

DB4403

深圳市地方标准

DB4403/T XXX—XXXX

饮用水水源地土壤环境风险评价 技术指南

Technical guidance for soil environment risk assessment
of drinking water sources

(送审稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

深圳市市场监督管理局 发布

目 次

前言 II

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 2

5 工作程序和内容 2

6 基础信息调查 4

7 风险识别 5

8 迁移通量计算 5

9 后果计算 9

10 风险评价 10

11 土壤环境管理与风险管控措施建议 11

附录 A（资料性） 相关计算参数 13

附录 B（资料性） 资料收集清单 14

附录 C（资料性） 人员访谈登记表参考样表 15

参考文献 16

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。

本文件由深圳市生态环境局提出并归口。

本文件起草单位：深圳市广汇源环境水务有限公司、吉林大学。

本文件主要起草人：周睿、卢观彬、侯争亚、刘进、陈苇、王秀珍、张哲。

饮用水水源地土壤环境风险评价技术指南

1 适用范围

本文件提供了深圳市集中式饮用水水源地（以下简称“饮用水水源地”）土壤环境风险评价工作的指导，并给出了基础信息调查、风险识别、迁移通量计算、后果计算和风险评价内容与方法的建议。

本文件主要针对湖泊、水库型饮用水水源地因土壤环境质量超过相应环境标准，由降雨等环境因素导致的污染物随地表侵蚀所造成的水源地水质恶化等环境问题的风险评价工作。

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，注明日期的引用文件，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 3838 地表水环境质量标准
- HJ 494 水质 采样技术指导
- SL 773 生产建设项目土壤流失量测算导则
- DB32/T 4430—2022 极端强降雨事件判定

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

集中式饮用水水源地 centralized drinking water sources

指进入输水管网和送到用户的具有一定取水规模（供水人口一般大于 1000 人）的在用、备用、应急和规划的饮用水水源地。依据取水区域不同，集中式饮用水水源地可分为地表水饮用水水源地和地下水饮用水水源地；依据取水口所在水体类型的不同，地表水饮用水水源地可分为河流型饮用水水源地和湖泊、水库型饮用水水源地。

[来源：HJ 338—2018，3.2，有修改]

3.2

饮用水水源保护区 drinking water source protection area

指国家为防治饮用水水源地污染、保障水源地环境质量而划定，并要求加以特殊保护的一定面积的水域和陆域。饮用水水源保护区（以下简称水源保护区）分为一级保护区和二级保护区，必要时可在水源保护区外划定准保护区。

[来源：HJ 338—2018，3.1]

3.3

潜在污染物 potential contaminant

根据水源保护区内土壤环境质量特征、相关标准规范要求和水源保护区管理方意见，确定需要开展土壤环境风险评价的污染物。

3.4

极端降雨 extremely rainfall

某一时间段内，降雨量大幅超过气候标准期平均值的小概率强降雨现象。

4 基本原则

4.1 针对性原则

针对深圳市饮用水水源地土壤环境风险进行分析，评价饮用水水源地存在的土壤环境风险水平。

4.2 规范性原则

采用程序化和系统化的方式规范饮用水水源地土壤环境风险评价过程，保证评价结果的科学性和客观性。

4.3 可操作性原则

综合考虑风险评价方法、时间和经费等因素，结合当前科技发展和专业技术水平，使评价过程切实可行。

5 工作程序和内容

5.1 工作内容

饮用水水源地土壤环境风险评价工作内容包括基础信息调查、风险识别、迁移通量计算、后果计算和风险评价。饮用水水源地土壤环境风险评价主要通过资料收集、现场踏勘和人员访谈等方式进行基础信息调查，并根据基础信息调查结果进行风险识别。若饮用水水源地不存在潜在风险地块或土壤环境质量未超过相应环境标准，则认为该饮用水水源地土壤环境风险可接受，不需要进行下一步风险评价工作。对存在潜在风险地块或土壤环境质量超相应环境标准的饮用水水源地，则根据需要开展不同时间尺度的风险评价工作。对极端强降雨情况，开展日迁移通量计算、后果计算及风险评价；对水源地保护区日常监管情况，开展全年或多年系统性土壤环境风险评价。开展饮用水水源地土壤环境风险评价工作遵循的技术流程如图1所示。

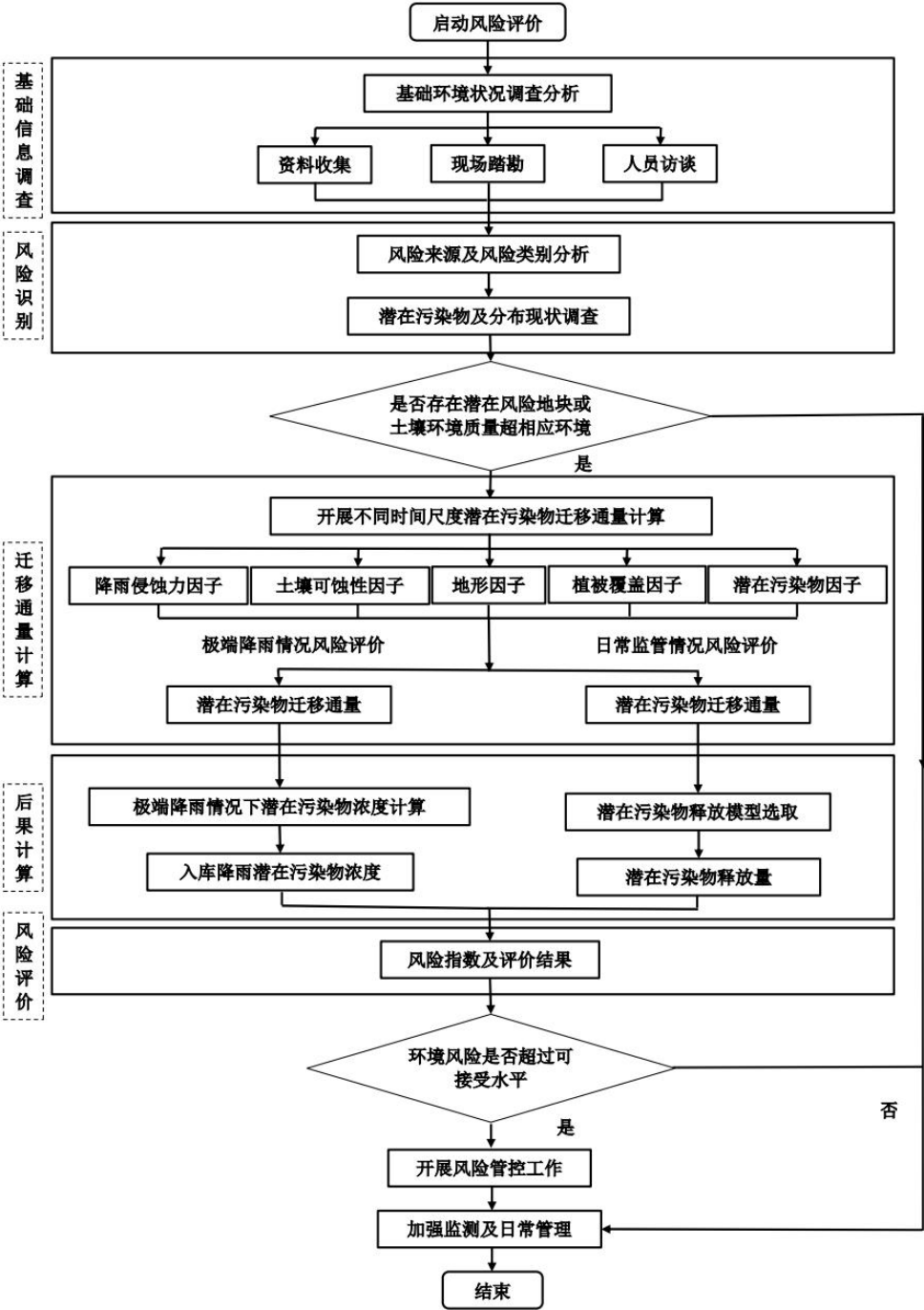


图 1 技术流程图

5.2 基础信息调查

通过基础资料收集、现场踏勘和人员访谈，充分考虑深圳市饮用水水源地土壤环境风险评价工作需要，对饮用水水源地环境基础现状进行详细调查分析，为进一步开展风险评价工作奠定基础。

5.3 风险识别

收集饮用水水源地土壤环境详细调查阶段获得的相关土壤环境质量资料和数据，掌握饮用水水源保护区内、周边及汇水范围内由于环境背景和有毒有害物质排放源造成土壤环境潜在风险的污染物种类及其浓度分布，确定风险因素和风险类型。

5.4 迁移通量计算

在风险识别的基础上，分析关注的潜在污染物由于迁移造成水库水体受危害的可能性，确定评估模型参数取值，根据需要计算极端降雨情况和不同时间尺度下饮用水水源地土壤潜在污染物向水库水体的迁移量。

5.5 后果计算

在风险识别和迁移通量计算的基础上，计算极端降雨情况下水库潜在污染物浓度，或采用模型分析库区沉积物向地表水中释放潜在污染物的释放量，得出单一土壤潜在污染物的迁移对水源水质的影响程度，以评估土壤对水源水质的影响情况。

5.6 风险评价

在后果计算的基础上，计算并判断得到的风险值是否超过可接受风险水平。如风险评价结果为无风险，则结束风险评价工作；如风险评价结果为轻度风险及以上，则需要开展后续风险管控工作。

6 基础信息调查

6.1 基本原则

基础信息调查主要包括：资料收集、现场踏勘和人员访谈。宜获取的主要信息包括：自然地理概况、社会经济概况、保护区基本情况、水库运行状况、水库水质状况、保护区土壤状况、保护区内及周边环境风险源情况等。

6.2 资料收集

开展风险评价工作前，宜首先开展相关资料的收集与分析，资料收集来源主要有：饮用水水源保护区日常管理部门、环境主管部门、互联网等。开展资料收集工作宜收集的相关资料及推荐获取方式见附录 B。相关资料宜包括：

- 1) 自然地理概况：饮用水水源地所在区域位置，地形地貌，入库河流、水文地质状况、气候和气象特征等；
- 2) 社会经济概况：饮用水水源地所在区域的人口规模、分布，经济规模，产业结构，主导产业及产业规划布局等；
- 3) 保护区基本情况：饮用水水源保护区历次划定情况，饮用水水源保护区现状详情，保护区内土地利用现状，植被覆盖及种类情况，水土保持评估与措施等；
- 4) 水库运行状况：水库设计建设资料，饮用水水源地引水、蓄水、供水、泄洪数据，水源地引取水口分布情况，供水去向，水库汇水区域面积，水库内源污染状况，水质保障工程建设情况；
- 5) 水库水质状况：入库河流、外来引水及水库各监测断面水质状况，水质常规监测断面分布，监测指标、频次等；
- 6) 保护区土壤状况：保护区内土壤类型，土壤质地、有机质含量、土体结构、渗透性等土壤理

化性质，按照《深圳市土壤环境质量详细调查工作方案》开展的饮用水水源地土壤环境质量详细调查结果；

- 7) 保护区内及周边环境风险源情况：饮用水水源保护区内及周边污染源种类、分布情况及水源保护区污染源排放特征、行业类型、产排污去向和环境基础设施建设情况等。

6.3 现场踏勘

风险评价单位现场踏勘的重点对象宜包括：

- 1) 饮用水水源保护区内实际土地利用方式、土壤类型；
- 2) 饮用水水源保护区内及周边人类生产生活活动相关区域及相关有毒有害物质的使用、处理、储存、处置场所；
- 3) 饮用水水源保护区内土壤是否存在受保护区内及周边环境风险源影响的可能，明确环境风险源与保护区和水库水域的位置关系；
- 4) 饮用水水源保护区内植被覆盖及种类情况，水土保持评估与措施。

6.4 人员访谈

人员访谈的目的是对资料收集和现场踏勘所涉及的疑问进行考证确认。受访者为饮用水水源地现状或历史的知情人，如饮用水水源保护区管理机构和地方政府人员、供水系统单位工作人员以及熟悉饮用水水源地的第三方（如附近工作人员和附近居民）。人员访谈登记表的设置宜参照附录 C 所示样表。

7 风险识别

根据基础信息调查所收集的资料，开展风险识别工作，获得以下信息：

- 1) 较为详尽的饮用水水源地相关资料及历史信息，供水水库运行状况，引蓄供水和泄洪情况，水质状况，水源保护区划定情况，水生态现状等；
- 2) 保护区内土壤等环境样品数据，并根据土壤环境质量详细调查结果，将对水源水质具有潜在风险需要进行风险评价的污染物，确定为潜在污染物；
- 3) 潜在污染物的浓度数据及分布范围；
- 4) 保护区内土壤的理化性质分析数据；
- 5) 饮用水水源地（或所在地）气候、水文、地质特征信息及相关数据；
- 6) 保护区内陆域地形地势，土地利用类型，植被覆盖情况等。

8 迁移通量计算

8.1 计算模型

计算饮用水水源地土壤潜在污染物向水库水体的迁移量。基于修正通用水土流失方程（RUSLE）的水土保持模型，结合潜在污染物浓度空间分布数据，建立潜在污染物迁移量计算方法。计算方法如公式（1）（2）所示。潜在污染物迁移量计算过程涉及的计算参数及其信息见附录 A。

$$A = a \times p \times 1000 \qquad \dots\dots (1)$$

式中：

- A——潜在污染物迁移模数，单位为毫克每公顷（mg/hm²）；
- a——土壤侵蚀模数，单位为吨每公顷（t/hm²）；

p——潜在污染物因子，单位为毫克每千克（mg/kg）；获取方法见 8.2.2.5。

$$a = R \times K \times L \times S \times C \quad \dots\dots (2)$$

式中：

- a——土壤侵蚀模数，单位为吨每公顷（t/hm²）；
R——降雨侵蚀力因子，单位为兆焦耳毫米每公顷小时（MJ·mm/hm²·h）；获取方法见 8.2.2.1，
8.2.2.2；
K——土壤可蚀性因子；获取方法见 8.2.2.2；
L——坡长因子；获取方法见 8.2.2.3
S——坡度因子；获取方法见 8.2.2.3；
C——植被覆盖因子；获取方法见 8.2.2.4。

8.2 数据准备

8.2.1 数据来源与获取

根据 8.1 所述模型，迁移通量计算前需收集高程数据集、气象数据集、土壤数据集、植被覆盖数据集和土壤环境质量数据集等，具体信息来源宜参考表 1。

表 1 迁移通量计算数据表

名称	类型	分辨率	数据来源
高程数据集	栅格	30 m	地理空间数据云网站
气象数据集	文本	—	中国气象科学数据共享服务网、当地气象部门
土壤数据集	矢量/Excel	—	全国生态环境调查数据库中国 1: 100 万土壤数据库
归一化植被指数数据集	栅格	30 m	国家科技资源共享服务平台
土壤环境质量数据集	Excel	—	土壤环境质量详细调查结果

8.2.2 数据预处理

8.2.2.1 降雨侵蚀力因子 R，是指降雨引发土壤侵蚀的潜在能力，按照风险评价的时间尺度，进行日常管理情况潜在污染物迁移通量计算时宜采用多年平均年降雨侵蚀力因子 R_a 作为降雨侵蚀力因子。降雨侵蚀力因子（日常监管情况）R_a 宜采用 2 种方法获取。

- 1) 方法一：计算采用《生态保护红线划定指南》中“水土保持功能重要性评估”计算方法，计算方法见公式（3）（4）。

$$R_a = \sum_{k=1}^{24} \bar{R}_{\text{半月}k} \quad \dots\dots (3)$$

式中：

- R_a ——年降雨侵蚀力因子，单位为兆焦耳毫米每公顷小时年（MJ·mm/ hm²· h· a）；
 $\bar{R}_{\text{半月}k}$ ——第 k 个半月的降雨侵蚀力，单位为兆焦耳毫米每公顷小时年（MJ·mm/ hm²· h· a）。

$$\bar{R}_{\text{半月}k} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^m (\alpha \cdot P_{ij,k}^{1.7265}) \quad \dots\dots (4)$$

式中：

- $\bar{R}_{\text{半月}k}$ ——第 k 个半月的降雨侵蚀力，单位为兆焦耳毫米每公顷小时年（MJ·mm/ hm²· h· a）；
k ——一年中的 24 个半月；k=1, 2, …, 24；
i ——所用降雨资料的年份；i=1, 2, …, n；
j ——第 i 年第 k 个半月侵蚀性降雨日的天数；j=1, 2, …, m；

α ——参数；暖季时 $\alpha = 0.3937$ ，冷季时 $\alpha = 0.3101$ ；

$P_{i,j,k}$ ——第 i 年第 k 个半月第 j 个侵蚀性日降雨量，单位为毫米（mm）；根据全国范围内气象站点多年的逐日降雨量资料插值获得，或者直接采用中国气象局的逐日降雨量数据产品。

2) 方法二：计算公式采用美国 1978 年发布的《Agriculture Handbook 282》中的计算方法，计算方法见公式（5）。

$$R_a = \sum_{i=1}^{12} \left\{ 1.735 \times 10^{[1.5 \times \log_{10}(P_i^2/P) - 0.8188]} \right\} \quad \dots\dots (5)$$

式中：

R_a ——年降雨侵蚀力因子，单位为兆焦耳毫米每公顷小时年（MJ·mm/hm²·h·a）；

P_i ——第 i 个月降雨量，单位为毫米（mm）；

P ——年降雨量，单位为毫米（mm）。

8.2.2.2 降雨侵蚀力因子 R ，是指降雨引发土壤侵蚀的潜在能力，按照风险评价的时间尺度，进行极端降雨情况潜在污染物迁移通量计算时宜采用极端降雨情况当日降雨侵蚀力因子 R_m 作为降雨侵蚀力因子。计算降雨侵蚀力因子（极端降雨情况） R_m 公式参照降雨侵蚀力因子（日常监管情况） R_a 获取方法公式（4）原理。计算方法见公式（6）

$$R_m = \alpha \times P_m^{1.7265} \quad \dots\dots (6)$$

式中：

R_m ——极端降雨情况下单日降雨侵蚀力因子，单位为兆焦耳毫米每公顷小时天（MJ·mm/hm²·h·d）；

α ——参数；暖季时 $\alpha = 0.3937$ ，冷季时 $\alpha = 0.3101$ 。

P_m ——现极端降雨事件发生时当地日降雨量，单位为毫米（mm）；极端降雨事件的判定方法参考 DB32/T 4430—2022 中第 6 章规定的“单站极端强降雨事件判定”方法，取饮用水水源地附近台站气候标准期内逐年 4-10 月雨日日雨量序列的 95 分位值，当某日日雨量大于所有 95 分位值的多年平均值时，则判定该日为强降雨日，对日雨量大于气候标准期内饮用水水源地附近台站所有强降雨日日雨量序列的 95 分位值的降雨日，判定该日发生极端降雨事件。

8.2.2.3 土壤可蚀性因子 K ：指土壤颗粒被水力分离和搬运的难易程度，主要与土壤质地、有机质含量、土体结构、渗透性等土壤理化性质有关。土壤可蚀性因子 K 宜采用 2 种方法获取。

1) 方法一：计算公式采用《生态保护红线划定指南》中“水土保持功能重要性评估”计算方法。计算数据来源于中国 1:100 万土壤数据库。在 Excel 表格中，利用计算 K 值，然后以土壤类型图为工作底图，在 ArcGIS 中将 K 值连接到底图上。利用转换工具（Conversion Tools）中矢量转栅格工具，转换成土壤可蚀性因子栅格图。土壤可蚀性因子 K 的计算方法见公式（7）（8）。

$$K = (-0.01383 + 0.51575K_{EPIC}) \times 0.1317 \quad \dots\dots (7)$$

式中：

K ——修正后的土壤可蚀性因子；

K_{EPIC} ——修正前的土壤可蚀性因子。

$$K_{EPIC} = \{0.2 + 0.3 \exp[-0.0256m_s(1 - m_{silt}/100)]\} \times [m_{silt}/(m_c + m_{silt})]^{0.3} \\ \times \{1 - 0.25orgC/[orgC + \exp(3.72 - 2.95orgC)]\} \\ \times \{1 - 0.7(1 - m_s/100)\}/\{(1 - m_s/100) + \exp[-5.51 + 22.9(1 - m_s/100)]\} \quad \dots\dots (8)$$

式中：

K_{EPIC} ——修正前的土壤可蚀性因子；

- m_c ——粘粒（<0.002 mm）的百分比含量；
- m_{silt} ——粉粒（0.002mm~0.05 mm）的百分比含量；
- m_s ——砂粒（0.05 mm~2 mm）的百分比含量；
- orgC——有机碳的百分比含量。

2) 方法二：参考 SL 773 中该地区土壤可蚀性因子 K 参考值。

8.2.2.4 地形因子 L、S：L 表示坡长因子，S 表示坡度因子，是反映地形对土壤侵蚀影响的两个因子。采用《生态保护红线划定指南》中“水土保持功能重要性评估”计算方法，在评估中应用地形起伏度，即地面一定距离范围内最大高差，作为区域土壤侵蚀评估的地形指标。选择高程数据集，在空间分析工具（Spacial Analyst Tools）→邻域分析（Neighborhood）→焦点统计（Focus Statistics）下，设置统计类型（Statistic Type）为最大值（MAXIMUM）和最小值（MINIMUM），即得到高程数据集的最大值和最小值栅格数据。在空间分析工具（Spacial Analyst Tools）→地图代数（Map Algebra）下，使用栅格计算器（Raster Calculator），计算两个栅格数据差值，获取地形起伏度，即地形因子栅格图。

8.2.2.5 植被覆盖因子 C：反映了生态系统对土壤侵蚀的影响，是控制土壤侵蚀的积极因素。植被覆盖因子 C 的计算宜采用《生态保护红线划定指南》中“水土保持功能重要性评估”计算方法。水田、湿地、城镇和荒漠参照 N-SPECT 的参数分别赋值为 0、0、0.01 和 0.7；旱地按植被覆盖度换算，计算方法见公式（9）；其余生态系统类型按不同植被覆盖度进行赋值，如表 2 所示。

$$C_{旱} = 0.221 - 0.595 \log c_1 \qquad \dots\dots (9)$$

式中：

- $C_{旱}$ ——旱地的植被覆盖因子；
- c_1 ——小数形式的植被覆盖度。

表 2 不同生态系统类型植被覆盖因子赋值

生态系统类型	植被覆盖度（%）					
	<10	10-30	30-50	50-70	70-90	>90
森林	0.1	0.08	0.06	0.02	0.004	0.001
灌丛	0.4	0.22	0.14	0.085	0.04	0.011
草地	0.45	0.24	0.15	0.09	0.043	0.011
乔木园地	0.42	0.23	0.14	0.089	0.042	0.011
灌木园地	0.4	0.22	0.14	0.087	0.042	0.011

8.2.2.6 潜在污染物因子 p：反映土壤环境潜在污染物浓度水平及其分布范围，主要与采样点经纬度、潜在污染物浓度有关。运用地统计分析向导（Geostatistical Wizard）模块中的线性模型，对保护区土壤环境质量调查点位的潜在污染物数据进行插值，确定潜在污染物的浓度分布。

8.3 数据计算

8.3.1 潜在污染物迁移量

将各因子统一成 30m 分辨率的栅格数据，在空间分析工具（Spacial Analyst Tools）→地图代数（Map Algebra）下，使用栅格计算器（Raster Calculator），计算潜在污染物迁移模数。再计算得到饮用水水源地土壤潜在污染物向水库水体的迁移量。

8.3.2 极端降雨情况潜在污染物释放量

根据极端降雨条件当日潜在污染物迁移模数，计算极端降雨情况下单日潜在污染物迁移量，计算

方法见公式（10）。

$$A_{\text{单}} = \sum_{i=1}^n A_{i\text{单}} \times s \div 10000 \quad \dots\dots (10)$$

式中：
A_单 ——极端降雨条件当日土壤潜在污染物迁移量，单位为毫克（mg）；
A_{i单} ——第 i 个栅格的极端降雨条件当日潜在污染物迁移模数，单位为毫克每公顷（mg/hm²）；
n ——栅格个数；
s ——栅格投影面积，单位为平方米（m²）。

8.3.3 稳定运行情况潜在污染物释放量

根据潜在污染物年迁移模数，计算稳定运行情况下土壤潜在污染物年迁移量，计算方法见公式（11）。

$$A_{\text{总}} = \sum_{i=1}^n A_{i\text{总}} \times s \div 10000 \quad \dots\dots (11)$$

式中：
A_总 ——土壤潜在污染物年迁移量，单位为毫克（mg）；
A_{i总} ——第 i 个栅格的潜在污染物年迁移模数，单位为毫克每公顷（mg/hm²）；
n ——栅格个数；
s ——栅格投影面积，单位为平方米（m²）。

9 后果计算

9.1 极端降雨情况土壤风险评价

9.1.1 计算模型

短时间强降雨可能造成大量污染物随地表侵蚀集中迁移进入水体。另外，极端降雨情况往往伴随着水库的泄洪调控。在泄洪条件下，水库水体循环速度大幅提升，降雨中所携污染物不具备再稀释的能力，可能导致土壤环境风险进一步增高。因此，极端降雨情况下，特别是水库泄洪过程中，宜采取与日常监管情况不同的土壤环境风险计算方法，以满足管理单位应急需要。采用入库降雨中潜在污染物在泄洪条件下单日循环库容量的浓度作为后果计算的目标指标，计算方法见公式（12）。

$$C_{Ti} = \frac{A_{\text{单}}}{Q_d \times 8.64 \times 10^7} \quad \dots\dots (12)$$

式中：
C_{Ti} ——受土壤中潜在污染物影响单一污染指标升高浓度，单位为毫克每升（mg/L）；
A_单 ——极端降雨条件当日土壤潜在污染物迁移量，单位为毫克（mg）；
Q_d ——水库设计泄洪流量，单位为立方米每秒（m³/s）。

9.1.2 数据来源及获取

根据以上模型，后果计算前需要收集较为详尽的饮用水水源地相关资料及历史信息，气象资料（逐日降雨量等），供水水库运行状况（总库容、有效库容等），引蓄供水情况（来水流量、供水流量、设计泄洪流量、循环时间等），水质状况等；保护区土壤环境潜在风险地块分布情况，潜在污染物迁移分布重点区域等。

9.2 日常监管情况土壤环境风险评价

9.2.1 计算模型

集中式饮用水水源地土壤在进入水库水域后主要以沉积物形式存在，水库中沉积物的潜在污染物释放规律主要采用吸附解吸模型进行刻画。潜在污染物吸附解吸动力学过程宜采用 Elovich 方程或 Freundlich 修正式进行计算。计算方法如公式（13）（14）所示。

Elovich 方程： $C_t = a + b \times \ln t$ (13)

Freundlich 修正式： $\ln C_t = a + b \times \ln t$ (14)

式中：

C_t —— t 时溶液中的浓度，单位为毫克每升（mg/L）；

a, b ——常数；由潜在污染物释放规律数值模拟模型得出；

t ——释放时间。

9.2.2 基础资料收集

9.2.2.1 根据 9.2.1 所述模型，需要收集较为详尽的饮用水水源地相关资料及历史信息，供水水库运行状况（总库容、有效库容等），引蓄供水情况（来水流量、供水流量、循环时间等），水质状况等；保护区土壤环境潜在风险地块分布情况，潜在污染物迁移分布重点区域等。

9.2.2.2 根据 9.2.1 所述模型，需要收集沉积物样品数据。

- 1) 饮用水水源地沉积物样品采样点布设宜采用专业判断布点法，采样点数量多于 5 个，水库水域面积较大或情况复杂时宜适当增加采样点。采样点布设在考虑其代表性的基础上，重点考虑布设在临近土壤环境潜在风险地块的重点区域及水源地取水口附近。
- 2) 集中式饮用水水源地沉积物样品采集方法按照 HJ 494 的要求，采集表层沉积物样品。
- 3) 采用采集的沉积物样品，在模拟水库运行条件下进行潜在污染物释放动力学实验，测定液相中潜在污染物浓度。实验结果按照公式（13）和公式（14）进行拟合，根据污染物释放动力学实验结果，选取符合污染物释放实际过程的动力学方程进行描述，以拟合后的方程作为沉积物潜在污染物释放规律数值模拟模型。

9.2.3 数据计算

对于单一潜在污染物，采用潜在污染物吸附解吸过程动力学模型方法计算水库中沉积物对水源水质的影响结果。计算方法如公式（15）（16）所示。

$C_{Ti} = a + b \times \ln T$ (15)

$\ln C_{Ti} = a + b \times \ln T$ (16)

式中：

C_{Ti} ——受土壤中潜在污染物影响单一污染指标升高浓度，单位为毫克每升（mg/L）；

a, b ——常数；由潜在污染物释放规律数值模拟模型得出；

T ——水库正常运行状态下进行一次实际库容循环的时间。

9.3 后果计算过程涉及的计算参数及其信息宜参照附录 A。

10 风险评价

10.1 评价标准

宜采用 GB 3838 中地表水 II 类标准值和集中式生活饮用水地表水源地特定项目标准限值作为评价

标准。

10.2 风险指数计算

10.2.1 对某一水源地评价，若仅存在一种潜在污染物，宜采用单因子指数法计算，计算方法如公式（14）所示。风险指数计算及风险评价过程涉及的计算参数及其信息宜参照附录 A。

$$r_i = \frac{C_{Ti}}{S_i} \dots\dots (17)$$

式中：
 r_i ——土壤潜在污染物 i 的单因子风险指数；
 C_{Ti} ——受土壤中潜在污染物影响单一污染指标升高浓度，单位为毫克每升（mg/L）；
 S_i ——潜在污染物 i 的评价标准，单位为毫克每升（mg/L）。

10.2.2 对某一水源地评价，若存在多种土壤潜在污染物，宜分别采用单因子指数法计算后，取单因子指数中最大值确定水源地土壤环境风险指数。计算方法如公式（15）所示。

$$r=MAX(r_i) \dots\dots (18)$$

式中：
 r ——水源地土壤环境风险指数；
 r_i ——土壤潜在污染物 i 的单因子风险指数。

10.2.3 根据水源地土壤环境风险指数的大小，水源地土壤环境风险评价结果分为 4 级，如表 3 所示。

表 3 水源地土壤环境风险评价结果

r 值大小	风险等级
$r \leq 1$	无风险
$1 < r \leq 2$	轻度风险
$2 < r \leq 3$	中度风险
$r > 3$	重度风险

11 土壤环境管理与风险管控措施建议

11.1 根据风险评价结果，土壤环境风险达到轻度风险及以上时，宜采取以下土壤环境管理与风险管控措施。

- 1) 健全水源水质监测制度，在现有水源水质监测制度基础上，针对土壤环境风险时空规律进行完善补充。监测范围方面，在现有监测点位基础上，针对水库近岸和入库支流开展针对潜在污染物的监测工作；监测频次方面，在开展集中式饮用水水源地在线监测和每月常规监测的基础上，建立汛期针对潜在污染物的每周监测制度以及极端降雨发生后针对潜在污染物的应急监测制度。
- 2) 加强和完善水库巡查制度，通过定期巡查、突击巡查、专项巡查和重点巡查等方式，及时发现水源保护区内特别是土壤环境潜在风险区域存在的问题。针对保护区内土壤环境潜在风险区域，重点巡查是否有裸露坡面和严重土壤侵蚀现象，查处破坏水源涵养林、护岸林或者与水源保护相关的植被等行为。在重点时期（每年 6 月到 9 月），特别是短时强降雨、台风等极端天气条件下，增加巡查频次或开展应急巡查工作。
- 3) 完善饮用水水源地环境风险管控和突发环境事件应急制度。将土壤环境潜在风险防控工作纳入饮用水水源地环境风险防控方案范围，将极端降雨情况土壤环境风险导致的突发环境事件

纳入水库突发环境事件应急预案。确保在土壤环境风险导致的突发环境事件发生前，开展完善的应急准备工作；在突发环境事件发生时，开展及时有效的应急处置和应急监测工作。完善饮用水水源地土壤环境风险导致的突发环境事件应急准备工作。主要包括：健全风险防控与应急制度，落实到饮用水水源地日常管理工作；完善人员、物资准备，建立登记巡查制度；加强风险管控与应急能力建设，将突发环境事件应急培训纳入单位工作计划，对从业人员定期进行突发环境事件应急知识和技能培训，建立环境事件应急专家库等。

11.2 根据风险评价结果，土壤环境风险达到重度风险时，在采用 11.1 所述的土壤环境管理与风险管控措施的基础上，建议根据潜在污染物迁移规律与保护区实际情况，采取以下工程技术措施。

- 1) 源头控制类措施：如增加植被覆盖度、完善水源涵养林建设、添加土壤改良剂等。
- 2) 途径阻截类措施：如坡面建设排水沟+沉砂池、支流入库前设置生态塘、近岸构建拦截带等。
- 3) 末端防控类措施：如启用或修建拦污坝与节制闸、底泥清理、调水稀释等措施。

附录 A
(资料性)
相关计算参数

本文件涉及的相关计算参数如表 A.1 所示。

表 A.1 相关计算参数表

符号	意义	单位	符号	意义	单位
A	潜在污染物迁移模数	mg/ hm ²	P	年降雨量	mm
A _{单日}	极端降雨条件当日土壤潜在污染物迁移量	mg	P _{i, j, k}	第 i 年第 k 个半月第 j 个侵蚀性日降雨量	mm
A _{总年}	土壤潜在污染物年迁移量	mg	P _i	第 i 个月降雨量	mm
A _{i 单日}	第 i 个栅格的极端降雨条件当日潜在污染物迁移模数	mg/ hm ²	P _m	极端降雨情况下日降雨量	mm
A _{i 总年}	第 i 个栅格的潜在污染物年迁移模数	mg/ hm ²	p	潜在污染物因子	mg/kg
a	土壤侵蚀模数	t/ hm ²	Q _d	水库设计泄洪流量	m ³ /s
C	植被覆盖因子	—	R	降雨侵蚀力因子	MJ • mm/hm ² • h
C _旱	旱地的植被覆盖因子	—	R _a	年降雨侵蚀力因子	MJ • mm/hm ² • h • a
C _t	t 时溶液中的浓度	mg/L	R _{半月 k}	第 k 个半月的降雨侵蚀力	MJ • mm/hm ² • h • a
C _受	受土壤中潜在污染物影响，单一污染指标升高浓度	mg/L	R _m	极端降雨情况下单日降雨侵蚀力因子	MJ • mm/hm ² • h • d
c _i	小数形式的植被覆盖度	—	r	水源地土壤环境风险指数	—
K	土壤可蚀性因子	—	r _i	土壤潜在污染物 i 的单因子风险指数	—
K _{EPIC}	修正前的土壤可蚀性因子	—	S	坡度因子	—
L	坡长因子	—	S _i	潜在污染物 i 的评价标准	—
m _c	粘粒 (<0.002 mm) 百分比含量	—	s	栅格投影面积	m ²
m _{silt}	粉粒 (0.002mm~0.05 mm) 百分比含量	—	T	水库正常运行状态进行一次全部库容循环的时间	—
m _s	砂粒 (0.05 mm~2 mm) 百分比含量	—	t	释放时间	—
n	栅格个数	—	V	水库有效容积	m ³
orgC	有机碳百分比含量	—	—	—	—

附录 B
(资料性)
资料收集清单

开展资料收集工作宜收集的相关资料及获取方式如表 B.1 所示。

表 B.1 资料清单及获取方式

序号	资料名称	获取方式
1	水源保护区红线文件、水库集水区范围文件	主管部门
2	水源地区域高程数据集	互联网
3	水源地区域地质图、水文地质图	主管部门、互联网
4	水源地区域地勘资料	主管部门
5	水源地区域气象资料	主管部门、互联网
6	水源保护区内土壤类型	主管部门、互联网
7	水源保护区内植被资料（植被种类、归一化植被指数等）	主管部门、互联网
8	水源保护区内土地利用现状	主管部门
9	水库基础信息、设计建设资料	主管部门
10	水库运行情况资料	主管部门
11	入库河流、外来引水及水库各监测断面水质资料	主管部门
12	水源保护区内土壤环境质量调查资料	主管部门

附录 C
(资料性)
人员访谈登记表参考样表

水源地名称	
访谈日期	
访谈人员	姓名： 单位： 联系电话：
受访对象	受访对象类型： <input type="checkbox"/> 水源地管理部门人员 <input type="checkbox"/> 环境保护管理人员 <input type="checkbox"/> 水源地周边区域工作人员 <input type="checkbox"/> 供水系统单位工作人员
	姓名： 单位： 职务或职称： 年龄： 联系电话：
受访问题	1：供水水库的基本信息，运行情况（包括使用年限、集雨面积、库容、供水水量、泄洪水量等）。
	2：饮用水水源保护区基本信息（包括区域范围、历次调整情况等）。
	3：保护区内土地利用现状，巡查过程中是否发现人类活动痕迹？
	4：水库水质状况，入库支流、水库水体、取水口监测数据是否存在异常情况？
	5：保护区是否开展土壤环境质量调查工作，是否存在土壤环境潜在风险地块？
	6：保护区是否已建设水土保持工程措施，或其他控制土壤环境风险的制度、工程措施？

参 考 文 献

- [1] HJ 338—2018 饮用水水源保护区划分技术规范
- [2] 生态环境部办公厅.关于印发《集中式饮用水水源环境保护指南（试行）》的通知：环办〔2012〕50号.2012年
- [3] 深圳市人居环境委.关于印发《深圳市土壤环境质量详细调查工作方案》的通知：深人环〔2018〕234号.2018年
- [4] Agriculture Handbook 282