大众汽车自动变速器（天津）有限公司产品碳足迹报告

大众汽车自动变速器（天津）有限公司

2023 年 5 月

产品碳足迹信息表

<table>
<tr><td>企业名称</td><td>大众汽车自动变速器（天津）有限公司</td><td>地址</td><td>DQ 厂区：天津经济技术开发区西区中南五街 49 号
DL 厂区：天津经济技术开发区西区泰民路 8 号</td></tr>
<tr><td>联系人</td><td>石召红</td><td>联系方式</td><td>022-58809894</td></tr>
<tr><td>所属行业</td><td>汽车零部件及配件制造（C3670）</td><td>产品名称</td><td>双离合自动变速器 DL382</td></tr>
<tr><td colspan="2">核查所依据的标准及规则</td><td colspan="2">《PAS 2050：2011 商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》《ISO/TS 14067:2018 温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南》</td></tr>
<tr><td colspan="2">系统边界</td><td colspan="2">从摇篮到门</td></tr>
<tr><td colspan="2">功能单位</td><td colspan="2">每件双离合自动变速器 DL382</td></tr>
<tr><td colspan="2">每功能单位产品碳足迹数值（千克 CO_2 当量）</td><td colspan="2">999.24</td></tr>
</table>

目 录

1. 执行摘要

本项目为大众汽车自动变速器（天津）有限公司以生命周期评价方法为基础，采用《温室气体.产品的碳排放量.量化和通 信的要求和指南》（ISO/TS 14067-2013）、《商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》（PAS2050:2011）的要求中规定的碳足迹核算方法，计算得到双离合自动变速器 DL382 的碳足迹。

为了满足碳足迹第三方认证以及与各相关方沟通的需要，本报告的功能单位定义为生产 1 台 DL382 双离合自动变速器。系统边界为“从摇篮到门”类型，调研了从原材料进厂到产品出厂的生产过程，其中也调查了其他物料、能源获取的排放因子数据来源于中国生命周期基础数据库 (CLCD) 和 SimaPro 数据库。

报告中对生产的不同单元过程比例碳足迹的差别、各生产过程碳足迹累计比例做了对比分析。从单个过程对碳足迹贡献来看，发现原辅材料生产加工过程对产品碳足迹的贡献最大。

研究过程中，数据质量被认为是最重要的考虑因素之一。本次数据收集和选择的指导原则是：数据尽可能具有代表性，主要体现在生产商、技术、地域、时间等方面。生产生命周期主要过程活动数据来源于企业现场调研的初级数据，大部分国内生产的原材料的排放因子数据来源于 IPCC 数据库，以及中国生命周期基础数据库(CLCD) 和 SimaPro 数据库，本次评价选用的数据在国内外 LCA 研究中被高度认可和广泛应用。此外，通过 SimaPro 软件实现了产品的生命周期建模、计算和结果分析，以保证数据和计算结果的可溯性和可再现性。

2. 产品碳足迹（PCF）介绍

近年来，温室效应、气候变化已成为全球关注的焦点，“碳足迹”这个新的术语越来越广泛地为全世界所使用。碳足迹通常分为项目层面、组织层面、产品层面这三个层面。

产品碳足迹（Product Carbon Footprint，PCF）是指衡量某个产品在其生命周期各阶段的温室气体排放量总和，即从原材料开采、产品生产（或服务提供）、分销、使用到最终处置/再生利用等多个阶段的各种温室气体排放的累加。温室气体包括二氧化碳（CO_2）、甲烷（CH_4）、氧化亚氮（N_2O）、氢氟碳化物（HFC）、全氟化碳（PFC）和三氟化氮（NF_3）等。产品碳足迹的计算结果为产品生命周期各种温室气体排放量的加权之和，用二氧化碳当量（CO_2e）表示，单位为 $kgCO_2e$ 或者 gCO_2e。全球变暖潜值（Global Warming Potential，简称 GWP），即各种温室气体的二氧化碳当量值，通常采用联合国政府间气候变化专家委员会（IPCC）提供的值，目前这套因子被全球范围广泛适用。

产品碳足迹计算只包含一个完整生命周期评估（LCA）的温室气体的部分。基于 LCA 的评价方法，国际上已建立起多种碳足迹评估指南和要求，用于产品碳足迹认证，目前广泛使用的碳足迹评估标准有三种：

①PAS2050：2011《商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》，此标准是由英国标准协会（BSI）与碳信托公司（Carbon Trust）、英国食品和乡村事务部（Defra）联合发布，是国际上最早的、具有具体计算方法的标准，也是目前使用较多的产品碳足迹评价标准；

②《温室气体核算体系：产品寿命周期核算与报告标准》，此标准是由世界资源研究所（World Resources Institute，简称 WRI）和世界可持续发展工商理事会（World Business Council for Sustainable

Development，简称 WBCSD）发布的产品和供应链标准；

③《ISO/TS 14067：2018 温室气体 产品碳足迹量化要求和指南》，此标准以 PAS2050 为种子文件，由国际标准化组织（ISO）编制发布。产品碳足迹核算标准的出现目的是建立一个一致的、国际间认可的评估产品碳足迹的方法。

3.目标与范围定义

3.1 企业及其产品介绍

大众汽车自动变速器（天津）有限公司（VWATJ）是大众汽车集团全资子公司，位于天津市经济技术开发区，公司成立于 2012 年 7 月，致力于生产世界先进水平的汽车自动变速器，通过引进高端和高品质的生产技术，为大众等汽车制造公司提供变速器产品和服务支持。公司成立于2012年，注册资本62.4亿元人民币，坐落于天津经济技术开发区西区，拥有DQ和DL两个厂区，用地面积76.13万平方米，现有员工4600余人。

DQ厂区是VWATJ的主要生产厂区，专注于生产高质量DSG变速器，电机等。为数百万大众车供应高品质产品，包括DQ500、DQ381、DQ501、DQ400e、APP290和APP310等型号。DL厂区主要生产DL382变速器。

2022 年，大众汽车自动变速器（天津）有限公司工业总产值2,478,889.982 万元，生产双离合自动变速器1194013台、混合动力变速器48018台、电动汽车驱动电机127532台。

DL382湿式双离合变速器是公司的明星产品，自2016年投产，该产品具有高效节能以及更优异的驾驶性能和更强的承载能力。该变速器的双离合系统拥有独立的离合器冷却系统（用于K1/K2）和双油路系统（低压和高压）。DL382的客户目前是位于长春的一汽-大众，该产品目前主要搭载在奥迪A4L、A6L、Q5L等系列车型，均为装有纵置发动机的车型。

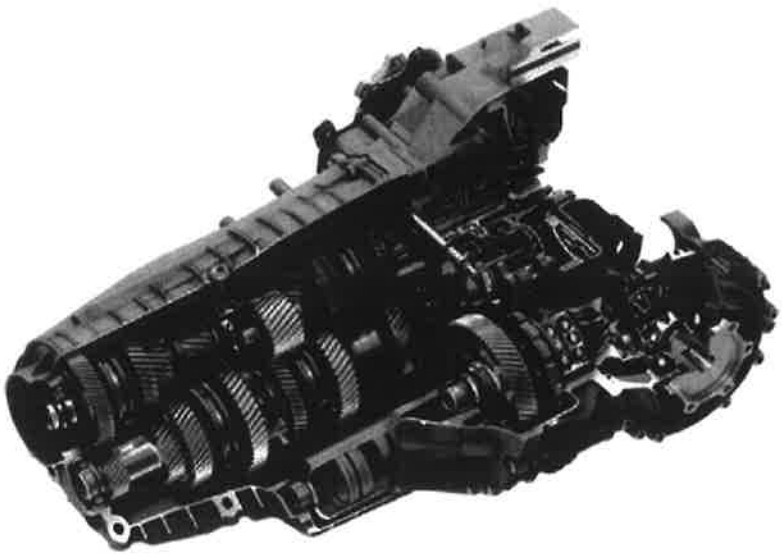

图1　DL382 自动变速器

3.2 报告目的

本报告的目的是对大众汽车自动变速器（天津）有限公司生产的DL382 自动变速器产品从摇篮到门的生命周期过程碳足迹进行核算。

碳足迹核算是大众汽车自动变速器（天津）有限公司实现低碳、绿色发展的基础和关键，披露产品的碳足迹是大众汽车自动变速器（天津）有限公司环境保护工作和社会责任的重要组成部分。本报告的核算结果将为大众汽车自动变速器（天津）有限公司与 DL382 自动变速器产品的采购商和第三方的有效沟通提供良好的途径，对促进产品全供应链的温室气体减排具有一定积极作用。

本报告结果的潜在沟通对象包括两个群体：1、是大众汽车自动变速器（天津）有限公司内部管理人员及其他相关人员；2、是企业外部利益相关方，如上游原料供应商、地方政府和环境非政府组织等。

3.3 报告范围

根据本报告目的，按照 PAS2050：2011《商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》和 ISO/TS 14067：2018《温室气体-产品的碳排放量-量化和通信的要求和指南》标准的要求，确定本报告的

内容包括功能单位、系统边界、分配原则、取舍原则、影响评价方法和数据质量要求等。 本次碳足迹评价的边界为大众汽车自动变速器（天津）有限公司生产 1 台 DL382 双离合自动变速器 2022 年全年生产活动数据。

3.3.1 功能单位

为方便系统中输入/输出的量化，功能单位被定义为生产 1 台 DL382 双离合自动变速器。

3.3.2 系统边界

根据企业的实际情况，核查组在本次产品碳足迹核查过程使用 PAS2050 作为评估标准，盘查边界可分商业到商业 B2B（Business-to-Business）和商业到消费者 B2C（Business-to-Consumer）两种。在本次报告中，产品的系统边界属“从摇篮到门”的类型，为了实现上述功能单位，双离合自动变速器 DL382 产品的系统边界如下图：

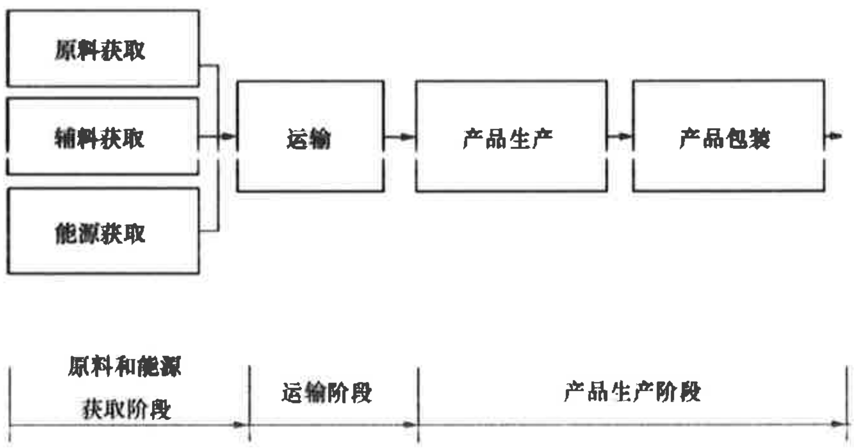

图2　系统边界

本报告排除以下情况的温室气体排放：

（1）与人员相关活动温室气体排放量不计；

（2）工厂、仓库、办公室等产生的排放量由于受地域、工厂排列等多方面因素的复杂影响，不计；

表1　包含和未包含在系统边界内的生产过程

包含的过程	未包含的过程
1. 双离合自动变速器 DL382 生产的生命周期过程包括:原材料生产、运输→产品生产 2. 辅料生产、运输→产品生产 3. 产品的包装	1. 资本设备的生产及维修 2. 产品的运输、销售和使用 3. 产品的回收与利用

3.3.3 分配原则

在本次评价系统边界下，生产变速器 DL283 的过程不产生副产品，因此不涉及分配。

3.3.4 取舍原则

本研究采用的取舍规则以各项原材料投入占产品重量或过程总投入的重量比为依据。具体规则如下：

（1）普通物料重量＜1%产品重量时，以及含稀贵或高纯成分的物料重量＜0.1%产品重量时，可忽略该物料的上游生产数据；总共忽略的物料重量不超过 5%；

（2）低价值废物作为原料，如粉煤灰、矿渣、秸秆、生活垃圾等，可忽略其上游生产数据；

（3）大多数情况下，生产设备、厂房、生活设施等可以忽略；

（4）在选定环境影响类型范围内的已知排放数据不应忽略；

3.3.5 影响类型

表2　环境影响类型指标

环境影响类型指标	影响类型指标单位	主要清单物质
气候变化	kg CO_2 eq.	CO_2、CH_4、N_2O…
初级能源消耗	MJ	硬煤、褐煤、天然气…
非生物资源消耗	kg Sb eq.	铁、铝、铜…
水资源消耗	kg	淡水、地表水、地下水…
酸化	kg SO_2 eq.	SO_2、NO_x、NH_3…
富营养化	kg PO_4^{3-} eq.	NH_3、NH_4-N、COD…
可吸入无机物	kg PM2.5 eq.	CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$…
臭氧层消耗	kg CFC-11 eq.	CCl_4、$C_2H_3Cl_3$、 CH_3Br…
光化学臭氧合成	kg NMVOC eq.	C_2H_6、C_2H_4…

注：eq 是 equivalent 的缩写，意为当量。例如气候变化指标是以 CO_2 为基准物质，其他各种温室气体按温室效应的强弱都有各自的 CO_2 当量因子，因此产品生命周期的各种温室气体排放量可以各自乘以当量因子，累加得到气候变化指标总量（通常也称为产品碳足迹，Product Carbon Footprint, PCF），其单位为 kg CO_2 eq.。

基于报告目标的定义，本报告只选择了气候变化这一种影响类型，并对产品生命周期的全球变暖潜值（GWP）进行了分析，因为 GWP 是用来量化产品碳足迹的环境影响指标。

3.3.6 软件和数据库

本报告采用 SimaPro 软件系统，建立了 DL382 双离合自动变速器生命周期模型，并计算得到 LCA 结果。SimaPro 是一款产品生命周期评估报告软件，SimaPro 为用户提供了各种分析产品和一些服务环境方面的一些因素问题，让用户可以更清楚的进行产品的各项信息查看。

SimaPro 数据库包括：

（1）ecoinvent v3: 拥有超过 10000 个工艺流程，涵盖了能源，运输，建材，化工，洗涤，纸板，农业及废弃物管理等行业领域。数据可以按照默认的分配模式以及归因型（consequential LCA）数据格式和模式呈现。

（2）European Life Cycle Data （ELCD）：拥有 327 个工艺流程数据，由欧盟前商业协会组织及其他机构提供，涵盖材料，能源，运输以及废弃物管理。

（3）US Input Output: 美国 US IO 数据库包含两个数据库，一个使用经济价值分配原则，另外一个使用经济价值并结合系统扩充分配原则。

（4）EU and Danish Input Output: 包含 750 个商品目录，涵盖了丹麦的整个经济体，以及主要的进出口数据。

（5）Swiss Input Output: 瑞士 IO 数据是 ESU-services 所开发，作为面向瑞士联邦政府环境署项目的一部分，包含了 154 个数据工艺。

（6）LCA Food：该数据库提供了丹麦 500 种食物产品及工艺过程在其产业链不同阶段的数据。大部分的数据是归因型数据。

（7）Industry data v2： 包含 74 种来自知名工业协会组织的工艺数据集。

3.3.7 数据质量要求

数据质量代表 LCA 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。

CLCD 方法对模型中的消耗与排放清单数据，从①清单数据来源与算法、②时间代表性、③地理代表性、④技术代表性等四个方面进行评估，并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。

4.过程描述

4.1 过程基本信息

过程名称：双离合自动变速器 DL382 生产

过程边界：从各零部件、电器件等材料经过组装成产品。

4.2 数据代表性

主要数据来源：代表企业及供应链实际数据

企业名称：大众汽车自动变速器（天津）有限公司

基准年：2022 年

主要原料：变速器壳体、双质量飞轮、离合器、中间壳体、各种齿轮、各种轴、各种轴承、阀门、连接电缆等

主要能耗：电力、天然气

4.3 生产工艺

DL382 双离合自动变速器中零部件（齿轮、轴和差速器）的加工，及与其他外协零部件为配件的变速器组装，生产工序主要包括热前机加工、清洗、热处理、热后机加工、装配及检测等。主要生产工序（机加工、热处理）在专用设备上通过计算机控制完成。齿轮、轴、差速器的生产工艺流程类似，具体如下：

a）从动 1 档 2 档 3 档 6 档 7 档和从动倒档齿轮加工工艺流程毛坯件→车削→滚齿→激光焊接→热处理→珩孔→磨齿→磨锥面→清洗→装配及检测

b）从动 4 档和 5 档齿轮的加工工艺流程

毛坯件→车削→滚齿→焊接→热处理→珩孔→珩齿→磨锥面→清洗→装配及检测

c）主动倒档齿轮的加工工艺流程

毛坯件→车削→滚齿→热处理→硬车→珩孔→磨齿→清洗→装

配及检测

d）主动轴主动齿轮和差速器主动齿轮的加工工艺流程

毛坯件→车削→热前粗拉键槽→滚齿→热处理→热后精拉键槽→清洗→硬车→磨齿→清洗→喷丸→清洗→装配及检测

e）主动 1 轴和从动轴的加工工艺流程

毛坯件→车削→矫直→滚齿 1，2→辊压花键→清洗→热处理→矫直→硬车轴齿端面及沟槽→磨外圆→清洗→珩磨轴齿→精磨轴齿→轴面抛光→清洗→装配及检测

f）主动 2 轴加工工艺流程

毛坯件→车削→滚齿 1，2→纵向花键成型→清洗→热处理→矫直→硬车→磨外圆→磨内圆→清洗→珩齿 1，2→轴面抛光→清洗→装配及检测

g）差速器轴加工工艺流程

毛坯件→车削→滚齿→辊压花键→清洗→热处理→矫直→磨外圆→磨齿→清洗→抛丸→清洗→轴面抛光→清洗→装配及检测

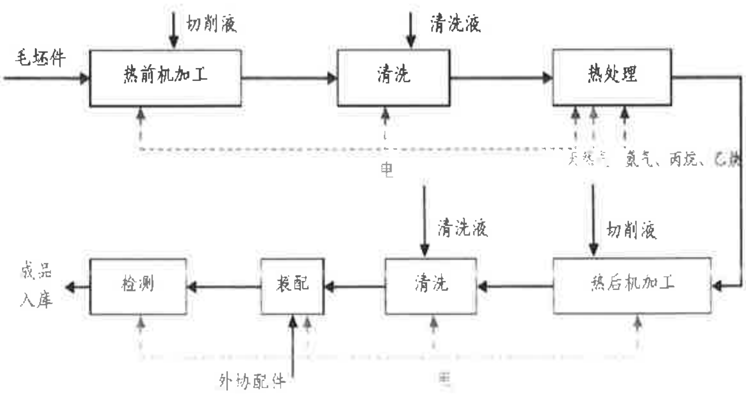

图3　DL382 双离合自动变速器工艺流程

热处理工艺说明

对齿轮、轴及差速器的热处理是为了改善工件金属的组织结构，提高工件的强度、硬度以及耐磨性。

齿轮、轴的热处理在热处理真空炉内进行，主要包括预热、真空渗碳、气体淬火、回火、矫直等工序。将齿轮、轴送入装卸料室抽真空后，通过运输室转移至加热渗碳室。工件在加热渗碳室内预热，经石墨加热棒辐射加热至渗碳温度（940℃），之后通入乙炔和氨气，对工件表面进行低压渗碳（100mbar）。完成渗碳后的工件送入淬火室，淬火室内通入氮气吸收工件的热量，再利用热交换器对氮气进行冷却，从而实现工件的快速冷却。淬火后的工件进行低温回火（160℃），回火后轴类工件需进行矫直处理。

差速器齿的热处理在热处理连续炉内进行，主要包括预热、渗碳、淬火、清洗、回火等工序。将差速器放在专用料架上推入预热炉（预热温度 400℃）以去除前道工序工件表面残留的油，然后工件送入渗碳炉（940℃）中，同时向炉内通入吸热式气体（CO、H_2、N_2，由发生器产生，气体发生器以天然气作为气源，由天然气+空气燃烧所得）、丙烷、氨气，对工件表面进行渗碳处理。渗碳工序后，差速器轴进入密封式淬火油槽（60℃）进行淬火，然后经过热水（60℃）洗涤、烘干，进入低温炉回火（160℃），矫直处理；差速器齿轮需进行压淬处理，以控制变形，渗碳后在炉内通入吸热式气体、丙烷、氨气进行气体保护加热（900℃左右），之后在 HESS 压淬设备内进行压淬，随后经过清洗，同样送入低温炉回火。

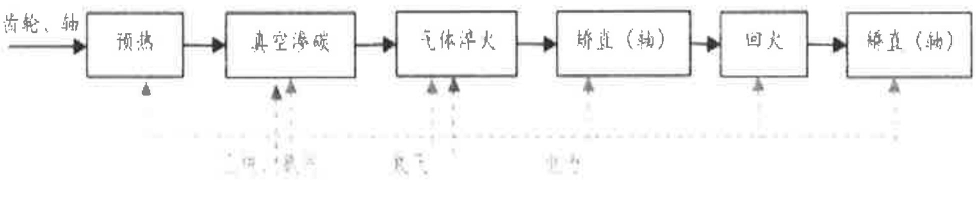

图4　DL382 双离合自动变速器齿轮、轴热处理工艺

5.数据收集与碳足迹计算

5.1 主要过程清单数据

表3　DL382 产品信息

类型	型号	功率	扭矩	数量（件）	重量（kg）
双离合自动变速器	DL382	200kW	400Nm	1	116.9

表4　原材料获取

类型	零部件名称	数量（个）	质量（kg）	背景数据来源
原材料/物料	变速器壳体	1	17	企业提供
原材料/物料	双质量飞轮	1	13	企业提供
原材料/物料	离合器	1	9.131	企业提供
原材料/物料	中间壳体	1	7.51	企业提供
原材料/物料	差速器大齿 毛坯	1	4.293	企业提供
原材料/物料	凸缘轴	1	3.226	企业提供
原材料/物料	法兰轴（短）	1	3.013	企业提供
原材料/物料	从动轴毛坯	1	2.924	企业提供
原材料/物料	伞状齿轮 毛坯	1	2.731	企业提供
原材料/物料	主动轴 毛坯	1	2.618	企业提供
原材料/物料	差速器壳体	1	2.29	企业提供
原材料/物料	上壳体	1	2.03	企业提供
原材料/物料	伞状齿轮轴 毛坯	1	1.869	企业提供
原材料/物料	2 档从动齿轮 毛坯	1	1.84	企业提供
原材料/物料	1 档从动齿轮 毛坯	1	1.82	企业提供
原材料/物料	储压罐体	1	1.6	企业提供
原材料/物料	3 档从动齿轮 毛坯	1	1.54	企业提供
原材料/物料	R 档从动齿轮 毛坯	1	1.5	企业提供
原材料/物料	差速器法兰壳	1	1.485	企业提供
原材料/物料	从动轴齿轮 毛坯	1	1.41	企业提供
原材料/物料	4 档主动齿轮 毛坯	1	1.37	企业提供
原材料/物料	7 档从动齿轮 毛坯	1	1.33	企业提供
原材料/物料	双-径向推力球轴承	1	1.32	企业提供
原材料/物料	6 档从动齿轮 毛坯	1	1.31	企业提供

类型	零部件名称	数量（个）	质量（kg）	背景数据来源
原材料/物料	轴承固定架壳体	1	1.275	企业提供
原材料/物料	5档从动齿轮 毛坯	1	1.24	企业提供
原材料/物料	控制设备	1	1.196	企业提供
原材料/物料	下壳体	1	1.18	企业提供
原材料/物料	ATF-发动机	1	1.136	企业提供
原材料/物料	4档从动齿轮 毛坯	1	1.05	企业提供
原材料/物料	法兰轴	1	0.97	企业提供
原材料/物料	法兰轴（长）	1	0.97	企业提供
原材料/物料	倒挡齿轮 毛坯	1	0.96	企业提供
原材料/物料	油壳	1	0.85	企业提供
原材料/物料	驻车时传动系锁定齿轮	1	0.773	企业提供
原材料/物料	冷却器	1	0.75	企业提供
原材料/物料	油槽	1	0.711	企业提供
原材料/物料	2+R档齿套总成	1	0.69	企业提供
原材料/物料	滑动套筒	1	0.69	企业提供
原材料/物料	1+3档齿套总成	1	0.66	企业提供
原材料/物料	滑动套筒	1	0.66	企业提供
原材料/物料	液压调整单元	1	0.633	企业提供
原材料/物料	4+6/5+7档齿套总成	1	0.63	企业提供
原材料/物料	滑动套筒	1	0.63	企业提供
原材料/物料	6档主动齿轮 毛坯	1	0.61	企业提供
原材料/物料	机电顶盖	1	0.6	企业提供
原材料/物料	径向推力球轴承	1	0.559	企业提供
原材料/物料	深沟球轴承 E	2	0.474	企业提供
原材料/物料	换档拨叉	1	0.468	企业提供
原材料/物料	变速调节器	1	0.465	企业提供
原材料/物料	换档拨叉	1	0.411	企业提供
原材料/物料	换档轴	1	0.405	企业提供
原材料/物料	轴承固定架轴承	1	0.388	企业提供
原材料/物料	深沟球轴承 C/G	1	0.388	企业提供
原材料/物料	油泵	1	0.38	企业提供

类型	零部件名称	数量（个）	质量（kg）	背景数据来源
原材料/物料	换档拔叉	1	0.335	企业提供
原材料/物料	换档拔叉	1	0.332	企业提供
原材料/物料	连接电缆	1	0.313	企业提供
原材料/物料	ATF-泵	1	0.294	企业提供
原材料/物料	圆锥滚子轴承	1	0.27	企业提供
原材料/物料	滚子轴承 H	1	0.269	企业提供
原材料/物料	4 档滚针轴承	1	0.249	企业提供
原材料/物料	连接件	1	0.233	企业提供
原材料/物料	凹槽球轴承	1	0.222	企业提供
原材料/物料	行星齿轮轴	1	0.22	企业提供
原材料/物料	4/5/6/7/R 档齿圈	1	0.21	企业提供
原材料/物料	2 档滚针轴承	1	0.206	企业提供
原材料/物料	7 档滚针轴承	1	0.205	企业提供
原材料/物料	接触原件阀门	1	0.201	企业提供
原材料/辅料	磨削油	1	0.292	企业提供
原材料/辅料	淬火油	1	0.020	企业提供
原材料/辅料	清洗液	1	0.114	企业提供
原材料/辅料	乳化液	1	0.062	企业提供
原材料/辅料	纤维素	1	0.024	企业提供
能源	电力	/	170.185[1]	企业提供
能源	天然气	/	0.414	企业提供
包装	铁架子	1	80	企业提供
包装	塑料内衬	1	12	企业提供
包装	PE 袋	1	0.13	企业提供

表5　过程运输信息一览表

物料名称	毛重（kg）	起点	终点	运输距离（km）	运输类型
变速器壳体	17	天津	天津	30	货车运输-液化天然气
双质量飞轮	13	太仓	天津	1076	货车运输-柴油

1 用全厂用电量除以产品产量

物料名称	毛重（kg）	起点	终点	运输距离（km）	运输类型
离合器	9.131	天津	天津	16	货车运输-柴油
中间壳体	7.51	重庆	天津	1810	货车运输-柴油
差速器大齿毛坯	4.293	太仓	天津	1052	货车运输-液化天然气
凸缘轴	3.226	盐城	天津	828	货车运输-柴油
法兰轴（短）	3.013	盐城	天津	828	货车运输-液化天然气
从动轴毛坯	2.924	泰州	天津	912	货车运输-柴油
伞状齿轮 毛坯	2.731	天津	天津	69	货车运输-液化天然气
主动轴毛坯	2.618	泰州	天津	912	货车运输-柴油
差速器壳体	2.29	长春	天津	918	货车运输-柴油
上壳体	2.03	韩国	天津	900	货轮运输-重油
伞状齿轮轴毛坯	1.869	泰州	天津	912	货车运输-柴油
2 档从动齿轮毛坯	1.84	天津	天津	69	货车运输-柴油
1 档从动齿轮毛坯	1.82	天津	天津	69	货车运输-柴油
储压罐体	1.6	长春	天津	942	货车运输-柴油
3 档从动齿轮毛坯	1.54	长春	天津	923	货车运输-柴油
R 档从动齿轮毛坯	1.5	长春	天津	923	货车运输-柴油
差速器法兰壳	1.485	天津	天津	2166	货车运输-柴油
从动轴齿轮毛坯	1.41	长春	天津	923	货车运输-柴油
4 档主动齿轮毛坯	1.37	长春	天津	923	货车运输-柴油
7 档从动齿轮毛坯	1.33	天津	天津	69	货车运输-柴油
双-径向推力球轴承	1.32	意大利	天津	17400	货轮运输-重油
6 档从动齿轮毛坯	1.31	长春	天津	923	货车运输-柴油
轴承固定架壳体	1.275	南通	天津	980	货车运输-液化天然气
5 档从动齿轮毛坯	1.24	长春	天津	923	货车运输-柴油

物料名称	毛重（kg）	起点	终点	运输距离（km）	运输类型
控制设备	1.196	德国	天津	22000	货轮运输-重油
下壳体	1.18	韩国	天津	900	货轮运输-重油
ATF-发动机	1.136	德国	天津	22000	货轮运输-重油
4 档从动齿轮毛坯	1.05	长春	天津	923	货车运输-柴油
法兰轴	0.97	盐城	天津	828	货车运输-柴油
法兰轴（长）	0.97	盐城	天津	828	货车运输-柴油
倒挡齿轮 毛坯	0.96	长春	天津	923	货车运输-柴油
油壳	0.85	昆山	天津	1058	货车运输-液化天然气
驻车时传动系锁定齿轮	0.773	天津	天津	69	货车运输-柴油
冷却器	0.75	上海	天津	1101	货车运输-液化天然气
油槽	0.711	天津	天津	2	货车运输-柴油
2+R 档齿套总成	0.69	常州	天津	935	货车运输-柴油
滑动套筒	0.69	常州	天津	935	货车运输-柴油
1+3 档齿套总成	0.66	常州	天津	935	货车运输-柴油
液压调整单元	0.633	法国	天津	18000	货轮运输-重油
4+6/5+7 档齿套总成	0.63	常州	天津	935	货车运输-柴油
滑动套筒	0.63	常州	天津	935	货车运输-柴油
6 档主动齿轮毛坯	0.61	长春	天津	923	货车运输-柴油
机电顶盖	0.6	天津	天津	2	货车运输-柴油
径向推力球轴承	0.559	德国	天津	22000	货轮运输-重油
深沟球轴承 E（2 件）	0.474	银川	天津	1176	货车运输-柴油
换档拨叉	0.468	奥地利	天津	17800	货轮运输-重油
变速调节器	0.465	德国	天津	22000	货轮运输-重油
换档拨叉	0.411	奥地利	天津	17800	货轮运输-重油
换档轴	0.405	上海	天津	1100	货车运输-柴油

物料名称	毛重（kg）	起点	终点	运输距离（km）	运输类型
轴承固定架轴承	0.388	银川	天津	1176	货车运输-柴油
深沟球轴承 C/G	0.388	银川	天津	1176	货车运输-柴油
油泵	0.38	德国	天津	22000	货轮运输-重油
换档拨叉	0.335	奥地利	天津	17800	货轮运输-重油
换档拨叉	0.332	奥地利	天津	17800	货轮运输-重油
连接电缆	0.313	法国	天津	18000	货轮运输-重油
ATF-泵	0.294	意大利	天津	17400	货轮运输-重油
圆锥滚子轴承	0.27	银川	天津	1176	货车运输-柴油
滚子轴承 H	0.269	无锡	天津	1094	货车运输-液化天然气
4 档滚针轴承	0.249	无锡	天津	1094	货车运输-液化天然气
连接件	0.233	德国	天津	22000	货轮运输-重油
凹槽球轴承	0.222	德国	天津	22000	货轮运输-重油
行星齿轮轴	0.22	韩国	天津	1464	货轮运输-重油
4/5/6/7/R 档齿圈	0.21	泰州	天津	912	货车运输-柴油
2 档滚针轴承	0.206	太仓	天津	1076	货车运输-柴油
7 档滚针轴承	0.205	太仓	天津	1076	货车运输-柴油
接触原件阀门	0.201	马耳他	天津	16850	货轮运输-重油
磨削油	0.292	天津	天津	6.8	货车运输-柴油
淬火油	0.020	天津	天津	6.8	货车运输-柴油
清洗液	0.114	上海 武汉 杭州	天津	950	货车运输-柴油
乳化液	0.062	上海 武汉	天津	950	货车运输-柴油
纤维素	0.024	上海	天津	950	货车运输-柴油
铁架子	0.8	天津	天津	20	货车运输-柴油
塑料内衬	0.6	天津	天津	20	货车运输-柴油
PE 袋	0.13	天津	天津	20	货车运输-柴油

表6　产品制造过程主要用能

能源品种	单位	数值	产品产量	每台变速器产品用能
电力	kWh	67660976	397574	170.1846
天然气	m^3	164677		0.414

5.2 计算公式

（1）二氧化碳排放当量是排放因子和基于该因子下活动水平的乘积：

$$E_i=A_i\times EF_i$$

公式中，

Ei 为第 *i* 种活动的二氧化碳排放量，t；

Ai 为第 *i* 种活动的活动水平(如电耗量，kWh)；

Fi 为第 *i* 种活动的排放因子，即单位电量生产下二氧化碳排放量， 不同的活动水平排放因子的单位有所不同。

（2）二氧化碳排放总当量计算公式为：

$$E=\Sigma_i A_i\times EF_i$$

甲烷和氮氧化物排放当量是排放因子、基于该因子下活动水平和增温潜势的乘积：

$$E_{ij}=A_{ij}\times EF_{ij}\times GWP_j$$

公式中，

E_{ij} 为第 *i* 种活动的 *j* 种温室气体的排放量（t）；

A_{ij} 为第 *i* 种活动第 *j* 种温室气体的活动水平(如耗电量，kWh)；

EF_{ij} 为第 *i* 种活动的第 *j* 种温室气体的排放因子，即单位活动下二氧化碳排放量，不同的单位活动排放因子的单位有所不同；

GWP_j 为第 *j* 种温室气体的增温潜势。

二氧化碳排放总当量：

$$E=\Sigma_i\Sigma_j A_{ij}\times EF_{ij}\times GWP_j$$

5.3 生命周期影响

（1）LCA 结果

LCA 结果在 SimaPro 上建模计算了 1 台双离合自动变速器 DL382 的 LCA 结果，计算指标为气候变化（GWP）结果如下：

表7　DL382 双离合自动变速器 LCA 结果一览表

环境影响类型指标	影响类型指标单位	LCA 结果
GWP	$kgCO_2eq$	999.24

（2）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的贡献（即原料消耗所贡献）的累加值。由于过程通常是包含多条清单数据，所以过程贡献分析其实是多项清单数据灵敏度的累积。

表8　DL382 双离合自动变速器 LCA 累积贡献结果

过程名称	GWP
双离合自动变速器 DL382 生产	999.24

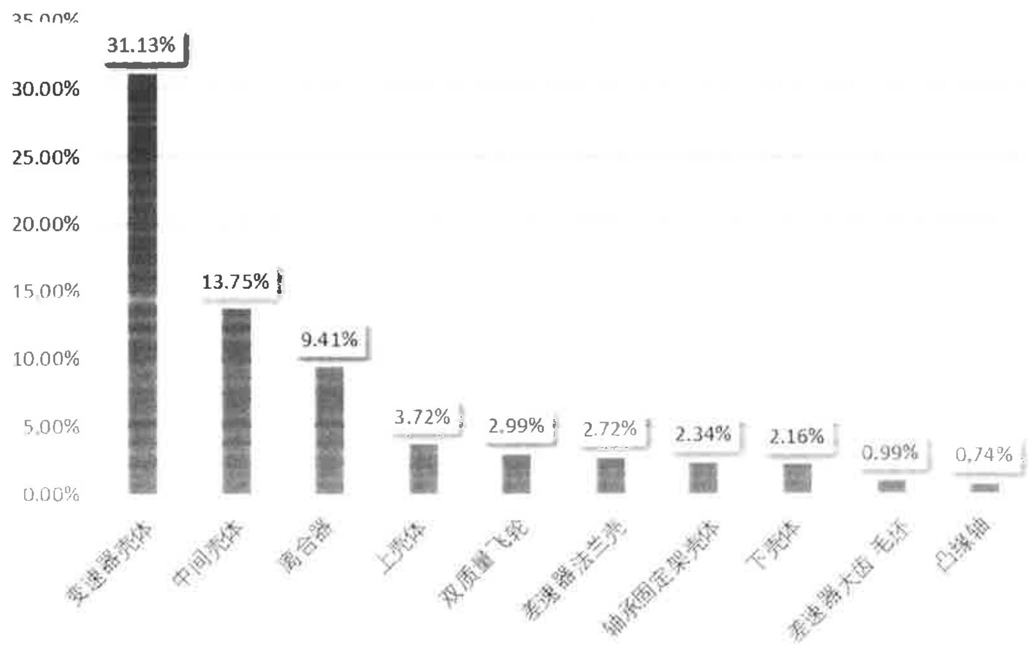

图5　产品生命周期过程累计贡献比例示意图

根据上述表格与示意图，可知变速器壳体生产过程累计贡献最大，占 DL382 变速器碳足迹的 31.13%。

（3）生命周期各阶段贡献分析

本次生命周期评价覆盖了原辅料及包装材料生产阶段、原辅料及包装物运输阶段，以及 DL382 变速器生产阶段，各阶段碳排放在生命周期评价总排放占比中，原辅料及包装材料生产阶段占比最高，DL382 变速器生产阶段占比较小，原辅料及包装物运输阶段占比最小，如下图所示。

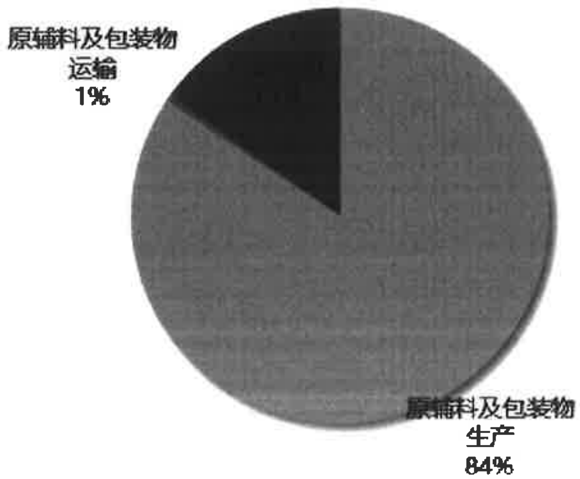

图6　产品生命周期各阶段碳排放贡献

6.不确定分析

不确定性的主要来源为初级数据存在测量误差和计算误差。降低不确定性的方法主要有：

使用准确率较高的初级数据；

对每一道工序都进行能源消耗的跟踪监测，提高初级数据的准确性。

7.结论与建议

（1）根据上述分析，双离合自动变速器 DL382 碳足迹结果中变