

加 急

# 环 境 保 护 部 办 公 厅 国 家 发 展 和 改 革 委 员 会 办 公 厅 文 件

环办生态〔2017〕48号

---

## 关于印发《生态保护红线划定指南》的通知

各省、自治区、直辖市环境保护厅(局)、发展改革委,新疆生产建设兵团环境保护局、发展改革委:

根据中共中央办公厅、国务院办公厅《关于划定并严守生态保护红线的若干意见》的安排部署,环境保护部、发展改革委共同组织编制了《生态保护红线划定指南》(见附件),现印发给你们。请按照本指南要求,加快推进本地区生态保护红线划定工作。

环境保护部联系人:张哲、张文国

电 话:(010)66103047、66556309

传 真:(010)66103049

国家发展改革委联系人：徐卫华

电 话：(010)68501597

传 真：(010)68501657

附件： 生态保护红线划定指南



附件

# 生态保护红线划定指南

环境保护部 国家发展改革委

2017年5月

# 目 录

1 适用范围 .....	6
2 编制依据 .....	6
3 术语和定义 .....	8
4 划定原则 .....	9
4.1 科学性原则 .....	9
4.2 整体性原则 .....	9
4.3 协调性原则 .....	9
4.4 动态性原则 .....	10
5 管控要求 .....	10
6 划定工作程序 .....	10
6.1 制定工作方案和技术方案 .....	10
6.2 开展划定工作 .....	11
6.3 各省（区、市）方案上报与审核 .....	11
6.4 方案批准与发布 .....	11
7 划定技术流程 .....	12
7.1 开展科学评估 .....	12
7.2 校验划定范围 .....	13
7.3 确定红线边界 .....	14
7.4 形成划定成果 .....	16

7.5 开展勘界定标 .....	16
<b>8 命名与编码 .....</b>	<b>18</b>
8.1 命名 .....	18
8.2 编码 .....	18
<b>9 成果要求 .....</b>	<b>19</b>
9.1 文本 .....	19
9.2 图件 .....	19
9.3 登记表 .....	20
9.4 台账数据库 .....	20
9.5 技术报告 .....	20
<b>10 附则 .....</b>	<b>20</b>
附录 A 生态系统服务功能重要性评估方法 .....	21
附录 B 生态环境敏感性评估方法 .....	41
附录 C 生态保护红线综合制图 .....	50
附录 D 生态保护红线汇总表 .....	53
附录 E 生态保护红线登记表 .....	54
附录 F 生态保护红线划定技术报告编写大纲 .....	55

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中共中央关于全面深化改革若干重大问题的决定》，落实《关于划定并严守生态保护红线的若干意见》（以下简称《若干意见》），指导全国生态保护红线划定工作，保障国家生态安全，制定本指南。

## 1 适用范围

本指南适用于中华人民共和国陆地国土空间生态保护红线的划定。

## 2 编制依据

《中华人民共和国环境保护法》

《中华人民共和国国家安全法》

《中华人民共和国水土保持法》

《中华人民共和国土地管理法》

《中华人民共和国水法》

《中华人民共和国防沙治沙法》

《中华人民共和国森林法》

《中共中央 国务院关于加快推进生态文明建设的意见》（中发〔2015〕12号）

《生态文明体制改革总体方案》（中发〔2015〕25号）

《关于划定并严守生态保护红线的若干意见》（厅字〔2017〕2号）

《国务院关于印发全国主体功能区规划的通知》（国发〔2010〕46号）

《国务院关于印发全国国土规划纲要（2016—2030年）的通知》（国发〔2017〕3号）

《国务院办公厅关于印发湿地保护修复制度方案的通知》

(国办〔2016〕89号)

《国务院关于印发“十三五”生态环境保护规划的通知》(国发〔2016〕65号)

《国务院关于印发全国水土保持规划(2015—2030年)的批复》(国函〔2015〕160号)

《国务院关于印发全国重要江河湖泊水功能区划(2011—2030年)的批复》(国函〔2011〕167号)

《国务院关于印发全国林地保护利用规划纲要(2010—2020年)的批复》(国函〔2010〕69号)

《国务院关于印发全国土地利用总体规划纲要(2006—2020年)的通知》(国发〔2008〕33号)

《关于印发全国土地利用总体规划纲要(2006—2020年)调整方案的通知》(国土资发〔2016〕67号)

《水利部关于印发全国重要饮用水水源地名录(2016年)的通知》(水资源函〔2016〕383号)

《关于印发全国生态功能区划(修编版)的公告》(环境保护部 中国科学院公告 2015年第61号)

GB/T 2260	中华人民共和国行政区划代码
GB/T 12343	国家基本比例尺地图编绘规范
GB/T 13923	基础地理信息要素分类与代码
GB/T21010-2007	土地利用现状分类
HJ/T 338	饮用水水源保护区划分技术规范
SL 190	土壤侵蚀分类分级标准
CH/T 9005	基础地理信息数据库基本规定

### 3 术语和定义

**生态保护红线：**指在生态空间范围内具有特殊重要生态功能、必须强制性严格保护的区域，是保障和维护国家生态安全的底线和生命线，通常包括具有重要水源涵养、生物多样性维护、水土保持、防风固沙、海岸生态稳定等功能的生态功能重要区域，以及水土流失、土地沙化、石漠化、盐渍化等生态环境敏感脆弱区域。

**国土空间：**指国家主权与主权权利管辖下的地域空间，是国民生存的场所和环境，包括陆地、陆上水域、内水、领海、领空等。

**生态空间：**指具有自然属性、以提供生态服务或生态产品为主体功能的国土空间，包括森林、草原、湿地、河流、湖泊、滩涂、岸线、海洋、荒地、荒漠、戈壁、冰川、高山冻原、无居民海岛等。

**重点生态功能区：**指生态系统十分重要，关系全国或区域生态安全，需要在国土空间开发中限制进行大规模高强度工业化城镇化开发，以保持并提高生态产品供给能力的区域，主要类型包括水源涵养区、水土保持区、防风固沙区和生物多样性维护区。

**生态环境敏感脆弱区：**指生态系统稳定性差，容易受到外界活动影响而产生生态退化且难以自我修复的区域。

**禁止开发区域：**指依法设立的各级各类自然文化资源保护区域，以及其他禁止进行工业化城镇化开发、需要特殊保护的重点生态功能区。

**生态安全：**指在国家或区域尺度上，生态系统结构合理、功能完善、格局稳定，并能够为人类生存和经济社会发展持续提供生态服务的状态，是国家安全的重要组成部分。



生态安全格局：指由事关国家和区域生态安全的关键性保护地构成的结构完整、功能完备、分布连续的生态空间布局。

勘界定标：指对已划定的生态保护红线边界进行实地勘查、测绘，核准拐点坐标，勘定精确界线，设立统一规范的界碑界桩和标识标牌的行为。

## **4 划定原则**

### **4.1 科学性原则**

以构建国家生态安全格局为目标，采取定量评估与定性判定相结合的方法划定生态保护红线。在资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价的基础上，按生态系统服务功能（以下简称生态功能）重要性、生态环境敏感性识别生态保护红线范围，并落实到国土空间，确保生态保护红线布局合理、落地准确、边界清晰。

### **4.2 整体性原则**

统筹考虑自然生态整体性和系统性，结合山脉、河流、地貌单元、植被等自然边界以及生态廊道的连通性，合理划定生态保护红线，应划尽划，避免生境破碎化，加强跨区域间生态保护红线的有序衔接。

### **4.3 协调性原则**

建立协调有序的生态保护红线划定工作机制，强化部门联动，上下结合，充分与主体功能区规划、生态功能区划、水功能区划及土地利用现状、城乡发展布局、国家应对气候变化规划等相衔接，与永久基本农田保护红线和城镇开发边界相协调，与经济社会发展需求和当前监管能力相适应，统筹划定生态保护红线。

#### 4.4 动态性原则

根据构建国家和区域生态安全格局，提升生态保护能力和生态系统完整性的需要，生态保护红线布局应不断优化和完善，面积只增不减。

### 5 管控要求

生态保护红线原则上按禁止开发区域的要求进行管理。严禁不符合主体功能定位的各类开发活动，严禁任意改变用途，确保生态功能不降低、面积不减少、性质不改变。因国家重大基础设施、重大民生保障项目建设等需要调整的，由省级政府组织论证，提出调整方案，经环境保护部、国家发展改革委会同有关部门提出审核意见后，报国务院批准。

——功能不降低。生态保护红线内的自然生态系统结构保持相对稳定，退化生态系统功能不断改善，质量不断提升。

——面积不减少。生态保护红线边界保持相对固定，生态保护红线面积只能增加，不能减少。

——性质不改变。严格实施生态保护红线国土空间用途管制，严禁随意改变用地性质。

### 6 划定工作程序

采取自上而下和自下而上相结合的方式划定全国和各省（区、市）生态保护红线。

#### 6.1 制定工作方案和技术方案

各省（区、市）依照本指南和生态保护红线划定的总体要求，建立划定工作责任制和协调机制，制定各省（区、市）工作方案和

技术方案，明确职责分工，组织专门队伍，有序推进划定工作。

## **6.2 开展划定工作**

环境保护部、国家发展改革委会同有关部门开展国家生态保护红线顶层设计，提出各省(区、市)生态保护红线空间格局和分布建议方案，明确需要保护的湿地、草原、森林等生态系统分布范围，指导各地生态保护红线划定，并做好跨省域生态保护红线的衔接与协调。

各省(区、市)依据工作方案和技术方案组织开展划定工作，参照国家生态保护红线空间格局和分布建议方案，结合本地实际情况，形成本行政区生态保护红线划定初步方案(含文本、图件、登记表)，征求相关部门和地方政府意见，开展专家论证。经修改完善报省(区、市)人民政府审议同意后，形成生态保护红线划定方案(送审稿)。

## **6.3 各省(区、市)方案上报与审核**

各省(区、市)人民政府将生态保护红线划定方案(送审稿)报送环境保护部、国家发展改革委，环境保护部、国家发展改革委会同有关部门组织对各省(区、市)生态保护红线开展技术审核并提出意见，各省(区、市)人民政府根据意见修改完善后，形成生态保护红线划定方案(报批稿)。

## **6.4 方案批准与发布**

环境保护部、国家发展改革委会同有关部门将各省(区、市)生态保护红线划定方案报国务院审批后，由各省(区、市)人民政府发布实施。环境保护部、国家发展改革委会同有关部门在各省(区、

市)生态保护红线划定方案基础上进行汇总,形成全国生态保护红线划定方案,报国务院同意后,向社会发布。

已初步完成或发布实施生态保护红线划定方案的有关省(区、市)按照《若干意见》和本指南要求,进一步优化调整划定方案,按程序上报审批。

## 7 划定技术流程

按照定量与定性相结合的原则,通过科学评估,识别生态保护的重点类型和重要区域,合理划定生态保护红线。

### 7.1 开展科学评估

在国土空间范围内,按照资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价技术方法,开展生态功能重要性评估和生态环境敏感性评估,确定水源涵养、生物多样性维护、水土保持、防风固沙等生态功能极重要区域及极敏感区域,纳入生态保护红线。

科学评估的主要步骤包括:确定基本评估单元、选择评估类型与方法、数据准备、模型运算、评估分级和现场校验。

#### (1) 确定基本评估单元

根据生态评估参数的数据可获取性,统一评估工作精度要求。原则上评估的基本空间单元应为 250m×250m 网格,有条件的地区可进一步提高精度。评估工作运行环境采用地理信息系统软件。

#### (2) 选择评估类型与方法

根据本地区生态环境特征和主要生态问题,确定生态功能和生态环境敏感性类型,并结合数据条件,选取适宜的评估方法(参见附录 A 和附录 B)。

### **(3) 数据准备**

根据评估方法，搜集评估所需的各类数据，如基础地理信息数据、土地利用现状及年度调查监测数据、气象观测数据、遥感影像、地表参量、生态系统类型与分布数据等。评估的基础数据类型为栅格数据，非栅格数据应进行预处理，统一转换为便于空间计算的网格化栅格数据。

### **(4) 模型运算**

根据评估公式，在地理信息系统软件中输入评估所需的各项参数，计算生态系统服务功能重要性和生态环境敏感性指数。

### **(5) 评估分级**

根据评估结果，将生态功能重要性依次划分为一般重要、重要和极重要 3 个等级，将生态环境敏感性依次划分为一般敏感、敏感和极敏感 3 个等级。

### **(6) 现场校核**

根据相关规划、区划中重要生态区域空间分布，结合专家知识，综合判断评估结果与实际生态状况的相符性。针对不符合实际情况的评估结果开展现场核查校验与调整，使评估结果趋于合理。

## **7.2 校验划定范围**

根据科学评估结果，将评估得到的生态功能极重要区和生态环境极敏感区进行叠加合并，并与以下保护地进行校验，形成生态保护红线空间叠加图，确保划定范围涵盖国家级和省级禁止开发区域，以及其他有必要严格保护的各类保护地。

### **(1) 国家级和省级禁止开发区域**

- 国家公园；
- 自然保护区；
- 森林公园的生态保育区和核心景观区；
- 风景名胜区的核心景区；
- 地质公园的地质遗迹保护区；
- 世界自然遗产的核心区和缓冲区；
- 湿地公园的湿地保育区和恢复重建区；
- 饮用水水源地的一级保护区；
- 水产种质资源保护区的核心区；
- 其他类型禁止开发区的核心保护区域。

对于上述禁止开发区域内的不同功能分区，应根据生态评估结果最终确定纳入生态保护红线的具体范围。位于生态空间以外或人文景观类的禁止开发区域，不纳入生态保护红线。

## **(2) 其他各类保护地**

除上述禁止开发区域以外，各地可结合实际情况，根据生态功能重要性，将有必要实施严格保护的各类保护地纳入生态保护红线范围。主要涵盖：极小种群物种分布的栖息地、国家一级公益林、重要湿地（含滨海湿地）、国家级水土流失重点预防区、沙化土地封禁保护区、野生植物集中分布地、自然岸线、雪山冰川、高原冻土等重要生态保护地。

### **7.3 确定红线边界**

将 7.2 确定的生态保护红线叠加图，通过边界处理、现状与规划衔接、跨区域协调、上下对接等步骤，确定生态保护红线边界。

### （1）边界处理

采用地理信息系统软件，对叠加图层进行图斑聚合处理，合理扣除独立细小斑块和建设用地、基本农田（综合制图方法参见附录C）。边界调整的底图建议采用第一次全国地理普查数据库或土地利用现状及年度调查监测成果，按照保护需要和开发利用现状，结合以下几类界线勾绘调整生态保护红线边界：

——自然边界，主要是依据地形地貌或生态系统完整性确定的边界，如林线、雪线、流域分界线，以及生态系统分布界线等；

——自然保护区、风景名胜区等各类保护地边界；

——江河、湖库，以及海岸等向陆域（或向海）延伸一定距离的边界；

——地理国情普查、全国土地调查、森林草原湿地荒漠等自然资源调查等明确的地块边界。

### （2）现状与规划衔接

将生态保护红线边界与各类规划、区划空间边界及土地利用现状相衔接，综合分析开发建设与生态保护的关系，结合经济社会发展实际，合理确定开发与保护边界，提高生态保护红线划定合理性和可行性。

### （3）跨区域协调

根据生态安全格局构建需要，综合考虑区域或流域生态系统完整性，以地形、地貌、植被、河流水系等自然界线为依据，充分与相邻行政区域生态保护红线划定结果进行衔接与协调，开展跨区域技术对接，确保生态保护红线空间连续，实现跨区域生态系统整体保护。

#### (4) 上下对接

采取上下结合的方式开展技术对接，广泛征求各市县各级政府意见，修改完善后达成一致意见，确定生态保护红线边界。

#### 7.4 形成划定成果

在上述工作基础上，编制生态保护红线划定文本、图件、登记表及技术报告，建立台账数据库，形成生态保护红线划定方案。

#### 7.5 开展勘界定标

根据划定方案确定的生态保护红线分布图，搜集红线附近原有平面控制点坐标成果、控制点网图，以高清正射影像图、地形图和地籍图等相关资料为辅助，调查生态保护红线各类基础信息，明确红线区块边界走向和实地拐点坐标，详细勘定红线边界。选定界桩位置，完成界桩埋设，测定界桩精确空间坐标，建立界桩数据库，形成生态保护红线勘测定界图。

设立统一规范的标识标牌，主要内容包括生态保护红线区块的范围、面积、具体拐点坐标、保护对象、主导生态功能、主要管控措施、责任人、监督管理电话等。

生态保护红线划定技术流程参见图 1。



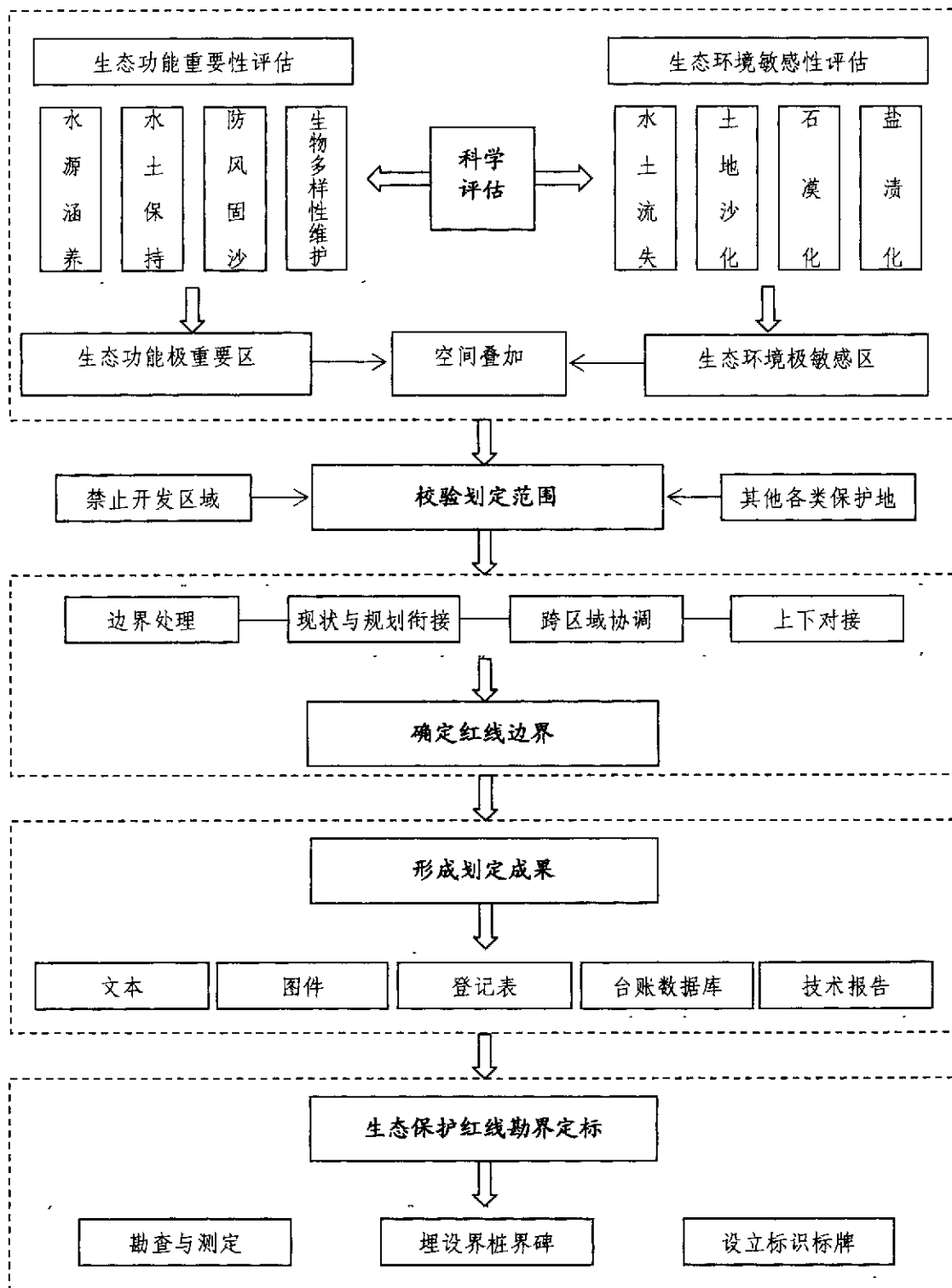


图1 生态保护红线划定技术流程

## 8 命名与编码

### 8.1 命名

生态保护红线命名采取“自然地理单元+主导生态功能+生态保护红线”的命名方式，如“燕山水源涵养生态保护红线”。

落到具体地块，增加生态保护红线所属县级行政区，即“县级行政区+自然地理单元+主导生态功能（或生态环境敏感性）+生态保护红线”的命名方式，如“密云区密云水库水源涵养生态保护红线”，以便以县域为基本单元建立生态保护红线台账系统。

### 8.2 编码

为加强生态保护红线信息化管理，对生态保护红线实行统一编码，采用“行政代码-类型代码-数量代码”的三级编码方式（见表1）。

（1）行政代码以县级行政区为单位，由6位阿拉伯数字组成。

（2）类型代码由2位数字组成，第1位表示类型特征，其中，1表示生态功能，2表示生态环境敏感性。后1位表示属性分类，其中，生态功能包括：1-水源涵养，2-生物多样性维护，3-水土保持，4-防风固沙，5-其他生态功能。生态环境敏感性包括：1-水土流失，2-土地沙化，3-石漠化，4-盐渍化，5-其他敏感性。

（3）数量代码表示某一类型生态保护红线的地块序号，从001开始编号。

表1 生态保护红线编码方式

行政代码	类型代码				数量代码
	一级编码	名称	二级编码	名称	
××××××	1	生态功能	1	水源涵养	001 002 .....
			2	生物多样性维护	
			3	水上保持	
			4	防风固沙	
			5	其他生态功能	
	2	生态环境敏感性	1	水土流失	
			2	土地沙化	
			3	石漠化	
			4	盐渍化	
			5	其他敏感性	

## 9 成果要求

生态保护红线划定成果包括文本、图件、登记表、台账数据库、技术报告等。

### 9.1 文本

生态保护红线划定文本内容主要包括：划定生态保护红线的重要作用和必要性，指导思想、基本原则和目标，生态保护红线类型与概述，管控措施，生态保护红线汇总表（格式参见附录D）。

### 9.2 图件

生态保护红线图件数据采用 2000 国家大地坐标系统，高斯-克吕格投影，1985 国家高程基准；省级层面基本比例尺为 1: 5 万，县级层面基本比例尺原则上不小于 1: 1 万，基础数据不满足要求的可采用 1: 5 万。

生态保护红线图件应包括但不限于：

- (1) 生态保护红线分布图
- (2) 生态功能重要性评估系列图
- (3) 生态环境敏感性评估系列图
- (4) 禁止开发区域分布图
- (5) 其他保护地分布图

### 9.3 登记表

以县级行政区为基本单元，编制生态保护红线登记表。登记表内容主要包括红线区块代码、名称、类型、地理位置、面积、人口数量、生态功能、主要生态环境问题、主要人类活动、管控措施等基本信息（登记表格式参见附录 E）。

### 9.4 台账数据库

以县级行政区为基本单元，构建生态保护红线台账数据库。台账信息主要包括红线区块登记表信息、基础地理信息、气象观测要素、社会经济要素、地面监测要素、遥感影像、地表生态参数、土地权属等。

### 9.5 技术报告

以文字报告形式表述生态保护红线划定的主要内容（格式参见附录 F）。

## 10 附则

本指南由环境保护部、国家发展改革委负责解释。

本指南自发布之日起实施，《生态保护红线划定技术指南》（环发〔2015〕56号）同时废止。

# 生态系统服务功能重要性评估方法

目前，生态系统服务功能采用的评估方法主要有模型评估法和净初级生产力（NPP）定量指标评估法。其中，模型评估法所需参数较多，对数据需求量较大，准确度较高；定量指标法以 NPP 数据为主，参数较少，操作较为简单，但其适用范围具有地域性。为提高评估结论的准确性以及与实地的相符性，评估方法的参数选取可在评估过程进行适当调整和细化，尽可能采用国内权威的、分辨率更高的基础数据。评估结果还需根据实地观测、调查结果进一步校验。

对于全国和各省生态保护红线划定，可使用 NPP 定量指标法、模型法及其他常用评估方法。鉴于国家发展改革委在资源环境承载力评估中使用的方法为模型法，为保持评估结果的一致性，建议各地优先使用模型法。

### A.1 模型评估法

#### A.1.1 水源涵养功能重要性评估

水源涵养是生态系统（如森林、草地等）通过其特有的结构与水相互作用，对降水进行截留、渗透、蓄积，并通过蒸散发实现对水流、水循环的调控，主要表现在缓和地表径流、补充地下水、减缓河流流量的季节波动、滞洪补枯、保证水质等方面。以水源涵养量作为生态系统水源涵养功能的评估指标。

##### A.1.1.1 评估模型

采用水量平衡方程来计算水源涵养量，计算公式为：

$$TQ = \sum_{i=1}^j (P_i - R_i - ET_i) \times A_i \times 10^3$$

式中： $TQ$ 为总水源涵养量（ $m^3$ ）， $P_i$ 为降雨量（ $mm$ ）， $R_i$ 为地表径流量（ $mm$ ）， $ET_i$ 为蒸散发（ $mm$ ）， $A_i$ 为  $i$  类生态系统面积（ $km^2$ ）， $i$  为研究区第  $i$  类生态系统类型， $j$  为研究区生态系统类型数。

### A.1.1.2 数据准备

#### (1) 数据来源与获取

根据上述模型，水源涵养功能重要性评估需收集生态系统类型数据集、气象数据集和蒸散发数据集等，具体信息见表 A1。

表 A1 水源涵养功能重要性评估数据表

名称	类型	分辨率	数据来源
生态系统类型数据集	矢量	--	全国生态状况遥感调查与评估成果
气象数据集	文本	--	中国气象科学数据共享服务网
蒸散发数据集	栅格	1km	国家生态系统观测研究网络科技资源服务系统网站

#### (2) 数据预处理

**降雨量因子：**根据气象数据集处理得到。在 Excel 中计算出区域所有气象站点的多年平均降水量，将这些值根据相同的站点名与 ArcGIS 中的站点（点图层）数据相连接（Join）。在 Spatial Analyst 工具中选择 Interpolate to Raster 选项，选择相应的插值方法得到降水量因子栅格图。

**地表径流因子：**降雨量乘以地表径流系数获得，计算公式如下：

$$R = P \times \alpha$$

式中： $R$ 为地表径流量（ $mm$ ）， $P$ 为多年平均降雨量（ $mm$ ）， $\alpha$ 为平均地表径流系数，如表 A2 所示。

表 A2 各类型生态系统地表径流系数均值表

生态系统类型 1	生态系统类型 2	平均地表径流系数 (%)
森林	常绿阔叶林	2.67
	常绿针叶林	3.02
	针阔混交林	2.29
	落叶阔叶林	1.33
	落叶针叶林	0.88
	稀疏林	19.20
灌丛	常绿阔叶灌丛	4.26
	落叶阔叶灌丛	4.17
	针叶灌丛	4.17
	稀疏灌丛	19.20
草地	草甸	8.20
	草原	4.78
	草丛	9.37
	稀疏草地	18.27
湿地	湿地	0.00

**蒸散发因子：**根据国家生态系统观测研究网络科技资源服务系统网站提供的产品数据。原始数据空间分辨率为 1km，通过 ArcGIS 软件重采样为 250m 空间分辨率，得到蒸散发因子栅格图。

**生态系统面积因子：**根据全国生态状况遥感调查与评估成果中的生态系统类型数据集得到。原始数据为矢量数据，通过 ArcGIS 软件转为 250m 空间分辨率的栅格图。

#### A. 1. 1. 3 模型运算

将各因子统一成 250m 分辨率的栅格数据，在 ArcGIS 栅格计算器 (Spatial Analyst→Raster Calculator) 中，根据公式计算得到生态系统水源涵养量。

### A.1.2 水土保持功能重要性评估

水土保持是生态系统（如森林、草地等）通过其结构与过程减少由于水蚀所导致的土壤侵蚀的作用，是生态系统提供的重要调节服务之一。水土保持功能主要与气候、土壤、地形和植被有关。以水土保持量，即潜在土壤侵蚀量与实际土壤侵蚀量的差值，作为生态系统水土保持功能的评估指标。

#### A.1.2.1 评估模型

采用修正通用水土流失方程（RUSLE）的水土保持服务模型开展评价，公式如下：

$$A_c = A_p - A_r = R \times K \times L \times S \times (1 - C)$$

式中， $A_c$  为水土保持量（ $t/hm^2 \cdot a$ ）； $A_p$  为潜在土壤侵蚀量； $A_r$  为实际土壤侵蚀量； $R$  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（ $t \cdot hm^2 \cdot h/hm^2 \cdot MJ \cdot mm$ ）； $L$ 、 $S$  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。

#### A.1.2.2 数据准备

##### (1) 数据来源与获取

根据上述模型，水土保持功能重要性评估需收集高程数据集、气象数据集和土壤数据集等数据，具体信息见表 A3。



表 A3 水土保持功能重要性评估数据表

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
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

## (2) 数据预处理

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, 计算公式如下:

$$R = \sum_{k=1}^{24} \bar{R}_{\text{半月}k}$$

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

式中,  $R$  为多年平均年降雨侵蚀力 ( $\text{MJ}\cdot\text{mm}/\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a}$ );  $\bar{R}_{\text{半月}k}$  为第  $k$  个半月的降雨侵蚀力 ( $\text{MJ}\cdot\text{mm}/\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a}$ );  $k$  为一年的 24 个半月,  $k=1, 2, \dots, 24$ ;  $i$  为所用降雨资料的年份,  $i=1, 2, \dots, n$ ;  $j$  为第  $i$  年第  $k$  个半月侵蚀性降雨日的天数,  $j=1, 2, \dots, m$ ;  $P_{i,j,k}$  为第  $i$  年第  $k$  个半月第  $j$  个侵蚀性日降雨量 ( $\text{mm}$ ), 可以根据全国范围内气象站点多年的逐日降雨量资料, 通过插值获得; 或者直接采用国家气象局的逐日降雨量数据产品。  $\alpha$  为参数, 暖季时  $\alpha = 0.3937$ , 冷季时  $\alpha = 0.3101$ 。

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, 计算公式如下:

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

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

式中,  $K_{EPIC}$ 表示修正前的土壤可蚀性因子,  $K$ 表示修正后的土壤可蚀性因子,  $m_c$ 、 $m_{silt}$ 、 $m_s$ 和  $orgC$ 分别为粘粒 (< 0.002 mm)、粉粒 (0.002 mm ~ 0.05 mm)、砂粒 (0.05 mm ~ 2 mm) 和有机碳的百分比含量 (%), 数据来源于中国 1: 100 万土壤数据库。在 Excel 表格中, 利用上述公式计算  $K$  值, 然后以土壤类型图作为工作底图, 在 ArcGIS 中将  $K$  值连接 (Join) 到底图上。利用 Conversion Tools 中矢量转栅格工具, 转换成空间分辨率为 250m 的土壤可蚀性因子栅格图。

**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。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。选择高程数据集, 在 Spatial Analyst 下使用 Neighborhood Statistics, 设置 Statistic Type 为最大值和最小值, 即得到高程数据集的最大值和最小值, 然后在 Spatial Analyst 下使用栅格计算器 Raster Calculator, 公式为 [最大值-最小值], 获取地形起伏度, 即地形因子栅格图。

**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, 计算公式如下:

$$C_{\text{旱}}=0.221-0.595\log c_1$$

式中， $C_{\text{旱}}$ 为旱地的植被覆盖因子， $c_1$ 为小数形式的植被覆盖度。其余生态系统类型按不同植被覆盖度进行赋值，如表 A4 所示。

表 A4 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

### A. 1. 2. 3 模型运算

将各因子统一成 250m 分辨率的栅格数据，在 ArcGIS 栅格计算器 (Spatial Analyst→Raster Calculator) 中，根据公式计算得到生态系统水土保持量。

### A. 1. 3 防风固沙功能重要性评估

防风固沙是生态系统 (如森林、草地等) 通过其结构与过程减少由于风蚀所导致的土壤侵蚀的作用，是生态系统提供的重要调节服务之一。防风固沙功能主要与风速、降雨、温度、土壤、地形和植被等因素密切相关。以防风固沙量 (潜在风蚀量与实际风蚀量的差值) 作为生态系统防风固沙功能的评估指标。

#### A. 1. 3. 1 评估模型

采用修正风蚀方程来计算防风固沙量，公式如下：

$$SR=S_{L_{\text{潜}}}-S_L$$

$$S_L = \frac{2 \cdot Z}{S^2} Q_{MAX} \cdot e^{-(Z/S)^2}$$

$$S = 150.71 \cdot (WF \times EF \times SCF \times K' \times C)^{-0.3711}$$

$$Q_{max} = 109.8 [WF \times EF \times SCF \times K' \times C]$$

$$S_{L潜} = \frac{2 \cdot Z}{S_{潜}^2} Q_{MAX潜} \cdot e^{-(Z/S_{潜})^2}$$

$$Q_{MAX潜} = 109.8 [WF \times EF \times SCF \times K']$$

$$S_{潜} = 150.71 (WF \times EF \times SCF \times K')^{-0.3711}$$

式中， $SR$ 为固沙量 ( $t \text{ km}^{-2} \text{ a}^{-1}$ )； $S_{L潜}$ 为潜在风力侵蚀量 ( $t \text{ km}^{-2} \text{ a}^{-1}$ )； $S_L$ 为实际风力侵蚀量 ( $t \text{ km}^{-2} \text{ a}^{-1}$ )； $Q_{MAX}$ 为最大转移量 ( $kg/m$ )； $Z$ 为最大风蚀出现距离 ( $m$ )； $WF$ 为气候因子 ( $kg/m$ )； $K'$ 为地表糙度因子； $EF$ 为土壤可蚀因子； $SCF$ 为土壤结皮因子； $C$ 为植被覆盖因子。

### A. 1. 3. 2 数据准备

#### (1) 数据来源与获取

根据上述评估模型，防风固沙功能重要性评估需用到遥感数据集、高程数据集、气象数据集和土壤数据集等数据，具体信息见表A5。

表 A5 防风固沙功能重要性评估数据表

名称	类型	分辨率	数据来源
遥感数据集	栅格	250m	美国国家航空航天局 (NASA) 网站或地理空间数据云网站
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
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
中国地区 Mod1s 雪盖产品数据集	栅格	0.05 度	寒区旱区科学数据中心

## (2) 数据预处理

### 气候因子 $WF$

$$WF = wf \times \frac{\rho}{g} \times SW \times SD$$

式中,  $WF$ 为气候因子, 单位为  $\text{kg/m}$ , 12个月  $WF$ 总和得到多年年均  $WF$ ;  $wf$ 为各月多年平均风力因子,  $\rho$ 为空气密度,  $g$ 为重力加速度; 在 Excel 中计算出区域所有气象站点的多年平均风力, 将这些值根据相同的站点名与 ArcGIS 中的站点(点图层)数据相连接(Join)。在 Spatial Analyst 工具中选择 Interpolate to Raster 选项, 选择相应的插值方法得到各月多年平均风力因子栅格图。 $SW$ 为各月多年平均土壤湿度因子, 无量纲;  $SD$ 为雪盖因子, 无量纲。雪盖数据来源于寒区旱区科学数据中心的 中国地区 Modis 雪盖产品数据集。

### 土壤可蚀因子 $EF$

$$EF = \frac{29.09 + 0.31sa + 0.17si + 0.33(sa/cl) - 2.59OM - 0.95Caco_3}{100}$$

式中,  $sa$ 为土壤粗砂含量(0.2 mm ~ 2 mm)(%);  $si$ 为土壤粉砂含量(%);  $cl$ 为土壤粘粒含量(%);  $OM$ 为土壤有机质含量(%);  $Caco_3$ 为碳酸钙含量(%), 可不予考虑。

### 土壤结皮因子 $SCF$

$$SCF = \frac{1}{1 + 0.0066(cl)^2 + 0.021(OM)^2}$$

式中,  $cl$ 为土壤粘粒含量(%);  $OM$ 为土壤有机质含量(%)。

### 植被覆盖因子 $C$

不同植被类型的防风固沙效果不同，研究将植被分为林地、灌丛、草地、农田、裸地和沙漠六个植被类型，根据不同的系数计算各植被覆盖因子  $C$  值：

$$C = e^{a_i(SC)}$$

式中， $SC$  为植被覆盖度，计算公式见 A.1.2.2； $a_i$  为不同植被类型的系数，分别为：林地 0.1535，草地 0.1151，灌丛 0.0921，裸地 0.0768，沙地 0.0658，农田 0.0438。

#### 地表糙度因子 $K'$

$$K' = e^{(1.86 K_r - 2.41 K_r^{0.934} - 0.127 Crr)}$$

$$K_r = 0.2 \cdot \frac{(\Delta H)^2}{L}$$

式中， $K_r$  为土垄糙度，以 Smith-Carson 方程加以计算，单位 cm； $Crr$  为随机糙度因子，取 0，单位 cm； $L$  为地势起伏参数； $\Delta H$  为距离  $L$  范围内的海拔高程差，在 GIS 软件中使用 Neighborhood statistics 工具计算 DEM 数据相邻单元格地形起伏差值获得。

#### A.1.3.3 模型运算

将各因子统一成 250m 分辨率的栅格数据，在 ArcGIS 栅格计算器 (Spatial Analyst→Raster Calculator) 中，根据公式计算得到生态系统防风固沙量。

#### A.1.4 生物多样性维护功能重要性评估

生物多样性维护功能是生态系统在维持基因、物种、生态系统多样性发挥的作用，是生态系统提供的最主要功能之一。生物多样性维护功能与珍稀濒危和特有动植物的分布丰富程度密切相关，主

要以国家一、二级保护物种和其他具有重要保护价值的物种（含旗舰物种）作为生物多样性保护功能的评估指标。

#### A. 1. 4. 1 评估模型

以国家一、二级保护物种和其他具有重要保护价值的物种为保护目标，全面收集区域动植物多样性和环境资源数据，建立物种分布数据库。根据关键物种分布点的环境信息和背景信息，应用物种分布模型（Species Distribution Models, SDMs）量化物种对环境的依赖关系，从而预测任何一点某物种分布的概率，结合关键物种的实际分布范围最终划定确保物种长期存活的保护红线。

#### A. 1. 4. 2 数据准备

##### （1）物种分布数据库

物种分布数据库是以物种名、经纬度和调查时间为核心信息的数据库。物种名分为中文名和拉丁名两个字段；经纬度字段以度为单位，保留小数点后 5 位数字，并记录数据精度，野外调查中通过 GPS 记录的数据精度一般在十几米，根据地名信息（县名、乡镇名、河流、山脉等）匹配的经纬度精度一般在几公里至几十公里；时间字段为年（如 1998，2005 等），记录日期与时间、调查的时间阶段等信息。此外，可增加备注字段（memo），记录任何相关信息（该字段不限长度）。各数据来源（调查人、文献等）应记录在数据库中。数据库软件可采用 MS Access。

##### （2）利用物种分布模型预测物种的分布

建立物种分布的数据库后，配合环境变量，即可应用物种分布模型预测物种的分布。

### ①环境变量

每个环境变量以 GIS 图层的形式储存和管理，范围覆盖整个中国。对于空间范围超过 1000 万平方公里的分析，精度为 1 平方公里的栅格数据是最常用的。

常用的环境变量有：

地形地貌变量：海拔、坡度、坡向；

地表类型变量：土地覆被类型、植被类型、土壤类型；

气候变量：年均温、年均降水量的季节变异、1 月最低温、1 月均温、1 月降水量、7 月最高温、7 月均温、7 月降水量、年均温度变化范围、干燥度、辐射强度；

生态指标：植被净初级生产力、NDVI、土层厚度、土壤氮含量、土壤碳含量等；

人文指标：GDP、人口密度、道路密度、乡镇密度、河流密度等。

### ②物种分布模型

常用的物种分布模型主要包括回归模型、分类树和混合大量简单模型的神经网络、随机森林等。其中逻辑斯蒂回归是最为简单、应用最广的模型。机器学习类复杂模型（如随机森林、神经网络、Maxent 等）的预测精度较高，近年来应用较多。

逻辑斯蒂回归是广义线性模型（Generalized Linear Models）的一种形式。广义线性模型是一般线性模型的扩展，允许因变量为二项分布、泊松分布等离散型的分布；而一般线性模型要求因变量为连续变量，而且其残差为正态分布。大多数统计软件在运行广义线性模型时，都可以应用逐步回归，依据模型拟合优度的统计量



Akaike Information Criterion (AIC) 或 Bayesian Information Criteria (BIC) 去除冗余变量, 减少共线性。

随机森林 (Random Forest) 应用 Breiman 的随机森林算法, 通过对大量的分类树的计算来进行分类和回归。随机森林把一组解释变量的值 (一个向量) 输入森林中的每棵分类树中, 每棵树都给出这个向量的分类结果 (例如物种存在还是不存在)。随机森林对所有的树的分类结果进行打分, 并选择得分最高的分类树。整个算法包括树的生长阶段和投票选择阶段。随机森林在树的构建过程中, 随机地从源数据集获取训练集, 随机地选择训练集的变量, 因此和其他树分类器的工作原理完全不同。随机森林构建的组合树的误差率更加小且稳定。

### ③ 预测分布范围

物种的每个分布点都对应着环境变量的信息, 如海拔 1500 米, 植被类型为灌丛, 人口密度为 5 人/平方公里等。根据物种分布点的环境信息和背景信息 (整个区域), 物种分布模型可以量化物种对环境的依赖关系, 从而预测任何一点 (该点必须有环境变量的信息) 物种分布的概率。

一般可随机选择地点预测物种分布的概率, 也可以按照 0.2 度的间隔在全国选择预测点 (如动物红线划分中选择 23953 个), 预测物种在这些预测点的分布概率。有两种物种分布模型 (即 Maxent 和 GARP) 直接调用环境变量的 GIS 图层, 并生成预测图层, 所以不需要选择预测点。在生成 23953 点表示物种分布的概率后, 可以通过几个途径划出等值线。例如, GIS 的空间插值法可以生成等值线图,

等值线取值范围在 0-1 之间，代表了物种分布的概率，或者生境适宜度。

## A. 2 NPP 定量指标评估方法

### A. 2. 1 水源涵养功能重要性评估

#### A. 2. 1. 1 评估模型

以生态系统水源涵养服务能力指数作为评估指标，计算公式为：

$$WR = NPP_{mean} \times F_{sic} \times F_{pre} \times (1 - F_{slo})$$

式中， $WR$  为生态系统水源涵养服务能力指数， $NPP_{mean}$  为多年植被净初级生产力平均值， $F_{sic}$  为土壤渗流因子， $F_{pre}$  为多年平均降水量因子， $F_{slo}$  为坡度因子。

#### A. 2. 1. 2 数据准备

##### (1) 数据来源与获取

根据上述评估模型，水源涵养服务功能评估所需数据包括 NPP 数据集、土壤数据集、气象数据集、高程数据集等，具体信息见表 A6。

表 A6 水源涵养服务功能评估数据表

名称	类型	分辨率	数据来源
NPP 数据集	栅格	250m	全国生态状况遥感调查与评估成果
土壤数据集	栅格	1km	寒区旱区科学数据中心
气象数据集	文本	—	中国气象科学数据共享服务网
高程数据集	栅格	30m	地理空间数据云网站

##### (2) 数据预处理

土壤渗流因子  $F_{sic}$ ：采用 ArcGIS 软件打开土壤数据集中的栅格图 HWSD-China-Albers.img，将该栅格图属性中的 value 字段与

HWSD.mdb(土壤属性表)的字段 MU\_GLOBAL 连接,将字段 T\_USDA\_TEX 的属性值除以 13,得到土壤渗流因子栅格图。

**多年平均降水量因子  $F_{pro}$ :** 在 Excel 中计算出区域所有气象站点的多年平均降水量,将这些值根据相同的站点名与 ArcGIS 中的站点(点图层)数据相连接(Join)。在 Spatial Analyst 工具中选择 Interpolate to Raster 选项,选择相应的插值方法得到多年平均降水量栅格图。

**坡度因子  $F_{slo}$ :** 根据评估区域高程数据集,采用 ArcGIS 软件中 Spatial Analyst 工具条下的 Surface Analysis→Slope 选项计算得到坡度栅格图。

### A. 2. 1. 3 模型运算

将各因子数据统一成 250m 分辨率的栅格数据,在 ArcGIS 栅格计算器(Spatial Analyst→Raster Calculator)中,采用最大最小值法将数据归一化到 0-1 之间,根据公式计算得到生态系统水源涵养服务能力指数。

## A. 2. 2 水土保持功能重要性评估

### A. 2. 2. 1 评估模型

以生态系统水土保持服务能力指数作为评估指标,计算公式为:

$$S_{pro} = NPP_{mean} \times (1 - K) \times (1 - F_{slo})$$

式中:  $S_{pro}$  为水土保持服务能力指数,  $NPP_{mean}$  为多年植被净初级生产力平均值,  $F_{slo}$  为坡度因子,  $K$  为土壤可蚀性因子。

### A. 2. 2. 2 数据准备

#### (1) 数据来源与获取

根据上述评估模型，水土保持服务功能评估所需数据包括 NPP 数据集、土壤数据集、高程数据集等，具体信息见表 A7。

表 A7 水土保持服务功能评估数据表

名称	类型	分辨率	数据来源
NPP 数据集	栅格	250m	全国生态状况遥感调查与评估成果
土壤数据集	栅格	1km	寒区旱区科学数据中心
高程数据集	栅格	30m	地理空间数据云网站

## (2) 数据预处理

坡度因子  $F_{slo}$ : 计算方法同 A. 2. 1. 2。

土壤可蚀性因子  $K$ : 计算方法同 A. 1. 2. 2。

### A. 2. 2. 3 模型运算

将  $K$  值数据重采样至 250m 栅格，采用最大最小值法将重采样数据归一化到 0-1 之间，根据公式计算得到生态系统水土保持服务能力指数。

## A. 2. 3 防风固沙功能重要性评估

### A. 2. 3. 1 评估模型

以生态系统防风固沙服务能力指数作为评估指标，计算公式为：

$$S_{us} = NPP_{mean} \times K \times F_q \times D$$

$$F_q = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{12} u^3 \left\{ \frac{ETP_i - P_i}{ETP_i} \right\} \times d$$

$$ETP_i = 0.19(20 + T_i) \times (1 - r_i)$$

$$u_2 = u_1(z_2/z_1)^{1/7}$$

$$D = 1 / \cos(\theta)$$

式中： $S_{vs}$ 为防风固沙服务能力指数， $NPP_{mean}$ 为多年植被净初级生产力平均值， $K$ 为土壤可蚀性因子， $F_q$ 为多年平均气候侵蚀力， $u$ 为2m高处的月平均风速， $u_1$ 、 $u_2$ 分别表示在 $z_1$ 、 $z_2$ 高度处的风速， $ETP_i$ 为月潜在蒸发量(mm)， $P_i$ 为月降水量(mm)， $d$ 为当月天数， $T_i$ 为月平均气温， $r_i$ 为月平均相对湿度(%)， $D$ 为地表粗糙度因子， $\theta$ 为坡度(弧度)。

### A. 2. 3. 2 数据准备

#### (1) 数据来源与获取

根据上述评估模型，防风固沙服务功能评估所需数据包括 NPP 数据集、气象数据集、DEM 数据集等，具体信息见表 A8。

表 A8 防风固沙服务功能评估数据表

名称	类型	分辨率	数据来源
NPP 数据集	栅格	250m	全国生态状况遥感调查与评估成果
气象数据集	文本	—	中国气象科学数据共享服务网
DEM 数据集	栅格	30m	地理空间数据云网站

#### (2) 数据预处理

土壤可蚀性因子  $K$ : 计算方法同 A. 1. 2. 2。

月潜在蒸发量因子  $ETP_i$ : 在 Excel 中计算出区域所有气象站点的月潜在蒸发量，在 ArcGIS 软件中 Spatial Analyst 工具条下选择 Interpolate to Raster 选项，选择相应的插值方法得到多年潜在蒸发量栅格图。

多年平均气候侵蚀力因子  $F_q$ : 根据公式将 2m 高处的月平均风速换算成 10m 高处的月平均风速；根据公式在 Excel 中计算出区域所有气象站点的多年平均气候侵蚀力，在 ArcGIS 软件中 Spatial Analyst 工具条下选择 Interpolate to Raster 选项，选择相应的插值方法

得到多年平均气候侵蚀力栅格图。

地表粗糙度因子  $D$ : 在 ArcGIS 栅格计算器 (Spatial Analyst→Raster Calculator) 中计算  $1/\cos(\text{坡度}(\text{°}) \times 3.1415926/180)$ 。

### A. 2. 3. 3 模型运算

将各因子数据重采样至 250m 栅格, 在 ArcGIS 栅格计算器 (Spatial Analyst→Raster Calculator) 中, 采用最大最小值法将重采样数据归一化到 0-1 之间, 根据公式计算得到生态系统防风固沙服务能力指数。

### A. 2. 4 生物多样性维护功能重要性评估

#### A. 2. 4. 1 评估模型

以生物多样性维护服务能力指数作为评估指标, 计算公式为:

$$S_{bio} = NPP_{mean} \times F_{pre} \times F_{tem} \times (1 - F_{alt})$$

式中:  $S_{bio}$  为生物多样性维护服务能力指数,  $NPP_{mean}$  为多年植被净初级生产力平均值,  $F_{pre}$  为多年平均降水量,  $F_{tem}$  为多年平均气温,  $F_{alt}$  为海拔因子。

#### A. 2. 4. 2 数据准备

##### (1) 数据来源与获取

根据上述评估模型, 生物多样性维护功能评估所需数据包括 NPP 数据集、气象数据集、高程数据集等, 具体信息见表 A9。

表 A9 生物多样性维护功能评估数据表

名称	类型	分辨率	数据来源
NPP 数据集	栅格	250m	全国生态状况遥感调查与评估成果
气象数据集	文本	—	中国气象科学数据共享服务网
高程数据集	栅格	30m	地理空间数据云网站

## (2) 数据预处理

多年平均降水量因子  $F_{pre}$ : 计算方法同 A. 2. 1. 2。

多年平均气温因子  $F_{tem}$ : 在 Excel 中计算出区域所有气象站点的多年平均气温, 将这些值根据相同的站点名与 ArcGIS 中的站点 (点图层) 数据相连接 (Join)。在 Spatial Analyst 工具中选择 Interpolate to Raster 选项, 选择相应的插值方法得到多年平均气温栅格图。

### A. 2. 4. 3 模型运算

将各因子数据重采样至 250m 栅格, 在 ArcGIS 栅格计算器 (Spatial Analyst→Raster Calculator) 中, 采用最大最小值法将重采样数据归一化到 0-1 之间, 根据公式计算得到生物多样性维护服务能力指数。

## A. 3 评估分级

通过模型计算, 得到不同类型生态系统服务值 (如水源涵养量) 栅格图。在地理信息系统软件中, 运用栅格计算器, 输入公式 “Int ([某一功能的栅格数据]/[某一功能栅格数据的最大值] × 100)”, 得到归一化后的生态系统服务值栅格图。导出栅格数据属性表, 属性表记录了每一个栅格像元的生态系统服务值, 将服务值按从高到低的顺序排列, 计算累加服务值。将累加服务值占生态系统服务总值比例的 50% 与 80% 所对应的栅格值, 作为生态系统服务功能评估分级的分界点, 利用地理信息系统软件的重分类工具, 将生态系统服务功能重要性分为 3 级, 即极重要、重要和一般重要。

表 A10 生态系统服务功能评估分级

重要性等级	极重要	重要	一般重要
累积服务值占服务总值比例 (%)	50	30	20



## 生态环境敏感性评估方法

陆地生态环境敏感性评估主要包括水土流失敏感性、土地沙化敏感性、石漠化敏感性、盐渍化敏感性评估，具体评估方法如下。各地可根据区域生态环境实际，开展其他类型敏感性评估，如地质灾害敏感性评估。为提高评估结论的准确性以及与实地的相符性，评估方法的参数选取可在评估过程进行适当调整和细化，尽可能采用国内权威的、分辨率更高的基础数据。

### B.1 水土流失敏感性评估

#### B.1.1 评估模型

根据土壤侵蚀发生的动力条件，水土流失类型主要有水力侵蚀和风力侵蚀。以风力侵蚀为主带来的水土流失敏感性将在土地沙化敏感性中进行评估，本节主要对水动力为主的水土流失敏感性进行评估。参照原国家环保总局发布的《生态功能区划暂行规程》，根据通用水土流失方程的基本原理，选取降水侵蚀力、土壤可蚀性、坡度坡长和地表植被覆盖等指标。将反映各因素对水土流失敏感性的单因子评估数据，用地理信息系统技术进行乘积运算，公式如下：

$$SS_i = \sqrt{R_i \times K_i \times LS_i \times C_i}$$

式中： $SS_i$  为  $i$  空间单元水土流失敏感性指数，评估因子包括降雨侵蚀力 ( $R_i$ )、土壤可蚀性 ( $K_i$ )、坡长坡度 ( $LS_i$ )、地表植被覆盖 ( $C_i$ )。

## B.1.2 数据准备

### (1) 数据来源与获取

根据上述评估模型，水土流失敏感性评估所需数据包括气象数据集、土壤数据集、高程数据集、遥感数据集等，具体信息见表 B1。

表 B1 水土流失敏感性评估数据表

名称	类型	分辨率	数据来源
气象数据集	文本	—	文献
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
高程数据集	栅格	30m	地理空间数据云
遥感数据集	栅格	250m	美国国家航空航天局 (NASA) 网站 地理空间数据云网站

### (2) 数据预处理

降雨侵蚀力因子  $R_i$ : 可根据西北农林科技大学王万忠教授等利用降水资料计算的中国 100 多个城市的  $R$  值，用 ArcGIS 软件，在 Spatial Analyst 工具中选择 Interpolate to Raster 选项，采用相应的插值方法绘制  $R$  值栅格分布图。

坡度坡长因子  $LS_i$ : 计算方法同 A.1.2.2。

土壤可蚀性因子  $K_i$ : 计算方法同 A.1.2.2。

植被覆盖度因子  $C_i$ : 植被覆盖度信息提取是在对光谱信号进行分析的基础上，通过建立归一化植被指数与植被覆盖度的转换信息，直接提取植被覆盖度信息。

$$C_i = (NDVI - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil})$$

式中： $NDVI_{veg}$  为完全植被覆盖地表所贡献的信息， $NDVI_{soil}$  为无植被覆盖地表所贡献的信息。

覆盖全国的 MODIS NDVI 数据，来源于美国国家航空航天局 (NASA) 的 EOS/MODIS 数据产品 (<http://e4ft101.cr.usgs.gov>)，空间分辨率为 250 m×250 m，时间分辨率为 16d。运用地理信息系统软件进行图像处理，获取植被 NDVI 影像图。由于大部分植被覆盖类型是不同植被类型的混合体，所以不能采用固定的  $NDVI_{soil}$  和  $NDVI_{veg}$  值，通常根据 NDVI 的频率统计表，计算 NDVI 的频率累积值，累积频率为 2% 的 NDVI 值为  $NDVI_{soil}$ ，累积频率为 98% 的 NDVI 值为  $NDVI_{veg}$ 。然后在 Spatial Analyst 下使用栅格计算器 Raster Calculator，进而计算植被覆盖度。

各项指标综合采用自然分界法与专家知识确定分级赋值标准，不同评估指标对应的敏感性等级值见表 B2。

表 B2 水土流失敏感性的评估指标及分级

指标	降雨侵蚀力	土壤可蚀性	地形起伏度	植被覆盖度	分级赋值
一般敏感	<100	石砾、沙、粗砂土、细砂土、粘土	0-50	$\geq 0.6$	1
敏感	100-600	面砂土、壤土、砂壤土、粉粘土、壤粘土	50-300	0.2~0.6	3
极敏感	>600	砂粉土、粉土	>300	$\leq 0.2$	5

### B. 1. 3 模型运算

将各因子统一成 250m 分辨率的栅格数据，在 ArcGIS 栅格计算器 (Spatial Analyst→Raster Calculator) 中，根据评估模型计算得到水土流失敏感性指数。

## B. 2 土地沙化敏感性评估

### B. 2. 1 评估模型

参照《生态功能区划暂行规程》，选取干燥度指数、起沙风天数、

土壤质地、植被覆盖度等指标。利用地理信息系统的空间分析功能，将各单因子敏感性影响分布图进行乘积运算，得到评估区的土地沙化敏感性等级分布图，公式如下：

$$D_i = \sqrt[3]{I_i \times W_i \times K_i \times C_i}$$

式中： $D_i$ 为  $i$  评估区域土地沙化敏感性指数； $I_i$ 、 $W_i$ 、 $K_i$ 、 $C_i$ 分别为评估区域干燥度指数、起沙风天数、土壤质地和植被覆盖的敏感性等级值。

### B. 2. 2 数据准备

#### (1) 数据来源与获取

根据上述评估模型，土地沙化敏感性评估所需数据包括气象数据、土壤数据、遥感数据等，具体信息见表 B3。

表 B3 土地沙化敏感性评估数据表

名称	类型	分辨率	数据来源
气象数据集	文本	—	中国气象科学数据共享服务网
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
遥感数据集	栅格	250m	美国国家航空航天局 (NASA) 网站 地理空间数据云网站

#### (2) 数据预处理

干燥度指数因子  $I_i$ ：表征一个地区干湿程度，反映了某地、某时水分的收入和支出状况。采用修正的谢良尼诺夫公式计算干燥度指数。在 Excel 中计算出区域所有气象站点全年  $\geq 10^\circ\text{C}$  的积温和全年  $\geq 10^\circ\text{C}$  期间的降雨量，然后利用下述干燥度指数公式计算干燥度指数，将这些值根据相同的站点名与 ArcGIS 中的站点（点图层）数据相连接（Join）。在 Spatial Analyst 工具中选择 Interpolate to Raster

选项,采用 Kriging 插值方法得到干燥度指数栅格图。然后在 Spatial Analyst→Reclassify 中进行分级赋值。

$$I_1 = 0.16 \frac{\text{全年} \geq 10^{\circ}\text{C 的积温}}{\text{全年} \geq 10^{\circ}\text{C 期间的降水量}}$$

**起沙风天数因子  $W$ :** 风力强度是影响风对土壤颗粒搬运的重要因素。已有研究资料表明,砂质壤土、壤质砂土和固定风砂土的起动风速分别为 6.0、6.6 和 5.1m/s,建议选用冬春季节大于 6m/s 起沙风天数指标评估土地沙化敏感性。根据研究区各气象站点的气象数据以及经纬度信息,将这些值根据相同的站点名与 ArcGIS 中的站点(点图层)数据相连接(Join)。在 Spatial Analyst→Interpolate to Raster 工具中,选择相应的插值方法得到起沙风天数栅格图。

**土壤质地因子  $K$ :** 不同粒度的土壤颗粒具有不同的抗蚀力,粘质土壤易形成团粒结构,抗蚀力增强;在粒径相同的条件下,沙质土壤的起沙速率大于壤质土壤的起沙速率;砾质结构的土壤和戈壁土壤的风蚀速率小于沙地土壤;基岩质土壤供沙率极低,受风蚀的影响不大。以土壤质地图为底图,在 ArcGIS 中利用 Spatial Analyst 中的 Reclassify 进行分级赋值,得出土壤质地对土地沙化敏感性的单因素评估图。

**植被覆盖度因子  $C$ :** 数据来源和处理方法参照水土流失敏感性评估。

各项指标综合采用自然分界法与专家知识确定分级赋值标准,不同评估指标对应的敏感性等级值见表 B4。

表 B4 土地沙化敏感性评估指标及分级

指标	干燥度指数	≥6m/s 起沙风天数	土壤质地	植被覆盖度	分级赋值 (S)
一般敏感	≤1.5	≤10	基岩、粘质	≥0.6	1
敏感	1.5~16.0	10~30	砾质、壤质	0.2~0.6	3
极敏感	≥16.0	≥30	沙质	≤0.2	5

### B. 2. 3 模型运算

将各因子统一成 250m 分辨率的栅格数据，在 ArcGIS 栅格计算器 (Spatial Analyst→Raster Calculator) 中，根据评估模型计算得到土地沙化敏感性指数。

## B. 3 石漠化敏感性评估

### B. 3. 1 评估模型

石漠化敏感性评估是为了识别容易产生石漠化的区域，评估石漠化对人类活动的敏感程度。根据石漠化形成机理，选取碳酸岩出露面积百分比、地形坡度、植被覆盖度因子构建石漠化敏感性评估指标体系。利用地理信息系统的空间叠加功能，将各单因子敏感性影响分布图进行乘积计算，得到石漠化敏感性等级分布图，公式如下：

$$S_i = \sqrt{D_i \times P_i \times C_i}$$

式中： $S_i$ 为  $i$  评估区域石漠化敏感性指数； $D_i$ 、 $P_i$ 、 $C_i$ 分别为  $i$  评估区域碳酸岩出露面积百分比、地形坡度和植被覆盖度。

### B. 3. 2 数据准备

#### (1) 数据来源与获取

根据上述评估模型，石漠化敏感性评估所需数据包括土壤数据集、高程数据集、遥感数据集等，具体信息见表 B5。

表 B5 石漠化敏感性评估数据表

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
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
遥感数据集	栅格	250m	美国国家航空航天局 (NASA) 网站 地理空间数据云网站

## (2) 数据预处理

$D$  根据已有研究资料, 利用 ArcGIS 中的空间分析工具进行运算处理;  $P$  根据评估区数字高程, 利用 Spatial Analyst→Slope 工具提取坡度;  $C$  的数据来源和处理方法参照土地沙化敏感性。

各项指标综合采用自然分界法与专家知识确定分级赋值标准, 不同评估指标对应的敏感性等级值见表 B6。

表 B6 石漠化敏感性评估指标及分级

指标	碳酸岩出露面积百分比 (%)	地形坡度	植被覆盖度	分级赋值
一般敏感	≤30	≤8°	≥0.6	1
敏感	30~70	8°~25°	0.2~0.6	3
极敏感	≥70	≥25°	≤0.2	5

### B. 3.3 模型运算

将各因子统一成 250m 分辨率的栅格数据, 在 ArcGIS 栅格计算器 (Spatial Analyst→Raster Calculator) 中, 根据评估模型计算得到石漠化敏感性指数。

## B. 4 盐渍化敏感性评估

### B. 4.1 评估模型

盐渍化敏感性主要取决于蒸发量/降雨量、地下水矿化度、地下水埋深、土壤质地等因子。利用地理信息系统的空间叠加功能, 将

各单因子敏感性影响分布图进行乘积运算，得到盐渍化敏感性等级分布图，公式如下：

$$S_i = \sqrt{I_i \times M_i \times D_i \times K_i}$$

式中： $S_i$ 为*i*评估区域盐渍化敏感性指数； $I_i$ 、 $M_i$ 、 $D_i$ 、 $K_i$ 分别为*i*评估区域蒸发量/降雨量、地下水矿化度、地下水埋深和土壤质地的敏感性等级值，各地区可根据实际对分级评估标准作相应的调整。

#### B.4.2 数据准备

##### (1) 数据来源与获取

根据上述评估模型，盐渍化敏感性评估所需数据包括气象数据、土壤数据、地下水矿化度数据、地下水埋深数据等，具体信息见表B7。

表 B7 盐渍化敏感性评估数据表

名称	类型	分辨率	数据来源
气象数据集	文本	—	中国气象科学数据共享服务网
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
地下水矿化度	文本	—	地方水文局
地下水埋深	文本	—	地方水文局

##### (2) 数据预处理

蒸发量/降雨量因子  $I_i$ ：利用 ArcGIS 栅格计算工具进行运算处理。

地下水矿化度因子  $M_i$ ：采用 ArcGIS 软件，在 Spatial Analyst 工具中选择 Interpolate to Raster 选项，选用相应的插值方法绘制地下水矿化度栅格分布图。

地下水埋深因子  $D_i$ ：采用 ArcGIS 软件，在 Spatial Analyst 工



具中选择 Interpolate to Raster 选项，选用相应的插值方法绘制地下水埋深栅格分布图。

**土壤质地  $K_7$ :** 以土壤质地图为底图，在 ArcGIS 中利用 Spatial Analyst 中的 Reclassify 进行分级赋值，得出土壤质地对盐渍化敏感性的单因素评估图。

各项指标综合采用自然分界法与专家知识确定分级赋值标准，不同评估指标对应的敏感性等级值见表 B8。

表 B8 盐渍化敏感性评估指标及分级

指 标	蒸发量/降雨量	地下水矿化度	地下水埋深	土壤质地	分级赋值
一般敏感	$\leq 3$	$\leq 5$	$\geq 5$	砂土、粘土	1
敏感	3~15	5~25	1~5	粘壤土、壤土	3
极敏感	$\geq 15$	$\geq 25$	$\leq 1$	砂壤土	5

#### B.4.3 模型运算

将各因子统一成 250m 分辨率的栅格数据，在 ArcGIS 栅格计算器 (Spatial Analyst→Raster Calculator) 中，根据评估模型计算得到盐渍化敏感性指数。

#### B.5 评估分级

利用 ArcGIS 的重分类模块，结合专家知识，将生态环境敏感性评估结果分为 3 级，即一般敏感、敏感和极敏感，具体分级赋值及标准见表 B9。

表 B9 生态环境敏感性评估分级

敏感性等级	一般敏感	敏感	极敏感
分级赋值	1	3	5
分级标准	1.0-2.0	2.1-4.0	>4.0

## 生态保护红线综合制图

生态保护红线综合制图是开展边界核定的基本前提和依据。以最新的高精度遥感影像和土地利用数据为底图，将评估结果图与底图进行叠合，采用地理信息系统软件进行图斑聚合处理，扣除独立细小图斑。为保证生态保护红线的生态完整性和连续性，红线斑块最小上图面积原则为  $1\text{km}^2$ 。根据实际土地利用类型和影像地物分布进行遥感判读与补充勾绘，调整生态保护红线界线，形成边界清晰、切合实际、生态完整性好的生态保护红线图。

### C.1 数据准备与资料收集

#### C.1.1 专题图件

专题图件包括：1:1 万（或 1:5 万）国家基本比例尺地形图、土地调查及变更数据、地理国情普查和监测数据、永久基本农田划定成果数据、林地变更调查数据、国家基础地理信息数据库；有明确边界的保护地分布矢量图（自然保护区、风景名胜区、森林公园、生态公益林、饮用水水源保护区等）。

#### C.1.2 遥感影像

遥感影像一般包括：高分辨率卫星遥感（如资源 3 号、高分 1 号、高分 2 号（GF-1、GF-2）等）或航片，国外高分辨率遥感影像进行补充，影像空间分辨率优于  $2.5\text{m}$ 。

#### C.1.3 相关规划和区划

相关规划和区划主要包括：主体功能区规划、城乡规划、土地利用规划、生态功能区划、环境功能区划、环境保护专项规划、自然保护区发展规划、资源开发规划、旅游发展规划等。

## **C.2 数据预处理**

### **C.2.1 数据聚合**

利用地理信息系统软件将生态系统服务功能重要性和生态环境敏感性评估数据转换为 Shape 格式，通过聚合工具将相对聚集或邻近的图斑聚合为相对完整连片图斑，聚合距离为 250m，最小孔洞大小为  $1\text{km}^2$ 。各行政区可根据图斑的破碎化程度和行政区面积适当调整聚合的距离。

### **C.2.2 破碎斑块扣除**

为减少红线的破碎化程度，一般应将面积小于  $1\text{km}^2$  的独立图斑扣除（若细小斑块为重要物种栖息地或其他重要生态保护地须予以保留）。独立图斑扣除的面积阈值可根据评估结果和行政区面积大小进行适当调整。

### **C.2.3 建设用地和基本农田剔除**

根据土地利用现状与规划等资料，结合实地情况，扣除聚合后不适宜纳入生态保护红线的建设用地或基本农田。

## **C.3 补充勾绘**

对于经过上述处理后，仍较为破碎的红线，可根据高分辨率影像、地理国情普查和土地调查数据，采用人机交互方式，补充勾绘出红线。对于一些暂时无法确定的未知类型，先进行标记，再通过实地调查进行确认，并根据调查结果确定红线地块的边界。

#### C.4 专题图件制作

生态保护红线图件制作要求在地理信息系统软件下数字化成图，采用地图学规范方法表示，层次清晰，图式、图例、注记齐全。底图应包括行政区域界线、地表主要水系、水库、湖泊、交通线路、重要城镇等要素。

附录 D

# 生态保护红线汇总表

表 D1 XX 省（区、市）生态保护红线汇总表

地市名称	序号	县级行政区名称	行政区划代码	行政区国土面积 (km <sup>2</sup> )	行政区人口 (万人)	生态保护红线面积 (km <sup>2</sup> )	生态保护红线面积比例 (%)	主导生态系统 服务功能
合计								

## 生态保护红线登记表

表 E1 XX 省 (区、市) 生态保护红线登记表

所在行政区域	编码*	名称	人口数量 (人)	类型	生态系统服务功能与 保护目标	地理位置 (四 至描述, 拐点 坐标)	区域面积 (km <sup>2</sup> )	生态系统与 植被类型	主要人为活 动类型	生态环境问题	管控措施
合计 (去重叠)											

说明: 编码\*采用三级编码方式, 详见 8.2 编码部分; 人口数量指红线区块内的常住人口数; 生态系统服务功能与保护目标包括水源涵养、水土保持、防风固沙、生物多样性维护、重要生态系统或保护物种等; 地理位置应注明红线边界各拐点经纬度坐标, 清晰描述所处的具体位置; 主要人为活动类型包括种养殖、放牧、旅游等。

## 生态保护红线划定技术报告编写大纲

### XX省（区、市）生态保护红线划定技术报告

#### 前言

介绍工作背景、目的意义、任务来源、工作原则等。

#### 1 区域概况

##### 1.1 自然环境状况

##### 1.2 经济社会概况

##### 1.3 生态环境保护状况

#### 2 主要生态问题

明确本行政区主要生态问题，并分析原因。

#### 3 总则

##### 3.1 指导思想

##### 3.2 划定目标

##### 3.3 划定原则

##### 3.4 划定依据

##### 3.5 技术路线

#### 4 生态保护红线划定方法

参照本指南要求，阐述生态保护红线划定的方法和具体步骤。

#### 5 生态保护红线划定范围识别

##### 5.1 生态系统服务功能极重要区

## 5.2 生态极敏感区

## 5.3 禁止开发区域

## 5.4 其他生态保护地

# 6 生态保护红线方案确定

## 6.1 生态保护红线叠加分析

综合叠加不同类型生态保护红线，扣除破碎斑块，结合遥感影像、土地利用数据调整边界，形成本行政区生态保护红线初步方案。

## 6.2 生态保护红线协调性分析

分析初步方案与主体功能区规划、生态功能区划、土地利用规划、城乡规划、环境保护规划以及相关规划的协调性，提出初步方案的优化调整建议。

## 6.3 生态保护红线划定方案确定

根据协调分析结果，开展生态保护红线边界落图，结合管理实际最终确定本行政区生态保护红线划定方案。

## 6.4 生态保护红线成效分析

分析红线方案在保护生态系统服务功能、保障人居环境安全、保护生物多样性、促进经济社会发展等方面所产生的保护成效。

# 7 生态保护红线管控措施

依据生态保护红线类型与特征，结合本地管理要求，制定本行政区生态保护红线管控措施。

# 8 附件

包括与生态保护红线划定相关的技术资料、管理文件等。



---

抄 送：各省、自治区、直辖市人民政府办公厅，新疆生产建设兵团办公厅，财政部、国土资源部、住房城乡建设部、水利部、农业部、林业局、中科院、气象局、海洋局、测绘地信局办公室（厅）。

---

环境保护部办公厅

2017年6月5日印发

---

