水中污染物安全阈值
- 第2部分：污染地块安全等级划分技术指南
- 第3部分：污染地块安全利用划分标准
- 第4部分：复合污染地块高效绿色修复技术集成指南
- 第5部分：复合污染地块修复技术应用指南
- 第6部分：修复后地块再开发利用土壤环境状况调查技术规范
- 第7部分：修复后地块再开发利用风险评估技术规范

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由广东省环境科学学会提出并归口。

本文件起草单位：广东省环境科学研究院、中国科学院南京土壤研究所、生态环境部华南环境科学研究所、南方科技大学、广东省环境科学学会、香港科技大学、澳门科技大学。

本文件主要起草人：董敏刚、庄长伟、李朝晖、常春英、彭梓濠、韩璐、侯少林、陈桂红、邓一荣、丁隆真、胡清、蔡信德、卢阳、王钰钰、张晓露、韩瑜、周海燕、劳敏慈、陈景豪、李璜、严辉、林煜玲。

本文件首次制定。

引 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国土壤污染防治法》，推动落实《粤港澳大湾区规划纲要》，推进生态文明建设，保护生态环境，保障公众健康，指导污染地块风险管控和修复，引导修复产业的良性发展，制定本文件。

《污染地块安全利用保障技术》系列标准围绕污染地块安全利用保障技术的不同方面提出了技术要求，由七个部分构成：

- 第1部分：地块土壤和地下水中污染物安全阈值。规定了地块土壤和地下水中污染物安全阈值；
- 第2部分：污染地块安全等级划分技术指南。规定了污染地块安全等级划分的技术要求，可用于评估污染地块的安全等级；
- 第3部分：污染地块安全利用划分标准。规定了污染地块安全利用划分标准，用于指导污染地块修复实现安全利用；
- 第4部分：复合污染地块高效绿色修复技术集成指南。规定了复合污染地块高效绿色修复技术集成的技术要求；
- 第5部分：复合污染地块修复技术应用指南。规定了复合污染地块修复方案编制和修复工程建设、运行与效果评估的技术要求；
- 第6部分：修复后地块再开发利用土壤环境状况调查技术规范。规定了修复后地块再开发利用土壤环境状况调查的技术要求；
- 第7部分：修复后地块再开发利用风险评估技术规范。规定了修复后地块再开发利用风险评估的技术要求。

广东省环境科学学会标准

污染地块安全等级划分技术指南

1 范围

本文件规定了污染地块安全等级划分的基本原则、工作程序和划分方法。

本文件适用于粤港澳大湾区（以下简称“大湾区”）按照国家技术规范确认超过有关土壤环境标准的污染地块的安全等级划分。本文件适用于 GB 36600—2018 中的工业用地。

本文件不适用于放射性物质污染和致病性生物污染的地块。

2 规范性引用文件

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

GB/T 14848 地下水质量标准

GB 36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）

GB 50021 岩土工程勘察规范

GB 50137 城市用地分类与规划建设用地标准

HJ 25.1 建设用地土壤污染状况调查技术导则

HJ 25.3 建设用地土壤污染风险评估技术导则

HJ 25.5 污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则

HJ 25.6 污染地块地下水修复和风险管控技术导则

HJ 682 建设用地土壤污染风险管控和修复术语

《关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定》（环办土壤〔2017〕67号）

《广东省地下水功能区划》（粤办函〔2009〕459号）

3 术语与定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

污染地块 contaminated site

指从事过工业生产经营活动，以及从事过危险废物贮存、利用、处置活动，按照国家技术规范确认有污染物浓度超过GB 36600中筛选值的地块。

3.2

敏感目标 potential sensitive targets

指地块周围可能受污染物影响的居民区、学校、医院、饮用水源保护区以及重要公共场所等。

[来源：HJ 25.1—2019，3.2]

3.3

建设用地土壤污染风险筛选值 risk screening values for soil contamination of development land

指在特定土地利用方式下，建设用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

以接受；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。

[来源：GB 36600—2018，3.4]

3.4

工业用地 industrial land

包括 GB 50137 规定的城市建设用地中的工业用地（M）和物流仓储用地（W）。其中，工业用地（M）指工矿企业的生产车间、库房及其附属设施等用地，包括专用的铁路、码头和道路等用地，不包括露天矿用地；物流仓储用地（W）指物资储备、中转、配送、批发、交易等的用地，包括大型批发市场以及货运公司车队的站场（不包括加工）等用地。

[来源：GB 50137—2011，3.2]

3.5

污染地块的环境安全指数 environmental safety index of contaminated sites

指通过对地块土壤和地下水中污染物超标情况、污染物迁移途径和受体特征等因素进行综合赋值计算，用数值的形式表达污染地块的环境安全指数，反映污染地块对人体健康的危害程度以及地块内和周边环境安全的一个综合指数。

3.6

安全等级划分 safety classification

指根据地块土壤和地下水中污染物超标情况、污染物迁移途径和受体等信息，分析污染地块的环境安全指数，并根据地块的环境安全指数范围划分地块安全等级。

4 基本原则与工作程序

4.1 基本原则

4.1.1 科学性原则

采用科学的方法，综合考虑污染地块基础信息资料、地块初步污染状况调查结果以及未来规划用途等因素，确保污染地块各级指标得分的科学性和准确性，对地块进行安全等级划分。

4.1.2 可行性原则

污染地块安全等级划分要合理可行，应考虑污染地块的实际情况和可操作性，确保安全等级划分结果能够真实反映风险程度，能够有效地对地块实行分级管控。

4.1.3 规范性原则

依据相关法律法规、标准要求，程序化、系统化地规范污染地块安全等级的划分、管理。

4.2 工作程序

污染地块安全等级划分的工作程序如图 1 所示。

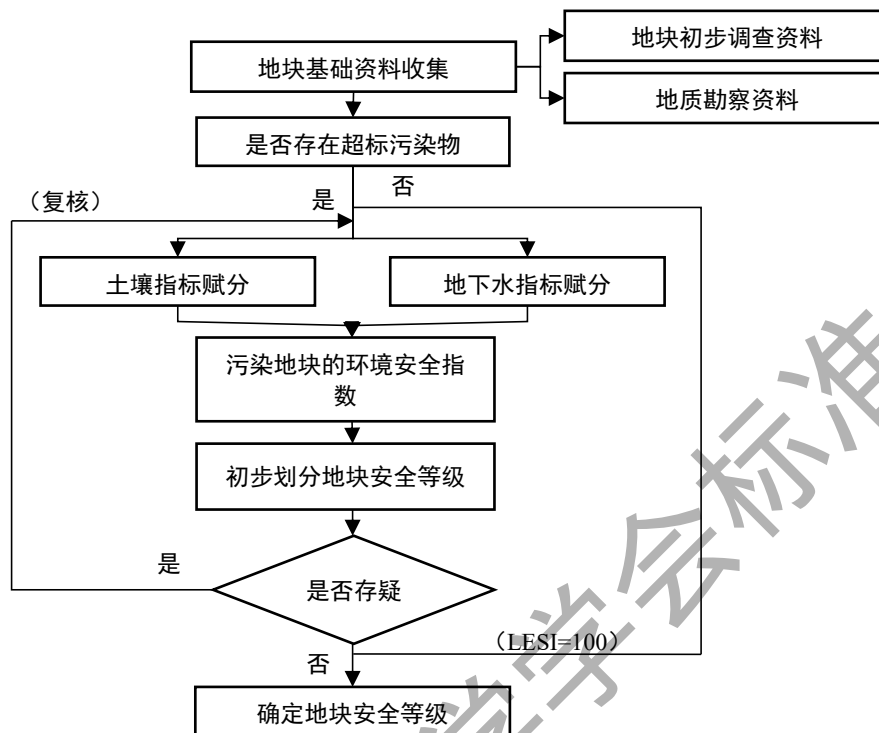


图1 污染地块安全等级划分工作程序

5 污染地块安全等级划分指标及分值

污染地块的安全等级划分指标包含三个级别。其中，一级指标包括2项：土壤和地下水；二级指标包括3项：污染特性、污染物迁移途径和受体特征；三级指标包括土壤的15项和地下水的14项。

安全等级划分中土壤和地下水的二级和三级指标、指标等级及指标分值情况分别见表1、表2，三级指标释义及指标等级得分的计算方法见附录A。

表1 污染地块安全等级划分土壤指标分值表

二级指标	三级指标	指标等级	指标分值
土壤污染特性 (LR)	1.土壤污染物超标总倍数 (Es) *	① $Es \geq 100$	25.00
		② $50 \leq Es < 100$	17.50
		③ $10 \leq Es < 50$	10.00
		④ $1 \leq Es < 10$	2.50
		⑤ $Es < 1$	0.00
	2.重点区域面积 (A)	① $A \geq 18000$	6.00
		② $5000 \leq A < 18000$	4.20
		③ $1800 \leq A < 5000$	2.40
		④ $A < 1800$	0.30
	3.土壤污染物对人体健康的危害效应 (Ts) *	①高毒性: $Ts=10000$	18.00
		②较高毒性: $Ts=1000$	14.40
		③中等毒性: $Ts=100$	10.80
		④较低毒性: $Ts=10$	7.20
		⑤低毒性: $Ts=1$	3.60
		⑥未知	0.90

表 1 污染地块安全等级划分土壤指标分值表（续）

二级指标	三级指标	指标等级	指标分值
土壤污染特性 (LR)	4.土壤污染物的生物降解半衰期 (HL)	①HL≥730 天	6.00
		②210 天≤HL<730 天	3.60
		③HL<210 天	0.30
土壤污染物迁移途径 (WC)	5.污染物挥发性	①亨利常数 H: H≥1	4.00
		②亨利常数 H: 1×10 ⁻⁵ ≤H<1	2.40
		③亨利常数 H: H<1×10 ⁻⁵	0.20
	6.污染物迁移性 (Ms) *	①高: Ms≥0.01	5.00
		②中: 2×10 ⁻⁵ ≤Ms<0.01	3.00
		③低: Ms<2×10 ⁻⁵	0.25
	7.包气带土壤质地	①砂石及碎石土	3.00
		②粉土	1.80
		③黏性土	0.15
	8.饱水带土壤质地	①砾砂及以上土质	3.00
		②粗砂、中砂及细砂	1.80
		③粉砂及以下土质	0.15
9.空气中可吸入颗粒物含量 (PM ₁₀)	①PM ₁₀ ≤0.179	2.00	
	②0.119<PM ₁₀ ≤0.179	1.20	
	③PM ₁₀ <0.119	0.10	
10.室内空气交换率 (ER)	①ER<6 次/d	2.00	
	②6 次/d≤ER<12 次/d	1.20	
	③ER≥12 次/d	0.10	
11.年降水量 (P)	①P≥2100 毫米	3.00	
	②1000 毫米≤P<2100 毫米	1.80	
	③P<1000 毫米	0.15	
12.地下水埋深 (S)	①S≤2 米	3.00	
	②2 米<S≤5 米	1.80	
	③S>5 米	0.15	
土壤受体特征 (T)	13.地块承载人口数量或人口密度	①R>6856	4.00
		②941<R≤6856	2.80
		③370<R≤941	1.60
		④0<R≤370	0.20
	14.成人暴露量 (ADEa)	①ADEa≥健康基准值的 10 倍	11.00
		②健康基准值的 5 倍≤ADEa<健康基准值的 10 倍	6.60
		③健康基准值≤ADEa<健康基准值的 5 倍	2.20
		④ADEa<健康基准值	0.00
	15.地块周边敏感水体或饮用水井的距离 (Ds)	①Ds<100 米	5.00
		②100 米≤Ds<300 米	3.50
		③300 米≤Ds<1000 米	2.00
		④Ds≥1000 米	0.25

注：三级指标中带*的指标数值，需参照附录 A 提供的方法，经计算后得到。

表 2 污染地块安全等级划分地下水指标分值表

二级指标	三级指标	指标等级	指标分值
地下水污染特性 (LR)	1.地下水污染物超标总倍数 (Es) *	①Es≥100	25.00
		②50≤Es<100	17.50
		③10≤Es<50	10.00
		④1≤Es<10	2.50

表2 污染地块安全等级划分地下水指标分值表(续)

二级指标	三级指标	指标等级	指标分值
地下水污染特性 (LR)	1.地下水污染物超标总倍数(Es)	⑤Es<1	0.00
	2.地下水污染物对人体健康的危害效应(Ts)*	①高毒性: Ts=10000	20.00
		②较高毒性: Ts=1000	16.00
		③中等毒性: Ts=100	12.00
		④较低毒性: Ts=10	8.00
		⑤低毒性: Ts=1	4.00
		⑥未知	1.00
	3.地下水污染物的生物降解半衰期(HL)	①HL≥730天	10.00
		②210天<HL<730天	6.00
		③HL<210天	0.50
地下水污染物迁移途径 (WC)	4.污染物挥发性	①亨利常数H: H≥1	4.00
		②亨利常数H: $1 \times 10^{-5} \leq H < 1$	2.40
		③亨利常数H: $H < 1 \times 10^{-5}$	0.20
	5.污染物迁移性(Ms)*	①高: $M_s \geq 0.01$	5.00
		②中: $2 \times 10^{-5} \leq M_s < 0.01$	3.00
		③低: $M_s < 2 \times 10^{-5}$	0.25
	6.包气带土壤质地	①砾石及碎石土	4.00
		②粉土	2.4
		③黏性土	0.2
	7.饱水带土壤质地	①砾砂及以上土质	4.00
		②粗砂、中砂及细砂	2.40
		③粉砂及以下土质	0.20
	8.室内空气交换率(ER)	①ER<6次/d	4.00
		②6次/d<ER<12次/d	2.40
		③ER≥12次/d	0.20
	9.地下水埋深(S)	①S≤2米	4.00
		②2米<S≤5米	2.40
		③S>5米	0.20
地下水受体特征(T)	10.地块承载人口数量或人口密度	①R>6856	4.00
		②941<R≤6856	2.80
		③370<R≤941	1.60
		④0<R≤370	0.20
	11.成人暴露量(ADEa)	①ADEa≥健康基准值的10倍	7.00
		②健康基准值的5倍≤ADEa<健康基准值的10倍	4.20
		③健康基准值≤ADEa<健康基准值的5倍	1.40
		④ADEa<健康基准值	0.00
	12.地下水功能区划	①开发区(集中式供水水源区、分散式开发利用区)	3.00
		②保护区(生态脆弱区、地质灾害易发区、地下水水源涵养区)	1.80
		③保留区(不宜开采区、储备区、应急水源区)	0.15
	13.邻近区域地表水用途	①水源保护区、食品加工、饮用水	3.00
		②农业灌溉用水	2.10
		③工业用途或不利用	1.20
		④未知	0.15

表2 污染地块安全等级划分地下水指标分值表（续）

二级指标	三级指标	指标等级	指标分值
地下水受体特征（T）	14.地块周边敏感水体或饮用水井的距离（Ds）	①Ds<100米	3.00
		②100米≤Ds<300米	2.10
		③300米≤Ds<1000米	1.20
		④Ds≥1000米	0.15
注：三级指标中带*的指标数值，需参照附录A提供的方法，经计算后得到。			

6 污染地块的环境安全指数计算方法

根据收集到的污染地块基础信息资料和地块初步污染状况调查结果，分别对表1、表2中土壤和地下水的各三级评估指标进行赋值，再根据指标等级确定指标分值。相应三级指标的分值之和，即为二级指标的得分；土壤和地下水的一级指标得分采用公式（1）计算得到；污染地块的环境安全指数通过公式（2）计算得到。

$$S_s \text{ 或 } S_{gw} = LR + WC + T \dots\dots\dots (1)$$

$$LESI = 100 - \sqrt{\frac{S_s^2 + S_{gw}^2}{2}} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

S_s ——污染地块土壤得分；

S_{gw} ——污染地块地下水得分；

LR ——污染特性得分；

WC ——污染物迁移途径得分；

T ——受体特征得分；

$LESI$ ——污染地块的环境安全指数。

7 污染地块安全等级划分

将污染地块的环境安全指数与表3中的污染地块安全等级划分标准进行比较，可得到污染地块的初步安全等级；对结果进行综合判断，最终确定污染地块的安全等级。

表3 污染地块安全等级划分标准

等级类别	分值	风险程度	管理建议
I级	75<LESI≤100	低风险地块	如无开发计划，暂不需要采取风险管控措施。
II级	50<LESI≤75	中风险地块	关注地块动向，当暴露模型发生变化时，及时更新地块安全等级。
III级	20<LESI≤50	高风险地块	设置禁入标识、围挡等，减少暴露途径。
IV级	LESI≤20	极高风险地块	立即开展风险管控措施，阻控污染扩散，降低环境、健康风险。

如果因资料不齐导致评分不准确或者评出的结果不符合客观认知或经验判断，安全等级存疑，需要再次补充资料、重新进行安全等级的评分。

地方生态环境部门可根据本区域污染地块的环境安全指数得分情况，实行分级管理。若地块有明确的再开发利用方案，后续管理程序按照相关法律法规要求执行。

附录 A

(资料性)

污染地块安全等级划分指标释义及指标数值的计算方法

A.1 土壤污染物超标总倍数

指在地块土壤中浓度超过 GB 36600 中筛选值的污染物超标倍数之和，计算公式如式 (A.1)：

$$E_s = \sum_{i=1}^n \frac{C_{si} - RS_{si}}{RS_{si}} \dots \dots \dots (A.1)$$

式中：

E_s ——土壤污染物超标总倍数；

n ——土壤中浓度超过筛选值的污染物种类；

C_{si} ——浓度超过筛选值的第 i 种污染物在地块土壤中的浓度，取地块所有土壤测试数据中的最高值，mg/kg；

RS_{si} ——第 i 种土壤污染物的筛选值，mg/kg。

土壤污染物筛选值参照 GB 36600 中相应用地类型的筛选值，未列入的污染物项目，可依据 HJ 25.3 等标准及相关技术要求开展风险评估，推导特定污染物的土壤污染物筛选值。

[来源：关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定，附录 2-1，有修改]

A.2 重点区域面积

指地块内曾经用作生产区、储存区、废水治理区、固体废物贮存或处置区等重点区域面积的总和，单位为 m^2 。

[来源：关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定，附录 1-1]

A.3 土壤污染物对人体的健康危害效应

地块土壤中污染物的人体健康危害效应等级得分以毒性最强的污染物为准。

污染物的致癌效应毒性分值可根据其致癌斜率因子 (SF) 和呼吸吸入单位致癌风险 (IUR) 确定，将 IUR 通过式 (A.2) 转换成呼吸吸入致癌斜率因子 (SF_i)，并取经口摄入致癌斜率因子 (SF_o) 和呼吸吸入致癌斜率因子 (SF_i) 中的较大值作为污染物的致癌斜率因子 (SF)。

污染物的非致癌效应毒性分值可根据其非致癌参考剂量 (RfD) 和呼吸吸入参考浓度 (RfC) 确定， RfC 通过式 (A.3) 转换成呼吸吸入参考剂量 (RfD_i)，并取经口摄入参考剂量 (RfD_o) 和呼吸吸入参考剂量 (RfD_i) 中的较小值作为污染物的非致癌参考剂量 (RfD)。

$$SF_i = \frac{IUR \times 61.8}{14.5} \dots \dots \dots (A.2)$$

式中：

SF_i ——呼吸吸入致癌斜率因子，(kg·d)/mg；

IUR ——呼吸吸入单位致癌风险， m^3/mg 。

$$RfD_i = \frac{RfC \times 14.5}{61.8} \dots \dots \dots (A.3)$$

式中：

RfD_i ——呼吸吸入参考剂量，mg/(kg·d)；

RfC ——呼吸吸入参考浓度，mg/ m^3 。

致癌污染物的毒性分值赋值见表 A.1，非致癌污染物的毒性分值赋值见表 A.2 (慢性暴露) 和表 A.3 (急性暴露)。

表 A.1 致癌污染物的毒性分值赋分表

致癌分类	1 类	2A 类	2B 类	赋分
致癌斜率因子 SF(mg/kg/day) ⁻¹	SF \geq 0.5	SF \geq 5	SF \geq 50	10000
	0.05 \leq SF<0.5	0.5 \leq SF<5	5 \leq SF<50	1000
	SF <0.05	0.05 \leq SF<0.5	0.5 \leq SF<5	100
	—	SF < 0.05	SF < 0.5	10

注：世界卫生组织国际癌症研究所（IARC）将致癌物质分为 5 类。1 类：对人类确定致癌，现有 120 种物质；2A 类：对人类很可能致癌，对动物确定致癌，现有 81 种物质；2B 类：对人类有可能致癌，对动物很可能致癌，现有 299 种物质；3 类：致癌性的证据不足，现有 502 种物质；4 类：无致癌性，现有 1 种物质。如污染物属于 1 类、2A 类或 2B 类致癌物质，则根据其对应的致癌类别及致癌斜率因子（SF）进行赋分；如污染物属于 3 类或 4 类物质，则其致癌毒性赋分为 0。

表 A.2 非致癌污染物慢性暴露毒性分值赋分表

参考剂量（RfD）(mg/kg·day)	赋分
RfD<0.0005	10000
0.0005 \leq RfD<0.005	1000
0.005 \leq RfD<0.05	100
0.05 \leq RfD<0.5	10
RfD \geq 0.5	1

表 A.3 非致癌污染物急性暴露毒性分值赋分表

口腔 LD ₅₀ (mg/kg)	皮肤 LD ₅₀ (mg/kg)	灰尘或雾 LC ₅₀ (mg/L)	气或蒸汽 LC ₅₀ (ppm)	赋分
LD ₅₀ <5	LD ₅₀ <2	LC ₅₀ <0.2	LC ₅₀ <20	1000
5 \leq LD ₅₀ <50	2 \leq LD ₅₀ <20	0.2 \leq LC ₅₀ <2	20 \leq LC ₅₀ <200	100
50 \leq LD ₅₀ <500	20 \leq LD ₅₀ <200	2 \leq LC ₅₀ <20	200 \leq LC ₅₀ <2000	10
500 \leq LD ₅₀	200 \leq LD ₅₀	20 \leq LC ₅₀	2000 \leq LC ₅₀	1

注：污染物毒性赋分说明：
 (1) 对于某种污染物，如果 RfD 和 SF 都可用，分别按表 A.1 和表 A.2 选最高分数进行赋值。
 (2) 对于某种污染物，如果 RfD 和 SF 只有一个可用，则根据 RfD 或 SF 进行赋值。
 (3) 对于某种污染物，如果 RfD 和 SF 均不可用，则根据急性暴露参数 LD₅₀ 进行赋值。
 (4) 对于某种污染物，如果三种类型的参数均不可用，则赋值缺省值 0。

[来源：关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定，附录 1-4]

A.4 土壤污染物的生物降解半衰期。

指在地块土壤中浓度超过筛选值的污染物生物降解半衰期。如果地块中存在多种污染物，则以生物降解半衰期最大者为准。

A.5 土壤污染物挥发性

指在地块土壤中浓度超过筛选值的污染物的挥发性。该指标以污染物的亨利常数进行表征。如地块中存在多种污染物，则以亨利常数最大者为准。

[来源：关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定，附录 1-9]

A.6 土壤污染物迁移性

指在地块土壤中浓度超过筛选值的污染物的迁移性。如地块中存在多种特征污染物，则在确定其等级时，以迁移性最高的污染物为准。特征污染物的迁移能力由污染物的水中溶解度（SO）和土壤-水分配系数（K_d）共同决定。污染物的迁移性赋分见表 A.4。

表 A.4 污染物迁移性的赋分

水中溶解度 SO (mg/L)	土壤-水分配系数 K _d (L/kg)		
	K _d ≤10	10<K _d ≤1000	K _d >1000
≥100	1	0.01	0.0001
1≤SO<100	0.2	0.002	2×10 ⁻⁵
0.01≤SO<1	0.002	2×10 ⁻⁵	2×10 ⁻⁷
<0.01	2×10 ⁻⁵	2×10 ⁻⁷	2×10 ⁻⁹

注：（1）金属或无机污染物可直接采用 K_d 结合 SO 进行赋分；（2）有机污染物可通过有机碳吸附系数（K_{oc}），经公式 K_d=0.15K_{oc} 计算得到 K_d 后结合 SO 进行赋分。

[来源：关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定，附录 1-10]

A.7 包气带土壤质地

指地块包气带土壤的渗透性，采用土壤质地进行表征，对杂填土等人工填土不作考虑。土质分类方法参照 GB 50021。如包气带含有多个土层，则以渗透性最低的土层为准。地块的土层分布和土质情况可通过地块内或周边的工程地质勘探资料获得。

GB 50021 对包气带土壤土质的分类方法如下：

- 碎石土：粒径大于 2 毫米的颗粒质量超过总质量 50%。
- 砂土：粒径大于 2 毫米的颗粒质量不超过总质量的 50%，粒径大于 0.075 毫米的颗粒质量超过总质量 50%。
- 粉土：粒径大于 0.075 毫米的颗粒质量不超过总质量的 50%，且塑性指数等于或小于 10。
- 黏性土：塑性指数大于 10。

[来源：关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定，附录 1-8]

A.8 饱水带土壤质地

指地块饱水带土壤的渗透性，采用土壤质地进行表征。土质分类参照 GB 50021。如饱水带中含有多个土层，则以渗透性最高的土层为准。该指标可以通过现场钻探采样过程确认。

GB 50021 对饱和含水层介质质地的分类方法为：

- 漂石（块石）：粒径大于 200 毫米的颗粒质量超过总质量的 50%。
- 卵石（碎石）：粒径大于 20 毫米的颗粒质量超过总质量的 50%。
- 圆砾（角砾）：粒径大于 2 毫米的颗粒质量超过总质量的 50%。
- 砾砂：粒径大于 2 毫米的颗粒质量占总质量 25%—50%。

- e) 粗砂：粒径大于 0.5 毫米的颗粒质量超过总质量的 50%。
- f) 中砂：粒径大于 0.25 毫米的颗粒质量超过总质量的 50%。
- g) 细砂：粒径大于 0.075 毫米的颗粒质量超过总质量的 85%。
- h) 粉砂：粒径大于 0.075 毫米的颗粒质量超过总质量的 50%。
- i) 粉土：粒径大于 0.075 毫米的颗粒质量不超过总质量的 50%，且塑性指数等于或小于 10。
- j) 粉质黏土：塑性指数大于 10，且小于或等于 17。
- k) 黏土：塑性指数大于 17。

[来源：关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定，附录 1-18]

A.9 空气中可吸入颗粒物含量

指悬浮在地块所在区域的空气中，能进入人体的呼吸系统，且空气动力学当量直径≤10 微米的颗粒物。可吸入颗粒物的含量以每立方米空气中可吸入颗粒物的毫克数表示，单位为 mg/m³。

[来源：HJ 25.3—2019、关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定]

A.10 室内空气交换率

指室内空气与室外空气交换的速率，表示为一天内通过特定空间的空气体积与该空间体积之比，单位为次/天。可采用平均法或回归方程法计算空气交换率。

(1) 平均法公式如式 (A.4) 所示：

$$A = (\ln C_0 - \ln C_t) / t \dots\dots\dots (A.4)$$

式中：

- A ——平均空气交换率，1/h；
- C₀——测量开始时示踪气体含量，mg/m³；
- C_t——测量结束时示踪气体含量，mg/m³；
- t ——测定时间，h。

(2) 回归方程法公式如式 (A.5) 所示：

$$\ln C_t = \ln C_0 - At \dots\dots\dots (A.5)$$

式中：

- C_t——t 时间示踪气体含量，mg/m³；
- C₀——测量开始时示踪气体含量，mg/m³；
- A ——空气交换率，1/h；
- T ——测定时间，h。

[来源：HJ 25.3—2019、关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定]

A.11 年降水量

指地块所在区域的年降水量，以气象部门统计的近十年平均降水量为准，单位为 mm。

[来源：关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定，附录 1-11]

A.12 地下水埋深

指从地表到地下水潜水面的垂直深度，单位为 m。

[来源：关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定，附录 1-17]

A.13 地块承载人口密度

指地块单位土地面积上的人口数量，单位为人/平方公里。

A.14 暴露量

指暴露于地块中的主要受体人群为成人时，地块土壤和地下水中污染物经过经口摄入、呼吸吸入和

皮肤接触途径进入成人体的日均暴露剂量（ $ADEa$ ），其通用计算如式（A.6）所示。

$$ADEa = \frac{IR \times EF \times ED}{AT \times BW} \dots \dots \dots (A.6)$$

式中：

$ADEa$ ——污染物受体为成人时，单位受体日均暴露量， $mg/(kg \cdot d)$ ；

IR ——日均污染物摄入/吸入率， mg/d ；

EF ——暴露频率， d/a ；

ED ——暴露周期， a ；

BW ——体重， kg ；

AT ——平均作用时间， d 。

土壤和地下水中的污染物可能通过不同暴露途径接触到受体，而暴露途径则根据场地的用地类型决定，因此， $ADEa$ 的计算见式（A.7）。

$$ADEa = \frac{IR_{ing} \times EF_{ing} \times ED_{ing}}{AT \times BW} + \frac{IR_{inh} \times EF_{inh} \times ED_{inh}}{AT \times BW} + \frac{IR_{der} \times EF_{der} \times ED_{der}}{AT \times BW} \dots \dots \dots (A.7)$$

公式中，下角标 ing 、 inh 、 der 分别代表经口摄入、呼吸吸入和皮肤接触途径，其他参数含义见公式（A.6）。

健康基准值：基准值的基本计算过程是一个反向推导的计算过程：当保护的目标受体为人群健康时，根据污染物的致癌效应和非致癌效应，在假设的可接受致癌风险和可接受非致癌危害商的前提下，以受体的日均暴露量（ ADE ）与健康基准值（ HCV ）之比等于 1 来推导计算。 HCV 的计算根据污染物的致癌效应和非致癌效应分别参见公式（A.8）和公式（A.9）。

致癌效应：

$$HCV_{ca} = \frac{TCR}{SF} \dots \dots \dots (A.8)$$

非致癌效应：

$$HCV_{nc} = THQ \times RfD \dots \dots \dots (A.9)$$

式中：

HCV ——健康基准值， $mg/(kg \cdot d)$ ，下角标“ ca ”和“ nc ”代表致癌效应和非致癌效应；

TCR ——可接受致癌风险值，无量纲，为 10^{-6} ；

SF ——致癌斜率因子， $(mg/kg \cdot d)^{-1}$ ；

THQ ——可接受非致癌危害商，无量纲，为 1；

RfD ——参考剂量， $mg/(kg \cdot d)$ 。

A.15 地块周边敏感水体或饮用水井的距离

指地块内的生产、储存、废水治理、固体废物贮存或处置等重点区域边界至最近敏感水体（地表水体、集中式饮用水水源地及自然保护区等）或饮用水井的距离，单位为 m 。

如地块周边有多个敏感水体或饮用水井，则以离重点区域最近的敏感水体或饮用水井的距离为准。

[来源：关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定，附录 1-15]

A.16 地下水污染物超标总倍数

指在地块地下水样品中浓度超过地下水污染物筛选值的倍数之和，计算公式如式（A.10）：

$$E_{gw} = \sum_{i=1}^n \frac{C_{gwi} - RS_{gwi}}{RS_{gwi}} \dots \dots \dots (A.10)$$

式中：

E_{gw} ——地下水污染物超标总倍数；

n ——地下水中浓度超过筛选值的污染物种类数；

C_{gwi} ——浓度超过筛选值的第 i 种污染物在地块地下水中的浓度，取地块所有地下水样品测试数据中的最高值， mg/L ；

RS_{gwi} ——第 i 种地下水污染物的筛选值, mg/L。

地下水污染物筛选值参照《广东省地下水功能区划》中地下水功能区划水质目标选择 GB/T 14848 中对应的水质限值 (表 A.5), 未列入的污染物项目, 可依据 HJ 25.3 等标准及相关技术要求开展风险评估, 推导特定污染物的地下水污染风险筛选值。

表 A.5 地下水功能区水质目标

地下水一级功能区	地下水二级功能区	水质目标
开发区	集中式供水水源区	生活供水区域: III类 工业供水区域: IV类
	分散式开发利用区	生活供水区域: III类 工业供水区域: IV类
保护区	生态脆弱区	污染前该区域天然水质
	地质灾害易发区	污染前该区域天然水质
	地下水水源涵养区	污染前该区域天然水质
保留区	不宜开采区	以该区域地下水现状水质情况为准
	储备区	以该区域地下水现状水质情况为准
	应急水源区	以该区域地下水现状水质情况为准

[来源: 关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定, 附录 2-15, 有修改]

A.17 地下水污染物对人体健康的危害效应

指在地块地下水样品中浓度超过地下水污染物筛选值的污染物对人体健康影响情况。地块地下水污染物对人体健康危害效应等级得分以地块地下水中浓度超过筛选值的污染物毒性分值最大者为准。地下水污染物的毒性赋分计算方法同 A.13。

[来源: 关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定, 附录 2-16]

A.18 地下水污染物的生物降解半衰期

指在地块地下水样品中浓度超过地下水污染物筛选值的污染物生物降解半衰期。如果地块中存在多种污染物, 则以生物降解半衰期最大者为准。

A.19 地下水污染物挥发性

指在地块地下水样品中浓度超过地下水污染物筛选值的污染物挥发性。该指标以污染物的亨利常数进行表征。如地块中存在多种污染物, 则以亨利常数最大者为准。

[来源: 关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定, 附录 2-20]

A.20 地下水污染物迁移性

指在地块地下水样品中浓度超过地下水污染物筛选值的污染物的迁移性。该指标的等级得分和污染物迁移性的赋分计算方法同 A.6。

[来源: 关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定, 附录 2-21]

A.21 地下水功能区划

指地块所在区域内地下水的功能区划, 以《广东省地下水功能区划》划定的功能区划为准。地下水功能区按两级进行划分。地下水一级功能区包括开发区、保护区、保留区 3 类, 在地下水一级功能区的框架内, 根据地下水资源的主导功能, 划分为 8 类地下水二级功能区。其中, 开发区划分为集中式供水水源区和分散式开发利用区; 保护区划分为生态脆弱区、地质灾害易发区和地下水水源涵养区; 保留区划分为不宜开采区、储备区和应急水源区。地下水功能区划分体系见表 A.6。

表 A.6 地下水功能区划分体系

地下水一级功能区	地下水二级功能区
开发区	集中式供水水源区
	分散式开发利用区
保护区	生态脆弱区
	地质灾害易发区
	地下水水源涵养区
保留区	不宜开采区
	储备区
	应急水源区

[来源：广东省地下水功能区划]

A.22 邻近区域地表水用途

指地块所在区域周边 100 米内地表水体的利用方式。如地块周边 100 米内地表水体有多种利用方式，以其中敏感程度较高的为准。

[来源：关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定，附录 1-20]

附录 B
(资料性)
大湾区关注污染物毒性理化参数表

表 B.1 大湾区关注污染物毒性理化参数表

编号	污染物 (中文)	污染物 (英文)	CAS 编号	种类	类型	分子量	半衰期 (一阶 衰减) 饱水带	半衰期 (一阶 衰减) 包气带	亨利常数	水中溶 解度	土壤有 机碳- 水分配 系数	土壤- 水分配 系数	经口摄入 致癌斜率 因子	呼吸吸 入单位 致癌风 险	经口摄 入参考 剂量	急性暴 露参数	呼吸吸 入参考 浓度	IARC 致癌 物质 分类									
			N				T	MW			HL								H	SO	K _{oc}	K _d	SF _o	IUR	RfD _o	LD ₅₀	RfC _i
								g/mol			d	d							无量纲	mg/L	cm ³ /g	cm ³ /g	1/(mg/kg/d)	1/(mg/ m ³)	mg/kg/ d	mg/kg	mg/m ³
1	砷	Arsenic	7440-3 8-2	金属与无 机物	无机 物	7.49E +01	-	-	0.00E+ 00	0.00E+ 00	-	2.90E+ 01	1.50E+00	4.30E+0 0	3.00E-0 4	-	1.50E-0 5	1									
2	铍	Beryllium	7440-4 1-7	金属与无 机物	无机 物	9.01E +00	-	-	0.00E+ 00	0.00E+ 00	-	7.90E+ 02	-	2.40E+0 0	2.00E-0 3	-	2.00E-0 5	1									
3	镉	Cadmium	7440-4 3-9	金属与无 机物	无机 物	1.12E +02	-	-	0.00E+ 00	0.00E+ 00	-	7.50E+ 01	-	1.80E+0 0	1.00E-0 3	-	1.00E-0 5	1									
4	铬 (III)	Chromium (III) (total chromium)	16065- 83-1	金属与无 机物	无机 物	5.20E +01	-	-	0.00E+ 00	0.00E+ 00	-	1.80E+ 06	-	-	1.50E+ 00	-	-	3									
5	铬 (VI)	Chromium (VI)	18540- 29-9	金属与无 机物	无机 物	5.20E +01	-	-	0.00E+ 00	1.69E+ 06	-	1.90E+ 01	5.00E-01	1.20E+0 1	3.00E-0 3	-	1.00E-0 4	1									
6	锑	Antimony	7440-3 6-0	金属与无 机物	无机 物	1.22E +02	-	-	0.00E+ 00	0.00E+ 00	-	4.50E+ 01	-	-	4.00E-0 4	-	-										
7	铜	Copper	7440-5 0-8	金属与无 机物	无机 物	6.35E +01	-	-	0.00E+ 00	0.00E+ 00	-	3.50E+ 01	-	-	4.00E-0 2	-	-										
8	铅	Lead and Compounds	7439-9 2-1	金属与无 机物	无机 物	2.07E +02	-	-	0.00E+ 00	0.00E+ 00	-	9.00E+ 02	-	-	-	7.00E+ 01	-	2B									
9	镍	Nickel	7440-0 2-0	金属与无 机物	无机 物	5.87E +01	-	-	0.00E+ 00	0.00E+ 00	-	1.60E+ 01	-	2.60E-0 1	2.00E-0 2	-	9.00E-0 5	2B									

表 B.1 大湾区关注污染物毒性理化参数表 (续)

编号	污染物 (中文)	污染物 (英文)	CAS 编号	种类	类型	分子量	半衰期 (一阶 衰减) 饱水带	半衰期 (一阶 衰减) 包气带	亨利常数	水中溶解度	土壤有机碳- 水分配 系数	土壤- 水分配 系数	经口摄入 致癌斜率 因子	呼吸吸 入单位 致癌风 险	经口摄 入参考 剂量	急性暴 露参数	呼吸吸 入参考 浓度	IARC 致癌 物质 分类
			g/mol		HL		H	SO	K _{oc}	K _d	SF _o	IUR	RfD _o	LD ₅₀	RfC _i	-		
10	硒	Selenium	7782-4 9-2	金属与无 机物	无机 物	7.90E +01	-	-	0.00E+ 00	0.00E+ 00	-	5.00E+ 00	-	-	5.00E-0 3	-	2.00E-0 2	3
11	锌	Zinc	7440-6 6-6	金属与无 机物	无机 物	6.54E +01	-	-	0.00E+ 00	0.00E+ 00	-	6.20E+ 01	-	-	3.00E-0 1	-	-	
12	铊	Thallium (Soluble Salts)	7440-2 8-0	金属与无 机物	无机 物	2.04E +02	-	-	0.00E+ 00	2.90E+ 03	-	7.10E+ 01	-	-	1.00E-0 5	-	-	
13	钴	Cobalt	7440-4 8-4	金属与无 机物	无机 物	5.89E +01	-	-	0.00E+ 00	0.00E+ 00	-	4.50E+ 01	-	9.00E+0 0	3.00E-0 4	-	6.00E-0 6	2A
14	钒	Vanadium	7440-6 2-2	金属与无 机物	无机 物	5.09E +01	-	-	0.00E+ 00	7.00E+ 02	-	1.00E+ 03	-	8.30E+0 0	9.00E-0 3	-	7.00E-0 6	
15	汞(无机)	Mercury, inorganic	7439-9 7-6	金属与无 机物	无机 物	2.01E +02	-	-	3.52E-0 1	3.00E-0 2	-	5.20E+ 01	-	-	3.00E-0 4	-	3.00E-0 4	3
16	甲基汞	Methyl Mercury	22967- 92-6	金属与无 机物	无机 物	2.16E +02	-	-	-	-	-	7.00E+ 03	-	-	1.00E-0 4	-	-	
17	氰化物	Cyanide	57-12-5	金属与无 机物	无机 物	2.60E +01	-	-	4.15E-0 3	1.00E+ 06	-	9.90E+ 00	-	-	6.00E-0 4	-	8.00E-0 4	
18	氟化物	Fluorine (Soluble Fluoride)	16984- 48-8	金属与无 机物	无机 物	3.80E +01	-	-	-	1.69E+ 00	-	1.50E+ 02	-	-	4.00E-0 2	-	1.30E-0 2	
19	1,1-二氯 乙烷	Dichloroeth ane, 1,1-	75-34-3	脂肪烃及 其衍生物	有机 物	9.90E +01	3.60E+ 02	3.60E+ 02	2.30E-0 1	5.04E+ 03	3.18E+ 01	-	5.70E-03	1.60E-0 3	2.00E-0 1	-	-	
20	1,2-二氯 乙烷	Dichloroeth ane, 1,2-	107-06- 2	脂肪烃及 其衍生物	有机 物	9.90E +01	3.60E+ 02	3.60E+ 02	4.82E-0 2	8.60E+ 03	3.96E+ 01	-	9.10E-02	2.60E-0 2	6.00E-0 3	-	7.00E-0 3	2B
21	1,1,1-三 氯乙烷	Trichlorotha ne, 1,1,1-	71-55-6	脂肪烃及 其衍生物	有机 物	1.33E +02	5.46E+ 02	5.46E+ 02	7.03E-0 1	1.29E+ 03	4.39E+ 01	-	-	-	2.00E+ 00	-	5.00E+ 00	2A

表 B.1 大湾区关注污染物毒性理化参数表 (续)

编号	污染物 (中文)	污染物 (英文)	CAS 编号	种类	类型	分子量	半衰期 (一阶 衰减) 饱水带	半衰期 (一阶 衰减) 包气带	亨利常 数	水中溶 解度	土壤有 机碳- 水分配 系数	土壤- 水分配 系数	经口摄入 致癌斜率 因子	呼吸吸 入单位 致癌风 险	经口摄 入参考 剂量	急性暴 露参数	呼吸吸 入参考 浓度	IARC 致癌 物质 分类													
																			N	T	HL		H	SO	K _{oc}	K _d	SF _o	IUR	RfD _o	LD ₅₀	RfC _i
																					g/mol	d	d	无量纲	mg/L	cm ³ /g	cm ³ /g	1/(mg/kg/d)	1/(mg/ m ³)	mg/kg/ d	mg/kg
22	1,1,2-三 氯乙烷	Trichloroethane, 1,1,2-	79-00-5	脂肪烃及其衍生物	有机物	1.33E+02	7.30E+02	7.30E+02	3.37E-02	4.59E+03	6.07E+01	-	5.70E-02	1.60E-02	4.00E-03	-	2.00E-04	3													
23	1,1,1,2-四 氯乙烷	Tetrachloroethane, 1,1,1,2-	630-20-6	脂肪烃及其衍生物	有机物	1.68E+02	6.70E+01	6.70E+01	1.02E-01	1.07E+03	8.60E+01	-	2.60E-02	7.40E-03	3.00E-02	-	-	2B													
24	1,1,2,2-四 氯乙烷	Tetrachloroethane, 1,1,2,2-	79-34-5	脂肪烃及其衍生物	有机物	1.68E+02	4.50E+01	4.50E+01	1.50E-02	2.83E+03	9.49E+01	-	2.00E-01	5.80E-02	2.00E-02	-	-	2B													
25	1,1-二氯 乙烷	Dichloroethylene, 1,1-	75-35-4	脂肪烃及其衍生物	有机物	9.69E+01	1.32E+02	1.32E+02	1.07E+00	2.42E+03	3.18E+01	-	-	-	5.00E-02	-	2.00E-01	2B													
26	顺-1,2-二 氯乙烷	Dichloroethylene, cis-1,2-	156-59-2	脂肪烃及其衍生物	有机物	9.69E+01	2.88E+03	2.88E+03	1.67E-01	6.41E+03	3.96E+01	-	-	-	2.00E-03	-	-														
27	反-1,2-二 氯乙烷	Dichloroethylene, trans-1,2	156-60-5	脂肪烃及其衍生物	有机物	9.69E+01	2.88E+03	2.88E+03	3.83E-01	4.52E+03	3.96E+01	-	-	-	2.00E-02	-	6.00E-02														
28	1,2-二氯 丙烷	Dichloropropane, 1,2-	78-87-5	脂肪烃及其衍生物	有机物	1.13E+02	2.58E+03	2.58E+03	1.15E-01	2.80E+03	6.07E+01	-	3.70E-02	3.70E-02	9.00E-02	-	4.00E-03	1													
29	氯甲烷	Chloromethane	74-87-3	脂肪烃及其衍生物	有机物	5.05E+01	5.60E+01	5.60E+01	3.61E-01	5.32E+03	1.32E+01	-	-	-	-	1.80E+03	9.00E-02	3													
30	1,3-二氯 丙烷	Dichloropropane, 1,3-	142-28-9	脂肪烃及其衍生物	有机物	1.13E+02	-	-	3.99E-02	2.75E+03	7.22E+01	-	-	-	2.00E-02	-	-														
31	一溴二氯 甲烷	Bromodichloromethane	75-27-4	脂肪烃及其衍生物	有机物	1.64E+02	-	-	8.67E-02	3.03E+03	3.18E+01	-	6.20E-02	3.70E-02	2.00E-02	-	-	2B													
32	三溴甲烷 (溴仿)	Bromoform	75-25-2	脂肪烃及其衍生物	有机物	2.53E+02	3.60E+02	3.60E+02	2.19E-02	3.10E+03	3.18E+01	-	7.90E-03	1.10E-03	2.00E-02	-	-	3													

表 B.1 大湾区关注污染物毒性理化参数表 (续)

编号	污染物 (中文)	污染物 (英文)	CAS 编号	种类	类型	分子量	半衰期 (一阶 衰减) 饱水带	半衰期 (一阶 衰减) 包气带	亨利常数	水中溶 解度	土壤有 机碳- 水分配 系数	土壤- 水分配 系数	经口摄入 致癌斜率 因子	呼吸吸 入单位 致癌风 险	经口摄 入参考 剂量	急性暴 露参数	呼吸吸 入参考 浓度	IARC 致癌 物质 分类
			g/mol		HL		H	SO	K _{oc}	K _d	SF _o	IUR	RfD _o	LD ₅₀	RfC _i	-		
33	二氯甲烷	Methylene Chloride	75-09-2	脂肪烃及其衍生物	有机物	8.49E+01	5.60E+01	5.60E+01	1.33E-01	1.30E+04	2.17E+01	-	2.00E-03	1.00E-05	6.00E-03	-	6.00E-01	2A
34	氯仿	Chloroform	67-66-3	脂肪烃及其衍生物	有机物	1.19E+02	1.80E+03	1.80E+03	1.50E-01	7.95E+03	3.18E+01	-	3.10E-02	2.30E-02	1.00E-02	-	9.80E-02	2B
35	二溴氯甲烷	Dibromochloromethane	124-48-1	脂肪烃及其衍生物	有机物	2.08E+02	1.80E+02	1.80E+02	3.20E-02	2.70E+03	3.18E+01	-	8.40E-02	2.00E-02	2.00E-02	-	-	3
36	氯乙烯	Vinyl chloride	75-01-4	脂肪烃及其衍生物	有机物	6.25E+01	2.88E+03	2.88E+03	1.14E+00	8.80E+03	2.17E+01	-	7.20E-01	4.40E-03	3.00E-03	-	1.00E-01	1
37	三氯乙烯	Trichloroethylene	79-01-6	脂肪烃及其衍生物	有机物	1.31E+02	1.65E+03	1.65E+03	4.03E-01	1.28E+03	6.07E+01	-	4.60E-02	4.10E-03	5.00E-04	-	2.00E-03	1
38	四氯乙烯	Tetrachloroethylene	127-18-4	脂肪烃及其衍生物	有机物	1.66E+02	7.20E+02	7.20E+02	7.24E-01	2.06E+02	9.49E+01	-	2.10E-03	2.60E-04	6.00E-03	-	4.00E-02	2A
39	1,1,2-三氯丙烷	Trichloropropane, 1,1,2-	598-77-6	脂肪烃及其衍生物	有机物	1.47E+02	-	-	1.30E-02	1.90E+03	9.49E+01	-	-	-	5.00E-03	-	-	
40	1,2,3-三氯丙烷	Trichloropropane, 1,2,3-	96-18-4	脂肪烃及其衍生物	有机物	1.47E+02	7.20E+02	7.20E+02	1.40E-02	1.75E+03	1.16E+02	-	3.00E+01	-	4.00E-03	-	3.00E-04	2A
41	1,2-二溴乙烷	Dibromoethane, 1,2-	106-93-4	脂肪烃及其衍生物	有机物	1.88E+02	1.20E+02	1.20E+02	2.66E-02	3.91E+03	3.96E+01	-	2.00E+00	6.00E-01	9.00E-03	-	9.00E-03	2A
42	六氯环戊二烯	Hexachlorocyclopentadiene	77-47-4	脂肪烃及其衍生物	有机物	2.74E+02	5.60E+01	5.60E+01	1.11E+00	1.80E+00	1.40E+03	-	-	-	6.00E-03	-	2.00E-04	
43	四氯化碳	Carbon tetrachloride	56-23-5	脂肪烃及其衍生物	有机物	1.54E+02	3.60E+02	3.60E+02	1.13E+00	7.93E+02	4.39E+01	-	7.00E-02	6.00E-03	4.00E-03	-	1.00E-01	2B
44	二硫化碳	Carbon Disulfide	75-15-0	脂肪烃及其衍生物	有机物	7.61E+01	-	-	5.89E-01	2.16E+03	2.17E+01	-	-	-	1.00E-01	-	7.00E-01	

表 B.1 大湾区关注污染物毒性理化参数表 (续)

编号	污染物 (中文)	污染物 (英文)	CAS 编号	种类	类型	分子量	半衰期 (一阶 衰减) 饱水带	半衰期 (一阶 衰减) 包气带	亨利常 数	水中溶 解度	土壤有 机碳- 水分配 系数	土壤- 水分配 系数	经口摄入 致癌斜率 因子	呼吸吸 入单位 致癌风 险	经口摄 入参考 剂量	急性暴 露参数	呼吸吸 入参考 浓度	IARC 致癌 物质 分类
			g/mol		d	d	无量纲	mg/L	cm ³ /g	cm ³ /g	1/(mg/kg/d)	1/(mg/ m ³)	mg/kg/ d	mg/kg	mg/m ³	-		
45	苯	Benzene	71-43-2	单环芳烃 及其衍生 物	有机 物	7.81E +01	7.20E+ 02	7.20E+ 02	2.27E-0 1	1.79E+ 03	1.46E+ 02	-	5.50E-02	7.80E-0 3	4.00E-0 3	-	3.00E-0 2	1
46	甲苯	Toluene	108-88- 3	单环芳烃 及其衍生 物	有机 物	9.21E +01	2.80E+ 01	2.80E+ 01	2.71E-0 1	5.26E+ 02	2.34E+ 02	-	-	-	8.00E-0 2	-	5.00E+ 00	3
47	乙苯	Ethylbenzen e	100-41- 4	单环芳烃 及其衍生 物	有机 物	1.06E +02	2.28E+ 02	2.28E+ 02	3.22E-0 1	1.69E+ 02	4.46E+ 02	-	1.10E-02	2.50E-0 3	1.00E-0 1	-	1.00E+ 00	
48	间二甲苯	Xylene, m-	108-38- 3	单环芳烃 及其衍生 物	有机 物	1.06E +02	3.60E+ 02	3.60E+ 02	2.94E-0 1	1.61E+ 02	3.75E+ 02	-	-	-	2.00E-0 1	-	1.00E-0 1	
49	对二甲苯	Xylene, p-	106-42- 3	单环芳烃 及其衍生 物	有机 物	1.06E +02	3.60E+ 02	3.60E+ 02	2.82E-0 1	1.62E+ 02	3.75E+ 02	-	-	-	2.00E-0 1	-	1.00E-0 1	
50	邻二甲苯	Xylene, o-	95-47-6	单环芳烃 及其衍生 物	有机 物	1.06E +02	3.60E+ 02	3.60E+ 02	2.12E-0 1	1.78E+ 02	3.83E+ 02	-	-	-	2.00E-0 1	-	1.00E-0 1	
51	1,2,4-三 甲基苯	Trimethylbe nzene, 1,2,4-	95-63-6	单环芳烃 及其衍生 物	有机 物	1.20E +02	5.60E+ 01	5.60E+ 01	2.52E-0 1	5.70E+ 01	6.14E+ 02	-	-	-	-	5.00E+ 03	6.00E-0 2	
52	1,3,5-三 甲基苯	Trimethylbe nzene, 1,3,5-	108-67- 8	单环芳烃 及其衍生 物	有机 物	1.20E +02	-	-	3.59E-0 1	4.82E+ 01	6.02E+ 02	-	-	-	1.00E-0 2	-	6.00E-0 2	

表 B.1 大湾区关注污染物毒性理化参数表 (续)

编号	污染物 (中文)	污染物 (英文)	CAS 编号	种类	类型	分子量	半衰期 (一阶 衰减) 饱水带	半衰期 (一阶 衰减) 包气带	亨利常 数	水中溶 解度	土壤有 机碳- 水分配 系数	土壤- 水分配 系数	经口摄入 致癌斜率 因子	呼吸吸 入单位 致癌风 险	经口摄 入参考 剂量	急性暴 露参数	呼吸吸 入参考 浓度	IARC 致癌 物质 分类
			g/mol		d	d	无量纲	mg/L	cm ³ /g	cm ³ /g	1/(mg/kg/d)	1/(mg/m ³)	mg/kg/d	mg/kg	mg/m ³	-		
53	苯乙烯	Styrene	100-42-5	单环芳烃及其衍生物	有机物	1.04E+02	2.10E+02	2.10E+02	1.12E-01	3.10E+02	4.46E+02	-	-	-	2.00E-01	-	1.00E+00	
54	氯苯	Chlorobenzene	108-90-7	单环芳烃及其衍生物	有机物	1.13E+02	3.00E+02	3.00E+02	1.27E-01	4.98E+02	2.34E+02	-	-	-	2.00E-02	-	5.00E-02	
55	1,2-二氯苯	Dichlorobenzene, 1,2-	95-50-1	单环芳烃及其衍生物	有机物	1.47E+02	3.60E+02	3.60E+02	7.85E-02	1.56E+02	3.83E+02	-	-	-	9.00E-02	-	2.00E-01	3
56	1,3-二氯苯	Dichlorobenzene, 1,3-	541-73-1	单环芳烃及其衍生物	有机物	1.47E+02	3.60E+02	3.60E+02	1.95E-01	1.10E+02	1.70E+02	-	-	-	3.00E-02	-	8.00E-03	3
57	1,4-二氯苯	Dichlorobenzene, 1,4-	106-46-7	单环芳烃及其衍生物	有机物	1.47E+02	3.60E+02	3.60E+02	9.85E-02	8.13E+01	3.75E+02	-	5.40E-03	1.10E-02	7.00E-02	-	8.00E-01	
58	苯酚	Phenol	108-95-2	单环芳烃及其衍生物	有机物	9.41E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.36E-05	8.28E+04	1.87E+02	-	-	-	3.00E-01	-	2.00E-01	3
59	2,4-二硝基苯酚	Dinitrophenol, 2,4-	51-28-5	单环芳烃及其衍生物	有机物	1.84E+02	5.26E+02	5.26E+02	3.52E-06	2.79E+03	4.61E+02	-	-	-	2.00E-03	-	-	
60	4-甲酚	Cresol, p-	106-44-5	单环芳烃及其衍生物	有机物	1.08E+02	2.80E+01	2.80E+01	4.09E-05	2.15E+04	3.00E+02	-	-	-	1.00E-01	-	6.00E-01	

表 B.1 大湾区关注污染物毒性理化参数表 (续)

编号	污染物 (中文)	污染物 (英文)	CAS 编号	种类	类型	分子量	半衰期 (一阶 衰减) 饱水带	半衰期 (一阶 衰减) 包气带	亨利常 数	水中溶 解度	土壤有 机碳- 水分配 系数	土壤 水分配 系数	经口摄入 致癌斜率 因子	呼吸吸 入单位 致癌风 险	经口摄 入参考 剂量	急性暴 露参数	呼吸吸 入参考 浓度	IARC 致癌 物质 分类			
			N				T	HL			H	SO	K _{oc}	K _d	SF _o	IUR	RfD _o		LD ₅₀	RfC _i	
								d			d	无量纲	mg/L	cm ³ /g	cm ³ /g	1/(mg/kg/d)	1/(mg/ m ³)		mg/kg/ d	mg/kg	mg/m ³
61	2,4-二甲 酚	Dimethyl phenol, 2,4-	105-67- 9	单环芳烃 及其衍生 物	有机 物	1.22E +02	1.40E+ 01	1.40E+ 01	3.89E-0 5	7.87E+ 03	4.92E+ 02	-	-	-	2.00E-0 2	-	-				
62	2-氯酚	Chlorophen ol, 2-	95-57-8	单环芳烃 及其衍生 物	有机 物	1.29E +02	-	-	4.58E-0 4	1.13E+ 04	3.88E+ 02	-	-	-	5.00E-0 3	-	-				
63	2,4-二氯 苯酚	Dichlorophe nol, 2,4-	120-83- 2	单环芳烃 及其衍生 物	有机 物	1.63E +02	4.30E+ 01	4.30E+ 01	1.75E-0 4	5.55E+ 03	1.47E+ 02	-	-	-	3.00E-0 3	-	-				
64	五氯酚	Pentachloro phenol	87-86-5	单环芳烃 及其衍生 物	有机 物	2.66E +02	1.52E+ 03	1.52E+ 03	1.00E-0 6	1.40E+ 01	5.92E+ 02	-	4.00E-01	5.10E-0 3	5.00E-0 3	-	-	1			
65	硝基苯	Nitrobenzen e	98-95-3	单环芳烃 及其衍生 物	有机 物	1.23E +02	3.94E+ 02	3.94E+ 02	9.81E-0 4	2.09E+ 03	2.26E+ 02	-	-	4.00E-0 2	2.00E-0 3	-	9.00E-0 3	2B			
66	五氯苯	Pentachloro benzene	608-93- 5	单环芳烃 及其衍生 物	有机 物	2.50E +02	6.90E+ 02	6.90E+ 02	2.87E-0 2	8.31E-0 1	3.71E+ 03	-	-	-	8.00E-0 4	-	-				
67	苯胺	Aniline	62-53-3	单环芳烃 及其衍生 物	有机 物	9.31E +01	-	-	8.26E-0 5	3.60E+ 04	7.02E+ 01	-	5.70E-03	1.60E-0 3	7.00E-0 3	-	1.00E-0 3	2A			
68	萘	Acenaphthe ne	83-32-9	多环芳烃 类	有机 物	1.54E +02	2.04E+ 02	2.04E+ 02	7.52E-0 3	3.90E+ 00	5.03E+ 03	-	-	-	6.00E-0 2	-	-	3			
69	萘烯	Acenaphthy lene	208-96- 8	多环芳烃 类	有机 物	1.52E +02	1.20E+ 02	1.20E+ 02	4.74E-0 3	3.93E+ 00	6.92E+ 03	-	-	-	6.00E-0 2	-	-				

表 B.1 大湾区关注污染物毒性理化参数表 (续)

编号	污染物 (中文)	污染物 (英文)	CAS 编号	种类	类型	分子量	半衰期 (一阶 衰减) 饱水带	半衰期 (一阶 衰减) 包气带	亨利常数	水中溶 解度	土壤有 机碳- 水分配 系数	土壤- 水分配 系数	经口摄入 致癌斜率 因子	呼吸吸 入单位 致癌风 险	经口摄 入参考 剂量	急性暴 露参数	呼吸吸 入参考 浓度	IARC 致癌 物质 分类
			g/mol		d	d	无量纲	mg/L	cm ³ /g	cm ³ /g	1/(mg/kg/d)	1/(mg/m ³)	mg/kg/d	mg/kg	mg/m ³	-		
70	蒽	Anthracene	120-12-7	多环芳烃类	有机物	1.78E+02	9.20E+02	9.20E+02	2.27E-03	4.34E-02	1.64E+04	-	-	-	3.00E-01	-	-	3
71	苯并(a)蒽	Benz-a-anthracene	56-55-3	多环芳烃类	有机物	2.28E+02	1.36E+03	1.36E+03	4.91E-04	9.40E-03	1.77E+05	-	1.00E-01	6.00E-02	-	-	-	2B
72	二苯并(a,h)蒽	Dibenz-a,j-acridine	53-70-3	多环芳烃类	有机物	2.78E+02	1.88E+03	1.88E+03	5.76E-06	2.49E-03	1.91E+06	-	1.00E+00	6.00E-01	-	-	-	2A
73	苯并(a)芘	Benzo-a-pyrene	50-32-8	多环芳烃类	有机物	2.52E+02	1.06E+03	1.06E+03	1.87E-05	1.62E-03	5.87E+05	-	1.00E+00	6.00E-01	-	-	-	1
74	苯并(b)荧蒽	Benzo-b-fluoranthene	205-99-2	多环芳烃类	有机物	2.52E+02	1.22E+03	1.22E+03	2.69E-05	1.50E-03	5.99E+05	-	1.00E-01	6.00E-02	-	-	-	2B
75	苯并(g,h,i)花	Benzo-g,h,i-perylene	191-24-2	多环芳烃类	有机物	2.76E+02	1.30E+03	1.30E+03	5.82E-06	2.60E-04	1.58E+06	-	-	-	3.00E-02	-	-	3
76	苯并(k)荧蒽	Benzo-k-fluoranthene	207-08-9	多环芳烃类	有机物	2.52E+02	4.28E+03	4.28E+03	2.39E-05	8.00E-04	5.87E+05	-	1.00E-02	6.00E-03	-	-	-	2B
77	蒾	Chrysene	218-01-9	多环芳烃类	有机物	2.28E+02	2.00E+03	2.00E+03	2.14E-04	2.00E-03	1.81E+05	-	1.00E-03	6.00E-03	-	-	-	2B
78	荧蒽	Fluoranthene	206-44-0	多环芳烃类	有机物	2.02E+02	8.80E+02	8.80E+02	3.62E-04	2.60E-01	5.55E+04	-	-	-	4.00E-02	-	-	3
79	芴	Fluorene	86-73-7	多环芳烃类	有机物	1.66E+02	1.20E+02	1.20E+02	3.93E-03	1.69E+00	9.16E+03	-	-	-	4.00E-02	-	-	3
80	茚并(1,2,3-cd)芘	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	193-39-5	多环芳烃类	有机物	2.76E+02	1.46E+03	1.46E+03	1.42E-05	1.90E-04	1.95E+06	-	1.00E-01	6.00E-02	-	-	-	2B
81	萘	Naphthalene	91-20-3	多环芳烃类	有机物	1.28E+02	2.58E+02	2.58E+02	1.80E-02	3.10E+01	1.54E+03	-	-	3.40E-02	2.00E-02	-	3.00E-03	2B

表 B.1 大湾区关注污染物毒性理化参数表 (续)

编号	污染物 (中文)	污染物 (英文)	CAS 编号	种类	类型	分子量	半衰期 (一阶 衰减) 饱水带	半衰期 (一阶 衰减) 包气带	亨利常 数	水中溶 解度	土壤有 机碳- 水分配 系数	土壤- 水分配 系数	经口摄入 致癌斜率 因子	呼吸吸 入单位 致癌风 险	经口摄 入参考 剂量	急性暴 露参数	呼吸吸 入参考 浓度	IARC 致癌 物质 分类													
			N																T	MW	HL		H	SO	K _{oc}	K _d	SF _o	IUR	RfD _o	LD ₅₀	RfC _i
																				g/mol	d	d	无量纲	mg/L	cm ³ /g	cm ³ /g	1/(mg/kg/d)	1/(mg/ m ³)	mg/kg/ d	mg/kg	mg/m ³
82	2-甲基萘	Methylnaphthalene, 2-	91-57-6	多环芳烃类	有机物	1.42E+02	-	-	2.12E-02	2.46E+01	2.48E+03	-	-	-	4.00E-03	-	-														
83	2-氯萘	Chloronaphthalene, 2-	91-58-7	多环芳烃类	有机物	1.63E+02	-	-	1.31E-02	1.17E+01	2.48E+03	-	-	-	8.00E-02	-	-														
84	菲	Phenanthrene	85-01-8	多环芳烃类	有机物	1.78E+02	4.00E+02	4.00E+02	5.40E-03	9.94E-01	1.41E+04	-	-	-	3.00E-02	-	-	3													
85	芘	Pyrene	129-00-0	多环芳烃类	有机物	2.02E+02	3.80E+03	3.80E+03	4.87E-04	1.35E-01	5.43E+04	-	-	-	3.00E-02	-	-	3													
86	咪唑	Carbazole	86-74-8	多环芳烃类	有机物	1.67E+02	-	-	3.38E-03	7.21E-01	2.45E+03	-	2.00E-02	-	-	-	-	2B													
87	多氯联苯 (总量)			多氯联苯与二噁英类	有机物																										
88	多氯联苯 169	Hexachlorobiphenyl, 3,3',4,4',5,5'-(PCB 169)	32774-16-6	多氯联苯与二噁英类	有机物	3.61E+02	-	-	6.62E-03	5.10E-04	2.09E+05	-	3.90E+03	1.10E+03	2.30E-08	-	1.30E-06														
89	多溴联苯 (总量)	Polybrominated Biphenyls	59536-65-1	多氯联苯与二噁英类	有机物	-	-	-	-	-	-	-	3.00E+01	8.60E+00	7.00E-06	-	-	2A													
90	二噁英 (总量)	Hexachlorodibenzo-p-dioxin, Mixture	-	多氯联苯与二噁英类	有机物	3.91E+02	-	-	2.33E-04	4.00E-06	6.95E+05	-	6.20E+03	1.30E+03	-	-	-														

表 B.1 大湾区关注污染物毒性理化参数表 (续)

编号	污染物 (中文)	污染物 (英文)	CAS 编号	种类	类型	分子量	半衰期 (一阶 衰减) 饱水带	半衰期 (一阶 衰减) 包气带	亨利常 数	水中溶 解度	土壤有 机碳- 水分配 系数	土壤- 水分配 系数	经口摄入 致癌斜率 因子	呼吸吸 入单位 致癌风 险	经口摄 入参考 剂量	急性暴 露参数	呼吸吸 入参考 浓度	IARC 致癌 物质 分类
			g/mol		d	d	无量纲	mg/L	cm ³ /g	cm ³ /g	1/(mg/kg/d)	1/(mg/m ³)	mg/kg/d	mg/kg	mg/m ³	-		
91	二噁英 (TCDD 2378)	Tetrachloro dibenzo-p-d ioxin, 2,3,7,8-	1746-0 1-6	多氯联苯 与二噁英 类	有机 物	3.22E +02	1.18E+ 03	1.18E+ 03	2.04E-0 3	2.00E-0 4	2.49E+ 05	-	1.30E+05	3.80E+0 4	7.00E-1 0	-	4.00E-0 8	1
92	邻苯二甲 酸(2 乙基 己基)酯	Bis (2-ethylhex yl) phthalate	117-81- 7	邻苯二甲 酸酯类	有机 物	3.91E +02	1.00E+ 00	1.00E+ 00	1.10E-0 5	2.70E-0 1	1.20E+ 05	-	1.40E-02	2.40E-0 3	2.00E-0 2	-	-	0
93	邻苯二甲 酸二甲酯	Dimethylph thalate	131-11- 3	邻苯二甲 酸酯类	有机 物	1.94E +02	1.40E+ 01	1.16E+ 03	2.40E-0 5	4.19E+ 03	3.16E+ 01	-	-	-	8.00E-0 1	-	-	
94	邻苯二甲 酸二乙酯	Diethyl phthalate	84-66-2	邻苯二甲 酸酯类	有机 物	2.22E +02	1.12E+ 02	1.12E+ 02	2.49E-0 5	1.08E+ 03	1.05E+ 02	-	-	-	8.00E-0 1	-	-	
95	邻苯二甲 酸二丁酯	Dibutyl phthalate, DBP	84-74-2	邻苯二甲 酸酯类	有机 物	2.78E +02	2.30E+ 01	2.30E+ 01	7.40E-0 5	1.12E+ 01	1.16E+ 03	-	-	-	1.00E-0 1	-	-	
96	邻苯二甲 酸苄丁酯	Butyl benzyl phthalate	85-68-7	邻苯二甲 酸酯类	有机 物	3.12E +02	1.80E+ 02	1.80E+ 02	5.15E-0 5	2.69E+ 00	7.16E+ 03	-	1.90E-03	-	2.00E-0 1	-	-	3
97	邻苯二甲 酸二正辛 酯	Di-n-octyl phthalate	117-84- 0	邻苯二甲 酸酯类	有机 物	3.91E +02	2.80E+ 01	2.80E+ 01	1.05E-0 4	2.00E-0 2	1.41E+ 05	-	-	-	1.00E-0 2	-	-	
98	滴滴滴	DDD	72-54-8	有机农药 类	有机 物	3.20E +02	1.13E+ 04	1.13E+ 04	2.70E-0 4	9.00E-0 2	1.18E+ 05	-	2.40E-01	6.90E-0 2	-	-	-	
99	滴滴伊	DDE	72-55-9	有机农药 类	有机 物	2.42E +02	1.13E+ 04	1.13E+ 04	1.70E-0 3	4.00E-0 2	1.18E+ 05	-	3.40E-01	9.70E-0 2	-	-	-	
100	滴滴涕	DDT	50-29-3	有机农药 类	有机 物	3.54E +02	1.13E+ 04	1.13E+ 04	3.40E-0 4	5.50E-0 3	1.69E+ 05	-	3.40E-01	9.70E-0 2	5.00E-0 4	-	-	2A

表 B.1 大湾区关注污染物毒性理化参数表 (续)

编号	污染物 (中文)	污染物 (英文)	CAS 编号	种类	类型	分子量	半衰期 (一阶 衰减) 饱水带	半衰期 (一阶 衰减) 包气带	亨利常 数	水中溶 解度	土壤有 机碳- 水分配 系数	土壤- 水分配 系数	经口摄入 致癌斜率 因子	呼吸吸 入单位 致癌风 险	经口摄 入参考 剂量	急性暴 露参数	呼吸吸 入参考 浓度	IARC 致癌 物质 分类			
			N				T	HL			H	SO	K _{oc}	K _d	SF _o	IUR	RfD _o		LD ₅₀	RfC _i	
			g/mol				d	d			无量纲	mg/L	cm ³ /g	cm ³ /g	1/(mg/kg/d)	1/(mg/ m ³)	mg/kg/ d		mg/kg	mg/m ³	-
101	α-六六六	Hexachloro cyclohexane , α- (α-HCH)	319-84- 6	有机农药 类	有机 物	2.91E +02	2.70E+ 02	2.70E+ 02	2.74E-0 4	2.00E+ 00	2.81E+ 03	-	6.30E+00	1.80E+0 0	8.00E-0 3	-	-				
102	β-六六六	Hexachloro cyclohexane , β- (β-HCH)	319-85- 7	有机农药 类	有机 物	2.91E +02	2.48E+ 02	2.48E+ 02	1.80E-0 5	2.40E-0 1	2.81E+ 03	-	1.80E+00	5.30E-0 1	-	-	-				
103	林丹(γ-六 六六)	Hexachloro cyclohexane , γ- (γ-HCH, Lindane)	58-89-9	有机农药 类	有机 物	2.91E +02	2.40E+ 02	2.40E+ 02	2.10E-0 4	7.30E+ 00	2.81E+ 03	-	1.10E+00	3.10E-0 1	3.00E-0 4	-	-	1			
104	六氯苯	Hexachloro benzene	118-74- 1	有机农药 类	有机 物	2.85E +02	4.18E+ 03	4.18E+ 03	6.95E-0 2	6.20E-0 3	6.20E+ 03	-	1.60E+00	4.60E-0 1	8.00E-0 4	-	-				
105	乐果	Dimethoate	60-51-5	有机农药 类	有机 物	2.29E +02	1.12E+ 02	1.12E+ 02	9.93E-0 9	2.33E+ 04	1.28E+ 01	-	-	-	2.20E-0 3	-	-				
106	3,3-二氯 联苯胺	Dichloroben zidine, 3,3-	91-94-1	其他	有机 物	2.53E +02	3.60E+ 02	3.60E+ 02	1.16E-0 9	3.11E+ 00	3.19E+ 03	-	4.50E-01	3.40E-0 1	-	-	-	2B			
107	甲基叔丁 基醚	Methyl tert-Butyl Ether (MTBE)	1634-0 4-4	其他	有机 物	8.82E +01	1.80E+ 02	3.60E+ 02	2.40E-0 2	5.10E+ 04	1.16E+ 01	-	1.80E-03	2.60E-0 4	-	-	3.00E+ 00	3			

团 体 标 准

T/GDSES 9.3—2023

污染地块安全利用保障技术 第 3 部分：污染地块安全利用划分标准

Guarantee technologies for contaminated site safe
utilization
Part 3: Classification standard for safe utilization of
contaminated site

2023-11-17 发布

2023-11-17 实施

广东省环境科学学会标准

目 录

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语与定义	1
4 基本原则与划分程序	2
5 大湾区建设用地用途类型	3
6 污染地块安全利用划分指标与分值	4
7 污染地块安全利用划分标准	4
附录 A（资料性） 污染地块安全利用划分指标分值表	5
附录 B（资料性） 污染地块安全利用划分指标释义及等级得分的计算方法	10

广东省环境科学学会标准

前 言

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

《污染地块安全利用保障技术》系列标准围绕污染地块安全利用保障技术的不同方面提出了技术要求。本文件为第3部分，规定了污染地块安全利用划分标准，用于指导污染地块修复实现安全利用。

《污染地块安全利用保障技术》系列七项标准已经发布以下部分：

- 第1部分：地块土壤和地下水中污染物安全阈值
- 第2部分：污染地块安全等级划分技术指南
- 第3部分：污染地块安全利用划分标准
- 第4部分：复合污染地块高效绿色修复技术集成指南
- 第5部分：复合污染地块修复技术应用指南
- 第6部分：修复后地块再开发利用土壤环境状况调查技术规范
- 第7部分：修复后地块再开发利用风险评估技术规范

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由广东省环境科学学会提出并归口。

本文件起草单位：广东省环境科学研究院、中国科学院南京土壤研究所、生态环境部华南环境科学研究所、南方科技大学、广东省环境科学学会、香港科技大学、澳门科技大学。

本文件主要起草人：董敏刚、庄长伟、李朝晖、常春英、彭梓濠、韩璐、侯少林、陈桂红、邓一荣、丁隆真、胡清、蔡信德、卢阳、王钰钰、张晓露、韩瑜、周海燕、劳敏慈、陈景豪、李瑛、陈诚、许培东。

本文件首次制定。

引 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国土壤污染防治法》，推动落实《粤港澳大湾区规划纲要》，推进生态文明建设，保护生态环境，保障公众健康，指导污染地块风险管控和修复，引导修复产业的良性发展，制定本文件。

《污染地块安全利用保障技术》系列标准围绕污染地块安全利用保障技术的不同方面提出了技术要求，由七个部分构成：

- 第1部分：地块土壤和地下水中污染物安全阈值。规定了地块土壤和地下水中污染物安全阈值；
- 第2部分：污染地块安全等级划分技术指南。规定了污染地块安全等级划分的技术要求，可用于评估污染地块的安全等级；
- 第3部分：污染地块安全利用划分标准。规定了污染地块安全利用划分标准，用于指导污染地块修复实现安全利用；
- 第4部分：复合污染地块高效绿色修复技术集成指南。规定了复合污染地块高效绿色修复技术集成的技术要求；
- 第5部分：复合污染地块修复技术应用指南。规定了复合污染地块修复方案编制和修复工程建设、运行与效果评估的技术要求；
- 第6部分：修复后地块再开发利用土壤环境状况调查技术规范。规定了修复后地块再开发利用土壤环境状况调查的技术要求；
- 第7部分：修复后地块再开发利用风险评估技术规范。规定了修复后地块再开发利用风险评估的技术要求。

广东省环境科学学会标准

污染地块安全利用划分标准

1 范围

本文件规定了污染地块安全利用划分的基本原则与划分程序、用地用途类型、划分指标与分值和划分标准。

本文件适用于粤港澳大湾区（以下简称“大湾区”）污染地块作为建设用地的安全开发利用。

本文件不适用于放射性物质污染和致病性生物污染的地块。

2 规范性引用文件

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

GB 36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）

GB 50021 岩土工程勘察规范

GB 50137 城市用地分类与规划建设用地标准

HJ 25.1 建设用地土壤污染状况调查技术导则

HJ 25.3 建设用地土壤污染风险评估技术导则

HJ 25.5 污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则

HJ 25.6 污染地块地下水修复和风险管控技术导则

HJ 682 建设用地土壤污染风险管控和修复术语

《关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定》（环办土壤〔2017〕67号）

《广东省地下水功能区划》（粤办函〔2009〕459号）

3 术语与定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

污染地块 contaminated site

指从事过工业生产经营活动，以及从事过危险废物贮存、利用、处置活动，按照国家技术规范确认有污染物浓度超过GB 36600中筛选值的地块。

3.2

建设用地土壤中污染物安全阈值 safety threshold for soil contaminant of development land

指在特定土地使用功能下，建设用地土壤中污染物含量低于该值时，认为其对人体健康的风险可以接受；等于或超过该值时，认为其对人体健康有不可接受的风险，需采取风险管控或修复措施。

3.3

建设用地地下水中污染物安全阈值 safety threshold for groundwater contaminant of development land

指在特定土地使用功能下，建设用地地下水中污染物含量低于该值时，认为其对人体健康的风险可

以接受；等于或超过该值时，认为其对人体健康有不可接受的风险，需采取风险管控或修复措施。

3.4

敏感目标 potential sensitive targets

指地块周边可能受污染物影响的幼儿园、学校、居民区、医院、食用农产品产地、地表水体、集中式饮用水水源地、饮用水井、自然保护区等环境敏感保护对象。

[来源：HJ 25.1—2019，3.2]

3.5

安全利用划分 security utilization division

指根据污染地块的污染程度、风险水平、利用功能、敏感目标等因素，划定污染地块的安全利用等级，以指导污染地块的风险管控和治理修复工作。

3.6

土壤风险管控 soil risk control

采取修复技术、工程控制和制度控制措施等，阻止土壤污染扩散，阻断土壤污染物暴露途径，防止土壤污染对地块内与周边人体健康和生态受体产生影响的过程。

3.7

地下水风险管控 groundwater risk control

采取修复技术、工程控制和制度控制措施等，阻止地下水污染扩散，阻断地下水污染物暴露途径，防止地下水污染对地块内与周边人体健康和生态受体产生影响的过程。

[来源：HJ 25.6—2019，3.3]

4 基本原则与划分程序

4.1 基本原则

4.1.1 科学性原则

采用科学的方法，综合考虑污染地块基础信息资料、地块初步污染状况调查结果以及未来规划用途等因素，确保污染地块各级指标得分的科学性和准确性，合理确定污染地块安全利用划分标准值。

4.1.2 可行性原则

应当根据污染场地的特点和实际情况，评估污染地块对人体健康和生态环境的风险是否可接受，确保地块安全利用划分标准切实可行。

4.1.3 规范性原则

依据相关法律法规、标准要求，程序化、系统化地提出污染地块安全利用划分标准。

4.2 污染地块安全利用划分程序

污染地块安全利用划分的工作程序如图1所示。

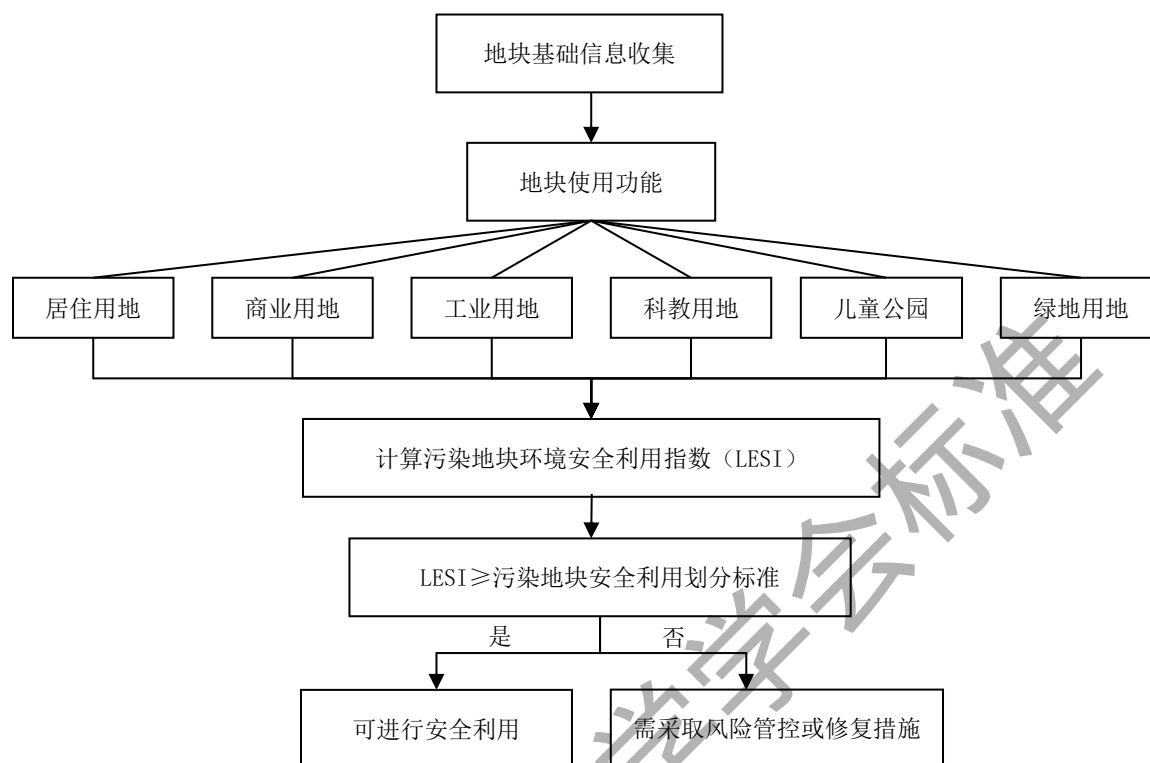


图1 污染地块安全利用划分工作程序

5 大湾区建设用地用途类型

5.1 本文件主要针对以下六种大湾区修复后建设用地土地使用功能制定，以反映大湾区居民可能暴露于受污染土壤或地下水的典型环境。

- 居住用地：GB 50137 规定的城市建设用地中的居住用地（R），指住宅和相应服务设施的用地。
- 商业用地：GB 50137 规定的城市建设用地中的商业服务业设施用地（B），指各类商业、商务、娱乐康体等设施用地，不包括居住用地中的服务设施用地以及公共管理与公共服务用地内的事业单位用地。
- 工业用地：包括 GB 50137 规定的城市建设用地中的工业用地（M）和物流仓储用地（W）。其中，工业用地（M）指工矿企业的生产车间、库房及其附属设施等用地，包括专用的铁路、码头和道路等用地，不包括露天矿用地；物流仓储用地（W）指物资储备、中转、配送、批发、交易等的用地，包括大型批发市场以及货运公司车队的站场（不包括加工）等用地。
- 科教用地：GB 50137 规定的公共管理与公共服务用地中的中小学用地（A33）。
- 儿童公园用地：GB 50137 规定的绿地和广场用地中的公园绿地（G1）中供学龄前和学龄儿童进行游戏、娱乐、体育活动及文化科学普及教育的城市专业性公园。
- 绿地用地：GB 50137 规定的绿地与广场用地（G），指公园绿地（除儿童公园外）、防护绿地、广场用地等开放空间用地，不包括住区、单位内部配建的绿地。

5.2 其他科教用地包括 GB 50137 规定的公共管理与公共服务用地中的教育科研用地（A33 除外），可以参考商业用地。

5.3 大湾区其他建设用地土地使用功能可根据与其最接近的土地功能暴露场景，参照 5.1 划分类别。

6 污染地块安全利用划分指标与分值

6.1 根据收集到的污染地块基础信息资料、地块初步污染状况调查结果以及未来规划用途，分别对应附录A中土壤与地下水的各项三级指标进行赋值，其中带*的指标需根据附录B中的计算方法计算数值，再根据得分进行赋值。

6.2 土壤和地下水的一级指标得分采用公式（1）计算得到；污染地块的环境安全指数通过公式（2）计算得到。

$$S_s \text{ 或 } S_{gw} = LR + WC + T \dots\dots\dots (1)$$

$$LESI = 100 - \sqrt{\frac{S_s^2 + S_{gw}^2}{2}} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

S_s ——污染地块土壤得分；

S_{gw} ——污染地块地下水得分；

LR ——污染特性得分；

WC ——污染物迁移途径得分；

T ——受体特征得分；

$LESI$ ——污染地块的环境安全指数。

7 污染地块安全利用划分标准

7.1 基于保护人体健康和生态环境的大湾区污染地块未来用地规划为居住用地、商业用地、工业用地、科教用地、儿童公园、绿地用地时，安全利用划分标准值为 $LESI_{\text{标}}=75$ 。

7.2 当污染地块环境安全指数等于或大于污染地块安全利用划分标准值时，认为该地块风险可接受，可进行安全利用；当污染地块环境安全指数小于污染地块安全利用划分标准值时，认为该地块存在不可接受的风险，需采取风险管控或修复措施。

附录 A
(资料性)
污染地块安全利用划分指标分值表

表 A.1 污染地块安全利用划分土壤指标分值表

指标		指标分值						
二级指标	三级指标	指标等级	居住用地	商业用地	工业用地	科教用地	儿童公园用地	绿地用地
土壤污染特性 (LR)	1.土壤污染物超标总倍数 (Es) *	① $Es \geq 100$	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
		② $50 \leq Es < 100$	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50
		③ $10 \leq Es < 50$	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
		④ $1 \leq Es < 10$	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
		⑤ $Es < 1$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.重点区域面积 (A)	① $A \geq 18000$	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
		② $5000 \leq A < 18000$	4.20	4.20	4.20	4.20	4.20	4.20
		③ $1800 \leq A < 5000$	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40
		④ $A < 1800$	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
	3.土壤污染物对人体健康的危害效应 (Ts) *	①高毒性: $Ts=10000$	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00
		②较高毒性: $Ts=1000$	14.40	14.40	14.40	14.40	14.40	14.40
		③中等毒性: $Ts=100$	10.80	10.80	10.80	10.80	10.80	10.80
		④较低毒性: $Ts=10$	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20
		⑤低毒性: $Ts=1$	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60
		⑥未知	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	4.土壤污染物的生物降解半衰期 (HL)	① $HL \geq 730$ 天	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
		② $210 \text{ 天} < HL < 730 \text{ 天}$	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60
		③ $HL < 210$ 天	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
	土壤污染物迁移途径 (WC)	5.污染物挥发性	①亨利常数 H: $H \geq 1$	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
②亨利常数 H: $1 \times 10^{-5} \leq H < 1$			2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40
③亨利常数 H: $H < 1 \times 10^{-5}$			0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
6.污染物迁移性 (Ms) *		①高: $Ms \geq 0.01$	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
		②中: $2 \times 10^{-5} \leq Ms < 0.01$	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
		③低: $Ms < 2 \times 10^{-5}$	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
7.包气带土壤质地		①砂土及碎石土	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
		②粉土	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
		③黏性土	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
		④未知	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
8.饱水带土壤质地		①砾砂及以上土质	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
		②粗砂、中砂及细砂	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
	③粉砂及以下土质	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	
	④未知	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	

表 A.1 污染地块安全利用划分土壤指标分值表 (续)

指标			指标分值					
二级指标	三级指标	指标等级	居住用地	商业用地	工业用地	科教用地	儿童公园用地	绿地用地
土壤污染物迁移途径 (WC)	9.空气中可吸入颗粒物含量 (PM10)	① $PM_{10} \geq 0.179$	2.00		2.00	2.00	3.00	3.00
		② $0.119 \leq PM_{10} < 0.179$	1.20		1.20	1.20	1.80	1.80
		③ $PM_{10} < 0.119$	0.10		0.10	0.10	0.15	0.15
	10.室内空气交换率 (ER)	① $ER < 6$ 次/d	2.00	3.00	2.00	2.00		
		② $6 \text{ 次/d} \leq ER < 12 \text{ 次/d}$	1.20	1.80	1.20	1.20		
		③ $ER \geq 12$ 次/d	0.10	0.15	0.10	0.10		
	11.年降水量 (P)	① $P \geq 2100$ 毫米	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
		② $1000 \text{ 毫米} \leq P < 2100$ 毫米	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
		③ $P < 1000$ 毫米	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	12.地下水埋深 (S)	① $S \leq 2$ 米	3.00	4.00	3.00	3.00	4.00	4.00
		② $2 \text{ 米} < S \leq 5 \text{ 米}$	1.80	2.40	1.80	1.80	2.40	2.40
		③ $S > 5$ 米	0.15	0.20	0.15	0.15	0.20	0.20
受体特征 (T)	13.地块承载人口数量或人口密度	① $R > 6856$	3.00	4.00	4.00	3.00		
		② $941 < R \leq 6856$	2.10	2.80	2.80	2.10		
		③ $370 < R \leq 941$	1.20	1.60	1.60	1.20		
		④ $0 < R \leq 370$	0.15	0.20	0.20	0.15		
	14.儿童暴露量 (ADEc)	① $ADEc \geq$ 健康基准值的 10 倍	7.00			7.00	6.00	
		②健康基准值的 5 倍 $\leq ADEc <$ 健康基准值的 10 倍	4.20			4.20	3.60	
		③健康基准值 $\leq ADEc <$ 健康基准值的 5 倍	1.40			1.40	1.20	
		④ $ADEc <$ 健康基准值	0.00			0.00	0.00	
	15.成人暴露量 (ADEa)	① $ADEa \geq$ 健康基准值的 10 倍	6.00	11.00	11.00	6.00	5.00	10.00
		②健康基准值的 5 倍 $\leq ADEa <$ 健康基准值的 10 倍	3.60	6.60	6.60	3.60	3.00	6.00
		③健康基准值 $\leq ADEa <$ 健康基准值的 5 倍	1.20	2.20	2.20	1.20	1.00	2.00
		④ $ADEa <$ 健康基准值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	16.地块周边敏感水体或饮用水井的距离 (Ds)	① $Ds < 100$ 米	4.00	5.00	5.00	4.00	3.00	4.00
		② $100 \text{ 米} \leq Ds < 300 \text{ 米}$	2.80	3.50	3.50	2.80	2.10	2.80
		③ $300 \text{ 米} \leq Ds < 1000 \text{ 米}$	1.60	2.00	2.00	1.60	1.20	1.60
		④ $Ds \geq 1000$ 米	0.20	0.25	0.25	0.20	0.15	0.20
	17.植物多样性	① $N \leq 50$					3.00	3.00
		② $50 < N \leq 100$					2.10	2.10
		③ $100 < N \leq 300$					1.20	1.20
		④ $N > 300$					0.15	0.15

表 A.1 污染地块安全利用划分土壤指标分值表 (续)

指标			指标分值					
二级指标	三级指标	指标等级	居住用地	商业用地	工业用地	科教用地	儿童公园用地	绿地用地
受体特征 (T)	18.植被覆盖率 (VC)	① $VC \leq 50\%$					3.00	3.00
		② $50\% < VC \leq 80\%$					1.80	1.80
		③ $VC > 80\%$					0.15	0.15

注：三级指标中带*的指标数值，需参照附录 B 提供的方法，经计算后得到。

表 A.2 污染地块安全利用划分地下水指标分值表

指标			指标分值					
二级指标	三级指标	指标等级	居住用地	商业用地	工业用地	科教用地	儿童公园用地	绿地用地
地下水污染特性 (LR)	1.地下水污染物超标总倍数 (Es) *	① $Es \geq 100$	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
		② $50 \leq Es < 100$	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50
		③ $10 \leq Es < 50$	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
		④ $1 \leq Es < 10$	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
		⑤ $Es < 1$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.地下水污染物对人体健康的危害效应 (Ts) *	①高毒性: $Ts=10000$	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
		②较高毒性: $Ts=1000$	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
		③中等毒性: $Ts=100$	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
		④较低毒性: $Ts=10$	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
		⑤低毒性: $Ts=1$	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
		⑥未知	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	3.地下水污染物的生物降解半衰期 (HL)	① $HL \geq 730$ 天	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
		② $210 \text{ 天} < HL < 730 \text{ 天}$	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
		③ $HL < 210$ 天	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	地下水污染物迁移途径 (WC)	4.污染物挥发性	①亨利常数 H: $H \geq 1$	4.00	4.00	4.00	4.00	6.00
②亨利常数 H: $1 \times 10^{-5} \leq H < 1$			2.40	2.40	2.40	2.40	3.60	3.60
③亨利常数 H: $H < 1 \times 10^{-5}$			0.20	0.20	0.20	0.20	0.30	0.30
5.污染物迁移性 (Ms) *		①高: $Ms \geq 0.01$	5.00	5.00	5.00	5.00	7.00	7.00
		②中: $2 \times 10^{-5} \leq Ms < 0.01$	3.00	3.00	3.00	3.00	4.20	4.20
		③低: $Ms < 2 \times 10^{-5}$	0.25	0.25	0.25	0.25	0.35	0.35
6.包气带土壤质地		①砂土及碎石土	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
		②粉土	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40
		③黏性土	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
		④未知	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40
7.饱水带土壤质地		①砾砂及以上土质	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
		②粗砂、中砂及细砂	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40
	③粉砂及以下土质	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	
	④未知	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	

表 A.2 污染地块安全利用划分地下水指标分值表（续）

指标			指标分值					
二级指标	三级指标	指标等级	居住用地	商业用地	工业用地	科教用地	儿童公园用地	绿地用地
地下水污染物迁移途径 (WC)	8.室内空气交换率 (ER)	① $ER < 6$ 次/d	4.00	4.00	4.00	4.00		
		② $6 \text{ 次/d} \leq ER < 12$ 次/d	2.40	2.40	2.40	2.40		
		③ $ER \geq 12$ 次/d	0.20	0.20	0.20	0.20		
	9.地下水埋深 (S)	① $S \leq 2$ 米	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
		② $2 \text{ 米} < S \leq 5$ 米	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40
		③ $S > 5$ 米	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
地下水受体特征 (T)	10.地块承载人口数量或人口密度	① $R > 6856$	3.00	4.00	4.00	3.00		
		② $941 < R \leq 6856$	2.10	2.80	2.80	2.10		
		③ $370 < R \leq 941$	1.20	1.60	1.60	1.20		
		④ $0 < R \leq 370$	0.15	0.20	0.20	0.15		
	11.儿童暴露量 (ADEc)	① $ADEc \geq$ 健康基准值的10倍	5.00			5.00	4.00	
		②健康基准值的5倍 $\leq ADEc <$ 健康基准值的10倍	3.00			3.00	2.40	
		③健康基准值 $\leq ADEc <$ 健康基准值的5倍	1.00			1.00	0.80	
		④ $ADEc <$ 健康基准值	0.00			0.00	0.00	
	12.成人暴露量 (ADEa)	① $ADEa \geq$ 健康基准值的10倍	4.00	7.00	7.00	4.00	4.00	8.00
		②健康基准值的5倍 $\leq ADEa <$ 健康基准值的10倍	2.40	4.20	4.20	2.40	2.40	4.80
		③健康基准值 $\leq ADEa <$ 健康基准值的5倍	0.80	1.40	1.40	0.80	0.80	1.60
		④ $ADEa <$ 健康基准值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	13.地下水功能区划	①开发区（集中式供水水源区、分散式开发利用区）	2.00	3.00	3.00	2.00	2.00	2.00
		②保护区（生态脆弱区、地质灾害易发区、地下水水源涵养区）	1.20	1.80	1.80	1.20	1.20	1.20
		③保留区（不宜开采区、储备区、应急水源区）	0.10	0.15	0.15	0.10	0.10	0.10
	14.邻近区域地表水用途	①水源保护区、食品加工、饮用水	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
		②农业灌溉用水	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
		③工业用途或不利用	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
		④未知	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	15.地块周边敏感水体或饮用水井的距离 (Ds)	① $Ds < 100$ 米	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
		② $100 \text{ 米} \leq Ds < 300$ 米	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
		③ $300 \text{ 米} \leq Ds < 1000$ 米	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
		④ $Ds \geq 1000$ 米	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15

表 A.2 污染地块安全利用划分地下水指标分值表（续）

指标			指标分值					
二级指标	三级指标	指标等级	居住用地	商业用地	工业用地	科教用地	儿童公园用地	绿地用地
地下水受体特征 (T)	16.植物多样性	① $N \leq 50$	/	/	/	/	2.00	2.00
		② $50 < N \leq 100$	/	/	/	/	1.40	1.40
		③ $100 < N \leq 300$	/	/	/	/	0.80	0.80
		④ $N > 300$	/	/	/	/	0.10	0.10
	17.植被覆盖率 (VC)	① $VC \leq 50\%$	/	/	/	/	2.00	2.00
		② $50\% < VC \leq 80\%$	/	/	/	/	1.20	1.20
		③ $VC > 80\%$	/	/	/	/	0.10	0.10
注：三级指标中带*的指标数值，需参照附录 B 提供的方法，经计算后得到。								

广东省环境科学学会标准

附录 B (资料性)

污染地块安全利用划分指标释义及等级得分的计算方法

B.1 土壤污染物超标总倍数

指在地块土壤样品中检出，且浓度超过T/GDSES 9.1—2023中建设用地土壤中污染物安全阈值的污染物超标倍数之和，计算公式如式（B.1）：

$$E_s = \sum_{i=1}^n \frac{C_{si} - RS_{si}}{RS_{si}} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

E_s ——土壤污染物超标总倍数；

n ——土壤中浓度超过安全阈值的污染物种类；

C_{si} ——浓度超过安全阈值的第*i*种污染物在地块土壤中的浓度，取地块所有土壤样品测试数据中的最高值，mg/kg；

RS_{si} ——第*i*种土壤中污染物的安全阈值，mg/kg。

土壤中的污染物安全阈值参考T/GDSES 9.1—2023，实际应用时以公开发表的最新版本为准，未列入的污染物项目，可依据HJ 25.3等标准及相关技术要求开展风险评估，推导特定污染物的安全阈值。污染地块根据规划用途，选择对应的安全阈值。

[来源：关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定，附录2-1，有修改]

B.2 重点区域面积

指地块内曾经用作生产区、储存区、废水治理区、固体废物贮存或处置区等重点区域面积的总和，单位为m²。

[来源：关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定，附录1-1]。

B.3 土壤污染物对人体的健康危害效应

地块土壤中污染物的人体健康危害效应等级得分以毒性最强的污染物为准。

污染物的致癌效应毒性分值可根据其致癌斜率因子（SF）和呼吸吸入单位致癌风险（IUR）确定，将IUR通过式（B.2）转换成呼吸吸入致癌斜率因子（SF_i），并取经口摄入致癌斜率因子（SF_o）和呼吸吸入致癌斜率因子（SF_i）中的较大值作为污染物的致癌斜率因子（SF）。

污染物的非致癌效应毒性分值可根据其非致癌参考剂量（RfD）和呼吸吸入参考浓度（RfC）确定，RfC通过式（B.3）转换成呼吸吸入参考剂量（RfD_i），并取经口摄入参考剂量（RfD_o）和呼吸吸入参考剂量（RfD_i）中的较小值作为污染物的非致癌参考剂量（RfD）。

$$SF_i = \frac{IUR \times 61.8}{14.5} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

SF_i——呼吸吸入致癌斜率因子，(kg·d)/mg；

IUR——呼吸吸入单位致癌风险，m³/mg。

$$RfD_i = \frac{RfC \times 14.5}{61.8} \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：

RfD_i——呼吸吸入参考剂量，mg/(kg·d)；

RfC——呼吸吸入参考浓度，mg/m³。

致癌污染物的毒性分值赋值见表B.1，非致癌污染物的毒性分值赋值见表B.2（慢性暴露）和表B.3

(急性暴露)。

表 B.1 致癌污染物的毒性分值赋分表

致癌分类	1类	2A类	2B类	赋分
致癌斜率因子 SF(kg·day)/mg	SF \geq 0.5	SF \geq 5	SF \geq 50	10000
	0.05 \leq SF $<$ 0.5	0.5 \leq SF $<$ 5	5 \leq SF $<$ 50	1000
	SF $<$ 0.05	0.05 \leq SF $<$ 0.5	0.5 \leq SF $<$ 5	100
	--	SF $<$ 0.05	SF $<$ 0.5	10

注：世界卫生组织国际癌症研究所（IARC）将致癌物质分为5类。1类：对人类确定致癌，现有120种物质；2A类：对人类很可能致癌，对动物确定致癌，现有81种物质；2B类：对人类有可能致癌，对动物很可能致癌，现有299种物质；3类：致癌性的证据不足，现有502种物质；4类：无致癌性，现有1种物质。如污染物属于1类、2A类或2B类致癌物质，则根据其对应的致癌类别及致癌斜率因子（SF）进行赋分；如污染物属于3类或4类物质，则其致癌毒性赋分为0。

表 B.2 非致癌污染物慢性暴露毒性分值赋分表

参考剂量（RfD）mg/(kg·d)	赋分
RfD $<$ 0.0005	10000
0.0005 \leq RfD $<$ 0.005	1000
0.005 \leq RfD $<$ 0.05	100
0.05 \leq RfD $<$ 0.5	10
RfD \geq 0.5	1

表 B.3 非致癌污染物急性暴露毒性分值赋分表

口腔 LD ₅₀ (mg/kg)	皮肤 LD ₅₀ (mg/kg)	灰尘或雾 LC ₅₀ (mg/L)	气或蒸汽 LC ₅₀ (ppm)	赋分
LD ₅₀ $<$ 5	LD ₅₀ $<$ 2	LC ₅₀ $<$ 0.2	LC ₅₀ $<$ 20	1000
5 \leq LD ₅₀ $<$ 50	2 \leq LD ₅₀ $<$ 20	0.2 \leq LC ₅₀ $<$ 2	20 \leq LC ₅₀ $<$ 200	100
50 \leq LD ₅₀ $<$ 500	20 \leq LD ₅₀ $<$ 200	2 \leq LC ₅₀ $<$ 20	200 \leq LC ₅₀ $<$ 2000	10
500 \leq LD ₅₀	200 \leq LD ₅₀	20 \leq LC ₅₀	2000 \leq LC ₅₀	1

注：污染物毒性赋分说明：
 (1) 对于某种污染物，如果RfD和SF都可用，分别按表B.1和表B.2选最高分数进行赋值。
 (2) 对于某种污染物，如果RfD和SF只有一个可用，则根据RfD或SF进行赋值。
 (3) 对于某种污染物，如果RfD和SF均不可用，则根据急性暴露参数LD₅₀进行赋值。
 (4) 对于某种污染物，如果三种类型的参数均不可用，则赋值缺省值0。

[来源：关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定，附录1-4]

B.4 土壤污染物的生物降解半衰期。

指在地块土壤样品中检出，且浓度超过建设用地土壤中污染物安全阈值的污染物生物降解半衰期。如果地块中存在多种污染物，则以生物降解半衰期最大者为准。

B.5 土壤污染物挥发性

指在地块土壤样品中检出，且浓度超过建设用地土壤中污染物安全阈值的污染物的挥发性。该指标以污染物的亨利常数进行表征。如地块中存在多种污染物，则以亨利常数最大者为准。

[来源：关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定，附录1-9]

B.6 土壤污染物迁移性

指在地块土壤样品中检出，且浓度超过建设用地土壤中污染物安全阈值的污染物的迁移性。如地块中存在多种特征污染物，则在确定其等级时，以迁移性最高的污染物为准。特征污染物的迁移能力由污染物的水中溶解度（SO）和土壤-水分配系数（ K_d ）共同决定。污染物的迁移性赋分见表B.4。

表 B.4 污染物迁移性的赋分

水中溶解度 SO (mg/L)	土壤-水分配系数 K_d (L/kg)		
	$K_d \leq 10$	$10 < K_d \leq 1000$	$K_d > 1000$
≥ 100	1	0.01	0.0001
$1 \leq SO < 100$	0.2	0.002	2×10^{-5}
$0.01 \leq SO < 1$	0.002	2×10^{-5}	2×10^{-7}
< 0.01	2×10^{-5}	2×10^{-7}	2×10^{-9}

注：污染物迁移性赋分说明：
 (1) 金属或无机污染物可直接采用 K_d 结合SO进行赋分；
 (2) 有机污染物可通过有机碳吸附系数（ K_{oc} ），经公式 $K_d=0.15K_{oc}$ 计算得到 K_d 后结合SO进行赋分。

[来源：关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定，附录1-10]

B.7 包气带土壤质地

指地块包气带土壤的渗透性，采用土壤质地进行表征，对杂填土等人工填土不作考虑。土质分类方法参照GB 50021。如包气带含有多个土层，则以渗透性最低的土层为准。地块的土层分布和土质情况可通过地块内或周边的工程地质勘探资料获得。

GB 50021 对包气带土壤土质的分类方法如下：

- (1) 碎石土：粒径大于 2 毫米的颗粒质量超过总质量 50%。
- (2) 砂土：粒径大于 2 毫米的颗粒质量不超过总质量的 50%，粒径大于 0.075 毫米的颗粒质量超过总质量 50%。
- (3) 粉土：粒径大于 0.075 毫米的颗粒质量不超过总质量的 50%，且塑性指数等于或小于 10。
- (4) 黏性土：塑性指数大于 10。

[来源：关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定，附录1-8]

B.8 饱水带土壤质地

指地块饱水带土壤的渗透性，采用土质进行表征。土质分类参照GB 50021。如饱水带中含有多个土层，则以渗透性最高的土层为准。该指标可以通过现场钻探采样过程确认。

GB 50021对饱和含水层介质的分类方法为：

- a) 漂石（块石）：粒径大于200毫米的颗粒质量超过总质量的50%。
- b) 卵石（碎石）：粒径大于20毫米的颗粒质量超过总质量的50%。
- c) 圆砾（角砾）：粒径大于2毫米的颗粒质量超过总质量的50%。
- d) 砾砂：粒径大于2毫米的颗粒质量占总质量25%—50%。

- e) 粗砂：粒径大于0.5毫米的颗粒质量超过总质量的50%。
- f) 中砂：粒径大于0.25毫米的颗粒质量超过总质量的50%。
- g) 细砂：粒径大于0.075毫米的颗粒质量超过总质量的85%。
- h) 粉砂：粒径大于0.075毫米的颗粒质量超过总质量的50%。
- i) 粉土：粒径大于0.075毫米的颗粒质量不超过总质量的50%，且塑性指数等于或小于10。
- j) 粉质黏土：塑性指数大于10，且小于或等于17。
- k) 黏土：塑性指数大于17。

[来源：关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定，附录1-18]

B.9 空气中可吸入颗粒物含量

指悬浮在地块所在区域的空气中，能进入人体的呼吸系统，且空气动力学当量直径 ≤ 10 微米的颗粒物。可吸入颗粒物的含量以每立方米空气中可吸入颗粒物的毫克数表示，单位为 mg/m^3 。

[来源：HJ 25.3—2019、关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定]

B.10 室内空气交换率

指室内空气与室外空气交换的速率，表示为一天内通过特定空间的空气体积与该空间体积之比，单位为次/天。可采用平均法或回归方程法计算空气交换率。

(1) 平均法公式如式 (B.4) 所示：

$$A = (\ln C_0 - \ln C_t) / t \dots\dots\dots (B.4)$$

式中：

A ——平均空气交换率，1/h；

C_0 ——测量开始时示踪气体含量， mg/m^3 ；

C_t ——测量结束时示踪气体含量， mg/m^3 ；

t ——测定时间，h。

(2) 回归方程法公式如式 (B.5) 所示：

$$\ln C_t = \ln C_0 - At \dots\dots\dots (B.5)$$

式中：

C_t —— t 时间示踪气体含量， mg/m^3 ；

C_0 ——测量开始时示踪气体含量， mg/m^3 ；

A ——空气交换率，1/h；

t ——测定时间，h。

[来源：HJ 25.3—2019、关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定]

B.11 年降水量

指地块所在区域的年降水量，以气象部门统计的多年平均降水量为准，单位为 mm 。

[来源：关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定，附录1-11]

B.12 地下水埋深

指从地表到地下水潜水面的垂直深度，单位为 m 。

[来源：关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定，附录1-17]

B.13 地块承载人口密度

指地块单位土地面积上的人口数量。单位为人/平方公里。

B.14 儿童暴露量

指暴露于地块中的主要受体人群为儿童时，地块土壤和地下水中污染物经过经口摄入、呼吸吸入和皮肤接触途径进入儿童体内的日均暴露剂量（ $ADEc$ ），其通用计算如式（B.6）所示，此公式为国际上普遍采用的风险评估基本理论计算方法。

$$ADEc = \frac{IR \times EF \times ED}{AT \times BW} \dots\dots\dots (B.6)$$

式中：

$ADEc$ ——污染物受体为儿童时，单位受体日均暴露量， $mg/(kg \cdot d)$ ；

IR ——日均污染物摄入/吸入率， mg/d ；

EF ——暴露频率， d/a ；

ED ——暴露周期， a ；

BW ——体重， kg ；

AT ——平均作用时间， d 。

土壤和地下水中的污染物可能通过不同暴露途径接触到受体，而暴露途径则根据场地的用地类型决定，因此， $ADEc$ 的计算见式（B.7）。

$$ADEc = \frac{IR_{ing} \times EF_{ing} \times ED_{ing}}{AT \times BW} + \frac{IR_{inh} \times EF_{inh} \times ED_{inh}}{AT \times BW} + \frac{IR_{der} \times EF_{der} \times ED_{der}}{AT \times BW} \dots\dots\dots (B.7)$$

公式中，下角标ing、inh、der 分别代表经口摄入、呼吸吸入和皮肤接触途径，其他参数含义见公式（B.6）。

健康基准值：基准值的基本计算过程是一个反向推导的计算过程：当保护的目标受体为人群健康时，根据污染物的致癌效应和非致癌效应，在假设的可接受致癌风险和可接受非致癌危害商的前提下，以受体的日均暴露量（ ADE ）与健康基准值（ HCV ）之比等于1来推导计算。 HCV 的计算根据污染物的致癌效应和非致癌效应分别参见公式（B.8）和公式（B.9）。

致癌效应：

$$HCV_{ca} = \frac{TCR}{SF} \dots\dots\dots (B.8)$$

非致癌效应：

$$HCV_{nc} = THQ \times RfD \dots\dots\dots (B.9)$$

式中：

HCV ——健康基准值， $mg/(kg \cdot d)$ ，下角标“ca”和“nc”代表致癌效应和非致癌效应；

TCR ——可接受致癌风险值，无量纲，为 10^{-6} ；

SF ——致癌斜率因子， $(mg/kg \cdot d)^{-1}$ ；

THQ ——可接受非致癌危害商，无量纲，为1；

RfD ——参考剂量， $mg/(kg \cdot d)$ 。

B.15 成人暴露量

指暴露于地块中的主要受体人群为儿童时，地块土壤和地下水中污染物经过经口摄入、呼吸吸入和皮肤接触途径进入儿童体内的日均暴露剂量（ $ADEa$ ），其通用计算如式（B.10）所示。

$$ADEa = \frac{IR \times EF \times ED}{AT \times BW} \dots\dots\dots (B.10)$$

式中：

$ADEa$ ——污染物受体为成人时，单位受体日均暴露量， $mg/(kg \cdot d)$ ，公式中其他参数含义见公式（B.6）。

土壤和地下水中的污染物可能通过不同暴露途径接触到受体，而暴露途径则根据场地的用地类型决定，因此， $ADEa$ 的计算见式（B.11）。

$$ADEa = \frac{IR_{ing} \times EF_{ing} \times ED_{ing}}{AT \times BW} + \frac{IR_{inh} \times EF_{inh} \times ED_{inh}}{AT \times BW} + \frac{IR_{der} \times EF_{der} \times ED_{der}}{AT \times BW} \dots \dots \dots (B.11)$$

公式中参数含义见公式（B.6）和公式（B.7）。

B.16 地块周边敏感水体或饮用水井的距离

指地块内的生产、储存、废水治理、固体废物贮存或处置等重点区域边界至最近敏感水体（地表水体、集中式饮用水水源地及自然保护区等）或饮用水井的距离，单位为m。

如地块周边有多个敏感水体或饮用水井，则以离重点区域最近的敏感水体或饮用水井的距离为准。
[来源：关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定，附录1-15]

B.17 植物多样性

指区域内生长植物种类数量。各类公园绿地植物种类参考数量见表B.5。

表 B.5 各类公园绿地植物种类参考数量

公园类型	生物种参考数量（个）
绿地	$N \leq 50$
儿童公园	$50 < N \leq 100$
森林/城市公园	$100 < N \leq 300$
湿地/生态公园	$N > 300$

B.18 植被覆盖率

指地块区域中所有植物的垂直投影面积与该地块区域总面积之比，用百分数表示。主要包括灌木林面积、农田林网树占地面积以及四旁树木的覆盖面积。

B.19 地下水污染物超标总倍数

指在地块地下水样品中检出，且浓度超过T/GDSES 9.1—2023中建设用地地下水中污染物安全阈值的污染物超标倍数之和，计算公式如式（B.12）：

$$E_{gw} = \sum_{i=1}^n \frac{C_{gwi} - RS_{gwi}}{RS_{gwi}} \dots \dots \dots (B.12)$$

式中：

E_{gw} ——地下水污染物超标总倍数；

n ——地下水中浓度超过安全阈值的污染物种类数；

C_{gwi} ——浓度超过安全阈值的第*i*种污染物在地块地下水中的浓度，取地块所有地下水样品测试数据中的最高值，mg/L；

RS_{gwi} ——第*i*种地下水中污染物的安全阈值，mg/L，参照T/GDSES 9.1—2023中建设用地地下水中污染物安全阈值。

[来源：关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定，附录2-15，有修改]

B.20 地下水污染物对人体健康的危害效应

指在地块地下水样品中检出，且浓度超过建设用地地下水中污染物安全阈值的污染物对人体健康影响情况。地块地下水污染物对人体健康危害效应等级得分以地块地下水中浓度超过建设用地地下水中污

染物安全阈值的污染物毒性分值最大者为准。地下水污染物的毒性赋分计算方法同土壤污染物对人体的健康危害效应。

[来源：关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定，附录2-16]

B.21 地下水污染物的生物降解半衰期

指在地块地下水样品中检出，且浓度超过建设用地地下水中污染物安全阈值的污染物生物降解半衰期。如果地块中存在多种污染物，则以生物降解半衰期最大者为准。

B.22 地下水污染物挥发性

指在地块地下水样品中检出，且浓度超过建设用地地下水中污染物安全阈值的污染物挥发性。该指标以污染物的亨利常数进行表征。如地块中存在多种污染物，则以亨利常数最大者为准。

[来源：关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定，附录2-20]

B.23 地下水污染物迁移性

指在地块地下水样品中检出，且浓度超过建设用地地下水中污染物安全阈值的污染物的迁移性。该指标的等级得分和污染物迁移性的赋分计算方法同土壤污染物迁移性。

[来源：关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定，附录2-21]

B.24 地下水功能区划

指该地块所在区域内地下水的功能区划，以《广东省地下水功能区划》划定的功能区划为准。地下水功能区按两级进行划分。地下水一级功能区包括开发区、保护区、保留区3类，在地下水一级功能区的框架内，根据地下水资源的主导功能，再划分为8类地下水二级功能区。其中，开发区划分为集中式供水水源区和分散式开发利用区；保护区划分为生态脆弱区、地质灾害易发区和地下水水源涵养区；保留区划分为不宜开采区、储备区和应急水源区。地下水功能区划分体系见表B.6。

表 B.6 地下水功能区划分体系

地下水一级功能区	地下水二级功能区
开发区	集中式供水水源区
	分散式开发利用区
保护区	生态脆弱区
	地质灾害易发区
	地下水水源涵养区
保留区	不宜开采区
	储备区
	应急水源区

[来源：广东省地下水功能区划]

B.25 邻近区域地表水用途

该指标是指地块所在区域周边100米内地表水体的利用方式。如地块周边100米内地表水体的利用方式不一致，以其中敏感程度较高的为准。

[来源：关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定，附录1-20]

团 体 标 准

T/GDSES 9.4—2023

污染地块安全利用保障技术 第 4 部分：复合污染地块绿色高效修复技术集 成指南

Guarantee technologies for contaminated site safe
utilization
Part 4: Guideline of green-efficient remediation
technology integration for combined contaminated site

2023 - 11 - 17 发布

2023 - 11 - 17 实施

广东省环境科学学会标准

目 录

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本原则与工作程序	3
5 修复技术集成必要性的判断	4
6 需要集成的绿色高效修复技术的筛选	5
7 复合污染地块高效绿色修复技术的集成	6
8 复合污染地块修复技术集成方案的编制	6
附录 A（资料性） 污染地块高效绿色修复技术筛查矩阵	7
附录 B（资料性） 污染地块单一绿色高效修复技术效果可达性评估和修复技术集成必要性判断模板	8
附录 C（资料性） 复合污染地块绿色高效修复技术优化集成评估要点	10
附录 D（资料性） 复合污染地块绿色高效修复技术常见的完善方案	15
附录 E（资料性） 复合污染地块绿色高效修复技术集成方案编制大纲	17

前 言

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

《污染地块安全利用保障技术》系列标准围绕污染地块安全利用保障技术的不同方面提出了技术要求。本文件为第4部分，规定了复合污染地块高效绿色修复技术集成的技术要求。

《污染地块安全利用保障技术》系列七项标准已经发布以下部分：

- 第1部分：地块土壤和地下水中污染物安全阈值
- 第2部分：污染地块安全等级划分技术指南
- 第3部分：污染地块安全利用划分标准
- 第4部分：复合污染地块高效绿色修复技术集成指南
- 第5部分：复合污染地块修复技术应用指南
- 第6部分：修复后地块再开发利用土壤环境状况调查技术规范
- 第7部分：修复后地块再开发利用风险评估技术规范

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中山大学提出。

本文件由广东省环境科学学会提出并归口。

本文件起草单位：中山大学、生态环境部华南环境科学研究所、中科鼎实环境工程股份有限公司、南方科技大学、香港科技大学、澳门科技大学、广东省环境科学学会。

本文件主要起草人：章卫华、劳敏慈、刘崇炫、吴颖欣、周广东、张文、赵楠、陈景豪、李荣、初文磊、李瑛、陈桂红、严辉、许佳炫。

本文件首次制定。

引 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国土壤污染防治法》，推动落实《粤港澳大湾区规划纲要》，推进生态文明建设，保护生态环境，保障公众健康，指导污染地块风险管控和修复，引导建设用地修复产业的良性发展，制定本文件。

《污染地块安全利用保障技术》系列标准围绕污染地块安全利用保障技术的不同方面提出了技术要求，由七个部分构成：

- 第1部分：地块土壤和地下水中污染物安全阈值。规定了地块土壤和地下水中污染物安全阈值；
- 第2部分：污染地块安全等级划分技术指南。规定了污染地块安全等级划分的技术要求，可用于评估污染地块的安全等级；
- 第3部分：污染地块安全利用划分标准。规定了污染地块安全利用划分标准，用于指导污染地块修复实现安全利用；
- 第4部分：复合污染地块高效绿色修复技术集成指南。规定了复合污染地块高效绿色修复技术集成的技术要求；
- 第5部分：复合污染地块修复技术应用指南。规定了复合污染地块修复方案编制和修复工程建设、运行与效果评估的技术要求；
- 第6部分：修复后地块再开发利用土壤环境状况调查技术规范。规定了修复后地块再开发利用土壤环境状况调查的技术要求；
- 第7部分：修复后地块再开发利用风险评估技术规范。规定了修复后地块再开发利用风险评估的技术要求。

广东省环境科学学会标准

复合污染地块绿色高效修复技术集成指南

1 范围

本文件规定了复合污染地块绿色高效修复技术集成的基本原则、工作程序、修复技术集成必要性的判断、修复技术的筛选、修复技术的集成和集成方案的编制等内容。

本文件适用于粤港澳大湾区（以下简称“大湾区”）复合污染地块绿色高效修复技术集成的方案设计、实施和日常管理和监督评估工作。

本文件不适用于放射性污染和致病性生物污染的地块修复。

2 规范性引用文件

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

HJ 25.6 污染地块地下水修复和风险管控技术导则

HJ 682 建设用地土壤污染风险管控和修复术语

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

复合污染 combined contamination

指2种或2种以上不同种类不同性质的污染物在土壤或地下水中共同作用造成污染的现象。1种污染物在土壤和地下水中同时存在并造成污染的现象，在本文件中也被认为是复合污染。按污染物种类可分为重金属复合污染、重金属—有机污染物复合污染、有机污染物复合污染和重金属—无机污染物（比如氰化物、氟化物）复合污染；按污染物所处的环境介质可分为土壤复合污染、地下水复合污染和土壤—地下水复合污染。

3.2

土壤修复 soil remediation

采用物理、化学或生物的方法转移、吸收、降解或转化地块土壤中的污染物，使其含量降低到可接受水平，或将有毒有害的污染物转化为无害物质的过程。

[来源：HJ 682—2019，2.5.2，有修改]

3.3

土壤风险管控 soil risk control

采取非减量化修复技术、工程控制和制度控制措施等，阻断土壤污染物暴露途径，阻止土壤污染扩散、防止对周边人体健康和生态受体产生影响的过程，一般包括：固化/稳定化、封顶、阻隔填

埋等管控措施。为行文方便，这些土壤风险管控技术也被包含在本文件中提及的土壤修复技术的范畴中。

[来源：HJ 25.6—2019，3.3，有修改]

3.4

地下水修复 groundwater remediation

采用物理、化学或生物的方法，降解、吸附、转移或阻隔地块地下水中的污染物，将有毒有害的污染物转化为无害物质，或使其浓度降低到可接受水平，或阻断其暴露途径，满足相应的地下水环境功能或使用功能的过程。

[来源：HJ 25.6—2019，3.2]

3.5

地下水风险管控 groundwater risk control

采取修复技术、工程控制和制度控制措施等，阻断地下水污染物暴露途径，阻止地下水污染扩散，防止对周边人体健康和生态受体产生影响的过程。为行文方便，这些地下水风险管控技术也被包含在地下水修复技术的范畴中。

[来源：HJ 25.6—2019，3.3，有修改]

3.6

目标污染物 target contaminant

在地块环境中其数量或浓度已达到对生态系统和人体健康具有实际或潜在不利影响的，需要进行修复的关注污染物。

[来源：HJ 682—2019，2.2.2]

3.7

土壤修复目标 soil remediation goal

地块环境调查或风险评估确定的目标污染物对人体健康和生态受体不产生直接或潜在危害，或不具有环境风险的土壤修复终点。

[来源：HJ 25.6—2019，3.6，有修改]

3.8

土壤风险管控目标 soil risk control goal

阻断土壤中污染物暴露途径，阻止污染扩散，防止对人体健康和生态受体产生影响的阶段目标。

[来源：HJ 25.6—2019，3.7，有修改]

3.9

地下水修复目标 groundwater remediation goal

由地块环境调查或风险评估确定的目标污染物对人体健康和生态受体不产生直接或潜在危害，或不具有环境风险的地下水修复终点。

[来源：HJ 25.6—2019，3.6]

3.10

地下水风险管控目标 groundwater risk control goal

阻断地下水污染物暴露途径，阻止地下水污染扩散，防止对人体健康和生态受体产生影响的阶

段目标。

[来源: HJ 25.6—2019, 3.7]

3.11

绿色高效修复 green-efficient remediation

基于绿色修复理念,经技术比选、集成,形成最优技术方案,实施后达到土壤污染风险管控和修复目标,修复过程能源、资源节约,修复效果好、周期短,实现环境效益最大化与碳排放最小化。

4 基本原则与工作程序

4.1 基本原则

4.1.1 科学性原则

采用科学的方法,综合考虑地块修复目标、修复技术的效果、土壤修复技术之间的相互影响、修复时间、修复成本、修复工程的环境影响等因素,进行修复技术集成。

4.1.2 可行性原则

合理进行修复技术集成,因地制宜制定修复技术集成方案,使所采用的技术或技术集成可以达到修复目标或风险管控目标,且修复工程切实可行。

4.1.3 安全性原则

制定地块土壤修复技术集成方案要确保地块修复工程实施安全,防止对施工人员、周边人群健康以及生态环境产生危害和二次污染。

4.1.4 绿色高效原则

复合污染地块修复技术集成要基于绿色、高效的原则。修复技术的集成,需要在满足修复和安全要求的同时,最小化环境足迹,最大化环境、社会、经济效益。

4.1.5 经济性原则

复合污染地块修复技术集成满足以上科学、可行、安全和绿色高效的前提下,尽最大可能降低修复的经济成本。

4.2 工作程序

4.2.1 复合污染地块修复技术集成必要性的判断

根据污染地块风险评估报告中确定的目标污染物和修复目标进行初步的修复技术集成必要性判断。

4.2.2 复合污染地块需要集成的绿色高效修复技术的筛选

根据污染地块风险评估报告中确定的目标污染物和修复目标,以及该地块的水文地质条件,明确单一修复技术与修复目标间的差距。为了达到修复要求,可能用到的修复技术经比选后,即为需要集成的单一修复技术或者风险管控技术。

4.2.3 复合污染地块绿色高效修复技术的集成

根据单一修复技术类型,通过文献调研、实验室小试和现场中试,研究潜在的绿色高效修复技

术之间的相互影响，确定两种或以上修复技术集成实施的技术要求，包括：多种修复技术实施的风险分析、多种修复技术实施的次序、多种修复技术实施时的衔接、多种修复技术相互负面影响的补偿措施、集成技术使用限制要求等，从而确定修复技术集成方案。

工作程序如图 1 所示。

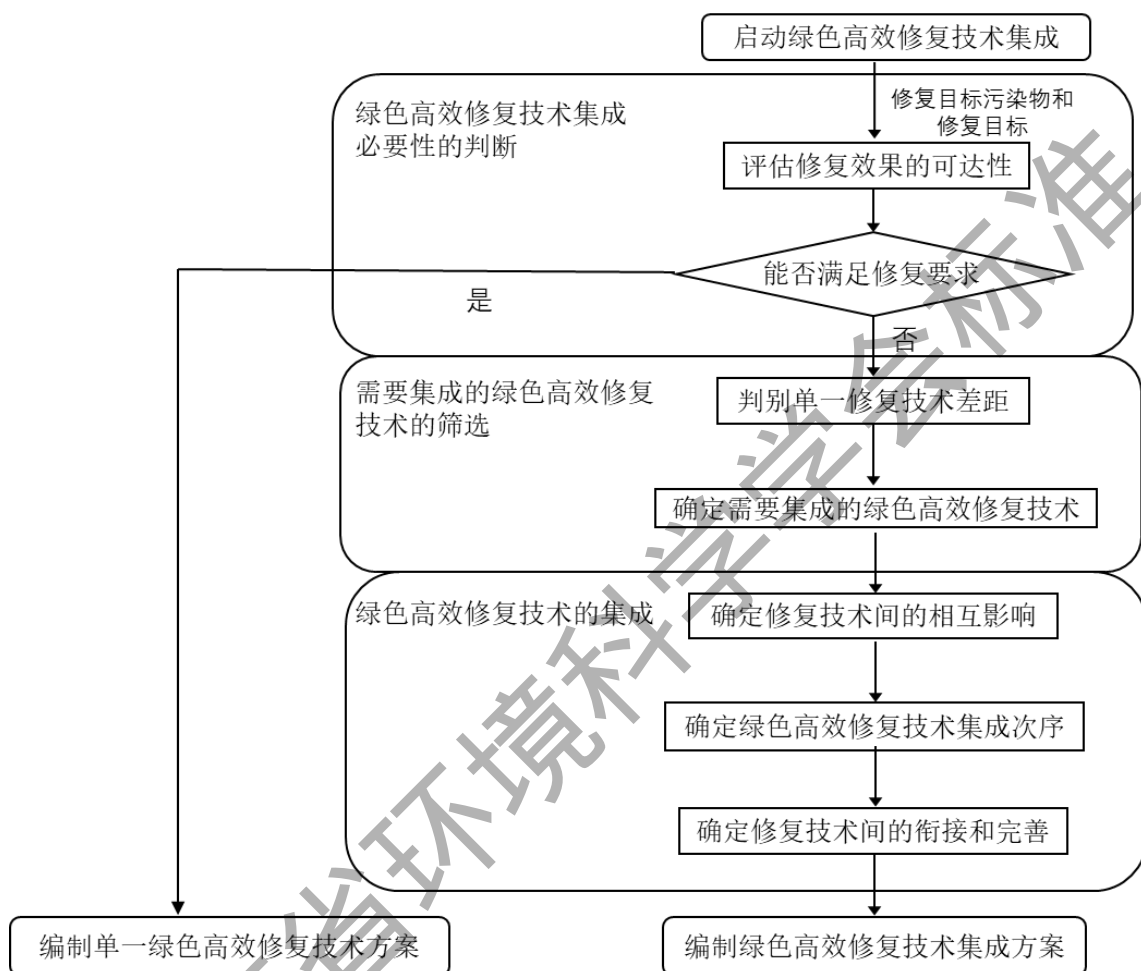


图 1 复合污染地块高效绿色修复技术集成工作程序

5 修复技术集成必要性的判断

5.1 评估复合污染地块单一绿色高效修复技术效果的可达性

根据风险评估报告确定的修复目标污染物和目标污染物的修复要求，结合当地的水文地质条件，进行单一绿色高效修复技术效果可达性评估。绿色高效修复技术效果可达性评估的方法包括但不限于案例分析、实验室小试、现场中试或模型模拟中的一种或者几种。

5.1.1 案例分析

土壤修复技术可行性评估，可根据对已有的修复技术应用案例进行分析、比较来确定。选择的案例，其污染程度和土壤类型，应与拟修复的污染地块相同或类似。同时，优先选择在大湾区污染地块上的应用案例，必要时可现场考察和评估应用案例的实际工程。对于原位修复技术，要考虑案例地块和拟修复的复合污染地块的水文地质条件的相似性。

5.1.2 实验室小试

实验室小试要采集复合污染地块的典型污染土壤进行试验，在综合考虑修复效果、成本、能耗和低碳的基础上，实验可行的修复技术的关键参数，并验证修复效果。关键参数包括但不限于修复药剂投加量及比例、修复时间、处理条件（温度、物料含水率、粒径大小）、修复效果等。

5.1.3 现场中试

针对原位的修复技术，或者对土壤水文地质条件影响显著的异位土壤修复技术的适用性不确定，则应在复合污染地块中开展现场中试，进一步验证修复技术的实际效果。同时考虑工程管理和二次污染防治等。中试试验应尽量兼顾地块中不同区域、不同污染浓度和不同土壤类型，获得土壤修复工程设计所需要的参数。

中试获得的工艺参数包括但不限于修复药剂投加量及比例、设备影响半径和处理能力、注入井的布设点位和布设方式、修复时间、处理条件（温度、物料含水率、粒径大小等）、修复效果、设备占地面积及作业区范围等。

5.1.4 模型模拟

土壤修复技术可行性评估也可以借助数值模拟来进行，主要的模拟输入参数通过收集地块已有资料和现场考察地块状况获得。必要时开展补充监测，获得必需的污染状况和水文地质等参数。

5.2 判断修复技术集成必要性

5.2.1 判断方法

根据污染场地特征，进行单一绿色高效修复技术的修复效果可达性评估，判断单一绿色高效修复技术能否满足修复要求，从而确定修复技术集成的必要性。

5.2.2 必要性判断的原则

复合污染地块进行高效绿色修复技术集成的必要性判断原则，包括但不限于：

- a) 单一绿色高效修复技术无法满足多个目标污染物的修复目标（具体见附录 A，绿色高效修复技术筛选矩阵）；
- b) 单一绿色高效修复技术无法一次满足特定污染物的修复目标；
- c) 单一绿色高效修复技术可以基本满足特定污染物的修复目标，但是无法满足修复成本、能耗、低碳、时效等要求；
- d) 单一绿色高效修复技术可满足单一介质修复目标，但地块需要针对两种介质进行修复；
- e) 单一绿色高效修复技术效果可达性评估和修复技术集成必要性判断可参考附录 B。

6 需要集成的绿色高效修复技术的筛选

6.1 判别复合污染地块单一绿色高效修复技术差距

在 5.1 的基础上，对照地块修复目标污染物和目标污染物修复要求，以及水文地质条件、修复时的二次污染、成本、能耗、碳排放要求等，从而获得单一修复技术的差距。该差距可以分为：一种技术无法修复多个目标污染物，或者一种技术无法满足特定污染物的修复目标，或者修复过程未能满足低碳低能耗目标等。

6.2 筛选需要集成的修复技术

根据单一绿色高效修复技术差距的判别结果，筛选出需要进行集成的修复技术。包括但不限于：多种技术针对不同目标污染物，或者多个技术针对同一目标污染物；或者多种技术分别针对土壤和

地下水中的目标污染物。

7 复合污染地块高效绿色修复技术的集成

7.1 评估污染地块需要集成的修复技术之间的相互影响

通过文献调查、案例分析、实验室小试和中试、模型模拟，确定集成的修复技术之间的相互影响。其中，包括一种修复技术改变了土壤中目标污染物的形态，从而影响了另外一种目标污染物的修复效果；或者一种修复技术对修复后土壤性质的改变，影响另一种修复技术的修复效果，或影响另一种修复技术的目标污染物的存在形态；或者一种修复技术改变了土壤中目标污染物的形态和土壤性质，从而影响另一种修复技术的修复效果。优化集成评估要点见附录 C。

7.2 确定复合污染地块修复技术的集成次序

根据修复技术之间的相互影响，基于最大限度满足修复和安全要求，以及降低成本、能耗、有毒中间产物污染等的原则，通过案例分析、实验室小试、现场中试、模型模拟等，确定集成修复技术之间的集成次序。

7.3 确定复合污染地块修复技术间的衔接和完善

根据修复技术之间的相互影响和作用机理，以及确定的修复技术集成次序，对修复技术间的衔接和补充进行设计，并通过案例分析、模型模拟、实验室小试、现场中试等确定最后的衔接和完善方案。常见的完善方案见附录 D。

8 复合污染地块修复技术集成方案的编制

8.1 总体要求

修复技术集成方案要全面和准确地反映出全部工作内容。报告中的文字应简洁和准确，并尽量采用图、表和照片等形式描述各种关键技术信息，以利于后续修复工程的设计与施工。

8.2 编制大纲

根据确定的修复技术集成次序以及修复技术间的衔接和完善方案，编制修复技术集成方案。修复技术集成方案编制大纲如附录 E。

附录 A
(资料性)
污染地块高效绿色修复技术筛查矩阵

表 A.1 污染地块高效绿色修复技术筛查矩阵

修复技术	挥发性有机物	半挥发性有机物	阳离子重金属	阴离子重金属或类金属	汞	备注
阻隔—填埋	○	◎	●	●	○	
水泥窑协同处置	●	◎	●	●	○	不适用于砷、铊、铅等污染土壤染较重的土壤
固化 / 稳定化	○	○	●	●	◎	阴阳离子重金属/类金属稳定/固化剂相互拮抗
土壤气相抽提	●	◎	○	○	●	
土壤淋洗	◎	◎	●	●	○	阴阳离子重金属/类金属淋洗剂相互拮抗
热脱附	●	●	○	○	●	
常温解析	●	◎	○	○	●	
化学氧化/还原	◎	◎	○	◎	○	
生物通风	●	◎	○	○	◎	
生物堆	●	◎	○	○	○	
植物修复	●	●	●	●	●	修复周期较长
强化生物修复	●	●	○	○	○	
监测自然衰减	◎	◎	◎	◎	◎	修复周期较长
强化监测自然衰减	●	●	◎	●	◎	修复周期较长

注：●表示非常适用或性能较好；◎表示较为适用或性能中等；○表示较为不适用或性能低；▽表示适用性或者性能不明确，需要进一步确定。

附录 B
(资料性)

污染地块单一绿色高效修复技术效果可达性评估和修复技术集成必要性判断模板

地块名称：_____ 地块地址：_____

地块需要修复污染物（土壤）：_____ 修复目标（浓度/可迁移性/毒性）：_____ 平均消减率：_____

预计土方量：_____

地块需要修复污染物（地下水）：_____ 修复目标（浓度/可迁移性/毒性）：_____ 平均消减率：_____

预计处理量：_____

修复周期要求：_____ 修复费用要求：_____ 原位或者异位：_____

修复能耗（碳排放）要求：_____

单一绿色高效修复技术预筛选（可通过案例分析、实验室小试、现场中试、模型模拟）

修复技术	挥发性有机物	半挥发性有机物	阳离子重金属	阴离子重或类金属	汞	在大湾区操作性	经济成本	时间	污染物浓度或可迁移性消减率	二次污染	能耗	备注	本地块可行性	本地块消除的污染物	评估方法	评估参考案例或者实验或模拟主要参数
阻隔一填埋	○	◎	●	●	○	好	低	短	高	低	低	异位				
水泥窑协同处置	●	◎	●	●	○	好	低	短	高	低	低	异位				
固化/稳定化	○	○	●	●	◎	好	中	短	高	低	低	原位或者异位；阴阳离子重金属/类金属稳定/固化剂相互拮抗				
土壤气相抽提	●	◎	○	○	●	中	低	中	中	中	低	原位				
土壤淋洗	◎	◎	●	●	○	中	中	短	中	低	中	阴阳离子重金属/类金属淋洗剂相互拮抗				

热脱附	●	●	○	○	●	好	中	短	高	低	高	分为原位和异位			
常温解析	●	◎	○	○	●	好	低	短	中	低	低	异位			
化学氧化/还原	◎	◎	○	◎	○	好	中	短	中	低	低	原位或者异位			
生物通风	●	◎	○	○	◎	好	低	中	中	中	低	原位			
生物堆	●	◎	○	○	○	好	低	中	高	低	低	异位			
植物修复	●	●	●	●	●	好	低	长	低	低	低	原位			
强化生物修复	●	●	○	○	○	中	低	长	中	低	低	原位			
监测自然衰减	◎	◎	◎	◎	◎	差	低	长	低	低	低	原位			
强化监测自然衰减	●	●	◎	●	◎	差	低	长	中	低	低	原位			

注：●表示非常适用或性能较好；◎表示较为适用或性能中等；○表示不适用或效果较差；▽表示待定，其效果取决于具体参数。

初步结论：

- A. 该地块可以通过单一绿色高效修复技术_____，实现地块的所有修复目标。
- B. 该地块无法通过一种技术修复多个目标污染物。需要采用_____修复技术，实现土壤/地下水中目标污染物_____的修复目标；需要_____修复技术，实现土壤/地下水中目标污染物_____的修复目标；需要_____修复技术，实现土壤/地下水中目标污染物_____的修复目标。
- C. 在该地块中无法使用一种技术一次满足特定污染物的修复目标。可能需要_____修复技术和_____修复技术的组合，来实现土壤/地下水中目标污染物_____的修复目标。

附录 C (资料性)

复合污染地块绿色高效修复技术优化集成评估要点

C.1 有机污染物和重金属复合污染地块

C.1.1 前置异位热脱附+后置异位固化/稳定化

该场景将开挖后的有机污染物和重金属复合污染土壤先进行异位热脱附，然后将固化/稳定化药剂添加到冷却的热脱附后的污染土壤中。



注：标注的序号对应下面的评估要点，下同。

图 C.1 前置异位热脱附+后置异位固化/稳定化流程

评估要点：

- 热脱附脱水前处理对固化/稳定化的影响（比如，生石灰脱水前处理，常有利于后续阳离子重金属的固化/稳定化）；
- 热脱附高温对残留的污染物的形态以及固化/稳定化的影响（比如，热脱附，常增加砷和阳离子重金属的渗出性）；
- 热脱附后土壤余热对后续固化/稳定化的影响（比如，余热有利于提高后续固化/稳定化的效率）。

C.1.2 前置异位稳定化+后置异位热脱附

该场景将稳定化药剂加到开挖后的有机污染物和重金属复合污染土壤中，然后进行异位热脱附。

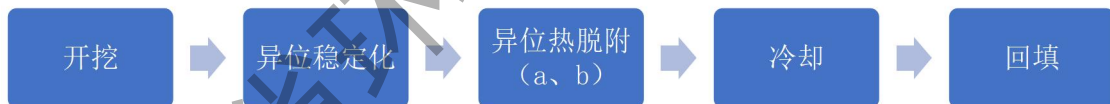


图 C.2 前置异位稳定化+后置异位热脱附

评估要点：

- 高温对前置稳定化效果的影响（特别关注砷、铅等挥发性重金属/类金属，热脱附会降低其稳定化效果）；
- 稳定剂的添加对热脱附成本和能耗的影响（不适合汞、铊等污染土壤）。

C.1.3 前置异位热脱附+后置土壤淋洗技术

该场景将开挖后的有机污染物和重金属复合污染土壤先进行异位热脱附，然后将冷却的热脱附土壤进行异位淋洗。



图 C.3 前置异位热脱附+后置土壤淋洗技术

评估要点：

- 脱附脱水前处理对土壤淋洗的效果（比如，热脱附生石灰脱水前处理，有利于阴离子重金属类金属，比如砷的淋洗；但是不利于阳离子重金属的淋洗）；
- 热脱附高温对残留的污染物的形态以及土壤淋洗效果的影响（比如，热脱附常常有利于土壤的重金属和砷的淋洗）；
- 土壤淋洗后置导致热脱附的能耗和成本的变化（比如，土壤淋洗后置，常常导致热脱附的土方量相对较大）；
- 热脱附后土壤余热对后续土壤淋洗操作的影响（比如，余热可能有利于提高土壤淋洗效率）。

C.1.4 前置土壤淋洗+后置异位热脱附技术

该场景将开挖后的有机和重金属复合污染土壤先进行土壤淋洗，然后进行异位热脱附（热解析）。



图 C.4 前置土壤淋洗+后置异位热脱附技术

评估要点：

- 淋洗过程对有机污染物的去除；
- 淋洗的分离过程对异位热脱附土方的减量化；
- 残留的淋洗剂对热脱附前处理的影响（残留的淋洗剂可能增加热脱附的前处理量）；
- 残留的淋洗剂对热脱附处理的影响；
- 热脱附对残留重金属移动性的影响（热脱附处理常降低淋洗后重金属的移动性）。

C.1.5 （原位或者异位）前置化学氧化/还原+后置固化/稳定化

该场景将有机污染物和重金属复合污染土壤先进行化学氧化/还原，然后进行固化/稳定化，特别适合于有机污染物和铬、砷复合污染土壤。



图 C.5 前置化学氧化/还原+后置固化/稳定化流程

评估要点：

- 残留的化学氧化/还原剂对固化/稳定化的效果（某些氧化剂，比如双氧水可能降低阳离子重金属的固化/稳定化的效果；比如碱活化过硫酸盐氧化，可能提高阳离子重金属的固化/稳定化的效果）；
- 化学氧化/还原过程对残留的污染物的形态及其固化/稳定化的影响（化学氧化过程，可增加阳离子重金属和铬的移动性，降低固化/稳定化的效果；但可降低土壤砷的移动性，提高其固化/稳定化效果）。

C.1.6 （原位或异位）前置稳定化+后置化学氧化/还原

该场景将有机和重金属复合污染土壤先进行稳定化，然后进行化学氧化/还原，不适合含有铬、砷等污染土壤。



图 C.6 前置稳定化+后置化学氧化/还原

评估要点：

- 稳定剂的添加对化学氧化/还原效果的影响（重金属阳离子某些碱性稳定剂，可能降低某些化学氧化比如双氧水的效果；也可能活化过硫酸盐提高氧化效率）；
- 残留的化学氧化/还原剂对稳定化的效果（某些化学氧化后残留的酸性双氧水，可能降低重金属阳离子的稳定化效果）；
- 化学氧化/还原过程对残留的污染物的形态以及稳定化的影响（化学氧化过程，可能增加阳离子重金属和铬的移动性，降低稳定化的效果；但也可降低土壤类金属砷的移动性，提高其稳定化效果）。

C.1.7 同时（原位或异位）稳定化+化学氧化/还原

该场景将稳定化试剂和化学氧化/还原试剂，同时加入有机污染物和重金属复合污染土壤，同时进行稳定化和化学氧化/还原。

稳定化+化学氧化/还原（a、b、c）

图 C.7 同时稳定化和化学氧化/还原

评估要点：

- 稳定剂的添加对化学氧化/还原效果的影响（重金属阳离子某些碱性/稳定剂，可能降低某些化学氧化比如双氧水的效果；也可能活化过硫酸盐提高氧化效率）；
- 残留的化学氧化/还原剂对稳定化的效果（某些化学氧化后残留的酸性双氧水，可能降低重金属阳离子的稳定化效果）；
- 化学氧化/还原过程对残留的污染物的形态以及稳定化的影响（化学氧化过程，可能增加阳离子重金属和铬的移动性，降低稳定化的效果；但也可降低土壤类金属砷的移动性，提高其稳定化效果）。

C.2 重金属复合污染地块的修复技术集成

C.2.1 前置土壤淋洗+后置固化/稳定化

该场景适合于修复目标对重金属总量和移动性都有要求的重金属复合污染地块。



图 C.8 前置土壤淋洗+后置固化/稳定化

评估要点：

- 残留的淋洗剂对固化/稳定化效果的影响（残留的淋洗剂一般都会降低重金属的固化/稳定化的效果）；
- 淋洗过程对土壤中残留重金属的形态的影响（淋洗过程，会提升土壤中残留重金属的移动性）。

C.2.2 （原位或异位）固化/稳定化+监测自然衰减分区修复

该场景适合于存在不同的暴露风险的重金属复合污染地块。

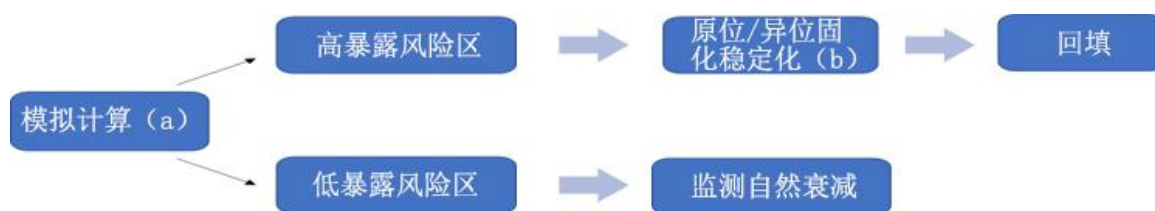


图 C.9 (原位或异位) 固化/稳定化+监测自然衰减分区修复

评估要点:

- 根据修复强化需求合理确定固化/稳定化和监控自然衰减分区;
- 固化/稳定化效果对监测自然衰减效果的影响。

C.3 有机污染物复合污染地块修复技术集成

C.3.1 化学氧化/还原+强化生物修复

该场景适合于难生物降解的有机污染物复合污染地块, 先进行化学氧化/还原提高有机污染物的可生物降解性。



图 C.10 前置原位化学氧化/还原+后置原位强化生物修复

评估要点:

- 残留的化学氧化/还原剂对环境条件和降解微生物的影响 (某些氧化剂, 比如双氧水的强酸性, 可能降低降解微生物对有机污染物的降解效率);
- 原位化学氧化/还原对残留的有机污染物的生物可利用性的影响 (比如铁还原过程, 可能提高残留的有机污染物的生物可利用性, 提高其微生物降解效率)。

C.3.2 强化生物修复+原位氧化/还原



图 C.11 前置强化生物修复+原位氧化/还原

评估要点:

- 强化生物修复过程改变当地环境条件, 对原位氧化/还原效率的影响 (比如 DO 的提高, 可能降低后续的化学还原效率);
- 强化生物修复后产生的降解产物, 对原位化学氧化/还原效率的影响。

C.4 土壤和地下水复合污染地块协同修复

C.4.1 土壤和地下水复合污染地块的化学氧化/还原

该场景适合于土壤和地下水中存在不同类型的污染物, 比如土壤有机物污染和地下水的砷污染。

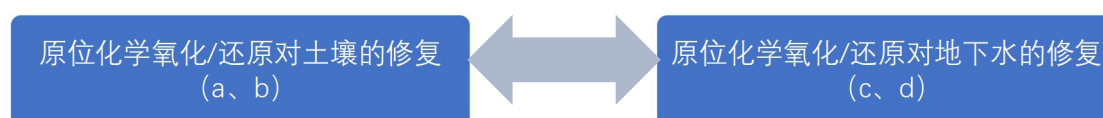


图 C.12 污染地块化学氧化/还原对土壤和地下水的协同修复

评估要点：

- a) 土壤污染物对地下水修复的影响（土壤污染物可能会降低地下水的原位化学氧化/还原修复效率；比如土壤有机污染物存在可能抑制地下水中砷的氧化和稳定）；
- b) 土壤修复产物对地下水修复的影响（土壤修复产物可能降低地下水修复效率）；
- c) 地下水污染物对土壤修复的影响（地下水污染物可能会降低污染土壤的原位化学氧化/还原修复效率）；
- d) 地下水修复产物对土壤修复的影响（地下水的修复产物可能影响土壤修复效率；比如地下水中砷的氧化稳定可能有利于有机污染物的氧化）。

C.4.2 复合污染地块土壤异位修复-地下水监测自然衰减

该场景适合于土壤和地下水中存在相同或者不同的污染物。



图 C.13 复合污染地块土壤异位修复-地下水监测自然衰减

评估要点：

- a) 开挖位置及大小对地下水修复的影响（比如，开挖会影响地下水的流速，从而影响地下水修复中的水力停留时间）；
- b) 土壤异位修复效果对地下水修复的影响（比如异位固化/稳定化可能强化监测自然衰减）。

C.4.3 有机污染地块的土壤-地下水的强化生物修复技术

该场景适合于土壤和地下水中存在不同的有机污染物。



图 C.14 土壤和地下水的强化生物协调修复

评估要点：

- a) 土壤污染物对地下水修复的影响（土壤污染物的存在可能增加降解微生物的数量，从而提高地下水的微生物降解）；
- b) 土壤污染物降解微生物、产物和环境（DO, Eh 等）对地下水修复的影响；
- c) 地下水污染物对土壤修复的影响；
- d) 地下水污染物降解微生物、产物和环境（DO, Eh 等）对土壤修复的影响。

附录 D

(资料性)

复合污染地块绿色高效修复技术常见的完善方案

D.1 热脱附

- D.1.1 保障稳定温度
- D.1.2 延长热脱附的工序时间
- D.1.3 提高脱水前处理的效率

D.2 常温解析

- D.2.1 延长停留温度
- D.2.2 提高翻抛的频率

D.3 固化/稳定化

- D.3.1 改用更高效的固化/稳定剂组合
- D.3.2 增加固化稳定剂组合的用量
- D.3.3 采用高温辅助 (部分有效, 依赖于污染物类型和固化/稳定剂的种类)

D.4 土壤淋洗

- D.4.1 增加淋洗次数
- D.4.2 增加淋洗剂的用量或者改用更高效的淋洗剂
- D.4.3 降低淋洗的固液比
- D.4.4 延长淋洗时间
- D.4.5 提高淋洗温度
- D.4.6 采用超声等手段辅助

D.5 原位化学氧化/还原

- D.5.1 增加单个井的化学氧化/还原剂的剂量注入量
- D.5.2 增加化学氧化/还原剂注入井的数量或者降低注入井之间的间隔
- D.5.3 改用更高效的化学氧化/还原剂
- D.5.4 采用更有效的化学氧化/还原剂的传输系统 (比如采用气态的试剂或者高速的液体)
- D.5.5 提高反应温度
- D.5.6 采用其他的化学活化方式 (比如在双氧水、过硫酸盐中加入 Fe^{2+} 等)

D.6 生物通风

- D.6.1 增加注入井的通风量
- D.6.2 提升抽出井的真空度
- D.6.3 注入高效的营养液

D.7 生物堆

- D.7.1 增加堆腐的温度
- D.7.2 接种更高浓度或者更高效降解微生物
- D.7.3 加入适量的疏松剂
- D.7.4 增加供氧量或者翻耕的频率

D.8 强化生物修复

- D.8.1 增加生物通风量，提高溶解氧
- D.8.2 注入氮、磷等营养盐
- D.8.3 接种更高浓度或者更高效的降解微生物
- D.8.4 提高地块温度
- D.8.5 增加代谢底物（针对共代谢目标污染物）
- D.8.6 注入表面活性剂，提高污染物的生物可利用性

D.9 强化自然监测衰减

- D.9.1 增加氮、磷等营养盐的剂量
- D.9.2 接种单一或者复合降解微生物

广东省环境科学学会标准

附录 E

(资料性)

复合污染地块绿色高效修复技术集成方案编制大纲

摘要

E.1 项目概况

E.1.1 项目背景

E.1.2 修复工程概况

E.1.3 地块概况

E.2 工作依据

E.3 组织机构及职责

E.4 工作程序和方法

E.5 绿色高效修复技术集成

E.5.1 评估复合污染地块单一绿色高效修复技术效果的可达性

E.5.2 判断修复技术集成必要性

E.5.3 判别复合污染地块单一绿色高效修复技术差距

E.5.4 筛选需要集成的修复技术

E.5.5 评估污染地块需要集成的修复技术之间的相互影响

E.5.6 确定复合污染地块修复技术的集成次序

E.5.7 确定复合污染地块修复技术间的衔接和完善

E.6 二次污染防治及应急处理方案

E.6.1 二次污染防治措施方案

E.6.2 环境监测方案

E.6.3 环境污染事故应急处理预案

E.7 结论及建议

E.8 资料附件

团 体 标 准

T/GDSES 9.5—2023

污染地块安全利用保障技术 第 5 部分：复合污染地块修复技术应用指南

Guarantee technologies for contaminated site safe
utilization
Part 5: Guideline of technology application in combined
contamination site remediation

2023-11-17 发布

2023-11-17 实施

广东省环境科学学会标准

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 工作程序	2
5 修复方案	4
6 修复工程	6
附录 A（资料性） 常见污染地块修复技术/方法	11
附录 B（资料性） 修复方案编制大纲	25
附录 C（资料性） 污染土壤转移联单（样表）	26
参考文献	27

广东省环境科学学会标准

前 言

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

《污染地块安全利用保障技术》系列标准围绕污染地块安全利用保障技术的不同方面提出了技术要求。本文件为第5部分，规定了复合污染地块修复方案编制和修复工程建设、运行与效果评估的技术要求。

《污染地块安全利用保障技术》系列七项标准已经发布以下部分：

- 第1部分：地块土壤和地下水中污染物安全阈值
- 第2部分：污染地块安全等级划分技术指南
- 第3部分：污染地块安全利用划分标准
- 第4部分：复合污染地块高效绿色修复技术集成指南
- 第5部分：复合污染地块修复技术应用指南
- 第6部分：修复后地块再开发利用土壤环境状况调查技术规范
- 第7部分：修复后地块再开发利用风险评估技术规范

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由广东省环境科学学会提出并归口。

本文件起草单位：生态环境部华南环境科学研究所、广东省环境科学研究院、中山大学、南方科技大学、香港科技大学、澳门科技大学、中科鼎实环境工程有限公司、中冶南方都市环保工程技术股份有限公司、广东省环境科学学会。

本文件主要起草人：蔡信德、周建民、刘俊君、卢阳、李霞、吴颖欣、宋清梅、胡伟斌、周静妍、吴文成、董敏刚、章卫华、劳敏慈、陈景豪、李荣、李瑛、王志国、罗明森、黄海、陈桂红、林煜玲、郑迪。

本文件首次制定。

引 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国土壤污染防治法》，推动落实《粤港澳大湾区规划纲要》，推进生态文明建设，保护生态环境，保障公众健康，指导污染地块风险管控和修复，引导建设用地修复产业的良性发展，制定本文件。

《污染地块安全利用保障技术》系列标准围绕污染地块安全利用保障技术的不同方面提出了技术要求，由七个部分构成：

- 第1部分：地块土壤和地下水中污染物安全阈值。规定了地块土壤和地下水中污染物安全阈值；
- 第2部分：污染地块安全等级划分技术指南。规定了污染地块安全等级划分的技术要求，可用于评估污染地块的安全等级；
- 第3部分：污染地块安全利用划分标准。规定了污染地块安全利用划分标准，用于指导污染地块修复实现安全利用；
- 第4部分：复合污染地块高效绿色修复技术集成指南。规定了复合污染地块高效绿色修复技术集成的技术要求；
- 第5部分：复合污染地块修复技术应用指南。规定了复合污染地块修复方案编制和修复工程建设、运行与效果评估的技术要求；
- 第6部分：修复后地块再开发利用土壤环境状况调查技术规范。规定了修复后地块再开发利用土壤环境状况调查的技术要求；
- 第7部分：修复后地块再开发利用风险评估技术规范。规定了修复后地块再开发利用风险评估的技术要求。

广东省环境科学学会标准

复合污染地块修复技术应用指南

1 范围

本文件规定了复合污染地块修复的工作程序、修复方案和修复工程的技术要求。
本文件适用于粤港澳大湾区复合污染地块修复方案制定和修复工程的实施、修复效果评估。
本文件不适用于放射性物质污染和致病性生物污染的地块修复。

2 规范性引用文件

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

- GB 34330 固体废物鉴别标准 通则
- GB 36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）
- GB 50319 建设工程监理规范
- HJ 25.1 建设用地土壤污染状况调查技术导则
- HJ 25.2 建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则
- HJ 25.3 建设用地土壤污染风险评估技术导则
- HJ 25.4 建设用地土壤修复技术导则
- HJ 25.5 污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则
- HJ 25.6 污染地块地下水修复和风险管控技术导则
- HJ 682 建设用地土壤污染风险管控和修复术语

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

复合污染 combined contamination

指2种或2种以上不同种类不同性质的污染物在土壤或地下水中共同作用造成污染的现象。1种污染物在土壤和地下水中同时存在并造成污染的现象，在本文件中也被认为是复合污染。按污染物种类可分为重金属复合污染、重金属—有机污染物复合污染、有机污染物复合污染和重金属—无机污染物（比如氰化物、氟化物）复合污染；按污染物所处的环境介质可分为土壤复合污染、地下水复合污染和土壤—地下水复合污染。

3.2

地块治理修复 site cleanup and remediation

将地块土壤、地下水中污染物移除、削减、固定或将风险控制在可接受水平的活动。

[来源：HJ682—2019，2.3.8，有修改]

3.3

修复目标 remediation goal

由土壤污染状况调查和风险评估确定的目标污染物对人体健康、土壤、地下水和其他生态受体不产生直接或潜在危害，或不具有环境风险的污染修复终点。

[来源：HJ682—2019，2.5.5，有修改]

3.4

修复技术 remediation technology

可以移除、降低、稳定或转化地块土壤和地下水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、化学或生物学技术。

[来源：HJ682—2019，2.5.13，有修改]

3.5

地块概念模型 conceptual site model

用文字、图、表等方式综合描述地块地层特征、地下水埋深与流向、土壤和/或地下水污染物的空间分布与迁移方式、污染迁移途径、人体或生态受体接触污染介质的过程和可能暴露途径，以及未来建（构）筑物特征等。

[来源：HJ682—2019，2.3.1，有修改]

4 工作程序

4.1 基本原则

4.1.1 科学性

按照地块实际情况和修复目标，科学、合理选择修复模式和修复技术，使修复目标可达，修复工程切实可行，实现污染地块再开发安全利用。

4.1.2 系统性

采用分区分类分级治理修复策略，统筹土壤和地下水修复，因地制宜制定修复方案和施工方案，开展全过程二次污染监测与防控，协同治理。

4.1.3 安全性

按照相关法律法规、标准要求，确保地块修复工程实施安全，防止对施工人员与周边人群的健康及生态环境产生危害和二次污染。

4.2 工作程序

工作程序包括修复方案编制和修复工程的设计、工程实施、效果评估等，如图 1 所示。

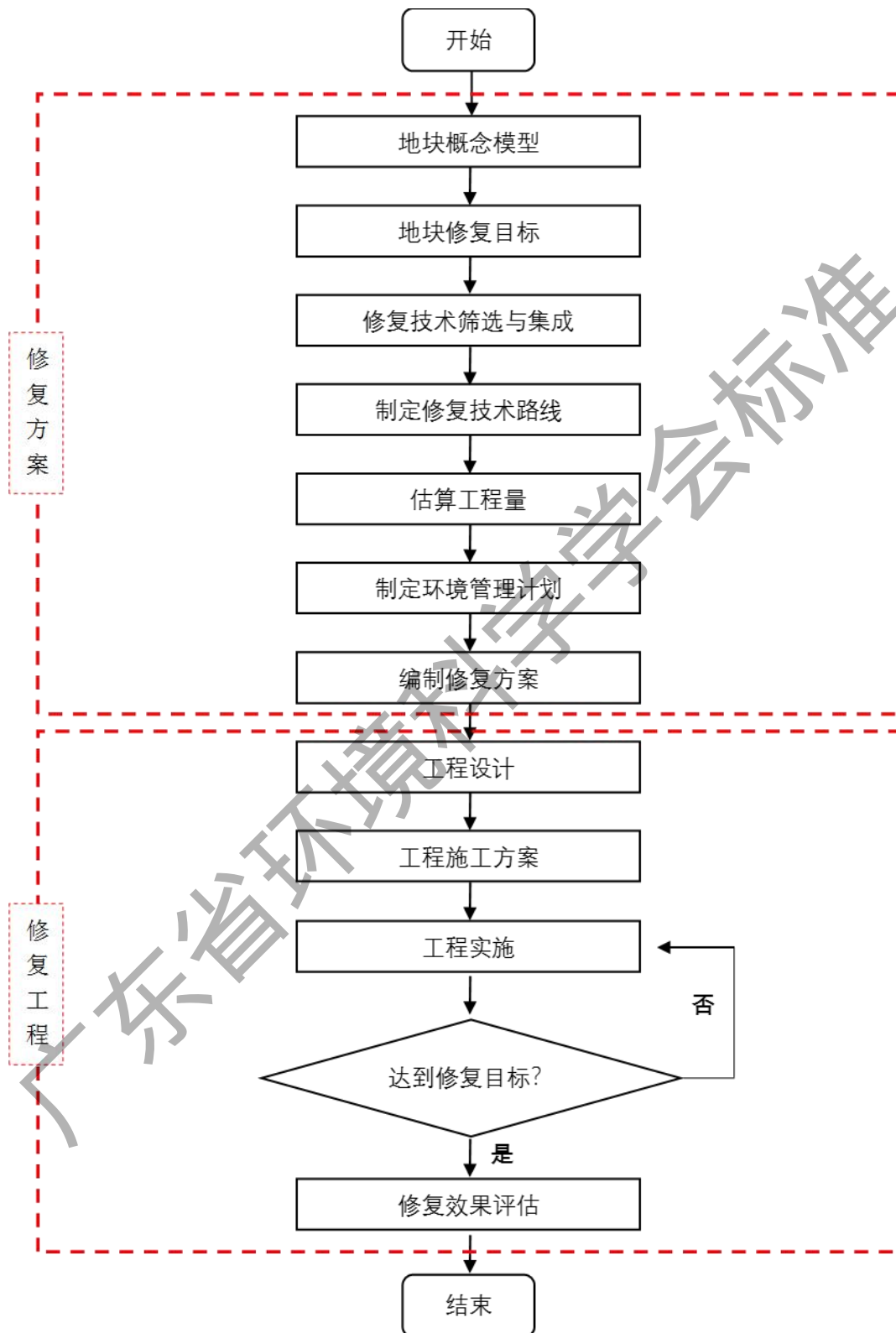


图1 复合污染地块修复工作程序

5 修复方案

5.1 地块概念模型

5.1.1 确认地块条件

5.1.1.1 核实地块相关资料

核实地块土壤污染状况调查报告和风险评估报告等相关资料中有关目标污染物、土壤与地下水污染程度、范围和空间分布、地块水文地质条件、地块规划再利用方式与使用功能布局、环境敏感受体与周边环境情况等的一致性、有效性和完整性。如发现前期地块信息和资料不能满足修复方案编制要求，应补充相关资料；必要时，应结合地块现状开展补充性调查，以满足要求。如地块利用方式或其他重要条件发生变化，而且前期土壤污染状况调查和风险评估工作不足以支撑修复方案编制工作，应重新开展土壤污染状况调查、风险评估。相关技术要求参考 HJ 25.1、HJ 25.2、HJ 25.3、HJ 25.4 和 HJ 25.6。

5.1.1.2 现场踏勘

现场踏勘地块与周边环境现状，特别关注地块在土壤污染状况调查和风险评估后是否发生重大变化，如动土施工、周边敏感目标变化等。现场考察地块修复工程施工条件，特别关注地块用电、用水、用气、施工道路、地下水监测井（如有）、安全保卫等情况。

5.1.2 细化地块概念模型

在前期工作的基础上，进一步结合地块水文地质条件、污染物的理化参数、空间分布及其潜在迁移途径、受体与周边环境等因素，细化地块概念模型，形成修复方案编制阶段的地块概念模型。在修复方案制定的过程中，应根据所制定的修复方案，动态更新地块概念模型，以评估不同修复方案的实施效果。

5.2 地块修复目标

5.2.1 修复目标总体要求

地块修复目标是修复后地块土壤和地下水可以满足其某种用途/使用功能的要求，原则上采用保障人类健康的风险控制值和实现地块安全利用作为修复目标。若涉及其它敏感受体的保护，如重要的生态受体，则需要采用其它适用标准确定修复目标，包括生态保护标准。

5.2.2 修复目标核实

在前期工作的基础上，充分考虑地块所在区域土壤中目标污染物的背景含量及目标污染物形态与迁移转化规律等，依据 HJ 25.3、HJ 25.6、GB 36600 和地方有关标准，分析地块评估提出的修复目标（值）、修复范围和修复工程量的合理性。

5.2.3 修复目标调整

5.2.3.1 修复方案中的目标污染物、修复目标（值）原则上与经评审的土壤污染风险评估报告一致。如果出现 5.1.1.1 中地块利用方式或其他重要条件变化的情形，应重新开展风险评估，确定修复目标、修复范围和修复工程量。

5.2.3.2 下述情形的修复方案中需要明确的修复目标：

- a) 对采用固化/稳定化修复方案的，应增加修复后土壤污染物浸出浓度和/或无侧限抗压强度作为修复目标；
- b) 若修复后土壤外运到其他地块，应根据接收地块的土地利用方式进行风险评估，如有风险需提出修复目标。

5.2.3.3 调整原有修复目标或增加新的修复目标，应在修复方案中详细阐述并附相关支撑文件，重新申请对风险评估报告进行评审，并报生态环境主管部门备案。

5.3 修复技术筛选与集成

5.3.1 修复技术总体要求

根据地块实际和修复目标，修复技术可由一种或多种技术组合形成，总体要求是：

- a) 鼓励采用绿色、低碳的修复技术；
- b) 实施分规划用途、分污染类型、分污染程度和分土质的高效修复技术；
- c) 在原址进行修复，修复后的物料循环再用；若原址修复不可行，可考虑异地处理修复；
- d) 土壤与地下水协同修复，永久性处理修复优先于处置。

5.3.2 修复技术筛选与集成

5.3.2.1 根据地块实际和修复目标，从修复效果、时间、成本、技术成熟度、环境影响、绿色、低碳等方面，采用对比分析、矩阵评分和类比等方法，筛选出潜在可行的修复技术。常见污染地块修复技术见附录 A。

5.3.2.2 复合污染地块涉及多种污染物和不同介质，修复技术可参照以下方法之一获得：

- a) 按照复合污染地块绿色高效修复技术集成指南的要求，形成相应的组合修复技术；
- b) 根据污染分区，采用污染地块治理修复技术评估方法（软件），筛选一种或多种修复技术或组合修复技术。

5.3.2.3 可采用实验室小试、现场中试、模拟分析和相关案例分析等方式进行修复技术可行性评估，小试包括不同工艺组合试验，中试为组合修复技术各工艺集成的现场系统试验；评估方法要符合 HJ 25.4、HJ 25.6 和地方相关标准/规范的要求，根据评估结果确定修复技术（含组合技术）的工艺相关参数。

5.4 制定修复技术路线

根据地块修复目标、修复技术筛选与集成结果，结合地块环境管理要求等制定修复技术路线。修复技术路线应反映地块修复总体思路、方式、工艺流程和具体步骤，以及地块土壤和地下水修复过程中受污染水体、气体、固体废物（含危险废物）和噪声等的处理与处置措施。

5.5 估算工程量

根据修复技术路线估算修复工程量。修复工程量包括但不限于地块内不同区域污染土壤和地下水需要修复的面积、深度等的工程量，还应考虑修复过程中基坑开挖、围挡、回填、办公区建设等工程辅助措施的工程量，以及修复过程中受污染水体/废水、气体/废气、固体废物（含危险废物）、噪声等的处理与处置的工程量。

5.6 制定环境管理计划

5.6.1 制定二次污染防治措施

5.6.1.1 综合分析修复技术的二次污染产生情况以及对施工人员、周边人群健康和生态受体的影响等，制定相关的收集、处理和处置技术方案，提出二次污染防治措施，包括大气污染防治、废水污染防治、固体废物污染防治、噪声污染防治、土壤污染防治、地下水污染防治等措施，分析论证技术可行性、经济合理性、稳定运行和达标排放的可靠性。

5.6.1.2 二次污染防治措施应包括但不限于以下内容：

- a) 废水、废气处理设施应明确处理能力、处理工艺、平面布局、主要工艺（设备）参数及排放去向；
- b) 扬尘污染防治应明确实施位置和施工阶段，喷洒降尘措施应明确频率和持续时间；

- c) 污染土壤临时堆存区等应明确具体位置，说明堆存区的防渗、截流、防尘、防雨和废水处理等措施；
- d) 固体废物储存区、危险废物储存区应明确具体位置，并按照相应标准合理设置；固体废物的处理应符合国家、地方和相关行业规定；
- e) 挥发性有机物污染土壤、汞污染土壤和异味污染土壤的开挖、暂存、处理和处置应在负压的密闭空间内进行操作，并配套有效的二次污染防治措施。

5.6.1.3 污染土壤离场处置要求：

- a) 应明确离场条件；按 GB 34330 规定要求属于固体废物的外运污染土壤应按固体废物相关法律法规和技术规范进行管理；
- b) 明确外运污染土壤的处理处置方式等相关内容与技术参数及二次污染防控与环境管理措施，附件中应有处理处置协议。

5.6.2 制定环境监测计划

环境监测计划包括工程实施过程的环境监测计划、二次污染监控中的环境监测计划。环境监测计划内容应包括监测介质、监测布点、监测项目、监测方法、监测频次、评价标准、监测的时间节点或工程节点等。相关技术要求参照 HJ 25.2 执行。

5.6.3 制定应急计划

为确保地块修复过程中施工人员与周边居民的健康与环境安全，应制定周密的地块修复工程环境应急安全计划，内容包括健康与安全问题识别、需要实施的预防和控制措施、突发事故应急措施、舆情应急预案、安全防护装备、安全防护培训等。

5.7 编制修复方案

5.7.1 修复方案要全面和准确地反映出全部工作内容，结合地块实际情况，选择附录 B 全部或部分内容进行编制。报告中的文字应简洁和准确，并尽量用图、表和照片等形式描述各种关键技术信息，以利于后续修复工程的设计与施工。

5.7.2 修复方案报生态环境主管部门备案后实施。

6 修复工程

6.1 工程设计

6.1.1 一般要求

6.1.1.1 工程设计单位应具有国家相应的工程设计资质。

6.1.1.2 工程设计分为初步设计、施工图设计。

6.1.1.3 当已有的资料不能满足工程设计需要时，应开展必要的调查工作。

6.1.2 初步设计

初步设计文件应根据污染地块修复方案进行编制，应满足编制施工图、采购主要设备及控制工程建设投资的需要。初步设计文件宜包括初步设计说明书、初步设计图纸和初步设计概算书，并应符合下列规定：

- a) 初步设计说明书宜包括设计总说明、各专业设计说明、主要设备材料表；
- b) 初步设计图纸宜由总图、工艺、建筑、结构、给排水等专业图纸组成。当工程包含修复车间、仓库等建筑物时，宜开展建筑专业图纸设计；当工程包含修复车间、仓库、地面处理设备、深基坑等建（构）筑物时，宜开展结构专业图纸设计；当工程采用可渗透反应墙、阻隔等技

术时，宜开展岩土工程专业图纸设计；当工程需进行地下水抽出、药剂注入、地面处理设备自动化控制、监测设计时，宜开展自动化专业图纸设计；还需开展给排水、电气采暖通风等的专业图纸设计；

- c) 初步设计概算书包括编制说明、编制依据、工程总概算表、单项工程概算表和其它费用概算表等。

6.1.3 施工图设计

施工图设计文件应根据初步设计文件进行编制，未开展初步设计的根据修复方案进行编制。施工图设计文件应满足编制工程预算、工程施工招标、设备材料采购、非标准设备制造、施工组织计划编制和工程施工的需要。施工图设计文件宜包括施工图设计说明书、施工图设计图纸、工程预算书，并应符合下列规定：

- a) 施工图设计说明书包括各专业设计说明和工程量表；
b) 施工图设计图纸由总图、工艺、建筑、结构、给排水、采暖通风、电气、自动化等各专业图纸组成，可根据修复工程实际情况增减；
c) 工程预算书包括编制说明、工程设备材料表、工程总预算书、单项工程预算书、单位工程预算书和需要补充的估价表等。

6.2 工程施工方案

6.2.1 总体要求

6.2.1.1 根据修复方案、工程设计，结合施工条件等编制修复工程施工方案，内容包括：工程管理目标，项目组织机构，主要工程量及施工分区，总体施工顺序，工期安排，施工机械和试验检测仪器配置，用水用电计划，劳动力需求计划，施工准备等。此外还需明确施工质量的控制要点、施工工序与步骤，所需设备型号、设备安装和调试过程等。

6.2.1.2 根据施工现场条件和具体施工工艺，细化施工平面布局（置）（图）；制定详细地块环境管理计划实施方案。

6.2.1.3 涉及成片污染土地分期分批开发的，要优化开发时序，防止污染土壤及其后续修复影响周边拟入住敏感人群，原则上居住、学校、养老机构等用地应在毗邻地块土壤污染修复完成后再投入使用。

6.2.1.4 明确施工进度、施工管理保障体系等相关内容。

6.2.2 施工平面布局

6.2.2.1 依据地块修复技术路线、修复技术与工艺、地块条件及周边环境等情况，综合考虑风向、周边敏感目标和施工任务要求，合理规划平面布局、规范设置排放口。内容包括但不限于拟建的建（构）筑物，临时办公、生活设施，临时用电及临时用水布置，原材料及主要施工设备位置，现场施工道路和运输路线等。

6.2.2.2 根据现场条件、工艺与施工流程、场内运输、施工安全和二次污染防控等的要求，合理布置施工平面：

- a) 含挥发性有机物、半挥发性有机物的复合污染地块，污染土壤暂存区和修复区应远离办公区及周边敏感目标，宜处于敏感目标的下风向；统筹前置处理技术和后置处理技术的衔接，优化处理工艺的平面布局；
b) 土壤异位修复区，宜处于敏感目标的下风向。

6.2.2.3 应有利于处理后土壤回填，减少运输距离。

6.2.2.4 现场布置应符合施工现场卫生与安全技术要求和防火规范，减少对周边环境的干扰和影响。

6.2.2.5 充分利用现场各种建筑物、构筑物、设施和道路等条件，降低临时设施的费用，满足节能、低碳要求。

6.2.2.6 严格划分污染区域与非污染区域，将污染区域和涉及的相关区域（暂存区，修复区，待验区）设为修复区，非污染区域设为非修复区，利用标识或围挡设施将修复区、非修复区隔离分开。

6.2.2.7 施工区域的划分应符合施工流程要求，尽量减少工程各专业施工与其他项目的干扰，避免交叉污染。明确不同污染类型土壤的堆放区域，并设置分区信息标识牌，公开区域名称及面积、最大储存量、污染物类型、污染防控措施、堆放示意图等。

6.2.2.8 修复现场信息公开和标识应按国家、地方相关规定设置。

6.2.3 施工组织安排计划

6.2.3.1 根据工程规模、修复技术与工艺、修复过程污染防治等相关要求，对施工工程的部署情况进行说明，内容包括但不限于项目管理组织、项目管理目标、工程施工目标、施工进度安排计划等。

6.2.3.2 施工进度计划的内容包括：编制说明，施工进度计划表（图），分期（分批）实施工程的开、竣工日期，工期一览表，关键节点控制措施等；需分阶段开展效果评估的，应在修复工期安排中注明。

6.2.3.3 对修复设施建设完成后需继续运行的修复工程，应制定运行维护计划。

6.3 工程实施

6.3.1 施工准备

施工现场准备包括成立施工管理组织机构、清理地块内杂物及地块平整、测量放线、材料机械准备、地块防渗和导排处理、水电准备、防火准备、技术交底和施工安全与环境保护培训等工作，应特别关注地块的地下管线情况、周边建（构）筑物情况、抽水及排水许可、水电使用接入管线等。

6.3.2 工程实施要点

6.3.2.1 工程施工单位应具有国家相应的工程施工资质。

6.3.2.2 工程施工应符合国家和行业施工程序及管理文件的要求。

6.3.2.3 工程施工应按修复方案、设计文件、施工图纸和设备安装使用说明书的规定进行，工程变更应取得设计单位确认并出具设计变更文件后再进行施工。

6.3.2.4 工程安装、施工完成后应对相关计量等设备进行校验，确保各系统运转正常；根据工艺流程进行分项调试和整体调试，分项调试和整体调试技术指标应达到设计要求。

6.3.2.5 施工应满足铁路、地铁、河道、地下电缆、市政管线、建构物等的安全防护间距，并采取适当的防护措施。

6.3.2.6 修复工程的公告牌和警示标识设置在修复现场出入口或其他显眼位置，公开修复工程基本情况、修复工程方案主要内容、环境影响及其防范措施等。

6.3.2.7 按照 GB 50319 和地方相关规定开展工程监理、环境监理。

6.3.2.8 污染地块修复工程的运行、维护和安全管理的应符合国家、地方现行的有关规定。

6.3.2.9 各工种、岗位应根据工艺特征和具体要求制定相应的安全操作规程和质量管理文件并严格执行。

6.3.2.10 对进场的药剂和材料进行检测、试验、登记，对药剂和材料的储存、使用进行管理。

6.3.2.11 对设备运行进行记录，运行记录应及时、准确、完整，保留必要的现场照片、视频等资料；对工程设施（如阻隔工程等）进行日常维护。

6.3.2.12 对工程设备和二次污染防治设施进行定期检查与维护；设备设施运行不正常时，及时检修、更换，做好相关维护保养记录。

6.3.2.13 对公告牌、标识牌、围挡等进行管理和维护。公告牌、标识牌应保持清晰、完整，围挡应确保无损坏、倾斜与缺失。当发现损坏、颜色污染或有变化等现象，应及时修复和更换。

6.3.2.14 应对修复效果进行监测，如发现修复结果不能达到修复要求，应及时分析原因，并采取相应补救措施。如需进行修复技术路线和工艺调整，应报生态环境主管部门备案。

6.4 环境控制措施

6.4.1 地块清理和土壤清挖

- 6.4.1.1 车辆、施工机械等离开修复区前进行仔细冲洗，防止对非修复区的污染。
- 6.4.1.2 修复施工区域非污染建筑废物收集后运至暂存区储存、并进行资源化利用；污染建筑废物收集后运至暂存区储存、分类处理；属于危险废物的，应按危险废物进行处理和处置。
- 6.4.1.3 复合污染地块土壤、地下水中如果存在挥发性有机物、半挥发性有机物，应在负压密闭大棚内进行清挖施工作业；密闭大棚安装尾气处理装置，废气排放应符合国家、地方和相关行业标准。对于确实无法搭建密闭大棚的污染区域，采取边清挖、边运输、边苫盖、边喷洒泡沫抑制剂的方式进行清挖施工。
- 6.4.1.4 把可能受污染的土壤与未受污染的土壤分开：
- 符合修复目标（值）要求的土壤（清洁土），分区分层清挖，堆存在原有硬化地面上/或具防渗的地面上，设围挡隔离，苫盖防扬尘；
 - 对污染土层上层 0 m~0.5 m 或 0 m~1 m 的土壤，宜作为疑似污染土，清挖后运送至疑似污染土暂存区单独存放，围挡隔离、苫盖防扬尘。疑似污染土检测符合修复目标的为清洁土，而超过修复目标的为污染土壤，应运送至相应的修复工艺处理处置。
- 6.4.1.5 污染土壤的清挖采取分区域分层清挖的方式，当复合污染区域与重金属和无机物污染区域或有机污染区域相邻时，宜优先对复合污染区域进行清挖。清挖出来的污染土壤现挖现装，采用封闭式环保运输车运送到相应的修复区域，封装前在土壤表面覆盖薄膜或苫布，防止运输过程中有害气体挥发、扬尘等造成环境污染。封闭运输车禁止超载。
- 6.4.1.6 露天基坑四周应设置挡水墙或截水沟，开挖过程中应及时覆盖基坑开挖面，尽量减少基坑积水量。对地下水位以下的污染土壤进行开挖时应进行基坑降水后开挖。基坑内收集的雨水、基坑渗积水（涌水）、车辆清洗水处理后应符合国家、地方和相关行业标准回用或排放。
- 6.4.1.7 严格落实扬尘控制措施，如设置雾化水汽喷射装置、喷洒降尘设施等，无组织监控点扬尘（颗粒物）浓度应符合国家、地方相关标准。
- 6.4.1.8 实施噪声污染防控措施，施工机械噪声排放和施工区域的噪声环境质量符合国家、地方相关标准的要求。
- 6.4.1.9 原位修复过程中，如钻井施工、灌注搅拌桩施工等，若空气中污染物浓度异常，应向土壤揭露面直接喷射泡沫抑制剂，控制大气中的污染物浓度；对开挖污染土壤作业面进行苫盖，防止扬尘；在开挖作业面下侧采取措施防止污染土壤随径流扩散。

6.4.2 污染土壤暂存和预处理

- 6.4.2.1 污染土壤（含挥发性有机物或异味或易挥发的重金属）的暂存和预处理过程应在地面有防渗处理的负压密闭大棚或车间内进行，施工过程对车间进行通风换气，配废气收集与处理装置，废气排放应符合国家、地方和相关行业标准，避免扬尘与挥发造成二次污染，处理尾气的活性炭妥善处理；其它污染土壤苫盖暂存或车间堆放，预处理过程在大棚或车间内进行。
- 6.4.2.2 堆放地面、负压大棚或车间地面应做硬化和防渗处理，采用浇筑强度不低于 C20 的抗渗混凝土，浇筑厚度不得低于 20 cm。
- 6.4.2.3 对污染土壤进行破碎，同时分拣、筛分建筑垃圾、大型石块、水泥块等建渣。建渣经清洗检测合格后再运送到固体废物临时存放区存放，鼓励进行资源化利用。
- 6.4.2.4 污染土壤暂存和预处理区应建设废水、渗滤水收集设施；收集的废水、渗滤水处理达标后回用或排放；收集池污泥运送至污染土壤修复区进行修复，属于危险废物的，则按危险废物相关规定进行管理。
- 6.4.2.5 实施噪声污染防控措施，施工机械噪声排放和施工区域的噪声环境质量符合国家、地方相关标准的要求。
- 6.4.2.6 大棚或车间内空气质量应满足职业卫生等相关规范要求。

6.4.3 污染土壤和地下水修复

6.4.3.1 含挥发性有机物、异味、易挥发重金属的污染土壤异位修复在地面有防渗处理的负压密闭大棚内进行,其他污染土壤异位修复在地面有防渗处理的车间或工棚内进行;对污染土壤中挥发的污染物、修复过程排放的污染物等进行收集,根据污染物种类及浓度,选择适宜技术进行处理,废气排放应符合国家、地方和相关行业标准。

6.4.3.2 负压密闭大棚或车间内空气质量应满足职业卫生等相关规范要求。

6.4.3.3 地块及周边严格落实各项扬尘污染防治措施;易飞扬物、细颗粒散体材料等,应在仓库内存放或严密遮盖,运输时要防止遗洒、飞扬,卸运时采取码放措施,减少污染。

6.4.3.4 严格划分地下水污染区域与非污染区域,把可能受污染的地下水与未受污染的部分分开;采用抽提修复含有非水相液体类污染物的地下水时,应先抽取非水相液体污染区域、再抽取全部污染区域;含有挥发性有机物的地下水抽提处理过程中,采用密闭处理设施进行储存及处理,排放水质应符合国家、地方和相关行业标准的排放要求;污染地下水目标污染物应处理达到修复目标值后方可排放或回用。

6.4.3.5 对施工过程产生的废水进行收集、处理和回用,排放水质应符合国家、地方和相关行业标准的排放要求;废水处理污泥应妥善处理、处置,属于危险废物的,则按危险废物相关规定进行管理。

6.4.3.6 充分利用现有建筑物和相关设施,减少原材料使用量,减少固废产生量;施工和运行过程中所产生的固体废物的处理应符合国家、地方和相关行业规定,一般固体废物,尽可能进行资源化利用,减少排放量;经鉴别属于危险废物的,则按危险废物相关规定进行管理。

6.4.3.7 施工和运行过程宜使用低噪声设备,设置噪声隔离措施,合理安排施工时间,噪声排放应符合国家、地方和相关行业标准。

6.4.3.8 疑似污染土壤暂存区、污染土壤的养护区、待验区,地面应硬化,四周设置挡水墙,并采取防扬尘、防冲刷、防渗滤措施。

6.4.3.9 按照修复方案中的环境监测计划,及时对修复效果进行跟踪监测;同时开展修复地块周边土壤、地表水、地下水、环境空气等的监测。

6.4.4 污染土壤异地修复

6.4.4.1 GB 34330 中规定要求属于固体废物的外运污染土壤(如填埋,焚烧,水泥窑协同处置,生产砖、瓦、筑路材料等其他建筑材料),应按固体废物相关法律法规和技术规范进行管理,在转运前应按照标准要求进行固体废物危险特性鉴别。如被鉴定为危险废物,则按危险废物相关规定进行管理。

6.4.4.2 污染土壤转运前应制定转运计划,将运输时间、方式、线路和污染土壤数量、去向、最终处置措施等提前报所在地和接收地的生态环境主管部门。

6.4.4.3 污染土壤使用车辆或驳船运输时,做好防异味、防渗漏、防撒漏等二次污染防治措施,可在土壤上层适量喷水降尘,并覆盖薄膜或苫布。污染土壤产生单位应建立污染土壤转运台账,记录土壤清运与运输日期、方量等信息。污染土壤运输过程中,严格执行联单制度(联单形式见附录 D)。

6.4.4.4 污染土壤接收单位应建立有效的环境管理制度,建立接收、处置污染土壤台账;按照相关标准规范要求,对污染土壤进行处理处置、风险管控、修复或再利用,严格落实二次污染防治,减少对周围环境的影响。如果污染土壤处理处置或利用的工艺、方式等发生重大变更,应报生态环境主管部门备案。

6.5 修复效果评估

6.5.1 通过综合分析地块修复工程实施过程中各介质检测结果后,若判断达到了修复目标,可开展修复效果评估。

6.5.2 修复效果评估总体上满足 HJ 25.5 和 HJ 25.6 的技术要求。

6.5.3 效果评估报告内容应包括修复工程概况、环境保护措施落实情况、效果评估布点与采样、检测结果分析、效果评估结论及后期环境监管建议等内容。

6.5.4 效果评估报告报生态环境主管部门备案;在地块移出建设用地土壤污染风险管控和修复名录前,修复地块禁止开工建设任何与修复无关的项目。

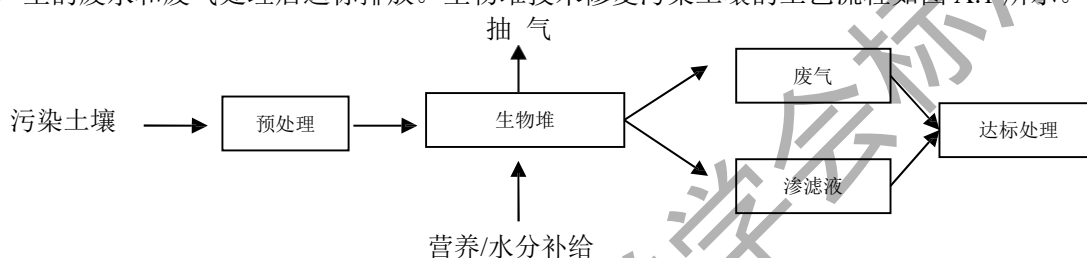
附录 A
(资料性)
常见污染地块修复技术/方法

A1 异位修复技术

A1.1 生物堆

A1.1.1 过程描述

拟修复土壤进行破碎、筛分、调理等预处理后将其堆置成生物堆，通过抽气、调配水分及营养等维持微生物生长所需环境，利用土壤中微生物降解污染物，最终把它们转化成水和二氧化碳。运行过程中，收集产生的废水和废气处理后达标排放。生物堆技术修复污染土壤的工艺流程如图 A.1 所示。



图A.1 生物堆修复污染土壤的工艺流程

A1.1.2 适用性

主要适用于石油烃类等易生物降解的有机污染物污染土壤；一般不适用于重金属、难降解有机污染物污染土壤。

A1.1.3 优点

二次污染风险小，处理费用较低，不破坏污染土壤的生态功能，污染土壤可二次利用。

A1.1.4 局限性

处理周期长，对存在重金属污染的复合污染土壤处理效果不佳；粘土类、高浓度污染土壤修复效果较差。

A1.2 化学还原/氧化

A1.2.1 过程描述

将污染土壤从原位开挖出来后在地块内指定修复设施内向污染土壤添加氧化剂或还原剂，通过氧化或还原作用，使土壤中的污染物转化为无毒或相对毒性较小的物质。

常见的氧化剂包括高锰酸盐、过氧化氢、芬顿试剂、过硫酸盐和臭氧。

异位化学还原/氧化技术修复污染土壤的工艺流程如图 A.2 所示。

A1.2.2 适用性

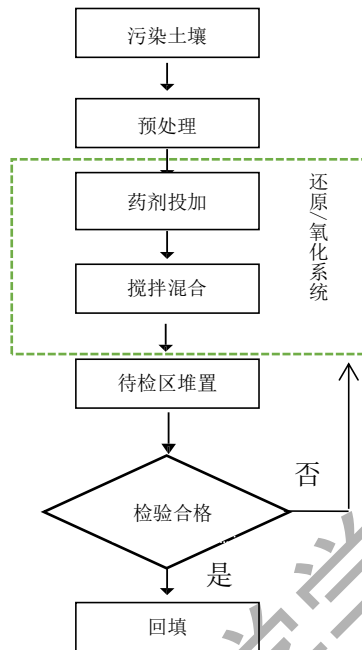
可处理的污染物类型有石油烃、苯系物（苯、甲苯、乙苯、二甲苯等）、酚类、甲基叔丁基醚、含氯有机溶剂、多环芳烃、农药等等，一般不适用于重金属（除六价铬外）污染的土壤修复。

A1.2.3 优点

技术成熟，国内应用较广泛；处理工艺简单；适用污染物范围较广。

A1.2.4 局限性

可能会产生有毒有害的中间产物；需关注药剂残留问题；药剂使用不当可能产生安全问题。



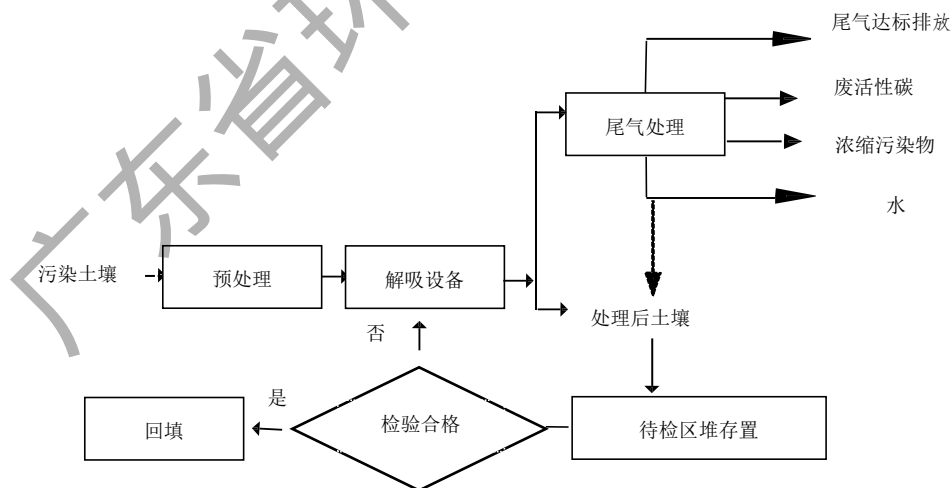
图A.2 异位化学还原/氧化技术修复污染土壤的工艺流程

A1.3 热脱附

A1.3.1 过程描述

将污染土壤输送至热脱附设备，采用热交换的方式，将污染土壤加热，利用热力增加污染物的挥发程度，从而把它从污染土壤中清除/分离的方法。

异位热处理技术修复污染土壤的工艺流程如图 A.3 所示。



图A.3 异位热脱附技术修复污染土壤的工艺流程

A1.3.2 适用性

可处理的污染物类型有石油烃、挥发性有机物、半挥发性有机物、多氯联苯、呋喃、杀虫剂等，但不适用于腐蚀性有机物、高活性氧化剂和还原剂含量较高的土壤，亦不适用于含有汞、砷、铅等复合污染土壤。

A1.3.3 优点

处理量大，修复效果好，修复效率高。

A1.3.4 局限性

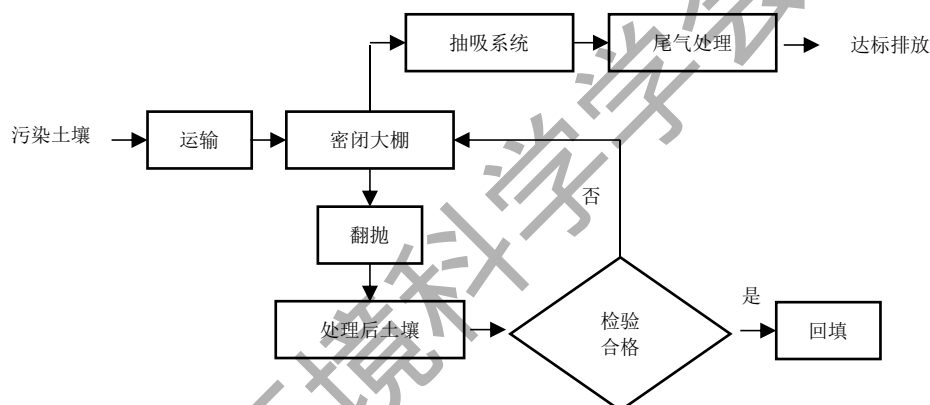
处理效率受土壤性质影响较大，对预处理要求较高；设备耐高温、耐磨损要求高，安装调试时间长，设备设施成本高，能耗高；对小体量污染土壤修复项目技术经济性较差；粘土含量高或含水率较大的土壤需进行预处理，增加处理费用。

A1.4 常温解吸

A1.4.1 过程描述

在密闭系统内，利用翻抛作业设备对堆放的污染土壤进行人为扰动和翻抛，通过增大污染土壤与空气的接触面积增加孔隙度，在良好的通透性条件下，利用抽气系统，使吸附于土壤中的污染物在浓度梯度的驱动下挥发进入土壤气，并被抽气系统收集处理，最终达到污染物减量化的目的。

异位常温解吸修复污染土壤的工艺流程如图 A.4 所示。



图A.4 异位常温解吸修复污染土壤的工艺流程

A1.4.2 适用性

适合处理低浓度、常温易挥发的有机污染物；不适用于常温不易挥发的有机物和重金属等。

A1.4.3 优点

工艺简单，成本较低，能耗低，对土壤理化性质破坏小。

A1.4.4 局限性

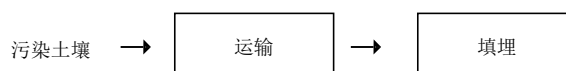
仅限于处理低浓度、常温易挥发的有机污染物；土壤水分含量对修复效率有影响。

A1.5 填埋

A1.5.1 过程描述

通过人工或机械手段，将污染土壤挖掘运到限定的区域内（山间、峡谷、平地 and 废矿坑内）进行填埋，使其发生物理、化学和生物学等变化，最终达到污染物减量化和无害化的目的。

填埋技术修复污染土壤的工艺流程如图 A.5 所示。



图A.5 填埋技术修复污染土壤的工艺流程

A1.5.2 适用性

可处理重金属、有机物及重金属有机物复合污染土壤，不宜用于污染物水溶性强或渗透率高的污染土壤，不适用于地质活动频繁和地下水水位较高的地区。

A1.5.3 优点

工艺简单，土壤治理修复周期较短。

A1.5.4 局限性

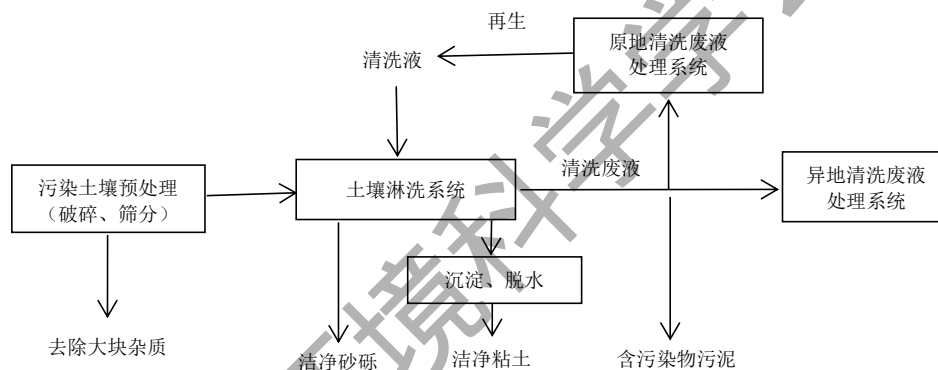
没有对污染物进行处理，潜在风险大等；占用土地资源，设施成本较高，不适用于较大地块。

A1.6 土壤淋洗

A1.6.1 过程描述

通过淋洗药剂/水对污染土壤进行洗涤，将附着在土壤颗粒表面的有机和无机污染物转移至水溶液中，从而达到洗涤和清洁污染土壤的目的。

土壤淋洗技术修复污染土壤的工艺流程如图 A.6 所示。



图A.6 土壤淋洗技术修复污染土壤的工艺流程

A1.6.2 适用性

主要适用于重金属和部分半挥发性有机物，不适用于含有挥发性有机物或废渣的土壤。

A1.6.3 优点

污染土壤减量化效果明显；可有效降低土壤中污染物总量。

A1.6.4 局限性

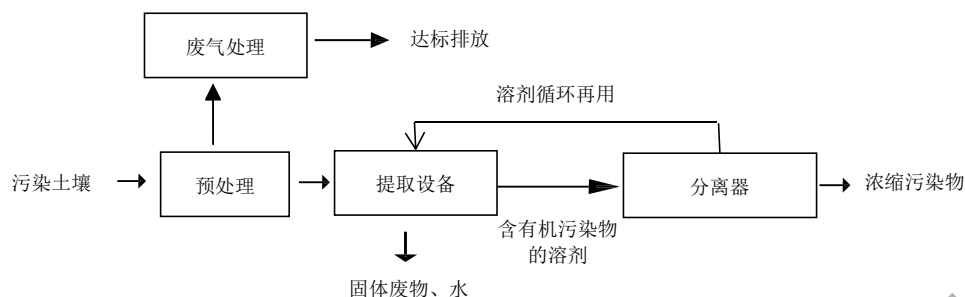
需配合其他技术处理洗脱后剩余的高污染土壤；需处理淋洗废水；对粘性土和有机质含高的土壤修复效果较差。

A1.7 土壤化学萃取

A1.7.1 过程描述

根据土壤溶液中某些物质在水和有机相间的分配比例不同，利用有机溶剂将土壤污染物选择性地转移到有机相进行物质分离或富集，从而达到分离和清洁污染土壤的目的。

土壤化学萃取技术修复污染土壤的工艺流程如图 A.7 所示。



图A.7 溶剂萃取技术修复污染土壤的工艺流程

A1.7.2 适用性

可处理的污染物类型有：挥发性有机物和半挥发性有机物、卤化或非卤化有机物、多环芳烃、多氯联苯、二噁英、呋喃、除草剂和农药、炸药等。不适合于氰化物、腐蚀性物质、石棉等，黏质土和泥炭土不适合于该技术。

A1.7.3 优点

溶剂萃取效率较高，可回收一部分价值高的污染物，工艺简单。

A1.7.4 局限性

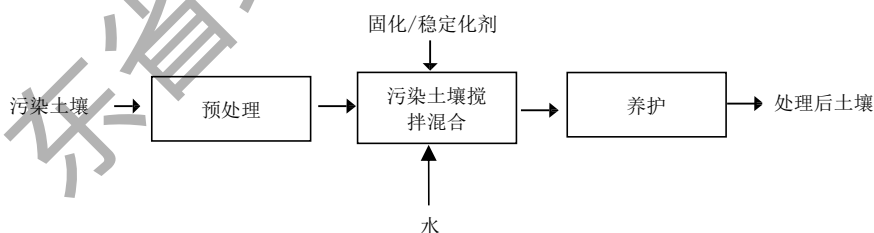
大部分有机溶剂具有一定的毒性，在实际的萃取操作过程中，通常大部分萃取设备的运行都要在密闭条件下进行；处理费用昂贵，对土壤有破坏性。

A1.8 固化/稳定化

A1.8.1 过程描述

通过加入固化/稳定化剂，限制土壤中污染物的溶解度或流动性，阻滞和减缓土壤中污染物的释放，进而达到环境和人体健康可接受的安全水平。即挖掘出受污染的土壤，用机器与固化/稳定化剂混合，再把固化或稳定化后的土壤放于指定地区。

固化/稳定化技术修复污染土壤的工艺流程如图 A.8 所示。



图A.8 异位固化/稳定化技术修复污染土壤的工艺流程

A1.8.2 适用性

主要适用于重金属及砷化合物等污染物，亦适用于石棉、部分氰化物和有机污染。一般不适用于单质汞、氰化物、挥发性有机物。

A1.8.3 优点

技术成熟、应用广泛、处理时间短。

A1.8.4 局限性

不降低污染物总量，不适用于以总量为验收标准的修复情形；一般需配合阻隔技术使用，并进行长期监控；需根据规划和地块用途协调落实阻隔回填区域，且未来存在被扰动的风险；对于地下基础复杂

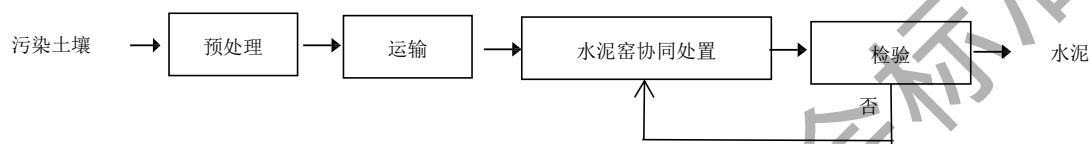
的地块，工程施工成本较高。

A1.9 水泥窑协同处置

A1.9.1 过程描述

是指在水泥生产过程中，将满足或经过预处理后满足入窑要求的污染土壤投入水泥窑，在进行水泥熟料生产的同时，焚烧固化处理污染土壤。有机污染土壤从窑尾烟气室进入水泥回转窑，在高温条件下，污染土壤中的有机污染物转化为无机化合物；重金属污染土壤从生料配料系统进入水泥窑，使重金属固定在水泥熟料中。水泥窑协同处置主要由土壤预处理系统、上料系统、水泥回转窑及配套系统、监测系统组成。

水泥窑协同处置技术修复污染土壤的工艺流程如图 A.9 所示。



图A.9 水泥窑协同处置技术修复污染土壤的工艺流程

A1.9.2 适用性

主要适用于半挥发性有机物（如石油烃、农药、多环芳烃、多氯联苯等）、重金属和无机物等。

A1.9.3 优点

技术成熟，适用范围较广。

A1.9.4 局限性

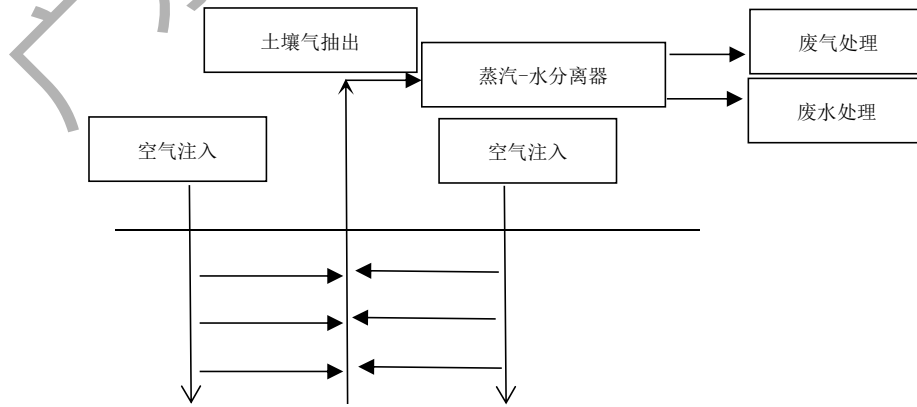
耗能较大。不宜用于汞、砷、铅等重金属污染较重的土壤；由于水泥生产对进料中氯、硫等的含量有限值要求，在使用该技术时需慎重确定污染土的添加量。

A2 原位修复技术

A2.1 空气吹脱

A2.1.1 过程描述

通过压力将空气注入受污染的地下饱和含水层，使其中的溶解性气体和易挥发的有机污染物的状态转变为气相（挥发）进入包气带（非饱和带）中，抽出土壤气体进行处理，从而达到整治地下水污染的目的。空气吹脱技术修复污染土壤/地下水的工艺流程如图 A.10 所示。



图A.10 空气吹脱/土壤气抽提技术修复污染土壤的工艺流程

A2.1.2 适用性

适用于挥发性有机物和燃油（汽油）污染的土壤，以及饱和区的易挥发、易流动的污染物。对于渗透性低的土壤、有机碳含量高的污染土壤的修复效果较差。一般不适用于重金属和难降解有机物。

A2.1.3 优点

设备简单，易于安装操作；对现场环境破坏小；易于和其他修复技术联合使用；可以在建筑物等下面操作，而不破坏地上建筑物。

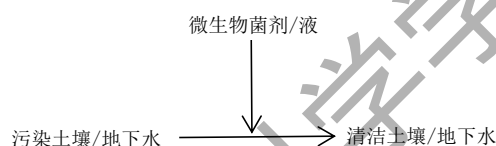
A2.1.4 局限性

对低渗透性土壤和非均质介质的效果不确定；对抽出的污染气体需进行后续处理。

A2.2 生物强化

A2.2.1 过程描述

指向污染土壤中添加高效降解菌剂/微生物菌剂、专用菌剂等提高土壤中污染物的分解与去除作用，使污染物的浓度降低到可接受的水平，从而清除土壤和地下水中的污染物，或是使污染物无害化的过程。生物修复技术修复污染土壤/地下水的工艺流程如图 A.11 所示。



图A.11 生物修复技术修复污染土壤/地下水的工艺流程

A2.2.2 适用性

可处理的污染物类型有挥发性有机物、易于生物降解的有机物和重金属，但不适用于低渗透性土壤，部分地下水环境不适宜微生物生长。

A2.2.3 优点

对能量的消耗较低，可以修复面积较大的污染地块；操作简便、费用低、效果好。

A2.2.4 局限性

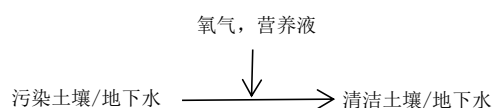
受多种因素的影响，且对土壤中的营养等条件要求较高；高浓度污染物可能对微生物有毒；特定微生物只降解特定污染物。

A2.3 生物刺激

A2.3.1 过程描述

指向污染土壤或地下水中注入空气和加入营养，提高土壤或地下水中微生物吸收、降解、转化污染物的能力，使污染物的浓度降低到可接受的水平，或将有毒有害的污染物转化为无毒无害的物质。

生物修复技术修复污染土壤/地下水的工艺流程如图 A.12 所示。



图A.12 生物修复技术修复污染土壤/地下水的工艺流程

A2.3.2 适用性

可处理的污染物类型有挥发性有机物、易于生物降解的有机物和重金属，但不适用于低渗透性土壤，部分地下水环境不适宜微生物生长。

A2.3.3 优点

对能量的消耗较低，可以修复面积较大的污染地块；操作简便、费用低、效果好。

A2.3.4 局限性

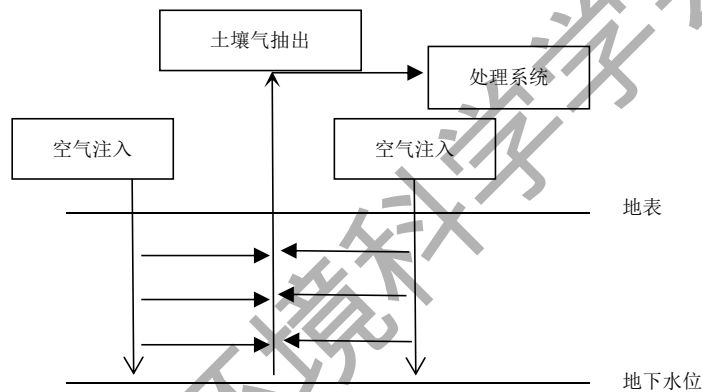
受多种因素的影响，且对土壤中的营养等条件要求较高；特定微生物只降解特定污染物。

A2.4 生物通风

A2.4.1 过程描述

此方法是向污染土壤中提供低流速的空气，土壤中的氧气浓度增加，促进好氧微生物的活性，从而提高土壤中污染物的降解效果，并减少挥发性有机物质挥发进大气中。

生物通风技术修复污染土壤的工艺流程如图 A.13 所示。



图A.13 空气吹脱/土壤气抽提技术修复污染土壤的工艺流程

A2.4.2 适用性

主要适用于挥发性有机物及半挥发性有机物，一般不适用于重金属和难降解有机物。

A2.4.3 优点

修复成本低、二次污染风险小，无需进行开挖。

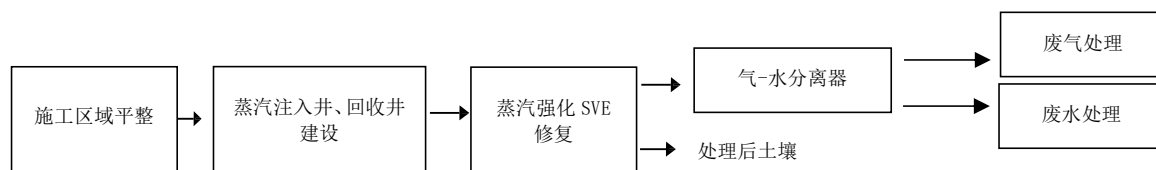
A2.4.4 局限性

处理周期长，受多种因素的影响，包括土壤湿度；透气度低的土壤的修复效果较差。

A2.5 热脱附

A2.5.1 过程描述

向地下输入热能，加热提高污染区域的温度，改变污染物的物化性质（蒸汽压及溶解度增加，粘度、表面张力、亨利系数及土水分配系数减小），促进污染物挥发或溶解，增加气相中污染物的浓度，提高气相抽提效率，实现对目标污染物的去除。热处理技术修复污染土壤/地下水的工艺流程如图 A.14 所示。



图A.14 热处理技术修复污染土壤的工艺流程

A2.5.2 适用性

主要适用于石油烃、挥发性有机物及半挥发性有机物、多氯联苯、呋喃、杀虫剂等。不适用于腐蚀性有机物、高活性氧化剂和还原剂含量较高的土壤；一般不适用于含有汞、砷、铅等的复合污染土壤。

A2.5.3 优点

无需开挖，适合无法实施开挖工程的地块或污染深度较大的地块；大多数污染物在地下环境就被降解，只有一小部分被抽出，而可有效避免二次污染。

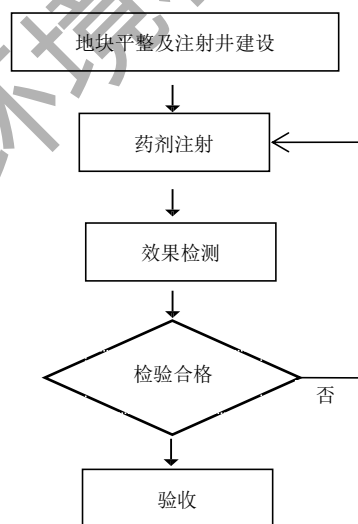
A2.5.4 局限性

修复周期长、成本较高、工艺复杂、运行维护要求较高；修复效果不确定性相对较大，可能出现局部污染区域修复不彻底的问题；粘土含量高或含水率较大的土壤处理效果较差。

A2.6 化学还原氧化技术

A2.6.1 过程描述

向待修复的污染土壤或含水层中注入强氧化剂，使氧化药剂同污染介质充分接触，与有机污染物发生氧化还原反应，使污染物氧化生成无毒或低毒的降解产物，达到修复有机污染土壤和地下水的目的。原位化学还原/氧化技术修复污染土壤的工艺流程如图 A.15 所示。



图A.15 原位化学还原/氧化技术修复污染土壤的工艺流程

A2.6.2 适用性

主要适用于石油烃、苯系物（苯、甲苯、乙苯、二甲苯等）、酚类、甲基叔丁基醚、含氯有机溶剂等污染物。一般不适用于重金属污染土壤。

A2.6.3 优点

避免了开挖或抽取等附加工程，显著降低修复费用。反应周期短（几个星期到几个月）、工程量相

对较少，通常在处理严重污染地块及地下水方面有成本效益优势，修复过程中不会产生二次污染，且可同时修复受污染的土壤和地下水。

A2.6.4 局限性

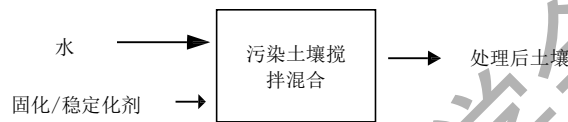
需要对地块水文地质条件、污染范围和程度比较明确；修复效果不确定性相对较大，可能出现污染“反弹”和局部污染区域修复不彻底的问题；可能会产生有毒有害的中间产物；需关注药剂残留问题；对于粘性土壤为主的污染地块，修复效果较差；药剂使用不当可能产生安全问题。

A2.7 固化/稳定化

A2.7.1 过程描述

把固化/稳定化剂注入受污染土壤中，限制土壤中污染物的溶解度或流动性，阻滞和减缓土壤中污染物的释放，进而达到环境和人体健康可接受的安全水平。

固化/稳定化技术修复污染土壤的工艺流程如图 A.16 所示。



图A.16 原位固化/稳定化技术修复污染土壤的工艺流程

A2.7.2 适用性

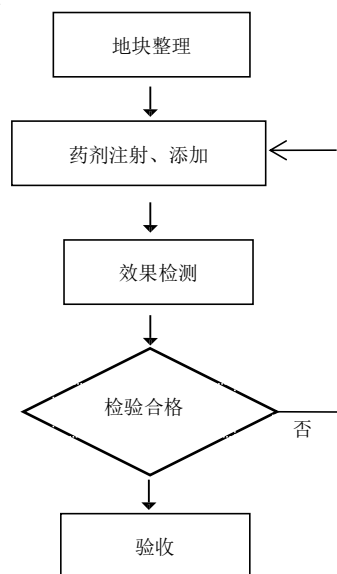
主要适用于重金属及砷化合物等污染物，有时也用于石棉、氰化物及部分有机污染物。一般不适用于单质汞、氰化物、挥发性有机物。

A2.7.3 优点

技术成熟、应用广泛、处理时间短、费用低，无需进行开挖。

A2.7.4 局限性

不降低污染物总量；一般需配合阻隔技术使用，并进行长期监控；修复效果存在一定不确定性；未来存在被扰动的风险，不适用于未来将要开挖或其它扰动的情形。



图A.17 原位纳米修复污染土壤/地下水的工艺流程

A2.8 纳米修复

A2.8.1 过程描述

把纳米材料添加/注入受污染土壤、地下水中，通过纳米材料促进生物和非生物降解，或限制土壤中污染物的流动性、阻滞和减缓土壤中污染物的释放，进而达到环境和人体健康可接受的安全水平。

原位纳米修复污染土壤/地下水的工艺流程如图 A.17 所示。

A2.8.2 适用性

主要适用于挥发性有机物、DNAPLs、石油烃、PCBs、农药、Cr(VI)。

A2.8.3 优点

可能有较好的修复效果，处理时间短，无需进行开挖。

A2.8.4 局限性

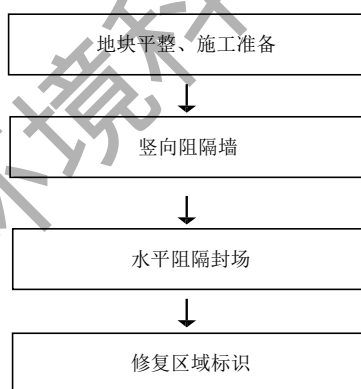
纳米材料在环境中的物理和化学性质不稳定，容易造成凝聚、堵塞，影响修复效果。

A2.9 阻隔技术

A2.9.1 过程描述

采用如添加覆盖物、修建垂直或水平屏障等措施，阻止气体、液体或污染土壤颗粒向周围迁移扩散，阻断土壤污染物暴露途径，消除土壤污染风险。

原位阻隔技术修复污染土壤/地下水的工艺流程如图 A.18 所示。



图A.18 原位阻隔修复污染土壤/地下水的工艺流程

A2.9.2 适用性

主要适用于重金属、有机污染物。用于腐蚀性、挥发性较强的污染物时，环境风险相对较大；适用于地下水埋深较浅的含水层。对于后续开发中有开挖需求或后续对土壤有其他用途需求的污染区域不适用。

A2.9.3 优点

技术成熟、应用广泛、成本较低、实施周期短。

A2.9.4 局限性

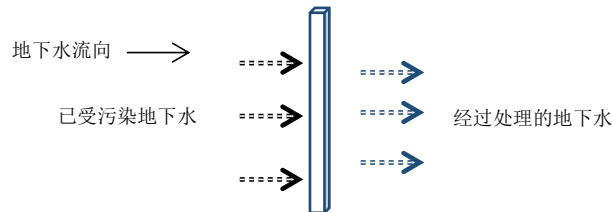
污染物未彻底消除，有潜在渗漏及移动风险，不能排除将来仍需加以处理的可能性；阻隔占用区域将对地块开发利用产生影响。

A2.10 可渗透反应墙

A2.10.1 过程描述

在受污染地下水流经的方向建造由反应介质组成的反应墙，当污染的地下水渗流通过时，污染物与介质发生吸附、沉淀、化学降解或生物降解等作用而被去除。

可渗透反应墙技术修复污染地下水的工艺流程如图 A.19 所示。



图A.19 可渗透反应墙技术修复污染地下水的工艺流程

A2.10.2 适用性

适用于石油烃、氯代烃和重金属，适用于相对较浅的、渗透性较好的含水层。

A2.10.3 优点

技术成熟，构建造简单，对环境影响较小。

A2.10.4 局限性

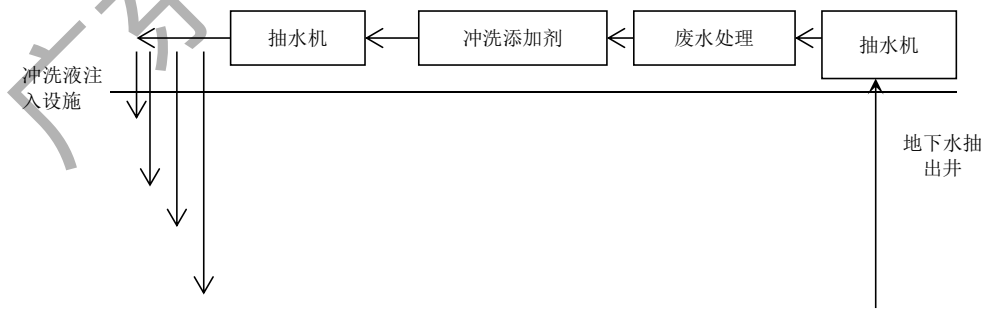
填料需要适时更换；需要对地下水的 pH 等进行控制；易受水文地质情况的季节性变化影响；修复时间可能较长。

A2.11 土壤冲洗

A2.11.1 过程描述

采用注入井、浅层渗沟或地表喷淋装置等方式，将可促进土壤污染物溶解或迁移的化学溶剂（溶液）原位注入受污染土壤中，从而将污染物从土壤中溶解、分离出来，将含有这些污染物的地下水抽出进行处理，最终实现污染土壤的修复。

土壤冲洗修复技术修复污染土壤的工艺流程如图 A.20 所示。



图A.20 土壤冲洗修复技术修复污染土壤的工艺流程图

A2.11.2 适用性

可修复重金属和有机污染土壤；粘土中污染物较难清洗。

A2.11.3 优点

无需进行挖掘、运输，适用于包气带和饱和带多种污染物去除，适用于组合工艺中。

A2.11.4 局限性

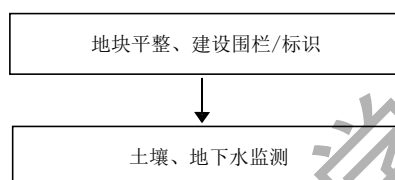
可能会污染地下水；去除效果受制于地块地质情况等。

A2.12 监控自然衰减

A2.12.1 过程描述

通过实施有计划的监控策略，在无人为干扰下，利用污染区域自然发生的物理、化学和生物学过程，如吸附、挥发、稀释、扩散、化学反应、生物降解、生物固定和生物分解等，降低污染物的浓度、数量、体积、毒性和移动性，使得土壤和地下水中污染物的暴露风险控制到可接受水平。

监控自然衰减修复技术修复污染土壤/地下水的工艺流程如图 A.21 所示。



图A.21 原位纳米修复污染土壤/地下水的工艺流程

A2.12.2 适用性

可处理的污染物类型：碳氢化合物(如 BTEX(苯、甲苯、乙苯、二甲苯)、石油烃、多环芳烃、MTBE(甲基叔丁基醚))、氯代烃、硝基芳香烃、重金属类、非金属类(砷)、含氧阴离子等。适用于污染程度较低、污染物自然衰减能力较强的孔隙、裂隙和岩溶含水层。不适用于低渗透性土壤。

A2.12.3 优点

费用低，对环境影响较小。

A2.12.4 局限性

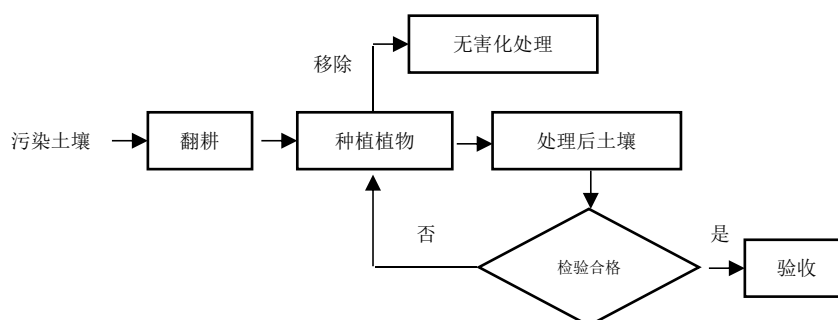
时间较长，需要数年或更长时间。

A2.13 植物修复技术

A2.13.1 过程描述

种植特定植物，通过植物吸收、分解、络合、沉淀等方式，将土壤中的污染物提取、钝化或分解，从而达到降低土壤中污染物的含量或降低其生物有效性及迁移性的目的。

植物修复技术修复污染土壤的工艺流程如图 A.22 所示。



图A.22 植物修复污染土壤的工艺流程

A2.13.2 适用性

可处理的污染物类型：重金属类、非金属类(砷、硒)、含氧阴离子等；适用于污染程度较低、污染主要在表层的土壤。

A2.13.3 优点

费用低，操作简单，对土壤理化性质影响较小。

A2.13.4 局限性

修复时间较长，需要数年或更长时间；只能修复表层土壤；收获后的植物需要进行安全处理处置。

广东省环境科学学会标准

附录 B
(资料性)
修复方案编制大纲

B.1 总论

- B.1.1 项目背景
- B.1.2 编制依据
- B.1.3 编制原则
- B.1.4 编制内容
- B.1.5 编制技术路线

B.2 地块概况

- B.2.1 区域概况
- B.2.2 地块环境特征
- B.2.3 地块生产历史
- B.2.4 地块现状
- B.2.5 地块周边条件（地块周边土地使用情况、地块周边企业、周边环境敏感点）
- B.2.6 地块未来规划

B.3 地块污染现状及风险评估结论

- B.3.1 地块污染现状
- B.3.2 地块风险评估结论

B.4 地块修复目标

- B.4.1 地块条件
- B.4.2 地块概念模型
- B.4.3 修复目标

B.5 地块修复技术

- B.5.1 修复策略
- B.5.2 修复技术筛选与集成
- B.5.3 修复技术可行性评估

B.6 修复方案设计

- B.6.1 修复技术路线
- B.6.2 修复技术工艺参数
- B.6.3 修复工程量
- B.6.4 修复工程布局与运行

B.7 环境管理计划

- B.7.1 二次污染防治方案
- B.7.2 环境监测计划
- B.7.3 环境应急计划

B.8 结论与建议

附 录 C
(资料性)
污染土壤转移联单 (样表)

表 C.1 污染土壤风险管控和修复转移联单 (样表)

记录表编号:

填表日期:

第一部分: 污染土壤产生单位填写				
产生单位				(盖章)
土壤起运地址				
外运目的地				
转运数量 (t 或 m ³)				
污染类型	<input type="checkbox"/> 重金属及无机类污染 <input type="checkbox"/> 有机污染 <input type="checkbox"/> 复合污染 <input type="checkbox"/> 其他			
包装方式				
发运日期	年	月	日	时
经办人	(签字)	联系电话		
第二部分: 污染土壤运输单位填写				
运输单位				(盖章)
车型/船型		牌号		
运输证号		承运数量 (t 或 m ³)		
运抵日期	年	月	日	时
经办人	(签字)	联系电话		
第三部分: 污染土壤接收单位填写				
接收单位				(盖章)
土壤接收地址				
接收数量 (t 或 m ³)				
接收时的包装方式				
接收日期	年	月	日	时
经办人	(签字)	联系电话		
<p>注 1: 污染土壤产生单位每转移一车污染土壤, 应当填写一份联单。</p> <p>注 2: 联单跟随转运流程, 由污染土壤产生单位、运输单位、接收单位依次填写在同一张表格上盖章 (公章、业务专用章或项目专用章)、签字确认。</p> <p>注 3: 联单一式 3 份, 污染土壤产生单位、运输单位、接收单位各保留 1 份。</p> <p>注 4: 记录表编号一般由 4 位数字组成, 宜按土壤出场顺序编号。</p>				

参 考 文 献

- [1] GB 3095 环境空气质量标准
- [2] GB 3838 地表水环境质量标准
- [3] GB 8978 污水综合排放标准
- [4] GB 9078 工业炉窑大气污染物排放标准
- [5] GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准
- [6] GB 14554 恶臭污染物排放标准
- [7] GB/T 14848 地下水质量标准
- [8] GB 16297 大气污染物综合排放标准
- [9] GB 18597 危险废物贮存污染控制标准
- [10] GB 18599 一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准
- [11] GB 30485 水泥窑协同处置固体废物污染控制标准
- [12] GB 37822 挥发性有机物无组织排放控制标准
- [13] GBZ 2.1 工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素
- [14] HJ/T 299 固体废物浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法
- [15] HJ/T 300 固体废物浸出毒性浸出方法 醋酸缓冲溶液法
- [16] HJ 662 水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范
- [17] HJ 2035 固体废物处理处置工程技术导则
- [18] HJ 2042 危险废物处置工程技术导则
- [19] JG/T 111 建筑与市政工程地下水控制技术规范
- [20] DB44/26 水污染物排放限值
- [21] DB44/27 大气污染物排放限值
- [22] DB4401/T 102.2 建设用地土壤污染防治 第2部分：污染修复方案编制技术规范
- [23] 《广东省建设用地土壤污染修复工程环境监理技术指南（试行）》（粤环办〔2020〕75号）
- [24] 《按風險釐定的土地污染整治標準的使用指引》
- [25] 《受污染土地勘察及整治實務指南》
- [26] 《受污染土地的評估和整治指引》
- [27] 《化學廢物管制計劃指南》
- [28] 《化學廢物產生者登記指引》
- [29] 《水污染管制條例指南》
- [30] 《許可證制度的守則》
- [31] 《澳門環境質量標準—商住用地、工業用地和公園綠地之土壤管控標準（試行）》
- [32] 《土地污染評估指引（2019年版）》

团 体 标 准

T/GDSES 9.6—2023

污染地块安全利用保障技术 第 6 部分：修复后地块再开发利用土壤环境状 况调查技术规范

Guarantee technologies for contaminated site safe
utilization
Part 6: Technical guidelines for investigation on soil
environment of post-remediation site for redevelopment
and reuse

2023 - 11 - 17 发布

2023 - 11 - 17 实施

广东省环境科学学会标准

目 次

前言	II
引言	III
1 适用范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本原则和工作程序	2
5 空置期土壤环境状况调查	4
6 再开发建设期土壤环境状况调查	8
7 长期利用期土壤环境状况调查	10
8 报告编制	12

广东省环境科学学会标准

前 言

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

《污染地块安全利用保障技术》系列标准围绕污染地块安全利用保障技术的不同方面提出了技术要求。本文件为第6部分，规定了修复后地块再开发利用土壤环境状况调查的技术要求。

《污染地块安全利用保障技术》系列七项标准已经发布以下部分：

- 第1部分：地块土壤和地下水中污染物安全阈值
- 第2部分：污染地块安全等级划分技术指南
- 第3部分：污染地块安全利用划分标准
- 第4部分：复合污染地块高效绿色修复技术集成指南
- 第5部分：复合污染地块修复技术应用指南
- 第6部分：修复后地块再开发利用土壤环境状况调查技术规范
- 第7部分：修复后地块再开发利用风险评估技术规范

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由广东省环境科学学会提出并归口。

本文件起草单位：生态环境部环境规划院、生态环境部华南环境科学研究所、生态环境部土壤与农业农村生态环境监管技术中心、上海大学、清华大学、广州市环境保护科学研究院有限公司、中科鼎实环境工程有限公司、北京科技大学、香港科技大学、澳门科技大学、广东省环境科学学会。

本文件主要起草人：邹权、吴明红、刘晓文、王夏晖、侯德义、劳敏慈、黄海、任明忠、段小丽、孟玲珑、唐量、章生卫、杨勇、李瑛、王赫婧、刘振升、熊淑婷、陈景豪、付建平、赵璐、聂珊珊、张雷一、黄楚姗、张思奇、刘瑞平、张漫雯、陈桂红、郑迪、许佳炫。

本文件首次制定。

引 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国土壤污染防治法》，推动落实《粤港澳大湾区规划纲要》，推进生态文明建设，保护生态环境，保障公众健康，指导污染地块风险管控和修复，引导建设用地修复产业的良性发展，制定本文件。

《污染地块安全利用保障技术》系列标准围绕污染地块安全利用保障技术的不同方面提出了技术要求，由七个部分构成：

- 第1部分：地块土壤和地下水中污染物安全阈值。规定了地块土壤和地下水中污染物安全阈值；
- 第2部分：污染地块安全等级划分技术指南。规定了污染地块安全等级划分的技术要求，可用于评估污染地块的安全等级；
- 第3部分：污染地块安全利用划分标准。规定了污染地块安全利用划分标准，用于指导污染地块修复实现安全利用；
- 第4部分：复合污染地块高效绿色修复技术集成指南。规定了复合污染地块高效绿色修复技术集成的技术要求；
- 第5部分：复合污染地块修复技术应用指南。规定了复合污染地块修复方案编制和修复工程建设、运行与效果评估的技术要求；
- 第6部分：修复后地块再开发利用土壤环境状况调查技术规范。规定了修复后地块再开发利用土壤环境状况调查的技术要求；
- 第7部分：修复后地块再开发利用风险评估技术规范。规定了修复后地块再开发利用风险评估的技术要求。

广东省环境科学学会标准

修复后地块再开发利用土壤环境状况调查技术规范

1 范围

本文件规定了修复后地块再开发利用为建设用地的土壤环境状况调查的基本原则、工作程序和技术要求。

本文件主要适用于粤港澳大湾区修复后地块空置期、再开发建设期与长期利用期地块的土壤环境状况调查，为修复后地块再开发利用环境管理提供依据。

本文件不适用于放射性物质污染和致病性生物污染的修复后地块调查。

2 规范性引用文件

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

- HJ 25.1 建设用地土壤污染状况调查技术导则
- HJ 25.2 建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则
- HJ 164 地下水环境监测技术规范
- HJ/T 166 土壤环境监测技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

修复后地块 post-remediation site

指完成土壤污染修复或风险管控效果评估，并移出建设用地土壤污染风险管控和修复名录，拟进行再开发利用的地块。

3.2

空置期 vacant stage

指修复后地块还未进行开发建设和利用，处于闲置状态的存续阶段。

3.3

再开发建设期 re-develop stage

指修复后地块按照规划开展相关工程建设，具有工程建设活动的存续阶段。

3.4

长期利用期 re-use stage

指修复后地块按照相关规划要求完成工程建设，在各特定土地利用方式下的存续阶段。

3.5

土壤环境状况调查 investigation on soil environment status

采用针对性调查方法，确定修复后地块土壤与地下水是否存在潜在污染，或存在污染的程度和范围的过程。

[来源：HJ 25.1—2019，3.1，有修改]

3.6

敏感目标 potential sensitive targets

指修复后地块周围可能受污染物影响的居民区、学校、医院、饮用水源保护区以及重要公共场所等。

[来源：HJ 25.1—2019，3.2，有修改]

4 基本原则和工作程序

4.1 基本原则

4.1.1 必要性原则

修复后地块后期管理、再开发建设、长期利用、地块周边环境变化等情况可能对修复和风险管控效果造成不利影响或引入新污染物，导致潜在污染产生；或者已经出现明显污染痕迹、人员健康状况异常等事件，有必要进一步明确地块环境状况。

4.1.2 针对性原则

针对修复后地块存在较高潜在风险的污染物，空置期周边环境变化可能引入的污染物，以及再开发建设期与长期利用期可能二次释放的污染物等关注污染物，开展关注污染物的种类、浓度和空间分布的状况调查。

4.1.3 规范性原则

采用程序化和系统化方式，规范修复后地块土壤环境状况调查过程，保障调查过程的科学性和客观性。

4.1.4 可行性原则

综合考虑调查方法、时间与经费等因素，结合当前科技发展和专业技术水平，以及修复后地块所处空置期、再开发建设期或长期利用期的客观限制条件，确保调查过程切实可行。

4.2 工作程序

修复后地块再开发利用土壤环境状况调查分为三个阶段，调查的工作程序如图 1 所示。

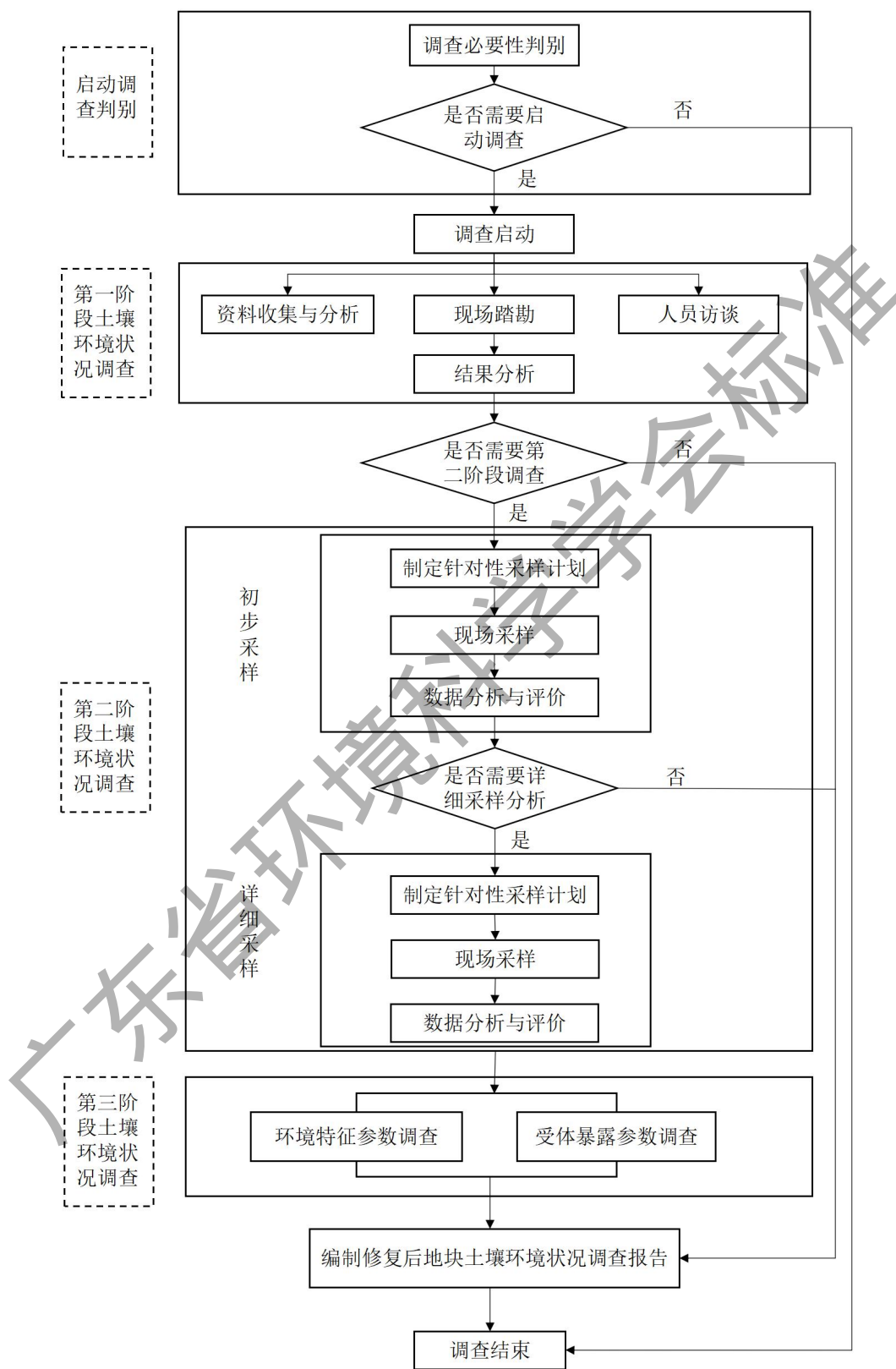


图 1 修复后地块再开发利用土壤环境状况调查工作内容与程序

4.3 调查必要性判别

修复后或风险管控地块满足以下调查必要性判别条件之一，应开展修复后地块再开发利用土壤环境状况调查。

4.3.1 处于空置期的修复后地块，启动调查的判别条件包括但不限于：

- a) 完成修复效果评估验收，并移除建设用地土壤污染风险管控和修复名录后，空置时间超过 5 年的；
- b) 地块及周边环境变化，包括地块内或相邻地块利用方式发生变化、存在较大的人为活动等，可能引入新的污染源进入地块，对人群健康造成不利影响的。

4.3.2 处于再开发建设期的修复后地块，启动调查的判别条件包括但不限于：

- a) 建设施工人员及地块其他暴露人群发生地块现场中毒事件；
- b) 施工建设活动对地块风险管控措施造成破坏或直接构成不利影响的。

4.3.3 处于长期利用期的修复后地块，启动调查的判别条件包括但不限于：

- a) 地块利用功能发生变更，并且可能产生不利影响的；
- b) 地块内居民发生群体性不明原因疾病。

4.3.4 修复后地块各时期或风险管控地块存在以下情况的：

- a) 土壤或地下水长期监测数据显示一种或多种污染物浓度反弹超出相应修复目标值；
- b) 土壤或地下水出现明显异味、明显污染痕迹或颜色异常；
- c) 地块规划利用方式发生变化，并且可能带来不利影响的；
- d) 生态环境管理部门判定需要开展调查的其他情形。

满足以上调查必要性判别条件之一的，则进入第一阶段调查。

4.4 第一阶段资料收集阶段

第一阶段主要以资料收集、现场踏勘和人员访谈为主，并结合前期调查、风险评估、修复或风险管控实施、效果评估等资料情况，识别修复后地块所处阶段，关注区域、关注污染物、可能二次释放的污染物等。本阶段原则上不进行现场采样分析。

4.5 第二阶段针对性调查阶段

根据第一阶段土壤环境状况调查结果，判断是否启动第二阶段针对性调查阶段。本阶段主要依据修复后地块所处阶段，以采样与分析为主，开展针对性调查和结果分析。第二阶段针对性调查阶段可分为初步采样和详细采样两个阶段，其中初步采样阶段工作要求按照本规范相关要求执行，详细采样阶段工作要求按照HJ 25.1执行，并根据情况适当加密布点采样。

4.6 第三阶段获取地块特征参数阶段

通过资料查询、现场实测和实验室测试分析等方法，获得满足风险评估所需的参数。土壤和地下水性质参数优先根据第二阶段调查获得；通过有效性对比分析的，可利用原修复前地块实测参数。

5 空置期土壤环境状况调查

5.1 第一阶段土壤环境状况调查工作

5.1.1 资料收集

主要包括：地块修复过程中的相关记录和资料、地块利用变迁资料、地块目前的环境资料、地块周边区域利用变迁资料。

- a) 地块修复过程中的相关记录和资料包括：地块原调查报告、风险评估报告、修复方案、修复监理方案、施工组织设计资料、施工总结报告、环境监理报告、效果评估报告等。

- b) 地块利用变迁资料包括：修复后地块的土地使用和规划资料，修复后土壤的利用方式等。
- c) 地块目前的环境资料包括：修复后地块与自然保护区和水源地保护区等敏感点的位置关系，地块概念模型、长期监测数据资料，由政府机关和权威机构所保存和发布的环境资料，以及地块所在区域的自然和社会信息、地块及所在区域相关政府文件等。
- d) 地块周边区域利用变迁资料：相邻地块的开发及活动状况的航片或卫星图片、周边工业类型，以及其他有助于判断修复后地块是否新引入污染的资料。

5.1.2 资料分析

分析早期地块土壤污染状况调查评估、修复或风险管控实施、效果评估、制度控制与长期监测等情况，判别修复后地块是否存在潜在污染风险。

根据专业知识和经验初步判断空置期地块及周边环境变化可能引入新的污染源和其存在区域，同时识别资料中的错误和不合理的信息，如资料缺失影响判断修复后地块污染状况时，应在报告中说明。

根据上述资料信息确定现场踏勘的范围和重点。

5.1.3 现场踏勘

5.1.3.1 安全防护准备

在现场踏勘前，根据修复后地块的具体情况掌握相应的安全防护知识，并装备必要的防护用品。

5.1.3.2 踏勘范围

以修复后地块或再开发区域为主，并综合资料分析结果和现场实际情况来确定踏勘范围，必要时可扩展到地块周边区域。

5.1.3.3 现场踏勘的主要内容

- a) 现场踏勘的主要内容包括：修复后地块的现状与历史情况，周边区域的现状与历史情况，地块的地质、水文地质和地形的描述等；
- b) 修复后地块的现状：地块目前的使用情况、水文地质情况，地块内原有监测和风险管控设施运行的情况；
- c) 周边区域的现状：周边区域的土地利用情况和类型，地块修复后周边地块利用类型是否发生改变；周围区域的敏感点，如学校、养老院、儿童公园等；周边重点行业，如化工厂、冶炼厂等是否存在潜在泄露导致潜在污染；
- d) 地质、水文地质和地形的描述：因前期修复活动可能导致地块水文地质情况发生显著变化，应进一步对地块内地质、水文地质与地形进行观察、记录，并加以分析，更新地块概念模型。

5.1.3.4 现场踏勘的重点

重点踏勘对象包括但不限于：前期修复过程中污染物浓度超高（效果评估监测值达到修复目标值的95%及以上）、可能导致二次污染的区域、敏感用地、效果评估重点区域、修复后污染土壤回填区、其他风险管控区、满足调查启动条件的重点区域及受影响区域等。

5.1.3.5 现场踏勘的方法

可通过对异常气味的辨识、摄影和照相、录音、现场笔记等方式初步判断修复后地块污染的状况。踏勘期间，可以使用现场快速测定仪器。

5.1.4 人员访谈

5.1.4.1 访谈内容

应包括资料收集和现场踏勘所涉及的疑问，以及信息补充和已有资料的考证。

5.1.4.2 访谈对象

受访者为修复后地块现状或历史的知情人，包括但不限于：地块管理机构和地方政府的官员，生态环境主管部门的官员，地块污染修复过程中相关的工作人员和评审专家，地块所在地或熟悉地块的第三方，如地块日常管理人员、相邻地块的工作人员和附近的居民等。

5.1.4.3 访谈方法

应采取书面调查表的形式，同时可采取当面交流、电话交流、电子邮件等方式进行。

5.1.4.4 内容整理

应对访谈内容进行整理，并对照已有资料，对其中可疑处和不完善处进行核实和补充，作为调查报告的附件。

5.1.5 结论与分析

本阶段调查结论应明确修复后地块内污染物存续状态是否改变，或是否受到周边环境的影响，并进行不确定性分析。

若无可能的污染源，则调查活动结束，无需开展第二阶段土壤环境状况针对性调查工作。若有可能的污染源，应说明可能的污染类型、污染状况和来源，识别出重点污染区域，提出第二阶段土壤环境状况针对性调查的建议。

重点污染区域识别应关注修复后污染土的回填区域，效果评估重点区域，长期监测区域，经资料分析可能存在污染的区域、修复后污染物浓度接近修复目标值区域、可能产生二次污染的区域等。

5.2 第二阶段土壤环境状况针对性调查工作

5.2.1 初步采样分析工作计划

根据第一阶段土壤环境状况调查的情况制定初步采样分析工作计划，内容包括核查已有信息、判断污染物的可能分布、制定采样方案、制定样品分析方案等任务。

5.2.1.1 核查已有信息

对已有信息进行核查，包括第一阶段土壤环境状况调查中重要的环境信息，如土壤类型和地下水埋深；查阅污染物在土壤、地下水、地表水或地块周围环境的可能分布和迁移信息；应核查上述信息的来源，以确保其真实性和适用性。

5.2.1.2 判断污染物的可能分布

根据地块的具体情况、地块内外的污染源分布、水文地质条件以及污染物的迁移和转化等因素，判断地块内污染物在土壤和地下水中的可能分布，为制定采样方案提供依据。

5.2.1.3 制定采样方案

根据第一阶段调查结果，结合污染地块开发情况，制定针对性的采样方案。

5.2.1.4 制定样品分析方案

根据第一阶段调查结果，制定样品分析方案。样品分析项目以修复后地块内关注污染物为主。

5.2.2 土壤采样要求

5.2.2.1 采样点位置与数量

根据第一阶段土壤环境状况调查分析的结果有针对性地确定布点区域。

地块识别的重点区域原则上不少于2个，存在特殊情况的，经合理论证，可只有1个。

初步采样分析的采样点位布设应以尽可能捕获污染为原则，布设在识别的重点区域内的关键疑似污染位置。

采样点水平方向的布设方法参照HJ 25.1的要求进行。

每个重点区域的土壤采样点数原则上不少于2个，可根据区域大小、污染物分布等实际情况进行适当调整，土壤总采样点位数不少于3个。

若识别的重点区域设置了阻隔层和防渗层，土壤布点优先布设在污染物可能迁移的下游方向、填埋区的边界，同时应避免破坏阻隔措施，造成二次污染。

若识别的重点区域为原位修复区域，土壤布点优先布设在前期修复过程中发现的污染物浓度高的区域、有明显污染痕迹等位置。

若识别的重点区域为异位修复区域，土壤布点优先布设在开挖基坑侧壁、基坑底部、修复后土壤场内回填区或堆存区，以及污染物有可能迁移的位置等。

5.2.2.2 分层采样

参照HJ 25.1的分层采样相关要求。

若阻隔填埋区出现破损或扰动等造成不利影响的情况，应采样至填埋区底板深度以下3米。

5.2.2.3 监测项目

土壤样品分析项目应为第一阶段环境状况调查结果的潜在污染物，如超过筛选值浓度高的污染物，修复效果评估报告中修复值接近修复目标的污染物，通过资料分析判定的其他污染物。

5.2.3 地下水采样要求

5.2.3.1 布点区域识别

地下水采样点应设置在5.2.2.1中识别的重点区域内，以及污染物迁移的下游方向。

原则上应沿地下水流向布设，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采样点位。

5.2.3.2 采样点位置与数量

修复后地块内地下水监测点位总数不少于3个，充分利用地块内现有的地下水取水井、观测井和勘测井，如果建设与管理符合HJ 164的技术要求，可以作为地下水监测井使用。

5.2.3.3 采样深度

地下水采样深度应依据地块水位地质条件及第一阶段环境状况调查获取的污染物特征确定。具体参照HJ 25.2的地下水采样相关要求。

5.2.3.4 监测项目

地下水样品分析项目为第一阶段环境状况调查结果的潜在污染物。

5.2.4 制定健康和安全防护计划

根据有关法律法规和工作现场的实际情况，制定修复后地块调查人员的健康和安全防护计划。

5.2.5 质量保证与质量控制

现场质量保证和质量控制措施应包括：防止样品污染的工作程序，运输空白样分析，现场平行样分析，采样设备清洗空白样分析，采样介质对分析结果影响分析，以及样品保存方式和时间对分析结果的影响分析等，具体参见HJ 25.2和建设用地土壤污染状况调查质量控制技术规范（试行）。实验室分析的质量保证和质量控制的具体要求见HJ/T 164和HJ/T 166。

5.2.6 详细采样工作

若识别的重点区域内的土壤样品检测结果高于相应的修复目标值，则应在此基础上开展详细调查。详细采样工作要求按照HJ 25.1执行，并根据重点区域和超标范围大小等情况适当加密布点采样。

5.3 第三阶段土壤环境状况调查工作

5.3.1 地块特征参数

地块特征参数包括：不同代表位置和土层或选定土层的土壤样品的理化性质分析数据，如土壤pH值、容重、有机质含量、含水率、土壤颗粒密度和质地等；地块（所在地）气候、水文、地质特征信和数据，如地表年平均风速和水力传导系数等。根据风险评估和地块修复实际需要，选取适当的参数进行调查。

受体暴露参数包括：地块及周边地区土地利用方式等相关信息。

5.3.2 调查方法

地块特征参数和受体暴露参数的调查可采用资料查询、现场实测和实验室测试分析等方法。

5.3.3 调查结果

该阶段的调查结果供风险评估等工作使用。

5.4 结果评价与分析

根据土壤和地下水检测结果进行统计分析确定修复后地块是否受到周边环境影响导致引入新污染，确定潜在污染物具体种类、浓度水平和空间分布，进行污染成因分析。

如检测结果高于相应修复目标值，则应在此基础上开展风险评估工作。

6 再开发建设期土壤环境状况调查

6.1 第一阶段土壤环境状况调查工作

6.1.1 资料收集

除了包含5.1.1要求需要收集的资料，还应收集的资料包括但不限于：地块整体规划图、建构筑物的平面设计图、地下管线及空间分布图、地块再开发工程实施方案、工程环境影响评价及其批复、地块再开发施工进度报告、再开发建设期现场施工记录等。

6.1.2 资料分析

具体要求参照5.1.2。重点关注建设施工方式对地块原有的风险管控措施是否存在扰动或破坏、是否产生新的污染等潜在风险。

6.1.3 现场踏勘

6.1.3.1 安全防护准备

在现场踏勘前，根据修复后地块再利用建设施工的现场情况，掌握相应的安全防护知识，并装备必要的防护用品。

6.1.3.2 踏勘范围

以修复后地块再开发施工出现污染异常区域和风险管控区域为主，并综合资料分析结果和现场实际情况来判断踏勘范围，必要时可扩展到地块周边区域。

6.1.3.3 现场踏勘的主要内容

具体要求参照5.1.3.3。应增加现场踏勘的主要内容包括：地块内原有监测系统、地块再开发施工现场、可能造成污染物质聚集或转移的施工过程及现场情况，可能会对地下水水位或正常流向产生显著影响的施工过程及现场情况。

6.1.3.4 现场踏勘的重点

具体要求参照5.1.3.4。新增踏勘重点还应包括但不限于：再开发建设施工过程中出现的异常情况区域，以及造成异常的源头区域，如施工过程中出现明显土壤和水体污染痕迹等。

6.1.3.5 现场踏勘的方法

具体要求参照5.1.3.5。

6.1.4 人员访谈

具体要求参照5.1.4。新增受访者还应包括：地块再开发建设施工的相关工作人员。

6.1.5 结论与分析

本阶段调查结论应明确再开发建设期地块内及周围区域污染风险的程度，初步分析地块内出现安全事故、投诉以及施工人员中毒的原因，并进行不确定性分析。

若无可能的污染源，则调查活动结束，无需开展第二阶段土壤环境状况针对性调查工作。若有可能的污染源，应说明可能的污染类型、污染状况和来源，识别出重点区域，提出第二阶段土壤环境状况针对性调查的建议。

重点污染区域识别要求参照5.1.5，另外本阶段还应结合现场施工具体情况识别调查的重点区域，如施工现场出现的明显污染痕迹区域、有明显异味区域、土壤回填区域等。

6.2 第二阶段土壤环境状况针对性调查工作

6.2.1 初步采样分析工作计划

具体要求参照5.2.1，并补充核查再开发建设施工过程中出现的异常情况区域。

6.2.2 土壤采样要求

6.2.2.1 布点位置与数量

具体要求参照5.2.2.1。本阶段土壤布点位应尽可能接近疑似污染源，同时结合地块再开发建设实际情况，土壤采样应尽量避免对施工过程的影响，必要时使用物探技术识别地下管线、储罐等设施，尽量考虑在绿化带或不影响施工的区域。

6.2.2.2 分层采样

具体要求参照5.2.2.2。

6.2.2.3 监测项目

具体要求参照5.2.2.3。

6.2.3 地下水采样要求

具体要求参照5.2.3。

6.2.4 详细采样工作

具体要求参照5.2.6。

6.3 第三阶段土壤环境状况调查工作

具体要求参照5.3。

6.4 结果评价与分析

根据土壤和地下水检测结果进行统计分析确定修复后地块关注污染物具体种类、浓度水平和空间分布，进行污染成因分析。

如检测结果高于相应修复目标值，则应在此基础上开展风险评估工作。

7 长期利用期土壤环境状况调查

7.1 第一阶段土壤环境状况调查工作内容

7.1.1 资料收集

除包含空置期和再开发建设期收集的资料外，还应收集的资料包括但不限于：地块现状规划资料、建构筑物数量及分布情况、地块住户基础信息统计、地块内人群活动情况以及相关记录、有关政府文件以及地块所在区域的自然和社会信息。

7.1.2 现场踏勘

7.1.2.1 现场踏勘的主要内容

除与空置期和再开发建设期要求一致外，现场踏勘的主要内容还应包括但不限于：地块长期利用期土地利用情况，包括建构筑物与设施和人群活动区域分布现状、原风险管控设施与运行现状、监测系统、另如有的异常区域情况等。

7.1.2.2 现场踏勘重点

除与空置期和再开发建设期要求一致外，现场踏勘重点还应包括但不限于：人群健康风险较高的区域、风险管控措施有效性受前期开发建设活动影响较大的区域等。

7.1.2.3 现场踏勘方法

具体要求参照5.1.3.5。

7.1.3 人员访谈

除与空置期和再开发建设期要求一致外，新增受访者还应包括：地块现阶段的使用者，地块开发建设单位，以及地块所在地或熟悉地块的第三方，如相邻地块的工作人员和附近的居民。

7.1.4 结论与分析

本阶段调查结论应明确长期利用期地块内及周围区域污染风险的程度，初步分析地块内出现土壤异味、居民投诉以及群体性不明原因疾病的原因，并进行不确定性分析。

若无可能的污染源，则调查活动结束后，无需开展第二阶段土壤环境状况针对性调查工作。若有可能的污染源，应说明可能的污染类型、污染状况和来源，识别出重点污染区域，提出第二阶段土壤环境状况针对性调查的建议。

重点污染区域识别要求参照5.1.5，另外本阶段的土壤采样点区域应设置敏感人群活动密集区、发生不明疾病的区域、明显异常区域等。

7.2 第二阶段土壤环境状况针对性调查工作内容

7.2.1 初步采样分析工作计划

具体要求参照6.2.1，并补充核查长期利用期出现的异常情况区域。

7.2.2 土壤采样要求

7.2.2.1 布点位置与数量

布点位置与数量要求参照5.2.2.1。本阶段的土壤布点位应结合地块再开发利用实际情况，尽量考虑在绿化带、人群活动较少或对居民生活影响较小的区域。

7.2.2.2 分层采样

具体要求参照5.2.2.2。

7.2.2.3 监测项目

具体要求参照5.2.2.3。

7.2.3 地下水采样要求

具体要求参照5.2.3。

7.2.4 详细采样工作

具体要求参照5.2.6。

7.3 第三阶段土壤环境状况调查工作

具体要求参照5.3。

7.4 结果评价与分析

根据土壤和地下水检测结果进行统计分析确定修复后地块潜在污染物具体种类、浓度水平和空间分布，进行污染成因分析。对于检测结果高于相应修复目标值的，应在此基础上开展风险评估工作。

8 报告编制

8.1 第一阶段土壤环境状况调查报告编制

8.1.1 报告内容和格式

对第一阶段调查过程和结果进行分析、总结和评价。内容主要包括土壤环境状况调查的概述、地块现状的描述、资料分析、现场踏勘、人员访谈、结果和分析、调查结论与建议、附件等。报告格式可参照附录A。

8.1.2 结论和建议

调查结论应尽量明确地块内及周围区域有无可能的污染源，若有可能的污染源，应说明可能的污染类型、污染状况和来源。应提出是否需要第二阶段土壤环境状况调查的建议。

8.1.3 不确定性分析

报告应列出调查过程中遇到的限制条件和欠缺的信息，及对调查工作和结果的影响。

8.2 第二阶段土壤环境状况针对性调查报告编制

8.2.1 报告内容和格式

对第二阶段调查过程和结果进行分析、总结和评价。内容主要包括工作计划、现场采样和实验室分析、数据评估和结果分析、结论和建议、附件。报告的格式可参照附录A。

8.2.2 结论和建议

结论和建议中应提出地块关注污染物清单和污染物分布特征等内容。

8.2.3 不确定性分析

报告应说明第二阶段土壤环境状况针对性调查与计划的工作内容的偏差以及限制条件对结论的影响。

8.3 第三阶段土壤环境状况针对性调查报告编制

具体要求参照8.2，应提供地块相关参数和测试数据的调查结果。

附录 A
(资料性附录)
调查报告基本要求

- A.1 修复后地块土壤环境状况调查第一阶段报告编制大纲
 - A.1.1 前言
 - A.1.2 概述
 - A.1.2.1 调查的目的和原则
 - A.1.2.2 调查范围
 - A.1.2.3 调查依据
 - A.1.2.4 调查方法
 - A.1.3 修复后地块概况
 - A.1.3.1 区域环境概况
 - A.1.3.2 敏感目标
 - A.1.3.3 修复后地块的现状和历史
 - A.1.3.4 相邻地块的现状和历史
 - A.1.3.5 修复后地块利用的规划
 - A.1.4 资料分析
 - A.1.4.1 政府和权威机构资料收集和分析
 - A.1.4.2 修复后地块资料收集和分析
 - A.1.4.3 其它资料收集和分析
 - A.1.5 现场踏勘和人员访谈
 - A.1.5.1 有毒有害物质的储存、使用和处置情况分析
 - A.1.5.2 各类槽罐内的物质和泄漏评价
 - A.1.5.3 固体废物和危险废物的处理评价
 - A.1.5.4 管线、沟渠泄漏评价
 - A.1.5.5 与污染物迁移相关的环境因素分析
 - A.1.5.6 其它
 - A.1.6 结果和分析
 - A.1.7 结论和建议
 - A.1.8 附件(地理位置图、平面布置图、周边关系图、照片和法规文件等)
- A.2 修复后地块土壤环境状况调查第二阶段报告编制大纲
 - A.2.1 前言
 - A.2.2 概述
 - A.2.2.1 调查的目的和原则
 - A.2.2.2 调查范围

A.2.2.3 调查依据

A.2.2.4 调查方法

A.2.3 修复后地块概况

A.2.3.1 区域环境状况

A.2.3.2 敏感目标

A.2.3.3 修复后地块的使用现状和历史

A.2.3.4 相邻地块的使用现状和历史

A.2.3.5 修复后地块利用的规划

A.2.3.6 第一阶段土壤环境状况调查总结

A.2.4 工作计划

A.2.4.1 补充资料分析

A.2.4.2 采样方案

A.2.4.3 分析检测方案

A.2.5 现场采样和实验室分析

A.2.5.1 现场探测方法和程序

A.2.5.2 采样方法和程序

A.2.5.3 实验室分析

A.2.5.4 质量保证和质量控制

A.2.6 结果和评价

A.2.6.1 修复后地块的地质和水文地质条件

A.2.6.2 分析检测结果

A.2.6.3 结果分析和评价

A.2.7 结论和建议

A.2.8 附件（现场记录照片、现场探测的记录、监测井建设记录、实验室报告、质量控制结果和样品追踪监管记录表等）

团 体 标 准

T/GDSES 9.7—2023

污染地块安全利用保障技术 第 7 部分：修复后地块再开发利用风险评估技 术规范

Guarantee technologies for contaminated site safe
utilization
Part 7: Technical guidelines for assessment on risk of
post remediated site for redevelopment and reuse

2023-11-17 发布

2023-11-17 实施

广东省环境科学学会标准

目 次

前言	II
引言	III
1 适用范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语与定义	1
4 基本原则、工作内容和工作程序	3
5 更新修复后地块概念模型	5
6 空置期风险评估	5
7 再开发建设期风险评估	7
8 长期利用期风险评估	8
9 修复后地块环境管理要求	8
10 报告编制	9
附录 A（资料性） 修复后地块各阶段用地情景的暴露途径	10
附录 B（资料性） 修复后地块健康风险评估实测参数与推荐值	11
附录 C（资料性） 修复后地块再利用风险评估报告编制大纲（参考样式）	13

前 言

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

《污染地块安全利用保障技术》系列标准围绕污染地块安全利用保障技术的不同方面提出了技术要求。本文件为第 7 部分，规定了修复后地块再开发利用风险评估的技术要求。

《污染地块安全利用保障技术》系列七项标准已经发布以下部分：

- 第 1 部分：地块土壤和地下水中污染物安全阈值
- 第 2 部分：污染地块安全等级划分技术指南
- 第 3 部分：污染地块安全利用划分标准
- 第 4 部分：复合污染地块高效绿色修复技术集成指南
- 第 5 部分：复合污染地块修复技术应用指南
- 第 6 部分：修复后地块再开发利用土壤环境状况调查技术规范
- 第 7 部分：修复后地块再开发利用风险评估技术规范

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由广东省环境科学学会提出并归口。

本文件起草单位：生态环境部环境规划院、生态环境部华南环境科学研究所、生态环境部土壤与农业农村生态环境监管技术中心、上海大学、清华大学、广州市环境保护科学研究院有限公司、中科鼎实环境工程有限公司、北京科技大学、香港科技大学、澳门科技大学、广东省环境科学学会。

本文件主要起草人：邹权、吴明红、王夏晖、刘晓文、侯德义、劳敏慈、章生卫、任明忠、段小丽、孟玲珑、唐量、赵璐、李明光、黄海、杨勇、李璜、王赫婧、陈景豪、熊淑婷、付建平、聂珊珊、周洋、刘振升、陈怡君、张思奇、陈显斌、陈桂红、李娟、许培东。

本文件首次制定。

引 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国土壤污染防治法》，推动落实《粤港澳大湾区规划纲要》，推进生态文明建设，保护生态环境，保障公众健康，指导污染地块风险管控和修复，引导建设用地修复产业的良性发展，制定本规范。

《污染地块安全利用保障技术》系列标准围绕污染地块安全利用保障技术的不同方面提出了技术要求，由七个部分构成：

- 第1部分：地块土壤和地下水中污染物安全阈值。规定了地块土壤和地下水中污染物安全阈值；
- 第2部分：污染地块安全等级划分技术指南。规定了污染地块安全等级划分的技术要求，可用于评估污染地块的安全等级；
- 第3部分：污染地块安全利用划分标准。规定了污染地块安全利用划分标准，用于指导污染地块修复实现安全利用；
- 第4部分：复合污染地块高效绿色修复技术集成指南。规定了复合污染地块高效绿色修复技术集成的技术要求；
- 第5部分：复合污染地块修复技术应用指南。规定了复合污染地块修复方案编制和修复工程建设、运行与效果评估的技术要求；
- 第6部分：修复后地块再开发利用土壤环境状况调查技术规范。规定了修复后地块再开发利用土壤环境状况调查的技术要求；
- 第7部分：修复后地块再开发利用风险评估技术规范。规定了修复后地块再开发利用风险评估的技术要求。

广东省环境科学学会标准

修复后地块再开发利用风险评估技术规范

1 范围

本文件规定了修复后地块再开发利用风险评估的基本原则、工作内容、工作程序、方法、技术要求和环境管理要求。

本文件适用于粤港澳大湾区（以下简称“大湾区”）修复后地块空置期、再开发建设期和长期利用期的地块土壤与地下水的健康风险评估。

本文件不适用于含有放射性物质污染和致病性生物污染的修复后地块风险评估。

2 规范性引用文件

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

GB/T 14848 地下水质量标准

GB 36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）

HJ 25.1 建设用地土壤污染状况调查技术导则

HJ 25.2 建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则

HJ 25.3 建设用地土壤污染风险评估技术导则

HJ 25.4 建设用地土壤修复技术导则

HJ 25.5 污染地块风险管控与土壤修复技术导则（试行）

HJ 25.6 污染地块地下水修复和风险管控技术导则

HJ 682 建设用地土壤污染风险管控和修复术语

《地下水污染健康风险评估工作指南》（环办土壤函〔2019〕770号）

3 术语与定义

下列术语和定义适用于本规范。

3.1

修复后地块概念模型 post remediated site model

用文字、图、表等方式综合描述修复后地块的水文地质条件、污染源、污染物迁移途径、人体或生态受体接触污染介质的过程和接触方式等。

[来源：HJ 25.6—2019，3.4，有修改]

3.2

关注污染物 contaminant of concern

主要根据修复后地块污染特征，确定需要进行土壤与地下水风险评估的污染物。

[来源：HJ 25.3—2019，3.2，有修改]

3.3

暴露情景 exposure scenario

在再开发利用不同时期或各特定土地利用情景下，修复后地块污染物经由不同方式迁移并到达受体的

一种假设性场景描述，即关于地块污染暴露如何发生的一系列事实、推定和假设。

[来源：HJ 682—2019，2.4.10，有修改]

3.4

暴露途径 exposure pathway

指修复后地块土壤和地下水中污染物迁移到达和暴露于人体的方式。

[来源：HJ 25.3—2019，3.3，有修改]

3.5

修复后地块健康风险评估 health risk assessment of post remediated site

在土壤环境状况调查的基础上，分析修复后地块土壤和地下水中污染物对人群的主要暴露途径，评估污染物对人体健康的致癌风险或危害水平。

[来源：HJ 25.3—2019，3.4，有修改]

3.6

致癌风险 carcinogenic risk

人群暴露于致癌效应污染物，诱发致癌性疾病或损伤的概率。

[来源：HJ 25.3—2019，3.5]

3.7

危害商 hazard quotient

污染物每日摄入量与参考剂量的比值，用于表征人体经单一途径暴露于非致癌污染物而受到危害的水平。

[来源：HJ 25.3—2019，3.6]

3.8

可接受风险水平 acceptable risk level

对暴露人群不会产生不良或有害健康效应的风险水平，包括致癌物的可接受致癌风险水平和非致癌物的可接受危害商。本规范中单一污染物的可接受致癌风险水平为 10^{-6} ，单一污染物的可接受危害商为1。

[来源：HJ 25.3—2019，3.8]

3.9

空置期 vacant stage

指修复后地块进入再开发建设期前，处于闲置状态的存续阶段。

3.10

再开发建设期 re-develop stage

指修复后地块进入长期利用期前，具有工程建设活动的存续阶段。

3.11

长期利用期 re-use stage

指修复后地块经过再开发建设期后，在各特定土地利用方式下人群的相应活动模式的存续阶段。

3.12

污染空间分布 contamination distribution

指修复后地块土壤和地下水的关注污染物在空间位置上的分布情况。

4 基本原则、工作内容和工作程序

4.1 基本原则

4.1.1 必要性原则

根据修复后地块土壤环境状况调查和监测结果，如有出现高于相应原有关关注污染物修复目标值或新增的污染物风险筛选值，或出现新的暴露情景进而影响人体健康风险，则在此基础上开展风险评估工作，为修复后地块环境管理提供依据。

4.1.2 针对性原则

根据修复后地块土壤环境调查结果，结合所处具体阶段或用地情景，对具有潜在风险的关注污染物，通过相关模型进行人体健康风险评估。

4.2 工作内容

修复后地块风险评估工作内容包括更新修复后地块概念模型与情景构建、危害识别、暴露评估、毒性评估、风险表征，必要时提出修复后地块环境管理要求等。

4.2.1 更新修复后地块概念模型

通过前期地块资料收集，分析修复后地块所处于空置期、再开发建设期或长期利用期各特定用地的现状与暴露情景构建、风险源、暴露途径、敏感受体，并更新修复后地块概念模型。

4.2.2 危害识别

收集修复后地块土壤环境状况调查阶段与修复前地块的相关资料和数据，掌握修复后地块土壤和地下水中关注污染物的浓度与空间分布，明确所处于空置期、再开发建设期、长期利用期特定用地情景，分析可能的敏感受体，如儿童、成人、地下水体等。

4.2.3 暴露评估

在危害识别的基础上，分析修复后地块内关注污染物迁移和危害敏感受体的可能性，确定修复后地块土壤和地下水污染物的主要暴露途径和暴露评估模型，确定评估模型参数取值，计算敏感人群对土壤和地下水中污染物的暴露量。

4.2.4 毒性评估

在危害识别的基础上，分析关注污染物对人体健康的危害效应，包括致癌效应和非致癌效应，确定与关注污染物相关的参数，包括参考剂量、参考浓度、致癌斜率因子和呼吸吸入单位致癌因子等。

4.2.5 风险表征

在暴露评估和毒性评估的基础上，采用风险评估模型计算修复后地块土壤和地下水中单一污染物经单一途径的致癌风险和危害商，计算单一污染物的总致癌风险和危害指数，并进行不确定性分析。

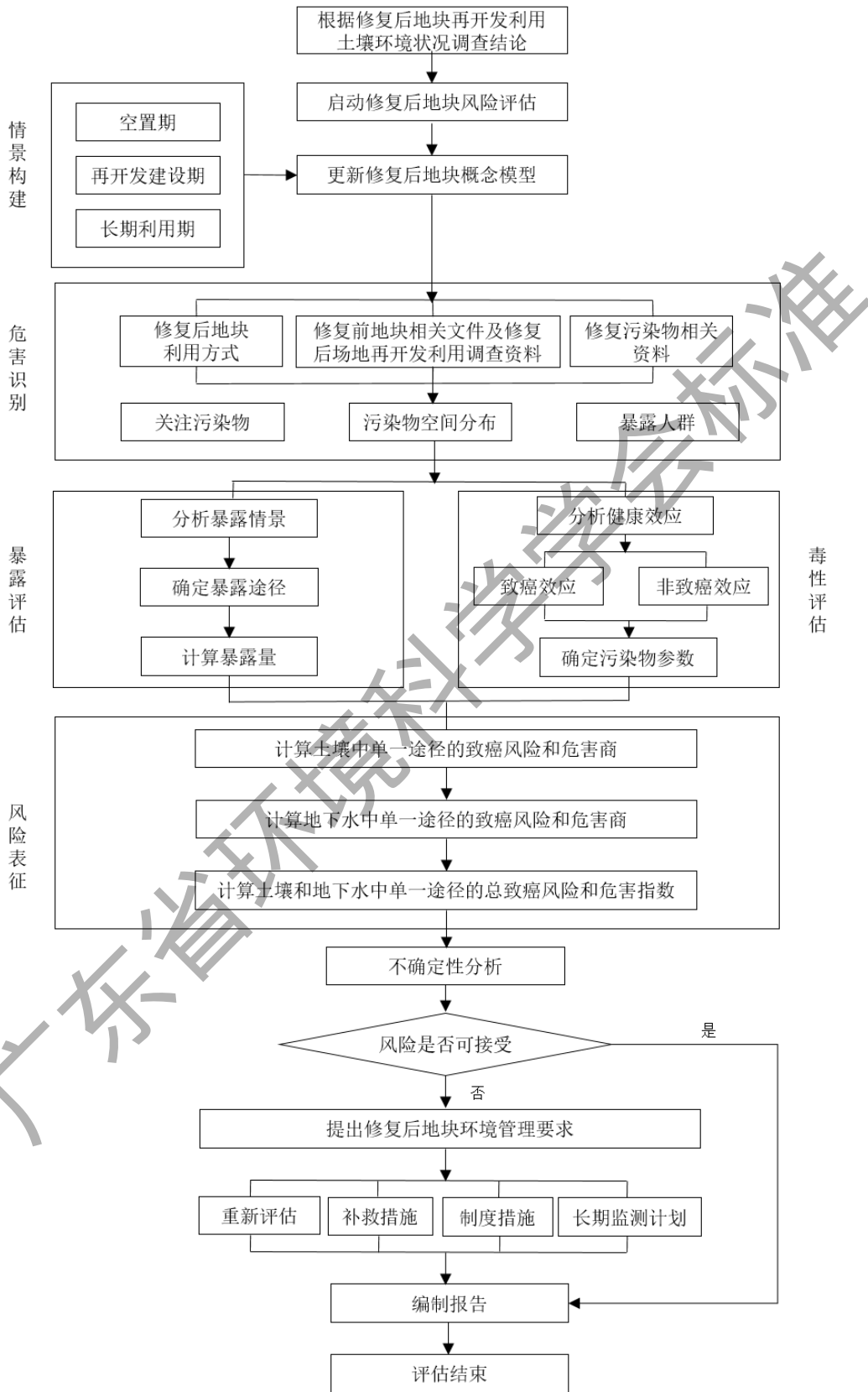


图 1 修复后地块再开发利用风险评估工作内容与程序

4.2.6 修复后地块环境管理建议

对于修复后地块风险表征结果为不可接受风险水平的，提出相应修复后地块环境管理建议。

4.3 工作程序

修复后地块再开发利用风险评估程序见图1。

铅的健康风险评估可采用相关儿童或成人血铅模型进行评估。

5 更新修复后地块概念模型

根据修复后地块相关资料分析、现场踏勘与人员访谈的结果、土壤环境调查采样检测分析结果，优化地块概念模型，概念模型的优化宜包含以下信息：

- a) 修复后地块所处空置期、再开发建设期或长期利用期特定的用地情景，地块利用现状情况；
- b) 地质与水文地质情况：包括地层分布、地下水分布、地下水季节波动特征、地下水补径排条件、地层中是否存在低渗透层、修复过程中是否有液相或气相的优先通道、附近水体补给情况、周边建设情况对水文地质条件的影响等；
- c) 污染情况：包括修复前地块污染状况调查阶段识别的关注污染物、风险评估阶段确定的目标污染物、效果评估阶段确定的残留污染物、风险管控与修复活动造成的其他引起地下水质量变化的指标、前期监测数据揭示出的地块地下水中污染物浓度随季节波动特点；修复后地块针对性调查关注污染物与检测分析结果；
- d) 风险管控与修复情况：包括风险管控或修复目标、风险管控或修复方案及效果评估情况，现有的风险管控设施与监测系统是否完整有效、正常运行，采取的制度控制措施是否得到落实，含地块如有存在污染物超第一类用地筛选值但不超第二类用地筛选值土壤，或原有关注污染物超筛选值但不超修复目标值土壤的去向或现状管理等；
- e) 潜在受体及周边环境情况：包括可能受影响的地表水体、地下水体、建构筑物、敏感人群等。在修复后地块调查评估过程中，通过资料收集分析、现场踏勘、人员访谈等，分析地块的地质与水文地质条件、不同时期或特定用地情景、污染物分布、暴露途径、建构筑物及受体分布等情况，进一步更新修复后地块概念模型。

6 空置期风险评估

6.1 危害识别技术要求

6.1.1 收集相关资料

按照T/GDSES 9.6—2023对修复后地块进行土壤污染状况调查及污染识别，获得以下信息：

- a) 较为详尽的修复后地块相关资料及历史信息，包括修复前备案的地块调查评估报告、修复方案或实施方案、效果评估报告、工程竣工报告、环境监理报告等；如有涉及的风险管控措施与地下水长期监测数据、环境监管要求等；
- b) 修复后地块土壤和地下水等样品中污染物的种类、浓度与空间分布；
- c) 修复后地块土壤的理化性质分析数据；
- d) 修复后地块（所在地）气候、水文、地质特征信息和数据；
- e) 修复后地块现状，周边地块土地利用状况或工矿用地产排污变化、敏感人群、地下水与地表水体等相关信息。

6.1.2 确定关注污染物

根据修复后地块土壤环境状况调查和监测结果，将对人群等敏感受体具有潜在风险需要进行风险评估的污染物，确定为关注污染物。

6.2 暴露评估技术要求

6.2.1 空置期暴露情景构建

空置期主要情景：空旷地块。

空置期用地情景下，暴露人群主要为在修复后地块内的日常管理人员，根据成人期的暴露来评估污染物的致癌风险和非致癌效应。

6.2.2 确定暴露途径

空置期主要暴露途径见附录A。

6.2.3 计算土壤和地下水暴露量

对于单一污染物的致癌和非致癌效应分别给出受体在不同途径下的暴露量计算公式，各暴露途径的暴露量计算可采用HJ 25.3的计算公式，另皮肤接触地下水途径的暴露量计算可采用《地下水污染健康风险评估工作指南》的计算公式。

6.3 风险评估模型参数

风险评估模型应优先采用修复后地块实测参数、原修复前地块实测参数、地块行政辖区发布的本地参数，未有的可采用HJ 25.3的推荐值。

- a) 修复后地块风险评估过程中各种暴露途径涉及的土壤和地下水性质参数，应优先根据现场调查获得；其次，通过有效性对比分析的，可利用原修复前地块实测参数。对于地块特征参数，应尽量通过水文地质调查、室内土工试验等方式获取实测数据。所采用的相关参数选取，应有说明来源或依据。
- b) 空气特征参数应优先采用地块行政辖区发布的区域性参数，并说明参数来源；缺乏当地区域性参数值的，可采用HJ 25.3的推荐值。

修复后地块空置期的健康风险评估实测参数与取值原则参照附录B。

6.4 毒性评估技术要求

6.4.1 分析污染物毒性效应

分析污染物经不同途径对人体健康的危害效应，包括致癌效应、非致癌效应、污染物对人体健康的危害机理和剂量-效应关系等。

6.4.2 确定污染物相关参数

6.4.2.1 致癌效应毒性参数包括呼吸吸入单位致癌因子（IUR）、呼吸吸入致癌斜率因子（SF_i）、经口摄入致癌斜率因子（SF_o）和皮肤接触致癌斜率因子（SF_d）。部分污染物的致癌效应毒性参数应优先采用地块行政辖区发布的毒性参数，未有的可采用HJ 25.3的推荐值。

6.4.2.2 非致癌效应毒性参数包括呼吸吸入参考浓度（RfC）、呼吸吸入参考剂量（RfDi）、经口摄入参考剂量（RfDo）和皮肤接触参考剂量（RfDd）。部分污染物的非致癌效应毒性参数应优先采用地块行政辖区发布的毒性参数，未有的可采用HJ 25.3的推荐值。

6.4.2.3 风险评估所需的污染物理化性质参数包括无量纲亨利常数（H'）、空气中扩散系数（Da）、水中扩散系数（Dw）、土壤-有机碳分配系数（Koc）、水中溶解度（S）。部分污染物的理化性质参数应优

先采用地块行政辖区发布的理化性质参数，未有的可采用 HJ 25.3 的推荐值。

6.4.2.4 其他相关参数包括消化道吸收因子(ABS_{gi})、皮肤吸收因子(ABS_d)和经口摄入吸收因子(ABS_o)，应优先采用地块行政辖区发布的毒性参数，未有的可采用 HJ 25.3 的推荐值。

6.5 风险表征技术要求

6.5.1 一般性技术要求

6.5.1.1 风险表征原则上选择表层和下层土壤或地下水中检测数据的最大值计算污染物的致癌风险和危害商。

6.5.1.2 风险表征得到的修复后地块污染物的致癌风险和危害商，可作为确定修复后地块污染范围的重要依据。计算得到单一污染物的致癌风险值超过 10^{-6} 或危害商超过 1 的采样点，其代表的地块区域应划定为风险不可接受的污染区域。

6.5.2 计算修复后地块土壤和地下水污染风险

土壤和地下水中单一污染物致癌风险和危害商计算可采用 HJ 25.3 的计算公式，另皮肤接触地下水途径的致癌风险和危害商计算可采用《地下水污染健康风险评估工作指南》的计算公式。

7 再开发建设期风险评估

7.1 危害识别技术要求

参照 6.1，另应关注再开发建设方式对修复后地块的扰动与影响。

7.2 暴露评估技术要求

7.2.1 再开发建设期暴露情景构建

再开发建设期主要情景：建筑工地。

再开发建设期用地情景下，暴露人群主要为在修复后地块内的施工人员，根据成人期的暴露来评估污染物的致癌风险和非致癌效应。

7.2.2 确定暴露途径

再开发建设期主要暴露途径见附录 A。

7.2.3 计算土壤和地下水暴露量

具体要求参照本文 6.2.3。

7.3 风险评估模型参数

具体要求参照本文 6.3。另修复后地块的室内地基厚度、室内地面到地板地部厚度、室内地板周长、室内地板面积以及致癌效应平均时间等参数优先采用地块实际值。

7.4 毒性评估技术要求

具体要求参照本文 6.4。

7.5 风险表征技术要求

具体要求参照本文 6.5。

8 长期利用期风险评估

8.1 危害识别技术要求

具体要求参照本文6.1，另关注修复后地块长期利用期现状、平面布局、建筑物等对修复后地块的扰动与影响，或各特定活动模式可能引入污染物情况。

8.2 暴露评估技术要求

8.2.1 长期利用期暴露情景构建

8.2.1.1 长期利用期主要情景：根据不同土地利用情景下人群的活动模式，包括2类典型用地的暴露情景，即以住宅用地为代表的**第一类用地**和以工业用地为代表的**第二类用地**的暴露情景；

a) 第一类用地主要包括未来规划为居住用地、科教用地、儿童用地等；

b) 第二类用地主要包括未来规划为工业用地、商业用地、公园绿地等。

8.2.1.2 第一类用地方式下，暴露人群包括在修复后地块内的活动儿童和成人；根据儿童期和成人期的暴露来评估污染物的终生致癌风险，根据儿童期暴露来评估污染物的非致癌危害效应；

8.2.1.3 第二类用地方式下，暴露人群包括在修复后地块内的活动成人；根据成人期的暴露来评估污染物的致癌风险和非致癌效应；

8.2.1.4 除了未来规划为居住用地、科教用地、儿童用地、工业用地、商业用地、公园绿地之外的，根据修复后地块未来规划性质与敏感程度参照第一类用地与第二类用地暴露情景进行风险评估。

8.2.2 确定暴露途径

长期利用期主要暴露途径见附录A。

8.2.3 计算土壤和地下水暴露量

参照6.2.3。

8.3 风险评估模型参数

参照6.3。另修复后地块的室内地基厚度、室内地面到地板地部厚度、室内地板周长、室内地板面积以及致癌效应平均时间等参数优先采用地块实际值，人体相关参数依据用地类型选取，长期利用期的致癌效应平均时间按最新广东省平均寿命计。

8.4 毒性评估技术要求

参照6.4。

8.5 风险表征技术要求

参照6.5。

9 修复后地块环境管理要求

修复后地块土壤环境调查如有新的污染物超标且需进一步确定修复目标值，可参考HJ 25.3、《地下水污染健康风险评估工作指南》的土壤和地下水风险控制值计算和分析确定，或参考地块早期备案文件确定的修复目标值；风险管控和修复范围可采用无污染点位连线法或污染物浓度插值计算法进行确定。

修复后地块风险评估结果如地块风险不可接受的，应提出环境管理建议，包括需采取的补救措施、制度措施、长期监测计划及HJ 25.5涉及的相关后期环境监管要求等。

补救措施不限于：

- a) 对地块作进一步风险管控或修复；
- b) 切断暴露途径，如土壤再利用区顶部不宜直接暴露于环境，对受损坏的原阻隔工程措施采取修补；
- c) 重新选择再利用区。

10 报告编制

10.1 总体要求

报告要全面和准确地反映出全部工作内容。内容主要包括修复后地块概述、地块概况、地块概念模型、危害识别、暴露评估、毒性评估、风险表征、结论与建议、附件等。报告中的文字应简洁和准确，并尽量采用图、表和照片等形式描述各种关键技术信息。

10.2 报告大纲

报告编制大纲参照附录C。

广东省环境科学学会标准

附录 A
(资料性)
修复后地块各阶段用地情景的暴露途径

表 A.1 修复后地块各阶段用地情景的暴露途径

序号	分类	暴露途径名称	空置期	再开发建设期	长期利用期					
					第一类用地			第二类用地		
					居住用地	科教用地	儿童用地	工业用地	商业用地	公园绿地
1	污染土壤	经口摄入土壤	√	√	√	√	√	√	√	√
2		皮肤接触土壤	√	√	√	√	√	√	√	√
3		吸入土壤颗粒物	√	√	√	√	√	√	√	√
4		吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物	√	√	√	√	√	√	√	√
5		吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物	√	√	√	√	√	√	√	√
6		吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物	○	○	√	√	√	√	√	○
7	污染地下水	吸入室外空气中来自地下水的气态污染物	√	√	√	√	√	√	√	√
8		吸入室内空气中来自地下水的气态污染物	○	○	√	√	√	√	√	○
9		饮用地下水	○	○	○	○	○	○	○	○
10		皮肤接触地下水	○	√	○	○	○	○	○	○

注：√为基本选项，○为备选项；如具有饮用功能地下水暴露途径应考虑9，如涉及人群皮肤直接接触地下水的（如再开发为地下水游泳场等利用地下水用于日常洗澡、游泳或清洗的）暴露途径应考虑10，如不涉及挥发有机物的不考虑相关气态污染物的途径。

附录 B
(资料性)
修复后地块健康风险评估实测参数与推荐值

表 B.1 修复后地块健康风险评估实测参数与推荐值

序号	参数符号	参数名称	单位	空置期	再开发 建设期	长期利用期					
						第一类用地			第二类用地		
						居住用地	科教用地	儿童用地	工业用地	商业用地	公园绿地
1	C_{sur}	表层土壤中污染物浓度	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$			最大值					
2	C_{sub}	下层土壤中污染物浓度	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$			最大值					
3	d	表层污染土壤层厚度	cm			开发再利用可能扰动到的土壤厚度					
4	LS	下层污染土壤层埋深	cm			下层不开挖污染土壤的顶板埋深					
5	d_{sub}	下层污染土壤层厚度	cm			下层不开挖污染土壤的厚度					
6	C_{gw}	地下水中污染物浓度	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$			最大值					
7	L_{gw}	地下水埋深	cm			平均值					
8	h_v	非饱和土层厚度	cm			平均值					
9	f_{om}	土壤有机质含量	$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$			平均值					
10	ρ_b	土壤容重	$\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$			平均值					
11	P_{ws}	土壤含水率	$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$			平均值					
12	ρ_s	土壤颗粒密度	$\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$			平均值					
13	A	污染源区面积	cm^2			地块挥发性污染物超筛选值区域面积总和					
14	W	污染源区宽度	cm			地块挥发性污染物超筛选值区域与风向垂向交界面最大长度					
15	L_{crack}^*	室内地基厚度	cm	—		地块实际值					
16	Z_{crack}^*	室内地面到地板地部厚度	cm	—		地块实际值					
17	X_{crack}^*	室内地板周长	cm	—		地块实际值					
18	Ab^*	室内地板面积	cm^2	—		地块实际值					
19	PM_{10}^*	空气中可吸入颗粒物含量	$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$			0.038					
20	U_{air}^*	混合区大气流速风速	$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$			300					
21	BW_a^*	成人平均体重	kg			61.7					

表 B.1 修复后地块健康风险评估实测参数与推荐值（续）

序号	参数符号	参数名称	单位	空置期	再开发建设期	长期利用期					
						第一类用地			第二类用地		
						居住用地	科教用地	儿童用地	工业用地	商业用地	公园绿地
22	BW_c^*	儿童平均体重	kg	—	—	18.3	18.3	18.3	—	—	—
23	Ha^*	成人平均身高	cm	162.5							
24	Hc^*	儿童平均身高	cm	—	—	109.6	109.6	109.6	—	—	—
25	$GWCRA^*$	成人每日饮用水量	$L \cdot d^{-3}$	1.7							
26	$ATca^*$	致癌效应平均时间	d	根据实际空置时间计算， $ATca=365 \text{ d/a} \times \text{实际年数}$	根据实际再开发利用时间计算， $ATca=365 \text{ d/a} \times \text{实际年数}$	27920					
<p>注 1: “—”表明参数值在该用地方式下参数值不适用。</p> <p>注 2: 室内地基厚度、室内地面到地板地部厚度、室内地板周长、室内地板面积取值应优先采用地块实际值，若无则可参考 HJ 25.3 的推荐值。</p> <p>注 3: PM_{10} 取值应优先参照修复后地块所在地近三年平均值，若地块所在地没有的则参考上表数值，上表数值来自大湾区气候资料统计（粤港澳珠江三角洲区域空气监测网络近 2019 年-2020 年的 PM_{10} 平均值）；U_{air} 为大湾区中 6 座城市（广州、深圳、江门、肇庆、惠州、香港）30 年平均风速；身高体重数据来自《2022 年广东省国民体质监测公报》，如有最新值，也可采取最新值；空置期和再开发建设期的致癌效应平均时间应根据实际空置及再开发利用时间进行计算；根据《中国人群暴露参数手册》，广东人平均寿命为 76.49 岁，长期利用期的致癌效应平均时间按照 76.49 年计算致癌效应平均时间，即 $ATca=365 \text{ d/a} \times 76.49 \text{ a}=27920 \text{ d}$。$GWCRA$ 来自《中国人群暴露参数手册》。</p>											

附录 C

(资料性)

修复后地块再开发利用风险评估报告编制大纲 (参考样式)

C.1 概述

- C.1.1 项目背景
- C.1.2 修复后地块风险评估范围
- C.1.3 工作依据
- C.1.4 风险评估目的与原则
- C.1.5 技术路线

C.2 修复后地块概况

- C.2.1 修复后地块描述
- C.2.2 区域环境概况
- C.2.2 敏感目标
- C.2.3 土地利用规划

C.3 地块概念模型

- C.3.1 修复前地块调查评估回顾与结果
- C.3.2 修复实施与效果评估回顾与结果
- C.3.3 修复后地块土地利用现状
- C.3.4 修复后地块土壤环境调查回顾与结果
- C.3.5 修复后地块概念模型与情景构建

C.4 危害识别

- C.4.1 关注污染物筛选
- C.4.2 暴露浓度确定
- C.4.3 暴露受体分析

C.5 暴露评估

- C.5.1 暴露情景分析
- C.5.2 暴露途径
- C.5.2 暴露评估模型
- C.5.3 模型参数取值

C.6 毒性评估

- C.6.1 污染物毒性特征
- C.6.2 毒性参数取值

C.7 风险表征

- C.7.1 风险表征计算方法
- C.7.2 风险表征结果
- C.7.3 不确定性分析

C.8 结论与建议