

基于 IMPACT2002 + 的机械加工过程资源环境影响评价方法研究^{* 1}

潘媛^{1 2} 张华^{1 2} 朱硕^{1 2} 鄢威^{1 2}

(1 武汉科技大学冶金装备及其控制教育部重点实验室, 武汉 430081;

2 武汉科技大学机械传动与制造工程湖北省重点实验室, 武汉 430081)

摘要: 为了科学地反映机械加工过程资源、能源以及环境排放情况, 提出一种基于 CML2001 中间类型方法和 Eco-indicator99 损害类型方法相结合的 IMPACT2002 + 生命周期影响评价方法。通过对中间环境影响指标和 4 种环境损害指标进行分析, 建立机械加工过程资源消耗和环境排放数据量化、分析与评价体系以及评价模型; 通过中间类型影响和损害类型影响的对比分析, 可以更好地反映机械加工过程中资源消耗和环境排放情况以及环境影响与工艺的关系。以某机床厂全数控凸轮轴磨床零件丝杆螺母座的制造工艺过程为例, 验证了该评价模型与评价方法的可行性。

关键词: 机械加工过程; 资源环境影响; IMPACT2002 +

中图分类号: TH16 文献标志码: A 文章编号: 1671-3133(2019)03-0017-08

DOI: 10.16731/j.cnki.1671-3133.2019.03.004

Research on the resource and environment impact assessment of machining process based on IMPACT2002 +

Pan Yuan^{1 2} Zhang Hua^{1 2} Zhu Shuo^{1 2} Yan Wei^{1 2}

(1 Key Laboratory of Metallurgical Equipment and Control of Education Ministry ,
Wuhan University of Science & Technology ,Wuhan 430081 ,China;

2 Hubei Key Laboratory of Mechanical Transmission and Manufacturing Engineering ,
Wuhan University of Science & Technology ,Wuhan 430081 ,China)

Abstract: In order to scientifically reflect the resources and energy and environmental emissions of machining process. The IMPACT2002 + life cycle impact assessment methodology proposes a combined of the CML2001 mid-point index method and Eco-indicator99 end-point index method. Through the analysis of intermediate environmental impact indicators and 4 kinds of environmental damage indicators, a data quantitative analysis and evaluation system and evaluation model of resource consumption and environmental emissions of the machining process are established. Through the comparative analysis of the influence of intermediate types and damage types, it can better reflect the resource consumption and environmental emissions and the relationship between environmental impact and process of machining. Feasibility of the model and method is verified by the manufacturing process of the lead screw nut seat of the CNC camshaft grinding machine in the machining tool factory.

Keywords: machining process; resources and environment impact; IMPACT2002 +

0 引言

制造业在将资源转变为产品(服务)的过程中会带来巨大的资源浪费、能源消耗,并产生大量的 CO₂ 排放对环境造成污染。据国际能源署研究显示:全球近 1/3 的能源、资源消耗以及 36 % 的 CO₂ 排放是由制造

业造成的^[1]。可见,机械加工过程是造成资源、能源消耗和 CO₂ 排放(环境排放)的主要环节之一,因此,减少机械加工过程中的资源、能源消耗和环境排放等绿色综合性问题,在整个绿色制造业节能减排中起着举足轻重的作用。

近年来,关于制造过程绿色性分析与评价问题的

* 国家自然科学基金资助项目(51275365); 国家 863 计划资助项目(2014AA041504)

研究已引起了大量学者的关注。其中部分学者主要从智能数学模型方法进行分析,如文献[2]和文献[3]基于人工神经网络对制造过程资源环境属性进行研究,并建立了其综合评价体系与评价模型;文献[4]和文献[5]基于熵权法和 TOPSIS 法对发动机关键零/部件加工过程绿色性进行了分析与评价,同时运用区间数对制造过程资源环境属性进行了分析;文献[6]和文献[7]基于输入输出(Input-Process-Output, IPO)过程模型,对产品制造过程输入资源与输出的环境影响之间的关联性进行了研究,旨在通过改善单个工艺对环境的影响来提高整个制造系统的绿色性;文献[8]通过优化制造工艺路线,综合采用专家系统、案例推理和特征技术等方法,对制造过程资源消耗和环境影响情况进行了分析。以上文献所采用的智能数学方法在处理定量与定性指标时大多采用打分的形式,主观性较强,导致评价结果不够准确,因此有部分学者将生命周期评价的量化方法应用于绿色性评价中,如文献[9]提出一种基于绿色特征的快速生命周期评价模型,该模型通过直觉模糊数和 Monte Carlo 法对定性指标与定量的特征值进行了研究;文献[10]和文献[11]提出基于生命周期的平均环境影响指标计算方法,确定了发动机制造过程中环境影响的最大阶段;文献[12]提出归果生命周期评价方法,对产品系统边际变化情况进行了分析;文献[13]对 CML 生命周期影响评价模型的应用进行了分析。以上文献在评价过程中都是从全生命周期角度进行分析,而没有针对机械加工过程中的资源环境进行分析,同时所采用的影响评价方法过程复杂,评价结果不够直观、全面,较难准确地反映机械零件加工过程中的资源和能源的使用以及环境排放情况。

基于此,本文以机械加工过程为研究对象,采用 IMPACT2002 + 生命周期影响评价方法,将评价结果分为中间环境影响指标和损害环境影响指标,并对其进行分析、对比,直观地反映加工过程中资源消耗和环境排放的具体情况,以便快速找出在加工过程中影响环境最严重的工序(工步),为后续改善机械加工过程,减少资源、能源消耗和环境排放等绿色综合性问题提供理论依据与技术支持。

1 基于 IMPACT2002 + 的生命周期影响评价方法

生命周期评价的基本步骤主要分为目标和范围定义、清单分析、影响评价及结果解释 4 个部分,其中

影响评价是生命周期评价的核心,目前关于生命周期影响评价方法主要有面向问题的中间类型方法(mid-point)和面向结果的损害类型方法(end-point)两类。面向问题的中间类型方法侧重直观解释产品对环境造成的影响;而面向结果的损害类型方法主要着眼于影响后果对人类健康、环境及资源等最终保护领域所造成的伤害。

由此瑞士联邦技术研究所 Lausanne 提出了 IMPACT2002 + 生命周期影响评价方法^[14],该方法是通过协调与搭配的方式,将面向问题的中间类型方法(CML2001 中间类型方法)和面向结果的损害类型方法(Eco-indicator99 损害类型方法)相结合的可行性方法,该方法的总体框架如图 1 所示。

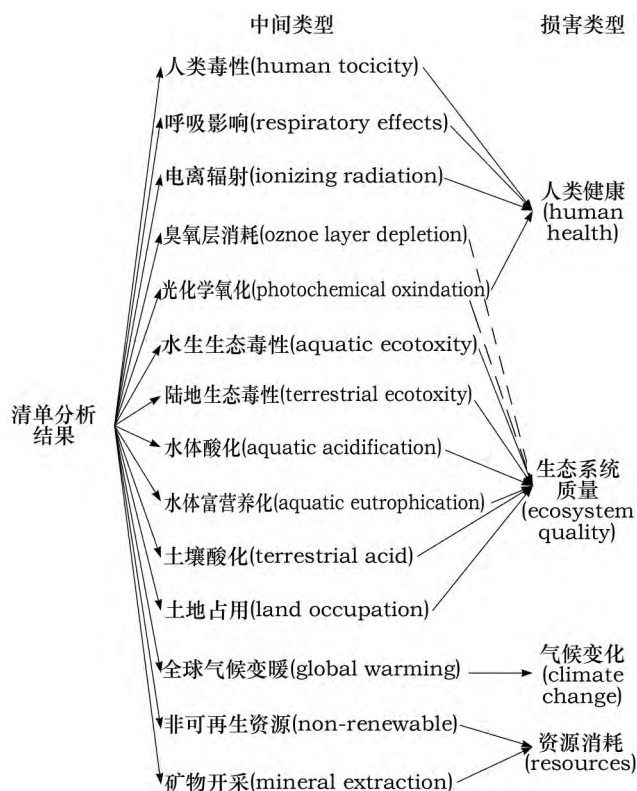


图 1 IMPACT2002 + 方法总体框架

IMPACT2002 + 方法利用 CML2001 中间类型和 Eco-indicator99 损害类型为基础指标,将清单数据通过中间点类型连接到环境损害类型,用环境损害指标的量化结果来代表资源环境的影响,其中量化结果可以是一个生态指标,而不再是基于打分形式来描述,降低了人为干扰以及评价的复杂性;并且在中间因子层和损害因子层都可进行标准化,可根据需要选择是采用中间类型还是采用损害类型,给操作者提供便利,同时将中间类型影响结果和损害类型影响结果两

者进行对比分析,可直观地反映机械加工过程各工序与资源环境的关系。

2 机械加工过程资源环境评价

机械加工过程资源环境影响评价是针对机械加工过程中资源和环境的输入和输出进行分析,结合 IMPACT2002 + 方法^[14],借鉴生命周期评价(Life Cycle Assessment, LCA)的流程,首先针对机械加工过程中各阶段以及整体的资源消耗和环境排放情况进行清单分析、建立评价指标体系以及对清单数据进行采集量化,然后建立基于 IMPACT2002 + 方法的影响评价模型,以此对各清单数据进行处理分析评价的过程。本文评价方法相比传统方法降低了评价过程的复杂性和不确定性,更加有助于绿色制造企业对其加工过程进行分析、对比,为下一步的优化提供方向。

2.1 清单分析

清单分析是指对加工过程中各阶段资源和环境其输入与输出之间的数据进行收集、量化及分析的过程,是工艺资源消耗和环境排放评价方法中最重要的环节。通过对机械加工过程的分析,结合资源环境影响因素等指标,可列出其主要清单分析对象,如表 1 所示。

表 1 清单分析对象

原材料的消耗	各类金属与合金
辅助材料的消耗	一次能源:水、煤、石油及天然气等 二次能源:电能、煤气、焦炭及柴油等 耗能工质:工业水、压缩空气、切削液、刀具及液压油等
废气排放	气体向大气排放
废液排放	化学物质向水体排放
固体废弃物排放	固体废弃物向土壤排放

依据清单分析的对象,通过 IMPACT2002 + 方法中间类型与损害类型所对应的中间因子和损害因子等影响因子的描述^[14],结合我国十一五、十二五规划纲要中的节能减排综合指标^[15-16],选取 8 类资源环境指标即全球变暖潜值(GWP)、固体废弃物(WS)、富营养化潜值(EP)、酸化潜值(AP)、化学需氧量(COD)、可吸入无机物(RI)、工业用水量(IWU)及一次能源消耗(CADP)连接到 4 类环境损害类型即气候变化(CC)、生态系统质量(EQ)、人类健康(HH)及资源消耗(R),进一步分析建立了基于 IMPACT2002 + 方法的机械加工过程资源环境评价指标体系,如图 2 所示。

图 2 中的指标因子层具有多层次的特点,通过对中间因子层的资源环境指标进一步分析可确定中间

因子指标,即资源环境指标相对应的主要影响因子,资源环境指标及相应的主要影响因子如表 2 所示。针对表 2 中的主要影响因子,可根据实际适当选取现场检测、历史数据、经验估算以及查找说明书和生产文件等方法中的一种或几种,以便对相关影响物质进行数据采集与量化。

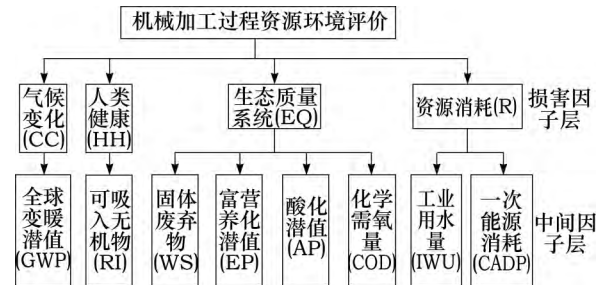


图 2 基于 IMPACT2002 + 方法的机械加工过程资源环境评价指标体系

表 2 资源环境指标及相应的主要影响因子

名称	简称	主要影响因子	功能单位
全球变暖潜值	GWP	CO ₂ 、CH ₄ 、NO _x 及 CO 等 温室气体排放	gCO ₂ eq
工业用水量	IWU	湖水、井水等水源	g
富营养化潜值	EP	NH ₄ 、NO _x 等	gPO ₄ ³⁻ eq
酸化潜值	AP	SO ₂ 、NO _x 、H ₂ S 及 HCL 等 气体排放	gSO ₂ eq
固体废弃物	WS	固体废弃物的种类	g
化学需氧量	COD	废液排放	g
可吸入无机物	RI	粉尘、NO 等	gPM _{2.5} eq
一次能源消耗	CADP	煤、石油、天然气等能源 消耗	gCoal-Req

2.2 基于 IMPACT2002 + 方法的资源环境影响的评价模型

对清单数据进行处理,得到机械加工工艺资源环境影响指数,基于此建立基于 IMPACT2002 + 方法的机械加工过程资源环境影响评价模型,如图 3 所示。

本文评价模型采用 IMPACT2002 + 方法,应用化学分析方法将中间类型与损害类型相结合,通过对清单数据处理将其关联,用环境损害指标量化结果表示对环境的影响,同时中间因子指标的量化结果有助于直观反映加工过程中造成该损害结果的主要原因。

影响评价分析中对清单数据处理从而得出资源环境影响总指数的数学模型,设 X 为清单分析结果的数据集合, x_n 为第 n 种物质消耗/排放的量, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$; Y 为中间类型集合; Z 为损害类型集合; m, n, i, j 为任意正整数。首先按照资源环境影响评价模型,将集合 X 分到每个 y_i 类中,则:

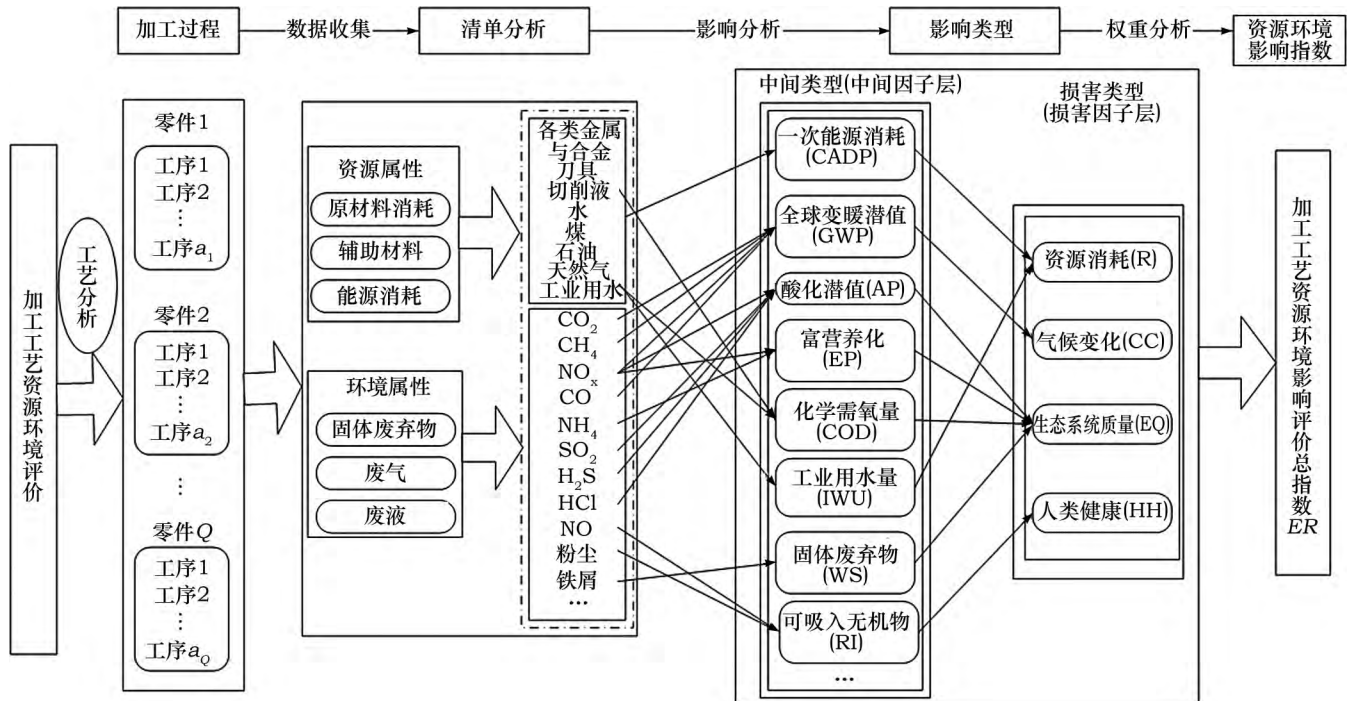


图3 基于 IMPACT2002+ 方法的机械加工过程资源环境影响评价模型

$$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_i\} \quad (1)$$

式中: $y_i = \{x_1, x_2, \dots, x_j\}$, $x_j \in X$, j 为清单分析结果对应的物质类型序号; i 为中间因子指标类型序号。

对每个 y_i 类的数据进行特征化处理(特征化是指根据各种影响因子所造成的同一影响类型进行分类,采用国际通用的参考物计算其相对大小并转化为统一的单元的过程)得出对应的当量值 x_{jc} , 求和可得第 i 种中间因子指标的特征化结果 y_{ic} , 即:

$$y_{ic} = \sum_{j=1}^l x_{jc} = \sum_{j=1}^l [x_j \times EF(j)] \quad (2)$$

式中: $EF(j)$ 为第 j 种物质的资源环境影响当量因子。

式(2)中当量因子是指第 j 种物质相对该指标参考物的相对大小,通常因为影响类型的不同而不同。

根据环境影响中间类型与损害类型的关联,将具有共同损害效果的中间因子指标的特征值 y_{ic} 划分到损害类型 z_m 中,得到:

$$Z = \{z_1, z_2, \dots, z_m\} \quad (3)$$

式中: $z_m = \{y_{1c}, y_{2c}, \dots, y_{ic}\}$ 。

对每个 z_m 中的数据采用 IMPACT2002+ 方法中的标准人当量基准对其指标的特征化结果进一步标准化(或归一化),得到同一量纲的数值 y'_{ic} , 求和得出该损害类型指标的标准化结果 z_{mc} , 即:

$$z_{mc} = \sum_{i=1}^p y'_{ic} = \sum_{i=1}^p \frac{y_{ic}}{R_{ic}} \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (4)$$

式中: R_{ic} 为第 i 种中间因子指标的标准化当量值。

最后对其权重分析,计算出加工工艺资源环境影响评价总指数 ER , 即:

$$ER = \sum_{m=1}^q w_m z_{mc} \quad m = 1, 2, \dots, q \quad (5)$$

式中: w_m 为第 m 类环境影响指标的权重值。

3 案例分析

以某机床厂全数控凸轮轴磨床(CNC8312B)零件丝杆螺母座镗内孔及左右端面的机械加工工艺过程为例,对上述评价模型进行应用,验证本文模型的可行性,其中该丝杆螺母座的材料是 HT200,丝杠螺母座零件简图如图4所示。

丝杆螺母座的加工工艺主要包括2个端面和1个内孔的粗镗和精镗,利用沈机集团昆明机床股份有限公司生产的数显卧式铣镗床(TX6111D)进行加工,其主要的工艺参数如表3所示。

3.1 清单分析

丝杆螺母座的机械加工过程清单分析是对各工步消耗的能耗、辅助材料以及产生的粉尘、废气、废液和固体废弃物等相关影响因子进行数据采集,其采集方法如表4所示。

运用实际采集与测算等方法获得丝杆螺母座加工过程中的清单数据,其中在机械加工过程中废气的排放较少,而且测量困难,因此选取主要的影响因素

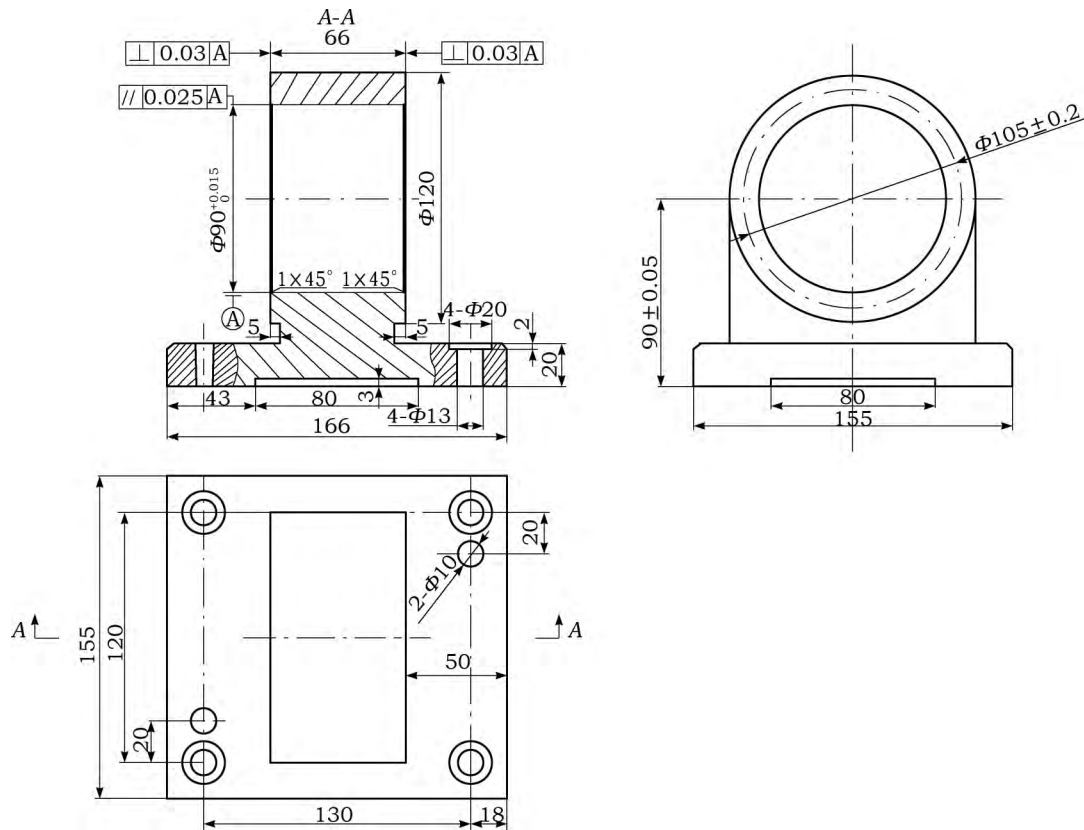


图 4 丝杠螺母座零件简图

表 3 丝杠螺母座主要的工艺参数

工步号	工步内容	加工参数			
		主轴转速/ ($r \cdot \min^{-1}$)	进给量/ ($\text{mm} \cdot r^{-1}$)	加工深度/mm	加工时间/s
1	粗镗内孔	88.0	0.17	7.0	393
2	粗镗左右端面	150.0	0.1 ~ 0.2	5.8	904
3	半精镗左右端面	50.0	0.1 ~ 0.2	0.2	247
4	半精镗内孔	105.0	0.17	0.5	759
5	精镗内孔	21.5	0.4	0.1	586

CO_2 通过文献 [17] 对碳排放的量化方法进行估算, 获得详细清单数据如表 5 所示。

3.2 中间环境影响

由以上丝杠螺母座清单数据分析可知 $X = \{\text{电能}, \text{废液}, \text{粉尘}, \text{金属废屑}, \text{COD}, \text{CO}_2\}$, 采用基于 IMPACT2002 + 的资源环境影响评价模型及方法对数据进行分类处理。先以中间类型环境影响为目标, 则 $Y =$

表 4 丝杠螺母座清单数据的采集方法

数据类型	数据采集方法
原材料	现场磅秤测量毛坯质量 W_1
刀具	现场测算 + 生产资料, 加工时间 / (刀具寿命)
切削液等	现场测算 + 生产资料, 加工时间 $\times$ 加液体积 / 更换周期
工业用水	现场测量
电能	现场测量, WT1800 功率测试仪
RI(粉尘)	现场采集, 粉尘测定仪
CO_2	生产资料 + 经验估算 ^[17]
COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 等	现场采集与估算, 比色管、检测试纸
金属废屑等	现场采集, 废屑质量 $\Delta W = W_1 - \text{加工后零件质量}$

$\{\text{GWP}, \text{IWU}, \text{EP}, \text{AP}, \text{WS}, \text{COD}, \text{RI}, \text{CADP}\}$, 根据表 2 中的主要影响因子将清单数据集 X 分配到对应的指标类别 y_i 中, 运用 IMPACT2002 + 方法的模型通过 eBalance 数据库查询其特征化指标的当量因子 $EF(j)$, 加工过程环境影响的特征化处理如表 6 所示。

表 5 丝杠螺母座加工过程清单数据

工步号	电能消耗/ ($\text{W} \cdot \text{h}$)	辅助材料消耗		粉尘/g	工业用水/g	金属废屑/kg	COD/g	CO_2 /kg
		切削液/L	刀具单位工序消耗量/型号					
1	446.58	4.107	0.004/YT5	0.02	110.90	0.849	18.48	11.759
2	576.51	2.863	0.003/YG8	0.02	77.30	0.218	12.88	8.330
3	106.50	0.957	0.001/YG8	0.02	25.80	0.008	4.30	2.730
4	436.78	2.593	0.003/YT15	0.02	70.00	0.060	11.67	7.495
5	754.75	3.537	0.003/YT15	0.02	95.50	0.012	15.92	10.349

表 6 中各指标(影响类型)需要将其相关的清单数据影响因子转化为相应参考物的大小(如 GWP 的特征化是将所有的影响因子转化为 CO₂ 排放量的相对大小),即各因子指标的特征化值是通过式(2)将各相关清单物质的量值与其特征化当量因子的乘积求和得出的,因此,丝杆螺母座加工过程涉及各中间因子指标的特征化结果 y_{ic} ,如表 7 所示。

表 6 加工过程环境影响的特征化处理

影响类型	清单物质	特征化当量因子 $EF(j)$	特征化单位
GWP	CO ₂	1	gCO ₂ eq
IWU	工业用水	1	g
EP	COD	0.022	gPO ₄ ³⁻ eq
AP	—	—	gSO ₂ eq
WS	金属废屑	1	g
COD	COD	1	g
RI	粉尘	0.536	gPM _{2.5} eq
CADP	电能	0.1229	gCoal-Req

表 7 丝杆螺母座加工过程环境影响特征化值

工步号	各中间因子指标 y_{ic}						
	GWP/gCO ₂ eq	IWU/g	EP/gPO ₄ ³⁻ eq	AP/gSO ₂ eq	WS/g	COD/g	RI/gPM _{2.5} eq
1	11 759	110.90	0.41	0	849.00	18.48	0.011
2	8 330	77.30	0.28	0	218.00	12.88	0.011
3	2 730	25.80	0.09	0	7.50	4.30	0.011
4	7 495	70.00	0.26	0	60.00	11.67	0.011
5	10 349	95.50	0.35	0	12.00	15.92	0.011

通过上述数据的处理,将清单物质与中间因子指标相关联,但由于各指标的功能单位不同无法进行分析比较,因此需要对其进行标准化,为各种影响类型的相对大小提供一个可比较的标准。采用文献[18]中的标准人当量基准值为指标的标准化当量值,标准化当量值如表 8 所示,通过式(4)对其特征化结果进行标准化处理,得到丝杆螺母座加工过程中间因子指标标准化结果以及对各工步的影响程度,分别如图 5、图 6 所示。

表 8 标准化当量值 R_{ic} [18]

类型	标准人当量基准值	类型	标准人当量基准值
GWP	8 700 kgCO ₂ eq/(人·a)	WS	251 固废/(人·a)
IWU	472 水资源/(人·a)	COD	10.33COD/(人·a)
EP	62 kgPO ₄ ³⁻ eq/(人·a)	RI	18 kgPM _{2.5} eq/(人·a)
AP	36 kgSO ₂ eq/(人·a)	CADP	1 802 kgCoal-Req/(人·a)

注:(人·a)表示在一定范围内每人每年所造成的平均影响

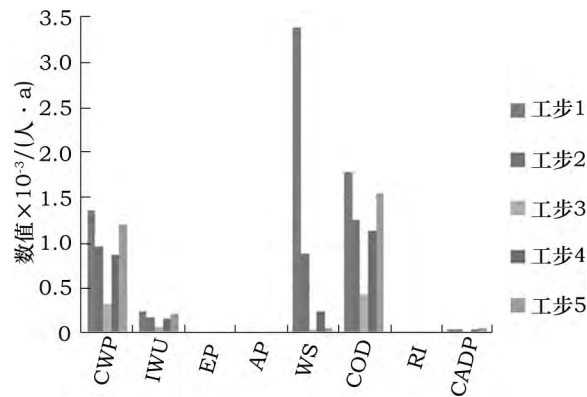


图 5 丝杆螺母座加工过程中间指标标准化结果

由图 5 可以看出,在丝杆螺母座的加工过程中,工步 1 产生的固体废弃物、化学需氧量及 CO₂ 等指标都

是最多的,由此可以得出从加工工艺的角度看,工步 1 在整个加工过程中造成的环境影响最严重。如图 6 所示进一步对该加工过程中各中间因子对各加工工艺的影响程度进行分析,可以得出从中间因子影响角度看,综合整个加工过程各指标占比可以得出化学需氧量的综合占比为 26 % ~ 51 %,对整个加工过程的环境影响最大,其次 CO₂ 占比为 20 % ~ 39 %。由此得出该加工过程中主要的环境影响物质是化学需氧量,而主要对环境的影响最严重的工步为工步 1。所以结合图 5 和图 6 的结果表明降低整个加工过程化学需氧量和二氧化碳的影响是改善加工过程绿色性的主要因素,而重点关注的是工步 1,同时可以直观地反映各工步与各环境指标以及资源之间的影响关系。

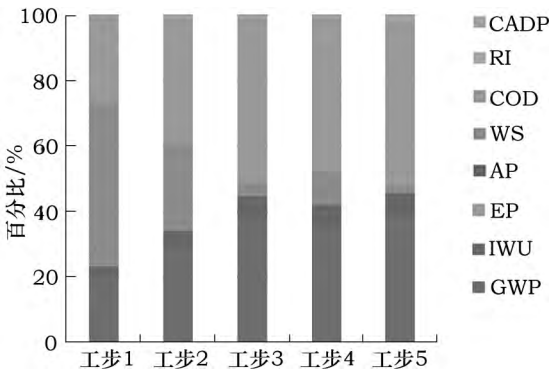


图 6 加工过程中各中间指标对各工步的影响程度

3.3 损害类型影响

对丝杆螺母座加工过程的数据以结果类型为目

标进行计算,结合 IMPACT2002 + 方法的资源环境影

响评价模型,运用中间指标标准化结果,进一步的将

其分类求和,得出损害类型的标准化结果。如生态系统质量(EQ)包括固体废弃物、富营养化潜值、酸化潜值和化学需氧量,资源消耗(R)包括工业用水和一次能源消耗,人类健康(HH)和气候变化(CC)完全归结于可吸入无机物和全球气候变暖。所以生态系统质量指标的标准化结果为固体废弃物、富营养化潜值、酸化潜值和化学需氧量指标的标准化结果求和得出,同理求得各损害指标的标准化结果,从而得到丝杆螺母座加工过程损害指标环境影响如图 7 所示。

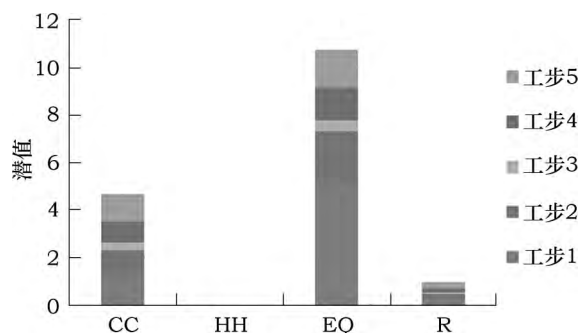


图 7 丝杆螺母座加工过程损害指标环境影响

由图 7 可以看出,丝杆螺母座加工过程中所产生的废气、废液等物质对所在领域造成的影响主要是生态质量,其次是全球气候变暖和资源的消耗。通过进一步对中间点和损害点分析,一致得出该零件加工过程对生态质量的影响最大,在整个工艺过程中工步 1 造成的损害情况最严重。最后还可通过设置 4 种损害类型指标的权重求出最终总影响指数。

通过对 IMPACT2002+ 方法的应用,将中间类型和损害类型相结合,机械制造企业可以根据自己的需求选择评价类型,从而可以针对性地对该零件加工过程中造成的环境影响进行评价,通过优化改进各工序(工步)的加工参数等来降低整个加工过程对环境的影响。

4 结语

本文提出了一种基于 IMPACT2002+ 的环境损害指标量化方法及影响评价方法,结合 LCA 评价流程,针对资源消耗和环境排放特点进行分析,建立了资源环境数据量化、分析与评价体系以及机械零件加工过程资源环境评价模型。运用 IMPACT2002+ 的理论方法对中间因子层和损害因子层进行标准化,将中间类型和损害类型影响评价相结合,通过对各零件加工过程中各中间类型影响评价和损害类型影响评价对比分析,可以直观地反映各工艺过程对环境的影响程

度,以及造成该环境影响的主要因素,有助于机械制造企业机械对机械加工过程与环境影响进行分析,找出环境影响最差的工序(工步)并进行针对性的优化,从而对提升机床生产企业绿色制造水平,具有一定的指导意义。并以 CNC8312B 丝杆螺母座的加工工艺过程的资源环境评价为例,验证了该模型的可行性。

参考文献:

- [1] International Energy Agency(IEA). Tracking Industrial Energy Efficiency and CO₂ Emission[R]. Paris: OECD/IEA, 2007.
- [2] 江志刚,张华,鄢威,等.基于 BP 神经网络的制造过程绿色属性评价方法[J].制造技术与机床,2010(7):100-103.
- [3] 张华,鄢威,江志刚.一种制造过程资源环境属性的综合评价模型及应用.全国高等学校制造自动化研究会第十三届学术年会论文集[C].[出版地不详]:全国高等学校制造自动化研究会,2011.
- [4] 岳文辉,王晓俊,韩自强.基于熵权法和 TOPSIS 的发动机关键零部件加工过程绿色特性评价[J].制造技术与机床,2013(12):36-39.
- [5] 岳文辉,韩自强,王晓俊.基于区间数的制造过程资源环境属性评价[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2013,28(3):22-25.
- [6] JIANG Z G, ZHANG H, XIAO M. Analysis Model of Resource Consumption and Environmental Impact for Manufacturing Process[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2008, 28(28):132-137.
- [7] XUE H, KUMAR V, SUTHERLAND J W. Material flows and environmental impacts of manufacturing systems via aggregated input-output models[J]. Journal of Cleaner Production, 2007, 15(13):1349-1358.
- [8] TAN Xianchun, LIU Fei, LIU Dacheng, et al. Improved methods for process route in enterprise production process in terms of Sustainable development II[J]. Tsinghua Science and Technology, 2006, 11(6):693-700.
- [9] 孟强,李方义,李静,等.基于绿色特征的方案设计快速生命周期评价方法[J].计算机集成制造系统,2015,21(3):626-633.
- [10] LI T, LIU Z C, ZHANG H C, et al. Environmental emissions and energy consumptions assessment of diesel engine from the life cycle perspective[J]. Journal of Cleaner Production, 2013, 53(16):7-12.
- [11] 刘志超.发动机原始制造与再制造全生命周期评价方法[D].大连:大连理工大学,2013.
- [12] 郭焱,刘红超,张茜,等.归果生命周期评价方法及应用[J].计算机集成制造系统,2014,20(3):661-665.

(下转第 37 页)

表 8 评价汇总表

编号	评价因素	方案一	方案二	备注
1	物流路线	7.1	9.0	物流路线优化程度
2	生产率	7.1	7.8	生产效率提高程度
3	搬运距离	6.9	8.4	搬运距离缩短程度
4	面积利用率	8.6	8.4	面积利用率
5	执行性	8.8	6.7	方案的可执行性
	合计	38.5	40.3	

4 结语

对前期已建好的某钢结构公司生产车间应用 SLP 理论进行重新规划,在不改变车间主体结构的前提下达到提高车间使用率、提升产出率是可行的。通过实地调研,应用 SLP 等物流理论,对现场生产的产品种类、物流量、各工位之间的相互关系等进行分析,规划出布局更合理的方案,可以减少物料迂回、降低搬运时间、提高生产效率、保障生产安全的目标。未来,在对生产车间整体布局改善后,还可以对整个车间作业效率进行研究,最终达到提高整体管理水平的目的。

参考文献:

- [1] 甘卫华,徐慕鹤,黄雯,等.基于 SLP 和生产物流的 F 公司车间设施布局改善[J].华东交通大学学报,2015(6):55-62.
- [2] 周尔民,王贵用,朱进.基于 SLP 法和 Em-Plant 仿真的台钻厂设施布置规划[J].现代制造工程,2016(4):89-97.
- [3] 石鑫.基于 SLP 的生产设施规划[J].机械设计与研究,2014(1):68-71.
- [4] 冯定忠,吴能,范佳静,等.基于 SLP 和 SHA 的车间设施布局与仿真分析[J].工业工程与管理,2012(2):21-25.
- [5] 曹阳华,康秀翠.基于 SLP 思想的车间设备布置改善研究[J].现代制造工程,2015(8):75-80.
- [6] 于超,周炳海.气门弹簧生产车间布局的改善[J].机械制造,2016(11):96-99.
- [7] 杨建华,彭丽静,杨永清.基于 SLP 和 SHA 结合的企业物流系统平面再布置设计[J].物流与采购研究,2009(19):8-13.
- [8] 王贤,汪惠芬.基于 SLP 的再生胶厂总体布局设计[J].中国制造业信息化,2012(11):16-20.
- [9] 宁芳,王磊,杨铭,等.基于 SLP 的煤矿工业广场设施优化布置[J].煤炭工程,2015(3):35-38.
- [10] 黄苏凤,周跃进,李楠楠.基于 SLP 方法的磷化工企业设施布局规划[J].物流技术,2016(10):69-74.
- [11] 王昀睿,副教授,主要从事工业工程、智能制造等领域的研究。
E-mail: 2002wyr@sina.com
收稿日期: 2018-03-01
- [12] (上接第 23 页)
- [13] 姜雪,李小平,董珑丽,等.LCA 在产品生命周期环境影响评价中的应用[J].中国人口·资源与环境,2014(S2):188-191.
- [14] JOLLIET O, MARGNI M, CHARLES R, et al. IMPACT 2002+: A new life cycle impact assessment methodology [J]. International Journal of Life Cycle Assessment, 2003, 8(6): 324-330.
- [15] 佚名.节能减排综合性工作方案[J].有色冶金节能,2007(4):2-8.
- [16] 佚名.节能减排“十二五”规划[J].有色冶金节能,2012,28(5):1-8.
- [17] 李聪波,崔龙国,刘飞,等.基于广义边界的机械加工系统碳排放量化方法[J].计算机集成制造系统,2013,19(9):2229-2236.
- [18] 杨建新.产品生命周期评价方法及应用[M].北京:气象出版社,2002.
- [19] 潘媛,硕士研究生,研究方向为绿色制造。
张华,教授,博士生导师,研究方向为造系统工程、绿色制造及再制造。
朱硕,博士研究生,研究方向为绿色制造、再制造。
郝威,博士,研究方向为绿色制造、制造业信息化。
E-mail: 1334413723@qq.com
收稿日期: 2017-08-15