



TOGETHER FOR
SUSTAINABILITY

优化与统一 范围 3 报告

TfS 白皮书

生物碳质量/能量平衡 回收成分

版本 1.1 - TfS 2023 年 10 月

本白皮书背景概述

2022年11月推出的产品碳足迹(PCF)指南,是携手可持续发展倡议TfS组织(以下简称为TfS)至今完成的最具影响力的项目之一。本项目召集了来自超过25家化工公司的专家协同合作,应对化工行业的范围3挑战,并制定了第一套化工行业产品碳足迹(以下简称为PCF)计算的实施细则指南。对于有社会责任感的企业,PCF指南将在其执行“十年行动”的过程中起到重要的推动作用。通过制定该指南,TfS组织确认了企业温室气体核算的改进潜力,即本白皮书的讨论内容。

01	
导言.....	02

02	
生物碳	
2.1 背景和问题陈述.....	04
2.2 温室气体议定书的不完整性.....	05
2.3 建议和解决方案.....	05

03	
质量/能量平衡	
3.1 背景和问题陈述.....	07
3.2 建议和解决方案.....	08
3.2.1 建议.....	08
3.2.2 解决方案.....	08
3.2.3 摘要.....	09

04	
回收成分	
4.1 背景和问题陈述.....	10
4.2 已识别的温室气体核算体系关于回收成分的分歧.....	11

05	
展望.....	12

13	
参考文献	

15	
缩写	

01 导言

全球性的气候挑战迫在眉睫，现在是人类必须立即果断行动的关键性时间节点 (IPCC 2023)。化工行业已意识到其关键作用，致力于引领创新解决方案，以应对紧迫的气候变化问题。然而，即使基于减排的承诺，在现实中落实降低排放的过程仍然是独一无二的复杂挑战。

这一挑战的核心是排放与化石材料错综复杂的关系。这些材料既用于供应能源，也是化工产品的基础原料。化工行业的脱碳之路必须应用综合性策略，而不是仅仅替代能源供应。当前重点发展方向包括从常规化石能源中分离碳，使用生物质，大气中的二氧化碳捕获技术等替代方法，以及创新型的废弃物回收流程 (Gabrielli et al, 2019; Schneider et al, 2019; Tan & Vegelan, 2022; McKinsey, 2021)。

为实现行业净零碳的未来，当务之急是对碳排放的核算标准进行重新审查。作为企业编制报告的基础，《温室气体核算体系》迫切需要重新校准，以准确反映当前可再生碳循环和新兴技术不断变化的实际情况。TfS 指明了为解决该问题，所需重点改进的三个关键点：

生物碳核算

生物碳源的重要性日益突出，需要制定可靠的核算框架，来对其进行准确核算。

质量平衡法作为过渡机制

考虑到行业不断变化，应用质量平衡法，作为一种基于市场的机制，以推动行业向可持续实践过渡。

回收材料和成分

化工行业中回收材料和成分日益趋向于融合统一，碳核算方法需要进行调整，以认可循环经济在企业 and 产品层面带来的积极影响。

然而，未来的道路是复杂的，各行业、标准机构和利益相关者的观点各不相同。这种差异突显了进一步研究、对话和集体合作的必要性，以建立一条连贯的发展路径。标准制定者和监管机构等中立实体能够根据现有的最佳科学数据以及非政府组织、学术界和行业的支持，为应对这些挑战提供重要指导。

在接下来的章节中，本白皮书将开始一段探索之

旅。各章节将探讨统一碳核算方法的挑战和潜在解决方案，揭示更可持续的化工行业的复杂性和发展战略。最初的重点是生物碳，需要有一种与其在技术领域的物理流动相匹配的核算方法 [第2章]。然后讨论转向质量和能量平衡的复杂性 (第3章)，最后深入研究回收成分核算方法的细微差别 (第4章)。

在这些讨论的范围内，承认了现实情况的复杂性和观点的差异性。这一前提下，对研究、合作和透明度的要求更高。通过吸纳行业、中立机构和利益相关者的集体意见，可以促进透明度、可比性和实际影响。这使公司能够有条不紊地跟进其脱碳工作，应对当前迫在眉睫的净零排放目标。在我们迈向可持续未来的过程中，合作和知识共享将引导我们朝着更具韧性和平衡的世界迈进。



2.1 背景和问题陈述

化工行业的客户正在应用来自生物基材料或生物质平衡材料的生物碳，来降低出售产品的产品碳足迹（以下简称为 PCF）。这类产品的好处是它们含有生物碳，这些碳以二氧化碳的形式从大气中清除，并在重新释放到大气中之前，一直储存在化工产品中。

植物生物质不可替代的特征是，植物进行的光合作用可以从大气中吸收二氧化碳，最终降低大气中的二氧化碳浓度。实际上，在二氧化碳没有再次进入大气的前提下，将生物质（其中含有生物碳）制造成产品，就意味着降低了二氧化碳排放。在 PCF 计算中应予以考虑生物碳材料的这项优点。

根据《温室气体核算体系》《温室气体核算体系企业价值链（范围三）标准》，企业购买含有生物碳产品时，应将生物二氧化碳的排放量和清除量从温室气体范围中分开报告。因此，该企业虽然实际上购买了从大气中去除二氧化碳的产品，但范围 3.1 报告并未考虑这种情况。同样，产品寿命周期结束报废阶段（EoL）（例如燃烧或生物降解期间）的生物二氧化碳排放量也不纳入各自的范围内计算，而进行单独计算。

因此，企业使用含有生物碳产品的优势，无法在其范围 3.1 温室气体核算中充分体现。相反，二氧化碳吸收量或生物二氧化碳排放量不允许包含在范围 3 清单中，而要求在范围 3.12 核算中单独报告。

目前，温室气体核算体系使用的方法称为 0/0 方法，核算企业排放量时不考虑生物碳清除和生物碳排放（不包括在核算范围中）。

因此，只有当生物二氧化碳释放回大气中时（例如，通过燃烧或生物降解），由生物碳制造的产品优势才能在产品报废阶段在范围 3.12 中有所体现。根据温室气体核算体系目前对材料回收建议采用的取舍法（见第 4 章），这意味着在回收生物碳制造的产品时，排放核算中将不考虑从大气中去除生物二氧化碳的减碳量。

按照目前的 0/0 方法，首先，生物材料减排的优势没有考虑到核算范围内。其次，完全没有考虑材料回收的情况。

相比之下，产品 PCF 标准《温室气体核算体系产品标准》以及《ISO 14067:2018》要求报告不包括和包括生物温室气体排放量和清除量的 PCF 值以及生物碳含量。这种方法称为 -1/+1 计算方法，它既考虑了进入产品系统时的生物二氧化碳清除量（作为负排放），也考虑了在产品报废阶段产生的排放量（作为正排放）。该方法可以核算使用生物碳材料的优势，成为决定材料是否回收的考量因素。

《温室气体核算体系企业价值链（范围三）标准》现行的核算方法对销售含有生物碳的产品以及客户希望在不依赖不确定的报废阶段场景的情况下在范围 3.1 中显示减碳收益的诉求都具有重大不利影响。

此外，《温室气体核算体系企业价值链（范围三）标准》中所述的方法与《温室气体核算体系产品标准》，ISO 14064-1:2019 或 ISO 14067:2018 不符。当生物碳进入产品系统时，这些标准允许用户直接考虑生物二氧化碳吸收的减排量。长期应用生物碳

产品持续储存所清除二氧化碳的减排量无法准确核算。

用于生物二氧化碳的 0/0 核算方法无法准确报告从大气中去除二氧化碳的其他技术的好处，如生物“碳捕集和使用”（CCU）或“具有碳捕集和储存的生物能源”（BECCS）。目前，这些系统中的二氧化碳没有排放回大气的事实无法纳入考量。根据《温室气体核算体系企业价值链（范围 3）标准》，企业排放核算中不考虑抵消，与此相反，这些类型的技术的减碳效益在同一价值链中（称为“嵌入”）。基于这样的原因，无法准确地考量这些技术的减碳效益来促进其利用。因此，目前《温室气体核算体系企业价值链（范围 3）标准》的方法阻碍了公司推广其基于生物碳捕集和利用或具有碳捕集和储存的生物能源的产品的减碳效益。

2.2 温室气体核算体系的不完整性

《ISO 14067:2018》和《温室气体核算体系产品标准》要求单独报告生物二氧化碳排放量和清除量，但也允许在清单中引入所有排放量和清除量，添加到从摇篮到坟墓的总 PCF 和从摇篮到大门的部分 PCF 计算中。

对于最终进行焚烧的短期使用的材料，用这两种方法进行从摇篮到坟墓的核算是相同的。对于长期应用的情况，最终的处置方法的不同将导致核算结果的显著差异。目前的核算是完整的，无法明晰的显示企业温室气体清单中范围 3.1、范围 3.5 和范围 3.12 的相关排放量和清除量。

当前版本的《温室气体核算体系企业价值链（范围三）标准》并不完整，因为：

- 所有情况均假定生物碳制成的产品在报废时进行完全焚烧，即使它们实际进入了回收或再利用阶段。
- 尽管《温室气体核算体系土地行业和清除指南》（GHG Protocol Land Sector and Removals Guidance）草案提及了二氧化碳清除量和排放量的储存时间，但没有进行评估和纳入核算，缺乏明确的指导意见。因此，目前在碳排放核算中无法将生物二氧化碳长时间储存的减碳效益纳入考量。
- 对于从大气中去除二氧化碳的“碳捕获和利用”或“碳捕获和储存”等其他技术，同样的情况也适用。因此，无法正式计算这部分温室气体减排的具体效益。
- 同样情况也适用于运用生物二氧化碳的吸收和储存技术作为长期碳汇的产品。

这种计算报告方式，不利于化工业及其下游行业使用和推广含有生物碳的材料，然而事实上这些材料可以为温室气体减排作出重大贡献。由于计算中的所有情景均假定生物碳材料在报废时进行完全焚烧，长期应用这些材料，从而通过将生物碳储存起

来的方法有效降低排放的情况无法通过这种核算机制来证明。

更多详细信息将随《温室气体核算体系土地行业和清除指南》（GHG Protocol Land Sector and Removals Guidance）的最终版本提供。

2.3 建议和解决方案 05

出于企业温室气体核算的目的，产品中包含的生物碳应采用《ISO 14067:2018》进行 PCF 计算的相同方法，被视为进入生产体系时的二氧化碳清除量。

化工公司希望在范围 3.1 中体现出使用生物碳材料取代化石基材料时实现的温室气体减排效益。

如果允许在范围 3.1 中考虑生物碳减排，则在短期使用时，也应在范围 3.12 中考虑生物碳排放，计算最好基于实际产品的真实数据，而非广义上的统计数据。对于长期应用和/或回收的情况，范围 3.12 报告应进行调整，以反映长期应用产生的效益。生物碳的排放和清除核算需要在温室气体核算体系定义的所有范围内予以考虑。无论何处产生的生物源碳排放，均应计入生物源碳排放量。同样，无论何处清除的二氧化碳，都应以每千克二氧化碳记为每千克二氧化碳当量的负数进行处理。TfS 制定的 PCF 指南允许两种方式计算，即计算生物碳减排和不计算生物碳减排的情况。

使用 -1/+1 的方法可以避免当前报告方法的缺点。因此，我们建议采用《温室气体核算体系产品标准》以及 ISO 14064-1:2019 中提供的 -1/+1 总流量核算方法。如果可以获得详细的分类数据，则可以汇总所有清除量和排放量（生物源和化石源）。

许多化工公司正在制定降低范围 3.1 产品排放的目标。因此，应该允许公司在生物材料时将减排效益纳入范围 3.1 核算。这种方法一方面将激励公司采取长期的变革行动，另一方面其努力也能够获得认可。激励措施也必须在公司层面加以考虑。因此需要根据《ISO 14067:2018》和《温室气体核算体系产品标准》统一 PCF 计算方法。

TfS 建议对含有生物碳的材料进行准确核算，允许企业在范围 3.1 计算中声明通过使用生物碳材料降低碳排放。计算方法应进行相应调整，将生物二氧化碳吸收视为效益（负值）。范围 3.1 核算应与生物碳产品的 PCF 计算一致。如果产品在寿命周期结束报废阶段时属于长期应用（使用中、长期储存），则生物源二氧化碳吸收最终可视为去除二氧化碳的机制。应该引入长期应用的概念，并进行明确定义。

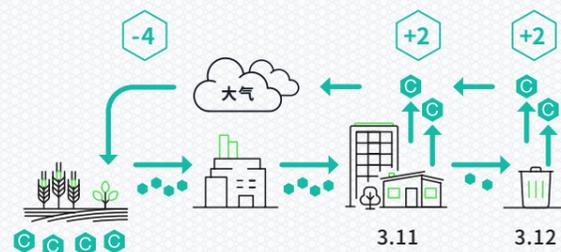
图1说明了两种计算方法 (-1/+1 和 0/0)，并进行了比较。

具体而言，应该解决以下问题：

- 如果多个企业多次使用同一产品，与范围 3.12 中重复计算排放量的常见做法相比，范围 3.1 中可能出现的重复计算并不重要。因此，在整个企业排放清单中，减排量和排放量将相互平衡（前提是二氧化碳在产品寿命周期结束时排放）。
- 使用 -1/+1 方法核算含有生物碳的材料回收过程，会导致碳排放核算困难。因此，关键点是回收过程的核算方法必须与生物碳材料的核算方法相一致。必须避免在多个生命周期中重复计算“从大气中去除二氧化碳”的减排效益，而不考虑相应寿命周期结束时的排放量。这一点至关重要，否则可能会出现通过多次重复计算减排1千克二氧化碳的效果，来人为降低企业排放量的情况。具体图示参见图2。

图1 生物二氧化碳 -1/+1 和 0/0 计算方法比较

-1/+1 方法 (考虑生物二氧化碳)



吸收 -4 和排放 $(+2; +2)$ 纳入计算

- 范围 3.1: -4
- 范围 3.11 / 范围 3.12: $+4$

总计 $-4 + +4 = 0$

0/0 方法 (不考虑生物二氧化碳)



吸收和排放均不纳入计算 ($0!$)

- 范围 3.1: 0
- 范围 3.11 / 范围 3.12: 0

总计 $0 + 0 = 0$

图2 问题：回收系统中生物碳信用的多重计算



如果在每个生命周期中均按照范围 3.1 计算生物碳信用额，则计算的二氧化碳吸收量高于实际二氧化碳吸收量。因此，应避免对多个生命周期的生物碳信用额进行重复计算。

范围 3.1: $1 \times -4 = -4$ 二氧化碳范围 3.1: $1 \times -4 + 9 \times -4 = -40$ 二氧化碳

03 质量/能量平衡

3.1 背景及问题陈述

ISO 22095 《ISO 22095:2020》将质量/能量平衡核算的概念定义为一种成熟的“监管链”(CoC)技术，是加强产品可持续性的关键方法。它通过整合生物质、回收材料和能源来实现这一目标。在实践中，这种方法为行业提供了一种简化的方式，可以将回收材料与传统材料一起逐步纳入现有的生产系统。它解决了在加工过程中无法将替代材料和传统材料进行物理分离的问题。

在化工生产领域，有限的原材料可以生产多种产品。以蒸汽裂解装置作为起点，将石脑油（一种长链碳氢化合物）“裂解”成更小的分子，如氢、丁烯、乙烯和丙烯等。这些分子组分是各种化工产品的基础单元，包括塑料、涂料、溶剂和农作物保护剂。然而，在蒸汽裂解等大型装置中改变原料是一项挑战。

为了使用替代原料，如裂解装置总进料当中少量的生物质，可以采用质量平衡 (MB) 的方法。在这里，使用可再生或回收资源的化工生产遵循基于计算的方法，将这些可持续要素分配给某些最终产品。这确保了采用质量平衡方法的产品可以与传统方法制造的产品互换使用，而不需要修改配方、工艺或设施，同时低碳原料的减碳效益可以传递给需要可持续性属性产品的客户。

巴斯夫(BASF,2022)指出，质量平衡方法在化工领域的应用拥有诸多优势：

1. 通过将可持续性原材料整合到现有的化工产业基础设施中，促进行业向碳中和循环经济的过渡。
2. 制造价格可负担的环保产品，无需大量追加新的投资。
3. 灵活的扩展能力，同时维持产品质量不变。
4. 在第三方认证的支持下，提高知情的可持续采购决策的透明度。
5. 利用已在其它不同领域成功应用的既有方法，促进化工产业向应用可持续替代原料的方向过渡。

质量平衡核算方法的设计目的在于追踪复杂价值链中的物料流动。该方法除了在化工行业内部应用以外，还可应用于其他行业。多个与可持续和/或负责任采购相关的项目均已采用了该方法，例如森林管理委员会 (FSC) 和良好棉花发展协会 (BCI)。

“质量/能量平衡”方法提供了一套规则，说明如何将生物基或回收材料分配给不同的产品，以便能够针对“生物减排”或“循环”进行声明和推广。这一点目前没有反映在当前版本的温室气体核算体系中。对于化工品制造商来说，替代原料只是进入生产系统的另一种原材料。在系统内部，它将与其他产品混合并转化为许多其他产品，但离开生产装置的替代材料的数量与进入生产装置的数量

相等（在物理和化学的转化率和损失的限制内）。

例如，化学回收可以采用几种工艺。在质量平衡的方法中，主要投料，如热解油可以在化工生产现场与化石基的石脑油混合。这意味着回收材料分配给几个产品，需要质量平衡的方法来计算从塑料到塑料的转化率 [Broeren et al 2022]。

多材料输入-单产品输出系统必须由碳足迹不同的多种原材料来共同制造输出产品。基于自由归因的原则，质量平衡核算方法允许将来自单个输入源的生物基材料或回收材料的可持续性效益归因给单个输出产品（输入质量等于输出质量乘以转换因子）。这种方法的风险在于，可能会由于碳足迹较低的原材料将其可持续性效益归因给了输出产品，而忽略了其他碳足迹较高的原材料。为了避免被指责为“洗绿”，应尽量避免这种方法。

3.2 建议和解决方案

3.2.1 建议

质量平衡的产品包括生物碳和/或单一质量平衡产品输入和相同材料输出的二次材料时，其PCF可以很容易地通过每个产品的单独足迹来计算。当来自不同来源的物理上相同的材料在没有进一步转化的情况下混合时，质量平衡很容易进行。而某些情况下则需要特殊规则，例如生物基材料和二次质量平衡材料的蒸汽裂解步骤，因为许多产品（材料和燃料）的复杂混合物取决于进料方案。一种解决方案可以是对从裂解装置边界输出的燃料使用系统扩展方法，而其余输出可以进行质量分配。

由于化工品通常以复杂的组合形式被使用，因此只有在某些情况下（例如，玻璃、金属、某些塑料）才可能进行独立循环。此外，当产品在经济中流动时，通常会有额外的混合和污染，即使它们在物理和化学意义上是可区分的，但这种分离在实操和经济层面均不可行。化学回收可以在报废阶段废塑料的定价中发挥作用，从而生产包括塑料在内的新化学品。如果不显著加速机械和化学回收技术的规模化，就很难实现雄心勃勃的回收目标 [Ishii&Stuchtey 2022]。目前的温室气体核算体系没有定义质量平衡的方法，因此还不能应用。TfS 建议实施以下方面的举措【TfS PCF指南】：

- 针对回收材料、生物基材料和其他类型的材料，应接受质量平衡的方法，并遵循本白皮书中建议的核算规则。
- 针对直接用于化工品供应链的材料，应接受质量平衡的方法。从这个意义上说，应该接受不同的监管链模型，例如质量/能量平衡、系统扩展等。
- 如果有公认的核算和认证方案，大型化工厂中此类材料的稀释应被视为直接输入。
- 对于生物质而言，用于验证回收碳或生物基碳的“真实”质量的 C14 方法没有意义，因为无法准确检测可持续部分归属质量。ISO 22095将质量平衡方法定义为监管链模型，并应具有某些可持续性特征。应该进一步对这部分可持续性特征进行精确定义。

3.2.2 解决方案

实现降低温室气体排放的循环经济需要转向基于生物质或废弃物的原材料。质量平衡方法可让大量产品以快速、经济、可扩展和为社会接受的方式实现这一转变。考虑到使用的材料在质量平衡/能量平衡中的减排效益，公司核算中的系统扩展成为准确报告的关键因素。以下建议应作为进一步发展温室气体核算体系的基础：

1. 质量/能量平衡系统扩展应针对特定地点，允许将原料的可持续部分分配给特定的产品或输出——被称为自由归属的原则——对于某工艺产出的产品。
2. 可再生碳汇的多地点转移应按照相应认证计划的要求执行。任何情况下使用多地点转移方法，核算过程都应清晰透明。
3. 对于 PCF 评估，除了碳元素之外，还可考虑可再生产品原料中包括的其他元素（例如氮、氢、氧）来计算其可归属量。任何对碳排放有影响的可再生产品原料均可考虑纳入到PCF计算中，如可再生的氢或氨。
4. 核算的时间周期（用于平衡碳排卖空）应为一 年。
5. 质量平衡计算必须获得质量平衡计划的认证，满足相关要求。

为确保质量平衡方法能够发挥实际效果，进行广泛应用，核心要点是计算基础和分配规则必须普遍适用并且可靠。

因为进入价值链的化合物即使原子含量相同，在化学变化过程中的价值也可能不同，因此质量平衡核算不能仅仅基于质量。在某些情况下，使用化学值相关的特性，如“低热值”、碳含量、功能单元等，作为计算（如，计算混合塑料废物）和碳含量的基础可能更为合适。一般来说，为避免简单操作的“洗绿”行为，应充分考虑化石原料的需求。

3.2.3 摘要

质量平衡概念用于确保现有基础设施的高效和可持续利用，因为相似的概念应用于转换过程中，避免可再生碳源的重复安装。通过质量平衡，化工产业将同样遵循其他行业和部门已广泛认可和接受的既定机制。

一种来源于多种原料类型（如化石、生物质、循环经济）的化学品投入到大规模运营中，由于其化学性质相同，因此无法根据原料类型进行区分。质量平衡方法要求准确计算和验证产品的可再生碳含量或回收成分含量。这将确保行业向完全循环和/或生物基化工过渡。

04 回收成分



4.1 背景和问题陈述

向循环经济转型和实现净零目标需要通过再利用和回收重新利用二次材料。在这方面，化工行业发挥着举足轻重的作用。机械和化学回收等技术有望在减少温室气体排放的同时将材料保持在循环中 (Ellen MacArthur Foundation, 2019)。使用回收材料的温室气体减排量应反映在二次材料使用者和生产者的企业温室气体核算报告中。然而，《温室气体核算体系》的取舍核算法未能解决复杂的相互作用所涉及的问题。

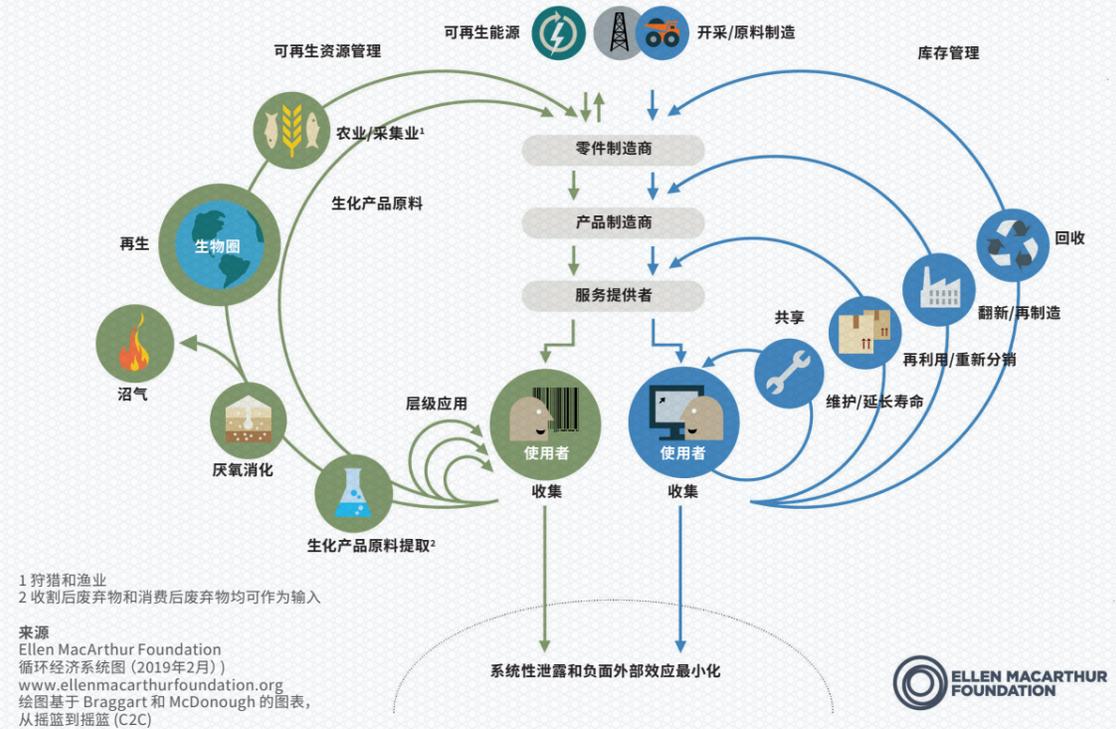
《计算范围三排放量的技术指南》(Technical Guidance for Calculating Scope 3 Emissions) 第 77-79页概述了将回收成分纳入温室气体核算的具体方法。根据这种方法，在产品的首次使用中，如果能够证明废物流的回收，则价值链参与者不需要考虑范围3.5或范围3.12中的回收负担。与回收过程相关的负担责任在采购和使用回收产品的公司 (通常称为第二用户) 的范围3.1 (采购商品和服务) 中进行说明。这造成了回收负担在价值链参与者之间的不平衡分布，导致许多公司将其范围3的碳减排工作主要集中在范围3.1 (采购产品和服务) 和3.5 (运营废弃物) 这两个子类别上。这些细分范围是与下游合作伙伴共享的从摇篮到大门部分产品碳足迹 (PCF) 的组成部分，因此构成了公司运营任务的重要组成部分。

相反，在范围3.12 (销售产品的报废处理) 中，回收材料的生产商和用户采取直接行动减少排放并实现循环经济，然而达成的实际温室气体减排量并不能转化为范围3.12排放量的减少。在报告实体的直接控制之外，大多数范围3.12核算方法依赖于高水平的假设和全球统计数据，如经济合作与发展组织的假设和统计数据[2022年全球经合组织统计数据]。下一章节试图在当前框架内解决化工公司在企业和PCF层面进行温室气体排放报告面临的挑战。目的是强调现有《温室气体核算体系企业价值链 (范围三) 标准》的不足，以促进利益相关方之间的公开讨论。

图3概述了如何将原材料引入循环经济并以不同方式重复利用的方法。其中多种方法都适用于化工行业，企业应用这些方法时，必须在报告中加以说明，并提供相应的实际数据。

循环经济系统图也被称为蝴蝶图，说明了循环经济中物质的连续流动。主要有两个循环——技术循环和生物循环。

图3 - 蝴蝶图: 循环经济系统图 (Ellen MacArthur Foundation)



4.2 已识别的温室气体核算体系关于回收成分的分歧

挑战一 - 取舍法的局限性: 1 温室气体核算体系企业价值链 (范围三) 标准对所有材料都采用了取舍法。对于报废阶段，这导致仅在子类别范围3.12内认可“减排效益”，因为回收材料的份额按照零排放核算 (不包括收集和分拣)。同时，当第二个用户采购回收材料时，回收排放的环境影响也被纳入其中 (在上游范围3.1)。这种方法被证明对上游价值链参与者来说是有问题的，因为范围3.12通常超出了他们的直接控制的范围。

以下是取舍法缺点的说明:

A公司使用化石原料生产材料，根据全球经合组织统计[全球经合组织2022年统计]，该化石原料的总体回收率为10%，则A公司可以在其范围3.12核算中声称10%的回收率是其碳排放的取舍值。然而这并没有为实现循环经济做出积极贡献。另一方面，B公司提供由20%回收成分生产的相同材料，但无法得到充分认可，因为尽管它是循环经济的积极参与者和推动者，但它只能使用[2022年全球经合组织统计]中10%的回收率进行核算。事实上，这激励了A公司继续使用化石原料，而让价值链中的其他参与者去寻找提高材料回收率的方法。

挑战二: 废弃物焚烧核算的复杂性: 1 在核算带能量回收的废弃物焚烧碳排放以及在范围 3.5 和范围 3.12 之间分配排放影响方面，存在很多挑战。目前，废弃物焚烧是主要的废弃物最终处置方式，能量回收是生成的副产品。该过程的温室气体排放强度基于废弃物的碳含量和热值。按照取舍法，这种影响被分配给回收的能源。然而，这种方法可能会在无意中导致温室气体排放分配的扭曲，从而阻碍积极减少废弃物和优化能量回收工作的努力。

挑战三 - 不在范围3.1中承认回收的减排效益: 当通过回收材料生产的产品从摇篮到大门的PCF比原始产品更高时，就会出现这个问题，尽管从摇篮到坟墓的PCF较低。这反过来又导致了一种情况，即与化石材料相比，回收材料的气候保护效益无法反映在采购决策中。这种不透明性不利于公司采用回收材料的信心，阻碍了向循环经济的转型。

挑战四: 未认可循环经济贡献日益增长的重要性: 全面的循环经济贡献超出了材料再利用的范围。当前的温室气体核算体系方法未能认识到循环经济日益增长的重要性，仍缺乏以下各方面的核算方法: i) 可回收产品 (例如，设计用于更易于回收的聚合物)，ii) 加强可回收性 (例如，汽车行业的回收设计)，iii) 增强其他产品的可回收性 (例如，通过引入添加剂)。循环经济激励措施的包容性观点应涵盖这些方面。

05

展望

生物碳

采用-1/+1方法，可以规避当前报告方法的缺陷。因此，TfS建议采用-1/+1总流量核算方法。这种方法允许企业在产品中使用更多生物碳，并准确报告其减排情况。应用该方法时，应注意避免重复计算。未来将进一步开发切实有效的核算追溯方式和核算系统，作为行业向循环经济转型的支持。

质量/能量平衡

计算质量平衡的生物基材料或回收材料的PCF，当输出材料单一且性质不变时，可以采用各个产品的单独碳足迹，按照完全分离的情况进行计算。当物理性质相同，但来源不同的材料混合，而不发生进一步转化时，质量平衡计算相对容易。对于生物基材料的蒸汽裂解步骤，质量平衡计算需要参考特殊规则，因为裂解过程与进料的成分结构有关，生成的复杂混合物由多种原材料和燃料组成。

回收成分

重新构建企业报告方法论是推动化工行业迈向循环经济、鼓励提高资源效率和温室气体减排的关键。虽然制订应对这些复杂挑战的通用解决方案可能很困难，但TfS成员企业致力于促进温室气体核算体系各利益相关方之间进行更具建设性的对话，并期望在未来版本更新中建立一种更统一和完善的核算方法论。

参考文献

[BASF 2022], BASF (2022); https://www.basf.com/global/documents/de/sustainability/we-source-responsibly/BASF_Mass_Balance_Factsheet.pdf; (Accessed July 18, 2023).

[Broeren et al 2022] Broeren, M., Uijtewaal, M., Bergsma, G.; (2022), Monitoring chemical recycling – How to include chemical recycling in plastic recycling monitoring? Delft CE (2022), https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2022/03/CE_Delft_210126_Monitoring_Chemical_Recycling_Def.pdf, (Accessed July 18, 2023).

[PEF 2021] European Commission, (2021), Final Product Environmental Footprint Category Rules and Organisation Environmental Footprint Sector Rules, https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/PEFCR_OEFSR_en.htm (Accessed 18 August 2022).

[Gabrielli et al 2019] Gabrielli, P.; Gazzani, M. and Mazzotti, M.; (2020), The Role of Carbon Capture and Utilization, Carbon Capture and Storage, and Biomass to Enable a Net-Zero-CO₂ Emissions Chemical Industry, Ind. Eng. Chem. Res. 2020, 59, 7033–7045.

[GHG Protocol Land Sector and Removals Guidance] <https://ghgprotocol.org/land-sector-and-removals-guidance> (Accessed 18 July 2023)

[GHG Protocol Scope 2 Guidance], GHG Protocol, Scope 2 Guidance - An Amendment to the GHG Protocol Corporate Standard, (2015).

[GHG Protocol Corporate Value Chain (Scope 3) Standard] GHG Protocol Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Corporate Value Standard, (2011).

[GHG Protocol Product Standard]: Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard, (2011).

[GHG Protocol Corporate Standard] GHG Protocol Corporate Standard, A Corporate Accounting and Reporting Standard, (2004).

[Global OECD Statistics 2022], OECD (2022), Global OECD Statistics, <https://www.oecd.org/environment/plastic-pollution-is-growing-relentlessly-as-waste-management-and-recycling-fall-short.htm> (Accessed July 18, 2023).

[Ellen MacArthur Foundation 2019] Circular economy systems diagram (February 2019) www.ellenmacarthurfoundation.org Drawing based on Braungart & McDonough, Cradle to Cradle (C2C); <https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram>, (Accessed August 30, 2023).

[IPCC, 2023]: Sections. In: Climate Change (2023): Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

[ISO 14067:2018] Greenhouse Gases- Carbon Footprint for products- Requirements & Guidelines for Quantification, (2018).

[ISO 14064-1:2018] Greenhouse gases — Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals (2018).

[ISO 22095:2020]; Chain of custody — General terminology and models (2020).

[Ishii & Stuchtey 2022]; Ishii, N., Stuchtey, M. (2022), Planet Positive Chemicals – Pathways for the chemical industry to enable a sustainable global economy. <https://www.systemiq.earth/wp-content/uploads/2022/10/Main-report-v1.22.pdf>, (Accessed July 18, 2023).

[McKinsey 2021] McKinsey (2021); Net-Zero Deutschland Chancen und Herausforderungen auf dem Weg zur Klimaneutralität bis 2045, https://www.mckinsey.com/de/~media/mckinsey/locations/europe%20and%20middle%20east/deutschland/news/presse/2021/21-09-10%20net%20zero%20deutschland/mckinsey%20net-zero%20deutschland_oktober%202021.pdf, (Accessed 18 July 2023).

[Schneider et al 2019] Schneider, C., Samadi, S., Holtz, G., Kobiela, G., Lechten-böhmer, S., Witecka, W.; (2019), Klimaneutrale Industrie: Ausführliche Darstellung der Schlüsseltechnologien für die Branchen Stahl, Chemie und Zement. Analyse im Auftrag von Agora Energiewende. Berlin, November 2019.

[Tan & Vegelan 2022] Tan, C. & Vegelan, H. (2022): The chemical industry can wean itself off fossil raw materials. Here's how, <https://www.weforum.org/agenda/2022/11/chemical-industry-fossil-fuels-decarbonization/>, (Accessed 18 July 2023).

[Technical Guidance for Calculating Scope 3 Emissions] GHG Protocol, Technical Guidance for Calculating Scope 3 Emissions, Supplement to the Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting & Reporting Standard, (2013).

[TfS PCF Guideline] The Product Carbon Footprint Guideline for the Chemical Industry, Specification for Product Carbon Footprint and Corporate Scope 3.1 Emission Accounting and Reporting, Together for Sustainability (TfS), 2022.

缩写

BCI	良好棉花发展协会
BECCS	生物能源与碳捕集和封存
CCU	碳捕集和利用
CCS	碳捕集和封存
CO₂	二氧化碳
CoC	监管链
EoL	寿命周期末期
FSC	森林管理委员会
GHG	温室气体
ISCC	国际可持续发展和碳认证
LHV	低热值
MB	质量平衡
NGO	非政府组织
PCF	产品碳足迹
OECD	经济合作与发展组织

