ICS xx.xxx.xx
Z xx
备案号：xxxxxx—2015

DB11

北　京　市　地　方　标　准

DB 11/T XXX—2015

污染场地土壤再利用风险评估技术导则

Technical guideline for risk assessment of contaminated site soil reuse

（征求意见稿）

2015-XX-XX 发布　　2015-XX-XX 实施

北京市质量技术监督局　发布

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　第一阶段——土壤再利用风险筛选 3
6　第二阶段——土壤再利用区环境状况调查 6
7　第三阶段——特定场地土壤再利用风险评估 8
8　污染防治对策及长期监测计划 14
附录 A（资料性附录）污染场地土壤再利用风险评估报告编写示例 15
附录 B（资料性附录）地下水系统防污性能评估方法 17
附录 C（资料性附录）部分污染物理化性质参数 23

前　言

本标准按照 GB/T1.1-2009 给出的规则起草。

本标准由北京市环境保护局提出并归口。

本标准由北京市环境保护局组织实施。

本标准起草单位：北京市环境保护科学研究院、北京市固体废物和化学品管理中心。

本标准主要起草人：××××××。

引　言

为规范污染场地土壤再利用过程，防止土壤再利用时危害人民群众身体健康、污染周边区域土壤和地下水，根据《中华人民共和国环境保护法》、《关于保障工业企业场地再开发利用环境安全的通知》（环发〔2012〕140 号）和《关于加强工业企业关停、搬迁及原址场地再开发利用过程中污染防治》（环发〔2014〕66 号）等有关法律和通知的规定，结合北京实际，制定本标准。

本标准规定了污染场地土壤再利用过程中土壤再利用风险筛选、土壤再利用区环境状况调查和特定场地土壤再利用风险评估的一般性原则、工作程序、内容和技术要求。

污染场地土壤再利用风险评估技术导则

1 范围

本标准规定了污染场地土壤再利用风险评估的工作程序、方法、内容及要求。

本标准适用于北京市辖区内污染场地土壤在非环境敏感区内作为基坑回填用土或覆盖材料被再利用时的风险评估。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 50021 岩土工程勘查规范
GB 50027 供水水文地质勘查规范
GB/T 14158 区域水文地质工程地质环境地质综合勘查规范（1：50000）
GB/T 50123 土工试验方法标准
HJ 25.2 场地环境监测技术导则
HJ 610 环境影响评价技术导则 地下水环境
HJ 682 污染场地术语
HJ/T 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
HJ/T 299 固体废物 浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法
DB11/T 656 场地环境评价导则
DB11/T 783 污染场地修复验收技术规范
DB11/T 811 场地土壤环境风险评价筛选值
DB 2008-01 地下水污染地质调查评价规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

污染场地 contaminated site

对潜在污染场地进行调查和风险评估后，确认污染危害超过人体健康或生态环境可接受风险水平的场地。

3.2

土壤 soil

由矿物质、有机质、水、空气及生物有机体组成的地球陆地表面的疏松层。

3.3

土壤修复 soil remediation

采用物理、化学或生物的方法固定、转移、吸收、降解或转化场地土壤中的污染物，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。

3.4

土壤再利用 soil reuse

将修复后或未经修复的土壤作为基坑回填用土、覆盖材料等被使用的过程。

3.5

土壤再利用筛选值 screening value for soil reuse

再利用土壤中污染物不会对人体健康和地下水产生危害的含量限值。

3.6

环境敏感区 environmental sensitive area

指依法设立的各级各类自然、文化保护地，以及对土壤的某类污染因子或者生态影响因子特别敏感的区域，主要包括：a）自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地；b）饮用水水源保护区及其补给径流区、特殊地下水资源保护区、生态脆弱区重点保护区域、地质灾害易发区、水土流失重点防治区、沙化土地封禁保护区；c）基本农田保护区、基本草原、森林公园、地质公园、重要湿地、天然林、珍稀濒危野生动植物天然集中分布区。

3.7

达标点 compliance point

确保地下水中污染物浓度不超过相关水质标准的控制点，如土壤孔隙水中、地下水水面处、再利用区域边界处、距离再利用区域最近的环境敏感点处或由环保主管部门确定的控制点。

4 工作程序

污染场地土壤再利用风险评估工作分为土壤再利用风险筛选、再利用区环境状况调查及特定场地土壤再利用风险评估三个阶段，见图 1。

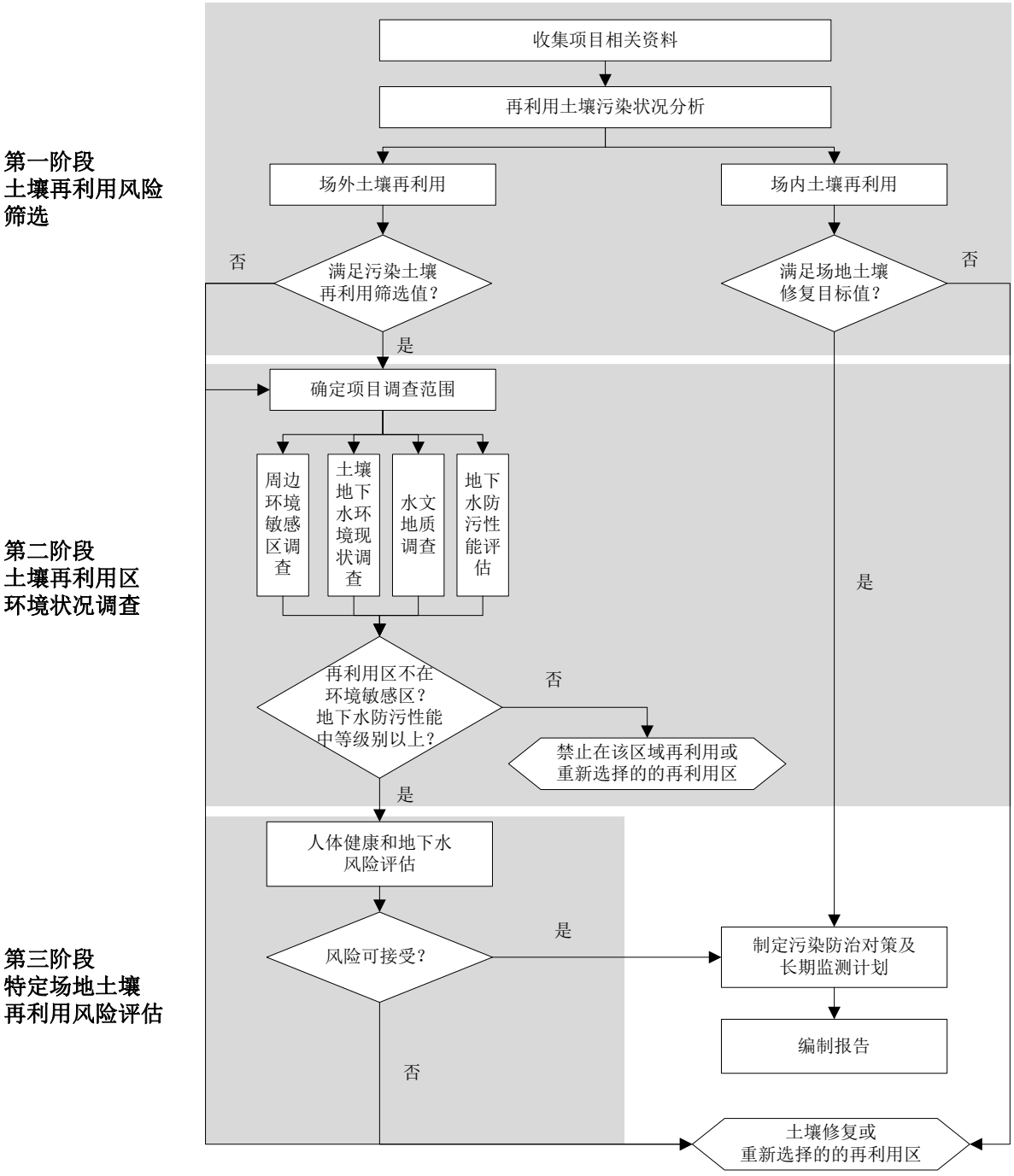

图 1　污染场地土壤再利用风险评估工作程序

5　第一阶段——土壤再利用风险筛选

5.1 再利用土壤污染状况分析

对再利用土壤进行采样和实验室检测分析：

a）再利用土壤每个样品代表的土壤体积应不超过 500 m^3，土壤样品的采集方法参见 DB11/T 656 中 6.3.4。

b）分析项目为再利用土壤中含量超过表 1 筛选值的污染物，分析方法参见 DB11/T 656 附录 F。

5.2 场内土壤再利用风险筛选

a）当土壤在原污染场地内再利用时，应根据再利用区域未来的用地情景，按照风险评估阶段制定的可同时满足保护人体健康和地下水环境的修复目标值进行风险筛选。

b）如果土壤中污染物含量小于相应的修复目标值，可在该场地内再利用，反之应对土壤进行修复或重新选择再利用区域。

c）禁止有异味的土壤在住宅、学校、医院、旅馆和相应服务设施等情景再利用，其他情景再利用时应满足相关的空气质量标准。

5.3 场外土壤再利用风险筛选

a）当土壤在原污染场地外再利用时，应根据不同的再利用情景，按照表 1 进行风险筛选，其中：

一级筛选值应用于住宅、学校、医院、旅馆和相应服务设施等再利用情景的判定；

二级筛选值应用于公园绿地、防护绿地、广场等再利用情景的判定；

三级筛选值应用于工业、商业服务业、物流仓储、道路路基、生活垃圾填埋场每日覆土等再利用情景的判定。

b）如果土壤中污染物含量超过相应的再利用筛选值，应结合再利用区域的具体用地规划、水文地质条件等开展特定场地土壤再利用风险评估。

c）有异味的土壤禁止在住宅、学校、医院、旅馆和相应服务设施等情景再利用，其他情景再利用时应满足相关的空气质量标准。

表 1　污染场地土壤再利用筛选值　　单位为 mg/kg

序号	污染物	一级	二级	三级
重金属类				
1	砷	20	20	20
2	铍	4	4	8
3	镉	8	9	150
4	铬	250	800	2500
5	铬 (VI)	12	12	12
6	铜	600	700	10000
7	铅	400	400	1200
8	汞	10	10	14
9	镍	50	80	300
10	锌	3500	5000	10000
11	锡	3500	7000	10000
12	氰化物	0.95	0.95	0.95
13	氟化物	650	650	2000
14	石棉	7000	10000	10000
挥发性有机污染物				
15	二氯甲烷	0.01	0.01	0.01

16	苯	0.021	0.021	0.021
17	甲苯	2.3	2.3	2.3
18	乙苯	2	2	2
19	氯仿	0.037	0.037	0.037
20	溴仿	0.0021	0.0021	0.0021
21	氯苯	0.96	0.96	0.96
22	四氯化碳	0.0018	0.0018	0.0018
23	1,1-二氯乙烷	0.032	0.032	0.032
24	1,2-二氯乙烷	0.02	0.02	0.02
25	1,1,1-三氯乙烷	1.7	1.7	1.7
26	1,1,2-三氯乙烷	0.0027	0.0027	0.0027
27	1,1,2,2-四氯乙烷	0.0013	0.0013	0.0013
28	三氯乙烯	0.073	0.073	0.073
29	四氯乙烯	0.061	0.061	0.061
30	二溴乙烯	0.0005[a]	0.0005[a]	0.0005[a]
31	苯乙烯	0.13	0.13	0.13
32	二甲苯（总）	2.7	2.7	2.7
33	氯乙烯	0.003	0.003	0.003
34	氯甲烷	0.0011	0.0011	0.0011
35	1,2-二氯乙烯（顺式）	0.051	0.051	0.051
36	1,2-二氯乙烯（反式）	0.073	0.073	0.073
37	1,1-二氯乙烯	0.022	0.022	0.022
38	1,2-二氯丙烷	0.001	0.001	0.001
39	1,2,3-三氯丙烷	0.0005[a]	0.0005[a]	0.0005[a]
40	二溴氯甲烷	0.054	0.054	0.054
41	一溴二氯甲烷	0.035	0.035	0.035
半挥发性有机污染物				
42	六氯苯	0.2	0.3	1
43	苯胺	0.1	0.1	0.1
44	硝基苯	0.05	0.05	0.05
45	苯酚	4.9	4.9	4.9
46	2,4-二硝基甲苯	0.1	0.1	0.1
47	邻苯二甲酸二丁酯	0.19	0.19	0.19
48	邻苯二甲酸二辛酯	13	25	30
49	邻苯二甲酸正辛酯	500	700	9000
50	萘	39	39	39
51	菲	5	6	40
52	蒽	50	60	400
53	荧蒽	50	60	400
54	芘	50	60	400
55	屈	50	60	400
56	芴	50	60	400
57	苯并[b]荧蒽	0.5	0.6	4

58	苯并[k]荧蒽	5	6	40
59	苯并[a]芘	0.2	0.2	0.4
60	茚并[1,2,3-cd]芘	0.2	0.6	4
61	苯并[g,h,i]苝	5	6	40
62	苯并[a]蒽	0.5	0.6	4
63	二苯并[a, h]蒽	0.05	0.06	0.4
64	2-氯酚	0.16	0.16	0.16
65	2,4-二氯酚	0.16	0.16	0.16
66	2,4-二硝基酚	0.28	0.28	0.28
67	2-硝基酚	0.024	0.024	0.024
68	4-硝基酚	0.01	0.01	0.01
69	五氯酚	3	4	10
70	2,4,5-三氯酚	193	193	193
71	2,4,6-三氯酚	35	40	50
72	4-甲酚	0.014	0.014	0.014
农药/多氯联苯及其他				
73	多氯联苯	0.2	0.2	1
74	二噁英类(PCDDs/PCDFs)	0.000002	0.000003	0.00002
75	六六六 α	0.071	0.071	0.071
76	六六六 β	0.11	0.11	0.11
77	六六六 δ	2	2	3
78	林丹（六六六 γ）	0.11	0.11	0.11
79	DDT(包括 o,p’-DDT, p,p’-DDT)	1	1	11
80	p.p’-DDE	1	1	11
81	p,p’-DDD	2	2	15
82	狄氏剂	0.02	0.03	0.2
83	艾氏剂	0.02	0.03	0.2
84	异狄氏剂	4	5	11
85	敌敌畏	0.0008	0.0008	0.0008
86	乐果	0.024	0.024	0.024
87	总石油烃(脂肪族)：<C16	230	6000	620
88	总石油烃(脂肪族)：>C16	10000	10000	10000

[a] 是方法检出限。

6 第二阶段——土壤再利用区环境状况调查

6.1 确定调查范围

通过资料收集与现场踏勘，初步了解再利用区域所在地的水文地质情况和水资源保护规划，参照HJ 610 中 6.2 小节从包气带防污性能、含水层易污染性和地下水环境敏感程度三方面划分评价工作的等级，不同等级评价工作对应的调查范围可参考表 2 确定。

表 2 土壤再利用区环境状况调查范围参考表

评价工作等级	调查范围/km^2	备注

一级	≥50	环境水文地质条件复杂、含水层渗透性较强的地区（如砂卵砾石含水层、岩溶含水系统等），调查评价范围可取较大值，否则可取较小值
二级	20-50	
三级	≤20	

6.2 环境敏感区调查

对调查范围内环境敏感区的数量、分布进行详细调查，禁止污染场地土壤在环境敏感区内再利用。

6.3 土壤/地下水环境现状调查

6.3.1 土壤环境现状

a）调查对象：再利用区域范围内的土壤。

b）布点与采样：土壤现状监测点的布设参见 DB11/T 656 表 1 简化布点的要求，采样深度可依据土层结构、污染物进入土壤的途径及在土壤中的迁移规律确定，样品的采集参见 DB11/T 656 中 6.3.4。

c）分析指标：再利用土壤中有检出（超过方法检出限）的污染物。

d）分析方法：参见 DB11/T 656 附录 F，缺少的优先选用国标方法，其次为美国环保局推荐的方法。

6.3.2 地下水环境现状

a）调查对象：再利用区域范围内易受污染的第一层连续含水层。

b）布点与采样：地下水现状监测井的布设原则、采样深度、监测频率、现场采样与测定参见 HJ 610 中 8.3.4 的要求，可充分利用再利用区域及周边已有地下水水质监测井，对于水文地质条件复杂或存在于多个水文地质单元的调查对象，要根据实际情况增加监测点数量。

c）分析指标：地下水质量常规指标以及再利用土壤中有检出的污染物。

d）分析方法：参见 HJ/T 164 附录 B，缺少的优先选用国标方法，其次为美国环保局推荐的方法。

6.4 水文地质调查

分别对土壤再利用场地及所在区域进行水文地质调查，调查方法参见 GB50021 和 GB/T 14158，调查宜采用精度不小于 1:50000 的比例尺，应充分利用场地土壤/地下水环境现状调查阶段及周边已有的钻孔、监测井（孔）。

6.4.1 气象、水文

a）气象：再利用区及周边地区气象站近三十年来的降水量、降雨频度、雨强、蒸发量、气温、湿度、冻结深度及暴雨等气象资料。

b）水文：再利用区及周边河流、水库、湖泊等地表水体的分布；主要河流的流域面积、径流量、流量、水位、水质、水温含砂量及动态变化；水库、湖泊的容量、水质；地表水与地下水(含暗河、泉等)的补排关系；水利工程类型、分布、规模、用途和利用情况；现状水利工程和地表水作为人工补给地下水的可能性。

6.4.2 水文地质条件

6.4.2.1 水文地质结构

水文地质结构包括包气带、含水层、相对隔水层、隔水层的岩性、厚度及其变化情况。

6.4.2.2 地下水补、径、排条件

a）地下水补给条件：包括降水、人工回灌、地表水等因素。应以收集资料为主，收集场地所在地区的降水量及其水化学变化资料（月、年），调查灌溉制度，收集或观测地表水水位、流量、水质变化资料，分析地表水与地下水的相互关系。

b）地下水径流条件：应注意关注含水层渗透系数、水力坡度、厚度等因素在场内的变化。

c）地下水排泄条件：包括蒸发、开采、径流等因素，应主要收集场地所在地区的蒸发量变化资料（月、年），获取地下水开采利用信息，收集或观测地下水水位及水化学变化资料。

6.4.2.3 水流场特征

地下水流场特征包括地下水埋深、地下水水位标高、地下水流向、水力坡度及其动态变化。

6.4.2.4 水文地质参数获取

a）水文地质参数优先通过土工试验或水文地质试验获取，试验方法参见 GB 50027 和 GB/T 50123，较难获取的参数可采用经验值。

b）水文地质参数主要包括包气带的土壤容重、孔隙度、孔隙体积含水率、孔隙体积含气率、残留含水量、饱和含水量、有机碳含量、pH、渗透系数、弥散度、岩土类型等，以及含水层的渗透系数、弥散系数、水力坡度、有效孔隙度、地下水流速等。

6.5 地下水系统防污性能评估

a）基于已获得的水文地质资料，对再利用区地下水系统防污性能进行评估，评估方法见附件 B。

b）禁止污染场地土壤在防污性能级别为差和较差的区域再利用。

7 第三阶段——特定场地土壤再利用风险评估

7.1 人体健康风险评估

污染场地的土壤再利用时，土壤中污染物可通过直接或间接方式与人体接触，并对人体健康产生危害，基于保护人体健康的污染场地土壤再利用风险评估方法参见 DB11/T 656。

7.2 地下水风险评估

7.2.1 构建概念模型

污染场地的土壤再利用时，土壤中污染物在降雨淋溶作用下向下迁移进入地下水，对地下水造成污染并对地下水使用人群的健康产生危害，典型概念模型见图 2：

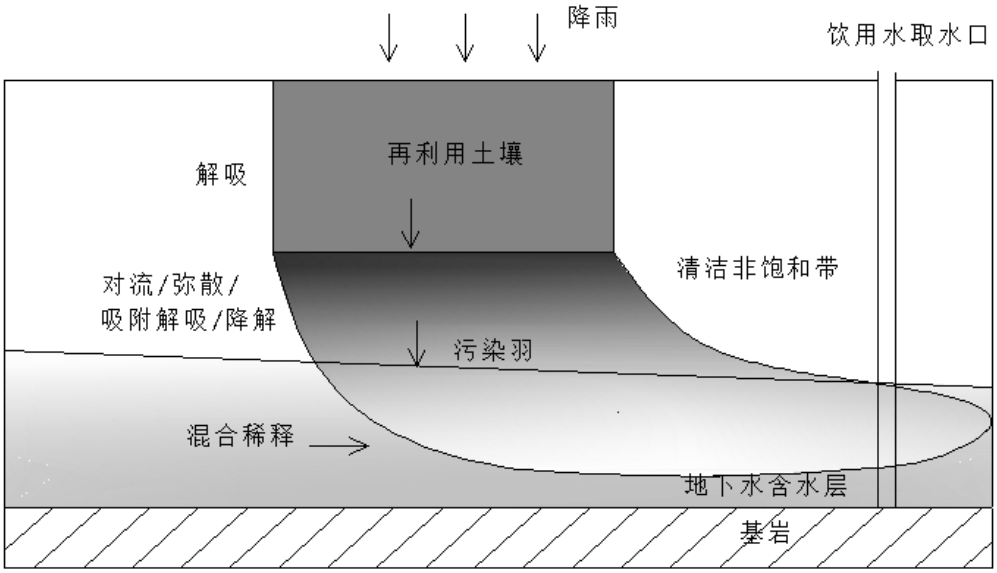

图 2 污染场地土壤再利用典型概念模型

包括以下四个子过程：

a）土壤中污染物的解吸，即在降雨淋溶作用下，再利用土壤中污染物从土壤解吸至土壤孔隙水中；

b）污染物在非饱和带的迁移转化，即土壤孔隙水中污染物随降雨入渗向下迁移，在清洁非饱和带经对流、弥散、吸附解吸和生物降解等一系列迁移转化过程，到达地下水水面处；

c）污染物被地下水混合稀释，即土壤孔隙水中污染物进入地下水后，被地下水混合稀释；

d）污染物在地下水的扩散迁移，即污染物在地下水含水层中通过对流和弥散作用发生迁移扩散，到达环境敏感点，对人体健康构成危害；

7.2.2 风险评估

7.2.2.1 评估方法

地下水风险评估应采用层次化方法，见图 3。

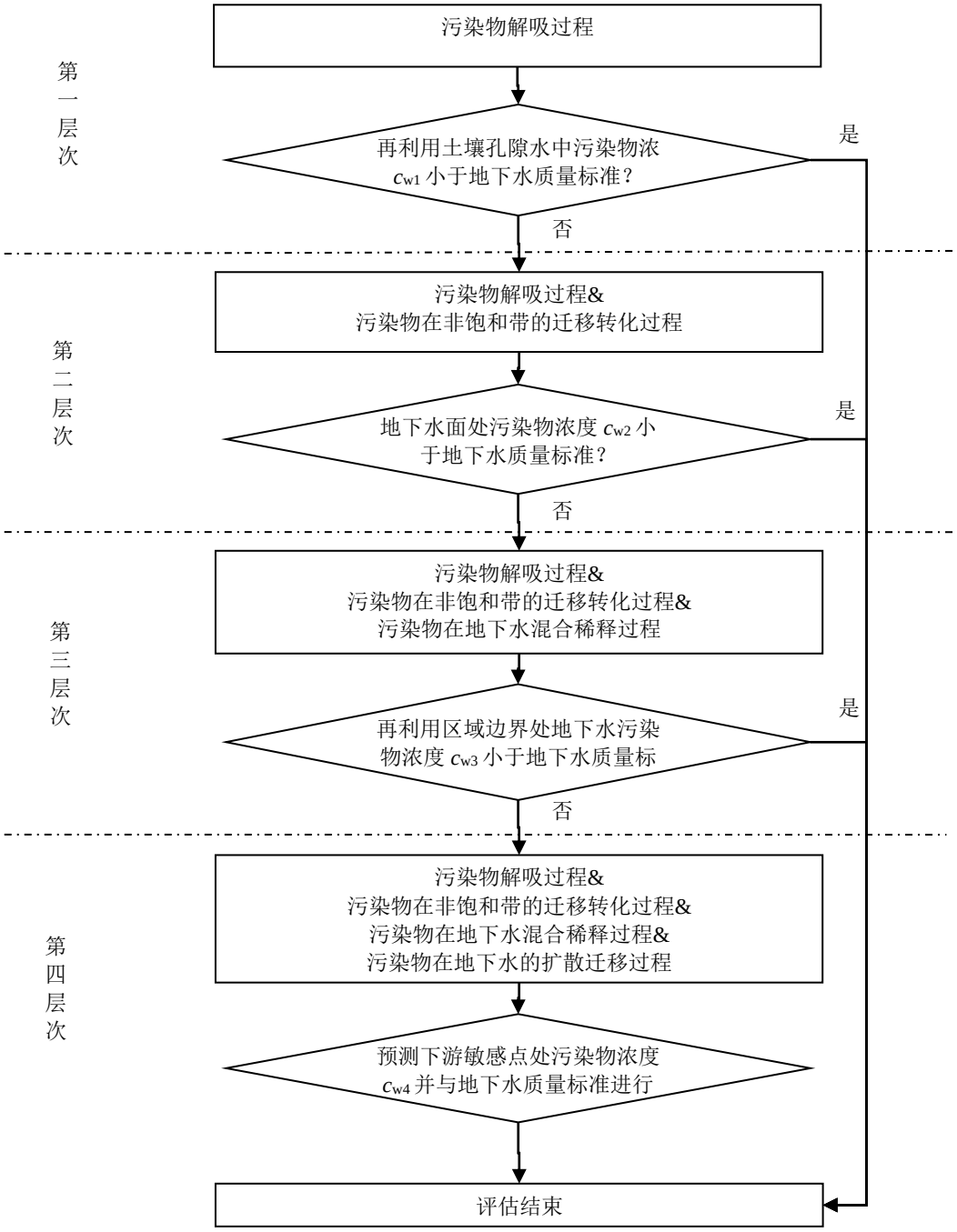

图 3 层次化地下水风险评估

a）第一层次风险评估仅考虑再利用土壤中污染物的解吸过程，达标点为再利用土壤孔隙水中。采用三相平衡模型或浸出测试的方法确定再利用土壤孔隙水中或浸出液中污染物浓度 c_{w1}，如果该浓度小于相应的地下水质量标准，则评估过程结束，否则可进入第二层次风险评估。

b）第二层次风险评估进一步考虑污染物在非饱和带的迁移转化过程，达标点为地下水面处。非饱和带土壤中污染物初始浓度为 c_{w1}，采用一维溶质运移模型预测土壤孔隙水中污染物到达地下水面处的浓度 c_{w2}，如果该浓度小于相应的地下水质量标准，则评估过程结束，否则可进入第三层次风险评估。

c）第三层次风险评估进一步考虑污染物被地下水混合稀释的过程，达标点为再利用区域边界处。地下水面处污染物初始浓度为 c_{w2}，采用箱式模型预测经混合稀释后地下水中污染物浓度 c_{w3}，如果该浓

度小于相应的地下水质量标准，则评估过程结束，否则可进入第四层次风险评估。

d）第四层次风险评估进一步考虑污染物在地下水的扩散迁移过程，达标点为距离再利用区域最近的环境敏感点处。经地下水混合稀释后，污染物初始浓度为 c_{w3}，采用地下水溶质运移模型预测下游敏感点处污染物浓度 c_{w4}，如果该浓度小于相应的地下水质量标准，则评估过程结束，否则土壤再利用会对地下水造成危害。

具体项目地下水风险评估应根据场地概念模型及相应的环境管理要求，选择达标点并确定评估层次。

7.3.2.2 达标点浓度预测

（1）第一层次

第一层次达标点污染物浓度可采用三相平衡理论模型法或浸出测试法进行预测。

a）三相平衡理论模型法

$$c_{w1} = c_s \times \frac{\rho_{b1}}{\theta_{w1} + H \times \theta_{a1} + \rho_{b1} \times K_d} \times 10^{-6} \quad (1)$$

式中：

c_{w1}——再利用土壤孔隙水中污染物浓度，mg/cm^3；

c_s——再利用土壤中污染物初始总浓度，mg/kg；

ρ_{b1}——再利用土壤干容重，mg/cm^3；

θ_{w1}——再利用土壤中水的体积含量，无量纲；

θ_{a1}——再利用土壤中空气的体积含量，无量纲；

H——污染物亨利常数，无量纲；

K_d——污染物土-水分配系数，cm^3(水)/mg(土)；

对于有机物，K_d 的计算方法见公式（2），对于无机物和迁移性低的有机物（K_{oc}>20 cm^3/mg），K_d 可通过浸出实验获得，浸出方法按 HJ/T299 中规定的执行，计算方法见公式（3）：

$$K_d = K_{oc} \times f_{oc} \quad (2)$$

$$K_d = \frac{(c_s M_s - c_L V_L)/M_s}{c_L} \times 10^{-6} \quad (3)$$

式中：

K_{oc}——污染物有机碳-水吸附系数，cm^3(水)/mg(碳)；

f_{oc}——土壤有机碳含量，无量纲；

M_s——浸出测试土壤样品质量，kg；

c_L——浸出液中污染物浓度，mg/cm^3；

V_L——浸出液体积，cm^3。

b）浸出测试法

浸出测试方法按照 HJ/T 299 中规定的执行，浸出浓度可视为再利用土壤孔隙水中目标污染物浓度。

（2）第二层次

第二层次达标点污染物浓度可采用非饱和带一维水流-溶质运移模型进行预测。

a）水流控制方程

假设水流在包气带中的运动服从一维稳态方程，采用 Richards 方程描述一维平衡水流运动，见公式（4）：

$$\frac{\partial \theta_{w2}}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial z}\left[K(h,z)(\frac{\partial h}{\partial z}+1)\right]-S \quad （4）$$

其中，

$$K(h,z)=K_s(z)K_r(h,z) \quad （5）$$

初始条件与边界条件分别为：

初始条件为 $h(z,0)=h_0(z)$ （t=0，z≥0）（6）

上边界条件为 $-K(h,z)\left(\frac{\partial h}{\partial z}+1\right)=q(t)$ （t≥0，z=L）（7）

下边界条件为 $\frac{\partial h}{\partial z}=0$ （t≥0，z=0）（8）

式中：

θ_{w2}——非饱和带土壤中水的体积含量，无量纲；

h——压力水头，cm；

S——源汇项，$cm^3/(cm^3\ s)$；

$K(h,z)$——非饱和带渗透系数函数，cm/s；

$K_s(z)$——非饱和带饱和渗透系数，cm/s；

$K_r(h,z)$——非饱和带相对渗透率，无量纲；

h_0——初始时刻包气带压力水头，cm；

$q(t)$——边界上已知的水通量函数，cm^3/s；

L——下边界处。

b）溶质运移控制方程

溶质运移基本控制方程见公式（9）：

$$\theta\frac{\partial c_w}{\partial t}+\rho_{b2}\frac{\partial s}{\partial t}=\theta D\frac{\partial^2 c_w}{\partial z^2}-u\theta\frac{\partial c_w}{\partial z}-\mu_1 c_w \quad （9）$$

如果吸附作用为线性吸附，则 $\rho_{b2}\frac{\partial s}{\partial t}=\rho_{b2}k_d\frac{\partial c_w}{\partial t}$ （10）

公式（9）可改写为

$$(1+\frac{\rho_{b2}k_d}{\theta})\frac{\partial c_w}{\partial t}=D\frac{\partial^2 c_w}{\partial z^2}-u\frac{\partial c_w}{\partial z}-\mu_1 c_w \quad （11）$$

或

$$R\frac{\partial c_w}{\partial t}=D\frac{\partial^2 c_w}{\partial z^2}-u\frac{\partial c_w}{\partial z}-\mu_1 c_w \quad （12）$$

初始条件与边界条件分别为：

初始条件为 $c_{\mathrm{w}}(z,0)=c_{w0}$ （t=0，z≥0）（13）

上边界条件为 $\theta D\frac{\partial c_{\mathrm{w}}}{\partial z}=q(t)c_0$ （t≥0，z=L）（14）

下边界条件为 $\frac{\partial c_{\mathrm{w}}}{\partial z}=0$ （t≥0，z=0）（15）

式中：

c_{w}——非饱和带土壤孔隙水中污染物浓度，mg/cm^3（到达地下水面处为 c_{w2}）；

θ——非饱和带土壤有效孔隙度，无量纲；

ρ_{b2}——非饱和带土壤干容重，mg/cm^3；

s——非饱和带土壤固相吸附浓度，mg/mg；

D——非饱和带土壤水动力弥散系数，cm^2/s；

u——垂直方向非饱和带土壤孔隙水渗流流速，cm/s；

μ_1——一阶生物降解系数，1/s（如果不考虑生物降解作用，则取值为 0，可通过实验获得）；

z——相对于基准面的高度，向上为正，cm；

R——延迟系数，无量纲；

c_{w0}——初始状态非饱和带土壤孔隙水中污染物浓度，mg/cm^3（清洁的非饱和带取值为 0）；

c_0——边界上已知水通量中污染物浓度，mg/cm^3（上边界水通量不含污染物时取值为 0）。

由于溶质运移模型难以解析求解，实际问题中多靠数值方法求解。

（3）第三层次

第三层次达标点污染物浓度可采用箱式混合模型进行预测，见公式（16）：

$$c_{\mathrm{w3}}=\frac{c_{\mathrm{w2}}}{\mathrm{DF}} \quad (16)$$

其中，

$$\mathrm{DF}=1+\frac{U_{\mathrm{gw}}\times\delta_{\mathrm{gw}}}{I\times W_{\mathrm{gw}}} \quad (17)$$

$$\delta_{\mathrm{gw}}=\min(B,0.10583\times W_{\mathrm{gw}}+B\times(1+\exp(\frac{-W_{\mathrm{gw}}\times I}{U_{\mathrm{gw}}\times B}))) \quad (18)$$

式中：

c_{w3}——经混合稀释后地下水中污染物浓度，mg/cm^3；

DF——地下水混合稀释因子，无量纲；

U_{gw}——地下水流速，cm/s；

δ_{gw}——地下水混合层厚度，cm；

W_{gw}——平行于地下水流向的污染土壤长度，cm；

B——含水层厚度，cm。

（4）第四层次

第四层次达标点污染物浓度可按照 HJ 610 中 F.3 和 F.4 规定的方法进行预测，由于溶质运移模型难以解析求解，实际问题中多靠数值方法求解。

7.3.2.3 基于保护地下水的土壤再利用修复目标值

如果风险评估的结果表明土壤再利用会对地下水产生危害，应根据选择的达标点制定基于保护地下水的土壤再利用修复目标值，指导土壤修复。

不同层次土壤再利用修复目标值的计算方法见公式（19）-（22）：

第一层次：$$\mathrm{SRL}_{\mathrm{gw}}=c_{\mathrm{gw}}\times\frac{\theta_{\mathrm{w1}}+H\times\theta_{\mathrm{a1}}+\rho_{\mathrm{b1}}\times K_{\mathrm{d}}}{\rho_{\mathrm{b1}}}\times10^{6}$$ （19）

第二层次：$$\mathrm{SRL}_{\mathrm{gw}}=c_{\mathrm{gw}}\times\mathrm{AF}\times\frac{\theta_{\mathrm{w1}}+H\times\theta_{\mathrm{a1}}+\rho_{\mathrm{b1}}\times K_{\mathrm{d}}}{\rho_{\mathrm{b1}}}\times10^{6}$$ （20）

第三层次：$$\mathrm{SRL}_{\mathrm{gw}}=c_{\mathrm{gw}}\times\mathrm{AF}\times\mathrm{DF}\times\frac{\theta_{\mathrm{w1}}+H\times\theta_{\mathrm{a1}}+\rho_{\mathrm{b1}}\times K_{\mathrm{d}}}{\rho_{\mathrm{b1}}}\times10^{6}$$ （21）

第四层次：$$\mathrm{SRL}_{\mathrm{gw}}=c_{\mathrm{gw}}\times\mathrm{AF}\times\mathrm{DF}\times\mathrm{LDF}\times\frac{\theta_{\mathrm{w1}}+H\times\theta_{\mathrm{a1}}+\rho_{\mathrm{b1}}\times K_{\mathrm{d}}}{\rho_{\mathrm{b1}}}\times10^{6}$$ （22）

其中，

$$\mathrm{AF}=c_{\mathrm{w1}}/c_{\mathrm{w2}}$$ （23）

$$\mathrm{LDF}=c_{\mathrm{w2}}/c_{\mathrm{w3}}$$ （24）

式中：

$\mathrm{SRL_{gw}}$——基于保护地下水的土壤再利用修复目标值，mg/kg；

c_{gw}——地下水中污染物含量限值，$\mathrm{mg/cm^3}$；

AF——污染物在非饱和带中的衰减因子，无量纲；

LDF——污染物在地下水中的衰减因子，无量纲；

其他参数的含义同上。

8 污染防治对策及长期监测计划

a）土壤再利用区底部应设计防渗措施，建议铺设厚度不小于 0.5 m 的粉质粘土；土壤再利用区顶部不能直接暴露于环境，应根据实际情况对表面进行硬化或覆盖至少 1 m 的清洁土壤。

b）制定地下水风险事故应急响应预案，明确风险事故状态下应采取的措施，提出防止受污染的地下水扩散和对受污染的地下水进行治理的具体方案。

c）提出防治地下水污染的环境监测方案，包括对项目的主要污染源、影响区域、主要保护目标和与环保措施运行效果有关内容提出具体的监测计划（监测井点布置、取样深度、监测的指标、监测频率等），以及对环境监测机构和人员装备的建议。

d）提出向环境保护行政主管部门报告的制度，包括报告的方式、程序、频次和内容（土壤再利用区域及其影响区地下水环境监测数据，排放污染物的种类、数量、浓度，以及排放设施、治理措施运行状况和运行效果等）。

9 报告编制

如果评估结果表明土壤再利用会对人体健康或地下水造成危害，应土壤修复或重新选择再利用区域；反之土壤可在该区域再利用，提出相应的污染防治对策及长期监测计划，并编制报告。

报告可参照附录 A 的格式编写。

附录 A

（资料性附录）

污染场地土壤再利用风险评估报告编写示例

1 概述
- 1.1 项目背景
- 1.2 评估等级与范围
- 1.3 评估因子与标准
- 1.4 工作内容
- 1.5 技术路线

2 再利用区环境状况调查
- 2.1 地理位置
- 2.2 自然环境概况
  - 2.2.1 地形地貌
  - 2.2.2 地质结构
  - 2.2.3 水文地质
  - 2.2.4 地表水系
  - 2.2.5 气候气象
- 2.3 社会环境状况
- 2.4 周边环境敏感区

3 水文地质勘查
- 3.1 勘察孔布设
- 3.2 地质条件
  - 3.2.1 区域地质条件
  - 3.2.2 再利用区地质条件
- 3.3 水文地质
  - 3.3.1 区域水文地质
  - 3.3.2 再利用区水文地质
- 3.4 水文地质参数
  - 3.4.1 区域水文地质参数
  - 3.4.2 再利用区水文地质参数
- 3.5 地下水防污性能评估

4 土壤/地下水环境现状调查
- 4.1 土壤环境
  - 4.1.1 调查方法
  - 4.1.2 采样布点
  - 4.1.3 分析指标及方法
  - 4.1.4 监测结果
  - 4.1.5 土壤环境质量现状
- 4.2 地下水环境
  - 4.2.1 调查方法
  - 4.2.2 采样布点
  - 4.2.3 分析指标及方法

4.2.4 监测结果
4.2.5 地下水环境质量现状
5 土壤再利用风险筛选
5.1 再利用工程介绍
5.2 再利用土壤污染状况分析
5.3 土壤再利用风险筛选
6 特定场地土壤再利用风险评估（如有）
6.1 概念模型建立
6.2 人体健康风险评估
6.2.1 危害识别
6.2.2 暴露评估
6.2.3 毒性评估
6.2.4 风险表征
6.3 地下水风险评估
6.3.1 评估方法
6.3.2 参数取值
6.3.3 评估结果
6.3.4 风险评估结论
6.4 土壤再利用修复目标值
7 污染防治对策及长期监测计划
8 结论与建议
附件

附录 B

（资料性附录）

地下水系统防污性能评估方法

B.1 孔隙潜水防污性能评估

孔隙水潜水防污性能评估建议采用 DRASTIC 模型。该模型在应用时假设以下条件成立：（1）污染物由地表经土壤层、包气带进入含水层；（2）污染物随水流入渗到地下水中；（3）污染物随水流动。

DRASTIC 模型由地下水位埋深 D、净补给量 R、含水层厚度 A、土壤带介质 S、地形 T、包气带介质类型 I 和含水层渗透系数 C 共 7 个水文地质参数组成。模型中每个指标都分成几个区段，每个区段赋予 1-10 的评分，然后根据每个指标对防污性能的权重，通过加权求和得到地下水防污性能指数（DI），见公式（B-1）。

$$DI = D_W D_R + R_W R_R + A_W A_R + S_W S_R + T_W T_R + I_W I_R + C_W C_R \qquad (B\text{-}1)$$

式中，DI 表示地下水防污性能指数；下标 R 表示指标值（各项指标等级划分和赋值见表 B.1）；W 表示指标的权重值（见表 B.2）。根据 DI 值将地下水防污性能分为低、较低、中等、较高和高 5 个级别，DI 值越高，地下水防污性能越低（见表 B.3）。

表 B.1 孔隙水防污性能评估指标等级划分和赋值

指标	评分									
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
D	>30	(25,30]	(20,25]	(15,20]	(10,15]	(8,10]	(6,8]	(4,6]	(2,4]	≤2
R	0	(0,51]	(51.71,]	(71,92]	(92,117]	(117,147]	(147,178]	(178,216]	(216,235]	＞235
A	＞50	(45,50]	(40,45]	(35,40]	(30,35]	(25,30]	(20,25]	(15,20]	(10,15]	≤10
S	非胀缩和非凝聚性粘土（岩石）	粘质壤土（粘土）	粉质壤土	壤土	砂质壤土（砂土）	胀缩或凝聚性粘土	粉砂、细砂	砾石/中砂、粗砂	卵砾石	薄或缺失
T	＞10	(9,10]	(8,9]	(7,8]	(6,7]	(5,6]	(4,5]	(3,4]	(2,3]	(0,2]
I	粘土	亚粘土	亚砂土	粉砂	粉细砂	细砂	中砂	粗砂	砂砾石	卵砾石
C	(0,4]	(4,12]	(12,20]	(20,30]	(30,35]	(35,40]	(40,60]	(60,80]	(80,100]	＞100

表 B.2 DRASTIC 模型各指标说明和权重建议值

指标	数据来源	说明	推荐权重
地下水位埋深（D）	水平年高水位期地下水水位统测资料	此处地下水位埋深指地表到潜水面的距离，单位为 m，精度按 10-15 个井/100 km^2	5
地下水垂向净补给量（R）	降水量减去地表径流量和蒸散量或降水量乘以降水入渗系数	以大气降水为区域潜水补给最主要来源时，可近似采用降水入渗补给量替代垂向净补给量；在有其他主要的补给途径时，要综合考虑各种补给来源对潜水的补给量。在农灌区需迭加灌溉回归量，在地表水和地下水有水力联系的评估区需迭加地表水渗漏量，单位为 mm/a	4

含水层厚度（A）	含水层顶底板等值线图或钻孔资料	含水层厚度可以从含水层顶、底板等直线图中计算得到，或从钻孔资料分析得出，单位为 m，按 2-4 个钻孔/100 km^2 分析	3
土壤介质（S）	钻孔柱状图或区域土壤分区图	土壤层为地表厚度 2 m 或小于 2 m 的风化成，按 4-10 个钻孔/100 km^2	2
地形坡度（T）	DEM 坡度提取	利用 1:5 万或 1:1 万地形图的 DEM 提取后，在 ArcGIS 中可自动生成坡度值，单位为%	1
包气带介质类型（I）	钻孔柱状图或野外剖面	此处包气带是指前水位以上或承压含水层顶板以上、土壤层以下的非饱和区或非连续饱和区的岩层，根据钻孔资料获取包气带介质类型，按 4-10 个钻孔/100 km^2 分析，以专家和有经验的水文地质工作者进行判断定名，或者收集当地国土部门已完成的包气带岩性图	5
含水层渗透系数（C）	经验值或野外抽水试验	含水层渗透系数从野外抽水试验获取，或从钻孔资料分析得出，按 2-4 个钻孔/100 km^2 分析，单位为 m/d	3

表 B.3 孔隙水防污性能评价标准

地下水防污性能指数 DI	[20,70]	(70,100]	(100,120]	(120,150]	(150,200]
地下水防污性能级别	高	较高	中等	较低	低

B. 2 岩溶水防污性能评估

目前，岩溶水的防污性能评估研究尚处于起步阶段，推荐采用 PLEIK 模型，不同类型的评估区可根据自然地理特征和水文地质特征对评估指标进行适当调整。

PLEIK 模型共 5 个指标：P 为保护性盖层厚度，L 为土壤利用类型，E 为表层岩溶带发育强度，I 为补给类型，K 为岩溶网络系统发育程度。首先根据实际情况对每个指标权重赋值，之后对每个指标评分，计算方法见公式（B-2）：

$$DI = w_1 \times P_i + w_2 \times L_j + w_3 \times E_k + w_4 \times I_m + w_5 \times K_l \qquad (B\text{-}2)$$

其中，DI 为防污性能等级；w_1、w_2、w_3、w_4、w_5 为各指标的权重赋值；P_i、L_j、E_k、I_m、K_l 为等级分值。根据 DI 值将地下水防污性能分为低、较低、中等、较高和高 5 个级别（见表 B.4），DI 值越高，地下水防污性能越低。

表 B.4 岩溶地下水防污性能评估标准

地下水防污性能指数 DI	[1,2]	(2,4]	(4,6]	(6,8]	(8,10]
地下水防污性能级别	高	较高	中等	较低	低

各项指标的评分标准及权重值的确定如下：

1）各指标的评分标准

①保护性盖层厚度（P）

保护性盖层是指地下水位以上的非岩溶地层（如第四系松散沉积物等土层）。土层性质（包括结构、构造、有机质和粘土矿物及饱水度和导水率等）使土层对大部分污染物具有潜在的降解或吸附功能，因此增加阳离子交换容量（CEC）这一指标，与覆盖层厚度属性共同构成评分矩阵（见表 B.6）。分值越低，系统的防污性能越高。

表 B.5 土层厚度属性分类

保护性盖层	**特性描述**

分级	A. 土层直接覆盖于灰岩或高渗透率的碎石上	B. 土层覆盖于低渗透率的底层上，如湖积物、粘土等
P_1	土层厚度 0~20 cm	不超过 1 m 的底层上土层厚度 0~20 cm
P_2	土层厚度 20~100 cm	不超过 1 m 的底层上土层厚度 20~100 cm
P_3	土层厚度 100~150 cm	超过 1 m 的底层上土土层厚度 100 cm 左右
P_4	土层厚度 >150 cm	低渗透率的底层上覆土层厚度超过 100 cm，或者超过 8 m 的粘土或淤泥，或者非岩溶岩石地层

表 B.6 保护性盖层评分矩阵

保护性盖层分级	CEC 含量/(meq/100 g)			
	<10	10~100	100~200	>200
P_1	1	3	5	7
P_2	2	4	6	8
P_3	3	5	7	9
P_4	4	6	8	10

②土壤利用类型（L）

表 B.7 土地利用程度属性分类

土地利用程度及评分				特性描述
低↓高	林地	L_1	10	以乔木为主、植被覆盖率大于 60%的有林地（不包括幼林）
	草地	L_2	8	以灌木、荒草为主的土地（包括幼林）
	园地	L_3	6	用于种植果树的土地
	耕地	L_4	4	用于耕种的土地（包括菜地）
	裸地	L_5	2	几乎无植被覆盖
	村镇及工矿用地	L_6	1	包括居民区、工厂和矿山用地、公路等工程建设用地

③表层岩溶带发育强度（E）

表层岩溶带的发育程度主要受岩性、岩石结构、构造、地貌、水动力条件、土层及植被覆盖情况等因素影响。表层岩溶带发育程度可以通过垂直相交溶蚀通道（包括岩溶节理、溶蚀裂缝、小溶沟、溶隙、溶管、小溶坑、竖井等）在特定尺度内的平均深度和频率来度量。

表 B.8 表层岩溶带属性分级

表层岩溶带类型及评分			特性描述
强烈发育的表层岩溶带	E_1	10	最小溶蚀间距(<0.25 m)，典型溶蚀深度>2 m
高度发育的表层岩溶带	E_2	8	较近的溶蚀间距(<0.5 m)，平均溶蚀深度 1~2 m
中等发育的表层岩溶带	E_3	6	中等溶蚀间距(<1 m)，平均溶蚀深度 0.5-1.0 m
轻度发育的表层岩溶带	E_4	4	较大的溶蚀间距(>2 m)，平均溶蚀深度小于 0.5 m
不明显发育的表层岩溶带	E_5	2	在基岩上观察不到表层岩溶的溶蚀发育
发育不清楚的表层岩溶带	E_6	1	表层岩溶带不可见或被厚层沉积物所覆盖

当表层岩溶带定量测量难度较大时，可以以区域岩溶层组类型为基础进行分级（表 B.9）。

表 B.9 表层岩溶带区域属性分级

岩溶组类型	K	备注

均匀状纯碳酸盐岩类	灰岩连续型，表层岩溶带强烈发育	10	中-厚层纯灰岩
	灰岩夹白云岩型，表层岩溶带高度发育	[8,9]	无非碳酸盐岩夹层，不纯碳酸盐岩夹层小于 10%
	灰岩-白云岩交互（间隔）型，表层岩溶带中等发育	[6,7]	
间层状碳酸盐岩类	断续状不纯碳酸盐岩型，表层岩溶带轻度发育	[4,5]	非碳酸盐岩夹层小于 15%，不纯碳酸盐岩厚度大于 50%
	非碳酸盐岩-不纯碳酸盐岩交互型，表层岩溶带不明显发育	[2,3]	非碳酸盐岩夹层大于 30%，不纯碳酸盐岩厚度大于 50%
不纯碳酸盐岩类	表层岩溶带不发育	1	非碳酸盐岩夹层大于 50%，不纯碳酸盐岩厚度小于 30%

④补给类型（I）

补给类型既包括岩溶含水层的补给类型，又包括补给强度。

表 B.10 补给类型分级

补给类型		属性描述
集中补给 ↓ 分散补给	I_1	落水洞或漏斗周围 500 m 区域或伏流两侧各 500 m 距离
	I_2	落水洞或漏斗周围 500~1000 m 之间，且向落水洞汇流坡度>10%的耕作区和坡度>25%的草地区和伏流两侧 500~1000 m 之间
	I_3	落水洞或漏斗周围 500~1000 m 之间，且汇流坡度<10%的耕作区和坡度<25%的草地区
	I_4	上述之外的汇水区域

表 B.11 入渗补给强度分级与评分

补给类型	雨强特征(mm/d)		
	＜9.9	10-24.9	＞25
I_1	4	[5,9]	10
I_2	3	[4,7]	8
I_3	2	[3,5]	6
I_4	1	[2,3]	4

⑤岩溶网络系统发育程度（K）

含水层岩溶网络或洞穴系统是由直径或宽度超过 10 mm 的溶蚀空间组成的，也是自然条件下产生紊流的最小有效尺寸。空洞在岩溶网络系统中或多或少发育并相互连通，岩溶网络的发育及其结构对水流速度起重要作用，并因此影响岩溶水系统防污性能。表 B.12~B.14 均可进行岩溶网络发育评分，其中 B-12 的分类比较宏观，适于资料不足时判断评分；表 B.13 采用地下水径流模数作为反映含水层岩溶网络发育的参数，可定量地评价含水层岩溶网络发育特征，建议采用；另外还可根据岩溶含水层组类型划分结果简单地确定含水层岩溶网络发育系统（表 B.14）。

表 B.12 岩溶网络发育程度分类

发育类型及评分		属性描述
强烈发育的岩溶网络	[8,10]	存在良好发育的岩溶网络(由分米到米级的管道组成，连通性极好，很少阻塞)
弱发育的岩溶网络	[4,7]	存在微弱发育的岩溶网络(小型管道，连通性较差或被重填，分米级的或更小

		尺寸的空间)
混合和裂隙含水层	[1,3]	孔隙度出露泉水，无岩溶发育，仅存裂隙含水层

表 B.13 岩溶网络属性的径流模数分类

溶岩网络类型与评分		径流模数/($L•s^{-1}•km^{-2}$)
强烈发育的岩溶网络	[8,10]	<1
中等发育的岩溶网络	[6,7]	1~7
弱发育的岩溶网络	[4,5]	7~15
混合和裂隙含水层	[1,3]	>15

地下水径流模数，也称“地下径流率”，是 1 平方公里含水层分布面积上地下水的径流量；表示一个地区以地下径流形式存在的地下水量的大小。年平均地下径流模数可用式（B-3）计算：

$$M = Q/(86.4F) \qquad (B\text{-}3)$$

式中，M 表示地下水径流模数，$L•s^{-1}•km^{-2}$；F 表示含水层分布面积，km^{-2}；Q 表示地下水天然径流量，m^3/d。

表 B.14 岩溶网络属性的岩溶含水层组类型划分

类型及评分			备注
均匀状纯碳酸盐岩类	灰岩连续型	10	无非碳酸盐岩夹层，不纯碳酸盐岩夹层小于 10%
	灰岩夹白云岩型	9	
	灰岩-白云岩交互型	8	
	灰岩-白云岩间隔型	7	
间层状不纯碳酸盐岩类	断续状不纯碳酸盐岩型	[4,6]	非碳酸盐岩夹层小于 15%，不纯碳酸盐岩厚度大于 50%
	非碳酸盐岩-不纯碳酸盐岩交互型	[1,3]	非碳酸盐岩厚度大于 30%，不纯碳酸盐岩厚度大于 50%

2）各指标权重确定

各指标权重赋值采用模糊综合矩阵法确定，方法如下：

①构造指标集：将 5 项地下水防污性能评价指标组成指标集：D=（d1,d2,d3,d4,d5）=（保护性盖层，土地类型及利用程度，表层岩溶带，补给类型，岩溶网络发育程度）。

②根据覆盖性岩溶区的水文地质条件，确定 5 个指标的相对重要性为：保护性盖层＞土地类型及利用程度＞表层岩溶带＞补给类型＞岩溶网络发育程度。

③通过两两比较确定优先矩阵，对优先矩阵进行一致矩阵转化并利用方根法进行归一化，得到最终的权重矩阵（$\vec{w} = (w1, w2, w3, w4, w5)$）。

B. 3 裂隙水防污性能评估

裂隙水是指保存在坚硬岩石裂隙中的地下水，主要分布于基岩山区，平原区埋藏于松散沉积物之下的极严重，地表很少出露。裂隙水具有强烈的非均匀性、各项异性和随机性，推荐采用 DRASTIC 模型评估其防污性能。

B. 4 承压水防污性能评估

对于有承压性的地下水，根据承压层地下水污染主要影响因子，推荐采用 DLCT 模型（该模型在

DRASTIC 模型原理的基础上进行改进）。DLCT 模型选择的主评估指标包括：承压含水层埋深 D、隔水层岩性 L、隔水层的连续性 C、隔水层厚度 T，首先对各指标评分，然后根据每个指标对防污性能的权重（表 B.16），通过加权求和得到承压地下水防污性能指数（DI），见公式（B-4）：

$$DI = D_W D_R + L_W L_R + C_W C_R + T_W T_R \qquad \text{(B-4)}$$

式中，DI 表示地下水防污性能指数；下标 R 表示指标值（各项指标等级划分和赋值见表 B.15）；W 表示指标的权重值（见表 B.16）。根据 DI 值将地下水防污性能分为中等、较高和高 3 个级别，DI 值越高，地下水防污性能越低（见表 B.17）。

表 B.15 DLCT 模型指标等级划分和赋值

承压含水层埋深 D		**隔水层岩性 L**		**隔水层连续型 C**		**隔水层厚度 T**	
埋深/m	**评分**	**岩性**	**评分**	**连续性**	**评分**	**厚度/m**	**评分**
＜40	10	粉砂、页岩	10	连续	10	＜2	10
[40,60)	9	粉土、泥质页岩	9	不连续	5	[2,4)	9
[60,80)	8	亚砂土、泥岩	8	-	-	[4,6)	8
[80,100)	7	亚粘土	7	-	-	[6,8)	7
[100,120)	6	粘土	6	-	-	[8,10)	6
＞120	5	-	-	-	-	＞10	5

表 B.16 DLCT 模型指标权重

指标	**承压含水层埋深 D**	**隔水层岩性 L**	**隔水层连续型 C**	**隔水层厚度 T**
权重	5	4	5	4

表 B.17 承压水防污性能评价标准

地下水防污性能指数 DI	<120	[120,160]	＞160
地下水防污性能级别	高	较高	中等

附录 C

（资料性附录）

部分污染物理化性质参数

表 C.1 部分污染物理化性质参数

序号	中文名	英文名	CAS 号	*H*’	数据来源	D_w cm^2/s	数据来源	D_a cm^2/s	数据来源	K_{oc} cm^3/mg	数据来源
1	砷	Arsenic	7440-38-2								
2	铍	Beryllium	7440-41-7								
3	镉	Cadmium	7440-43-9								
4	铬	Chromium (total)	7440-47-3								
5	铬 (VI)	Chromium (VI)	18540-29-9							1.44E-03	CRC89
6	铜	Copper	7440-50-8								
7	铅	Lead (inorganic)	7439-92-1								
8	汞	Mercury	7439-97-6	4.67E-01	SSL	6.30E-06	SSL	3.07E-02	SSL	6.37E-04	EPI
9	镍-溶解盐	Nickel	7440-02-0								
10	锌	Zinc	7440-66-6								
11	锡	Tin	7440-31-5								
12	氰化物	Cyanide	57-12-5	5.44E-03	EPI	2.46E-05	WATER9	2.11E-01	WATER9	9.90E-03	EPI
13	氟化物	Fluorine (soluble fluoride)	7782-41-4							1.50E-01	EPI
14	石棉	Asbestos	1332-21-4								
15	二氯甲烷	Methylene chloride	75-09-2	1.33E-01	EPI	1.25E-05	WATER9	9.99E-02	WATER9	2.17E-02	EPI
16	苯	Benzene	71-43-2	2.27E-01	EPI	1.03E-05	WATER9	8.95E-02	WATER9	1.46E-01	EPI
17	甲苯	Toluene	108-88-3	2.71E-01	EPI	9.20E-06	WATER9	7.78E-02	WATER9	2.34E-01	EPI
18	乙苯	Ethyl benzene	100-41-4	3.22E-01	EPI	8.46E-06	WATER9	6.85E-02	WATER9	4.46E-01	EPI
32	二甲苯（总）	Xylenes (mixed	1330-20-7	2.12E-01	EPI	9.90E-06	WATER9	8.47E-02	WATER9	3.83E-01	EPI

序号	中文名	英文名	CAS 号	*H*’	数据来源	D_w cm^2/s	数据来源	D_a cm^2/s	数据来源	K_{oc} cm^3/mg	数据来源
		isomers)									
33	氯乙烯	Vinyl chloride	75-01-4	1.14E+00	EPI	1.20E-05	WATER9	1.07E-01	WATER9	2.17E-02	EPI
34	氯甲烷	Chloromethane	74-87-3	3.61E-01	EPI	1.36E-05	WATER9	1.24E-01	WATER9	1.32E-02	EPI
35	1,2-二氯乙烯（顺式）	Dichloroethylene, cis-1,2-	156-59-2	1.67E-01	EPI	1.13E-05	WATER9	8.84E-02	WATER9	3.96E-02	EPI
36	1,2-二氯乙烯（反式）	Dichloroethylene, trans-1,2	156-60-5	1.67E-01	EPI	1.12E-05	WATER9	8.76E-02	WATER9	3.96E-02	EPI
37	1,1-二氯乙烯	Dichloroethylene, 1,1-	75-35-4	1.07E+00	EPI	1.10E-05	WATER9	8.63E-02	WATER9	3.18E-02	EPI
38	1,2-二氯丙烷	Dichloropropane, 1,2-	78-87-5	1.15E-01	EPI	9.73E-06	WATER9	7.33E-02	WATER9	6.07E-02	EPI
39	1,2,3-三氯丙烷	Trichloropropane, 1,2,3-	96-18-4	1.40E-02	EPI	9.24E-06	WATER9	5.75E-02	WATER9	1.16E-01	EPI
40	二溴氯甲烷	Dibromochloromethane	124-48-1	3.20E-02	EPI	1.06E-05	WATER9	3.66E-02	WATER9	3.18E-02	EPI
41	一溴二氯甲烷	Dibromochloromethane	75-27-4	8.67E-02	EPI	1.07E-05	WATER9	5.63E-02	WATER9	3.18E-02	EPI
42	六氯苯	Hexachlorobenzene	118-74-1	6.95E-02	EPI	7.85E-06	WATER9	2.90E-02	WATER9	6.20E+00	EPI
43	苯胺	Aniline	62-53-3	8.26E-05	EPI	1.01E-05	WATER9	8.30E-02	WATER9	7.02E-02	EPI
44	硝基苯	Nitrobenzene	98-95-3	9.81E-04	EPI	9.45E-06	WATER9	6.81E-02	WATER9	2.26E-01	EPI
45	苯酚	Phenol	108-95-2	1.36E-05	EPI	1.03E-05	WATER9	8.34E-02	WATER9	1.87E-01	EPI
46	2,4-二硝基甲苯	Dinitrotoluene, 2,4-	121-14-2	2.21E-06	EPI	7.90E-06	WATER9	3.75E-02	WATER9	5.76E-01	EPI
47	邻苯二甲酸二丁酯	Di-n-butyl phthalate	84-74-2	7.40E-05	EPI	5.33E-06	WATER9	2.14E-02	WATER9	1.16E+00	EPI
48	邻苯二甲酸二辛酯	Bis (2-ethyl-hexyl) phthalate	117-81-7	1.10E-05	EPI	4.18E-06	WATER9	1.73E-02	WATER9	1.20E+02	EPI
49	邻苯二甲酸正辛酯	Di-n-octyl phthalate	117-84-0	1.05E-04	EPI	4.15E-06	WATER9	3.56E-02	WATER9	1.41E+02	EPI
50	萘	Naphthalene	91-20-3	1.80E-02	EPI	8.38E-06	WATER9	6.05E-02	WATER9	1.54E+00	EPI
51	菲	Phenanthrene	85-01-8	5.40E-03	TX11	7.47E-06	TX11	3.33E-02	TX11	1.41E+01	TX11
52	蒽	Anthracene	120-12-7	2.27E-03	EPI	7.85E-06	WATER9	3.90E-02	WATER9	1.64E+01	EPI
53	荧蒽	Fluoranthene	206-44-0	3.62E-04	EPI	7.18E-06	WATER9	2.76E-02	WATER9	5.55E+01	EPI
54	芘	Pyrene	129-00-0	4.87E-04	EPI	7.25E-06	WATER9	2.78E-02	WATER9	5.43E+01	EPI
55	屈	Chrysene	218-01-9	2.14E-04	EPI	6.75E-06	WATER9	2.61E-02	WATER9	1.81E+02	EPI
56	芴	Fluorene	86-73-7	3.93E-03	EPI	7.89E-06	WATER9	4.40E-02	WATER9	9.16E+00	EPI

序号	中文名	英文名	CAS 号	*H*’	数据来源	D_w cm^2/s	数据来源	D_a cm^2/s	数据来源	K_{oc} cm^3/mg	数据来源
57	苯并[b]荧蒽	Benzo-b-fluoranthene	205-99-2	2.69E-05	EPI	5.56E-06	WATER9	4.76E-02	WATER9	5.99E+02	EPI
58	苯并[k]荧蒽	Benzo-k-fluoranthene	207-08-9	2.39E-05	EPI	5.56E-06	WATER9	4.76E-02	WATER9	5.87E+02	EPI
59	苯并[a]芘	Benzo-a-pyrene	50-32-8	1.87E-05	EPI	5.56E-06	WATER9	4.76E-02	WATER9	5.87E+02	EPI
60	茚并[1,2,3-cd]芘	Indeno-1,2,3-cd-pyrene	193-39-5	6.56E-05	SSL	5.23E-06	WATER9	4.48E-02	WATER9	3.47E+03	SSL
61	苯并[g,h,i]苝	Benzo-g,h,i-perylene	191-24-2	5.82E-06	TX11	5.65E-05	TX11	4.90E-02	TX11	1.58E+03	TX11
62	苯并[a]蒽	Benz-a-anthracene	56-55-3	4.91E-04	EPI	5.94E-06	WATER9	5.09E-02	WATER9	1.77E+02	EPI
63	二苯并[a, h]蒽	Dibenz-a,h-anthracene	53-70-3	5.76E-06	EPI	5.21E-06	WATER9	4.46E-02	WATER9	1.91E+03	EPI
64	2-氯酚	Chlorophenol, 2-	95-57-8	4.58E-04	EPI	9.48E-06	WATER9	6.61E-02	WATER9	3.07E-01	EPI
65	2,4-二氯酚	Dichlorophenol, 2,4-	120-83-2	1.75E-04	EPI	8.68E-06	WATER9	4.86E-02	WATER9	4.92E-01	EPI
66	2,4-二硝基酚	Dinitrophenol, 2,4-	51-28-5	3.52E-06	EPI	9.08E-06	WATER9	4.07E-02	WATER9	4.61E-01	EPI
67	2-硝基酚	Nitrophenol, 2-	88-75-5	2.21E-05	TX11	8.47E-06	TX11	6.87E-02	TX11	2.09E-02	TX11
68	4-硝基酚	Nitrophenol, 4-	100-02-7	3.24E-08	TX11	8.66E-06	TX11	6.73E-02	TX11	3.16E-03	TX11
69	五氯酚	Pentachlorophenol	87-86-5	1.00E-06	EPI	8.01E-06	WATER9	2.95E-02	WATER9	4.96E+00	EPI
70	2,4,5-三氯酚	Trichlorophenol, 2,4,5-	95-95-4	6.62E-05	EPI	8.09E-06	WATER9	3.14E-02	WATER9	1.78E+00	EPI
71	2,4,6-三氯酚	Trichlorophenol, 2,4,6-	88-06-2	1.06E-04	EPI	8.09E-06	WATER9	3.14E-02	WATER9	1.78E+00	EPI
72	4-甲酚	Cresol, p-	106-44-5	4.09E-05	EPI	9.24E-06	WATER9	7.24E-02	WATER9	3.00E-01	EPI
73	多氯联苯	Polychlorinated biphenyls (liquid)	1336-36-3	7.77E-03	EPI	5.04E-06	WATER9	4.32E-02	WATER9	7.81E+01	SSL
74	二噁英类 (PCDDs/PCDFs)	Dioxin (2,3,7,8-TCDD)	1746-01-6	2.04E-03	EPI	4.73E-06	WATER9	4.70E-02	WATER9	2.49E+02	EPI
75	六六六 α	Hexachlorocyclohexane, alpha	319-84-6	2.10E-04	EPI	5.06E-06	WATER9	4.33E-02	WATER9	2.81E+00	EPI
76	六六六 β	Hexachlorocyclohexane, beta	319-85-7	2.10E-04	EPI	7.40E-06	WATER9	2.77E-02	WATER9	2.81E+00	EPI
77	六六六 δ	Hexachlorocyclohexane, delta	319-86-8	1.77E-04	TX11	6.20E-06	TX11	4.50E-02	TX11	8.51E+00	TX11
78	林丹（六六六 γ）	Hexachlorocyclohexane, gamma	58-89-9	2.10E-04	EPI	5.06E-06	WATER9	4.33E-02	WATER9	2.81E+00	EPI
79	DDT(包括 o,p’-DDT, p,p’-DDT)	DDT	50-29-3	3.40E-04	EPI	4.43E-06	WATER9	3.79E-02	WATER9	1.69E+02	EPI
80	p.p’-DDE	DDE	72-55-9	1.70E-03	EPI	4.76E-06	WATER9	4.08E-02	WATER9	1.18E+02	EPI

序号	中文名	英文名	CAS 号	*H*’	数据来源	D_w cm^2/s	数据来源	D_a cm^2/s	数据来源	K_{oc} cm^3/mg	数据来源
81	p,p’-DDD	DDD	72-54-8	2.70E-04	EPI	4.74E-06	WATER9	4.06E-02	WATER9	1.18E+02	EPI
82	狄氏剂	Dieldrin	60-57-1	4.09E-04	EPI	6.01E-06	WATER9	2.33E-02	WATER9	2.01E+01	EPI
83	艾氏剂	Aldrin	309-00-2	1.80E-03	EPI	4.35E-06	WATER9	3.72E-02	WATER9	8.20E+01	EPI
84	异狄氏剂	Endrin	72-20-8	4.09E-04	EPI	4.22E-06	WATER9	3.62E-02	WATER9	2.01E+01	EPI
85	敌敌畏	Dichlorvos	62-73-7	2.35E-05	EPI	7.33E-06	WATER9	2.79E-02	WATER9	5.40E-02	EPI
86	乐果	Dimethoate	60-51-5	9.93E-09	EPI	6.74E-06	WATER9	2.61E-02	WATER9	1.28E-02	EPI
87	总石油烃(脂肪族)：<C16										
88	总石油烃(脂肪族)：>C16										

注：（1）H’为无量纲亨利常数；Da 为空气中扩散系数；Dw 为水中扩散系数；Koc 为土壤-有机碳分配系数；

（2）“EPI”代表美国环保局“化学品性质参数估算工具包（Estimation Program Interface Suite）”数据；“WATER 9”代表美国环保局“废水处理模型（the wastewater treatment model）”数据；CRC89 代表“美国 CRC 的化学和物理手册（Handbook of Chemistry and Physic）”数据；SSL 代表“美国土壤筛选值（Soil Screening Level）”数据库；TX11 代表德克萨斯州“毒性因子和化学/物理参数（Toxicity Factors and Chemical/Physical Parameters）数据。