

# 中国地质调查局地质调查技术标准

DD2014—09

---

## 生态地球化学预警技术要求

中国地质调查局

---

2014年7月



# 目 次

前言 .....	III
引言 .....	IV
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 总则 .....	2
4.1 预警目的 .....	2
4.2 预警任务 .....	2
4.3 预警方法 .....	3
4.4 预警程序 .....	3
5 设计编审 .....	3
5.1 编写依据 .....	3
5.2 设计书编制 .....	3
5.2.1 资料收集 .....	3
5.2.2 综合分析 .....	3
5.2.3 实地踏勘 .....	4
5.2.4 编写内容与要求 .....	4
5.3 设计审查 .....	4
5.3.1 设计初审 .....	4
5.3.2 设计审查 .....	4
6 预警单元和指标筛选 .....	4
6.1 预警单元 .....	4
6.2 预警指标筛选 .....	4
7 野外工作方法 .....	5
7.1 预警指标主要输入-输出途径的确定 .....	5
7.2 输入途径工作方法 .....	5
7.2.1 大气干湿沉降 .....	5
7.2.2 灌溉水 .....	6
7.2.3 化肥 .....	6
7.3 输出途径工作方法 .....	7
7.3.1 大宗作物 .....	7
7.3.2 地表径流 .....	7
7.3.3 元素蒸发 .....	7
7.3.4 下渗水输出 .....	7
8 预警方法 .....	8

8.1	模型建立.....	8
8.1.1	箱式预测模型.....	8
8.1.2	线性预测模型.....	9
8.1.3	生态效应发展趋势预测模型.....	10
8.2	参数获取.....	10
8.2.1	输入通量.....	10
8.2.2	输出通量.....	11
8.3	警度划分.....	12
8.3.1	警度级别.....	12
8.3.2	划分要求.....	12
8.3.3	预警指标含量划分警度.....	12
8.3.4	生态效应划分警度.....	14
9	预测预警.....	15
9.1	预测预警.....	15
9.1.1	河流生态系统.....	15
9.1.2	农田生态系统.....	16
9.1.3	湖泊湿地生态系统.....	16
9.1.4	城市生态系统.....	16
9.1.5	其它生态系统.....	16
9.2	排警措施.....	16
10	报告编审.....	17
10.1	报告编写.....	17
10.2	图件.....	17
10.2.1	实际材料图包括:.....	17
10.2.2	地球化学图包括:.....	17
10.2.3	地球化学预警图包括:.....	17
10.3	文字报告.....	17
10.4	成果评审及资料汇交.....	17
附录 A (规范性附录)	通量与通量密度的表示方法.....	18
附录 B (规范性附录)	生态地球化学预警设计编写内容及要求.....	20
附录 C (规范性附录)	城市土壤不同用地类型重金属限制值.....	23
附录 D (规范性附录)	淡水沉积物重金属限制值.....	24
附录 E (规范性附录)	健康元素分级表.....	25
附录 F (规范性附录)	土壤盐渍化程度分级表.....	26
附录 G (规范性附录)	大气 Hg 中毒暴露水平参考值.....	27
附录 H (规范性附录)	HH 生态地球化学预警报告编写提纲.....	28
参考文献	.....	30

## 前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写规则》给出的规则起草。

本标准由中国地质调查局提出和归口管理。

本标准起草单位：中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所。

本标准主要起草人：成杭新、杨忠芳、周国华、李括、赵传东、秦爱华。

本标准由中国地质调查局负责解释。

## 引 言

生态地球化学预警是我国多目标区域地球化学调查与评价工作的重要内容之一。随着多目标区域地球化学调查与评价研究内容的不断拓展，为了判断不同生态系统中的各种地球化学问题的变化趋势，有必要制定生态地球化学预警技术要求，以进一步规范生态地球化学的预警工作。

我国开展的多目标区域地球化学调查，已发现一系列影响生态环境安全的重大生态问题，《生态地球化学预警技术要求》是针对这些重大生态地球化学问题未来演变趋势的预警工作而编制的。目的是指导我国正在开展的生态地球化学预警工作。

# 生态地球化学预警技术要求

## 1 范围

本标准规定了生态地球化学预警的目标任务、预警内容、技术方法、工作流程、资料整理、预警报告编写等基本要求。

本标准适用于不同生态系统中土壤元素全量的生态地球化学预警工作,对与土壤有成因联系的其它环境要素的地球化学预警工作具有指导作用。

## 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,仅所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 2715-2005 粮食卫生标准

GB 3838-2002 地表水环境质量标准

GB/T 14848-1993 地下水质量标准

GB 15618-1995 土壤环境质量标准

GB 18668-2002 海洋沉积物质量

NY/T 418-2000~NY/T 437-2000 绿色食品系列标准

NY/T 5001-2001~NY/T 5073-2001 无公害食品系列标准

DD2005-02 区域生态地球化学评价规范

DD2005-03 生态地球化学评价样品分析技术要求(试行)

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1

**生态地球化学 ecogeochemistry**

研究元素及有机污染物在不同生态系统中的分布分配特征、地球化学循环过程,及其对生态系统和人类健康的影响。

### 3.2

**生态地球化学预测 prediction of ecological geochemistry**

对元素或有机污染物在生态系统内部或不同生态系统之间迁移循环过程与未来演化趋势的定性与定量描述。

### 3.3

**生态地球化学预警 early warning of ecogeochemistry**

是指元素或有机污染物在同一生态系统内部或不同生态系统间的迁移循环过程中,对生态系统可能产生的生态效应事先发出警告,并提出相应的排警措施。

### 3.4

### 预警单元 **unit of early warming**

预测和警告在自然地质地球化学和（或）人类活动作用下，受到严重干扰的生态系统的区域。

## 3.5

### 预警要素 **media of early warming**

预警单元内存在重大生态地球化学问题的关键组成要素。它通常包括土壤、水体、大气、动植物等。预警要素可以是生态系统的的一个或多个组成要素。

## 3.6

### 预警指标 **indicator of early warming**

预警单元内影响关键组成要素正常功能的元素、有机污染物及其他指标。

## 3.7

### 通量 **flux**

单位时间内预警指标从一个储库向另一个储库的迁移数量。通量单位一般为 $\mu\text{g}\cdot\text{year}^{-1}$ 、 $\text{mg}\cdot\text{year}^{-1}$ 、 $\text{g}\cdot\text{year}^{-1}$ 、 $\text{kg}\cdot\text{year}^{-1}$ 或 $\text{t}\cdot\text{year}^{-1}$ 。通量的表示方法见附录A。

## 3.8

### 通量密度 **flux density**

单位时间单位面积内化学元素从一个储库向另一个储库的迁移数量。通量密度的单位一般有 $\text{ng}\cdot\text{hour}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $\mu\text{g}\cdot\text{year}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $\text{mg}\cdot\text{year}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $\text{g}\cdot\text{year}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 或 $\text{kg}\cdot\text{year}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $\text{t}\cdot\text{year}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ 。通量密度的表示方法见附录A。

## 4 总则

### 4.1 预警目的

通过对预警指标在不同生态系统中的地球化学行为特征、成因来源及对生态系统的危害程度研究，对生态系统中可能发生的重大问题事先发出警告，并提出相应的预防措施，为生态系统安全和社会经济可持续发展提供决策依据。

### 4.2 预警任务

4.2.1 重点分析工作区农田、城市、河流、草原、湖泊、矿山、森林、浅海等生态系统可能存在的重大问题，筛选确定预警对象（预警单元、预警元素或化合物的种类及预警要素）。

4.2.2 归纳总结预警生态单元中预警指标的主要迁移途径、循环过程及时空变化规律，确定生态系统警情产生的根源。查明预警指标变化的各种控制因素，研究控制预警指标变化的各种因果关系，建立预警指标变化趋势或变化速率的预测模型。

4.2.3 依据各类标准，研究预警指标变化对生态系统安全和人类健康的生态风险，建立生态系统安全性预警的警度划分模型或警度区间。以警度区间为判别依据对生态系统的预测结果进行判断和预报，对可能发生的生态危害及其危害程度作出警示。

4.2.4 根据警源的成因及警度等级提出降低生态风险、应对生态事件发生的各种措施建议。采取预防行动，开展不同比例尺的生态地球化学监测，并用科学方法检验所采取行动的结果，不断提高生态地球化学预警准确度。

### 4.3 预警方法

采取多目标区域地球化学调查或其他区域性地球化学调查方法，以元素地球化学分布分配为基础，以生态系统为预警单元，以土壤为中心，以预警指标在大气—水体—土壤—生物体中的循环迁移为理论依据，开展预警指标的输入输出通量研究和生态效应评价，判断生态系统的安全状态，为经济社会可持续发展服务。

#### 4.4 预警程序

生态地球化学预警工作程序见图 1 所示。

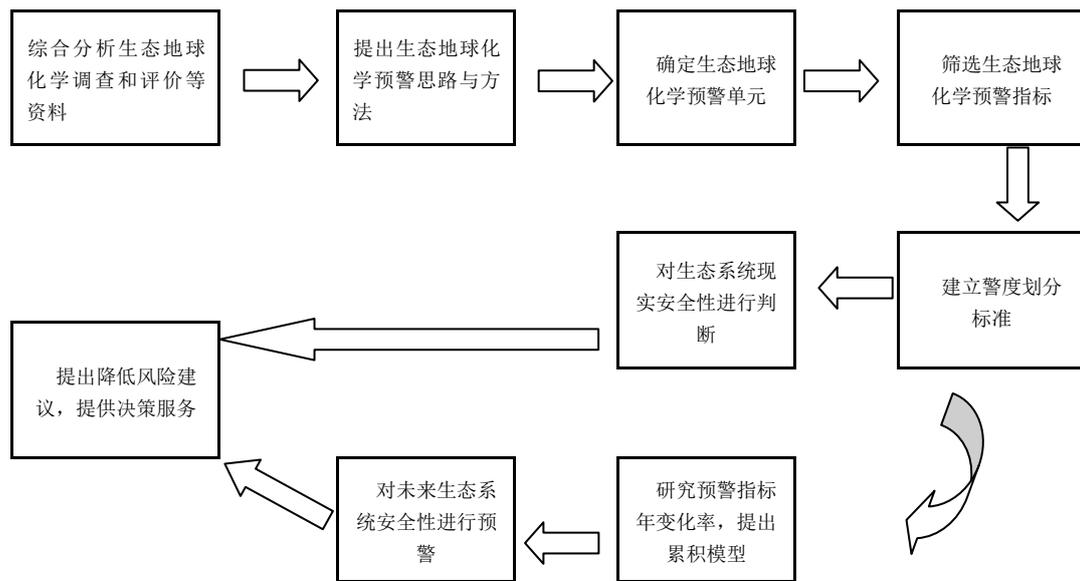


图1 生态地球化学预警工作程序

### 5 设计编审

#### 5.1 编写依据

设计书是开展生态地球化学预警的依据，应由项目承担单位根据主管部门下达的任务书要求编写，设计书编写后应提交主管部门审查。

#### 5.2 设计书编制

##### 5.2.1 资料收集

收集工作区自然地理、土壤类型、土地利用现状、社会经济概况、工农业状况、城镇发展、主要生态问题等资料；收集多目标区域地球化学调查和其他区域地球化学资料；收集与生态效应有关的各类其它资料。

##### 5.2.2 综合分析

通过对收集资料的系统整理，总结工作区存在的生态地球化学问题，综合分析生态地球化学问题的主要控制，初步确定工作区的主要预警指标及生态系统，提出开展生态地球化学预警的主要思路和工作方法。

##### 5.2.3 实地踏勘

在资料收集和综合分析的基础上对工作区进行实地踏勘,对已经存在的生态地球化学问题及生态效应进行初步验证,对特殊样品进行实地预采集和预研究,制定出详细的预警方案。

#### 5.2.4 编写内容与要求

编写内容。设计一般由前言、工作区概况、研究内容、技术路线及工作方法、实物工作量、预期成果、组织机构及人员安排、经费预算、质量保证与安全措施、设计附图及附表11章组成。

编写要求。各章节的具体要求参见规范性附录B。

### 5.3 设计审查

#### 5.3.1 设计初审

设计书编写后由编写单位出具初审意见,编写人根据初审意见进行修改。

#### 5.3.2 设计审查

设计书提交主管部门审查修改后组织实施。

## 6 预警单元和指标筛选

### 6.1 预警单元

城市、农田、河流、湖泊、湿地、草原等生态系统是基本的预警单元。

### 6.2 预警指标筛选

#### 6.2.1 预警指标的筛选原则:

- a) 反映土壤环境质量的As、Cd、Cu、Cr、Hg、Ni、Pb、Zn等重金属元素,是预警指标的主要筛选范围。
- b) 预警指标需具有明确的生态意义,其在土壤中含量(包括生物有效量)过高、过低对生态系统安全和人体健康能造成直接或间接危害的指标,主要有F、Se和I。
- c) 易受人类活动影响、对元素地球化学行为具有控制作用的理化指标,如土壤pH。
- d) 土壤中能够指示环境恶化或生态退化的其他指标,如K、Ca、S、Cl、Si等。
- e) 预警指标与拟确定生态风险因子之间具有明确的因果关系。

#### 6.2.2 预警指标主要依据土壤中元素含量水平、富集贫化程度、异常分布强度,筛选方法如下:

- a) 依据GB 15618-1995,对土壤中As、Cd、Cr、Cu、Pb、Hg、Ni、Zn等重金属进行初步筛选。
- b) 预警单元土壤中As、Cd、Cr、Cu、Pb、Hg、Ni、Zn等有害元素属于三类土壤样品的数量超出20%时,应列入预警指标。
- c) 预警单元土壤中As、Cd、Cr、Cu、Pb、Hg、Ni、Zn等有害元素属于四类(超三类)土壤样品的数量超出10%时,应列入预警指标;
- d) 预警单元土壤中F、Se、I等健康元素,缺乏(包括极度缺乏)与中毒样品的面积超过10%时,应列入预警指标。
- e) 预警单元土壤中N、P等营养元素含量丰富面积超过50%,且已出现水体富营养化现象时,应列入预警指标。
- f) 预警单元土壤中pH、S、Cl、Ca、Mg、Si等指标,指示土壤盐碱化和沙化面积达到20%,应列入预警指标。
- g) 用富集系数  $f_i$ , 结合上述列项a)~f)进行筛选。

$$f_i = \frac{C_T^i}{C_D^i} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$C_T^i$  ——表层土壤元素i的含量；

$C_D^i$  ——深层土壤元素i的含量。

筛选方法如下：

- 1) 预警单元土壤中As、Cd、Cr、Cu、Pb、Hg、Ni、Zn等有害元素属于三类土壤样品的数量小于20%，但  $f_i > 3$  的样品数量超过10%时，应列入预警指标。
- 2) 当预警单元土壤中As、Cd、Cr、Cu、Pb、Hg、Ni、Zn等有害元素没有三类土壤样品时，但  $f_i > 5$  的样品超过10%时，应列入预警指标。
- 3) 预警单元土壤中As、Cd、Cr、Cu、Pb、Hg、Ni、Zn等有害元素属于四类(超三类)土壤样品的数量小于10%时，但  $f_i > 3$  的样品数量超过10%时，应列入预警指标。
- 4) 预警单元土壤中  $f_{pH} < 0.75$ ，且pH<6.5的酸性土壤样本数超出了20%时，应列入预警指标。
- h) 表层土壤中元素含量及分布特征通过列项a)～g)未能筛选出来，但在预警地区已出现与指标有关的生态效应，如农作物超标、水体污染或发生了危及人体健康的事件等，该类指标应作为预警指标。

## 7 野外工作方法

### 7.1 预警指标主要输入-输出途径的确定

根据预警单元与预警指标筛选的结果，初步确定预警指标的主要输入-输出途径。

地表土壤化学元素的输入途径主要包括大气干湿沉降、施肥、灌溉等，城市生态系统化学元素的输入途径主要为大气干湿沉降，大气干湿沉降、施肥、灌溉水是农田（草原）生态系统的主要输入途径；大气干湿沉降、地表径流是湖泊（浅海）底泥化学元素的主要输入途径。

土壤化学元素的主要输出途径为作物收割、地表径流、下渗水和挥发性元素蒸发。

### 7.2 输入途径工作方法

#### 7.2.1 大气干湿沉降

7.2.1.1 农田、草原生态系统以不同行政区为依据，空间上要求大气干湿沉降样点能覆盖整个工作区，均匀布点，样点密度为 10 个~20 个 样/万 km<sup>2</sup>。

7.2.1.2 城市生态系统以城市不同功能区为依据，布置大气干湿沉降采样点，每个功能区布点不少于 10 件，空间上要求点位尽量均匀。

7.2.1.3 湖泊(水域面积大于 100km<sup>2</sup>)、河流和近岸海域生态系统，在具备条件的湖泊、河流和近岸海域内，每个湖泊或近岸海域工作区内布置大气干湿沉降不少于 10 件，空间上要求点位尽量均匀，在不具备条件的湖泊或近岸海域工作区内，应在湖泊或近岸海域岸边均匀布置大气干湿沉降采样点。

7.2.1.4 大气干湿沉降样品采样点高度应大于 10 m。接受降尘周期为一年，降尘和降雨量大的城市可调整至半年或一季度回收一次样品。样品采集方法参见 DD2005-02。

7.2.1.5 干湿沉降总量进行准确定量参见《区域生态地球化学评价规范》（DZ/T XXX-2013）附录 H。

7.2.1.6 干沉降样品分析测试指标一般包括砷(As)、铝(Al)、钙(Ca)、钴(Co)、镉(Cd)、铬(Cr)、氟(F)、汞(Hg)、钾(K)、镁(Mg)、锰(Mn)、镍(Ni)、钠(Na)、铅(Pb)、铜(Cu)、锌(Zn)硫(S)、

锑 (Sb)、硒 (Se)、锡 (Sn)、钛 (Ti)、钒 (V)、钨 (W) 等元素；湿沉降样品分析指标包括钾离子 ( $K^+$ )、钠离子 ( $Na^+$ )、钙离子 ( $Ca^{2+}$ )、镁离子 ( $Mg^{2+}$ )、硫酸根 ( $SO_4^{2-}$ )、氯离子 ( $Cl^-$ )、氟离子 ( $F^-$ )、重碳酸根 ( $HCO_3^-$ )、碳酸根 ( $CO_3^{2-}$ )、硝酸根 ( $NO_3^-$ )、硅 (Si)、氮 (N)、磷 (P)、铁 (Fe)、锰 (Mn)、砷 (As)、镉 (Cd)、钴 (Co)、六价铬 ( $Cr^{6+}$ )、铜 (Cu)、汞 (Hg)、镍 (Ni)、铅 (Pb)、锌 (Zn)、硒 (Se)、锑 (Sb)、铊 (Tl)、钛 (Ti)、钒 (V)、钨 (W) 等；部分样品可进行多氯联苯、多环芳烃等有机污染物分析。

## 7.2.2 灌溉水

7.2.2.1 灌溉水样品主要在农田、草原生态系统布置。

7.2.2.2 灌溉水以地表水为主的地区，以工作区主要灌溉水系 (水渠) 为布点依据，样点密度为 10 件~15 件/万  $km^2$ ，在污水灌溉地区，灌溉水样点可加密；农田灌溉水以井水为主的地区，依据水井位置分布情况，确定样品采集点位。

7.2.2.3 灌溉水样采集时间为农田灌溉时期，水样采集方法、添加保护剂种类、水样运输和保存等参见 DD2005-02。

7.2.2.4 灌溉水样品分析元素及指标种类参见 DD2005-02，在工业废水和城市生活废水灌溉严重地区，可增加有机污染物、微生物和其它水质检测指标。

## 7.2.3 化肥

7.2.3.1 化肥样品主要在农田生态系统的布置。

7.2.3.2 化肥样品采样密度为 10 件~15 件/万  $km^2$ ，可以市县或乡镇为采集单元，也可实地入户采集。

7.2.3.3 化肥样品分析元素为砷 (As)、镉 (Cd)、铜 (Cu)、铬 (Cr)、氟 (F)、汞 (Hg)、钾 (K)、氮 (N)、镍 (Ni)、磷 (P)、铅 (Pb)、硒 (Se)、锌 (Zn) 等，不同评价地区可根据实际情况增减元素及指标。

7.2.3.4 地表径流

7.2.3.5 地表径流是湖泊湿地、近岸海域底泥化学元素的主要来源。

7.2.3.6 在湖泊湿地、近岸海域的河流入湖或入海处各布置 1~2 个采样点。

7.2.3.7 每个样点包括悬浮物样品、水样品、底泥和沉积柱样品。

7.2.3.8 水样、悬浮物和底泥样品分枯水期、丰水期和 (或) 平水期采集。

7.2.3.9 同点位采集水样、悬浮物样品、底泥样品和沉积柱样品，水样、悬浮物样品、底泥样品采样要求参见 DD2005-02。

7.2.3.10 水样分析元素有 As、 $Cr^{6+}$ 、Cd、Cu、Hg、Pb、Zn、Ni 及 F、Se，不同地区和不同水质样品，根据需要可增加营养元素 N、P、K 分析以及 As 等元素不同价态和有机污染物 (六六六、DDT 等) 分析；悬浮物、底泥和沉积柱样品分析元素参见 DD2005-02，分析元素和项目依据不同工作区的实际情况，可以进行增减。

### 7.3 输出途径工作方法

#### 7.3.1 大宗作物

- 7.3.1.1 大宗作物收割是农田生态系统土壤化学元素输出的主要途径之一。
- 7.3.1.2 依据工作大宗农作物的种类，分别采集水稻、小麦、玉米等代表性农作物籽实和一定种类的蔬菜、水果、经济作物及特色农产品可食部位；
- 7.3.1.3 每类样品样本数量不得少于 30 件；
- 7.3.1.4 农作物样品采集、清洗、保存、送样等各项要求参见 DD2005-02。
- 7.3.1.5 农作物样品分析元素参见 DD2005-02。

#### 7.3.2 地表径流

- 7.3.2.1 地表径流中水、悬浮物是农田、城市、草原生态系统土壤中化学元素输出的主要途径。
- 7.3.2.2 在工作区主要河流的上、中、下游及支流与干流交汇的支流处布置悬浮物、水样品采样点。
- 7.3.2.3 穿越城市的河流，在城市的上、下游各最少布置 1 处悬浮物、水样品采样点。
- 7.3.2.3 与湖泊相连的水系，在湖泊出水口的水系中至少布置 1 处悬浮物、水样品采样点。
- 7.3.2.4 降水过程达到大雨以上级别的城市地区，在主要排水口布置悬浮物、水样品采样点。
- 7.3.2.5 悬浮物和水样品按照枯水期、丰水期和平水期 3 次采集，采集样品难度较大时，应保证采集枯水期和丰水期样品。
- 7.3.2.6 悬浮物、过滤水、原水样品采集要求参见 DD2005-02。
- 7.3.2.7 水样分析元素有 As、Cr<sup>6+</sup>、Cd、Cu、Hg、Pb、Zn、Ni 及 F、Se，不同地区和不同水质样品，根据需要可增加营养元素 N、P、K 分析以及 As 等元素不同价态和有机污染物（六六六、DDT 等）分析。
- 7.3.2.8 悬浮物分析元素参见 DD2005-02。

#### 7.3.3 元素蒸发

- 7.3.3.1 土壤中 Hg 的蒸发是土壤 Hg 输出的主要途径之一。
- 7.3.3.2 城市、农田、草原、森林土壤中均需布置土壤-大气 Hg 交换通量监测点。
- 7.3.3.3 依据城市生态系统的不同功能区和土壤类型，在不同功能区及不同土壤类型中至少布置一个土壤-大气 Hg 交换通量监测点。
- 7.3.3.4 依据农田和草原生态系统中的土壤类型及作物种类，在不同土壤类型及不同作物种类中至少布置一个土壤-大气 Hg 交换通量监测点。
- 7.3.3.5 在各监测点同点采集地表土壤样品。
- 7.3.3.6 通量监测方法参见 DD2005-02。

#### 7.3.4 下渗水输出

- 7.3.4.1 在年降雨量较大和农田水灌溉地区，按照 10~20 个/万 km<sup>2</sup> 部署土壤下渗水采样点，城市主要功能区最少各布置 1 处土壤下渗水采样点。
- 7.3.4.2 下渗水采样位置选择需综合土壤类型、成土母质类型、土地利用现状、地形地貌特征、年降雨量、蒸发量等气候条件、土壤异常元素含量、酸碱度 (pH)、土壤有机碳 (TOC)、质地等。
- 7.3.4.3 在下渗水采样位置，最少需布置 1~2 个下渗水原位监测装置，装置方法参照 DD2005-02 执行。
- 7.3.4.4 埋设时间根据埋设期降雨量和灌溉水量而定，一般以收集到的下渗水能够满足测试要求为准。埋设下渗水原位监测装置的时期内，收集同点降雨量和灌溉水量。
- 7.3.4.5 下渗水回收时，现场测试溶液的酸碱度、温度、电导率等参数；依据附录 F 要求，根据测试元素种类不同，添加不同保护剂，并于 24 h 内送实验室分析；

7.3.4.6 农田生态系统按照农田灌溉期、丰水期、枯水期或平水期收集淋溶出耕层的下渗水；城市生态系统降水达到大雨级别以上的降水期分别收集淋溶出耕层的下渗水。

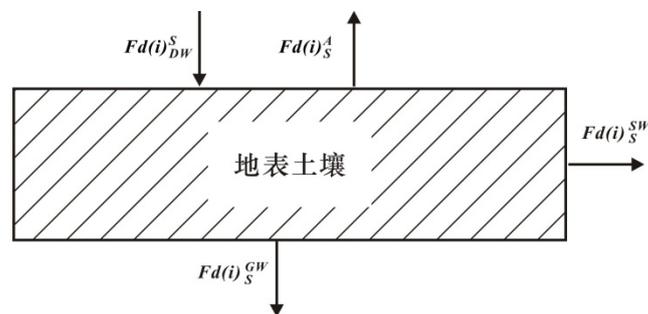
7.3.4.7 水样分析项目参见DD2005-02，不同工作区，可根据实际情况增减测试项目；样品分析方法与质量要求参照DD2005-02执行。

## 8 预警方法

### 8.1 模型建立

#### 8.1.1 箱式预测模型

8.1.1.1 在充分分析各生态系统地表土壤预警指标输入-输出途径的基础上，可用箱式模型建立不同生态系统中地表土壤预警指标含量变化的预测模型（图2）。



说明：

$Fd(i)_S^A$  ——单位面积单位时间内土壤 i 预警指标至大气的释放速率；

$Fd(i)_S^{GW}$  ——单位时间单位面积内土壤 i 预警指标至地下水的输出速率；

$Fd(i)_S^{SW}$  ——单位时间单位面积内土壤 i 预警指标通过地表径流向地表水系的输出速率；

$F(i)_{Dw}^S$  ——单位时间单位面积内大气干湿沉降至地表土壤的 i 预警指标沉降速率。

图2 箱式模型示意图

8.1.1.2 箱式预测模型中土壤元素含量变化趋势的预测可用元素的输入、输出通量与单位面积内的土壤重量来描述，其计算公式：

$$C_i^{j+1} = C_i^j + \Delta C_i^j \dots\dots\dots (2)$$

$$\Delta C_i^j = \frac{1}{W} (Fd(i)_S^I - Fd(i)_S^O) \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$C_i^{j+1}$  ——土壤中元素i在第j+1年的预测含量；

$C_i^j$  ——土壤中元素i第j年的含量；

$\Delta C_i^j$  ——土壤中元素i在第j年的含量变化，单位为 $mg \cdot kg^{-1}$ ；

$Fd(i)_S^I$  ——一年中元素i的输入通量密度( $mg \cdot m^{-2} \cdot yr^{-1}$ )；

$Fd(i)_S^O$  ——一年中元素i的输出通量密度( $mg \cdot m^{-2} \cdot yr^{-1}$ )；

$W$  ——单位面积内土壤的重量，单位为kg。

$$W = \rho \times s \times h \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$\rho$ ——土壤容重, 单位为 $\text{kg}/\text{m}^3$ ,

$s$ ——单位面积, 单位为 $\text{m}^2$ ,  $h$  为土壤采样深度, 单位为 $\text{m}$ 。

### 8.1.2 线性预测模型

8.1.2.1 具有不同时期历史数据的地区, 可用线性模型建立各生态系统中元素含量变化的预测模型(图3)。

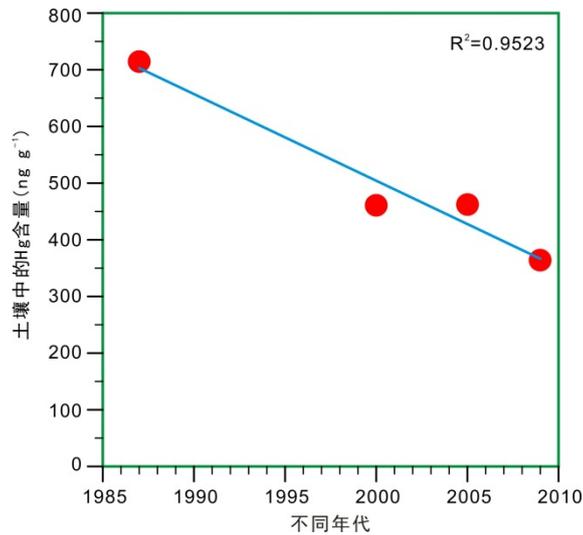


图3 线性模型示意图

8.1.2.2 用各种拟合方法获得过去时段内预警指标 $i$ 在土壤中的年变化率。如通过 $a$ 年、 $b$ 年两个不同时期土壤中测得的元素 $i$ 含量, 元素 $i$ 含量年变化率, 计算公式为:

$$\Delta C_i = \frac{C_i^b - C_i^a}{b - a}, \quad (b > a) \dots\dots\dots (5)$$

式中:

$\Delta C$ ——元素 $i$ 的年变化率;

$C_i^b$ —— $b$ 年元素 $i$ 含量;

$C_i^a$ —— $a$ 年元素 $i$ 含量。常量元素单位为%, 微量元素单位为 $\mu\text{g}/\text{g}$ 。

8.1.2.3 当预警元素 $i$ 含量年变化速率 ( $\Delta C_i$ ) 基本稳定的情况下, 预测 $b$ 年之后第 $n$ 年土壤中元素 $i$ 的含量为:

$$C_i^n = C_i^b + n \times \Delta C_i \dots\dots\dots (6)$$

式中:

$C_i^n$ —— $n$ 年后元素 $i$ 含量;

$C_i^b$ —— $b$ 年后元素 $i$ 含量; 常量元素单位为%, 微量元素单位为 $\mu\text{g}/\text{g}$ ;  $n$ 为预警年限。

### 8.1.3 预警指标发展趋势预测模型

- 8.1.3.1 其它预警要素主要包括作物、水体、大气等环境介质。
- 8.1.3.2 土壤与其它预警要素间预警指标需存在显著的相关性关系，其它要素预警指标的含量变化趋势既可以是线性预测模型，也可以是其它预测模型。
- 8.1.3.3 预警指标变化趋势预测是在给定一系列假设下，通过特定的方法和模型来进行的最佳估计。其预测需要估计不确定性或者误差，以供决策者判断预测结果发生的可能性。

## 8.2 参数获取

### 8.2.1 输入通量

包括大气干湿沉降、灌溉水、化肥。方法如下：

a) 大气干湿沉降：

$$F(i)_{DW}^S = \frac{(C_D^i \times W_D) + (C_W^i \times L_W)}{S} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

- $F(i)_{DW}^S$  ——单位时间单位面积内大气干湿沉降至地表土壤的i元素的沉降通量, 单位mg/m<sup>2</sup> year;
- $C_D^i$  ——干沉降物中元素i的平均含量, 单位mg/kg;
- $C_W^i$  ——湿沉降物中元素i的平均含量, 单位mg/L;
- $W_D$  ——单位时间（一般为1年）干沉降物的重量, 单位为kg/ year;
- $L_W$  ——单位时间（一般为1年）湿沉降物的体积, 单位为L/year;
- $S$  ——干湿沉降采样点代表的面积, 单位为m<sup>2</sup>。

b) 灌溉水：

$$F(i)_{IW}^S = (C_{IW}^i \times L_V) / S \dots\dots\dots (8)$$

式中：

- $F(i)_{IW}^S$  ——单位时间单位面积内灌溉水至地表土壤i元素的输入通量, 单位mg/m<sup>2</sup> year;
- $C_{IW}^i$  ——灌溉水中元素i的平均含量, 单位mg/L;
- $L_V$  ——单位时间（一般为1年）灌溉水的体积, 单位为L/ year;
- $S$  ——灌溉水灌溉的面积, 单位为m<sup>2</sup>。

c) 化肥：

$$F(i)_{CF}^S = (C_{CF}^i \times W_{CF}) / S \dots\dots\dots (9)$$

式中：

- $F(i)_{CF}^S$  ——单位时间单位面积内施肥至地表土壤i元素的输入通量, 单位mg/m<sup>2</sup> year;
- $C_{CF}^i$  ——化肥中元素i的平均含量, 单位mg/kg;
- $W_{CF}$  ——单位时间（一般为1年）化肥使用量的体积, 单位为kg/ year;

S ——施肥区的面积，单位为m<sup>2</sup>。

d) 地表径流：

$$F(i)_{SR}^L = (C_{SR}^i \times L_V) / S \dots\dots\dots (10)$$

式中：

$F(i)_{SR}^L$  ——单位时间单位面积内地表径流至湖泊或近岸海域底积物i元素的输入通量，单位mg/m<sup>2</sup> year；

$C_{SR}^i$  ——地表径流中元素i的平均含量，单位mg/L；

$L_V$  ——单位时间（一般为1年）地表径流进入湖泊或近岸海域的体积，单位为L/year；

S ——湖泊或近岸海域的底面积，单位为m<sup>2</sup>。

### 8.2.2 输出通量

包括大宗作物、地表径流、元素蒸发和下渗水。方法如下：

a) 大宗作物：

$$F(i)_S^C = (C_C^i \times W_C) / S \dots\dots\dots (11)$$

式中：

$F(i)_S^C$  ——单位时间单位面积内离田作物从地表土壤带走的i元素的输出通量，单位mg/m<sup>2</sup> year；

$C_C^i$  ——离田作物中元素i的平均含量，单位mg/kg；

$W_C$  ——单位时间（一般为1年）离田作物的重量，单位为kg/year；

S ——离田作物的面积，单位为m<sup>2</sup>。

b) 地表径流：

$$F(i)_S^{SR} = (C_{SR}^i \times L_V) / S \dots\dots\dots (12)$$

式中：

$F(i)_S^{SR}$  ——单位时间单位面积内地表径流从地表土壤带走的i元素的输出通量，单位mg/m<sup>2</sup> year；

$C_{SR}^i$  ——地表径流中元素i的平均含量，单位mg/L；

$L_V$  ——单位时间（一般为1年）地表径流的体积，单位为L/year；

S ——地表径流覆盖的面积，单位为m<sup>2</sup>。

c) 元素蒸发： $F(i)_S^A$ ，表示单位时间、单位面积内地表土壤蒸发带走的汞元素输出通量。由土壤-大气汞交换通量监测仪器直接测定，单位mg/m<sup>2</sup> year。

d) 下渗水：

$$F(i)_S^{IW} = (C_{IW}^i \times L_V) / S \dots\dots\dots (13)$$

式中：

$F(i)_S^{IW}$  ——单位时间单位面积内土壤水溶液下渗从地表土壤带走的i元素的输出通量，单位mg/m<sup>2</sup> year；

- $C_{TW}^i$  ——土壤溶液中元素i的平均含量，单位mg/L；  
 $L_V$  ——单位时间（一般为1年）土壤溶液下渗的体积，单位为L/year；  
 $S$  ——下渗水覆盖的面积，单位为 $m^2$ 。

### 8.3 警度划分

#### 8.3.1 警度级别

地球化学预警警度分安全状态、橙色预警及红色报警三个警兆区间，分别用绿色、橙色及红色表示。

- 安全状态警兆:指预警单元内预警指标处于自然背景范围内，不对预警单元产生任何危害。
- 橙色预警警兆:代表预警单元内预警指标将出现生态危害，需高度关注。
- 红色报警警兆:代表预警单元内将发生严重的生态事件，需采取防治措施。

#### 8.3.2 划分要求

预警单元中生态危害事件的发生可以是预警指标含量变化直接造成的，如土壤中Cd等有害元素含量增加直接造成农作物产量下降和品质降低，S、Cl等元素含量增加造成土壤盐碱化程度加剧；也可以是预警指标含量变化间接造成的，如超标农产品中有害物质通过食物链逐级富集影响人体健康，土壤中N、P含量增加引起水体富营养化等。应根据预警单元中预警指标与生态事件的关联性分别给出不同的预警模型和警度划分方法。

#### 8.3.3 预警指标含量划分警度

##### 8.3.3.1 重金属

土壤/沉积物中重金属元素包括As、Cd、Cu、Cr、Hg、Ni、Pb、Zn等。应以GB15618-1995中三类土壤的限值为标准，以超标面积比例和超标强度确定预警区农田、草原、森林生态系统的警兆程度；以附录C规定的城市不同用地类型重金属的限值为标准，以超标面积比例和超标强度确定预警区城市生态系统的警兆程度；以附录D规定的淡水沉积物重金属限制为标准，以超标面积比例和超标强度确定预警区湖泊、河流生态系统沉积物的警兆程度；以GB 18668-2002第三类沉积物重金属的限制为标准，以超标面积比例和超标强度确定预警区浅海生态系统沉积物的警兆程度。各生态系统土壤重金属元素地球化学预警警度划分标准与警兆程度见表1。

##### 8.3.3.2 土壤监控元素

土壤中监控元素包括Se、F、I。应以附录E为依据，以土壤全I、水溶性F和全Se的下限和上限为标准，以超标面积比例和超标强度确定预警区农田、草原、森林生态系统的警兆程度；以附录C规定的城市不同用地类型土壤全Se的限值为标准，以超标面积比例和超标强度确定预警区城市生态系统的警兆程度。

各生态系统土壤重金属元素地球化学预警警度划分标准与警兆程度见表2。

##### 8.3.3.3 土壤盐碱化

土壤盐碱化指标包括Na、S和Cl。应以附录F为依据，以土壤中易溶盐的超标面积比例和超标强度两个指标确定预警区农田、城市、草原、森林生态系统的警兆程度。

各生态系统土壤重金属元素地球化学预警警度划分标准与警兆程度见表3。

表1 不同生态系统土壤中重金属元素地球化学预警警度划分标准

环境	生态	质量分类	警度划分	警度图示	生态意义
----	----	------	------	------	------

介质	系统	超标面积比例 R1 (%)	超标强度 R2			
土壤	农田、草原、森林、城市生态系统	$R_1 < 10\%$	$R_2 < 1.0$	安全状态	绿色	土壤环境清洁、生态安全。
		$10\% \leq R_1 \leq 15\%$	$1.0 \leq R_2 \leq 2.0$	橙色预警	橙色	土壤环境将出现下降，对作物生长有一定危害，需高度关注
		$R_1 > 15\%$	$R_2 > 2.0$	红色报警	红色	土壤环境质量恶化，对作物生长产生严重影响，需采取防控和修复措施。
淡水沉积物	湖泊、河流生态系统	$R_1 < 10\%$	$R_2 < 1.0$	安全状态	绿色	湖底/河底沉积物环境清洁、水体/水生生物安全。
		$10\% \leq R_1 \leq 15\%$	$1.0 \leq R_2 \leq 2.0$	橙色预警	橙色	湖底/河底沉积物可能影响水体质量和(或)水生生物安全，需高度关注。
		$R_1 > 15\%$	$R_2 > 2.0$	红色报警	红色	湖底/河底沉积物将对水体质量和(或)水生生物安全产生严重影响，需采取防控和修复措施。
海底沉积物	浅海生态系统	$R_1 < 10\%$	$R_2 < 1.0$	安全状态	绿色	海底沉积物环境清洁、生态安全。
		$10\% \leq R_1 \leq 15\%$	$1.0 \leq R_2 \leq 2.0$	橙色预警	橙色	海底沉积物可能影响海洋生物安全，需高度关注。
		$R_1 > 15\%$	$R_2 > 2.0$	红色报警	红色	海底沉积物将对海洋生物安全产生严重影响，需采取防控和修复措施。

注1：表中农田、草原、森林生态系统中的（R1）为超出GB15618-1995三类土壤面积占预警区面积的百分比；（R2）为超标样品的预警指标平均含量与GB15618-1995三类土壤限值的比值。

注2：表中浅海生态系统中的（R1）为超出GB18668-2002第三类沉积物面积占预警区面积比例；（R2）为超标样品的预警指标平均含量与GB18668-2002第三类沉积物标准值的比值。

注3：表中城市生态系统中的（R1）为超出附录C各类用地的限制值面积占预警区面积比例；（R2）为超标样品的预警指标平均含量与附录C各类用地限制值比值。

注4：表中湖泊、河流生态系统中的（R1）为超出附录D各元素限制值面积占预警区面积比例；（R2）为超标样品的预警指标平均含量与附录D各类用地限制值比值。

表2 不同生态系统土壤中监控元素地球化学预警警度划分标准

环境介质	生态系统	质量分类		警度划分	警度图示	生态意义
		中毒或缺乏面积比 R1 (%)	中毒或缺乏强度 R2			
土壤	农田、草原、森林、城市生态系统	$R_1 < 10\%$	$R_2 < 1.0$	安全状态	绿色	环境清洁、生态友好。
		$10\% \leq R_1 \leq 15\%$	$1.0 \leq R_2 \leq 2.0$	橙色预警	橙色	环境将出现生态危害，需高度关注。
		$R_1 > 15\%$	$R_2 > 2.0$	红色报警	红色	环境将发生严重的生态事件，需采取防控和修复措施。

注1：表中农田、草原、森林生态系统中的（R1）为超出附录E土壤上限或下限面积占预警区面积比例；（R2）为超标样品的预警指标平均含量与附录E土壤上限或下限值的比值。

注2：表中城市生态系统中的（R1）为附录C各类用地的限制值面积占预警区面积比例；（R2）为超标样品的预警指标平均含量与附录C各类用地限制值比值。

表3 不同生态系统土壤盐碱化地球化学预警警度划分标准

环境介质	生态系统	质量分类		警度划分	警度图示	生态意义
		预测面积比 R1 (%)	预测强度 R2			
土壤	农田、草原、森林、城市生态系统	$R_1 < 10\%$	$R_2 < 1.0$	安全状态	绿色	环境清洁、生态友好
		$10\% \leq R_1 \leq 15\%$	$1.0 \leq R_2 \leq 2.0$	橙色预警	橙色	土壤将出现一定程度的盐碱化，需高度关注
		$R_1 > 15\%$	$R_2 > 2.0$	红色报警	红色	土壤将出现严重的盐碱化，需采取防治措施。

注：表中（R1）为超出附录F三级盐碱化程度Na、S、Cl含量的面积占预警区面积比例；（R2）为预测Na、S、Cl平均含量与附录F三级盐碱化程度Na、S、Cl含量的比值。

### 8.3.4 生态效应划分警度

8.3.4.1 土壤与其它预警要素（生物圈、水圈、大气圈）的预警指标有成因联系，且可导致其它预警要素产生生态效应（作物、水体、大气重金属超标、水体富营养化等），应根据预警指标变化的预测模型，对其它要素预警指标的生态效应进行警度划分。

8.3.4.2 作物重金属超标的预警指标包括 As、Cd、Cu、Cr、Hg、Ni、Pb、Zn、F。土壤释放影响大气环境质量的预警指标主要有 Hg。因下渗作用或地表水流作用，土壤影响水体环境质量的元素包括 As、Cd、Cu、Cr、Hg、Ni、Pb、Zn、F、N、P 和 pH。警度划分：

a) 利用土壤与作物间存在的重金属含量预测模型，以农业部无公害食品系列标准（NY/T5001-2001~NY/T5073-2001）为依据，以预测的作物重金属超标面积比例和超标强度确定预警区作物安全的警兆程度（表4）。

表4 农田生态系统作物重金属超标地球化学预警警度划分标准

环境介质	质量分类		警度划分	警度图示	生态意义
	超标比例 R1 (%)*	超标强度 R2			
农产品	$R_1 < 10\%$	$R_2 < 1.0$	安全状态	绿色	环境清洁、农产品安全
	$10\% \leq R_1 \leq 15\%$	$1.0 \leq R_2 \leq 2.0$	橙色预警	橙色	农产品安全受到威胁，生态风险大，需高度关注
	$R_1 > 15\%$	$R_2 > 2.0$	红色报警	红色	农产品严重超标，影响生态系统安全，需采取防治措施

注1：表中（R1）为预测的农产品预警指标含量超出国家或行业食品卫生/无公害食品系列标准的样品数占总样品数量的比例；（R2）为预测的农产品中预警指标含量与国家或行业食品卫生/无公害食品系列标准的比值。

注2：农产品中谷类（大米、豆类）、麦类、玉米及其它中类中的Cd、Hg、Pb、As执行GB 2715-2005，其它元素执行农业部无公害食品系列标准（NY/T5001-2001~NY/T5073-2001）。

b) 利用土壤与大气汞交换预测模型，以附录 G 为依据，以预测的大气汞含量确定预警区大气汞环境质量的警兆程度（表5）。

c) 利用土壤与地表水的输出模型，以 GB 3838-2002 为依据，以水体预测指标的超标比例及超标强度确定预警区地表水体环境质量的警兆程度（表6）。

d) 利用土壤与地下水的输出模型，以 GB/T 14848-1993 为依据，以水体中预测指标的超标比例及超标强度确定预警区地下水环境质量的警兆程度（表7）。

表5 大气汞生态地球化学预警警度划分标准

环境介质	大气汞含量 $C_{Hg}$ ( $mg/m^3$ )	警度划分	警度图示	生态意义
大气	$C_{Hg} < 0.03$	安全放心	绿色 	大气汞环境质量清洁, 不对人体健康产生影响。
	$0.03 \leq C_{Hg} \leq 0.06$	橙色预警	橙色 	大气汞环境质量被污染, 人群出现慢性汞中毒, 需高度关注。
	$C_{Hg} > 0.06$	红色报警	红色 	大气汞环境质量严重污染, 8小时内即可对人群产生汞中毒, 需采取防治措施。

表6 地表水环境质量地球化学预警警度划分标准

环境介质	质量分类		警度划分	警度图示	生态意义
	超标比例 $R_1$ (%)	超标强度 $R_2$			
农产品	$R_1 < 10\%$	$R_2 < 1.0$	安全放心	绿色 	满足人居正常生活, 不对人居环境产生影响
	$10\% \leq R_1 \leq 15\%$	$1.0 \leq R_2 \leq 2.0$	橙色预警	橙色 	人体不宜直接接触和使用。
	$R_1 > 15\%$	$R_2 > 2.0$	红色报警	红色 	对人体健康产生明显影响, 需采取清洁或修复措施。
注: 表中 ( $R_1$ ) 为预测的地表水预警指标含量超出GB 3838-2002 IV类水限值的样品数占总样品数量的比例, ( $R_2$ ) 为预测的地表水预警指标含量与GB 3838-2002 IV类水限值的比值。					

表7 地下水质量地球化学预警警度划分标准

环境介质	质量分类		警度划分	警度图示	生态意义
	超标比例 $R_1$ (%)	超标强度 $R_2$			
农产品	$R_1 < 10\%$	$R_2 < 1.0$	安全放心	绿色 	满足人居正常生活, 不对人居环境产生影响
	$10\% \leq R_1 \leq 15\%$	$1.0 \leq R_2 \leq 2.0$	橙色预警	橙色 	人体不宜直接接触和使用。
	$R_1 > 15\%$	$R_2 > 2.0$	红色报警	红色 	对人体健康产生明显影响, 需采取清洁或修复措施。
注: 表中 ( $R_1$ ) 为预测的地下水预警指标含量超出GB/T 14848-1993 IV类水限值的样品数占总样品数量的比例。 ( $R_2$ ) 为预测的地表水预警指标含量与GB/T 14848-1993 IV类水限值的比值。					

## 9 预测预警

### 9.1 预测预警

#### 9.1.1 河流生态系统

9.1.1.1 根据河漫滩沉积柱同位素测年和事件定年结果, 重建百年来预警指标变化历史的地球化学

预测模型。

9.1.1.2 研究河流底积物中预警指标活化迁移的控制因素及边界条件，建立预警指标变化的理论预测模型。

9.1.1.3 根据工作区河流中预警指标的主要输入途径和预测模型，分析预测百年尺度预警指标的演变趋势，按表1的要求对可能出现的生态效应进行预警。

## 9.1.2 农田生态系统

9.1.1.1 利用不同输入-输出途径的通量或通量密度数据（按 8.2 的规定），以箱式预测模型为主，进行地球化学预测。

9.1.1.2 按照 8.3 中的警度划分，对农田生态系统可能出现的生态效应进行预警。

9.1.1.3 根据预测预警结果，分析潜在生态危害发生的可能因素，提出防范措施。

## 9.1.3 湖泊湿地生态系统

9.1.3.1 根据湖泊底积物沉积柱同位素测年和事件定年结果，重建湖泊底积物百年来预警指标变化历史。

9.1.3.2 根据入湖和出湖水系的通量变化，建立湖泊底积物中预警指标变化的地球化学预测模型，预测底积物中预警指标的未来变化趋势。

9.1.3.3 根据湖泊底积物沉积柱采样位置及湖泊入湖水系的空间对应关系，构建入湖水系汇水域内预警指标演变的地球化学预测模型，建立汇水区域土壤中预警指标变化的地球化学预测模型。根据汇水区域工农业发展规模和社会经济结构，预测汇水流域预测指标的变化趋势。

9.1.3.4 按照 8.3 中的警度划分依据，对湖泊底积物及汇水流域内农田生态系统可能出现的生态效应进行预警。

9.1.3.5 根据预测预警结果，分析潜在生态危害发生的可能因素，提出防范措施。

## 9.1.4 城市生态系统

9.1.4.1 以箱式模型为主，根据不同输入-输出途径的通量或通量密度数据（按 8.2 的规定），进行地球化学预测。

9.1.4.2 按照 8.3 中的警度划分，对城市生态系统可能出现的生态效应进行预警。

9.1.4.3 根据预测预警结果，分析潜在生态危害发生的可能因素，提出防范措施。

## 9.1.5 其它生态系统

草原、森林、浅海、矿山等其它生态系统，可参照上述方法，开展类似的预警工作。

## 9.2 排警措施

9.2.1 具有明确输入途径的生态系统，应提出以控制污染源排放强度为主的限制措施建议。

9.2.2 具有复杂输入途径的生态系统，应提出主要输入途径的控制措施建议。

9.2.3 达到红色预警级别的土壤重金属污染，应根据现有土壤污染修复技术，提出污染修复的相关建议。

9.2.4 缺乏修复技术的预警指标，应提出监测其未来变化的建议。

9.2.5 对具有挥发性性质的预警元素（如 Hg），应对土壤释放 Hg 对大气环境质量的影响提出排警措施建议。

9.2.6 对降水量和/或下渗量较大的地区，应对下渗水对地下水环境质量的影响提出排警措施建议。

## 10 报告编审

### 10.1 报告编写

生态地球化学预警工作结束后，需进行报告编写，生态地球化学预警报告包括系列图件（实际材料图、地球化学图和地球化学预警图）、文字报告等。

### 10.2 图件

#### 10.2.1 实际材料图包括：

- a) 采样点位图。
- b) 样品采集的 GPS 航迹图。
- c) 工作中形成的其它图。

#### 10.2.2 各生态系统中预警指标的地球化学图。包括：

- a) 土壤 As、Cd、Cu、Cr、Hg、Ni、Pb、Zn 等有害元素的地球化学图。
- b) 土壤盐碱化指标包括 Na、S 和 Cl。
- c) 土壤中健康元素包括 Se、F、I。
- d) 大气干湿沉降、灌溉、施肥、下渗及农作物收割等不同输入输出途径，预警指标的通量密度图。

#### 10.2.3 地球化学预警图包括：

- a) 土壤、湖底/海底沉积物 As、Cd、Cu、Cr、Hg、Ni、Pb、Zn 等有害元素的地球化学预警图。
- b) 土壤盐碱化指标包括 Na、S 和 Cl 预警图。
- c) 土壤中健康元素包括 Se、F、I 预警图。
- d) 农作物 As、Cd、Cu、Cr、Hg、Ni、Pb、Zn 等超标预警图。

### 10.3 文字报告

生态地球化学预警文字报告，编写提纲见附录 H。

### 10.4 成果评审及资料汇交

10.4.1 生态地球化学评价编写报告完成后，应提交主管部门，组织专家进行报告评审。

10.4.2 评审结束后，项目组按照专家意见修改报告，主管部门认定后，按照要求进行资料汇交。

附录 A  
(规范性附录)  
通量与通量密度的表示方法

A. 1 通量

通量 (Flux)是指单位时间内预警指标从一个储库向另一个储库的迁移数量。用  $F(i)_O^I$  表示。其中  $i$  表示预警指标，下标  $O$  表示预警指标 ( $i$ ) 的输出库(Output flux)，上标  $I$  表示预警指标 ( $i$ ) 的输入库(Input flux)，用英文的第一个字母来标识。

通量单位一般为  $\mu\text{g}\cdot\text{year}^{-1}$ 、 $\text{mg}\cdot\text{year}^{-1}$ 、 $\text{g}\cdot\text{year}^{-1}$ 、 $\text{kg}\cdot\text{year}^{-1}$  或  $\text{t}\cdot\text{year}^{-1}$ 。

对一个明确的预警要素而言，一般根据预警指标的迁移途径判断接收库和输出库 (图 C1)。

如对城市地表土壤汞元素进行预警，根据汞的输入、输出迁移途径可做如下表达：

$F(\text{Hg})_{DW}^S$  -表示土壤接收雨水或大气干湿沉降 (dry and wet deposition-DW) 物中的汞输入通量，此时土壤为接受库，大气为输出库。

$F(\text{Hg})_S^A$  -表示土壤向大气 (A-atmosphere) 的汞输出通量，此时土壤为汞的输出库，大气为接受库。

$F(\text{Hg})_S^{GW}$  -表示土壤向地下水 (GW-roundwater) 的汞输出通量。此时土壤为汞的输出库，地下水为接受库。

$F(\text{Hg})_S^{SW}$  -表示土壤向地表水系 (SW -stream water) 的汞输出通量。此时土壤为汞的输出库，地表水为接受库。

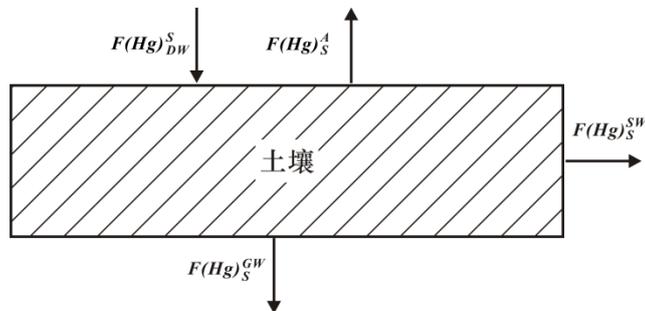


图 A. 1 土壤 Hg 的输入、输出途径概念模型

不同生态系统其它元素的输入—输出通量的表达也可依此类推。

A. 2 通量密度

通量密度 Flux density 是指单位时间单位面积内化学元素从一个储库向另一个储库的迁移数量。用  $Fd(i)_O^I$  表示。其中  $i$  表示所研究的元素，下标  $O$  表示  $i$  元素的输出库(Output flux)，上标  $I$  表示  $i$  元素的接收库(Input flux)，通常用英文的第一个字母来标识。

通量密度的单位一般有  $\text{ng}\cdot\text{hour}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $\mu\text{g}\cdot\text{year}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $\text{mg}\cdot\text{year}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $\text{g}\cdot\text{year}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$  或  $\text{kg}\cdot\text{year}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $\text{t}\cdot\text{year}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ 。

与通量表示方法相类似的是， $Fd(Hg)_S^A$  表示单位面积单位时间内土壤 Hg 至大气的释放速率； $Fd(Hg)_S^{GW}$  则为单位时间单位面积内土壤 Hg 至地下水的输出速率； $Fd(Hg)_S^{SW}$  表示单位时间单位面积内土壤 Hg 通过地表径流向地表水系的输出速率； $F(Hg)_{DW}^S$  则表示单位时间单位面积内大气干湿沉降至地表土壤的 Hg 沉降速率。

不同生态系统其它元素的输入—输出通量的表达也可依此类推。

**附录 B**  
**(规范性附录)**  
**生态地球化学预警设计编写内容及要求**

**B.1 前言**

**B.1.1 目的任务**

包括任务来源、任务书的主要内容、技术要点、工作起始时间、成果提交时间及预期成果等。

**B.1.2 预警区范围及地理条件**

包括地理位置、行政区划、自然地理、气象水文、交通条件及社会经济概况等。

**B.2 预警区概况及生态地球化学问题分析**

包括对预警区区域地质地球化学背景、以往多目标地球化学调查、区域生态地球化学评价。土地质量地球化学评价、监测工作，区域环境质量调查、区域农业调查和区域生态调查等结果的系统分析，归纳总结提出预警区可能存在的重大生态地球化学问题，评述已有资料的可利用程度及质量。

**B.3 研究内容**

**B.3.1 研究内容**

依据任务书要求、结合相关技术规范或指南，确定预警研究的各项工作内容。

**B.3.2 重点问题**

论述工作内容中的难点和重点问题及拟采用的解决方案。

**B.4 技术路线及工作方法**

**B.4.1 技术路线**

包括技术路线、关键技术和技术创新等。

**B.4.2 工作方法**

包括所利用各类数据、资料的处理方法、模型建立方法和成果表达方法及拟要补充的工作部署。

**B.5 工作部署**

**B.5.1 部署原则**

根据项目目标及所设置的研究内容，阐述总体工作思路和部署原则，各项工作部署与研究内容的耦合关系。

## B.5.2 总体工作部署及年度工作部署

完成项目总体目标的总体工作安排及完成年度任务工作安排的主要内容和工作量，当年工作安排应进行详细部署。

## B.6 实物工作量

为完成目标任务设计的总体实物工作量及分年度实物工作，附工作量一览表。

## B.7 预期成果及提交时间

### B.7.1 预期成果

明确项目实施周期内提交总体预期成果的成果名称。  
详细列出年度预期成果的成果名称。

### B.7.2 成果提交时间

按照任务书要求，说明成果提交的时间。

## B.8 组织机构及人员安排

### B.8.1 组织管理

说明项目执行过程中的组织管理方式和组织结构。

### B.8.2 项目组成员及分工

包括项目负责人简历、项目组研究基础，列表说明项目组成员姓名、年龄、技术职务、从事专业、工作单位、在项目中的分工和参加项目的工作时间等。

## B.9 经费预算

按中国地质调查局地质调查项目预算编制有关规定，编制项目预算。包括项目预算表和编制说明。

## B.10 质量保证与安全措施

### B.10.1 质量保证措施

说明为保障任务完成而采取的各种质量保证措施，包括野外样品采集、处理过程中采取的措施、样品分析过程中的各项质量保证措施和提高工作人员技术水平所采用的技术培训措施等。

### B.10.2 安全与劳动保护措施

说明项目执行过程中所采取的各项安全和劳动保护措施。

## B.11 设计附图及附表

### **B. 11.1 附图**

包括交通位置图、预警区工作程度图 (与生态地球化学评价相关的调查工作)、主要元素和指标的调查结果图、工作部署图及其他需要的图件。

### **B. 11.2 附表**

预警工作中需要的各类表格。

附 录 C  
(规范性附录)  
城市土壤不同用地类型重金属限制值

表 C.1 给出城市土壤不同用地类型重金属限制值。

表 C.1 城市土壤不同用地类型重金属限制值

	单位	居民地	城郊菜地	商业用地
元素 Hg	mg/kg	1 <sup>a</sup>	26 <sup>a</sup>	26 <sup>a</sup>
无机 Hg <sup>2+</sup>	mg/kg	170 <sup>a</sup>	80 <sup>a</sup>	3600 <sup>a</sup>
甲基汞	mg/kg	11 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>	410 <sup>a</sup>
Ni**	mg/kg	130 <sup>b</sup>	230 <sup>b</sup>	530 <sup>c</sup>
Cd	mg/kg	10 <sup>d</sup>	1.8 <sup>d</sup>	12 <sup>c</sup>
As	mg/kg	32 <sup>e</sup>	43 <sup>e</sup>	55 <sup>c</sup>
Se	mg/kg	1 <sup>f</sup>	1 <sup>f</sup>	2.9 <sup>f</sup>
Pb	mg/kg	140 <sup>f</sup>	70 <sup>f</sup>	530 <sup>c</sup>
Cr	mg/kg	87 <sup>f</sup>	64 <sup>f</sup>	380 <sup>c</sup>

<sup>a</sup>—据 Soil Guideline Values for mercury in soil, (environmental agency, 2009)。<sup>b</sup>—据 Soil Guideline Values for nickel in soil, (environmental agency, 2009)。<sup>c</sup>—据 Circular on target values and intervention values for soil remediation Annex A, (Dutch Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (VROM), 2000)。<sup>d</sup>—据 Soil Guideline Values for cadmium in soil, (environmental agency, 2009)。<sup>e</sup>—据 Soil Guideline Values for arsenic in soil, (environmental agency, 2009)。<sup>f</sup>—据 Limit to residential/parkland or commercial land listed in Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health (CCME, 1999)。

附 录 D  
(规范性附录)  
淡水沉积物中环境质量评价指南值

表 D.1 给出了淡水沉积物中环境质量评价指南值。

表 D.1 淡水沉积物中环境质量评价指南值\*

元素	单位	TEC**	PEC***	中国湖泊背景值
As	mg/kg	9.79	33	11.3
Cd	mg/kg	0.99	4.98	0.2
Cr	mg/kg	43.4	111	84
Cu	mg/kg	31.6	149	32
Hg	mg/kg	0.18	1.06	0.056
Ni	mg/kg	22.7	48.6	37
Pb	mg/kg	35.8	128	31.2
Zn	mg/kg	121	459	92
TN	mg/kg	550	4800	690
TOC	%	1	10	0.57
TP	mg/kg	600	2000	543
注 1: TEC—阈值效应浓度。 注 2: PEC—可能效应浓度。				

引自: MacDonald D D, Ingersoll C G, Berger, T A, 2000. Development and Evaluation of Consensus-Based Sediment Quality Guidelines for Freshwater Ecosystems. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 39, 20-31.

附 录 E  
(规范性附录)  
健康元素分级表

表 E.1 给出健康元素分级表。

表 E.1 健康元素分级表

单位为：mg/kg

元素		下限 (缺素症)	上限 (中毒症)
I	健康质量基准	土壤全碘 <1.0 或总摄碘量： <0.08mg/天/人或饮用水：<0.005 mg/L	土壤全碘 > 98 或总摄碘量：>0.5mg/ 天/人或饮用水 > 0.15mg/L
	地方性疾病症状	碘缺乏症 (IDD), 克汀病, 智商低 (IQ=50-69)	甲状腺机能亢进
F	健康质量基准	土壤水溶性氟：<1.0 或饮用水： <0.5mg/L 或总摄氟量：<1.5mg/天/ 人	土壤水溶性氟：>2.0 或饮用水：>1.0 mg/L 或总摄氟量：>3.5mg/天/人
	地方性疾病症状	龋齿, 骨质酥脆	氟斑牙, 氟骨症
Se	健康质量基准	土壤全硒 <0.15 或	土壤全硒 >5.0 或
		总摄硒量：<50 μg/天/人	总摄硒量：>400 μg/天/人
	地方性疾病症状	克山病, 大骨节病	脱发, 脱甲

附 录 F  
(规范性附录)  
土壤盐渍化程度分级表

根据土壤中易溶盐含量，土壤盐渍化程度分为：无，轻度盐化，中度盐化，重度盐化4个区间，具体分级见表F.1。

表 F.1 土壤盐渍化程度分级表

等级	易溶盐含量			备注
	以苏打为主	以氯化物为主	以硫酸盐为主	
一级，无盐化	≤ 0.1%	≤ 0.2%	≤ 0.3%	作物没有因盐渍化引起的缺苗断垄现象
二级，轻度盐化	0.1~0.3%	0.2~0.4%	0.3~0.5%	由盐渍化造成的作物缺苗 2~3 成
三级，中度盐化	0.3~0.5%	0.4~0.6%	0.5~0.7%	由盐渍化造成的作物缺苗 3~5 成
四级，重度盐化	≥0.5%	≥0.6%	≥0.7%	由盐渍化造成的作物缺苗≥5 成

附 录 G  
(规范性附录)  
大气 Hg 中毒暴露水平参考值

表 G.1 给出大气 Hg 中毒暴露水平参考值。

表 G.1 大气 Hg 中毒暴露水平参考值

	REL	生态效应	影响器官
急性汞中毒	0.60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	中枢神经系统受干扰	神经系统
8 小时 Hg 中毒	0.06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	神经功能损伤	神经系统
慢性 Hg 中毒	0.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	神经功能损伤	神经系统

注：REL 为 Reference Exposure Level 的缩写。

引自：Mercury Reference Exposure Levels, ( PUBLIC REVIEW DRAFT, 2007)。

附 录 H  
(规范性附录)  
HH 生态地球化学预警报告编写提纲

H. 1 前言

H. 1. 1 项目来源及任务目标

H. 1. 2 完成的工作量

H. 1. 3 主要成果概述

H. 2 预警区概况

H. 2. 1 自然地理、地质、地球化学及矿产资料概况

H. 2. 2 农业生产、土壤类型、土地利用状况

H. 2. 3 社会经济及工农业发展概况

H. 2. 4 存在的生态地球化学问题综述

H. 3 工作方法技术及质量评述

H. 3. 1 野外工作方法技术及质量评述

H. 3. 2 样品处理方法、分析测试方法及数据质量评述

H. 4 预警单元的筛选

H. 4. 1 不同生态系统（河流、农田、城市、湖泊-湿地、草原、森林）生态系统的地球化学特征

H. 4. 2 不同生态系统存在的主要生态地球化学问题

H. 4. 3 预警单元的筛选原则与方法

H. 4. 4 预警单元的确定

H. 5 预警要素与预警指标的筛选

H. 5. 1 不同生态系统（河流、农田、城市、湖泊-湿地、草原、森林）预警要素与指标的筛选原则

H. 5. 2 不同生态系统预警要素与指标的筛选方法

H. 5. 3 预警要素与预警指标的确定

H. 6 预测模型的建立与变化趋势的预测

- H. 6. 1 不同生态系统（河流、农田、城市、湖泊-湿地、草原、森林）预警指标的成因分析
- H. 6. 2 不同生态系统（河流、农田、城市、湖泊-湿地、草原、森林）预警指标的迁移途径分析
- H. 6. 3 不同生态系统（河流、农田、城市、湖泊-湿地、草原、森林）预警指标的预测模型建立
- H. 6. 4 不同生态系统（河流、农田、城市、湖泊-湿地、草原、森林）预警指标变化趋势的预测
  
- H. 7 警度划分与预警报告
  - H. 7. 1 不同生态系统（河流、农田、城市、湖泊-湿地、草原、森林）预警指标的警度划分方法
  - H. 7. 2 不同生态系统（河流、农田、城市、湖泊-湿地、草原、森林）预警指标的警兆等级与预警报告
  
- H. 8 结论与建议
  - H. 8. 1 主要结论
  - H. 8. 2 警源分析与源头控制的排警建议
  - H. 8. 3 警源形成途径分析与阻断措施建议
  - H. 8. 4 技术进步分析与修复技术建议
  
- H. 9 参考文献
  
- H. 10 附图及附表

## 参 考 文 献

- [1] Burton, Jr. G. A., 2002. Sediment quality criteria in use around the world. *Limnology* 3:65 - 75.
- [2] Simpson, S. L., Batley, G. E., Chariton, A. A., Stauber J. L., King, C K, Chapman, J. C., Hyne, R. V., Gale, S, A., Roach, A. C., Maher, W. A., 2005. Handbook for Sediment Quality Assessment. CSIRO: Banger, NSW. Pp1 - 126.
- [3] CCME, 2007. Canadian Soil Quality Guidelines: Selenium. Environmental and human health. Scientific supporting document. Winnipeg: Canadian Council of Ministers of the Environment.
- [4] ENVIRONMENT AGENCY, 2009a. Using Soil Guideline Values. Science Report SC050021/SGV introduction. Bristol: Environment Agency.
- [5] Environment Agency, 2009b. Updated technical background to the CLEA model. Science Report SC050021/SR3. Bristol: Environment Agency.
- [6] ENVIRONMENT AGENCY, 2009c. Human health toxicological assessment of contaminants in soil. Science Report SC050021/SR2. Bristol: Environment Agency.
- [7] ENVIRONMENT AGENCY, 2009d. Contaminants in soil: updated collation of toxicological data and intake values for humans. Selenium. Science Report SC050021/SR TOX10. Bristol: Environment Agency.
- [8] ENVIRONMENT AGENCY, 2009e. Supplementary information for the derivation of SGVs for selenium. Science Report/ Technical Review Selenium. Bristol: Environment Agency.
- [9] IPCS, 1987. Selenium. Environmental Health Criteria 58. Geneva: World Health Organization/ International Programme on Chemical Safety. Available from: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc58.htm>
- [10] Barrick R, Becker S, Brown L, Bellere H, Pastorok R (1988) Volume 1. Sediment quality values refinement: 1988 update and evaluation of Puget Sound AET. EPA Contract.
- [11] Burton GA, Jr (1991) Assessing freshwater sediment toxicity. *Environ Toxicol Chem* 10:1585 - 1627.
- [12] Chapman PM, Mann GS (1999b) Sediment quality values (SQVs) and ecological risk assessment (ERA). *Mar Pollut Bull* 38(5):339 - 344.
- [13] Chapman PM, Wang F, Adams WJ, Green A (1999c) Appropriate applications of sediment quality values for metals and metalloids. *Environ Sci Tech* 33(22):3937 - 3941.
- [14] Ingersoll CG, Dillon T, Biddinger GR (1997) Ecological risk assessment of contaminated sediments. Society of Environmental Toxicology and Chemistry, SETAC Press, Pensacola, FL, USA.
- [15] Long ER, MacDonald DD (1998) Recommended uses of empirically derived sediment quality guidelines for marine and estuarine ecosystems. *Hum Ecol Risk Assess* 4:1019 - 1039.
- [16] NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (1999) Screening quick reference tables (SquiRTs) . [http:// response.restoration.noaa.gov/cpr/sediment/squirt/squirt.html](http://response.restoration.noaa.gov/cpr/sediment/squirt/squirt.html)
- [17] Persaud D, Jaagumagi R, Hayton A (1993) Guidelines for the protection and management of

- aquatic sediment quality in Ontario. Water Resources Branch, Ontario Ministry of the Environment, Toronto, Canada.
- [18] US Environmental Protection Agency (1987) An overview of sediment quality in the United States. EPA 905/9-88-002. Office of Water Regulations and Standards, Washington, DC, and EPA Region 5, Chicago.
- [19] UK Environment Agency: Soil Guideline Values for cadmium in soil (SGV3 Cadmium).
- [20] UK Environment Agency: Soil Guideline Values for inorganic arsenic in Soil (SGV1 Arsenic).
- [21] UK Environment Agency: Soil Guideline Values for Chromium in soil (SGV4 Chromium).
- [22] UK Environment Agency: Soil Guideline Values for Inorganic Mercury in soil (SGV4 Inorganic Mercury).
- [23] UK Environment Agency: Soil Guideline Values for Nickel in soil (SGV7 Nickel).
- [24] UK Environment Agency: Soil Guideline Values for Selenium in soil (SGV9 Selenium).
- [25] UK Environment Agency: Soil Guideline Values for Lead in soil (SGV10 Lead).
- [26] DEFRA/EA, 2002. Contaminants in Soil: Collation of Toxicological Data and Intake Values for Humans: Arsenic (TOX1 Arsenic).
- [27] DEFRA/EA, 2002. Contaminants in Soil: Collation of Toxicological Data and Intake Values for Humans: Cadmium (TOX3 Cadmium).
- [28] DEFRA/EA, 2002. Contaminants in Soil: Collation of Toxicological Data and Intake Values for Humans: Chromium (TOX4 Chromium).
- [29] DEFRA/EA, 2002. Contaminants in Soil: Collation of Toxicological Data and Intake Values for Humans: Lead (TOX6 Lead).
- [30] DEFRA/EA, 2002. Contaminants in Soil: Collation of Toxicological Data and Intake Values for Humans: Mercury (TOX7 Mercury).
- [31] DEFRA/EA, 2002. Contaminants in Soil: Collation of Toxicological Data and Intake Values for Humans: Nickel (TOX8 Nickel).
- [32] DEFRA/EA, 2002. Contaminants in Soil: Collation of Toxicological Data and Intake Values for Humans: Seleniu (TOX10 Selenium).
- [33] Stigliani W M. Global perspectives and risk assessment Salomons W and Stigliani W M. Biogeodynamics of Pollutants in Soils and Sediments. Berlin: Springer, 1995. 331-343.
- [34] Stigliani W M. Changes in valued capacities of soils and sediments as indicators of nonlinear and time-delayed environmental effects. Environ Monit Ass, 1988, 10: 245-307.
- [35] Stigliani W M. Chemical Time Bombs: Definition, Concepts and Examples. Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis, 1991. 1-23.
- [36] Stigliani W M, Doelman P, Salomons W, et al. Chemical time bombs: predicting the unpredictable. Environment, 1991, 33: 4-30.
- [37] Hesterberg H, Stigliani W M, Imeson A C. Chemical Time Bombs: Linkages to Scenarios of Socioeconomic Development. Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis, 1992. 1-28.
- [38] Konsten C J M, Ter Meulen-Smidt G R B, Stigliani W M, et al. Summary of the workshop on delayed effects of chemicals in soils and sediments (chemical time bombs), with emphasis on the Scandinavian region. Applied Geochemistry, 1993, 2: 295-299.
- [39] MacDonald D D, Ingersoll C G, Berger, T A, 2000. Development and Evaluation of

- Consensus-Based Sediment Quality Guidelines for Freshwater Ecosystems. Arch. Environ.
- [40] ALLEN R and KANAMORT H. The potential for earthquake early warning in Southern California. Science, 2003, 300: 86-89.
- [41]DZ/T XXX-2013 多目标区域地球化学调查规范 (1:250000)
- [42]陈治国, 陈国队. 环境影响评价的预警系统研究. 环境科学, 1992, 13 (4) : 20-26.
- [43]成杭新, 杨忠芳, 赵传冬, 庄广民, 刘英汉, 赵更新, 陈国光, 陈德友. 区域生态地球化学预警: 问题与讨论. 地学前缘, 2004, 11 (2) : 608-615.
-