

引用格式: 胡雯娴,严江涛,刘庚慧,等.消费品中化学物质限量影响的评价体系构建研究[J].标准科学,2025(2):117-122.

HU Wen-xian,YAN Jiang-tao,LIU Geng-hui,et al. Construction of Evaluation System for the Impact of Chemical Substance Limits in Consumer Products[J]. Standard Science,2025(2):117-122.

消费品中化学物质限量影响的评价体系构建研究

胡雯娴¹ 严江涛¹ 刘庚慧¹ 张庆² 孙旭东¹ 刘晓^{3*}

[1.中国矿业大学(北京); 2.中国检验检疫科学研究院; 3.北方工业大学]

摘要:【目的】构建一个科学、系统的消费品中化学物质限量的社会经济影响评价指标体系,以支持政策制定和监管。【方法】采用社会经济分析(SEA)方法,从健康安全、生态环保和产业发展3个维度出发,构建包含6个二级指标和13个三级指标的评价体系。【结果】该指标体系能够有效评估化学物质限量对儿童健康、生态环境和产业发展的影响,为政策制定提供了有力的技术依据。【结论】通过科学合理地制定或调整化学物质限量标准,可以有效保护消费者健康,降低环境污染,促进产业健康发展。未来应加强监管,推广清洁生产和低碳技术,优化产业链结构,以实现经济效益、社会效益和环境效益的共赢。

关键词: 消费品; 限量定值; 社会经济影响; 评价指标

DOI编码: 10.3969/j.issn.1674-5698.2025.02.018

Construction of Evaluation System for the Impact of Chemical Substance Limits in Consumer Products

HU Wen-xian¹ YAN Jiang-tao¹ LIU Geng-hui¹ ZHANG Qing² SUN Xu-dong¹ LIU Xiao^{3*}

(1.China University of Mining and Technology (Beijing); 2. Chinese Academy of Inspection and Quarantine;
3. North China University of Technology)

Abstract: [Objective] This research aims to construct a scientific and systematic evaluation index system for the socio-economic impact of chemical substance limits in consumer products, supporting policy formulation and regulation. [Methods] Using the Socio-Economic Analysis (SEA) approach, an evaluation system is developed that includes six secondary indicators and thirteen tertiary indicators, covering three dimensions of health and safety, ecological and environmental protection, and industrial development. [Results] The index system can effectively assess the impact of chemical substance limits on children's health, ecological environment, and industrial development, providing strong technical support for policy formulation. [Conclusions] By scientifically and reasonably setting or adjusting chemical substance limits, consumer health can be effectively protected, and environmental pollution reduced, and industrial development promoted. Future efforts should focus on strengthening regulation, promoting clean production and low-carbon technology, and optimizing industrial chain structures to achieve a win-win situation for economic, social, and environmental benefits.

Keywords: consumer goods, limited value setting, socio-economic impact, evaluation

基金项目: 本文受国家重点研发计划“儿童用品中吸入性化学应激源限量研究”(2022YFF0606205)资助。

作者简介: 胡雯娴, 硕士生, 研究方向为社会经济影响评价。

严江涛, 硕士生, 研究方向为产业政策研究。

刘庚慧, 硕士生, 研究方向为社会经济分析。

张庆, 博士, 研究员, 研究方向为消费品中化学风险源的识别、评估及控制等。

孙旭东, 博士, 副教授, 研究方向为能源经济与产业政策。

刘晓, 通信作者, 博士, 讲师, 研究方向为决策评价。

0 引言

儿童消费用品安全健康一直备受社会各界关注。为了提升产品性能,生产厂商会选择加入化学物质,这可能对儿童产生一定不良反应和身体危害^[1],因此需重视消费品中化学物质限量问题。2022年,我国发布GB/T 41725—2022《消费品中化学物质限量制定导则》^[2],规定了消费品中化学物质限量制定的基本流程和框架内容。限量制定不仅要考虑儿童健康安全因素,还要考虑生产工艺、企业成本、生态环保和产业发展等多维度因素的影响^[3]。因此,亟须建立科学、系统的消费品中化学物质限量社会经济影响评价指标体系来支撑限量制定标准(GB/T 41725—2022)的实际应用,为政府治理和建立科学标准提供依据。

儿童用品中有害化学物质限量的研究主要体现在技术和安全实验。李冠苇等^[4]通过分析儿童口部与玩具行为参数,发现口部行为的主要影响因素为儿童年龄及性别。李晓龙等^[5]通过典型样品检测分析,发现儿童背包的绳带、孔隙和邻苯二甲酸酯含量存在较大问题。目前相关评价研究较少,主要包括张庆等^[6]对玩具中苯系物的潜在健康风险进行评价研究;李焘等^[7]讨论适合消费品中有毒有害物质的评估程序及方法,提出建立有毒有害物质的统一的评估规范;田勇等^[8]利用人体暴露风险评估理论,研究玩具水晶泥中硼对不同年龄段中国儿童的健康风险影响。但仍存在影响范畴不统一、概念界定模糊、计算方法不一致、公众参与度低、数据缺口与验证数据不充分等问题。因此,本文通过分析消费品中化学物质限量对社会经济的影响,结合国内外儿童用品中典型有害化学物质限量定值相关标准和研究成果^[9],提出一套社会公众参与的评价机制与指标体系,以期为保障儿童健康安全、促进消费品市场健康发展提供有力支持。

1 消费品中化学物质限量影响范畴

儿童消费品化学物质限量不仅关乎儿童的健

康与安全,也涉及消费品市场的规范化发展和社会的可持续发展。消费品化学物质的限量定值需同时考虑供求因素,既尽量降低安全风险,也考虑消费者的购买能力和对相关行业及供应链的影响。社会经济影响分析(Socio-Economic Analysis, SEA)是一种评估对社会经济产生的多方面潜在综合影响的方法,已成为支持化学品管理、法律法规和项目建设决策的一般方法^[10],SEA侧重于获取有关环境和健康效益的综合数据,建立相应模型,以评估化学品监管行动的成本^[11]。周荣喜等^[12]基于该方法综合考量限量定值的经济、社会和环境影响,提出了消费品中有害化学物质限量定值的制定流程。

借鉴国内外相关评价指标体系,本文构建了包含健康安全、生态环保和产业发展三大维度的指标体系,如图1所示。

在健康安全方面。当儿童用品中吸入性应激源限量发生变化时,可能会引起健康风险(U_1)和治疗成本(U_2)的变化。《消费品中化学物质限量制定导则》^[2]中明确规定了消费品中化学物质的限量值应基于健康风险评估结果确定,确保消费者健康不受损害。周荣喜等^[13]阐述了消费品中化学物质的风险评估流程,包括危害识别、暴露评估和风险表征等步骤,为构建健康安全指标提供了科学依据。

在生态环保维度。郑建国等^[14]提出部分化学物质在生产使用过程中可能对环境造成污染,影响生态系统的可持续发展。因此,在消费品中化学物质限量定值时,从清洁制造(U_3)和低碳减排(U_4)两方面度量其对生态环保的影响。

在产业发展方面,需综合考虑产业和消费者权益的平衡。熊亚辉等^[15]指出,设定过严的化学物质限量可能会增加企业的生产成本,降低产品的竞争力,因此在指标体系中纳入产业承受度(U_5),分析产业内外部环境发生变化时,产业应对这种变化的承受能力和水平。同时,从消费者维度分析,加入产业福利(U_6)指标,包括消费者对限量变化的溢价支付意愿与推荐意愿。

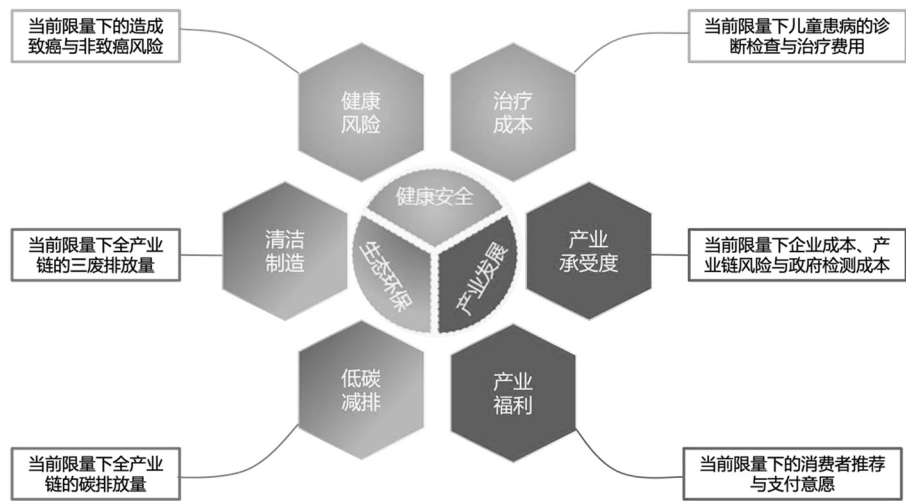


图1 消费品中化学物质限量的社会经济影响范畴

2 消费品中化学物质限量影响评价指标及度量方法

消费品中化学物质限量社会经济影响评价指标体系共6项二级指标, 13项三级指标, 具体指标、单位及其描述见表1。

在健康安全方面, 设置了2项二级指标及4项三级指标, 研究对象为儿童自身。用“非不良反应风险”及“不良反应风险”和“诊断检查费用”及“疾病治疗费用”分别测度“健康风险”和“治疗成本”, 均为正向指标。

在生态环保方面, 确定了2项二级指标及4项三级指标, 研究对象为制造小颗粒的化学物质制造企业、儿童用品制造企业和废品回收处理企业。二级指标“清洁制造”^[16]包含“全产业链废气排放量”“全产业链废水排放量”“全产业链固废排放量”; “低碳减排”^[17]为“全产业链碳排放量”^[18], 均为正向指标。

在产业发展方面, 遴选了2项二级指标及5项三级指标。研究对象为儿童用品企业、不同产品及消费者。二级指标“产业承受度”包含“企业成本”、“产业链结构风险”和“政府管理费用”; “产业福利”包含“消费者推荐意愿”和“消费者支付意愿”, 均为正向指标。

表1 消费品中化学物质限量社会经济影响评价指标

二级指标	三级指标	单位	指标描述	指标方向
健康风险 (U ₁)	非不良反应风险 (V ₁)	/	当前限值下消费品中化学物质造成人体健康风险的非不良反应物危害商值	正向
	不良反应风险 (V ₂)	/	当前限值下消费品中化学物质造成人体健康风险的不良反应的终生概率	正向
治疗成本 (U ₂)	诊断检查费用 (V ₃)	万元	当前限值下该化学物质导致我国病患的全年的诊断检查费用	正向
	疾病治疗费用 (V ₄)	万元	当前限值下该化学物质导致我国病患的全年的治疗费用	正向
清洁制造 (U ₃)	全产业链废气排放量 (V ₅)	万吨	当前限值下消费品产业链企业废气排放量	正向
	全产业链废水排放量 (V ₆)	万吨	当前限值下消费品产业链企业废水排放量	正向
	全产业链固废排放量 (V ₇)	万吨	当前限值下消费品产业链企业固体废物排放量	正向
低碳减排 (U ₄)	全产业链碳排放量 (V ₈)	万吨	当前限值下消费品产业链企业碳排放量	正向
产业承受度 (U ₅)	企业成本 (V ₉)	万元	当前限值下消费品的企业成本	负向
	产业链结构风险 (V ₁₀)	万元	当前限值对产业链结构的风险影响	负向
	政府管理费用 (V ₁₁)	万元	当前限值下的政府检测成本	负向
产业福利 (U ₆)	消费者推荐意愿 (V ₁₂)	万元	当前限值下消费者对该产品的推荐意愿	正向
	消费者支付意愿 (V ₁₃)	万元	当前限值下消费者对该产品的支付溢价水平	正向

福利”包含“消费者推荐意愿”和“消费者支付意愿”，前三者为负向指标，后二者为正向指标。

2.1 健康安全维度

(1) 健康风险

基于玩具产品的吸入暴露途径和经口暴露途径下的暴露量计算模型，采用以下风险计算方法。

1) 非不良反应风险

非不良反应风险 V_1 即非不良反应物造成人体健康风险的危害商值：

$$V_1 = \frac{E_x}{RfD}$$

其中，当 $V_1 > 1$ 时，表明存在风险，比值越大风险越大。 E_x 是非不良反应物单位体重日均暴露剂量，单位是 $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ 。 RfD 是非不良反应物参考剂量，单位是 $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ 。

2) 不良反应风险

不良反应风险 V_2 是个体暴露于空气中的化学物质，通过呼吸道吸入后可能对健康产生的不良反应的终生概率：

$$V_2 = 1 - \exp[-(SF \times E_x)]$$

其中， V_2 在0~1范围内。 SF 是斜率因子^[6]，又称不良反应强度系数，单位是 $(\text{kg} \cdot \text{d})/\text{mg}$ 。 E_x 是非不良反应物的单位体重日均暴露剂量^[6]，单位是 $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ 。

(2) 治疗成本

常见吸入性化学应激源（如甲酰胺、二氯甲烷、多环芳烃等）可能导致多种儿童疾病，其中包括：呼吸系统疾病，如支气管炎、气喘等；神经系统疾病，如头痛头晕、记忆力减退、失眠等；消化系统疾病，如消化不良、腹泻等。因此将疾病的治疗成本纳入评价内。

1) 诊断检查费用

诊断检查费用 V_3 为病理诊断费、实验室诊断费、影像诊断费、临床诊断项目费之和：

$$V_3 = HC \times CDP \times CPP \times CDD$$

其中， HC 为总人数，单位为万人； CDP 为患病概率（%）； CPP 为消费品使用比例（%）； CDD 为该化学物质导致疾病诊断检查费用平均值，单位为元。

1) 疾病治疗费用

疾病治疗费用 V_4 为一般治疗操作费、非手术治疗项目费、手术费、护理费、药品费用之和：

$$V_4 = HC \times CDP \times CPP \times CDT$$

其中， CDT 为该化学物质导致疾病治疗费用平均值，单位为元。

2.2 生态环保维度

(1) 清洁制造

1) 全产业链废气排放量

全产业链废气排放量 V_5 指的是在整个产业链中，从原材料开采、加工、生产到产品使用、废弃处理等各个环节所产生的废气中所有污染物的总质量：

$$V_5 = \sum_{m=1}^n Q_m / 10^7$$

其中， V_5 的单位为万吨。 Q_m 为全产业链废气中 m 污染物的排放量， $Q_m = \sum_{n=1}^n \rho_m \times V_m \times K$ ，单位为 kg 。 ρ_m 为废气中 m 污染物的排放浓度，单位为 mg/L 或 mg/m^3 。 V_m 为废气中 m 污染物的介质体积，单位为 L 或 m^3 。 K 为单位换算系数， n 为全产业链的公司数。

2) 全产业链废水排放量

全产业链废水排放量 V_6 以废水中所有污染物的总质量测度，全产业链废水中 m 污染物的排放量由全产业链 n 家公司废水中 m 污染物的排放浓度、介质体积与单位换算系数 K 相乘得到。全产业链废水所有污染物的排放量：

$$V_6 = \sum_{m=1}^n Q_m / 10^7$$

其中， V_6 的单位为万吨。 Q_m 为全产业链废水中 m 污染物的排放量，单位为 kg 。

3) 全产业链固废排放量

全产业链固体废物排放量 V_7 包括全产业链一般工业固体废物排放量和全产业链工业危险固体废物排放量，由各公司的固体废物排放量相加得出：

$$V_7 = Q_1 + Q_2 = \sum_{i=1}^n q_{i1} + \sum_{i=1}^n q_{i2}$$

其中， Q_1 是全产业链一般工业固体废物排放量， Q_2 是全产业链工业危险固体废物排放量， q_{i1} ， q_{i2} 是各公司的固体废物排放量，单位均为万吨。

(2) 低碳减排

1) 全产业链碳排放量

碳排放量 V_8 是在生产、运输、使用及回收产品时所产生的平均温室气体排放量,从全生命周期角度进行碳排放量分析,变化量为能源消耗量。

有两种测算方式,一是由全产业链 n 家公司的第 t 种能源消费量、第 t 种能源标准煤折算系数与第 t 种能源的碳排放系数乘积加总得出:

$$V_8 = \sum_{t=1}^n E_t \times S_t \times F_t$$

其中, V_8 的单位为万吨。 E_t 是第 t 种能源消费量,单位为万吨。 S_t 为第 t 种能源标准煤折算系数, F_t 为第 t 种能源的碳排放系数。

二是加总全产业链 n 家公司的标准煤的消耗量和标准煤的碳排放系数乘积:

$$V_8 = \sum_{i=1}^n E \times F$$

其中, E 为标准煤的消耗量,单位为万吨, F 为标准煤的碳排放系数。

2.3 产业发展维度

(1) 产业承受度

1) 企业成本

企业成本 V_9 的变化值为原材料成本比例、工艺成本比例和销售成本比例,其中工艺成本包括工艺成本、专利使用与研发,公式如下:

$$V_9 = (RMCP + PCP + FAP) \times PUP \times ASV$$

其中, $RMCP$ 是原材料成本占产品单价比重, PCP 是工艺成本占产品单价比重, FAP 是固定资产成本占产品单价比重,单位均为%。 PUP 为产品单价,单位是元/件, ASV 是产品年销量,单位是万件。

2) 产业链结构风险

产业链结构风险 V_{10} 即不同类型的企业的利润损害,变化值为不同类型产品企业限值变化下的利润值,计算公式为:

$$V_{10} = SMP + \alpha \times LP$$

其中, SMP 是当前限值下的中小企业利润,单位为万元, α 是利润平衡指数, LP 是当前限值下的大企业利润,单位是万元。

3) 政府管理费用

政府管理费用 V_{11} 即单件检测成本与年检测件

数乘积,变化值为不同应激源限值下年检测件数增加比例。单件检验成本增加值指由于限量值变化导致的单件儿童用品检验成本的增加值,其计算公式如下:

$$V_{11} = SPIC \times ANTI$$

其中, $SPIC$ 是单件检测成本,单位为元, $ANTI$ 是年检测件数,单位为万件。

(2) 产业福利

1) 消费者推荐意愿

消费者推荐意愿 V_{12} 变化值分别为不同应激源限量值下的推荐人数与意愿价格涨幅, $CNPS$ 指在某一限值下,消费者对某一价格儿童用品的推荐人数占比减去贬损人数占比。其计算公式为:

$$V_{12} = (RNP / TSS) \times NPC \times PUP \times (1 + CPI)$$

其中, RNP 是最大的 $CNPS$ 值对应的推荐人数, TSS 是总样本人数, NPC 是产品消费人数,单位为万人, PUP 是默认状态下的产品单价,单位为元, CPI 是最大的 $CNPS$ 值对应的意愿支付价格涨幅,单位为%。

2) 消费者支付意愿

消费者支付意愿 V_{13} 的变化值为不同应激源限量值下的意愿价格涨幅,计算方法如下:

$$V_{13} = PUP \times (1 + WPI) \times ASV$$

其中, PUP 是默认状态下的产品单价,单位为元, WPI 是意愿支付价格涨幅均值,单位为%, ASV 是产品年销量,单位为万件。

3 结论

本文从社会经济视角分析了消费品中化学物质限量的影响因素,构建了涵盖健康安全、生态环保和产业发展三个维度的评价指标体系,并给出了指标的计算方式。研究表明,基于社会经济分析的结果,可以为消费品安全监管提供技术依据,有助于科学合理地制定或调整化学物质限量标准。这不仅能够保护消费者的健康安全,降低对环境的污染和破坏,还能帮助产业了解限量影响,促进消费品市场的健康发展。未来应加强儿童用品化学物质限量监管,推广清洁生产和低碳技术,优化产

业链结构,强化供应链管理。同时,建立政府、企业、消费者等多方协作机制,提升公众安全意识,共同应对挑战,确保儿童用品产业健康、安全、可

持续发展。通过综合施策,实现经济效益、社会效益和环境效益的共赢。

参考文献

- [1] Silvers A, Florence B T, Rourke D L, Lorimor R J. How children spend their time: a sample survey for use in exposure and risk assessments [J]. Risk Analysis, 1995, 14(6): 931-944.
- [2] 消费品中化学物质限量制定导则: GB/T 41725-2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [3] Yang Y, Sun Z, Liu X, Jia W, Wu J. Optimal decisions on harmful chemical limits in consumer goods within an acceptable risk level[J]. Processes, 2022, 10 (11): 2259.
- [4] 李冠苇, 田勇, 马彤梅, 等. 基于玩具及婴童用品安全风险评定的儿童口部行为参数研究进展[J]. 分析测试学报, 2022, 41(6): 947-954.
- [5] 李晓龙, 朱良宏, 罗娟, 等. 儿童背包安全风险与技术要求[J]. 北京服装学院学报(自然科学版), 2021, 41(2): 48-55.
- [6] 张庆, 李文涛, 白桦, 等. 玩具中苯系物的暴露评估及健康风险评价[J]. 安全与环境学报, 2013, 13(4): 254-259.
- [7] 李焘, 宗艺晶, 陈静, 等. 消费品中有毒有害化学物质管理控制研究[J]. 材料导报, 2014, 28(S1): 361-363.
- [8] 田勇, 戴洁, 霍炜强, 等. 玩具水晶泥中的硼含量特征及中国儿童暴露健康风险评价[J]. 安全与环境学报, 2022, 22(4): 2056-2063.
- [9] 孙旭东, 刘庚慧, 蔡晨蕊, 等. 国内外儿童用品吸入性化学应激源限量定值政策分析[J]. 标准科学, 2024(9): 70-75.
- [10] Pearce D W, Atkinson G, Mourato S. Cost-Benefit Analysis and the Environment: Recent Developments[M]. OECD, Paris, 2006.
- [11] Wu H, Zhang Y, Zhi Y, Yu F, Cao G. A Comprehensive Review on the Application of Socio-Economic Analyses in Chemical Management: Challenges and Opportunities. Environmental Science & Policy [J]. 2024, 154, 103694.
- [12] 周荣喜, 杨跃翔, 孙榛, 等. 消费品中有害化学物质限量定值标准研究 [J]. 标准科学, 2020(12): 115-120.
- [13] 周荣喜, 杨跃翔, 孙榛. 消费品中化学物质限量制定流程研究 [J]. 化工管理, 2021(25): 34-36.
- [14] 郑建国, 蚁乐洲, 黄理纳, 等. 消费品中限用化学物质的法规要求及相关检测技术[J]. 分析测试学报, 2012, 31(9): 1204-1211.
- [15] 熊亚辉, 周荣喜. 消费品中化学物质限量企业承受度评估[J]. 化工管理, 2020(7): 14-15+138.
- [16] 国家环境保护总局《排污收费制度》编委会. 排污收费制度 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2003: 54-55.
- [17] 曹淑艳, 谢高地. 中国产业部门碳足迹追踪分析[J]. 资源科学, 2010, 32(11): 2046-2052.
- [18] 张雪花, 李响, 叶文虎, 等. “全碳排”核算与碳绩效评价方法研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2015, 51(4): 639-646.