节能减排

基于 LCA 评价模型的一种水性外墙涂料生命周期评价

陈　博

（海油总节能减排监测中心有限公司，天津 300457）

摘　要： 为全面了解 CTD-1151 水性多彩外墙涂料在全生命周期下的环境影响程度，从产品原材料的采购、运输，现场生产及产品的包装、运输、使用、回收全过程进行分析，通过对产品的能源消耗、全球暖化、富营养化和人体健康危害 4 个维度的灵敏度进行分析，就如何实现产品绿色化提出改进建议。

关键词： 水性外墙涂料；LCA 评价；生命周期

中图分类号： X820.3　　**文献标志码：** A　　**文章编号：** 2095-0802-(2020)10-0068-02

Life Cycle Assessment of a Waterborne Exterior Wall Coating Based on LCA Evaluation Model

CHEN Bo

(CNOOC Energy Conservation & Pollution Reduction Monitor Center Co., Ltd., Tianjin 300457, China)

Abstract: In order to fully understand the environmental impact of CTD-1151 water-based colorful exterior wall coatings in the full life cycle, this paper analyzed the entire process of product raw material procurement, transportation, on-site production and product packaging, transportation, use and recycling. The sensitivity analysis of the four dimensions of energy consumption, global warming, eutrophication and human health hazards provides suggestions for how to realize product greening.

Key words: water-based exterior wall coating; LCA evaluation; life cycle analysis

DOI:10.16643/j.cnki.14-1360/td.2020.10.023

随着人们对环保材料需求的日益增长，绿色环保建筑材料应运而生并得以广泛应用。与传统水包油性外墙涂料相比，水性外墙涂料无论在使用方面还是在环保方面都更具优势。基于此，本文从全生命周期的角度，运用 eFootprint 软件系统对 CTD-1151 水性多彩外墙涂料建立了产品从资源开采到寿命终止的全生命周期模型，并计算得到 LCIA（生命周期影响评价）结果。在研究过程中用到的 eFootprint 软件系统和中国生命周期基础数据库（CLCD）是由亿科环境科技有限公司开发，属于中国基础工业系统生命周期核心模型的行业平均数据库。

1　建模要求

在建模前应明确产品功能单位及基准流，本次以生产 1 kg CTD-1151 水性多彩外墙涂料涂刷 3 m^2 的外墙面为基准流，从时间代表性、地理代表性和技术代表性三方面明确数据来源。其中，技术代表性包括产品工艺流程、主要设备、企业生产规模、主要原料和主要能耗。在数据质量要求方面，数据质量代表 LCA（生命周期评价）研究的目标代表性与数据实际代表性之间的差异，本报告的数据质量评估方法采用 CLCD 方法[1]。CLCD 方法从清单数据来源与算法、时间代表性、地理代表性、技术代表性四方面对模型中的消耗和排放清单数据进行评估，并针对关联背景数据库的消耗，评估其与上游背景过程匹配的不确定度。完成清单不确定度评估后，采用解析公式法计算不确定度传递与累积，得到 LCA 结果的不确定度。

收稿日期： 2020-07-14

作者简介： 陈　博，1983年生，男，山东菏泽人，2007年毕业于天津城建大学信息管理与信息系统专业，工程师。

2　范围确定与 Cut-off 原则

2.1　范围确定

产品生命周期系统分析边界为从资源开采到水性建筑涂料产品出厂使用，也就是常说的“从摇篮到坟墓”的过程。该产品生产主要包括涂料生产、包装及运输、销售及使用 3 个单元过程。背景数据来自 CLCD，包括华东电网电力、乳液生产原料、去离子水丙烯酸、钛白粉、塑料包装生产和各阶段运输。

2.2　Cut-off 原则

根据 T/CPCIF 0001—2017《绿色设计产品评价技术规范 水性建筑涂料》中 B.2.3 规定的取舍规则[2]，对清单数据进行取舍，原则如下：a) 能源的所有输入均列出；b) 原料的所有输入均列出；c) 辅助材料质量小于原料总消耗 0.3%的项目输入可忽略；d) 大气、水体的各种排放均列出；e) 小于固体废弃物排放总量 1%的一般性固体废弃物可忽略；f) 道路与厂房的基础设施、各工序的设备、厂区内人员及生活设施的消耗和排放，均忽略；g) 任何有毒有害材料和物质均应包含于清单中，不可忽略。

3　过程分析

将 CTD-1151 水性涂料全生命周期主要分为乳液生产、产品生产、产品包装及运输、产品使用 4 个阶段，按照划分的 4 个阶段进一步明确过程清单数据和过程运输信息。

3.1　乳液生产阶段

乳液生产阶段指从原料进厂到乳液生产环节，信息包括乳液生产的主要原料种类、单位消耗量及主要能耗。乳液生产过程清单包括甲基丙烯酸甲酯、丙烯酸丁

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

酯、去离子水、硅烷单体和其他添加剂等辅助用料。

3.2　产品生产阶段

产品生产阶段指原料进厂到产品出厂，主要设备为造粒搅拌设备，主要原料为去离子水、乳液、着色剂、添加剂等，主要能耗项为电力、自来水。由于该阶段涉及生产过程排放和原材料运输，需要统计环保（废水、废气和固废）和运输相关数据（车辆类型和运输距离）。

3.3　产品包装及运输阶段

产品包装及运输阶段指从产品装车到经销商卸货，主要设备为汽油货车，主要能耗项为汽油。主要过程清单包括产品包装及运输、塑料桶和生产地到经销商的运输距离。过程运输清单包括产品包装物塑料桶从厂家到生产地的运输距离。

3.4　产品使用阶段

产品使用阶段指从消费者使用该产品到作为固体废弃物处理后进入大自然的生命周期。在这个阶段，主要过程清单包括分解后各污染物排入大气的排放量，该数据主要依据产品检测报告当中的数据。

4　生命周期影响分析

4.1　LCA 结果计算

根据 T/CPCIF 0001—2017《绿色设计产品评价技术规范 水性建筑涂料》中 B.4.3 分类评价要求，确定了 4 种环境影响类型指标并进行了计算，分别为能源消耗、全球暖化、富营养化、人体健康危害。环境影响类型指标如表 1 所示。

表 1　环境影响类型指标

环境影响指标类型	单位	评价方法	主要清单物质
能源消耗	kg Sb eq.		煤、石油、天然气……
全球暖化	kg CO_2 eq.	IPCC 2013	CO_2、CH_4、N_2O……
富营养化	kg NO_3^- eq.		NO_3^-
人体健康危害	kg 1,4-二氯苯 eq.		SO_x、NO_x、颗粒物

在 eFootprint 软件上，通过建模计算了 3 m^2/kg CTD-1151 水性涂料的 LCA 结果，计算指标分别为能源消耗、全球变暖、富营养化、人体健康危害。CTD-1151 水性涂料从资源生产到销售使用的 LCA 结果如表 2 所示。

表 2　CTD-1151 水性涂料从资源生产到销售使用的 LCA 结果

环境影响指标类型	单位	LCA 结果
能源消耗	kg Sb eq.	2.26E-05
全球暖化	kg CO_2 eq.	1.71E+00
富营养化	kg NO_3^- eq.	9.70E-05
人体健康危害	kg 1,4-二氯苯 eq.	8.25E-03

4.2　生产各过程累计贡献分析

过程累计贡献是指该过程直接贡献及其所有上游过程贡献（即原料消耗所贡献）的累加值。由于过程通常包含多条清单数据，过程贡献分析其实是多项清单数据灵敏度的累积[3]。为了更直观地展现 3 m^2/kg CTD-1151 水性涂料生产过程影响程度，表 3 给出了涂料生产过程对资源环境影响的贡献。

表 3　CTD-1151 水性涂料生产过程对资源环境影响贡献结果

单位：%

LCA 过程	能源消耗	全球暖化	富营养化	人体健康危害
乳液生产过程	54.88	50.57	41.17	24.93
CTD-1151 水性多彩外墙涂料生产过程	40.22	18.04	11.59	20.95
CTD-1151 水性多彩外墙涂料包装运输过程	4.90	31.39	47.24	54.12
CTD-1151 水性多彩外墙涂料使用废弃过程	0.00	0.00	0.00	0.00
合计	100.00	100.00	100.00	100.00

4.3　产品全生命周期累计贡献分析

CTD-1151 水性涂料全生命周期各阶段对环境资金影响贡献结果如表 4 所示。由表 4 可知，原材料采购过程对能源消耗、全球暖化、富营养化和人体健康危害指标贡献最大，均达 40%以上；CTD-1151 水性涂料包装与运输对人体健康危害指标贡献占比分别达 16.92%，37.20%。产品运输过程在富营养化指标中占比达到 37.50%。

表 4　CTD-1151 水性涂料全生命周期对环境资金影响贡献结果

单位：%

LCA 阶段	能源消耗	全球暖化	富营养化	人体健康危害
原材料采购	94.86	63.70	49.63	41.69
原材料运输	0.01	0.04	0.13	0.12
CTD-1151 水性涂料生产	0.23	4.87	3.00	4.07
CTD-1151 水性涂料包装	1.14	20.59	9.74	16.92
CTD-1151 水性涂料运输	3.75	10.81	37.50	37.20
CTD-1151 水性涂料使用及寿命终止	0.00	0.00	0.00	0.00
合计	100.00	100.00	100.00	100.00

4.4　清单数据对各指标灵敏度累计贡献分析

清单数据灵敏度是指清单数据单位变化率引起的相应指标变化率。通过分析清单数据对各指标的灵敏度，并配合改进潜力评估[4]，从而辨识最有效的改进点。为了更直观地展现 CTD-1151 水性涂料生命周期各过程中上游消耗生产对环境影响类型的贡献，图 1 罗列了不同环境影响类型灵敏度>1%的清单数据。

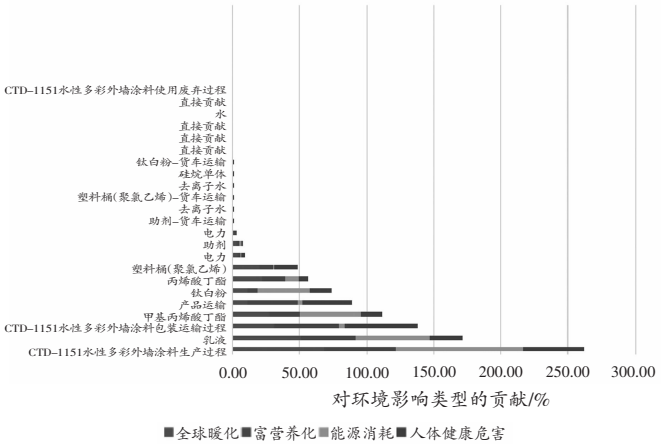

图 1　CTD-1151 水性涂料从资源开采到寿命终止各过程上游消耗生产对环境影响类型的贡献

注：仅列出对每个环境影响类型贡献>1%、对各环境影响累计贡献>1%的清单。

（下转 98 页）

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3.2　具体功能

所设计的远程记忆割煤作业方式主要包括高度记忆模式、记忆模式、干预模式和学习模式。其中学习模式下，操作者除可以进行人工操作外还可进行在线学习和示范教学（示范教学的相关记录会存储起来作为后续记忆割煤的示范曲线）；记忆模式下采煤机能根据所储存的示范作业曲线进行智能记忆割煤，该过程中操作人员能对其进行一定的干预调整，但不能对作业的示范曲线进行修改；干预模式是指在记忆模式下当作业人员发出干预指令后，采煤机远程控制系统会立即将操控权给与工作人员，由工作人员对采煤机作业进行调整，调整完成后再重新按下退出干预按钮，将控制权交还远程控制中心，继续进行记忆割煤。

4　采煤机及支架　刮板协同控制分析

a) 采煤机与支架护帮板防碰监测预警技术。通过在采煤机和支架上安装距离监测装置，能提前对采煤机行进方向上是否存在支架护帮板未收回现象进行观测和预警，确保在支架护帮板未收回的情况下不会通过采煤机，从而有效规避采煤机滚筒与支架护帮板发生碰撞，必要时还可进行闭锁控制，提升采煤机与支架运移的安全性。

b) 采煤机与支架拉架推溜漏架监测技术。采煤机在行进割煤作业中，为有效规避支架发生拉架不到位的现象导致支架无法保持在同一直线，在支架上安装位置监测装置，将实时监测到的支架位置数据上传至控制中心，通过专门的计算方式对支架运行情况进行计算分析，从而判定是否存在漏架现象。一旦发现漏架现象，则会立即发出预警并操控相应支架进行补架作业，从而实现整个作业面的智能找平，为无人干预下的自动跟机提供良好保障。

c) 故障异常干预技术。井下采煤机配套有联锁控制系统，远程控制系统能对所采集的采煤机运行状态数据进行比对分析，从而判定其运行状态是否异常，一旦确定存在故障异常状态，便会立即发出预警信号，并通过联锁控制系统对采煤机运行进行控停，使得作业安全性大幅提升。

5　结语

采煤机作为井下生产作业持续高效开展的关键设备，确保其运行的安全有效持续，对整个矿井生产综合效益的提升意义重大。特别是随着矿井回采深度的逐渐增加，井下作业环境越发复杂多变，积极探索研究采煤机远程智能遥控技术，可实现综采面无人远程操控作业，在确保回采作业安全效益的同时大幅提升井下作业安全性，从而为整个矿井综合效益的提升提供坚实保障。

参考文献：

[1] 郭帅.薄煤层综采自动化采煤技术的应用[J].西部探矿工程，2020,32(5):161-162.
[2] 张婷.边帮采煤机导航系统上位机控制软件设计[J].煤矿机械,2019,40(12):186-188.
[3] 韩冰.基于 PLC 的采煤机远程监控系统设计[J].化学工程与装备,2019(11):173-174.
[4] 刘俊锋,刘庚,黄林.基于 EtherNet/IP 的采煤机智能化远程监控系统[J].煤矿机电,2019,40(4):91-93.
[5] 王巍.“互联网+”采煤机智能化关键技术探究[J].化学工程与装备,2019(8):243-244.
[6] 王义强.采煤机远程监控系统的研究与设计[J].机电工程技术,2019,48(6):168-170.

（责任编辑：高志凤）

（上接 69 页）

由图 1 可知，CTD-1151 水性涂料的生产过程是各个指标贡献最大的过程，其次是乳液的生产过程和 CTD-1151 水性涂料的包装与运输过程，这 3 个过程是该产品今后绿色改进的重点过程。

5　结语

通过对能源消耗、全球暖化、富营养化和人体健康危害 4 个环境影响类型进行分析和计算，由上述过程累计贡献分析和清单数据灵敏度分析可知，CTD-1151 水性涂料的生产过程、乳液的生产过程和 CTD-1151 水性涂料的包装与运输过程是实现 CTD-1151 水性涂料绿色改进的重点过程。其中，原料的绿色改进建议采购绿色生产工艺生产的钛白粉等原料，例如采用环境影响较小、工艺设备先进的钛白粉或其他添加剂，或上游生产采用清洁能源。乳液生产的绿色改进，建议对现在使用的乳液生产工艺进行改进，减少能源消耗，有效地减小环境影响。CTD-1151 水性涂料包装与运输的绿色改进，建议通过减少汽运，尽可能采用新能源汽车或火车、轮船，以减轻环境对人体健康的危害，同时尽量采用环保可回收包装材料。

参考文献：

[1] 刘夏璐,王洪涛,陈建,等.中国生命周期参考数据库的建立方法与基础模型[J].环境科学学报,2010,30(10):2136-2144.
[2] 中国化工环保协会,中国涂料工业学会,嘉宝莉化工集团股份有限,等.T/CPCIF 0001—2017 绿色设计产品评价技术规范 水性建筑涂料[S].北京:中国标准出版社,2018.
[3] 王洪涛,翁端.材料生命周期评价方法浅析[J].新材料产业,2014(2):28-30.
[4] 黄娜,王洪涛,范辞冬,等.基于不确定度和敏感度分析的 LCA 数据质量评估与控制方法[J].环境科学学报,2012(6):1529-1536.

（责任编辑：刘晓芳）

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net