

**山东省生态产品总值（GEP）核算技术  
规范 陆地生态系统（试行）**

二〇二二年十二月

# 目 录

前 言 .....	1
1 适用范围.....	2
2 规范性引用文件.....	2
3 术语和定义.....	2
3.1 陆地生态系统.....	2
3.2 生态产品总值（GEP） .....	2
3.3 物质产品.....	2
3.4 调节服务.....	2
3.5 文化服务.....	3
3.6 功能量.....	3
3.7 价值量.....	3
3.8 水源涵养.....	3
3.9 土壤保持.....	3
3.10 防风固沙.....	3
3.11 海岸带防护.....	3
3.12 洪水调蓄.....	3
3.13 空气净化.....	3
3.14 水质净化.....	3
3.15 固碳.....	3
3.16 释氧.....	3
3.17 气候调节.....	4
3.18 生物多样性维护.....	4
3.19 旅游康养.....	4
3.20 休闲游憩.....	4
4 评估指标体系.....	4
5 生态产品功能量核算方法.....	5
5.1 物质产品.....	6
5.2 调节服务.....	6
5.3 文化服务.....	14
6 生态产品价值量核算方法.....	14
6.1 物质产品.....	14
6.2 调节服务.....	15
6.3 文化服务.....	18
7 生态产品总值核算方法.....	18
8 报告编制要求.....	19
附录 A 生态产品功能量核算参数参考值或参考算法 .....	20
附录 B 生态产品总值核算基础数据要求、清单及来源 .....	27
附录 C 生态产品总值核算报告编写大纲 .....	34

# 前 言

生态产品总值（GEP）是生态系统为人类福祉和经济社会可持续发展提供的各种最终物质产品与服务价值的总和，主要包括物质产品价值、调节服务价值和文化服务价值。按照《关于建立健全生态产品价值实现机制的意见》（中办发〔2021〕24号）和《关于贯彻落实〈中共中央办公厅 国务院办公厅关于建立健全生态产品价值实现机制的意见〉的实施方案》（鲁发改法规〔2021〕836号）有关要求，为指导和规范山东省陆地生态系统生态产品总值核算工作，提高生态产品功能量和价值量核算的科学性、规范性和可操作性，制定本文件。

本文件规定了陆地生态系统生态产品总值（GEP）核算的评估指标体系、核算方法、核算使用数据要求等内容。在核算实践中，可结合本地实际对核算模型和方法进一步优化和修正。

本文件为首次发布。

本文件由山东省生态环境厅提出，并负责解释。

本文件起草单位：山东省生态环境规划研究院。

本文件主要起草人：李玄、孙国新、宋昌素、吕楚岫、费小芹、李昕婧、于光金、李卓。

# 山东省生态产品总值（GEP）核算技术规范

## 陆地生态系统（试行）

### 1 适用范围

本文件适用于山东省以县为单位的陆地生态系统生态产品总值核算，其他自然地理区域，可参考本规定执行。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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/T 38582 森林生态系统服务功能评估规范

HJ 1142 生态保护红线监管技术规范 生态功能评价（试行）

LY/T 2899 湿地生态系统服务评估规范

《生态产品总值核算规范（试行）》

《陆地生态系统生产总值（GEP）核算技术指南》

### 3 术语和定义

以下术语和定义适用于本文件。

#### 3.1 陆地生态系统

地球表面陆地生物及其环境通过能流、物流、信息流形成的功能整体，包括森林、草地、湿地、荒漠、农田、城市等生态系统类型。

#### 3.2 生态产品总值（GEP）

生态系统为人类福祉和经济社会可持续发展提供的各种最终产品与服务（简称“生态产品”）价值的总和，包括生态系统提供的物质产品、调节服务和文化服务的价值。

#### 3.3 物质产品

人类从生态系统获取的可在市场交换的物质产品，如粮食、油料、蔬菜、水果、木材、生物质能、水产品、中草药、牧草、花卉及淡水资源等。

#### 3.4 调节服务

生态系统为维持或改善人类生存环境提供的惠益，如水源涵养、土壤保持、防风固沙、洪水调蓄、空气净化、水质净化、固碳、释氧及气候调节等。

### 3.5 文化服务

人类通过精神感受、知识获取、休闲娱乐和美学体验等从生态系统获得的非物质惠益。

### 3.6 功能量

生态产品的物理量，如粮食产量、洪水调蓄量、土壤保持量、固碳量与景点旅游人数等。

### 3.7 价值量

生态产品的货币价值。

### 3.8 水源涵养

生态系统通过其结构和过程拦截滞蓄降水，增强土壤下渗，涵养土壤水分和补充地下水，调节河川流量，增加可利用水资源量的功能。

### 3.9 土壤保持

生态系统通过其结构与过程保护土壤，降低雨水的侵蚀能力，减少土壤流失的功能。

### 3.10 防风固沙

生态系统通过增加地表抗风能力，降低风力侵蚀和风沙危害的功能。

### 3.11 海岸带防护

生态系统降低海浪、避免或减小海堤或海岸侵蚀的功能。

### 3.12 洪水调蓄

生态系统通过调节暴雨径流、削减洪峰，减轻洪水危害的功能。

### 3.13 空气净化

生态系统吸收、阻滤大气中的污染物，如二氧化硫、氮氧化物、粉尘等，降低空气污染物浓度，改善空气环境的功能。

### 3.14 水质净化

生态系统通过物理和生化过程对水体污染物吸附、降解以及生物吸收等方式，降低水体污染物浓度，净化水环境的功能。

### 3.15 固碳

生态系统吸收二氧化碳合成有机质，将碳固定在植物和土壤中，降低大气中二氧化碳浓度的功能。

### 3.16 释氧

生态系统通过光合作用释放氧气，维持大气氧气含量稳定的功能。

### 3.17 气候调节

生态系统通过植被蒸腾作用和水面蒸发过程吸收能量，调节温湿度的功能。

### 3.18 生物多样性维护

生态系统提供生物生存所需的物质、良好的栖息环境以及生态演替与生物进化所需的物种和遗传资源的功能。

### 3.19 旅游康养

生态系统为人类提供的旅游观光、娱乐、休养等服务，使其获得审美享受、身心恢复等非物质惠益。

### 3.20 休闲游憩

生态系统为人类业余时间提供的休闲、运动等服务，使其获得精神放松、心情愉悦等非物质惠益。

## 4 评估指标体系

生态产品总值包括物质产品价值、调节服务价值和文化服务价值三大类。核算时，可结合区域生态产品类型以及核算目的，选择相应的核算指标，编制生态产品清单（见表 1）。

调节服务中，水源涵养、土壤保持、固碳、空气净化、水质净化、气候调节等六个指标为必选指标；防风固沙、海岸带防护、洪水调蓄、生物多样性维护等指标根据核算区域生态系统特征和生态产品供给情况进行核算。

文化服务中，旅游康养为必选指标，休闲游憩为可选指标，根据实际情况选择核算。

表 1 陆地生态系统生态产品总值核算指标

类别	生态产品	指标说明
物质产品	农业产品	从生态系统中获得的初级农产品，如稻谷、玉米、豆类、油料、烟叶、茶叶、药材、蔬菜、水果等。
	林业产品	从生态系统中获得的林木产品、林产品以及与森林资源相关的初级产品，如木材、竹材、松脂、生漆、油桐籽等。
	畜牧业产品	用放牧、圈养或者两者结合的方式，饲养禽畜以取得动物产品或役畜，如牛、羊、猪、家禽、兔子等肉类，奶类，禽蛋，动物皮毛等。
	渔业产品	在陆域水生态系统中通过捕捞或人工养殖获取的水产品，如鱼类、贝类、藻类以及其他水生动物等。
	淡水资源	可以直接供当地和下游地区使用的淡水资源，如农业用水、生活用水、工业用水、生态用水等。

类别	生态产品	指标说明
	生态能源	来自于生态系统的生物质能（秸秆、薪柴）、水能等。
	其他物质产品	从生态系统中获得的一些其他装饰产品和花卉、苗木、种子等。
调节服务	水源涵养	生态系统通过其结构和过程拦截滞蓄降水，增强土壤下渗，有效涵养土壤水分和补充地下水、调节河川流量，增加可利用水资源量的功能。
	土壤保持	生态系统通过其结构与过程保护土壤，降低雨水的侵蚀能力，减少土壤流失的功能。
	防风固沙	生态系统通过增加地表抗风能力，降低风力侵蚀和风沙危害的功能。
	海岸带防护	生态系统降低海浪、避免或减小海堤或海岸侵蚀的功能。
	洪水调蓄	生态系统通过调节暴雨径流、削减洪峰，减轻洪水危害的功能。
	空气净化	生态系统吸收、阻滤大气中的污染物，如二氧化硫、氮氧化物、粉尘等，降低空气污染物浓度，改善空气环境的功能。
	水质净化	生态系统通过物理和生化过程对水体污染物吸附、降解以及生物吸收等方式，降低水体污染物浓度，净化水环境的功能。
	固碳	生态系统吸收二氧化碳合成有机质，将碳固定在植物和土壤中，降低大气中二氧化碳浓度的功能。
	释氧	生态系统通过光合作用释放出氧气，维持大气氧气浓度稳定的功能。
	气候调节	生态系统通过植被蒸腾作用和水面蒸发过程吸收能量，调节温湿度的功能。
	生物多样性维护	生态系统提供生物生存所需的物质、良好的栖息环境以及生态演替与生物进化所需的物种和遗传资源的功能。
文化服务	旅游康养	生态系统为人类提供的旅游观光、娱乐、休养等服务，使其获得审美享受、身心恢复等非物质惠益。
	休闲游憩	生态系统为人类业余时间提供的休闲、运动等服务，使其获得精神放松、心情愉悦等非物质惠益。

## 5 生态产品功能量核算方法

生态产品功能量核算参数参考值或参考算法见附录 A，核算基础数据要求、清单及来源见附录 B。

## 5.1 物质产品

选用一定时间内从生态系统获取的各类物质产品的数量，作为生态系统物质产品功能量的评价指标，物质产品的数量可通过统计资料获取。

$$E_m = \sum_{i=1}^n E_i \quad (5.1)$$

式中：

$E_m$ ——物质产品总产量（根据产品的计量单位确定，如t/a）；

$E_i$ ——第*i*种物质产品的产量（根据产品的计量单位确定，如t/a）；

$i$ ——物质产品种类， $i=1, 2, 3, \dots, n$ ；

$n$ ——物质产品类型数量。

## 5.2 调节服务

### 5.2.1 水源涵养

选用水源涵养量作为生态系统水源涵养功能量的评价指标。水源涵养量估算主要有两种方法，推荐优先采用水量平衡法，技术参数缺失的情况下，可以选择水量供给法。

#### 方法1：水量平衡法

通过水量平衡方程计算，即生态系统水源涵养量是降水输入与径流和生态系统自身水分消耗量的差值。

$$Q_{wr} = \sum_{i=1}^n A_i \times (P_i - R_i - ET_i) \times 10^3 \quad (5.2)$$

式中：

$Q_{wr}$ ——水源涵养量（ $m^3/a$ ）；

$A_i$ ——第*i*类生态系统面积（ $km^2$ ）；

$P_i$ ——产流降雨量（ $mm/a$ ）；

$R_i$ ——地表径流量（ $mm/a$ ）；

$ET_i$ ——蒸散发量（ $mm/a$ ），是指水文循环中自降水到达地面后由液态或固态转化为水汽返回大气的过程，包括水面、土壤、冰雪的蒸发和植物的散发；

$i$ ——生态系统类型， $i=1, 2, 3, \dots, n$ ；

$n$ ——生态系统类型数量。

#### 方法2：水量供给法

水源涵养量是生态系统为本地区和下游地区提供的水资源总量，包括本地区的用水量和净出境水量。

$$Q_{wr} = (UQ_w - TQ_w) + (LQ_w - EQ_w) \times (1 - \delta) \quad (5.3)$$

式中：

$Q_{wr}$ ——水源涵养量（ $m^3/a$ ）；

$UQ_w$ ——核算区内的用水量（ $m^3/a$ ）；

$TQ_w$ ——跨流域净调水量（ $m^3/a$ ）；

$LQ_w$ ——区域出境水量（ $m^3/a$ ）；

$EQ_w$ ——区域入境水量（ $m^3/a$ ）；

$\delta$ ——区域产流径流系数。



### 5.2.2 土壤保持

选用土壤保持量，即因生态系统作用减少的土壤侵蚀量，作为生态系统土壤保持功能量的评价指标。土壤保持量核算主要基于修正的通用水土流失方程（RUSLE）计算。

$$Q_{sr} = \sum_{i=1}^n [R_i \times K_i \times L_i \times S_i \times (1 - C_i) \times A_i \times 10^2] \quad (5.4)$$

式中：

$Q_{sr}$ ——土壤保持量（t/a）；

$R_i$ ——降雨侵蚀力因子（MJ·mm/（hm<sup>2</sup>·h·a）），指降雨引发土壤侵蚀的潜在能力，用多年平均年降雨侵蚀力指数表示；

$K_i$ ——土壤可蚀性因子（t·h/（MJ·mm）），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，通常用标准样方上单位降雨侵蚀力所引起的土壤流失量表示；

$L_i$ ——坡长因子（无量纲），反映坡长对土壤侵蚀的影响；

$S_i$ ——坡度因子（无量纲），反映坡度对土壤侵蚀的影响；

$C_i$ ——植被覆盖因子（无量纲），反映生态系统对土壤侵蚀的影响，大小取决于生态系统类型和植被覆盖度的综合作用；

$A_i$ ——第*i*类生态系统面积（km<sup>2</sup>）；

$i$ ——生态系统类型， $i=1, 2, \dots, n$ ；

$n$ ——生态系统类型数量。

### 5.2.3 防风固沙

选用防风固沙量，即通过生态系统减少的风蚀量（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量的评价指标。防风固沙量核算主要基于修正的风力侵蚀模型（RWEQ）计算。

$$Q_{sf} = \sum_{i=1}^n [0.1699 \times (WF_i \times EF_i \times SCF_i \times K'_i)^{1.3711} \times (1 - C_i^{1.3711}) \times A_i] \quad (5.5)$$

$Q_{sf}$ ——防风固沙量（t/a）；

$WF_i$ ——气候侵蚀因子（kg/m），指风速、温度及降雨等各类气象因子对风蚀的综合影响；

$EF_i$ ——土壤侵蚀因子（无量纲），指一定土壤理化条件下土壤受风蚀影响的大小；

$SCF_i$ ——土壤结皮因子（无量纲），指一定土壤理化条件下土壤结皮抵抗风蚀能力的大小；

$K'_i$ ——地表糙度因子（无量纲），指地形引起的地表粗糙程度对风蚀的影响；

$C_i$ ——植被覆盖因子（无量纲）；

$A_i$ ——第*i*类生态系统面积（km<sup>2</sup>）；

$i$ ——生态系统类型， $i=1, 2, \dots, n$ ；

$n$ ——生态系统类型数量。

### 5.2.4 海岸带防护

选用滨海盐沼、珊瑚礁等生态系统防护或替代海堤等防护工程的长度，作为生态系统海岸带防护功能量的评价指标。

$$D_{cl} = \sum_{i=1}^n D_{cli} \quad (5.6)$$

式中：

$D_{cl}$ ——生态系统防护的海岸带总长度 (km)；

$D_{cli}$ ——第  $i$  类生态系统防护的海岸带长度 (km)；

$i$ ——生态系统类型， $i=1, 2, \dots, n$ ；

$n$ ——生态系统类型数量。

### 5.2.5 洪水调蓄

选用植被调蓄水量和洪水期滞水量（库塘、湖泊、沼泽）表征生态系统的洪水调蓄能力，即调节洪水的潜在能力。

$$C_{fm} = C_{vfm} + C_{rfm} + C_{lfm} + C_{mfm} \quad (5.7)$$

式中：

$C_{fm}$ ——洪水调蓄量 ( $m^3/a$ )；

$C_{vfm}$ ——植被洪水调蓄量 ( $m^3/a$ )；

$C_{rfm}$ ——库塘洪水调蓄量 ( $m^3/a$ )；

$C_{lfm}$ ——湖泊洪水调蓄量 ( $m^3/a$ )；

$C_{mfm}$ ——沼泽洪水调蓄量 ( $m^3/a$ )。

#### 植被洪水调蓄量

$$C_{vfm} = \sum_{i=1}^n (P_i - R_{fi}) \times A_i \times 10^3 \quad (5.8)$$

式中：

$C_{vfm}$ ——植被洪水调蓄量 ( $m^3/a$ )；

$P_i$ ——暴雨降雨量 (mm)；

$R_{fi}$ ——第  $i$  类植被生态系统的暴雨径流量 (mm)；

$A_i$ ——第  $i$  类植被生态系统面积 ( $km^2$ )；

$i$ ——植被生态系统类型， $i=1, 2, \dots, n$ ；

$n$ ——植被生态系统类型数量。

#### 库塘洪水调蓄量

**方法 1：**基于已有防洪库容与总库容之间的数量关系建立经验方程，以通过水库总库容构建防洪库容评价模型。

$$C_{rfm} = 0.29C_t \quad (5.9)$$

式中：

$C_{rfm}$ ——库塘防洪库容 ( $m^3/a$ )；

$C_t$ ——库塘总库容 ( $m^3$ )。

**方法 2：**通过洪水期库塘的进出水总量进行计算。

$$C_{rfm} = C_I - C_O \quad (5.10)$$

式中：

$C_{rfm}$ ——库塘防洪库容 ( $m^3/a$ )；

$C_I$ ——洪水期库塘进水总量 ( $m^3/a$ )；

$C_O$ ——洪水期库塘出水总量 ( $m^3/a$ )。

### 湖泊洪水调蓄量

**方法 1:** 通过汛期湖泊入湖、出湖流量随时间的变化计算湖泊在某一时间段内洪水调蓄量。

$$C_{lfm} = \int_{t_1}^{t_2} (Q_I - Q_O) dt (Q_I > Q_O) \quad (5.11)$$

式中:

$C_{lfm}$ ——湖泊  $t_1$ - $t_2$  时间段内洪水调蓄量 ( $\text{m}^3/\text{a}$ );

$Q_I$ ——入湖流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$Q_O$ ——出湖流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )。

**方法 2:** 基于湖面面积与湖泊换水次数建立湖泊洪水调蓄评价模型。

$$C_{lfm} = e^{4.924} \times A^{1.128} \times 3.19 \times 10^4 \quad (5.12)$$

式中:

$C_{lfm}$ ——湖泊洪水调蓄量 ( $\text{m}^3/\text{a}$ );

$A$ ——湖泊面积 ( $\text{km}^2$ )。

### 沼泽洪水调蓄量

基于沼泽土壤蓄水量和地表滞水量模型计算沼泽洪水调蓄量。

$$C_{mfm} = C_{sws} + C_{sr} \quad (5.13)$$

$$C_{sws} = S \times h \times \rho \times (F - E) \times 10^6 / \rho_w \quad (5.14)$$

$$C_{sr} = S \times H \times 10^6 \quad (5.15)$$

式中:

$C_{mfm}$ ——沼泽洪水调蓄量 ( $\text{m}^3/\text{a}$ );

$C_{sws}$ ——沼泽土壤蓄水量 ( $\text{m}^3/\text{a}$ );

$C_{sr}$ ——沼泽地表滞水量 ( $\text{m}^3/\text{a}$ );

$S$ ——沼泽总面积 ( $\text{km}^2$ );

$h$ ——沼泽湿地土壤蓄水深度 ( $\text{m}$ );

$\rho$ ——沼泽湿地土壤容重 ( $\text{t}/\text{m}^3$ );

$F$ ——沼泽湿地土壤饱和含水率 (无量纲);

$E$ ——沼泽湿地洪水淹没前的自然含水率 (无量纲);

$\rho_w$ ——水的密度 ( $\text{t}/\text{m}^3$ );

$H$ ——沼泽湿地地表滞水高度 ( $\text{m}$ )。

### 5.2.6 空气净化

采用生态系统空气净化能力估算生态系统对二氧化硫、氮氧化物、粉尘等污染物的净化量。

$$Q_{ap} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Q_{ij} \times A_j \quad (5.16)$$

式中:

$Q_{ap}$ ——空气污染物净化量 ( $\text{t}/\text{a}$ );

$Q_{ij}$ ——单位面积第  $j$  类生态系统对第  $i$  种大气污染物的净化量 ( $\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}$ );

$i$ ——大气污染物类别,  $i=1, 2, \dots, n$ ;

$n$ ——大气污染物类别数量;

$j$ ——生态系统类型,  $j=1, 2, \dots, m$ ;

$m$ ——生态系统类型数量;

$A_j$ ——第  $j$  类生态系统面积 ( $\text{km}^2$ )。

### 5.2.7 水质净化

采用生态系统水体净化能力估算湿地生态系统对化学需氧量、总氮、总磷等污染物的净化量。

$$Q_{wp} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{ij} \times A_j \quad (5.17)$$

式中:

$Q_{wp}$ ——水体污染物净化量 ( $\text{t/a}$ );

$P_{ij}$ ——单位面积第  $j$  类湿地生态系统对第  $i$  类污染物的净化量 ( $\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}$ );

$i$ ——水体污染物类别,  $i=1, 2, \dots, n$ ;

$n$ ——水体污染物类别数量;

$j$ ——湿地生态系统类型,  $j=1, 2, \dots, m$ ;

$m$ ——湿地生态系统类型数量;

$A_j$ ——第  $j$  类湿地生态系统面积 ( $\text{km}^2$ )。

### 5.2.8 固碳

选用固定二氧化碳量作为生态系统固碳功能的评价指标。陆地生态系统固碳功能的计算方法主要有两种, 根据数据可得性, 选择固碳速率法或净生态系统生产力法 ( $NEP$ 法)。

#### 方法 1: 固碳速率法

$$Q_{tCO_2} = M_{CO_2}/M_C \times (FCS + GSCS + WCS + CSCS) \quad (5.18)$$

式中:

$Q_{tCO_2}$ ——陆地生态系统二氧化碳总固定量 ( $\text{tCO}_2/\text{a}$ );

$M_{CO_2}/M_C=44/12$ ——C 转化为  $CO_2$  的系数;

$FCS$ ——森林 (及灌丛) 固碳量 ( $\text{tC/a}$ );

$GSCS$ ——草地固碳量 ( $\text{tC/a}$ );

$WCS$ ——湿地固碳量 ( $\text{tC/a}$ );

$CSCS$ ——农田固碳量 ( $\text{tC/a}$ )。

#### 森林 (及灌丛) 固碳量

$$FCS = (FVCSR + FSCSR) \times SF \quad (5.19)$$

式中:

$FVCSR$ ——森林 (及灌丛) 生态系统植被固碳速率 ( $\text{tC}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ );

$FSCSR$ ——森林 (及灌丛) 生态系统土壤固碳速率 ( $\text{tC}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ );

$SF$ ——森林 (及灌丛) 生态系统面积 ( $\text{hm}^2$ )。

#### 草地固碳量

由于草地植被每年都会枯落, 其固定的碳又返还回大气或进入土壤中, 故不考虑草地植被的固碳量, 只考虑草地的土壤固碳量。

$$GSCS = GSR \times SG \quad (5.20)$$

式中:

$GSR$ ——草地生态系统土壤固碳速率 ( $tC/(hm^2 \cdot a)$ );

$SG$ ——草地生态系统面积 ( $hm^2$ )。

#### 湿地固碳量

$$WCS = \sum_{i=1}^n SCSR_i \times SW_i \times 10^{-2} \quad (5.21)$$

式中:

$SCSR_i$ ——第  $i$  类湿地生态系统固碳速率 ( $gC/(m^2 \cdot a)$ );

$SW_i$ ——第  $i$  类湿地生态系统面积 ( $hm^2$ ),  $i=1, 2, \dots, n$ ;

$n$ ——湿地生态系统类型数量。

#### 农田固碳量

由于农田植被每年都会被收获,其固定的碳又返回回大气或进入土壤中,故不考虑农田植被的固碳量,只考虑农田的土壤固碳量。

$$CSCS = (BSS + SCSR_N + PR \times SCSR_S) \times SC \quad (5.22)$$

式中:

$BSS$ ——无固碳措施条件下的农田土壤固碳速率 ( $tC/(hm^2 \cdot a)$ );

$SCSR_N$ ——施用化学氮肥和复合肥的农田土壤固碳速率 ( $tC/(hm^2 \cdot a)$ );

$SCSR_S$ ——秸秆全部还田的农田土壤固碳速率 ( $tC/(hm^2 \cdot a)$ );

$PR$ ——农田秸秆还田推广施行率 (%);

$SC$ ——农田面积 ( $hm^2$ )。

#### 无固碳措施条件下的土壤固碳速率

$$BSS = NSC \times BD \times H \times 0.1 \quad (5.23)$$

式中:

$NSC$ ——无化学和有机肥料施用的情况下,农田土壤有机碳的变化 ( $gC/(kg \cdot a)$ );

$BD$ ——土壤容重 ( $g/cm^3$ );

$H$ ——土壤厚度(农田耕作层厚度) ( $cm$ )。

#### 施用化学氮肥和复合肥的土壤固碳速率

$$SCSR_N = 0.5286 \times TNF + 0.002 \quad (5.24)$$

式中:

$TNF$ ——单位面积耕地化学氮肥、复合肥总施用量 ( $tN/(hm^2 \cdot a)$ ),按下式计算:

$$TNF = (NF + CF \times 0.3)/S_p \quad (5.25)$$

式中:

$NF$ ——化学氮肥施用量 ( $t/a$ );

$CF$ ——复合肥施用量 ( $t/a$ );

$S_p$ ——耕地面积 ( $hm^2$ )。

#### 秸秆还田的土壤固碳速率

$$SCSR_S = 0.041 \times S + 0.182 \quad (5.26)$$

式中:

$S$ ——单位耕地面积秸秆还田量 ( $t/(hm^2 \cdot a)$ ),按下式计算:

$$S = \sum_{j=1}^n CY_j \times SGR_j / S_p \quad (5.27)$$

式中:

$CY_j$ ——作物  $j$  在当年的产量 (t/a);

$SGR_j$ ——作物  $j$  的草谷比;

$j$ ——作物类别,  $j=1, 2, \dots, n$ ;

$n$ ——作物类别数量;

$S_p$ ——耕地面积 ( $\text{hm}^2$ )。

#### 方法 2: 净生态系统生产力法

净生态系统生产力 ( $NEP$ ) 是定量化分析生态系统碳源/汇的重要科学指标, 生态系统固碳量可以用  $NEP$  衡量。  $NEP$  可由净初级生产力 ( $NPP$ ) 减去异养呼吸消耗得到, 或根据  $NPP$  与  $NEP$  的相关转换系数换算得到:

$$Q_{tCO_2} = M_{CO_2}/M_C \times NEP \quad (5.28)$$

式中:

$Q_{tCO_2}$ ——陆地生态系统二氧化碳总固定量 ( $\text{tCO}_2/\text{a}$ );

$M_{CO_2}/M_C=44/12$ ——C 转化为  $\text{CO}_2$  的系数;

$NEP$ ——净生态系统生产力 ( $\text{tC/a}$ )。

其中, 净生态系统生产力  $NEP$  有两种算法:

方法 1: 由净初级生产力 ( $NPP$ ) 减去异养呼吸消耗得到:

$$NEP = NPP - RS \quad (5.29)$$

式中:

$NPP$ ——净初级生产力 ( $\text{tC/a}$ ), 指绿色植物在单位时间单位面积内积累的有机物质的总量, 是由光合作用所产生的有机质总量扣除植物用于维持性呼吸和生长性呼吸消耗后的剩余部分;

$RS$ ——土壤异养呼吸消耗碳量 ( $\text{tC/a}$ ), 指土壤释放二氧化碳的过程, 包括三个生物学过程 (土壤微生物呼吸、根系呼吸、土壤动物呼吸) 和一个非生物过程 (含碳矿物质的化学氧化作用)。

方法 2: 根据  $NEP$  和  $NPP$  的转换系数, 计算得到  $NEP$ :

$$NEP = \alpha \times NPP \times M_{C_6}/M_{C_6H_{10}O_5} \quad (5.30)$$

式中:

$\alpha$ —— $NEP$  和  $NPP$  的转换系数;

$NPP$ ——净初级生产力 ( $\text{t干物质/a}$ );

$M_{C_6}/M_{C_6H_{10}O_5}=72/162$ ——干物质转化为 C 的系数。

#### 5.2.9 释氧

选用释氧量作为生态系统释氧功能的评价指标。根据光合作用化学方程式, 植物每吸收  $1\text{mol CO}_2$ , 释放  $1\text{mol O}_2$ , 据此测算出生态系统释放氧气的质量:

$$Q_{top} = M_{O_2}/M_{CO_2} \times Q_{tCO_2} \quad (5.31)$$

式中:

$Q_{top}$ ——生态系统释氧量 ( $\text{tO}_2/\text{a}$ );

$M_{O_2}/M_{CO_2}=32/44$ —— $\text{CO}_2$  转化为  $\text{O}_2$  的系数;

$Q_{tCO_2}$ ——陆地生态系统固碳量 ( $\text{tCO}_2/\text{a}$ )。

### 5.2.10 气候调节

气候调节功能量可用实际测量的生态系统内外温差转化为生态系统吸收的大气热量、生态系统蒸散发过程中消耗的能量进行核算，优先选用实际测量方法，其次选用生态系统的总蒸散量进行核算。

**方法 1:** 采用实际测量生态系统内外温差进行功能量核算:

$$Q = \sum_{i=1}^n \Delta T_i \times \rho_c \times V \quad (5.32)$$

式中:

$Q$ ——生态系统吸收的大气热量 (J/a);

$\rho_c$ ——空气的比热容 (J/(m<sup>3</sup>·°C));

$V$ ——生态系统内空气的体积 (m<sup>3</sup>);

$\Delta T_i$ ——第  $i$  天生态系统内外实测温差 (°C);

$n$ ——日最高气温超过 26°C 的天数 (d/a)。

**方法 2:** 采用生态系统蒸腾蒸发消耗的总能量作为气候调节功能量:

$$E_{tt} = E_{pt} + E_{we} \quad (5.33)$$

$$E_{pt} = \sum_{i=1}^n EPP_i \times S_i \times D \times 10^6 / (3600 \times r) \quad (5.34)$$

$$E_{we} = E_{wt} \times \rho_w \times q \times 10^3 / (3600 \times r) + E_{wh} \times y \quad (5.35)$$

式中:

$E_{tt}$ ——生态系统蒸腾蒸发消耗的总能量 (kW·h/a);

$E_{pt}$ ——生态系统植被蒸腾消耗的能量 (kW·h/a);

$E_{we}$ ——生态系统水面蒸发消耗的能量 (kW·h/a);

$E_{wt}$ ——开放空调降温期间 (日最高气温超过 26°C) 水面蒸发量 (m<sup>3</sup>);

$E_{wh}$ ——开放加湿器增湿期间 (湿度小于 45%) 水面蒸发量 (m<sup>3</sup>);

$EPP_i$ ——第  $i$  类生态系统单位面积蒸腾消耗热量 (kJ/(m<sup>2</sup>·d));

$S_i$ ——第  $i$  类生态系统面积 (km<sup>2</sup>);

$i$ ——生态系统类型,  $i=1, 2, \dots, n$ ;

$n$ ——生态系统类型数量;

$r$ ——空调能效比: 3.0, 无量纲;

$D$ ——日最高气温超过 26°C 的天数 (d/a);

$\rho_w$ ——水的密度 (g/cm<sup>3</sup>);

$q$ ——挥发潜热, 即蒸发 1 克水所需要的热量 (J/g);

$y$ ——加湿器将 1m<sup>3</sup> 水转化为蒸汽的耗电量 (kwh), 120, 仅计算湿度小于 45% 时的增湿功能。

### 5.2.11 生物多样性维护

**方法 1: Shannon-Wiener 指数法**

把濒危动植物、特有动植物和古树名木的数量纳入到计算中, 公式如下:

$$G_{bio} = A \times (1 + 0.1 \times \sum_{m=1}^x E_m + 0.1 \times \sum_{n=1}^y B_n + 0.1 \times \sum_{r=1}^z O_r) \quad (5.36)$$

式中:

$G_{bio}$ ——物种保育功能量;

$E_m$ ——区域内物种  $m$  的濒危分值;

$B_n$ ——区域内物种  $n$  的特有值；  
 $O_r$ ——区域内物种  $r$  的古树年龄指数；  
 $x$ ——计算濒危指数物种数量；  
 $y$ ——计算特有种指数物种数量；  
 $z$ ——计算古树年龄指数物种数量；  
 $A$ ——区域面积 ( $\text{hm}^2$ )。

### 方法 2：保护区保护法

采用区域保护区面积进行核算。

$$G_{biop} = S \quad (5.37)$$

式中：

$G_{biop}$ ——物种保育功能量；  
 $S$ ——自然保护区面积。

## 5.3 文化服务

### 5.3.1 旅游康养

采用区域内自然景观的游客年旅游总人次作为旅游康养功能量的评价指标。

$$N_t = \sum_{i=1}^n N_{ti} \quad (5.38)$$

式中：

$N_t$ ——自然景区游客总人次 (人·次/a)；  
 $N_{ti}$ ——第  $i$  个自然景区的游客人次 (人·次/a)；  
 $i$ ——自然景区， $i=1, 2, \dots, n$ ，无量纲；  
 $n$ ——自然景区数量。

### 5.3.2 休闲游憩

采用核算区域内公园、绿地、河湖周边带等休闲活动型自然空间的休闲游憩总人时 (人数·小时)，作为城市生态系统休闲游憩功能量的评价指标。

$$N_{pt} = \sum_{i=1}^n N_{pti} \quad (5.39)$$

式中：

$N_{pt}$ ——城市休闲游憩总人时 (人·时/a)；  
 $N_{pti}$ ——第  $i$  个城市休闲游憩区的人时数 (人·时/a)；  
 $i$ ——城市休闲游憩区， $i=1, 2, \dots, n$ ；  
 $n$ ——城市休闲游憩区数量。

## 6 生态产品价值量核算方法

在生态产品功能量核算的基础上，确定各类生态产品价格，核算生态产品价值，当无法获得评估时段生态产品价格数据时，可利用已有年份数据，通过消费者物价指数 (CPI) 进行调整。核算基础数据要求、清单及来源见附录 B。

### 6.1 物质产品



运用市场价值法对生态系统的物质产品服务进行价值核算。

$$V_m = \sum_{i=1}^n E_i \times P_i \quad (6.1)$$

式中：

$V_m$ ——物质产品价值（元/a）；

$E_i$ ——第  $i$  类生态系统提供的物质产品产量（t/a）；

$P_i$ ——第  $i$  类生态系统提供的物质产品的价格（元/t）。

## 6.2 调节服务

### 6.2.1 水源涵养

运用替代成本法（影子工程法），即模拟建设蓄水量与生态系统水源涵养量相当的拦蓄水等水利设施所需要的成本，核算水源涵养价值。

$$V_{wr} = Q_{wr} \times (C_{we} + P_{we} \times D_r) \quad (6.2)$$

式中：

$V_{wr}$ ——水源涵养价值（元/a）；

$Q_{wr}$ ——水源涵养量（m<sup>3</sup>/a）；

$C_{we}$ ——水库单位库容的年运营成本（元/（m<sup>3</sup>·a））；

$P_{we}$ ——水库单位库容的工程造价（元/m<sup>3</sup>）；

$D_r$ ——水库年折旧率。

### 6.2.2 土壤保持

生态系统土壤保持价值主要包括减少面源污染和减少泥沙淤积两个方面的价值。

生态系统通过保持土壤，减少氮、磷等土壤营养物质进入下游水体（包括河流、湖泊、水库和海湾等），可降低下游水体的面源污染。根据土壤保持量和土壤中氮、磷的含量，运用替代成本法（即污染物处理的成本）核算减少面源污染的价值。

生态系统通过保持土壤，减少水库、河流、湖泊的泥沙淤积，有利于降低干旱、洪涝灾害发生的风险。根据土壤保持量和淤积量，运用替代成本法（即水库、河道、湖泊清淤工程的费用）核算减少泥沙淤积价值。

$$V_{sr} = V_{sd} + V_{dpd} \quad (6.3)$$

$$V_{sd} = \lambda \times (Q_{sr} / \rho) \times c \quad (6.4)$$

$$V_{dpd} = \sum_{i=1}^n Q_{sr} \times c_i \times p_i \quad (6.5)$$

式中：

$V_{sr}$ ——土壤保持价值（元/a）；

$V_{sd}$ ——减少泥沙淤积价值（元/a）；

$V_{dpd}$ ——减少面源污染价值（元/a）；

$\lambda$ ——泥沙淤积系数（无量纲）；

$Q_{sr}$ ——土壤保持量（t/a）；

$\rho$ ——土壤容重（t/m<sup>3</sup>）；

$c$ ——单位清淤工程费用（元/m<sup>3</sup>）；

$c_i$ ——土壤中第  $i$  类污染物（如氮、磷）的纯含量（%）；

$p_i$ ——第  $i$  类污染物单位处理成本 (元/t);  
 $i$ ——土壤中污染物类别,  $i=1, 2, \dots, n$ ;  
 $n$ ——土壤中污染物类别数量。

### 6.2.3 防风固沙

根据防风固沙量和土壤沙化覆沙厚度, 核算出减少的沙化土地面积; 运用替代成本法中的恢复成本法, 即单位面积沙化土地治理费用或单位植被恢复成本核算生态系统防风固沙价值。

$$V_{sf} = \frac{Q_{sf}}{\rho \times h} \times C \quad (6.6)$$

式中:

$V_{sf}$ ——防风固沙价值 (元/a);  
 $Q_{sf}$ ——防风固沙量 (t/a);  
 $\rho$ ——土壤容重 (t/m<sup>3</sup>);  
 $h$ ——土壤沙化覆沙厚度 (m);  
 $C$ ——单位治沙工程的成本或单位植被恢复成本 (元/m<sup>2</sup>)。

### 6.2.4 海岸带防护

运用替代成本法, 即海浪防护工程建设和维护成本核算滨海盐沼、珊瑚礁等生态系统防风护堤的价值。

$$V_{cl} = D_{cl} \times (C_{cl} + P_{cl} \times D_{rcl}) \quad (6.7)$$

式中:

$V_{cl}$ ——海岸带防护价值 (元/a);  
 $D_{cl}$ ——生态系统防护的海岸带总长度 (km/a);  
 $C_{cl}$ ——海浪防护工程单位长度年维护成本 (元/km·a);  
 $P_{cl}$ ——海浪防护工程单位长度建设成本 (元/km);  
 $D_{rcl}$ ——海浪防护工程年折旧率。

### 6.2.5 洪水调蓄

运用替代成本法, 即水库的建设和运营成本核算生态系统的洪水调蓄价值。

$$V_{fm} = C_{fm} \times (C_{we} + P_{we} \times D_r) \quad (6.8)$$

式中:

$V_{fm}$ ——洪水调蓄价值 (元/a);  
 $C_{fm}$ ——洪水调蓄量 (m<sup>3</sup>/a);  
 $C_{we}$ ——水库单位库容的年运营成本 (元/(m<sup>3</sup>·a));  
 $P_{we}$ ——水库单位库容的工程造价 (元/m<sup>3</sup>);  
 $D_r$ ——水库年折旧率。

### 6.2.6 空气净化

运用替代成本法, 即大气污染物工业治理成本, 核算生态系统空气净化价值, 主要核算二氧化硫、氮氧化物、粉尘等污染物净化价值。

$$V_{ap} = \sum_{i=1}^n Q_i \times c_i \quad (6.9)$$

式中:

$V_{ap}$ ——空气净化价值（元/a）；  
 $Q_i$ ——第  $i$  种大气污染物的净化量（t/a）；  
 $c_i$ ——第  $i$  类大气污染物的单位治理成本（元/t）；  
 $i$ ——大气污染物类别， $i=1, 2, \dots, n$ ；  
 $n$ ——大气污染物类别数量。

### 6.2.7 水质净化

运用替代成本法，即水体污染物工业治理成本，核算生态系统水质净化价值，主要核算化学需氧量、总氮、总磷等污染物净化价值。

$$V_{wp} = \sum_{i=1}^n Q_{wpi} \times c_i \quad (6.10)$$

式中：

$V_{wp}$ ——水质净化价值（元/a）；  
 $Q_{wpi}$ ——第  $i$  类水体污染物的净化量（t/a）；  
 $c_i$ ——第  $i$  类水体污染物的单位治理成本（元/t）；  
 $i$ ——水体污染物类别， $i=1, 2, \dots, n$ ；  
 $n$ ——水体污染物类别数量。

### 6.2.8 固碳

运用替代成本法，即造林成本法核算生态系统固碳价值。

$$V_{cf} = Q_{tCO_2} \times C_{CO_2} \quad (6.11)$$

式中：

$V_{cf}$ ——生态系统固碳价值（元/a）；  
 $Q_{tCO_2}$ ——生态系统固碳量（t·CO<sub>2</sub>/a）；  
 $C_{CO_2}$ ——单位造林固定二氧化碳成本价格（元/t·CO<sub>2</sub>）。

### 6.2.9 释氧

运用市场价值法，即制氧价格核算生态系统提供氧气的价值。

$$V_{op} = Q_{top} \times C_o \quad (6.12)$$

式中：

$V_{op}$ ——生态系统释氧价值（元/a）；  
 $Q_{top}$ ——生态系统释氧量（t·O<sub>2</sub>/a）；  
 $C_o$ ——工业制氧价格（元/t·O<sub>2</sub>）。

### 6.2.10 气候调节

运用替代成本法，即人工调节温度和湿度所需要的用电费用核算生态系统气候调节价值。

$$V_{tt} = E_{tt} \times P_e \quad (6.13)$$

式中：

$V_{tt}$ ——气候调节价值（元/a）；  
 $E_{tt}$ ——生态系统调节温湿度消耗的总能量（kW·h/a）；  
 $P_e$ ——当地生活消费电价（元/kW·h）。

### 6.2.11 生物多样性维护

### 方法 1: Shannon-Wiener 指数法

功能量与物种保育价值相乘得到价值量:

$$V_{bio} = G_{bio} \times S_{生} \quad (6.14)$$

$V_{bio}$ ——生物多样性价值 (元/a);

$S_{生}$ ——单位面积物种保育价值 (元/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ ))。

### 方法 2: 保护区保护法

$$V_{biop} = G_{biop} \times S_c \quad (6.15)$$

式中:

$V_{biop}$ ——物种保育价值 (元/a);

$S_c$ ——自然保护区单位面积保育成本 (元/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ ))。

## 6.3 文化服务

### 6.3.1 旅游康养

运用旅行费用法核算旅游康养服务价值。

$$V_r = \sum_{j=1}^J N_j \times TC_j \quad (6.16)$$

$$TC_j = T_j \times W_j + C_j \quad (6.17)$$

$$C_j = C_{tc,j} + C_{lj,j} + C_{ef,j} + C_{n,j} \quad (6.18)$$

式中:

$V_r$ ——旅游康养价值 (元/a);

$N_j$ —— $j$ 地到自然景区旅游的总人数 (人·次/a);

$j$ ——到自然景区的游客所在区域,  $j=1, 2, \dots, J$ ;

$TC_j$ ——来自  $j$ 地的游客的平均旅行成本 (元/(人·次));

$T_j$ ——来自  $j$ 地的游客用于旅途和在自然景区旅游的平均时间 (天/次);

$W_j$ ——来自  $j$ 地的游客的当地平均工资 (元/(人·天));

$C_j$ ——来自  $j$ 地的游客花费的平均直接旅行费用 (元/(人·次)), 其中包括游客从  $j$ 地到自然景区的交通费用  $C_{tc,j}$  (元/(人·次))、食宿花费  $C_{lj,j}$  (元/(人·次))、门票费用  $C_{ef,j}$  (元/(人·次)) 和旅游带动的购物、娱乐等延伸相关花费  $C_{n,j}$  (元/(人·次))。

### 6.3.2 休闲游憩

运用替代成本法, 核算城市生态系统休闲游憩服务价值。

$$E_t = N_{pt} \times E \quad (6.19)$$

式中:

$E_t$ ——城市生态系统休闲游憩价值 (元/a);

$N_{pt}$ ——城市休闲游憩总人时 (人·时/a);

$E$ ——当地单位时间人均工资 (元/(人·时))。

## 7 生态产品总值核算方法

在所有类型生态产品功能量、价值量核算的基础上，将各类生态产品价值加总，得到生态产品总值（GEP）。

$$GEP = EPV + ERV + ECV \quad (7.1)$$

式中：

*GEP*——生态产品总值（元/a）；

*EPV*——物质产品价值（元/a）；

*ERV*——调节服务价值（元/a）；

*ECV*——文化服务价值（元/a）。

## 8 报告编制要求

生态产品总值核算报告应数据准确、详实，内容完整，结论明确。陆地生态系统生态产品总值核算报告编写大纲见附录 C。

## 附录 A 生态产品功能量核算参数参考值或参考算法

(资料性)

本文件提供的参数主要来自文献、书籍、研究报告等，仅作为数据缺乏时的参考。核算实践中，建议优先选择实际调查监测数据，有条件的地区可结合本地实际对参数进一步优化。

### A.1 水源涵养

表A.1 各类生态系统地表径流系数

生态系统类型		径流系数	
森林生态系统	阔叶林	常绿阔叶林	2.67%
		落叶阔叶林	1.33%
	针叶林	常绿针叶林	3.02%
		落叶针叶林	0.88%
	针阔混交林	针阔混交林	2.29%
	稀疏林	稀疏林	19.2%
灌丛生态系统	阔叶灌丛	常绿阔叶灌木林	4.26%
		落叶阔叶灌木林	4.17%
	针叶灌丛	常绿针叶灌木林	4.17%
	稀疏灌丛	稀疏灌木林	19.2%
草地生态系统	草甸	草甸	8.20%
	草原	草原	4.78%
	草丛	草丛	9.37%
	稀疏草地	稀疏草地	18.27%
农田生态系统	耕地	水田	34.7%
		旱地	46.96%
	园地	乔木园地	9.57%
		灌木园地	7.9%
城市生态系统	城市绿地	乔木绿地	19.2%
		灌木绿地	19.2%
		草本绿地	18.27%
	城市水体	城市水体	0
湿地生态系统	沼泽	森林沼泽	0
		灌丛沼泽	0
		草本沼泽	0
	湖泊	湖泊	0
		水库/坑塘	0
	河流	河流	0
		运河/水渠	0

不同生态系统的地表径流量也可通过遥感信息提取方法获得。

## A.2 土壤保持

### (1) 降雨侵蚀力因子 (R)

降雨侵蚀力因子是土壤侵蚀的驱动因子，与土壤侵蚀强度有直接关系，可采用日降雨量拟合模型来核算，是基于日降雨量资料的半月降雨侵蚀力模型。其计算公式如下：

$$M_i = \alpha \sum_{j=1}^k D_j^\beta \quad (\text{A.1})$$

其中， $M_i$ 为某半月时段的降雨侵蚀力 ( $\text{MJ}\cdot\text{mm}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$ )； $D_j$ 为半月时段内第 $j$ 天的侵蚀性日降雨量（日降雨量大于等于12mm，否则以0计算）； $k$ 为半月时段内的天数，半月时段的划分以每月第15日为界，每月前15天作为一个半月时段，该月剩下部分作为另一个半月时段，将全年依次划分为24个时段。

$\alpha$ 、 $\beta$ 是模型待定参数：

$$\beta = 0.8363 + \frac{18.144}{P_{d12}} + \frac{24.455}{P_{y12}} \quad (\text{A.2})$$

$$\alpha = 21.586 \times \beta^{-7.1891} \quad (\text{A.3})$$

其中， $P_{d12}$ 为日降雨量大于等于12 mm的日平均降雨量； $P_{y12}$ 为日降雨量大于等于12 mm的年平均降雨量。

### (2) 土壤可蚀性因子 (K)

土壤可蚀性是表征土壤性质对侵蚀敏感程度的指标，即在标准单位小区上测得的特定土壤在单位降雨侵蚀力作用下的土壤流失率，可采用诺谟 (Nomo) 图法计算。

根据主要土壤性质，建立 $K$ 值与土壤性质之间的Nomo模型。其计算公式如下：

$$K = [2.1 \times 10^{-4}(12 - OM)M^{1.14} + 3.25(S - 2) + 2.5(P - 3)]/100 \times 0.1317 \quad (\text{A.4})$$

其中， $OM$ 为土壤有机质含量百分比 (%)； $M$ 为土壤颗粒级配参数，为（粉粒+极细砂）与（100-粘粒）百分比之积； $S$ 为结构性指数； $P$ 为可渗透性指数。

粒径等级：粘粒为<0.002 mm；粉粒为0.002-0.05 mm；极细砂为0.05-0.1 mm；砂粒为0.1-2.0 mm。

表A.2 Nomo图中结构性指数与可渗透性指数的定义

结构性指数 (S)	含义	可渗透性指数 (P)	含义
1	非常坚固 (very structured or particulate)	1	快速 (Rapid)
2	很坚固 (fairly structured)	2	中快速 (Moderate to rapid)
3	较坚固 (slightly structured)	3	中速 (Moderate)
		4	中慢速 (Moderate to slow)
4	坚固 (solid)	5	慢速 (Slow)
		6	极慢 (Very slow)

### (3) 坡长和坡度因子 (L、S)

坡长因子是指在其它条件相同的情况下，某一长度的田块坡面上的土壤流失量与22.13 m (72.6英尺) 长坡面上的流失量的比值；坡度因子是指在其它条件相同的情况下，某一坡度的田块坡面上的土壤流失量与9%坡度的坡面上流失量的比值。由于坡度和坡长因子相互之间联系较为紧密，通常将它们作为一个整体进行考虑。其计算公式如下：

$$S = \begin{cases} 10.8 \sin \theta + 0.03 & t < 9\% \\ 16.8 \sin \theta - 0.5 & 9\% \leq t < 18\% \\ 21.91 \sin \theta - 0.96 & t \geq 18\% \end{cases} \quad (\text{A.5})$$

$$L = \left( \frac{\lambda}{22.13} \right)^m \quad (\text{A.6})$$

$$m = \frac{\beta}{1+\beta} \quad (\text{A.7})$$

$$\beta = \frac{(\sin \theta / 0.089)}{[3.0 \times (\sin \theta)^{0.8} + 0.56]} \quad (\text{A.8})$$

其中， $L$ 为坡长因子； $\lambda$ 为坡长； $m$ 为无量纲常数； $S$ 为坡度因子； $t$ 为百分比坡度； $\theta$ 为坡度，弧度。

#### (4) 植被覆盖因子 ( $C$ )

植被覆盖因子是指在一定的植被覆盖度和管理措施下，一定面积土地上的土壤流失量与采取连续清耕、休闲处理的相同面积土地上的流失量的比值，为无量纲数，介于0-1之间。可根据植被覆盖度求解：

$$C = \begin{cases} 1 & f = 0.1 \\ 0.6508 - 0.3436 \log f & 0.1 < f \leq 78.3\% \\ 0 & f > 78.3\% \end{cases} \quad (\text{A.9})$$

$$f = \frac{(NDVI - NDVI_{soil})}{(NDVI_{max} - NDVI_{soil})} \quad (\text{A.10})$$

其中， $f$ 为植被覆盖度； $NDVI_{soil}$ 为纯裸土象元的 $NDVI$ 值； $NDVI_{max}$ 为纯植被象元的 $NDVI$ 值。

### A.3 防风固沙

#### (1) 气候侵蚀因子 ( $WF$ )

$$WF = \frac{\sum_{i=1}^N WS_2 (WS_2 - WS_t)^2 \times N_d \rho}{N \times g} \times SW \times SD \quad (\text{A.11})$$

其中， $WS_2$ 为2 m处风速，m/s； $WS_t$ 为2 m处临界风速（假定为5 m/s）； $N$ 为风速的观测次数（一般500次）； $N_d$ 为试验的天数， $d$ ； $\rho$ 为空气密度， $\text{kg/m}^3$ ； $g$ 为重力加速度， $\text{m/s}^2$ ； $SW$ 为土壤湿度因子，无量纲； $SD$ 为雪覆盖因子。

$$\rho = 348.0 \left( \frac{1.013 - 0.1183EL + 0.0048EL^2}{T} \right) \quad (\text{A.12})$$

其中， $EL$ 为海拔高度， $\text{km}$ ； $T$ 为绝对温度，开氏度。

$$SW = \frac{ET_p - (R+I) \frac{R_d}{N_d}}{ET_p} \quad (\text{A.13})$$

$$ET_p = 0.0162 \times \left( \frac{SR}{58.5} \right) \times (DT + 17.8) \quad (\text{A.14})$$

其中： $ET_p$ 为潜在相对蒸发量， $\text{mm}$ ； $R$ 为降雨量， $\text{mm}$ ； $I$ 为灌溉量， $\text{mm}$ ； $R_d$ 为降雨次数和（或）灌溉天数； $N_d$ 为天数， $d$ （一般15 $d$ ）； $SR$ 为太阳辐射总量， $\text{cal/cm}^2$ ； $DT$ 为平均温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

$$SD = 1 - P(\text{snow cover} > 25.4\text{mm}) \quad (\text{A.15})$$

其中， $P(\text{snow cover} > 25.4\text{mm})$ 为计算时段内积雪覆盖深度大于25.4 mm的概率。



## (2) 土壤侵蚀因子 (EF)

土壤侵蚀因子为土壤表层直径小于0.84 mm的颗粒含量，其计算公式如下：

$$EF = \frac{29.09+0.31Sa+0.17Si+0.33Sa/Cl-2.59OM-0.95CaCO_3}{100} \quad (A.16)$$

其中， $Sa$ 为土壤砂粒含量； $Si$ 为土壤粉砂含量； $Sa/Cl$ 为土壤砂粒和粘土含量比； $OM$ 为有机质含量； $CaCO_3$ 为碳酸钙含量。

## (3) 土壤结皮因子 (SCF)

土壤结皮为土壤颗粒物（特别是粘土、粉砂与有机质颗粒）的胶结作用而在土壤表面生成一层物理、化学和生物性状均较特殊的土壤微层，其计算公式如下：

$$SCF = \frac{1}{1+0.0066(Cl)^2+0.021(OM)^2} \quad (A.17)$$

其中， $Cl$ 为粘土含量； $OM$ 为有机质含量。

## (4) 地表糙度因子 (K')

地表糙度因子取决于自由糙度 $RR$ 和定向糙度 $OR$ ，其计算公式如下：

$$K' = e^{(1.86K_r-2.41K_r^{0.934}-0.124C_{rr})} \quad (A.18)$$

$$K_r = \frac{2.118 \times 10^{-2} \times OR}{N_r} \quad (A.19)$$

$$C_{rr} = \left(1 - \frac{L_2}{L_1}\right) \times 100 \quad (A.20)$$

$$OR = PR - RR \quad (A.21)$$

其中， $C_{rr}$ 为随机糙度因子； $K_r$ 为土垄糙度因子； $PR$ 为垂直于垄向的糙度。

## (5) 植被覆盖因子 (C)

不同植被类型的防风固沙效果不同，将植被分为林地、灌丛、草地、农田、裸地和荒漠六个类型，根据不同的系数计算植被覆盖因子 $C$ 值，其计算公式如下：

$$C = e^{a_i(SC)} \quad (A.22)$$

其中， $SC$ 为植被覆盖度； $a_i$ 为不同植被类型的系数，分别为林地0.1535，灌丛0.0921，草地0.1151，农田0.0438，裸地0.0768，荒漠0.0658。

### A.4 洪水调蓄

山东省汛期前后沼泽土壤含水率差值为0.400147，洪水期沼泽土壤蓄水深度为0.4 m，洪水期沼泽湿地地表滞水高度为0.3 m。

表A.3 日暴雨标准

等级	12小时降雨量 (mm)	24小时降雨量 (mm)
暴雨	30.0~69.9	≥50

表A.4 生态系统暴雨径流回归方程

生态系统类型	暴雨径流
落叶阔叶林	$R=1.4288*\ln(P)-4.3682$
常绿落叶林	$R=7.7508*\ln(P)-27.842$
落叶针叶林	$R=7.2877*\ln(P)-26.566$
常绿针叶林	$R=13.36*\ln(P)-49.257$
针阔混交林	$R=2.264*\ln(P)-6.7516$
灌丛	$R=3.482*\ln(P)-7.9413$
草原	$R=5.4037*\ln(P)-8.6156$
草甸	$R=8.9121*\ln(P)-23.462$
草丛	$R=6.1564*\ln(P)-13.351$

注：R为暴雨径流量（mm/a）；P为暴雨降雨量（mm/a）。

不同生态系统的暴雨径流量也可通过遥感信息提取方法获得。

#### A.5 空气净化

表A.5 各类生态系统对各类大气污染物单位面积净化量

生态系统类型			二氧化硫 净化量	氮氧化物 净化量	粉尘净化量
一级	二级	三级	t/(km <sup>2</sup> ·a)	t/(km <sup>2</sup> ·a)	t/(km <sup>2</sup> ·a)
森林生态系统	阔叶林	常绿阔叶林	5.75	3.52	11.76
		落叶阔叶林	3.38	2.35	8.41
	针叶林	常绿针叶林	5.04	3.52	20.18
		落叶针叶林	3.38	2.35	10.08
	针阔混交林	针阔混交林	5.09	2.46	16.80
	稀疏林	稀疏林	3.60	2.26	10.76
灌丛生态系统	阔叶灌丛	常绿阔叶灌木林	4.03	2.64	11.76
		落叶阔叶灌木林	2.94	1.57	7.88
	针叶灌丛	常绿针叶灌木林	3.73	2.35	10.08
	稀疏灌丛	稀疏灌木林	2.81	1.75	7.93
草地生态系统	草甸	草甸	3.60	2.56	10.60
	草原	草原	2.94	1.57	8.41
	草丛	草丛	2.94	1.57	8.41
	稀疏草地	稀疏草地	2.54	1.52	7.18
湿地生态系统	沼泽	森林沼泽	4.03	1.97	10.08
		灌丛沼泽	3.11	1.52	7.41
		草本沼泽	2.85	1.32	6.73
	湖泊	湖泊	7.06	0.00	10.08
		水库/坑塘	7.06	0.00	10.08
	河流	河流	7.06	0.00	10.08
运河/水渠		7.06	0.00	10.08	

生态系统类型			二氧化硫 净化量	氮氧化物 净化量	粉尘净化量
一级	二级	三级	t/(km <sup>2</sup> ·a)	t/(km <sup>2</sup> ·a)	t/(km <sup>2</sup> ·a)
农田生态 系统	耕地	水田	4.03	2.75	8.87
		旱地	2.50	1.57	8.41
	园地	乔木园地	3.38	2.56	8.41
		灌木园地	3.16	2.17	6.17
城市生态 系统	城市绿地	乔木绿地	3.60	2.26	10.76
		灌木绿地	2.81	1.75	7.93
		草本绿地	2.54	1.52	7.18

#### A.6 水质净化

表A.6 单位面积湿地对各类水体污染物的净化量

污染物类型	净化量 t/ (km <sup>2</sup> ·a)
化学需氧量	110.43
总氮	8.56
总磷	8.56

#### A.7 固碳

表A.7 各植被分区森林（及灌丛）、草地生态系统固碳速率

类型	植被分区	植被固碳速率 tC/ (hm <sup>2</sup> ·a)	土壤固碳速率 tC/ (hm <sup>2</sup> ·a)
森林（及灌丛） 生态系统	暖温带北部落叶栎林地带	0.758	0.448
	暖温带南部落叶栎林地带	0.996	0.378
草地生态系统	--	--	0.020

表A.8 湿地固碳速率

类型	固碳速率 gC/ (m <sup>2</sup> ·a)
湖泊湿地	56.67
泥炭和苔藓泥炭沼泽	24.80
腐泥沼泽	32.48
内陆盐沼	67.11
沿海滩涂盐沼	235.62

无化学和有机肥料施用的情况下，农田土壤有机碳的变化 $NSC$ 取 $-0.06 \text{ g}\cdot\text{C}/(\text{kg}\cdot\text{a})$ ，土壤厚度取 $20 \text{ cm}$ ，不同作物的草谷比 $SGR_j$ 取值参考下表。

表A.9 不同作物的草谷比

作物	草谷比 $SGR_j$	作物	草谷比 $SGR_j$
水稻	0.623	油菜	2
小麦	1.366	向日葵	2
玉米	2	棉花	8.1
高粱	1	甘蔗	0.1
马铃薯	0.5		

表A.10 各植被分区森林、灌丛、草地NEP-NPP转换系数

植被分区	NEP-NPP转换系数		
	森林	灌丛	草地
暖温带北部落叶栎林地带	0.3599	0.3731	0.2565
暖温带南部落叶栎林地带	0.2546	0.2435	0.1956

A.8 生物多样性维护

表A.11 物种濒危指数体系

濒危指数	濒危等级
4	极危
3	濒危
2	易危
1	近危

表A.12 特有种指数体系

特有种指数	分布范围
4	仅限于范围不大的山峰或特殊的自然地理环境下分布
3	仅限于某些较大的自然地理环境下分布的类群，如仅仅分布于较大的海岛、高原、若干个山脉等
2	仅限于某个大陆分布的分布群
1	至少在2个大陆都有分布的分布群
0	世界广布的分类群

表A.13 古树年龄指数体系

指数等级	古树年龄
1	100-299年
2	300-499年
3	≥500年

表A.14 Shannon-Wiener指数等级划分及其价值量

指数等级	Shannon-Wiener指数	单价/(元/hm <sup>2</sup> ·a)
I	指数≥6	66760
II	5≤指数≤6	53410
III	4≤指数≤5	40060
IV	3≤指数≤4	26700
V	2≤指数≤3	13350
VI	1≤指数≤2	6680

附录 B 生态产品总值核算基础数据要求、清单及来源

(资料性)

表B.1 功能量核算基础数据要求、清单及数据来源

类别	核算指标	数据名称	数据单位/ 精度	建议数据来源	时间
通用基础数据	--	生态系统类型	--	自然资源部门	评估时段
		各类生态系统面积	km <sup>2</sup>	自然资源部门	评估时段
		多年平均降雨量	mm	气象部门	--
		多年平均蒸散发量	mm	气象部门	--
		地表径流量	mm	气象部门	评估时段
		数字高程模型 (DEM)	-	中科院资源环境科学与数据中心	评估时段
		土壤数据集	-	中国 1:100 万土壤数据库	评估时段
		NDVI 数据集	-	EARTH DATA 网站下载	评估时段
物质产品	物质产品	农业产品产量	t	农业农村部门、统计部门	评估时段
		林业产品产量	t	自然资源部门、统计部门	评估时段
		畜牧业产品产量	t	农业农村部门、统计部门、国家统计局山东调查总队	评估时段
		渔业产品产量	t	农业农村部门、统计部门	评估时段
		供当地和下游地区使用的淡水资源量	m <sup>3</sup>	水利部门、统计部门	评估时段

类别	核算指标	数据名称	数据单位/ 精度	建议数据来源	时间
		生态能源	--	发展改革部门、统计部门	评估时段
		其他物质产品产量	t	农业农村部门、自然资源部门、 统计部门	评估时段
调节服务	水源涵养	区域出境水量	m <sup>3</sup>	水利部门、统计部门	评估时段
		区域入境水量	m <sup>3</sup>	水利部门、统计部门	评估时段
		跨区域调水量	m <sup>3</sup>	水利部门、统计部门	评估时段
		区域用水总量	m <sup>3</sup>	水利部门、统计部门	评估时段
	土壤保持	站点逐日降雨量	mm	气象部门	评估时段
	防风固沙	站点逐日温度	°C	气象部门	评估时段
		站点逐日风速	m/s	气象部门	评估时段
		逐日土壤湿度	--	气象部门	评估时段
	海岸带防护	海岸带防护长度	km	自然资源部门	评估时段
	洪水调蓄	水库库容	m <sup>3</sup>	水利部门	评估时段
		沼泽湿地地表滞水高度	m	水利部门、实测数据、附录A建 议数据	--
		沼泽湿地土壤蓄水深度	m	水利部门、实测数据、附录A建 议数据	--
		沼泽湿地土壤容重	t/m <sup>3</sup>	自然资源部门、农业农村部门、 水利部门、实测数据、参考文献	--

类别	核算指标	数据名称	数据单位/ 精度	建议数据来源	时间
		沼泽湿地土壤饱和含水率	%	水利部门、实测数据、参考文献、附录A建议数据	--
		沼泽湿地洪水淹没前自然含水率	%	水利部门、实测数据、参考文献、附录A建议数据	--
	空气净化	不同生态系统单位面积对二氧化硫净化量	t/km <sup>2</sup>	实测数据、参考文献、附录A建议数据	评估时段
		不同生态系统单位面积对氮氧化物净化量	t/km <sup>2</sup>	实测数据、参考文献、附录A建议数据	评估时段
		不同生态系统单位面积对粉尘净化量	t/km <sup>2</sup>	实测数据、参考文献、附录A建议数据	评估时段
	水质净化	各类水体单位面积对化学需氧量净化量	t/km <sup>2</sup>	实测数据、参考文献、附录A建议数据	评估时段
		各类水体单位面积对总氮净化量	t/km <sup>2</sup>	实测数据、参考文献、附录A建议数据	评估时段
		各类水体单位面积对总磷净化量	t/km <sup>2</sup>	实测数据、参考文献、附录A建议数据	评估时段
	固碳释氧	不同生态系统土壤固碳速率	tC/ (hm <sup>2</sup> ·a)	实测数据、参考文献、附录A建议数据	评估时段
		不同生态系统植被固碳速率	tC/ (hm <sup>2</sup> ·a)	实测数据、参考文献、附录A建议数据	评估时段

类别	核算指标	数据名称	数据单位/ 精度	建议数据来源	时间
		有无肥料施用情况下农田土壤有机碳变化	$\text{g}\cdot\text{C}/(\text{kg}\cdot\text{a})$	农业农村部门、参考文献、附录A建议数据	评估时段
		土壤容重	$\text{g}/\text{cm}^3$	农业农村部门、实测数据、参考文献	--
		土壤厚度	cm	农业农村部门、实测数据、参考文献、附录A建议数据	评估时段
		各类作物产量	t	农业农村部门、统计部门	评估时段
		各类作物草谷比	%	农业农村部门、参考文献、附录A建议数据	--
		农田秸秆还田推广施行率	%	农业农村部门	评估时段
		化学氮肥和复合肥施用量	t	农业农村部门、统计部门	评估时段
		<i>NPP</i> 数据集	--	全国生态状况遥感调查与评估成果	评估时段
		土壤异养呼吸消耗碳量	$\text{tC}/\text{a}$	自然资源部门、农业农村部门、实测数据、参考文献	评估时段
		<i>NEP</i> 和 <i>NPP</i> 的转换系数	--	实测数据、附录A建议数据	--
	气候调节	水面蒸发量	mm	气象部门	评估时段
		不同生态系统单位面积蒸腾消耗热量	$\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$	实测数据、参考文献	评估时段
		空调开放天数	d	用电量序列分析	评估时段



类别	核算指标	数据名称	数据单位/ 精度	建议数据来源	时间
		增湿天数	d	用电量序列分析	评估时段
		挥发潜热	j/g	参考文献	--
	生物多样性维护	物种数量	--	统计部门、生态环境部门、自然资源部门、相关报告、实地调研	评估时段
		物种濒危等级	--	参考文献、附录A建议数据	--
		古树年龄指数	--	参考文献、附录A建议数据	--
		自然保护区面积	hm <sup>2</sup>	自然资源部门	评估时段
文化服务	旅游康养	自然景区名录	--	文化旅游部门、自然资源部门、统计部门、实地调研	评估时段
		自然景区年游客人次	人次	文化旅游部门、自然资源部门、统计部门、市场和实地调研	评估时段
	休闲游憩	城市休闲游憩区人时	人时	住房城乡建设部门、市场和实地调研	评估时段

表B.2 价值量核算基础数据清单及数据来源

类别	核算指标	数据名称	建议数据来源
物质产品	物质产品	农业产品产值	农业农村部门、统计部门、市场调研
		林业产品产值	自然资源部门、统计部门、市场调研
		畜牧业产品产值	农业农村部门、统计部门、市场调研
		渔业产品产值	农业农村部门、统计部门、市场调研
		水价	发展改革部门、市场调研
		煤炭价格	发展改革部门、市场调研
调节服务	水源涵养 洪水调蓄	水库单位库容建设成本	水利部门、参考文献、市场调研
		水库单位库容年运营成本	水利部门、参考文献、市场调研
		水库折旧率	《水库水电工程合理使用年限及耐久性设计规范》 等资料
	土壤保持	水库单位清淤工程费用	水利部门、参考文献、市场调研
		单位污染物处理成本	生态环境部门、参考文献、市场调研
	防风固沙	单位治沙工程成本	自然资源部门、水利部门、参考文献、市场调研
		单位植被恢复成本	自然资源部门、水利部门、参考文献、市场调研
	海岸带防护	海浪防护工程单位长度建设、维护成本	自然资源部门、参考文献、市场调研
	空气净化	各类大气污染物治理成本	生态环境部门、参考文献、市场调研
	水质净化	各类水体污染物治理成本	生态环境部门、参考文献、市场调研
	固碳释氧	造林固碳成本	自然资源部门、参考文献、市场调研
		工业制氧价格	参考文献、市场调研
	气候调节	电价	发展改革部门、市场调研

类别	核算指标	数据名称	建议数据来源
	生物多样性维护	单位面积物种保育价值	自然资源部门、参考文献、附录A建议数据、实地调研
		自然保护区单位面积保育成本	自然资源部门、参考文献、实地调研
文化服务	旅游康养	自然景区年旅游收入	文化旅游部门、自然资源部门、市场和实地调研
		自然景区游客人均消费（吃、住、行、游、娱、购）	
	休闲游憩	核算地区单位时间人均工资	市场和实地调研

## 附录 C 生态产品总值核算报告编写大纲

(资料性)

### XX地区生态产品总值核算报告

#### 前言

介绍核算背景、目的意义、任务来源等。

#### 1 区域概况

介绍核算区域地理范围、自然环境状况、经济社会状况、生态环境保护状况等基本情况。

#### 2 核算目标与原则

介绍核算目标、核算原则、核算依据、核算基准年。

#### 3 核算方法与数据

介绍主要核算思路、方法、数据来源与数据处理方法。

#### 4 生态产品功能量

介绍生态产品功能量的计算过程与结果，包括物质产品功能量、调节服务功能量和文化服务功能量。

#### 5 生态产品价值量

介绍生态产品价值量的计算过程与结果，包括物质产品价值量、调节服务价值量和文化服务价值量。

#### 6 结论与建议

介绍生态产品总值核算的结论，提出相关政策建议。

#### 7 附件

包括生态产品总值核算过程中相关的技术资料及附表、附图等。