

# 《饮用水水源地土壤环境风险评价技术指南》 (送审稿) 编制说明

## 一、项目背景

### (一) 国内外现行相关法律、法规和标准情况

2013 年，党的十八大报告提出“推进绿色发展、循环发展、低碳发展”和“建设美丽中国”，吹响了生态文明建设的新号角，生态文明建设上升到了国家战略层面。为了保护和改善环境，保障饮用水安全，《中华人民共和国水污染防治法》明确指出，“县级以上地方人民政府应当组织环境保护等部门，对饮用水水源保护区、地下水型饮用水源的补给区及供水单位周边区域的环境状况和污染风险进行调查评估，筛查可能存在的污染风险因素，并采取相应的风险防范措施。”《深圳经济特区生态环境保护条例》也明确指出：“供水水库一级保护区的管理范围内的土地，由土地使用权人或实际管理的单位负责土壤污染状况调查和风险评估。”

依照 HJ 338—2018《饮用水水源保护区划分技术规范》、SLT 618—2021《水利水电工程项目建议书编制规程》和 SLT 617—2020《水利水电工程可行性研究报告编制规程》等标准的规定，在饮用水水源保护区划分和供水水库规划设计阶段，应进行区域环境现状调查与评价，并识别水源地主要环境问题和环境风险情况。但是在实际工作中，集中式饮用水水源地周边土壤环境风险问题并未受到重视，存在由此导致的潜在环境风险。

国内外高度重视饮用水源环境风险评估工作，美国环境保护署

（EPA）规定了饮用水源风险评估工作程序，主要进行污染源识别、源相分析、污染物释放迁移评估、水源脆弱性与污染可能性评估、后果分析、风险计算和风险评价。生态环境部于 2012 年发布了适用于集中式饮用水水源（包括现用、备用和规划水源）环境保护工作的《集中式饮用水水源环境保护指南（试行）》，其中明确规定了饮用水源风险评估工作程序，并规定了风险识别工作中应考虑的风险源，主要有：固定源（石油化工行业，污、废水处理厂，垃圾填埋场等），流动源（航运、陆运移动源等），非点源（农业污染源，潮汛和水灾引起的大面积非点源污染等）。

综上所述，在饮用水水源保护区和供水水库规划设计、运行管理和环境风险评估工作中，周边土壤环境风险问题并未得到有效重视。国内外在进行饮用水源环境风险评估工作时。也并未考虑饮用水水源地周边土壤环境风险问题，相关技术空白仍有待填补。

## **（二）标准必要性及意义**

目前，深圳市市区共有饮用水水源保护区 26 个，保护区划定总面积 355.66km<sup>2</sup>（不含深汕特别合作区），其中一级保护区 122.49 km<sup>2</sup>，二级保护区 175.07 km<sup>2</sup>，准保护区 58.10 km<sup>2</sup>，占深圳市行政区土地总面积的 17.74%。深汕特别合作区共有饮用水水源保护区 5 个，水源保护区总面积 18.33 km<sup>2</sup>，其中一级保护区 15.33 km<sup>2</sup>，二级保护区 3.00 km<sup>2</sup>。饮用水水源地的土壤环境风险直接威胁到深港 2000 万居民的身体健康和生命财产安全。

为进一步打造安全土壤环境，保障饮用水安全，依照《深圳市

土壤环境保护和质量提升工作方案》要求，2018 年以来，深圳市生态环境局先后组织对 16 座市管集中式饮用水水源一级保护区和深汕特别合作区 6 个集中式饮用水水源一级保护区开展了土壤环境质量详细调查。调查结果显示：所调查的 22 个饮用水源一级保护区均存在土壤环境潜在风险点位， 17 个饮用水源一级保护区存在土壤环境潜在风险地块。

表 1 深圳市饮用水源一级保护区土壤环境潜在风险地块信息

水源地名称	保护区级别	总面积 (km <sup>2</sup> )	潜在风险地块 面积 (km <sup>2</sup> )	风险指标
铁岗-石岩水库	一级	24.13	0.25	铊
	二级	38.24	1.18	铊、锰
西丽水库	二级	19.26	3.40	铊、锰
三洲田水库	一级	2.15	0.04	汞
	二级	4.73	0.10	砷、汞
深圳水库	二级	51.63	1.04	锰
雁田水库	二级	10.18	0.53	砷 锰
长岭皮水库	二级	4.31	0.11	锰
梅林水库	一级	4.77	0.86	锰
赤坳水库	一级	2.99	0.73	砷、铅
	二级	9.53	2.20	砷、铅
铜锣径水库	二级	3.61	0.26	汞
公明水库	一级	7.93	1.61	镉、铅、铊
	二级	3.43	0.31	镉、铅、铊
长流陂水库	二级	6.44	1.73	铊

水源地名称	保护区级别	总面积 (km <sup>2</sup> )	潜在风险地块 面积 (km <sup>2</sup> )	风险指标
大山陂矿山水库	二级	4.17	0.78	砷、汞
红花岭水库	一级	2.17	1.53	汞
	二级	6.51	2.86	汞
下径水库	一级	4.40	0.66	汞、铊、锰
窑陂水库	一级	7.50	4.49	汞、铊、锰
泗马岭水库	一级	2.72	0.22	砷 铅
嘉田水库	一级	2.03	0.08	铊

深圳市饮用水水源一级保护区土壤环境风险管理工作仍存在水源地保护区土壤潜在环境风险不容忽视、保护区土壤对供水安全的影响情况尚不清楚、尚未建立科学合理的土壤环境风险评价方法等问题。为此，《深圳市生态环境保护“十四五”规划》（深府〔2021〕71号）特别指出要“开展集中式饮用水水源地土壤环境风险评价方法研究”。

## 二、工作简况

### （一）任务来源

为了建立健全深圳市集中式饮用水水源地土壤环境风险管理制度，更好地指导实际管理单位开展饮用水水源保护区内土壤环境风险评价和管理工作的，由深圳市生态环境局委托，开展《深圳市饮用水水源地土壤环境风险评价技术指南》（以下简称“指南”）的编制工作。2024年4月，深圳市市场监督管理局发布关于下达2024年深圳市地方标准计划项目任务的通知，决定对《饮用水水源地土壤环境风险评价技术指南》予以立项。

## **（二）编制单位**

《深圳市饮用水水源地土壤环境风险评价技术指南》项目由深圳市生态环境局提出，由深圳市广汇源环境水务有限公司、吉林大学负责起草。

## **（三）主要起草人**

深圳市广汇源环境水务有限公司：卢观彬、刘进、陈苇、王秀珍、张哲；

吉林大学：周睿、侯争亚。

## **（四）工作主要过程**

2023年4月~7月，成立指南编制小组，推进指南制定的各项工作。编制小组对收集的国内外水源地土壤环境风险评价方法相关资料进行分析；并多次召开工作组会议，就制定原则、适用范围、任务分工、指南内容等进行了充分研讨。

2023年8月~9月，指南编制小组就本项目情况，前往水源地环境管理主管部门和水源地保护区实际管理单位开展调研工作；根据前期研讨和实地调查的成果，编制了标准制修订计划项目建议书。

2023年10月~2024年2月，编制并形成指南草案，组织召开专家咨询会，对指南草案及编制说明进行专家咨询。

2024年2月-3月，结合专家咨询意见对指南草案及编制说明进行进一步修改，并组织召开项目验收会。

2024年4月，深圳市市场监督管理局对《饮用水水源地土壤环境风险评价技术指南》正式立项。

2024年7月-8月，形成意见征求稿，以书面征求了地市相关企业事业单位、社会组织、行业协会、高校专家等标准利益相关方的意见。共向7个相关单位和2位高校专家征求意见，收到共计10条修改意见，并全部采纳修改。

### **三、地方标准主要内容的依据以及与国内领先、国际先进标准的对标情况**

#### **（一）技术指标的确定依据**

本文件是在深圳市全面开展集中式饮用水水源地土壤环境质量调查的基础上，对集中式饮用水水源地土壤环境管理工作的进一步深化，并对现行水源地环境风险评估方法在保护区土壤环境风险源方面的进一步细化和补充，补充了现行相关标准的技术要求。主要技术指标应与深圳市集中式饮用水水源地土壤环境质量调查结果和现行相关标准相配套。

#### **（二）编制原则**

1.针对性原则。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。

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。

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。

#### **（三）与现行法律、法规、标准的关系**

《中华人民共和国水污染防治法》提出了县级以上人民政府在

周边区域的环境状况和污染风险进行调查评估的相关规定。《中华人民共和国土壤污染防治法》第十二条要求“加强土壤污染防治标准体系建设”。《土壤污染防治行动计划》要求“系统构建标准体系，健全土壤污染防治相关标准和技术规范”。《深圳经济特区生态环境保护条例》要求“供水水库一级水源保护区以及水库、河道、海堤的管理范围内的土地，由土地使用权人或者实际管理的单位负责土壤污染状况调查和风险评估。”《深圳市生态环境保护“十四五”规划》也提出：“开展集中式饮用水水源地土壤环境风险评价方法研究，探索构建土壤污染风险管控技术体系。”《深圳市饮用水水源地土壤环境风险评价技术指南》的制定是上述法律法规、管理文件的考核要求，是推动土壤质量改善、保障公众饮用水源和环境安全的重要举措。

现行的集中式饮用水水源地环境风险评估相关标准及政策文件主要有：

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；

HJ 773—2015《集中式饮用水水源地规范化建设环境保护技术要求》。

现行的深圳市集中式饮用水水源地土壤环境管理相关政策文件有：

深圳市人民政府办公厅.关于印发深圳市土壤环境保护和质量提升工作方案的通知：深府办〔2016〕36号.2016年；

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。

本文件在现行的集中式饮用水水源地环境风险评估相关标准的基础上，聚焦相关标准中未关注的集中式饮用水水源地土壤环境带来的环境风险，弥补了相关标准的空白。在现行的深圳市集中式饮用水水源地土壤环境管理相关标准的基础上，聚焦调查后存在潜在土壤环境风险的水源地的工作需求，为深圳市集中式饮用水水源地土壤环境管理工作提供了有力支撑。

#### **（四）与国内领先、国际先进标准的对标情况**

##### **1.国内相关标准**

生态环境部 2012 年组织编制的《集中式饮用水水源环境保护指南（试行）》，对水源地环境风险评估内容和工作流程做出规定，环境风险评估主要包括：

风险源识别：饮用水水源环境风险主要包括固定源（包括石油化工企业、污（废）水处理厂等）、流动源（包括存在危险品运输的陆运和水运交通）和非点源（包括农业污染源等）。

风险评估：根据饮用水水源保护区的地理属性，调查风险源的性质和规模，定性或定量评估该类风险源的影响程度。风险评估的流程见图 1。



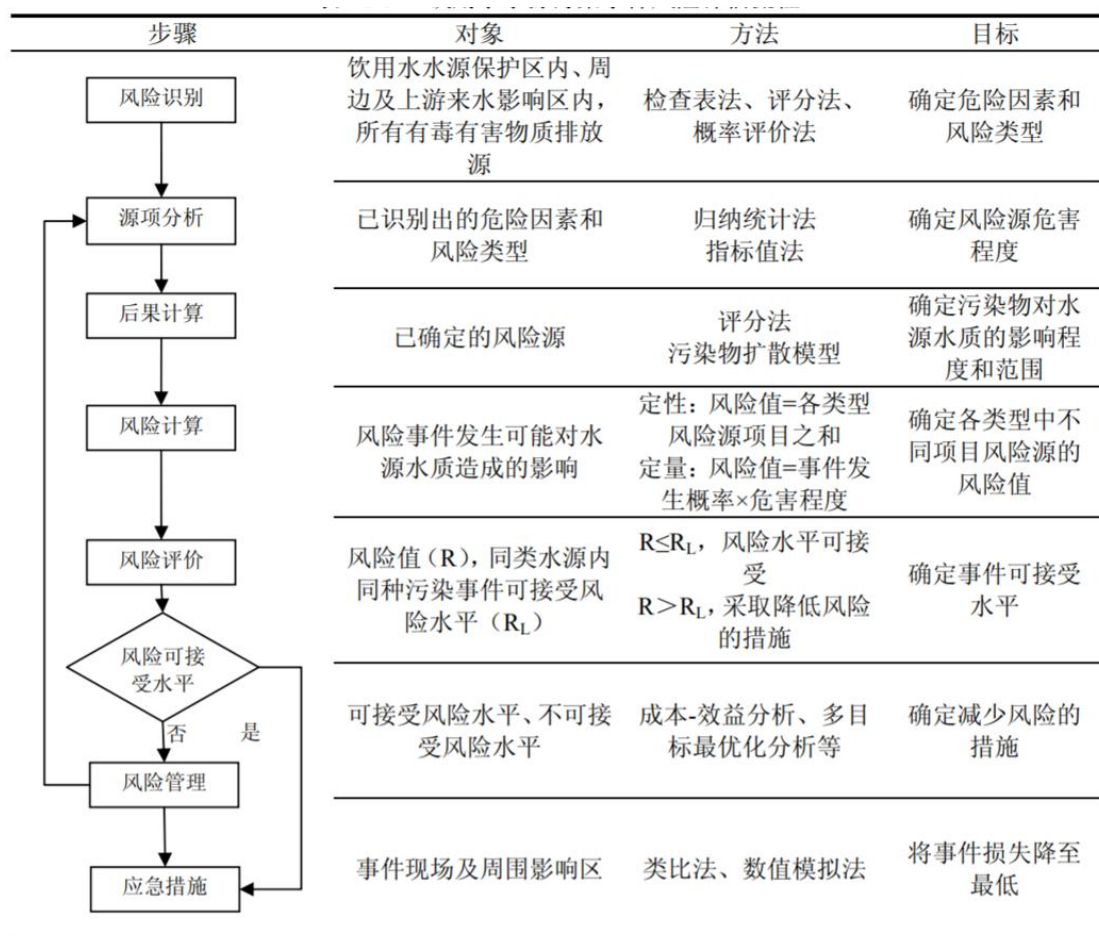


图 1 《集中式饮用水水源环境保护指南（试行）》环境风险评估流程

其中，风险值计算方法主要分为定性评估和定量评估。

定性评估采用评分值叠加法，针对风险源不同级别的危害程度，提出相应的风险防范措施。通过源项分析并根据风险源所在保护区内的影响程度和影响范围，按照固定源、流动源和非点源分别对水源存在的风险进行评价。评估按照标准附表中保护区内是否存在固定源、流动源、非点源，以及风险源与水库水源的实际距离，按照固定源（ $R_p$ ）、流动源（ $R_f$ ）、非点源（ $R_y$ ）分别评分。一般来说，环境风险值的可接受程度分别以  $R_p$ （或  $R_f$ 、 $R_y$ ） $\leq 3$  作为背景值，当风险值超过此限，当  $3 < R_p$ （或  $R_f$ 、 $R_y$ ） $\leq 7$  时，应采取风险防范

措施；当  $7 < R_p$ （或  $R_f$ 、 $R_y$ ） $\leq 9$  时，应采取风险预警措施；当  $R_p$ （或  $R_f$ 、 $R_y$ ） $> 9$  时，应采取风险应急措施。

定量评估根据单一风险源发生事件的概率和危害程度的乘积，计算风险值。计算公式为

$$R = P \times C \quad (1)$$

式中： $R$  为风险值（危害程度/单位时间）； $P$  为最大可信事件的发生概率（事件数/单位时间）； $C$  为最大可信事件造成的危害（损害/事件）。当水源环境风险值小于  $10^{-6}/a$  时，表明风险可以接受；当风险值达到  $10^{-5}/a$  时，应采取风险防范措施；达到  $10^{-4}/a$  时，应采取风险预警措施；达到  $10^{-3}/a$  时，应采取风险应急措施。

综上所述，该方法主要用于保护区范围内由于人类生产生活产生的固定源、流动源、非点源在突发污染事件情形下对饮用水源造成的环境风险，不能准确反映由饮用水水源保护区内土壤环境质量问题产生的环境风险。

## 2. 国外相关标准

美国环保署（EPA）发布的《Online Source Water Quality Monitoring For Water Quality Surveillance and Response Systems》中饮用水源环境风险评价方法。计算公式为

$$R = L \times V \times C \quad (2)$$

式中： $R$  为风险值； $L$  为可能性，是指污染源威胁污染水源水的可能性，其大小通常基于污染源造成的先前污染事件水平确定，

或基于预测和模型分析；V 为受体敏感性，指供水系统或其人群受到环境风险影响的概率，受体敏感性通常基于水源地应对污染威胁的能力进行分析；C 为危害程度，指供水系统（如基础设施受损）或人群（如疾病）所经历的事件的不利影响。在可能的情况下，后果以货币损失的形式表示，为所有环境风险的后果提供了衡量标准。

综上所述，该方法主要用于保护区范围内由于人类生产生活产生突发污染事件对饮用水源造成的环境风险，不能准确反映由饮用水水源保护区内土壤环境质量问题产生的环境风险。

### 3.相关标准现状

目前，国内外相关标准重点强调人类活动产生的固定源、流动源和非点源对饮用水源产生的环境风险，不能准确反映由饮用水水源保护区内土壤环境质量问题产生的环境风险。

相较于人类活动产生的固定源、流动源和非点源对饮用水源产生的环境风险，土壤环境质量问题产生的环境风险存在以下特征：

1) 饮用水源一级保护区属于封闭式管理，除必要的日常管理维护工作外，不存在人类生产生活活动，难以通过传统的污染识别方法判断其环境风险情况；

2) 大量潜在风险地块位于饮用水源一级保护区内，部分潜在污染地块面积较大，与水库水域距离较近，加之深圳市属亚热带海洋性季风气候，降水充沛，容易造成部分污染物释放迁移；

3) 土壤环境质量问题产生的环境风险持续性、隐蔽性较强。

基于土壤环境质量问题产生的环境风险的特征，目前现有的对于人类活动产生的固定源、流动源和非点源对饮用水源产生的环境风险评价方法已经不能满足实际需求。因此，亟需提出可行的水源地土壤环境风险评价方法，客观反映饮用水水源地土壤环境风险。

## **（五）预期效果**

深圳市生态环境局组织对 16 个市管集中式饮用水水源一级保护区和深汕特别合作区 6 个集中式饮用水水源一级保护区开展的土壤环境质量详细调查结果显示：所调查的 22 个集中式饮用水水源地一级保护区均存在土壤环境潜在风险点位，其中 17 个一级保护区存在土壤环境潜在风险地块。

但是，仍存在保护区土壤对供水安全的影响情况尚不清楚、尚未建立科学合理的土壤环境风险评价方法等问题，集中式饮用水水源地土壤环境风险评价工作亟待开展。因此，需要一部相关技术文件，为深圳市饮用水水源地土壤环境风险评价工作及其结果提供规则、指南。

综上，本文件对深圳市下一步开展集中式饮用水水源地土壤环境风险评价工作具有指导意义，也为国内外其他地区开展相关工作提供了借鉴和思路。

## **四、主要条款的说明以及主要技术指标、参数、试验验证的论述**

### **（一）标准适用范围**

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。

## **(二) 工作程序**

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 2 所示。

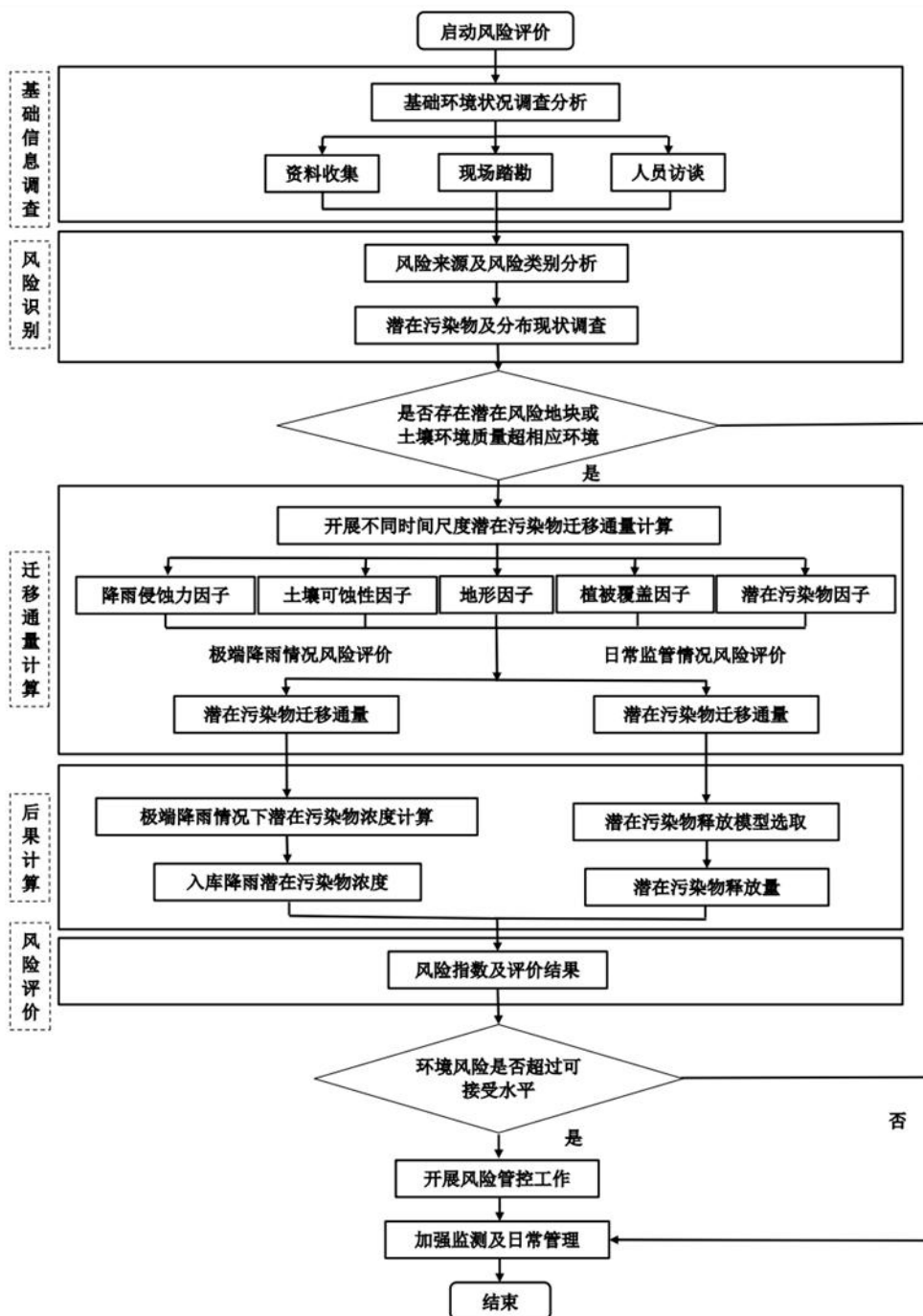


图 2 技术流程图

### (三) 主要技术指标论述

#### 1. 基础信息调查技术要求

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。

开展风险评价工作前，首先应开展相关资料的收集与分析，相关资料应包括：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、保护区土壤状况等。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。

风险评价单位现场踏勘的重点对象应包括：饮用水水源保护区内实际土地利用方式、土壤类型；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；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；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。

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）。

## **2.风险识别技术要求**

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。

### 3. 迁移通量计算技术要求

#### 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。

$$A = a \times p \times 1000 \quad (3)$$

$$a = R \times K \times L \times S \times C \quad (4)$$

式中，A 为潜在污染物迁移模数（mg/hm<sup>2</sup>）；a 为土壤侵蚀模数（t/hm<sup>2</sup>）；p 为潜在污染物因子（mg/kg）；R 为降雨侵蚀力因子（MJ·mm/hm<sup>2</sup>·h）；K 为土壤可蚀性因子；L、S 为地形因子，



L 表示坡长因子，S 表示坡度因子；C 为植被覆盖因子。

## 2) 数据准备

根据上述模型，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，及其相关数据，具体信息来源可参考表 2。

表 2 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	30m	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	30m	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报告

**降雨侵蚀力因子（日常监管情况） $R_a$ ：**是指降雨引发土壤侵蚀的潜在能力，通过多年平均年降雨侵蚀力因子反映。降雨侵蚀力因子（日常监管情况） $R_a$ 可采用 2 种获取方法：方法一采用《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；方法二采用美国 1978 年发布的《Agriculture Handbook 282》中的计算方法。

**降雨侵蚀力因子（极端降雨情况） $R_m$ ：**是指降雨引发土壤侵蚀

的潜在能力，采用极端降雨情况当日降雨侵蚀力因子反映。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） $R_a$ 获取方法一原理：

$$R_m = \alpha \times P_m^{1.7265} \quad (5)$$

式中：

$R_m$ 为极端降雨情况下单日降雨侵蚀力因子（MJ·mm/hm<sup>2</sup>·h·d）； $P_m$ 为极端降雨情况下日降雨量（mm），极端降雨情况下日降雨量采用出现极端降雨事件发生时当地日降雨量； $\alpha$ 为参数，暖季时 $\alpha=0.3937$ ，冷季时 $\alpha=0.3101$ 。极端降雨事件的判定方法参考 DB32/T 4430《极端强降雨事件判定》中“单站极端强降雨事件判定”方法。

**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 可采用 2 种获取方法：方法一采用《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；方法二采用 SL 773—2018《生产建设项目土壤流失量测算导则》中该地区土壤可蚀性因子 K 参考值。

**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。

**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。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

**p 为潜在污染物因子：**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，对保护区土壤所调查点位的潜在污染物进行插值，确定潜在污染物的浓度分布。

### 3) 数据计算

将各因子统一成 30m 分辨率的栅格数据，在空间分析工具（Spatial 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。

## 4.后果计算技术要求

### 1) 极端降雨情况土壤风险评价

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源地。另外，极端降水条件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，降水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，极端降水情况下，特别是水库泄洪过程中，应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。

采用入库降水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，公式如下：

$$C_{Ti} = \frac{A_{\text{单日}}}{Q_d \times 8.64 \times 10^7} \quad (6)$$

式中， $C_{Ti}$ 为受土壤中潜在污染物影响，单一特征污染指标升高浓度（mg/L）， $A_{\text{单日}}$ 为极端降雨条件当日土壤潜在污染物迁移量（mg）， $Q_d$ 为水库设计泄洪流量（m<sup>3</sup>/s）。

## 2) 日常监管情况土壤环境风险评价

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和溶质一维扩散模型进行刻画。

潜在污染物吸附解吸动力学过程可以采用 Elovich 方程或 Freundlich 修正式进行计算：

$$\text{Elovich 方程: } C_t = a + b \times \ln t \quad (7)$$

$$\text{Freundlich 修正式: } \ln C_t = a + b \times \ln t \quad (8)$$

式中， $C_t$ 为 t 时溶液中的浓度（mg/L）；a，b 均为常数；t 为释放时间。

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 Elovich 方程和 Freundlich 修正式进行拟合，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。

## 5. 风险评价技术要求

本文件采用 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》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。

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水源地土壤环境风险指数；若存在多种土壤潜在污染物，分别采用单因子指数法计算后，取单因子指数中最大值作为水源地土壤环境风险指数

根据土壤环境风险指数值的大小，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

## 6.土壤环境管理与风险管控措施建议

根据风险评价结果，土壤环境风险达到轻度风险及以上时，建议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。

4）根据风险评价结果，土壤环境风险达到重度风险时，在采用上述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。

（四）方法论证

1.国内外相关研究

1）水源地土壤污染物迁移途径研究

水库周边潜在风险地块的土壤中存在的重金属类污染物，可能会随降雨径流、水土流失等水文过程对水库水质产生影响。

根据前期现场踏勘和资料分析，基于化学质量平衡原理，初步判断潜在风险地块土壤对水源水质影响途径主要包括两大类四个途径，第一大类包括地表径流和地表土壤侵蚀两个途径，第二大类为壤中流和地下水两个途径。

表 4 风险地块土壤对水源水质影响途径

迁移途径	迁移过程
地表径流	土壤颗粒表面污染物在降水或地表径流作用下，溶解进入周边入库地表径流，溶解态污染物通过入库径流进而进入水库。
土壤侵蚀	强降水条件下，潜在风险地块土壤颗粒被直接带入地表径流，吸附在土壤颗粒上的污染物随地表径流进入水库或土壤颗粒直接进入水库中。
壤中流	潜在风险地块中的土壤污染物经降雨淋滤进入土壤包气带中，通过壤中流形式进入水库。
地下水	潜在风险地块土壤污染物经降雨淋滤进入地下水中，在地下水与水库水力联系作用下进入水库。

基于美国学者在管道系统和道路系统重金属组分迁移特征刻画，和许多中国学者在不同情境下对重金属侧向迁移的研究，总结发现

土壤中污染组分，特别是重金属组分迁移主要以地表，尤其是以与颗粒物结合——即土壤侵蚀途径进行迁移。根据深圳市生态环境局开展的《深圳市集中式饮用水水源地土壤环境风险管控试点项目》的报告结果，试点水库的重金属 Cd 和 Hg 迁移通量模拟结果显示：重金属 Cd 年迁移量中，地表土壤侵蚀途径迁移量占全年总迁移量的 87%；重金属 Hg 年迁移量中，地表土壤侵蚀途径迁移量占全年总迁移量的 97%。

综上所述，本文件重点考虑随土壤侵蚀进入水库水体的潜在污染物迁移量，提出基于地表土壤侵蚀模型建立潜在风险地块污染物迁移模拟方法，开展水源地土壤环境风险评价迁移通量计算。

## 2) 潜在风险地块污染物迁移模拟评估

关于地表土壤侵蚀定量评估方法的研究，目前国内外普遍采用 1965 年由美国学者建立的 USLE(universal soil Loss Equation)模型，即通用水土流失方程及其改进模型进行分析计算。

国内相关标准目前主要采用经过不断改进完善的修正通用水土流失方程（RUSLE）作为水土流失量计算和水土保持功能评价的计算方法。计算公式如下：

$$A = R \times K \times L \times S \times C \quad (4)$$

式中：A 为土壤侵蚀模数（ $t/hm^2 \cdot a$ ）；R 为降雨侵蚀力因子（ $MJ \cdot mm/hm^2 \cdot h \cdot a$ ）；K 为土壤可蚀性因子；L、S 为地形因子，L 表示坡长因子，S 表示坡度因子；C 为植被覆盖因子。

在土壤侵蚀模型的基础上，结合潜在污染物浓度空间分布数据，



进行饮用水水源地土壤潜在污染物向水库水体的迁移量计算。计算公式如下：

$$A = a \times p \times 1000 \quad (3)$$

$$a = R \times K \times L \times S \times C \quad (4)$$

式中， $A$  为潜在污染物迁移模数 ( $\text{mg}/\text{hm}^2$ )； $a$  为土壤侵蚀模数 ( $\text{t}/\text{hm}^2$ )； $p$  为潜在污染物因子 ( $\text{mg}/\text{kg}$ )； $R$  为降雨侵蚀力因子 ( $\text{MJ} \cdot \text{mm}/\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a}$ )； $K$  为土壤可蚀性因子； $L$ 、 $S$  为地形因子， $L$  表示坡长因子， $S$  表示坡度因子； $C$  为植被覆盖因子。

### 3) 水库沉积物重金属释放研究

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的形式存在。目前水库沉积物中污染物释放规律主要采用吸附解吸化学动力学模型进行刻画。

土壤体系中化学反应的动力学是现代物理化学或纯化学动力学在土壤研究中的应用和发展。因此，有关土壤的化学动力学方程大多是从纯化学动力学中借用而来，然后对各方程中的参数和变量赋予相应的土壤学意义与内涵。经大量实验验证，用于土壤吸附解吸化学过程的化学方程主要有四种，见表 5。

表 5 主要的土壤吸附解吸化学过程动力学方程

模型名称	方程表达式
Elovich 方程	$C_t = a + b \times \ln t$
一级扩散方程	$C_t = C_{\infty}(1 - \exp(-kt))$
Freundlich 修正式	$\ln C_t = a + b \times \ln t$
抛物线扩散方程	$C_t = C_0 - kt^{1/2}$

其中，Elovich 方程与 Freundlich 修正式这两种经验方程描述的是包括一系列反应机制的过程，如溶质物的本体或界面扩散、表面的活化与去活化作用等。因此，对于单一反应机制的过程不适合，却非常适用于反应过程中活化能变化较大的过程，如土壤和沉积物界面上的过程。经过大量实验验证，上述两种方程对于描述土壤或沉积物 Cu、Pb、Cr、As 等元素的吸附动力学规律具有较好的效果。

土壤的化学动力学方程可以通过动力学实验结果求得，开展目标介质在不同条件下的模拟试验，研究介质中污染物的释放量，记录不同时间的释放量结果，拟合形成化学动力学方程，根据拟合方程的方差，确定可信的释放动力学方程，得出待确定参数（a、b、k）。

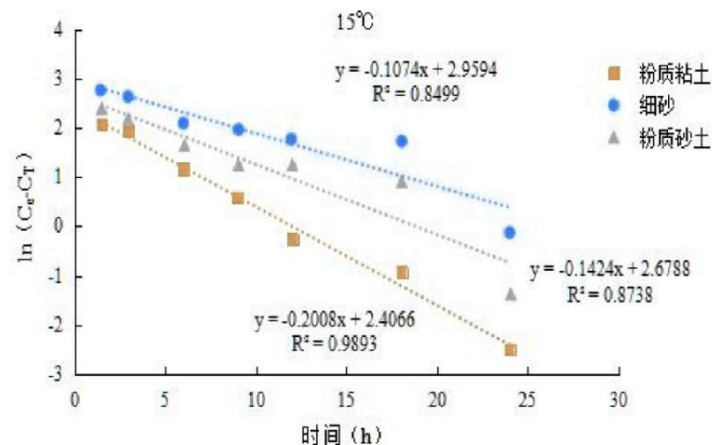


图 3 相关研究中化学动力学方程拟合结果

## （五）主要验证

### 1.日常监管情况土壤环境风险评价

本计算验证主要以深圳市红花岭水库为案例，选取重金属 Hg 作为潜在污染物，开展日常监管情况土壤环境风险评价。

#### 1) 迁移通量计算

本文件计算饮用水水源地土壤潜在污染物向水库水体的年迁移量主要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进行综合分析计算。

$$A = a \times p \times 1000 \quad (3)$$

$$a = R \times K \times L \times S \times C \quad (4)$$

式中，A 为潜在污染物迁移模数（mg/hm<sup>2</sup>）；a 为土壤侵蚀模数（t/hm<sup>2</sup>）；p 为潜在污染物因子（mg/kg）；R 为降雨侵蚀力因子（MJ·mm/hm<sup>2</sup>·h·a）；K 为土壤可蚀性因子；L、S 为地形因子，L 表示坡长因子，S 表示坡度因子；C 为植被覆盖因子。

**降雨侵蚀力因子 R：**是指降雨引发土壤侵蚀的潜在能力，通过多年平均年降雨侵蚀力因子反映。采用，公式如下：

本次计算验证降雨侵蚀力因子 R 计算美国 1978 年发布的《Agriculture Handbook 282》中的计算方法，计算公式如下：

$$R = \sum_{i=1}^{12} \{ 1.735 \times 10^{(1.5 \times \log_{10}(P_i^2/P) - 0.8188)} \} \quad (9)$$

式中： $P_i$  为各月降雨量（mm）；P 为年降雨量（mm）。

数据来源自深圳市气象局马峦站 2020 年降雨量监测数据。

表 6 降雨量数据与降雨侵蚀力因子 R 计算

月份	降雨量（mm）	降雨侵蚀力因子
		R
1 月	35.9	0.248792
2 月	43	0.3
3 月	32.2	0.2
4 月	90.4	3.97
5 月	202.1	44.3
6 月	218.6	56.15
7 月	59.7	0.3
8 月	352.2	234
9 月	286.3	126
10 月	29.3	0.2
11 月	2.8	0
12 月	0.8	0
全年	1353.3	465.6688

**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。

本次计算验证土壤可蚀性因子 K 计算采用 SL 773—2018《生产建设项目土壤流失量测算导则》中深圳市土壤可蚀性因子 K 参考值，K=0.0032。

**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。本次计算验证采用《生态保护红线

划定指南》中“水土保持功能重要性评估”方法计算，在评估中，可以应用地形起伏度，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。

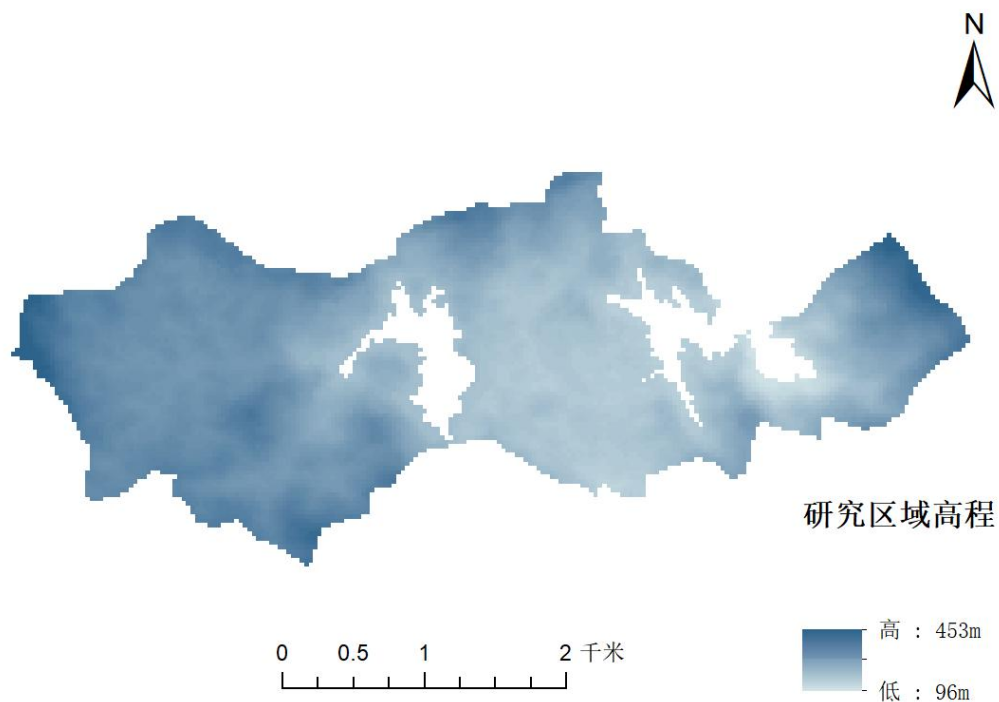


图4 研究区域高程数据

选择高程数据集，在 Spatial Analyst Tools → Neighborhood → Focus Statistics，邻域设置 Neighborhood Setting 范围为 15\*15，设置 Statistic Type 为 MAXIMUM 和 MINIMUM，即得到高程数据集的最大值和最小值栅格数据。



图 5 焦点统计操作

然后在 Spatial Analyst 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。

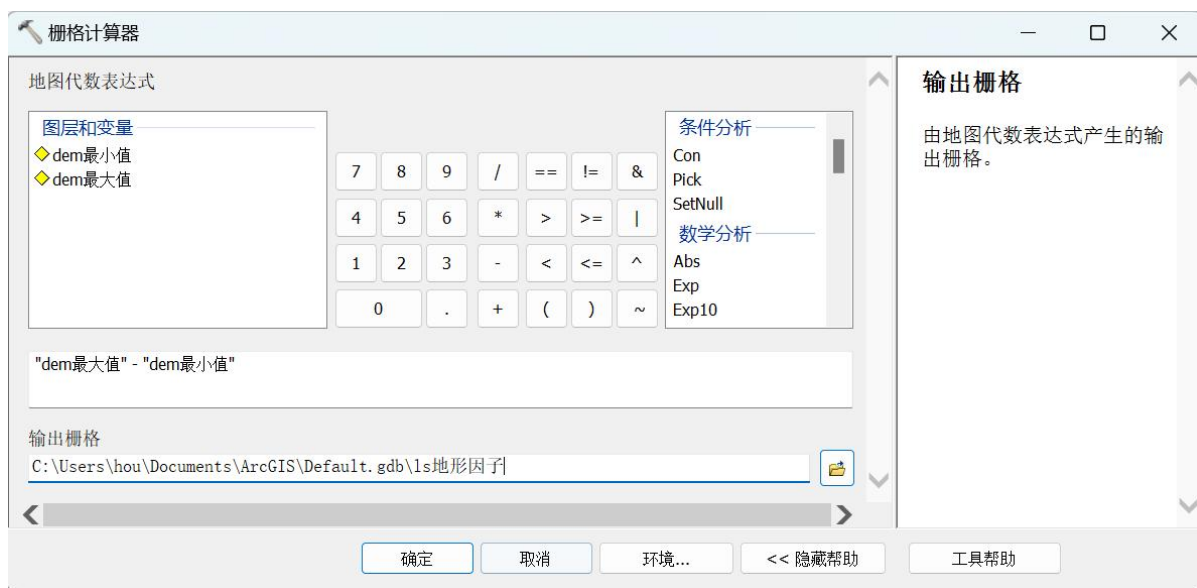


图 6 栅格计算器

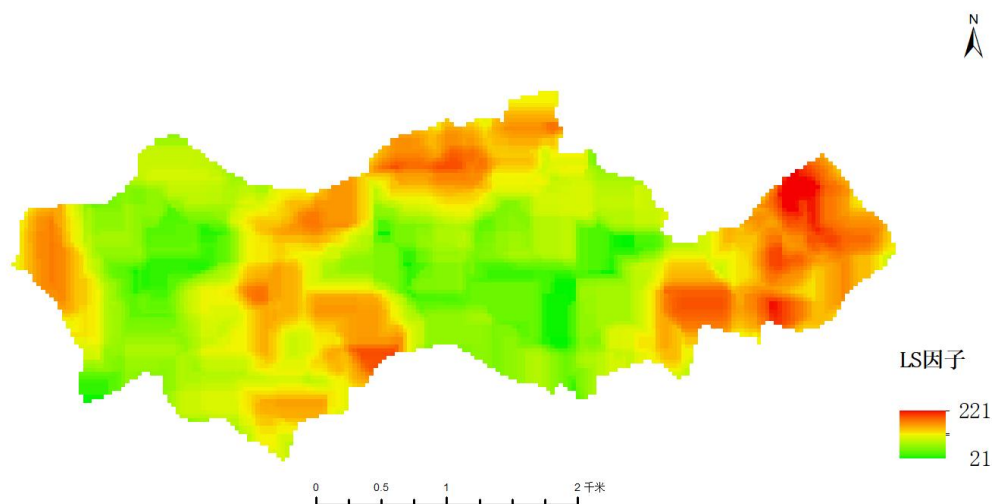


图 7 深圳市红花岭水库保护区地形因子 LS

**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。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。本次计算验证采用《生态保护红线划定指南》中“水土保持功能重要性评估”方法计算，公式如下：

$$C = 0.221 - 0.595 \log c_1 \quad (10)$$

式中，C 为旱地的植被覆盖因子， $c_1$  为小数形式的植被覆盖度。

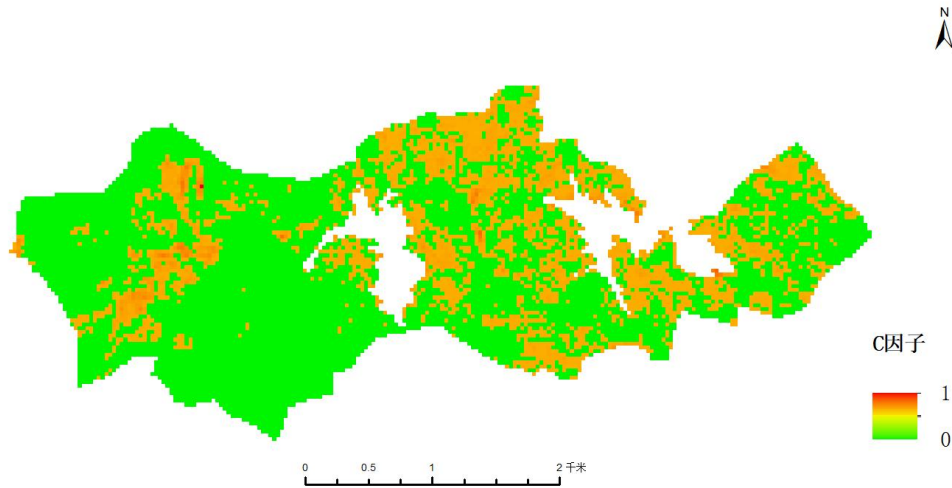


图 8 深圳市红花岭水库保护区植被覆盖因子 C

**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 Geostatistical Wizard 模块中的线性模型，对保护区土壤所调查点位的潜在污染物进行插值，确定潜在污染物的浓度分布。本次计算验证采用《深圳市集中式饮用水水源地土壤环境风险管控试点项目》的报告中重金属 Hg 样品采集数据，采用报告中使用的反距离权重法进行重金属 Hg 潜在污染物因子 p 分布刻画。



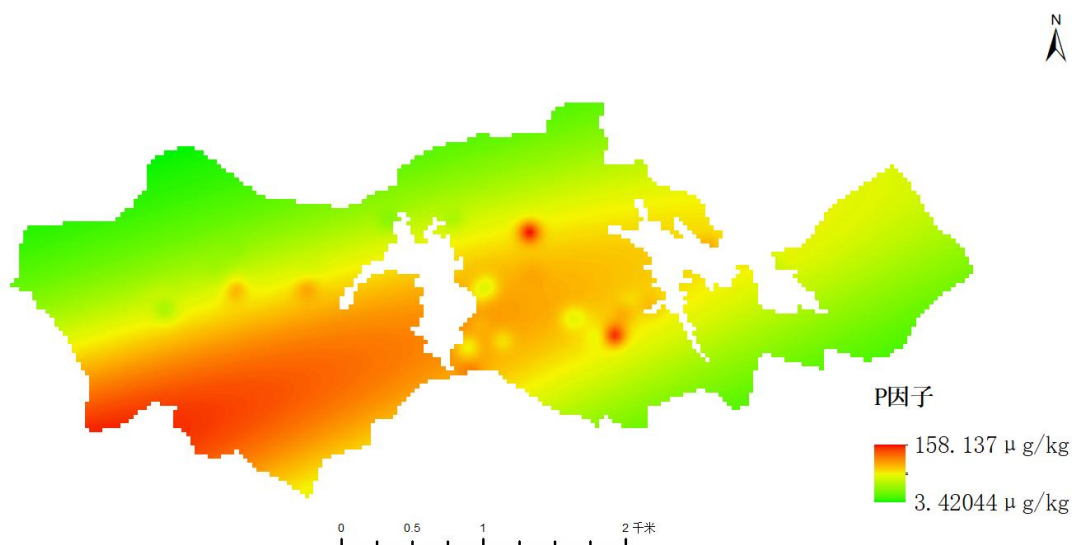


图9 深圳市红花岭水库潜在污染物因子 p

将各因子统一成 30m 分辨率的栅格数据，在 ArcGIS 栅格计算器（Spatial Analyst→Raster Calculator）中，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年迁移量。计算公式如下：

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

式中， $A_{\text{总年}}$  表示土壤潜在污染物年迁移量（mg）； $A_{i\text{总年}}$  表示第  $i$  个栅格的潜在污染物年迁移模数（mg/hm<sup>2</sup>）； $n$  表示栅格个数； $s$  表示栅格投影面积（m<sup>2</sup>）。

经过数据计算，得到深圳市红花岭水库保护区范围内土壤年侵蚀模数  $a$  栅格数据。

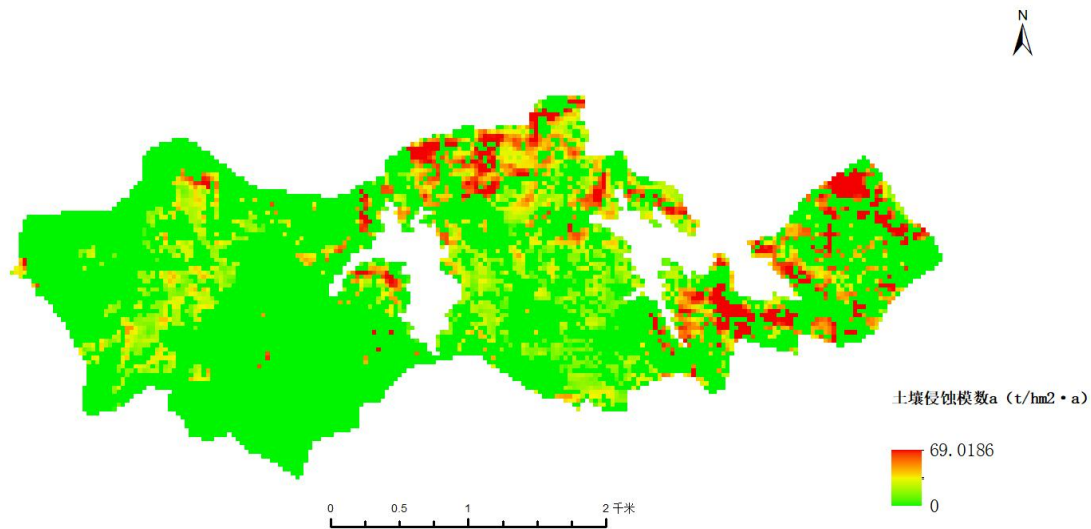


图 10 深圳市红花岭水库保护区年土壤侵蚀模数  $a$

经栅格数据统计计算，深圳市红花岭水库保护区年土壤侵蚀量为 3743t/a，与《深圳市集中式饮用水水源地土壤环境风险管控试点项目》的报告中模型模拟结果 1680t/a 属同一数量级。总体而言，该计算结果能够反映红花岭水库保护区年土壤侵蚀量。

经过数据计算，得到深圳市红花岭水库保护区范围内年潜在污染物迁移模数  $A$  栅格数据。

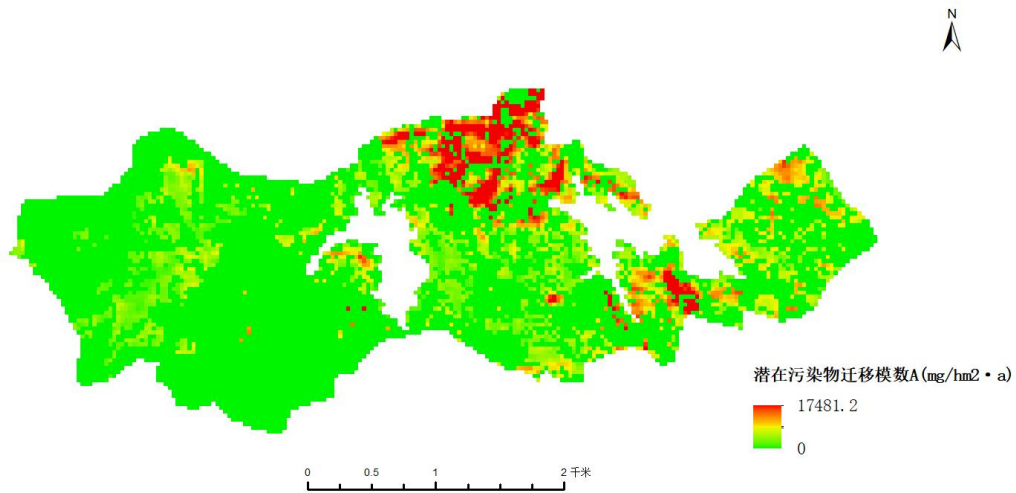


图 11 深圳市红花岭水库保护区年潜在污染物迁移模数 A

经栅格数据统计计算，深圳市红花岭水库保护区年潜在污染物迁移量为 411.9g/a。与《深圳市集中式饮用水水源地土壤环境风险管控试点项目》的报告中根据年土壤 Hg 元素迁移量模型模拟值 0.41kg/a 相近。总体而言，该计算结果能够反映红花岭水库保护区范围内潜在污染物年迁移量。

## 2) 后果计算

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，由于暂时未开展相关沉积物样品污染物释放实验，本次验证计算基于保守原则，假定沉积物中所含潜在污染物全部释放。采用潜在污染物迁移通量作为沉积物污染物释放量。计算公式如下：

$$C_{Ti} = \frac{A_{ti}}{V} \times \frac{T}{t_i} \quad (12)$$

式中， $C_{Ti}$ 为受土壤中潜在污染物影响，单一特征污染指标升高浓度（mg/L）； $A_{ti}$ 为 $t_i$ 时间段内潜在污染物迁移量（mg）； $V$ 为水库有效库容； $T$ 为水库正常运行状态下进行一次全部库容循环的时

间； $t_i$ 为计算过程涉及的时间长度。

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，由于暂时未开展相关沉积物样品污染物释放实验，本次验证计算按照保守原则，采用年潜在污染物迁移量 411.9g 作为沉积物年污染物释放量；并根据计算得到月潜在污染物迁移量，作为沉积物月污染物释放量。

表 7 月潜在污染物迁移通量

月份	污染物迁移通量 (g)
1	0.220064477
2	0.265359589
3	0.176906393
4	3.5115919
5	39.18476604
6	49.66646982
7	0.265359589
8	206.9804797
9	111.4510276
10	0.176906393
11	0
12	0

深圳市红花岭水库日供水量 3 万立方米每天，按照水库库容 303.5 万立方米，进行一次全部库容循环时间为 101.6 天。

受土壤中潜在污染物影响，重金属 Hg 指标升高浓度年平均值为：

$$C_{Ti} = \frac{411.9}{3035000} \times \frac{101.6}{365} = 0.000038mg/L$$

受土壤中潜在污染物影响，重金属 Hg 指标升高浓度各月平均值为：

表 8 重金属 Hg 指标升高浓度各月平均值

月份	重金属 Hg 指标升高浓度 (mg/L)
1	$2.36628 \times 10^{-7}$
2	$3.05011 \times 10^{-7}$
3	$1.90222 \times 10^{-7}$
4	$3.90177 \times 10^{-6}$
5	$4.21342 \times 10^{-5}$
6	$5.5185 \times 10^{-5}$
7	$2.85333 \times 10^{-7}$
8	$2.2256 \times 10^{-4}$
9	$1.23834 \times 10^{-4}$
10	$1.90222 \times 10^{-7}$
11	0
12	0

### 3) 风险评价

采用单因子指数法对深圳市红花岭水库日常监管情况土壤环境风险进行评价。

年风险指数为：

$$r = \frac{0.000038}{0.00005} = 0.756$$

各月风险指数为：

表 9 风险指数各月平均值

月份	风险指数 r
1	0.005
2	0.006
3	0.004
4	0.078
5	0.84
6	1.1
7	0.006

月份	风险指数 $r$
8	4.45
9	2.48
10	0.0034
11	0
12	0

根据  $r$  值的大小，水源地土壤环境风险评价结果分为 4 级，如表 10 所示。

表 10 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

深圳市红花岭水库日常监管情况重金属 Hg 土壤环境风险为无风险。深圳市红花岭水库 2020 年水源水 Hg 元素低于 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中地表水 II 类标准值，评价结果符合实际情况。

## 2. 极端降水情况土壤环境风险评价

深圳市属南亚热带海洋性季风气候，夏季盛行偏东南风，时有季风低压、热带气旋光顾，高温多雨。同时夏季也是深圳降水最为丰沛的季节，深圳的降水各地区差异很大，容易出现局地性的洪涝灾害和短时雷雨大风天气。

由于此种气候条件，极端降水情况在深圳市夏季频繁出现。经研究表明，土壤侵蚀现象主要集中于极端降水条件下，大量含有侵

蚀土壤的降水进入水库水体，造成了水源地土壤环境风险加剧。另外，极端降水条件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，降水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，极端降水情况下，特别是水库泄洪过程中，应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。

本计算验证参照 DB 32/T 4430《极端强降雨事件判定》中“单站极端强降雨事件判定”方法，以 2020 年深圳市红花岭水库 8 月最大降雨日为极端降雨事件发生日，选取重金属 Hg 作为潜在污染物，计算极端降雨条件下土壤环境风险。

### 1) 迁移通量计算

本文件计算饮用水水源地土壤潜在污染物向水库水体的迁移量主要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进行综合分析计算。

$$A = a \times p \times 1000 \quad (3)$$

$$a = R \times K \times L \times S \times C \quad (4)$$

式中，A 为潜在污染物迁移模数（mg/hm<sup>2</sup>）；a 为土壤侵蚀模数（t/hm<sup>2</sup>）；P 为潜在污染物因子（mg/kg）；R 极端降雨情况下单日降雨侵蚀力因子（MJ·mm/hm<sup>2</sup>·h·d）；K 为土壤可蚀性因子；L、S 为地形因子，L 表示坡长因子，S 表示坡度因子；C 为植被覆盖因子。

**降雨侵蚀力因子 R：**对于计算极端降雨情况下单日降雨侵蚀力因子 R 的使用情形，计算公式参照《生态保护红线划定指南》中“水土保持功能重要性评估”计算方法的原理：

$$R_m = \alpha \times P_m^{1.7265} \quad (5)$$

式中， $R_m$ 为极端降雨情况下单日降雨侵蚀力因子（MJ·mm/hm<sup>2</sup>·h·d）， $P_m$ 为极端降雨情况下日降水量（mm）。 $\alpha$ 为参数，暖季时 $\alpha=0.3937$ ，冷季时 $\alpha=0.3101$

本次计算验证降雨侵蚀力因子 R 计算采用数据来源自深圳市气象局马峦站 2020 年降雨量监测数据，采用 2020 年 8 月单日最大降雨量 109mm，进行极端降雨情况下单日降雨侵蚀力因子 R 计算。

$$R_m = \alpha \times 109^{1.7265} = 1296 \text{ (MJ} \cdot \text{mm/hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{d)}$$

**土壤可蚀性因子 K：**同本节日常监管情况土壤环境风险评价部分计算方法。

**地形因子 L、S：**同本节日常监管情况土壤环境风险评价部分计算方法。

**植被覆盖因子 C：**同本节日常监管情况土壤环境风险评价部分计算方法。

**潜在污染物因子 P：**同本节日常监管情况土壤环境风险评价部分计算方法。

**泄洪流量  $Q_d$ ：**取深圳市红花岭饮用水水源保护区管理处提供数据 108.4m<sup>3</sup>/s。

将各因子统一成 30m 分辨率的栅格数据，在 ArcGIS 栅格计算



器（Spatial Analyst→Raster Calculator）中，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。

计算公式如下：

$$A_{\text{单日}} = \sum_{i=1}^n A_{i\text{单日}} \times s \div 10000 \quad (13)$$

式中， $A_{\text{单日}}$ 为极端降雨条件当日土壤潜在污染物迁移量（mg）； $A_{i\text{单日}}$ 表示第*i*个栅格的极端降雨条件当日潜在污染物迁移模数（mg/hm<sup>2</sup>）；*n*表示栅格个数；*s*表示栅格投影面积（m<sup>2</sup>）。

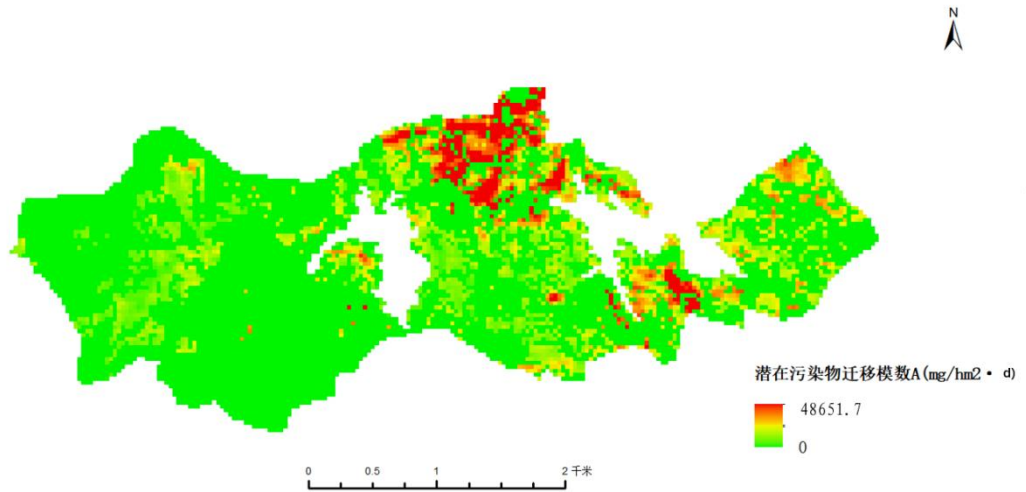


图 12 深圳市红花岭水库保护区极端降水情况下潜在污染物迁移模数 A

经栅格数据统计计算，极端降水情况下深圳市红花岭水库保护区潜在污染物迁移量为 1146.35g/d。

## 2) 后果计算

计算极端降雨情况下入库降水中潜在污染物浓度，采用入库降水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，公式如下：

$$C_{Ti} = \frac{A_{\text{单日}}}{Q_d \times 8.64 \times 10^7} \quad (6)$$

式中， $C_{Ti}$ 为受土壤潜在污染物影响入库水中潜在污染物浓度（mg/L）， $A_{\text{单日}}$ 为极端降雨条件当日土壤潜在污染物迁移量（mg）， $Q_d$ 为水库设计泄洪流量（m<sup>3</sup>/s）。

经计算受土壤潜在污染物影响潜在污染物浓度为 0.00012mg/L。

### 3）风险评价

本文件采用 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》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。本次验证计算采用 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中重金属元素 Hg 地表水 II 类标准值 0.00005mg/L 作为风险评价标准。

采用单因子指数法对深圳市红花岭水库极端降雨情况土壤环境风险进行评价。

$$r = \frac{0.00012}{0.00005} = 2.4$$

根据 r 值的大小，深圳市红花岭水库极端降雨情况重金属 Hg 土壤环境风险为中度风险。

## 五、是否涉及专利等知识产权问题

否。

## 六、重大意见分歧的处理依据和结果

暂无。

## 七、实施标准的措施建议

（一）持续开展饮用水水源保护区土壤环境质量详细调查工作。  
饮用水水源保护区土壤环境质量详细调查工作是查明保护区内土壤

环境质量的重要途径，也是土壤环境风险评价的重要基础。保护区环境管理部门应开展全面的土壤环境质量详细调查工作，以全面掌握保护区内土壤环境信息。

（二）完善饮用水水源地环境风险和突发环境事件应急相关制度。目前，对于人类活动产生的风险源可能产生环境风险，相关风险评价方法和风险管理制度已较为完备。以此为基础，深圳市供水水库也已建立起突发环境事件应急制度。但相关制度均未涉及由于保护区内土壤超相应环境标准产生的环境风险，造成了相关制度的缺失。在饮用水水源地土壤环境风险管理技术体系完善后，应将其纳入水源地环境风险和突发环境事件应急制度范围，完善水源地环境风险管理和突发环境事件应急制度。

## **八、其他需要说明的事项**

暂无。