



中华人民共和国汽车行业标准

XX/T XXXXX—XXXX

温室气体 产品碳足迹量化方法与要求 汽车发动机

Greenhouse gases—Quantitative methods and requirements of product carbon footprint—Vehicular Engines

(征求意见稿)

(本草案完成时间: 2025.4)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 量化目的	4
5 量化范围	4
6 清单分析	8
7 影响评价	16
8 影响评价	16
9 产品碳足迹报告	17
10 产品碳足迹声明	17
附录 A（规范性） 材料碳排放因子核算范围	18
附录 B（资料性） 发动机生产阶段碳排放的核算范围	22
附录 C（规范性） 数据质量等级	23
附录 D（规范性） 全球增温潜势	24
附录 E（资料性） 汽车发动机产品碳足迹研究报告模板	27
参考文献	32

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。

请注意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专利的责任

本文件由全国汽车标准化技术委员会（SAC/TC114）提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

引 言

《温室气体产品碳足迹量化方法与要求 汽车发动机》将围绕原则、量化方法、碳足迹报告等开展发动机产品碳足迹核算方面的规定，预计可实现以下用途：

- 提供发动机产品碳足迹量化要求；
- 便于开展发动机产品碳足迹声明或信息交流，使具有同样功能的发动机产品之间进行比较；
- 为产品研究开发、技术改进、产品碳足迹绩效追踪和沟通提供信息；
- 避免发动机产品碳排放从生命周期的一个阶段转移到另一个阶段或在产品生命周期之间转移；
- 更好地了解发动机产品碳足迹，以便明确减少碳排放的潜在机会；
- 促进发动机行业低碳经济可持续发展；
- 提高发动机产品碳足迹量化和报告的可信度、一致性和透明度；
- 促进对替代产品设计和采购方案、生产和制造方法、原材料选择、运输、回收和其他生命末期阶段的评估；
- 促进发动机产品生命周期的碳排放管理战略和计划的制定和实施，并及时识别低碳供应链；
- 提供可靠的发动机产品碳足迹信息。

温室气体 产品碳足迹量化方法与要求

汽车发动机

1 范围

本文件规定了发动机碳足迹的术语和定义、原则、量化方法、研究报告等。
本文件适用于道路车辆发动机。

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 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB/T 17930—2016 车用汽油

GB/T 18297—2024 汽车发动机性能试验方法

GB/T 19147—2016 车用柴油

GB/T 24044—2008 环境管理生命周期评价要求与指南

GB/T 24067—2024 温室气体产品碳足迹量化要求和指南

GB/T 26989 汽车回收利用术语

GB 27999—2019 乘用车燃料消耗量评价方法及指标

GB/T 32150—2015 工业企业温室气体排放核算和报告通则

ISO 14026:2017 环境标志和声明足迹信息交流的原则、要求和指南（Environmental labels and declarations - Principles, requirements and guidelines for communication of footprint information）

ISO/TR 14049:2012 环境管理生命周期评价怎样应用ISO 14044标准中的目标和范围定义以及清单分析的示例（Environmental management - Life cycle assessment - Illustrative examples on how to apply ISO 14044 to goal and scope definition and inventory analysis）

3 术语和定义

GB/T 26989、GB/T 24067—2024界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 术语和定义

3.1.1

产品碳足迹 carbon footprint of a product, CFP

产品系统中的温室气体（GHG）排放量和温室气体（GHG）清除量之和，以二氧化碳当量表示，并基于气候变化这一单一环境影响类型进行生命周期评价。

[来源：GB/T 24067—2024，定义3.1.1]

3.1.2

过程排放 process emission

在生产、废弃物处理处置等过程中除燃料燃烧之外的物理或化学变化造成的温室气体排放。

[来源：GB/T 32150—2015，定义3.8]

3.1.3

功能单位 functional unit

用来量化产品系统功能的基准单位。

[来源：GB/T 24067—2024，定义3.3.7]

3.1.4

声明单位 declared unit

用来作为部分产品碳足迹量化的基准单位的产品数量。

示例：质量（1公斤粗钢）、体积（1升原油）。

[来源：GB/T 24067—2024，定义3.3.8]

3.1.5

系统边界 system boundary

通过一组准则确定哪些单元过程属于产品系统的一部分。

[来源：GB/T 24067—2024，定义3.3.4]

3.1.6

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，定义3.12]

3.1.7

初级数据 primary data

通过直接测量或基于直接测量的计算得到的过程或活动的量化值。

注1：初级数据并非必须来自所研究的产品系统，初级数据可能涉及其他与所研究的产品系统具有可比性的产品系统。

注2：初级数据可以包括温室气体排放因子和/或温室气体活动数据。

[来源：GB/T 24067—2024，定义3.6.1]

3.1.8

现场数据 site-specific data

从产品系统中获得的初级数据。

注1：所有现场数据都是初级数据，但并不是所有初级数据都是现场数据，因为数据可能是从不同产品系统内部获得。

注2：现场数据包括场地内一个特定单元过程的温室气体排放量和温室气体清除量。

[来源：GB/T 24067—2024，定义3.6.2]

3.1.9

次级数据 secondary data

不符合初级数据要求的数据。

注1：次级数据是经权威机构验证且具有可信度的数据，可来源于数据库、公开文献、国家排放因子、计算估算数据或其他具有代表性的数据，推荐使用本土化数据库。

注2：次级数据可包括从代替过程或估计获得的数据。

[来源：GB/T 24067—2024，定义3.6.3]

3.1.10

数据质量 data quality

数据在满足所声明的要求方面的能力特性。

[来源：GB/T 24044—2008，定义3.19]

3.1.11

数据质量等级 data quality rating, DQR

基于时间代表性、技术代表性、地理代表性、数据来源代表性对数据质量标准进行的半定量评估。

3.1.12

碳抵消 carbon offsetting

通过在所研究产品系统边界以外的过程中防止排放、减少或消除一定的温室气体排放量，以全部或部分补偿产品碳足迹或部分产品碳足迹的机制。

示例：在相关产品系统之外的投入，例如对可再生能源技术、能源效率措施、造林和（或）再造林的投入。

注：在产品碳足迹或产品部分碳足迹的量化中不允许进行碳抵消，碳抵消的信息交流不属于本文件的范围。

[来源：GB/T 24067—2024，定义3.1.7]

3.1.13

生物材料 biomass material

生物源性材料，不包括埋在地质构造中的材料和转化为化石材料的材料。

注：例如树木、作物、草、树垃圾、藻类、动物、生物肥料等。

3.1.14

原生材料 virgin materials

从自然界中获取的，未经过任何加工或再利用的新鲜材料。

3.1.15

再生材料 recycled materials

对失去原使用价值的材料经过加工处理使其重新获得使用价值的材料。

[来源：GB/T 26989—2011，定义2.4.10]

3.1.16

循环足迹公式法 circular footprint formula method, CFF

对产品进行生命周期评价时，综合考虑新产品再生材料使用以及产品生命周期各阶段报废和再生利用过程环境影响和环境效益并在多个生命周期之间进行分配的方法。

3.1.17

再生成分法 recycled content method, RCM

对产品进行生命周期评价时，只考虑新产品中再生材料使用带来的环境影响和环境效益，不考虑生命周期各阶段报废和再生利用过程环境影响和环境效益在不同生命周期之间分配的方法。

3.1.18

产品碳足迹绩效追踪 carbon footprint of a product performance tracking, CFP performance tracking

比较同一组织的一个特定产品在一段时间内的产品碳足迹或产品部分碳足迹。

注：包括计算一个特定产品碳足迹在一段时间内的变化，或具有相同功能单位或声明单位的替代产品之间产品碳足迹在一段时间内的变化。

[来源：GB/T 24067—2024，3.1.11]。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CFF：循环足迹公式法（Circular Footprint Formula Method）

CO₂e：二氧化碳当量（CO₂ equivalent）

DQR：数据质量等级（Data Quality Rating）

GHG：温室气体（Greenhouse Gas）

GWP：全球变暖潜势（Global Warming Potential）

IPCC：政府间气候变化专门委员会（The Intergovernmental Panel on Climate Change）

OEM：原始设备制造商（Original Equipment Manufacturer）

CFP：产品碳足迹（Carbon Footprint of a Product）

RCM：再生成分法（Recycled Content Method）

4 量化目的

生命周期视角开展发动机产品碳足迹研究的总体目的是结合取舍准则（见6.3），通过量化发动机产品生命周期所有显著的温室气体排放量和清除量，计算发动机产品对全球变暖的潜在影响，以及在不同阶段、不同过程、不同空间位置的影响构成（以二氧化碳当量表示）。

注：这种量化面向一系列受众，支持一系列的目的和应用，包括但不限于进行的独立研究和比较研究，以及长期绩效追踪。

4.1 在确定产品碳足迹研究目的时，应明确说明以下问题：

- a) 应用意图；
- b) 开展该项研究的理由；
- c) 目标受众（即研究结果的接收者）；
- d) 根据ISO 14026:2017的预期信息交流（如有）。

5 量化范围

5.1 功能单位或声明单位

5.1.1 发动机产品生命周期为车辆提供的总能量的 1kWh 为功能单位。

5.1.2 发动机产品在计算原生材料、再生材料、零部件、包装物等部分产品碳足迹过程中，可以使用对应的声明单位。

5.2 核算边界

5.2.1 核算边界设置

5.2.1.1 发动机核算边界的选择应与碳足迹研究的目标相一致，并应明确和解释用于建立核算边界的准则，如取舍准则等。

5.2.1.2 发动机碳足迹研究目标，对相同技术路线的发动机个体产品之间碳足迹信息沟通时，应采用再生成分法(RCM)。在发动机所有生命周期阶段产生的报废和再生利用过程应使用再生成分法(RCM)进行处理。

5.2.1.3 发动机碳足迹研究目标，用于不同技术路线的发动机生命周期碳足迹绩效比较，或用于发动机产品碳足迹在生命周期不同阶段是否发生转移等方面研究的目的时，宜采用循环足迹公式（CFF）。在发动机所有生命周期阶段产生的报废和再生利用过程应使用循环足迹公式（CFF）进行建模。

注1：满足同样功能情况下，不同发动机产品的生命周期材料、生产、使用和报废再生阶段产品碳足迹比例和总量差异比较大时，一般认为其是不同技术路线。

注2：满足同样功能情况下，不同发动机产品的生命周期材料、生产、使用和报废再生阶段产品碳足迹比例和总量差异不大，但发动机搭载在不同技术路线汽车时，一般认为其是不同技术路线。

5.2.1.4 发动机产品系统的核算边界根据不同的碳足迹研究目标制定不同的核算边界。采用循环足迹公式（CFF）、再生成分法（RCM）时，核算边界应包括材料获取阶段、生产阶段、使用阶段和生命末期阶段等所有阶段或部分阶段，发动机产品生命周期阶段及涉及的活动和过程见表 1。

表1 发动机产品生命周期阶段及涉及的活动和过程

生命周期阶段		包含过程的简要描述	RCM	CFF
材料获取阶段	原材料的采矿和精炼	各种部件组成材料的资源开采、加工提纯、生产制造等过程	必选	必选
	再生材料的生产	由废物生产再生材料的加工过程	必选	必选
	包装	发动机原生材料及再生材料获取各阶段包装物的生产	（可选）*	必选
	运输	各类发动机原生材料及再生材料从供应商到客户之间的运输	（可选）*	必选

表1 发动机产品生命周期阶段及涉及的活动和过程（续）

生命周期阶段		包含过程的简要描述	RCM	CFE
生产阶段	零部件制造	零部件生产制造	必选	必选
	发动机组装	发动机零部件组装成发动机成品	必选	必选
	包装	各类发动机零部件及发动机成品使用的包装物的制造	(可选)*	必选
	运输	发动机各类零部件在供应商和客户之间的运输过程	(可选)*	必选
	分销	将发动机成品运送到原始设备制造商(OEM)或个人车主、修理厂、4S店等处的过程	(可选)*	必选
使用阶段	使用	使用过程中由于使用汽油、柴油等传统燃料或者电力等能源引起的直接或间接排放,应包括燃料或能源的生产和使用过程	必选	必选
	维修/更换	使用过程中,存在维修、更换配件等过程,由于维修过程和更换替换配件、冷却液和润滑剂而产生碳排放	舍去	必选
	运输	使用过程中由于维修过程,进行转运而产生的转运工具的能源消耗	舍去	必选
生命末期阶段	报废拆解	对发动机进行拆卸、收集、拆解、清洗、检测、分类、破碎、填埋、有机物焚烧	舍去	必选
	包装	废旧发动机转运等过程包装材料的生产,对于可重复使用的金属包装材料(如安全箱),不核算在内	舍去	必选
	运输	废弃物等物品的运输以及存储过程中产生的交通工具能源消耗、存储场地能源消耗	舍去	必选
	资源化	再使用、再制造、材料再利用、能量回收	舍去	必选

注1: *对于可选项,是否选择,应在碳足迹报告中明确。

5.2.2 材料获取阶段核算范围

5.2.2.1 材料获取阶段的核算范围,包括原材料获取及加工过程,再生材料生产加工过程产生的碳排放以及材料的包装物、材料的运输过程产生的碳排放。核算范围内的材料类别见表2,发动机部件见表3,各材料碳足迹的核算边界按照附录A执行。

5.2.2.2 发动机用原材料获取及加工过程包括资源的获取和材料的生产过程,核算边界包括资源开采、加工提纯、生产制造等过程。

5.2.2.3 发动机用再生材料生产加工过程应包含由各类废物再生利用生产出发动机可用的再生材料的加工过程。

5.2.2.4 发动机各类材料获取阶段的包装物应包括包装物从原材料获取到包装物生产、运输、包装物使用、包装物废弃阶段。对可以重复使用的包装物(如金属物流箱、安全箱等),可不纳入核算。

5.2.2.5 发动机各类材料从矿山开采到从各级供应商到客户之间的运输,包括运输工具能源消耗过程和各类储存场所能源消耗产生的碳排放。

5.2.2.6 发动机生产阶段的运输过程核算不包括辅助系统运作、运输用车碳泄漏产生的直接排放(如制冷剂或天然气逸散)及运输用机在高空中形成凝结尾迹和卷云造成的额外影响。

表2 核算范围内的材料示意

序号	备注
1	钢
2	铸铁
3	铝及铝合金
4	镁及镁合金
5	铜及铜合金
6	铂
7	铅
8	热塑性塑料
9	热固性塑料

表2 核算范围内的材料示意表（续）

序号	备注
10	橡胶
11	织物
12	陶瓷
13	润滑剂
14	冷却液
15	其他材料

表3 核算边界内发动机部件汇总

序号	机构或系统	子部件	备注
1	机体	机体（缸体）	
		汽缸盖	
		缸套	
2	曲柄连杆机构	曲轴	
		连杆	
		活塞	
		活塞环	
		活塞销	
		飞轮	
		轴承	
		密封件紧固件	
		曲柄连杆可变机构	
3	配气机构	凸轮轴	
		气门组件	含气门弹簧，气门锁夹，气门油封等
		气门驱动组件	含挺柱，摇臂等直接驱动或间接驱动组件
		密封件紧固件	
		配气可变机构	含可变气门升程，气门正时，停缸功能等控制
	正时驱动装置		
4	燃油供给系统	燃油供给机构	
		燃油喷射机构	
		空燃比控制机构	
5	点火系统	火花塞	
		点火控制装置	含点火线圈，分电器，高压线等
6	冷却系统	水泵	
		水管	
		节温器	
		密封件紧固件	
		冷却液	
	风扇		
7	润滑系统	机油泵	
		机油滤清器	
		油底壳	
		机油收集器	
		机油冷却器	
	密封件紧固件		

序号	机构或系统	子部件	备注
		润滑油	
8	曲轴箱通风系统	油气分离装置	
		曲轴箱通风管路	
9	进排气系统	进气管路	
		进气量控制装置	
		排气管路	
		增压机构	
		增压冷却装置	
		EGR, 废热回收等装置	
		密封件紧固件	
		燃油蒸发控制装置	
		排气净化装置	
		颗粒物排放控制装置	
10	起动系统	起动机	
		低温启动装置	
11	附件传动装置	皮带轮	
		皮带及张紧机构	
		发电机	
		空调压缩机	
		空气压缩机	
		助力转向泵	
12	发动机管理系统	空燃比控制	
		点火正时控制	
		发动机综合控制	

5.2.3 发动机生产阶段核算边界

5.2.3.1 发动机生产阶段核算边界，应包括发动机部件的加工制造和组装过程，始于原材料进入生产设施，结束于发动机产品离开生产工厂。核算边界内的具体生产过程应符合附录 B 的规定。

5.2.3.2 发动机各类零部件和发动机成品的包装物，核算范围应包括包装物从原材料获取到包装物生产、运输、包装物使用、包装物废弃阶段。对可以重复使用的包装物（如金属物流箱、安全箱等），可不纳入核算。

5.2.3.3 发动机各类零部件从各级供应商到客户之间的运输，核算范围包括各类运输工具能源消耗产生的碳排放。

5.2.3.4 发动机成品从发动机工厂到原始设备制造商（OEM），或个人车主、修理厂、4S 店等场所的过程中的运输碳排放，核算范围包括各类运输工具能源消耗产生的碳排放，各类储存场地的能源消耗产生的碳排放。

5.2.3.5 发动机生产阶段的运输过程核算不包括辅助系统运作、运输用车碳泄漏产生的直接排放（如制冷剂或天然气逸散）及运输用机在高空中形成凝结尾迹和卷云造成的额外影响。

5.2.4 使用阶段核算边界

5.2.4.1 发动机使用阶段，开始于发动机装车使用，到发动机报废不再继续在车上使用结束。核算边界应包括发动机使用过程中消耗燃料和发动机维修、更换配件和运输过程的能源消耗。

5.2.4.2 使用过程中消耗燃料，即发动机使用过程中消耗燃料（包括电力）的生产过程和燃料燃烧过程产生的碳排放。

5.2.4.3 发动机维修、更换配件，主要包括维修过程的能源消耗、耗材消耗、替换配件的生产（包括材料生产、部件生产）等产生的碳排放。

5.2.5 生命末期阶段核算边界

5.2.5.1 生命末期阶段，开始于发动机报废从车上进行拆卸，到废旧发动机产品进入报废处理工厂，到分离出可用于生产再生材料的物料，包括拆卸、再制造准备、包装运输、存储、再制造准备、破碎分选、材料回收、有机物焚烧、能量回收、填埋等过程，及再生材料的应用。

5.2.5.2 生命末期阶段的情景假设应基于可用的最佳信息（例如时间、地理位置和技术等），并记录在报告中。

6 清单分析

6.1 数据收集和确认

6.1.1 对于系统边界内的所有单元过程，应收集纳入生命周期清单中的定性和定量数据。这些数据是通过测量、计算或估算得到的，用来量化单元过程的输入和输出。

6.1.2 对于可能对研究结论有显著影响的数据，应说明相关数据的收集过程、收集时间以及数据质量的详细信息。如果这些数据不符合数据质量的要求（见 6.1.7），也应做出说明。

6.1.3 活动数据

6.1.3.1 活动数据可以通过仪表读数、采购记录、财务报表、直接监测、质量平衡或其他从公司价值链的具体活动中收集数据的方法获取。此外，应了解公司内部系统，包括数据更新频率、单位、格式、预测值的可用性。应预估潜在的变化以及其对核算系统的未来影响，还应考虑年度核算周期内的数据可用性，确保能够在正确的时间收集高质量数据，用于进一步计算。

6.1.3.2 除了活动数据量化值，还需收集采购商品的相关属性值。原始属性指材料直接属性（如材料名称、型号），而次要属性则进一步说明间接特征（如年份、供应商国家、供应商名称、供应商编号）。使用这些属性参数将活动数据反映到排放因子，并对数据进行分析 and 解释。

6.1.4 碳排放因子

6.1.4.1 发动机企业在收集碳排放因子数据时，可建立企业内部收集碳排放因子初级数据的优先排序。

6.1.4.2 收集碳排放因子，优先收集各级供应商初级数据，其后逐步推进供应商碳排放因子初级数据收集工作。碳排放因子的收集流程可参考表 4。

表4 碳排放因子数据收集流程

确定初级数据收集顺序	整理供应商信息	供应商参与	数据填报	数据汇总	碳排放因子更新和升级
1.1 基于重点零部件，确定碳排放因子初级数据收集的优先顺序	2.1 根据重点零部件清单，逐级整理供应商信息	3.1 采取行动引导相关供应商提供初级数据	4.1 要求相关供应商根据数据和数据质量要求进行填报	5.1 汇总供应商填报的初级数据	6.1 定义更新时间间隔
				5.2 对于其他供应商未进行填报的碳排放因子，按照数据质量要求，可使用政府主管部门发布的权威数据、其他次级数据	6.2 定期更新碳排放因子初级数据
					6.3 逐步要求非重点零部件供应商提供碳排放因子初级数据
注1：重点零部件清单是指重量占比或者碳排放占比比较大的零部件。					

6.1.5 数据确认

6.1.5.1 在数据收集过程中应对数据的有效性进行检查，以确认并提供证据证明数据质量要求符合 6.1.7 的规定。

6.1.5.2 数据确认可通过建立质量平衡、能量平衡和（或）排放因子的比较分析或其他适当的方法。

6.1.6 数据与单元过程和功能单位或声明单位的关联

6.1.6.1 每个单元过程都应确定一个合适的流。单元过程中的定量的输入和输出数据应以和该流的关系为依据来进行计算。

6.1.6.2 以流程图和各单元过程间的流为基础，所有单元过程的流都与基准流建立联系。计算应将系统的输入和输出数据与功能单位或声明单位建立联系。

6.1.6.3 在汇总产品系统中的输入输出数据时应慎重。汇总程度应与研究目的保持一致。仅当数据类型涉及等价物质并具有类似的环境影响时才允许进行数据汇总。如需更详细的汇总原则，宜在目的和范围的确定阶段进行说明，或在影响评价阶段进行说明。

6.1.7 数据质量要求

6.1.7.1 应收集系统边界内所有单元过程的定性资料和定量数据。通过测量、计算或估算而收集到的数据，均可用于量化单元过程的输入和输出。应选取能实现目的和范围的初级数据和次级数据。

6.1.7.2 对发动机企业具有财务或运营控制的过程，应收集现场数据。

6.1.7.3 对发动机企业不具有财务或运营控制的过程，应按以下数据质量优先级顺序开展数据收集：

- a) 初级数据；
- b) 政府主管部门发布的权威数据；
- c) 其他次级数据。

注：其他次级数据可从汽车生命周期评价数据库（CALCD）、生命周期数据网络（LCDN）和交通运输中温室气体排放、排放控制和能源使用仿真模型（GREET）等数据库中获取。

6.1.7.4 对收集的数据，应该开展数据质量评估，对数据的质量特性描述应包括以下方面：

- a) 时间跨度：数据的年份和所收集数据的最小时间跨度；
- b) 地理覆盖范围：为实现产品碳足迹研究目的，所收集的单元过程数据的地理区域；
- c) 技术覆盖面：具体的技术或技术组合；
- d) 精度：对每个数据值的可变性的度量（例如方差）；
- e) 完整性：测量或测算的流所占的比例；
- f) 代表性：对数据集反映实际关注群（例如地理范围、时间跨度和技术覆盖面等）的程度的定性评价；
- g) 一致性：对研究方法学是否能统一应用到敏感性分析不同组成部分中而进行的定性评价；
- h) 可重现性：对其他独立从业人员采用同一方法学和数值信息重现相同研究结果的定性评价；
- i) 数据来源；
- j) 信息的不确定性（例如数据、模型和假设）。

6.1.7.5 数据质量评估应采用两步法：

- a) 应根据上述 a) 至 d) 项的要求，对发动机产品碳足迹研究的数据质量进行定性分析；
- b) 应根据上述 a)、b)、c) 和 i) 项的要求，构建数据质量等级（DQR）对发动机产品碳足迹研究的数据质量进行评价，具体见附录 C。

6.1.7.6 初级数据应满足数据质量等级（DQR） ≤ 2 ，其他次级数据应满足数据质量等级（DQR） ≤ 3 。

6.1.8 数据时间界限

6.1.8.1 应规定产品碳足迹具有代表性的时间段，并解释其合理性。

6.1.8.2 数据收集时间段的选择应考虑数据在年内和年际变化，并在可能的情况下使用代表所选时间段趋势的数值。如果产品生命周期中与具体单元过程相关的温室气体排放量和清除量随时间推移而发生变化，应选择使用产品生命周期时间段内温室气体排放量和清除量的平均值。

6.1.8.3 如果系统边界内的某一单元过程与一个特定时间段相关联，则温室气体排放量和清除量的评价应涵盖产品生命周期中该特定时间段。如果发生在该时段以外的活动在产品系统之内，应涵盖这些活动的温室气体排放量和清除量。温室气体排放量和清除量数据应准确地与功能单位相关联。

6.1.9 数据空间界限

6.1.9.1 宜根据碳足迹研究目的，规定产品碳足迹具有代表性的空间范围，确定如何对空间系统划分和选择空间网格粒度，并证明其合理性。

6.1.9.2 空间系统的划分与空间格网粒度选取，应使所收集的代表某空间格网的数据能够适用于该格网内的单元过程。如果产品生命周期内某空间格网内特定单元过程的温室气体排放量和清除量与该地表该空间格网的平均值存在显著差异，应调整空间的划分或者空间格网大小，直到差异变为不显著。

注：空间格网划分是指将研究空间系统区域划分成若干小的、规则的区域，每个小区域称为一个网格单元，空间格网粒度是指空间格网划分的大小或颗粒度。

6.1.10 数据变化

如果发动机产品生命周期中核算范围内的相关过程发生变化，发动机包碳足迹变化量超过10%，且变化期超过3个月，则应对有关该发动机产品碳足迹重新评价。

6.1.11 温室气体排放和清除

核算发动机生命周期内能源利用、燃烧过程、化学反应、运行中输入和输出所产生的碳排放和碳清除。

6.2 数据分配

6.2.1 基础要求

6.2.1.1 应根据明确规定的分配程序将输入和输出分配到不同的产品中。

6.2.1.2 一个单元过程分配的输入和输出总和应与其分配前的输入和输出总和相等。

6.2.2 分配程序

6.2.2.1 产品生产工序中存在一个单元过程同时产出两种或多种产品，而投入的材料和能源又无法区分的情况，也会存在输入渠道有多种，而输出只有一种的情况。在这些情况下，不能直接得到清单计算所需的数据，必须根据一定的关系对这些过程的数据进行分配。

6.2.2.2 生命周期清单以输入和输出之间的物质平衡为基础。分配程序应尽接近这些基本的输入输出关系和特征。分配的主要原则如下：

- a) 应识别与其它产品系统公用的过程，并按分配程序加以处理；
- b) 单位过程中分配前与分配后的的输入与输出的总和必须相等；
- c) 如果存在若干个可采用的分配程序，应对使用的分配方法及其选取原因进行说明；
- d) 多重输出：分配是依据被研究的系统所提供的产品、功能或经济关联性发生变化后，资源消耗和碳排放量发生的变化来进行；
- e) 多重输入：分配基于实际的关系。如生产过程中的排放物会受到输入的废物流的变化影响。

6.2.2.3 应确定与其他产品系统共享的过程，并按照以下步骤进行处理：

a) 第1步：只要可能，宜通过以下方法避免分配（从形式上看，步骤1不属于分配程序的一部分）：

- 1) 将拟分配的单元过程划分为两个或多个子过程，并收集与这些子过程相关的输入输出数据；
- 2) 扩展产品系统，使其包括共生产品相关的附加功能。

b) 第2步：若无法避免分配，则宜将系统的输入输出以能反映它们之间潜在物理关系的方式，划分到不同产品或功能中；

c) 第3步：当物理关系无法建立或无法用来作为分配基础时，则宜以能反映它们之间其他关系的方式将输入输出在产品或功能之间进行分配。例如可以根据产品的经济价值按比例将输入输出数据分配到共生产品。。

6.2.2.4 对同时包括共生产品和废物的输出，应确定两者的比例，输入输出只对其中共生产品部分进行分配。对系统中相似的输入输出，应采用同样的分配程序。

6.2.2.5 对离开系统的可用产品（例如中间产品或废弃产品）的分配程序应和进入系统的同类产品的分配程序相同。

6.2.3 回收分配程序

6.2.3.1 6.2.1和6.2.2中的分配原则和程序也适用于回收。

6.2.3.2 回收（以及可归入回收的能量回收和其他过程）中，有关原材料获取和加工或产品最终处置的单元过程的输入输出为多个产品系统所共有的，回收后续使用中改变材料的固有特性的，应考虑材料

固有特性的变化。对于在初级和后续的产品系统之间的回收过程，核算边界应被界定并对其进行解释，以确保遵循在 6.2.2 中的分配原则。

6.2.3.3 某些分配程序适用于回收，不同分配程序满足下列要求：

a) 闭环分配程序适用于闭环产品系统，也适用于回收材料的固有特性未发生变化的开环产品系统。在这种情况下，由于用次级材料替代了初级材料，所以无需进行分配。在适用的开环产品系统中首次使用初级材料时，可遵循 b) 中列出的开环分配程序；

b) 开环分配程序适用于材料被回收后再利用到其他产品系统且其固有特性发生改变的开环产品系统。

6.2.3.4 收共享单元过程的分配程序（如果可行并且以此作为分配的基础）可采用以下顺序：

a) 物理属性（例如质量、数量、工时等）；

b) 经济价值（例如废料和再生利用物质的市场价值与初级材料市场价值的比值等）；

c) 回收材料的后续使用的次数（见 ISO/TR 14049:2012）。

6.3 取舍准则

6.3.1 材料重量在所属零部件的重量占比小于 1% 的材料可舍去，舍去的材料重量应加到该材料所属零部件的碳排放因子最高的输入材料中。舍去部分应有书面记录并说明舍去原因。

6.3.2 发动机各生命周期阶段生产设备（资本货物）的制造，可以舍去。

6.3.3 与发动机生产过程没有直接关系的制造厂的附属生产设施（如相关办公用房的加热和照明、辅助服务、销售过程、行政和研究部门等）可以舍去。

6.4 清单计算

6.4.1 特定温室气体排放量和清除量的处理

6.4.1.1 一般要求

为保证量化的一致性，以下条款中对不同方法可能导致不同结果所产生的特定温室气体排放量和清除量提供了具体要求。

6.4.1.2 化石碳

化石温室气体排放量和清除量应包括在碳足迹报告中，并作为最终结果单独记录。

6.4.1.3 生物成因碳

6.4.1.3.1 生物成因温室气体排放量和清除量应包括在产品碳足迹中，并分别单独表述。

6.4.1.3.2 生物材料的碳排放核算要求如下：

a) 由废物生产的生物材料，只计入废物加工过程中产生的碳排放。

b) 由非废物生产的生物材料（如：专门用于生产某种生物材料的经济作物），计入生产加工过程和作物种植过程的碳排放，核算边界参考附录 A，执行过程中可能涉及分配。

6.4.1.4 电力

应按以下优先级顺序开展电力建模：

a) 现场发电模型。如果电力是由耗能工厂内的生产资产提供给工厂的，或生产资产通过直接和专用的连接方式连接到耗能工厂，并用于核算中的产品，且未接入公共电网，则该产品可使用该电力的碳排放数据。

b) 具体供应商电力组合模型。若不满足第 a) 项规定的条件，但满足以下要求：若生产过程与电力供应商之间具有物理连接，且两者之间签订购电合同或其他协议。

c) 区域平均消费组合模型。若不满足第 a) 项和 b) 项规定的条件，则可使用通过生产活动所在区域的电力消费组合来确定的区域电力碳排放因子。

d) 国家平均消费组合模型。若不满足第 a) 项和 b) 项规定的条件且无法获取第 c) 项要求的数据，则应使用最新的全国平均电网的碳排放因子。

6.4.1.5 土地利用和土地利用变化

不考虑土地利用和土地利用变化引起的碳排放变化。

6.4.1.6 碳抵消

在发动机产品碳足迹的量化阶段不应使用碳抵消。

6.4.2 温室气体排放量和清除量的空间影响

如果将产品碳足迹用于空间相关研究时，所有温室气体的区域排放量和区域清除量不考虑温室气体在空间上扩散的影响。

6.4.3 温室气体排放量和清除量的时间影响

6.4.3.1 所有温室气体排放量和清除量都应按照研究周期的初级情况进行计算，而不考虑延时的温室气体排放量和清除量的影响。

6.4.3.2 如果运输阶段（见 5.2.8）和/或生命末期阶段（见 5.2.5）产生的温室气体排放量和清除量在产品投入使用超过 10 年后发生的（如果相关产品种类规则中没有另行规定），则应在生命周期清单中规定相对于产品生产年份的温室气体排放和清除的周期。如果计算产品系统的温室气体排放量和清除量的时间影响，应在产品碳足迹研究报告中单独记录。应在产品碳足迹研究报告中注明计算时间影响的方法，并证明其合理性。

6.4.4 产品碳足迹绩效追踪

计划将产品碳足迹用于产品碳足迹绩效追踪时，应满足以下针对产品碳足迹量化的附加要求：

- a) 应针对不同时间点或空间范围进行研究；
- b) 应针对相同功能单位计算产品碳足迹随时间或空间发生的变化；
- c) 应使用相同的方法（例如选择和管理数据的系统、核算边界、分配、全球增温潜势等）计算产品碳足迹随时间或空间的变化。产品碳足迹绩效追踪的时间间隔不应短于 6.1.8 所述的数据时间界限，且应在目的和范围中予以描述。产品碳足迹用于空间绩效追踪时，不同时间段的空间系统划分要保持一致。

6.4.4.1 产品碳足迹核算再生成分法（RCM）

6.4.4.1.1 碳足迹计算公式

6.4.4.1.1.1 发动机产品碳足迹计算的结果用于不同组织生产的相同技术路线的发动机产品个体之间进行碳足迹信息沟通时，发动机产品碳足迹核算应使用再生成分法（RCM）。碳足迹计算过程中所需的不同温室气体的全球增温潜势值可参见附录 D。

注：发动机产品在出厂销售阶段，如需对不同组织生产的相同技术路线（功能相同、材料体系相同）的发动机个体进行碳足迹信息沟通时，未来使用和报废再生阶段的碳排放尚未发生，无法提供具体场地数据时，可基于再生成分法（RCM），只对发动机产品摇篮到大门阶段已经发生的碳排放进行计算和验证，同时可依据发动机的额定功率、时间和燃料消耗率计算使用阶段的碳足迹。计算结果可用于组织改进供应链碳足迹绩效或用于消费者基于碳足迹信息选择更低碳的发动机产品。不同技术路线的个体发动机产品基于再生成分法（RCM）计算的结果不能进行比较。

6.4.4.1.1.2 发动机产品碳足迹核算的再生成分法（RCM）应计算发动机材料获取、零部件生产、发动机生产、发动机使用和发动机运输等阶段的碳足迹，按式（1）进行计算，发动机提供的总能量应按式（2）进行计算，计算结果按照 GB/T 8170 修约至小数点后两位。

$$C = (C_{\text{Materials}} + C_{\text{Part}} + C_{\text{Production}} + C_{\text{Use}} + C_{\text{Transport}}) / E \dots\dots\dots (1)$$

$$E = 1000h \times P_e \dots\dots\dots (2)$$

式中：

C——发动机碳足迹，单位为千克二氧化碳当量每千瓦时（kgCO₂e/kWh）；

C_{Materials}——材料获取阶段碳排放，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；

C_{Part}——零部件加工过程碳排放，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；

C_{Production}——发动机生产阶段碳排放，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；

C_{Use}——发动机使用阶段碳排放，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；

C_{Transport}——运输阶段碳排放，单位为千克二氧化碳当量每千米（kgCO₂e）；

E——发动机生命周期内为车辆提供的能量，单位为千瓦时（kWh）

P_e——发动机额定功率，单位为千瓦（kW），参考GB/T 18297-2024 8.3节进行测试。

6.4.4.1.2 材料获取阶段

6.4.4.1.2.1 材料获取阶段包括原生材料的生产和再生材料的生产，碳排放应按式(3)进行计算，其中，材料包括发动机用材料和包装材料，计算结果按照 GB/T 8170 修约至小数点后两位：

$$C_{\text{Materials}} = \sum_i [(1 - R_{1,i}) \times E_{V,i} + R_{1,i} \times E_{R,i}] \dots\dots\dots (3)$$

$$E_{V,i} = M_i \times U_i \times \text{CEF}_{V,i} \dots\dots\dots (4)$$

$$E_{R,i} = M_i \times U_i \times \text{CEF}_{R,i} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$C_{\text{Materials}}$ ——材料获取阶段碳排放，单位为千克二氧化碳当量 (kgCO₂e)；

$R_{1,i}$ ——再生材料i的投入比例；

$E_{V,i}$ ——全部由原生材料组成时，组成材料i的碳排放，单位为千克二氧化碳当量 (kgCO₂e)；

$E_{R,i}$ ——全部由再生材料组成时，组成材料i的碳排放，单位为千克二氧化碳当量 (kgCO₂e)；

M_i ——材料i的重量，单位为千克 (kg)；

U_i ——材料i的使用系数，制造过程中使用的材料占发动机中含量的百分比，即假设损耗时，数据大于100%；

$\text{CEF}_{V,i}$ ——原生材料i获取及加工过程的碳排放因子，数据圆整(四舍五入)至小数点后两位，单位为千克二氧化碳当量每千克 (kgCO₂e/kg)；

$\text{CEF}_{R,i}$ ——再生材料i获取及加工过程的碳排放因子，数据圆整(四舍五入)至小数点后两位，单位为千克二氧化碳当量每千克 (kgCO₂e/kg)。

6.4.4.1.2.2 核算材料生产碳排放量时，声明单位、核算边界应与附录 A 一致，数据及数据质量要求应与 6.1.7 一致。

6.4.4.1.3 零部件加工阶段

零部件加工阶段碳排放按照公式(6)进行计算，计算结果按照 GB/T 8170 修约至小数点后两位：

$$C_{\text{Part}} = \sum (E_r \times \text{CEF}_r + E_r \times \text{NCV}_r \times \text{CEF}'_r) + C_{\text{other}} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

C_{Part} ——零部件生产阶段碳排放，单位为千克二氧化碳当量 (kgCO₂e)；

E_r ——能源或燃料r的外购量，单位为千瓦时 (kWh)、立方米 (m³) 或千克 (kg) 等；

CEF_r ——能源或燃料r生产的碳排放因子，单位为千克二氧化碳当量每千瓦时 (kgCO₂e/kWh)、千克二氧化碳当量每立方米 (kgCO₂e/m³) 或千克二氧化碳当量每千克 (kgCO₂e/kg)；

NCV_r ——能源或燃料r的平均低位发热量。单位为吉焦每吨 (GJ/t)、吉焦每万立方米(GJ/10⁴m³)；

CEF'_r ——能源或燃料r使用的碳排放因子，单位为吨二氧化碳当量每吉焦 (tCO₂e/GJ)；

C_{other} ——其他过程排放，单位为千克二氧化碳当量 (kgCO₂e)。

6.4.4.1.4 发动机生产阶段

6.4.4.1.4.1 零部件加工阶段碳排放按照公式(7)进行计算，计算结果按照 GB/T 8170 修约至小数点后两位：

$$C_{\text{Production}} = \sum (E_r \times \text{CEF}_r + E_r \times \text{NCV}_r \times \text{CEF}'_r) + C_{\text{other}} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$C_{\text{Production}}$ ——发动机生产阶段碳排放，单位为千克二氧化碳当量 (kgCO₂e)；

E_r ——能源或燃料r的外购量，单位为千瓦时 (kWh)、立方米 (m³) 或千克 (kg) 等；

CEF_r ——能源或燃料r生产的碳排放因子，单位为千克二氧化碳当量每千瓦时 (kgCO₂e/kWh)、千克二氧化碳当量每立方米 (kgCO₂e/m³) 或千克二氧化碳当量每千克 (kgCO₂e/kg)；；；

NCV_r ——能源或燃料r的平均低位发热量。单位为吉焦每吨 (GJ/t)、吉焦每万立方米(GJ/10⁴m³)；

CEF'_r ——能源或燃料r使用的碳排放因子，单位为吨二氧化碳当量每吉焦 (tCO₂e/GJ)；

C_{other} ——其他过程排放，单位为千克二氧化碳当量 (kgCO₂e)。

6.4.4.1.4.2 核算材料生产碳排放量时，声明单位、核算边界应与附录 B 一致，数据及数据质量要求

应与 6.1.7 一致。

6.4.4.1.5 发动机使用阶段

发动机使用阶段碳排放应按式 (8) 进行计算, 计算结果按照 GB/T 8170 修约至小数点后两位:

$$C_{\text{Use}} = C_{\text{Fuel production}} + C_{\text{Fuel use}} \dots\dots\dots (8)$$

式中:

C_{Use} ——使用阶段碳排放量, 单位为千克二氧化碳当量 (kgCO₂e);

$C_{\text{Fuel production}}$ ——燃料生产的排放量, 单位为千克二氧化碳当量 (kgCO₂e);

$C_{\text{Fuel use}}$ ——燃料使用过程的碳排放量, 单位为千克二氧化碳当量 (kgCO₂e);

燃料生产的碳排放量应按式 (9) 进行计算, 计算结果按照 GB/T 8170 修约至小数点后两位:

$$C_{\text{Fuel production}} = g_{\text{ea}} \div 1000 \times P_e \times 1000h \div \rho \times 1000 \times \text{CEF}_{\text{Fuel}} \dots\dots\dots (9)$$

式中:

$C_{\text{Fuel production}}$ ——燃料生产的碳排放, 单位为千克二氧化碳当量 (kgCO₂e);

g_{ea} ——均值燃料消耗率, 单位为克每千瓦时 (g/kWh), 即发动机万有特性曲线示意图中燃料消耗率的均值, 实施方法如下:

a) 发动机万有特性曲线参考 GB/T 18297-2024 8.5 节测试;

b) 发动机转速范围为怠速至额定转速;

c) 发动机扭矩范围为各发动机转速下 10% 最大净扭矩至最大净扭矩;

d) 将万有特性曲线按转速范围均分为 10 等分, 转速记为 n_i ($i=1, 2, \dots, 10$), 其中 n_1 为怠速, n_{10} 为额定转速;

e) 将转速 n_i 的扭矩范围均分为 10 等分, 该转速下工况点的扭矩记为 T_j ($j=1, 2, \dots, 10$), 其中 T_1 为该转速的 10% 最大净扭矩, T_{10} 为该转速的最大净扭矩;

f) $g_{e-n_i-T_j}$ 记为转速 n_i 、扭矩为 T_j 工况点时的燃料消耗率, 某工况点的燃料消耗率如果没有测量数据, 采用线性插值处理;

g) 对所有工况点的燃料消耗率进行均值计算, 按式 (10);

$$g_{\text{ea}} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{10} g_{e-n_i-T_j}}{100} \dots\dots\dots (10)$$

P_e ——发动机额定功率, 单位为千瓦 (kW), 参考 GB/T 18297-2024 8.3 节进行测试;

ρ ——燃料密度, 单位为千克每立方米 (kg/m³), 车用汽油参考 GB 17930-2016, 取中值按 747.5kg/m³, 车用柴油参考 GB 19147-2016, 取中值按 830kg/m³; 其他燃料根据行业发布文档进行计算;

CEF_{Fuel} ——燃料生产的碳排放因子, 单位为千克二氧化碳当量每升 (kgCO₂e/L);

燃料使用过程的碳排放量应按式 (11) 进行计算, 计算结果按照 GB/T 8170 修约至小数点后两位:

$$C_{\text{Fuel use}} = g_{\text{ea}} \div 1000 \times P_e \times 1000h \div \rho \times 1000 \times K_{\text{CO}_2} \dots\dots\dots (11)$$

式中:

$C_{\text{Fuel use}}$ ——燃料使用过程的碳排放量, 单位为千克二氧化碳当量 (kgCO₂e);

g_{ea} ——均值燃料消耗率, 单位为克每千瓦时 (g/kWh), 发动机万有特性曲线示意图中燃料消耗率的均值, 实施方法参见上文;

P_e ——发动机额定功率, 单位为千瓦 (kW), 参考 GB/T 18297-2024 8.3 节进行测试;

ρ ——燃料密度, 单位为千克每立方米 (kg/m³), 车用汽油参考 GB 17930-2016, 取中值按 747.5kg/m³, 车用柴油参考 GB 19147-2016, 取中值按 830kg/m³; 其他燃料根据行业发布文档进行计算;

K_{CO_2} ——转换系数, 参考 GB 27999-2019, 对于燃用汽油的车型为 2.37kg/L, 燃用柴油的车型为 2.60kg/L; 其他燃料根据行业发布文档进行计算; 其他燃料根据行业发布文档进行计算;

6.4.4.1.6 运输阶段

发动机生命周期各阶段运输过程碳排放应按式 (12) 进行计算, 计算结果按照 GB/T 8170 修约至小数点后两位:

$$C_{\text{Transport}} = \sum [S_{\text{leg},i} \times \text{FC}_{\text{VOS},i} \times (\text{CEF}_r + \text{CEF}'_r)] \dots\dots\dots (12)$$

式中：

$C_{Transport}$ ——运输阶段碳排放，单位为千克二氧化碳当量（ $kgCO_2e$ ）；

leg ——目标量化的运输过程（ leg ）指材料/半成品/零部件等被一种交通工具所运载行驶的距离，运输服务全程按换乘交通工具次数，拆分为*i*段；

$S_{leg,i}$ ——分配系数，目标量化的第*i*段运输过程（ leg ）碳排放占所选运输系统碳排放的比重；

VOS ——运输系统（ VOS ）指针对每段运输过程（ leg ）所选取的具有连贯性的运输服务全程，应包含该交通工具在该系统中的空载部分。例如，一列火车往返于A、B两地，去程满载指定货物，返程空载，则运输过程（ leg ）为A到B的运输服务，运输系统（ VOS ）为往返A、B两地的运输服务；

$FC_{VOS,i}$ ——所选第*i*个运输系统（ VOS ）的燃料/电力消耗总量，单位为升（L）、立方（ m^3 ）、千克（kg）或千瓦时（kWh）等；

CEF_r ——能源或燃料*r*生产的碳排放因子，单位为千克二氧化碳当量每升（ $kgCO_2e/L$ ）、千克二氧化碳当量每立方（ $kgCO_2e/m^3$ ）、千克二氧化碳当量每千克（ $kgCO_2e/kg$ ）或者千克二氧化碳当量每千瓦时（ $kgCO_2e/kWh$ ）；

CEF'_r ——能源或燃料*r*使用的碳排放因子，单位为千克二氧化碳当量每吉焦（ $kgCO_2e/GJ$ ）。

$$S_{leg} = [(M_{leg} \times D_{leg}) \div \sum(M_{VOS,i} \times D_{VOS,i})] \dots \dots \dots (13)$$

M_{leg} ——目标量化的运输过程（ leg ）运输的材料/半成品/零部件等的重量，单位为千克（kg）。例如运输交通工具中搭载多种货物，总载荷为*y* kg，而目标货物为*x* kg， $M_{leg} = x$ kg；

D_{leg} ——目标量化的运输过程（ leg ）的运输距离，单位为千米（km）。对于道路车辆，运输过程（ leg ）的运输距离为最短可行距离，例如，两点之间导航地图显示最短可行距离；对于铁路运输，运输过程（ leg ）的运输距离为两点之间的轨道距离；对于水路运输，运输过程（ leg ）的运输距离为航线最短可行距离；对于航空运输，运输过程（ leg ）的运输距离为两点之间的大圆距离加95km；

$M_{vos,i}$ ——所选运输系统在运输各阶段（*i*）的载重，单位为千克（kg）；

$D_{vos,i}$ ——所选运输系统各阶段（*i*）汇总的运输全程距离，单位为千米（km）

6.4.4.2 产品碳足迹核算循环足迹公式法（CFF）

6.4.4.2.1 碳足迹计算公式

6.4.4.2.1.1 发动机产品碳足迹计算结果，用于不同技术路线的发动机生命周期碳足迹绩效比较，或用于发动机产品碳足迹在生命周期不同阶段是否发生转移等方面研究的目的时，宜使用循环足迹公式法（CFF）进行核算。碳足迹计算过程中所需的不同温室气体的全球增温潜势值可参见附录D。

注：发动机包括多种技术路线，不同技术路线的产品，生命周期各阶段碳足迹总量和比例不一样。如需比较技术路线之间的碳足迹差异，需基于全生命周期，系统考虑每种技术路线所有生命周期阶段的碳排放，尤其需要考虑不同技术路线是否可使用再生材料，报废处理以及是否可以再生利用以及再生利用率等因素导致的碳排放分配问题。该研究方法可用于相关决策者选择更低碳的产品技术路线，不适用于个体发动机产品之间碳足迹的信息沟通。

6.4.4.2.2 发动机产品碳足迹应按式（14）进行计算，计算结果按照 GB/T 8170 修约至小数点后两位：

$$C = (C_{Part} + C_{Production} + C_{Use} + C_{Transport} + C_M) / E \dots \dots \dots (14)$$

$$E = 1000h \times P_e \dots \dots \dots (15)$$

式中：

C ——发动机碳足迹，单位为千克二氧化碳当量每千米（ $kgCO_2e/kWh$ ）；

C_{Part} ——零部件加工过程碳排放，单位为千克二氧化碳当量（ $kgCO_2e$ ）；

$C_{Production}$ ——生产阶段碳排放，单位为千克二氧化碳当量每千米（ $kgCO_2e$ ）；

C_{Use} ——使用阶段碳排放，单位为千克二氧化碳当量每千米（ $kgCO_2e$ ）；

$C_{Transport}$ ——运输阶段碳排放，单位为千克二氧化碳当量每千米（ $kgCO_2e$ ）；

C_M ——循环足迹公式（CFF）中与材料生产（含包装材料和维修保养材料）和生命末期相关的碳排放，单位为千克二氧化碳当量每千米（ $kgCO_2e$ ）；

E ——发动机生命周期内为车辆提供的能量，单位为千瓦时（kWh）；

P_e ——发动机额定功率，单位为千瓦（kW）；

6.4.4.2.3 零部件加工阶段

发动机零部件加工阶段的碳排放量按照6.4.4.1.3节中公式（6）进行计算。

6.4.4.2.4 发动机生产阶段

发动机生产阶段的碳排放量按照6.4.4.1.4节中公式（7）进行计算。

6.4.4.2.5 发动机使用阶段

发动机使用过程的碳排放量按照6.4.4.1.5节中公式（8）进行计算。同时，应补充发动机使用过程中由于维修、转运、储存等过程能耗以及维修用耗材、发动机更换零部件的生产等产生的碳排放。

6.4.4.2.6 运输阶段

发动机生命周期各阶段的运输过程碳排放量，按照6.4.4.1.6节中公式（12）进行计算。

6.4.4.2.7 材料获取阶段和生命末期阶段

6.4.4.2.7.1 当发动机产品由原生材料和再生材料组成，且产品废弃、再生利用等生命末期阶段纳入核算范围时，环境影响和环境效益应在多个生命周期之间进行分配。

6.4.4.2.7.2 发动机与材料获取和生命末期阶段相关的碳排放按照公式（16）或（17）计算，其中，材料包括发动机用材料和包装材料。

$$C_M = \sum_i \{ R_{1,i} \times A \times E_{V,i} + R_{1,i} \times E_{R,i} + (1 - R_{1,i}) \times E_{V,i} + E_{recEol,i} - R_{2,i} \times A \times E_{V,i} \} \quad (16)$$

$$C_M = \sum_i \{ R_{1,i} \times E_{R,i} + (1 - R_{1,i}) \times E_{V,i} + E_{recEol,i} + (R_{1,i} - R_{2,i}) \times A \times E_{V,i} \} \quad (17)$$

式中：

C_M ——材料获取（含包装材料和维修保养材料）和生命末期相关的碳排放，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；

$R_{1,i}$ ——再生材料i的投入比例；

$R_{2,i}$ ——对于将要在下一系统回收（重复利用）的材料，该材料在产品中所占的比例；

A ——分配系数；

$R \times A \times E$ ——回收利用信用额度，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）； $A=0$ 时，即完全降级回收时，不给予回收减碳效益；

$E_{V,i}$ ——全部由原生材料组成时，组成材料i的碳排放，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；

$E_{R,i}$ ——全部由再生材料组成时，组成材料i的碳排放，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；

$E_{recEol,i}$ ——报废处理产生的碳排放量，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；

7 影响评价

应按本文件中碳足迹量化方法量化发动机产品碳足迹。

8 影响评价

8.1 产品碳足迹研究的生命周期解释阶段应包括以下步骤：

a) 根据生命周期清单分析和生命周期影响评价的产品碳足迹的量化结果，识别重大问题（可包括生命周期阶段、单元过程或流）；

b) 完整性、一致性和敏感性分析；

c) 结论、局限性和建议的编制。

8.2 应按照产品碳足迹研究的目的和范围，对生命周期清单分析或生命周期影响评价的产品碳足迹的量化结果进行解释，解释应包括以下内容：

a) 对产品碳足迹和各阶段碳足迹的说明；

b) 对不确定性分析，包括取舍准则的应用或范围；

c) 详细记录选定的分配程序；

d) 描述空间系统的划分方法及空间格网粒度（如适用）；

- e) 说明产品碳足迹研究的局限性。
- 8.3 解释需包括以下内容：
- a) 对重要输入、输出和方法学选择（包括分配程序）进行的敏感性检查，以理解结果的敏感性和不确定性；
 - b) 替代使用情景对最终结果的影响评价；
 - c) 不同生命末期阶段情景对最终结果的影响评价；
 - d) 对建议的结果的影响评价；
 - e) 空间系统的划分和空间格网分辨率选择对结果的影响评价（如适用）。
- 8.4 产品碳足迹研究报告中，结果解释应包括：
- a) 结论和局限性；
 - b) 敏感性分析和不确定性分析结果；
 - c) 电力处理（见 6.4.1.4），应包括关于电网碳排放因子计算和相关电网的特殊局限信息；
 - d) 披露在产品碳足迹研究决策中所做出的价值选择并说明理由；
 - e) 范围和修改后的范围（如适用），并说明理由和排除的情况（见 5.2）。

9 产品碳足迹报告

- 9.1 产品碳足迹研究报告的目的是说明产品碳足迹或部分产品碳足迹符合本文件的规定。
- 9.2 可将产品碳足迹研究报告中的结果用于足迹信息交流。
- 9.3 应在产品碳足迹研究报告中完整地、准确地、不带偏向地、透明地、详细地记录和说明结果、数据、方法、假设和生命周期解释，以便相关方能够理解产品碳足迹固有的复杂性和所做出的权衡。
- 9.4 产品碳足迹报告模版见附录 E。

10 产品碳足迹声明

相关声明或信息交流中的产品碳足迹研究报告可参考附录 E。

附 录 A
(规范性)
材料碳排放因子核算范围

A.1 材料碳排放因子核算范围

A.1.1 部件材料

A.1.1.1 声明单位

工厂生产的1kg 部件材料。

A.1.1.2 核算边界

本文件部件材料碳排放的核算边界包括各种部件组成材料的资源开采、加工提纯、生产制造等过程。如图A.1 所示。

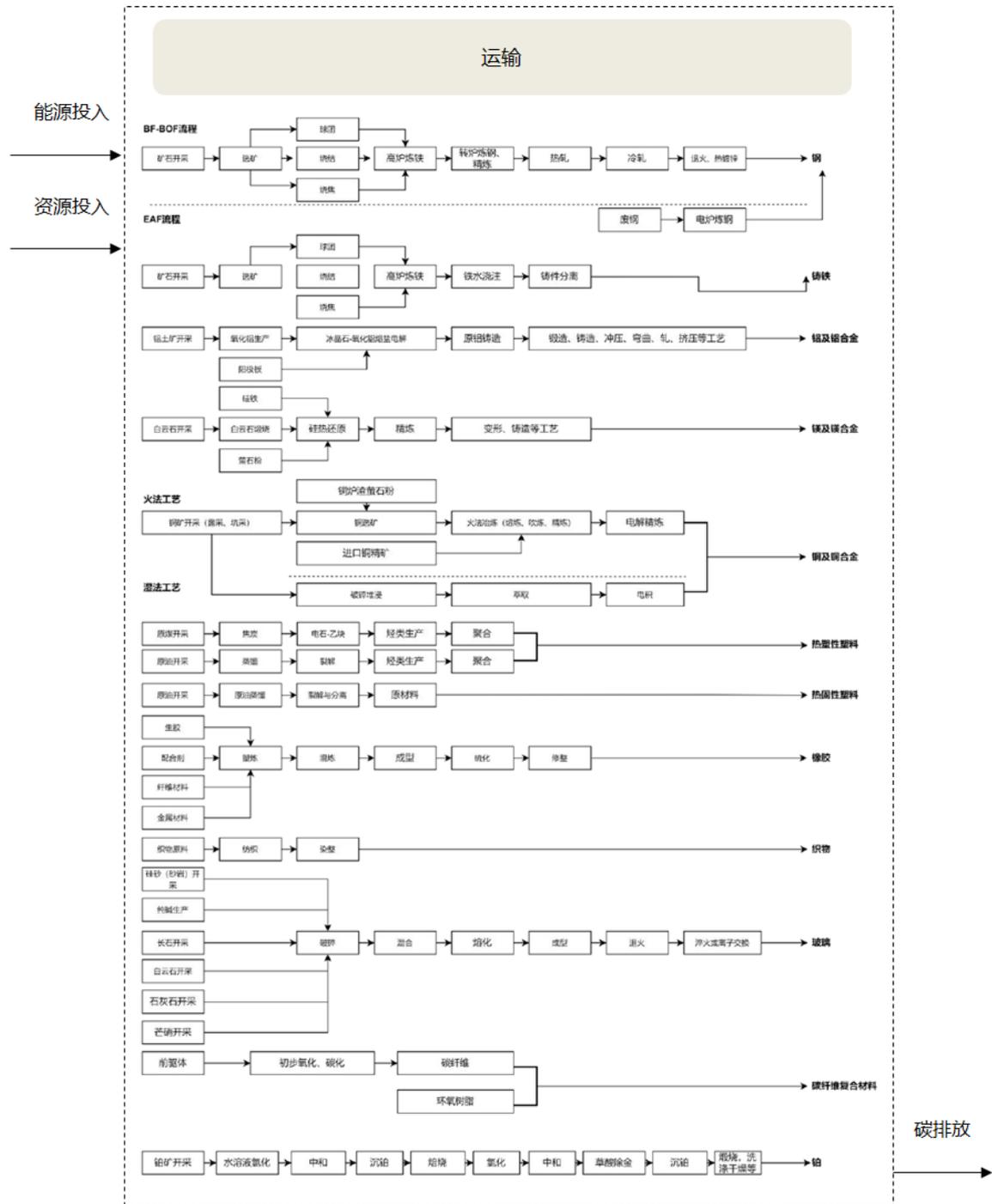


图 A.1 部件材料碳排放核算边界

A.1.2 液体材料

A.1.2.1 声明单位

工厂生产的1kg 液体材料。

A.1.2.2 核算边界

本文件液体材料碳排放的核算边界包括各种组成液体材料的资源开采、加工提纯、生产制造等过程。如图A.2所示。

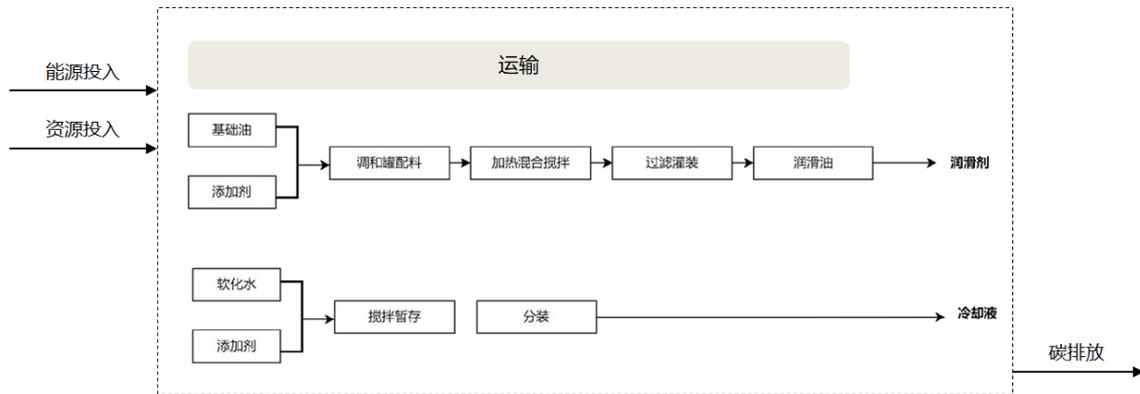


图 A. 2 液体材料碳排放核算的核算边界

A. 1. 3 生物材料

A. 1. 3. 1 声明单位

工厂生产的1kg 某生物材料。

A. 1. 3. 2 核算边界

本文件中由废物生产的生物材料的核算边界仅包括废物加工过程中产生的碳足迹。如图A.3所示。

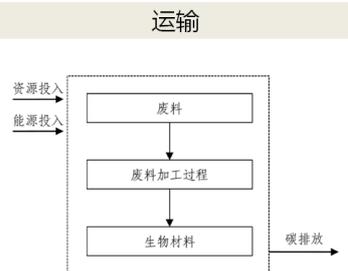


图 A. 3 废物生产的生物材料碳排放核算的核算边界

本文件中非废物生产的生物材料碳排放的核算边界包括种植、收获、生物材料生产等过程。如图A.4所示。

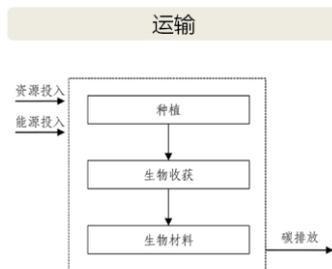


图 A. 4 非废物生产的生物材料碳排放核算的核算边界

A. 1. 4 再生材料

A. 1. 4. 1 声明单位

工厂生产的1kg 某再生材料。

A. 1. 4. 2 核算边界

根据实际情况划定边界。应包含由废弃材料生产再生材料的加工再制造等过程，不包括材料使用与废弃环节；而生产用设备制造、厂房建设等基础设施不包括在边界范围内。

A.1.5 其他材料

A.1.5.1 声明单位

工厂生产的1kg 某均质材料。

A.1.5.2 核算边界

根据实际情况划定边界。应包含资源开采、加工提纯、生产制造等过程，不包括使用与废弃环节；而生产用设备制造、厂房建设等基础设施不包括在边界范围内。如图A.5所示。

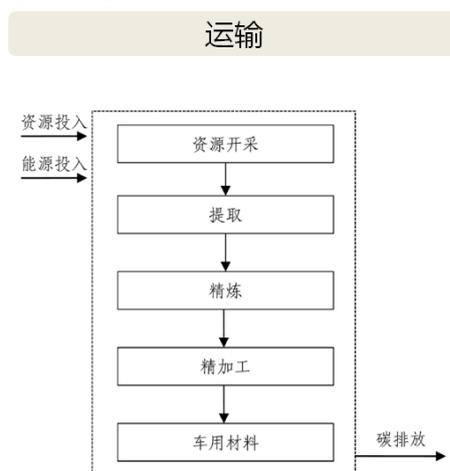


图 A.5 其他均质材料碳排放核算的核算边界

附录 B
(资料性)
发动机生产阶段碳排放的核算范围

B.1 发动机生产阶段核算范围

B.1.1 功能单位

工厂生产1台发动机。

B.1.1.1 核算边界

发动机生产阶段，即发动机零部件的加工制造阶段，始于原材料进入生产设施，结束于发动机产品离开生产工厂。系统边界包括发动机零部件生产制造和发动机组装过程，如图B.1所示。



图 B.1 发动机生产的核算边界

附录 C
(规范性)
数据质量等级

数据质量等级 (DQR) 公式计算如下:

$$DQR = \frac{TiR + TeR + GeR + SoR}{4}$$

式中,

TiR —— 数据在时间代表性维度的分值;

TeR —— 数据在技术代表性维度的分值;

GeR —— 数据在地理代表性维度的分值;

SoR —— 数据在数据来源代表性维度的分值。

表 C.1 数据质量矩阵 (DQR)

分数	TiR	TeR	GeR	SoR
1	碳足迹的基准年在次级数据库有效期内	建模技术和碳足迹的核算边界一致	建模过程发生在碳足迹有效的国家	现场调查或测量得到的原始数据
2	碳足迹的基准年超出次级数据库有效期≤2年	建模技术包含在碳足迹的核算边界内	建模过程发生在碳足迹有效的地理区域 (如欧洲、亚洲、北美洲、非洲) 等	来自权威的、定期更新的数据, 如政府主管部门发布的数据
3	碳足迹的基准年超出次级数据库有效期≤3年	建模技术仅部分包含在碳足迹的核算边界内	建模过程发生在碳足迹有效的地理区域之一, 或者数据集覆盖多个区域	来自一般文献或专著的不定期更新的数据
4	碳足迹的基准年超出次级数据库有效期≤4年	建模技术类似于碳足迹核算边界	建模过程发生在一个国家, 该国家不包括在碳足迹有效的地理区域中, 但据专家判断估计有足够的相似之处	基于文献或经验的推论、估计或假设的数据
5	碳足迹的基准年超出次级数据库有效期>4年	建模技术不同于碳足迹核算边界	建模过程发生与碳足迹有效的国家不同的国家	无根据的估算与假设的数据

附 录 D
(规范性)
全球增温潜势

计算用于GHG 全球增温潜势值时，应按照表D.1 中的规定执行。

表 D.1 部分温室气体的全球增温潜势（GWP）

气体名称	化学分子式	100年的GWP
二氧化碳	CO ₂	1
甲烷	CH ₄	27.9
氧化亚氮	N ₂ O	273
三氟化氮	NF ₃	17400
氢氟碳化物（HFCs）		
HFC-23	CHF ₃	14600
HFC-32	CH ₂ F ₂	771
HFC-41	CH ₃ F	135
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	3740
HFC-134	CHF ₂ CHF ₂	1260
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	1530
HFC-143	CH ₂ FCHF ₂	364
HFC-143a	CH ₃ CF ₃	5810
HFC-152	CH ₂ FCH ₂ F	21.5
HFC-152a	CH ₃ CHF ₂	164
HFC-161	CH ₃ CH ₂ F	4.84
HFC-227ca	CF ₃ CF ₂ CHF ₂	2980
HFC-227ea	CF ₃ CHF ₂ CF ₃	3600
HFC-236cb	CH ₂ FCF ₂ CF ₃	1350
HFC-236ea	CHF ₂ CHF ₂ CF ₃	1500
HFC-236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	8690
HFC-245ca	CH ₂ FCF ₂ CHF ₂	787
HFC-245cb	CF ₃ CF ₂ CH ₃	4550
HFC-245ea	CHF ₂ CHF ₂ CHF ₂	255
HFC-245eb	CH ₂ FCH ₂ CF ₃	325
HFC-245fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃	962
HFC-263fb	CH ₃ CH ₂ CF ₃	74.8
HFC-272ca	CH ₃ CF ₂ CH ₃	599

气体名称	化学分子式	100年的GWP
HFC-329p	$\text{CHF}_2\text{CF}_2\text{CF}_2\text{CF}_3$	2890
HFC-365mfc	$\text{CH}_3\text{CF}_2\text{CH}_2\text{CF}_3$	914
HFC-43-10mee	$\text{CF}_3\text{CHFCHFCF}_2\text{CF}_3$	1600
HFO-1123	$\text{CHF}=\text{CF}_2$	0.005
HFO-1132a	$\text{CH}_2=\text{CF}_2$	0.052
HFO-1141	$\text{CH}_2=\text{CHF}$	0.024
HFO-1225ye(Z)	(Z)- $\text{CF}_3\text{CF}=\text{CHF}$	0.344
HFO-1225ye(E)	(E)- $\text{CF}_3\text{CF}=\text{CHF}$	0.118
HFO-1234ze(Z)	(Z)- $\text{CF}_3\text{CH}=\text{CHF}$	0.315
HFO-1234ze(E)	(E)- $\text{CF}_3\text{CH}=\text{CHF}$	1.37
HFO-1234yf	$\text{CF}_3\text{CF}=\text{CH}_2$	0.501
HFO-1336mzz(E)	(E)- $\text{CF}_3\text{CH}=\text{CHCF}_3$	17.9
HFO-1336mzz(Z)	(Z)- $\text{CF}_3\text{CH}=\text{CHCF}_3$	2.08
HFO-1243zf	$\text{CF}_3\text{CH}=\text{CH}_2$	0.261
HFO-1345zfc	$\text{CF}_3\text{CF}_2\text{CH}=\text{CH}_2$	0.182
3,3,4,4,5,5,6,6,6-Nonafluorohex-1-ene	$\text{n-C}_4\text{F}_9\text{CH}=\text{CH}_2$	0.204
3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-Tridecafluorooct-1-ene	$\text{n-C}_6\text{F}_{13}\text{CH}=\text{CH}_2$	0.162
3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9,10,10,10-Heptadecafluorodec-1-ene	$\text{n-C}_8\text{F}_{17}\text{CH}=\text{CH}_2$	0.141
3,3,3-trifluoro-2-(trifluoromethyl)prop-1-ene	$(\text{CF}_3)_2\text{C}=\text{CH}_2$	0.377
1,1,2,2,3,3- hexafluorocyclopentane	cyc (- $\text{CF}_2\text{CF}_2\text{CF}_2\text{CH}_2\text{CH}_2$ -)	120
1,1,2,2,3,3,4- heptafluorocyclopentane	cyc (- $\text{CF}_2\text{CF}_2\text{CF}_2\text{CHFCH}_2$ -)	231
1,3,3,4,4,5,5-heptafluorocyclopentene	cyc (- $\text{CF}_2\text{CF}_2\text{CF}_2\text{CF}=\text{CH}$ -)	45.1
(4s,5s)-1,1,2,2,3,3,4,5- octafluorocyclopentane	trans-cyc (- $\text{CF}_2\text{CF}_2\text{CF}_2\text{CHFCHF}$ -)	258
HFO-1438ezy(E)	(E)- $(\text{CF}_3)_2\text{CFCH}=\text{CHF}$	8.22
HFO-1447fz	$\text{CF}_3(\text{CF}_2)_2\text{CH}=\text{CH}_2$	0.235
1,3,3,4,4-pentafluorocyclobutene	cyc (- $\text{CH}=\text{CFCF}_2\text{CF}_2$ -)	92.4
3,3,4,4-tetrafluorocyclobutene	cyc (- $\text{CH}=\text{CHCF}_2\text{CF}_2$ -)	25.6
全氟碳化物(PFCs)		
PFC-14	CF_4	7380
PFC-116	C_2F_6	12400
PFC-218	C_3F_8	9290
Hexafluorocyclobutene	cyc (- $\text{CF}=\text{CFCF}_2\text{CF}_2$ -)	126
PFC-C-318	cyc (- $\text{CF}_2\text{CF}_2\text{CF}_2\text{CF}_2$ -)	10200

气体名称	化学分子式	100年的GWP
PFC-31-10	n-C ₄ F ₁₀	10000
Octafluorocyclopentene	cyc (-CF=CFCF ₂ CF ₂ CF ₂ -)	78.1
PFC-41-12	n-C ₅ F ₁₂	9220
PFC-51-14	n-C ₆ F ₁₄	8620
PFC-61-16	n-C ₇ F ₁₆	8410
PFC-71-18	n-C ₈ F ₁₈	8260
PFC-91-18	C ₁₀ F ₁₈	7480
1,1,2,2,3,3,4,4,4a,5,5,6,6,7,7,8,8,8a-octadecafluoronaphthalene	Z-C ₁₀ F ₁₈	7800
1,1,2,2,3,3,4,4,4a,5,5,6,6,7,7,8,8,8a-octadecafluoronaphthalene	E-C ₁₀ F ₁₈	7120
PFC-1114	CF ₂ =CF ₂	0.004
PFC-1216	CF ₃ CF=CF ₂	0.09
1,1,2,3,4,4-hexafluorobuta-1,3-diene	CF ₂ =CFCF=CF ₂	0.004
Octafluoro-1-butene	CF ₃ CF ₂ CF=CF ₂	0.102
Octafluoro-2-butene	CF ₃ CF=CFCF ₃	1.97
六氟化硫	SF ₆	25200
注：部分温室气体的全球变暖潜势来源于气候变化专门委员会（IPCC）《气候变化报告2021：自然科学基础 第一工作组对政府间气候变化专门委员会第六次评估报告的贡献》。		

附录 E
(资料性)
汽车发动机产品碳足迹研究报告模板

汽车发动机产品碳足迹研究报告（模板）

汽车发动机产品名称： _____

汽车发动机产品规格型号： _____

汽车发动机编码： _____

生产者名称： _____

报告编号： _____

出具报告机构：（若有） _____（盖章）

日期： _____年____月____日

E.1 概况

E.1.1 生产者信息

汽车发动机生产者名称：_____

地址：_____

法定代表人：_____

授权人（联系人）：_____

联系电话：_____

企业概况：_____

E.1.2 汽车发动机产品信息

产品名称：_____

产品功能：_____

产品介绍：_____

产品图片：_____

E.1.3 量化方法

依据标准：_____

E.2 量化目的

E.3 量化范围

E.3.1 功能单位或声明单位

以_____为功能单位或声明单位。

E.3.2 系统边界

材料获取阶段 生产阶段 其他加工阶段 使用阶段 运输阶段 报废回收阶段

不包括道路与厂房等基础设施、各工序的设备、厂区内人员及生活设施的碳排放。

系统边界图：_____

E.3.3 取舍准则

采用的取舍准则以_____为依据

具体规则如下：_____

E.3.4 时间范围

_____年度

E.4 清单分析

应编制汽车发动机产品边界内的所有材料/能源输入、输出清单，作为碳排放核算的依据。如果数据清单有特殊情况、异常点或其它问题，应在报告中明确说明。

数据收集时间段应予以报告。

清单数据中未包含的过程数据需要予以报告，或者根据取舍准则的规定进行调整。

E.4.1.1 数据收集

初级数据：_____

次级数据：_____

E.4.1.2 材料获取阶段

始于从大自然提取资源和废料加工，结束于汽车发动机原材料进入产品生产设施。

列出系统边界内的原材料数据和再生材料数据，并没有遗漏，见表 E.1。

注明汽车发动机能量和重量等信息。

说明各种类型主要原材料的生命周期清单数据来源。

表 E.1 发动机材料输入清单（请根据实际情况填写）

材料名称	单位	原生材料	再生材料	数据来源	DQR
钢	kg				
铸铁	kg				
铝及铝合金	kg				
镁及镁合金	kg				
铜及铜合金	kg				
铂	kg				
铅	kg				
热塑性塑料	kg				
热固性塑料	kg				
橡胶	kg				
织物	kg				
陶瓷	kg				
润滑剂	kg				
冷却液	kg				
其他材料	kg				

E.4.1.3 生产阶段

始于汽车发动机原生材料进入生产场址，结束于汽车发动机成品离开生产工厂。生产阶段核算发动机零部件生产制造和发动机组装过程的碳排放。

生产阶段的数据应选取有代表性的现场数据，包括生产阶段主要工艺流程，生产阶段能源资源的输入数据，及向空气排放的温室气体数据等，并没有遗漏，见表 E.2。

说明各种类型燃料的生命周期清单数据来源。

表 E.2 汽车发动机生产阶段燃料输入输出清单（请根据实际情况填写）

过程	名称	单位	数量	数据来源	DQR
发 动 机 生 产	电	kWh/kWh			
	天然气	m ³ /kWh			
	CO ₂ 逸散	kgCO ₂ /kWh			
	汽油	kg/kWh			
	柴油	kg/kWh			
	外购蒸汽（需备注压强）	kg/kWh			

E.4.2 其他加工过程

包括零部件加工过程的碳排放。

数据应选取有代表性的现场数据，包括生产阶段主要工艺流程，生产阶段能源资源的输入数据，及向空气排放的温室气体数据等，并没有遗漏，见表 E.2。

说明各种类型燃料的生命周期清单数据来源。

E.4.3 使用阶段

包括发动机使用损耗的碳排放。

E.4.3.1 运输阶段

包括发动机从制造地到最终使用地（或进入市场的参考入口点）的运输，不考虑其他过程的运输。运输过程的边界包含运输工具作业过程及能源作业过程，考虑运输距离、运输方式、燃料消耗量、回程空载及关联物等因素。

E.4.3.2 生命末期阶段

该阶段主要核算发动机进入报废处理工厂，到分离出可用于生产可再生材料的物料过程所产生的碳排放。

说明各个过程的燃料消耗量以及直接排放的碳排放。

E.4.3.3 假设

说明核算过程中涉及到的重要假设，尤其是生命末期阶段。

E.4.3.4 分配原则与程序

分配依据：_____

分配程序：_____

具体分配情况如下：_____

E.4.3.5 特定温室气体排放量和清除量的处理

特定温室气体排放量和清除量的处理方法。

E.5 影响评价

E.5.1 影响类型和特征化因子选择

一般选择政府间气候变化专门委员会（IPCC）给出的100年全球变暖潜势（GWP）。

E.5.2 产品碳足迹结果计算

说明发动机产品应用本文件计算公式进行碳足迹计算的核算结果。

E.6 结果解释

E.6.1 结果说明

_____公司（填写汽车发动机产品生产者的全名）生产的_____（填写所评价的发动机产品名称，每功能单位的产品），从_____（填写某生命周期阶段）到_____（填写某生命周期阶段）生命周期碳足迹为_____kgCO₂e。各生命周期阶段的温室气体排放情况如表 E.3 和图 E.1 所。

表 E.3 汽车发动机生命周期各阶段碳排放情况

生命周期阶段	碳足迹 (kg CO ₂ /功能单位)	百分比 (%)
材料获取阶段		
生产阶段		
零部件加工阶段		
使用阶段		
运输阶段		
生命末期阶段		
总计		

图 E.1 汽车发动机各生命周期阶段碳排放分布图

一般以饼状图或是柱形图表示各生命周期阶段的碳排放情况。

E.6.2 假设和局限性说明（可选项）

结合量化情况，对范围、数据选择、情景设定等相关的假设和局限进行说明。

E.6.3 改进建议

参考文献

- [1] ISO 14026:2017 Environmental labels and declarations - Principles, requirements and guidelines for communication of footprint information
- [2] ISO 14027:2017 Environmental labels and declarations - Development of product category rules
- [3] ISO 14040:2006 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework
- [4] ISO 14067:2018 Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification.
- [5] Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. (2021).
- [6] Product Environmental Footprint Category Rules Guidance. Version 6.3. European Commission. (2021).
-