

引用格式: 唐成, 宋安利. 基于标准结构化数据的TBT异构评估模型研究——以欧美电池法规为例[J]. 标准化学报, 2026(8): 38–45.
TANG Cheng, SONG Anli. Research on TBT Heterogeneous Evaluation Model Based on Standard Structured Data—Taking European and American Battery Regulations as an Example[J]. Journal of Standardization, 2026 (8): 38–45.

基于标准结构化数据的 TBT 异构评估模型研究 ——以欧美电池法规为例

唐 成 宋安利

(中国标准出版社)

摘 要: 【目的】以标准结构化数据为技术手段, 聚焦欧美电池相关技术性贸易壁垒(TBT)异构数据, 解决TBT互认中的数据互通、等效判定等问题, 提升欧美法规差异识别准确率与电池数据适配精度, 完善TBT互认理论体系, 为提升跨境贸易便利化水平提供实践参考。【方法】提出基于标准结构化数据的异构性分析方案, 核心是建立标准法规的结构化解析、映射与适配机制, 构建结构化数据驱动的TBT异构评估模型(SSTD-TBT模型), 将欧美电池相关TBT标准法规转化为机器可读取、可计算的结构化数据, 分析标准法规中的异构性表现及量化方法, 推导异构数据映射与等效判定方法。【结果】SSTD-TBT模型实现了欧美电池相关TBT标准法规向机器可读取、可计算的结构化数据转化, 提出的异构数据映射与等效判定方法, 有效支撑了欧美法规电池数据差异识别, 为提升相关判断的准确性奠定了基础。【结论】结构化数据驱动的TBT异构评估模型(SSTD-TBT模型), 可有效提升TBT互认中相关数据处理与等效判定的效率和准确性, 为电池领域跨境贸易便利化提供实践支撑。

关键词: 结构化数据; 技术性贸易壁垒; TBT互认; 电池护照; 技术合规性

DOI编码: 10.3969/j.issn.2097-857X.2026.08.005

Research on TBT Heterogeneous Evaluation Model Based on Standard Structured Data —Taking European and American Battery Regulations as an Example

TANG Cheng SONG Anli

(Standards Press of China)

Abstract: [Objective] Taking standard structured data as the technical means, this paper focuses on the heterogeneous data of Technical Barriers to Trade (TBT) related to batteries in Europe and the United States, aiming to solve problems such as data interoperability and equivalence judgment in TBT mutual recognition, improve the accuracy of identifying differences between European and American regulations and the precision of battery data adaptation, improve the theoretical system of TBT mutual recognition, and provide practical references for enhancing the level of cross-border trade facilitation. [Methods] A heterogeneity analysis scheme based on standard structured data is proposed. Its core is to establish a structured parsing, mapping and adaptation mechanism for standards and regulations, construct a structured data-driven TBT heterogeneity evaluation model (SSTD-TBT Model), convert the TBT standards and regulations related to batteries

作者简介: 唐成, 硕士, 高级工程师, 研究方向为标准数字化、区块链、数字经济。
宋安利, 硕士, 副编审, 研究方向为国家标准审查、大数据与网络安全。

in Europe and the United States into machine-readable and computable structured data, analyze the manifestations and quantitative methods of heterogeneity in standards and regulations, and deduce methods for heterogeneous data mapping and equivalence judgment. [Results] The SSTD-TBT Model has realized the conversion of TBT standards and regulations related to batteries in Europe and the United States into machine-readable and computable structured data. The proposed heterogeneous data mapping and equivalence judgment methods effectively support the identification of differences in battery data between European and American regulations, laying a foundation for improving the accuracy of relevant judgments. [Conclusion] The structured data-driven TBT heterogeneity evaluation model (SSTD-TBT Model) can effectively improve the efficiency and accuracy of relevant data processing and judgment in TBT mutual recognition, and provide practical support for the facilitation of cross-border trade in the battery field.

Keywords: structured data; Technical Barriers to Trade (TBT); TBT mutual recognition; battery passport; technical compliance

0 引言

欧盟《新电池法规》的生效,为全球电池产业带来了前所未有的挑战,其对动力电池碳足迹管理的要求极为严格,引入了电池碳足迹声明、电池护照、供应链尽职调查等全新的强制性要求,不仅推动了本土电池产业和循环经济的发展,还重塑了全球电池产业链的竞争格局^[1]。

各国针对电池产品的技术法规、合规要求存在显著异构性,尤其是欧盟电池护照制度的推行,进一步加大了TBT互认难度,成为电池产品跨境流通的主要瓶颈。在能源转型及应对气候变化的过程中,减少电池全生命周期的碳排放及提升电池使用的可持续性极为关键,通过研发及推广电池护照这一数字管理系统,能够提升电池全过程生产链和价值链的透明度,保障电池产业的可持续发展^[2]。

鉴于电池护照领域国际标准尚未统一的现状,企业亟须在准确理解欧盟电池法规要求、开展碳足迹核算工作、识别关键排放环节等方面得到技术参考和方法指引,从产品开发、原材料采购及供应链管理方面采取相应措施,制定中长期应对方案,确保产品持续符合准入要求^[3-4]。本文采用ISO SMART的L3层XML标准结构化数据,通过对标准数据开展技术层面的语义化分析处理(碎

片化、格式化、向量化等预处理),对欧美电池护照相关专项要求进行数据层面的指标转换和互认评估模式研究,旨在为同类产品、同类新型合规要求的TBT异构评估研究提供新思路。

1 数据驱动分析

数据驱动异构评估模式,首先基于国际标准标签集(ISO STS),利用XML结构化解析技术,针对标准数字化转型中的可识别层级开展批量化、系统性的验证^[5],立足国际标准在机器可识别层级中的应用实践,对机器可读标准的规范性结构进行分析,并对机器可读标准可识别层级的合规性进行验证^[6];其次是核心指标参数语义化,即构建电池法规的归一化语义向量库,依据标准标签集中元素和属性的特征及用法^[7],采用本研究提出的映射转换引擎,将JSON/XML转为垂直领域的向量数据,支撑评估模式落地;最后分析设计数据适配机制,聚焦于标准法规文本等效性评估,形成电池异构评估模型(SSTD-TBTModel),通过模型比对不同标准法规差异,在技术层面探究电池护照领域指标转换、核算规则与互认方案^[8-9]。

如图1所示,通过XML结构化技术,将不同国家和地区以PDF等非结构化文档发布的标准进行结构化转换,将各类标准结构化数据转化为能被

计算机识别的“数据单元”。更进一步,核心需通过语义对齐算法实现不同标准中同一指标的语义对齐(如碳足迹核算方法IPCC、单位 $\text{kg CO}_2\text{eq.}$),并引入自然语言处理和知识图谱应用技术,构建“归一化语义向量库”,将人与人之间能理解的文本描述转化为机器间可计算的向量空间模型。

围绕欧美电池相关TBT法规与欧盟电池护照核心要求进行梳理,分析法规与电池护照的异构性表现及动态特征,量化异构性程度,为互认模式构建提供支撑^[10-11],通过电池异构评估微模型自动评估机制,基于余弦相似度等向量算法构建标准法规文本对等性评估模型,设计数据适配器,通过模型比对算法,适配出不同标准法规在技术指标上的“映射关系”“转换系数”“核心差异”等评估要素,设计数学转换公式,在电池指标数据进入不同评估模型时进行实时换算,基于比对结果,构建SWRL(语义网规则语言)规则,以推导出自动评估的互认结果。

2 异构评估模型研究

2.1 指标表述异构

因标准法规文本表述异构,机器无法直接识别文本内容并进行比对。经文本碎片化、结构化等数据驱动转换后,形成JSON/XML数据格式,采用BERT等模型对XML数据进行向量化表征与语义化映射转换。转换引擎采用分层拼接向量模型,在词嵌入层进行专业术语对齐,并在STS的<sec>标签集所对应的数据中嵌入标引标注内容,以捕捉法规条款的完整语义。

数据驱动转换一方面可实现数据内容逻辑单元的向量值计算,另一方面可识别法规框架的整体逻辑,为后续在语义权重分配、术语标引规则等方面提供基础数据支撑。最重要的是同时基于结构化后的文本片段,按照异构度公式计算指标表述的异构度,可为技术指标提供多粒度模式向量表达,如式(1)所示。

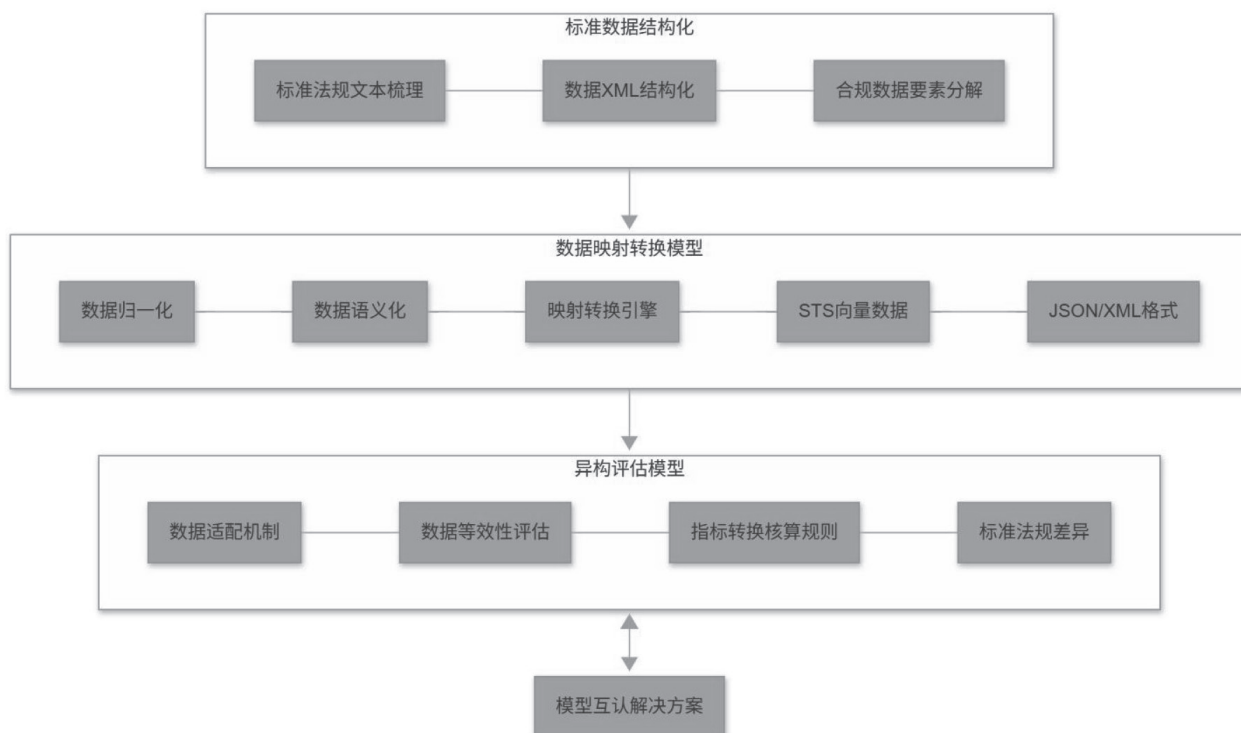


图1 数据驱动异构评估模型流程图

$$S_i = 1 - \frac{A \cdot B}{|A| \cdot |B|} \quad (1)$$

式中： A 、 B 分别为欧美标准法规XML数据中同一逻辑单元技术指标表述的向量矩阵， $A \cdot B$ 为两向量的点积， $|A|$ 、 $|B|$ 为两向量的模长； $S_i \in [0, 1]$ ， S_i 越接近1，文本表述差异越大，异构性越强。依据文本差异性公式，在欧美法规相关电池回收、环保碳足迹要求的文字表述结构化数据基础上，分别采用BGE、TEXT2VEC等多种embedding模式向量转换，计算出碳足迹核算、铅酸电池回收、不可充电电池回收等指标数据在不同标准法规中的异构值，见图2。

传统规则驱动方法需专家持续更新关键词

库，易受标准频繁修订等因素影响，而数据动态驱动规则通过动态阈值调整与自学习能力，实现从“静态规则库”到“映射转换引擎”转换，包括将表格、公式等非文本内容转化为结构化数据，建立指标数据与文字图表的语义关联，通过映射转换实现数字化标准与标注标引参数动态驱动，采用多粒度向量化方法实现多模态语义整合。

通过异构度计算分析，经动态“数据对等性评估”进行术语的语义对齐，协同实现从“表面文字比对”到“语义实质解析”过程。从图2获取技术指标表述形式差异，可简要归纳出在“电池碳足迹核算”方面，欧美之间内容表达相差较远，异构度高达0.6，可能存在不同的核算方法或不同的表达模式。而在“铅酸电池回收”方面，欧美标准法规间的数据内容表述具有一致性，“不可充电电池

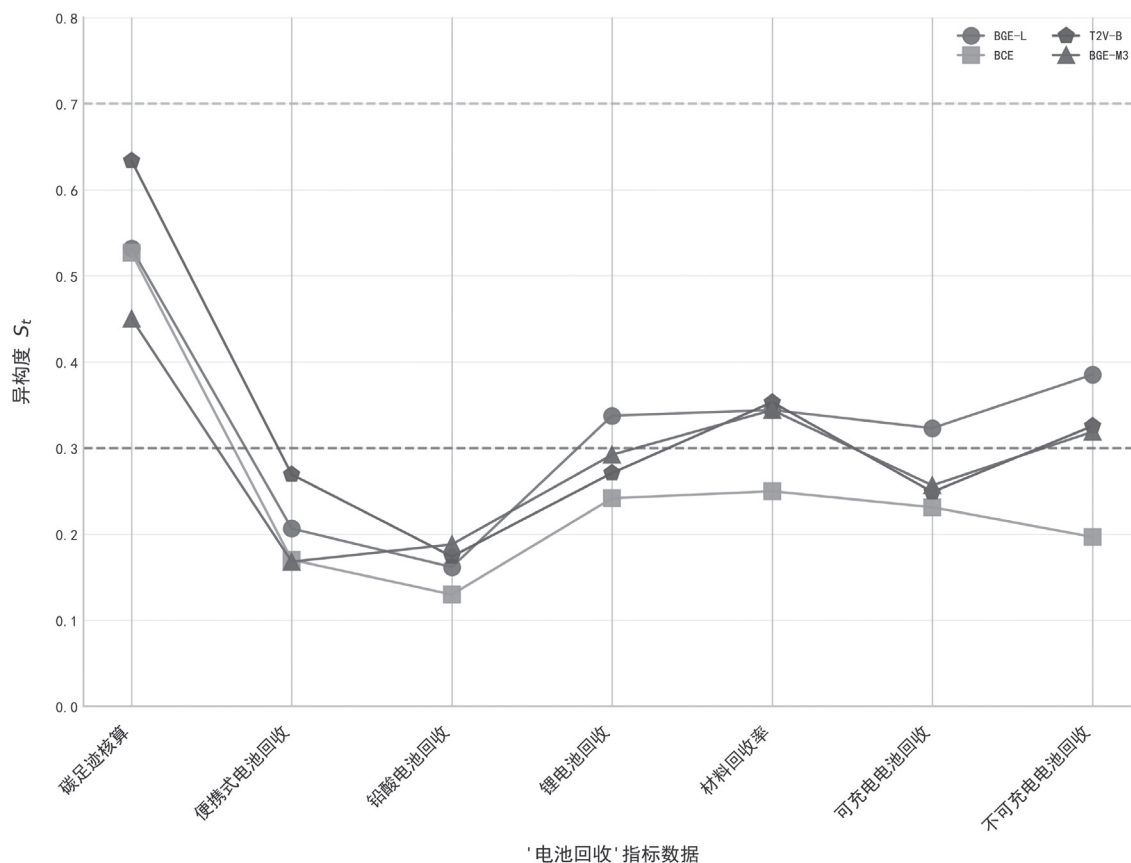


图2 技术指标数据结构化向量值异构度测算图

回收”则可能存在多语义的表达模式,包括“一次性电池”“非循环电池”“不可充电电池”等表述,需要在微模型中计入“术语”库,并能对不同异构表达进行术语对齐与归一化聚类处理。

2.2 指标参数值异构

本文基于核定的技术指标数据参数,采用绝对偏差与归一化偏差率相结合的方法,量化评估不同标准法规中相对于指标数据参数的异构程度。绝对偏差反映不同标准法规中指标值的数值差距,归一化偏差率则消除量纲影响,使不同参数之间具有可比性。再通过加权偏差率进一步考量各参数在整体法规体系中的重要性权重,依据式(2)参数值计算公式,最终形成对不同标准法规体系整体指标数据间异构度的综合判断。 S_p 越接近1,指标数据参数差异越大,异构性越强。

$$S_p = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left| \frac{x_{kA} - x_{kB}}{\max(x_{kA}, x_{kB})} \right| * \omega_k * \mu_k \quad (2)$$

式中: n 为经筛选后的核心评估参数数量(本文中剔除冗余参数后确认为7项指标), x_{kA} 、 x_{kB} 分别为不同标准法规经格式化整理、标准化换算后XML数据中对应的指标值, ω_k 为第 k 个参数的重要性权重, μ_k 为适配参数。

经指标参数值异构公式核算,如图3所示,碳足迹核算与材料回收率的加权偏差率均为0.09,但归一化偏差率却均达到1.0,呈现完全异构状态。这种差异主要源于欧美的监管要求不同导致指标颗粒度差距显著,折射出标准法规的根本性差异:

美国仅要求“披露部分环境影响数据”,属于程序性、非强制的信息披露,完全没有设定元素级别的回收指标。

欧盟则建立了全生命周期碳足迹核算体系,并强制要求在电池护照中公示,建立了锂、钴、镍等物质的精细化材料闭环管控体系。

2.3 模型计算与评估

面向TBT异构评估的标准等效性判定与异构自动识别需求,本文计算不同法规体系的语义

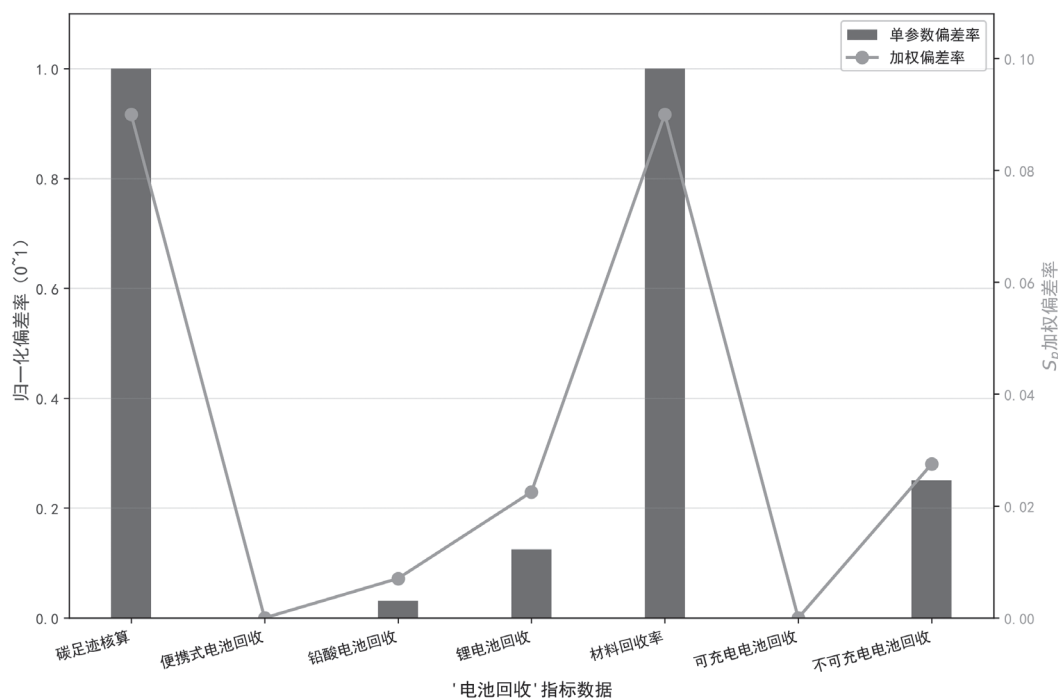


图3 核定数据结构化向量值异构度测算图

相似度,对术语及指标参数进行语义对齐,以消除指标表述与参数值异构问题,同时对不同法规的核心技术要求及合格评定标准进行量化,实现相关标准法规之间的指标映射、边界比对、阈值换算与合规推演。基于数据和算法形成由标准法规结构化数据驱动的TBT异构评估模型(SSTD-TBTModel),支撑TBT通报评议中的风险预警、条款解读、等效性评估与互认路径分析。

2.3.1 模型相似度计算

针对欧美电池相关TBT法规与欧盟电池护照核心要求的文本中指标数据异构性、指标参数值异构问题,本文结合传统余弦相似度模型,构建面向法规文本技术条款的语义等效互认评估算法,依托语义“映射转换引擎”,基于XML结构化<ref-list>等标签或标注的数据内容,提取核心术语或指标数据的概念及其定义,设计专业领域术语对齐知识库,确保术语一义对应库准确性与权威性。

单一粒度Embedding模式不足以捕捉术语及指标数据的语义信息。本文采用“词—句—逻辑单元—文档”等多种模式进行语义拼接,尤其是基于动态结构化的多维度语义向量,如图4所示,

可以基于level_p、level_t、level_sec、level_app等结构化内容,形成不同动态逻辑单元,如翻译(中英文)、节点(同一个sec中多种电池回收率)、分类(2025/2030所对应时间维度)等术语及指标数据语义量化。动态逻辑单元向量经归一化处理后进行拼接,形成最终的多粒度语义向量。该向量保留术语级别的微观语义特征,兼顾条款与文档级别宏观语义信息,确保语义相似度计算的全面性与精准性,以满足不同应用场景下的语义匹配需求。

归一化后的核心术语映射为低维稠密向量,经微模型快速计算,可实现术语及指标数据级别的精准对齐,可重点识别“电池护照”“碳足迹阈值”“锂回收率”等核心概念的语义特征,消除术语字面差异带来的语义偏差;再以标准法规条款为单位,动态获取单一条款的完整语义。例如,对于欧盟法规中“动力电池碳足迹不得超过最高阈值”与美国法规中“车用电池未强制要求碳足迹限值”的条款,可精准量化两者在语义上的相似度对齐关系。

2.3.2 模型等效性评估

本文按表1参数对碳足迹、便携式电池等进行



图4 结构化数据动态逻辑单元示意图

权重设置,将 μ_k 为标准适配系数。当均有明确规定时,设定参数 $\mu_k=1.0$;若仅单一标准有规定,参数则设定 $\mu_k=0.8$ 。经XML结构化指标数据参数异构度核算,绝对偏差率 S_p 为0.147,归一化加权平均绝对偏差率 S_p 为0.2。这2个数值差异表明欧美法规在基础回收率指标上趋于一致,但新兴复杂指标(碳足迹、材料回收率)存在系统性差异,反映欧盟已将环境监管从末端回收延伸至产品全生命周期,也表明碳足迹、材料级回收等环境监管领域或将成为制度分化的重要方向。

表1显示,从碳足迹核算与材料回收率2项完全异构参数合计贡献了0.144的加权偏差率,占整体加权偏差率(0.201)的71.6%,评估该2项指标作为2个法规体系测试法规数据的核心差异,既体现出在政策方面的鸿沟差异,也侧面反映出对应标准的体系有待对应和完善。

因标准法规文本严谨性与特殊性,在语义等效性评估上,还需参考法规文本中“强制性条款”“推荐性条款”“信息性条款”等分类标准,制定“映射转换引擎”权重动态分配规则,不断完善模型:

1) 强制条款(表述为“须”“应”等)对应的术语或指标数据权重赋值0.6,此类术语直接决定合规互认底线,语义重要性最高;

2) 推荐条款(表述为“可”“宜”等)对应的术语或指标数据权重赋值0.3,此类术语或指标数据为合规优化方向,语义重要性中等;

3) 信息性条款(表述为“能”“可能”等)对应的术语或指标数据权重赋值0.1,仅用于陈述阐释,语义影响较弱。

3 结语

本文构建的基于欧美电池法规TBT异构模型,其XML结构化数据主要基于显式数值提取,且对“一次性电池”“便携式电池”等术语的语义映射仍需人工校验。模型后续应用还需对专业领域术语库进一步进行指标数据对齐归一化,与语义相似度计算、TBT互认评估理论相结合,丰富跨区域标准法规TBT互认的研究方法,消除欧美电池标准法规中的术语及指标数据的异构。

在后续应用中,还需从2个方面完善模型:一是结合欧美电池法规的更新动态,及时更新术语对齐归一化库与语义相似度计算参数,按照“映射转换引擎”,通过语义重要性等多维度加权机制,实现法规文本语义相似度的精准量化;二是扩展模型应用范围,以专家智库为基础,以整个结构化法规文本为单位进行层次性树状索引转换,采用深层推理的无向量范式(如PageIndex技术)等技术,识别不同法规体系的整体逻辑框架差异,如欧盟电池法规呈现“统一立法、强制实施、全生命周期管控”的整体特征,为跨体系标准法规的贸易合规、标准互认、数据互通等提供参考,推动TBT评议从人工解读向数据驱动、模型支撑、智能研判升级。

表1 指标参数异构核算数值

参数名称	适配系数	权重	绝对偏差	最大值	归一化偏差率	加权偏差率
碳足迹核算	0.8	0.09	100	100	1	0.072
便携式电池回收	1	0.14	0	80	0	0
铅酸电池回收	1	0.23	3	98	0.030 6	0.007
锂电池回收	1	0.18	10	80	0.125	0.022 5
材料回收率	0.8	0.09	70	70	1	0.072
可充电电池回收	1	0.16	0	80	0	0
不可充电电池回收	1	0.11	20	80	0.25	0.027 5

参考文献

- [1] 陈苏声, 蔡欢, 马鸿宾, 等. 技术性贸易壁垒视角下欧盟电池新规对国内企业的影响及策略研究[J]. 中国建材科技, 2025, 34 (S2): 3-6.
- [2] 王乐雷, 乔秉天, 王小艳. 德国电池护照对中国电池行业的启示[J]. 电池, 2025 (6): 1378-1382.
- [3] 王彩娟, 朱相欢, 宋杨, 等. 欧盟电池新法规TBT通报的解析[J]. 电池, 2021 (5): 514-516.
- [4] 李昭廷, 丁鹏程. 欧盟电池法案的碳足迹要求及核算方法解析[J]. 中国战略新兴产业, 2026 (3): 147-149.
- [5] 李文文. 基于ISOSTS的国际标准可识别层级验证方法及平台研究[J]. 中国测试, 2024 (S1): 301-304.
- [6] 李颜若玥, 李文文, 王俊博. 机器可读标准可识别层级验证指标体系研究[J]. 信息技术与标准化, 2023(12): 67-78.
- [7] 赵青青, 蔡焱. 标准数字化转型中标准标签集发展与应用分析[J]. 标准科学, 2024 (1): 98-102.
- [8] SESEC. China develops standard for classifying and evaluating the machine readability of standards [EB/OL]. (2024-03-26)[2026-01-10]. <https://sesec.eu/2024/news-events/news/china-develops-standard-for-classifying-and-evaluating-the-machine-readability-of-standards/>.
- [9] 欧盟新电池法案碳足迹核算规则详解 [EB/OL]. (2025-06-12)[2026-01-10]. <https://www.desn.com.cn/news/show-2093483.html>.
- [10] European Commission. Regulation concerning batteries and waste batteries, amending Directive 2008/98/EC and Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Directive 2006/66/EC[EB/OL]. (2023-07-28)[2026-01-10]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=OJ:L:2023:191:FULL>.
- [11] European Commission. Regulation concerning batteries and waste batteries, amending Directive 2008/98/EC and Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Directive 2006/66/EC[EB/OL]. (2023-07-28)[2026-01-10]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32023R1542>.