

附件

生态保护红线划定技术指南

环境保护部

二〇一五年五月

目 录

1 适用范围	5
2 规范性引用文件	5
3 术语和定义	6
4 生态保护红线概念、特征与管控要求	7
5 生态保护红线划定原则	8
6 生态保护红线划定技术流程	9
7 生态保护红线划定范围识别	12
8 生态保护红线划定方法	13
9 生态保护红线划定方案确定	19
10 生态保护红线边界核定	22
11 生态保护红线划定成果	23
12 指南实施	24
附录 A 生态系统服务功能重要性评价方法	25
附录 B 生态敏感性评价方法	36
附录 C 生态保护红线划定报告编写大纲	40
附录 D 生态保护红线区块登记表	42

为贯彻落实《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》和《国务院关于加强环境保护重点工作的意见》，指导全国生态保护红线划定工作，保障国家和地区生态安全，制定本指南。

1 适用范围

本指南适用于中华人民共和国境内生态保护红线的划定。

2 规范性引用文件

本指南内容引用了下列文件中的条款。凡是不注日期的引用文件，其有效版本适用于本指南。

《中华人民共和国环境保护法》

《国务院关于加强环境保护重点工作的意见》(国发〔2011〕35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)

《国家环境保护“十二五”规划》(国发〔2011〕42号)

《关于发布全国生态功能区划的公告》(环境保护部 中国科学院公告 2008年第35号)

《全国生态脆弱区保护规划纲要》(环发〔2008〕92号)

《中国生物多样性保护战略与行动计划(2011-2030年)》(环发〔2010〕106号)

《关于划分国家级水土流失重点防治区的公告》(水利部公

告 2006 年第 2 号)

《国家级公益林区划界定办法》(林资发〔2009〕214号)

《第四次中国荒漠化和沙化状况公报》(2011)

《全国海洋功能区划(2011-2020年)》(国函〔2012〕13号)

《全国生态环境十年变化(2000-2010年)调查评估报告》

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
HJ/T 338	饮用水水源保护区划分技术规范
CH/T 9005	基础地理信息数据库基本规定
SL190	土壤侵蚀分类分级标准

3 术语和定义

依据《全国主体功能区规划》《全国生态功能区划》和其他相关文件,界定如下术语:

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,生态系统有所退化,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。

生态敏感区:指对外界干扰和环境变化具有特殊敏感性或潜在自然灾害影响,极易受到人为的不当开发活动影响而产生负面生态效应的区域。

生态脆弱区:指生态系统组成结构稳定性较差,抵抗外在干

扰和维持自身稳定的能力较弱，易于发生生态退化且难以自我修复的区域。

禁止开发区：指依法设立的各级各类自然文化资源保护区，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。

4 生态保护红线概念、特征与管控要求

4.1 概念

生态保护红线是指依法在重点生态功能区、生态环境敏感区和脆弱区等区域划定的严格管控边界，是国家和区域生态安全的底线。生态保护红线所包围的区域为生态保护红线区，对于维护生态安全格局、保障生态系统功能、支撑经济社会可持续发展具有重要作用。

4.2 基本特征

根据生态保护红线的概念，其属性特征包括以下五个方面：

(1) **生态保护的关键区域：**生态保护红线是维系国家和区域生态安全的底线，是支撑经济社会可持续发展的关键生态区域。

(2) **空间不可替代性：**生态保护红线具有显著的区域特定性，其保护对象和空间边界相对固定。

(3) **经济社会支撑性：**划定生态保护红线的最终目标是在

保护重要自然生态空间的同时，实现对经济社会可持续发展的生态支撑作用。

（4）管理严格性：生态保护红线是一条不可逾越的空间保护线，应实施最为严格的环境准入制度与管理措施。

（5）生态安全格局的基础框架：生态保护红线区是保障国家和地方生态安全的基本空间要素，是构建生态安全格局的关键组分。

4.3 管控要求

生态保护红线须依据生态服务功能类型和管理严格程度实施分类分区管理，做到“一线一策”。生态保护红线一旦划定，应满足以下管控要求：

（1）性质不转换：生态保护红线区内的自然生态用地不可转换为非生态用地，生态保护的主体对象保持相对稳定。

（2）功能不降低：生态保护红线区内的自然生态系统功能能够持续稳定发挥，退化生态系统功能得到不断改善。

（3）面积不减少：生态保护红线区边界保持相对固定，区域面积规模不可随意减少。

（4）责任不改变：生态保护红线区的林地、草地、湿地、荒漠等自然生态系统按照现行行政管理体制实行分类管理，各级地方政府和相关主管部门对红线区共同履行监管职责。

5 生态保护红线划定原则

5.1 强制性原则

根据《环境保护法》规定，应在事关国家和区域生态安全的

重点生态功能区、生态环境敏感区和脆弱区以及其他重要的生态区域内，划定生态保护红线，实施严格保护。

5.2 合理性原则

生态保护红线划定应在科学评估识别关键区域的基础上，结合地方实际与管理可行性，合理确定国家生态保护红线方案。

5.3 协调性原则

生态保护红线划定应与主体功能区规划、生态功能区划、土地利用总体规划、城乡规划等区划、规划相协调，共同形成合力，增强生态保护效果。

5.4 可行性原则

生态保护红线划定应与经济社会发展需求和当前监管能力相适应，预留适当的发展空间和环境容量空间，切合实际确定生态保护红线面积规模并落到实地。

5.5 动态性原则

生态保护红线面积可随生产力提高、生态保护能力增强逐步优化调整，不断增加生态保护红线范围。

6 生态保护红线划定技术流程

6.1 生态保护红线划定范围识别

依据《全国主体功能区规划》《全国生态功能区划》《全国生态脆弱区保护规划纲要》《全国海洋功能区划》《中国生物多样性保护战略与行动计划》等国家文件和地方相关空间规划，结合经济社会发展规划和生态环境保护规划，识别生态保护的重点区域，确定生态保护红线划定的重点范围。

6.2 生态保护重要性评估

依据生态保护相关规范性文件和技术方法，对生态保护区域进行生态系统服务重要性评估和生态敏感性与脆弱性评估，明确生态保护目标与重点，确定生态保护重要区域。

6.3 生态保护红线划定方案确定

对不同类型生态保护红线进行空间叠加，形成生态保护红线建议方案。根据生态保护相关法律法规与管理政策，土地利用与经济发展现状与规划，综合分析生态保护红线划定的合理性和可行性，最终形成生态保护红线划定方案。

6.4 生态保护红线边界核定

根据生态保护红线划定方案，开展地面调查，明确生态保护红线地块分布范围，勘定生态红线边界走向和实地拐点坐标，核定生态保护红线边界。调查生态保护红线区各类基础信息，形成生态保护红线勘测定界图，建立生态保护红线勘界文本和登记表等。

生态保护红线划定技术流程参见图 1。

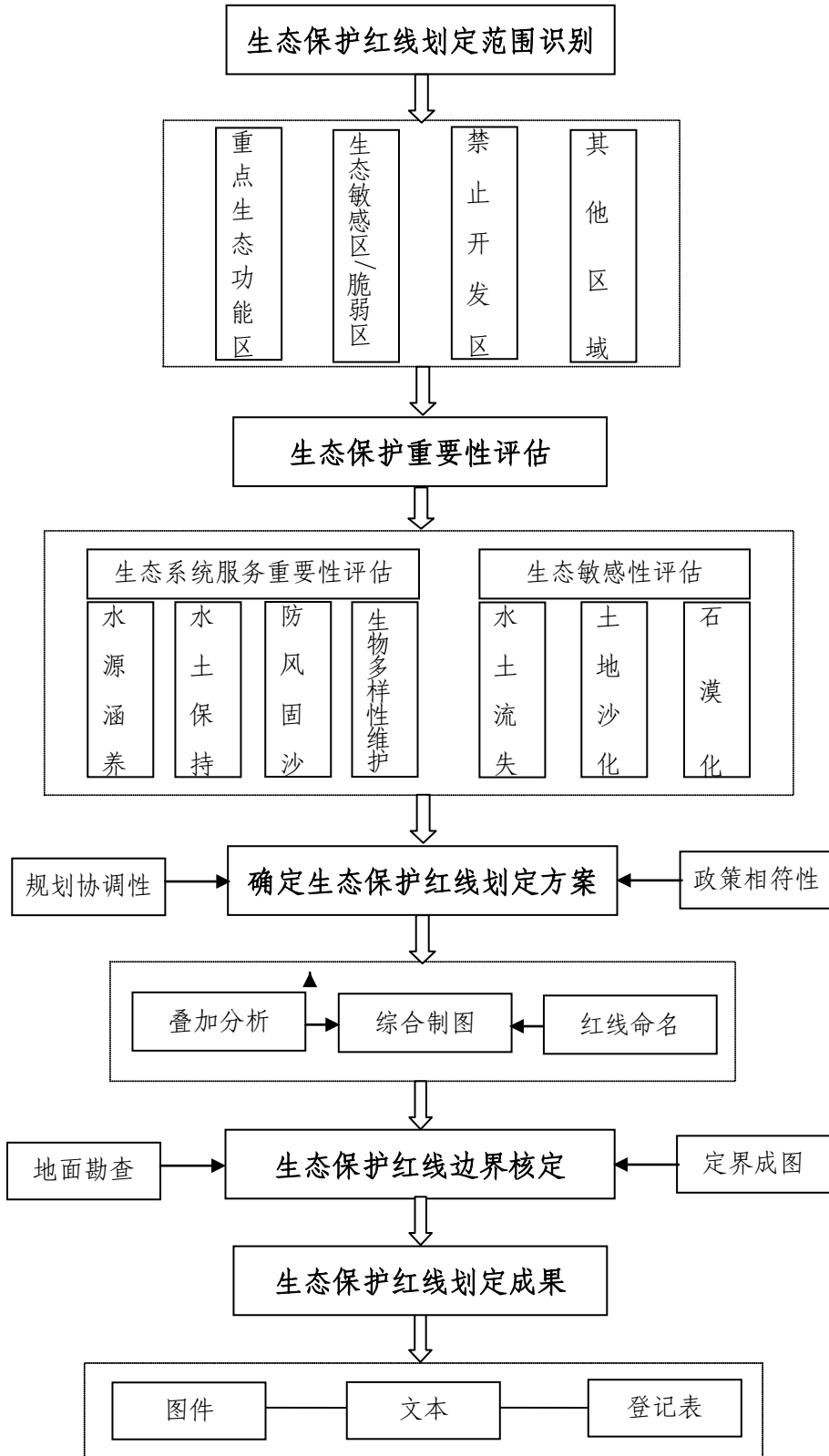


图 1 生态保护红线划定技术流程

7 生态保护红线划定范围识别

依据《中华人民共和国环境保护法》，生态保护红线主要在以下生态保护区域进行划定。

7.1 重点生态功能区

7.1.1 陆地重点生态功能区

陆地重点生态功能区主要包括《全国主体功能区规划》和《全国生态功能区划》的各类重点生态功能区，具体包括水源涵养区、水土保持区、防风固沙区、生物多样性维护区等类型。

7.1.2 海洋重点生态功能区

海洋重点生态功能区主要包括海洋水产种质资源保护区、海洋特别保护区、重要滨海湿地、特殊保护海岛、自然景观与历史文化遗产、珍稀濒危物种集中分布区、重要渔业水域等区域。

7.2 生态敏感区/脆弱区

7.2.1 陆地生态敏感区/脆弱区

陆地生态敏感区/脆弱区主要包括《全国生态功能区划》《全国主体功能区规划》及《全国生态脆弱区保护规划纲要》的各类生态敏感区/脆弱区，具体包括水土流失敏感区、土地沙化敏感区、石漠化敏感区、高寒生态脆弱区、干旱、半干旱生态脆弱区等。

7.2.2 海洋生态敏感区/脆弱区

海洋生态敏感区/脆弱区主要包括海岸带自然岸线、红树林、重要河口、重要砂质岸线和沙源保护海域、珊瑚礁及海草床等。

7.3 禁止开发区

禁止开发区域主要包括国家级自然保护区、世界文化自然遗产、国家级风景名胜区、国家森林公园和国家地质公园等类型。

7.4 其他

其他未列入上述范围、但具有重要生态功能或生态环境敏感、脆弱的区域，包括生态公益林、重要湿地和草原、极小种群生境等。

8 生态保护红线划定方法

8.1 重点生态功能区保护红线

8.1.1 水源涵养功能区生态保护红线划定方法

(1) 确定划定对象

依据水源涵养功能区类型和特点，生态保护红线划定的主要对象为《全国主体功能区规划》和《全国生态功能区划》确定的重点生态功能区，以及其他具有重要水源涵养功能的区域，主要包括以下 2 类：

① 大江大河源头区和中上游其他汇水区

主要分布在大小兴安岭、长白山、祁连山、阿尔泰山、陇南山地、若尔盖湿地、三江源草原草甸湿地、南岭山地、辽东山区、辽河源区、燕山、太行山、天山、玛曲湿地、秦巴山地、桐柏山淮河源区、大别山、丹江口库区、罗霄山脉、黄山、天目山、三峡库区、雅鲁藏布江源区、珠江源区、横断山脉、三江并流、东江源区、武夷山、浙闽丘陵、两广丘陵、黔南桂北山地、云桂边界山地、桂东、粤西丘陵、海南岛中部山区等区域。

② 重要饮用水水源地及其集水区

我国重要饮用水水源地主要包括水利部《关于公布全国重要饮用水水源地名录的通知》（水资源函〔2011〕109号）中的第一至第三批全国重要饮用水水源地，以及地级以上城市集中式饮用水水源地。

（2）开展水源涵养功能重要性评估

针对重要江河源头区和汇水区，开展水源涵养功能重要性评估，具体评估方法参见附录 A。

（3）确定生态保护红线范围

依据水源涵养功能评估与分级结果，将水源涵养极重要区划入生态保护红线。重要饮用水水源地的一、二级保护区纳入生态保护红线。具体划定方法参照 HJ/T 338 执行。

8.1.2 水土保持功能区生态保护红线划定方法

（1）确定划定对象

我国重点水土保持功能区主要分布在黄土高原丘陵沟壑区、三峡库区、大别山、西南喀斯特地区、太行山、川滇干热河谷、湖南湘中山地、南岭山地、湘赣罗霄山地、赣江上游区、黄山、闽东南丘陵山地、浙闽赣交界山地等区域。

（2）开展水土保持功能重要性评估

对上述重点区域开展水土保持功能重要性评估，具体评估方法参见附录 A。

（3）确定生态保护红线范围

依据水土保持功能评估与分级结果，将水土保持极重要区划入生态保护红线。

8.1.3 防风固沙功能区生态保护红线划定方法

（1）确定划定对象

我国重点防风固沙功能区主要分布于塔里木河流域、阿尔金山、呼伦贝尔草原、科尔沁沙地、浑善达克沙地、阴山北麓、阿拉善高原、毛乌素沙地等区域。

（2）开展防风固沙功能重要性评估

对上述重点区域开展防风固沙功能重要性评估，具体评估方法参见附录 A。

（3）确定生态保护红线范围

依据防风固沙功能评估与分级结果，将防风固沙极重要区划入生态保护红线。

8.1.4 生物多样性维护区生态保护红线划定方法

（1）确定划定对象

生态保护红线划定的主要对象为国家主体功能区规划和全国生态功能区划、生物多样性保护战略与行动计划确定的重点生物多样性维护功能区，以及其他具有重要生物多样性保护功能的区域，主要包括 2 类：

①重点生物多样性维护功能区

我国重点生物多样性维护功能区主要分布在三江平原湿地、长白山地、大小兴安岭、呼伦贝尔草原、锡林郭勒草原、天山-准噶尔盆地西南段、塔里木河流域荒漠区、阿尔泰山、阿尔金山、祁连山、西鄂尔多斯-贺兰山-阴山、太行山、羌塘高寒荒漠草原、三江源、藏东南山地、川滇森林区、武陵山地、秦巴山地、浙闽赣交界山区、南岭地区、海南岛中南部山区、东南沿海红树林区、西双版纳、桂西黔南地区、辽河三角洲湿地、黄河三角洲

湿地、苏北滩涂湿地等生物多样性丰富区。

②其他重要保护物种分布地

指目前尚未纳入自然保护区的重要保护物种(主要包括国家一、二级保护动植物)、极小种群及其生境。

(2) 开展生物多样性保护功能重要性评价

对上述重点生物多样性维护区开展生物多样性保护功能重要性评估,具体划定方法见附录 A。

(3) 确定生态保护红线范围

依据生物多样性保护功能评估与分级结果,将生物多样性极重要区划入生态保护红线。针对尚未纳入自然保护区的国家一、二级保护动植物、极小种群以及未纳入保护名录的其他珍稀濒危物种,采用物种分布模型预测可能分布范围,结合物种实际分布情况最终划定确保物种长期存活的保护红线。

8.1.5 海洋重点生态功能区保护红线划定方法

海洋重点生态功能区保护红线的划定对象和划定方法参照海洋生态保护红线划定相关技术规范执行。

8.2 生态敏感区/脆弱区保护红线

由于生态敏感区和生态脆弱区的空间重叠性较大,且面临共同生态问题(土地沙化、水土流失、石漠化等),因此,本指南通过开展生态敏感性评估,提出生态敏感区/脆弱区保护红线划定方法。

8.2.1 水土流失敏感区生态保护红线划定方法

(1) 确定划定对象

水土流失敏感区主要分布在黄土高原丘陵沟壑区、西南横断

山地、东南山地丘陵、天山山地等土壤侵蚀敏感区，西南山地农林牧交错带、南方红壤山地丘陵区，以及其他水土流失重点预防保护区。

（2）开展水土流失敏感性评估

对上述重点区域开展水土流失敏感性评估，具体评估方法参见附录 B。

（3）确定生态保护红线范围

依据水土流失敏感性评估与分级结果，将极敏感区划入生态保护红线。水土流失重点预防保护区中水土流失潜在危险较大的区域也应划入生态保护红线。

8.2.2 土地沙化敏感区生态保护红线划定方法

（1）确定划定对象

土地沙化敏感区主要分布在古尔班通古特、塔克拉玛干、腾格里、乌兰布和等沙漠边缘，黑河中下游、毛乌素沙地、阴山北麓-浑善达克沙地、科尔沁沙地、呼伦贝尔沙地等区域，以及东北林草交错带区、北方农牧交错区、西北荒漠绿洲交错区等区域。

（2）开展土地沙化敏感性评估

对上述重点区域开展土地沙化敏感性评估，具体评估方法参见附录 B。

（3）确定生态保护红线范围

依据土地沙化敏感性评估与分级结果，将极敏感区划入生态保护红线。宜林宜草沙化土地治理区、主要沙漠和沙地边缘也应划入生态保护红线。

8.2.3 石漠化敏感区生态保护红线划定方法

（1）确定划定对象

石漠化敏感区主要分布在西南喀斯特岩溶地区，范围涉及贵州全境、广西西部、云南东部、重庆西南部、四川南部以及湖南、湖北两省西部等地区。

（2）开展石漠化敏感性评估

对上述重点区域开展石漠化敏感性评估，具体评估方法参见附录 B。

（3）确定生态保护红线范围

依据石漠化敏感性评估与分级结果，将极敏感区划入生态保护红线。全国岩溶地区石漠化综合治理区的重点区域可纳入生态保护红线。

8.2.4 海洋生态敏感区/脆弱区保护红线

海洋生态敏感区/脆弱区保护红线的划定对象和划定方法参照海洋生态保护红线划定相关技术规范执行。

8.3 禁止开发区生态保护红线

自然保护区原则上全部纳入生态保护红线，对面积较大的自然保护区，其实验区根据生态保护重要性评估结果确定纳入生态保护红线的具体区域范围。

其他类型的禁止开发区，根据生态保护重要性评估结果并结合内部管理分区，综合确定纳入生态保护红线的具体区域范围。

8.4 其他生态保护红线

对于上述区域以外的其他具有重要生态功能，以及生态极敏感/极脆弱的地区，各地可自行制定原则与方法，结合地方实际

综合划定生态保护红线。

9 生态保护红线划定方案确定

在生态保护重要性评估的基础上，通过叠加分析和综合制图，形成生态保护红线划定建议方案，并充分与主体功能区规划、生态功能区划、土地利用总体规划、城乡规划等区划、规划相衔接，最终确定生态保护红线划定方案。

9.1 叠加分析

采用地理信息系统空间分析技术，在统一空间参考系统下，对划定的重点生态功能区保护红线、生态敏感区/脆弱区保护红线、禁止开发区保护红线进行空间叠加与综合分析，形成包含各类红线的空间分布图。当两种以上生态保护红线类型重叠时，须进一步明确主导生态功能和辅助生态功能。

9.2 综合制图

生态保护红线制图是开展边界核定的基本前提和依据。以基础年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，扣除独立细小图斑和人工用地。为保证生态保护红线区生态完整性和连续性，红线斑块最小上图面积原则为 1 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分布图。

9.2.1 数据准备与资料收集

(1) 专题图件

1:1 万 (或 1:5 万、1:10 万) 国家基本比例尺地形图、土地调查及变更数据、基本农田界线图、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)。

(2) 遥感影像

指数字正射影像图 (简称 DOM), 包括高分辨率卫星遥感 DOM (如快鸟 (QuickBird)、资源 3 号、高分 1 号、高分 2 号 (GF-1、GF-2) 等) 或航空 DOM, 影像空间分辨率在 5m 以内。

(3) 相关规划和区划

主体功能区规划、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。

9.2.2 数据预处理

(1) 数据聚合

利用地理信息系统软件将生态系统服务重要性和生态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 1km^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。

(2) 破碎斑块扣除

一般将评估所得的面积在 1km^2 以下的独立图斑删除 (若细小斑块为重要物种栖息地或其他具有重要生态保护价值的区域须予以保留), 减少红线区的破碎化程度。独立图斑删除的面积阈

值可根据评估结果和行政区面积大小进行适当调整。

(3) 人工用地剔除

根据土地利用现状图和规划图等资料,扣除聚合后图斑内的大型建设用地和集中连片农田。其中,建设用地重点考虑城镇、工业开发、矿产开发等类型(扣除在产大规模采矿用地,对于废弃的采矿用地根据保持生态完整性需要,可予以保留并进行生态修复)。为了保持生态保护红线区完整性,面积较小的村庄、农田、采矿废弃地等地块可予以保留,单个生态保护红线区块内的可保留人工用地面积比例原则上不超过5%。

9.2.3 边界调整与确定

对于经过上述处理后,仍较为破碎的红线区,可根据高分辨率DOM影像和土地调查数据,采用人机交互方式,补充勾绘出红线区。对于一些暂时无法确定的未知类型,先进行标记,再通过实地勘查进行确认,并根据调查结果确定斑块的最终边界。

9.2.4 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。

9.3 红线命名

生态保护红线可采取分层次命名的方法。

对于区域性生态保护红线,采取“自然地理单元+生态保护红线区”的命名方式,如“燕山生态保护红线区”。

对于具体生态保护红线地块,采取“自然地理单元+主导生

态功能+红线区”的命名方式，如，“科尔沁沙地防风固沙红线区”。当生态保护红线区兼具两种以上重要生态功能时，命名中采取“主导生态功能+辅助生态功能”的命名方式，如“秦岭水源涵养、生物多样性功能保护红线区”。

10 生态保护红线边界核定

10.1 边界核定原则

(1) 与土地利用、城乡建设现状及规划、区域生态保护相关规划相协调；

(2) 红线斑块连续成片，尽可能避免破碎化，有利于实际管理；

(3) 尽可能保持已建各类保护区边界，与各部门管理边界相衔接；

(4) 结合山脉、河流、地貌单元、植被等要素保留自然地理边界，保持森林、草地、湿地、荒漠等生态系统的完整性。

10.2 边界核定与基础信息采集

10.2.1 地面勘查

根据生态保护红线分布图开展实地勘查，调查生态保护红线区各类基础信息，进一步查明图上难以明确界定或具有争议的生态保护红线区块边界走向，确定红线边界拐点地理坐标。

生态保护红线区须调查与收集以下特征信息：

(1) 分布、面积与范围：包括所处行政区域和地理位置，红线区面积（以公顷为单位表示）、红线区拐点坐标等。

(2) 自然环境状况：包括自然地理特征和自然资源状况、生态系统类型等。

(3) 经济社会状况：包括区内人口、社区数量与分布、土地利用状况与权属、所在区域经济发展水平、产业类型、产业结构与布局，以及其他人类活动特征等。

(4) 主要生态问题：包括现存的主要生态问题、潜在的生态风险、社会经济问题及其成因。

(5) 管控措施：包括生态保护红线区内的禁止和限制行为，为保护和改善生态系统服务功能需开展的恢复治理措施等。

10.2.2 定界成图

根据生态保护红线地面勘查结果，在图上修正生态保护红线区块边界，形成生态保护红线勘测定界图。

11 生态保护红线划定成果

生态保护红线划定成果包括图件、文本与登记表。

11.1 生态保护红线图件

生态保护红线图件数据采用 2000 国家大地坐标系统，1985 国家高程基准；国家层面基本比例尺为 1:25 万，省级层面基本比例尺不小于 1:5 万，勘测定界图基本比例尺与当地土地利用图件保持一致。

生态保护红线图件应包括但不限于：

(1) 生态系统服务重要性评估系列图

(2) 生态敏感性评估系列图

- (3) 不同类型生态保护红线分布图
- (4) 生态保护红线分布总图
- (5) 生态保护红线区土地利用现状图

11.2 生态保护红线文本

以文字报告形式表述生态保护红线划定的主要内容，具体内容参见附录 C。

11.3 生态保护红线区块登记表

生态保护红线区块登记表是文本的配套材料，与文本具有同等效力。登记表内容应涵盖地面勘查所得的生态保护红线区各类基础信息与专题信息，满足管理需求。登记表格式参见附录 D。

12 指南实施

本指南由环境保护部负责解释。

本指南自发布之日起实施，《国家生态保护红线-生态功能红线划定技术指南（试行）》（环发〔2014〕10号）同时废止。

附录 A 生态系统服务功能重要性评价方法

根据不同类型重点生态功能区的主要服务功能,开展生态系统服务重要性评价与等级划分,评价内容包括水源涵养、水土保持、防风固沙、生物多样性保护等,将高等级生态系统服务重要区纳入生态保护红线。目前生态系统服务功能采用的评价方法主要有模型评价法和 NPP 定量指标评价法,其中,模型评价法所需参数较多,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。因此,在评价过程中,各地可根据本行政区实际情况选择使用上述评价方法,为提高评价结论的准确性以及与实地的相符性,评价方法的参数选取、数据精度等方面可在评价过程进行适当调整和细化,且评价结果还需与实地观测、调查结果进一步结合。

A.1 模型评价方法

A.1.1 数据准备

搜集与重点生态功能区相关的各种专题图件与数据,包括植被类型、土壤属性、土地利用、地形以及长时间序列的 NDVI、气象数据(气温、降水、太阳总辐射量)等,完成生态系统服务评价前的数据准备工作。

A.1.2 水源涵养功能重要性评价

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价指标。

采用基于降水和蒸散的水量分解模型法进行评价。

$$WY = P - ET$$
$$ET = \frac{P \left(1 + \omega \frac{PET}{P} \right)}{1 + \omega \frac{PET}{P} + \left(\frac{PET}{P} \right)^{-1}}$$

式中: WY 为水源涵养量,作为水源涵养服务能力的代用指标; P 为多年平均年降水量, ET 为蒸散量, PET 为多年平均潜在蒸发量; ω 为下垫面(土地覆盖)影响系数,依据土地利用类型取值(表 A1)。该方法采用了高度概化的地表覆盖

因子，因此，需要对评价结果做不确定性分析和参数敏感性分析，以确保结果的可靠性。

表 A1 水源涵养功能重要性评价参数 ω 参考取值

土地利用类型	耕地	高覆盖林地	低覆盖林地	灌丛	草地	人工用地	其他
ω 取值	0.5	2	1	1	0.5	0.1	0.1

注：高覆盖林地为覆盖度>30%，低覆盖林地为覆盖度<30%。

A.1.3 水土保持功能重要性评价

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。以土壤保持量，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价指标。

采用修正自通用水土流失方程（USLE）的水土保持服务模型开展评价。

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

式中： A_c 为土壤保持量， A_p 为潜在土壤侵蚀量， A_r 为实际土壤侵蚀量， R 为降水因子， K 为土壤侵蚀因子， L 、 S 为地形因子， C 为植被覆盖因子。

R —降水因子

$$R = \alpha \left[\left(\sum_{i=1}^{12} P_i^2 \right) / P \right]^\beta$$

式中： P_i 为月均降水量， P 为年均降水量， $\alpha = 0.3589$ ， $\beta = 1.9462$ 。

K —土壤侵蚀因子

$$K = f_{csand} \times f_{cl-si} \times f_{orgc} \times f_{hisand}$$

$$f_{csand} = 0.2 + 0.3 \exp[-0.0256 ms (1 - msilt/100)]$$

$$f_{cl-si} = [msilt / (mc + msilt)]^{0.3}$$

$$f_{orgc} = 1 - 0.25 orgC / [orgC + \exp(3.72 - 2.95 orgC)]$$

$$f_{hisand} = 1 - 0.7 (1 - ms/100) / \{ (1 - ms/100) + \exp[-5.51 + 22.9 (1 - ms/100)] \}$$

式中： ms 为土壤粗砂含量， $msilt$ 为土壤粉砂含量， mc 为土壤粘粒含量， $orgC$ 为有机碳含量。

L 、 S —地形因子

$$L = (\lambda / 22.13)^m$$

$$S = 10.8 \sin \theta + 0.03 \quad \theta < 5^\circ$$

$$S = 16.8 \sin \theta - 0.5 \quad 5^\circ \leq \theta < 10^\circ$$

$$S = 21.91 \sin \theta - 0.96 \quad \theta \geq 10^\circ$$

式中： λ 为坡长（m）， m 为坡长指数， θ 为坡度（°）。

A. 1. 4 防风固沙功能重要性评价

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。以固沙量（潜在风蚀量与实际风蚀量的差值）和固沙率（固沙量与潜在风蚀量的比值，即生态系统固定风蚀量的比例），作为生态系统防风固沙功能的评价指标。

采用修正风蚀方程（Revised Wind Erosion Equation, RWEQ）计算固沙量、固沙率，主要考虑风速、降雨、温度、土壤质地、地形以及植被覆盖对土壤侵蚀以及水土保持的影响。

$$SR = S_{L\text{潜}} - S_L$$

$$R_k = SR / S_{L\text{潜}}$$

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

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

$$Q_{max} = 109.8 [WF \times EF \times S \quad IC \times K \times C]$$

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

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

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

其中， SR 为固沙量（ $t \text{ km}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ）； R_k 为固沙率； $S_{L\text{潜}}$ 为潜在风力侵蚀量（ $t \text{ km}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ）； S_L 为实际土壤侵蚀量（ $t \text{ km}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ）；

Q_{MAX} 为最大转移量（ kg/m ）； z 为最大风蚀出现距离（ m ）； WF 为气候侵蚀因子（ kg/m ）； K 为地表糙度因子； EF 为土壤侵蚀因子； SCF 为土壤结皮因子； C 为植被覆盖因子。

(1) 气象因子 WF

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

式中， WF 为气象因子，单位为 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，单位为 $(\text{m/s})^3$ ； ρ 为空气密度，单位为 kg/m^3 ； g 为重力加速度，单位为 m/s^2 ； 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。

(2) 土壤可蚀因子 EF

EF 值以如下方程加以计算。

$$EF = \frac{29.09 + 0.31sa + 0.17si + 0.33(sa/cl) - 2.59OM - 0.95caco_3}{100}$$

式中， sa 为土壤粗砂含量 (%)； 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，其值取 0。

(3) 土壤结皮因子 SCF

土壤结皮因子 SCF 的定量方程：

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

式中， cl 为土壤粘粒含量 (%)； OM 为土壤有机质含量 (%)。

(4) 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 (%)，由每年 36 期植被覆盖数据的最大值平均计算而得年均植被覆盖度； 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。

(5) 地表糙度因子 K'

地表糙度因子 K' 的计算见如下公式。

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

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

在上述公式中， 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，一般取 0，单位 cm； L 为地势起伏参数； ΔH 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。

(6) 固沙率 R_K

固沙率 R_K ：固沙量与潜在风蚀量的比值，即生态系统固定风蚀量的比例，体现了生态系统固沙作用。

$$R_K = SR/S_{L潜}$$

A. 1. 5 生物多样性保护功能重要性评价

生物多样性保护功能是生态系统（如森林、草地、湿地、荒漠等）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。生物多样性保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作为生物多样性保护功能的评价指标。

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。

(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、破碎度；

地表类型变量：土地利用类型、植被、生态区、地质类型、土壤类型、湿地类型；

气候变量：年均温、年总降水、温度的季节变异、降水的季节变异、最低温、最高温、1 月的最低温、1 月的均温、1 月的总降水、7 月的最高温、7 月的均温、7 月的总降水、年温度变化范围、干燥度、辐射强度；

人文、生态等指标：初级生产力（NDVI）、生物量、GDP、人口密度、人类足迹指数、道路密度、乡镇密度、河流密度、土壤厚度、土壤 N 含量、土壤 C 含量等。

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，在近年来应用较多。

逻辑斯蒂回归是广义线性模型（Generalized Linear Models，简称 GLM）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。因此广义线性模型比一般线性模型有更广泛的应用。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，简称 RF）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, 因此和其它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, 也可以系统地按照 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。

由于很多物种分布数据只能精确到县级行政单元, 一定程度上限制了本方法的精度, 因此, 采用物种分布模型评价后结果还需结合物种分布的实地调查结果进一步核定。

A. 2 NPP 定量指标评价方法

A. 2.1 数据准备

生态系统净初级生产力(NPP)可基于 CASA 光能利用率模型计算。CASA 模型认为 NPP 由植物光合作用与其对光能利用率的大小共同决定。所以, CASA 模型中 NPP 的估算可以由植物的光合有效辐射(APAR)和实际光能利用率(ε)两个因子来表示, 其估算公式如下:

$$NPP(x, t) = APAR(x, t) \times \varepsilon(x, t)$$

式中, $APAR(x, t)$ 表示像元 x 在 t 月吸收的光合有效辐射 ($\text{g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{month}^{-1}$), $\varepsilon(x, t)$ 表示像元 x 在 t 月的实际光能利用率 ($\text{g C} \cdot \text{MJ}^{-1}$)。

(1) APAR 的估算

APAR 的值由植被所能吸收的太阳有效辐射和植被对入射光合有效辐射的吸收比例来确定。

$$APAR(x, t) = SOL(x, t) \times FPAR(x, t) \times 0.5$$

式中： $SOL(x, t)$ 表示 t 月在像元 x 处的太阳总辐射量， $FPAR(x, t)$ 植被层对入射光合有效辐射的吸收比例，常数 0.5 表示植被所能利用的太阳有效辐射占太阳总辐射的比例。

(2) FPAR 的估算

由于在一定范围内， $FPAR$ 与 $NDVI$ 之间存在着线性关系，这一关系可以根据某一植被类型 $NDVI$ 的最大值和最小值以及所对应的 $FPAR$ 最大值和最小值来确定。

$$FPAR(x, t) = \frac{(NDVI(x, t) - NDVI_{i, \min})}{(NDVI_{i, \max} - NDVI_{i, \min})} \times (FPAR_{\max} - FPAR_{\min}) + FPAR_{\min}$$

式中： $NDVI_{i, \max}$ 和 $NDVI_{i, \min}$ 分别对应第 i 种植被类型的 $NDVI$ 最大和最小值。 $FPAR$ 与比值植被指数 (SR)也存在着较好的线性关系，可由以下公式表示：

$$FPAR(x, t) = \frac{(SR(x, t) - SR_{i, \min})}{(SR_{i, \max} - SR_{i, \min})} \times (FPAR_{\max} - FPAR_{\min}) + FPAR_{\min}$$

式中， $FPAR_{\min}$ 和 $FPAR_{\max}$ 的取值与植被类型无关，分别为 0.001 和 0.95； $SR_{i, \max}$ 和 $SR_{i, \min}$ 分别对应第 i 种植被类型 $NDVI$ 的 95%和 5%下侧百分位数， $SR(x, t)$ 由以下公式表示：

$$SR(x, t) = \frac{1 + NDVI(x, t)}{1 - NDVI(x, t)}$$

通过对 $FPAR-NDVI$ 和 $FPAR-SR$ 所估算结果的比较发现，由 $NDVI$ 所估算的 $FPAR$ 比实测值高，而由 SR 所估算的 $FPAR$ 则低于实测值，但其误差小于直接由 $NDVI$ 所估算的结果，因此可将二者结合起来，取其加权平均或平均值作为估算 $FPAR$ 的估算值：

$$FPAR(x, t) = \alpha FPAR_{NDVI} + (1 - \alpha) FPAR_{SR}$$

(3) 光能利用率的估算

光能利用率是在一定时期单位面积上生产的干物质中所包含的化学潜能与同一时间投射到该面积上的光合有效辐射能之比。环境因子如气温、土壤水分状况以及大气水汽压差等会通过影响植物的光合能力从而调节植被的 NPP 。

$$\varepsilon(x, t) = T_{\varepsilon_1}(x, t) \times T_{\varepsilon_2}(x, t) \times W_{\varepsilon}(x, t) \times \varepsilon_{\max}$$

式中： $T_{\varepsilon_1}(x, t)$ 和 $T_{\varepsilon_2}(x, t)$ 表示低温和高温对光能利用率的胁迫作用； $W_{\varepsilon}(x, t)$ 为水分胁迫影响系数，反映水分条件的影响； ε_{\max} 是理想条件下的最大光

能利用率 (g C/MJ)。

(4) 温度胁迫因子的估算

温度胁迫因子 $T_{\varepsilon_1}(x, t)$ 的估算: 反映在低温和高温时植物通过内在生化作用限制光合作用而降低第一性生产力。

$$T_{\varepsilon_1}(x, t) = 0.8 + 0.02 \times T_{opt}(x) - 0.0005 \times [T_{opt}(x)]^2$$

式中: $T_{opt}(x)$ 为植物生长的最适温度, 定义为某一区域一年内 NDVI 值达到最高时的当月平均气温 (°C); 当某一月平均温度小于或等于 -10°C 时, 其值取 0。

$T_{\varepsilon_2}(x, t)$ 的估算: 表示环境温度从最适温度 $T_{opt}(x)$ 向高温或低温变化时植物光能利用率逐渐变小的趋势, 这是因为低温和高温时高的呼吸消耗必将会降低光能利用率, 生长在偏离最适温度的条件下, 其光能利用率也一定会降低。

$$T_{\varepsilon_2}(x, t) = 1.184 / \{1 + \exp[0.2 \times (T_{opt}(x) - 10 - T(x, t))]\} \\ \times 1 / \{1 + \exp[0.3 \times (-T_{opt}(x) - 10 + T(x, t))]\}$$

当某一月平均温度 $T(x, t)$ 比最适温度 $T_{opt}(x)$ 高 10°C 或低 13°C 时, 该月的 $T_{\varepsilon_2}(x, t)$ 值等于月平均温度 $T(x, t)$ 为最适温度 $T_{opt}(x)$ 时 $T_{\varepsilon_2}(x, t)$ 值的一半。

(5) 水分胁迫因子的估算

水分胁迫影响系数 $W_{\varepsilon}(x, t)$ 反映了植物所能利用的有效水分条件对光能利用率的影响, 随着环境中有效水分的增加, $W_{\varepsilon}(x, t)$ 逐渐增大, 它的取值范围为 0.5 (在极端干旱条件下) 到 1 (非常湿润条件下)。

$$W_{\varepsilon}(x, t) = 0.5 + 0.5 \times EET(x, t) / EPT(x, t)$$

式中: EET 为区域实际蒸散量 (mm); EPT 为区域潜在蒸散量 (mm)

(6) 最大光能利用率的确定

月最大光能利用率 ε_{max} 的取值因不同的植被类型而有所不同, 在 CASA 模型中全球植被的最大光能利用率为 0.389 g C · MJ⁻¹。

全国尺度上利用 CASA 模型计算 NPP 时主要采用 MODIS250 米每 16 天合成的 NDVI 数据产品和反射率数据产品, 以及 MODIS1 千米每 8 天合成的陆地表面温度 (LST) 数据产品, 并利用气象站点太阳辐射量数据作为遥感估测模型的补充, 通过克里金插值得到 250 米分辨率日照时数数据, 以实现 NPP 估算由点向面的推演和扩展。在数据条件允许的情况下, 可使用更高时空分辨率数据进行计算。

A. 2. 2 水源涵养功能重要性评价

以生态系统水源涵养服务能力指数作为评价指标，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} 为评价区域多年生态系统净初级生产力平均值； F_{slo} 为根据最大最小值法归一化到 0-1 之间的评价区域坡度栅格图（利用地理信息系统软件，由 DEM 计算得出）； F_{sic} 为土壤渗流能力因子，根据土壤质地类型由粘土到砂土分别在 0-1 之间均等赋值得到，砂土为 1； F_{pre} 由多年（大于 30 年）平均年降水量数据插值并归一化到 0-1 之间。

A. 2. 3 水土保持功能重要性评价

以生态系统水土保持服务能力指数作为评价指标，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} 和 F_{slo} 含义与计算方法同上； K 为土壤可蚀性因子。本方法强调绿色植被、地形因子和土壤结构因子在水土保持中的作用，简便易行（与通用水土流失方程相比），可定量揭示生态系统水土保持服务能力的基本空间格局，比较适用于大尺度区域的快速评估。

A. 2. 4 防风固沙功能重要性评价

以生态系统防风固沙服务能力指数作为评价指标，计算公式为：

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

$$F_q = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{12} u^3 \left\{ \frac{ETP_i - P_i}{ETP_i} \right\} \times d, \quad ETP_i = 0.19 \times (20 + T_i)^2 \times (1 - r_i)$$

$$K = \{0.2 + 0.3 \exp[-0.0256SAN(1 - \frac{SIL}{100})]\} \times (\frac{SIL}{CLA + SIL})^{0.3} \times [1.0 - \frac{0.25C}{C + \exp(3.72 - 2.59C)}] \times [1.0 - \frac{0.7SIL}{(1 - SAN/100) + \exp(-5.51 + 22.9(1 - SAN/100))}]$$

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

式中： S_{ws} 为防风固沙服务能力指数； NPP_{mean} 为研究区多年平均年净初级生产力； K 为土壤可蚀性因子，算法参见附录 B； SAN 、 SIL 、 CLA 为土壤砂粒、粉粒、粘粒含量（%）； C 为土壤有机碳含量（%）； F_q 为多年平均气候侵蚀力， u 为 2 m 高处的月平均风速， 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， θ 为坡度（弧度）。 K 、 F_q 、

D 参量均标准化到 0-1 之间后再代入 S_{vs} 计算防风固沙服务能力指数。

A. 2. 5 生物多样性保护功能重要性评价

以生物多样性保护服务能力指数作为评价指标，计算公式为：

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

式中： S_{bio} 为生物多样性保护服务能力指数； NPP_{mean} 、 F_{pre} 参数的计算方法同上； F_{tem} 为气温参数，由多年（10-30 年）平均年降水量数据插值获得，得到的结果归一化到 0-1 之间； F_{alt} 为海拔参数，由评价区海拔进行归一化获得。

A. 3 生态系统服务重要性分级

利用地理信息系统软件，将各生态系统服务值采用 Quantile（分位数）功能进行 4 级分类（Classified）操作。按生态系统服务值大小由低到高依次划分为 4 个重要性级别，即一般重要、中等重要、重要、极重要。

附录 B 生态敏感性评价方法

针对区域生态敏感性特征，开展生态敏感性评价与等级划分，将敏感性等级高的区域纳入生态保护红线。以下评价方法、参数选取、数据精度等方面可在使用过程中根据本行政区实际情况进行适当调整，以提高评价结论的准确性。

B.1 数据准备

收集评价区域范围内基础图件和数据，包括植被类型、土壤类型、土壤侵蚀强度、地形、土地利用、开发建设活动、气象数据（气温、降水、风力、蒸发等）等，进一步采用遥感影像解译与 GIS 空间分析技术，完善生态敏感性评价所需的数据资料。

B.2 生态敏感性评价方法

陆地生态敏感性评价主要包括水土流失敏感性评价、土地沙化敏感性评价、及石漠化敏感性评价，具体评价方法如下。

B.2.1 水土流失敏感性评价

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价；本节主要对水动力为主的水土流失敏感性进行评价，根据原国家环保总局生态功能区划技术规范的要求，选取降水侵蚀力、土壤可蚀性、坡度坡长和地表植被覆盖等评价指标，并根据研究区的实际对分级评价标准作相应的调整。将反映各因素对水土流失敏感性的单因子评价数据，用地理信息系统技术进行乘积运算，公式如下：

$$SS_i = \sqrt[4]{R_i \times K_i \times LS_i \times C_i}$$

式中： SS_i 为 i 空间单元水土流失敏感性指数，评价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)。不同评价因子对应的敏感性等级值见表 B1。

R_i —降水侵蚀力值

可根据王万忠等利用降水资料计算的中国 100 多个城市的 R 值，采用内插法，用地理信息系统绘制 R 值分布图。根据表 B1 中的分级标准，绘制土壤侵蚀对降水的敏感性分布图。

LS_i —坡度坡长因子：对于大尺度的分析，坡度坡长因子 LS 是很难计算的。这里采用地形的起伏大小与土壤侵蚀敏感性的关系来估计。在评价中，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价的地形指标。然后用地理信息系统绘制区域土壤侵蚀对地形的敏感性分布图。

K_i —土壤质地因子：可用雷诺图表示。通过比较土壤质地雷诺图和 K 因子雷诺图，将土壤质地对土壤侵蚀敏感性的影响分为 5 级；在没有详细的土壤质地图的情况下，可采用自然断裂法对 K 值进行分级， < 0.27 ，不敏感； $0.27-0.42$ ，轻度敏感； $0.42-0.52$ ，中度敏感； $0.52-0.62$ ，高度敏感； > 0.62 ，极敏感。根据土壤质地图，绘制土壤侵蚀对土壤的敏感性分布图。

C_i —覆盖因子：地表覆盖因子与潜在植被的分布关系密切。根据植被分布图的较高级的分类系统，将覆盖因子对土壤侵蚀敏感性的影响分为 5 级，并利用植被图绘制土壤侵蚀对植被的敏感性分布图。

表 B1 水土流失敏感性的评价指标及分级赋值

因素	降雨侵蚀力 R	土壤可蚀性 K	地形起伏度 LS	植被覆盖 C	分级赋值 S
不敏感	< 25	石砾、沙	0-20	≥ 0.8	1
轻度敏感	25-100	粗砂土、细砂土、粘土	20-50	0.6 ~ 0.8	3
中度敏感	100-400	面砂土、壤土	50-100	0.4 ~ 0.6	5
高度敏感	400-600	砂壤土、粉粘土、壤粘土	100-300	0.2 ~ 0.4	7
极敏感	> 600	砂粉土、粉土	> 300	≤ 0.2	9

在数据条件具备的条件下也可采用通用水土流失方程 ($USLE$) 计算评价区土壤侵蚀量的空间分布值，根据土壤侵蚀量大小进行水土流失敏感性分级。

B. 2. 2 土地沙化敏感性评价

根据原国家环保总局生态功能区划技术规范的要求，并结合研究区的实际情况，选取干燥指数、起沙风天数、土壤质地、植被覆盖度等评价指标，并根据研究区的实际对分级评价标准作相应的调整。

根据各指标敏感性分级标准及赋值 (表 B2)，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，得到评价区的土地沙化敏感性等级分布图，公式如下：

$$D_i = \sqrt[4]{I_i \times W_i \times K_i \times C_i}$$

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

表 B2 土地沙化敏感性评价指标及分级

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)
不敏感	≤ 1.0	≤ 5	基岩	≥ 0.8	1
轻度敏感	1.0 ~ 1.5	5 ~ 10	粘质	0.6~0.8	3
中度敏感	1.5 ~ 4.0	10 ~ 20	砾质	0.4 ~ 0.6	5
高度敏感	4.0 ~ 16.0	20 ~ 30	壤质	0.2 ~ 0.4	7
极敏感	≥ 16.0	≥ 30	沙质	≤ 0.2	9

I_i —干燥度指数：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。

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

W_i —起沙风天数：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，选用冬春季节大于 6m/s 起沙风天数这个指标来评价土地沙化敏感性。根据研究区各气象站点的气象数据，在地理信息系统中利用插值生成土地沙化对起沙风天数敏感性的单因素评价图。

K_i —土壤质地：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，在地理信息系统中得出土壤质地对土地沙化敏感性的单因素评价图。

C_i —植被覆盖度：地表植被覆盖是影响沙化敏感性的一个重要因素，在水域、冰雪和植被覆盖高的地区，不会发生土壤的沙化；相反，地表裸露、植被稀少都会使土壤沙化的机会增加。因此，植被覆盖是评价土地沙化敏感性的又一重要指标。

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

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。

运用地理信息系统软件进行图像处理，获取植被 $NDVI$ 影像图，进而计算植被覆盖度。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 $NDVI_{veg}$ 。

B. 2. 3 石漠化敏感性评价

石漠化敏感性主要取决于是否为喀斯特地形、地形坡度、植被覆盖度等因子。根据各单因子的分级及赋值（表 B3），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：

$$S_i = \sqrt[3]{D_i \times P_i \times C_i}$$

式中： S_i 为 i 评价区域石漠化敏感性指数； D_i 、 P_i 、 C_i 为 i 评价区域碳酸岩出露面积百分比、地形坡度和植被覆盖度，各因子的敏感性等级赋值见表 4。 D_i 是区域单元范围内碳酸岩出露面积占单元总面积的百分比； P_i 根据评价区数字高程（DEM）在地理信息系统下进行处理和分级； C_i 的数据来源和处理方法参照土地沙化敏感性。

表 B3 土地石漠化敏感性评价指标及分级

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 (S)
不敏感	≤ 10	≤ 5°	≥ 0.8	1
轻度敏感	10 ~ 30	5° ~ 8°	0.6 ~ 0.8	3
中度敏感	30 ~ 50	8° ~ 15°	0.4 ~ 0.6	5
高度敏感	50 ~ 70	15° ~ 25°	0.2 ~ 0.4	7
极敏感	≥ 70	≥ 25°	≤ 0.2	9

B. 3 评价分级

采用自然分界法和定性分析相结合，将生态敏感性评价结果分为 5 级，即不敏感、轻度敏感、中度敏感、高度敏感和极敏感，具体分级赋值及标准见表 B11。

表 B11 生态敏感性评价分级

	不敏感	轻度敏感	中度敏感	高度敏感	极敏感
分级赋值	1	3	5	7	9
分级标准	1.0-2.0	2.1-4.0	4.1-6.0	6.1-8.0	>8.0

附录 C 生态保护红线划定报告编写大纲

XX省/市生态保护红线划定报告

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环境问题，识别潜在的主要生态风险。

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 生态保护红线划定范围识别

4.1 重点生态功能区

4.2 生态环境敏感区、脆弱区

4.3 禁止开发区

4.4 其他

5 生态保护红线划定方法

依据本指南要求，阐述区域内生态保护红线划定的方法和具体步骤。

6 生态保护红线方案确定

6.1 生态保护红线区识别

根据指南评价方法，并结合本行政区已有各类生态保护区域分布情况与管理实际，识别最为重要的生态保护地区，并阐明依据。综合叠加不同类型生态保护红线，初步形成本行政区生态保护红线方案。

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、城市总体规划、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 生态保护红线方案确定

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

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、区块登记表等。

附录 D 生态保护红线区块登记表

表 D1 XX 省/市生态保护红线区登记表

所在行政区域		代码*	名称	保护级别	类型	生态功能与保护目标	地理位置（四至描述，拐点坐标）	区域面积 (km ²)	生态系统类型与特征	主要人为活动和生态环境问题	管控措施	备注
市级	县级											

*代码编号方式为：类型代码 + 阿拉伯数字，其中阿拉伯数字从 01 开始进行编号。各类红线类型代码如下：A：水源涵养区；B：水土保持区；C 防风固沙区；D：生物多样性维护区，其他类型以此类推，如某县第 2 块水源涵养区，用 A02 表示。各地可结合实际情况自行扩展编码。