

团 体 标 准

T/IMAS 101—2025

沙戈荒光伏治沙工程生态服务功能价值评价技术规范

Technical Specifications for the Assessment of Ecological Service Function Value of
Photovoltaic Sand Control Projects in Desert, Gobi, and Barren Lands

2025 - 09 - 01 发布

2025 - 09 - 15 实施

内蒙古标准化协会 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 评价流程 1

5 评价指标体系 2

6 评价方法 3

7 评价结论 6

参考文献 7

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。

本文件由内蒙古自治区新能源和可再生能源标准化技术委员会提出。

本文件由内蒙古标准化协会归口。

本文件起草单位：水利部牧区水利科学研究所、内蒙古自治区水文水资源中心、满洲里市公共资源交易中心、赤峰市公路管护与运输保障中心、巴彦淖尔市生态安全屏障研究服务中心、内蒙古自治区产品质量检验研究院。

本文件主要起草人：郝伟罡、朱俊峰、郭建英、曹亮、刘全、侯诗文、刘华琳、胡伟、王世锋、王明新、王文婷、王敏、尹军、焦海霞、张世君、廖梓龙、张晶、王海玲、张志夫、刘敏、于向前、张志国、杜晓峰、张文慧、王子河、贾世欣、许楠、韩雪、伊拉拉图、杨皓宇、任吉祥。

沙漠光伏治沙工程生态服务功能价值评价技术规范

1 范围

本文件规定了沙漠、戈壁、荒漠地区光伏治沙工程生态服务功能价值评价内容、工作流程、评价指标体系、评价方法等。

本文件适用于评价适宜实施光伏治沙的沙漠、戈壁、荒漠地区光伏治沙工程的生态服务功能价值。

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 36197 土壤质量 土壤采样技术指南

GB/T 37526 太阳能资源评估方法

HJ 1168 全国生态状况调查评估技术规范——草地生态系统野外观测

HJ 1170 全国生态状况调查评估技术规范——荒漠生态系统野外观测

HJ 1173 全国生态状况调查评估技术规范——生态系统服务功能评估

T/CSF 0060 沙（荒）漠生态修复效果评价技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

生态服务功能价值 ecosystem service value

人类直接或间接从生态系统得到的利益。

3.2

碳汇价值 carbon sink value

光伏治沙工程碳减排和碳吸收两方面价值之和，包括光伏替代燃煤发电减少碳排放的价值，以及工程区植物光合作用固定CO₂的价值。

3.3

防风固沙价值 wind prevention and sand fixation value

光伏治沙工程降低风沙危害，减少土壤流失的价值。

3.4

释放氧气价值 release oxygen value

光伏治沙工程区域植物光合作用释放氧气的价值。

3.5

水源涵养价值 water conservation value

光伏治沙工程拦截滞蓄降水，涵养土壤水分、调节地表径流和补充地下水所增加的水资源的价值。

4 评价流程

沙戈荒光伏治沙工程生态服务功能价值评价流程见图1。

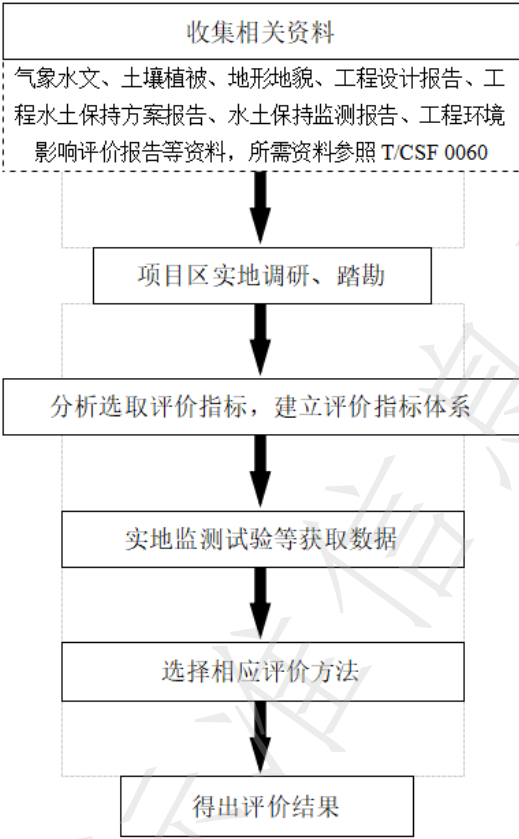


图1 评价工作流程图

5 评价指标体系

光伏治沙工程生态服务功能价值评价指标体系见表1。

表1 光伏治沙工程生态服务功能价值评价指标体系

功能指标		价值指标
能源生产	光伏治沙工程光伏板将太阳能转化为电能	能源生产价值
物质供给	光伏治沙工程植物治沙措施种植的牧草、中药材、其它经济植物等	物质供给价值
碳汇功能	光伏替代燃煤发电减少的碳排放量；工程区植物光合作用固定 CO ₂ 量	碳汇价值
防风固沙	光伏治沙工程降低风沙危害，减少土壤流失	防风固沙价值
释放氧气	工程区植物光合作用释放氧气量	释放氧气价值
水源涵养	光伏治沙工程通过拦截滞蓄降水，涵养土壤水分、调节地表径流和补充地下水增加水资源	水源涵养价值

6 评价方法

6.1 能源生产价值

采用市场价值法评价能源生产价值，用电站年度上网电量乘以该地区当年上网电价来进行计算，具体的计算公式为：

$$V_{\text{能源}} = UP_{\text{电价}} \times G_i \quad \text{..... (1)}$$

式中：

$V_{\text{能源}}$ —产品价值，元；

$UP_{\text{电价}}$ —地区当年上网电价，元/kWh；

G_i —年度上网电量，kWh。

6.2 物质供给价值

采用市场价值法评价产品价值，用牧草、中药材、其它经济植物当年市场价格乘以其产量来进行计算，具体的计算公式为：

$$V_{\text{产品}} = \sum_{i=1}^n UP_{\text{产品}i} \times Y_i \quad \text{..... (2)}$$

式中：

$V_{\text{产品}}$ —产品价值，元；

i —第*i*类产品类型；

$UP_{\text{产品}i}$ —第*i*类产品单价，元/kg；

Y_i —第*i*类产品产量，kg。

6.3 碳汇价值

由两部分组成，光伏电站全生命周期替代燃煤发电的碳减排量为通过光伏电站实际年度发电量换算成相应电量火力发电所排放的CO₂量，计算参照GB/T 37526；工程区植物光合作用固定CO₂量可参照生物学呼吸作用和光合作用的反应方程式计算得出。

采用成本替代法，用植树造林成本换算碳汇价值，计算公式为：

$$V_{\text{碳汇}} = UP_{\text{碳汇}} \times (C_{\text{发电}} + C_{\text{固碳}}) \times 10^{-3} \quad \text{..... (3)}$$

式中：

$V_{\text{碳汇}}$ —碳汇价值，元；

$UP_{\text{碳汇}}$ —每吨干物质的植树造林成本，元/t；

$C_{\text{发电}}$ —光伏替代煤炭发电的碳减排量，kg；

$C_{\text{固碳}}$ —植物固定CO₂量，kg。

其中光伏替代煤炭发电的碳减排量 $C_{\text{发电}}$ 参见龚道仁等^[1]的研究成果，在年均有效辐照时数为H，年均太阳辐照量为T（辐照量和有效辐照时数的关系为：T=3.6H），平均温度影响因子为d的地区发展光伏，设该光伏系统的发电效率为e，使用年限为m，光伏组件开始的最大功率为P，每年的衰减功率为X，该光伏系统整个生命周期里的总发电量 Q_{total} 计算公式为：

$$Q_{\text{total}} = d \times e \times H \times P \sum_{1}^m (1-X) \quad \text{..... (4)}$$

参考中国传统火力发电厂的平均耗能，1 kg标准煤完全燃烧产生CO₂排放为2.46 kg。根据中国电力统计年鉴，发电1 kWh要消耗约0.30 kg标准煤。按此计算，采用传统火力发电1 kW需要排放0.74 kg CO₂。相比传统火力发电，采用光伏发电1 kWh相当于减少CO₂排放0.74 kg。光伏发电系统在运行阶段减少的碳排放量计算公式为：

$$R = Q_{\text{total}} \times c \times f \quad \text{..... (5)}$$

式中：

R —光伏系统运行阶段减少的碳排放（kg）；

$c=0.30$ kg/kWh，表示每发电1 kWh节省0.30 kg标准煤；

$f=2.46$ kg/kg，表示每节省1 kg标准煤，相当于减少2.46 kg碳排放。

植物固定CO₂量 $C_{\text{固碳}}$ 参照生物学呼吸作用和光合作用的反应方程式：



每形成1 kg干物质可以固定1.62 kg的CO₂，计算出植被每年固定的CO₂量。

6.4 防风固沙价值

通过风蚀方程计算光伏治沙工程防风固沙量，野外观测参照HJ 1168、HJ 1170，采样参照GB/T 36197，计算参照HJ 1173，再计算沙土中氮、磷、钾等养分的保留价值，采用市场价值法，进而得出防风固沙价值。计算公式为：

$$V_{\text{固沙}} = UP_{\text{固沙}} \times (S_{L\text{潜}} - S_L) \times C_n \quad (7)$$

式中：

$V_{\text{固沙}}$ —防风固沙价值，元；

$UP_{\text{固沙}}$ —化肥市场价格，元/t；

$S_{L\text{潜}}$ —潜在风力侵蚀量，t/(km²·a)；

S_L —实际风力侵蚀量，t/(km²·a)；

C_n —沙土养分含量，%。

其中潜在风力侵蚀量采用修正风蚀方程RWEQ进行评价：

$$\begin{aligned} S_{L\text{潜}} &= \frac{2 \cdot z}{S^2} Q_{\text{MAX潜}} \cdot e^{-\left(\frac{z}{s_{\text{潜}}}\right)^2} \\ Q_{\text{MAX}} &= 109.8 \left[\text{WF} \times \text{EF} \times \text{SCF} \times K' \right] \\ S_{\text{潜}} &= 150.71 \left(\text{WF} \times \text{EF} \times \text{SCF} \times K' \right)^{-0.3711} \end{aligned} \quad (8)$$

实际风力侵蚀量：

$$\begin{aligned} S_L &= \frac{2 \cdot z}{S^2} Q_{\text{MAX}} \cdot e^{-\left(\frac{z}{s}\right)^2} \\ S &= 150.71 \left(\text{WF} \times \text{EF} \times \text{SCF} \times K' \times C \right)^{-0.3711} \\ Q_{\text{MAX}} &= 109.8 \left[\text{WF} \times \text{EF} \times \text{SCF} \times K' \times C \right] \end{aligned} \quad (9)$$

式中：

Q_{MAX} —最大转移量，kg/m；

Z —最大风蚀出现距离，m；

WF —气候因子，kg/m；

K' —地表粗糙度因子；

EF —土壤可蚀因子；

SCF —土壤结皮因子；

C —植被覆盖因子。

气候因子（WF）计算方法如下：

$$\text{WF} = \text{Wf} \times \frac{\rho}{g} \times \text{SW} \times \text{SD} \quad (10)$$

式中：

WF —气候因子，单位，kg/m，12个月WF总和得到多年年均WF；

Wf —各月多年平均风力因子，

ρ —空气密度，

g —重力加速度；

SW —各月多年平均土壤湿度因子，量纲一；

SD —雪盖因子，量纲一。

土壤可蚀因子（EF）的计算方法如下：

$$\text{EF} = \frac{29.09 + 0.31\text{sa} + 0.17\text{si} + 0.33(\text{sa}/\text{cl}) - 2.590\text{M} - 0.95\text{CaCO}_3}{100} \quad (11)$$

式中：

EF —土壤可蚀因子；

sa —土壤粗砂含量（0.2~2 mm），%；

si—土壤粉砂含量，%；
 cl—土壤黏粒含量，%；
 OM—土壤有机质含量，%；
 CaCO₃—碳酸钙含量，%，可不予考虑。
 土壤结皮因子（SCF）的计算方法如下：

$$SCF = \frac{1}{1 + 0.0066(cl)^2 + 0.021(OM)^2} \quad (12)$$

式中：
 SCF—土壤结皮因子；
 cl—土壤黏粒含量；
 OM—土壤有机质含量。
 植被覆盖因子（C）的计算方法如下：

$$C = e^{a_i(SC)} \quad (13)$$

式中：
 C—植被覆盖因子；
 SC—植被覆盖度；
 a_i—不同植被类型的系数，分别为：草地取-0.1151，沙地取-0.0658。
 地表粗糙度因子（K'）的计算方法如下：

$$K' = e^{(1.86K_r - 2.41K_r^{0.943} - 0.127C_{rr})}$$

$$K_r = 0.2 \cdot \frac{(\Delta H)^2}{L} \quad (14)$$

式中：
 K'—地表粗糙度因子；
 K_r—土垄糙度，以Smith-Carson方程加以计算，cm；
 C_{rr}—随机糙度因子，取0，cm；
 L—地势起伏参数；
 H—距离L范围内的海拔高程差。

6.5 释放氧气价值

工程区植物光合作用释放氧气量可参照生物学呼吸作用和光合作用的反应方程式计算得出。
 采用成本替代法，用植树造林成本换算释放O₂价值，计算公式为：

$$V_{\text{释氧}} = UP_{\text{释氧}} \times C_{\text{释氧}} \times 10^{-3} \quad (15)$$

式中：
 V_{释氧}—植物释放O₂价值，元；
 UP_{释氧}—每吨干物质的植树造林成本，元/t；
 C_{释氧}—植物释放O₂量，kg。

其中植物释放氧气量参照6.3中式（6），每形成1kg干物质可以释放1.2 kg的O₂，计算出植被每年释放O₂量。

6.6 水源涵养价值

通过水量平衡法计算光伏治沙工程拦截滞蓄降水，增强土壤下渗、蓄积，减少蒸发，涵养土壤水分、调节地表径流和补充地下水所增加的水资源总量，野外观测参照HJ 1168、HJ 1170，计算参照HJ 1173，采用替代成本法，进而得出水源涵养价值。计算公式为：

$$V_{\text{水}} = UP_{\text{蓄水}} \times A \times (P - R - ET) \times 10^{-3} \quad (16)$$

式中：
 V_水—涵养水源的价值，元；
 UP_{蓄水}—蓄水成本，元/m³；
 A—光伏工程区面积，m²；

P—产流降雨量, mm/a;

R—地表径流量, mm/a;

ET —蒸散量, mm/a。

7 评价结论

逐项计算评价能源生产、物质供给、碳汇、防风固沙、释放氧气和水源涵养各单项生态服务功能经济价值, 以各项经济价值总和作为光伏治沙工程的生态服务价值。

评价结果有助于明确不同沙戈荒地区光伏治沙工程生态服务功能及其价值的差异。也可以为构建地区间碳生态补偿(转移支付)模型提供依据。

参 考 文 献

- [1] 龚道仁, 陈迪, 袁志钟. 光伏发电系统碳排放计算模型及应用[J]. 可再生能源, 2013, 31(9): 1-4.
-