

**《农光互补项目的生态-环境-经济价值
核算技术指南》
编制说明**

《农光互补项目的生态-环境-经济价值核算技术指南》

标准编制组

二〇二五年十月

目 录

1 标准制订的必要性	1
2 标准制订过程	2
2.1 任务来源	2
2.2 工作过程	3
2.2.1 成立标准编制工作小组	3
2.2.2 完成标准草案与标准立项	4
2.2.3 组织开展标准技术评审	4
2.2.4 编制标准征求意见稿与编制说明	4
3 国内外技术发展动态研究	4
3.1 标准编制分析	4
3.1.1 国内外相关标准分析	4
3.1.2 本标准与现有标准的关系	7
3.1.3 本标准对先进标准的采用	8
3.1.4 本标准的先进性	8
3.2 分析国内外技术发展动态	9
3.2.1 生态效益评估技术	9
3.2.2 环境效益评估技术	10
3.2.3 农光互补研究进展	10
4 设计标准技术路线与框架	11
5 组织开展实地调研与监测	13
5.1 调查监测概况	13
5.2 调查监测内容	14
5.3 调查监测方法	15
5.4 监测调查结果	20
6 标准主要内容	20
6.1 标准框架	20
6.2 范围	21
6.3 规范性引用文件	21
6.4 术语和定义	22
6.5 核算原则	22
6.6 核算程序	22
6.7 核算体系	22
6.8 核算方法	23
6.9 报告编制	25

1 标准制订的必要性

在“双碳”目标与乡村振兴战略双重驱动下，农光互补项目通过“光伏+农业”复合模式，已成为我国新型能源体系与现代农业融合发展的创新实践，为应对粮食安全、气候变化和能源转型挑战提供了解决方案。农光互补项目通过板下种植、板上发电实现土地增效，但也存在光伏设施挤占耕地、影响农业生产甚至威胁粮食安全的隐患。农光互补项目对农业的影响是“正向赋能”还是“负面冲击”，长期以来缺乏科学共识，导致地方政府、农业部门、能源企业及公众对项目的态度呈现两极分化，其根源在于缺乏量化的评估手段对农光互补项目综合价值进行科学核算，因此，编制农光互补项目价值核算标准至关重要。本标准通过构建农光互补项目生态环境经济价值体系，旨在破解农光互补领域长期存在的认知割裂与评价盲区，推动农光互补行业从无序扩张转向科学治理，成为统筹粮食安全战略与“双碳”目标的核心技术工具，为地区可持续农业与能源转型贡献行业智慧。

破解数据难题，推动价值客观评价。现有农光互补项目评估多依赖局部经验或单一维度数据，缺少覆盖生态-环境-经济多要素的量化分析工具，导致社会认知相悖。通过制定本标准，可建立统一的农光互补项目监测指标和核算技术体系，有效解决由于缺乏统一核算方法导致农光互补项目评估不一致的问题，明确核算边界、核算指标和核算方法，提升结果可比性，将“光伏是否影响农业”的定性争论转化为“影响程度如何量化”的客观分析，推动农光互补项目价值从争议漩涡形成科学共识，有利于平衡多元主体的价值利益分歧，避免利益各方因价值认知偏差导致的决策冲突，实现从“光伏与农业非此即彼”的片面思维，转向“农光协同增值”的系统思维，提高农光互补行业规范度。

响应国家战略，系统防范政策风险。标准通过构建“光伏+农业”复合效益核算体系，引导农光互补项目设计兼顾生态环境保护与经济效益，避免“重光轻农”倾向，明确土地复合利用效率评估方法，量化光伏设施对农业生产的影响，为项目选址与设计提供技术规范，保障粮食安全。标准将光伏碳减排效益与碳汇增益协同核算，避免单纯追求装机规模而忽视系统碳效率的短视行为，为完善碳交易市场等提供数据基础，助力“双碳”目标实现。我国农光互补装机规模全球领先，截至 2023 年，农光互补项目装机规模突破 30GW，但国际话语权仍显不足，本标准对标国际生态价值核算框架（包括 TEEB、SEEA 等），有利于推动中国标准国际化，响应国际趋势；标准的实施将填补国际农光互补价值核算领域空白，可为全球“新能源与粮食安全协同发展”提供技术范本，服务国际标准需求，提高我国标准的国际话语权。

激活市场机制，提高产业转型效率。本标准将农业生产增效、生态价值等纳入同一核算框架，评估农光互补模式下农业增产潜力、生态固碳、气候调节等，为项目的生态效益、环境效益和经济效益提供量化工具。标准引导项目从“单纯发电”向“农业提质+清洁能源+生态价值激活”多赢模式转型，能够充分利用光伏板下空间，种植农业作物，使作物增产增收，实现产业化，助力乡村振兴发展；通过

建立小尺度的可复制、可验证、可审计的价值核算体系，为地方政府探索碳汇交易机制等提供数据基础，为企业投资提供技术工具，激活生态产业市场机制，真正实现“阳光效益”与“生态红利”的双向转化。

综上所述，为弥补定量评估农光互补项目区域生态环境经济价值核算标准的研究空白，借鉴 GEP 核算思路，本标准结合农光互补电站的特点，综合考虑项目区生态、环境和经济价值，形成科学合理、参数优化的农光互补项目生态环境经济价值核算技术体系，突破传统单维度评估局限，构建“生态-环境-经济”三维价值结构，为农光互补模式的生态环境经济价值核算评估提供参考，有效破解“生态账本”计量困局，支撑政策精准施策，引导地区产业高质量发展。

2 标准制订过程

2.1 任务来源

2025 年 4 月 3 日，中华环保联合会发布了关于《农光互补项目的生态-环境-经济价值核算技术指南》团体标准的立项公告，该任务承担单位为生态环境部环境规划院、中国电力工程顾问集团有限公司和中国电力工程顾问集团华东电力设计院有限公司，标准计划于 2025 年 12 月完成（表 1）；同时，该标准得到“西南区域农光互补关键技术和产业开发商业模式研究之典型场景农光互补项目生态经济价值核算研究”项目支撑，为标准编制过程中的文献资料查阅、调查监测、技术方法研究等提供坚实人力、物力与经费保障，推动标准编制高效开展。

表 1 标准编制任务进度计划

工作内容	2025 年月份											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
成立标准编制组												
资料收集与整理，形成标准草案												
撰写立项申请书，召开立项会议，完成标准立项												
开展实地调研与监测，进行数据处理分析												
编制标准技术审查稿												

工作内容	2025 年月份											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
完成技术审查稿及编制说明， 召开送审稿技术研讨会												
完成报批稿及编制说明，完成 标准报批，对外发布标准												

2.2 工作过程

2.2.1 成立标准编制工作小组

生态环境部环境规划院、中国电力工程顾问集团有限公司、中国电力工程顾问集团华东电力设计院有限公司于 2025 年 1 月成立了标准编制组。参编单位依托各自在生态核算、电力工程、区域实践领域的深厚积累，形成生态-电力-工程协同支撑格局，为标准编制提供全方位专业保障（表 2）。编制组成员长期从事生态产品价值核算、环境影响评估、生态系统服务功能量化、光伏发电项目规划设计、电力经济分析等技术研究工作，熟悉生态、环境、经济价值核算的理论框架与方法体系，具有工程建设、运营管理实践基础，既确保标准在理论层面的科学性与权威性，又保障其在实践层面的可操作性与适配性，为农光互补项目生态环境经济价值核算提供全链条、多维度的专业解决方案。

表 2 标准编制人员任务分工

参编单位	参与人员	任务分工
生态环境部环境规划院	马国霞、唐泽、孙艳芝、周颖、雷鸣、武娟妮、杨威杉、彭菲	(1) 标准技术框架整体设计 (2) 核算体系构建 (3) 核算方法模型确定 (4) 参数实地调查监测 (5) 标准内容编制
中国电力工程顾问集团有限公司	彭开军、张金鑫、郭纪光、董洪哲、牟伟腾	(1) 标准编制过程管理与统筹 (2) 标准编制资料协调 (3) 经济效益核算方法参编
中国电力工程顾问集团华东电力设计院有限公司	陆川、苏春丽、陈健、张小庆、李真、刘屹泽、曹雨松、陈建敏、芦杰丰	(1) 标准编制资源收集 (2) 参数实地调研 (3) 成果把关

2.2.2 完成标准草案与标准立项

编制组成员在文献调研、标准技术框架研究等基础上，基于已有生态价值核算、环境效益评估等标准编制经验，编制标准草案，形成《农光互补项目的生态-环境-经济价值核算技术指南》文本初稿。

2025年3月27日，中华环保联合会组织召开《农光互补项目的生态-环境-经济价值核算技术指南》团体标准立项评审会议，编制组对立项必要性、现有基础、主要内容等关键环节进行了汇报，专家组进行了质询和讨论，并对提供的立项材料进行了审查，一致同意《农光互补项目的生态-环境-经济价值核算技术指南》团体标准立项。

2025年4月3日，中华环保联合会发布“关于《农光互补项目的生态-环境-经济价值核算技术指南》团体标准立项的公告”（中环联字[2025]84号），正式批准《农光互补项目的生态-环境-经济价值核算技术指南》立项。

2.2.3 组织开展标准技术评审

根据标准立项专家评审意见，修改完善标准文本内容，形成《农光互补项目的生态-环境-经济价值核算技术指南》（技术审查稿）和标准编制说明。

2025年10月20日，中华环保联合会组织召开《农光互补项目的生态-环境-经济价值核算技术指南》，审查委员会专家听取了标准编制单位对标准编制情况的汇报，并对标准和编制说明进行了审查经质询和讨论，专家组一致同意标准文本通过技术审查。

2.2.4 编制标准征求稿与编制说明

基于西南地区典型场景农光互补项目实地调研监测结果，结合技术审查专家意见，修改完善标准内容，编制形成标准征求意见稿。为让征求意见阶段的相关方（政府部门、企业、科研机构）清晰理解标准修改的核心逻辑与实地调研监测支撑，同步编制完善标准征求意见稿编制说明，重点包含标准制订的必要性、标准制订过程和标准主要内容，既确保标准内容基于实证、科学严谨，又通过编制说明清晰传递修改逻辑，为后续广泛征求意见、进一步优化标准奠定坚实基础。

3 国内外技术发展动态研究

3.1 标准编制分析

3.1.1 国内外相关标准分析

标准编制组根据《国家环保标准制修订工作管理办法》的相关规定，查阅了国内外关于农光互补效

益评估、生态效益评估、环境效益评估等方面的标准发布情况（表 3），系统分析了标准中技术方法及其适用范围，筛选适宜技术模型与评估指标，结合已有标准规范的基本原则、技术内容等，编制本标准。

农光互补领域的标准聚焦光伏发电与农业生产协同场景，为本标准解决农业与电力价值协同核算核心难题提供直接技术参考，是构建特色核算体系的关键依据，本标准中农产品供给、光伏发电两项核心经济指标，正是借鉴《精准扶贫 光伏农业项目运营管理规范》标准中“农业收益按作物产量与市场价格核算、发电收益按上网电量与电价核算”的逻辑；光伏电站领域的标准，多是聚焦电力属性，涵盖光伏项目设计、建设、运营、评估全流程，规范了光伏发电的经济与环境价值核算，《光伏电站性能评估技术规范》规定的“发电效率测算方法”“影响发电效益的关键因素分析”等内容，直接支撑本标准光伏发电收益的核算逻辑，为本标准中光伏发电经济价值、CO₂减排环境价值核算提供技术规范，确保电力相关价值测算的科学性与合规性；生态系统评估领域的标准，在生态维度构建了健全的价值评估体系，为本标准建立完善的技术框架体系以及生态价值评估指标体系提供了坚实的基础，同时，本标准充分参考了已有生态系统评估相关标准中的实物量与价值量测算方法，确保核算的科学权威性。

表 3 国内外已有标准规范等相关的技术文件

序号	标准编号	标准名称	与本标准相关的技术内容
1	GB/Z 38766-2020	精准扶贫 光伏农业项目运营管理规范	给出了光伏农业项目的建设条件、预期成效分析和评价等的相关内容，提供了发电收益、农业收益的测算方法，为本标准价值评估指标筛选、方法构建等提供技术参考。
2	GB/T 19964-2024	光伏电站接入电力系统技术规定	规定了光伏电站接入电力系统的有功功率、无功电压、故障穿越、运行适应性、功率预测、电能质量等要求，对本标准光伏电站的建设、生产和运行环节相关研究分析提供技术参考。
3	GB/T 44228.1-2024	智能光伏电站 第 1 部分：总则	规定了智能光伏电站的系统架构、智能运行、智能检修维护、物资管理、市场营销管理、安全管理的技术要求，可指导传统电站的转型升级，推动智能光伏电站的设计、施工、验收、运行、检修和维护。
4	GB/T 29320-2024	光伏电站太阳跟踪系统技术要求	规定了光伏电站太阳跟踪系统的正常工作条件、外观、结构、功能、性能等的技术要求，对本标准中光伏电站相关配套设施的设计、制造、安装、调试、验收、试验和运行维护等的研究分析提供技术参考。
5	GB/T 42766-2023	光伏发电太阳能资源评估规范	规定了光伏发电太阳能资源评估的内容，包括太阳辐射能量的测算、光伏发电项目建设运行影响较大的气象因子定量分析等，对本标准开展光伏发电项目气候调节调查监测、功能测算等提供参考依据。
6	GB/T 42006-2022	高原光伏发电设备检验规范	规定了高原光伏发电设备的检验分类、检验环境条件要求、检验内容及方法等，对本标准光伏组件等设备的更新改造分析研究提供技术参考。
7	GB/T 39753-2021	光伏组件回收再利用通用技术要求	规定了光伏组件回收再利用的收集、运输及贮存、拆解、处置、再生利用和管理要求，避免对环境造成污染，对本标准研究光伏组件带来的相关环境影响提供参考。

序号	标准编号	标准名称	与本标准相关的技术内容
8	GB/T 39854-2021	光伏电站性能评估技术规范	规定了光伏电站发电性能、并网性能及可利用性的评估要求，给出了太阳能资源调查监测、发电效率测算等方法，提供了影响发电效益的关键因素，对本标准光伏发电经济价值评估与价值提升研究提供关键技术参考。
9	GB 50794	光伏电站施工规范	规定了光伏电站土建工程、土方工程、支架基础、场地、安全工程等的建设要求，为本标准研究生态本底保护、环境影响分析等提供依据。
10	GB 50797	光伏电站设计标准	规定了光伏电站站址选择、太阳能资源分析、环境保护与水土保持、光伏发电系统等设计建设内容，为本标准生态环境保护分析研究提供技术基础。
11	NB/T 10394-2020	光伏发电系统效能规范	规定了光伏发电系统效能评价的基本要求、评价方法和评价流程，提供了组件效率、容配比、光伏发电系统实际上网电量、单位面积安装容量等效能参数计算方法，为本标准光伏发电经济价值评估提供参考。
12	NB/T 32001-2012	光伏电站环境影响评价技术规范	规定了光伏电站工程环境影响评价的原则、内容、工作程序方法和要求，环境影响因素识别、评价因子筛选等内容为本标准环境价值评估提供参考。
13	SJ/T 11926-2024	产品碳足迹 产品种类规则 光伏组件	规定了光伏组件产品碳足迹评价的基本规则和要求，可指导光伏组件产品的选取与高效使用。
14	GB/T 51424-2022	农业温室结构设计标准	规定了保障农业效益与环境安全的温室结构设计要求，为本标准研究农光互补系统中农业经济效益提升提供技术参考。
15	RB/T 095-2022	农作物温室气体排放核算指南	给出了农作物种植的温室气体排放核算和报告的核算步骤、核算范围、核算方法等，其提供的“确定核算边界、识别排放源、选择核算方法、收集活动数据和确定排放因子”等核算步骤为本标准环境价值评估提供思路。
16	/	千年生态系统评估（MA）	构建了包含供给服务、调节服务、文化服务、支持服务的生态系统服务框架体系，揭示了生态系统服务与人类福祉之间的关系，为本标准生态环境效益评估体系构建提供参考。
17		生态系统与生物多样性经济学（TEEB）体系	揭示了生物多样性与人类福祉关系，构建了生态系统服务和生物多样性价值评估体系，为本标准生态环境经济价值核算体系构建提供思路参考。
18	/	联合国环境经济综合核算体系（SEEA）	形成了供给服务、调节与维持服务、文化服务三方面的生态系统服务评估指标体系，可指导本标准生态价值评估指标的筛选与价值测算方法模型的选择。
19	国际标准	环境经济核算体系（SEEA）生态系统核算	建立了生态系统范围账户、生态系统状况账户、生态系统服务流量账户（实物）、生态系统服务流量账户（货币）和生态系统资产货币账户五大生态账户的核算体系，为本标准生态环境经济价值核算的实物量、价值量测算提供方法支撑。
20	GB/T 28592	降水量等级	规定了降水量等级划分的原则和等级，指导本标准的降水监测等工作。
21	GB/T 38582	森林生态系统服务功能评估规范	界定了森林生态系统服务修正系数、应税污染物当量、等效替代法等 17 个主要的名词术语；建立的保育土壤、林木养分固持、涵养水源、净化大气环境、固碳释氧、林木产品供给等功能的评估指标体系，可有效指导本标准评估指标筛选。
22	GB/T 43678-2024	生态系统评估 生态系	描述了生态系统服务的评估内容和流程，从生态系统的供给服

序号	标准编号	标准名称	与本标准相关的技术内容
		统服务评估方法	务、调节服务、文化服务以及支持服务四个大类构建了包含 33 个二级指标的评估指标，并提供了每个指标的评估方法，为本标准评估指标确定以及指标评估方法选择提供参考。
23	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	提出水源涵养、土壤保持、物种丰富度等生态系统服务功能评估技术方法，为本标准评估指标确定以及指标评估方法选择提供参考。
24	HJ 1175	全国生态状况调查评估技术规范——项目尺度生态影响评估	提供了项目尺度生态调查与评估技术方法，其中，水源涵养、土壤保持的评估方法为本标准提供技术参考。
25	HJ 1176	全国生态状况调查评估技术规范——数据质量控制与集成	规定了野外调查/核查点的数量、空间精度、核查时间间隔，针对生态参数野外观测样地的空间位置选择、数量设置等进行了说明，为本标准生态参数的调查监测提供技术指导。
26	HJ 630-2011	环境监测质量管理技术导则	规定了环境现场监测时，监测时段的气象等环境条件，水、电和气供给等工作条件，企业工况及污染物变化(稳定性)条件应满足监测工作要求；应有确保人员和仪器设备安全的措施，为本标准野外调查监测提供安全保障技术指导。
27	/	生态产品总值核算规范（试行）	对生态系统、实物量、价值量等进行了术语界定；构建了不同生态系统生态产品价值核算指标体系，并给出生态产品实物量和价值量核算的方法，为本标准价值核算提供技术方法参考。
28	/	陆地生态系统生产总值(GEP)核算技术指南(2020)	规定了陆地生态系统生产总值实物量与价值量核算的技术流程、指标体系与核算方法等内容，为本标准价值核算体系构建与指标评估方法确定提供参考。

3.1.2 本标准与现有标准的关系

（1）与国际标准一致

本标准充分借鉴联合国环境经济综合核算（SEEA）体系以及生态账户核算技术指南等中的自然资源资产核算逻辑，确保农光互补项目生态环境经济核算方法的科学性。

（2）与国家标准衔接

本标准引用《森林资源规划设计调查技术规范》《土壤采样技术规范》等现行国家标准、政策文件，与《可再生能源法》《环境保护法》等相关法律法规相协调，确保核算方法的合法性和适用性。本标准避免与《生态产品总值核算规范（试行）》重复，加强农光互补项目价值核算参数调查监测，重点突出“光伏+农业”复合场景的特殊性。

（3）与行业标准匹配

本标准参考《光伏电站环境影响评价技术规范》（NB/T 32001-2012）等方法体系，聚焦农光互补项目小尺度的特殊性；基于《光伏发电系统效能规范》（NB/T 10394-2020），本标准进一步量化光伏发电效率与农业生产的协同效益；衔接《环境监测质量管理技术导则》（HJ 630-2011），参考环境监测点位布设、样品采集、实验室分析质量控制、数据处理等技术方法，制定农光互补项目土壤、植被监测方案；借鉴《农作物温室气体排放核算指南》（RB/T 095-2022），构建农光互补项目环境价值核算方法体

系；兼容《绿色产业指导目录》中“农光互补”的分类要求，强化绿色金融适配性。

（4）与地方标准协同

本标准在编制过程中，将充分结合《广西设施农业项目建设流程指南》《来宾市光伏项目用地操作指南》等地方标准指南，与西南地区光伏农业项目建设经验相协同，通过对西南地区典型场景农光互补项目进行实地调查监测，获得本地化参数，构建适宜西南地区典型场景的农光互补项目生态环境价值核算的参数库。

（5）与团体标准互补

与《光伏农业大棚及园区建设技术规范》（T/SDAS 1-2015）、《光伏电站环境保护技术监督规程》（T/CET 416—2024）等团体标准形成优势互补、良性互动架构，从概念内涵、建设要求、环境保护、价值核算等不同角度建立健全农光互补项目的标准体系，促进农光互补项目健康高质量发展。

3.1.3 本标准对先进标准的采用

遵循国际标准框架体系：深度对接千年生态系统评估（MA）、联合国环境经济综合核算（SEEA）体系，采用其提出的“供给服务-调节服务-文化服务-支持服务”分类方法，构建农光互补项目的差异化价值评估体系。遵循自然资源资产化路径，借鉴 SEEA 中关于生态系统服务价值（ESV）的核算框架，将光伏发电的减排功能与农光互补项目生物碳储量纳入统一账户，形成具有农光互补项目特色的协同增效价值路径。

对标国际核心核算技术：参考千年生态系统评估（MA）中关于农业系统的测算模型，量化光伏板下农田的生产能力；对照欧盟 EUP 环保指令（2005/32/EC）中关于污染控制成本的核算方式，采用替代成本法、市场价值法等，计算农光互补项目中减排的环境价值；参考加拿大、日本、韩国等关于费用效益分析的技术手段，建立农光互补项目环境、经济效益分析方法；参考美国可再生能源证书（REC）交易机制中“光伏发电权+碳汇权益”捆绑交易路径，构建集发电、碳汇等于一体的价值核算体系，为后续碳资产交易提供了技术支撑。

3.1.4 本标准的先进性

本标准通过技术创新与组织保障的双重突破，既为政策支持提供量化依据，又为全球新能源复合项目评估贡献中国智慧，体现了标准编制的前瞻性与引领性。

关键技术的创新突破：基于已有生态产品价值核算经验，建立“基础监测-参数校准-价值量化”的技术链条，创新提出构建农光互补项目尺度的生态环境经济价值核算体系，弥补农光互补项目效益评估内容缺项的问题。同时，针对农光互补项目小尺度、复合场景的特殊性，开展实地调研监测，形成农光互补项目价值核算参数库，对国标核算体系中已有的气候调节模型、水源涵养模型等核算方法进行参数校正，突破典型场景核算参数缺乏、核算精确不足的问题。

组织架构的平衡互补：本标准由生态环境部环境规划院牵头，联合中国电力工程顾问集团等头部企业组建跨学科团队，构建了平衡互补的组织保障机制，既确保 SEEA 等国际技术经验逻辑的本土化转化，又融合工程实践经验，形成可复制的核算体系。

3.2 分析国内外技术发展动态

3.2.1 生态效益评估技术

生态效益评估关注生态系统产生的正向价值，当前国内外主要以生态系统服务价值核算作为评估手段。生态系统服务的评估经历了从定性评估到定量评估、从静态估算到动态评估、从单一指标评估到复合指标评估的发展过程，研究手段由传统技术逐步转变为传统与 GIS、RS、GPS 相结合多模型评估的方式。

在指标体系上，国内外评估体系经历了 20 余年的发展。2001 年联合国发起了千年生态系统评估（Millennium Ecosystem Assessment，简称 MA），将生态系统服务划分为 4 类：支持服务、供给服务、调节服务、文化服务。其中，支持服务是其他 3 类生态系统服务的支撑，其价值已经反映在其他 3 种类型的服务上，不主张对支持服务进行估价，但支持服务中的短期影响可以纳入核算范围。2012 年，联合国发布环境经济综合核算（SEEA）的实验生态账户（EEA），基本沿用了 MA 的总体评估框架，但将 MA 中的支持服务定义为支持生态系统及其他服务的基础，不再纳入国际通用生态系统产品服务分类，不再作为生态系统服务功能进行核算。2021 年发布的联合国环境经济核算体系（SEEA）下的生态系统核算（EA）在原有 EEA 的基础上对核算框架和指标内容进行了优化，将原来的“调节服务”改为“调节与维持服务”，在生态系统分类方法中采纳了 2020 IUCN 的全球生态系统分类（IUCN Global Ecosystem Typology），将固碳服务作为气候变化调节服务的一部分进行整合，并在调节服务中增加了栖息地保护服务（Nursery population and habitat maintenance services）。当前国内外主流核算遵循联合国 EA 的 3 大类生态系统服务指标体系，该指标体系科学性强、行业认可度高，可作为本标准的重要技术支撑。

在核算方法上，我国近年来取得了显著进展。我国生态价值核算的思路分为服务价值核算法、当量因子法和基于能值的生态元法三种，服务价值核算是当前的主流方法。当量因子法在区分全国不同生态系统服务功能的基础上，基于可量化的标准构建不同类型生态系统各种服务功能的价值当量，结合生态系统的面积进行评估。当量因子法方法统一、结果便于比较，但其体现的是一个宏观平均化的量值，无法完全反映区域的具体生态系统特征。生态元法从地球生物圈能量运动角度出发，以太阳能值来表达某种资源或产品在形成或生产过程中所消耗的所有能量，并在此基础上建立一般系统的可持续性生态核算指标体系，以生态元为标准构建生态系统服务实物量度量单位，但核算过程利用的参数较多，核算结果的不确定性较高。服务价值核算法针对不同生态服务功能采用不同的生态模型核算实物量，并采用影

子工程法、市场价值法、替代成本法等多种价值量化方法，核算结果精度高、可操作性强，成为当前生态服务核算的主流技术方法，通过具体的核算模型与参数优化，可以科学支撑本标准的实施。

3.2.2 环境效益评估技术

费用效益分析（Cost-Benefit Analysis）又叫成本效益分析。20 世纪 60 年代开始，环境质量逐渐成为人们关注的焦点，对环境变化的费用效益评估研究日益丰富。1973 年，美国最早将费用效益分析方法应用于环境影响评价中；20 世纪 80 年代以来，费用效益分析被作为联邦政府预算拨付的重要前提，并发布命令要求任何重大管理活动都要执行费用效益分析；2003 年 9 月美国政府正式颁布了《政策规定绩效分析》文件，对实施公共政策绩效评估作了系统、全面的规定。加拿大财政部也在 1998 年编写了《费用效益分析手册》（Benefit-Cost Analysis Guide）。20 世纪 80 年代，欧盟委员会重视费用效益分析方法的使用，并在实践中逐步得到发展和完善。1999 年，欧洲环境署开展了“关于环境措施的报告”项目，发布了研究成果《关于环境措施：是有效率的吗？》，形成了环境政策影响分析的技术框架，为环境政策费用效益分析工作的开展提供了技术指导。英国、法国、荷兰等发达国家政府机构也陆续制定了费用效益分析使用手册、指导原则等文件。亚洲地区中，日本和韩国等国家相对较早地实施了环境费用效益分析。日本各府省联络会议于 2001 年通过了《关于政策评估的标准指针》等，更注重环境政策评估制度的建设。2001 年韩国通过了《政策评估框架法案》，对政策评估原则、评估主体、评估类型、评估程序、评估结果的使用和公开等内容，做出明确、详细的规定。

我国环境经济学者正在研究如何将费用-效益分析用于自然资源领域和环境质量管理中，并且已经出版了不少专著和手册，其中包括了大量的实例研究。如，针对污染物排放标准实施的成本-效益分析，提出的典型工业污染物排放标准制订方法和工业污染物排放标准实施成本效益分析方法；采用大气污染控制成本分析模型（TAPCC）、CMAQ 模型与 SMAT-CE 模型的深圳市大气细颗粒物污染控制措施的成本效益分析。生态环境部环境规划院长期从事费效分析相关研究，发表《环境政策评估推动战略环评实施》《为什么要对环境政策进行评估—关于环境政策评估九大问题解答》《中国环境政策的系统评估与展望》等文章，阐明了环境政策评估的定义、作用、意义以及对环境政策评估的基础理论的要点介绍，给出了评估方法选择的要点，并对我国环境政策的演变历程和重要环境政策实施效果进行了系统评估。在王金南院士的带领下，生态环境部环境规划院对我国重要的环境政策都进行了费效分析，形成了科学先进、方法成熟的技术体系，成为支撑本标准制定的重要技术支撑。

3.2.3 农光互补研究进展

农业光伏系统是指将土壤种植作物与安装在地面几米以上的光伏板相结合的系统，该系统不仅能够提供可再生能源，还能与农业生产相结合，实现土地的高效利用。从直接产品来看，农光互补项目可以同时生产光伏电力和农业产品，具有能源生产和粮食种植的双重价值。此外，光伏项目可以减少温室气

体排放，通过参与碳排放交易，获得额外的经济收益。国内外相关研究探讨了农业光伏系统多维效益的量化，国际研究（包括 SEEA 框架等）将光伏发电、农产品产出、碳汇收益纳入综合核算体系，欧盟通过“Agri-PV”项目验证了农光互补项目增加土地复合利用，认为可提升效益 20%-30%；国内的相关研究实践也证实了农光互补在“发电+种植”直接收益的提升能力。

目前已有针对农光互补项目进行价值核算研究的案例，对农光互补模式的推广产生一定的积极意义。然而，这些研究多聚焦单一价值核算（发电或农业），忽视了农光互补项目区域生态-环境-经济的多维度特征，未形成涵盖“生态-环境-经济”复合价值的系统化核算体系，缺乏一套适用于农光互补项目尺度的核算方法体系标准。为此，本标准将充分采用已有研究中的 GIS、RS、遥感、生态固碳模型、气象模型、统计分析等技术方法，形成完善的农光互补项目生态环境经济价值核算方法体系，弥补在定量评估农光互补项目生态环境经济效益方面存在的技术规范空白。

4 设计标准技术路线与框架

基于文献分析与已有研究基础，形成农光互补项目生态-环境-经济价值核算技术路线（图 1）：确定项目核算区与项目对照区；明确区域内土地利用分类；确定核算指标；确定核算模型方法与适用技术参数，收集数据资料；开展生态价值、环境价值和经济价值核算；综合确定农光互补项目生态-环境-经济价值。

（1）确定项目核算区域

根据核算目的，确定农光互补项目生态-环境-经济价值核算范围，利用高分辨率卫星影像和无人机航测数据，开展农光互补项目核算范围边界校正，明确农光互补项目核算区域。

（2）设置项目对照区域

根据农光互补项目核算范围内农田生态系统特征，在项目核算区域周边选择地形、坡度、坡向等立地条件相似，未开展光伏建设的农田区域作为项目对照区域。

（3）明确土地利用分类

根据土地利用数据、高分辨率卫星影像和无人机航测数据，结合现场调查，确定农光互补项目核算区域和项目对照区域的土地利用分类。

（4）确定核算指标

参照国家发展改革委和国家统计局关于印发的《生态产品总值核算规范（试行）》、生态环境部印发的《陆地生态系统生产总值（GEP）核算技术指南》、国家林草局发布的《森林生态系统服务功能评估规范》（GB/T 38582-2020）、全国环境管理标准化委员会发布的《生态系统评估 生态系统服务评估方法》（GB/T 43678-2024）等技术规范和指南为参考依据，结合文献资料与实地踏勘，综合分析项目区生态系统特征和社会经济特征；基于农光互补项目现场实际情况，构建生态价值、环境价值和经济价值核算

指标体系。

（5）确定核算方法

结合农光互补项目核算区域的区域特征与数据可得性，确定项目各核算指标的核算方法模型及模型所需参数。

（6）收集数据资料

收集开展项目区域生态环境经济价值核算所需要的部门统计数据、调查监测数据、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，形成核算所需参数数据集。

（7）开展实物量核算

根据核算目的，确定核算基准时间，开展农光互补项目生态环境经济实物量核算。

（8）开展价值量核算

根据实物量核算结果，选用市场价值法、替代成本法等方法，核算农光互补项目的生态-环境-经济价值。

（9）评估农光互补项目生态环境经济价值

综合评估农光互补项目生态、环境、经济价值特征，编制研究报告，为后续项目提供参考基准。

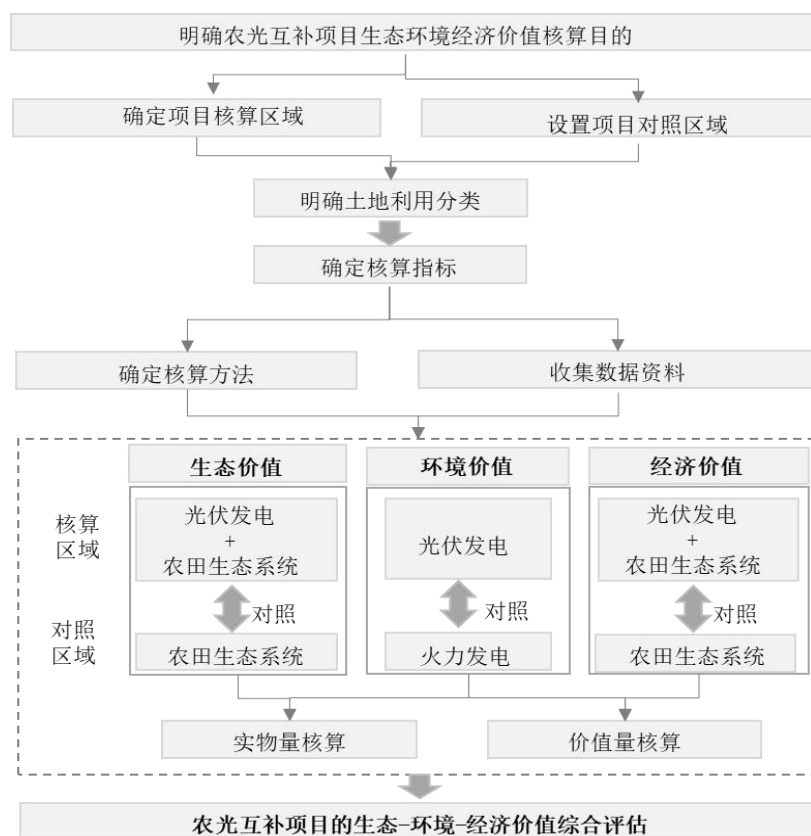


图 1 技术路线

5 组织开展实地调研与监测

5.1 调查监测概况

西南地区以山地、喀斯特地貌为主，农光、茶光、咖光等特色农光互补模式集中，是我国绿色能源产业发展的重要承载地，且气候差异显著，现有通用生态环境经济价值核算参数难以精准覆盖这些场景，因此，选取西南地区典型场景农光互补项目进行调查监测（图 2、图 3 和图 4），旨在获取适配区域特征的第一手实证数据，为标准核算方法的落地应用奠定核心基础。通过对广西农光互补项目、云南咖光与茶光互补项目等典型案例的实地监测，获取光伏板布局对茶树、咖啡生长的影响数据，以及喀斯特石漠化区域光伏项目的土壤保持、水源涵养等的实测结果，填补西南地区农光互补项目价值核算的技术空白，确保核算结果贴合西南实际。

本标准野外监测调查与实验室检测分析过程中遵循《土壤检测 第 1 部分：土壤样品的采集、处理和贮存》《土壤采样技术规范》《GB 21139 基础地理信息标准数据基本规定》等标准，确保监测数据的科学性、准确性与可比性，为农光互补项目生态环境经济价值核算提供坚实的数据基础，同时保障标准与行业技术体系的协同衔接。标准编制组野外调查监测人员具有生态学、土壤学、环境科学等多学科背景和长期的野外调查和样品采集经验，也具有较强的数据统计分析，为生态效益核算关键参数的监测与数据整理奠定了坚实的基础。标准编制承担单位拥有完备、先进的野外调查、定位观测和采样设备，为本标准参数监测的野外调查和样品采样提供良好条件。

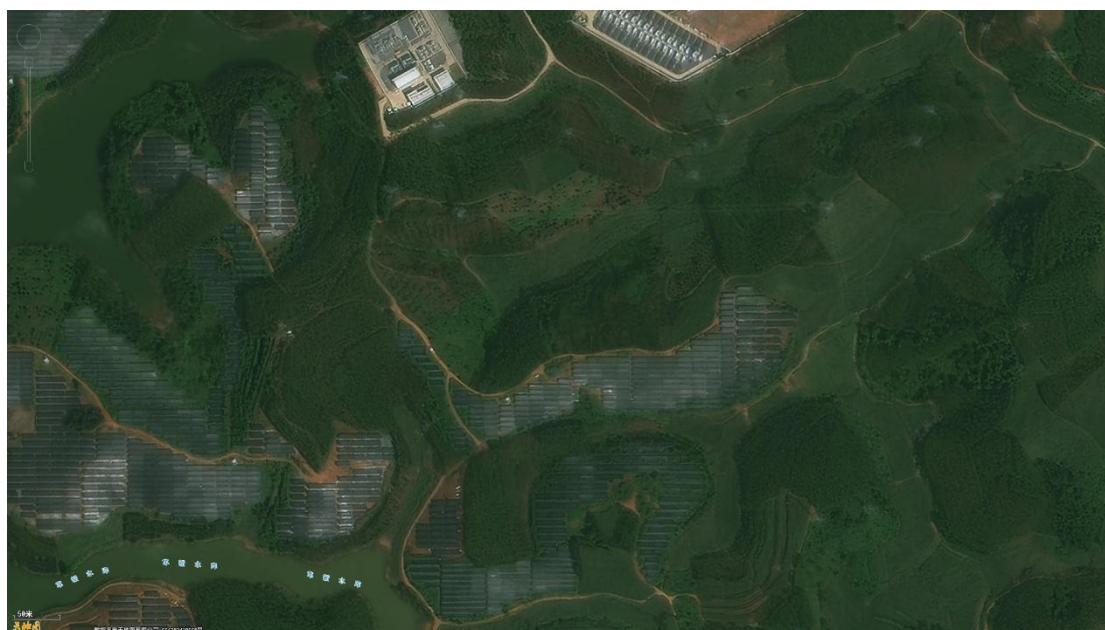


图 2 广西崇左板崇农光互补场地



图 3 云南普洱南坪西茶光互补场地



图 4 云南普洱那丙田咖光互补场地

5.2 调查监测内容

在农光互补项目生态环境经济核算的总体框架下，按照生态效益核算关键参数监测调查要求，结合典型场景实际情况，开展普洱南坪西茶光互补区域、普洱那丙田咖光互补区域、广西板崇农光互补区域

生态效益核算关键参数监测调查工作。生态效益核算关键参数监测与收集数据，主要的调查内容有土壤理化指标、植被群落指标、植被光合指标、蒸散发指标和温湿度指标（表4）。

表 4 生态效益核算关键参数监测与收集一览表

监测对象	一级指标	二级指标	指标说明
土壤指标	物理特征	容重	不同土壤类型表层土(0-20cm)土壤容重
		土壤水分含量	不同土壤类型表层土壤容重
		机械组成	分粒径检测， $D \leq 0.002\text{mm}$ 、 $0.002 < D \leq 0.02\text{mm}$ 、 $0.02 < D \leq 0.05\text{mm}$ 、 $0.05 < D \leq 0.1\text{mm}$ 、 $0.1 < D \leq 0.2\text{mm}$ 、 $0.2 < D \leq 0.25\text{mm}$ 、 $0.25 < D \leq 0.5\text{mm}$ 、 $0.5 < D \leq 1\text{mm}$ 、 $1 < D \leq 2\text{mm}$
	元素含量	有机碳含量	不同土壤类型表层土(0-20cm) OC
		全氮元素含量	不同土壤类型表层土(0-20cm) TN
		全磷含量	不同土壤类型表层土(0-20cm) TP
		钾元素含量	不同土壤类型表层土(0-20cm) K
植被指标	植被群落	群落类型	茶园、咖啡园、五指毛桃园
	群落结构	群落高度	不同群落类型植被高度数据
	光合能力	光合速率	不同作物的植被光合作用速率
气象指标	植被降温能力	植被蒸散发耗热	群落冠层下单位面积蒸发量
	裸地蒸发能力	裸地蒸发量	裸地非植被区单位面积蒸发量
	冠层温湿度	冠层空气温湿度	不同作物类型冠层下方空气温度与湿度
	裸地温湿度	裸地空气温湿度	裸地区域 1.5 米高度处空气温度与湿度
	降雨量	日降雨量	农光互补区域日降雨量

5.3 调查监测方法

根据调查指标，按照不同的数据监测与收集方式进行调查。通过野外样地布设监测调查典型场景农光互补项目区域的土壤样品，植被指标中的群落类型、群落高度、光合速率，以及气候指标中的蒸散发、空气温/湿度、降雨量。其中，土壤指标需将土壤样品由 CMA 认证机构进行实验室分析获取；气象指标中的降雨量通过典型场景样地中布设的小型气象站获取；其余指标通过仪器设备在野外开展监测获取。

（1）样方布设思路

本标准调查监测目标旨在评价咖啡园、茶园、五指毛桃园典型农作物区域，架设光伏板之后，生态效益发生的变化。因此样方布设作物区作为对照区，作物+光伏区域作为控制区，在对照区和控制区分别布设相应的样方，开展土壤、植被、气候参数的监测（图5）。

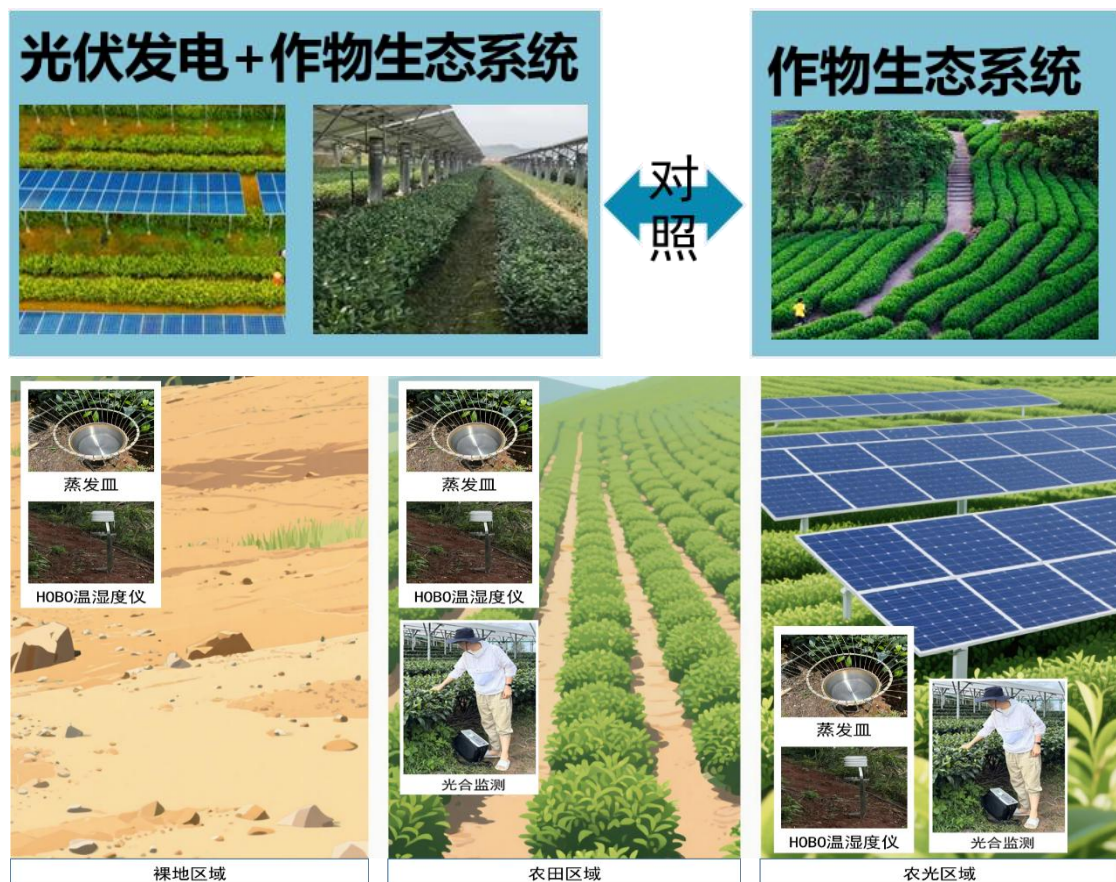


图 5 样方布设思路

(2) 植被指标监测

群落类型与群落结构测量：每个作物类型场地中，在作物对照区随机选择 3 株植物，记录作物类型，并使用卷尺测量植株高度，并依次记录；

群落光合作用监测：每个作物类型场地中，光合作用需要连续监测 3 天，每天监测 5 次，即 8:00/11:00/14:00/17:00/20:00，分别代表日出后、典型上午、典型正午、典型午后、夜间。每次测量，在对照区（无光伏板）随机选取 3 株植物，每株植物随机选取 3 个叶片，使用便携式光合呼吸仪器开展植物叶片光合呼吸监测，每个叶片重复测量 3 次，即每个时间点共重复监测 27 次，获取 ≥ 27 个监测数据。在对照区域监测完毕之后，在控制区（光伏板下），随机选取分布于光伏板下的植物 3 株，每株植物随机选取 3 个叶片，使用便携式光合呼吸仪器开展植物叶片光合呼吸监测，每个叶片重复测量 3 次，即每个时间点共重复监测 27 次，获取 ≥ 27 个监测数据。即每个时间点，对照区获取 27 组以上数据，控制区获取 27 组以上数据。

(3) 气象指标监测

每个作物类型场地中，气象指标监测需要连续开展 3 天监测。

在对照区（无光伏板）随机选取 3 株植物，在每株植株冠层下方，布设 1 台 HOBO 温湿度仪器；

在控制区（光伏板下）随机选取 3 株植物，在每株植株冠层下方，布设 1 台 HOBO 温湿度仪器；在毗邻对照区和控制区的裸地区域，设置 1.5m 支架，支架上布设 1 台 HOBO 温湿度仪器。即对照区布设 3 台 HOBO 温湿度仪器，控制区布设 3 台 HOBO 温湿度仪器，裸地布设 1 台 HOBO 温湿度仪器，合计 7 台。HOBO 可以设置自动观测与记录，这次实验 HOBO 设置为每 5 分钟自动记录 1 次数据，连续监测 72 小时，即每个典型场景每台设备可以获取 864 条温湿度记录。

在对照区（无光伏板）随机选取 1 株植物，在冠层下方，布设 1 台蒸发皿；在控制区（光伏板下）随机选取 1 株植物，在冠层下方，布设 1 台蒸发皿；在毗邻对照区和控制区的裸地区域，设置 1.5m 支架，支架上布设 1 台蒸发皿。每天 10 点往蒸发皿中导入 20mm 蒸馏水，于次日 10:00 使用量筒测量蒸发皿中剩余水量，随后洗净蒸发皿，再次导入 20mm 蒸馏水，开始下一个 24 小时的蒸发量监测。即在对照区、控制区和裸地各布设 1 台蒸发皿，每台蒸发皿连续测量 3 日蒸发数据。

野外调查监测所选场地均布设有小型气象站，通过与标准编制委托方沟通，获取每个场地监测调查期间日降雨量数据。

（4） 土壤指标监测

1) 土壤样品采集

在每个作物类型场地中（包括植被/气象监测区域及要开展生态效益核算的整个项目场地），综合考虑有无光伏板布设、土壤分布类型以及操作可达性特征，在尽量保证均匀分布的基础上随机选择 15-20 个样点开展土壤样品的采集工作。其中，云南普洱南坪西茶光场地个监测样点 16 个、云南普洱那丙田咖光场地个监测样点 18 个、广西崇左农光场地个监测样点 15 个（图 6、图 7 和图 8）。

在每个样点，应首先调查内容，包括：样点编号、场地类型、地点、样地中心十进制经纬度、海拔、土壤类型等。根据《NY/T 1121.1-2006，土壤检测 第 1 部分：土壤样品的采集、处理和贮存》和《GB/T 36197-2018，土壤采样技术规范》，在每个样点，去除样地表面的枯落物，使用 7cm 直径土钻取 0-20cm 土层的土样，每 4-5 个实验样地布设一个平行样（用于数据精度核验），以保证数据获取的精确性。每个样点土样均采用 100cm³ 环刀取样，用于后续的实验室测量土壤容重，其余土样装自封袋带回实验室测试土壤有机碳、全氮、全磷、钾元素参数，所有检测工作均在 CMA 认证机构进行。

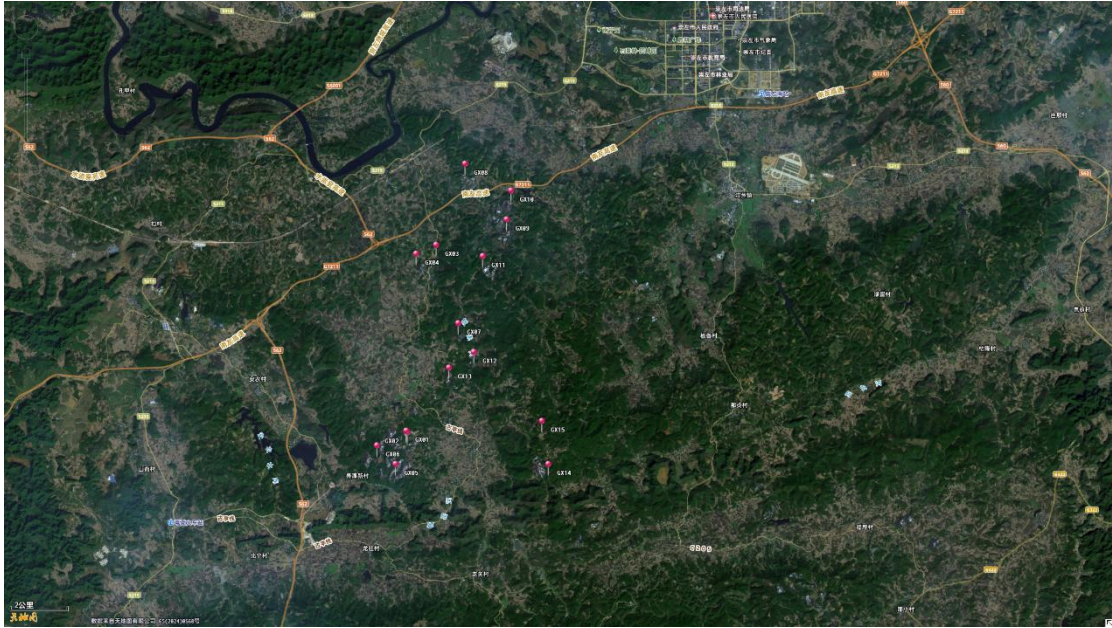


图 6 广西崇左板崇农光互补项目土壤监测点位

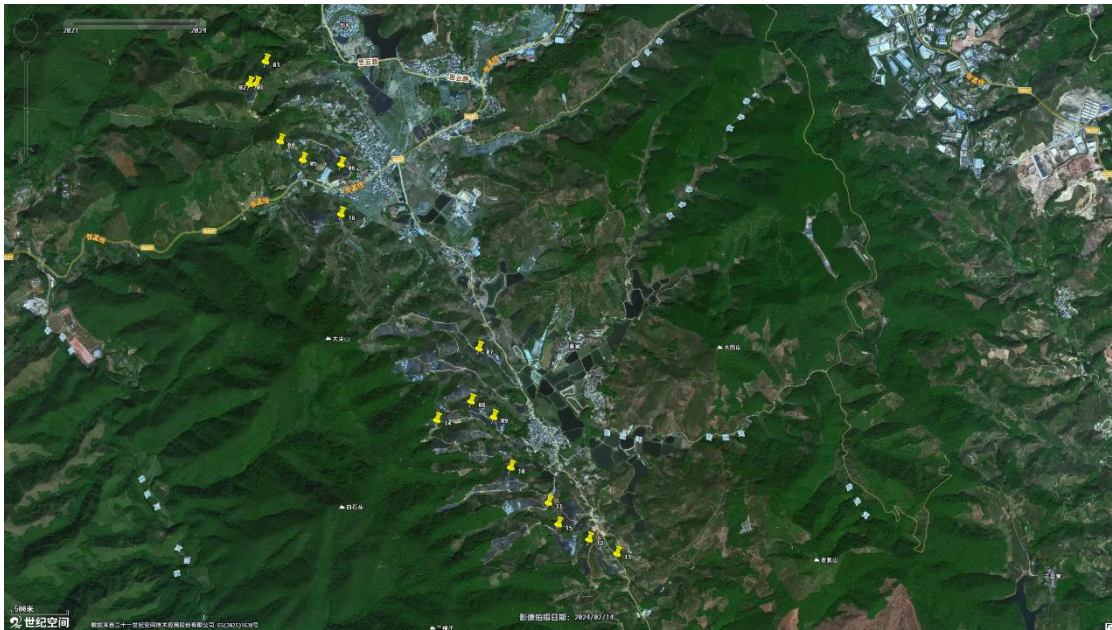


图 7 云南普洱南坪西茶光互补项目土壤监测点位

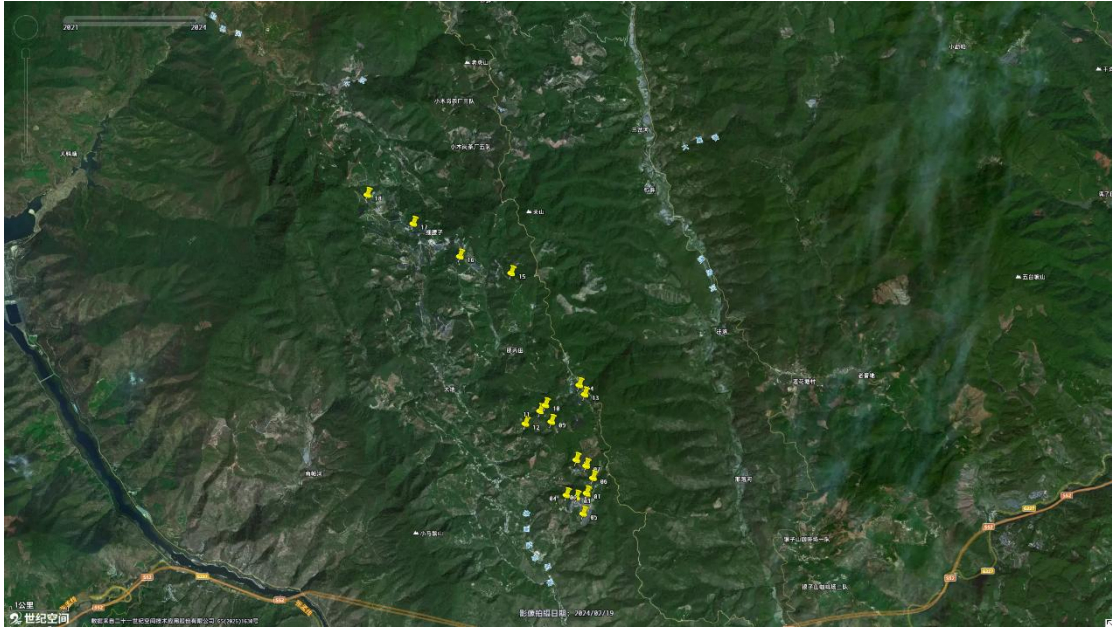


图 8 云南普洱那丙田咖光互补项目土壤监测点位



图 9 样点土壤采样示工作图

2) 土壤指标测定方法

将样品送至 CMA 认证机构，按照《NY/T 1121.1-2006，土壤检测 第 1 部分：土壤样品的采集、处理和贮存》的规范要求，对采集的土壤去除杂质、风干、研磨、过筛等预处理后，使用行业标准方法测定土壤含水量、容重、全氮、有机碳、全磷、全钾等 6 个指标，其测定规范如表 5 所示。使用行业认可方法-激光粒度法测定土壤机械组成，并计算 $D \leq 0.002\text{mm}$ 、 $0.002 < D \leq 0.02\text{mm}$ 、 $0.02 < D \leq 0.05\text{mm}$ 、 $0.05 < D \leq 0.1\text{mm}$ 、 $0.1 < D \leq 0.2\text{mm}$ 、 $0.2 < D \leq 0.25\text{mm}$ 、 $0.25 < D \leq 0.5\text{mm}$ 、 $0.5 < D \leq 1\text{mm}$ 、 $1 < D \leq 2\text{mm}$ 等 9 个粒级

占比。

表 5 土壤指标测定所应用标准

序号	指标	应用标准
1	含水量	LY/T 1215-1999, 森林土壤水分-物理性质的测定
2	容重	NY/T 1121.4-2006, 土壤检测 第 4 部分: 土壤容重的测定
3	全氮	NY/T 1121.24-2012, 土壤检测 第 24 部分: 土壤全氮的测定 自动定氮仪法
4	有机碳	HJ615-2011, 土壤 有机碳的测定 重铬酸钾氧化-分光光度法
5	全磷	HJ 632-2011, 土壤 总磷的测定 碱熔-钼锑抗分光光度法
6	全钾	NY/T 87-1988, 土壤全钾测定法

5.4 监测调查结果

基于西南地区典型场景农光互补项目植被、气候、土壤的调查,开展数据处理分析,形成不同类型农光互补项目的生态价值评估参数(表 6),为本标准中的核算方法实施应用奠定扎实的参数基础。

表 6 典型场景农光互补项目生态参数调查结果

核算指标	核算参数	参考数值	
		对照区域	咖光区域
生态固碳	单位面积生态固碳实物量	1535.3 gCO ₂ /m ² /a	414.2 gCO ₂ /m ² /a
气候调节	单位面积气候调节实物量	15.67 kW·h/m ² /a	43.38 kW·h/m ² /a
水源涵养	单位面积水源涵养量	5.28 t/m ² /a	5.62 t/m ² /a
土壤保持	土壤侵蚀模数	3917.7 t/(hm ² ·a)	4308.9 t/(hm ² ·a)

6 标准主要内容

6.1 标准框架

本标准正文包括范围、规范性引用文件、术语和定义、核算原则、核算程序、核算体系、农光互补项目生态价值核算、农光互补项目环境价值核算、农光互补项目经济价值核算、报告编制 10 部分(图 10)。标准框架设计以农光互补项目生态-环境-经济价值核算需求为核心,从核算的基础依据、核心方法与成果输出三个角度设置了标准框架内容,基础依据具体包括范围、规范性引用文件、术语和定义,为核算提供边界与基础,明确标准适用场景与核心概念;核算原则、核算程序、核算体系、价值核算构成标准的核心方法体系,解决“为何算、怎么算、算什么”的关键问题;报告编制形成成果闭环,规范核算结果的呈现形式。本标准框架既符合《标准化工作导则》(GB/T 1.1-2020)的文本结构要求,又贴合农光互补项目核算准备-实施-输出的实际工作流程。



图 10 标准主要内容框架

6.2 范围

本标准规定了农光互补项目的生态环境经济价值核算原则、核算程序、核算框架、核算方法与核算报告编制等内容，适用于茶光、咖光、林光等不同类型农光互补项目的生态环境经济价值核算。

本标准的范围章节从内容边界与空间边界两个维度进行设定，内容上聚焦核算原则、程序、框架、方法等核心环节，避免因内容泛化导致核算重点模糊；空间上明确以农光互补项目为适用区域，并推荐提供了西南地区农光互补项目生态环境经济价值核算的相关参数，西南地区茶光、咖光等特色农光模式集中，且气候差异显著，需采用针对性的核算参数，而部分山地丘陵区等特征相似地区可通过参考标准推荐的核算参数降低核算成本。

6.3 规范性引用文件

本标准所引用文件中的内容通过规范性引用而构成本标准必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本标准；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

本标准采用必要且精简的引用原则，基于国内外标准规范研究分析，筛选与农光互补价值核算直接相关的标准规范文件，包括生态价值核算领域的《森林资源规划设计调查技术规范》《生态系统评估 生态系统服务评估方法》、农光互补领域的《精准扶贫 光伏农业项目运营管理规范》等技术规范和指南。对

注日期文件限定“对应版本适用”，确保核算方法的稳定性；对不注日期文件采用“最新版本”，保障标准与行业技术更新同步。通过引用权威文件，统一核算的核心术语与基础方法，确保本标准与国家现行规范衔接，避免因技术口径差异导致核算结果不可比；降低核算技术门槛，引用文件可为核算人员提供基础技术支撑，例如在核算土壤保持量时，可直接参考引用文件中的“通用土壤流失方程”，无需重新开发方法，提升标准的可操作性。

6.4 术语和定义

本标准聚焦农光互补项目价值核算的核心概念与易混淆术语，筛选 10 个关键术语：“农光互补”明确“光伏发电+农业生产”的复合属性，避免与单纯光伏电站或农业项目混淆；“生态价值”“环境价值”“经济价值”区分三维价值的边界；“生态固碳”“气候调节”“水源涵养”“土壤保持”清晰界定了生态价值核算的内涵；“实物量”“价值量”明确了核算的两个核心维度概念。定义表述兼顾科学性与通俗性，既参考学术规范，又结合农光项目实践场景，增强指南的实用性。

6.5 核算原则

农光互补项目价值核算遵循科学性原则、整体性原则和实用性原则，“科学性原则”聚焦“数据与方法可信”，要求设置对照区，解决因缺乏对比导致的生态价值无法量化问题；“整体性原则”聚焦三维价值协同，避免单独核算发电收益而忽视环境成本；“实用性原则”聚焦“落地可行性”，要求指标易理解、方法可操作、参数本地化，解决研究人员“不会算、算不起”的问题。原则表述与后续核算程序、核算方法直接关联，形成原则指导方法的逻辑。

6.6 核算程序

本标准按照准备、实施、整合的逻辑拆解核算流程，形成 6 个步骤：“确定核算区与对照区”是基础，明确算哪里、和谁比；“土地利用分类”是前提，区分种植区、光伏板区、道路等不同土地利用类型，不同地块核算指标不同；“确定核算指标”是核心，根据项目类型选择关键指标；“确定方法与收集数据”是支撑，选择适配方法，获取数据；“价值核算”是目标，分维度计算农光互补项目价值；“综合确定总价值”是整合，将生态、环境与经济价值相加，形成农光互补项目的综合价值。

6.7 核算体系

基于农光互补项目现场实际情况，核算生态价值、环境价值和经济价值，其中生态价值重点考虑生

态固碳、气候调节、水源涵养、土壤保持等功能，构建农光互补项目生态-环境-经济价值核算指标体系，确定各指标的优化核算方法。

核算体系设计以场景适配、指标聚焦、方法优化为核心，紧扣农光项目特色，从生态、环境、经济三维度筛选核心指标，形成指标定义—实物量核算—价值量核算的完整核算逻辑体系。在指标筛选上，参照国家发展改革委和国家统计局关于印发的《生态产品总值核算规范（试行）》、生态环境部印发的《陆地生态系统生产总值（GEP）核算技术指南》、国家林草局发布的《森林生态系统服务功能评估规范》（GB/T 38582-2020）、全国环境管理标准化委员会发布的《生态系统评估 生态系统服务评估方法》（GB/T 43678-2024）等技术规范和指南，综合分析农光互补项目区生态系统特征，确定项目核算指标。

常规指标包括供给服务、调节服务、文化服务 3 大类，根据国家指南核算规定，生态产品价值核算必须确定核算对象的空间范围，对于本标准，其核算对象空间范围即为农光互补项目区域本身。综合考虑农光互补项目区域特征，农光互补区域有茶园等形式的农产品供给，本标准核算体系中考虑供给服务；根据项目区域特殊性，项目区域尽量避免人为干扰，并且光伏板对项目区域自然景观有一定的破坏作用，且项目区域难以与其他自然景观产生景观联动，故不考虑文化服务；而种植作物依旧能够发挥生态系统调节功能，本标准考虑生态产品的调节服务。具体而言，光伏板的建设明显改变了局地地表太阳辐射、蒸发特征，与这些影响相关的指标应纳入核算指标体系。光伏板改变光照，影响植被光合作用，故而生态固碳纳入核算体系；光伏板既改变了太阳辐射，也影响了地表蒸发，综合改变了气候特征，因此生态系统的气候调节服务纳入指标体系；通过光伏板的遮挡，降雨没有直接淋向植物，植被的水源涵养发生变化；光伏板改变了降水落向地面的方式，并且光伏板布设存在一定的整地行为，土壤保持功能受到一定的影响。而水质净化、空气净化等功能是植物形状结构和内在生理综合作用，光伏板建设对其的影响很小，因此这些指标不纳入本标准考虑范围。

此外，农光互补区域具有特色环境、经济价值，环境价值突出农光项目清洁能源替代优势，设置 CO₂减排指标；经济价值紧扣“光伏+农业”复合属性，涵盖农产品供给（茶叶、咖啡等）与光伏发电（上网电量），覆盖项目核心收益来源。

6.8 核算方法

核算方法设计基于分维细化、方法适配、参数明确的原则，针对生态、环境、经济三类价值的特性，分别确定适配的核算方法、核算参数及参数来源（表 7）。生态价值核算针对 4 项指标分别匹配成熟且匹配农光互补场景的方法，生态固碳用“碳储量差值法”，气候调节用“生态系统蒸散法/温差法”，水源涵养用“水量平衡法”，土壤保持用“USLE 模型”，确保每类生态功能的核算方法科学且好用。环境价值核算突出“简化且精准”，聚焦 CO₂减排这一核心环境效益，采用等效替代法，假设相同电量由火电机生产，计算其 CO₂排放量，即为光伏项目的减排量，再乘以碳市场价格得到价值量；该方法避开

复杂的多污染物核算，聚焦农光项目最核心的环境贡献，同时通过明确火电机组排放因子，确保结果准确。经济价值核算紧扣产业实际收益，农产品供给采用统计法，结合市场价格法测算产品供给价值；光伏发电采用统计法，结合市场价格法核算光伏上网收益。在明确核算方法的基础上，标准编制组通过对西南地区典型场景农光互补项目进行实地调查监测，获得西南地区农光互补项目生态环境经济价值核算参考参数（表 8 和表 9）。

表 7 核算方法与参数来源

价值组成	一级指标	实物量核算方法	价值量核算方法	数据来源
生态价值	生态固碳	碳储量差值法： $W_{CO_2} = (WC_s - WC_{ck}) \times A$ $WC = M_{CO_2} \left[M_c \times [(Boi_k - Bio_{k-1}) \times C + (Soil_k - Soil_{k-1})] \right]$	碳交易价格法： $V_{cf} = W_{CO_2} \times P_{CO_2}$	单位面积生物量数据 Bio 来自场地实测；碳价 P_{CO_2} 来源于碳交易市场。
	气候调节	生态系统蒸散法： $W_{cr} = \sum_i^n (EPP_{si} - EPP_{cki}) \times S_i \times D \times 10^6 \times / (3600 \times r)$ 温差法： $W_{cr} = (WT_s - WT_{ck}) \times A$ $WT = (T_{soil} - T_s) \times \rho \times H \times D \times \beta$	替代成本法： $V_{cr} = W_{cr} \times P_{cr}$	植被和裸地区域温度 T 来自场地实测；植被高度 H 来自场地实测；一年中气温大于 26°C 的天数 D 来自气象数据；当地生活消费电价 P_{cr} 来自发改委。
	水源涵养	水量平衡法： $W_{wr} = (WW_s - WW_{ck}) \times A$ $WW = \left(1 - \frac{AET}{P} \right) \times P \times 10^{-3}$	影子工程法： $V_{wr} = W_{wr} \times P_{wr}$	年降雨量 P 和年蒸发量数据 AET 来自气象部门；单位水库建设成本 P_{wr} 来自水利部门。
	土壤保持	USLE 模型： $W_{sk} = (USLE_s - USLE_{ck}) \times A$ $USLE = R \times K \times LS \times (1 - C \times P)$	替代成本法： $V_{sk} = V_{sc} + V_{sn}$ $V_{sc} = \lambda \times W_{sk} / \rho \times P_{sc}$ $V_{sn} = \sum_i W_{sk} \times C_i \times R_i \times P_{sn_i}$	降雨数据来自气象部门；高程数据来自国土部门；植被覆盖因子来自遥感数据；土壤分布数据来自南京土壤所；单位清淤成本来自水利部门；氮肥、磷肥、钾肥单价来自市场价格。
环境价值	CO ₂ 减排	等效替代法： $Q_c = Q_e \times F_c$	市场价格法： $V_c = Q_c \times P_c$	火电每发 1 千瓦时电量的 CO ₂ 排放量 Q_e 来自全国火电厂平均单位发电量的二氧化碳排放数据；碳价 P_c 来源于碳交易市场。

价值组成	一级指标	实物量核算方法	价值量核算方法	数据来源
经济价值	农产品供给	统计法： $C_t = \sum_i^n (C_{si} - C_{cki}) \times A_i$	增加值法/市场价格法： $V_t = \sum C_{ti} \times p_i$	农畜产量 C_{si} 来自统计部门；农光互补项目对农畜产量的影响来自场地实测；农畜单价 P 来自市场价格。
	光伏发电	统计法： $Q_e = \sum q_e$	市场价格法： $V_e = Q_e \times p_e - C_e$	逐日上网电量 q_e 、光伏上网电价 p_e 、年光伏发电成本 C_e 来自光伏项目部。

表 8 西南地区农光互补项目生态环境经济效益实物量核算参数参考表

核算指标	核算参数	参考数值
生态固碳	含碳率	0.45
气候调节	空气的比热容 ρ	1297.74J/m ³ ·°C ⁻¹
	空调能效比 r	3
土壤保持	水土保持措施因子 P	耕地取 0.15, 其他土地利用类型取值为 1
碳排放	火电发电单位电量的 CO ₂ 排放量	0.58 tCO ₂ /MW·h

表 9 西南地区农光互补项目生态环境经济效益价值量核算参数参考表

核算指标	核算参数	参考数值
生态固碳	碳价	91.8 元/t
气候调节	居民电价	0.55 元/kW·h
水源涵养	水库建设成本	21.2 元/t
土壤保持	水库清淤成本	18.24 元/m ³
	氮肥价格	1479.1 元/t
	磷肥价格	3206.06 元/t
	钾肥价格	1954 元/t
	有机质价格	320 元/t
碳排放	碳交易市场碳交易价格	91.8 元/ t
光伏发电	上网电价	0.36 元/kW·h

6.9 报告编制

报告编制以清晰呈现、指导实践为目标，明确核算报告的核心构成与应用导向，既规范成果输出形式，又推动核算结果转化为实际决策依据。在内容构成上，本标准要求报告包含项目意义、核算过程、

核算结果、高质量发展建议等主要内容；在编制要求上，强调通俗易懂、重点突出，既要满足政府监管部门对数据严谨性的要求，又要让企业等人员能理解核算结果，增强结果可读性。