

ICS 13.020
CCS Z 04

团 体 标 准

T/CSTE 0064—2021

光伏电站运营碳中和通用规范

General specification for carbon neutralization of
photovoltaic power station operation

2021-07-20 发布

2021-07-20 实施

中 国 技 术 经 济 学 会 发布

CSTE



版权保护文件

版权所有归属于该标准的发布机构，除非有其他规定，否则未经许可，此发行物及其章节不得以其他形式或任何手段进行复制、再版或使用，包括电子版、影印版，或发布在互联网及内部网络等。使用许可可与发布机构获取。

目 次

前 言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 碳中和承诺.....	3
5 温室气体排放量化.....	3
6 温室气体减排.....	4
7 温室气体排放抵消.....	5
8 碳中和评价.....	5
9 碳中和声明.....	6
附录 A（规范性） 光伏电站运营活动温室气体排放核算方法.....	7
参考文献.....	18

前 言

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

本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国技术经济学会提出并归口。

本文件起草单位：通威股份有限公司、通威新能源有限公司、中国船级社质量认证公司、四川渔光物联技术有限公司、国家电投集团西南能源研究院有限公司、国能大渡河新能源投资有限公司。

本文件主要起草人：刘汉元、陈星宇、邱艾松、何一弘、邓卫平、李念福、冷刚、杨勇、唐霖、赵文莱、马林、王永爽、赵莉雅、彭名兰、陈红、方铖、张瑜、胡晓明、安明、田野、谭瑶、武晓斌、张丹、张洪、甘霖。

本文件为首次发布。

光伏电站运营碳中和通用规范

1 范围

本文件规定了光伏电站运营阶段实施碳中和活动的各项要求，包括碳中和承诺、温室气体排放量、温室气体减排、温室气体排放抵消、碳中和评价以及碳中和声明等。

本文件适用于已并网的光伏发电站，包括与渔业、农业、畜牧业等结合建设的光伏发电站，不适用于建筑一体化光伏发电站。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件，不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 32150 工业企业温室气体排放核算和报告通则

GB/T 38335 光伏电站运行规程

3 术语和定义

GB/T 32150、GB/T 38335界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

光伏发电站 photovoltaic power station

将太阳辐射能直接转换成电能的发电站。

注：光伏发电站包括光伏发电系统，以及各类建（构）筑物和检修、维护、生活等辅助设施。

[来源：GB/T 38335，3.4]

3.2

光伏发电站运营 operation of photovoltaic power station

光伏发电站运营包括运行控制、巡检和日常维护、异常运行及故障处理等；如与渔业、农业、畜牧业结合建设的光伏电站，也包括该渔业、农业、畜牧业部分的生产运营。

3.3

温室气体 greenhouse gas

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份。

注：本文件涉及的温室气体为二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）、氧化亚氮（N₂O）、六氟化硫（SF₆）、氢氟碳化物（HFCs）

[来源：GB/T 32150-2015，3.1]

3.4

温室气体源 greenhouse gas source

向大气中排放温室气体的物理单元或过程。

[来源：GB/T 32150-2015，3.5]

3.5

温室气体排放 greenhouse gas emission

在特定的时段内释放到大气中的温室气体总量（以质量单位计算）。

[来源：GB/T 32150-2015，3.6]

3.6

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：如各种化石燃料的消耗量、原材料的使用量、购入的电量、购入的热量等。

[来源：GB/T 32150-2015，3.12]

3.7

排放因子 emission factor

表征单位生产或消费活动量的温室气体排放的系数。

[来源：GB/T 32150-2015，3.13]

3.8

直接排放 direct emission

光伏电站运营过程中，光伏电站拥有或控制的温室气体源的温室气体排放，如使用化石燃料、经营农牧渔业、使用六氟化硫设备与灭火系统等产生的温室气体排放。

3.9

间接排放 indirect emission

光伏电站运营过程中，非光伏电站拥有或控制的温室气体源的温室气体排放，如使用外部电力和热力、员工通勤和商务差旅等，以及由其他组织产生的温室气体排放。

注：其他组织是指与光伏电站运营过程相关的外部组织，如合同施工方、运输方等。

3.10

全球变暖潜势 global warming potential

GWP

将单位质量的某种温室气体在给定时间段内辐射强迫的影响与等量二氧化碳辐射强度影响相关联的系数。

[来源：GB/T 32150-2015，3.15]

3.11

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气体的质量乘以它的全球变暖潜势。

[来源：GB/T 32150-2015，3.16]

3.12

温室气体减排 greenhouse gas reduction

引起光伏电站温室气体排放量减少的过程或活动。

3.13

碳配额 carbon allowance

在碳排放权交易市场下，参与碳排放权交易的单位和个人依法取得，可用于交易和碳市场重点排放单位温室气体排放量抵扣的指标。1个单位碳配额相当于1吨二氧化碳当量。

3.14

碳信用 carbon credit

温室气体减排项目按照有关技术标准和认定程序确认减排量化效果后，由相关主管部门或国际组织签发或其授权机构签发的碳减排指标。碳信用的计量单位为碳信用额，1个碳信用额相当于1吨二氧化碳当量。

3.15

碳中和 carbon neutrality

在一定时间与范围内，因光伏电站运营活动导致进入大气的温室气体量与清除的量相等，达到“净零排放”状态。

4 碳中和承诺

4.1 光伏电站所属组织的最高管理者应作出碳中和承诺，分配相关的职责与权限，并确保相关资源的获得。

4.2 应设有碳中和工作管理机构，负责有关制度建设、实施、考核及奖励工作，建立目标责任制。

4.3 碳中和工作管理机构应根据温室气体量化结果选择基准年，制定中长期碳中和规划、目标及实施方案，并形成文件。

5 温室气体排放量化

5.1 确定核算边界

核算边界应包括光伏电站运营控制范围，时间范围应以一年为期。

5.2 核算步骤与方法

5.2.1 识别温室气体源与温室气体种类

在核算边界内，应按照附录A（规范性）对光伏电站运营活动的温室气体源与温室气体种类进行识别，包括直接排放、间接排放。

5.2.2 核算方法

碳中和工作管理机构应根据识别出的温室气体源与温室气体种类，按照附录A（规范性）采用排放因子法核算光伏电站运营活动所产生的温室气体排放量，见公式（1）：

$$E = \sum_{i=1}^n (AD_i \times EF_i \times GWP_i) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

E ——温室气体排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO₂e）；

AD_i ——第*i*种温室气体活动数据，单位根据具体排放源确定；

EF_i ——第*i*种温室气体排放因子，单位与活动数据的单位相匹配；

GWP_i ——第*i*种温室气体的全球变暖潜势。

5.2.3 获取活动数据与排放因子

按照本文件附录A（规范性），收集温室气体活动数据，选取相应的排放因子，记录数据来源并保存相关证据文件。

5.2.4 计算与汇总温室气体排放量

按照本文件附录A（规范性），核算光伏电站运营活动产生的直接排放和间接排放并汇总。所有温室气体排放量均应折算为二氧化碳当量。

6 温室气体减排

6.1 能源与资源节约

6.1.1 光伏发电区

光伏发电区运营要求：

- a) 应及时更换故障或低效光伏组件并妥善处置废弃组件，更换组件应选取技术先进、节能环保产品；
- b) 应建立含氟温室气体管理制度，对设备维修或退役过程中排放的含氟温室气体进行回收处理，记录购入、使用、回收、废弃量明细；
- c) 宜利用雨水、中水清洁光伏面板，提高非传统水源利用率。

6.1.2 农、牧、渔业区

农、牧、渔业区运营要求：

- a) 农、牧、渔业生产用电应以光伏电站自发电为主；
- b) 农业生产宜优化种植组合结构，生产过程清洁化、标准化，实现耕地养分循环；
- c) 农业生产宜进行测土配方施肥，合理施用秸秆等有机添加物，减少化肥施用；
- d) 畜牧业、渔业宜发展生态养殖，实现养殖品种共生互补、养殖系统内自然物质循环平衡；
- e) 畜牧业、渔业集约化养殖宜实施智慧化、自动化管理，精细化投喂饲料，提高饲料氮利用率；
- f) 畜牧业、渔业养殖粪污宜开展有机肥还田利用、沼气和生物天然气生产使用等资源化利用；

g) 渔业养殖宜增设曝气增氧设备，调节改善池塘养殖水质。

6.1.3 办公与生活区

办公与生活区要求：

- a) 应因地制宜建设分布式可再生能源发电系统；
- b) 应充分利用自然光照明，合理设置空调温度，采取适宜的节能、节水措施。

6.2 环境保护

6.2.1 应在运营区实施绿化。

6.2.2 应做好水土流失防护，减少对地表及植被的扰动。

6.3 绿色运营

6.3.1 应就近雇佣电站运营工作人员，减少通勤排放。

6.3.2 宜采用无人机巡检、智能化少人值守，提高巡检效率，节约人工。

6.3.3 应推广日常无纸化、信息化办公。

6.3.4 运营车辆宜以电力或清洁能源为动力。

7 温室气体排放抵消

7.1 抵消要求

碳中和工作管理机构应严格执行碳中和计划，实施碳温室气体减排行动，并通过新建林业项目产生碳汇量或（和）购买碳配额、碳信用量的方式，抵消运营活动产生的温室气体排放。

新建林业项目产生碳汇量、碳配额、碳信用应满足如下要求：

a) 新建林业项目碳汇

——新建林业项目碳汇量产生的时间不得早于光伏电站正式运营时间；

——碳汇量应参照国家应对气候变化主管部门公布的造林/再造林领域温室气体自愿减排方法学核算，并经具有相应资质的温室气体自愿减排交易项目审定与核证机构核证；

——新建林业项目的碳汇量用于碳中和之后，不得再作为温室气体自愿减排项目或者其他减排机制项目重复开发，也不可再用于开展其他活动或项目的碳中和。

b) 碳配额、碳信用

——全国或试点碳排放权交易机制的碳配额；

——中国温室气体自愿减排项目产生的“经核证自愿减排量”（CCER）；

——经省级及以上应对气候变化主管部门认可的碳减排或碳普惠项目产生的减排量；

——经联合国清洁发展机制（CDM）或其他国际减排机制签发的中国项目温室气体减排量。

7.2 实现碳中和

7.2.1 用于抵消的碳汇、碳配额、碳信用或其组合应大于等于年度运营活动所产生的温室气体排放总量，抵消时间应不晚于碳中和承诺期限。

7.2.2 碳中和工作管理机构应主动公开新建林业项目碳汇信息，保存碳配额、碳信用购买凭证和（或）注销凭证，确保抵消过程记录可追溯。

8 碳中和评价

8.1 碳中和工作管理机构应委托符合 ISO 14065 相关要求并经中国合格评定国家认可委员会认可的第三方评价机构开展碳中和评价，确认光伏电站运营活动碳中和活动符合本文件要求。

8.2 碳中和工作管理机构应获得是否实现碳中和的第三方评价结论，保存相关证据文件并对真实性负责。

9 碳中和声明

9.1 通过第三方机构评价之后，光伏电站所属组织可向社会做出公开声明。

9.2 声明的内容应包括：

- 组织名称；
- 光伏电站基本信息；
- 实施的温室气体减排措施；
- 温室气体排放核算边界、时间范围；
- 包括的温室气体排放源与气体种类；
- 温室气体排放量化结果；
- 温室气体排放抵消方式及抵消量；
- 实现碳中和日期；
- 第三方机构名称及评价结论。

9.3 声明应由组织的最高管理者或授权代表签署并注明日期。

附录 A

(规范性)

光伏电站运营活动温室气体排放核算方法

A.1 温室气体源与温室气体种类识别

光伏电站运营活动温室气体排放源与温室气体种类应至少包含表A.1列出的内容。

表A.1 光伏电站运营活动温室气体排放源

核算范围	温室气体源类型	温室气体源识别	温室气体种类
直接排放	化石燃料燃烧	化石燃料燃烧排放	CO ₂
	运营过程其他排放	农牧种植用地氧化亚氮排放	N ₂ O
		动物肠道发酵甲烷排放	CH ₄
		畜禽粪便管理甲烷和氧化亚氮排放	CH ₄ 、N ₂ O
		水产养殖过程二氧化碳、甲烷和氧化亚氮排放	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O
	逸散排放	使用六氟化硫设备检修与退役过程的排放	SF ₆
		使用七氟丙烷灭火系统的排放	HFCs
间接排放	使用电网电力	电站主体外输入电力的排放	CO ₂
	使用外购热力	电站主体外输入热力、热水或蒸汽的排放	CO ₂
	员工通勤、商务差旅	交通工具化石燃料燃烧排放	CO ₂
	由其他组织负责的产品、原料、人员或废物的运输	运输车辆化石能源燃烧排放	CO ₂
	由其他组织按合同生产所产生的排放	委外施工、农牧渔业种植/养殖产生的排放	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O

A.2 直接排放

A.2.1 化石燃料燃烧排放

化石燃料燃烧排放包括煤、石油、天然气等化石燃料在各种类型的固定或移动燃烧设备（如车辆、发电机等）中发生氧化燃烧过程产生的温室气体排放，按公式A.1计算。

$$E_{\text{化石燃料}} = \sum_{i=1}^n (AD_i \times EF_i) \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

$E_{\text{化石燃料}}$ ——消耗的化石燃料燃烧产生的CO₂排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO₂e）；

AD_i ——燃烧的第*i*中化石燃料总能量，单位为吉焦（GJ）；

EF_i ——第*i*种燃料的排放因子（tCO₂/GJ）；

i ——化石燃料种类。

其中，消耗的化石燃料的活动水平数据 AD_i 和排放因子 EF_i 按照公式A.2和A.3计算：

$$AD_i = NCV_i \times FC_i \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

NCV_i ——核算期内第*i*种化石燃料的平均低位发热量,对固体和液体燃料,单位为吉焦每吨(GJ/t);
对气体燃料,单位为吉焦每万标立方米(GJ/10⁴ Nm³),取值见表A.2;

FC_i ——核算期内第*i*种化石燃料的消耗量,对固体和液体燃料,单位为吨(t);对气体燃料,
单位为万标立方米(10⁴ Nm³)。

i ——化石燃料种类。

$$EF_i = CC_i \times OF_i \times 44/12 \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

CC_i ——燃料*i*的单位热值含碳量,单位为吨碳每吉焦(tC/GJ),取值见表A.2;

OF_i ——燃料*i*的碳氧化率,无量纲,以%表示,取值见表A.2;

44/12 ——CO₂与C的转换系数,单位为吨二氧化碳每吨碳(tCO₂/tC)

i ——化石燃料种类。

表A.2 化石燃料相关参数缺省值

燃料品种		计量单位	低位发热量 GJ/t 或 GJ/万Nm ³	单位热值含碳量 tC/GJ	燃料碳氧化率 %
固体 燃料	无烟煤	t	26.7 ^c	27.4×10 ^{-3 b}	89.5 ^e
	烟煤	t	22.4 ^e	26.1×10 ^{-3 e}	83.6 ^e
	褐煤	t	14.1 ^e	28.0×10 ^{-3 e}	83.6 ^e
	洗精煤	t	26.334 ^a	25.41×10 ^{-3 b}	90 ^b
	其他洗煤	t	12.545 ^a	25.41×10 ^{-3 b}	90 ^b
	型煤	t	17.460 ^d	33.6×10 ^{-3 b}	90 ^b
	其他煤制品	t	17.460 ^d	33.6×10 ^{-3 b}	98 ^b
液体 燃料	燃料油	t	41.816 ^a	21.1×10 ^{-3 b}	98 ^e
	汽油	t	44.8 ^e	18.9×10 ^{-3 e}	98 ^e
	柴油	t	43.3 ^e	20.2×10 ^{-3 e}	98 ^e
	一般煤油	t	44.8 ^e	19.6×10 ^{-3 e}	98 ^e
	液化天然气	t	41.9 ^e	17.2×10 ^{-3 e}	98 ^e
	液化石油气	t	47.3 ^e	17.2×10 ^{-3 e}	98 ^e
	其他石油制品	t	40.2 ^c	20.0×10 ^{-3 b}	98 ^b
气体 燃料	天然气	万Nm ³	389.31 ^a	15.3×10 ^{-3 b}	99 ^e
	焦炉煤气	万Nm ³	179.81 ^a	13.58×10 ^{-3 b}	99 ^e
	管道煤气	万Nm ³	158.0 ^e	12.2×10 ^{-3 e}	99 ^e
	其他煤气	万Nm ³	52.270 ^a	12.2×10 ^{-3 b}	99 ^b

- ^a 数据取值来源为《中国能源统计年鉴2013》。
- ^b 数据取值来源为《省级温室气体清单指南（试行）》。
- ^c 数据取值来源为《2006年IPCC国家温室气体清单指南》。
- ^d 数据取值来源为《中国温室气体清单研究》（2007）。
- ^e 数据取值来源为《公共建筑运营企业温室气体排放核算方法和报告指南（试行）》

A.2.2 运营过程其他排放

a) 农牧种植用地氧化亚氮排放

农牧种植用地在施用氮肥、有机添加物情况下均会产生氧化亚氮排放。采用以下公式计算项目边界内施肥造成的氧化亚氮排放量：

$$E_{\text{种植用地N}_2\text{O}} = (F_{SN} + F_{ON}) \times EF_{N_2O} \times 44 / 28 \times GWP_{N_2O} \dots\dots\dots (\text{A.4})$$

式中：

- $E_{\text{种植用地N}_2\text{O}}$ ——施用氮肥和有机添加物所产生的 N_2O 排放，转换为 CO_2 当量（ tCO_2e ）；
- F_{SN} ——扣除以 NH_3 和 NO_x 形式挥发的N后的氮肥施用量，单位为吨氮（t-N）；
- F_{ON} ——扣除以 NH_3 和 NO_x 形式挥发的N后的有机添加物施用量，单位为吨氮（t-N）；
- EF_{N_2O} ——肥料的 N_2O 排放因子，单位为吨氧化亚氮-氮每吨氮（ $\text{tN}_2\text{O-N/t-N}$ ），取缺省值0.01；
- 44/28 —— N_2O 和N的转换系数，单位为吨氧化亚氮每吨氧化亚氮-氮（ $\text{tN}_2\text{O/tN}_2\text{O-N}$ ）；
- GWP_{N_2O} —— N_2O 的全球变暖潜值，单位为吨二氧化碳当量每吨氧化亚氮（ $\text{tCO}_2\text{e/tN}_2\text{O}$ ），取缺省值310。

扣除以 NH_3 和 NO_x 形式挥发的N外，氮肥施用量按如下计算：

$$F_{SN} = \sum (M_{SF_i} \times NC_{SF_i}) \times (1 - \text{Frac}_{GASF}) \dots\dots\dots (\text{A.5})$$

式中：

- F_{SN} ——扣除以 NH_3 和 NO_x 形式挥发的N以外，氮肥施用量，单位为吨氮（t-N）；
- M_{SF_i} ——第*i*种氮肥施用量，单位为吨（t）；
- NC_{SF_i} ——第*i*种氮肥的含氮量，单位为吨氮每吨（ t-N/t ）；
- Frac_{GASF} ——氮肥以 NH_3 和 NO_x 形式挥发的比例，无量纲，取缺省值0.1；
- i* ——氮肥类型。

扣除以 NH_3 和 NO_x 形式挥发的N外，有机添加物施用量按如下计算：

$$F_{ON} = \sum_j (M_{OF_j} \times NC_{OF_j}) \times (1 - \text{Frac}_{GASM}) \dots\dots\dots (\text{A.6})$$

式中：

- F_{ON} ——扣除以 NH_3 和 NO_x 形式挥发的N以外，有机添加物施用量，单位为吨氮（t-N）；
- M_{OF_j} ——第*j*种有机添加物施用量，单位为吨氮（t）；
- NC_{OF_i} ——第*j*种有机添加物的含氮量，单位为吨氮每吨（ t-N/t ）；
- Frac_{GASM} ——有机添加物以 NH_3 和 NO_x 形式挥发的比例，无量纲，取缺省值0.2；
- j* ——有机添加物类型。

b) 动物肠道发酵甲烷

动物肠道发酵甲烷排放等于动物的存栏数量乘以排放因子，然后将各种动物的排放量求和得到总排放量，不包括粪便的甲烷排放。

动物肠道发酵甲烷排放源包括非奶牛、水牛、奶牛、山羊、绵羊、猪、马、驴、骡和骆驼。特定类型动物的年肠道发酵甲烷排放量，按照公式A.7进行计算。

$$E_{\text{肠道发酵CH}_4} = \sum_{i=1}^n (EF_i \times AP_i) \times GWP_{\text{CH}_4} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (\text{A.7})$$

式中：

- $E_{\text{肠道发酵CH}_4}$ ——动物肠道发酵甲烷排放量，转换为CO₂当量（tCO₂e）；
 EF_i ——第*i*种动物肠道发酵甲烷排放因子，单位为千克每头每年[kg/(头·a)]，取值如表A.3所示；
 AP_i ——第*i*种动物的数量，单位为头或只（头/只）；
 GWP_{CH_4} ——NH₄的全球变暖潜值，单位为吨二氧化碳当量每吨甲烷（tCO₂e/tNH₄），取缺省值21；
i ——动物养殖种类。

表A.3 动物肠道发酵甲烷排放因子[kg/(头·a)]

饲养方式	奶牛	非奶牛	水牛	绵羊	山羊	猪	马	驴/骡	骆驼
规模化饲养 ^a	88.1	52.9	70.5	8.2	8.9	1	18	10	46
农户散养 ^a	89.3	67.9	87.7	8.7	9.4				
放牧饲养 ^a	99.3	85.3	—	7.5	6.7				
^a 数据取值来源为《省级温室气体清单指南（试行）》。									

c) 畜禽粪便管理甲烷和氧化亚氮

畜禽动物粪便管理甲烷排放源包括猪、非奶牛、水牛、奶牛、山羊、绵羊、家禽、马、驴、骡和骆驼。特定类型动物的年粪便管理甲烷和氧化亚氮排放量，按照公式A.8进行计算。

$$E_{\text{粪便管理CH}_4\text{和N}_2\text{O}} = \left(\sum_{i=1}^n (EF_{\text{CH}_4,i} \times AP_i) \times GWP_{\text{CH}_4} + \sum_{i=1}^n (EF_{\text{N}_2\text{O},i} \times AP_i) \times GWP_{\text{N}_2\text{O}} \right) \times 10^{-3} \dots (\text{A.8})$$

式中：

- $E_{\text{粪便管理CH}_4\text{和N}_2\text{O}}$ ——畜禽粪便管理CH₄和N₂O排放量，转换为CO₂当量（tCO₂e）；
 $EF_{\text{CH}_4,i}$ ——第*i*种动物粪便管理CH₄排放因子，单位为千克每头每年[kg/(头·a)]，取值如表A.4所示；
 $EF_{\text{N}_2\text{O},i}$ ——第*i*种动物粪便管理N₂O排放因子，单位为千克每头每年[kg/(头·a)]，取值如表A.5所示；
 AP_i ——第*i*种动物的数量（头/只）；
 GWP_{CH_4} ——NH₄的全球变暖潜值，单位为吨二氧化碳当量每吨甲烷（tCO₂e/tNH₄），取缺省值21；
 $GWP_{\text{N}_2\text{O}}$ ——N₂O的全球变暖潜值，单位为吨二氧化碳当量每吨氧化亚氮（tCO₂e/tN₂O），取缺省值310；
i ——动物养殖种类。

表A.4 粪便管理甲烷排放因子[kg/(头·a)]

区域	奶牛	非奶牛	水牛	绵羊	山羊	猪	家禽	马	驴/骡	骆驼
华北 ^a	7.46	2.82	-	0.15	0.17	3.12	0.01	1.09	0.60	1.28
东北 ^a	2.23	1.02	-	0.15	0.16	1.12	0.01	1.09	0.60	1.28

华东 ^a	8.33	3.31	5.55	0.26	0.28	5.08	0.02	1.64	0.90	1.92
中南 ^a	8.45	4.72	8.24	0.34	0.31	5.85	0.02	1.64	0.90	1.92
西南 ^a	6.51	3.21	1.53	0.48	0.53	4.18	0.02	1.64	0.90	1.92
西北 ^a	5.93	1.86	-	0.28	0.32	1.38	0.01	1.09	0.60	1.28
^a 数据取值来源为《省级温室气体清单指南（试行）》。										

表A.5 粪便管理氧化亚氮排放因子[kg/(头·a)]

地区	奶牛	非奶牛	水牛	绵羊	山羊	猪	家禽	马	驴/骡	骆驼
华北	1.846	0.794	—	0.093	0.093	0.227	0.007	0.330	0.188	0.330
东北	1.096	0.913	—	0.057	0.057	0.266				
华东	2.065	0.846	0.875	0.113	0.113	0.175				
中南	1.710	0.805	0.860	0.106	0.106	0.157				
西南	1.884	0.691	1.197	0.064	0.064	0.159				
西北	1.447	0.545	—	0.074	0.074	0.195				
^a 数据取值来源为《省级温室气体清单指南（试行）》。										

d) 水产养殖过程二氧化碳、甲烷和氧化亚氮排放

(1) 土壤有机碳排放

水产养殖如属于生态养殖，在运营过程中无排水导致的水位变化，则不需考虑由于排水导致的CO₂排放；水产养殖过程中如有排水/注水的周期性水位变动，则排水将导致土壤有机碳氧化分解产生CO₂排放，按照公式A.9进行计算。

$$E_{\text{排水排放}} = A_{\text{水淹地面积}} \times EF_{\text{土壤有机}} \times D / 365 \times 44 / 12 \dots\dots\dots (\text{A.9})$$

式中：

- $E_{\text{排水排放}}$ ——核算期内养殖塘排水导致的有机碳损失导致的CO₂排放，转换为CO₂当量（tCO₂e）；
- $A_{\text{水淹地面积}}$ ——核算期内排水的有机土壤面积，单位为公顷（hm²）；
- $EF_{\text{土壤有机}}$ ——根据气候类型选择土壤的排放因子，单位为吨碳每公顷每年[tC/(hm²·a)]，根据表A.6选择；
- D ——排水干旱时期，单位为天（d）
- $44/12$ ——CO₂与C的转换系数，单位为吨二氧化碳每吨碳（tCO₂/tC）。

表A.6 排水时土壤有机碳排放因子默认值

气候类型	$EF_{\text{土壤有机}}$ [tC/(hm ² ·a)]
北温带和温带	2.8 ^a
热带	2.0 ^a
^a 数据取值来源为《2006 IPCC国家温室气体排放清单增补：2013湿地》有机质土壤排水，表2.1 泥炭地（peatland）默认值。	

如在养殖过程中，当年有清淤、堆放淤泥操作，则该年份需考虑清淤后至注水期间的CO₂现场排放以及淤泥用于园艺等产生的CO₂离场排放，按照公式A.10进行计算。

$$E_{\text{清淤}} = (A_{\text{清淤面积}} \times EF_{\text{CO}_2} \times D / 365 + AD_{\text{干_泥炭}} \times C_{\text{比例_泥炭}}) \times 44 / 12 \dots\dots\dots (\text{A.10})$$

式中：

- $E_{\text{清淤}}$ ——核算期内清淤现场土壤有机碳导致的CO₂排放，转换为CO₂当量（tCO₂e）；
- $A_{\text{清淤面积}}$ ——核算期内清淤管理的土壤面积，单位为公顷（hm²）；
- EF_{CO_2} ——核算期内，清淤土地排放因子，单位为吨碳每公顷每年[tC/(hm²·a)]，根据表A.7选择；
- $AD_{\text{干_泥炭}}$ ——核算期内，挖掘淤泥的风干重量或风干体积，单位为吨或立方米（t或m³）
- $C_{\text{比例_泥炭}}$ ——淤泥风干重量的碳比例或风干体积的碳比例，单位为吨碳每吨风干泥炭（tC/t风干泥炭）或吨碳每立方米风干泥炭（tC/m³风干泥炭），根据表A.8选择；
- D ——核算期内清淤后至注水前的时间，单位为天（d）
- 44/12 ——CO₂与C的转换系数，单位为吨二氧化碳每吨碳（tCO₂/tC）。

表A.7 清淤土地中CO₂-C排放因子

气候带	土地类型	排放因子 [tC/(hm ² ·a)]
北温带和温带 ^b	贫营养 $EF_{\text{CO}_2\text{贫}}$	0.2 ^a
	富营养 $EF_{\text{CO}_2\text{富}}$	1.1 ^a
热带	EF_{CO_2}	2.0 ^a

^a 数据取值来源为《2006 IPCC国家温室气体排放清单指南》湿地章节中表7.4默认值。

^b 根据《2006 IPCC国家温室气体排放清单指南》，在北温带地区以贫营养的沼泽为主，而在温带地区，富营养的沼泽和泥潭更为常见。由泥炭的最终用途可推断出泥炭地的类型：主要产于贫瘠（贫营养）沼泽中的水藓泥炭，最好用作园艺用途；而在矿养（富营养）沼泽中更为常见的草炭，则更适合于能源生产。如在北温带没有关于富营养和贫营养泥炭地面积的信息，应使用贫营养泥炭地的排放因子。

表A.8 清淤土地体积和重量生产数据的CO₂-C转换系数

气候带	土地类型	$C_{\text{比例_重量_泥炭}}$ (tC/t风干泥炭)	$C_{\text{比例_体积_泥炭}}$ (tC/m ³ 风干泥炭)
北温带和温带 ^b	贫营养	0.45 ^a	0.07 ^a
	富营养	0.40 ^a	0.24 ^a
热带	腐殖质	0.34 ^a	0.26 ^a

^a 数据取值来源为《2006 IPCC国家温室气体排放清单指南》湿地章节中表7.5默认值。

^b 根据《2006 IPCC国家温室气体排放清单指南》，在北温带地区以贫营养的沼泽为主，而在温带地区，富营养的沼泽和泥潭更为常见。由泥炭的最终用途可推断出泥炭地的类型：主要产于贫瘠（贫营养）沼泽中的水藓泥炭，最好用作园艺用途；而在矿养（富营养）沼泽中更为常见的草炭，则更适合于能源生产。如在北温带没有关于富营养和贫营养泥炭地面积的信息，应使用贫营养泥炭地的排放因子。

（2）CH₄排放

水产养殖过程中因养殖塘水淹产生的CH₄排放，按照公式A.11计算：

$$E_{\text{水淹CH}_4} = A_{\text{水淹地面积}} \times EF_{\text{CH}_4} \times GWP_{\text{CH}_4} \times D / 365 \dots\dots\dots (\text{A.11})$$

式中：

- $E_{\text{水淹CH}_4}$ ——核算期内水产养殖塘水淹期间产生的CH₄排放，转换为CO₂当量（tCO₂e）；

- $A_{\text{水淹地面积}}$ ——核算期内水产养殖塘的水淹面积，单位为公顷（ hm^2 ）；
- EF_{CH_4} ——核算期内水产养殖塘的 CH_4 排放因子，单位为吨甲烷每公顷每年 $[\text{t}\cdot\text{CH}_4/(\text{hm}^2\cdot\text{a})]$ ；
- D ——核算期内鱼塘水淹时间，单位为天（ d ）；
- GWP_{CH_4} —— NH_4 的全球变暖潜值，单位为吨二氧化碳当量每吨甲烷（ $\text{tCO}_2\text{e}/\text{tNH}_4$ ），取缺省值21。
- 其中，水产养殖塘的 CH_4 排放因子可按照如下优先级进行选择：
- 优先采用测量仪器对水淹阶段的 CH_4 排放因子测量，如参考DB 64/T 725-2011使用静态箱法测定；
- 如不具备开展实地测量的条件，可根据养殖模式，采用表A.9提供的排放因子计算。

表A.9 淡水养殖 CH_4 排放因子参考值

排放因子 $[\text{t}\cdot\text{CH}_4/(\text{hm}^2\cdot\text{a})]$	粗放型	半集约化	集约化
淡水养殖 CH_4 排放通量 ^a	0.91	0.54	0
^a 数据取值来源于《淡水养殖系统温室气体 CH_4 和 N_2O 排放量研究进展》			

(3) N_2O 排放

水产养殖过程中投放饲料氮引起的 N_2O 排放，按照公式A.12计算。

$$E_{\text{饲料氮引起}\text{N}_2\text{O}} = AD_N \times EF_{\text{N}_2\text{O}} \times 44/28 \times GWP_{\text{N}_2\text{O}} \dots\dots\dots (\text{A.12})$$

式中：

- $E_{\text{饲料氮引起}\text{N}_2\text{O}}$ ——核算期内水产养殖塘饲料氮引起的 N_2O 排放，转换为 CO_2 当量（ tCO_2e ）；
- AD_N ——核算期内水产养殖饲料施用量的全氮量，单位为吨氮或水产产量（ tN 或 t鱼 ）；
- $EF_{\text{N}_2\text{O}}$ ——核算期内水产养殖饲料氮的排放因子，单位以百分比表示或吨氮每吨鱼（ $\%$ 或 $\text{tN}/\text{t鱼}$ ）；
- $44/28$ —— N_2O 与 N 的转换系数，单位为吨二氧化亚氮每吨氮（ $\text{tN}_2\text{O}/\text{tN}$ ）。
- $GWP_{\text{N}_2\text{O}}$ —— N_2O 的全球变暖潜值，单位为吨二氧化碳当量每吨氧化亚氮（ $\text{tCO}_2\text{e}/\text{tN}_2\text{O}$ ），取缺省值310。

在计算水产养殖过程中投放饲料氮引起的 N_2O 排放量时，应优先获取核算期内不同养殖模式下水产养殖饲料施用量的全氮量，并选用基于饲料氮的 N_2O 排放系数作为排放因子计算；如不可获得，则获取不同水产养殖模式下养殖水产产量，并选用单位水产品产量的 N_2O 排放系数计算。排放因子见表A.10。

表A.10 淡水养殖 N_2O 排放因子缺省值

排放因子	粗放型	半集约化	集约化
基于饲料氮的 N_2O 排放系数 ^a （ $\%$ ）	0.24	0.35	1.16
单位水产品产量的 N_2O 排放系数 ^a （ $\text{tN}/\text{t鱼}$ ）	0.66×10^{-3}	0.88×10^{-3}	2.48×10^{-3}
^a 数据取值来源于《淡水养殖系统温室气体 CH_4 和 N_2O 排放量研究进展》			

A.2.3 逸散排放

a) 使用六氟化硫设备检修与退役过程的排放

光伏电站运营活动中，使用六氟化硫设备检修与退役过程的排放，按照公式A.13计算。

$$E_{SF_6 \text{ 设备}} = \left[\sum_{i=1}^n (REC_{\text{容量},i} - REC_{\text{回收},i}) + \sum_{j=1}^n (REP_{\text{容量},j} - REP_{\text{回收},j}) \right] \times GWP_{SF_6} \times 10^{-3} \cdots (A.13)$$

式中:

- $E_{SF_6 \text{ 设备}}$ ——使用六氟化硫设备检修与退役过程中产生的排放, 转化为CO₂当量 (tCO₂e);
- $REC_{\text{容量},i}$ ——退役设备*i*的六氟化硫容量, 以铭牌数据表示 (kg);
- $REC_{\text{回收},i}$ ——退役设备*i*的六氟化硫实际回收量 (kg);
- $REP_{\text{容量},i}$ ——检修设备*j*的六氟化硫容量, 以铭牌数据表示 (kg);
- $REP_{\text{回收},i}$ ——检修设备*j*的六氟化硫实际回收量 (kg);
- GWP_{SF_6} ——SF₆的全球变暖潜势, 单位为吨二氧化碳当量每吨六氟化硫 (tCO₂e/tSF₆), 取缺省值23900;
- i* ——退役六氟化硫设备序号;
- j* ——检修六氟化硫设备序号。

b) 使用七氟丙烷灭火系统的排放

光伏电站运营活动中, 使用含氟灭火系统释放的七氟丙烷 (HFC-227ea) 排放, 按照公式A.14计算。

$$E_{\text{灭火系统}} = AD_{\text{七氟丙烷}} \times GWP_{\text{七氟丙烷}} \times 10^{-3} \cdots (A.14)$$

式中:

- $E_{\text{灭火系统}}$ ——使用含氟灭火系统产生的排放, 转化为CO₂当量 (tCO₂e);
- $AD_{\text{七氟丙烷}}$ ——灭火系统中七氟丙烷气体的释放量 (kg);
- $GWP_{\text{七氟丙烷}}$ ——七氟丙烷的全球变暖潜势, 单位为吨二氧化碳当量每吨七氟丙烷 (tCO₂e/t HFC-227ea), 取缺省值2900。

A. 3 间接排放

A. 3. 1 使用电网电力产生的排放

光伏电站运营过程中, 使用电网电力产生的能源间接排放, 按照公式A.15计算。

$$E_{\text{购入电}} = AD_{\text{购入电}} \times EF_{\text{电}} \cdots (A.15)$$

式中:

- $E_{\text{购入电}}$ ——核算期内光伏电站购入电力所产生的二氧化碳排放, 单位为二氧化碳当量 (tCO₂e);
- $AD_{\text{购入电}}$ ——核算期内光伏电站购入的电力量, 单位为兆瓦时 (MWh);
- $EF_{\text{电}}$ ——电网排放因子, 单位为吨二氧化碳每兆瓦时 (tCO₂/MWh), 取主管部门发布的排放因子, 如0.6101。

A. 3. 2 使用外购热力产生的排放

光伏电站运营过程中, 购入热力产生的能源间接排放, 按照公式A.16计算。

$$E_{\text{购入热}} = AD_{\text{购入热}} \times EF_{\text{热}} \cdots (A.16)$$

式中:

- $E_{\text{购入热}}$ ——核算期内光伏电站购入热力所产生的二氧化碳排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO₂e）；
- $AD_{\text{购入热}}$ ——核算期内光伏电站购入的热力量，单位为吉焦（GJ）；
- $EF_{\text{热}}$ ——热力供应的排放因子，单位为吨二氧化碳每吉焦（tCO₂/GJ），取缺省值0.11。

A.3.3 员工通勤、商务差旅产生的排放

光伏电站运营过程中，员工通勤和商务差旅等乘坐交通工具产生的温室气体排放，按照公式A.17进行计算。

$$E_{\text{交通}} = \sum_i^n AD_i \times EF_i \times N_i \times 10^{-3} \dots\dots\dots (\text{A.17})$$

式中：

- $E_{\text{交通}}$ ——核算期内光伏电站人员乘坐交通工具产生的排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO₂e）；
- AD_i ——核算期内光伏电站人员乘坐第*i*种交通工具的行驶里程，单位为千米（km）；
- EF_i ——乘坐第*i*种交通工具的排放因子，单位为千克二氧化碳每千米每人次[kgCO₂/(km·人次)]，取值如表A.4所示；
- N_i ——核算期内光伏电站人员乘坐第*i*种交通工具的人次数，单位为人次；
- i ——交通工具种类。

表A.11 乘坐交通工具温室气体排放因子表

交通工具	排放因子[kgCO ₂ /(km·人次)] ^a
长途航空（>3700km）	0.09374
短途航空（<3700km）	0.08821
高铁	0.0313
地铁	0.0536
大巴车	0.02829
中（小）巴车	0.11902
出租车	0.0632
^a 数据来源为《成都市会展活动碳足迹核算与碳中和实施指南》（DB5101/T 41-2018）	

A.3.4 由其他组织负责的产品、原料、人员或废物的运输

光伏电站运营过程中，项目业主以外的其他组织负责为光伏电站运营所承担的设备或废物的运输产生的温室气体排放，按照公式A.18进行计算。

$$E_{\text{外部运输}} = \sum_{i=1}^n M_i \times D_i \times EF_i \times 10^{-3} \dots\dots\dots (\text{A.18})$$

式中：

- $E_{\text{外部运输}}$ ——核算期内电站外部组织负责的运输所产生的排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO₂e）；
- M_i ——核算期内电站外部组织运输的第*i*种产品的总重量，单位为吨（t）；
- D_i ——核算期内电站外部组织运输的第*i*种产品的运输距离，单位为千米（km）；

- EF_i ——第*i*种运输方式的排放因子，单位为千克二氧化碳当量每吨每千米[$\text{kgCO}_2\text{e}/(\text{t} \cdot \text{km})$]，取值如表A.5所示；
- i ——运输方式类型。

表A.12 各类运输方式排放因子缺省值表

运输方式类别	排放因子[$\text{kgCO}_2\text{e}/(\text{t} \cdot \text{km})$] ^a
轻型汽油货车运输（载重2t）	0.334
中型汽油货车运输（载重8t）	0.115
重型汽油货车运输（载重10t）	0.104
重型汽油货车运输（载重18t）	0.104
轻型柴油货车运输（载重2t）	0.286
中型柴油货车运输（载重8t）	0.179
重型柴油货车运输（载重10t）	0.162
重型柴油货车运输（载重18t）	0.129
重型柴油货车运输（载重30t）	0.078
重型柴油货车运输（载重46t）	0.057
电力机车运输	0.010
内燃机车运输	0.011
铁路运输（中国市场平均）	0.010
液货船运输（载重2000t）	0.019
干散货船运输（载重2500t）	0.015
集装箱船运输（载重200T EU）	0.012
^a 数据来源于《建筑碳排放计算标准》（GB/T 51366-2019）	

A.3.5 由其他组织按合同生产所产生的排放

光伏电站运营过程中，委托外部组织按合同生产或特许经营进行的运营相关活动产生的排放，应按照上述相同方法核算。

A.4 温室气体排放总量

光伏电站运营过程的温室气体排放总量应按照公式A.19进行计算。

$$E = E_{\text{化石燃料}} + E_{\text{种植用地N}_2\text{O}} + E_{\text{肠道发酵CH}_4} + E_{\text{粪便管理CH}_4\text{和N}_2\text{O}} + E_{\text{排水排放}} + E_{\text{清淤}} + E_{\text{水淹CH}_4} + E_{\text{饲料氮引起N}_2\text{O}} + E_{\text{SF}_6\text{设备}} + E_{\text{灭火系统}} + E_{\text{购入电}} + E_{\text{购入热}} + E_{\text{交通}} + E_{\text{外部运输}} + E_{\text{其他组织}} \dots \quad (\text{A.19})$$

- E ——光伏电站运营过程温室气体排放总量，单位为吨二氧化碳当量（ tCO_2e ）；
- $E_{\text{种植用地N}_2\text{O}}$ ——施用氮肥和有机添加物所产生的 N_2O 排放，转化为 CO_2 当量（ tCO_2e ）；
- $E_{\text{肠道发酵CH}_4}$ ——动物肠道发酵甲烷排放量，转化为 CO_2 当量（ tCO_2e ）；
- $E_{\text{粪便管理CH}_4\text{和N}_2\text{O}}$ ——畜禽粪便管理 CH_4 和 N_2O 排放量，转化为 CO_2 当量（ tCO_2e ）；
- $E_{\text{排水排放}}$ ——核算期内养殖塘排水导致的有机碳损失导致的 CO_2 排放，单位为吨二氧化碳当量

	量 (tCO ₂ e) ;
$E_{\text{水淹CH}_4}$	——核算期内水产养殖塘水淹期间产生的CH ₄ 排放, 转换为CO ₂ 当量 (tCO ₂ e) ;
$E_{\text{饲料氮引起N}_2\text{O}}$	——核算期内水产养殖塘饲料氮引起的N ₂ O排放, 转换为CO ₂ 当量 (tCO ₂ e) ;
$E_{\text{SF}_6\text{设备}}$	——使用六氟化硫设备检修与退役过程中产生的排放, 转化为CO ₂ 当量 (tCO ₂ e) ;
$E_{\text{灭火系统}}$	——使用含氟灭火系统产生的排放, 转化为CO ₂ 当量 (tCO ₂ e) ;
$E_{\text{购入电}}$	——核算期内光伏电站购入电力所产生的二氧化碳排放 (tCO ₂) ;
$E_{\text{购入热}}$	——核算期内光伏电站购入热力所产生的二氧化碳排放 (tCO ₂) ;
$E_{\text{交通}}$	——核算期内光伏电站人员乘坐交通工具产生的排放量, 单位为吨二氧化碳当量 (tCO ₂ e) ;
$E_{\text{外部运输}}$	——核算期内电站外部组织负责的运输所产生的排放量, 单位为吨二氧化碳当量 (tCO ₂ e) ;
$E_{\text{其他组织}}$	——核算期内电站外部组织按合同生产所产生的排放量, 单位为吨二氧化碳当量 (tCO ₂ e) 。

参 考 文 献

- [1] GB/T 32150-2015 工业企业温室气体排放核算和报告通则
- [2] GB/T 32151.2-2015 《温室气体排放核算与报告要求 第2部分：电网企业》
- [3] GB/T 33760-2017 基于项目的温室气体减排量评估技术规范通用要求
- [4] GB/T 51366-2019 《建筑碳排放计算标准》
- [5] DB5101/T 41-2018 《成都市会展活动碳足迹核算与碳中和实施指南》
- [6] ISO 14065 温室气体 — 温室气体审定和核证机构从事认证或其它形式认可的要求
- [7] PAS 2060 Specification for the demonstration of carbon neutrality
- [8] 2006 IPCC国家温室气体清单指南
- [9] 2006 IPCC国家温室气体排放清单增补：2013湿地
- [10] 2006 IPCC国家温室气体清单指南2019修订版
- [11] 淡水养殖系统温室气体CH₄和N₂O排放量研究进展
- [12] 国务院办公厅关于加快推进畜禽养殖废弃物资源化利用的意见
- [13] Rapid growth in greenhouse emissions from the adoption of industrial-scale aquaculture