

doi: 10.3969/j.issn.1673-6478.2019.03.028

基于LCA理论半刚性基层人体健康损害因素分析

豆康健, 王盟盟, 王克俭, 王森林, 边亚东
(中原工学院 建筑工程学院, 河南 郑州 450007)

摘要: 采用定额数据结合工程背景, 对半刚性基层生命周期过程中排放的污染物进行健康损害因素分析。通过SimaPro软件确定了各阶段污染物排放量、资源、生态和人体健康损害评价。结果表明: 排放物过程中的污染物含量, $CO_2 > NO_2 > CO > SO_2 > PM$; 原材料生产阶段污染物排放量占比最高达到37.64%, 另外其他阶段损害因素排放负荷不可忽视; 原材料和混合料运输过程 NO_2 占总量的66%, 呼吸无机物所造成的损害最大。

关键词: 半刚性基层; 健康损害因素; 生命周期评价理论

中图分类号: U416.1

文献标识码: A

文章编号: 1673-6478(2019)03-0097-04

Analysis of Human Health Damage Factors in Semi-rigid Base Based on LCA Theory

DOU Kangjian, WANG Mengmeng, WANG Kejian, WANG Senlin, BIAN Yadong

(School of Architecture and Civil Engineering, Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou Henan 450007, China)

Abstract: Using the fixed data combined with the engineering background, to analyze the health damage factors of pollutants discharged during the semi-rigid base life cycle, the evaluation of pollutant emissions, resources, ecology and human health damage at various stages was determined by Simpro software. The results shows that: pollutant emissions $CO_2 > NO_2 > CO > SO_2 > PM$; The discharge of pollutants in the raw material production stage accounts for up to 37.64%, and the discharge load of damage factors in other stage cannot be ignored; During the transportation of raw materials and mixed materials, NO_2 accounted for 66% of the total, the damage caused by respiratory inorganic substances is the biggest.

Key words: semi-rigid base; health damage factors; life cycle assessment theory

0 引言

根据《2017年交通运输行业发展统计公报》显示我国高速公路里程已达13.65万公里, 较上年度增加0.65万公里, 公路建设投资21253.33亿元, 其中高速公路、国省道投资占比接近80%。道路结构形式多采用半刚性基层沥青路面, 其中基层材料根据其结合料类型分为水泥、石灰、石灰粉煤灰、综合稳定类(石灰和水泥稳定)材料等, 根据被稳定材料分为稳定碎石、稳定细粒土、稳定砂砾等^[1]。

水泥稳定碎石因其具有较高的强度, 较好的抗渗和耐冻性, 碾压成活后遇雨水表面坚实不泥泞, 广泛应用于高级路面基层材料。水泥稳定碎石生命周期过程中消耗大量碎石、水泥等资源, 以及柴油、电力为主的能源, 并伴随着 SO_2 、 NO_2 和 PM_{10} 等污染

物排放, 进而造成人体健康损害。

本文依据LCA(Life Cycle Assessment)理论, 采用定额法、SimaPro软件, 结合现有文献研究成果定量评价半刚性基层生命周期中的污染物排放, 分析其对人体健康损害的数量及各阶段的主要污染物, 结合郑州地区道路工程实例, 提出改善建议和方法。

1 半刚性基层生命周期分析

1.1 目标和范围的确定

本研究将路面结构中的半刚性基层作为生命周期研究对象, 分为原材料开采生产、原材料运输、混合料拌和、混合料现场施工4个阶段, 其中混合料现场施工阶段包括混合料运输、摊铺、碾压、养护阶段, 对各阶段中产生的人体健康损害污染物评价。

收稿日期: 2018-12-06

通讯作者: 边亚东(1975-), 男, 山东邹城人, 教授, 博士, 研究方向为建筑生命周期评价、边坡工程与支挡结构、岩石爆破技术等。

原材料主要包括水泥、碎石和能源,研究过程中包含原材料加工和运输过程中的污染物排放,不考虑半刚性基层拆除和废弃物循环利用所产生的能耗和排放,系统边界见图1。依据项目情况规定铺装长1 km宽3.75 m的基层结构为36 cm厚水泥稳定碎石基层+18 cm厚水泥稳定碎石底基层为功能单位。

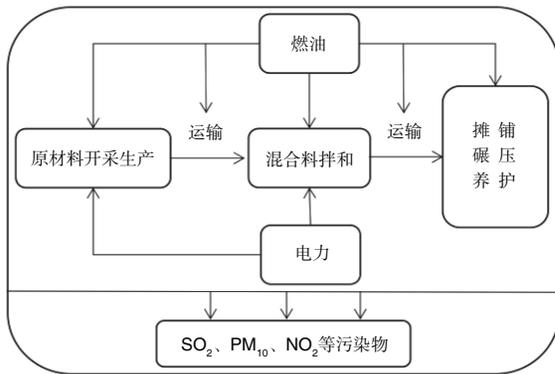


图1 系统边界图

Fig.1 System boundary diagram

1.2 清单分析

清单分析是为实现研究目的对所需数据的收集,材料、能源生命周期时效清单数据采用丁宁、刘夏璐、徐小宁等^[2-5]研究成果,经计算得出化石能源、电力、水泥、碎石、柴油的研究数据,为半刚性基层人体健康损害因素评价提供数据支持。

(1) 原材料资源消耗

原材料资源消耗量计算依据公路预算定额中半刚性基层材料消耗数据,在计算半刚性基层材料消耗时,当设计配合比、碾压成活厚度与定额标明的配合比有区别时,可按公式(1)换算^[6]:

$$C_i = [B_d \times (H - H_0) + C_d] \times \frac{L_i}{L_d} \quad (1)$$

其中, C_i 为按配合比换算后的材料数量; C_d 为定额基本压实厚度20 cm的材料数量; B_d 为定额压实厚度每增减1 cm的材料数量; H 为设计的压实厚度; H_0 为基本压实厚度; L_i 为设计材料百分率; L_d 为定额材料百分率。

(2) 运输过程能源消耗

运输过程包括原材料运输和混合料运输阶段,两者采用的运输工具、运输距离不同,所造成的排放和能源消耗也不同。本研究假定原材料运输采用相同的运输单元,道路施工过程中工程机械能耗采用定额数据单独分析。运输距离根据研究对象的不同,考虑车辆返还的运输行程。运输过程中总能耗按每种材料单独运输能耗计算,筑路材料运输方式

以公路交通运输方式为主,在本研究范围内假定不考虑轮船运输和铁路运输,如式(2)所示。

$$E = (1 + \alpha) \sum_{i=1}^n (D \times G_i \times L_i) \quad (2)$$

其中, E 为单次运输材料产生的总能耗; α 为返程系数; n 为每趟运输工具数量; D 为燃油密度; G_i 为车型 i 平均百公里油耗; L_i 为材料 i 平均运距, km。

本文研究范围内原材料运输只计入原材料进场的运输消耗,不考虑运输工具空载返回的情况,返程空载时 $\alpha = 0$ 。运输车辆的排放系数与燃料类型、动力装置、行驶速度及道路状况等因素有关,本文道路产品运输阶段的污染物排放量估算引用美国EPA的MOBILE模型中的交通排放系数作为输入参数^[7]。

(3) 施工过程能源消耗

路拌法水泥稳定土基层因严重污染周围环境,不利于施工质量控制,并且易受天气因素影响,目前普遍采用厂拌法制备混合料。道路半刚性基层施工过程包括摊铺、碾压、养护,其能源消耗主要参考定额和机械台班数据,未考虑稳定土拌和设备的安拆。

工程机械的影响清单是由工程机械的能源消耗类型、消耗量和污染物排放量经计算确定,参照《非道路移动机械排放清单技术指南》标准,鉴于区域之间活动水平获取程度不同,采取准确度较模糊的方法计算工程机械气体排放数据,如公式(3)所示。

$$E_i = \sum_{i=1}^n (Y_i \times EF_i) \times 10^{-3} \quad (3)$$

式中, E_i 为工程机械污染物 i 排放量, kg; n 为工程机械用途数量, 种; Y_i 为燃油消耗量, kg; EF_i 为污染物 i 排放系数, g/kg, 工程机械的排放系数采用欧盟EMEP/CORINAIR数据^[8]。

1.3 影响评价

依据目标和范围,确定影响类型并进行定义,将清单分析中污染物排放划分到相应影响类型中,应用评估工具将污染物潜在影响进行分析,量化成相同形态或单位比较。

本研究考虑的主要环境影响类型为人体健康损害, SimaPro软件中Eco-indicator 99 (E) 评价方法中进入空气、水体和土壤的人体健康损害物质人体毒性参照单位为DALY, 根据Eco-indicator 99 (E) 方法分类原则,对半刚性基层生命周期中原材料、能源消排放物质清单按照其环境影响类型进行分类。

半刚性基层生命周期的环境影响特征化分析,将清单分析结果进行统一,转换成统一单位的环境影响类型参数,将不同污染物类型在各种形态环境问题中加以分析,量化成相同形态或单位。

2 实例分析与评价

实例选取郑州市京港澳高速公路双湖大道互通式立交新建道路工程, 项目道路为城市快速路, 设计速度80 km/h, 全长2.4 km, 基层为36 cm厚水泥稳定碎石, 底基层为18 cm厚水泥稳定碎石, 双向八车道, 混合料的水泥剂量按5%计。实例资源、能源消耗量分析基于功能单位清单分析基础之上, 原材料运输距离参考项目特点, 实例工程清单数据相当于19.2个功能单位清单数据。

本研究数据基于定额量化方法研究半刚性基层生命周期过程中的资源、能源消耗, 基层施工阶段能源消耗量, 参考《公路工程机械台班费用定额》中施工机械台班能耗数据, 结合《公路工程预算定额》中施工机械台班用量、单位工程量资源消耗, 确定能源、资源消耗总量, 如表1示, 经能源折算系数计算, 各阶段能源消耗, 如表2。半刚性基层混合料生命周期过程中, 原材料开采生产能耗最大、原材料和混合料运输过程能耗其次。因此在水泥稳定碎石加工制备过程中保证路基效果与强度的情况下使用再生骨料, 增加材料循环使用次数, 降低原材料制备能耗; 原材料和混合料运输作为因运输距离变化而改变的过程, 在施工过程中, 就近取材, 缩短原材料产地与工程所在地的距离, 合理布置拌合站位置; 施工过程中采用低油耗、高效率施工机械, 淘汰老化设备, 降低能耗。

Simapro软件模拟得出各阶段污染物排放数据如表3所示, 其中污染物排放量 $CO_2 > NO_2 > CO >$

表1 基层原材料消耗(t)

原材料	水泥	碎石
每功能单位	228.47	4 506.86
实例工程	4 386.62	86 531.71
运距/km	30	30

$SO_2 > PM$ 。原材料生产阶段污染物排放量占比 $PM > SO_2 > CO_2 > NO_2 > CO$, 最高达到37.64%, 可见施工和运输过程所产生的污染物对人体依然存在较大威胁, 影响施工从业人员、工程周边居民以及相关行业人员身体健康。原材料和混合料运输过程 NO_2 占总量的66%, 运输过程是一个空间距离长、影响范围广的过程, 对工程项目所在城市的大气环境有较大负荷, 降低运输车辆氮氧化物排放势在必行。

半刚性基层生命周期评价过程中涉及的影响类型主要包括人体健康、资源消耗和生态影响, 各阶段损害评价结果见表4、表5。原材料运输阶段造成以呼吸无机物为主的人体健康损害最大、其次是原材料生产阶段。在人体健康损害评价中, 呼吸无机物所造成的损害最大, 达到 $7.27E-01$ DALY, 占比为81.29%, 各阶段造成的生态影响、人体健康损害、资源消耗呈正向影响。

3 结论

针对半刚性基层生命周期过程排放污染物进行健康损害因素分析, 采用定额数据结合实例工程背

表2 各阶段能源消耗

Tab.2 Energy consumption at each stage

阶段	原材料生产	原材料运输	拌和	混合料运输	摊铺	碾压	养护
每功能单位	2 730.13 kg 49 904.98 kwh	5 159.71	705.32 kg 1 294.94 kwh	941.57	163.69	399.77	63.36
实例工程	524 187.52 kg 958 175.63 kwh	99 066.432	13 542.14 kg 24 862.85 kwh	18 078.144	3 142.848	7 675.584	1 216.512
能耗(kJ)	2.58E+10	4.23E+09	6.68E+08	7.72E+08	1.34E+08	3.28E+08	5.20E+07

注: 柴油单位kg, 电单位kWh, 能耗单位kJ。

表3 各阶段污染物排放

Tab.3 Pollutant emissions at various stages

污染物	共计	原材料生产	原材料运输	拌和	混合料运输	摊铺	碾压	养护
CO ₂	786 039.45	221 139.90	375 461.77	77 938.77	66 871.05	11 625.39	28 391.99	4 610.58
CO	1 746.85	120.37	1 051.09	180.35	239.07	41.56	101.50	12.91
NO ₂	4 607.88	655.99	2 414.25	528.43	612.83	106.54	260.19	29.65
PM	432.17	162.69	112.44	74.90	50.53	8.78	21.45	1.38
SO ₂	860.12	321.84	257.87	202.40	46.82	8.14	19.88	3.17

