中国地质调查局地质调查技术标准

DD2008-06

土地质量地球化学评估技术要求
（试行）

中国地质调查局

2008 年 10 月

目　次

前　言 III
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 总则 1
5 设计编审 3
6 样品布置 3
6.1 样品分类 3
6.2 土壤样品 4
6.3 大气干湿沉降样品 4
6.4 水和底泥样品 4
6.5 土壤垂向剖面 4
6.6 农作物样品 4
7 样品采集与分析 4
7.1 土壤样品 5
7.2 大气干湿沉降样品 5
7.3 水和底泥样品 5
7.4 土壤垂向剖面 5
8 评估单元 5
9 评估指标分类 5
10 评估指标筛选 5
10.1 指标筛选范围 5
10.2 指标筛选原则 6
11 指标权重赋值 6
11.1 评估指标层次 6
11.2 指标权重赋值 6
12 隶属函数值计算 7
13 土地质量地球化学等级划分 7
13.1 土地质量地球化学等 7
13.2 土地质量地球化学级 8
13.3 土地质量地球化学等级表示方法 9
13.4 图示和含义 9
14 土地质量地球化学等级合理性验证 9
15 土地质量地球化学等级统计 9
16 报告编写 10
16.1 图件 10
16.2 报告 10

16.3 数据库 10
附录 A (规范性附录) 设计书编写内容及要求 11
附录 B (规范性附录) 土地质量地球化学评估报告编写提纲 13
附录 C (规范性附录) 土地利用现状分类和编码 16
附录 D (资料性附录) 土地质量地球化学评估指标选取原则与权重赋值 17
附录 E (资料性附录) 层次分析法 19
附录 F (资料性附录) 土地质量地球化学评估指标隶属度函数模型及界限值 25

前　言

《土地质量地球化学评估技术要求（试行）》是针对我国土地质量地球化学评估而编制的。目的是使我国各地区土地质量地球化学评估置于同一工作平台和同一技术要求之下，确保评估成果的科学性和可比性。

以往国内外均未编制过类似工作的技术要求或指南。

本标准的附录 A、附录 B 和附录 C 为规范性附录，附录 D、附录 E 和附录 F 为资料性附录。

本标准由中国地质调查局提出和归口管理。

本标准主要起草单位：中国地质大学（北京）、国土资源部土地整理中心、中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所等。

本标准主要起草人：杨忠芳 吴克宁 郧文聚 成杭新 陈德友 汪庆华 余涛 侯青叶 周国华 冯海艳 刘应汉。

本标准由中国地质调查局负责解释。

土地质量地球化学评估技术要求
（试行）

1　范围

本标准规定了土地质量地球化学评估任务、评估指标、评估分级、评估比例尺、评估方法、等级划分、图件编制及报告编写等技术要求内容。

本标准适合于国家－省级、市－县级、乡－镇级和村－组级土地质量地球化学评估工作。

2　规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后的修改单（不包括勘误的内容）或修订版本均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 17296—2000 中国土壤分类与代码

GB/T 21010—2007 土地利用现状分类

TD/T 1004—2003 农用地分等规程

TD/T 1005—2003 农用地定级规程

DD 2005—01 多目标区域地球化学调查规范（1:250000）

DD 2005—02 区域生态地球化学评价技术要求（试行）

DD 2005—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

3.1

土地质量 Land Quality

在生态系统范围内，维持生物的生产力、保护环境质量以及促进动植物及人类健康，保持或改善大气和水质量的能力。土地具有不同等级的质量，这是与自然作用和人为作用引起的动态变化有关的一种固有的土地属性。

3.2

土地质量地球化学评估 Land Quality Geochemical Assessment

依据土地有益元素、有毒有害元素和有机污染物含量水平等地球化学指标因素，及其对土地基本功能的影响程度而进行的土地质量级别评定。土地质量地球化学评估指标以反映土地质量的地球化学要素如土壤肥力指标、土壤环境健康指标为主，以大气质量、水体质量和农产品安全为辅，综合考虑与土地利用有关的各种因素，以实现土地质量的地球化学评估。

4　总则

4.1　土地质量地球化学评估是以多目标区域地球化学调查为基础，以生态地球化学理论为指导，以科学量化土地质量、实现动态管理和成果数据的查询、利用为目的的一项综合评估工程。

4.2 土地质量地球化学评估依据土地中各项有益、有害元素指标和有机污染物含量水平及其对土地生产功能影响程度进行系统研究和质量级别评定，以服务于土地质量与生态管理和土地资源合理利用为宗旨。

4.3 土地质量地球化学评估以土壤、湖相沉积物、近岸海域沉积物地球化学调查数据为主要指标，以元素在大气、水体和生物体中含量分布为辅助指标，对土地质量、价值及风险进行评估，为土地利用和规划提供依据。

4.4 土地质量地球化学评估遵循区域开展，逐步深入原则。一般应首先进行国家－省级较小比例尺的区域评估，在了解全局后，逐步地、有针对性地依次开展较大比例尺的普查、详查和精查评估；也可根据实际需要直接开展某一比例尺的评估。

4.5 土地质量地球化学评估应兼顾全面评估和突出重点两个方面。全面评估，要求评价总体的、综合的生态地球化学状况和质量水平。突出重点，要求评价重要的、起主导作用的生态地球化学问题。

4.6 土地质量地球化学评估主要目的是为国家、省市等各级土地宏观管理和规划提供地球化学依据，为土地可持续利用服务。同时，在调整农业种植结构、发展特色优质农产品、促进科学合理施肥及土壤污染治理等方面发挥指导作用。

4.7 评估任务

4.7.1 以土地质量地球化学研究为主，进行土壤学、环境科学、生态学等多学科综合研究，制定出适合于研究区土壤特性、景观特征的土地质量地球化学评估方法、技术体系和标准体系。

4.7.2 研究影响土地质量的各项地球化学指标特征，对土地质量进行地球化学等级划分。分析不同土地利用方式、管理措施对土地质量地球化学等级的影响，进行土地利用的地球化学适宜性分区。

4.7.3 建立土地质量地球化学评估数据库及图形库。

4.7.4 评估土地管理利用方式的可持续性，确定最佳的土地管理措施，为政府制定可持续农业和土地利用政策提供科学依据。

4.8 评估指标

土地质量地球化学评估以土壤中元素含量、土壤 pH 值和土壤有机质等影响土地质量的内部因素为主要评估指标，同时兼顾大气质量、水体质量和农产品安全性等能够反映土地质量的外部因素作为辅助评估指标，实现对土地质量的地球化学等级划分。土地质量地球化学评估指标分两类：

a) 影响土地质量的内部指标：主要指土壤中 N、P、K、Ca、Mg、S、B、Mo、Mn、Si、Co、Na 等必需元素和有益元素，pH、有机质等理化指标和 As、Cd、Hg、Pb 等有害元素及有机污染物指标。

b) 影响土地质量的外部指标:由灌溉、施肥、大气沉降等因素进入到土壤中引起土地质量变化的环境健康指标；能够间接反映土地质量的地球化学指标，如农作物安全性指标(农作物可食部分 As 等有害元素含量及六六六(HCH)、滴滴涕(DDT)等有机污染物含量)、成土母质和成土过程等地球化学指标。

4.9 评估分级

土地质量地球化学评估分四个层次/或尺度进行，即国家－省级评估、市－县级评估、乡－镇级评估和村－组级评估。

a) 国家－省级评估（区域评估）：在全国和省级范围内进行土地质量地球化学评估，为土地资源规划、整理和开发利用，进行农业经济区划和种植结构调整，制定经济社会可持续发展提供依据。

b) 市－县级评估（普查评估）：在市－县级范围内进行土地质量地球化学评估，为土地资源规划、整理和开发利用，为名特优产品种植、土地污染治理提供依据。

c) 乡－镇级评估（详查评估）：在乡－镇级范围内进行土地质量地球化学评估，为土地资源规划、整理和开发利用，挖掘土地最大使用潜力、保持土地环境健康提供依据。

d) 村－组级评估（精查评估）：在村－组级范围内进行土地质量地球化学评估，为土地资源规划、整理和开发利用，配方施肥、土地利用现状调整提供依据。

4.10 评估工作比例尺

不同级的土地质量地球化学评估比例尺不同，各级评估的比例尺为：

a) 国家－省级土地质量地球化学评估（区域评估）比例尺为 1:250000。

b) 市－县级土地质量地球化学评估（普查评估）比例尺为 1:50000。

c) 乡－镇级土地质量地球化学评估（详查评估）比例尺为 1:10000。

d) 村－组级土地质量地球化学评估（精查评估）比例尺为 1: 5000。

4.11 评估工作顺序

按照任务书和附录 A 要求，首先编写设计书，专家评审通过和主管部门同意后，通常按照图 1 流程开展室内和野外工作。上述工作结束后，按照附录 B 要求编写报告和制作图集，最后提交报告，进行评审验收。

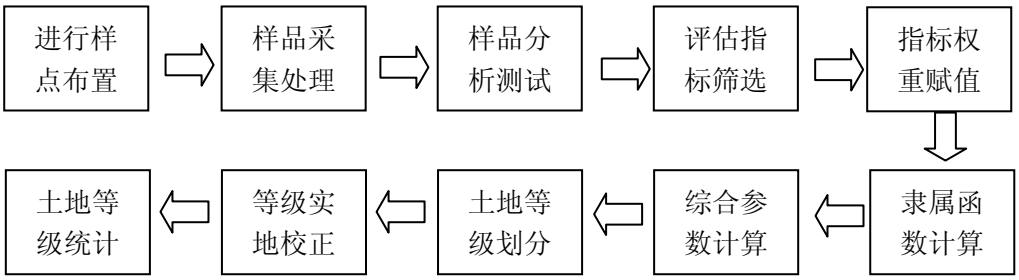


图 1 土地质量地球化学评估工作流程示意图

5 设计编审

5.1 设计书是开展土地质量地球化学评估的依据，应由项目承担单位根据主管部门下达的任务书编写。

5.2 设计书编写前准备工作。

5.2.1 资料收集

a) 收集评估区自然地理、土壤类型、社会经济概况、城镇发展、主要生态问题等资料。

b) 收集评估区多目标区域地球化学调查、生态地球化学评价及其他区域地球化学调查资料。

c) 收集评估区基础地质、矿产地质、环境地质、第四纪地质等资料。

d) 收集评估区土地利用现状和发展规划等与土地利用有关的各种资料。

5.2.2 资料分析：综合分析收集的资料，系统研究评估地区存在的各种土地质量地球化学问题，认真总结影响评估地区土地质量的地球化学、地质学、生态环境学等各种因素。

5.2.3 实地踏勘：在收集资料和综合研究基础上，对评估区进行实地踏勘，提出土地质量地球化学评估实施方案。

5.3 遵照附录 A 的规定编写土地质量地球化学评估设计书。

5.4 设计书提交主管部门审查后实施。

6 样品布置

6.1 样品分类

土地质量地球化学评估样品分为土壤样品、大气干湿沉降样品、灌溉水样品、农作物样品等不同种类，各类样品布置原则及密度不同。

6.2 土壤样品

6.2.1 一般情况下，土壤采样点按照网格化布置。

6.2.2 不同级别评估工作的样品密度为：国家－省级评估采样密度为 1 个点/km^2，市－县级评估采样密度为 4～6 个点/km^2，乡－镇级评估采样密度为 8～36 点/km^2，村－组级评估样点密度为 36～64 个点/km^2。

6.2.3 下列情况采样密度可适当调整：

a) 土壤化学成分和理化性质相对均匀的平原区、草原区，采样密度可适当放稀。

b) 土壤中化学元素含量空间变异性较大的浅丘平坝、山间盆地、坡地、菜地、园地及小规模经济作物种植地区，采样密度可适当加密。

6.2.4 国家－省级、市－县级、乡－镇级和村－组级土地质量地球化学评估样品应布置在相应比例尺的工作底图上。

6.2.5 一般应首先进行国家－省级评估，在了解全局后，逐步地、有针对性地开展较大比例尺的评估；也可根据实际需要直接开展某一级次的评估。

6.2.6 采样点要求按采样格子均匀分布， 样品要有代表性，样点尽量布置在格子的中间部位。不得出现连续 4 个或 4 个以上的空白小格。

6.3 大气干湿沉降样品

根据评估工作要求和评估区大气质量状况，自行确定大气干湿沉降样品的采样密度。大气干湿沉降样品布置时，布点密度及位置需根据以下情况进行调整：

a) 农耕区大气干湿沉降样品均匀布点。

b) 在城镇近郊区大气污染严重或空气质量较差地区，大气干湿沉降样点可适当加密。

c) 在城镇远郊区大气污染不严重或空气质量较好地区，大气干湿沉降样点可适当放稀。

d) 城市区大气干湿沉降样品按照不同功能区布置，同时兼顾空间上的均匀性；功能区划不明显的城市地区，大气干湿沉降样品均匀布点。

6.4 水和底泥样品

根据评估工作要求和评估区灌溉水质量状况及灌溉水类型，自行确定水样及底泥样品的采样密度和采集种类。样品布置时，布点密度及采样位置需考虑以下情况：

a) 评估区范围内，在灌溉水取水口或其上游位置布点取样。

b) 地表灌溉水网发达地区，水体和底泥样品可均匀布点。

c) 地下水灌溉地区，水体样品按照井水点布置。

d) 除井水外，水样和底泥样品同点位采集。

6.5 土壤垂向剖面

a) 在评估区范围内，按照成土母质类型布置土壤垂向剖面。

b) 成土母质分布面积占评估区面积大于 20%时，应至少有 1 条土壤垂向剖面控制。成土母质分布面积占评估区面积大于 50%时，土壤垂向剖面数量应增加到 2～3 条，空间上要兼顾不同的地理地貌类型。

6.6 农作物样品

农作物样品采集密度需根据评价区土壤污染情况和农作物种植种类自行确定，农作物样品采集种类应按照以下规定执行：

a) 原则上只采集大宗农作物籽实样品，农作物为能够代表评估地区 80%以上农作物的大宗作物，如南方水稻、小麦和油菜等，北方小麦、玉米、谷子等。

b) 评估区特色农产品、道地中药材等可适当布置采样点。

7 样品采集与分析

7.1 土壤样品

土壤样品的编号、采样深度、采样方法、定点与标绘、采样记录、重复样采集、样品重量、样品加工、样品分析及质量监控等各项内容同 DD2005-01 中土壤表层样品各项规范要求。

7.2 大气干湿沉降样品

a) 原则上，大气干湿沉降样品接受周期为一年。有条件的地区，接受周期为季度。

b) 接尘缸清洗、放置，样品采集、分样、运输，数据分析及质量监控等项要求按 DD2005-02 和 DD2005-03 的有关要求执行。

7.3 水和底泥样品

水样采集时间应为农作物的灌溉期，采集现场测试水体的 pH 和水温等指标，根据测试指标不同，添加不同的保护剂。

水样和底泥样品的采集方法、保护剂种类、运输保存等各项要求同 DD2005-02 和 DD2005-03。

7.4 土壤垂向剖面

丘陵区土壤垂向剖面位置一般为坡中处，采样点应避开人为污染，样点采集处应尽量为荒地，或人为影响较少的地方。平原区土壤垂向剖面应具有代表性，避开村庄、道路、工厂等明显的人为污染严重地区，样点采集处应为农耕地或荒地。

土壤垂向剖面的样品采集、样品加工参照 DD2005-02 执行。

8 评估单元

评估单元是土地质量地球化学评估的最小空间单位，不同尺度的土地质量地球化学评估单元同采样单元。

9 评估指标分类

9.1 土地质量地球化学评估指标分为国家级、省级、市－县级、乡－镇级和村－组级。

9.2 国家级评估指标是在全国多目标区域地球化学调查基础上，依据表层土壤和深层土壤中元素和指标的含量范围及变化规律，给出的用于国家级和流域级土地质量地球化学评估的指标体系，划分的土地质量地球化学等级具有全国和流域可比性。省级评估指标是在省(市、区)范围内的多目标区域地球化学调查基础上，依据表层土壤和深层土壤中元素和指标的含量范围及变化规律，给出的用于省级土地质量地球化学评估的指标体系，划分的土地质量地球化学等级具有全省(市、区)可比性。

9.3 市－县级、乡－镇级和村－组级评估指标是在市－县、乡－镇和村－组范围内相应的土地质量地球化学普查、详查和精查评估基础上，依据表层土壤元素和指标的含量范围及变化规律，结合国家级和省级评估指标，给出的分别用于市－县级、乡－镇级和村－组级土地质量地球化学评估的指标体系，划分的土地质量地球化学等级具有在相应地区范围内的可比性。

9.4 大比例尺的土地质量地球化学评估可使用小比例尺的土地质量地球化学评估指标。如乡－镇级土地质量地球化学评估指标可使用国家级、省级和市－县级土地质量地球化学评估指标，省级土地质量地球化学评估可使用国家级土地质量地球化学评估指标，以实现全国、全省、全市等不同级别评估范围内的土地质量地球化学等级可比。

10 评估指标筛选

土地质量地球化学评估指标以土壤中化学元素、化合物含量和理化性质为主，以大气和水体环境质量指标为辅，同时综合考虑地质环境背景、地理地貌特征等影响土地质量的其他因素。

10.1 指标筛选范围

土地质量地球化学评估指标分肥力指标和环境健康指标两类，不同样品评估指标筛选范围见表

1。

不同评估地区，可根据土壤中元素分布的实际情况和存在的生态环境地球化学问题增加评估指标，如放射性元素、稀土和铊等。

原则上，农作物籽实的评估指标为绿色食品、无公害食品等相关食品卫生标准中规定的各类限量指标。也可根据评估区土壤、水体和大气等环境要素的生态质量对评估指标进行增减。

表 1 土地质量地球化学评估指标筛选范围

样品种类	肥力指标	环境健康指标
土壤	氮(N)、磷(P)、钾(K) 、碳(C)、钙(Ca)、镁(Mg)、硫(S)、氯(Cl)、硅(Si)、硼(B)、钼(Mo)、锰(Mn)、铁(Fe) 、铜(Cu)、锌(Zn)、 钴(Co)、镍(Ni)、钠(Na)和有机质	砷(As)、镉(Cd)、铬(Cr)、铜(Cu)、汞(Hg) 、铅(Pb)、镍(Ni) 、锌(Zn)和酸碱度(pH) 、氟(F)、硒(Se)、碘(I)和有机污染物
灌溉水和底泥	氮(N)、磷(P)和钾(K)	
大气干湿沉降物	氮(N)、磷(P)和钾(K)	砷(As)、镉(Cd)、铬(Cr)、铜(Cu)、汞(Hg) 、铅(Pb)、镍(Ni)、锌(Zn) 、硒(Se) 和氟(F)
农作物 可食部分		砷(As)、镉(Cd)、汞(Hg) 、铅(Pb)、铬(Cr)、氟(F)、铜(Cu)、锌(Zn)、镍(Ni)、六六六(HCH)、滴滴涕(DDT)、氟(F)和硒(Se)

10.2 指标筛选原则

在系统研究影响土地质量地球化学内部因素和外部因素的基础上，进行评估指标的筛选。土地质量地球化学评估指标筛选应遵循主导性原则、系统性原则、独立性原则、稳定性原则和区域性原则等，详见附录 D。

11 指标权重赋值

11.1 评估指标层次

11.1.1 土地质量影响程度相同或类似的一组指标为一个层次。影响土地质量的内部因素为第一评估指标层，该评估指标层由肥力指标层、环境健康指标层组成。肥力指标进一步划分为必需大量元素(碳、氮、磷、钾、硫、镁、钙)、必需微量元素(铁、锰、锌、铜、硼、钼、氯)和有益元素(硅、钴、镍、钠)；环境健康指标进一步划分为有害元素指标层(砷、镉、汞、铅等)、有机污染物指标层(有机氯农药类等)、健康指标层(硒、氟、碘)和 pH 层。

11.1.2 根据土壤中元素含量水平和对农作物生长的生态影响，铜、锌、镍等重金属可成为土壤肥力指标，也可作为环境健康指标参与评估。

11.1.3 影响土地质量的外部因素为第二、第三……第 n 评估指标层，如大气质量指标、灌溉水质量指标、农作物安全性指标等。

11.2 指标权重赋值

11.2.1 参评指标权重赋值的基本原则是同类指标两两比较其对土地质量影响的重要性，在此基础上，依其空间变异性进行赋值，详见附录 D。

11.2.2 每个评估层同一类指标的权重之和应为 1。

11.2.3 各项评估指标权重赋值的方法也可采用层次分析法，参见附录 E。

11.2.4　相同级别的土地质量地球化学评估，评估指标权重取值一样。

11.2.5　大比例尺的土地质量地球化学评估指标权重可使用小比例尺的土地质量地球化学评估指标权重，小比例尺的土地质量地球化学评估指标权重可使用本级和更小比例尺的评估指标权重。

12　隶属函数值计算

12.1　各评估指标隶属函数模型见附录 F。

12.2　通常情况下，土壤有机质、必需元素及有益元素含量可采用戒上型函数模型；土壤、水体、大气和农作物中砷、镉等有害元素和有机污染物(包括土壤、水体、大气和农作物) 可采用戒下型函数模型；　土壤酸碱度、质地和健康指标采用峰值型函数模型。

12.3　在评估区范围内，土壤氮、磷含量很高，水体存在富营养化情况下，氮和磷可采用峰值型函数模型。

12.4　在评估区范围内，土壤盐碱化较严重情况下，钙、镁、硫和氯等元素可采用峰值型函数模型。

12.5　隶属函数模型中 L 值、O_1 值、O_2 值和 U 值的确定原则见附录 F。

12.6　评估指标隶属函数值计算公式见附录 F。

13　土地质量地球化学等级划分

13.1　土地质量地球化学等

13.1.1　第一评估指标层划分出的土地质量地球化学等级称为等。在土地质量地球化学等划分基础上，叠加第二、第三……第 n 层指标评估结果，在等的基础上进一步划分出级。

13.1.2　土地质量地球化学等是土壤肥力分等和土壤环境健康分等结果叠置产生的。

13.1.3　依据土地肥力综合参数($P_{肥综}$)和土地环境健康综合参数($P_{环综}$)分别进行土地肥力和土地环境健康等级划分，一般分为 3 等。每等对应的综合参数值见表 2。

表 2 土地肥力分等和土地环境健康分等与综合参数对应表

综合参数（$P_{肥综}$或 $P_{环综}$）	1～0.7	0.7～0.3	＜0.3
土地肥力分等	丰富（一等）	适量（二等）	缺乏（三等）
土地环境健康分等	清洁（一等）	正常（二等）	污染（三等）

13.1.4　采用加法模型，获得土地肥力和土壤环境健康地球化学综合指数。各评估指数的综合指数计算公式为：

$$P=\Sigma f_i \times C_i \quad (i=1，2，3，4\cdots\cdots n)$$

式中：P－综合指数；

f_i－第 i 个评估指标的隶属函数值；

C_i－第 i 个评估指标的权重，评估指标为表征土壤肥力和土壤环境健康各类指标。

13.1.5　土地质量地球化学分等。依据土地肥力质量等级和土地环境健康质量等级划分结果，采用表 3 所示的分等方案，对评估单元进行土地质量地球化学分等。

表 3 土地质量地球化学分等表

肥力质量分等 综合质量分等 环境健康质量分等	丰富 （一等）	适量 （二等）	缺乏 （三等）
清洁（一等）	优质	优良	良好
正常（二等）	优良	优良	良好
污染（三等）	中等	中等	差等

13.2 土地质量地球化学级

13.2.1 在土地质量地球化学分等基础上，叠加大气质量、灌溉水质量、农作物安全等影响土地质量外部因素的指标评估结果，在等的基础上划分出级。土地质量地球化学级的划分不改变等的划分结果，两者是叠加关系。

13.2.2 大气、灌溉水的评估指标分类、评估指标筛选、权重赋值、隶属函数值计算、综合参数计算等要求同 14、15、16、17 相应内容。

13.2.3 原则上，大气质量、灌溉水质量等影响土地质量外部因素的质量等级分为 3 级，每级对应的综合参数值见表 4。

13.2.4 参照国家和行业食品安全卫生标准对农作物籽实的安全性进行分级，通常籽实中评估指标含量低于绿色食品卫生标准限量值的样品为绿色食品，分级代号为 1；籽实中评估指标含量高于绿色食品卫生标准限量值，但低于无公害食品卫生标准限量值的样品为安全食品，分级代号为 2；籽实中评估指标含量高于无公害食品卫生标准限量值的样品为超标食品，分级代号为 3。

13.2.5 在土地质量地球化学评估等的图示颜色上，叠加上不同数字表示不同级和评估的指标种类。

表 4 影响土地质量外部因素质量分级与综合参数对应表

	综合参数 P	分级	分级意义
大气质量	1～0.7	一级	好
	0.7～0.3	二级	一般
	＜0.3	三级	差
灌溉水质量	1～0.7	一级	好
	0.7~0.3	二级	一般
	＜0.3	三级	差
农作物安全	籽实中评估指标含量低于绿色食品卫生标准限量值	一级	绿色食品
	籽实中评估指标含量高于绿色食品卫生标准限量值,低于无公害食品卫生标准限量值	二级	安全食品
	籽实中评估指标含量高于无公害食品卫生标准限量值	三级	超标食品

13.3　土地质量地球化学等级表示方法

土地质量地球化学等级有以下两种表达方法：

a）色块：色块只用于表达土地质量地球化学等，优质为深绿色，优良为绿色，良好为黄色，中等为橙色，差等为红色。各等图示颜色见图 2。



图 2 土地质量地球化学等图示颜色

数字：数字表达土地质量地球化学等和级。

1）数字构成：数字由影响土地质量地球化学内部因素和外部因素构成。每组数字由左至右，内部因素占第一位，表示等；外部因素从第二位开始依次排列，表示级。

2）数字含义：每组数字第一位由 1～5 组成，分别表示土地质量地球化学的 5 个等。第二位表示大气质量，第三位表示灌溉水质量，第四位表示农作物安全。每位数字由 0～3 组成，分别表示不同参评因素所划分出的土地质量地球化学级。0 表示该因素没有参评，1 表示该因素参评的结果为 1 级，2 表示该因素参评的结果为 2 级，3 表示该因素参评的结果为 3 级。

13.4　图示和含义

土地质量地球化学等级图用颜色及代号表示，土地质量地球化学不同等级图示及含义见表 5。

表 5　土地质量地球化学等级图示及含义表

图示	等级含义
1120	土地质量地球化学等级为 1 等，大气质量为 1 级，灌溉水质量为 2 级，农作物安全性没有参评。
2001	土地质量地球化学等级为 2 等，大气质量和灌溉水质量没有参评，农作物安全性质量为 1 级。
3132	土地质量地球化学等级为 3 等，大气质量为 1 级，灌溉水质量为 3 级，农作物安全性质量为 2 级。
4213	土地质量地球化学等级为 4 等，大气质量为 2 级，灌溉水质量为 1 级，农作物安全性质量为 3 级。
5321	土地质量地球化学等级为 5 等，大气质量为 3 级，灌溉水质量为 2 级，农作物安全性质量为 1 级。

14　土地质量地球化学等级合理性验证

在土地质量地球化学等级划分基础上，根据土地的地质背景、耕层厚度、障碍层深度、坡度、坡向等土地质量的物理指标和生物指标，对初步划定的等级进行检验，采用实地校核与专家评议等方式对土地地球化学等级进行修订，最终确定土地质量的地球化学等级。

15　土地质量地球化学等级统计

在不同比例尺的网格化土地质量地球化学等级色块图上，叠加相应比例尺的土壤类型图或土地利

用现状图图层。根据叠置结果，分别统计出不同土壤类型和不同土地利用类型的土地质量地球化学等级面积和比例，根据统计结果，对评估区农业种植结构调整、土壤污染治理和土地合理利用提出建议。

16 报告编写

土地质量地球化学评估报告包括系列图件、文字和数据库。

16.1 图件

图件主要为工作底图、中间成果图和最终成果图。最终成果图应直观反映土地质量地球化学等级、不同质量土地的空间分布及面积等状况。

16.1.1 工作底图

根据不同尺度的评估工作，工作底图采用相应比例尺的地形地貌图、土壤类型图和土地利用现状图。

16.1.2 中间图件及实际材料图

中间图件主要为土地肥力质量评估图，土地环境健康质量评估图，灌溉水质量评估图，大气质量评估图；农作物安全性评估图等。

实际材料图包括各类介质采样点位图、异常查证图及其它实际材料图，图件编制要求同DD2005-01。

16.1.3 土地质量地球化学评估图

土地质量地球化学评估图包括土地质量地球化学等级图，无公害食品、绿色食品种植建议图、配方施肥建议图及农作物结构调整建议图等系列图件。

16.2 报告

土地质量地球化学评估工作结束后，应编写评估报告，编写提纲见附录 B。

16.3 数据库

采用区域地球化学数据库信息系统（GeoMDIS），按照数据库统一要求，建立基础资料数据库和统计与评估数据库。

16.3.1 基础资料数据库

基础资料数据库包括：调查资料子库、分析数据子库和图形子库。

16.3.1.1 调查资料子库

包括各类定点的 GPS 坐标数据、各类采样记录、剖面记录、数字拍照资料、摄像资料、野外素描等。

16.3.1.2 分析数据子库

包括土壤、水体、生物样品、大气干湿沉降、底泥及各类样品的分析数据。

16.3.1.3 图形子库

包括地理地貌、土壤类型、土地利用及农业区划和区域经济发展规划等各类图件。

16.3.1.4 评估数据库

评估区不同类型土壤和不同利用方式土地中各类元素和指标含量及各类参数统计值；灌溉水、大气、农作物籽实及其它样品中评估元素、指标含量及参数统计值

附 录 A
（规范性附录）
设计书编写内容及要求

A.1 前言

A.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。

A.1.2 评估区概况

包括评估区行政区划、地理位置、坐标范围或图幅及编号、社会经济概况。

A.1.3 以往工作程度

包括以往土壤（土地）调查、养分调查与环境监测、土地分等定级估价、地球化学工作情况和与本次评估有关的成果及存在的问题与不足。

A.2 区域背景

A.2.1 区域环境背景

包括气象水文、地形地貌、水文地质、土壤类型、土地利用现状、绿色或无公害食品基地状况、人类经济活动等。

A.2.2 主要土地质量地球化学问题

包括土地质量地球化学问题的种类、分布、数量、规模与造成的危害及防治现状等。

A.3 评估内容

A.3.1 评估内容

依据任务书和土地质量地球化学评估技术要求，细化评估比例尺、指标筛选、权重赋值、隶属函数值计算、土地等级划分与校正、图件制作等项内容。

A.3.2 重点问题及关键技术

论述评估工作中，需要重点解决的问题、关键技术和技术创新等。

A.4 技术路线及工作方案

A.4.1 技术路线

包括技术路线和评估流程等。

A.4.2 工作方案

包括工区布置、样品布置与采集、样品加工处理、数据分析、质量监控、结果整理和成果表达等。

A.5 工作部署

A.5.1 工作部署原则

根据任务书要求，有针对性地阐述总体工作思路和部署原则，说明各项工作间的衔接及关系。

A.5.2 总体工作部署及年度工作部署

说明总体及年度工作安排的主要内容和工作量，当年工作安排要具体。

A.6 实物工作量

为完成目标任务设计的实物工作量，附工作量一览表。

A.7 预期成果及提交时间

A.7.1 预期成果

包括评估报告、图件和数据库。

A.7.2 成果提交时间

按照任务书要求，说明成果提交的时间。

A.8 组织机构及人员安排

A.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。

A.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。

A.9 经费预算

见“地质调查项目设计预算编写要求”，包括编制说明和设计预算表。

A.10 质量保证与安全措施

A.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、样品数据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。

A.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。

A.11 设计附图及附表

A.11.1 附图

包括交通位置图、工作程度图、土壤类型图、土地利用现状图、工作部署图及其他需要的图件。

A.11.2 附表

评估工作中需要的各类表格。

附 录 B
（规范性附录）
土地质量地球化学评估报告编写提纲

B.1 前言

B.1.1 项目来源及任务目标
B.1.2 完成的工作量
B.1.3 主要成果概述

B.2 评估区概况

B.2.1 自然地理、地质、地球化学及矿产资源概况
B.2.2 农业生产、土壤类型、土地利用现状
B.2.3 社会经济及工农业发展概况
B.2.4 多目标区域地球化学调查、生态地球化学评价及评估区土壤存在的地球化学问题
B.2.5 本次评估工作的重点内容、研究思路和方法技术

B.3 工作方法技术及质量评述

B.3.1 野外工作方法技术及质量评述
B.3.2 样品处理方法、分析测试方法及数据质量评述

B.4 影响土地质量的内部因素地球化学特征研究

B.4.1 土壤植物营养元素地球化学特征
B.4.1.1 土壤N、P、K、Ca、Mg和S等必需大量和中量元素地球化学特征
B.4.1.1.1 元素丰缺程度评价
B.4.1.1.2 元素空间分布特征
B.4.1.1.3 元素空间变异特征
B.4.1.2 土壤Fe、Mn、Zn、Cu、B、Mo、Cl等必需微量元素地球化学特征
B.4.1.2.1 元素丰缺程度评价
B.4.1.2.2 元素空间分布特征
B.4.1.2.3 元素空间变异特征
B.4.1.3 土壤Si、Co、Ni、Na等有益元素地球化学特征
B.4.1.3.1 元素丰缺程度评价
B.4.1.3.2 元素空间分布特征
B.4.1.3.3 元素空间变异特征
B.4.2 土壤有害元素及有机污染物地球化学特征
B.4.2.1 土壤As、Cr、Cd、Pb、Ni、Hg等有害重金属元素地球化学特征
B.4.2.1.1 元素环境质量特征
B.4.2.1.2 元素空间分布特征
B.4.2.1.3 元素空间变异特征
B.4.2.2 土壤F、I、Se等健康元素地球化学特征

B.4.2.2.1　元素环境健康质量特征
B.4.2.2.2　元素空间分布特征
B.4.2.2.3　元素空间变异特征
B.4.2.3　土壤pH、TOC等理化指标地球化学特征
B.4.2.3.1　土壤pH、TOC含量特征
B.4.2.3.2　B.4.2.3.2　土壤pH、TOC空间分布特征
B.4.2.3.3　B.4.2.3.3　土壤pH、TOC空间变异特征
B.4.2.4　土壤六六六(HCH)、滴滴涕(DDT)等有机污染物地球化学特征
B.4.2.4.1　六六六(HCH)、滴滴涕(DDT)等有机污染物环境质量特征
B.4.2.4.2　六六六(HCH)、滴滴涕(DDT)等有机污染物空间分布特征
B.4.2.4.3　六六六(HCH)、滴滴涕(DDT)等有机污染物空间变异特征

B.5　影响土地质量的外部因素地球化学特征研究

B.5.1　不同成土母质元素含量特征及其对土壤元素含量的制约
B.5.2　不同成土母质成土过程中元素的富集贫化规律及其控制因素
B.5.3　地理地貌及土地利用现状对土壤元素含量变化影响研究
B.5.4　人类活动对土地质量的影响
B.5.4.1.1　大气质量(元素干湿沉降通量)对土地环境质量的影响
B.5.4.1.2　灌溉水质量(元素灌溉输入通量)对土地环境质量的影响
B.5.4.1.3　农业施肥 (元素施肥输入通量)对土地环境质量的影响
B.5.5　农作物安全性评价
B.5.5.1.1　农作物籽实As、Cd等有害元素含量及农产品安全性
B.5.5.1.2　农作物籽实Se、I、F等健康元素含量及农产品安全性
B.5.5.1.3　农作物籽实有机污染物含量及农产品安全性

B.6　影响土地质量的地球化学内部因素评估体系建立

B.6.1　土壤地球化学评估指标筛选
B.6.1.1　评估指标筛选原则
B.6.1.2　评估指标的确定
B.6.2　土壤地球化学评估指标隶属函数值计算
B.6.2.1　评估指标隶属函数模型及L值、U值、O1和O2值确定
B.6.2.2　评估指标隶属函数值计算
B.6.3　 土壤地球化学评估指标权重阈值
B.6.3.1　评估指标权重阈值原则
B.6.3.2　评估指标权重值确定
B.6.4　土壤地球化学评估指标综合参数计算及等级划分
B.6.4.1　土地环境健康质量综合参数计算及等级划分
B.6.4.2　土地肥力质量综合参数计算及等级划分
B.6.4.3　土地质量地球化学等划分

B.7　影响土地质量的地球化学外部因素评估体系建立

B.7.1　大气和灌溉水评估体系建立及分级

B.7.1.1　评估指标筛选原则
B.7.1.2　评估指标的确定
B.7.1.3　隶属函数模型及L值确定
B.7.1.4　隶属函数值计算
B.7.1.5　评估指标权重阈值
B.7.1.6　评估指标综合参数计算
B.7.1.7　大气和灌溉水质量分级
B.7.2　农产品安全性分级
B.7.3　土地质量地球化学等级划分及校正

B.8　土地合理利用规划建议

B.8.1　不同土地利用现状及土壤类型土地质量地球化学等级统计
B.8.2　农业生产施肥及种植建议
B.8.3　土壤污染治理及农作物种植结构调整建议
B.8.4　土地利用综合**规划及建议**

B.9　附件

B.9.1　附图

各种植物营养元素丰缺评价图、有害元素污染程度评价图、土壤肥力要素综合分级图、土壤环境健康要素综合分级图、土地质量地球化学等级图、农业施肥建议图、农业种植建议图、土地利用规划建议图

B.9.2　附表、数据库和参考文献等。

附 录 C
（规范性附录）
土地利用现状分类和编码

一级类		含义
编码	名称	
01	耕地	指种植农作物的土地，包括熟地，新开发、复垦、整理地，休闲地（含轮歇地、轮作地）；以种植农作物（含蔬菜）为主，间有零星果树、桑树或其他树木的土地；平均每年能保证收获一季的已垦滩地和海涂。耕地中包括南方宽度＜1.0 m、北方宽度＜2.0 m 固定的沟、渠、路和地坎（埂）；临时种植药材、草皮、花卉、苗木等的耕地，以及其他临时改变用途的耕地。
02	园地	指种植以采集果、叶、根、茎、汁等为主的集约经营的多年生木本和草本作物，覆盖度大于 50%或每亩株数大于合理株数 70%的土地。包括用于育苗土地。
03	林地	指生长乔木、竹类、灌木的土地，及沿海生长红树林的土地。包括迹地，不包括居民点内部的绿化林木用地，铁路、公路征地范围内的林木，以及河流、沟渠的护堤林。
04	草地	指生长草本植物为主的土地。
05	商服用地	指主要用于商业、服务业的土地。
06	工矿仓储用地	指主要用于工业生产、物资存放场地所的土地。
07	住宅用地	指主要用于人们生活居住的房基地及其附属设施的土地。
08	公共管理与公共服务用地	指用于机关团体、新闻出版、科教文卫、风景名胜、公共设施等的土地。
09	特殊用地	指用于军事设施、涉外、宗教、监教、殡葬等的土地。
10	交通运输用地	指用于运输通行的地面线路、场站等的用地。包括民用机场、港口、码头、地面运输管道和各种道路用地。
11	水域及水利设施用地	指陆地水域，海涂，沟渠、水工建筑物等用地。不包括滞洪区和已垦滩涂中的耕地、园地、林地、居民点、道路等用地。
12	其他用地	指上述地类以外的其他类型的土地。

注：二级类含义见 GB/T21010-2007。

附 录 D
（资料性附录）
土地质量地球化学评估指标选取原则与权重赋值

D.1 土地质量地球化学评估指标选择原则为：

D.1.1 主导性原则

影响土地质量的土壤性质很多，如质地、土壤结构、有机质含量等，在众多的土壤性质中，有些性质起主导作用。因此，所选土地质量评估指标应是对其起主要影响的主导因子，以增强土地质量评估的科学性和简洁性。

D.1.2 系统性原则

土地资源利用是一个经济生态系统，因此应该用系统性观点选择评估指标，评估指标应能够反映土地资源利用的各个方面，如土地自然属性、经济发展、生态环境等。

D.1.3 独立性原则

该原则要求所选的指标体系能够尽量反映土地的全部属性。指标间不能出现因果关系，避免重复评估。

D.1.4 生产性原则

土地质量评估指标应选取那些影响土壤生产性能的土壤性质。

D.1.5 空间变异性原则

所选择的评估指标必须是在空间上有明显变化，存在着突变阀值的土壤性质，否则将有悖于评估目的。

D.1.6 定量与定性相结合的原则

尽量把定性的、经验性的指标进行量化，以定量为主。必要时对现阶段难以定量的指标采用定性分析，减少人为影响，提高精度。

D.1.7 实用性原则

所选的评估指标为多数客户接受并能应用于田间条件，数据容易测定，重现性好。

D.1.8 相对稳定性原则

评估指标一方面应是比较稳定的土壤性质，以便使据此指标评估的土地在一段时期内稳定；另一方面，对气候和管理条件变化较敏感，使其能够监测出土地质量退化所导致的指标变化。

D.1.9 区域性原则

由于成土母质、成土过程和土地利用类型的多样性，影响土地质量的因素各不相同。因此，在指标选取、权重阈值等方面必须要体现不同区域的土地特点。科学、合理的指标体系不但可以在不同区域间进行比较，而且要正确反映区域土地的自然和社会经济条件。

D.2 评估指标筛选的基本方法建议为：

D.2.1 土壤肥力指标重点选择相对低异常(缺乏)元素和指标。在评估区土壤中，按照营养元素全量或有效态分级评估时，凡是适宜区和丰富区占总评估区面积80％~90％的指标不参与评估；

D.2.2 土壤环境指标重点选择相对高异常(超标)元素。在评估区土壤中，当pH>6.5时，重金属评估中二类和一类土壤之和占总评估面积大于50％，或pH<6.5时，重金属评估中二类和一类土壤之和占总评估面积大于80％的指标不参与评估；

D.2.3 土壤健康指标选择土壤中Se、I和F含量异常(过高或过低)程度较大的元素；

D.2.4　在进行多元统计分析时，彼此之间无显著关联性的初选指标可选作土地质量评估因子（参评指标）；

D.2.5　半方差函数也称为半变异函数，它是地质统计学中研究土壤特征值变异性的关键函数，是用来描述土壤性质的空间连续变异的一个连续函数，反映土壤性质的不同距离观测值之间的变化。所谓半方差函数就是两点间差值方差的一半，可以表示为如下形式：

$$\gamma(h)=\frac{1}{2N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}\left[Z(x_i)-Z(x_i+h)\right]^2$$

式中：γ (h)－实验半方差函数；

H－步长，即在一定方向上，距离为 h 的矢量；

$Z(x_i+h)$，$Z(x_i)$－某变量的测定值；

N(h)是以 h 为间距的所有观测点的成对数目。某个特定方向的半方差函数图通常是由 γ(h)对 h 作图而得。在通常情况下，半方差函数值都随着样点间距的增加而增大，并在样点间距大于相关距离（a）时，该值趋于一个基本稳定的常数（C_0+C）。选择 a 相对小的，$C_0/(C_0+C)$相对大的指标参与土地质量评估。

D.3　必测和选测指标：

D.3.1　表征土壤养分的必需大量元素K、P、N、C为必测指标，如有机质与N、C显著相关，选择有机质作为评估指标，评估指标中去掉N、C。

D.3.2　表征土壤理化性质的pH、有机质为必测指标，CEC和粘粒为选测指标，盐碱土和有盐碱化的土壤，电导率或Ca、Mg、S和Cl为必测指标；

D.3.3　表征土壤环境质量的As、Cd等有害元素2～3项为必测指标，南方土壤酸化严重地区，重点考虑Cd、Pb、Hg等重金属，北方碱性土壤或存在F、Se、As中毒地区，重点选择F、Se和As；

D.3.4　表征农产品安全性的As、Hg等有害元素含量及六六六、DDT为必测项目；

D.3.5　表征灌溉水和大气质量的各种元素含量及理化性质为必测指标；

D.3.6　对评估区农业生产具有重要意义的其他植物有益元素，也可作为评估指标，如Mo、Mn、B、Fe、Se等微量元素。

D.4　评估指标权重赋值

D.4.1　对土地质量具有相同重要性的评估指标进行影响程度的两两比较，获得权重值。

D.4.2　不同类型的评估指标权重赋值原则如下：

a）评估指标为植物营养元素和有机质时，样品中元素或有机质含量丰富和适宜比例越小，缺乏越严重，权重越大。反之，权重越小。

b）评估指标为土壤有害元素、指标或有机污染物时，样品中元素、指标或有机质污染物含量越高，污染越严重，权重越大。反之，权重越小。

c）评估指标为 pH、质地、Se、I、F 等指标和元素时，样品中指标或元素含量 X 与 O1 和 O2 的差值(｜X-O1｜和｜X-O2｜)越大，权重越大。反之，权重越小。

d）评估指标含量特征相近时，变程(a)越小，C0/(C0+C)越大，权重赋值越大。

附 录 E
（资料性附录）
层次分析法

E.1 层次分析法简介

E.1.1 层次分析法含义

层次分析法（Analytic Hierarchy Process，简称 AHP）是美国运筹学家 T. L. Saaty 教授于上世纪 70 年代初期提出的，指依据序标度，将系统因素按支配关系分组以形成有序的递阶层次结构，通过两两比较判断的方式确定每一层次中因素的相对重要性，然后在递阶层次结构内进行合成以得到决策因素相对于目标的重要性的总顺序，从而为决策提供确定性的判据。

E.1.2 层次分析法的基本原理

层次分析法的基本原理是排序的原理。层次分析法首先将决策的问题看作受多种因素影响的大系统，这些相互关联、相互制约的因素可以按照它们之间的隶属关系排成从高到低的若干层次，叫做构造递阶层次结构。然后请专家、学者、权威人士对各因素两两比较重要性，再利用数学方法，对各因素层层排序，最后对排序结果进行分析，辅助进行决策。

E.1.3 层次分析法的特点

层次分析法是一种定性与定量分析相结合的多因素决策分析方法。这种方法将决策者的经验判断给予数量化，在目标因素结构复杂且缺乏必要数据的情况下使用更为方便。同时，这一方法虽然有深刻的理论基础，但表现形式非常简单，容易被人理解、接受。

E.2 层次分析法的基本步骤

运用层次分析法解决问题，大体可以分为四个步骤：

a）建立问题的递阶层次结构；

b）构造两两比较判断矩阵；

c）由判断矩阵计算被比较元素单层次权重；

d）计算各层次元素的组合权重。

E.2.1 建立递阶层次结构

建立递阶层次结构是层次分析法中的第一步。

首先，将复杂问题分解为称之为元素的各组成部分，把这些元素按属性不同分成若干组，以形成不同层次。同一层次的元素作为准则，对下一层次的某些元素起支配作用，同时它又受上一层次元素的支配。这种从上至下的支配关系形成了一个递阶层次。处于最上面的层次通常只有一个元素，一般是分析问题的预定目标或理想结果。中间层次一般是准则、子准则。最低一层则为具体的评估指标。层次之间元素的支配关系不一定是完全的，即可以存在这样的元素，它并不支配下一层次的所有元素。

其次，层次数与问题的复杂程度和所需要分析的详尽程度有关。每一层次中的元素一般不超过 9 个，因一层中包含数目过多的元素会给两两比较判断带来困难。

第三，一个好的层次结构对于解决问题是极为重要的。层次结构建立在决策者对所面临的问题具有全面深入的认识基础上，如果在层次的划分和确定层次之间的支配关系上举棋不定，最好重新分析问题，弄清问题各部分相互之间的关系，以确保建立一个合理的层次结构。

一个递阶层次结构应具有以下特点：

a）从上到下顺序地存在支配关系，并用直线段表示。除第一层外，每个元素至少受上一层一个元素支配，除最后一层外，每个元素至少支配下一层次一个元素。上下层元素的联系比同一层次中元素的联系要强得多，故认为同一层次及不相邻元素之间不存在支配关系。

b）整个结构中层次数不受限制。

c）最高层只有一个元素，每个元素所支配的元素一般不超过 9 个，元素多时可进一步分组。

d）对某些没有子层次的结构可引入虚元素，使之成为递阶层次结构。

E.2.2 构造两两比较判断矩阵

在建立递阶层次结构以后，上下层次之间元素的隶属关系就被确定了。假定上一层次的元素 C_k 作为准则，对下一层次的元素 $A_1, \ldots, A_n$ 有支配关系，我们的目的是在准则 C_k 之下按它们相对重要性赋予 $A_1, \ldots, A_n$ 相应的权重。

对于大多数人的判断起重要作用的问题，直接得到这些元素的权重并不容易，往往需要通过适当的方法来导出它们的权重。层次分析法所用的是两两比较的方法。

第一，在两两比较的过程中，决策者要反复回答问题：针对准则 Ck，两个元素 Ai 和 Aj 哪一个更重要一些，重要多少。需要对重要多少赋予一定的数值。这里使用 1～9 的比例标度，它们的意义见表 E. 1。例如，准则是土壤肥力，指标可分为有机质含量、氮全量、磷全量和钾全量。如果认为土壤肥力中氮全量比钾全量明显重要，它们的比例标度取 5，而钾全量对于氮全量的比例标度则取 1/5。

1～9 的标度方法是将思维判断数量化的一种好方法。首先，在区分事物的差别时，人们总是用相同、较强、强、很强、极端强的语言。再进一步细分，可以在相邻的两级中插入折衷的提法，因此对于大多数决策判断来说，1～9 级的标度是适用的。其次，心理学的实验表明，大多数人对不同事物在相同程度属性上差别的分辨能力在 5～9 级之间，采用 1～9 的标度反映多数人的判断能力。再次，当被比较的元素其属性处于不同的数量级时，一般需要将较高数量级的元素进一步分解，这可保证被比较元素在所考虑的属性上有同一个数量级或比较接近，从而适用于 1～9 的标度。

表 E.1 规定性标度设计及意义

规定性标度	定义	说明
1	同等重要	两个元素对某一目标作同等贡献
3	稍微重要	根据经验判断，二个元素中稍偏于一个元素
5	明显重要	根据经验判断，二个元素中强烈偏重于一个元素
7	强烈重要	强烈偏重于一个元素，其主导地位在实际中显现出来
9	绝对重要	二个元素之中偏重于一元素的证据达到判断的最高可能
2、4、6、8 两相邻判断的中间值，需要两种判断折衷； 上述非零值的互反数：1/2、1/3、…1/9，如果元素 i 与 j 比较有一个赋值，则元素 j 与 i 比较赋值为其互反数。		

第二，对于 n 个元素 $A_1, \ldots, A_n$ 来说，通过两两比较，得到两两比较判断矩阵 A：

$$A = (a_{ij})_{n\times n}$$

其中判断矩阵具有如下性质：

a）$a_{ij} > 0$；

b）$a_{ij} = 1/\ a_{ji}$；

c）$a_{ii} = 1$。

我们称 A 为正的互反矩阵。

根据性质（2）和（3），事实上，对于 n 阶判断矩阵仅需对其上（下）三角元素共 $\frac{n(n-1)}{2}$ 个给出判断即可。

E.2.3 计算单一准则下元素的相对权重

这一步是要解决在准则 C_k 下，n 个元素 $A_1, \ldots, A_n$ 排序权重的计算问题。

对于 n 个元素 $A_1, \ldots, A_n$，通过两两比较得到判断矩阵 A，解特征根问题

$$Aw = \lambda_{\max} w \qquad (E.1)$$

所得到的 w 经归一化后作为元素 $A_1, \ldots, A_n$ 在准则 C_k 下的排序权重，这种方法称为计算排序向量的特征根法。

特征根方法的理论依据是如下的正矩阵的 Perron 定理，它保证了所得到的排序向量的正值性和唯一性：

定理　设 n 阶方阵 $A>0$，$\lambda_{\max}$ 为 A 的模最大的特征根，则有：

a）$\lambda_{\max}$ 必为正特征根，而且它所对应的特征向量为正向量；

b）A 的任何其它特征根 λ 恒有 $|\lambda| < \lambda_{\max}$；

c）$\lambda_{\max}$ 为 A 的单特征根，因而它所对应的特征向量除差一个常数因子外是唯一的。

特征根方法中的最大特征根$\lambda_{\max}$和特征向量 w，可用 Matlab 软件直接计算。

此外，上述的最大特征根$\lambda_{\max}$和特征向量 w 也可采用幂法计算。其步骤为：

1）设初值向量 $x^{(0)} = (x_{01}, x_{02}, \ldots, x_{0n})^{\mathrm{T}}$，例如 $x^{(0)} = (\frac{1}{n}, \cdots, \frac{1}{n})^{\mathrm{T}}$，计算 $w^{(0)} = \dfrac{x^{(0)}}{\sum_{i=1}^{n} x_{0i}}$；

2）对于 $k = 1, 2, \ldots$，迭代计算

$$x^{(k)} = Aw^{(k-1)},\ x^{(k)} = (x_{k1}, x_{k2}, \ldots, x_{kn})^{\mathrm{T}},\ w^{(k)} = \frac{x^{(k)}}{\sum_{i=1}^{n} x_{ki}} = (w_{k1}, w_{k2}, \cdots, w_{kn})^{\mathrm{T}};$$

3）对于事先给定的精度ε，如果 $\max\limits_{1\le i\le n}\{|w_{ki} - w_{k-1,i}|\} < \varepsilon$，则 $w^{(k)}$ 即为所求；

4）计算 $\lambda_{\max} = \dfrac{1}{n}\sum\limits_{i=1}^{n} \dfrac{x_{ki}}{w_{k-1,i}}$。

对于一般的判断矩阵(即 A 不一定一致)，在精度要求不高的情况下，可以用近似方法计算最大特征根$\lambda_{\max}$和特征向量 w。常用的方法有“和法”与“根法”。

E.2.3.1 “和法”

a) 将 A 的每一列向量归一化得 $\widetilde{w}_{ij} = a_{ij} / \sum_{i=1}^{n} a_{ij}$

b) 对 $\widetilde{w}_{ij}$ 按行求和得 $\widetilde{w}_i = \sum_{j=1}^{n} \widetilde{w}_{ij}$

c) 将 $\widetilde{w}_i$ 归一化 $w_i = \widetilde{w}_i / \sum_{i=1}^{n} \widetilde{w}_i, w = (w_1, w_2, ..., w_n)^T$，即为近似特征向量(权向量)

d） 计算 $\lambda=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{(Aw)_i}{w_i}$,作为最大特征根的近似值

E.2.3.2 “根法”

a） 将判断矩阵的每一行元素相乘得 $M_i=\prod_{j=1}^{n}a_{ij}$

b） 计算 M_i 的 n 次方根 $\overline{W}_i=\sqrt[n]{M_i}$

c）. 将 $\overline{W}_i$ 归一化 $W_i=\overline{W}_i/\sum_{i=1}^{n}\overline{W}_i, W=(W_1,W_2\cdots Wn)^T$，即为近似特征根(权向量)

d） 计算 $\lambda_{\max}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{(AW)_i}{W_i}$,作为最大特征根的近似值

E.2.4 判断矩阵的一致性检验

2.2 中给出了判断矩阵 A 的基本性质。在特殊情况下，判断矩阵 A 的元素具有传递性，即满足等式

$$a_{ij}\bullet a_{jk}=a_{ik} \qquad \text{（E.2）}$$

例如当 A_i 和 A_j 相比的重要性比例标度为 3，而 A_j 和 A_k 相比的重要性比例标度为 2，一个传递性的判断应有 A_i 和 A_k 相比的重要性比例标度为 6。当 (E.1) 式对矩阵 A 的所有元素均成立时，判断矩阵 A 称为一致性矩阵。

一般地，我们并不要求判断具有这种传递性和一致性，这是由客观事物的复杂性与人的认识的多样性所决定的。但在构造两两判断矩阵时，要求判断大体上的一致是应该的。出现甲比乙极端重要，乙比丙极端重要，而丙又比甲极端重要的判断，一般是违反常识的。一个混乱的经不起推敲的判断矩阵有可能导致决策的失误，而且当判断矩阵过于偏离一致性时，用上述各种方法计算的排序权重作为决策依据，其可靠程度也值得怀疑。因而必须对判断矩阵的一致性进行检验。

判断矩阵一致性检验的步骤如下：

a）计算一致性指标 C.E.： $\text{C.I.}=\frac{\lambda_{\max}-n}{n-1}$，其中 n 为判断矩阵的阶数；

b）平均随机一致性指标 R.E.：

平均随机一致性指标是多次（500 次以上）重复进行随机判断矩阵特征根计算之后取算术平均得到的。龚木森、许树柏 1986 年得出的 1～15 阶判断矩阵重复计算 1000 次的平均随机一致性指标如下（表 E.2）：

表 E.2 判断矩阵一致性指标

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8
R.E.	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41
阶数	9	10	11	12	13	14	15	
R.E.	1.46	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58	1.59	

c）计算一致性比例 C.R.： $\text{C.R.}=\frac{\text{C.I.}}{\text{R.I.}}$，当 C.R.＜0.1 时，一般认为判断矩阵的一致性是可以接

受的。

E.2.5 计算各层元素的组合权重并检验

为了得到递阶层次结构中每一层次中所有元素相对于总目标的相对权重，需要把§ 1.2.3 中的计算结果进行适当的组合，并进行总的一致性检验。这一步是由上而下逐层进行的。最终计算结果得出最低层次元素，即决策方案的优先顺序的相对权重和整个递阶层次模型的判断一致性检验。

假定递阶层次结构共有 m 层，第 k 层有 n_k（$k = 1, 2, \ldots, m$）个元素，如图 E.1。

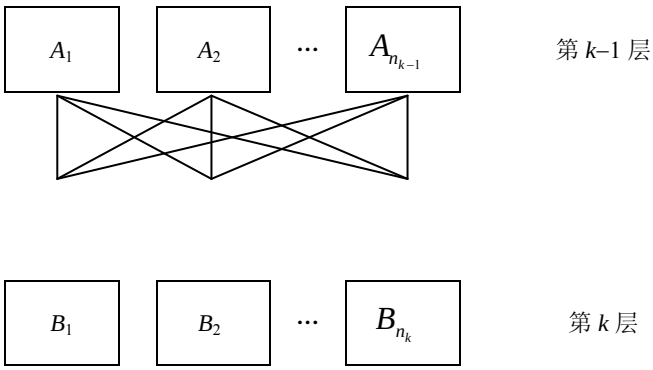


图 E.1 递阶层次结构示意图

已经计算出第 $k-1$ 层 n_{k-1} 个元素 $A_1, A_2, \ldots, A_{n_{k-1}}$ 相对于总目标的组合排序权重向量

$$w^{(k-1)} = (w_1^{(k-1)}, w_2^{(k-1)}, w_{nk-1}^{(k-1)})^{\mathrm{T}},$$

以及第 k 层 n_k 个元素 $B_1, B_2, \ldots, B_{n_k}$ 相对于第 $k-1$ 层每个元素 A_j（$j = 1, 2, \ldots, n_{k-1}$）的单排序权重向量

$$p_i^{(k)} = (p_{1j}^{(k-1)}, p_{2j}^{(k-1)}, p_{nkj}^{(k-1)})^{\mathrm{T}},\ \ i = 1, 2, \ldots, n_k$$

其中不受 A_j 支配的元素权重取为 0。

作 $n_k \times n_{k-1}$ 阶矩阵

$$P^{(k)} = (p_1^{(k)}, p_2^{(k)}, \ldots, p_{nk-1}^{(k)})$$

那么第 k 层 n_k 个元素 $B_1, B_2, \ldots, B_{n_k}$ 相对于总目标的组合排序权重向量为

$$w^{(k)} = (w_1^{(k)}, w_2^{(k)}, \ldots, w_{nk}^{(k)})^{\mathrm{T}} = P^{(k)} w^{(k-1)},$$

并且一般公式为

$$w^{(k)} = P^{(k)} P^{(k-1)} \ldots P^{(3)} w^{(k-1)}。$$

对于递阶层次模型的判断一致性检验，需要类似地逐层计算。若分别得到了第 $k-1$ 层次的计算结果 C. E.$_{k-1}$、R. E.$_{k-1}$ 和 C. R.$_{k-1}$，则第 k 层次的相应指标为

$$\text{C. E.}_k = (\text{C.I.}_{\cdot k}^{1}, \ldots, \text{C.I.}_{\cdot k}^{n_{k-1}}) w^{(k-1)}$$

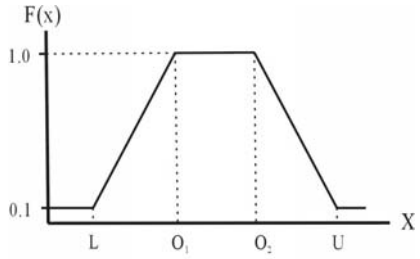
$$\text{R. E.}_k = (\text{R.I.}_{\cdot k}^{1}, \ldots, \text{R.I.}_{\cdot k}^{n_{k-1}}) w^{(k-1)}$$

$$\text{C.R.}_{\cdot \mathrm{k}} = \text{C.R.}_{\cdot \mathrm{k\text{-}1}} + \frac{\text{C.I.}_{\cdot \mathrm{k}}}{\text{R.I.}_{\cdot \mathrm{k}}}$$

这里$C.I._k^j$和$R.I._k^j$分别是第k层n_k个元素B1, B2, …, B_{n_k}在第k – 1层每个准则Aj（j = 1, 2, …, nk –1）下判断矩阵的一致性指标和平均随机一致性指标。当C.R. k < 0.1时，认为递阶层次在第k层水平上整个判断有满意的一致性。

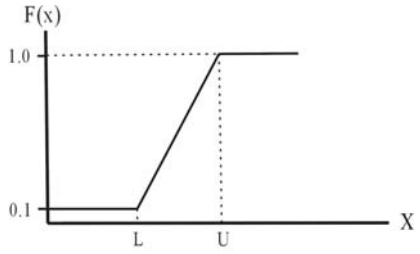
附 录 F
（资料性附录）
土地质量地球化学评估指标隶属度函数模型及界限值

F.1 土地质量地球化学评估指标采用图F.1所示的三种模型进行隶属度值计算。



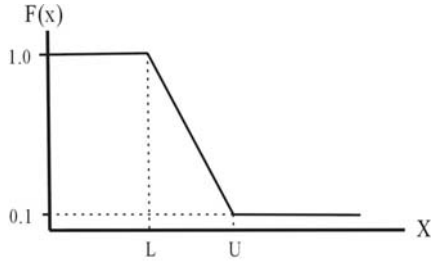
峰值型隶属度函数曲线

$$f(x)=\begin{cases}0.1 & x \le L,\ x \ge U\\ 0.1+0.9(x-L)/(O_1-L) & L<x<O_1\\ 1.0 & O_1 \le x \le O_2\\ 1.0-0.9(x-O_2)/(U-O_2) & O_2<x<U\end{cases}$$



戒上型隶属度函数曲线

$$f(x)=\begin{cases}1.0 & x \ge U\\ 0.1+0.9(x-L)/(U-L) & L<x<U\\ 0.1 & x \le L\end{cases}$$



戒下型隶属度函数曲线

$$f(x)=\begin{cases}0.1 & x \ge U\\ 1.0-0.9(x-L)/(U-L) & L<x<U\\ 1.0 & x \le L\end{cases}$$

图 F.1 各种隶属函数模型及隶属值计算公式

U 为评估指标的上限值；L 为评估指标的下限值；O_1 和 O_2 为评估指标的最优值，
x 为评估指标的测定值。

F.2 各类评估指标采用隶属函数模型的原则为：

a) 土壤 pH、质地和土壤健康指标采用峰值型隶属度函数模型。
b) 土壤 N、P、K、B、Mo、Mn 等必需元素和有益元素采用戒上型隶属度函数模型，评估区土壤中 N、P 含量高，且水体富营养化严重地区，土壤 P 和 N 可采用峰值型隶属度函数模型。
c) 土壤 As、Cd、Hg、Pb 等有害元素采用戒下型隶属度函数模型。

F.3 评估指标分级

F.3.1 在评估区范围内，对表层土壤元素含量特征进行统计，不服从正态分布或对数正态分布的数据，进行平均值±3倍离差剔除异常数据，直至服从正态分布或对数正态分布。

F.3.2 对服从正态分布或对数正态分布的数据，按照等距法或累积频率曲线法对数据进行五级划分。

F.3.3 不同类型评估指标五级标准值所对应的地球化学意义见表F.1。

表 F.1 不同类型评估指标五级标准值地球化学特征

隶属函数类型	戒上型	戒下型	峰值型
元素或指标种类	N、P、K、orgC、B、Mo 等营养元素或指标	As、Cd、Pb、Hg 等有害元素	pH、质地、Se、I、F 等
一级	丰富	清洁	缺乏
二级	较丰富	较清洁	较缺乏
三级	适中	安全	适中
四级	较缺乏	轻污染	较过量
五级	缺乏	污染	过量

F.3.4 以某地区红壤中的有机质含量为例，说明划分方法：

a) 首先对数据进行异常剔除。

b) 对符合要求的数据进行统计，做出正态分布曲线图(图 F.2)和数据统计表(表 F.2)，并划定含量范围。

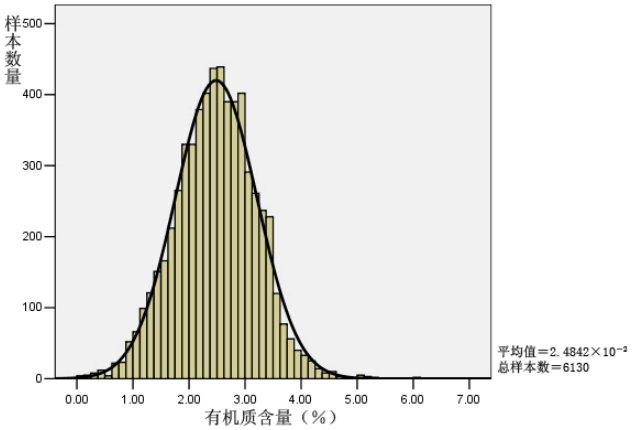


图 F.2 有机质含量正态分布曲线图

表 F.1 红壤中有机质含量统计表

样本数量	6130
最大值（%）	6.03
平均值（%）	2.48
最小值（%）	0.02
中位值（%）	2.50

C) 运用等距法和累积频率曲线法进行 5 级分级标准划分，见表 F.3。

表 F.3 红壤有机质分级标准

等 级	有机质(%)	
	等距法	累积频率曲线法
一级	>4.8	>4
二级	3.6~4.8	3-4
三级	2.4~3.6	2-3
四级	1.2~2.4	1-2
五级	<1.2	<1

F.4 隶属函数界限值确定

a) 根据评估指标种类，确定所采用的隶属函数模型。

b) 根据表 F.3 分级标准，确定隶属函数界限值。

c) 通常情况下，隶属函数界限值与分级标准对应关系见表 F.4。

表 F.4 分级与隶属函数界限值对应表

	戒上型	戒下型	峰值型
一级	U	L	L
二级			O_1
三级			
四级			O_2
五级	L	U	U