

团 体 标 准

T/CAQI XXX—2025

光伏发电项目生态产品价值核算规范

Specification for value accounting of ecological products of
photovoltaic power project

(征求意见稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国质量检验协会 发布

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中节能生态产品发展研究中心有限公司提出。

本文件由中国质量检验协会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

光伏发电项目生态产品价值核算规范

1 范围

本文件规定了光伏发电项目生态产品价值核算的基本原则、核算要求、核算指标体系和核算方法。

本文件适用于新建、改建、扩建及已建成光伏发电项目在建设实施、投产运营阶段影响自然—经济—社会复合系统而产生的生态产品价值的核算。

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 43678 生态系统评估 生态系统服务评估方法
- GB/T 50796 光伏发电工程验收规范
- GB/T 51240 生产建设项目水土保持监测与评价标准
- HJ 19 环境影响评价技术导则 生态影响
- T/CAQI 363 项目级生态产品价值核算技术通则

3 术语和定义

T/CAQI 363界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

光伏发电项目 photovoltaic power project

利用光伏组件将太阳能转换为电能的工程实体。

注：由光伏组件、逆变器、线路等电气设备、监控系统和建（构）筑物组成。

注：包含光伏发电与其他业态或其他能源组合的光伏一体化项目，如“光伏+农（林牧渔）业”“光伏+生态修复”“光伏+多能互补”“光伏+基础设施”等。

[来源：GB/T 50796-2012，2.0.1，有修改]

3.2

光伏发电项目生态产品价值 ecological products value of photovoltaic power project

光伏发电项目活动在建设实施、投产运营阶段产生的生态价值、资源价值和环境价值变化量的总和。

4 基本原则

4.1 完整性

根据实际项目活动识别其应予核算的所有生态产品类型。

4.2 一致性

采用统一的核算方法，能对同一项目进行长时间周期有意义的年际比较，同时利于同类项目间的比较。

4.3 准确性

准确识别生态产品影响，采用正确的核算方法，获取有效数据，尽可能减少不确定性。

5 核算要求

5.1 核算期

光伏发电项目生态产品价值核算期为项目建设实施和投产运营阶段。核算基准年为核算当年。

5.2 核算范围

应结合项目特征和所在区域的生态特点，按照光伏发电项目可能造成的生态影响确定核算范围。核算范围应不小于主体工程、附属工程、直接干扰区（如取弃土场等临时工程区）。临时工程区生态功能恢复至原有水平后，可从下一年度起不再纳入核算范围。项目占地规模大于 20 km²时（包括永久和临时占用陆域和水域），核算范围应扩大至周边 500m 的区域。如果主体工程、辅助工程、直接干扰区等周边 500m~1000m 范围内存在国家公园、自然保护区、生态保护红线、保护物种和特有的栖息地、饮用水源地等各类生态保护目标，可按照 HJ 19 规定的方法进一步扩大核算范围。

5.3 核算内容

核算期和核算范围内，光伏发电项目活动产生的各项生态产品实物量与价值量。

5.4 核算程序

光伏发电项目生态产品价值核算的主要工作程序包括：

- a) 确定项目核算区域范围。根据项目类型，兼顾生态系统完整性，划定项目边界，确定项目核算区域范围；
- b) 确定项目核算条件。项目处于规划设计阶段时，可实施预测评估；项目处于建设实施和稳定运行阶段时，可进行监测评估；
- c) 明确生态系统、资源、环境减排类型。明确核算区域内的森林、草地、湿地、农田、荒漠、城市、海洋等生态系统类型、面积与分布；明确核算区域内生产、节约的资源种类与涉及的环境减排类型；
- d) 编制生态产品目录清单。明确核算区域内的项目活动造成的生态产品变化，分析项目涉及的生态产品价值类型，编制生态产品目录清单；
- e) 数据收集与监测调查。收集光伏发电项目生态产品价值核算所需要的生产数据、部门统计数据、调查监测资料、相关文献资料以及基础地理信息图件等，开展必要的实地观测调查，进行数据预处理以及参数本地化；
- f) 生态产品实物量核算。根据核算基准年，选择科学合理、符合核算区域特点的实物量核算方法和技术参数，核算各类生态产品的实物量；
- g) 生态产品价值量核算。根据生态产品实物量，运用市场价值法、替代成本法、旅行费用法等方法，核算各类生态产品的货币价值；
- h) 计算光伏发电项目生态产品价值总量。将各类生态产品价值加总，并折算到核算基准年，得到各年度生态产品价值。将各年度生态产品价值加总，得到光伏发电项目生态产品价值总量。

6 核算指标体系

光伏发电项目生态产品价值核算指标体系，分为三级，各级核算指标见表1。可根据项目类型对未因项目活动发生变化的核算指标进行删减。

表1 光伏发电项目生态产品价值核算指标

一级指标	二级指标	三级指标	指标说明
生态价值	物质供给	生物质供给	光伏发电项目与农林牧渔等业态结合时，提供的各类物质产品，如粮食、油料、蔬菜、水果、木材、水产品、中草药、牧草、花卉等生物质产品，不含集约化养殖牧产品。
	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，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。光伏发电项目活动对生态系统结构、生物多样性、局地环境理化性质等造成改变时，对水源涵养功能产生影响。
		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。光伏发电项目活动对生态系统结构、生物多样性、局地环境理化性质等造成改变时，对土壤保持功能产生影响。
		防风固沙	生态系统通过增加土壤抗风能力，降低风力侵蚀和风沙危害的功能。光伏发电项目活动对生态系统结构、生物多样性、局地环境理化性质等造成改变时，对防风固沙功能产生影响。
		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。光伏发电项目活动对生态系统结构、生物多样性、局地环境理化性质等造成改变时，对洪水调蓄功能产生影响。
		空气净化	生态系统吸收、阻滤大气中的污染物，如SO ₂ 、NO _x 、粉尘等，降低空气污染浓度，改善空气环境的功能。光伏发电项目活动对生态系统结构、生物多样性、局地环境理化性质等造成改变时，对空气净化功能产生影响。
		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。水面光伏发电项目活动对水生态系统造成改变时，对水质净化功能产生影响。
		固碳	生态系统吸收二氧化碳合成有机物质，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。光伏发电项目活动对生态系统结构、生物多样性、局地环境理化性质等造成改变时，对固碳功能产生影响。
		局部气候调节	生态系统通过植被蒸腾作用和水体蒸发过程吸收能量，调节温湿度的功能。光伏发电项目活动对生态系统结构、生物多样性、局地环境理化性质等造成改变时，对局部气候调节功能产生影响。
资源价值	资源生产	旅游康养	光伏发电项目与观光、科普、研学等业态结合时，为人类提供旅游观光、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。
		可再生资源生产	光伏发电项目生产且被消纳的，用于替代不可再生资源的太阳能等可再生能源，包含与储能系统结合时，经过储能系统充放电而被消纳的可再生能源。
	资源节约	其他可再生资源生产	光伏发电项目就地对废弃光伏组件进行拆解分离及回收时，产出金属、玻璃等可再生资源。
		土地节约	光伏发电项目与其他业态结合并复合利用土地时，实现对土地资源的节约集约使用。

环境价值	大气污染物减排	大气污染物减排	光伏发电项目与化石燃料发电项目相比减少的大气污染物排放。
	温室气体减排	温室气体减排	光伏发电项目与化石燃料发电项目相比减少的温室气体排放。
	固体废弃物减排	固体废弃物减排	光伏发电项目与化石燃料发电项目相比减少的固体废弃物排放，须扣减废弃光伏组件或就地对废弃光伏组件进行拆解分离及回收时产生的固体废弃物以及光伏一体化项目中，其他业态产生的固体废弃物。

7 核算方法

7.1 光伏发电项目生态产品价值总量核算

各年度生态产品价值应为各项三级指标价值量的代数和，并折算到核算基准年，计算公式见式（1）。各项指标的价值量应根据实物量核算结果，按照规定方法计算，未因项目活动发生变化的生态产品不计入核算。指标实物量与价值量核算结果为负值时，表示项目活动造成该生态产品实物量减少，生态产品价值降低；指标实物量与价值量核算结果为正值时，表示项目活动造成该生态产品实物量增加，生态产品价值提高。

光伏发电项目生态产品价值总量为各年度生态产品价值的总和，计算公式见式（2）。可根据情况，对光伏发电项目生态产品价值总量、结构等状况进行分析。

$$V_j = \sum_{i=1}^n V_{ij} (1 + r)^{-j} \dots\dots\dots (1)$$

$$V = \sum V_j \dots\dots\dots (2)$$

式中：
 V_j —— j 年度生态产品价值，单位为元每年（元/a）；
 V_{ij} —— j 年度第*i*项三级指标价值量，单位为元每年（元/a）；
 j ——核算年度， $j = \dots\dots\dots -2, -1, 0, 1, 2 \dots\dots\dots$ ，核算基准年为0，核算基准年过去为负值，核算基准年未来为正值；
 r ——折现率，核算基准年长期无风险利率与通胀目标之和；
 V ——光伏发电项目生态产品价值总量，单位为元。

7.2 实物量和价值量核算

7.2.1 实物量核算方法

实物量核算方法见表2。各项指标的实物量应根据核算基准时间，采用统计调查、机理模型等方法核算。

表2 光伏发电项目生态产品实物量核算方法

一级指标	二级指标	三级指标	实物量指标	核算方法
生态价值	物质供给	生物质供给	生物质获取量	统计调查
	调节服务	水源涵养	水源涵养量	水量平衡法
		土壤保持	土壤保持量	修正通用土壤流失方程（RUSLE）、调查监测
		防风固沙	防风固沙量	修正风力侵蚀模型（RWEQ）、调查监测
		洪水调蓄	洪水调蓄量	水量平衡法
		空气净化	大气污染物净化量	污染物净化模型

		水质净化	水污染物净化量	污染物净化模型
		固碳	固定二氧化碳量	固碳机理模型
		局部气候调节	植被蒸腾消耗能量	蒸散模型
			水面蒸发消耗能量	蒸散模型
	文化服务	旅游康养	旅游总人次	统计调查
资源价值	资源生产	可再生能源生产	可再生能源产量	统计调查
		其他可再生资源生产	其他可再生资源产量	统计调查
	资源节约	土地节约	土地节约量	统计调查
环境价值	大气污染物减排	大气污染物减排	大气污染物减排量	统计调查
	温室气体减排	温室气体减排	温室气体减排量	统计调查
	固体废弃物减排	固体废弃物减排	固体废弃物减排量	统计调查

7.2.2 价值量核算方法

价值量核算方法见表3。各类生态产品价值量应在实物量核算的基础上，采用适当的价值评估方法核算。

表3 光伏发电项目生态产品价值量核算方法

一级指标	二级指标	三级指标	价值量指标	核算方法
生态价值	物质供给	生物质供给	生物质供给价值	市场价值法
	调节服务	水源涵养	水源涵养价值	替代成本法
		土壤保持	减少泥沙淤积价值	替代成本法
			减少面源污染价值	替代成本法
		防风固沙	防风固沙价值	替代成本法
		洪水调蓄	洪水调蓄价值	替代成本法
		空气净化	大气污染物净化价值	替代成本法
		水质净化	水污染物净化价值	替代成本法
		固碳	固定二氧化碳价值	市场价值法
		局部气候调节	植被蒸腾调节温湿度价值	替代成本法
			水面蒸发调节温湿度价值	替代成本法
	文化服务	旅游康养	旅游康养价值	旅行费用法
资源价值	资源生产	可再生能源生产	可再生能源价值	市场价值法
		其他可再生资源生产	其他可再生资源价值	市场价值法
	资源节约	土地节约	土地节约价值	市场价值法
环境价值	大气污染物减排	大气污染物减排	大气污染物减排价值	替代成本法
	温室气体减排	温室气体减排	温室气体减排价值	市场价值法
	固体废弃物减排	固体废弃物减排	固体废弃物减排价值	替代成本法

7.3 实物量及价值量计算方法

7.3.1 生态价值

7.3.1.1 物质供给

7.3.1.1.1 生物质供给

应采用从项目生态系统获取的各类物质产品的数量作为生物质供给实物量。计算公式见式(3)：

$$EP = \sum_{i=1}^n EP_i \cdots \cdots \cdots (3)$$

式中：

EP ——项目物质产品总获取量，单位为吨每年（t/a）；

EP_i ——项目第 i 类物质产品获取量，单位为吨每年（t/a）。

应采用市场价格法核算项目生物质供给价值。计算公式见式（4）：

$$V_{ep} = \sum_{i=1}^n EP_i \times EPP_i \dots\dots\dots (4)$$

式中：

V_{ep} ——项目生物质供给价值，单位为元每年；

EP_i ——项目第 i 类物质产品获取量，单位为吨每年（t/a）；

EPP_i ——项目第 i 类物质产品价格，单位为元每吨。

7.3.1.2 调节服务

7.3.1.2.1 水源涵养

应采用项目活动引起的水源涵养功能变化作为水源涵养实物量。计算公式见式（5）：

$$WC = \sum_{i=1}^n A_i \times (P_{i,p} - R_{i,p} - ET_{i,p}) \times 10^3 - \sum_{i=1}^n A_i \times (P_i - R_i - ET_i) \times 10^3 \dots\dots (5)$$

式中：

WC ——水源涵养实物量，单位为立方米每年（m³/a）；

A_i ——核算单元 i 的面积，单位为平方千米（km²）；

$P_{i,p}$ ——项目活动情况下核算单元 i 的降雨量，单位为毫米每年（mm/a）；

$R_{i,p}$ ——项目活动情况下核算单元 i 的地表径流量，单位为毫米每年（mm/a）；

$ET_{i,p}$ ——项目活动情况下核算单元 i 的蒸散发量，单位为毫米每年（mm/a）；

P_i ——项目实施前核算单元 i 的降雨量，单位为毫米每年（mm/a）；

R_i ——项目实施前核算单元 i 的地表径流量，单位为毫米每年（mm/a）；

ET_i ——项目实施前核算单元 i 的蒸散发量，单位为毫米每年（mm/a）。

应采用替代成本法核算水源涵养价值。计算公式见式（6）：

$$V_{wc} = WC \times RC \dots\dots\dots (6)$$

式中：

V_{wc} ——水源涵养价值，单位为元每年；

WC ——水源涵养实物量，单位为立方米每年（m³/a）；

RC ——水库单位库容价格，单位为元每立方米。

7.3.1.2.2 土壤保持

应采用项目活动引起的土壤保持功能变化作为土壤保持实物量。可按照 GB/T 51240 规定的方法监测未扰动地表和项目扰动地表的水力侵蚀量的差值，或采用修正通用土壤流失方程（RUSLE）计算。计算公式见式（7）：

$$SR = [\sum_{i=1}^n R_{i,p} \times K_{i,p} \times L_{i,p} \times S_{i,p} \times (1 - C_{soil,i,p}) - \sum_{i=1}^n R_i \times K_i \times L_i \times S_i \times (1 - C_{soil,i})] \times A_i \times 10^2 \dots\dots\dots (7)$$

式中：

SR ——土壤保持实物量，单位为吨每年（t/a）；

$R_{i,p}$ ——项目活动情况下核算单元 i 的降雨侵蚀力因子，单位为兆焦毫米每公顷小时年 [MJ · mm/ (hm² · h · a)]；

$K_{i,p}$ ——项目活动情况下核算单元 i 的土壤可蚀性因子，单位为吨小时每兆焦毫米[t · h/

(MJ · mm)];

$L_{i,p}$ ——项目活动情况下核算单元 i 的坡长因子 (无量纲);

$S_{i,p}$ ——项目活动情况下核算单元 i 的坡度因子 (无量纲);

$C_{soil,i,p}$ ——项目活动情况下核算单元 i 的植被覆盖因子 (无量纲);

R_i ——项目实施前核算单元 i 的降雨侵蚀力因子, 单位为兆焦毫米每公顷小时年 [MJ · mm/($\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a}$)];

K_i ——项目实施前核算单元 i 的土壤可蚀性因子, 单位为吨小时每兆焦毫米 [$\text{t} \cdot \text{h}/(\text{MJ} \cdot \text{mm})$];

L_i ——项目实施前核算单元 i 的坡长因子 (无量纲);

S_i ——项目实施前核算单元 i 的坡度因子 (无量纲);

$C_{soil,i}$ ——项目实施前核算单元 i 的植被覆盖因子 (无量纲);

A_i ——核算单元 i 的面积, 单位为平方千米 (km^2)。

应采用替代成本法从减少面源污染和减轻泥沙淤积 2 个方面核算土壤保持价值。计算公式见式 (8) ~ 式 (10):

$$V_{sr} = V_{sd} + V_{dpd} \dots \dots \dots (8)$$

$$V_{sd} = 24\% \times SR \times \frac{RC}{\rho} \dots \dots \dots (9)$$

$$V_{dpd} = \sum_{i=1}^n SR \times c_i \times PTC_i \dots \dots \dots (10)$$

式中:

V_{sr} ——土壤保持价值, 单位为元每年;

V_{sd} ——减轻泥沙淤积价值, 单位为元每年;

V_{dpd} ——减少面源污染价值, 单位为元每年;

24%为土壤侵蚀流失泥沙淤积比例;

SR ——土壤保持实物量, 单位为吨每年 (t/a);

RC ——水库单位清淤工程价格, 单位为元每立方米;

ρ ——土壤容重, 单位为吨每立方米 (t/m^3);

c_i ——土壤中第 i 类污染物 (如氮、磷) 的纯含量, 以百分数 (%) 表示;

PTC_i ——第 i 类污染物单位处理成本, 单位为元每吨。

7.3.1.2.3 防风固沙

应采用项目活动引起的防风固沙功能变化作为防风固沙实物量。可按照 GB/T 51240 规定的方法监测未扰动地表和项目扰动地表的风力侵蚀量的差值, 或采用修正风力侵蚀模型 (RWEQ) 计算。计算公式见式 (11):

$$SF = [\sum_{i=1}^n 0.1699 \times (WF_{i,p} \times EF_{i,p} \times SCF_{i,p} \times K'_{i,p})^{1.3711} \times (1 - C_{sand,i,p}^{1.3711}) - \sum_{i=1}^n 0.1699 \times (WF_i \times EF_i \times SCF_i \times K'_i)^{1.3711} \times (1 - C_{sand,i}^{1.3711})] \times A_i \dots \dots \dots (11)$$

式中:

SF ——生态系统防风固沙量, 单位为吨每年 (t/a);

$WF_{i,p}$ ——项目活动情况下核算单元 i 的气候侵蚀因子, 单位为千克每米 (kg/m);

$EF_{i,p}$ ——项目活动情况下核算单元 i 的土壤侵蚀因子 (无量纲);

$SCF_{i,p}$ ——项目活动情况下核算单元 i 的土壤结皮因子 (无量纲);

$K'_{i,p}$ ——项目活动情况下核算单元 i 的地表粗糙因子 (无量纲);

$C_{sand,i,p}$ ——项目活动情况下核算单元 i 的植被覆盖因子 (无量纲);

WF_i ——项目实施前核算单元 i 的气候侵蚀因子, 单位为千克每米 (kg/m);

EF_i ——项目实施前核算单元 i 的土壤侵蚀因子（无量纲）；

SCF_i ——项目实施前核算单元 i 的土壤结皮因子（无量纲）；

K'_i ——项目实施前核算单元 i 的地表粗糙因子（无量纲）；

$C_{sand,i}$ ——项目实施前核算单元 i 的植被覆盖因子（无量纲）；

A_i ——核算单元 i 的面积，单位为平方千米（ km^2 ）。

应采用替代成本法核算防风固沙价值。计算公式见式（12）：

$$V_{sf} = \frac{SF}{\rho \times h} \times SCC \dots \dots \dots (12)$$

式中：

V_{sf} ——防风固沙价值，单位为元每年；

SF ——防风固沙实物量，单位为吨每年（ t/a ）；

ρ ——土壤容重，单位为吨每立方米（ t/m^3 ）；

h ——土壤沙化覆沙厚度，单位为米（ m ）；

SCC ——单位治沙工程的成本或单位植被恢复成本，单位为元每平方米。

7.3.1.2.4 洪水调蓄

应采用项目活动引起的洪水调蓄功能变化作为洪水调蓄实物量。计算公式见式（13）：

$$FM = \sum_{i=1}^n (P_{i,p} - R_{i,p}) \times A_i \times 10^3 - \sum_{i=1}^n (P_i - R_i) \times A_i \times 10^3 \dots \dots \dots (13)$$

式中：

FM ——洪水调蓄实物量，单位为立方米每年（ m^3/a ）；

$P_{i,p}$ ——项目活动情况下核算单元 i 的暴雨降雨量，单位为毫米每年（ mm/a ）；

$R_{i,p}$ ——项目活动情况下核算单元 i 的暴雨径流量，单位为毫米每年（ mm/a ）；

A_i ——核算单元 i 的面积，单位为平方千米（ km^2 ）；

P_i ——项目实施前核算单元 i 的暴雨降雨量，单位为毫米每年（ mm/a ）；

R_i ——项目实施前核算单元 i 的暴雨径流量，单位为毫米每年（ mm/a ）。

采用替代成本法核算洪水调蓄价值。计算公式见式（14）：

$$V_{fm} = FM \times RC \dots \dots \dots (14)$$

式中：

V_{fm} ——洪水调蓄价值，单位为元每年；

FM ——洪水调蓄实物量，单位为立方米每年（ m^3/a ）；

RC ——水库单位库容价格，单位为元每立方米。

7.3.1.2.5 固碳

应采用项目活动引起的固碳功能变化作为固碳实物量。计算公式见式（15）：

$$CS = M_{CO_2}/M_C \times (\sum_{i=1}^n A_{i,p} \times CSR_{i,p} - \sum_{i=1}^n A_i \times CSR_i) \dots \dots \dots (15)$$

式中：

CS ——固碳实物量（以 CO_2 计），单位为吨每年（ t/a ）；

M_{CO_2}/M_C ——C 转化为 CO_2 的系数；

$A_{i,p}$ ——项目活动情况下第 i 类生态系统的面积，单位为公顷（ hm^2 ）；

$CSR_{i,p}$ ——项目活动情况下第 i 类生态系统的固碳速率（以 C 计），单位为吨每公顷年（ $\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ）；

A_i ——项目实施前第 i 类生态系统的面积，单位为公顷（ hm^2 ）；

CSR_i ——项目实施前第 i 类生态系统的固碳速率（以 C 计），单位为吨每公顷年（ $t/(hm^2 \cdot a)$ ）。应采用市场价值法核算固碳价值。计算公式见式（16）：

$$V_{cs} = CS \times CP \dots\dots\dots (16)$$

式中：

V_{cs} ——固碳价值，单位为元每年；

CS ——固碳实物量（以 CO_2 计），单位为吨每年（ t/a ）；

CP ——二氧化碳价格，单位为元每吨。

7.3.1.2.6 空气净化

应采用项目活动引起的生态系统空气净化能力变化作为空气净化实物量。计算公式见式（17）：

$$AP = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m A_{j,p} \times AP_{ij,p} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m A_j \times AP_{ij} \dots\dots\dots (17)$$

式中：

AP ——空气净化实物量，单位为千克每年（ kg/a ）；

$A_{j,p}$ ——项目活动情况下第 j 类生态系统的面积，单位为平方千米（ km^2 ）；

$AP_{ij,p}$ ——项目活动情况下第 j 类生态系统对第 i 种大气污染物的净化能力，单位为千克每平方千米年（ $kg/(km^2 \cdot a)$ ）；

A_j ——项目实施前第 j 类生态系统的面积，单位为平方千米（ km^2 ）；

AP_{ij} ——项目实施前第 j 类生态系统对第 i 种大气污染物的净化能力，单位为千克每平方千米年（ $kg/(km^2 \cdot a)$ ）。

应采用替代成本法核算空气净化价值。计算公式见式（18）：

$$V_{ap} = \sum_{i=1}^n AP_i \times APC_i \dots\dots\dots (18)$$

式中：

V_{ap} ——空气净化价值，单位为元每年；

AP_i ——对第 i 种大气污染物的净化实物量，单位为千克每年（ kg/a ）；

APC_i ——第 i 种大气污染物治理费用，单位为元每千克。

7.3.1.2.7 水质净化

应采用项目活动引起的生态系统水质净化能力变化作为水质净化实物量。计算公式见式（19）：

$$WP = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{j,p} \times WP_{ij,p} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_j \times WP_{ij} \dots\dots\dots (19)$$

式中：

WP ——水质净化实物量，单位为千克每年（ kg/a ）；

$W_{j,p}$ ——项目活动情况下第 j 类生态系统的面积，单位为平方千米（ km^2 ）；

$WP_{ij,p}$ ——项目活动情况下第 j 类生态系统对第 i 种水污染物的净化能力，单位为千克每平方千米年（ $kg/(km^2 \cdot a)$ ）；

W_j ——项目实施前第 j 类生态系统的面积，单位为平方千米（ km^2 ）；

WP_{ij} ——项目实施前第 j 类生态系统对第 i 种水污染物的净化能力，单位为千克每平方千米年（ $kg/(km^2 \cdot a)$ ）。

应采用替代成本法核算水质净化价值。计算公式见式（20）：

$$V_{wp} = \sum_{i=1}^n WP_i \times WPC_i \dots\dots\dots (20)$$

式中：

V_{wp} ——水质净化价值，单位为元每年；

WP_i ——第 i 种水污染物净化实物量，单位为千克每年（ kg/a ）；

WPC_i ——第 i 种水污染物治理费用，单位为元每千克。

7.3.1.2.8 局部气候调节

应采用实际测量的光伏发电项目内外温差，转化为生态系统吸收的大气热量，作为局部气候调节实物量。计算公式见式（21）：

$$E_{tt} = \sum_{i=1}^n \Delta T_i \times \rho_c \times V / (r \times 3600) \dots \dots \dots (21)$$

式中：

E_{tt} ——局部气候调节实物量，单位为千瓦时每年（kWh/a）；

ΔT_i ——开放空调降温的第 i 天光伏发电项目内外实测温差，单位为摄氏度（℃）；

ρ_c ——空气的比热容，单位为千焦每立方米摄氏度（kJ/（m³·℃））；

V ——光伏发电项目内空气的体积，单位为立方米（m³）

r ——空调能效比（无量纲）；

n ——开放空调降温的天数，单位为天（d）。

应采用替代成本法核算局部气候调节价值。计算公式见式（22）：

$$V_{tt} = E_{tt} \times EC \dots \dots \dots (22)$$

式中：

V_{tt} ——局部气候调节价值，单位为元每年；

E_{tt} ——局部气候调节实物量，单位为千瓦时每年（kWh/a）；

EC ——当地生活消费电价，单位为元每千瓦时。

7.3.1.3 文化服务

7.3.1.3.1 旅游康养

应采用项目年旅游总人次作为旅游康养实物量。计算公式见式（23）：

$$N_t = \sum_{i=1}^n N_i \dots \dots \dots (23)$$

式中：

N_t ——项目景区年旅游总人次，单位为人次每年；

N_i —— i 地到项目景区旅游的总人次，单位为人次每年。

应采用旅行费用法核算旅游康养价值。计算公式见式（24）～式（26）：

$$V_r = \sum_{i=1}^n N_i \times TC_i \dots \dots \dots (24)$$

$$TC_i = T_i \times W_i + C_i \dots \dots \dots (25)$$

$$C_i = C_{tc,i} + C_{lf,i} + C_{ef,i} + C_{n,i} \dots \dots \dots (26)$$

式中：

V_r ——旅游康养价值，单位为元每年；

N_i —— i 地到项目景区旅游的总人次，单位为人次每年；

TC_i ——来自 i 地的游客的平均旅行成本，单位为元每人次；

T_i ——来自 i 地的游客用于旅途和在项目景区旅游的平均时间，单位为天每次；

W_i ——来自 i 地的游客的当地平均工资，单位为元每人天；

C_i ——来自 i 地的游客花费的平均直接旅行费用，单位为元每人次，其中包括游客从 i 地到项目景区的交通费用 $C_{tc,i}$ 、景区内食花费 $C_{lf,i}$ 、景区门票费用 $C_{ef,i}$ 和旅游带动的购物、娱乐等延伸相关花费 $C_{n,i}$ 。

7.3.2 资源价值

7.3.2.1 资源生产

7.3.2.1.1 可再生能源生产

应采用项目生产且被消纳的各类可再生能源总量作为可再生能源生产实物量，包含与储能系统结合时，经过储能系统充放电而被消纳的可再生能源产量。计算公式见式（27）：

$$RE = \sum_{i=1}^n RE_i \dots\dots\dots (27)$$

式中：

RE ——可再生能源生产实物量，单位为千瓦时每年（kWh/a）；

RE_i ——第 i 类可再生能源产量，单位为千瓦时每年（kWh/a）。

应采用市场价值法核算可再生能源生产价值。计算公式见式（28）：

$$V_{re} = \sum_{i=1}^n RE_i \times REP_i \dots\dots\dots (28)$$

式中：

V_{re} ——可再生能源生产价值，单位为元每年；

RE_i ——第 i 类可再生能源实物量，单位为千瓦时每年（kWh/a）；

REP_i ——第 i 类可再生能源的价格，不含绿色电力交易中环境价值的部分，单位为元每千瓦时。

7.3.2.1.2 其他可再生资源生产

应采用项目其他可再生资源总产量作为其他可再生资源生产实物量。计算公式见式（29）：

$$OR = \sum_{i=1}^n OR_i \dots\dots\dots (29)$$

式中：

OR ——项目其他可再生资源总产量，单位为吨每年（t/a）；

OR_i ——第 i 类其他可再生资源产量，单位为吨每年（t/a）。

应采用市场价值法核算项目其他可再生资源生产价值。计算公式见式（30）：

$$V_{or} = \sum_{i=1}^n OR_i \times ORP_i \dots\dots\dots (30)$$

式中：

V_{or} ——项目其他可再生资源生产价值，单位为元每年（元/a）；

OR_i ——第 i 类其他可再生资源实物量，单位为吨每年（t/a）；

ORP_i ——第 i 类其他可再生资源的单价，单位为元每吨（元/t）。

7.3.2.2 资源节约

7.3.2.2.1 土地节约

应采用项目复合利用的土地面积作为土地节约实物量。计算公式见式（31）：

$$LS = \sum_{i=1}^n L_i \dots\dots\dots (31)$$

式中：

LS ——土地节约实物量，单位为平方米每年（m²/a）；

L_i ——第 i 类复合用地面积，单位为平方米每年（m²/a）。

应采用市场价值法核算土地节约价值。计算公式见式（32）：

$$V_{ls} = LS \times LC \dots\dots\dots (32)$$

式中：

- V_{ls} ——土地节约价值，单位为元每年；
 LS ——土地节约实物量，单位为平方米每年（ m^2/a ）；
 LC ——单位用地成本，单位为元每平方米。

7.3.3 环境价值

7.3.3.1 大气污染物减排

应采用项目大气污染物排放量与被项目替代的化石燃料火电厂发电产生的大气污染物排放量的差值作为项目大气污染物减排实物量。计算公式见式（33）和式（34）：

$$AR = \sum_{i=1}^n AR_i \dots\dots\dots (33)$$

$$AR_i = A_{i0} - A_{ip} \dots\dots\dots (34)$$

式中：

- AR ——大气污染物减排实物量，单位为吨每年（ t/a ）；
 AR_i ——第 i 种大气污染物减排量，单位为吨每年（ t/a ）；
 A_{i0} ——化石燃料火电厂第 i 种大气污染物排放量，单位为吨每年（ t/a ）；
 A_{ip} ——项目第 i 种大气污染物排放量，单位为吨每年（ t/a ）。

应采用替代成本法核算大气污染物减排价值。计算公式见式（35）：

$$V_{ar} = \sum_{i=1}^n AR_i \times ARC_i \dots\dots\dots (35)$$

式中：

- V_{ar} ——大气污染物减排价值，单位为元每年；
 AR_i ——第 i 种大气污染物减排量，单位为吨每年（ t/a ）；
 ARC_i ——第 i 种大气污染物单位治理成本，单位为元每吨。

7.3.3.2 温室气体减排

应采用项目温室气体排放量与被项目替代的所在区域电网的其他并网发电厂（包括可能的新建发电厂）发电产生的温室气体排放差值作为温室气体减排实物量。计算公式见式（36）～式（39）：

$$GR = G_0 - G_p \dots\dots\dots (36)$$

$$G_0 = EG \times EF_{grid,CM} \dots\dots\dots (37)$$

$$EF_{grid,CM} = EF_{grid,OM} \times W_{OM} + EF_{grid,BM} \times W_{BM} \dots\dots\dots (38)$$

$$G_p = \sum_{i=1}^n GHG_i \times GWP_i \dots\dots\dots (39)$$

式中：

- GR ——温室气体减排实物量，单位为吨二氧化碳每年（ tCO_2/a ）；
 G_0 ——被项目替代的所在区域电网的其他并网发电厂（包括可能的新建发电厂）发电产生的温室气体排放量，单位为吨二氧化碳每年（ tCO_2/a ）；
 G_p ——项目温室气体排放量，单位为吨二氧化碳每年（ tCO_2/a ）；
 EG ——项目净上网电量，单位为兆瓦时吨每年（ MWh/a ）；
 $EF_{grid,CM}$ ——电量边际排放因子，单位为吨二氧化碳每兆瓦时（ tCO_2/MWh ）；
 W_{OM} ——电量边际排放因子权重，取 0.5；
 $EF_{grid,BM}$ ——容量边际排放因子，单位为吨二氧化碳每兆瓦时（ tCO_2/MWh ）；
 W_{BM} ——容量边际排放因子权重，取 0.5；

GHG_i ——项目第 i 种温室气体排放量，单位为吨每年（t/a）；

GWP_i ——第 i 种温室气体全球变暖潜势。

应采用市场价值法核算项目温室气体减排价值。计算公式见式（40）：

$$V_{gr} = GR \times GRP \dots\dots\dots (40)$$

式中：

V_{gr} ——温室气体减排价值量，单位为元每年；

GR ——温室气体减排实物量，单位为吨二氧化碳每年（tCO₂/a）；

GRP ——碳市场交易价格，单位为元每吨二氧化碳。通过核证参与自愿减排交易的部分，取实际交易单价。

7.3.3.3 固体废弃物减排

应采用项目固体废弃物排放量与被项目替代的化石燃料火电厂发电产生的固体废弃物排放量的差值作为项目固体废弃物减排实物量。计算公式见式（41）和式（42）：

$$WR = \sum_{i=1}^n WR_i \dots\dots\dots (41)$$

$$WR_i = W_{i0} - W_{ip} \dots\dots\dots (42)$$

式中：

WR ——固体废弃物减排实物量，单位为吨每年（t/a）；

WR_i ——第 i 种固体废弃物减排量，单位为吨每年（t/a）；

W_{i0} ——化石燃料火电厂第 i 种固体废弃物排放量，单位为吨每年（t/a）；

W_{ip} ——项目第 i 种固体废弃物排放量，单位为吨每年（t/a）。

应采用替代成本法核算固体废弃物减排价值。计算公式见式（43）：

$$V_{wr} = \sum_{i=1}^n WR_i \times WRC_i \dots\dots\dots (43)$$

式中：

V_{wr} ——固体废弃物减排价值，单位为元每年；

WR_i ——第 i 种固体废弃物减排量，单位为吨每年（t/a）；

WRC_i ——第 i 种固体废弃物单位治理成本，单位为元每吨。

附 录 A

(资料性)

生态产品实物量和价值量核算参数

本文件提供的参数仅作为数据缺乏时的参考，建议核算使用时开展本地实际调查监测，根据光伏发电项目造成的实际影响适当调整。

A.1 水源涵养实物量核算参数

地表径流量可按照 GB/T 51240 规定的方法监测或通过降雨量与地表径流系数的乘积得到。各类生态系统地表径流系数见表 A.1。

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

A.2 土壤保持实物量核算参数

A.2.1 降雨侵蚀力因子(R)

计算方法见式(A.1)和式(A.2)：

$$\bar{R} = \sum_{k=1}^{24} \bar{R}_k \dots\dots\dots (A.1)$$

$$\bar{R}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^m (\alpha \cdot P_{ij,k}^{1.7265}) \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

\bar{R} ——多年平均年降雨侵蚀力，单位为兆焦耳毫米每公顷时年[MJ·mm/(hm²·h·a)]；

k ——1年的24个半月，即 $k=1, 2 \dots 24$ ；

\bar{R}_k ——第 k 个半月的降雨侵蚀力，单位为兆焦耳毫米每公顷时年[MJ·mm/(hm²·h·a)]；

i ——所用降雨资料的年份，即 $i=1, 2 \dots n$ ；

j ——第 i 年第 k 个半月侵蚀性降雨日的天数，即 $j=1, 2 \dots m$ ；

α ——为参数，暖季 $\alpha=0.3937$ ，冷季 $\alpha=0.3101$ ；

$P_{ij,k}$ ——第 i 年第 k 个半月第 j 个侵蚀性日降雨量，单位为毫米(mm)。

A.2.2 土壤可蚀性因子(K)

计算方法见式(A.3)和式(A.4)：

$$K = (-0.01383 + 0.51575K_{EPIC}) \times 0.1317 \dots\dots\dots (A.3)$$

$$K_{EPIC} = \{0.2 + 0.3 \exp[-0.0256m_s(1 - m_{silt}/100)]\} \times [m_{silt}/(m_c + m_{silt})]^{0.3} \times \{1 - 0.25orgC / [orgC + \exp(3.72 - 2.95orgC)]\} \times \{1 - 0.7[1 - m_s/100]\} / \{(1 - m_s/100) + \exp[-5.51 + 22.9(1 - m_s/100)]\} \dots\dots\dots (A.4)$$

式中：

K ——修正土壤可蚀性因子，单位为吨公顷小时每公顷兆焦耳毫米[t·hm²·h/(hm²·MJ·mm)]；

K_{EPIC} ——土壤可蚀性因子，单位为吨公顷小时每公顷兆焦耳毫米[t·hm²·h/(hm²·MJ·mm)]；

m_s ——砂粒百分含量，以百分数(%)表示；

m_{silt} ——粉粒百分含量，以百分数(%)表示；

m_c ——粘粒百分含量，以百分数(%)表示；

$orgC$ ——有机碳的百分含量，以百分数(%)表示。

A.2.3 坡长因子(L)和坡度因子(S)

坡长因子计算方法见式(A.5)~式(A.7)：

$$L = (\frac{\lambda}{22.13})^m \dots\dots\dots (A.5)$$

$$m = \beta / (1 + \beta) \dots\dots\dots (A.6)$$

$$\beta = (\sin \theta / 0.089) / [3.0 \times (\sin \theta)^{0.8} + 0.56] \dots\dots\dots (A.7)$$

式中：

L ——坡长因子；

λ ——坡长，单位为米(m)；

m ——坡长指数；

β ——细沟侵蚀量与细沟间侵蚀量的比值，无量纲；

θ ——坡度，单位为度(°)。

坡度因子计算方法见公式（A.8）：

$$S = \begin{cases} 10.8 \sin \theta + 0.03, & \theta < 5.14^\circ \\ 16.6 \sin \theta - 0.03, & 5.14^\circ \leq \theta < 10.20^\circ \\ 21.91 \sin \theta - 0.96, & 10.20^\circ \leq \theta < 28.81^\circ \\ 9.5988, & \theta \geq 28.81^\circ \end{cases} \quad (\text{A.8})$$

式中：

S ——坡度因子；

θ ——坡度，单位为度（°）。

A.2.4 植被覆盖因子（ C_{soil} ）

水田、湿地、城镇和荒漠的植被覆盖因子分别赋值为 0、0、0.01 和 0.7，其余各生态系统类型按不同植被覆盖度进行赋值（见表 A.2）。旱地的植被覆盖因子计算方法见公式（A.9）：

$$C_{soil} = 0.221 - 0.595 \lg c \quad (\text{A.9})$$

式中：

C_{soil} ——旱地的植被覆盖因子；

c ——小数形式的植被覆盖度，具体参数见表 A.2。

表 A.2 不同植被覆盖的 c 值

生态系统类型	植被覆盖度%					
	(0, 10]	(10, 30]	(30, 50]	(50, 70]	(70, 90]	(90, 100]
森林	0.10	0.08	0.06	0.02	0.004	0.001
灌丛	0.40	0.22	0.14	0.08	0.04	0.01
草地	0.45	0.24	0.15	0.09	0.04	0.01
乔木园地	0.42	0.23	0.14	0.09	0.04	0.01
灌木园地	0.40	0.22	0.14	0.09	0.04	0.01

A.2.5 土壤容重

表 A.3 各植被分区土壤容重参考值

植被分区	土壤容重（t/m ³ ）
南寒温带落叶针叶林带	1.2452
温带北部针阔叶混交林带	1.2181
温带南部针阔叶混交林带	1.2439
暖温带北部落叶栎林带（华北）	1.3163
暖温带南部落叶栎林带	1.3378
北亚热带落叶常绿阔叶林混交林带	1.3355
东部中亚热带常绿落叶林带	1.2860
东部亚热带常绿阔叶林带	1.2771
西部中亚热带常绿阔叶林带	1.2905
西部亚热带常绿阔叶林带	1.2510
西部亚热带高山针叶林带	1.3028
东部北热带季节性雨林带	1.2822

西部北热带季节性雨林带	1.2662
温带北部草原带（东部）	1.2846
温带南部草原带	1.3190
温带北部草原带（西部）	1.2956
温带半灌木小乔木荒漠带	1.3348
温带半灌木灌木荒漠带	1.3495
暖温带灌木半灌木荒漠带	1.3777
高寒灌丛草甸带	1.3101
高寒草甸带	1.2808
高寒草原带	1.3222
温性草原带	1.3192
高寒荒漠带	1.3233
温性荒漠带	1.3215
暖温带北部落叶栎林带（东北）	1.3321

A.3 防风固沙实物量核算参数

A.3.1 气象因子（WF）

计算方法见式（A.10）：

$$WF = Wf \times (\rho / g) \times SW \times SD \dots\dots\dots (A.10)$$

式中：

- WF——气象因子，单位为千克每米（kg/m）；
- Wf——多年平均风力因子，单位为立方米每立方秒（m³/s³）；
- ρ——空气密度，单位为千克每立方米（kg/m³）；
- g——重力加速度，单位为米每平方秒（m/s²）；
- SW——多年平均土壤湿度因子；
- SD——雪盖因子。

风力因子Wf计算方法见式（A.11）：

$$Wf = \frac{\sum u_2(u_2 - u_t)^2 \times Nd}{N} \dots\dots\dots (A.11)$$

式中：

- u₂——日平均监测风速，单位为米每秒（m/s）；
- u_t——临界起沙风速，单位为米每秒（m/s）；
- Nd——一年中风速大于 5m/s 的天数，单位为天（d）；
- N——一年总天数，单位为天（d）。

空气密度ρ计算方法见公式（A.12）：

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

式中：

- EL——海拔高度，单位为千米（km），
 - T——绝对温度，单位为开氏度（K）。
- 土壤湿度因子 SW 计算方法见式（A.13）：

$$SW = \frac{ET_p - (R+I) \frac{R_d}{N}}{ET_p} \dots\dots\dots (A.13)$$

式中：

ET_p ——潜在蒸散发量，单位为毫米每天（mm/d）；

R ——年降雨量，单位为毫米（mm）；

I ——年灌溉量，单位为毫米（mm）；

R_d ——年降雨或灌溉天数，单位为天（d）；

N ——年总天数，单位为天（d）。

潜在蒸散发量 ET_p 计算方法见公式（A.14）：

$$ET_p = 0.0135 \times \left(\frac{SR}{14.0} \right) \times (DT + 17.8) \dots\dots\dots (A.14)$$

式中：

SR ——年总太阳辐射，单位为焦耳每平方厘米（J/cm²）；

DT ——年平均气温，单位为摄氏度（℃）。

雪盖因子 SD 计算方法见公式（A.15）：

$$SD = 1 - P \dots\dots\dots (A.15)$$

式中：

P ——积雪覆盖天数与总天数的比值。

A.3.2 土壤可蚀因子（EF）

计算方法见公式（A.16）：

$$EF = \frac{29.09 + 0.31sa + 0.17si + 0.33\left(\frac{sa}{cl}\right) - 2.59OM - 0.95CaCO_3}{100} \dots\dots\dots (A.16)$$

式中：

EF ——土壤可蚀因子；

sa ——土壤粗砂百分含量，以百分数（%）表示；

si ——土壤粉砂百分含量，以百分数（%）表示；

cl ——土壤粘粒百分含量，以百分数（%）表示；

OM ——土壤有机质百分含量，以百分数（%）表示；

$CaCO_3$ ——碳酸钙百分含量，以百分数（%）表示。

A.3.3 土壤结皮因子（SCF）

计算方法见公式（A.17）：

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

式中：

SCF ——土壤结皮因子；

cl ——土壤粘粒百分含量，以百分数（%）表示；

OM ——土壤有机质百分含量，以百分数（%）表示。

A.3.4 植被覆盖因子（ C_{sand} ）

计算方法见公式（A.18）：

$$C_{sand} = e^{a_i(SC)} \dots\dots\dots (A.18)$$

式中：

C_{sand} ——植被覆盖因子；

SC——植被覆盖度，以百分数（%）表示；

a_i ——不同植被类型的系数，分别为：林地取-0.1535，草地取-0.1151，灌丛取-0.0921，裸地取-0.0768，沙地取-0.0658，农田取-0.0438。

A.3.5 地表粗糙因子（ K' ）

计算方法见公式（A.19）和（A.20）：

$$K' = e^{(1.86K_r - 2.41K_r^{0.934} - 0.127C_{rr})} \dots\dots\dots (A.19)$$

$$K_r = 0.2 \times \frac{(\Delta H)^2}{L} \dots\dots\dots (A.20)$$

式中：

K' ——地表粗糙因子；

K_r ——土垄糙度，单位为厘米（cm）；

C_{rr} ——随机糙度因子，单位为厘米（cm）；

ΔH ——距离 L 范围内的海拔高程差，单位为厘米（cm）；

L——地势起伏参数。

A.4 洪水调蓄实物量核算参数

日暴雨标准见表 A.4。各类生态系统的 R 值见表 A.5。

表 A.4 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.5 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	$R=1.4288 \times \ln(P) - 4.3682$
常绿阔叶林	$R=7.7508 \times \ln(P) - 27.842$
落叶针叶林	$R=7.2877 \times \ln(P) - 26.566$
常绿针叶林	$R=13.36 \times \ln(P) - 49.257$
针阔混交林	$R=2.264 \times \ln(P) - 6.7516$
灌丛	$R=3.482 \times \ln(P) - 7.9413$
草原	$R=5.4037 \times \ln(P) - 8.6156$
草甸	$R=8.9121 \times \ln(P) - 23.462$
草丛	$R=6.1564 \times \ln(P) - 13.351$

注：R是暴雨径流量，P是暴雨降雨量。

A.5 空气净化实物量核算参数

表 A.6 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			SO ₂ 净化量	NO _x 净化量	粉尘净化量
一级	二级	三级	t/(km ² ·a)	t/(km ² ·a)	t/(km ² ·a)
森林生态系	阔叶林	常绿阔叶林	5.75	3.52	11.76

统		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
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 水质净化实物量核算参数

表 A.7 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 ² ·a)
COD	110.43
总氮	8.56
总磷	8.56

A.7 固碳实物量核算参数

森林及灌丛的固碳速率可参考表 A.8。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，全国草地（除青藏高原外）土壤的固碳速率为 0.02 t·C/（ha·a），青藏高原区域为 0.03 t·C/（ha·a）。其他各类生态系统的固碳速率可按照 GB/T 43678 中规定的方法计算。

表 A.8 各植被分区森林（及灌丛）生态系统固碳速率

植被分区	森林（及灌丛）植被固碳速率	森林（及灌丛）土壤固碳速率
------	---------------	---------------

	$(t \cdot C \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1})$	$(t \cdot C \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1})$
南寒温带落叶针叶林地带	0.574	0.386
温带北部针阔叶混交林地带	0.551	0.586
温带南部针阔叶混交林地带	0.584	0.629
暖温带北部落叶栎林地带（华北）	0.758	0.448
暖温带南部落叶栎林地带	0.996	0.378
北亚热带落叶常绿阔叶林混交林地带	0.870	0.384
东部中亚热带常绿林地带	0.815	0.213
东部南亚热带常绿阔叶林地带	0.554	0.118
西部中亚热带常绿阔叶林地带	0.769	0.254
西部南亚热带常绿阔叶林地带	0.784	0.253
西部亚热带亚高山针叶林地带	0.657	0.226
东部北热带季节性雨林地带	0.573	0.114
西部北热带季节性雨林地带	0.717	0.235
温带北部草原地带（东部）	0.589	0.347
温带南部草原地带	0.687	0.507
温带北部草原地带（西部）	1.120	1.153
温带半灌木小乔木荒漠地带	1.120	1.153
温带半灌木灌木荒漠地带	0.734	0.640
暖温带灌木半灌木荒漠地带	1.119	1.145
高寒灌丛草甸地带	0.641	0.469
高寒草甸地带	0.645	0.541
高寒草原地带	0.676	0.353
温性草原地带	0.690	0.225
高寒荒漠地带	0.802	0.826
温性荒漠地带	0.690	0.225
暖温带北部落叶栎林地带（东北）	0.807	0.879

参 考 文 献

- [1] 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 [EB/OL]. [2021-04-26]. http://www.gov.cn/xinwen/2021-04/26/content_5602763.htm.
 - [2] 国家发展改革委，国家统计局. 生态产品总值核算规范.
 - [3] CM-001-V02 可再生能源并网发电方法学（第二版）
-