

《污染场地风险评估技术导则》（征求意见稿）

编制说明

《污染场地风险评估技术导则》编制组

二〇〇九年九月

目 录

1 项目背景.....	2
1.1 任务来源.....	2
1.2 工作过程.....	2
2 国内外污染场地风险评估发展现状.....	3
2.1 国外发展现状.....	3
2.2 国内发展现状.....	3
3 标准制订的必要性分析.....	4
4 标准制订的原则和依据.....	5
4.1 编制原则.....	5
4.2 技术依据.....	6
5 《导则》框架的确定.....	6
5.1 技术方法确定依据.....	6
5.2 风险评估工作程序内容.....	6
6 主要技术要点说明.....	7
6.1 术语和定义.....	7
6.2 关于用地方式、暴露途径和敏感人群的规定.....	7
6.2.1 国外用地方式和暴露途径现状.....	7
6.2.2 《导则》中用地方式（暴露情景）的确定和敏感人群的划分.....	10
6.3 关于风险评估模型的选定.....	11
6.3.1 经口摄入土壤评估模型的选定.....	11
6.3.2 皮肤接触土壤评估模型的选定.....	13
6.3.3 吸入土壤颗粒物评估模型的选定.....	15
6.3.4 吸入室外空气中污染物蒸气评估模型的选定.....	16
6.3.5 吸入室内空气中污染物蒸气评估模型的选定.....	18
6.3.6 土壤淋溶液迁移进入地下水评估模型的选定.....	19
6.4 关于模型参数值的确定.....	19
6.4.1 模型参数的分类.....	19
6.4.2 必须根据场地调查的参数值的定值.....	20
6.4.3 采用《导则》推荐值的参数.....	20
6.4.4 优先根据场地调查获取的参数.....	23
6.5 污染物性质参数及定值方法.....	24
6.5.1 污染物的毒性参数.....	24
6.5.2 污染物理化性质参数.....	24
6.5.3 污染物性质参数的选定.....	24
6.6 风险表征相关技术规定.....	25
6.7 基于风险的修复限值.....	25
6.8 关于风险评估的不确定性分析.....	26
7 对实施本导则的建议.....	27

《污染场地风险评估技术导则》编制说明

1 项目背景

1.1 任务来源

为加强污染场地开发利用过程中的土壤环境管理，保护人体健康和生态环境，规范污染场地的风险评估技术要求，原国家环保总局于 2006 年下达了《污染场地风险评估技术导则》制订项目，项目统一编号为 1646，项目承担单位为环境保护部南京环境科学研究所。

本标准属于场地环境保护系列，场地环境保护系列标准是土壤环境保护标准体系的重要组成部分。目前正在开展的场地环境保护标准制修订项目包括《场地环境调查技术规范》、《场地环境监测技术导则》、《污染场地土壤修复技术导则》和《污染场地风险评估技术导则》共同构成场地环境保护体系的主要框架。污染场地风险评估在《场地环境调查技术规范》基础上展开，评估结果是进行污染修复和管理决策的科学依据，有助于分析和比较多种修复措施的有效性，为有效地规避场地污染风险，合理制定土地利用规划和污染治理计划提供依据。

1.2 工作过程

《污染场地风险评估技术导则》（简称《导则》）制订任务于 2006 年立项，由辽宁省环科院承担，2007 年 9 月环保部科技标准司在江苏溧阳召开土壤环境标准制修订工作会议，研究决定该项任务转由环境保护部南京环境科学研究所承担。

编制组自承担该标准制订工作以来，在已有相关项目（环保公益行业专项课题：污染土壤的健康风险评估技术研究）研究的基础上，系统研究分析了美国、加拿大、英国、荷兰、澳大利亚等国家对污染场地（土壤）健康风险评估的程序和方法，包括污染场地（土壤）调查、污染识别的程序和方法，污染物毒性参数的由来及查询方法，暴露情景和暴露途径的界定，暴露模型及其参数的获取方式，风险表征的方式及可接受风险水平的设定，不确定性分析，污染土壤修复方案的选择及修复目标的确定方法等内容；同时，调研了我国科研工作者的一些探索性研究，以及地方环保部门制订的相关指导性文件，制订了适合我国目前国情的《场地土壤污染风险评估技术导则》（草案，初稿），于 2009 年 3 月同时提交环保部标准处和标准所审阅。

2009 年 3 月 26-27 日，环保部科技标准司在南京召开土壤、沉积物、固体废物中有机污染物监测方法标准体系研讨会，会议对《场地土壤污染风险评估技术导则》（草案）进行了研讨。会后编制组根据研讨会意见进行了修改，形成了《场地土壤污染风险评估技术导则》（草案，第二稿）。

2009 年 4 月-6 月，环保部科技标准司先后多次在南京召开研讨会议，对《污染场地风险

评估技术导则》(草案)的技术要点、可行性等进行了多次研讨和论证,分析与其他相关标准文件的衔接与协调。编制组根据上述研讨会修改意见进行了进一步的修改完善,形成了《场地土壤污染风险评估技术导则》(草案,第四稿)。

2009年7月10日,环保部科技司在南京召开会议,对《污染场地风险评估技术导则》标准文件进行讨论。项目组根据会议形成的修改意见和建议,进一步修改形成了《污染场地风险评估技术导则》(草案,第五稿)。

2009年8月26日,环保局科技标准司在北京召开研讨会议,邀请中国科学院、南开大学、中国环境科学研究院相关专家、环保部有关司办和部分省市环保局负责同志参加会议,对《污染场地风险评估技术导则》(草案,第五稿)进行了研讨,针对《导则》的定位(名称)、文本内容表述等提出了修改意见和建议。会后,编制组按照会议形成的意见和建议,修改形成了《污染场地风险评估技术导则》(征求意见稿)。

2 国内外污染场地风险评估发展现状

2.1 国外发展现状

为了研究提出适合我国的污染场地风险评估技术方法体系,《导则》编制组对国内外污染场地土壤(地下水)风险评估技术方法进行了广泛的调研。

从国际现状来看,自美国国会通过《综合环境响应补偿与责任法》(CERCLA),又称《超级基金法》后,美国环保局就相继出台了系列场地环境调查和风险评估技术导则,并于1989年,发布了《超级基金场地风险评估导则 第一卷 健康风险评估手册》,详细规定了开展超级基金污染场地风险评估的技术方法,即包括场地数据采集整理与分析、暴露评估、毒性评估和风险表征的四步评估法。1995年,美国材料与试验协会(ASTM)出台了《石油泄漏场地基于风险的纠正行动标准导则》以及《建立污染场地概念暴露模型的标准导则》,并分别于2002年和2003年重新审定。1996年,美国环保局发布了基于污染土壤健康风险评估方法确定土壤筛选值的技术导则,2001年发布了补充技术导则文件,建立了基于健康风险评估确定住宅、商业和工业等用地方式下土壤筛选值的技术方法。2002年,英国环境署发布了《污染土地暴露评估模型:技术基础和算法》、《污染土地管理的模型评估方法》等系列技术文件,初步建立了英国污染土地风险评估的框架体系;2009年,英国环境署修订后发布了最新的污染土地健康风险评估的技术方法。1994年,荷兰研究提出了开展污染土壤健康风险评估的技术方法,探讨了人群对土壤污染的暴露途径及模型评估方法,并将该方法用于保护人体健康的土壤基准的制定,2008年荷兰环境部修订印发了最新的污染土壤风险管理和修复技术文件。

2.2 国内发展现状

环境保护部于2004年6月1日印发了《关于切实做好企业搬迁过程中环境污染防治工作

的通知》(环办[2004]47号),要求关闭或破产企业在结束原有生产经营活动,改变原土地使用时,必须对原址土地进行调查监测,报环保部门审查,并制定土壤功能修复实施方案。对于已经开发和正在开发的外迁工业区域,要对施工范围内的污染源进行调查,确定清理工作计划和土壤功能恢复实施方案,尽快消除土壤环境污染。2008年环境保护部印发了《加强土壤污染防治工作意见》(环发[2008]8号),突出强调污染场地土壤环境保护监督管理是土壤污染防治的重点工作之一。

各地根据污染场地开发利用过程中环境管理和土壤修复的需要,分别制定出台了相关的地方法规和配套技术标准。2006年3月,浙江省颁布了《浙江省固体废物污染环境防治条例》,规定对污染土壤要实行环境风险评估和修复制度。2007年1月,北京市环保局印发了《场地环境评价导则》,规范了在北京市范围内从事场地环境调查、评价的工作程序和技术方法。2007年5月,重庆市颁布了《重庆市环境保护条例》,规定生产经营单位在转产或搬迁前,应当清除遗留的有毒、有害原料或排放的有毒、有害物质,并对被污染的土壤进行治理。同一时期,沈阳市环保局、沈阳市规划和国土资源局联合印发了《沈阳市污染场地环境治理及修复管理办法(试行)》(沈环保[2007]87号),对污染场地的评估与认定进行了规定。2008年6月重庆市政府印发《关于加强我市工业企业原址污染场地治理修复工作的通知》(渝办发[2008]208号),提出了要严格执行污染场地的风险评估。

近年来,随着对土壤环境质量的日益重视,我国部分学者在污染土壤的健康风险评估方面进行了一些探索研究。主要研究工作集中于:1)综述介绍国外场地污染土壤和地下水风险评估技术方法;2)采用国外不同技术方法,结合国内污染场地开展风险评估案例研究;3)基于风险评估方法,计算基于健康风险的污染土壤的修复限值。

北京市环保局于2007年1月发布地方规范性文件《场地环境评价导则》,以应对一大批陆续停产搬迁的重污染企业场地将用于房地产开发或其它用途的场地环境管理需要。该导则整个的框架程序是借鉴了美国的模式和方法。

在各级政府环境保护行政主管部门、科研院所、环境咨询公司等多方的联合推动下,对一批搬迁或停产企业遗留污染场地的调查、风险评估和治理修复项目正在进行或已初步完成,积累了丰富的实践经验。

3 标准制订的必要性分析

在工业化进程中,主要的工业产业如采掘业、冶炼、石油、化工、皮革、金属加工等都会造成污染问题。另外,化学品(如杀虫剂)的不当使用、化学品的储存和运输、居民的生活垃圾等都带来不同类型和程度的污染。污染场地带来一系列问题,如对人体健康的危害,土地价值的降低,农业用地或城市用地的减少,污染场地引发的严重的责任纠纷问题,巨额的处理经费支出,等等。这些都制约着社会经济的发展。

场地污染有很大隐蔽性、滞后性和持久性，污染通常存在于土壤并通过土壤转移，变化和移动非常缓慢（几年甚至几十年），污染只有触及受体时才可能会被发现。发达国家对污染场地管理始于上世纪80年代，形成各自的污染场地的管理模式，模式的共同之处都是经过这样一个管理流程：疑似污染场地的发现，场地的初步调查、初步筛选确定优先管理名单，场地详细调查和风险评估，确定管理措施—修复或其他措施。各国支持这样一个管理流程的法律体系、技术文件体系等有所不同，但风险评估方面的技术文件是必不可少的。

污染场地风险评估分为人体健康风险评估和生态风险评估。污染场地健康风险评估是指针对特定土地利用方式下的场地条件，评价场地上一种或多种污染物质对人体健康产生危害可能性的技术方法；污染场地生态风险评估是评价场地污染物对植物、动物和特定区域的生态系统影响的可能性及影响大小。场地受到污染后，通常需要采取一定的措施，以削减土地利用过程中的人群健康风险和生态风险。

污染场地健康风险评估考虑到多种污染物可能同时存在于场地不同的介质之中，如土壤、空气、水、食物和尘埃等，通过分析受体相关的多种暴露途径，实现对多介质的健康风险评估；以可接受健康风险水平为出发点，提出保护人体健康的土壤修复目标值。污染场地风险评估结果是进行污染修复和管理决策的科学依据，有助于分析和比较多种修复措施的有效性，为合理制定土地利用规划和污染治理计划提供依据，有效地规避场地污染风险。从当前研究现状看，健康风险评估比生态风险评估方法更完善、需求也更迫切。

随着我国工业化和城市化的发展，污染场地的管理问题愈来愈重要，一些土壤污染调查研究的数据以及时有发生的土地污染纠纷事件也表明污染场地风险管理的重要性和迫切性，许多城市当前面临搬迁工业场地再开发利用过程中的土壤环境管理问题，保护人体健康，科学评估场地污染风险，规范污染场地的健康风险评估技术要求，制订《场地污染风险评估技术导则》（以下简称《导则》）十分迫切。

4 标准制订的原则和依据

4.1 编制原则

（1）充分借鉴国际上发达国家的风险评估方法，结合我国实际进行集成创新，保证污染场地风险评估技术方法具有科学性、合理性和可操作性。

（2）与相关环境保护政策法规和技术导则和标准指标体系相结合，互相支持。

（3）充分考虑我国污染场地风险管理的实际需求，重点解决关键问题

（4）尽量保证评估结果的可比性。

4.2 技术依据

本导则依据了环保公益行业专项课题“污染土壤的健康风险评估技术研究”的研究成果。充分借鉴了欧美国家在污染场地健康风险评估方面的最新进展，调研了我国在污染场地（土壤）的调查、评估、修复方面的研究探索、案例实践经验及管理需求。

5 《导则》框架的确定

5.1 技术方法确定依据

欧美等发达国家在场地土壤污染风险评估方面采用技术框架基本一致，即危害识别（即场地调查、数据的获取和整理、评估等）、暴露评估、毒性评估和风险表征。本导则规定的技术方法主要参照了美国环保局（USEPA，1996；2002）测试和材料标准（ASTM，2002）技术方法。主要原因包括：

1）美国对污染场地关注的比较早，法规标准和技术导则文件较为完善，计算模型及参数的研究比较系统，信息开放程度大，方便查询与借鉴。许多其他欧美国家也有借鉴美国的一些做法和经验。

2）根据国内污染场地调查和风险评估实践现状调研，目前我国业界普遍借鉴使用的是美国环保局和美国测试和材料标准方法，技术方法在我国有广泛的可接受性。

5.2 风险评估工作程序内容

本导则工作内容包括“危害识别”、“暴露评估”、“毒性评估”、“风险表征”和“确定土壤修复目标值”五部分内容。

“危害识别”规定了需要获取的场地信息和数据的类型及内容（包括历史资料、调研报告、图件报表、采访记录等）。关于如何获取场地相关信息和数据，如人员走访、场地历史资料的调研、现场采样和实验室分析测试等的具体技术要求，在《场地环境调查技术导则》中进行详细规定。这部分提供的信息数据决定了是否进行场地风险评估。启动污染场地风险评估工作的筛选值见《导则》文本的附录 A，由于我国目前可作为筛选值参考的《土壤环境质量标准 GB15618》包括的污染物种类较少，所以筛选值数据借鉴了美国环保局场地健康风险评估土壤污染物的筛选值。

“暴露评估”就以下技术内容进行了规定：

- （1）典型用地方式下，土壤污染的暴露情景、主要暴露途径和敏感人群；
- （2）室内和室外空气中来自土壤（地下水）的污染物的浓度预测模型；
- （3）主要暴露途径的风险评估模型及模型参数的取值方法。
- （4）人体暴露量的计算。

“毒性评估”部分规定了污染物的毒理性参数取值、确定污染物理化性质参数取值和确定

污染物的地下水环境标准值。

“风险表征”部分规定了污染物的致癌和非致癌风险计算方法、进行风险的空间表征、基于致癌和非致癌风险的土壤修复限值的计算、不确定性分析等内容。

“确定土壤修复限值”部分则基于可接受的风险，计算关注污染物基于场地所有可能暴露途径致癌风险的修复目标值和非致癌风险的修复目标值，如污染场地土壤中的关注污染物有可能淋溶进入地下水，影响地下水环境质量，则计算基于保护地下水的土壤修复目标值。根据上述基于致癌风险计算的土壤修复目标值、基于非致癌风险计算的土壤修复目标值和保护地下水的土壤修复目标值，需综合考虑其他因素，如土壤修复技术可行性、修复成本的可接受性等，确定土壤修复限值。

6 主要技术要点说明

6.1 术语和定义

“场地”的概念与相关的《场地环境调查技术规范》一致。“住宅与公共用地”、“商服与工业用地”采用了《土地利用现状分类》（GB/T 21010-2007）的定义。

其他术语与国际上污染场地健康风险评估的技术文件中的术语定义基本一致。

6.2 关于用地方式、暴露途径和敏感人群的规定

用地方式决定了可能影响到的敏感人群、人群的活动模式、人群暴露于场地土壤污染物的方式（即主要暴露途径）。根据具体国情和管理需要，不同的国家有不同的规定。

6.2.1 国外用地方式和暴露途径现状

（1）美国环保局

为了规范对优先污染场地的评估和清理，美国环保局于 1996 年发布了《土壤筛选导则》。2002 年，美国环保局发布了《制定超级基金场地土壤筛选值的补充导则》，对《土壤筛选导则》的部分内容进行了更新，规定了以下三类土地利用方式下的主要暴露途径及评估模型。

1) 住宅用地 美国环保局 1996 年发布的《土壤筛选导则》规定了住宅用地方式下，儿童定为污染物非致癌效应的敏感人群，成人为污染物致癌效应的敏感人群。

2) 商业和工业用地 美国环保局 2002 年发布的《制定超级基金场地土壤筛选值的补充导则》规定商业和工业用地统称为“非住宅用地”。商业用地包括教堂、看护中心、汽车修理厂、大规模的仓储区。工业用地包括公共设施所在地、交通服务区、较为广义的制造业所在地。商业和工业用地方式下，室内或室外工作人员作为污染物致癌或非致癌效应的敏感人群。

3) 建筑施工用地 除非住宅用地外，美国环保局还设定了建筑施工场地情景，规定建筑施工人员为污染物致癌或非致癌效应的敏感人群。美国环保局规定了不同用地方式下需考虑的主要暴露途径（表 1）。

表 1 不同用地方式的主要暴露途径

暴露途径	住宅用地		商业/工业用地				建筑施工用地			
	表层土	下层土	室外工人		室内工人		建筑工人		场外居民	
			表层土	下层土	表层土	下层土	表层土	下层土	表层土	下层土
口腔摄入	√	√	√	√	√		√	√		
皮肤接触	√	√	√	√			√	√		
吸入室外土壤颗粒物	√		√				√		√	
吸入室外污染物蒸气		√		√				√		
吸入室内污染物蒸气		√				√				
饮用受土壤淋溶液污染的地下水		√		√		√				

美国 EPA 对敏感人群的划分也只划分了儿童、成人两类人群，对应不同的人群参数值。

(2) 加拿大环境委员会

根据加拿大环境委员会 2006 年发布的《保护环境和人体健康的土壤质量制订方法》，加拿大在采用风险评估方法制定保护人体健康土壤指导值时，考虑了四种典型的土地利用方式。四种土地利用方式分别为：

1) 农业用地

加拿大农业用地为带有住宅的多功能农场用地，包括儿童（特别是幼儿）和成人居民。农场种植农产品、养殖牲畜和奶牛，因此家庭自身可以消耗相当一部分自产的农产品、肉类和牛奶产品。家庭住所可包括地下室或地基盖板地面。农业用地方式下，可能以地下水作为饮用水。

农业用地方式下，以幼儿作为敏感人群进行非致癌风险评估，以成人作为敏感人群进行致癌风险评估。成人和儿童的暴露频率均为 $24 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 $365 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

农业用地方式下考虑的主要暴露途径包括：经口摄入土壤、皮肤接触土壤、呼吸吸入土壤颗粒物、饮用地下水、呼吸吸入从地基进入室内空气的污染物蒸气、食用受污染的农产品、肉和奶制品。

农业用地方式下，假设摄入的奶制品100%受土壤污染影响，食用的农产品中50%为受土壤污染影响，食用的肉类产品中50%受到土壤污染影响。

2) 住宅和公园用地

住宅和公园用地是典型的单一家庭住宅情景，住宅带有地下室和后院，儿童（特别是幼儿）会在后院玩耍。住宅和公园用地方式下，地下水可作为饮用水。与农业用地不同的是，

住宅/公园用地方式下，不会因污染物在食物链中的生物富集而产生风险。

住宅和公园用地方式下，以幼儿作为敏感人群评估非致癌风险，以成人作为敏感人群评估致癌风险。儿童和成人的暴露频率均为 $24\text{ h}\cdot\text{d}^{-1}$ 、 $365\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

住宅和公园用地方式下考虑的主要暴露途径包括：经口摄入土壤、皮肤接触土壤、呼吸吸入土壤颗粒物、饮用地下水、呼吸吸入从地基进入室内空气的污染物蒸气。

3) 商业用地

加拿大商业用地介于住宅和公园用地、工业用地之间的一种用地类型。虽然商业用地作为独立土地利用分类，特定场地的暴露条件和敏感人群的特征可能在很大程度上与住宅和公园用地、工业用地类似。

商业用地一般定义为商业活动占据主导地位，而不是以住宅或工业活动为主的土地利用方式。一个典型例子如市区的购物中心，敏感人群一般不在商业用地居住和从事工业生产活动。一般地，所有年龄的儿童均有机会活动于商业区，部分商业用地可能建有托儿所，因此，选定幼儿为重要的敏感人群。以幼儿作为敏感人群评估非致癌风险，以成人作为敏感人群评估致癌风险。

商业用地方式下考虑的主要暴露途径包括：经口摄入土壤、皮肤接触土壤、呼吸吸入土壤颗粒物、饮用地下水、呼吸吸入从地基进入室内空气的污染物蒸气。

相对于住宅用地，商业用地方式下人群暴露于土壤的强度、周期和频率均较小。由于商业用地方式下人群的暴露特征部分与住宅和公园用地方式类似，部分与工业用地类似，对商业用地的明确定义也较为困难。因此，在将场地利用方式定为商业用地时应较为谨慎。任何儿童（特别是幼儿）可随时进入的场地或有人群住宅的场地均不应确定为商业用地。对于儿童可广泛接触土壤的场地，如游乐场，应定为住宅和公园用地。位于主要工业区内，禁止儿童进入的场地应视为工业用地，而非商业用地。

4) 工业用地

加拿大环境委员会规定的工业用地是指工业产品生产厂房所在地。工业用地方式下，一般认为公共人群的进入是受控和受限的，而在工业场地停留时间最长的通常是现场作业的成年工作人员。因此，工业用地方式下的敏感人群为成年工作人员。

工业用地方式下，以成人作为敏感人群评估非致癌和致癌风险。考虑的主要暴露途径包括：经口摄入土壤、皮肤接触土壤、呼吸吸入土壤颗粒物、饮用地下水、呼吸吸入从地基进入室内空气的污染物蒸气。

(3) 英国环境署

2008年8月，英国环境署发布了《CLEA模型技术背景更新》，更新和规定了英国污染土地风险评估的模型技术。该文件规定了三类典型的土地利用方式，即：

1) 住宅用地

典型的住宅用地，由一幢建于地面的两层住宅用楼房和私家花园组成，花园可作为草坪、

花坛或种植少量的水果和蔬菜。

住宅用地的居民假定为父母与年幼子女，并常规性地活动于私家花园。0-6岁的女性儿童为敏感人群，暴露周期为6年。

住宅用地方式下考虑的主要暴露途径包括：经口摄入土壤和土尘、食用自产果蔬农产品、皮肤接触土壤和室内土尘、吸入室内和室外的尘埃和污染物蒸气。

2) 果蔬种植用地

典型的果蔬种植用地为一块约250 m²的空地，通常由政府租赁给当地居民，用于种植自给的水果和蔬菜。特定场地内可能存在多块租赁用地，面积可达数公顷。土地的租户通常为父母或祖父母，幼年子女可不定期陪同成人进入田间。

果蔬种植用地方式下的敏感人群为0-6岁的女性儿童，暴露周期为6年。果蔬种植用地方式下无建筑物，考虑的主要暴露途径包括：经口摄入土壤和土尘、食用自产果蔬农产品、皮肤接触土壤、吸入室外尘埃和污染物蒸气。

3) 商业用地 典型的商业（或轻工业）用地方式下，工作人员在三层的建筑物内从事办公工作或轻度的体力劳动。

商业用地方式下，规定从事商业活动的成人的暴露时间最长，以16-65岁的成年女性作为敏感人群，暴露周期为49 a。商业用地方式下建筑物多为1970年前的三层楼房，主要暴露途径包括：经口摄入土壤和土尘、皮肤接触土壤和室内土尘、吸入土尘和污染物蒸气。

商业用地不包括地面100%被混凝土覆盖的场所（如停车场），此类用地方式下，直接接触受污染土壤极其有限。而对于挥发性污染物，一般直接接触土壤途径的暴露风险较小，需考虑重点污染物蒸汽挥发途径的暴露风险。

许多商业用地上儿童的活动频率较高，如体育和购物中心，应谨慎考虑按照商业用地进行评估是否适能够保护敏感人群免受显著危害。

英国环保署规定的商业用地不包括建有托儿所的场地。

CLEA 模型的特点是有关敏感人群的参数划分比较详细。把人群分为 18 个年龄段：由于 0-16 岁之间变化比较大，每一岁为一个年龄段；16—59 岁为成人段；59-70 岁为退休年龄段。不同年龄段对应应有不同的人体参数值。

6.2.2 《导则》中用地方式（暴露情景）的确定和敏感人群的划分

(1) 用地方式（暴露情景）的确定

参考国际上发达国家的做法，结合我国土地利用方式的特点及污染场地管理的需求，在制定场地土壤污染风险评估导则时，主要规定了两类用地方式下的土壤污染的风险评估的技术方法：住宅及公共用地、商服及工业用地。

住宅及公共用地指用于生活居住的各类房屋用地及其附属设施用地，以及科教文卫、公共设施等用地。具体包括普通住宅、公寓、别墅、学校、医院、公园等。

商服及工业用地指用于商业、服务业和工业的土地。包括商场、超市等各类批发（零售）

用地及其附属用地，宾馆、酒店等住宿餐饮用地，办公场所、金融活动等商务用地，洗车场、加油站、展览场馆等其他商服用地，以及工业生产场所、工业生产附属设施用地、物资储备场所、物资中转场所等。

（2）暴露途径的确定

两类暴露情景下，需要考虑的主要暴露途径包括：

- 1) 经口摄入土壤；
- 2) 皮肤接触土壤；
- 3) 呼吸吸入土壤颗粒物；
- 4) 呼吸吸入室外空气的污染物蒸气；
- 5) 呼吸吸入室内空气的污染物蒸气。
- 6) 污染的地下水摄入

并非每一个污染场地都包括所有的暴露途径。对于具体的场地暴露途径的确定遵循如下原则：

- 1) 较大范围的污染场地相比小范围的污染可能会包含更多的暴露途径；
- 2) 通常一种暴露方式占优势；对于儿童，“经口摄入土壤”通常是主要的暴露方式；“皮肤接触”和“呼吸吸入”构成职业健康风险评估的基础；
- 3) 吸入蒸汽主要针对挥发性污染物并且占有较大风险贡献份额，而重金属类污染物（汞除外）一般可不考虑这两个途径的暴露，经口摄入土壤是其主要的暴露途径；
- 4) 露天的场地（如公园等），不需考虑“呼吸吸入室外空气的污染物蒸气”这一暴露途径；
- 5) 如果不使用地下水，则不需考虑“污染的地下水摄入”这一途径。

我国是农业大国，农业土壤环境质量至关重要，发达国家如加拿大、英国等也制订了适用于农业用地的土壤风险评估技术方法。由于农业用地方式下，食用农产品、肉和奶产品的食物链暴露尤为重要，而我国目前尚无充分的针对土壤污染风险评估的模型方法、暴露评估的基础研究成果。因此，本导则暂未规定农业用地方式下土壤污染的风险评估方法。

（2）敏感人群的划分

考虑到我国目前尚无有关不同年龄段的人群特征参数数据，因而敏感人群仅划分为儿童和成人两类。

6.3 关于风险评估模型的选定

6.3.1 经口摄入土壤评估模型的选定

6.3.1.1 国外评估模型选用现状

（1）美国环保局 根据美国环保局 1996 年发布的《土壤筛选导则用户指南》，住宅用地方式下，评估经口摄入土壤致癌风险和非致癌风险时，分别采用了不同的评估模型，即采用不同的计算公式来计算致癌风险值和非致癌危害商。

致癌风险以成人作为敏感人群进行评估，成人经口摄入土壤途径的致癌风险主要根据以下参数值进行计算：

- 1) 土壤中污染物浓度；
- 2) 按照年龄校正后的土壤摄入量因子；
- 3) 暴露频率；
- 4) 经口摄入吸收致癌斜率系数；
- 5) 致癌效应平均时间。

其中按照年龄校正后的土壤摄入量因子可根据儿童和成人每日土壤摄入量、儿童和成人的暴露周期、儿童和成人的平均体重进行计算。

非致癌风险以儿童作为敏感人群进行评估。儿童经口腔摄入土壤途径的非致癌风险（危害商）主要根据以下参数进行计算：

- 1) 非致癌危害商；
- 2) 每日摄入土壤量；
- 3) 暴露频率；
- 4) 暴露周期；
- 5) 土壤污染物浓度；
- 6) 平均体重；
- 7) 口腔摄入吸收参考剂量；
- 8) 污染物危害效应平均时间。

商业和工业用地方式下的致癌风险以室内或室外成人作为敏感人群进行评估，非致癌风险以室内或室外成人作为敏感人群进行评估。成人经口腔摄入土壤途径的致癌和非致癌风险（危害商）计算方法和主要参数与住宅用地类似。但由于商业和工业用方式下，敏感人群成人的活动模式与住宅用地不同，所以敏感人群的参数取值也不同于住宅用地，如暴露周期、暴露频率等。

除住宅和商业用地以外，美国环保局 2002 年发布的《制定超级基金场地土壤筛选值的补充导则》还规定了建筑施工场地条件下，致癌风险和非致癌风险评估方法。建筑施工情境下，以室内或室外成人作为风险评估的敏感人群。致癌和非致癌风险计算方法与商业和工业基本相同，但由于建筑施工人群的暴露时间相对较短，因此暴露周期、暴露频率的参数取值要更小。

(2) 加拿大环境委员会 与美国环保局相似，在进行致癌和非致癌风险评估时，加拿大环境委员会（CCME）也采用了不同的计算方法。与美国方法不同的是，加拿大在计算经口摄入土壤时特别考虑了肠道的吸收效率，对于非致癌物，在每日允许摄入剂量的基础上减去背景摄入剂量，评估方法更为保守。

(3) 英国环境署 英国环境署在 2008 年发布的《CLEA 模型技术背景更新》研究报告

中，系统阐述了英国污染土地暴露风险评估工具软件（CLEA-UK）的模型原理、技术方法、模型参数及取值。

英国经口摄入土壤途径包括直接摄入土壤和土尘和间接摄入土壤两部分。直接摄入土壤和土尘根据土壤污染物浓度和摄入土壤和土尘量进行计算，间接摄入土壤量主要考虑了食用农产品时会不可避免地摄入少量粘附土壤，根据农产品的土壤粘着系数、农产品摄入量、受污染土壤影响的农产品所占比例等进行计算。英国将农产品分为六类，分别计算摄入六类农产品而摄入的土壤量，然后进行加和。

5.3.1.2 《导则》中评估模型的选定

通过比较分析可见，美国方法中主要应用儿童和成人每日摄入土壤量、儿童和成人的暴露频率、暴露周期和平均体重计算暴露风险，所用参数除每日摄入土壤量外，均可获取到我国的参数数据。相比之下，加拿大考虑的污染物的背景暴露剂量，我国目前难以获取相关的数据；英国分别考虑了食用不同农产品时，摄入粘着在农产品表面土壤的暴露贡献，我国目前尚无相关的基础研究数据，因此不宜采用。

综上所述，在提出适合我国的经口摄入土壤暴露途径的模型方法时，主要参照美国环保局模型方法，结合考虑了加拿大评估方中的经口摄入人体吸收效率，构建了经口摄入土壤途径的风险评估模型。

6.3.2 皮肤接触土壤评估模型的选定

6.3.2.1 国外评估模型选用现状

美国环保局 根据 2002 年发布的《超级基金场地土壤筛选值制订补充导则》，住宅用地方式下致癌风险以成人作为敏感人群进行评估。成人经皮肤接触土壤途径的致癌风险主要根据以下参数进行计算：

- 1) 土壤中污染物浓度；
- 2) 按年龄校正后的皮肤接触因子；
- 3) 皮肤接触人体吸收效率系数；
- 4) 皮肤接触吸收致癌斜率系数；
- 5) 皮肤接触事件发生频率；
- 6) 暴露周期；
- 7) 暴露频率；
- 8) 平均体重；
- 9) 致癌效应平均时间。

其中按年龄校正后的皮肤接触因子根据儿童（1-6 岁）和成人（7-31）敏感人群体表暴露皮肤面积、儿童和成人皮肤表面土壤粘附因子、儿童和成人的暴露周期和平均体重进行计算。

住宅用地方式下非致癌风险以儿童作为敏感人群进行评估。儿童经皮肤接触土壤途径的非致癌危害商主要根据以下参数进行计算：

- 1) 土壤中污染物浓度;
- 2) 儿童体表暴露皮肤表面积;
- 3) 儿童皮肤表面土壤粘附因子;
- 4) 皮肤接触人体吸收效率系数;
- 5) 皮肤接触吸收参考剂量;
- 6) 皮肤接触事件发生频率;
- 7) 暴露周期;
- 8) 暴露频率;
- 9) 平均体重;
- 10) 非致癌效应平均时间。

商业和工业（非住宅）用地方式下，致癌风险和非致癌风险均以室内或室外成人作为敏感人群进行评估。成人经口腔摄入土壤途径的致癌和非致癌风险（危害商）计算方法和主要参数与住宅用地类似。但由于商业和工业用方式下，敏感人群成人的活动模式与住宅用地不同，所以部分模型参数的取值也不同于住宅用地，如皮肤表面土壤粘附因子、暴露周期、暴露频率等。

建筑施工场地条件下，致癌和非致癌风险均以室内或室外成人作为敏感人群进行评估。致癌和非致癌风险计算方法基本与商业和工业用地方式相同，但由于建筑施工人群的暴露时间相对较短，因此暴露周期、暴露频率的参数取值要更小。

加拿大环境委员会 在进行皮肤接触土壤途径暴露风险评估时，加拿大环境委员会（CCME）根据不同的敏感人群分别计算致癌风险和非致癌风险，即以儿童（幼儿）作为敏感人群，评估农业和住宅用地方式下非致癌风险，以成人作为敏感人群，评估各用地方式下的致癌风险。商业和工业用地方式下，以成人作为敏感人群，进行非致癌风险评估。在评估皮肤接触土壤暴露的非致癌风险时，加拿大考虑了污染物的背景暴露剂量。

皮肤接触土壤量是评估该途径暴露风险的重要参数之一。皮肤接触土壤量根据敏感人群手部暴露皮肤面积、身体其他部位暴露皮肤面积、手部皮肤表面土壤粘附系数、身体其他部位皮肤表面土壤粘附系数、暴露频率进行计算。

英国环境署 英国环境署在建立皮肤接触土壤暴露风险评估模型时，分别考虑了室外皮肤接触土壤和室内皮肤接触土壤。室外皮肤接触暴露评估模型的主要参数包括土壤污染物浓度、土壤接触事件发生频率、皮肤表面土壤粘附系数、皮肤接触人体吸收效率系数、暴露皮肤表面积。室内皮肤接触土壤暴露评估模型以室外模型为基础，增加土壤从室外到室内的迁移系数。迁移系数采用室外和室内尘土中污染物浓度与室外土壤中污染物浓度之比来进行估计。

暴露皮肤表面积根据体表皮肤总表面积和暴露皮肤所占比例进行估计。体表皮肤总表面积根据经验公式，采用人均身高和体重进行估计。英国环境署通过研究，确定了室内和室外条

件下，不同年龄人群的暴露皮肤面积占体表总面积的比例。

考虑人体经皮肤接触土壤对不同污染物吸收效率的差异，英国环境署研究提出了砷、镉、苯并[a]芘及多环芳烃类化合物、Aroclor1254 及相关 PCBs 物质、五氯苯酚、氯丹等污染物的皮肤接触人体吸收效率系数。

6.3.2.2 《导则》中评估模型的选定

通过比较美国、加拿大和英国皮肤接触土壤暴露评估模型可以发现，暴露皮肤表面积、皮肤表面土壤粘附密度、皮肤暴露事件发生频率、人体皮肤接触吸收效率系数是评估该途径暴露风险的关键参数。

不同国家对模型参数的具体设定上存在差异，如美国环保局规定了住宅、商业和工业等不同用地方式下，儿童和成人暴露皮肤表面积和皮肤表面土壤吸附系数，而英国则将皮肤接触土壤在划分为室外接触土壤和室内接触土尘。

在构建适合我国人群皮肤接触土壤途径暴露评估模型时，吸取了上述发达国家的通用做法，即通过暴露皮肤表面积、皮肤表面土壤粘附密度、皮肤暴露事件发生频率、人体皮肤接触吸收效率系数等关键参数来估计暴露剂量，结合皮肤接触吸收致癌斜率系数或参考剂量，评估致癌风险或非致癌危害商。

6.3.3 吸入土壤颗粒物评估模型的选定

6.3.3.1 国外评估模型选用现状

美国环保局 根据 1996 年发布的《土壤筛选导则用户指南》，住宅用地方式下致癌风险以成人作为敏感人群进行评估。成人经呼吸吸入土壤颗粒物途径的致癌风险主要根据以下参数进行计算：

- 1) 土壤污染物浓度；
- 2) 暴露频率
- 3) 暴露周期
- 4) 土壤颗粒物释放因子；
- 5) 呼吸吸入吸收致癌斜率系数；
- 6) 平均体重
- 7) 致癌效应平均时间。

上述土壤颗粒物释放因子是地面覆盖物状况、年平均风速等特定场地气象条件相关的参数，美国环保局结合区域气候条件，计算得到不同地区的土壤颗粒物释放因子值。

住宅用地方式下非致癌风险（危害商）以儿童作为敏感人群进行评估。儿童经呼吸吸入土壤颗粒物途径的非致癌风险主要根据以下参数进行计算：

- 1) 土壤污染物浓度；
- 2) 暴露频率
- 3) 暴露周期

- 4) 土壤颗粒物释放因子;
- 5) 呼吸吸入吸收参考剂量;
- 6) 平均体重
- 7) 非致癌效应平均时间。

根据美国环保局 2002 年发布的《超级基金场地土壤筛选值制订补充导则》，商业和工业（非住宅）用地和建筑施工场地条件下，致癌风险以室内或室外成人作为敏感人群进行评估，非致癌风险（危害商）以室内或室外成人作为敏感人群进行评估。商业和工业用地方式下，评估方法与住宅用地方式相似，即采用同样的模型参数，但由于人群的活动模式与住宅用地不同，模型参数的取值也不同。

对于建筑施工场地条件下，美国环保局还考虑了场地土壤颗粒物迁移后场地周边人群呼吸吸入颗粒物的暴露风险。

加拿大环境委员会 加拿大环境委员会（CCME）采用不同的模型方法，分别评估吸入颗粒物途径的致癌和非致癌风险。用于评估呼吸吸入土壤颗粒物暴露风险的主要模型参数包括每日允许摄入剂量、呼吸吸入土壤颗粒物量、肺对土壤颗粒物中污染物的吸收比例、暴露频率、平均体重等。

荷兰住房空间规划和环境部 荷兰住房空间规划和环境部（VROM）根据空气中来自土壤的悬浮颗粒物的含量评估呼吸吸入土壤颗粒物的暴露风险。用于评估该途径暴露风险的主要参数包括：

- 1) 室外空气中总悬浮颗粒物总量;
- 2) 室外空气中土壤颗粒物所占比例;
- 3) 室内空气中总悬浮颗粒物总量;
- 4) 室内空气中土壤颗粒物所占比例;
- 5) 成人和儿童每日呼吸空气量;
- 6) 暴露周期
- 7) 室外和室内暴露频率
- 8) 平均体重

6.3.3.2 导则中评估模型的选定

通过比较美国、加拿大和荷兰呼吸吸入土壤颗粒物途径暴露评估模型可以发现，美国环保局评估模型中颗粒物释放因子是关键性参数，由于其主要根据地表状况和气象参数估算，在我国难以直接应用。相比之下荷兰的评估方法主要依据空气中总悬浮颗粒物的含量，易于跟我过大气中颗粒物含量进行对接。

基于上述分析，主要参照荷兰方法构建我国的评估模型，即基于室内和室外空气中悬浮颗粒物含量（按我国空气质量标准），评估呼吸吸入土壤颗粒物的暴露风险。

6.3.4 吸入室外空气中污染物蒸气评估模型的选定

6.3.4.1 国外评估模型选用现状

美国环保局 根据美国环保局 1996 年发布的《土壤筛选导则用户指南》，住宅用地方式下非致癌污染物的暴露风险以儿童作为敏感人群进行评估，商业和工业（非住宅）用地方式下致癌风险以室内或室外成人作为敏感人群进行评估。

吸入室外空气中污染物蒸气途径暴露风险评估的主要模型参数包括：

- 1) 土壤到室外空气挥发因子；
- 2) 呼吸吸入吸收的致癌斜率系数；
- 3) 呼吸吸入吸收的参考剂量；
- 4) 暴露频率；
- 5) 暴露周期；
- 6) 平均体重；
- 7) 致癌效应平均时间；
- 8) 非致癌效应平均时间

土壤到室外空气的蒸气挥发因子是进行该途径暴露风险评估的关键参数。美国环保局根据气象特征参数、污染物理化性质（大气中扩散系数、水中扩散系数、污染物在不同环境介质中的分配系数）、土壤理化性质参数（容重、总孔隙体积比、孔隙水体积比、孔隙空气体积比等）等参数估计土壤到室外空气的挥发因子。

商业和工业（非住宅）用地、分别以室内或室外成人作为敏感人群，进行致癌和非致癌风险评估。采用的评估模型与住宅用地相似，但由于敏感人群的活动模式与住宅用地不同，模型参数的取值也不同，如暴露频率、暴露周期等。

建筑施工场地条件下，美国环保局根据亚慢性土壤到室外空气的污染物扩散因子评估敏感人群的致癌和非致癌风险。亚慢性土壤到室外空气的污染物扩散因子的计算方法与室外空气的污染物扩散因子的计算方法类似。

美国材料和测试标准化协会 1995 年，美国材料和测试标准化协会（ASTM）制订发布了《石油泄露场地基于风险的矫正行动标准导则》，2002 年进行再次审定。在评估呼吸吸入室外空气中污染物蒸气途径的暴露风险时，ASTM 系统考虑了不同深度土壤（和地下水）中污染物挥发进入空气的暴露贡献。分别建立了表层土壤（地表 1 m 以下）、下层土壤（1 m 以下土壤）和地下水（主要指非饱和土壤层下方的浅层地下水）中污染物挥发进入室内空气后暴露风险的评估模型。主要的评估模型参数包括以下几类：

- 1) 土壤和毛管层理化性质参数（包括容重、总孔隙体积比、孔隙空气体积比、孔隙水体积比、土壤有机碳含量等）
- 2) 污染物理化性质参数（包括空气中扩散系数、水中扩散系数、介质中分配系数、无量纲亨利常数等）
- 3) 场地及气候特征参数（包括平行于主导风向的土壤污染区长度、平行于地下水流向的

土壤污染区长度、地表年平均风速、地下水的达西流速、场地污染土壤层的厚度或埋深等)

4) 其他人群暴露参数和污染物毒性性质参数。

5.3.4.2 导则中评估模型的选定

通过对上述模型的比较分析可以发现,美国环保局对吸入室外空气中污染物蒸气的评估主要依据土壤到室外空气的污染物扩散因子这一参数,该参数计算方法难以直接用于我国。相比之下,ASTM 评估模型系统地考虑了表层土壤、下层土壤和地下水中污染物挥发进入室外空气的暴露风险,更能满足场地土壤污染评估的实际需要。

此外,现状调研表明,我国台湾地区在制订污染场地风险平估导则时采用了 ASTM 模型方法,目前国内多家公司和研究机构在开展场地土壤污染风险评估时,使用基于 ASTM 模型算法开发的 RBCA 软件系统。因此,在构建呼吸吸入室外空气中污染物蒸气途径评估模型时,主要采用了 ASTM 模型方法。

6.3.5 吸入室内空气中污染物蒸气评估模型的选定

6.3.5.1 国外评估模型选用现状

美国环保局 在评估吸入室内空气中污染物蒸气暴露风险时,美国环保局以 Johnson 和 Ettinger (1991) 模型为基础,经过修改后建立了风险评估模型。美国环保局《地下水与土壤中蒸气进入室内空气途径的评价导则草案》(U.S.EPA, 2002) 和《评价污染物蒸气进入室内空气途径的用户导则》(U.S. EPA, 2004) 对建立的模型方法进行了详细的说明。

估计室内空气中的来自土壤的污染物蒸气浓度,是量化吸入室内空气中污染物蒸气途径暴露风险的重要技术难点。美国环保局根据土壤污染物浓度、土壤污染物挥发进入室内后的浓度衰减系数的乘积来估计室内空气中来自土壤的污染物蒸气浓度。上述浓度衰减系数主要根据以下几类参数进行计算:

- 1) 土壤和毛管层理化性质参数(包括容重、总孔隙体积比、孔隙空气体积比、孔隙水体积比、土壤有机碳含量、污染物蒸气透性等);
- 2) 污染物理化性质参数(包括空气中扩散系数、水中扩散系数、介质中分配系数、无量纲亨利常数等);
- 3) 场地及气候特征参数(包括土壤污染浓度、场地污染土壤层的厚度或埋深等、土壤表层和室内空气压力差);
- 4) 建筑物特征参数(包括室内室外空气交换速率、地砖厚度、地基下方裂隙深度、房间的长、宽和高等)。

加拿大环境委员会 加拿大环境委员会(CCME)在2006年发布的《保护环境和人体健康的土壤质量制订方法》中,同样根据 Johnson 和 Ettinger (1991) 模型方法,建立了吸入室内空气中污染物蒸气暴露途径的风险评估模型。

英国环境署 英国环境署在2008年最新发布的《CLEA 模型技术背景更新》中,根据 Johnson 和 Ettinger (1991) 模型方法,建立了吸入室内空气中污染物蒸气暴露途径的风险评

估模型。

美国材料和测试标准化协会 在 2002 年审定发布的《石油泄露场地基于风险的矫正行动标准导则》中，ASTM 分别考虑了下层土壤和地下水中污染物蒸气挥发进入室内空气的暴露风险，针对下层土壤和地下水分别建立了不同的评估模型。与吸入室外空气中污染物蒸气暴露评估模型类似，ASTM 建立的吸入室内空气中污染物蒸气评估模型主要包括以下几类模型参数：

1) 土壤和毛管层理化性质参数（包括容重、总孔隙体积比、孔隙空气体积比、孔隙水体积比、土壤有机碳含量等）

2) 污染物理化性质参数（包括空气中扩散系数、水中扩散系数、介质中分配系数、无量纲亨利常数等）

3) 场地及气候特征参数（包括平行于主导风向的土壤污染区长度、平行于地下水流向的土壤污染区长度、地表年平均风速、地下水的达西流速、场地污染土壤层的厚度或埋深等）

4) 其他人群暴露参数和污染物毒性性质参数。

5.3.5.2 导则中评估模型的选定

通过对上述模型的分析可以发现，美国环保局、加拿大环境委员会、英国环境署主要根据 Johnson 和 Ettinger（1991）模型，建立了污染物蒸气挥发进入室内空气的暴露评估模型。相比之下，ASTM 评估模型系统地考虑了下层土壤和地下水中污染物挥发进入室内空气的暴露风险，ASTM 评估模型所需主要参数与美国环保局、加拿大环境委员会和英国环境署模型方法相同，对于大多数污染物的评估结果基本一致。ASTM 模型同时考虑了下层土壤和地下水中污染物蒸气的暴露风险，更能满足场地土壤污染风险评估的实际需要。

调研表明，我国台湾地区在制订污染场地风险评估导则时采用了 ASTM 模型方法，目前国内多家公司和研究机构在开展场地土壤污染风险评估时，普遍使用了基于 ASTM 模型算法开发的 RBCA 软件系统。因此，在构建呼吸吸入室内空气中污染物蒸气途径评估模型时，主要采用了 ASTM 模型方法。

6.3.6 土壤淋溶液迁移进入地下水评估模型的选定

针对土壤淋溶液迁移进入地下水的风险评估，主要参照美国环保局 2002 年发布的《超级基金场地土壤筛选值制订补充导则》方法，建立了我国的模型计算方法。

此外，加拿大环境委员会（CCME）和英国环境署（UKEA）等也建立了与美国环保局类似的评估模型。

6.4 关于模型参数值的确定

6.4.1 模型参数的分类

按照风险评估模型参数的定值方法，可将主要的模型参数分为 3 类：

（1）优先根据场地调查获得的参数；

- (2) 采用《导则》推荐值的参数;
- (3) 优先根据场地调查获得, 亦可采用推荐值的参数。

以下对上述 3 类参数的定值方法分别进行说明。

6.4.2 必须根据场地调查的参数定值

必须根据场地调查获得的参数主要包括场地土壤和地下水中污染物浓度等参数。参数含义、代号、量纲如下:

- 1) 表层土壤中污染物浓度 (C_{sur} , $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$);
- 2) 表层污染土壤下表面到地表距离 (d , cm);
- 3) 下层土壤中污染物浓度 (C_{sub} , $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$);
- 4) 下层污染土壤上表面到地表距离 (L_s , cm);
- 5) 地下水中污染物浓度 (C_{gw} , $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$);
- 6) 地下水埋深 (L_{gw} , cm)。

6.4.3 采用《导则》推荐值的参数

为了便于评估结果的可比性, 特规定一系列参数采用《导则》推荐值。该类参数主要是与人群活动特征和建筑物特征有关的参数。具体参数及推荐值计算方法如下:

致癌效应平均时间 (AT_{ca} , d) 推荐值为 26280。据世界卫生组织 (WHO) 公布的《2006 年世界卫生报告》, 中国男性平均寿命 70 岁、女性为 74 岁, 人均寿命 72 岁。各类用地方式下致癌效应平均时间按照生命期 72 年计, 即 $365 \text{ d}\cdot\text{a}^{-1}\times 72 \text{ a}=26280 \text{ d}$ 。

非致癌效应平均时间 (AT_{nc} , d) 住宅用地方式下儿童的推荐值为 2190; 商业和工业用地方式下成人的推荐值为 9125。住宅用地方式下儿童的暴露周期为 6 a, $AT_{\text{nc}}=6 \text{ a}\times 365 \text{ d}\cdot\text{a}^{-1}=2190 \text{ d}$; 商业和工业用地方式下成人的暴露周期为 25 a, $AT_{\text{nc}}=25 \text{ a}\times 365 \text{ d}\cdot\text{a}^{-1}=9125 \text{ d}$ 。

成人体重 (BW_{a} , kg) 推荐值为 53.1。根据《2006 年中国卫生统计年鉴》全国人口普查的城乡男女平均体重数据确定, 采用 20 岁、30 岁、40 岁、50 岁、60 岁和 70 岁成人体重的平均值作为成人平均体重 (BW_{a})。

儿童体重 (BW_{c} , kg) 推荐值为 14.4。根据《2006 年中国卫生统计年鉴》全国人口普查的城乡男女平均体重数据确定, 采用 1 岁、2 岁、3 岁、4 岁、5 岁和 6 岁女性儿童体重的平均值作为儿童平均体重 (BW_{c})。

成人每日空气呼吸量 ($DAIR_{\text{a}}$, $\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$) 推荐值为 15。根据文献资料 (冯志强, 2007), 正常成年人在平静呼吸的情况下, 呼吸气量为 400-600ml, 呼吸频率为每分钟 12-18 次。采用高限值计算每日呼吸气量, $600 \text{ ml}\times 18\times 60\times 24=15252000 \text{ ml}=15.25 \text{ m}^3$, 据此本导则推荐值为 15 m^3 。

儿童每日空气呼吸量 ($DAIR_{\text{c}}$, $\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$) 推荐值为 7.5。儿童呼吸摄入空气量占成人呼吸摄入空气量的参照美国环保局数据确定, 即儿童呼吸摄入空气量为成人的 50% (USEPA, 1996)。据此设定儿童每日呼吸摄入空气量设为 7.5m^3 。

成人暴露周期 (EDa, a) 住宅用地方式下推荐值为 24; 商业和工业用地方式下推荐值为 25。推荐值参照美国联邦及部分州参数值确定。

儿童暴露周期 (EDc, a) 住宅用地方式下推荐值为 6。推荐值参照美国、荷兰等国家参数值确定。

成人暴露频率 (EFa, d·a⁻¹) 住宅用地方式下推荐值为 365; 商业和工业用地方式下推荐值为 250。住宅用地推荐值为最保守值; 商业和工业用地方式下, 成人每星期工作 5 d, 全年按照 52 个星期计, 去掉全年法定假日 11 d, $EFa = 5 \text{ d} \cdot \text{周}^{-1} \times 52 \text{ 周} \cdot \text{a}^{-1} - 11 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1} = 250 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

儿童暴露频率 (EFc, d·a⁻¹) 默认住宅用地方式下推荐值为 365。推荐值为最保守值。

成人的室内暴露频率 (EFIa, d·a⁻¹) 住宅用地方式下推荐值为 274; 商业和工业用地方式下推荐值为 104。住宅用地方式下, $EFIa$ 的推荐值 $= 18 / 24 \times 365 = 274 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$; 商业和工业用地方式下 EFa 的推荐值 $= 10 / 24 \times 250 = 104 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

儿童的室内暴露频率 (EFIc, d·a⁻¹) 住宅用地方式下推荐值为 274。 $EFIc$ 的推荐值 $= 18 / 24 \times 365 = 274 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

成人的室外暴露频率 (EFOa, d·a⁻¹) 住宅用地方式下推荐值为 91, 商业和工业用地方式下推荐值为 42。住宅用地方式下, $EFOa$ 的推荐值 $= 6 / 24 \times 365 = 91 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$, 商业和工业用地方式下, $EFOa$ 的推荐值 $= 4 / 24 \times 250 = 42 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

儿童的室外暴露频率 (EFOc, d·a⁻¹) 住宅用地方式下推荐值为 91。住宅用地方式下, $EFOc = 6 / 24 \times 365 = 91 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

室内空气交换速率 (ER, 次/h) 住宅用地方式下推荐值为 0.00014, 商业用地方式下推荐值为 0.00023; 工业用地方式下推荐值为 0.00028。住宅和商业用地方式下的推荐值参照美国材料和测试标准化协会 (ASTM E1739-95, 2002) 对应用地方式下的参数值设定; 工业用地方式下的推荐值参照英国对应参数值确定。

每日皮肤接触事件频率 (Ev, 次·d⁻¹) 推荐值为 1。本导则推荐值参照美国 (USEPA, 2002) 确定。

室内空气中来自土壤的颗粒物所占比例 (fspi, 无量纲) 推荐值为 0.8。参照荷兰参数值确定。

室外空气中来自土壤的颗粒物所占比例 (fspo, 无量纲) 推荐值为 0.5。参照荷兰参数值确定。

成人平均身高 (Ha, cm) 推荐值为 153.2。根据《2006 年中国卫生统计年鉴》全国人口普查的城乡妇女平均身高数据确定。

儿童平均身高 (Hc, cm) 推荐值为 95.9。根据《2006 年中国卫生统计年鉴》全国人口普查的城乡儿童平均身高数据确定。

室内空间体积与蒸气入渗面积比 (LB, cm) 默认住宅用地取值为 280, 商业和工业用地方式下取值为 300。根据我国住宅、商业和工业用房特征估计确定。

室内墙体或地基厚度 (L_{crack} , cm) 住宅、商业和工业用地方式下的推荐值为 15。推荐值参照美国材料和测试标准化协会 (ASTM E1739-95, 2002) 住宅、商业和工业用地方式下的参数值设定。

成人每日摄入土壤量 ($OSIRa$, $\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$) 推荐值均为 100。参照美国环保局 (USEPA, 1996) 参数值确定。

儿童每日摄入土壤量 ($OSIRc$, $\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$) 推荐值为 200。参照美国环保局 (USEPA, 1996) 参数值确定。

吸入土壤颗粒物在体内滞留比例 ($PIAF$, 无量纲) 推荐值为 0.75。参照荷兰参数值确定。

成人体表暴露皮肤所占面积比 ($SERa$, 无量纲) 居住用地方式下推荐值为 0.32, 商业和工业用地方式下推荐值为 0.18。根据美国超级基金风险评估导则, 成人皮肤总面积为 18000 cm^2 , 住宅用地的皮肤暴露有头、前臂、手、小腿, 暴露面积为 5700 cm^2 , 皮肤暴露比例为 0.32; 工业用地皮肤暴露有头、前臂、手, 暴露面积为 3300 cm^2 , 皮肤暴露比例为 0.18; 本导则推荐值参照美国超级基金风险评估导则参数值确定。

儿童体表暴露皮肤所占面积比 ($SERc$, 无量纲) 住宅用地方式下推荐值为 0.36。根据美国超级基金的风险评估导则, 儿童皮肤总面积为 6600 cm^2 , 住宅用地的皮肤暴露有头、前臂、手、小腿, 暴露面积为 2350 cm^2 , 皮肤暴露比例为 0.36; 本导则推荐值参照美国参数值确定。

成人皮肤表面土壤粘附系数 ($SSARa$, $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$) 住宅用地方式下推荐值为 0.07, 商业和工业用地方式下推荐值为 0.2。推荐值参照美国环保局 (USEPA, 1996) 住宅、商业和工业用地方式下参数值确定。

儿童皮肤表面土壤粘附系数 ($SSARc$, $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$) 推荐值为 0.2。推荐值参照美国环保局 (USEPA, 1996) 的参数值确定。

空气中总悬浮颗粒物含量 (TSP , $\text{mg 土壤}\cdot\text{m}^{-3}$) 推荐值为 0.30。推荐值根据我国大气颗粒物含量标准值确定。

污染物蒸气流平均时间 (τ , s) 住宅用地方式下推荐值为 9.46×10^8 ; 商业和工业用地方式下推荐值为 7.88×10^8 。推荐值参照美国材料和测试标准化协会 (ASTM E1739-95, 2002) 住宅、商业和工业用地方式下的参数值确定。

地基与墙体裂隙中空气体积比 (θ_{acrack} , 无量纲) 推荐值为 0.26。参照美国材料和测试标准化协会 (ASTM E1739-95, 2002) 的参数值确定。

地基或墙体裂隙中水体积比 (θ_{wcrack} , 无量纲) 推荐值为 0.12。参照美国材料和测试标准化协会 (ASTM E1739-95, 2002) 的参数值确定。

地基和墙体裂隙表面积所占比例 (η , 无量纲) 推荐值为 0.01。推荐值参照美国材料和测试标准化协会 (ASTM E1739-95, 2002) 住宅、商业和工业用地方式下的参数值确定。

6.4.4 优先根据场地调查获取的参数

以下参数优先根据场地调查获取，如果无法获得场地数据，则可使用推荐值。

土壤有机质含量 (f_{om} , $g \cdot kg^{-1}$) 优先根据场地调查获得的参数；《导则》未给出推荐值，如未能根据场地调查数据确定参数值，可根据有关文献资料数据定值。

地下水土壤交界处毛细管层厚度 (h_{cap} , cm) 优先根据场地调查获得的参数，住宅、商业和工业用地方式下的推荐值均为 5。推荐值参照美国材料和测试标准化协会 (ASTM E1739-95, 2002) 住宅、商业和工业用地方式下的参数值确定。

非饱和土层厚度 (h_v , cm) 优先根据场地调查数据确定，默认住宅、商业和工业用地方式下取值均为 295。推荐值参照美国材料和测试标准化协会 (ASTM E1739-95, 2002) 住宅、商业和工业用地方式下的参数值确定。

土壤中水的渗透速率 (I , $cm \cdot a^{-1}$) 优先根据场地调查获得的参数；住宅、商业和工业用地方式下的推荐值为 30。推荐值参照美国材料和测试标准化协会 (ASTM E1739-95, 2002) 住宅、商业和工业用地方式下的设定值确定。

毛细管层土壤中孔隙空气体积比 (θ_{acap} , 无量纲) 优先根据场地调查确定的参数，推荐值 0.038。本导则推荐值参照美国材料和测试标准化协会 (ASTM E1739-95, 2002) 住宅、商业和工业用地方式下的参数值确定。

土壤含水率 (P_{ws} , $kg \text{ 水} \cdot kg^{-1} \text{ 土壤}$) 优先根据场地调查获得的参数；如无法根据场地土壤分析数据确定，可根据相关文献和资料数据确定。

土壤污染区近地面年平均风速 (U_{air} , $cm \cdot s^{-1}$) 优先根据场地调查获得的参数；住宅、商业和工业用地方式下的推荐值为 200。根据我国陆地生态信息空间气象数据库发布的全国年平均风速图，我国大部分地区年平均风速约在 $200 \text{ cm} \cdot s^{-1}$ 左右，据此确定推荐值。

地下水的达西 (Darcy) 速率 (U_{gw} , $cm \cdot a^{-1}$) 优先根据场地调查获得的参数；住宅、商业和工业用地方式下的推荐值均为 2500。推荐值参照美国材料和测试标准化协会 (ASTM E1739-95, 2002) 住宅、商业和工业用地方式下的参数值确定。

平行于主导风向的土壤污染区长度 (W_{dw} , cm) 优先根据场地调查获得的参数；住宅、商业和工业用地方式下的推荐值均为 1500。推荐值参照美国材料和测试标准化协会 (ASTM E1739-95, 2002) 住宅、商业和工业用地方式下参数值确定。

平行于地下水流向的土壤污染区长度 (W_{gw} , cm) 优先根据场地调查获得的参数；住宅、商业和工业用地方式下的推荐值均为 1500。推荐值参照美国材料和测试标准化协会 (ASTM E1739-95, 2002) 住宅、商业和工业用地方式下的参数值确定。

土壤污染区上方近地面大气混合层高度 (δ_{air} , cm) 优先根据场地调查获得的参数；住宅、商业和工业用地方式下的推荐值均为 2000。推荐值参照美国材料和测试标准化协会 (ASTM E1739-95, 2002) 住宅、商业和工业用地方式下的参数值确定。

地下水混合区厚度 (δ_{gw} , cm) 优先根据场地调查获得的参数；住宅、商业和工业用地方式下的推荐值均为 200。推荐值参照美国材料和测试标准化协会 (ASTM E1739-95, 2002) 住宅、商业和工业用地方式下的参数值确定。

毛细管层土壤中孔隙水体积比 (θ_{wcap} , 无量纲) 优先根据场地调查获得的参数，推荐值为 0.342。推荐值参照美国材料和测试标准化协会 (ASTM E1739-95, 2002) 住宅、商业和工业用地方式下的参数值确定。

土壤容重 (ρ_b , $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$) 优先根据场地调查获得的参数；推荐值为 1.5。

土壤颗粒密度 (ρ_s , $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$) 优先根据场地调查获得的参数，推荐值为 2.65。

6.5 污染物性质参数及定值方法

考虑到欧美等发达国家对污染物的毒性性质和理化性质已开展了长期而系统的研究，所获得的大多数毒性性质参数和理化性质参数经过了实践的检验，而我国目前尚缺乏针对土壤污染风险评估的性质参数研究的基础数据，因此，《导则》的“毒性评估”部分主要主要国际上已有的相关污染物性质数据库，给出了部分污染物的毒性参数和理化性质参数。

6.5.1 污染物的毒性参数

污染物毒性参数包括：

- 1) 经口摄入致癌斜率因子 SFO , ($\text{mg 污染物}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ 体重}\cdot\text{d}^{-1}$) $^{-1}$;
- 2) 呼吸吸入致癌斜率因子 SFi , ($\text{mg 污染物}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ 体重}\cdot\text{d}^{-1}$) $^{-1}$;
- 3) 皮肤接触致癌斜率因子 SFd , ($\text{mg 污染物}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ 体重}\cdot\text{d}^{-1}$) $^{-1}$;
- 4) 经口摄入参考剂量 $RfDo$, $\text{mg 污染物}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ 体重}\cdot\text{d}^{-1}$;
- 5) 呼吸吸入参考剂量 $RfDi$, $\text{mg 污染物}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ 体重}\cdot\text{d}^{-1}$;
- 6) 皮肤接触参考剂量 $RfDd$, $\text{mg 污染物}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ 体重}\cdot\text{d}^{-1}$;
- 7) 呼吸吸入致癌斜率因子 URF , $\text{m}^3\cdot\text{mg}^{-1}\text{ 污染物}$;
- 8) 呼吸吸入参考浓度 RfC , $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$;
- 9) 皮肤接触吸收效率因子 ABS_d , 无量纲;
- 10) 消化道吸收效率因子, ABS_{GI} , 无量纲。

6.5.2 污染物理化性质参数

污染物理化性质参数包括：

- 1) 土壤有机碳/土壤孔隙水分配系数 (K_{oc}), 无量纲;
- 2) 水中溶解度 (S), $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$;
- 3) 空气中扩散系数 (Da), $\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-1}$;
- 4) 水中扩散系数 (Dw), $\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-1}$;
- 5) 无量纲亨利常数 (H'), 无量纲;

6.5.3 污染物性质参数的选定

本标准附录 C 列出了部分污染物的毒性参数，所列参数值来源的优先顺序依次为：

- 1) 美国环保局综合风险信息系统 (IRIS, 2009)；
- 2) 美国环保局土壤筛选导则 (USEPA, 2002)；
- 3) 美国九区环保局初始修复限值用户导则和技术文件 (PRGs, 2004)；
- 4) 美国能源部风险评估信息系统 (RAIS, 2009)。

本标准附录 D 列出了部分污染物的理化性质参数，所列参数值来源优先顺序依次为：

- 1) 美国环保局土壤筛选导则 (USEPA, 2002)；
- 2) 美国九区环保局初始修复限值用户导则和技术文件 (PRGs, 2004)；
- 3) 美国能源部风险评估信息系统 (RAIS, 2009)。

6.6 风险表征相关技术规定

本标准“风险表征”部分规定了风险的计算方法和不确定性分析方法，相关内容包括：

- (1) 单一污染物所有暴露途径非致癌和致癌风险的计算方法；
- (2) 可接受风险水平的规定；
- (3) 不同暴露途径的非致癌和致癌风险贡献率分析方法；
- (4) 风险评估模型参数的敏感性分析方法。

可接受的风险水平确定为：单个致癌污染物的可接受风险水平规定为风险概率 $CR \leq 10^{-6}$ ；单个非致癌污染物的可接受风险水平规定为危害商 $HQ \leq 1$ 。

美国环保局 (USEPA-TBD, 1996) 将单一污染物或暴露途径的可接受致癌风险水平设定为 10^{-6} 。美国密苏里州、新墨西哥等州环保局在制订基于风险评估的土壤筛选值时，均采用致癌风险 10^{-5} 作为可接受风险水平；荷兰住房空间规划和环境部在制定基于健康风险评估的土壤标准时，以 10^{-4} 作为可接受致癌风险。综上分析，结合我国现阶段污染场地环境管理需求，推荐以 10^{-6} 致癌风险作为污染物（经所有暴露途径）的可接受致癌风险。

美国联邦及各州环保局、荷兰环境部等均设定单一污染物的可接受危害商为 1。在进行风险表征时，当在多种污染物的毒性终点或毒性机理类似时，可进行危害风险加和分析。

国内污染场地案例调查表明，大多数污染场地的关注污染物的种类少于 10，所以规定单个致癌污染物的可接受风险水平 $\leq 10^{-6}$ ，能保证场地所有致癌污染物的风险水平 $\leq 10^{-5}$ 。

场地污染风险的计算可以按照所有采样点污染物浓度数据 95% 置信区间的上限值进行计算，也可以按照每个采样点不同深度样品的污染物浓度数据来进行计算。根据实际需要和技术条件而定。

风险表征产出的场地污染风险图件、暴露途径贡献率和模型参数的不确定性分析结果，可为制订场地污染土壤的修复治理方案、进行环境管理决策提供重要依据。

6.7 基于风险的修复限值

在风险表征的工作基础上，判断计算的污染场地健康风险是否超过可接受风险水平，如单一污染物的致癌风险是否高于 10^{-6} 、单一污染物的非致癌危害商是否高于 1。如污染场地风险评估结果未超过可接受风险，则结束风险评估工作；如污染场地风险评估结果超过可接受风险，则基于可接受的风险临界值（即单一污染物致癌风险概率 $CR=10^{-6}$ ；单个非致癌污染物的危害商 $HQ=1$ ），计算关注污染物基于场地所有可能暴露途径致癌风险的修复目标值和非致癌风险的修复目标值，并进行关键参数取值的敏感性分析。

污染场地土壤中的关注污染物有可能淋溶进入地下水，影响地下水环境质量。如果暴露情景分析表明，场地及周边地区地下水作为饮用水源或农业灌溉水源，则需要计算保护地下水的土壤修复限值。

计算保护地下水的土壤修复限值，需以地下水中污染物的最大浓度限值为出发点。本标准附录 F 给出了地下水中污染物的最大浓度限值（Maximum Concentration Limits, MCLs）。附录 F 地下水中污染物的最大浓度限值主要参照以下标准确定：

- ① GB 5749-2006生活饮用水卫生标准；
- ② 为GB/T 14848地下水质量标准修订稿（III类水）；
- ③ 美国环保局规定的水中污染物最大的允许浓度值（MCL, Maximum Contaminant Level from Safe Drinking Water Act）（USEPA, 2001）；
- ④ 美国环保局规定的基于水体健康的限值（HBL, Water Health Based Limit）（USEPA, 2001）；
- ⑤ 美国密苏里州的目标地下水质（2006）；
- ⑥ 美国佛罗里达州地下水基准（2005）；
- ⑦ 美国纽约州地下水基准值（1994）；
- ⑧ HJ 332-2006 食用农产品产地环境质量评价标准；
- ⑨ GB/T 14848地下水质量标准修订稿（IV类水）。

污染场地土壤修复建议目标值，取上述基于致癌风险的土壤修复限值、基于非致癌风险的土壤修复限值和保护地下水的土壤修复限值三者中最小值。

确定切实可行的土壤修复建议目标值，需兼顾综合考虑其他因素，如土壤修复技术可行性、修复成本的可接受性和修复时限等。

6.8 关于风险评估的不确定性分析

污染场地风险评估过程中的不确定性假设情景、参数定值、评估模型的偏差等密切相关。不确定性评估可以定量地采用测定参数变化对评估结果的影响程度来表示。不确定性（缺乏关于准确值的了解，例如特定的暴露估计）分析必须与多样性（不同个体的不同暴露水平）相区别。在风险评估中强调不确定分析的原因主要包括：

- 1) 各种来源的信息的不确定；

- 2) 必须决定是否应花费更多的人力、物力和时间,去寻求进一步的数据和信息以降低不确定性;
- 3) 不确定性分析是杜绝偏见的手段。
- 4) 不确定性分析将有助于决策者最终提高决策的质量。

风险评估者不仅仅提出数据,更有责任给数据的含义及限制性一个清晰的解释,不确定性的表征是其中的一部分。

本《导则》中采用定量的分析方法——风险贡献率分析和参数敏感性分析进行不确定性分析。

7 对实施本导则的建议

(1)《污染场地风险评估技术导则》是污染场地风险管理框架体系的重要技术标准文件之一,建议应尽快颁布我国污染场地(土壤和地下水)调查、风险评估、修复治理相关技术导则,并做好不同技术标准目的、适用范围和内容上的一致性和衔接工作。

(2)技术标准的制定发布应与有效可行的政策法规相匹配,建议加快完善我国污染场地管理的政策和法规制度,加强技术标准的规范和指导作用。

(3)由于我国目前相关的基础研究比较薄弱,评估模型与参数多借鉴国外,这就增加了评估结果的不确定性,建议该《导则》在广泛征求意见基础上修改后可先试用,在实际应用中不断完善、修订和补充。