

ICS 01.040.91

CCS P 32

浙江省勘察设计行业协会团体标准

T/ZEDA XXX-202X

屋顶绿化模块碳足迹核算 与碳标签评价标准

Standard for carbon footprint accounting and
carbon label evaluation of modular planting
containers for roof greening
(征求意见稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

浙江省勘察设计行业协会 发布

前 言

根据浙江省勘察设计行业协会《关于编制〈屋顶绿化模块碳足迹核算与碳标签评价标准〉的通知》（浙设协[2024]18号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内标准，并在广泛征求各方意见的基础上，编制了本标准。

本标准共分6章，主要技术内容包括：总则、术语和定义、基本规定、核算方法、碳标签评价、结果应用。请注意本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由浙江省勘察设计行业协会提出并归口管理，由浙江宝业建筑设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释。

本标准主编单位：浙江宝业建筑设计研究院有限公司
中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司

本标准参编单位：宝业集团浙江建设产业研究院有限公司
宣城开盛新能源科技有限公司
中国国检测试控股集团股份有限公司
华南理工大学
浙江科技大学
浙江树人学院

九郡绿建管理技术（嘉兴）有限公司
贝恩永道（杭州）设计咨询有限公司

本标准主要起草人员：吴登国 王正文 卢迪凯 杨 剑
李 潇 王晨立 张铭军 王 芳

刘亮俊 刘穗杰 王 涛 胡鸿雁
汤飘飘 杨 意 钟泰林 茅金铭
刘中华 莫伟刚 皇甫凡雨 余雪婧
孙斌韬 连重炎 王 雪 王 冰
黄 涛 杜华锋 郑如培 张琦锐
蒋 彬 杨晓龙 孙礼凡 蒋文刚

本标准主要审查人员：曹跃进 游劲秋 唐宇力 余子华
王健伟 马丽萍

浙江省勘察设计行业协会团体标准

浙江省勘察设计行业协会团体标准

浙江省勘察设计行业协会团体标准

目 次

1	总则	1
2	术语和定义	6
3	基本规定	9
4	核算方法	9
4.1	目标和范围	9
4.2	核算单元	9
4.3	产品碳足迹核算	19
4.4	数据获取	19
5	碳标签评价	22
5.1	产品碳标签分级	22
5.2	碳标签计算	23
5.3	所需技术材料	24
6	结果应用	25
附录A	屋顶绿化模块容器原料碳排放因子	26
附录B	主要能源碳排放因子	28
附录C	运输碳排放因子	29
附录D	不同屋顶绿化模块容器材质碳排放因子	32
附录E	不同种植土碳排放因子	33
附录F	不同屋顶绿化模块固定方式碳排放因子	34
附录G	不同栽植方式固碳因子	35
附录H	光伏发电减排因子	37

本标准用词说明	38
引用标准名录	39
附：条文说明	40

浙江省勘察设计行业协会团体标准

浙江省勘察设计行业协会团体标准

行业协会团体标准

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Definitions	6
3	Basic Requirements	9
4	Accounting Method	9
4.1	Goal and Scope Definition	9
4.2	Accounting Unit	9
4.3	Product Carbon Footprint Accounting	9
4.4	Data acquisition	9
5	Carbon Label Evaluation	22
5.1	Product Carbon Label Classification	22
5.2	Carbon Label Calculation	23
5.3	Required Technical Materials	24
6	Result Application	25
	Appendix A Carbon Emission Factor for Building Material	26
	Appendix B Major Energy Carbon Emission Factor	28
	Appendix C Carbon Emission Factor for Building Material Transportation	29
	Appendix D Different planting methods of green carbon fixation	32
	Appendix E Carbon emission factors of different planting soils	33
	Appendix F Carbon emission factors of fixed roof greening modules	34
	Appendix G Carbon sequestration factors of different planting methods	35

Appendix H Emission reduction factors for photovoltaic power generation37

Explanation of Wording in This Standard38

List of Quoted Standards39

Addition: Explanation of Provisions40

浙江省勘察设计行业协会团体标准

浙江省勘察设计行业协会团体标准

浙江省勘察设计行业协会团体标准

1 总 则

1.0.1 为贯彻国家和浙江省有关应对气候变化和节能减排的方针政策，规范屋顶绿化模块碳足迹核算与碳标签评价，节约资源，保护环境，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于屋顶绿化模块的碳足迹核算和碳标签评价。建筑立面和高架桥等绿化模块的碳足迹核算和碳标签评价可参考执行。

1.0.3 屋顶绿化模块碳足迹核算与碳标签评价除应符合本标准外，尚应符合国家、行业、地方现行有关标准的规定。

2 术语和定义

2.0.1 屋顶绿化模块 prefabricated module of green roof

在各类建筑物或构筑物等的屋顶以及天台、露台等公共区域，用以种植植物的、可移动组合的预制绿化模块产品。

【参考：JGJ155-2013，2.0.5】

2.0.2 部分生命周期 partial life cycle

部分生命周期包括屋顶绿化模块原料生产、运输、模块产品生产三个阶段。

【参考：GB/T 24044-2008，3.1】

2.0.3 全生命周期 full life cycle

全生命周期包括屋顶绿化模块原料生产、运输，模块生产、运输，安装、运行及拆除等七个阶段。

【参考：GB/T 24044-2008，3.1】

2.0.4 产品碳足迹 carbon footprint of the product

指单位产品、项目活动在其生命周期中所产生的直接和间接的温室气体总量。

2.0.5 温室气体 greenhouse gas (GHG)

大气层中自然存在的和由于人类活动产生的能够吸收和散发由地球表面、大气层和云层所产生的、波长在红外光谱内的辐射的气态成分。

【来源：GB/T32150-2015，3.1】

2.0.6 碳汇 carbon sink

从大气中清除温室气体的物理单元或过程。

【参考：ISO 14064-2-2019】

2.0.7 二氧化碳当量 carbon dioxide equivalent (CO₂e)

在辐射强度上与某种温室气体质量相当的二氧化碳的量。

注：二氧化碳当量等于给定温室气体的质量乘以它的全球变暖潜势值。

【来源：GB/T32150-2015，3.16】

2.0.8 活动数据 activity data

导致温室气体排放的生产或消费活动量的表征值。

注：本文件活动数据为各种燃料的消耗量、原料的使用量、产品产证量、外购电力量、外购蒸汽量等。

【来源：GB/T32150-2015，3.12】

2.0.9 温室气体排放因子 greenhouse gas emission factor

单位活动水平数据产生的温室气体量，用二氧化碳当量与相关的活动单位表示。

2.0.10 可再生能源 renewable energy

从自然界获取的、可以再生的非化石能源，包括太阳能、风能、水能、生物质能、地热能、空气源和海洋能等。

【来源：DBJ33/T1105-2022，2.0.1】

2.0.11 再生利用 recycling

屋顶绿化模块全生命周期阶段产生的物料经过回收后，通过环保的方式进行再造，成为可利用的再生资源。

【参考：GB/T 50743-2012，2.1.7】

2.0.12 碳标签 carbon label

屋顶绿化模块产品原料获取、运输、生产等过程中所产生的二氧化碳的量，在产品包装上以量化指标进行标识，以推广低碳排放技术，并以标签形式告知使用者该产品的碳信息。

2.0.13 碳披露 carbon disclosure

屋顶绿化模块的温室气体排放量，评估结果经独立第三方机构审查通过即可获得核发证书。

【参考：T/DZJN 001-2018，6.1】

2.0.14 碳减量 carbon loss

屋顶绿化模块产品的碳足迹低于传统屋顶绿化的碳排放量，减碳成效经独立第三方机构核查审查通过后方可核发证书。

【参考：T/DZJN 001-2018，6.1】

2.0.15 碳领跑 carbon leadership

屋顶绿化模块产品的碳足迹低于传统屋顶绿化的碳排放量20%或20%以上，以实现低碳领先地位，减碳成效经独立第三方机构核查审查通过后方可核发证书。

【参考：T/DZJN 001-2018，6.1】

2.0.16 功能单位 functional unit

用来作为基准单位的量化的产品系统性能。

【来源：GB/T 24044-2008，3.20】

3 基本规定

3.0.1 屋顶绿化模块碳足迹计算应以单栋建筑或建筑群屋顶面积为计算对象。

3.0.2 屋顶绿化模块碳足迹计算方法可用于建筑设计阶段对碳足迹进行核算，以及在建筑物建造后对碳足迹进行核算。

3.0.3 屋顶绿化模块碳排放量应包含《IPCC国家温室气体清单指南》中列出的各类温室气体。

3.0.4 屋顶绿化模块因电力消耗造成的碳排放计算，应采用由国家相关机构公布的区域电网平均碳排放因子。

3.0.5 在对屋顶绿化模块碳足迹核算和碳标签评价时，应遵循以下原则：

1 相关性：应选择与选定评估的屋顶绿化模块所产生的碳排放相关的碳排放源、数据和方法。

2 完整性：屋顶绿化模块碳足迹系统边界及临时边界内对碳排放有实质性贡献的所有生命周期阶段的排放都应纳入指定产品生命周期碳排放评估中。

3 一致性：在碳排放评估中的方法和数据需以同样的方式贯穿于整个计算过程，且能够用于支持可重现、可比较的结果。

4 准确性：避免屋顶绿化模块中碳排放的重复计算，尽可能地减少误差和不确定性。

5 透明性：如果依照本标准开展碳标签评估的结果需要通报给第三方，则与温室气体排放相关的所有信息，都应公开披露。

4 核算方法

4.0.1 依据国际标准化组织定义，核算方法参考国家标准《环境管理 生命周期评价 要求与指南》GB/T 24044-2008，进行优化后得出本标准公式。

4.1 目标和范围

4.1.1 本标准目标为屋顶、建筑立面和高架桥等部位的绿化模块。

4.1.2 本标准规定的屋顶绿化模块碳足迹核算范围以建筑设计使用寿命（50年）进行折算，模块设计使用寿命为20年。本标准规定的屋顶绿化模块运行阶段的更换频率为5年一次，每次更换首次铺设的屋顶绿化模块的25%。具体的更换频率应根据实际情况和专业维护人员的建议来确定。

4.1.3 本标准规定的屋顶绿化模块碳足迹核算范围为屋顶绿化模块的全生命周期。本标准规定的屋顶绿化模块碳标签为屋顶绿化模块的部分生命周期，仅包括屋顶绿化模块从原料生产、运输，到屋顶绿化模块生产三个阶段中所产生的二氧化碳的量，在产品包装上以量化指标进行标识，并以标签形式告知使用者该产品的碳信息。

4.1.4 本标准规定的屋顶绿化模块包括屋顶绿化模块容器、植物以及种植土等三个模块。

4.2 核算单元

4.2.1 对于同一企业不同规格的产品或同一规格但不同产地的产品，应分别核算碳足迹。

4.2.2 对于同一企业在同一产地生产的同一规格的产品，如果采用的工艺技术、生产设备、原燃料种类和供应商有差异时，在进行数据调查时原则上应按产证比例进行平均。

4.3 产品碳足迹核算

4.3.1 屋顶绿化模块碳排放量应按下式计算：

$$GHG_{\text{屋顶绿化模块}} = GHG_{\text{原材料生产}} + GHG_{\text{原材料运输}} + GHG_{\text{模块生产}} + GHG_{\text{模块运输}} + GHG_{\text{安装}} + GHG_{\text{运行}} + GHG_{\text{拆除}} \quad (4.3.1)$$

式中， $GHG_{\text{屋顶绿化模块}}$ ——屋顶绿化模块碳排放量（ kgCO_2e ）；

$GHG_{\text{原料生产}}$ ——屋顶绿化模块的原料生产阶段碳排放量（ kgCO_2e ）；

$GHG_{\text{原料运输}}$ ——屋顶绿化模块的原料运输阶段碳排放量（ kgCO_2e ）；

$GHG_{\text{模块生产}}$ ——屋顶绿化模块的生产阶段碳排放量（ kgCO_2e ）；

$GHG_{\text{模块运输}}$ ——屋顶绿化模块的运输阶段碳排放量（ kgCO_2e ）；

$GHG_{\text{安装}}$ ——屋顶绿化模块安装阶段碳排放量（ kgCO_2e ）；

$GHG_{\text{运行}}$ ——屋顶绿化模块运行阶段碳排放量（ kgCO_2e ）；

$GHG_{\text{拆除}}$ ——屋顶绿化模块拆除阶段碳排放量（ kgCO_2e ）。

4.3.2 原料生产碳排放量应按下式计算：

$$GHG_{\text{原料生产}} = \sum_{i=1}^n M_{1,i} F_{1,i} \quad (4.3.2)$$

式中， $GHG_{\text{原料生产}}$ ——原料生产碳排放量（ kgCO_2e ）；

$M_{1,i}$ ——第*i*种原料的消耗量（t）；

$F_{1,i}$ ——第*i*种原料的碳排放因子 ($\text{kgCO}_2\text{e/t}$)，按本标准附录A取值。

4.3.3 原料运输碳排放量应按下式计算：

$$GHG_{\text{原料运输}} = \sum_{i=1}^n M_{1,i} D_{1,i} T_{1,i} \quad (4.3.3)$$

式中， $GHG_{\text{原料运输}}$ ——原料运输碳排放量 (kgCO_2e)；

$M_{1,i}$ ——第*i*种原料的重量 (t)；

$D_{1,i}$ ——第*i*种原料运输距离 (km)，从运料场地到生产所在地；

$T_{1,i}$ ——第*i*种原料的运输方式下，单位重量运输距离的碳排放因子 [$\text{kgCO}_2\text{e}/(\text{t}\cdot\text{km})$]，按本标准附录B取值。

4.3.4 屋顶绿化模块生产碳排放量应包括屋顶绿化模块容器生产的碳排放量、屋顶绿化模块种植土生产的碳排放量。

屋顶绿化模块容器、种植土生产碳排放量应按下式计算：

$$GHG_{\text{产品生产}} = GHG_{\text{能源}} + GHG_{\text{废弃物处理}} - GHG_{\text{可再生能源}} \quad (4.3.4)$$

式中， $GHG_{\text{能源}}$ ——屋顶绿化模块容器和种植土生产能源使用过程碳排放量 (kgCO_2e)；

$GHG_{\text{废弃物处理}}$ ——屋顶绿化模块容器和种植土生产废弃物处理过程碳排放量 (kgCO_2e)；

$GHG_{\text{可再生能源}}$ ——可再生能源利用碳减排量 (kgCO_2e)。

1 屋顶绿化模块生产能源碳排放量应按下式计算：

$$GHG_{\text{能源}} = GHG_{\text{燃料}} + GHG_{\text{电力}} + GHG_{\text{热力}} + GHG_{\text{其他}} \quad (4.3.4-1)$$

式中， $GHG_{\text{能源}}$ ——屋顶绿化模块生产能源使用过程碳排放量 (kgCO_2e)；

$GHG_{\text{燃料}}$ ——燃料燃烧产生的碳排放量 (kgCO_2e)；

$GHG_{\text{电力}}$ ——使用外购电力产生的碳排放量 (kgCO_2e)；

$GHG_{\text{热力}}$ ——使用外购热力产生的碳排放量 (kgCO₂e) ；

$GHG_{\text{其他}}$ ——生产过程中使用其他能源所产生的其他碳排放量 (kgCO₂e) 。

1.1 燃料碳排放量应按下列式计算：

$$GHG_{\text{燃料}} = \sum (C_k \times HV_k \times CPH_k \times OF_k \times 44/12) \quad (4.3.4-2)$$

式中， $GHG_{\text{燃料}}$ ——燃料燃烧产生的碳排放量 (kgCO₂e) ；

k ——不同燃料类型；

C_k ——第 k 类燃料的消耗量 (t) 或 (m³) ；

HV_k ——第 k 类燃料的低位热值 (TJ/t) 或 (TJ/m³) ；

CPH_k ——第 k 类燃料的单位热值含碳量 (t/TJ) ，按本标准附录C取值；

OF_k ——第 k 类燃料的氧化率 (%) ，按本标准附录C取值；

44/12——二氧化碳与碳的相对分子质量之比。

1.2 电力碳排放量应按下列式计算：

$$GHG_{\text{电力}} = EA \times EF \quad (4.3.4-3)$$

式中， $GHG_{\text{电力}}$ ——使用外购电力产生的碳排放量 (kgCO₂e) ；

EA ——外购电力活动水平数据 (kWh) ；

EF ——外购电力温室气体排放因子，应采用由政府主管部门公布的区域电网平均碳排放因子。

1.3 外购热力碳排放量应按下列式计算：

$$GHG_{\text{热力}} = HA \times HF \quad (4.3.4-4)$$

式中， $GHG_{\text{热力}}$ ——使用外购热力产生的碳排放量 (kgCO₂e) ；

HA ——外购热力活动水平数据吉焦 (GJ) ；

HF ——外购热力碳排放因子吨二氧化碳每吉焦 (tCO₂e/GJ) 。采用由政府相关部门或授权单位公布的碳排放因子数据库，比如IPCC碳排放因子库。

1.4 其他能源碳排放量应按下式计算：

$$GHG_{\text{其他}} = \sum_{i=1}^n E_i EF_i \quad (4.3.4-5)$$

式中， $GHG_{\text{其他}}$ ——生产过程中使用其他能源所产生的其他碳排放量（ kgCO_2e ）；

E_i ——第*i*种能源活动水平数据（ kg ）或（ kWh ）；

EF_i ——第*i*种能源的碳排放因子（ $\text{kgCO}_2\text{e/kWh}$ ）或（ $\text{kgCO}_2\text{e/kg}$ ）。

2 屋顶绿化模块生产过程中的废弃物处理应按下式计算：

$$GHG_{\text{废弃物处理}} = \sum_{i=1}^n WA_i WF_i \quad (4.3.4-6)$$

式中， $GHG_{\text{废弃物处理}}$ ——生产过程废弃物处理产生的碳排放量（ kgCO_2e ）；

WA_i ——第*i*种废弃物处理活动水平数据（ t ）或（ m^3 ）；

WF_i ——第*i*种废弃物处理碳排放因子（ $\text{kgCO}_2\text{e/t}$ ）或（ $\text{kgCO}_2\text{e/m}^3$ ）。

3 屋顶绿化模块产品生产过程中可再生能源系统碳排放量应按下式计算：

$$GHG_{\text{可再生能源}} = (Q_{\text{LS}} + E_{\text{pv}} + E_{\text{wt}} + Q_{\text{LD}} + Q_{\text{LK}} + W_{\text{K}} + Q_{\text{Lg}}) \cdot EF_n \quad (4.3.4-7)$$

式中， EF_n ——电力平均二氧化碳排放因子（ kgCO_2/kWh ）；

Q_{LS} ——太阳能热水系统年能源消耗量（ kWh/a ）；

E_{pv} ——太阳能光伏系统的年发电量（ kWh/a ）；

E_{wt} ——风力发电机组的年发电量（ kWh/a ）；

Q_{LD} ——地源热泵系统年能源消耗量（ kWh/a ）；

Q_{LK} ——空气源热泵系统年能源消耗量（ kWh/a ）；

W_{K} ——热水系统需要的热源消耗量（ kWh/a ）；

Q_{Lg} ——其他可再生能源系统年综合利用量核算值（ kWh/a ）

注：1. 可再生能源系统计算范围仅包括构件产品生产过程，不包括办公、生活等非生产过程。

2. EF_n 应采用由生态环境部公布的区域电网平均碳排放因子。

3.1 太阳能光伏发电系统的年发电量应按下式计算：

$$E_{pv} = B_{Pi} \times K_{Pi} \times A_{Pi} \quad (4.3.4-8)$$

式中， B_{Pi} ——光伏组件水平安装时的单位面积年预测发电量 [kWh/($m^2 \cdot a$)] 应按本标准条文说明第 4.3.3 条表 1 取值；

K_{Pi} ——光伏组件的倾角和方位角修正系数，应按本标准条文说明第 4.3.3 条表 2 取值；

A_{Pi} ——光伏组件的总面积 (m^2)。

3.2 风力发电机组的年发电量应按下式计算：

$$E_{wt} = 0.5 \rho C_R(z) V_0^3 A_w \rho \frac{K_{WT}}{1000} \quad (4.3.4-9)$$

$$C_R(z) = K_R \ln(z/z_0) \quad (4.3.4-10)$$

$$A_w = 5D^2/4 \quad (4.3.4-11)$$

$$EPF = \frac{APD}{0.5 \rho V_0^3} \quad (4.3.4-12)$$

$$APD = \frac{\sum_{i=1}^{8760} 0.5 \rho V_i^3}{8760} \quad (4.3.4-13)$$

式中， E_{wt} ——风力发电机组的年发电量 (kWh/a)；

ρ ——空气密度，取 1.225 kg/m^3 ；

$C_R(z)$ ——依据高度计算的粗糙系数；

K_R ——场地因子；

z_0 ——场表粗糙系数；

V_0 ——年可利用平均风速 (m/s)；

A_w ——风力发电机组叶轮迎风面积 (m^2)；

D ——风机叶片直径 (m)；

EPF——根据典型气象数据中逐时风速计算出的因子；

APD——年平均能量密度（W/m²）；

V_i——逐时风速（m/s）；

K_{WT}——风力发电机组的转换效率。

注：本公式参考《建筑碳排放计算标准》GB/T 51366-2019，4.5.6条。

4.3.5 屋顶绿化模块运输阶段碳排放计算中运输距离宜优先采用实际运输距离。运输排放因子宜选经第三方审核的数据，无第三方提供时，缺省值可按本标准附录C中的默认值取值。

运输阶段碳排放应按下式计算：

$$GHG_{\text{产品运输}} = \sum_{i=1}^n M_i D_{1,i} T_{1,i} \quad (4.3.5)$$

式中， $GHG_{\text{产品运输}}$ ——建材运输过程碳排放（kgCO₂e）；

M_i ——第 i 种主要建材的消耗量（t）；

$D_{1,i}$ ——第 i 种建材平均运输距离（km）；

$T_{1,i}$ ——第 i 种建材的运输方式下，单位重量运输距离的碳排放因子 [kgCO₂e/（t·km）]。

4.3.6 屋顶绿化模块安装阶段碳排放计算应包含施工机械和措施项目的碳排放量。采用屋顶绿化模块引起的屋顶结构碳排放量变化不包含在屋顶绿化模块化种植计算范围内。

安装阶段碳排放应按下式计算：

$$GHG_{\text{安装}} = GHG_{\text{机械}} + GHG_{\text{措施项目}} \quad (4.3.6)$$

式中， $GHG_{\text{安装}}$ ——屋顶绿化模块安装阶段碳排放量（kgCO₂e）；

$GHG_{\text{机械}}$ ——安装阶段施工机械能源消耗的碳排放量（kgCO₂e）；

$GHG_{\text{措施项目}}$ ——安装阶段措施项目使用的碳排放量（kgCO₂e）。

1 安装阶段施工机械能源消耗的碳排放量应按下式计算：

$$GHG_{\text{机械}} = \sum_{i=1}^n Q_i F_i EF_i \quad (4.3.6-1)$$

式中， Q_i ——第*i*种分部分项工程的单位台班能源消耗量（kWh/台班或kg/台班）；

F_i ——第*i*种分部分项工程的台班量（台班）；

EF_i ——第*i*种分部分项工程的能源碳排放因子（kgCO₂/kWh或kgCO₂/kg）。

2 安装阶段措施项目使用的碳排放量应按下列式计算：

$$GHG_{\text{措施项目}} = GHG_{cz} + GHG_{cs} \quad (4.3.6-2)$$

式中， GHG_{cz} ——屋顶绿化模块建造阶段塔吊及其他设备碳排放量（kgCO₂e）；

GHG_{cs} ——屋顶绿化模块建造阶段措施项目中周转材料（模板、脚手架等）的碳排放量（kgCO₂e）。

3 屋顶绿化模块建造阶段塔吊及其他设备碳排放应按下列式计算：

$$GHG_{cz} = GHG_{jsb} + GHG_{jsj} \quad (4.3.6-3)$$

$$GHG_{jsb} = (GHG_{js1} + GHG_{js2}) \times N \quad (4.3.6-4)$$

$$GHG_{jsj} = (GHG_{sjs} + GHG_{sjy} + GHG_{sjz} + GHG_{sjc}) \times N \quad (4.3.6-5)$$

式中， C_{cz} ——建造阶段塔吊及其他设备碳排放量（kgCO₂e）；

C_{jsb} ——建造阶段塔吊及其他设备运输、安装和拆除碳排放量（kgCO₂e）；

C_{jsj} ——建造阶段的措施项目设备基础材料的生产、运输、建造、拆除回收碳排放量（kgCO₂e）；

C_{js1} ——建造阶段措施项目中设备运输的碳排放量（kgCO₂e）；

C_{js2} ——建造阶段措施费项目设备安装和拆除的碳排放量（kgCO₂e）；

C_{sjs} ——建造阶段措施项目设备基础材料生产碳排放量（kgCO₂e）；

C_{sjy} ——建造阶段措施项目设备基础材料运输的碳排放量（ kgCO_2e ）；

C_{sjz} ——建造阶段措施项目设备基础建造的碳排放量（ kgCO_2e ）；

C_{sjc} ——建造阶段措施项目设备基础拆除的碳排放量（ kgCO_2e ）；

N —设备数量。

4.3.7 屋顶绿化模块运行阶段碳排放计算应包含材料维护、能耗使用、碳汇和其他管理方式产生的碳排放量。采用屋顶绿化模块引起的建筑屋面碳排放量变化不包含在屋顶绿化模块化种植碳排放计算范围内。

运行阶段碳排放应按下列式计算：

$$GHG_{\text{运行}} = GHG_{\text{材料维护}} + GHG_{\text{运行阶段能源}} - GHG_{\text{碳汇}} + GHG_{\text{其他}} \quad (4.3.7)$$

式中， $GHG_{\text{运行}}$ ——屋顶绿化模块运行阶段碳排放量（ kgCO_2e ）；

$GHG_{\text{材料维护}}$ ——运行阶段由于材料维护产生的碳排放量（ kgCO_2e ）；

$GHG_{\text{能源}}$ ——运行阶段由于能源使用产生的碳排放量（ kgCO_2e ）；

$GHG_{\text{碳汇}}$ ——运行阶段植被和种植土固碳量（ kgCO_2e ）；

$GHG_{\text{其他}}$ ——运行阶段除材料维护、能源使用、植被和种植土碳汇以外的管理方式的碳排放量（ kgCO_2e ），包括灌溉、修剪等。

1 运行阶段由于材料维护产生的碳排放应按下列式计算：

$$GHG_{\text{材料维护}} = mEF_{2,i} + \sum_{i=1}^n Q_i F_{1,i} \quad (4.3.7-1)$$

式中， m ——运行阶段屋顶绿化模块更换量（ m^3 ）；

$EF_{2,i}$ ——屋顶绿化模块碳排放因子（ $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^3$ ）；

Q_i ——除屋顶绿化模块外第*i*种维护材料使用量；

$F_{1,i}$ ——第*i*种维护材料的碳排放因子 (kgCO₂e/t)，按本标准附录A取值。

2 运行阶段由于能源使用产生的碳排放应按下式计算：

$$GHG_{\text{运行阶段能源}} = \sum_{i=1}^n E_i EF_{3,i} \quad (4.3.7-2)$$

式中， $EF_{3,i}$ ——第*i*种能源的碳排放因子 (kgCO₂e/kWh)。

E_i ——第*i*种能源消耗量 (kWh)。

3 运行阶段植被和种植土碳汇应按下式计算：

$$GHG_{\text{碳汇}} = \sum_{i=1}^n T_i F_i EF_i \quad (4.3.7-3)$$

式中， T_i ——运行时间 (a)；

F_i ——第*i*种植物和种植土的面积 (m²)；

EF_i ——第*i*种植物和种植土固碳因子 [kg/(m²·a)]。

4.3.8 屋顶绿化模块拆除阶段碳排放计算应包含材料运输、材料回收利用的碳排放量。

拆除阶段碳排放应按下式计算：

$$GHG_{\text{拆除}} = GHG_{\text{拆除机械}} + GHG_{\text{材料运输}} - GHG_{\text{回收利用}} \quad (4.3.8)$$

式中， $GHG_{\text{拆除}}$ ——屋顶绿化模块拆除阶段碳排放量 (kgCO₂e)；

$GHG_{\text{拆除机械}}$ ——拆除阶段拆除机械的碳排放 (kgCO₂e)；

$GHG_{\text{材料运输}}$ ——拆除阶段材料运输的碳排放 (kgCO₂e)；

$GHG_{\text{回收利用}}$ ——拆除阶段回收再利用的碳排放量 (kgCO₂e)。

$$GHG_{\text{回收利用}} = \sum_{i=1}^n (M_{Di} \times DF_i \times \eta_i) \quad (4.3.8-1)$$

式中， M_{Di} ——第*i*类回收材料的回收量t或m³；

DF_i ——第*i*类回收处理后可利用材料的碳排放因子 (kgC

O₂e/t) 或 (kgCO₂e/m³)；

η_i ——第*i*类回收材料可回收比例。

4.3.9 碳足迹核算应以二氧化碳当量（CO₂e）为单位量化并报告每个分析单元的总消耗结果，屋顶绿化模块碳足迹的核算采用如下方法：

$$E_{\text{碳足迹}} = GHG_{\text{碳排放量}} / P \quad (4.3.9)$$

式中， $E_{\text{碳足迹}}$ ——屋顶绿化模块碳足迹（kgCO₂e/m²）；

$GHG_{\text{屋顶绿化模块}}$ ——屋顶绿化模块部分生命周期碳排放量（kgCO₂e）；

P ——屋顶绿化模块使用面积（m²）。

4.4 数据获取

4.4.1 数据质量控制应通过采用企业实际数据或选择代表性更高的数据库，直到达到规定的数据库质量要求。具体要求如下：

1 生产过程数据由独立第三方机构进行审核；

2 分析各项物耗和能耗对产品全生命周期的贡献，贡献率超过5%，鼓励对一级供应商的生产过程进行调研，而不是直接采用数据库。

4.4.2 屋顶绿化模块生产企业生产数据获取

1 数据获取基本原则

数据获取应收集产品功能单元统计期内的生产数据并详细记录各项数据的计算方法、数据来源和原始凭证，保证其可追溯，便于核查现场数据。

2 数据统计期

进行碳足迹核查的企业以上一年为统计期，个别产品根据具体生产周期决定其统计期。

4.4.3 计算数据库选择的原则

1 完整性

数据库应该涵盖本标准规定的所有温室气体种类。数据库所提供的数据库应具有完整的核算范围，包括从资源开采到物料、能源、出厂为止的部分生命周期的数据。

2 一致性

应尽量采用同一数据库的数据，保证背景数据的一致性。

3 公开性

数据库应有公开的数据库指南，用于说明数据库开发的方法。此外，数据库中的每个数据都应有完整的文档，包括模型完整性、数据代表性、数据来源说明和同行评审意见。

5 碳标签评价

5.1 产品碳标签分级

5.1.1 屋顶绿化模块的碳标签按照碳足迹分为三个等级，分别是碳披露标签、碳减量标签、碳领跑标签。

1 评价等级的设定原则

最高等级体现行业的最佳水平要求，应是企业现阶段的努力目标，以促进减排技术的应用；

最低等级体现行业的最低水平要求，应逐步淘汰减排技术落后的产品，促进低成本低碳技术普遍应用；

中间等级应体现行业的平均水平要求，该值应能促使整个行业的排放水平逐步达到国家的中长期目标；

级差设定应考虑目前的技术能力，市场状况以及减排技术发展潜力等因素；

级差设定应考虑市场实际现状，使得各个等级内都覆盖适当数量的产品。

2 评价等级的选择原则

碳标签的选择应按该屋顶绿化模块所能达到的最高等级选取。

本标准推荐设置3个等级，从低到高分别对应碳披露标签、碳减量标签、碳领跑标签。

5.1.2 碳披露标签

屋顶绿化模块的温室气体排放量，评估结果经第三方审核通过即可获得核发证书。

5.1.3 碳减量标签

屋顶绿化模块产品的碳足迹低于传统屋顶绿化的碳排放量，减碳成效经独立第三方机构核查审查通过后方可核发。

5.1.4 碳领跑标签

屋顶绿化模块产品的碳足迹低于传统屋顶绿化的碳排放量20%或20%以上，以实现低碳领先地位，减碳成效经第三方核查审查通过后方可核发证书。

5.2 碳标签计算

5.2.1 屋顶绿化模块基准线应按下式计算：

$$E_{\text{基准线1}} = GHG_{\text{传统屋顶绿化}} / P \quad (5.2.1-1)$$

$$E_{\text{基准线2}} = GHG_{\text{屋顶绿化模块}} / P \quad (5.2.1-2)$$

式中， $E_{\text{基准线1}}$ ——传统屋顶绿化碳排放功能单位基准线（ $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2$ ）；

$E_{\text{基准线2}}$ ——屋顶绿化模块碳排放功能单位基准线（ $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2$ ）；

$GHG_{\text{传统屋顶绿化}}$ ——传统屋顶绿化产生的碳排放量（ kgCO_2e ）；

$GHG_{\text{屋顶绿化模块}}$ ——屋顶绿化模块产生的碳排放量（ kgCO_2e ）；

P ——屋顶绿化模块使用面积（ m^2 ）。

5.2.2 传统屋顶绿化产生的碳排放量计算方式为：

$$GHG_{\text{传统屋顶绿化}} = \sum (GHG_m) / n \quad (5.2.2)$$

式中， m ——不同传统屋顶绿化项目；

GHG_m ——第 m 个传统屋顶绿化项目单位面积碳排放量（ $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2$ ）；

n ——所计算的项目个数。

5.2.3 屋顶绿化模块产生的碳排放量计算方式为：

$$GHG_{\text{屋顶绿化模块}} = \sum (GHG_t) / n_1 \quad (5.2.3)$$

式中， t ——不同类型模块化屋顶绿化；

GHG_t ——第 t 个屋顶绿化单位面积碳排放量（ $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2$ ）；

n_1 ——所计算的项目个数。

5.3 所需技术材料

5.3.1 基本信息

屋顶的类型、规模、竣工及运行时间等。

5.3.2 碳排放计算书

包括但不限于：碳排放计算报告，按本标准第4、5章内容进行计算。

5.3.3 竣工验收材料

包括但不限于：竣工验收报告、工程质量评估报告、质量检查报告等功能性检测报告等。

5.3.4 其他产品碳足迹报告

包括但不限于：屋顶绿化模块、屋顶绿化模块安装过程等。

5.3.5 其他要求

- 1 施工组织设计等施工措施。
- 2 产品清单及预算等。

6 结果应用

6.0.1 根据碳足迹核算结果，结合企业环境战略目标和产品自身特点，可应用于：

1 经独立第三方机构审核后发布碳足迹信息和报告，可用于市场营销、合规声明、企业社会责任报告等；

2 开展其他方核查；

3 实施自我声明；

4 报告中应包括该屋顶绿化模块碳足迹数据与其他屋顶绿化模块碳足迹数据的对比分析内容；

5 用于鼓励企业改进产品、工艺技术、生产管理和供应链管理。从生命周期角度提出温室气体减排改进方案，一般包括清洁生产、供应链管理、绿色采购、使用再生能源等方面。企业在实施改进方案之后，可以评价并对外公布产品碳足迹和减排量，帮助企业实现温室气体减排的目的。

附录 A 屋顶绿化模块原料 碳排放因子

A.1 表格规定

A.1.1 屋顶绿化模块容器原料碳排放因子应按表 A.1.1 选取。

表 A.1.1 原料碳排放因子

原料类别	碳排放因子
普通硅酸盐水泥(市场平均)	735kgCO ₂ e/t
砂(f=1.6~3.0)	2.51kgCO ₂ e/t
碎石(d=10mm~30mm)	2.18kgCO ₂ e/t
珍珠岩	0.011kgCO ₂ e/t
岩棉	1100kgCO ₂ e/t
无规共聚聚丙烯管	3720kgCO ₂ e/t
聚乙烯管	3600kgCO ₂ e/t
硬聚氯乙烯管	7930kgCO ₂ e/t
聚丙烯	5980kgCO ₂ e/t
煤制聚丙烯(HDDMT0工艺)	7950kgCO ₂ e/t
高密度聚乙烯	2620kgCO ₂ e/t
玻璃纤维	2380kgCO ₂ e/t
水资源(用水)	0.43kgCO ₂ e/t
水资源(排水)	5.29kgCO ₂ e/t
无纺布	3820kgCO ₂ e/t
再生胶	0.5562×10 ⁻³ kgCO ₂ e/t

- 注：1、本标准附录A来源于《建筑碳排放计算标准》GB/T51366-2019，附录D。
- 2、原料中聚丙烯、无纺布、高密度聚乙烯的碳排放因子取自《中国产品生命周期温室气体排放系数集》2022。
- 3、如附录中无相关数据，宜优先采用第三方机构核查数据，其次选用国家标准数据，最后按时间先后顺序选取文献数据。

附录 B 运输碳排放因子

B.1 表格规定

B.1.1 各类运输方式的碳排放因子应按表 B.1.1 选取。

表 B.1.1 各类运输方式的碳排放因子

运输方式类别	碳排放因子 $\text{kgCO}_2\text{e}/(\text{t} \cdot \text{km})$
微型货车（浙江）	0.118
轻型货车（浙江）	0.082
中型货车（浙江）	0.042
重型货车（浙江）	0.048
微型货车（全国平均）	0.120
轻型货车（全国平均）	0.083
中型货车（全国平均）	0.042
重型货车（全国平均）	0.049

注：本标准附录B数据，取自《中国分省道路交通二氧化碳排放因子（2021）》。

附录 C 主要能源碳排放因子

C.1 表格规定

C.1.1 化石能源碳排放因子应按表 C.1.1 选取。

表 C.1.1 化石燃料碳排放因子

分类	燃料类型	单位热值含 碳量 (tC/TJ)	碳氧化率 (%)	单位热值 CO ₂ 排放因子 (tCO ₂ /TJ)
液体燃料	原油	20.1	0.98	72.23
	燃料油	21.1	0.98	75.82
	汽油	18.9	0.98	67.91
	柴油	20.2	0.98	72.59
	喷气煤油	19.5	0.98	70.07
	一般煤油	19.6	0.98	70.43
	NGL 天然气凝液	17.2	0.98	61.81
	LPG 液化石油气	17.2	0.98	61.81
	炼厂干气	18.2	0.98	65.40
	石脑油	20.0	0.98	71.87
	沥青	22.0	0.98	79.05
	润滑油	20.0	0.98	71.87
	石油焦	27.5	0.98	98.82
	石化原料油	20.0	0.98	71.87
其他油品	20.0	0.98	71.87	
气体燃料	天然气	15.3	0.98	55.54

C.1.2 其他能源碳排放因子应按表 B.1.2 选取。

表 C.1.2 其他能源碳排放因子

能源类型		缺省碳含量 (tC/TJ)	缺省 氧化 因子	有效 CO ₂ 排放因子 (tCO ₂ /TJ)		
				缺省 值	95%置信区间	
					较低	较高
城市废弃物 (非生物量比例)		25.0	1	91.7	73.3	121
		39.0	1	143.0	110.0	183.0
		20.0	1	73.3	72.2	74.4
		28.9	1	106.0	100.0	108.0
固体生物燃料	木材/木材废弃物	30.5	1	112.0	95.0	132.0
	亚硫酸盐废液 (黑液)	26.0	1	95.3	80.7	110.0
	木炭	30.5	1	112.0	95.0	132.0
	其他主要固体生物燃料	27.3	1	100.0	84.7	117.0
液体生物燃料	生物汽油	19.3	1	70.8	59.8	84.3
	生物柴油	19.3	1	70.8	59.8	84.3
	其他液体生物燃料	21.7	1	79.6	67.1	95.3
气体生物燃料	填埋气体	14.9	1	54.6	46.2	66.0
	污泥气体	14.9	1	54.6	46.2	66.0
	其他生物气体	14.9	1	54.6	46.2	66.0
	城市废弃物(生物量比例)	27.3	1	100.0	84.7	117.0

注：1、本标准附录C来源于《建筑碳排放计算标准》GB/T51366-2019，附录A。

2、如附录中无相关数据，宜优先采用第三方机构核查数据，其次选用国家标准数据，最后按时间先后顺序选取文献数据。

浙江省勘察设计行业协会团体标准

浙江省勘察设计行业协会团体标准

浙江省勘察设计行业协会团体标准

附录D 不同屋顶绿化模块容器材质碳排放因子

D.1 表格规定

D.1.1 各类屋顶绿化模块容器的生产碳排放因子应按表D.1.1选取。

表 D.1.1 不同屋顶绿化模块容器的碳排放因子

屋顶绿化模块容器材质类型	屋顶绿化模块容器材质碳排放因子
聚乙烯 (PE)	1990kgCO ₂ e/t
聚丙烯 (PP)	5980kgCO ₂ e/t
不锈钢	2080kgCO ₂ e/t
铝合金	18.30tCO ₂ e/t
瓷盆	1240kgCO ₂ e/t
实木	10.9kgCO ₂ e/t
预制混凝土块	1287.475kgCO ₂ e/t

注：1、附录D瓷盆数据来源于《中国产品全生命周期温室气体排放系数库（2022）》，取原料（建筑卫生陶瓷）。
2、附录D实木数据来源于2014年九郡绿建数据库。
3、如附录中无相关数据，宜优先采用第三方机构核查数据，其次选用国家标准数据，最后按时间先后顺序选取文献数据。

附录 E 不同种植土碳排放因子

E.1 表格规定

E.1.1 各类种植土的生产碳排放因子应按表 E.1.1 选取。

表 E.1.1 不同种植土的碳排放因子

种植土类型	种植土碳排放因子
泡沫轻质土	91314kgCO ₂ e/t
黏土	2.69kgCO ₂ e/t
珍珠岩	0.011kgCO ₂ e/t

注：1、附录E珍珠岩数据来源于2014年九郡绿建数据库。

2、附录E其余数据来源于《中国产品全生命周期温室气体排放系数库（2022）》。

3、如附录中无相关数据，宜优先采用第三方机构核查数据，其次选用国家标准数据，最后按时间先后顺序选取文献数据。

附录 F 不同屋顶绿化模块固定方式 碳排放因子

F.1 表格规定

F.1.1 各类屋顶绿化模块固定方式的碳排放因子应按表 F.1.1 选取。

表 F.1.1 不同屋顶绿化模块固定方式的碳排放因子

屋顶绿化模块固定方式	屋顶绿化模块固定方式碳排放因子
胶粘	350.64kgCO ₂ e/t
焊接	55.3kgCO ₂ e/t

- 注：1、附录F胶粘数据来源于2023年九郡绿建数据库。
2、附录F焊接数据来源于2021年九郡绿建数据库。
3、如附录中无相关数据，宜优先采用第三方机构核查数据，其次选用国家标准数据，最后按时间先后顺序选取文献数据。

附录G 不同栽植方式固碳因子

G.1 表格规定

G.1.1 各类栽植方式的固碳因子应按表 G.1.1 选取。

表 G.1.1 不同栽植方式绿化固碳因子

栽植方式	固碳因子 kgCO ₂ e/ (m ² ·a)
大小乔木、灌木、花草密集混种区 (乔木平均种植间距 <3.0m, 土壤深度>1.0m)	27.5
大小乔木密植混种区(平均种植距离<3.0m, 土壤深度 >0.9m)	22.5
落叶大乔木 (土壤深度>1.0m)	20.2
落叶小乔木, 针叶木或疏叶性乔木 (土壤深度>1.0m)	13.43
大棕榈类(土壤深度>1.0m)	10.25
密植灌木丛 (高约 1.3m, 土壤深度>0.5m)	10.95
密植灌木丛 (高约 0.9m, 土壤深度>0.5m)	8.15
密植灌木丛(高约 0.45m, 土壤深度>0.5m)	5.13
多年生蔓藤(以立体攀附面积计量, 土壤深度>0.5m)	2.58
高草花花圃或高茎野草地(高约 1.0m, 土壤深度 0.3m)	1.15
一年生蔓藤、低草花花面或低茎野草地(高约 0.25土壤深 度>0.3m)	0.35
人工修剪草坪	0

注：1、附录G数据来源于2011年《中国绿色低碳住区技术评估手册》。

2、如附录中无相关数据，宜优先采用第三方机构核查数据，其次选用国家标准数据，最后按时间先后顺序选取文献数据。

浙江省勘察设计行业协会团体标准

浙江省勘察设计行业协会团体标准

浙江省勘察设计行业协会团体标准

附录H 光伏发电减排因子

H.1 表格规定

H.1.1 光伏发电减排因子应按表 H.1.1 选取。

表 H.1.1 光伏发电减排因子

地区	减排因子 kgCO ₂ e/KWh
华东地区	0.5246

注：1、附录 H 数据来源于《浙江省温室气体清单编制指南》（2022 年修订版）。

本标准用词说明

1 为了便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 标准中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《环境管理 生命周期评价 要求与指南》 GB/T 24044
- 2 《种植屋面工程技术规程》 JGJ 155-2013
- 3 《工业企业温室气体排放核算和报告通则》 GB/T 32150
- 4 《工程施工废弃物再生利用技术规范》 GB/T 50743
- 5 《民用建筑可再生能源应用核算标准》 DBJ33/T 1105

浙江省勘察设计行业协会团体标准

屋顶绿化模块碳足迹核算与碳标签评价标准

T/ZEDA 00X-2024

条文说明

编制说明

《屋顶绿化模块碳足迹核算与碳标签评价标准》T/ZEDA 00X-2024，经浙江省勘察设计行业协会浙设协{2024}18号文批准发布。

本标准制订过程中，编制组进行了广泛深入的调查研究，总结了我省屋顶绿化模块产品碳排放计算和屋顶绿化模块碳足迹核算的实践经验，同时参考了国内外相关先进技术法规、技术标准，通过现场勘察和产品核算取得了相关屋顶绿化模块的碳足迹重要技术参数。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，《屋顶绿化模块碳足迹核算与碳标签评价标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需要注意的有关事项进行了说明。但条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1	总则	43
2	术语和定义	44
4	核算方法	47
5	碳标签评价	58
6	结果应用	59

浙江省勘察设计行业协会团体标准

浙江省勘察设计行业协会团体标准

行业协会团体标准

1 总 则

1.0.1 根据国际标准化组织的定义，碳足迹的全生命周期评价指的是对一个产品系统的生命周期中输入、输出及其潜在环境影响的汇编和评价，其核算阶段包括完整的全生命周期，即原料获取、制造、配送销售、使用、废弃等五个阶段，以及部分生命周期，其中仅包括原料获取、运输和产品的制造三个阶段。

1.0.2 本标准选用的屋顶绿化模块的碳排放核算为部分生命周期碳排放的核算和量化指标评估。

2 术语和定义

2.0.2 生命周期是指产品系统中前后衔接的一系列阶段，从自然界或从自然资源中获取原料，直至最终处置。本标准规定的部分生命周期是生命周期评价中根据规定的目的和范围要求对清单分析和(或)影响评价的结果进行评估以形成结论和建议的阶段。

2.0.4 碳足迹是指对某一产品或活动在生命周期内直接及间接引起的温室气体排放量，以二氧化碳当量为单位，简而言之是指个人或企业的“碳耗用量”。其核算阶段包括完整的全生命周期（从摇篮到坟墓，B2C），即原料获取、制造、配送销售、使用、废弃等五个阶段；以及部分生命周期（从“摇篮”到“大门”，B2B），其中仅包括原料生产、原料运输、产品生产三个阶段。屋顶绿化模块碳足迹是单位面积的部分生命周期阶段的温室气体排放量之和。

2.0.5 温室气体是指大气层中自然存在的和由于人类活动产生的能够吸收和散发由地球表面、大气层和云层所产生的、波长在红外光谱内的辐射波的气态成分。温室气体包括但不限于二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）、氧化亚氮（N₂O）、氢氟碳化物（HFC_s）、全氟碳化物（PFC_s）和六氟化硫（SF₆）。

装配式建筑建造、运行、拆除过程中产生的温室气体主要为CO₂，为了统一度量整体温室效应的结果，规定以kgCO₂e为度量温室效应的基本单位。

通常可采用单位面积装配式建筑碳排放量对不同建筑设计方案和不同建筑物之间的碳排放进行比较，单位面积装配式建筑碳排放量由装配式建筑碳排放总量除以建筑面积得到。

2.0.6 二氧化碳当量是一种用作比较不同温室气体排放的度量单位，各种不同温室效应气体对地球温室效应的贡献度皆有所不同。为了统一度量整体温室效应的结果，又因为二氧化碳是人类活动产生温室效应的主要气体，因此，规定以二氧化碳当量为度量温室效应的基本单位。

2.0.7 温室气体活动数据是指在活动过程中产生的温室气体排放量，包括各种化石燃料消耗量、化石燃料低位发热量、购入用电量等。这些数据可以用来计算温室气体排放量，从而更好地了解人类活动对气候变化的影响。

2.0.8 温室气体排放因子是指每一种能源燃烧或使用过程中单位能源所产生的温室气体排放数量。

2.0.9 可再生能源是指太阳能、风能、水能、生物质能、地热能等非化石能源。可再生能源是绿色低碳能源，对于改善能源结构、保护生态环境、应对气候变化、实现经济社会可持续发展具有重要意义。按照国家标准《绿色建筑评价标准》GB/T 50378-2019的定义，可再生能源系统应包括太阳能光热系统、地源热泵系统、太阳能光伏发电系统、风力发电系统等。

在核算产品碳足迹时，若采用了可再生能源，需计算可再生能源减排量，从而降低产品碳足迹中的温室气体排放量。

2.0.10 再生利用是指建筑建造和拆除阶段产生的可再生利用的建筑废料，按其可替代的初生原料的碳排放的相关比例计算。

2.0.11 “碳标签”，也就是“碳足迹核算”，通过对产品全生命周期碳排放的计算分析，企业可将其产品的碳足迹以贴上“碳标签”的方式告知消费者，从而引导消费者的市场购买行为。所以，碳标签就是产品碳足迹的量化标注，“碳”耗用得越多，导致

地球变暖的二氧化碳也产生得多，碳足迹越大，标注在产品上的碳标签也就越大，反之，碳标签就小。

2.0.15 建筑工程的功能单位是指工程单位制中的主单位，包括 kg、t、 m^2 、 m^3 等。

4 核算方法

4.1 目标和范围

4.1.2 关于屋顶绿化模块的更换频率，这通常取决于多种因素，包括植物的生长速度、植物种类、当地气候条件、模块材料的质量以及维护保养的水平。

一般情况下，模块化屋顶绿化系统的设计使其具有较长的使用寿命，可能在几年内都不需要更换。例如，一些系统可能在安装后的 3-6 个月内，随着植物的生长，模块会逐渐被植物覆盖，此后可能只需进行定期的维护和个别模块的更换。

维护管理方面，需要定期检查植物的生长情况、模块的完整性以及排水和蓄水系统的工作状态。如果发现某个模块出现问题，如排水不畅或植物死亡，可能需要及时更换该模块。但这种更换通常是局部的，不需要整个系统同时更换。

总的来说，如果没有出现特殊情况，如材料老化、植物大规模死亡或系统损坏，模块化屋顶绿化系统的更换频率可能很低，可能几年才需要更换一次。然而，为了确保系统的健康和效率，定期的检查和维护是必不可少的。具体的更换频率应根据实际情况和专业维护人员的建议来确定。

4.2 核算单元

4.2.1 本标准根据屋顶绿化模块的碳足迹过程，梳理出下列核算单元，可以根据实际情况选择核算单元。

1 对于不同企业、不同规格的屋顶绿化模块，可分别核算碳足迹。

2 对于同一企业不同规格的屋顶绿化模块，可分别核算碳足迹。

3 对于同一企业、同一规格但不同产地的屋顶绿化模块，可分别核算碳足迹。

4 对于同一企业、同一规格、同一产地但不同原料来源的屋顶绿化模块，可分别核算碳足迹。

5 对于同一企业、同一规格、同一产地、同一原料来源但不同工艺流程的屋顶绿化模块，可分别核算碳足迹。

4.3 产品碳足迹核算

4.3.2 本条提供了原料生产排放量的计算公式。

1 屋顶绿化模块的原料主要消耗量通过查询设计图纸、工程量定额、配料清单等屋顶绿化模块产品加工相关技术资料确定。

2 屋顶绿化模块原料生产企业向屋顶绿化模块厂提供原料数据时，应提供第三方认证机构为原料企业出具的碳足迹证书，证书应提供产品碳足迹值。

4.3.3 本条提供了原料运输排放量的计算公式，主要考虑屋顶绿化模块原料运输阶段碳排放计算，理论上应包含：原料从生产地运到屋顶绿化模块加工厂的运输过程。考虑到目前运输工具的生产、运输道路等基础设施建设等过程的基础数据尚不完善，且此类过程分摊到建材运输上的环境影响较小，可忽略不计。

1 本条提供了能源碳排放量的计算公式。屋顶绿化模块生产阶段能源碳排放量主要是生产阶段天然气、汽油、柴油、燃气等能源的消耗量的碳排放量。

1.2 本条提供了电力碳排放量的计算公式。计算电力消耗造成碳排放时，应采用由生态环境部公布的全国或区域电力平均二氧化碳排放因子，2022年公布的全国统一电力排放因子为 $0.5810\text{kgCO}_2\text{e/kWh}$ ，2023年公布的全国统一电力排放因子为 $0.5703\text{kgCO}_2\text{e/kWh}$ 。

1.3 本条提供了外购热力碳排放量的计算公式。计算外购消耗造成的碳排放时，应采用外购热力厂提供的核查数据，也可以根据温室气体核查报告中的净购入热力活动水平数据进行核算。

3 可再生能源系统应包括太阳能热水系统、太阳能光伏系统、风力发电系统等。其中热水系统、地源热泵系统、空气源热泵系统需根据实际项目情况进行计算。可再生能源仅指用于屋顶绿化模块生产过程，不包括办公、生活等非生产过程。

3.1 太阳能光伏发电系统的发电量是动态变化的，太阳能资源逐时变化，且系统效率也受资源因素的影响。在设计阶段可以通过太阳能资源情况、系统形式等信息计算其发电量。目前的太阳能电池种类包括晶体硅电池、薄膜电池及其他材料电池。其中晶体硅电池又分为单晶电池、多晶电池和无定形硅薄膜电池等。对太阳能电池而言，最重要的参数是光电转换效率，在实验室所研发的硅基太阳能电池中，单晶硅电池效率为20.0%，多晶硅电池效率为18.4%，铜铟镓硒薄膜(CIGS)电池效率为16%，碲化镉(CdTe)薄膜电池效率为15%，而在实际应用中效率略低这一水平。表1提供了一些太阳能光伏组件水平安装时的单位面积年预测发电量，表2提供了太阳能光伏组件的倾角和方位角修正系数。

表 1 光伏组件水平安装时的单位面积年预测发电量

光伏组件类型		光伏组件的光电转化效率 η_p (%)	光伏组件水平安装时的单位面积年预测发电量 B_p [kWh/($m^2 \cdot a$)]
晶体硅	多晶硅	18.4	179
	单晶硅	20	194
薄膜	钙钛矿	16	155
	铜铟镓硒	16	155
	碲化镉	15	146
	其他	14	136

注：双面组件按正面效率计算。

表 2 太阳能光伏组件的倾角和方位角修正系数

倾角	方位角											
	-150°	-120°	-90°	-60°	-30°	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
110°	0.31	0.37	0.41	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.41	0.37	0.31	0.29
100°	0.35	0.42	0.47	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.48	0.41	0.35	0.32
90°	0.39	0.47	0.54	0.59	0.60	0.59	0.60	0.59	0.55	0.47	0.39	0.35
80°	0.44	0.53	0.61	0.67	0.69	0.69	0.70	0.67	0.62	0.53	0.44	0.39
70°	0.50	0.60	0.69	0.75	0.78	0.79	0.79	0.75	0.69	0.59	0.50	0.46
60°	0.57	0.66	0.75	0.82	0.86	0.88	0.87	0.82	0.75	0.66	0.57	0.53
50°	0.65	0.73	0.82	0.89	0.93	0.95	0.93	0.89	0.82	0.73	0.65	0.62
40°	0.73	0.80	0.87	0.94	0.98	1.00	0.98	0.94	0.88	0.80	0.73	0.70
30°	0.81	0.86	0.92	0.98	1.02	1.03	1.02	0.98	0.92	0.86	0.81	0.79
20°	0.89	0.92	0.96	1.00	1.03	1.04	1.03	1.00	0.96	0.92	0.89	0.88
10°	0.95	0.97	0.99	1.01	1.02	1.03	1.02	1.01	0.99	0.97	0.95	0.95

0°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

注：1.太阳能光伏组件的倾角指光伏组件向阳面的法向量与水平面法向量的夹角；

2.太阳能光伏组件的方位角指光伏组件向阳面的法向量在水平面上的投影与正南方向的夹角，水平面内正南方向为 0°，向西为正，向东为负；

3.当太阳能光伏组件的倾角和方位角与表中给出的数值不同时，修正系数可采用插值法确定。

太阳能光伏发电系统在光电转换和输配过程中存在能量损失，表 3 列出了常见环节的损失效率。

表 3 光伏发电系统损失效率

类型	损失效率
转换器损失	7.5%
组件遮光	2.5%
组件温度	3.5%
遮光	2.0%
失配和直流损失	3.5%
最大功率点失配误差	1.5%
交流损失	3.0%
其他	1.5%
总损失	25.0%

光伏系统光伏面板的净面积计算时不包括支撑结构。

3.2 本条提供了风力发电机组年发电量的简化计算公式。地形类别和相关系数见表4，风力涡轮机效率见表5。年可利用平均

风速为风速大于0 m/s 时刻的风速的平均值。8760为一年中的小时数。

表 4 地形类别和相关系数

地形类别	场地因子	地表粗糙系数
开阔平地	0.17	0.01
有护栏的农村，临时的农村建筑，房屋	0.19	0.05
郊区，厂区	0.22	0.30
平均高度超过15m的建筑占15%以上面积 积的市区	0.24	1.00

表 5 风力涡轮机效率

年可利用平均风速 (m/s)	小型涡轮机 ($<80\text{KW}$)	中型涡轮机 ($\geq 80\text{KW}$)
(0,3]	0%	0%
(3,4]	20%	36%
(4,5]	20%	35%
(5,6]	19%	33%
(6,7]	16%	29%
(7,8]	15%	26%
(8,9]	14%	23%
>9	14%	23%

4.3.7 本条提供了屋顶绿化模块运行阶段碳排放计算公式，应包含材料维护、能耗适用和碳汇的碳排放量。本条指的屋顶绿化模块运行阶段的养护管理包括屋顶绿化养护的灌溉管理、施肥管理、种植土补充、修剪整形、垃圾清理、有害生物防治、灾害处置、

设施维护、人员管理及档案管理。按不同绿化形式特征采取不同的管理方式，本次梳理出三种不同屋顶绿化形式，分别是花园式屋顶绿化、草坪式屋顶绿化、组合式屋顶绿化。这些形式的屋顶绿化在植物养护上需根据植物种类和生长特性差异以及对灌溉和修剪需求的不同进行区分计算；在景观设施管理上需根据景观元素的复杂程度差异进行区分计算；在承重与安全上需根据屋顶荷载压力的不同和安全防护重点的不同进行区分计算。

此外也需根据不同的屋顶绿化模块更换形式进行区分计算。本次梳理出以下三种更换形式，可以根据实际情况选择更换形式。如屋顶绿化模块容器、种植土、植物一起更换；或者种植土、植物一起更换；或者仅植物更换。

其中植物固碳能力与其叶片的形态、大小、厚度、气孔密度、光合作用相关酶的活性、叶绿素含量、光合作用类型、植物的生长周期和生命周期、光照强度、温度、水分、土壤质量和二氧化碳浓度等环境因素以及植物间的相互作用有关。现以冬冷夏热地区（华东地区）为标准。选用《温室气体自愿减排项目方法学 造林碳汇》方法学进行计算。

1 采用“储量变化法”计算项目边界内的生物质碳储量在一段时间内的年均变化量：

$$\Delta C_{\text{Biomass},T} = \frac{C_{\text{Biomass},t_2} - C_{\text{Biomass},t_1}}{t_2 - t_1} \times \frac{44}{12}$$

式中， $\Delta C_{\text{Biomass},T}$ ——项目开始第T年时植被生物质碳储量的年变化量（t CO₂-e · a⁻¹）；

C_{Biomass,t_1} ——第t₁年的植被生物质碳储量（tC）；

C_{Biomass,t_2} ——第t₂年的植被生物质碳储量（tC）；

44/12——将C转化为CO₂e的系数，无量纲；

T——计算生物质碳储量的时长（a）， $T=t_2-t_1$ ；

t_1, t_2 ——项目开始后的第 t_1 年和第 t_2 年（a），且 $t_1 \leq t \leq t_2$ 。

2 项目边界内所选碳库的生物质生物量计算方法如下：

$$B_{\text{TOTAL,SF,t}} = \text{AGB}_{\text{SF}} \times \text{CC}_{\text{SF,t}} \times (1 + \text{RSR}_{\text{SF}})$$

式中， $B_{\text{TOTAL,SF,t}}$ ——第 t 年时的灌木林单位面积全林生物量（t d. m. · hm⁻²）；

AGB_{AF} ——灌木林成熟稳定时的平均单位面积地上生物量（t d. m. · hm⁻²）；

$\text{CC}_{\text{SF,t}}$ ——第 t 年时的灌木林盖度，用小数表示（例如盖度10%记为0.10）；

RSR_{SF} ——灌木林的地下生物量/地上生物量比例，无量纲。

3 项目边界内所选碳库的生物质碳储量计算方法如下：

$$C_{\text{Biomass,t}} = \sum_i \sum_j (A_{i,j,t} \times B_{\text{Total},i,j,t} \times \text{CF}_{\text{Total},i,j})$$

式中， $C_{\text{Biomass,t}}$ ——第 t 年的植被生物质碳储量（tC）；

$A_{i,j,t}$ ——第 t 年第 i 碳层树种 j 的面积（hm²）；

$B_{\text{Total},i,j,t}$ ——第 t 年时第 i 碳层树种 j 的单位面积全林生物量（t d. m. · hm⁻²）

$\text{CF}_{\text{Total},i,j}$ ——第 i 碳层树种 j 的平均全林生物量含碳率（tC · t d. m.）；

表 6 代表性植物碳汇核算

序号	植被名称	植被的盖度 (%)	基径 (cm)	植株高度 (m)	固碳因子 $\text{kgCO}_2\text{e}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$
1	佛甲草	80%	0.5	0.15	0.25
2	垂盆草	80%	0.40	0.10	0.15
3	凹叶景天	70%	2.5	0.5	1.798
4	金叶景天	85%	0.50	0.1	0.21
5	白花景天	78%	0.75	0.15	0.3
6	红叶景天	60%	2.5	0.4	1.32
7	日本景天	78%	0.75	0.2	0.36
8	麦冬	68%	0.85	0.3	5.16
9	玉簪	68%	2.5	0.4	31.27
10	爬行百里香	88%	0.40	0.1	0.98
11	黑麦草	95%	0.1	0.30	0.31
12	结缕草	95%	0.2	0.15	0.52
13	鸢尾	60%	1.5	0.75	20.8
14	马蹄金	88%	0.75	0.2	4.12
15	薰衣草	68%	1.5	0.45	16.06
16	艾菊	78%	0.75	0.30	4.92
17	高羊茅	95%	0.2	0.75	1.69
18	小叶黄杨	58%	1.50	0.40	22.77
19	绣球	55%	3.00	0.75	26.72
20	忍冬	70%	1.00	0.75	34.01
21	迎春花	78%	1.50	0.75	37.65

4.3.8 本条提供了屋顶绿化模块拆除阶段碳排放量的计算公式，包含材料运输、材料回收利用的碳排放量。材料回收系数可根据生产企业当地核查数据，也可以参考下表7：

表 7 材料回收系数

材料名称	回收利用率	回收后材料种类	来源
钢	90%	粗钢	《建筑全生命周期的碳足迹》 (李岳岩, 陈静) 2020年出版
玻璃	80%	玻璃原料	《建筑全生命周期的碳足迹》 (李岳岩, 陈静) 2020年出版

4.3.10 屋顶绿化模块容器碳足迹已核查数据及来源。

表 8 屋顶绿化模块容器碳足迹已核查数据

屋顶绿化模块材料分类	屋顶绿化模块材料类别	碳足迹	来源
聚乙烯 (PE)	塑料	$2.5 \times 10^{-3} \text{kgCO}_2\text{e/t}$	PlasticsEurope
铝	金属	$8.6 \times 10^{-3} \text{kgCO}_2\text{e/t}$	European Aluminium Association
陶土	陶瓷	$0.8 \times 10^{-3} \text{kgCO}_2\text{e/t}$	EcoInvent Database
防腐木	木材	$0.6 \times 10^{-3} \text{kgCO}_2\text{e/t}$	USDA Forest Service
玻璃钢	复合材料	$5.5 \times 10^{-3} \text{kgCO}_2\text{e/t}$	ICF International

4.4 数据获取

4.4.1 通过查询设计图纸、采购清单等工程建设相关技术资料，可获得建筑的工程量清单、材料清单等数据，即建筑建造所需要的各种建筑材料的消耗量。

建材生产阶段碳排放计算的生命周期边界应采取“从摇篮到大门”的模型，即从建筑材料的上游原料、能源生产开始，到建筑材料出厂为止；包含建筑材料生产所涉及原料的开采、生产过程，建筑材料生产所涉及能源的开采、生产过程，建筑材料生产

所涉及原料、能源的运输过程和建筑材料生产过程。当其中某一过程碳排放缺失或被忽略时，应予以说明。

4.4.2 屋顶绿化模块生产企业生产数据获取

1 数据获取基本原则

屋顶绿化模块原料生产企业向屋顶绿化模块生产企业提供原料数据时，应提供第三方认证机构为原料生产企业出具的碳足迹证书，证书应提供产品碳足迹值。

屋顶绿化模块生产企业应提供核算碳足迹相关的台账、发票、监测数据等资料，并保证资料的准确性。

2 数据统计期

在获取温室气体排放因子时，应考虑时效性，原则上选取企业上一年度产品的碳足迹核查数据，当没有内勤年度数据时，统计数据的时间跨度应不少于6个月。

4.4.3 计算数据库选择的原则

数据库宜优先选用经第三方审核的建材碳足迹数据。当无第三方提供时，宜选用国家标准中的数据，其次是《中国产品全生命周期温室气体排放系数集（2022）》，《IPCC 温室气体清单指南（2006）》，最后是各类文献中的数据，按文献时间先后选取，优先选择最新的文献数据。

5 碳标签评价

5.1 产品碳标签分级

5.1.1 碳标签按照碳足迹可分为以下三个等级：

碳披露标签：声明产品或服务产生的温室气体排放量。

碳减量标签：在碳排放的基线水平上减碳一定比例，或达到低于同类一般产品的碳排放量。

碳领跑标签：在碳排放控制方面处于领先水平（如减量20%或20%以上）。

1 评价等级的设定原则

最高等级体现行业的最佳水平要求，是企业现阶段的努力目标，以促进减排技术的应用；最低等级体现行业的最低水平要求，应逐步淘汰减排技术落后的产品，促进低成本低碳技术普遍应用；中间等级应体现行业的平均水平要求，该值应能促使整个行业的碳排放水平逐步达到国家的中长期目标；级差设定应考虑目前的技术能力，市场状况以及碳减排技术发展潜力等因素；级差设定应考虑市场实际现状，使得各个等级内都覆盖适当数量的产品。

2 评价等级的选择原则

碳标签的选择应按该屋顶绿化模块所能达到的最高等级选取。

3 本标准推荐设置3个等级，分别对应碳披露标签、碳减量标签、碳领跑标签。

一般产品碳足迹指的是一个国家或地区在特定时间段内某产品的碳排放水平。

6 结果应用

6.0.1 就结果报告应对各阶段的碳排放进行分析。

1.1 各个阶段分析

表 9 产品全生命周期碳排放量

生命周期阶段	碳排放量 (kgCO ₂ e)	贡献值 (%)
原料获取阶段		
原料运输阶段		
产品生产阶段		
总计		

1.2 独立阶段分析

表 10 产品生产阶段碳排放量

产品生产阶段	影响项目	碳排放量 (kgCO ₂ e)	贡献值 (%)
燃料	天然气		
	柴油		
	汽油		
	外购电		
	外购热		
	其他能源		
可再生能源	太阳能热水系统		
	太阳能光伏发电		
	风力发电系统		
	地源热泵系统		
可回收材料利用	回收利用		
总计			

算例：

浙江宝业建筑设计研究院有限公司单元屋顶绿化模块碳足迹评价

1 项目名称：浙江宝业建筑设计研究院有限公司单元屋顶绿化模块碳足迹评价

2 核算数据日期：2023年1月—2023年12月

3 产品规格：500mm×500mm×150mm

屋面可铺设模块的面积是250 m²，需要用容器数量为1000个。假定佛甲草布置方式为80株/m²。

种植土厚度为200mm。选择耐旱、浅根系、低维护的佛甲草作为植被层。基质由轻质材料组成（珍珠岩为主的土壤基质），包括泥炭、珍珠岩、蛭石、砂等，以确保排水性、透气性和保水性，同时提供植物生长所需的营养。

其中4—11为屋顶绿化模块全生命周期碳排放计算。

4 原料生产碳排放量应按下列式计算：

$$GHG_{\text{原料生产}} = \sum_{i=1}^n M_{1,i} F_{1,i}$$

式中， $GHG_{\text{原料生产}}$ ——原料生产碳排放量（kgCO₂e）；

$M_{1,i}$ ——第*i*种原料的消耗量（t）；

$F_{1,i}$ ——第*i*种原料的碳排放因子（kgCO₂e/t），按本标准附录A取值。

表1 原料生产碳排放量计算表

类别	原料种类	碳排放因子 (kgCO ₂ e/t)	质量 (t)	碳排放量 (kgCO ₂ e)
----	------	----------------------------------	-----------	-------------------------------

3.5mm固土网格	聚丙烯	5980	1.23×10^{-4}	0.74
轻质种植基	珍珠岩	0.011	1.24×10^{-2}	0.0001
10mm过滤层	聚丙烯	5980	3.88×10^{-4}	2.32
吸水棉毡	无纺布	3820	7.50×10^{-5}	0.29
蓄排水板	高密度聚乙烯	2620	7.50×10^{-4}	1.97
模块容器	聚丙烯	5980	2.25×10^{-3}	13.46
卡件	聚丙烯	5980	3.00×10^{-4}	1.79
植物	佛甲草	-	1.73×10^{-3}	0.00
合计			1.80×10^{-2}	20.57

单个屋顶绿化容器： $GHG_{sc1} = \sum_{i=1}^n M_{1,i} F_{1,i}$
 $= 1.23 \times 10^{-4} \times 5980 + 1.24 \times 10^{-2} \times 0.011 + 3.88 \times 10^{-4} \times 5980 + 7.50 \times 10^{-5} \times 3820 + 7.50 \times 10^{-4} \times 2620 + 2.25 \times 10^{-3} \times 5980 + 3.00 \times 10^{-4} \times 5980 = 20.57 \text{kgCO}_2\text{e}$

5 原料运输阶段碳排放

原料运输碳排放量应按下式计算：

$$GHG_{\text{原料运输}} = \sum_{i=1}^n M_{1,i} D_{1,i} T_{1,i}$$

式中， $GHG_{\text{原料运输}}$ —原料运输碳排放量（ kgCO_2e ）；

$M_{1,i}$ ——第*i*种原料的重量 (t) ;

$D_{1,i}$ ——第*i*种原料运输距离 (km) , 从运料场地到生产所在地;

$T_{1,i}$ ——第*i*种原料的运输方式下, 单位重量运输距离的碳排放因子 [$\text{kgCO}_2\text{e}/(\text{t} \cdot \text{km})$] , 按本标准附录B取值。

运输碳排放因子取自附录B, 考虑整个项目1000个屋顶绿化模块总质量为18t, 符合重型货车10-49t的载重量, 故选择重型货车(浙江)的碳排放因子进行计算。

表2 原料运输碳排放量计算公式计算表

类别	原料种类	运输方式	碳排放因子 $\text{kgCO}_2\text{e}/(\text{t} \cdot \text{km})$	质量 (t)	平均运输距离 (km)	碳排放量 (kgCO_2e)
3.5mm固土网格	聚丙烯	重型货车 (浙江)	0.048	1.23×10^4	242.00	0.001
轻质种植基	珍珠岩	重型货车 (浙江)	0.048	1.24×10^2	91.70	0.055
10mm过滤层	聚丙烯	重型货车 (浙江)	0.048	3.88×10^4	208.00	0.004
吸水棉毡	无纺布	重型货车 (浙江)	0.048	7.50×10^5	169.80	0.001
蓄排水板	高密度聚乙烯	重型货车 (浙江)	0.048	7.50×10^4	161.50	0.006

模块容器	聚丙烯	重型货车 (浙江)	0.048	2.25×10^{-3}	161.50	0.017
卡件	聚丙烯	重型货车 (浙江)	0.048	3.00×10^{-4}	69.00	0.001
植物	佛甲草	重型货车 (浙江)	0.048	1.73×10^{-3}	41.00	0.003
合计						0.09

单个屋顶绿化容器： $GHG_{原料运输} = \sum_{i=1}^n M_{1,i} D_{1,i} T_{1,i}$
 $= 1.23 \times 10^{-4} \times 242 \times 0.048 + 1.2375 \times 10^{-2} \times 91.7 \times 0.048 + 3.88 \times 10^{-4} \times 208 \times 0.048 + 7.50 \times 10^{-5} \times 169.8 \times 0.048 + 7.50 \times 10^{-4} \times 161.5 \times 0.048 + 2.25 \times 10^{-3} \times 161.5 \times 0.048 + 3.00 \times 10^{-4} \times 69 \times 0.048 + 1.73 \times 10^{-3} \times 41 \times 0.048 = 0.09 \text{kgCO}_2\text{e}$

6 屋顶绿化模块容器、种植土生产碳排放量应按下式计算：

$$GHG_{产品生产} = GHG_{能源} + GHG_{废弃物处理} - GHG_{可再生能源}$$

式中， $GHG_{能源}$ ——屋顶绿化模块容器和种植土生产能源使用过程碳排放量（ kgCO_2e ）；

$GHG_{废弃物处理}$ ——屋顶绿化模块容器和种植土生产废弃物处理过程碳排放量（ kgCO_2e ）；

$GHG_{可再生能源}$ ——可再生能源利用碳减排量（ kgCO_2e ）；

6.1 屋顶绿化模块生产能源碳排放量应按下式计算：

$$GHG_{能源} = GHG_{燃料} + GHG_{电力} + GHG_{热力} + GHG_{其他}$$

式中， $GHG_{能源}$ ——屋顶绿化模块生产能源使用过程碳排放量（ kgCO_2e ）；

$GHG_{燃料}$ ——燃料燃烧产生的碳排放量（ kgCO_2e ）；

$GHG_{电力}$ ——使用外购电力产生的碳排放量（ kgCO_2e ）；

$GHG_{热力}$ ——使用外购热力产生的碳排放量（ kgCO_2e ）；

$GHG_{其他}$ ——生产过程中使用其他能源所产生的其他碳排放量，单位为（ $kgCO_2e$ ）。

1) 燃料碳排放量应按下列式计算：

$$GHG_{燃料} = \sum_{i=1}^n (C_i \times HV_i \times CPH_i \times OF_i \times 44/12)$$

式中， $GHG_{燃料}$ ——燃料燃烧产生的碳排放量（ $kgCO_2e$ ）；

i ——不同燃料类型；

C_i ——第*k*类燃料的消耗量（t）或（ m^3 ）；

HV_i ——第*k*类燃料的低位热值（TJ/t）或（TJ/ m^3 ）；

CPH_i ——第*k*类燃料的单位热值含碳量（t/TJ），按本标准附录C取值；

OF_i ——第*k*类燃料的氧化率（%），按本标准附录C取值；

44/12——二氧化碳与碳的相对分子质量之比。

2) 电力碳排放量应按下列式计算：

$$GHG_{电力} = EA \times EF$$

式中， $GHG_{电力}$ ——使用外购电力产生的碳排放量（ $kgCO_2e$ ）；

EA ——外购电力活动水平数据（kWh）；

EF ——外购电力温室气体排放因子，应采用由政府主管部门公布的区域电网平均碳排放因子（ $kgCO_2e/kWh$ ）。

3) 外购热力碳排放量应按下列式计算：

$$GHG_{热力} = HA \times HF$$

式中， $GHG_{热力}$ ——使用外购热力产生的碳排放量（ $kgCO_2e$ ）；

HA ——外购热力活动水平数据吉焦（GJ）；

HF ——外购热力碳排放因子吨二氧化碳每吉焦（ tCO_2e/GJ ）。

4) 其他能源碳排放量应按下列式计算：

$$GHG_{其他} = \sum_{i=1}^n E_i EF_i$$

式中， $GHG_{其他}$ ——生产过程中使用其他能源所产生的其他碳排放量（ $kgCO_2e$ ）；

E_i ——第*i*种能源活动水平数据（kg）或（kWh）；

EF_i ——第*i*种能源的碳排放因子（ $kgCO_2e/kWh$ ）或（ $kgCO_2e/kg$ ）。

电力碳排放因子参考附录J光伏发电减排因子，取值0.5246 $kgCO_2e/KWh$ 。

表3 屋顶绿化模块生产能源碳排放量计算表

能源名称	能源用量 (kWh)	碳排放因子 ($kgCO_2e/KWh$)	碳排放量 ($kgCO_2e$)
燃料	—	—	—
电力	2.54	0.5703	1.45
热力	—	—	—
其他能源	—	—	—

单个屋顶绿化容器： $GHG_{电力} = EA \times EF$

$$= 2.54 \times 0.5703 = 1.45 kgCO_2e$$

6.2 屋顶绿化模块生产过程中的废弃物处理应按式计算：

$$GHG_{废弃物处理} = \sum_{i=1}^n WA_i WF_i$$

式中， $GHG_{废弃物处理}$ ——生产过程废弃物处理产生的碳排放量（ $kgCO_2e$ ）；

WA_i ——第*i*种废弃物处理活动水平数据（t）或（ m^3 ）；

WF_i ——第*i*种废弃物处理碳排放因子（ $kgCO_2e/t$ ）或（ $kgCO_2e/m^3$ ）。

表4 屋顶绿化模块生产废弃物处理碳排放量计算表

废弃物处理过程中	单位	活动水平数据	碳排放因子	碳排放量
----------	----	--------	-------	------

的能源名称				(kgCO ₂ e)
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—

单个屋顶绿化容器： $GHG_{\text{废弃物处理}} = \sum_{i=1}^n WA_i WF_i = 0$

企业生产过程中未涉及废弃物处理，故该过程无排放。

6.3 屋顶绿化模块产品生产过程中可再生能源系统碳排放量
应按下式计算：

$$GHG_{\text{可再生能源}} = (Q_{Ls} + E_{pv} + E_{wt} + Q_{LD} + Q_{LK} + W_K + Q_{Lg}) \cdot EF_n \quad (4.3.4-8)$$

式中： EF_n ——电力平均二氧化碳排放因子 (kgCO₂/kWh)；

Q_{Ls} ——太阳能热水系统年能源消耗量 (kWh/a)；

Q_{Lp} ——太阳能光伏系统的年发电量 (kWh/a)；

E_{wt} ——风力发电机组的年发电量 (kWh/a)；

Q_{LD} ——地源热泵系统年能源消耗量 (kWh/a)；

Q_{LK} ——空气源热泵系统年能源消耗量 (kWh/a)；

W_K ——热水系统需要的热源消耗量 (kWh/a)；

Q_{Lg} ——其他可再生能源系统年综合利用量核算值 (kWh/a)

1) 太阳能光伏发电系统的年发电量应按下式计算：

$$Q_{Lp} = B_p \times K_p \times A_p$$

式中， Q_{Lp} ——太阳能光伏系统的年发电量 (kWh/a)；

B_p ——光伏组件水平安装时的单位面积年预测发电量
[kWh/(m²·a)]；

K_p ——光伏组件的倾角和方位角修正系数；

A_p ——光伏组件的总面积 (m²)。

表5 屋顶绿化模块生产可再生能源碳排放量计算表

能源名称	能源用	减排因子	碳排放量 (kgCO ₂ e)
------	-----	------	----------------------------

	量 (kWh)	(kgCO ₂ e/KWh)	
光伏发电	—	0.5246	—

屋顶绿化容器： $GHG_{\text{可再生能源}} = Q_{Lp} + E_{wt}$

浙江宝业建筑设计研究院有限公司单元屋顶绿化模块生产阶段未使用可再生能源，故该过程无可再生能源系统减排量。

小结：浙江宝业建筑设计研究院有限公司单元屋顶绿化模块碳足迹评价项目种屋顶绿化模块原料生产、原料运输、产品生产碳排放计算如下：

表6 屋顶绿化模块碳排放计算表

类型	碳排放量 (kgCO ₂ e/个)	数量 (个)	碳排放量 (kgCO ₂ e)
原料生产	20.57	1000	20570
原料运输	0.09	1000	90
能源	1.45	1000	1450
废弃物处理	—	—	—
可再生能源	—	—	—
合计			22110

7 除屋顶绿化模块外材料生产阶段碳排放应按下式计算：

$$GHG_{\text{生产}} = \sum_{i=1}^n M_i F_i$$

式中， $GHG_{\text{生产}}$ ——材料生产碳排放（kgCO₂e）；

M_i ——材料生产第*i*种材料的消耗量（t）；

F_i ——材料生产第*i*种材料的碳排放因子（kgCO₂e/t），

表7 屋顶绿化模块项目其他材料生产碳排放计算表

类型	碳排放因子 (kgCO ₂ e/kg)	数量 (kg)	碳排放量 (kgCO ₂ e)
再生胶	0.5562	300	166.86

整个项目50年1000个屋顶绿化模块再生胶总质量为0.3t胶，屋顶绿化项目生产阶段再生胶的碳排放量：

$$GHG_{\text{生产}} = \sum_{i=1}^n M_i F_i = 0.5562 \times 300 = 166.86 \text{kgCO}_2\text{e}$$

8 运输阶段碳排放应按下列式计算：

$$GHG_{\text{产品运输}} = \sum M_i D_{1,i} T_{1,i}$$

式中， $GHG_{\text{产品运输}}$ ——建材运输过程碳排放 (kgCO₂e)；

M_i ——第 i 种主要建材的消耗量 (t)；

$D_{1,i}$ ——第 i 种建材平均运输距离 (km)；

$T_{1,i}$ ——第 i 种建材的运输方式下，单位重量运输距离的碳排放因子 [kgCO₂e / (t · km)]。

运输碳排放因子取自附录B，考虑整个项目50年1000个屋顶绿化模块再生胶总质量为0.3t胶，符合轻型货车0.5-1.8t的载重量，故选择轻型货车（浙江）的碳排放因子进行计算。胶粘碳排放因子查附录F，取350.64kgCO₂e/t。

表7 屋顶绿化项目运输碳排放计算表

类型	运输方式	碳排放因子 (kgCO ₂ e / (t · km))	数量 (t)	平均运输距离 (km)	碳排放量 (kgCO ₂ e)
再生胶	轻型货车 (浙江)	0.082	0.3	77	0.60

屋顶绿化项目运输阶段： $GHG_{运输} = \sum_{i=1}^n M_i D_{1,i} T_{1,i} = 95 \times 10^{-3} \times 77 \times 0.082 = 1.89 \text{kgCO}_2\text{e}$

9 安装阶段碳排放应按下列式计算：

$$GHG_{安装} = GHG_{机械} + GHG_{措施项目}$$

式中， $GHG_{安装}$ ——屋顶绿化模块安装阶段碳排放量（ kgCO_2e ）；

$GHG_{机械}$ ——安装阶段施工机械能源消耗的碳排放（ kgCO_2e ）；

$GHG_{措施项目}$ ——安装阶段措施项目使用的碳排放量（ kgCO_2e ）；

1) 安装阶段施工机械能源消耗的碳排放量应按下列式计算：

$$GHG_{机械} = \sum_{i=1}^n Q_i F_i EF_i$$

式中， Q_i ——第*i*种分部分项工程的单位台班能源消耗量（ kWh/台班 或 kg/台班 ）；

F_i ——第*i*种分部分项工程的台班量（台班）；

EF_i ——第*i*种分部分项工程的能源碳排放因子（ kgCO_2/kWh 或 kgCO_2/kg ）。

2) 安装阶段措施项目使用的碳排放量应按下列式计算：

$$GHG_{措施项目} = GHG_{cz} + GHG_{cs}$$

式中， GHG_{cz} ——屋顶绿化模块建造阶段塔吊及其他设备碳排放量（ kgCO_2e ）；

GHG_{cs} ——屋顶绿化模块建造阶段措施项目中周转材料（模板、脚手架等）的碳排放量（ kgCO_2e ）。

3) 屋顶绿化模块建造阶段塔吊及其他设备碳排放应按下列式计算：

$$GHG_{cz} = GHG_{jsb} + GHG_{jsj}$$

$$GHG_{jsb} = (GHG_{js1} + GHG_{js2}) \times N$$

$$GHG_{jsj} = (GHG_{sjs} + GHG_{sjy} + GHG_{sjz} + GHG_{sjc}) \times N$$

式中， C_{cz} ——建造阶段塔吊及其他设备碳排放量（ kgCO_2e ）；
 C_{jsb} ——建造阶段塔吊及其他设备运输、安装和拆除碳排放量（ kgCO_2e ）；
 C_{jsj} ——建造阶段的措施项目设备基础材料的生产、运输、建造、拆除回收碳排放量（ kgCO_2e ）。
 C_{jsl} ——建造阶段措施项目中设备运输的碳排放量（ kgCO_2e ）；
 C_{js2} ——建造阶段措施费项目设备安装和拆除的碳排放量（ kgCO_2e ）；
 C_{sjs} ——建造阶段措施项目设备基础材料生产碳排放量（ kgCO_2e ）；
 $C_{s jy}$ ——建造阶段措施项目设备基础材料运输的碳排放量（ kgCO_2e ）；
 C_{jz} ——建造阶段措施项目设备基础建造的碳排放量（ kgCO_2e ）；
 C_{sjc} ——建造阶段措施项目设备基础拆除的碳排放量（ kgCO_2e ）；
 N —设备数量。

表8 屋顶绿化项目安装阶段碳排放计算表

类型	分项	台班量	单位台班能源消耗量	碳排放因子 ($\text{kgCO}_2\text{e}/\text{KWh}$)	碳排放量 (kgCO_2e)
施工机械 能源	中型起重 机	3	85kWh/台班	0.5703	145.43
	轻型挖 掘机	1	87kWh/台班	0.5703	49.62

措施项目	—	—	—	—	—
------	---	---	---	---	---

屋顶绿化项目安装阶段： $GHG_{\text{安装}} = GHG_{\text{机械}} + GHG_{\text{措施项目}} = 85 \times 3 \times 0.5703 + 87 \times 1 \times 0.5703 = 195.05 \text{kgCO}_2\text{e}$

10 运行阶段碳排放应按下式计算：

$$GHG_{\text{运行}} = GHG_{\text{材料维护}} + GHG_{\text{运行阶段能源}} - GHG_{\text{固碳}} + GHG_{\text{其他}}$$

式中， $GHG_{\text{运行}}$ ——屋顶绿化模块运行阶段碳排放量（ kgCO_2e ）；

$GHG_{\text{材料维护}}$ ——运行阶段由于材料维护产生的碳排放（ kgCO_2e ）；

$GHG_{\text{能源}}$ ——运行阶段由于能源使用产生的碳排放量（ kgCO_2e ）；

$GHG_{\text{碳汇}}$ ——运行阶段植被和种植土固碳量（ kgCO_2e ）；

$GHG_{\text{其他}}$ ——运行阶段除材料维护、能源使用、植被和种植土碳汇以外的管理方式的碳排放量（ kgCO_2e ），包括灌溉、修剪等。

1) 运行阶段由于材料维护产生的碳排放应按下式计算：

$$GHG_{\text{材料维护}} = mEF_{2,i} + \sum_{i=1}^n Q_i F_{1,i}$$

式中， m ——运行阶段屋顶绿化模块更换量（ m^3 ）；

$EF_{2,i}$ ——屋顶绿化模块碳排放因子（ $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^3$ ）；

Q_i ——除屋顶绿化模块外第*i*种维护材料使用量；

$F_{1,i}$ ——第*i*种维护材料的碳排放因子（ $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{t}$ ），按本标准附录A取值。

2) 运行阶段由于能源使用产生的碳排放应按下式计算：

$$GHG_{\text{运行阶段能源}} = \sum_{i=1}^n E_i EF_{3,i}$$

式中， $EF_{3,i}$ ——第*i*种能源的碳排放因子（ $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{kWh}$ ）；

E_i ——第*i*种能源消耗量（ kWh ）。

3) 运行阶段植被和种植土碳汇应按下式计算：

$$GHG_{\text{碳汇}} = \sum_{i=1}^n T_i F_i EF_i$$

式中， T_i ——运行时间（a）；

F_i ——第*i*种植物和种植土的面积（ m^2 ）；

EF_i ——第*i*种植物和种植土固碳因子 [$kg/(m^2 \cdot a)$]。

$EF_{2,i}$ —屋顶绿化模块碳排放因子= $22.110 \div (50 \times 50 \times 25 \times 10^{-9}) = 353.76 kgCO_2e/m^3$

更换按5年一次更换，每次更换模块数量按25%，20年更换完一次，50年更换完2.5次，更换的数量为 $50 \times 50 \times 25 \times 10^{-9} \times 1000 \times 2.5 = 156.25 m^3$

用水的碳排放因子取自附录A，为 $0.43 kgCO_2e/m^3$ ；

碳汇的固碳因子取自附录G人工修剪草坪，固碳因子为 $0 kgCO_2e/(m^2 \cdot a)$ ；

佛甲草的使用质量为 $1.73 \times 10^{-3} \times 1000 \times 2.5 = 4.325 t$ ；

珍珠岩的使用质量为 $1.24 \times 10^{-2} \times 1000 \times 2.5 = 31 t$ 。

表9 屋顶绿化项目运行阶段碳排放计算表

类型	材料消耗	数量	碳排放因子	碳排放量 ($kgCO_2e$)
材料维护	模块	$156.25 m^3$	$353.76 kgCO_2e/m^3$	55275
	胶粘	0.3t	$350.64 kgCO_2e/t$	105.19
能耗使用	用水	$1642.41 m^3$	$0.43 kgCO_2e/m^3$	706.24
碳汇	佛甲草	4.325t	$0 kgCO_2e/(m^2 \cdot a)$	0

	珍珠岩	31t	a)
--	-----	-----	----

屋顶绿化项目运行阶段： $GHG_{\text{运行}} = GHG_{\text{材料维护}} + GHG_{\text{运行阶段能源}} - GHG_{\text{固碳}} + GHG_{\text{其他}} = 156.25 \times 353.76 + 0.3 \times 350.64 + 1642.41 \times 0.43 - 0 = 56086.43 \text{kgCO}_2\text{e}$

11 拆除阶段碳排放应按下式计算：

$$GHG_{\text{拆除}} = GHG_{\text{拆除机械}} + GHG_{\text{材料运输}} - GHG_{\text{回收利用}}$$

式中， $GHG_{\text{拆除}}$ ——屋顶绿化模块拆除阶段碳排放量（ kgCO_2e ）；

$GHG_{\text{拆除机械}}$ ——拆除阶段拆除机械的碳排放（ kgCO_2e ）；

$GHG_{\text{材料运输}}$ ——拆除阶段材料运输的碳排放（ kgCO_2e ）；

$GHG_{\text{回收利用}}$ ——拆除阶段回收再利用的碳排放量（ kgCO_2e ）。

$$GHG_{\text{回收利用}} = \sum_{i=1}^n (M_{Di} \times DF_i \times \eta_i)$$

式中， M_{Di} ——第*i*类回收材料的回收量 t 或 m^3 ；

DF_i ——第*i*类回收处理后可利用材料的碳排放因子（ $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{t}$ ）或（ $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^3$ ）；

η_i ——第*i*类回收材料可回收比例。

回收运输和从工厂到浙江宝业建筑设计研究院有限公司距离相同，取77km，采用重型货车运输，屋顶绿化模块容器可回收量为50%。每次更换使用起重机、挖掘机等电动设备，中型起重机（同中型货车）3台，台班数1，轻型挖掘机（同轻型货车）1台，台班数为1台班。中型起重机取85kWh/台班，轻型挖掘机取87kWh/台班。

50年更换使用的中型起重机（同中型货车）30台，台班数1，轻型挖掘机（同轻型货车）10台，台班数为1台班。

50年更换的质量为 $1.80 \times 10^{-2} \times 1000 \times 2.5 = 450\text{t}$

50年回收的质量为 $3.00 \times 10^{-4} \times 1000 \times 2.5 \times 0.5 = 0.375t$ ，聚丙烯的碳排放因子参考附录A取值 $5980\text{kgCO}_2\text{e/t}$ 。

表10 屋顶绿化项目拆除阶段碳排放计算表

类型	分项	数量	能源用量	碳排放因子	碳排放量 (kgCO_2e)
拆除机械	中型起重机	30台	85kWh/台班	$0.5703\text{kgCO}_2\text{e/KWh}$	1454.27
	轻型挖掘机	10台	87kWh/台班	$0.5703\text{kgCO}_2\text{e/KWh}$	496.16
材料运输	产品更换	450t	77km	$0.048\text{kgCO}_2\text{e}/(\text{t} \cdot \text{km})$	1663.20
回收利用	材料回收	0.37 5t	/	5980 $\text{kgCO}_2\text{e/t}$	2242.50
合计					1371.13

屋顶绿化项目拆除阶段： $GHG_{\text{拆除}} = GHG_{\text{拆除机械}} + GHG_{\text{运输}} - GHG_{\text{回收利用}}$
 $GHG_{\text{回收利用}} = (85 \times 30 + 87 \times 10) \times 0.5703 + 450 \times 77 \times 0.048 - 0.375 \times 5980 = 1371.13\text{kgCO}_2\text{e}$

本次屋顶绿化模块项目碳排放：

$GHG_{\text{屋顶绿化模块}} = GHG_{\text{原料生产}} + GHG_{\text{原料运输}} + GHG_{\text{产品生产}} + GHG_{\text{产品运输}} + GHG_{\text{安装}} + GHG_{\text{运行}} + GHG_{\text{拆除}}$
 $= 22110 \times 2.5 + 166.86 + 0.6 + 195.05 + 56086.43 - 1371.13 = 110352.81\text{kgCO}_2\text{e}$

单位面积屋顶绿化模块碳足迹：

$E_{\text{碳足迹}} = GHG_{\text{碳排放量}} / P$
 $= 110352.81 / 250 = 441.41\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$