附件 1

温室气体自愿减排项目方法学 乔木林经营碳汇

（CCER—13—001—V01）

1 引言

乔木林经营碳汇项目可通过实施森林经营措施，提高森林质量，促进森林生态系统固碳增汇，从而实现大气中二氧化碳的清除。本方法学属于生态系统碳汇提升领域方法学。符合条件的乔木林经营碳汇项目可按照本文件要求，设计和审定温室气体自愿减排项目，以及核算和核查温室气体自愿减排项目的减排量。

2 适用条件

适用本文件的乔木林经营碳汇项目，必须满足以下条件：

a）项目对象为符合森林定义的乔木林，不适用于经济林的经营活动；

b）项目边界内有间伐或补植措施，作业小班有间伐、定株、补植、人工促进天然更新中的一种或者多种经营措施；

c）项目涉及国有林业企业事业单位的，具有相关行业主管部门批复的森林经营方案；

d）项目具有相关行业主管部门批复的作业设计或工程批复文件；

e）项目单个地块面积不小于 400m^2；

f）项目土地权属和减排权属清晰；

g）项目应符合法律法规规定和标准规范要求，符合行业发展政策。

3 规范性引用文件

本文件引用了下列文件或其中的条款。凡是注明日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其有效版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 15776 造林技术规程

GB/T 15781 森林抚育规程

GB/T 26423 森林资源术语

GB/T 26424 森林资源规划设计调查技术规程

GB/T 30115 卫星遥感影像植被指数产品规范

GB/T 38590 森林资源连续清查技术规程

GB/T 44351 退化林修复技术规程

GB/T 45088 林木采伐技术规程

GB/T 48059 森林经营方案编制技术要求

GB/T 46110 森林经营增汇技术规程

LY/T 2736 经济林名词术语

LY/T 2908 主要树种龄级与龄组划分

LY/T 3253 林业碳汇计量监测术语

CH/T 8024 机载激光雷达数据处理技术规范

4 术语与定义

4.1

乔木林 arboreal forests

乔木林指由乔木（含因人工栽培而矮化的）树种组成的郁闭度≥0.20 的片林或林带，且连续面积 1 亩以上。其中，乔木林带行数应在两行以上且行距小于等于 4m 或林冠冠幅水平投影宽度在 10m 以上。

[来源：GB/T 26423，6.68，有修改]

4.2

经济林 non-wood product forest

以生产果品，食用油料、调料、饮料，工业原料，药材和生物质能源为主要目的的林种。包括：以生产各种干、鲜果品为主要目的的果品林（如香榧、枣、苹果、梨、桃等），以生产食用油料、饮料、调料、香料等为主要目的的食用原料林（如咖啡、茶树、椰子等），以生产工业油料、树脂、木栓、单宁等非木质林产化工原料为主要目的的林产工业原料林（如油茶、小桐子、棕榈等），以生产药材、药用原料为主要目的的药用林（如杜仲、厚朴、肉桂等），以及以生产其他林副（特）产品为主要目的的其他经济林。

[来源：LY/T 2736-2016，2.1，有修改]

4.3

短轮伐期工业原料用材林 short-rotation industrial raw material plantation

以生产纸浆材及特殊工业用木质原料为主要目的，定向培育的森林。

[来源：GB/T 26424，5.3.2.3.1，有修改]

4.4

速生丰产用材林 fast-growing plantation

通过使用良种壮苗和实施集约经营，缩短培育周期，获取最佳收益，生长量达到相应树种速生丰产林指标要求的森林。

[来源：GB/T 26424，5.3.2.3.2]

4.5

森林经营 forest management

以建立健康稳定优质高效的森林生态系统为目标，为提高森林质量和增强森林的林产品供给、生态保护调节、生态文化服务、生态系统支持等多种功能，持续获取森林生态服务而开展的一系列贯穿于整个森林生长周期的保护、培育和利用森林的活动。

[来源：GB/T48059—2026，3.1，有修改]

4.6

间伐 intermediate cutting

指根据林分发育、林木竞争和自然稀疏规律及森林培育目标，适时适量伐除部分林木，调整树种组成和林分密度，优化林分结构，改善林木生长环境条件，促进保留木生长，缩短培育周期的经营措施。

注：间伐包括透光伐、疏伐、生长伐和卫生伐等方式。

[来源：GB/T 15781；GB/T 44351，8.3，有修改]

4.7

补植 enrichment planting

指在郁闭度低的林分，或林隙、林窗、林中空地等，或在缺少目的树种的林分中，在林冠下或林窗等处补植目的树种，调整树种结构和林分密度，提高林地生产力，增强固碳能力等生态功能的经营措施。

[来源：GB/T 15781，3.7；GB/T 44351，8.2，有修改]

4.8

定株 singling

在幼龄林中，同一穴中种植或萌生了多株幼树时，按照合理密度伐除质量差、长势弱的林木，保留质量好、长势强的林木，为保留木保留适宜生长空间的抚育方式。

[来源：GB/T 15781，3.5.2.1]

4.9

人工促进天然更新 artificial promoted natural regeneration

通过松土除草、补植或补播、除蘖间苗等措施促进目的树种幼苗幼树生长发育的抚育方式。

[来源：GB/T 15781，3.8，有修改]

4.10

木质产品 harvested woody products

指由项目产生的，从项目边界内移出的木质材料为原料加工而成，在项目计入期结束后仍然在用或进入到垃圾填埋的木质产品。

注：本文件中，木质产品包括原木、锯材、人造板等木材纤维类产品。

4.11

碳库 carbon pools

生态系统中碳储存的形式或场所，包括地上生物质、地下生物质、枯落物、枯死木、土壤有机碳和木质产品。

5 项目边界、计入期、碳库和温室气体排放源

5.1 项目边界

项目边界是拟实施乔木林经营碳汇项目活动的地块边界。每个地块应有特定的地理边界。可依据项目实施相应年度的林草资源图、相关行业主管部门批准的作业设计、森林经营方案等档案资料确定项目地块边界。

5.2 项目计入期

5.2.1 项目计入期是指申请项目减排量登记的时间期限。从项目业主申请登记的项目减排量产生时间开始，最短不低于 20 年，最长不超过 60 年。

5.2.2 项目的起始日期为森林经营方案（如有）或作业设计批复后项目边界内首次实施经营活动的日期。

5.2.3 项目寿命期限为项目开始至项目结束的时间。项目寿命期限的开始时间即项目边界内首次实施间伐、定株、补植或人工促进天然更新的项目开工日期，项目结束时间为项目计入期结束之后至少再延续 10 年。

5.3 碳库和温室气体排放源的选择

项目边界内选择或不选择的碳库如表 1 所示。

表 1　碳库的选择

情景	碳库	是否选择	理由
基准线情景	地上生物质	是	主要碳库
	地下生物质	是	主要碳库
	枯死木	否	该碳库的清除量所占比例小，忽略不计
	枯落物	否	
	土壤有机碳	否	土壤有机碳储量变化较小，忽略不计
	木质产品	否	该碳库的清除量所占比例小，忽略不计
项目情景	地上生物质	是	主要碳库
	地下生物质	是	主要碳库
	枯死木	否	该碳库的清除量所占比例小，忽略不计
	枯落物	否	经营活动措施对枯落物碳储量影响小，忽略不计
	土壤有机碳	否	经营活动措施对土壤有机碳储量变化的影响较小，忽略不计
	木质产品	是或否	如经营可能产生木质产品的措施，选择该碳库；否则，遵循保守性原则，忽略不计

项目边界内选择或不选择的温室气体排放源与种类如表 2 所示。

表 2　温室气体排放源的选择

情景	温室气体排放源	温室气体种类	是否选择	理由
基准线情景	生物质燃烧排放	CO_2、CH_4、N_2O	否	影响较小，遵循保守性原则，忽略不计
	使用机械设备、交通工具等过程中化石燃料燃烧产生的排放			
项目情景	生物质燃烧排放	CO_2	否	生物质燃烧引起的 CO_2 排放，已在生物质碳储量变化中考虑
		CH_4	否	CH_4 和 N_2O 排放相比 CO_2 占比很低，且项目已考虑了非持久性风险，不再重复计算
		N_2O		
	使用机械设备、交通工具等过程中化石燃料燃烧产生的排放	CO_2、CH_4	否	影响较小，相对于基准线情景不会增加排放，忽略不计

6 项目减排量核算方法

6.1 基准线情景识别

本文件规定的乔木林经营项目基准线情景为：现有乔木林在不同年龄阶段历史经营管理水平下的平均生长状况。

6.2 额外性论证

短轮伐期工业原料用材林和速生丰产用材林等以生产木材为主要目的的森林经营项目，需参照《温室气体自愿减排项目设计与实施指南》中“温室气体自愿减排项目额外性论证工具”对项目额外性进行一般论证。

其他乔木林经营碳汇项目经营前期投入大、周期长、经营风险大且投资回报率不高，不具有财务吸引力。符合本文件适用条件的项目，其额外性免予论证。

6.3 项目碳层划分

6.3.1 包括项目设计阶段的碳层划分和项目实施阶段的碳层划分。

6.3.2 项目设计阶段的碳层用于预估项目减排量。依据项目森林经营方案（如有）、作业设计或工程批复文件等资料，综合考虑项目边界内地块立地条件（如坡度、坡向、海拔、土壤类型和厚

度）、优势树种（组）、龄组（年龄），以及拟实施的经营措施等因素，将无显著差别的地块划分为同一碳层。

6.3.3 项目实施阶段的碳层用于计算项目减排量。依据项目施工作业落地上图矢量数据和经营活动措施，对项目设计阶段的碳层划分进行调整。

6.3.4 项目计入期内，若存在发生火灾、有害生物危害、极端天气灾害、主伐利用、毁林、建设项目使用林地等自然灾害或人为干扰，以及其他经营活动，导致原有碳层的异质性增加或土地利用发生变化，应对项目实施阶段的碳层进行调整和更新。

6.4 基准线清除量计算

在基准线情景下，采用项目所处行政区域、气候地理区域，相应乔木林的单位面积年均净生长量测算生物质碳库净固碳量，作为项目基准线清除量。

项目开始后第 t 年的基准线清除量按照公式（1）计算。计算方法参照附录 A 执行。

$$\Delta C_{\mathrm{BSL},t} = \sum_{i}\sum_{k} \Delta C_{\mathrm{Bio_BSL},i,k,t} \tag{1}$$

式中：

$\Delta C_{\mathrm{BSL},t}$ —— 第 t 年时，基准线清除量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）；

$\Delta C_{\mathrm{Bio_BSL},i,k,t}$ —— 第 t 年时，基准线情景项目边界内第 i 碳层乔木树种 k 生物质碳储量的年变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$），按本文件附录 A 的式（A-1）计算；

i —— 碳层；

k —— 乔木树种；

t —— 自项目开始以来的年数，t=1, 2, 3……，无量纲。

6.5 项目清除量计算

项目开始后第 t 年的项目清除量按照公式（2）计算。计算方法参照附录 B 执行。

$$\Delta C_{\mathrm{PROJ},t} = \sum_{i}\sum_{k} (\Delta C_{\mathrm{Bio_PROJ},i,k,t} + \Delta C_{\mathrm{HWP_PROJ},i,k,t}) \tag{2}$$

式中：

$\Delta C_{\mathrm{PROJ},t}$ —— 第 t 年时，项目清除量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）；

$\Delta C_{\mathrm{Bio_PROJ},i,k,t}$ —— 第 t 年时，项目情景项目边界内碳层 i 乔木树种（组）k 的生物质碳储量年变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$），在项目设计阶段，按本文件附录 C 的式（C-1）计算；在项目实施阶段，按本文件附录 B 的式（B-1）计算。

$\Delta C_{\mathrm{HWP_PROJ},i,k,t}$ —— 第 t 年时，项目情景项目边界内碳层 i 乔木树种（组）k 的木质产品碳储量年变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$），如果在项目设计阶段或者项目实施阶段考虑木质产品碳库变化，按本文件附录 B 的式（B-5）计算；

i —— 碳层；

k —— 乔木树种；

t —— 自项目开始以来的年数，t=1, 2, 3……，无量纲。

6.6 项目泄漏计算

根据本文件适用条件，项目不考虑泄漏，项目泄漏（LK_t）视为 0。

6.7 项目减排量核算

项目开始后第 t 年的项目减排量按照公式（3）核算。

此类项目减排量存在非持久性风险[1]。项目减排量因非持久性风险可能导致的损失，为简化计算，全部采用相同扣减率（K_{RISK}）缺省值计算。

$$CDR_t = (\Delta C_{\mathrm{PROJ},t} - \Delta C_{\mathrm{BSL},t} - LK_t) \times (1 - K_{\mathrm{RISK}}) \quad (3)$$

式中：

CDR_t —— 第 t 年时，项目减排量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）；

1. 非持久性风险是指项目减排量签发后，可能发生火灾、有害生物危害、极端天气灾害、毁林、建设项目使用林地等自然灾害或人为干扰，导致清除的温室气体重新释放到大气中。

$\Delta C_{\mathrm{PROJ},t}$ —— 第 t 年时，项目清除量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$），计算方法见式（2）；

$\Delta C_{\mathrm{BSL},t}$ —— 第 t 年时，基准线清除量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$），计算方法见式（1）；

LK_t —— 第 t 年时，项目泄漏，视为 0；

K_{RISK} —— 项目非持久性风险扣减率,缺省值取值 6%；

t —— 自项目开始以来的年数，t=1, 2, 3……，无量纲。

7 监测方法

7.1 项目设计阶段需确定的参数和数据

项目设计阶段需确定的参数和数据的技术内容和确定方法见表 3—表 7。

表 3 $CNF_{k,m}$的技术内容和确定方法

数据/参数名称	$CNF_{k,m}$
应用的公式编号	公式（A-1）等
参数描述	基准线情景项目所在区域乔木树种 k 按龄组（年龄）m 的单位面积年均净固碳量
参数单位	$tCO_2e \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$
数据来源	项目业主须按如下优先顺序选择数据源： a）省级行业主管部门颁布的相关技术文件； b）地方标准； c）行业或国家标准； d）本文件推荐的缺省值； e）项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据或文献数据。须经过不少于 5 名具有高级职称的同行专家评议。
数值	附表 A.1、附表 A.2
数据用途	用于计算基准线情景乔木林各生长阶段的生物质碳储量年变化量

表 4　$CNF_{DES_k,m}$的技术内容和确定方法

数据/参数名称	$CNF_{DES_k,m}$
应用的公式编号	公式（C-1）
参数描述	项目设计阶段，项目所在区域乔木树种 k 按龄组（年龄）m 的平均单位面积年均净固碳量
参数单位	$tCO_2e \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$
数据来源	项目业主须按如下优先顺序选择数据源： a）省级行业主管部门颁布的相关技术文件； b）地方标准； c）行业或国家标准； d）本文件推荐的缺省值； e）项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据或文献数据。须经过不少于 5 名具有高级职称的同行专家评议。
数值	附表 C.1、附表 C.2
数据用途	用于项目设计阶段预估乔木林各生长阶段的生物质碳储量年变化量

表 5　$M_{k,m}(V)$的技术内容和确定方法

数据/参数名称	$M_{k,m}(V)$
应用的公式编号	公式（B-2）等
参数描述	乔木树种 k 按龄组（年龄）m 的单位面积碳储量
参数单位	$tC \cdot hm^{-2}$
数据来源	项目业主须按如下优先顺序选择数据源： a）省级行业主管部门颁布的相关技术文件； b）地方标准； c）行业或国家标准； d）本文件推荐的缺省值； e）项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据或文献数据。须经过不少于 5 名具有高级职称的同行专家评议。
数值	附表 B.1
数据用途	用于将乔木林单位面积蓄积量转换为单位面积碳储量

表 6　CF_k的技术内容和确定方法

数据/参数名称	CF_k
应用的公式编号	公式（B-4）等
参数描述	乔木树种 k 含碳率
参数单位	$tC\cdot(t\ d.m.)^{-1}$
数据来源	项目业主须按如下优先顺序选择数据源： a）省级行业主管部门颁布的相关技术文件； b）地方标准； c）行业或国家标准； d）本文件推荐的缺省值； e）项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据或文献数据。须经过不少于 5 名具有高级职称的同行专家评议。
数值	附表 B.2
数据用途	用于将乔木生物量转换成碳储量

表 7　$R_{\mathrm{HWP}.m}$的技术内容和确定方法

数据/参数名称	$R_{\mathrm{HWP}.m}$
应用的公式编号	公式（B-5）等
参数描述	第 m 类木质产品生产并使用 30 年后，产品中剩余的碳储量占采伐消耗生物质碳储量的比例
参数单位	%
数据来源	项目业主须按如下优先顺序选择数据源： a）省级行业主管部门颁布的相关技术文件； b）地方标准； c）行业或国家标准； d）本文件推荐的缺省值； e）项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的调查统计数据或文献数据。须经过不少于 5 名具有高级职称的同行专家评议。
数值	基于全国木质产品相关统计与调查数据，综合考虑采伐出材率或利用率、产品类型及占比、加工废料比、产品寿命等多重因素，计算获得全国平均值。 附表 B.3
数据用途	用于计算项目情景下，木质产品碳储量变化

7.2 项目实施阶段需监测和确定的参数和数据

项目实施阶段需确定的参数和数据的技术内容和确定方法见表 8—表 12。

表 8　$A_{i,k,t}$的技术内容和确定方法

数据/参数名称	$A_{i,k,t}$
应用的公式编号	公式（B-2）（B-4）
数据描述	第 t 年时，项目情景项目边界内第 i 碳层乔木树种 k 的面积
数据单位	hm^2
数据来源	项目边界内经营活动落地上图数据库、遥感监测、野外测定。在项目设计阶段估算基准线情景和项目情景清除量时，以项目设计文件及审定确认的项目碳层的乔木林面积为准
监测点要求	所有野外监测样地
监测仪表要求	皮尺、罗盘仪、RTK、BDS、测亩仪等
监测程序与方法要求	采用 GB/T 26424 和 GB/T 38590 使用的标准操作程序（SOP）
监测频次与记录要求	自首次核查后，一般每 5 年至少监测一次。精确到小数点后一位
质量保证/质量控制程序要求	采用 GB/T 26424 和 GB/T 38590 使用的质量保证和质量控制（QA/QC）程序
数据用途	用于计算项目清除量

表 9　$A_{i,p,t}$，DBH，N_{tree}的技术内容和确定方法

数据/参数名称	$A_{i,p,t}$、DBH、N_{tree}
应用的公式编号	/
数据描述	第 t 年时，项目情景第 i 碳层乔木林样地的面积，以及样地（样方）内乔木胸径、乔木株数
数据单位	m^2，cm，株
数据来源	野外测定
监测点要求	监测样地中所有达到检尺要求的林木
监测仪表要求	围尺、皮尺、罗盘仪、花杆；RTK、BDS 等定位和导航设备
监测程序与方法要求	采用 GB/T 26424 和 GB/T 38590 使用的标准操作程序（SOP）
监测频次与记录要求	自首次核查后，一般每 5 年至少监测一次。精确到小数点后一位
质量保证/质量控制程序要求	采用 GB/T 26424 和 GB/T 38590 使用的质量保证和质量控制（QA/QC）程序
数据用途	用于计算项目乔木林生物质碳储量（D1.6）

表 10　VI_k的技术内容和确定方法

数据/参数名称	VI_k
应用的公式编号	公式（D-11）等
数据描述	项目情景乔木树种 k 的植被指数
数据单位	无量纲
数据来源	基于项目边界内所有小班多源遥感数据提取
监测点要求	野外监测样地
监测仪表要求	无人机、有人机、高分辨率遥感卫星
监测程序与方法要求	采用 GB/T 30115 使用的标准操作程序（SOP）
监测频次与记录要求	自首次核查后，一般每 5 年至少监测一次。精确到小数点后一位
质量保证/质量控制程序要求	采用 GB/T 30115 等使用的质量保证与质量控制（QA/QC）程序。
数据用途	用于计算项目乔木林生物质碳储量多源遥感监测

表 11　xi的技术内容和确定方法

数据/参数名称	xi
应用的公式编号	公式（D-8）等
数据描述	第 t 年时，基于激光点云数据的项目情景乔木树种 k 的平均树高、植被覆盖度、平均冠层体积等特征变量
数据单位	m(平均树高)、%(植被覆盖度)、m^3/ha(平均冠层体积)
数据来源	激光点云数据提取
监测点要求	所有野外监测样地
监测仪表要求	无人机或有人机、机载激光雷达、RTK、BDS 等定位和导航设备
监测程序与方法要求	采用 CH/T 8024 使用的标准操作程序（SOP）
监测频次与记录要求	与样地监测频次同时进行。自首次核查后，一般每 5 年至少监测一次。无人机激光雷达点云密度不少于 100 个/平方米
质量保证/质量控制程序要求	采用 CH/T 8024 使用的标准操作程序（SOP）
数据用途	用于计算项目乔木林生物质碳储量机载激光雷达监测

表 12　$HST_G_{i,k,t}$的技术内容和确定方法

数据/参数名称	$HST_G_{i,k,t}$
应用的公式编号	公式（B-5）等
数据描述	第 t 年时，项目情景第 i 碳层乔木树种 k 的蓄积采伐比例
数据单位	%
数据来源	项目采伐设计文件、经营档案、监测样地每木检尺测定及核查确认的项目碳层乔木蓄积采伐比例。在项目设计阶段估算项目情景清除量时，以项目采伐设计文件及审定确认的项目碳层乔木蓄积采伐比例为准。
监测点要求	野外监测样地
监测仪表要求	围尺、皮尺、罗盘仪、花杆；RTK、BDS 等定位和导航设备
监测程序与方法要求	采用 GB/T 26424 和 GB/T 38590 使用的标准操作程序（SOP）
监测频次与记录要求	自首次核查后，一般每 5 年至少监测一次。精确到小数点后一位
质量保证/质量控制程序要求	采用 GB/T 26424 和 GB/T 38590 使用的质量保证和质量控制（QA/QC）程序
数据用途	用于计算项目情景木质产品碳储量年变化量

7.3 项目实施及监测的数据管理要求

7.3.1 一般要求

7.3.1.1　项目业主应依据数据监测程序与方法要求，制定详细的监测计划，明确监测工作程序、职责分工、技术方法、时间节点、进度安排、质量管理、主要成果等。应建立可信而透明的内部管理制度和质量保障体系，严格监测质量管理，建立质量管控机制，执行前期准备、外业调查、内业统计、计算分析和成果数据的全过程质量检查。

7.3.1.2　项目业主应指定专职人员负责项目边界、经营活动、林木生长、非持久性风险发生等数据的监测、收集、记录和交叉核对。建立项目档案管理制度，强化监测数据保存和管理。

7.3.2 项目边界监测要求

7.3.2.1 在项目设计阶段，项目业主须明确计划开展乔木林经营的项目地块边界，并提供所有项目地块边界的矢量数据文件。在项目实施阶段，项目业主须测量项目实际开展经营活动的地块边界。若在申请登记时有地块已完成经营作业的，项目业主可根据经营作业地块边界、验收面积，确认项目边界。

7.3.2.2　在项目计入期内，项目业主应对项目实施范围进行确认，将实际开展经营作业的小班落地上图，明确各小班边界，形成所有经营作业小班边界及经营措施的矢量数据文件，并在项目减排量核算报告中予以说明。

7.3.2.3　如果实际边界位于项目设计文件描述的项目边界之外，项目边界以项目设计文件为准。如果实际边界位于项目设计文件描述的项目边界范围内，项目边界以实际边界为准，并更新项目边界矢量数据文件。

7.3.3 项目实施情况监测要求

在项目实施阶段，项目业主应记录项目边界内发生的经营活动以及与温室气体排放有关活动的实施情况，保存相关经营活动照片、影像资料和项目活动记录档案，并判断与项目设计文件和监测方案的一致性。主要内容包括：

a） 经营活动：经营措施、林木采伐量、补植（更新）苗木株数及保存等情况。

b） 森林干扰：森林火灾、有害生物危害、极端天气灾害、林木采伐量、毁林、建设项目使用林地等自然灾害或人为干扰发生情况（包括发生时间、地点、面积、边界等）。

c） 管护活动：巡护、有害生物防治、森林火灾预防措施等。

7.3.4 项目碳层划分要求

项目计入期内，如果出现以下情况之一，项目业主可在每次监测前对上一次划分的碳层进行调整：

a） 项目实际经营作业与项目设计文件不一致，影响了项目碳层内的均一性；

b） 因自然灾害或人为干扰导致项目碳层内的异质性增加；

c） 因土地利用类型变化等造成碳层边界发生变化；

d） 对生物质碳储量均一性发生明显变化的碳层，细化为两个或多个碳层。对碳储量变化相似的两个或多个碳层，可合并为一个碳层。

7.3.5 抽样设计要求

本文件要求对项目生物质碳储量进行抽样监测，监测应达到90%可靠性水平下90%的精度要求。项目业主须按照附录D的步骤，计算获得抽样监测所需的样地数量及在各碳层中的分布。

7.3.6 样地设置要求

项目生物质碳储量可采用固定样地连续监测。项目业主须按照附录D步骤，采用随机起点、系统布点的方法设置样地，明确所有样地的地理坐标。在项目实施阶段，如果项目碳层发生了变化，或为了满足监测精度要求而增加样地数量，须在后续监测中报告和说明样地调整信息。

7.3.7 监测频率与时间要求

项目业主应在项目设计阶段确定项目监测频率。首次监测时间应不早于项目登记时间，一般每5年至少监测一次。

7.3.8 项目碳储量监测与计算要求

7.3.8.1　固定样地监测。项目业主应运用抽样设计理论，按90%可靠性水平下90%的精度要求，采用随机起点、系统布点的方法，按碳层布设固定样地，开展活立木、采伐木调查，计算单位面积生物质碳储量。按各碳层面积，计算项目生物质碳储量。固定样地监测程序与方法参照附录D.1执行。

7.3.8.2　激光雷达监测。项目业主可利用机载激光雷达技术，结合布设一定数量的建模样地，建立单位面积蓄积量估测模型。应用单位面积碳储量-蓄积量关系模型，按各碳层面积，计算生物质碳储量，统计项目生物质碳储量。机载激光雷达监测程序与方法参照附录D.2执行。

7.3.8.3　多源遥感协同监测。项目业主可利用天空地协同监测技术，结合布设一定数量的建模样地，建立乔木林单位面积生物量遥感估测模型。按各碳层面积和含碳率，计算项目生物质碳储量。多源遥感监测程序与方法参照附录D.3执行。

7.3.9 数据精度控制与校正要求

乔木林生物质碳储量监测结果应达到90%可靠性水平下90%的精度要求。如果未达到精度要求，项目业主可通过增加样地数量或优化遥感估测模型的方法进行补测，或者选择扣减一定比例清除量的方式，按照式（4）进行校正。

$$\Delta C_{\text{Bio_PROJ_}D,t} = \Delta C_{\text{Bio_PROJ},t} \times (1 - DR) \qquad (4)$$

式中：

$\Delta C_{\text{Bio_PROJ_}D,t}$ —— 第 t 年，校正后的项目生物质碳储量年变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）；

$\Delta C_{\text{Bio_PROJ},t}$ —— 第 t 年，项目边界内生物质碳储量年变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）；

DR —— 扣减率，单位为百分比（%），详见表13所示。

表13　乔木林生物质碳储量变化量的扣减率

固定样地监测不确定性	机载激光雷达或多源遥感协同监测均方根误差（RMSE）值	扣减率（DR）
低于10%（含）	低于15%（含）	0%
高于10%但低于20%（含）	低于20%但高于15%（含）	6%
高于20%但低于30%（含）	低于30%但高于20%（含）	11%

高于 30%	高于 30%	需增加监测样地或优化遥感估测模型，确保监测数据达到精度要求

7.3.10 数据管理与归档要求

7.3.10.1 项目业主应建立数据管理台账，将项目森林经营方案（如有）、作业设计或工程批复文件、经营活动记录、检查验收等档案资料分类归档立卷。应建立监测数据库，管理项目边界、碳层划分、调查监测、减排量计算等专题数据。管理台账应明确数据来源、获取时间、填报人员等信息。

7.3.10.2 项目设计和实施阶段产出的所有数据、信息，应保存至最后一次项目减排量核查签发后 10 年，确保相关数据可追溯、可核查。

8 项目审定与核查要点

8.1 项目审定要点

8.1.1 项目适用条件

审定机构应基于项目设计文件，重点从以下三个方面对项目适用条件进行审定，并将不符合适用条件的项目小班移出项目边界。

a） 核实项目对象是否为符合森林定义的乔木林。可结合遥感判读、现场核实等方法，根据项目业主提供的相应年度林草资源图、公益林区划落界、作业设计等数据，核实项目小班是否为经济林。

b） 核实项目采取的经营措施。核实项目是否具有相关行业主管部门批复的森林经营方案、作业设计或工程批复文件。结合现场核实、施工合同、监理报告、验收报告、工作台账、采伐证明及相关影像资料等核实经营措施。项目边界内有间伐或补植措施，作业小班有间伐、定株、补植、人工促进天然更新中的一种或者多种经营措施。修枝、割灌除草、浇水、施肥等可作为辅助措施，不得作为单独经营措施。

c） 核实项目单个地块面积不小于 400m^2。

d） 核实项目林木权属和减排量权属。项目减排量所有权原则上应与林木所有权保持一致。可依据项目业主提供的合法有效的闭环证明链，按本文件附录 E 的要求核实项目林木所有权与减排权属。

e） 核实项目符合法律、法规要求。可查阅《中华人民共和国森林法》《中华人民共和国森林法实施条例》《中华人民共和国土地管理法》《中华人民共和国生态环境法典》等法律法规及乔木林经营相关的法规和政策，是否符合生态保护修复和绿色低碳产业支持政策的相关规定和要求。

8.1.2 项目开始时间

a） 核实项目开始时间的真实性。可依据项目业主提供的行业主管部门下发的开工通知文件、项目业主与施工方签署的施工合同、具有相关资质的监理机构出具的项目监理报告、行业主管部门出具的项目检查验收（竣工验收）报告等一项或多项证明材料，结合项目开始前后的遥感影像、现场施工影像资料、现场走访等辅助方式，核实项目开工日期符合项目开始时间的要求。

b） 核实项目寿命期的有效性。依据项目业主提供的林木权属文件或减排权属相关证明材料，核实其在项目申请登记时有效。

8.1.3 项目边界

项目审定时，审定机构须从每个项目碳层中随机选取至少 1 个地块，且总数不少于 5 个地块，利用精度不低于 5m 的定位系统（如 BDS），测定所选地块的重要拐点坐标，与项目业主提供的项目边界矢量数据文件进行对比，核实拐点坐标误差不超过±5m。如果存在不一致，项目业主应调整项目边界，并按照 7.3.4 要求调整碳层划分。

8.1.4 项目监测

审定机构须核实项目业主是否按照 7.3 要求制定了监测计划，是否符合本文件要求。重点开展以下工作：

a） 确认监测方案是否包含监测实施的组织形式和职责分工，监测方法、程序和频次，数据记录与收集程序，以及抽样方案等；

b） 确认项目碳层划分、抽样设计、样地设计是否满足方法学要求。

8.1.5 项目减排量估算

审定机构须核实基准线清除量计算、项目清除量和减排量预估过程是否符合本文件的要求，计算结果是否符合保守性原则。

8.2 项目核查要点

8.2.1 项目适用条件

核查机构须确认 8.1.1 审定内容是否发生变化，并确认项目满足本文件的适用条件。

8.2.2 项目计入期

核查机构查看项目业主提供的权属文件或相关证明材料，核实其有效期能覆盖项目减排量产生的时间区间。

8.2.3 项目边界

a） 核查机构应根据最新年度的林草资源图、公益林区划落界等数据，核实项目边界内小班土地利用类型是否发生变化。对发生建设项目使用林地、自然灾害、病虫害的小班，需从项目边界内调出。

b） 核查机构应根据项目实施情况核查结果，核对实际作业小班边界与计划实施的小班边界是否一致，是否出现偏移，并确认对不一致小班或出现偏移的小班，是否按照 7.3.4 要求调整碳层划分。

8.2.4 样地监测

8.2.4.1 核查机构须采用现场核查的方法进行项目监测核查。现场核查须在监测完成后 3 个月内完成，时间间隔应不跨越一个生长季。

8.2.4.2 对于采取固定样地监测的项目，核查机构须从项目每个碳层中随机抽取至少 1 个样地进行现场核查，且核查的总样地数不少于 10 个。对于采取激光雷达监测的项目，核查机构须从项目每个碳层中随机抽取至少 1 个建模样地进行现场核查，且核查的总样地数不少于 10 个。对于采取多源遥感协同监测的项目，核查机构须从校核样地中随机抽取部分样地进行现场核查，且核查的总样地数不少于 5 个。

8.2.4.3 核查机构须核实样地内经营措施的一致性，重点核查测定样地位置、面积，乔木每木检尺的株数、胸径。各指标的平均允许误差如下：

a） 样地设置应与项目减排量核算报告描述一致。其中，样地中心点纵横坐标定位误差不超过 2m，样地面积误差不超过 5%。

b） 乔木每木检尺株数允许误差不超过 5%，且应检尺株数允许误差最多不超过 3 株。平均胸径测量允许误差不超过 5%。

c） 单项指标核查结果超出平均允许误差范围，项目业主须开展补充调查，核查机构重新核查。

8.2.5 项目减排量核算

核查机构须核实每个监测期内项目减排量核算方法的一致性，监测数据达到精度要求，计算过程、所选参数符合本文件的要求，计算结果准确且采取了保守性做法。

8.3 参数的审定与核查要点及方法

参数的审定与核查要点及方法见表 14。

表 14　参数的审定与核查要点及方法

序号	内容	审定要点及方法	核查要点及方法
1	$A_{i,k,t}$	a）确认项目边界的准确性：通过查阅项目设计文件等，确认项目边界的实际位置；与项目业主提供的项目边界矢量数据文件进行对比，核实拐点坐标误差不超过±5m。 b）按照项目业主的碳层划分，依据矢量文件确定各个项目碳层的面积。	a）确认项目边界的准确性： ——通过查阅项目设计文件等，确认项目边界的实际位置； ——须从每个项目碳层中随机选取至少 1 个地块，且总数不少于 5 个地块，利用精度不低于 5m 的定位系统（如 BDS），测定所选地块的重要拐点坐标，与项目业主提供的项目边界矢量数据文件进行对比，核实拐点坐标误差不超过±5m。 b）确认项目碳层调整（若涉及）的合理性： ——查阅项目监测记录，确认项目碳层调整是否符合 7.3.4 的要求。 ——确认项目碳层调整后，项目减排量计算是否符合 7.3.9 的要求。
2	$HST_G_{i,k,t}$	检查项目设计文件中参数选取的来源和准确性，并评估其适用性：所选参数是否来源于省级行业主管部门颁布的相关技术文件、地方标准、行业标准或国家标准、本文件推荐的缺省值，是否适用于项目区。	查阅项目减排量核算报告中的参数取值是否与经审定的项目设计文件一致。
3	$CNF_{k,m}$		
4	$M_{k,m}(V)$		
5	CF_k		
6	$R_{\mathrm{HWP},m}$		
7	$A_{i,p,t}$		
8	DBH	项目审定阶段不包括该参数。	按照 8.2 的步骤和要求，进行现场测定核查。对于采取固定样地监测的项目，核查机构须从项目每个碳层中随机抽取至少 1 个样地进行现场核查，且核查的总样地数不少于 10 个。对于采取激光雷达监测的项目，核查机构须从项目每个碳层中随机抽取至少 1 个建模样地进行现场核查，且核查的总样地数不少于 10 个。对于采取多源遥感协同监测的项目，核查机构须从校核样地中随机抽取部分样地进行现场核查，且核查的总样地数不少于 5 个。
9	VI_k		
10	x_i		
11	N_{tree}		

附录 A

（规范性附录）

基准线情景清除量计算

A.1 生物质碳储量年变化量计算

采用乔木林单位面积年均净固碳量法，以各碳层面积为参数，计算乔木林生物质碳储量年变化量。

$$\Delta C_{\text{Bio_BSL},i,k,t} = A_{i,k,t} \times CNF_{k,m} \quad \text{（A-1）}$$

式中：

$\Delta C_{\text{Bio_BSL},i,k,t}$ —— 第 t 年时，基准线情景项目边界内第 i 碳层乔木树种 k 生物质碳储量年变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）；

$A_{i,k,t}$ —— 第 t 年时，基准线情景项目边界内第 i 碳层乔木树种 k 的面积，单位为公顷（hm^2）；

$CNF_{k,m}$ —— 第 t 年时，基准线情景项目所在区域乔木树种 k 按龄组 m 的单位面积年均净固碳量，见表 A.1、A.2，单位为吨二氧化碳当量每公顷每年（$tCO_2e \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$）；

t —— 自项目开始以来的年数，t=1, 2, 3……，无量纲。

表 A.1 分气候地理区天然乔木林各龄组基准线情景单位面积年均净固碳量（源于多期全国森林资源清查结果）

序号	气候地理区	优势树种（组）	起源	各龄组单位面积年均净固碳量（$tCO_2e \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$）				
				幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
1	寒温带区	落叶松林	天然	3.86	3.76	1.63	0.84	0
2	寒温带区	其他针叶林	天然	3.51	4.02	2.57	1.04	0.39
3	寒温带区	白桦林	天然	4.26	4.17	2.55	1.70	1.16
4	寒温带区	栎树林	天然	4.36	3.63	2.59	1.53	0.40
5	寒温带区	其他阔叶林	天然	3.88	3.89	2.34	1.68	0.73
6	寒温带区	混交林	天然	4.35	3.83	2.26	1.54	0.11
7	中温带区	落叶松林	天然	4.75	4.37	2.79	1.51	0.13
8	中温带区	栎树林	天然	5.39	4.82	3.09	1.95	1.36
9	中温带区	白桦林	天然	5.16	5.61	2.78	1.32	0.54
10	中温带区	其他针叶林	天然	5.11	5.15	3.01	0.96	0.34
11	中温带区	榆树林	天然	2.35	3.79	2.68	1.53	1.16
12	中温带区	其他阔叶林	天然	4.70	4.50	3.05	1.55	0.77
13	中温带区	针叶混交林	天然	4.77	4.96	2.05	1.18	0.26
14	中温带区	阔叶混交林	天然	5.14	5.86	3.65	2.51	1.33
15	中温带区	针阔混交林	天然	5.28	4.69	3.72	1.71	0.64
16	暖温带区	油松林	天然	4.39	4.86	4.06	3.26	1.60
17	暖温带区	栎树林	天然	5.50	6.42	4.27	2.04	0.86
18	暖温带区	柏木林	天然	3.78	4.37	2.41	0.90	0
19	暖温带区	桦木林	天然	5.91	6.07	2.92	1.25	0.63
20	暖温带区	其他针叶林	天然	5.06	5.22	3.36	1.68	0

序号	气候地理区	优势树种（组）	起源	各龄组单位面积年均净固碳量（$tCO_2e \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$）				
				幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
21	暖温带区	其他阔叶林	天然	5.38	5.48	3.28	2.14	0.96
22	暖温带区	针叶混交林	天然	4.97	5.63	3.54	2.07	0
23	暖温带区	阔叶混交林	天然	3.62	4.74	1.82	0.84	0.34
24	暖温带区	针阔混交林	天然	2.46	3.50	1.58	0.57	0.37
25	北亚热带区	冷杉林	天然	3.23	2.60	1.06	1.13	0
26	北亚热带区	油松林	天然	4.87	5.79	4.06	2.46	0.83
27	北亚热带区	华山松林	天然	5.81	6.91	3.24	2.49	0
28	北亚热带区	马尾松林	天然	6.93	7.54	5.45	2.31	0.38
29	北亚热带区	杉木林	天然	6.16	7.28	4.76	3.43	1.38
30	北亚热带区	柏木林	天然	4.15	5.46	3.76	1.85	0.10
31	北亚热带区	栎树林	天然	5.54	6.49	4.75	2.96	1.08
32	北亚热带区	桦木林	天然	6.20	7.33	4.79	2.12	0
33	北亚热带区	其他针叶林	天然	4.80	6.23	4.64	1.37	0.03
34	北亚热带区	其他阔叶林	天然	5.43	6.04	4.09	2.06	1.00
35	北亚热带区	针叶混交林	天然	5.16	6.10	4.22	2.41	0.49
36	北亚热带区	阔叶混交林	天然	3.05	5.15	2.50	1.11	0.12
37	北亚热带区	针阔混交林	天然	4.34	4.87	3.21	1.43	0
38	中亚热带区	冷杉林	天然	3.97	1.91	1.32	0.16	0
39	中亚热带区	云杉林	天然	3.84	4.19	1.98	0.99	0
40	中亚热带区	马尾松林	天然	7.14	7.62	5.65	2.77	1.26
41	中亚热带区	云南松林	天然	5.49	6.49	4.42	2.12	0.90
42	中亚热带区	高山松林	天然	6.03	6.74	5.64	2.01	0

序号	气候地理区	优势树种（组）	起源	各龄组单位面积年均净固碳量（$tCO_2e \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$）				
				幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
43	中亚热带区	杉木林	天然	6.24	8.07	5.16	2.84	0.39
44	中亚热带区	柏木林	天然	5.09	6.27	3.83	2.85	1.28
45	中亚热带区	栎树林	天然	6.18	6.69	5.02	2.43	1.00
46	中亚热带区	桦木林	天然	5.37	6.54	3.19	1.59	0
47	中亚热带区	木荷林	天然	5.76	7.25	3.54	1.38	0.81
48	中亚热带区	其他针叶林	天然	5.11	6.48	4.96	2.56	0
49	中亚热带区	其他阔叶林	天然	5.72	6.68	4.71	2.64	0.99
50	中亚热带区	针叶混交林	天然	5.23	6.50	4.16	1.72	0.62
51	中亚热带区	阔叶混交林	天然	4.87	6.39	3.81	1.96	1.00
52	中亚热带区	针阔混交林	天然	4.54	5.96	3.05	0.94	0.49
53	南亚热带区	马尾松林	天然	7.52	8.44	5.85	3.16	0.30
54	南亚热带区	云南松林	天然	6.07	7.44	4.48	2.18	0.97
55	南亚热带区	思茅松林	天然	8.22	9.56	5.63	2.94	0
56	南亚热带区	栎树林	天然	7.25	7.70	5.12	2.44	0
57	南亚热带区	木荷林	天然	6.41	7.95	4.93	3.39	1.81
58	南亚热带区	其他针叶林	天然	5.66	7.14	5.26	2.94	0.47
59	南亚热带区	其他阔叶林	天然	6.10	7.28	5.10	2.92	0.62
60	南亚热带区	针叶混交林	天然	5.54	7.66	5.18	2.59	1.23
61	南亚热带区	阔叶混交林	天然	5.77	7.26	4.83	1.92	0
62	南亚热带区	针阔混交林	天然	5.94	7.07	4.14	2.73	1.26
63	热带区	栎树林	天然	6.03	8.26	4.32	2.56	0.69
64	热带区	其他阔叶林	天然	6.33	7.65	3.87	2.03	1.07

序号	气候地理区	优势树种（组）	起源	各龄组单位面积年均净固碳量（$tCO_2e \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$）				
				幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
65	热带区	混交林	天然	7.10	8.03	4.36	2.60	1.09
66	半干旱区	云冷杉林	天然	3.68	3.85	2.06	1.12	0.08
67	半干旱区	落叶松林	天然	4.87	5.19	3.72	2.20	0.58
68	半干旱区	樟子松林	天然	4.22	4.81	2.66	1.55	0.97
69	半干旱区	油松林	天然	3.87	5.10	3.71	2.27	0.57
70	半干旱区	高山松林	天然	4.02	4.70	3.23	1.60	0.75
71	半干旱区	其他针叶林	天然	3.42	4.79	3.16	1.50	0.62
72	半干旱区	栎树林	天然	3.88	4.75	3.84	2.75	1.11
73	半干旱区	白桦林	天然	3.87	4.98	2.75	1.12	0.24
74	半干旱区	榆树林	天然	1.69	1.90	1.65	1.46	0.51
75	半干旱区	其他阔叶林	天然	3.46	4.23	2.92	1.64	0.27
76	半干旱区	针叶混交林	天然	3.46	4.98	1.90	0.22	0
77	半干旱区	阔叶混交林	天然	4.04	4.67	2.70	1.75	0.76
78	半干旱区	针阔混交林	天然	3.99	4.56	2.26	1.05	0
79	干旱区	云杉林	天然	3.17	3.42	2.77	2.20	0.37
80	干旱区	落叶松林	天然	4.09	4.86	2.74	1.62	0
81	干旱区	其他针叶纯林	天然	2.32	3.36	1.24	0.67	0
82	干旱区	阔叶纯林	天然	2.50	3.00	2.36	1.56	0.72
83	干旱区	混交林	天然	2.35	3.07	1.63	0.87	0.52
84	极干旱区	阔叶林	天然	1.50	3.59	1.70	1.23	0.74
85	青藏高寒区	冷杉林	天然	3.05	3.95	2.18	1.27	0
86	青藏高寒区	云杉林	天然	3.32	4.33	1.97	1.25	0.49

序号	气候地理区	优势树种（组）	起源	各龄组单位面积年均净固碳量（$tCO_2e \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$）				
				幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
87	青藏高寒区	柏木林	天然	2.51	3.42	2.58	1.51	0.38
88	青藏高寒区	桦木林	天然	3.12	3.86	2.01	0.83	0.14
89	青藏高寒区	其他针叶林	天然	2.93	3.77	2.33	0.81	0.10
90	青藏高寒区	针阔混交林	天然	2.38	3.43	2.44	1.47	0.46

表 A.2 分气候地理区人工乔木林各龄组基准线情景单位面积年均净固碳量（源于多期全国森林资源清查结果）

序号	气候地理区	优势树种（组）	起源	各龄组单位面积年均净固碳量（$tCO_2e \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$）				
				幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
1	寒温带区	落叶松林	人工	4.06	4.42	3.25	0.81	0.14
2	中温带区	落叶松林	人工	5.83	6.04	3.71	1.93	0.99
3	中温带区	红松林	人工	5.13	5.58	4.53	2.66	0.71
4	中温带区	樟子松林	人工	5.56	5.76	4.16	3.21	1.36
5	中温带区	刺槐林	人工	6.54	7.18	5.22	3.23	1.12
6	中温带区	杨树林	人工	8.12	8.78	4.98	2.89	0.66
7	中温带区	其他针叶林	人工	5.52	6.32	4.85	2.55	1.34
8	中温带区	其他阔叶林	人工	6.87	6.46	5.14	3.19	1.14
9	中温带区	针叶混交林	人工	5.57	6.15	3.43	1.89	0.84
10	中温带区	阔叶混交林	人工	5.15	6.69	5.23	3.75	2.22
11	中温带区	针阔混交林	人工	5.53	6.66	3.78	2.50	1.17
12	暖温带区	落叶松林	人工	6.48	7.00	4.48	2.11	0.85
13	暖温带区	油松林	人工	4.34	5.57	4.89	2.31	0.93

序号	气候地理区	优势树种（组）	起源	各龄组单位面积年均净固碳量（$tCO_2e \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$）				
				幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
14	暖温带区	柏木林	人工	3.22	4.77	4.13	2.34	1.04
15	暖温带区	栎树林	人工	4.94	6.46	4.04	1.51	0.62
16	暖温带区	刺槐林	人工	4.68	5.44	3.62	2.55	1.16
17	暖温带区	杨树林	人工	9.17	9.54	6.31	4.16	1.24
18	暖温带区	其他针叶林	人工	6.37	6.45	4.78	2.36	0.16
19	暖温带区	其他阔叶林	人工	6.34	6.44	5.67	3.61	1.45
20	暖温带区	针叶混交林	人工	5.85	4.42	2.94	2.34	0.63
21	暖温带区	阔叶混交林	人工	6.13	6.79	3.95	1.93	0.91
22	暖温带区	针阔混交林	人工	5.59	6.80	3.70	2.08	0.35
23	北亚热带区	油松林	人工	5.21	6.19	4.18	2.10	1.00
24	北亚热带区	华山松林	人工	6.00	7.54	5.58	3.57	1.46
25	北亚热带区	马尾松林	人工	7.22	7.80	5.83	3.80	1.69
26	北亚热带区	湿地松林	人工	7.73	8.10	5.97	3.79	1.51
27	北亚热带区	杉木林	人工	6.78	7.77	5.38	2.92	0.28
28	北亚热带区	水杉林	人工	6.68	7.60	4.92	2.17	0.67
29	北亚热带区	柏木林	人工	3.57	5.36	3.97	2.55	1.06
30	北亚热带区	栎树林	人工	5.59	6.99	4.91	2.77	0.50
31	北亚热带区	樟木林	人工	6.86	6.17	5.46	3.31	1.03
32	北亚热带区	杨树林	人工	10.15	10.25	7.25	4.19	1.29
33	北亚热带区	其他针叶林	人工	6.43	7.00	5.19	3.35	1.41
34	北亚热带区	其他阔叶林	人工	6.02	6.89	4.45	2.97	1.43
35	北亚热带区	针叶混交林	人工	6.30	5.37	3.64	1.84	0.90

序号	气候地理区	优势树种（组）	起源	各龄组单位面积年均净固碳量（$tCO_2e \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$）				
				幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
36	北亚热带区	阔叶混交林	人工	6.57	6.78	3.77	1.75	0.68
37	北亚热带区	针阔混交林	人工	5.99	6.55	3.30	1.74	0.06
38	中亚热带区	华山松林	人工	6.85	7.76	5.29	2.88	0.28
39	中亚热带区	马尾松林	人工	7.26	8.09	6.09	4.04	1.90
40	中亚热带区	云南松林	人工	6.34	6.16	4.89	3.21	1.43
41	中亚热带区	湿地松林	人工	7.96	8.35	6.20	3.98	1.68
42	中亚热带区	杉木林	人工	6.96	8.26	5.26	3.15	0.93
43	中亚热带区	柳杉林	人工	7.80	9.04	5.84	2.52	0.73
44	中亚热带区	柏木林	人工	5.05	6.18	4.17	1.43	0.45
45	中亚热带区	樟木林	人工	6.76	7.57	5.00	2.35	0.93
46	中亚热带区	桉树林	人工	10.67	11.14	8.76	3.67	1.89
47	中亚热带区	其他针叶林	人工	6.73	7.25	5.89	3.61	1.19
48	中亚热带区	其他阔叶林	人工	6.80	7.25	4.71	2.79	0.76
49	中亚热带区	针叶混交林	人工	6.63	7.31	5.09	3.23	0.86
50	中亚热带区	阔叶混交林	人工	6.56	6.96	4.65	2.26	1.00
51	中亚热带区	针阔混交林	人工	6.40	7.33	4.44	1.88	0.52
52	南亚热带区	马尾松林	人工	7.87	9.45	6.89	4.26	1.09
53	南亚热带区	湿地松林	人工	9.21	9.83	6.90	4.59	1.36
54	南亚热带区	杉木林	人工	7.36	9.48	6.24	4.79	0.63
55	南亚热带区	桉树林	人工	11.71	12.15	8.72	5.36	1.85
56	南亚热带区	其他针叶林	人工	7.63	8.57	6.15	3.67	1.03
57	南亚热带区	其他阔叶林	人工	8.24	8.67	6.73	4.37	1.36

序号	气候地理区	优势树种（组）	起源	各龄组单位面积年均净固碳量（$tCO_2e \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$）				
				幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
58	南亚热带区	针叶混交林	人工	7.63	8.41	5.60	4.35	1.43
59	南亚热带区	阔叶混交林	人工	6.39	8.05	5.65	3.19	1.21
60	南亚热带区	针阔混交林	人工	7.37	8.40	4.75	2.82	1.06
61	热带区	湿地松林	人工	9.39	10.41	6.82	2.99	0.46
62	热带区	杉木林	人工	8.24	9.25	5.93	4.76	1.21
63	热带区	桉树林	人工	12.25	12.45	8.53	4.46	1.24
64	热带区	相思林	人工	9.84	9.98	6.05	2.63	0.85
65	热带区	其他针叶林	人工	8.53	10.17	6.02	3.39	0.61
66	热带区	其他阔叶林	人工	8.12	8.80	6.72	4.61	1.30
67	热带区	阔叶混交林	人工	6.82	9.54	5.02	2.89	0.62
68	热带区	针阔混交林	人工	8.87	9.30	5.09	2.75	1.15
69	半干旱区	落叶松林	人工	5.98	6.19	4.42	2.61	0.69
70	半干旱区	樟子松林	人工	4.61	4.99	3.43	1.84	0.15
71	半干旱区	油松林	人工	3.08	5.45	4.10	2.79	1.43
72	半干旱区	榆树林	人工	3.47	5.04	2.62	1.79	0.92
73	半干旱区	刺槐林	人工	3.23	4.78	2.67	1.94	1.18
74	半干旱区	杨树林	人工	7.46	8.44	5.06	2.49	1.14
75	半干旱区	柳树林	人工	5.94	7.62	4.60	3.24	0.78
76	半干旱区	其他针叶林	人工	3.29	4.62	1.94	1.23	0.50
77	半干旱区	其他阔叶林	人工	3.55	4.93	2.15	1.43	0.67
78	半干旱区	阔叶混交林	人工	4.02	5.94	3.04	1.53	0.74
79	半干旱区	针阔混交林	人工	2.25	3.09	1.74	1.21	0.67

序号	气候地理区	优势树种（组）	起源	各龄组单位面积年均净固碳量（$tCO_2e \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$）				
				幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
80	干旱区	榆树林	人工	3.07	4.66	2.95	1.16	0.20
81	干旱区	其他阔叶林	人工	3.07	4.66	2.13	1.16	0.13
82	青藏高寒区	云杉林	人工	0.94	4.40	3.63	2.86	2.06
83	青藏高寒区	柳树林	人工	1.91	5.29	3.99	2.66	1.28
84	青藏高寒区	杨树林	人工	3.09	5.81	3.28	1.72	0.90
85	青藏高寒区	其他阔叶林	人工	2.26	5.06	3.18	1.23	0.18

注：气候地理区划分标准按照 GB/T 15776 执行。

表 A.3 龄组划分

要求根据乔木林平均年龄划分龄组，划分标准及代码见表 A.3。

表 A.3 龄组划分标准及代码表

主要优势树种	地区	起源	龄组划分/年					龄级划分
			幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林	
			1	2	3	4	5	
红松、云杉、柏木、紫杉、铁杉	北方 北方 南方 南方	天然 人工 天然 人工	60 以下 40 以下 40 以下 20 以下	61~100 41~60 41~60 21~40	101~120 61~80 61~80 41~60	121~160 81~120 81~120 61~80	161 以上 121 以上 121 以上 81 以上	20 10 20 10
落叶松、冷杉、樟子松、赤松、黑松	北方 北方 南方 南方	天然 人工 天然 人工	40 以下 20 以下 40 以下 20 以下	41~80 21~30 41~60 21~30	81~100 31~40 61~80 31~40	101~140 41~60 81~120 41~60	141 以上 61 以上 121 以上 61 以上	20 10 20 10
油松、马尾松、云南松、思茅松、华山松、高山松	北方 北方 南方 南方	天然 人工 天然 人工	30 以下 20 以下 20 以下 10 以下	31~50 21~30 21~30 11~20	51~60 31~40 31~40 21~30	61~80 41~60 41~60 31~50	81 以上 61 以上 61 以上 51 以上	10 10 10 10
杨、柳、桉、檫、泡桐、木麻黄、楝、枫杨、相思、软阔	北方 南方	人工 人工	10 以下 5 以下	11~15 6~10	16~20 11~15	21~30 16~25	31 以上 26 以上	5 5
桦、榆、木荷、枫香、珙桐	北方 北方 南方 南方	天然 人工 天然 人工	30 以下 20 以下 20 以下 10 以下	31~50 21~30 21~40 11~20	51~60 31~40 41~50 21~30	61~80 41~60 51~70 31~50	81 以上 61 以上 71 以上 51 以上	10 10 10 10

栎、柞、槠、栲、樟、楠、椴、水、胡、黄、硬阔	南北 南北	天然 人工	40 以下 20 以下	41~60 21~40	61~80 41~50	81~120 51~70	121 以上 71 以上	20 10
杉木、柳杉、水杉	南方	人工	10 以下	11~20	21~25	26~35	36 以上	5
以上标准主要适用于一般用材林，短轮伐期和速生丰产用材林、防护林、特用林的龄组划分标准按照 LY/T 2908 执行。								

附录 B

（规范性附录）

项目情景清除量计算

B.1 生物质碳储量年变化量计算

B.1.1 生物质碳储量年变化量计算方法

以监测间隔期内相应碳层的生物质碳储量年均变化量，计算第 t 年时项目情景下项目边界内各碳层生物质碳储量年变化量。

$$\Delta C_{\text{Bio_PROJ},i,k,t} = \frac{(C_{\text{Bio_PROJ},i,k,t_2} - C_{\text{Bio_PROJ},i,k,t_1}) \times \frac{44}{12}}{t_2 - t_1} \quad \text{（B-1）}$$

式中：

$\Delta C_{\text{Bio_PROJ},i,k,t}$ —— 第 t_1 至 t_2 年间，项目情景项目边界内碳层 i 乔木树种 k 的生物质碳储量年变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）；

$C_{\text{Bio_PROJ},i,k,t_1}$ —— 第 t_1 年时，项目情景项目边界内碳层 i 乔木树种 k 的生物质碳储量，单位为吨碳（t C）；

$C_{\text{Bio_PROJ},i,k,t_2}$ —— 第 t_2 年时，项目情景项目边界内碳层 i 乔木树种 k 的生物质碳储量，单位为吨碳（t C）；

t —— 自项目开始以来的年数，t=1, 2, 3……，无量纲；

$t_2 - t_1$ —— 项目监测间隔期，开始于时间 t_1，结束于时间 t_2，单位为年（a），其中，$t_1 \leqslant t \leqslant t_2$；

i —— 项目碳层，i=1, 2, 3……，无量纲；

k —— 乔木树种；

$44/12$ —— 二氧化碳与碳的相对分子质量之比，无量纲。

B.1.2 乔木林生物质碳储量计算

方法 1 乔木林单位面积碳储量-蓄积关系模型法

利用主要树种（组）单位面积碳储量与蓄积量[2]的关系模型，计算乔木林生物质碳储量。

$$C_{\text{Bio_PROJ},i,k,t} = M_{k,m}(V) \times A_{i,k,t} \quad \text{（B-2）}$$

$$M_{k,m}(V) = aV_{hm,i,k,t}^{b} \quad \text{（B-3）}$$

式中：

$C_{\text{Bio_PROJ},i,k,t}$ —— 第 t 年时，项目情景项目边界内第 i 碳层乔木树种 k 的生物质碳储量，单位为吨碳（t C）；

$M_{k,m}(V)$ —— 第 t 年时，乔木树种 k 按龄组 m 的单位面积碳储量，见表 B.1，单位为吨碳每公顷（$tC \cdot hm^{-2}$）；

$A_{i,k,t}$ —— 第 t 年时，项目情景项目边界内第 i 碳层乔木树种 k 的面积，单位为公顷（hm^2）；

$V_{hm,i,k,t}$ —— 第 t 年时，项目情景项目边界内第 i 碳层乔木树种 k 的单位面积蓄积量，单位为立方米每公顷（$m^3 \cdot hm^{-2}$）；

a,b —— 参数，无量纲；

t —— 自项目开始以来的年数，t=1, 2, 3……，无量纲。

实施阶段，第 t 年的树种（组）k 的单位面积蓄积量，可采用固定样地监测或机载激光雷达监测结果进行计算。计算方法分别按照附录 D.1、D.2 执行。

方法 2 乔木林单位面积生物量模型法

实施阶段，采用基于多源遥感的单位面积生物量模型法，计算乔木林生物质碳储量。

$$C_{\text{ABio_PR0J},i,k,t} = A_{i,k,t} \times Bio_for_k \times CF_k \quad \text{（B-4）}$$

式中：

[2] 采用立木材积表（一元立木材积表或二元立木材积表）计算材积，统计样地内各类活立木蓄积量之和。立木材积表可以按如下优先顺序选择：a）地方标准、行业标准或国家标准中适用于项目区的立木材积表； b）地方行业主管部门颁布的相关技术文件；c）项目区当地、相邻地区或相似生态条件下的文献数据，须经过不少于 5 名具有高级职称的同行专家评议。

$C_{\mathrm{ABio_PR0J},i,k,t}$ —— 第 t 年时，项目情景项目边界内第 i 碳层乔木树种 k 的生物质碳储量，单位为吨碳（t C）；

$A_{i,k,t}$ —— 第 t 年时，项目情景项目边界内第 i 碳层乔木树种 k 的面积，单位为公顷（hm^2）；

Bio_for_k —— 第 t 年时，基于多源遥感的乔木树种 k 单位面积生物量模型，见附录 D.3，单位为吨干物质每公顷（t d.m.·hm^{-2}）；

CF_k —— 乔木树种 k 含碳率见表 B.2，单位为吨碳每吨干物质（tC（t d.m.）$^{-1}$）；

t —— 自项目开始以来的年数，t=1, 2, 3……，无量纲。

B. 2 木质产品碳储量年变化量计算

针对经营作业产生木质产品的碳层，第 t 年时木质产品碳储量年变化量，以木质产品生产并使用 30 年后剩余部分的碳储量进行计算。

$$\Delta C_{\mathrm{HWP_PROJ},i,k,t} = C_{\mathrm{Bio_PROJ},i,k,t} \times HST_G_{i,k,t} \times R_{\mathrm{HWP}.m} \times \frac{44}{12} \qquad \text{（B-5）}$$

式中：

$\Delta C_{\mathrm{HWP_PROJ},i,k,t}$ —— 第 t 年时，项目情景项目边界内第 i 碳层乔木树种木质产品碳储量的年变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）；

$C_{\mathrm{Bio_PROJ},i,k,t}$ —— 第 t 年时，项目情景项目边界内碳层 i 乔木树种 k 的生物质碳储量，单位为吨碳（t C）；

$HST_G_{i,k,t}$ —— 第 t 年时，第 i 碳层乔木树种 k 的乔木蓄积采伐比例，单位为百分比（%）；

$R_{\mathrm{HWP}.m}$ —— 第 m 类木质产品生产并使用 30 年后，产品中剩余的碳储量占采伐消耗生物质碳储量的比例，见表 B.3，单位为百分比（%）；

$44/12$ —— 二氧化碳与碳的相对分子质量之比，无量纲；

t —— 自项目开始以来的年数，t=1, 2, 3……，无量纲。

表 B.1 乔木林单位面积碳储量-蓄积量关系模型（$M(V)=aV^{b}$）

（全国林草碳汇计量监测体系建设成果）

优势树种	起源	a	b				
			幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
黑松	天然林	0.74663	0.93530	0.93789	0.93954	0.93883	0.94616
黑松	人工林	0.75226	0.93234	0.93414	0.93364	0.93576	0.94471
马尾松	天然林	0.46414	0.94360	0.94559	0.94748	0.94755	0.95493
马尾松	人工林	0.48346	0.93604	0.93819	0.93903	0.93969	0.94452
高山松	天然林	0.61042	0.93635	0.93540	0.93655	0.93562	0.93728
高山松	人工林	0.65243	0.92538	0.92840	0.92725	0.93288	0.92948
国外松	天然林	0.64146	0.93278	0.93658	0.93958	0.93992	0.95012
国外松	人工林	0.64146	0.94222	0.94296	0.94366	0.94518	0.94890
湿地松	天然林	0.53532	0.95399	0.95413	0.95582	0.95481	0.96416
湿地松	人工林	0.53459	0.93715	0.93776	0.93807	0.93808	0.94304
黄山松	天然林	0.56260	0.95285	0.95360	0.95630	0.95150	0.95945
黄山松	人工林	0.59175	0.92670	0.92745	0.92660	0.92620	0.92960
其他松类	天然林	0.82525	0.94310	0.94370	0.94460	0.94610	0.94827
其他松类	人工林	0.78751	0.94376	0.94351	0.94435	0.94641	0.95421
杉木	天然林	0.42954	0.94516	0.94773	0.94963	0.94961	0.95670
杉木	人工林	0.42951	0.94211	0.94245	0.94321	0.94510	0.94759
水杉	天然林	0.45238	0.93198	0.92912	0.93024	0.93184	0.94078
水杉	人工林	0.45238	0.93432	0.93192	0.92922	0.93414	0.94094
柏木	天然林	0.71016	0.93089	0.93339	0.93295	0.93566	0.93940
柏木	人工林	0.70200	0.93245	0.93500	0.93493	0.93887	0.94430
栎类	天然林	0.75663	0.93728	0.94028	0.94023	0.94152	0.94432

优势树种	起源	a	b				
			幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
栎类	人工林	0.75679	0.93913	0.94138	0.94141	0.94387	0.94982
樟木	天然林	0.66209	0.93929	0.93821	0.93888	0.94003	0.95108
樟木	人工林	0.67561	0.93243	0.93160	0.92985	0.93186	0.93575
榆树	天然林	0.65209	0.92976	0.93216	0.93102	0.93382	0.93567
榆树	人工林	0.61032	0.93744	0.93967	0.93948	0.94260	0.95024
刺槐	天然林	0.59694	0.92949	0.93495	0.93418	0.93607	0.93833
刺槐	人工林	0.59886	0.93604	0.93884	0.93770	0.94028	0.94986
枫香	天然林	0.60858	0.94534	0.94589	0.94723	0.94660	0.95412
枫香	人工林	0.62276	0.93419	0.93325	0.93217	0.93305	0.93708
其他硬阔类	天然林	0.77930	0.93796	0.93996	0.93945	0.94114	0.94404
其他硬阔类	人工林	0.72815	0.94053	0.94222	0.94190	0.94479	0.95029
檫木	天然林	0.79220	0.94187	0.94293	0.94447	0.94477	0.95313
檫木	人工林	0.79220	0.92670	0.92693	0.92373	0.92717	0.93030
杨树	天然林	0.54615	0.93053	0.93282	0.93223	0.93488	0.93808
杨树	人工林	0.49257	0.93778	0.93976	0.93940	0.94306	0.94879
泡桐	天然林	0.63283	0.93906	0.94204	0.94313	0.94382	0.95163
泡桐	人工林	0.63283	0.93916	0.94121	0.94004	0.94135	0.94751
其他软阔类	天然林	0.62987	0.93796	0.93996	0.93945	0.94114	0.94404
其他软阔类	人工林	0.60515	0.94053	0.94222	0.94190	0.94479	0.95029
针叶混交林	天然林	0.52868	0.93443	0.93634	0.93768	0.93845	0.94230
针叶混交林	人工林	0.53242	0.93516	0.93742	0.93810	0.94069	0.94520
阔叶混交林	天然林	0.68468	0.93536	0.93715	0.93650	0.93836	0.94087
阔叶混交林	人工林	0.62545	0.94084	0.94205	0.94198	0.94504	0.95059

优势树种	起源	a	b				
			幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
针阔混交林	天然林	0.59442	0.93507	0.93670	0.93746	0.93823	0.94030
针阔混交林	人工林	0.57979	0.94083	0.94182	0.94192	0.94499	0.95036
落叶松	天然林	0.49069	0.92397	0.92804	0.92972	0.93034	0.92874
落叶松	人工林	0.47142	0.93808	0.94147	0.94197	0.94594	0.95169
油松	天然林	0.62435	0.92740	0.93238	0.93117	0.93430	0.93373
油松	人工林	0.59476	0.93441	0.93801	0.93861	0.94185	0.95074
桦木	天然林	0.61971	0.92611	0.92948	0.93081	0.93198	0.93295
桦木	人工林	0.60964	0.93925	0.94217	0.94244	0.94571	0.95003
白桦	天然林	0.63608	0.91645	0.92195	0.92389	0.92538	0.92098
白桦	人工林	0.63608	0.93592	0.94050	0.94172	0.94449	0.95371
胡桃楸	天然林	0.84216	0.93022	0.93576	0.93758	0.93788	0.93968
胡桃楸	人工林	0.77662	0.94526	0.94632	0.94544	0.94770	0.95632
椴树	天然林	0.63303	0.92023	0.92702	0.92961	0.93017	0.92417
椴树	人工林	0.63303	0.93552	0.93938	0.93933	0.94200	0.95291
柳树	天然林	0.64356	0.92741	0.93106	0.92931	0.93336	0.93392
柳树	人工林	0.62285	0.94107	0.94302	0.94276	0.94655	0.95431
华山松	天然林	0.64286	0.92112	0.92470	0.92731	0.92767	0.92590
华山松	人工林	0.60609	0.92915	0.93360	0.93385	0.93805	0.94238
火炬松	天然林	0.56033	0.96030	0.96153	0.96173	0.96243	0.96137
火炬松	人工林	0.56033	0.93237	0.93170	0.93293	0.93243	0.93697
柳杉	天然林	0.47008	0.93800	0.93905	0.94025	0.94023	0.94849
柳杉	人工林	0.45551	0.93226	0.93263	0.93180	0.93593	0.93300
楠木	天然林	0.66732	0.94580	0.94600	0.94520	0.94458	0.94538

优势树种	起源	a	b				
			幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
楠木	人工林	0.66024	0.95070	0.94994	0.94788	0.95456	0.95002
木荷	天然林	0.60466	0.95419	0.95424	0.95427	0.95430	0.95970
木荷	人工林	0.64026	0.93938	0.93834	0.93742	0.94069	0.93960
桉树	天然林	0.61461	0.94722	0.94877	0.94908	0.94945	0.95538
桉树	人工林	0.62231	0.94901	0.94704	0.94645	0.94956	0.94888
相思	天然林	0.46410	0.96113	0.96318	0.96335	0.96183	0.96233
相思	人工林	0.47503	0.96290	0.95995	0.96158	0.96203	0.96660
木麻黄	天然林	0.39687	0.95747	0.96000	0.95927	0.95813	0.95660
木麻黄	人工林	0.42037	0.96840	0.96673	0.97017	0.97047	0.97277
云南松	天然林	0.45912	0.93080	0.93175	0.93360	0.93393	0.94283
云南松	人工林	0.44847	0.93327	0.93408	0.93150	0.93800	0.93528
油杉	天然林	0.56593	0.92670	0.93033	0.93307	0.93433	0.94457
油杉	人工林	0.56593	0.94193	0.93777	0.93547	0.94737	0.93557
云杉	天然林	0.55435	0.91882	0.92190	0.92268	0.92320	0.91759
云杉	人工林	0.57449	0.94280	0.94561	0.94528	0.95053	0.95504
樟子松	天然林	0.45690	0.93452	0.93634	0.93710	0.93678	0.93586
樟子松	人工林	0.42544	0.95458	0.95334	0.95254	0.95626	0.96540
枫桦	天然林	0.60184	0.93452	0.93634	0.93710	0.93678	0.93586
枫桦	人工林	0.60184	0.95458	0.95334	0.95254	0.95626	0.96540
冷杉	天然林	0.49371	0.91558	0.91824	0.91920	0.92090	0.92235
冷杉	人工林	0.50312	0.93649	0.93987	0.94121	0.94641	0.94789
池杉	天然林	0.48165	0.93655	0.92555	0.92115	0.92705	0.93235
池杉	人工林	0.48165	0.93620	0.92770	0.92315	0.93030	0.93885

优势树种	起源	a	b				
			幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
红松	天然林	0.54300	0.92495	0.92645	0.92673	0.92620	0.92638
红松	人工林	0.49223	0.95198	0.95258	0.95148	0.95460	0.96278
赤松	天然林	0.70610	0.92483	0.92563	0.92433	0.92535	0.92695
赤松	人工林	0.66128	0.94223	0.94103	0.93908	0.94280	0.95495
水、胡、黄	天然林	0.91610	0.91507	0.91800	0.91893	0.91850	0.91747
水、胡、黄	人工林	0.81657	0.94260	0.94047	0.93860	0.94177	0.95480
水曲柳	天然林	0.92500	0.91507	0.91800	0.91893	0.91850	0.91747
水曲柳	人工林	0.76070	0.94260	0.94047	0.93860	0.94177	0.95480
铁杉	天然林	0.54427	0.92600	0.93060	0.93310	0.93663	0.93683
铁杉	人工林	0.54427	0.94453	0.94603	0.94720	0.95707	0.95020
其他杉类	天然林	0.88910	0.94030	0.91910	0.90720	0.92220	0.92700
其他杉类	人工林	0.88910	0.94030	0.91910	0.90720	0.92220	0.92700
楝树	天然林	0.60890	0.91650	0.91900	0.91920	0.92050	0.91920
楝树	人工林	0.60890	0.91940	0.91930	0.91340	0.92190	0.92250
思茅松	天然林	0.56260	0.93440	0.93540	0.93580	0.93660	0.93420
思茅松	人工林	0.64060	0.97540	0.96940	0.96820	0.99010	0.95870
黄波罗	天然林	0.71030	0.94270	0.94380	0.94430	0.94420	0.94330
黄波罗	人工林	0.71030	0.95530	0.94820	0.94850	0.94930	0.95930

表 B.2 主要乔木优势树种（组）含碳率表

优势树种（组）	含碳率 CF (t C (t d.m.)$^{-1}$)	优势树种（组）	含碳率 CF (t C (t d.m.)$^{-1}$)
云杉	0.49940	针叶混	0.51580
落叶松	0.51370	紫杉	0.51560
油松	0.51840	红松	0.51130
柏木	0.50880	赤松	0.51410
栎类	0.47980	黑松	0.51460
桦木	0.49140	水曲柳	0.48030
胡桃楸	0.48030	冷杉	0.50740
榆树	0.48030	水、胡、黄	0.48030
刺槐	0.47501	黄波罗	0.48030
其他硬阔类	0.48579	国外松	0.51560
椴树	0.43920	柳杉	0.53310
杨树	0.45020	水杉	0.50830
柳树	0.48030	池杉	0.51560
泡桐	0.46950	其他杉类	0.51010
其他软阔类	0.45593	樟木	0.49160
阔叶混	0.47510	枫香	0.48030
华山松	0.51770	黄山松	0.51750
其他松类	0.51812	楝树	0.48030
白桦	0.50550	马尾松	0.52710
樟子松	0.52230	湿地松	0.53110
枫桦	0.48030	杉木	0.51270
针阔混	0.49962	火炬松	0.53610

优势树种（组）	含碳率 CF (t C (t d.m.)$^{-1}$)
木荷	0.51150
铁杉	0.50220
油杉	0.51560
楠木	0.50020
檫木	0.48480
桉树	0.47480
木麻黄	0.48930

优势树种（组）	含碳率 CF (t C (t d.m.)$^{-1}$)
乔松	0.51090
高山松	0.50090
紫杉（红豆杉）	0.51560
相思	0.46660
云南松	0.52610
思茅松	0.52240

表 B.3 主要木质产品生产 30 年后剩余碳储量的占比

产品来源	**乔木**		
采伐径级（*DBH*）	＜12cm	12cm~35cm	＞35cm
$R_{\mathrm{HWP}.m}$	0.12	0.24	0.40

附录 C

（规范性附录）

项目设计阶段清除量预估

C.1 乔木林单位面积净固碳量估算

根据项目边界内第 t_0 年时的碳层优势树种（组）、龄组、每公顷株数、平均胸径及其胸径年均生长量，估计在项目情景下，通过合理的抚育间伐和补植等经营措施，将株数密度维持在合理密度范围内的林分，在第 t 年时的单位面积蓄积量。利用主要树种（组）单位面积碳储量与蓄积量的关系模型，计算乔木林在第 t 年时的生物质碳储量。

采用乔木林单位面积年均净固碳量法，以各碳层面积为参数，计算设计阶段乔木林生物质碳储量年变化量。

$$\Delta C_{\text{Bio_DES},i,k,t} = A_{i,k,t} \times CNF_{DES_k,m} \quad （C\text{-}1）$$

式中：

$\Delta C_{\text{Bio_DES},i,k,t}$ —— 第 t 年时，设计阶段项目边界内第 i 碳层乔木树种 k 生物质碳储量年变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（t $CO_2e \cdot a^{-1}$）；

$A_{i,k,t}$ —— 第 t 年时，设计阶段项目边界内第 i 碳层乔木树种 k 的面积，单位为公顷（hm^2）；

$CNF_{DES_k,m}$ —— 第 t 年时，设计阶段项目所在区域乔木树种 k 按龄组 m 的平均单位面积年均净固碳量，见表 C.1、C.2，单位为吨二氧化碳当量每公顷每年（$tCO_2e \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$）；

t —— 自项目开始以来的年数，t=1, 2, 3……，无量纲。

表 C.1 设计阶段各气候地理区域天然乔木林各龄组的单位面积年均净固碳量

序号	气候地理区	优势树种（组）	起源	各龄组单位面积年均净固碳量（$tCO_2e \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$）				
				幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
1	寒温带区	落叶松林	天然	4.35	4.23	1.80	0.89	-0.23
2	寒温带区	其他针叶林	天然	3.93	4.42	2.84	1.12	0.24
3	寒温带区	白桦林	天然	4.66	4.59	2.73	1.74	1.17
4	寒温带区	栎树林	天然	4.89	4.01	2.83	1.63	0.43
5	寒温带区	其他阔叶林	天然	4.40	4.30	2.55	1.77	0.75
6	寒温带区	混交林	天然	4.95	4.23	2.46	1.64	0.11
7	中温带区	落叶松林	天然	5.39	4.83	3.03	1.63	0.15
8	中温带区	栎树林	天然	6.15	5.35	3.34	2.12	1.41
9	中温带区	白桦林	天然	5.70	6.13	2.94	1.39	0.55
10	中温带区	其他针叶林	天然	5.81	5.71	3.31	1.02	0.36
11	中温带区	榆树林	天然	2.70	4.26	2.97	1.64	1.20
12	中温带区	其他阔叶林	天然	5.38	4.97	3.33	1.65	0.80
13	中温带区	针叶混交林	天然	5.39	5.51	2.26	1.26	0.28
14	中温带区	阔叶混交林	天然	5.83	6.48	4.04	2.65	1.41
15	中温带区	针阔混交林	天然	6.05	5.20	4.04	1.85	0.68
16	暖温带区	油松林	天然	5.04	5.48	4.43	3.49	1.64
17	暖温带区	栎树林	天然	6.33	7.23	4.70	2.17	0.92
18	暖温带区	柏木林	天然	4.29	4.93	2.65	0.98	-0.41
19	暖温带区	桦木林	天然	6.67	6.83	3.23	1.35	0.65
20	暖温带区	其他针叶林	天然	5.75	5.85	3.70	1.77	-0.21
21	暖温带区	其他阔叶林	天然	6.06	6.16	3.60	2.30	1.00

序号	气候地理区	优势树种（组）	起源	各龄组单位面积年均净固碳量（$tCO_2e \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$）				
				幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
22	暖温带区	针叶混交林	天然	5.63	6.30	3.92	2.21	-0.34
23	暖温带区	阔叶混交林	天然	4.10	5.28	2.04	0.91	0.37
24	暖温带区	针阔混交林	天然	2.83	3.96	1.73	0.62	0.39
25	北亚热带区	冷杉林	天然	3.71	2.95	1.17	1.20	-0.20
26	北亚热带区	油松林	天然	5.57	6.57	4.53	2.63	0.88
27	北亚热带区	华山松林	天然	6.62	7.73	3.56	2.66	-0.15
28	北亚热带区	马尾松林	天然	7.90	8.50	6.07	2.48	0.40
29	北亚热带区	杉木林	天然	7.13	8.16	5.29	3.69	1.42
30	北亚热带区	柏木林	天然	4.69	6.17	4.15	1.96	0.10
31	北亚热带区	栎树林	天然	6.40	7.26	5.20	3.19	1.14
32	北亚热带区	桦木林	天然	7.06	8.26	5.33	2.27	-0.60
33	北亚热带区	其他针叶林	天然	5.49	7.04	5.15	1.49	0.04
34	北亚热带区	其他阔叶林	天然	6.24	6.77	4.50	2.20	1.04
35	北亚热带区	针叶混交林	天然	5.93	6.78	4.66	2.59	0.51
36	北亚热带区	阔叶混交林	天然	3.46	5.81	2.77	1.21	0.13
37	北亚热带区	针阔混交林	天然	4.94	5.43	3.58	1.56	-0.18
38	中亚热带区	冷杉林	天然	4.57	2.17	1.47	0.18	-0.45
39	中亚热带区	云杉林	天然	4.37	4.77	2.22	1.07	-0.05
40	中亚热带区	马尾松林	天然	8.18	8.68	6.36	3.03	1.33
41	中亚热带区	云南松林	天然	6.32	7.25	4.87	2.32	0.96
42	中亚热带区	高山松林	天然	6.85	7.55	6.28	2.15	-0.50
43	中亚热带区	杉木林	天然	7.18	9.19	5.76	3.06	0.40

序号	气候地理区	优势树种（组）	起源	各龄组单位面积年均净固碳量（$tCO_2e \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$）				
				幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
44	中亚热带区	柏木林	天然	5.79	7.03	4.27	3.09	1.36
45	中亚热带区	栎树林	天然	7.14	7.57	5.52	2.62	1.03
46	中亚热带区	桦木林	天然	6.13	7.47	3.54	1.74	-0.78
47	中亚热带区	木荷林	天然	6.69	8.20	3.97	1.49	0.85
48	中亚热带区	其他针叶林	天然	5.89	7.27	5.46	2.78	-0.10
49	中亚热带区	其他阔叶林	天然	6.65	7.65	5.30	2.86	1.04
50	中亚热带区	针叶混交林	天然	6.07	7.33	4.68	1.88	0.66
51	中亚热带区	阔叶混交林	天然	5.56	7.20	4.26	2.13	1.06
52	中亚热带区	针阔混交林	天然	5.21	6.82	3.41	1.03	0.52
53	南亚热带区	马尾松林	天然	8.71	9.71	6.48	3.44	0.31
54	南亚热带区	云南松林	天然	7.04	8.48	5.02	2.37	1.01
55	南亚热带区	思茅松林	天然	9.56	10.92	6.36	3.24	-0.03
56	南亚热带区	栎树林	天然	8.37	8.82	5.75	2.67	-0.49
57	南亚热带区	木荷林	天然	7.49	9.00	5.50	3.66	1.92
58	南亚热带区	其他针叶林	天然	6.47	8.09	5.87	3.19	0.49
59	南亚热带区	其他阔叶林	天然	6.96	8.18	5.75	3.18	0.67
60	南亚热带区	针叶混交林	天然	6.40	8.75	5.74	2.82	1.29
61	南亚热带区	阔叶混交林	天然	6.60	8.25	5.39	2.08	-0.71
62	南亚热带区	针阔混交林	天然	6.92	8.02	4.60	2.99	1.33
63	热带区	栎树林	天然	6.99	9.32	4.80	2.83	0.75
64	热带区	其他阔叶林	天然	7.37	8.70	4.32	2.21	1.12
65	热带区	混交林	天然	8.24	9.21	4.90	2.83	1.16

序号	气候地理区	优势树种（组）	起源	各龄组单位面积年均净固碳量（$tCO_2e \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$）				
				幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
66	半干旱区	云冷杉林	天然	4.16	4.27	2.26	1.20	0.08
67	半干旱区	落叶松林	天然	5.45	5.77	4.01	2.31	0.59
68	半干旱区	樟子松林	天然	4.71	5.37	2.92	1.64	1.01
69	半干旱区	油松林	天然	4.35	5.64	4.00	2.40	0.58
70	半干旱区	高山松林	天然	4.54	5.21	3.48	1.69	0.77
71	半干旱区	其他针叶林	天然	3.84	5.35	3.45	1.59	0.64
72	半干旱区	栎树林	天然	4.39	5.20	4.19	2.96	1.17
73	半干旱区	白桦林	天然	4.34	5.54	3.00	1.19	0.27
74	半干旱区	榆树林	天然	1.90	2.12	1.81	1.53	0.53
75	半干旱区	其他阔叶林	天然	3.85	4.62	3.16	1.74	0.30
76	半干旱区	针叶混交林	天然	3.88	5.56	2.05	0.27	-0.39
77	半干旱区	阔叶混交林	天然	4.51	5.19	2.95	1.87	0.78
78	半干旱区	针阔混交林	天然	4.54	5.03	2.44	1.12	-0.20
79	干旱区	云杉林	天然	3.59	3.78	3.01	2.35	0.40
80	干旱区	落叶松林	天然	4.64	5.43	2.98	1.75	-0.55
81	干旱区	其他针叶纯林	天然	2.58	3.76	1.34	0.73	-0.37
82	干旱区	阔叶纯林	天然	2.84	3.30	2.54	1.67	0.74
83	干旱区	混交林	天然	2.63	3.44	1.79	0.93	0.54
84	极干旱区	阔叶林	天然	1.67	3.95	1.83	1.32	0.76
85	青藏高寒区	冷杉林	天然	3.46	4.41	2.37	1.35	-0.43
86	青藏高寒区	云杉林	天然	3.75	4.80	2.18	1.33	0.51
87	青藏高寒区	柏木林	天然	2.80	3.83	2.82	1.59	0.41

序号	气候地理区	优势树种（组）	起源	各龄组单位面积年均净固碳量（$tCO_2e \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$）				
				幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
88	青藏高寒区	桦木林	天然	3.55	4.25	2.23	0.90	0.15
89	青藏高寒区	其他针叶林	天然	3.28	4.23	2.54	0.85	0.11
90	青藏高寒区	针阔混交林	天然	2.73	3.86	2.69	1.56	0.48

表 C.2 设计阶段各气候地理区域人工乔木林各龄组的单位面积年均净固碳量

序号	气候地理区	优势树种（组）	起源	各龄组单位面积年均净固碳量（$tCO_2e \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$）				
				幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
1	寒温带区	落叶松林	人工	4.65	4.97	3.59	0.88	0.16
2	中温带区	落叶松林	人工	6.66	6.72	4.11	2.05	1.03
3	中温带区	红松林	人工	5.82	6.32	5.05	2.88	0.75
4	中温带区	樟子松林	人工	6.36	6.46	4.65	3.43	1.44
5	中温带区	刺槐林	人工	7.40	8.18	5.73	3.54	1.16
6	中温带区	杨树林	人工	9.39	9.79	5.51	3.14	0.70
7	中温带区	其他针叶林	人工	6.34	7.16	5.36	2.76	1.43
8	中温带区	其他阔叶林	人工	7.94	7.20	5.67	3.48	1.22
9	中温带区	针叶混交林	人工	6.37	6.94	3.79	2.03	0.90
10	中温带区	阔叶混交林	人工	5.88	7.56	5.74	4.10	2.36
11	中温带区	针阔混交林	人工	6.35	7.51	4.16	2.72	1.23
12	暖温带区	落叶松林	人工	7.38	8.00	5.03	2.31	0.93
13	暖温带区	油松林	人工	5.00	6.28	5.52	2.53	1.00
14	暖温带区	柏木林	人工	3.66	5.36	4.62	2.55	1.11

序号	气候地理区	优势树种（组）	起源	各龄组单位面积年均净固碳量（$tCO_2e \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$）				
				幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
15	暖温带区	栎类林	人工	5.69	7.27	4.55	1.66	0.66
16	暖温带区	刺槐林	人工	5.37	6.14	3.99	2.73	1.22
17	暖温带区	杨树林	人工	10.63	10.93	7.11	4.51	1.31
18	暖温带区	其他针叶林	人工	7.40	7.34	5.29	2.55	0.19
19	暖温带区	其他阔叶林	人工	7.36	7.31	6.27	3.94	1.55
20	暖温带区	针叶混交林	人工	6.69	4.95	3.28	2.53	0.66
21	暖温带区	阔叶混交林	人工	7.05	7.77	4.41	2.10	0.96
22	暖温带区	针阔混交林	人工	6.41	7.62	4.06	2.29	0.38
23	北亚热带区	油松林	人工	6.03	6.97	4.63	2.26	1.04
24	北亚热带区	华山松林	人工	6.93	8.52	6.22	3.94	1.52
25	北亚热带区	马尾松林	人工	8.33	8.91	6.49	4.15	1.79
26	北亚热带区	湿地松林	人工	9.02	9.12	6.74	4.12	1.59
27	北亚热带区	杉木林	人工	7.82	8.94	6.01	3.16	0.29
28	北亚热带区	水杉林	人工	7.66	8.54	5.44	2.33	0.70
29	北亚热带区	柏木林	人工	4.08	6.11	4.39	2.77	1.14
30	北亚热带区	栎类林	人工	6.46	7.98	5.43	3.01	0.53
31	北亚热带区	樟木林	人工	7.84	6.96	6.04	3.57	1.08
32	北亚热带区	杨树林	人工	11.70	11.55	8.07	4.56	1.36
33	北亚热带区	其他针叶林	人工	7.32	7.99	5.81	3.60	1.48
34	北亚热带区	其他阔叶林	人工	7.02	7.75	4.96	3.25	1.53
35	北亚热带区	针叶混交林	人工	7.20	6.05	4.04	2.01	0.96
36	北亚热带区	阔叶混交林	人工	7.55	7.69	4.26	1.88	0.73

序号	气候地理区	优势树种（组）	起源	各龄组单位面积年均净固碳量（$tCO_2e \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$）				
				幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
37	北亚热带区	针阔混交林	人工	6.93	7.51	3.70	1.90	0.08
38	中亚热带区	华山松林	人工	7.93	8.84	5.89	3.13	0.30
39	中亚热带区	马尾松林	人工	8.31	9.19	6.78	4.40	1.99
40	中亚热带区	云南松林	人工	7.40	7.03	5.51	3.53	1.51
41	中亚热带区	湿地松林	人工	9.12	9.53	6.96	4.39	1.77
42	中亚热带区	杉木林	人工	8.00	9.38	5.88	3.46	0.99
43	中亚热带区	柳杉林	人工	8.99	10.42	6.56	2.73	0.76
44	中亚热带区	柏木林	人工	5.80	6.99	4.64	1.57	0.48
45	中亚热带区	樟木林	人工	7.75	8.72	5.55	2.55	0.98
46	中亚热带区	桉树林	人工	12.53	12.61	9.81	4.07	2.02
47	中亚热带区	其他针叶林	人工	7.84	8.21	6.55	3.96	1.27
48	中亚热带区	其他阔叶林	人工	7.89	8.28	5.24	3.07	0.81
49	中亚热带区	针叶混交林	人工	7.65	8.31	5.71	3.52	0.90
50	中亚热带区	阔叶混交林	人工	7.63	7.91	5.23	2.44	1.05
51	中亚热带区	针阔混交林	人工	7.43	8.27	4.96	2.05	0.55
52	南亚热带区	马尾松林	人工	9.26	10.77	7.82	4.65	1.16
53	南亚热带区	湿地松林	人工	10.77	11.27	7.77	5.03	1.44
54	南亚热带区	杉木林	人工	8.67	10.95	7.12	5.22	0.68
55	南亚热带区	桉树林	人工	13.78	13.80	9.71	5.94	1.96
56	南亚热带区	其他针叶林	人工	8.94	9.74	6.99	4.01	1.12
57	南亚热带区	其他阔叶林	人工	9.51	9.99	7.61	4.81	1.42
58	南亚热带区	针叶混交林	人工	8.94	9.60	6.37	4.76	1.51

序号	气候地理区	优势树种（组）	起源	各龄组单位面积年均净固碳量（$tCO_2e \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$）				
				幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
59	南亚热带区	阔叶混交林	人工	7.43	9.16	6.41	3.51	1.28
60	南亚热带区	针阔混交林	人工	8.66	9.59	5.36	3.14	1.12
61	热带区	湿地松林	人工	10.87	12.09	7.73	3.28	0.47
62	热带区	杉木林	人工	9.72	10.68	6.72	5.30	1.29
63	热带区	桉树林	人工	14.23	14.27	9.59	4.97	1.32
64	热带区	相思林	人工	11.56	11.60	6.92	2.89	0.93
65	热带区	其他针叶林	人工	9.90	11.81	6.75	3.74	0.67
66	热带区	其他阔叶林	人工	9.40	10.06	7.65	5.12	1.39
67	热带区	阔叶混交林	人工	7.99	10.98	5.64	3.17	0.66
68	热带区	针阔混交林	人工	10.48	10.72	5.76	3.04	1.23
69	半干旱区	落叶松林	人工	6.72	6.91	4.87	2.81	0.73
70	半干旱区	樟子松林	人工	5.30	5.65	3.78	1.99	0.16
71	半干旱区	油松林	人工	3.52	6.04	4.51	2.99	1.51
72	半干旱区	榆树林	人工	3.96	5.69	2.90	1.92	0.94
73	半干旱区	刺槐林	人工	3.71	5.39	2.91	2.09	1.22
74	半干旱区	杨树林	人工	8.46	9.45	5.53	2.65	1.17
75	半干旱区	柳树林	人工	6.80	8.42	5.03	3.44	0.81
76	半干旱区	其他针叶林	人工	3.79	5.14	2.12	1.32	0.52
77	半干旱区	其他阔叶林	人工	4.01	5.51	2.35	1.52	0.69
78	半干旱区	阔叶混交林	人工	4.57	6.72	3.34	1.64	0.75
79	半干旱区	针阔混交林	人工	2.52	3.47	1.90	1.31	0.70
80	干旱区	榆树林	人工	3.23	4.85	3.19	1.25	0.21

序号	气候地理区	优势树种（组）	起源	各龄组单位面积年均净固碳量（$tCO_2e \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$）				
				幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
81	干旱区	其他阔叶林	人工	3.61	5.51	2.44	1.32	0.14
82	青藏高寒区	云杉林	人工	1.05	4.88	4.00	3.08	2.13
83	青藏高寒区	杨树林	人工	2.20	5.93	4.41	2.86	1.34
84	青藏高寒区	柳树林	人工	3.54	6.47	3.59	1.87	0.95
85	青藏高寒区	其他阔叶林	人工	2.55	5.65	3.52	1.31	0.21

附录 D

（规范性附录）

实施阶段项目情景监测方法

D.1 固定样地监测法

D.1.1 样地数量计算与分配

项目监测所需的样地数量以项目边界内所有小班为总体，以生物质碳储量为抽样精度控制，按 90%可靠性水平下 90%的精度要求，采用下式计算。

$$n = \left(\frac{t_{val}}{E}\right)^2 \times \left(\sum_i w_i \times s_i\right)^2 \quad \text{（D-1）}$$

式中：

n —— 项目边界内，监测样地总数量，无量纲；

t_{val} —— 可靠性指标，在 90%的可靠性水平下，自由度为无穷（∞）时查 *t* 分布双侧 *t* 分位数表的 *t* 值，取值为 1.645，无量纲；

w_i —— 项目第 *i* 碳层的面积权重，无量纲。$w_i = \frac{A_i}{A}$，其中 *A* 为项目边界内总面积，A_i 为第 *i* 碳层的面积，单位为公顷（hm^2）；

s_i —— 项目边界内第 *i* 碳层单位面积生物质碳储量标准差的估计值（可采用区域内已有森林资源调查结果经验值确定），单位为吨碳每公顷（$t\,C \cdot hm^{-2}$）；

E —— 生物质碳储量估计值允许的绝对误差限，以项目边界内单位面积生物质碳储量均值乘以允许误差（10%）计算，单位为吨碳每公顷（$t\,C \cdot hm^{-2}$）；

i —— 项目碳层，*i*=1, 2, 3……，无量纲。

采用内曼分配法，将监测样地数量分配到各碳层。

$$n_i = n \times \frac{w_i \times s_i}{\sum_i w_i \times s_i} \quad \text{（D-2）}$$

式中：

n_i —— 项目边界内，第 *i* 碳层所需的样地数量，无量纲；

n —— 项目边界内，监测样地总数量，无量纲；

w_i —— 项目第 i 碳层的面积权重，无量纲。$w_i = \frac{A_i}{A}$，其中 A 为项目边界内总面积，A_i 为第 i 碳层的面积，单位公顷（hm^2）；

s_i —— 项目边界内第 i 碳层单位面积生物质碳储量标准差的估计值，单位为吨碳每公顷（$t\,C \cdot hm^{-2}$）；

i —— 项目碳层，i=1, 2, 3……，无量纲。

各碳层分配的样地数量应不少于 3 个。对于少于 3 个样地的碳层，最少设置 3 个样地。

D.1.2 样地设计

监测样地形状一般采用方形，也可采用矩形样地。乔木林样地面积为 $400m^2$~$600m^2$。

D.1.3 样地布设

按以下步骤，采用随机起点、系统布点的方法布设样地。

（1）按监测样地形状和面积，采用地理信息工具，将每个碳层网格化，分别计算各碳层的总网格交叉点的数量（N_i）。从西北向东南按固定顺序编号。

（2）在 1~N_i之间产生一个随机数。该随机数代表的网格交叉点编号为该碳层的第 1 个监测样地。以N_i除以n_i的结果取整作为固定间隔。以第 1 个监测样地为起点，按固定间隔计算该碳层其他样地所在的网格交叉点编号，作为监测样地。边界按监测样地形状和面积，采用地理信息工具进行网格化。

（3）以监测样地所在网格交叉点为监测样地中心点。采用地理信息工具，采集样地中心点坐标（单位：m），取整。

平面坐标系统采用 CGCS2000 国家大地坐标系，高程系统采用 1985 国家高程基准，地图投影方式采用高斯-克吕格投影。

（4）首次布设时，采用 RTK 等定位工具定位样地中心点。定位误差应在±1m 以内。在样地中心点埋设标桩固定样地，便于后续监测时样地复位。样地复位率应达到 100%。

当样地落在人力不可及或难以开展实地调查的地块内时，可在首次监测时改设至临近原样地且立地条件和林木生长状况相近的网格交叉点。项目业主应提供相关资料证明样地位置调整的必要性和合理性。

（5）监测时，围绕样地中心点，沿正北、正东、正南、正西方向，采用闭合导线法测定样地周界，样地周界测量闭合差应小于 0.5%。样地面积误差不超过±5%。

在坡面上设置样地时，如果测量距离的皮尺或测绳倾斜角（坡度）达到 5°以上，必须进行坡度改正。斜坡上应量测的距离为$L' = L/cos\beta$，其中：L 为样地边长，β为倾斜角，L'为斜距。

D.1.4 样地调整

项目实施阶段，如果为了满足抽样精度要求新设样地，应调整相应碳层内的样地数量和布设。如果调整了碳层划分，对于新设碳层或合并碳层，按照 D.1.1—D.1.3 的步骤布设样地。

D.1.5 样地调查

对乔木林样地。采用每木调查方法开展调查。实测样地内所有林木（包括活立木、枯立木、枯倒木）的胸径，记载到 0.1cm。乔木起测胸径为 5cm。记载乔木林平均年龄。

胸径大于或等于 8cm 的应调查林木株数不允许有误差，小于 8cm 的应调查立木株数允许误差为 5%，最多不超过 3 株。

胸径大于或等于 20cm 的树木胸径测量误差小于 1.5%，测量误差在 1.5%~3.0%的株数不能超过总株数的 5%。胸径小于 20cm 的树木胸径测量误差小于 0.3cm，测量误差大于 0.3cm 小于 0.5cm 的株数不允许超过总株数的 5%。

D.1.6 乔木林单位面积蓄积量计算

对样地每木调查数据进行检查和内业处理。采用立木材积表（一元立木材积表或二元立木材积表）计算材积，统计样地内各类活立木蓄积量之和。按样地面积（$A_{i,p,t}$），计算各样地的单位面积蓄积量（$m^3 \cdot hm^{-2}$）。

分碳层和优势树种，计算乔木林平均单位面积蓄积量。采用式（B-3），计算乔木林单位面积生物质碳储量。

D.1.7 样地监测不确定性计算

（1）计算第 i 项目碳层样本平均数（平均单位面积生物质碳储量的估计值）及其方差：

$$C_{\text{Bio_PROJ},i,t} = \left(\sum_{p} C_{\text{Bio_PROJ},i,p,t}\right) \Big/ n_i \qquad \text{（D-3）}$$

$$S^2_{C_{\text{Bio_PROJ},i,t}} = \frac{n_i \times \sum_p c^2_{\text{Bio_PROJ},i,p,t} - \left(\sum_p c_{\text{Bio_PROJ},i,p,t}\right)^2}{n_i \times (n_i - 1)} \qquad \text{（D-4）}$$

式中：

$C_{\text{Bio_PROJ},i,t}$ —— 第 t 年时，项目情景第 i 碳层平均单位面积生物质碳储量，单位为吨碳每公顷（$t\,C \cdot hm^{-2}$）；

$C_{\text{Bio_PROJ},i,p,t}$ —— 第 t 年时，项目情景第 i 碳层样地 p 单位面积生物质碳储量，单位为吨碳每公顷（t C·hm^{-2}）；

n_i —— 项目第 i 碳层的监测样地数，无量纲；

$S^2_{C_{\text{Bio_PROJ},i,t}}$ —— 第 t 年时，项目情景第 i 碳层平均单位面积生物质碳储量的方差，单位为吨碳每公顷的平方（(t C·hm^{-2})^2）；

t —— 自项目开始以来的年数，t=1, 2, 3……，无量纲，

i —— 项目碳层，i=1, 2, 3……，无量纲。

（2）计算项目总体平均数估计值（平均单位面积生物质碳储量的估计值）及其方差：

$$C_{\text{Bio_PROJ},t} = \sum_{\text{i}} \left(w_i \times C_{\text{Bio_PROJ},i,t} \right) \quad \text{（D-5）}$$

$$S^2_{C_{\text{Bio_PROJ},t}} = \sum_{\text{i}} \left(w_i^2 \times \frac{S^2_{C_{\text{Bio_PROJ},i,t}}}{n_i} \right) \quad \text{（D-6）}$$

式中：

$C_{\text{Bio_PROJ},t}$ —— 第 t 年时，项目情景项目边界内平均单位面积生物质碳储量，单位为吨碳（t C）；

w_i —— 第 i 碳层的面积权重，无量纲，w_i=A_i/A，其中 A 是项目总面积，A_i 是第 i 碳层面积，单位为公顷（hm^2）；

$C_{\text{Bio_PROJ},i,t}$ —— 第 t 年时，项目情景第 i 碳层平均单位面积生物质碳储量，单位为吨碳（t C）；

$S^2_{C_{\text{Bio_PROJ},t}}$ —— 第 t 年时，项目情景项目平均单位面积生物质碳储量的方差，单位为吨碳每公顷的平方（(t C·hm^{-2})^2）；

$S^2_{C_{\text{Bio_PROJ},i,t}}$ —— 第 t 年时，项目情景第 i 碳层平均单位面积生物质碳储量的方差，单位为吨碳每公顷的平方（(t C·hm^{-2})^2）；

n_i —— 项目第 i 碳层的监测样地数，无量纲；

t —— 自项目开始以来的年数，t=1, 2, 3……，无量纲；

i —— 项目碳层，i=1, 2, 3……，无量纲。

（3）计算项目边界内平均单位面积生物质碳储量的不确定性：

$$u_{C_{\text{Bio_PROJ},t}} = \frac{t_{\text{VAL}} \times S_{C_{\text{Bio_PROJ},t}}}{C_{\text{Bio_PROJ},t}} \quad \text{（D-7）}$$

式中：

$u_{C_{\text{Bio_PROJ},t}}$ —— 第 t 年，项目情景项目边界内单位面积生物量碳储量的不确定性（相对误差限），单位为百分比（%）；

t_{VAL} —— 可靠性指标，在 90%的可靠性水平下，自由度为无穷（∞）时查 t 分布双侧 t 分位数表的 t 值，取值为 1.645，无量纲；

$S_{C_{\text{Bio_PROJ},t}}$ —— 第 t 年时，项目情景项目边界内平均单位面积生物质碳储量方差的平方根（标准误差），单位为吨碳每公顷（t C·hm^{-2}）；

$C_{\text{Bio_PROJ},t}$ —— 第 t 年时，项目情景项目边界内的平均单位面积生物质碳储量，单位为吨碳每公顷（t C·hm^{-2}）；

t —— 自项目开始以来的年数，t=1, 2, 3……，无量纲。

D.2 机载激光雷达监测法

D.2.1 激光雷达数据获取

建立由激光雷达系统、定位定姿系统构成的有人机/无人机激光雷达测量系统，采集激光点云数据。利用 LiDAR 专业软件工具进行激光点云数据处理、分类、模型制作和点云特征变量提取。激光雷达数据获取按以下流程进行：

（1）激光点云数据采集。应根据点云密度要求，确定相对飞行高度及飞行速度。将项目范围导入到航线设计软件，利用数字地面模型辅助航线设计。进行飞行作业，航线重叠率一般不低于15%。

有人机按航带设计，应覆盖所有碳层。激光点云密度应优于每平方米 10 个。

无人机航飞样地通常 100m×100m，也可按航带设计，应覆盖所有碳层。激光点云密度应优于每平方米 30 个~100 个。

点云数据采集作业应采用 GNSS 航迹导航，保持稳定的飞行姿态，以确保航线弯曲度、旋偏角、倾角等技术指标符合项目要求。每架次飞完后，应及时检查数据。对不符合要求的激光点云数据，必须补摄或重摄。

（2）激光点云数据预处理。开展原始数据下载、航迹解算、激光校验、点云滤噪和点云配准等预处理，去除噪点。

（3）激光点云数据分类。将激光点云分类为植被点、地面点、水系点、人造地物点等。应滤除噪声点（群），进行滤波处理。对高程突变区域点云、自动分类错误点云等，应结合同时相的高分辨率卫星影像，通过人工编辑方法重新进行分类。

植被点分类精度应不低于 95%。

（4）模型制作。生成数字高程模型（DEM）、数字表面模型（DSM）、冠层高度模型（CHM）等地面模型产品。应利用归一化工具进行归一化处理，展平点云，去除地形起伏对点云数据高程值的影响。

制作的地面模型产品分辨率应优于 1m。

（5）特征变量提取。通过计算样地内 CHM 均值，计算平均树高。通过计算样地内植被点占比，计算植被覆盖度。通过采用体素算法，构建树冠三维结构。通过计算点云在三维空间内的密度分布，计算样地植被平均冠层体积。

D.2.2 建模样地调查

首次开展机载激光雷达监测时，应布设一定数量的地面调查样地，用于模型研建。建模样地布设与调查按以下流程进行：

（1）建模样地数量。以项目边界内为总体，按主要树种（组）设计建模样地数据。每个树种的建模样地数量应不低于 30 个。样地设计参照 D.1.2 执行。

（2）建模样地布设。可采用典型抽样方法布设建模样地。建模样地应覆盖项目边界内该主要树种（组）的所有龄组和郁闭度等级（疏、中、密），应在航飞样地（航带）范围内。

（3）建模样地调查。对乔木林样地，调查郁闭度，实测所有活立木（起测胸径为 5cm）胸径，在主林层优势树种中选择平均木 3 株~5 株测定平均树高。

（4）建模样地的乔木林单位面积蓄积量计算，参照 D.1.6 执行。

D.2.3 模型研建

可采用混合效应模型法等方法，以建模样地实测的乔木林单位面积蓄积量为因变量，以与建模样地对应的基于激光点云数据提取的平均树（株）高、植被覆盖度、平均冠层体积等特征变量为自变量，考虑海拔的随机效应，构建估测模型。其基本形式如式（D-8）所示。

$$V_{hm,k} = f(x1_k^{b1}, x2_k^{b2}, \cdots\cdots, xi_k^{bi}, e^c) \qquad \text{（D-8）}$$

式中：

$V_{hm,k}$ —— 项目边界内，项目情景乔木树种 k 的单位面积蓄积量，单位为立方米每公顷（$m^3 \cdot hm^{-2}$）；

xi —— 项目边界内，基于激光点云数据提取的树种 k 的平均树（株）高、植被覆盖度、平均冠层体积等特征变量；

$b1, b2, bi, c$ —— 模型参数，无量纲；

e —— 自然对数。

D.2.4 模型精度检验与优化

模型精度检验按以下流程进行：

（1）以模型决定系数（R^2）为评价指标，采用交叉验证方法，使用建模样地数据对模型进行评价。

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \overline{y})^2} \quad \text{（D-9）}$$

式中：

R^2 —— 模型决定系数，无量纲；

y_i —— 第 i 样地的实测值，单位为立方米每公顷（$m^3 \cdot hm^{-2}$）或为吨每公顷（$t \cdot hm^{-2}$）；

$\hat{y}_i$ —— 第 i 样地的机载激光雷达估测值，单位为立方米每公顷（$m^3 \cdot hm^{-2}$）或为吨每公顷（$t \cdot hm^{-2}$）；

$\overline{y}$ —— 建模样地的平均实测值，单位为立方米每公顷（$m^3 \cdot hm^{-2}$）或为吨每公顷（$t \cdot hm^{-2}$）；

i —— 建模样地，无量纲。

可采用 10 折交叉检验法对模型进行精度检验。将建模样地随机或机械分成 10 等分，用其中 9 份建模，用另 1 份检验。

（2）模型优化。

如果决定系数高于 0.9，则满足精度要求。如果决定系数在 0.7~0.9 之间，可按式（D-10），构建机载激光雷达估测值与建模样地实测值之间的回归关系模型，实现无偏估测。如果决定系数低于 0.7，须相应调整激光雷达数据获取与模型研建方案，以达到精度要求。

$$\hat{y}_i = a \times y_i + b \quad \text{（D-10）}$$

式中：

y_i —— 第 i 样地的实测值，单位为立方米每公顷（$m^3 \cdot hm^{-2}$）或为吨每公顷（$t \cdot hm^{-2}$）；

$\widehat{y_i}$ —— 第 i 样地的机载激光雷达估测值，单位为立方米每公顷（$m^3 \cdot hm^{-2}$）或为吨每公顷（$t \cdot hm^{-2}$）；

a, b —— 模型参数，无量纲；

i —— 建模样地，无量纲。

D.2.5 乔木林单位面积蓄积量

利用式（D-8），基于激光点云数据，分碳层和主要树种（组）计算乔木林单位面积蓄积量。

D.3 多源遥感协同监测法

D.3.1 监测方法

利用高分辨率光学卫星影像，融合样地尺度观测数据、群落尺度激光点云数据得到的高精度监测数据，结合气象数据、环境要素等因子，应用随机森林模型等方法，构建单位面积生物量遥感估测模型。其基本形式如式（D-11）所示。

$$Bio_for_k = f_{rf}(VI_k, TEX_k, MET, EIR) \quad \text{(D-11)}$$

式中：

Bio_for_k —— 项目边界内，项目情景乔木树种 k 的单位面积生物量，单位为吨干物质每公顷（$t\ d.m. \cdot hm^{-2}$）；

VI_k —— 项目边界内，项目情景乔木树种 k 的植被指数，无量纲；

TEX_k —— 项目边界内，项目情景乔木树种 k 的纹理特征，无量纲；

MET —— 项目所在区域的气温、降水量等气象因子；

EIR —— 项目边界内的地形、土壤等环境因子。

D.3.2 数据获取

（1）光学卫星影像。卫星影像应项目边界内全覆盖。影像成像时间宜为当年 5 月~10 月，空间分辨率优于 2m。云、雾不能覆盖项目边界内经营活动小班。

（2）激光点云数据。采取有人机/无人机激光雷达测量系统，采集激光点云数据。激光点云数据覆盖项目边界内面积，应不少于项目边界内面积的 10%，且覆盖所有碳层和主要树种（组）。

（3）建模样地数据。以项目边界内为总体，按主要树种（组）设计建模样地数据。每个树种的建模样地数量应不低于 60 个。样地设计、布设和调查参照 D.2.2 执行。

D.3.3 模型精度检验与优化

多源遥感协同监测模型的精度检验与优化，参照 D.2.4 执行。

D.3.4 乔木林单位面积生物量计算

利用式（D-11），基于高分辨率光学卫星影像、激光点云数据等，分碳层和主要树种（组），计算乔木林单位面积生物量。

D.4 机载激光雷达监测和多源遥感协同监测结果校正

在项目边界内首次应用机载激光雷达技术或多源遥感协同监测技术开展监测时，须按 D.1 同步开展固定样地监测，以充分检验监测方法的适用性。建模样地应尽可能与固定样地重叠布设，以减少外业工作量。监测结果校正按以下步骤进行：

（1）若机载激光雷达或多源遥感协同监测与固定样地监测结果相比偏差小于 10%。基于保守性原则，在首次监测时选取较小值作为监测年的监测结果。在满足结果精度要求的前提下，后续可选用机载激光雷达方法或多源遥感协同监测方法进行监测，并采用首次监测时所建立的模型进行计算。

（2）若机载激光雷达或多源遥感协同监测与固定样地监测结果相比偏差较大。则须在固定样地范围内，增设一部分航飞样地（航带），开展补摄。按 D.2—D.3 的要求，进一步优化所建立的估测模型，并作为后续机载激光雷达或多源遥感协同监测方法的适用模型。

（3）在计算第 t 年时项目情景乔木林生物质碳储量变化量时，根据机载激光雷达或多源遥感协同监测模型精度检验结果，采用本文件 7.3.9 的方法进行项目减排量精度校正。

附录 E

（规范性附录）

项目林木权属与减排权属划分

E.1 土地与林木权属

E.1.1 土地所有权

中国实行土地的社会主义公有制，土地归国家或农民集体所有。城市市区的土地属于国家所有。农村和城市郊区的土地，除由法律规定属于国家所有的以外，属于农民集体所有；宅基地和自留地、自留山，属于农民集体所有。农民集体所有的土地，由县级人民政府登记造册，核发证书，确认所有权。

E.1.2 土地使用权

《中华人民共和国土地管理法》规定，国有土地和农民集体所有的土地，可以依法确定给单位或者个人使用。《中华人民共和国农村土地承包法》规定，承包方承包土地后，享有土地承包经营权；也可以保留土地承包权，流转其承包地的土地经营权，由他人经营。

E.1.3 土地承包经营权

土地承包经营权是我国农村土地承包经营制度下确立的法定用益物权，指承包方依法对其承包经营的耕地、林地、草地等农业用地享有占有、使用和收益，自主从事农业生产经营并处置收益的权利。土地承包经营权由本集体经济组织成员以家庭承包方式从发包方处取得，自承包合同生效时设立，权利主体仅限本集体经济组织成员及其户内家庭成员，享有承包地的资格权益、使用权益、流转收益权等完整权能。

E.1.4 土地经营权

土地经营权是从农村土地承包经营权中分离出的、不绑定集体经济组织成员身份的农用地使用类用益物权。土地经营权可通过两种方式取得，一是由土地承包经营权人通过出租、入股、转包等合法流转方式让渡部分权能后由受让方取得，二是针对不宜采取家庭承包方式的荒山、荒沟、荒丘、荒滩等农村土地，由主体通过招标、拍卖、公开协商等方式直接取得，权利主体无身份限制。

E.1.5 林木所有权

林木所有权是指权利主体依法对森林、林木（包括树木和竹子）及林地享有的占有、使用、收益和处分的权利。可以通过不动产权证（或林权证）等一项或多项法定权属证明文件，或结合

辅助性确权文件，判定林木所有权（表 E.1）。

表 E.1 项目土地和林木权属证明文件

法定权属证书			辅助性确权文件
证书名称	确认的权利类型	权利主体	
不动产权证或林权证	土地（林地）使用权、林木所有权等	单位和个人	**合同协议类：**土地承包合同、林木所有权流转合同、林地或土地经营权流转合同、合资/合作协议等。 **政府文件类：**用地许可或批准文件；人民政府对土地权属争议的处理决定书； **历史与事实凭证类：**集体土地台账与登记簿、相关税费缴纳凭证、历史权源文件等。 **司法文书类：**人民法院、仲裁机构作出的生效判决书、裁定书、调解书等。
集体土地所有证	集体土地所有权	农民集体	
国有土地使用证	国有土地使用权	依法使用国有土地的单位和个人	
集体土地使用证	集体土地使用权	依法使用集体土地的单位和个人	

注：林权登记已纳入不动产统一登记，原有权机关依法颁发的林权证继续有效、不变不换。

——森林资源属于国家所有，由法律规定属于集体所有的除外。

——集体所有和国家所有依法由农民集体使用的林地实行承包经营的，承包方享有承包林地上的林木所有权，合同另有约定的从其约定。承包方可以依法采取出租（转包）、入股、转让等方式流转林木所有权。

——未实行承包经营的集体林地以及林地上的林木，由农村集体经济组织统一经营。经本集体经济组织成员的村民会议三分之二以上成员或者三分之二以上村民代表同意并公示，可以通过招标、拍卖、公开协商等方式依法流转林木所有权。

——农村居民在房前屋后、自留地、自留山种植的林木，归个人所有。城镇居民在自有房屋的庭院内种植的林木，归个人所有。

——集体或者个人承包国家所有和集体所有的宜林荒山荒地荒滩营造的林木，归承包的集体或者个人所有；合同另有约定的从其约定。

——其他组织或者个人营造的林木，依法由营造者所有并享有林木权益；合同另有约定的从其约定。

E.2 项目减排权属

本文件规定项目减排权属属于林木所有权人。如果项目业主不是林木所有权人，除提供林木

所有权证明文件外，还须提供林木所有权人与项目业主之间签订的转让协议。

——林木所有权人将其拥有权属的林业资源产生的温室气体减排权属转让给项目业主，项目业主负责项目的开发、登记和交易。林木所有权人应及时更新相关产权证明文件和减排量转让协议，确保其在项目寿命期内有效。

——林木所有权属于个人的，林木所有权人可将其拥有权属的林业资源产生的温室气体减排权属转让给农村集体经济组织，农村集体经济组织可代表成员与项目业主签订温室气体自愿减排项目转让协议，并进行公示。暂未设立农村集体经济组织的，可由村民委员会代行村集体经济组织职能。

——项目业主提供的转让协议应具有唯一性；林木所有权人不应将其拥有权属的林业资源产生的温室气体减排权属转让给多个主体。

——鼓励将项目减排量收益至少不低于 80%返给具体实施了经营活动、并拥有林木所有权的项目实施主体。