



碳足迹报告

报告编号： 0405030123042 (001)

第三方机构：中国船级社质量认证有限公司

报告签发日期：2023年6月20日



声 明

1. 报告的限定性说明：本报告只针对萍乡市丰达兴线路板制造有限公司的高端汽车电动座椅控制板产品；
2. 报告的生效条件：自签发报告始生效；
3. 报告使用的限制性条件：仅限于评价对萍乡市丰达兴线路板制造有限公司的高端汽车电动座椅控制板产品的碳足迹
4. 其他必要的声明：无

地址 北京市东城区东黄城根南街 40 号楼，邮编 100006

联系方式 总机:010-56313400 传真:010-56313500

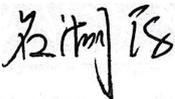
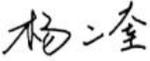
公司网址 www.ccs-c.com

版本信息

版本号	签发日期	版本说明
A	2023-6-20	/

	姓名	签字	日期
编制	张立龙	张立龙	2023.6.15
审核	石湖泉	石湖泉	2023.6.20
批准	杨二奎	杨二奎	2023.6.20



委托方名称	萍乡市丰达兴线路板制造有限公司	地址	江西省萍乡市上栗县金山镇赣湘合作产业园
联系人	许武超	联系方式（电话、邮箱）	15679597333 415173142@qq.com
标准及方法学		ISO/TS 14067: 2013《温室气体.产品的碳排放量.量化和通信的要求和指南》 《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》	
核算结论			
中国船级社质量认证公司受萍乡市丰达兴线路板制造有限公司委托，对 2022 年公司产品碳足迹排放量进行核算，确认如下：			
1) 核算标准中所要求的内容已在本次工作中覆盖；			
工作组确认此次产品碳足迹报告符合 ISO/TS 14067: 2013《温室气体.产品的碳排放量.量化和通信的要求和指南》、《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》的要求。			
2) 单位产品碳排放量为：			
2022 年度		单位产品碳排放量 (kgCO ₂ e/件)	
高端汽车电动座椅控制板 (A2069S04E066957AO)		131	
评价组长：张立龙，评价组员：张艳			
技术评审	石湖泉		2023.6.15
质量复核	杨二奎		2023.6.20

目 录

1 摘要	1
2 产品碳足迹介绍 (PCF) 介绍	2
3 目标与范围定义	3
3.1 企业及产品介绍	3
3.2 评价目的	3
3.3 评价边界	4
3.4 功能单位	4
3.5 生命周期流程图的绘制	5
3.6 分配原则	6
3.7 取舍准则	6
3.8 影响类型和评价方法	6
3.9 软件和数据库	7
3.10 数据质量要求	8
4 过程描述	9
4.1 高端汽车电动座椅控制板生产过程	9
5 数据的收集和主要排放因子说明	19
6 碳足迹计算	20
6.1 碳足迹识别-高端汽车电动座椅控制板	20

6.1.1 计算表格	20
6.2 废弃及回收	23
7 数据计算	23
7.1 计算公式	23
7.2 计算结果	24
8 不确定分析	28
9 结语	28

1 摘要

本项目由萍乡市丰达兴线路板制造有限公司执行完成。评价的目的是以生命周期评价方法为基础，采用 ISO/TS 14067: 2013《温室气体产品碳足迹关于量化和通报的要求与指南》、《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》的要求中规定的碳足迹核算方法，计算得到萍乡市丰达兴线路板制造有限公司**高端汽车电动座椅控制板（A2069S04E066957AO）**产品的碳足迹。

为了满足碳足迹第三方认证与各相关方沟通的需要，本报告的功能单位定义为生产 1 件**高端汽车电动座椅控制板**。系统边界为“从摇篮到坟墓”类型，现场调研了从原材料开采、原材料生产、原材料运输、产品生产、产品包装、产品运输到客户端、到产品废弃回收的生命过程，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）和瑞士的 Ecoinvent 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**产品生产过程**对产品碳足迹的贡献最大。

评价过程中，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。生命周期主要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）和瑞士的 Ecoinvent 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 eFootprint 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 产品碳足迹介绍（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（CO₂）、甲烷（CH₄）、氧化亚氮（N₂O）、氢氟碳化物（HFC）和全氟化碳（PFC）等。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（CO₂e）表示，单位为 kg CO₂e 或者 gCO₂e。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^[1]，目前这套因子（特征化因子）在全球范围广泛适用。

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^[2]。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：①《PAS2050：2011 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^[3]；②《温室气体核算体系：产品生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: 2013 温室气体-产品碳足迹-量化和信息交流的要求与指南》，此标准以 PAS 2050 为种子文件，由国际标准化组织(ISO)编制发布^[4]。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 企业及产品介绍

萍乡市丰达兴线路板制造有限公司（以下简称丰达兴公司）成立于 2019 年 02 月 28 日，位于江西省萍乡市上栗县金山镇赣湘合作产业园，注册资本金 6000 万元，是深圳市丰达兴线路板制造有限公司的子公司，是一家专业从事印制线路板研发、生产和销售民营企业。公司规划总投资 20 亿元，占地 150 亩，厂房及配套设施总建筑面积 25.4 万平方米，现有员工 321 人，公司全部建成后，将拥有 5 条全自动生产线，年产印制电路板 300 万平米，达产后 2000 人，预计年产值 24 亿元。

3.2 评价目的

本次评价的目的是获得企业生产 1 件**高端汽车电动座椅控制板**

(A2069S04E066957AO) 产品全生命周期过程的碳足迹。

碳足迹核算是萍乡市丰达兴线路板制造有限公司（以下简称为丰达兴公司）实现低碳、绿色发展的基础和关键，披露产品的碳足迹是丰达兴公司环境保护工作和社会责任的一部分，也是丰达兴公司迈向国际市场的重要一步。本项目的评价结果将为丰达兴公司高端汽车电动座椅控制板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。

本项目评价结果的潜在沟通对象包括两个群体：一是丰达兴公司内部管理人员及其他相关人员；二是企业外部利益相关方，如上游覆铜板、阻焊油墨、半固化片、铜球、PE 袋等供应商、下游采购商、地方政府和环境非政府组织等。

3.3 评价边界

根据本项目评价目的，按照 ISO/TS 14067：2013《温室气体-产品的碳排放量-量化和通信的要求和指南》、《PAS2050：2011 商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》的相关要求，本次碳足迹评价的边界为萍乡市丰达兴线路板制造有限公司生产单个高端汽车电动座椅控制板 2022 年全年生产活动及非生产活动数据。因此，确定本次评价边界为：产品的碳足迹=原料生产运输+过程生产+包装运输+废弃回收。

3.4 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 件高

端汽车电动座椅控制板。

3.5 生命周期流程图的绘制

根据《PAS2050: 2011 商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》绘制 1 件高端汽车电动座椅控制板产品的生命周期流程图，其碳足迹评价模式为从商业到商业（B2B）评价：包括从原材料开采运输、产品制造、包装、运输到分销商和废弃回收。

在本报告中，产品的系统边界属于“从摇篮到坟墓”的类型，为了实现上述功能单位，高端汽车电动座椅控制板产品的系统边界见下表：

表 3.1 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
<p>1 高端汽车电动座椅控制板生产的生产周期过程包括：原材料生产运输→产品生产→产品包装销售→废弃回收</p> <p>2 中国的电力生产</p> <p>3 其他辅料的生产运输</p> <p>4 高端汽车电动座椅控制板包装运输</p> <p>5 包装废弃回收</p>	<p>1 设备的生产及维修</p> <p>2 产品的使用</p> <p>3 产品的废弃回收</p>

3.6 分配原则

由于在本次评价系统边界下，生产高端汽车电动座椅控制板过程不产生副产品，因此不涉及分配。

3.7 取舍准则

此次评价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：

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%；

生产设备、厂房、生活设施等可以忽略；

在选定环境影响类型范围内的已知排放数据不应忽略。

本报告所有原辅料和能源等消耗都关联了上游数据，部分消耗的上游数据采用近似替代的方式处理。

3.8 影响类型和评价方法

基于评价目标的定义，本次评价只选择了全球变暖这一种影响类型，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。

评价过程中统计了各种温室气体，包括二氧化碳（CO₂），甲烷（CH₄），氧化亚氮（N₂O），四氟化碳（CF₄），六氟乙烷（C₂F₆），六氟化硫（SF₆）和氢氟碳化物（HFC）等。并且采用了 IPCC 第四次评估报告（2007 年）提出的方法来计算产品生产周期的 GWP 值。该

方法基于 100 年时间范围内其他温室气体与二氧化碳相比得到的相对辐射影响值，即特征化因子，此因子用来将其他温室气体的排放量转化为 CO₂ 当量 (CO₂e)。例如，1kg 甲烷在 100 年内对全球变暖的影响相当于 25kg 二氧化碳排放对全球变暖的影响，因此以二氧化碳当量 (CO₂e) 为基础，甲烷的特征化因子就是 25kg CO₂e^[1]。

3.9 软件和数据库

本评价采用 eFootprint 软件系统，建立了高端汽车电动座椅控制板 (A2069S04E066957AO) 模组生命周期模型，并计算得到 LCA 结果。eFootprint 软件系统是由成都亿科环境科技有限公司研发的在线 LCA 分析软件，支持全生命周期过程分析，并内置了中国生命周期基础数据库 (CLCD)、欧盟 ELCD 数据库和瑞士的 Ecoinvent 数据库。

评价过程中用到的数据库，包括 CLCD 和 Ecoinvent 数据库，数据库中生产和处置过程数据都是“从摇篮到客户”的汇总数据，分别介绍如下：

中国生命周期基础数据库 (CLCD) 由成都亿科环境科技有限公司开发，是一个基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。CLCD 数据库包括国内主要能源、交通运输和基础原材料的清单数据集，其中电力 (包括火力发电和水力发电以及混合电力传输) 和公路运输相关基础数据被本评价所采用。2009 年，CLCD 数据库研究被联合国环境规划署 (UNEP) 和联合环境毒理学与化学协会 (SETAC) 授予生命周期研究奖。

Ecoinvent 数据库由瑞士生命周期研究中心开发，数据主要来源于瑞士和西欧国家，该数据库包含约 4000 条的产品和服务的数据集，涉及能源、运输、建材、电子、化工、纸浆和纸张、废物处理和农业活动等。

3.10 数据质量要求

为满足数据质量要求，在本评价中主要考虑了以下几个方面：

数据准确性：实景数据的可靠程度；

数据代表性：生产商、技术、地域以及时间上的代表性；

模型一致性：采用的方法和系统边界一致性的程度。

为了满足上述要求，并确保计算结果的可靠性，在评价过程中优先选择来自生产商和供应商直接提供的初级数据，其中企业提供的经验数据取平均值，本评价在 2023 年 6 月进行了企业现场数据的调查、收集和整理工作。当初级数据不可得时，尽量选择代表区域平均和特定技术条件下的次级数据，次级数据大部分选择来自 IPCC 数据库；当目前数据库中没有完全一致的次级数据时，采用近似替代的方式选择 IPCC 数据库中数据。

采用 eFootprint 软件的来建立产品生命周期模型，计算碳足迹和分析计算结果，评价过程中的数据库采用中国生命基础数据库（CLCD）和瑞士的 Ecoinvent 数据库。

数据库的数据是经严格审查，并广泛应用于国内国际上的 LCA 研究。各个数据集和数据质量将在第 4 章对每个过程介绍时详细说明。

4 过程描述

4.1 高端汽车电动座椅控制板生产过程

(1) 过程基本信息

过程名称：高端汽车电动座椅控制板生产

过程边界：从原料开采运输到高端汽车电动座椅控制板生产过程

(2) 数据代表性

主要数据来源：企业 2022 年实际生产数据

企业名称：萍乡市丰达兴线路板制造有限公司

产地：中国江西上栗县

基准年：2022 年

主要原料：覆铜板，阻焊油墨，铜箔、半固化片、纸箱、PE 袋)

主要能耗：电力

生产主要工艺介绍如下：

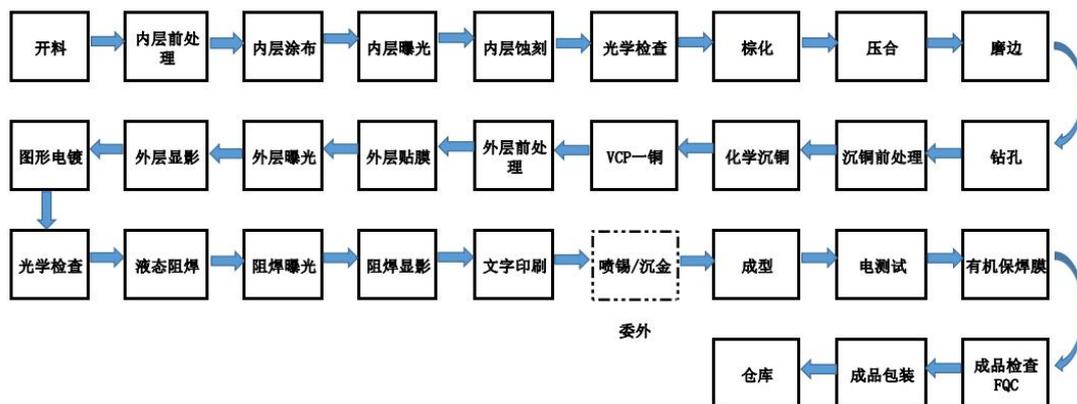


图 4.1 产品生产流程图

工艺描述：

(1) 开料

按线路板设计规格对铜箔基板进行剪裁，采用电加热进行烘板以防止变形，对裁剪后的基板（刚性）进行磨边、圆角，用水对磨边、圆角后的基板（刚性）进行刷磨清洗，以去除基板上的铜粉。采用电加热进行烘板，烘板温度 60°C，释放板材应力，保证板材涨缩稳定。

（2）内层前处理

前处理包括微蚀和酸洗处理。微蚀/超粗化的目的是为后续的压模工艺提供一个微粗糙的活性铜表面，同时去除铜面残留的氧化物。为了达到理想的效果，微蚀深度通常控制在 0.5~1.5 微米左右。用微蚀刻液（硫酸和双氧水等）或超粗化液腐蚀线路板、粗化铜表面，去除铜板表面的氧化铜，

（3）内层涂布

线路的制作采用液态光致抗蚀剂，它是由感旋光性树脂、配合感光剂、色料、填料及溶剂等成分组成，经光照射后发生聚合反应而得到线路图形；与干膜相比，湿膜的涂布厚度较薄（一般 0.3~0.4mil，而干膜厚一般为 1.2~1.5mil），湿膜与基板密贴性好，可消除划痕和凹坑引起的断路，降低物料成本，同时不需要加载聚酯薄膜和起保护作用的聚乙烯保护膜；但在烘板过程中产生有机废气。

（4）内层曝光

利用底片成像原理，曝光机产生 UV 光，使铜箔基板上的膜发生聚合反应产生不溶弱碱的抗腐蚀膜层，不要的部分被底片遮住，不发生光聚合反应，可在后续工艺中被弱碱去除。曝光过程使用的底片是通过电脑绘制的菲林经过显影和定影形成，在底片制作过程中会产

生显影定影废液。利用 0.8~1.2%Na₂CO₃ 弱碱将湿膜/干膜中未聚合的单体溶解，显影机理是感光膜中未曝光部分的活性基团与稀碱性溶液反应生产可溶解的物质而溶解袭来，显影时活性基团羧基-COOH 与碳酸钠溶液中的 Na⁺作用，生产亲水性基团-COONa，从而把未曝光的部分溶解下来，而曝光的部分不被溶解。聚合的部分保留在铜面上，露出所需要蚀刻掉的铜面，显影过程会产生高浓度有机废水。显影之后进行 3 级逆流水洗（中水）。

（5）内层蚀刻

将溶解了干膜（湿膜）而露出的铜面用酸性蚀刻液溶解腐蚀，从而得到所需线路图形；蚀刻后接 2 级逆流水洗（中水），因此过程有酸性蚀刻废液、盐酸雾和含铜废水产生。利用湿膜溶于碱的特性，用 2~3% NaOH 溶液将基板上的湿膜去掉，从而完成线路制作，去膜后进行 5 级逆流水洗（自来水），水洗后使用风刀将基板表面水吹干。

（6）光学检查

通过自动光学检测仪器自动检测，机器通过摄像头自动扫描线路板，采集图像，采集的线路与数据库中合格的参数进行比较，经过图像处理，完成内层板检查。

（7）棕化

棕化的作用是均匀咬蚀铜面使板面粗化，增强铜面与绝缘基板的接触面积，提高结合力；形成棕色有机金属氧化层，防止压合过程中液态树枝胺类物质在高温下与铜面反应，形成剥离层。

棕化属氧化还原反应，形成有机金属氧化层，防止压合过程中液态树枝胺类物质在高温下与铜面反应，形成剥离层，并使用风刀将基板表面水吹干。后续 4 级逆流水洗（RO 水）过程产生一般清洗废水。

（8）压合

压合工艺是根据多层板内层，选择多个双面板进行叠合压制，形成多层板的过程。

（9）磨边

调整内层板边缘，此过程有边角料产生。

（10）钻孔

利用钻靶机 CCD 镜头发出的 X 光找到内层的靶标，钻出成型、钻孔等工序的定位孔。并除去多层基板边缘因压合而溢出的多余半固化片树脂，并捞成一定的尺寸便于后续流程作业。

先将铝板、钻针的基板上进行非导通或导通孔的贯穿作业。激光钻孔利用 CO₂ 作为介质产生红外线，通过光束带的能量，将介质加热至熔融状态，进而形成微孔（Micro-via）。

（11）沉铜前处理

酸洗、磨边，修饰裁切后的基板边缘，使之平滑，研磨过程为湿式，采用中水漂洗，该过程有磨板废水产生，废水中含有少量金属铜。后续采用超声波水洗（自来水）。

（12）化学沉铜

将经过钻埋孔后的基板上的各层线路，通过化学沉铜工艺使其通过各个孔连接起来。主要目的是各层孔壁镀上铜层，使之导电。化学

沉铜是一种催化氧化还原反应，因为化学沉铜铜层的机械性能较差，在经受冲击时易产生断裂，所以化学沉铜宜采用镀薄铜工艺。化学镀铜的机理如下：将线路板浸入含氢氧化钠（8~10g/l）、甲醛（4~6g/l）、EDTA（0.115~0.135M，其中 Cu^{2+} ：1.8~2.2g/l）的溶液中，使线路板上覆上一层铜。操作温度在 $40\pm 2^\circ\text{C}$ ，操作时间为 21 分钟，翻槽频率为一周。化学沉铜过程有甲醛废气和沉铜废液产生，后续采用 4 级逆流水洗（RO 水）。

软硬结合板钻孔后采用黑孔作为其镀通孔工艺，即将精细的石墨或碳黑粉浸图在孔壁上形成导电层，然后进行直接全板电镀（采用 VCP 线）在工艺上可替代传统的沉铜工艺。黑孔剂主要由精细的石墨或碳黑粉（颗粒直径为 $0.2\sim 0.3\mu\text{m}$ ）、液体分散介质即去离子水和表面活性剂等组成。

微蚀：使用硫酸、过硫酸钠作为微蚀剂处理覆铜板，主要作用为后续的黑孔提供理想的表面，以达到均匀黑化及结合力的目的，后续进行 3 级逆流水洗（中水）。除油：使用弱碱性除油剂、将板表面的油污除去、以确保不带入其他杂质入槽，后续进行 2 级逆流水洗（自来水）。黑孔处理：由含碳的悬浮液所组成，碳胶原体的大小为 $2\sim 5\mu\text{m}$ ，吸附在孔壁上，形成一层连续性的碳膜层。黑孔处理后进行 3 级逆流水洗（RO 水）。整孔处理：黑孔剂内碳黑带有负电，和钻孔后的孔壁树脂表面所带负电荷相排，不能静电吸附，直接影响石墨或碳黑的吸收效果，通过整孔剂所带正电荷的调节，可以中和树脂表面所带负电荷甚至还能赋予孔壁树脂正电荷，以便于吸附石墨或碳黑。

整孔后进行 5 级逆流水洗（RO 水）。再进行一次黑孔化处理，确保孔壁基材上的碳黑导电层均匀细致。黑孔处理后进行 3 级逆流水洗（中水）。

（13）VCP 一铜

除油/酸洗：使用硫酸与氧化铜反应，同时清洁版面，避免将杂物及带入铜缸，减少镀铜缸内溶液受污染的机会，延长铜缸寿命，并使用喷水洗剂热水洗（RO 水），后续 2 级逆流水洗（RO 水）

电镀铜是以铜球作阳极， CuSO_4 （65~75g/l，其中 Cu^{2+} ：12~17g/l）和 H_2SO_4 （240~270g/l）作电解液，还有微量 HCl （40~60ppm）和添加剂（1~4mL/L）。电镀不仅使通孔内的铜层加厚，同时也可使热压在外表面的铜箔加厚。操作温度在 $24\pm 2^\circ\text{C}$ ，槽液不作更换，当生产面积超过 100 万平方英尺或使用时间达半年时将槽液送入硫酸铜处理区用活性炭吸附杂质，其余溶液继续回用到产线上。电镀铜之后进行水洗喷淋，并使用风刀将基板表面水吹干；全版电镀过程中有硫酸雾和含铜废液产生，后续 2 级逆流水洗（自来水）。在电镀铜工艺时，镀件放置在挂架中，挂架在镀铜时由于铜的沉积逐渐增厚，需要对其表面的铜进行剥离，以免影响电镀效率。用 20%的硝酸将电镀过程中镀析在电镀夹具上的金属铜予以剥除，之后进行水洗喷淋。剥挂架过程中有硝酸雾挥发产生，后续水洗喷淋（中水）。采用精密热风烤箱将水洗后的版面烘干，烘板温度 $60\sim 80^\circ\text{C}$ ，起到防氧化作用，产生的水蒸汽直接排放。

（14）外层前处理

化学前处理包括微蚀和酸洗处理。酸洗：用硫酸去除铜板表面的氧化铜，后续 3 级逆流水洗（自来水）。磨刷水洗：通过机械毛刷刷板的方式，以达到清洁和粗糙铜面的作用，之后进行高压水洗（中水）、3 级逆流水洗（RO 水），并使用风力将基板表面水吹干。

（15）外层贴膜

烘干后的基板进行压膜，压膜采用的干膜是由聚酯薄膜、光致抗蚀剂薄膜和聚乙烯保护膜三部分组成。聚酯薄膜是支撑感光胶层的载体，使之涂布成膜。聚乙烯保护膜是覆盖在感光胶层上的保护膜，防止灰尘等污物沾污干膜。在压膜前先剥去这层保护膜。光致抗蚀剂薄膜是干膜的主体，为感光材料。压膜是利用压膜机的热压滚轮在 90~110℃将干膜压附在基板上形成感光层膜。

（16）外层曝光

利用底片成像原理，曝光机产生 UV 光，使铜箔基板上的膜发生聚合反应生产不溶弱碱的抗腐蚀膜层，不要的部分被底片遮住，不发生光聚合反应，可在后续工艺中被弱碱去除。曝光过程使用的底片是通过电脑绘制的菲林经过显影和定影形成，在底片制作过程中会产生显影定影废液。

（17）外层显影

利用 0.8~1.2%Na₂CO₃ 弱碱将湿膜/干膜中未聚合的单体溶解，显影机理是感光膜中未曝光部分的活性基团与稀碱性溶液反应生产可溶解的物质而溶解袭来，显影时活性基团羧基-COOH 与碳酸钠溶液中的 Na⁺作用，生产亲水性基团-COONa，从而把未曝光的部分溶

解下来，而曝光的部分不被溶解。聚合的部分保留在铜面上，露出所需要蚀刻掉的铜面，显影过程会产生高浓度有机废水。显影之后进行 3 级逆流水洗（中水）。

（18）图形电镀

图形电镀的作用是在基板外层表面线路上镀上铜和保护层锡。具体流程包括：

脱脂除油：除去铜表面的油脂，清洗铜表面，加入化学清洗剂进行清洗，之后进行喷淋水洗、热水洗等两段水洗（自来水）。

微蚀：微蚀的目的是为了后续的化学镀铜提供一个微粗糙的活性铜表面，同时去除铜面残留的氧化物。后续 3 级逆流水洗（自来水）。

酸洗：进一步用硫酸去除铜板表面的氧化铜，

电镀铜：电镀铜是以铜球作阳极， CuSO_4 (200g/L)和 H_2SO_4 (98%)作电解液。电镀不仅使通孔内的铜层加厚，同时也可使热压在外表面的铜箔加厚，操作温度在 $24 \pm 2^\circ\text{C}$ ：电镀铜之后进行 3 段水洗喷淋（自来水）。

酸洗：进一步用硫酸去除铜板表面的氧化铜。后续 4 级逆流水洗（RO 水）。

去膜：利用干膜溶于强碱的特性，用 2~3%NaOH 溶液将基板上的干膜去掉，从而完成线路制作，去膜过程有高浓度有机废水和干膜渣产生，后续 4 级逆流水洗（自来水）。

碱性蚀刻：利用碱性蚀刻液（氯化铜、氨水、氯化铵，补助成份

为氯化钴、氯化钠或其它硫化物) 蚀掉非线路铜, 获得成品线路图形, 完成图形转移, 使产品达到导通的基本功能。

退锡: 使用硝酸及含铜保护剂的药水, 将铜线路表面的保护锡层剥离, 露出铜层的线路, 之后进行 4 级逆流水洗(自来水), 并使用风刀将基板表面水吹干。烘干: 采用精密热风烤箱将水洗后的版面烘干, 烘板温度 60~80°C, 产生的水蒸气直接排放。

(19) 光学检查

通过自动光学检测仪器自动检测, 机器通过摄像头自动扫描线路板, 采集图像, 采集的线路与数据库中合格的参数进行比较, 经过图像处理, 完成外层板线路检查。此过程有不合格外层板产生, 做固废处理。

(20) 液态阻焊

涂布是利用静电正负电子互相吸引的特性, 将分割成细小颗粒的雾化油墨分子均匀地喷附在板面上, 印刷是采用丝网印刷的方式将防焊油膜披覆在板面上。

(21) 阻焊曝光

利用底片成像原理, 曝光时利用 UV 光将绿漆中感光单体物质聚合, 从而形成不溶于弱碱的图形, 未曝光部分可在后续工艺中被弱碱去除。

(22) 阻焊显影

利用 0.8~1.2% Na_2CO_3 弱碱将湿膜/干膜中未聚合的单体溶解, 聚合的部分保留在铜面上, 从而露出所需要蚀刻掉的铜。后续 3 级

逆流水洗（RO 水）。

（23）文字印刷

线路板经冲压成型后每整块板上将形成多个方形产品，根据客户要求，须对每个产品标识说明和产品号等，故采用文字印刷方式区分，UV 固化是指需要用紫外线固化。采用精密热风烤箱将水洗后的板面烘干，产生的水蒸气直接排放。后烘干。通过高温 120°C~160°C 使油墨达到完全热聚合并完全固化，增加表面油墨硬度及结合力。

（24）喷锡/沉金

根据客户需求对线路板进行表面处理，本项目环评设计设置化学镍金、电镀镍金工艺、OSP（有机保焊膜）等表面处理工艺，目前主要为 OSP（有机保焊膜）工艺，化学镍金、镀镍金工艺委外进行。

（25）成型

根据要求在线路板上切割出 V 槽，使基板可以相连，但又可以很轻易地分离出所需部分。

铣边：依据铣床程序预先指定的作业路径，在铣高速旋转的作用下，利用成型机镗出符合客户所要求的图形及规格，以便于客户装配。该过程有少量边角料产生。

V-CUT(V 刻)：利用微刻机高速旋转切割的原理，设定好切割区域程序，在基板双面切割出 V 槽，使基板相连但可以较容易分离出需要的部分。

锣边/啤板：通在一定角度下切割掉基板边缘的一部分，使之形成插槽，方便后续拔插。后接 2 段漂洗（中水）。

烘板：主要是烘干线路板内水分，保证其包装前干燥度，降低后续插件品质异常的风险。烘板温度 60~80°C，产生的水蒸气直接排放。

(26) 电测试

在需要测试的导线两端，通过读取电容、电阻值等手段，判定线路板的电气功能是否符合设计要求，

(27) 有机保焊膜 (OSP)

主要为铜面上长成一层有机铜错化物的皮膜，以保护铜面在储存、运输的过程中不氧化，同时增加铜面的焊锡性

(28) 成品检查 FQC

检查成品的外形和性能，确保成品性能良好，质量符合要求。

(29) 成品包装

使用良空包装，良空包装也称减压包装，是将包装容器内的空气全部抽出密封，维持袋内处于高度减压状态，空气稀少相当于低氧效果，使线路板不受环境湿度及空气中各类气体的影响，铝箔因其密度及质量均比 PE 膜高，其良空包装的效果要更好。至此，完成线路板生产工序。

5 数据的收集和主要排放因子说明

为了计算产品的碳足迹，必须考虑活动水平数据、排放因子数据和全球增温潜势 (GWP)。活动水平数据是指产品在生命周期中的所有量化数据 (包括物质的输入、输出；能量使用；交通等方面)。排放因子数据是指单位活动水平数据排放的温室气体数量。利用排放

因子数据，可以将活动水平数据转化为温室气体排放量。如：电力的排放因子可表示为： $\text{CO}_2\text{e} / \text{kWh}$ ，全球增温潜势是将单位质量的某种温室效应气体（GHG）在给定时间段内辐射强度的影响与等量二氧化碳辐射强度影响相关联的系数，如 CH_4 （甲烷）的 GWP 值是 25。活动水平数据来自现场实测；排放因子采用 IPCC 规定的缺失值。活动水平数据主要包括：外购电力、高端汽车电动座椅控制板加工原材料等。排放因子数据主要包括外购电力排放因子、覆铜板生产排放因子、纸箱生产排放因子、PE 袋生产排放因子等。

6 碳足迹计算

6.1 碳足迹识别-高端汽车电动座椅控制板

表 6.1 碳足迹过程识别表

序号		主体	活动内容	备注
1	高端汽车 电动座椅 控制板	高端汽车电动座椅控制板原材料 生产	原料、能源	/
		高端汽车电动座椅控制板生产	原料、能源	/
		原料运输、产品运输	运输排放	/
		废弃回收处置	回收、处置	/

6.1.1 计算表格

6.1.1.1 高端汽车电动座椅控制板生产过程数据清单

表 6.2 高端汽车电动座椅控制板（每件）BOM 表

类型	清单	用途	生产/消耗	单位	排放因子来源
产品 消耗	高端汽车电动座椅控制板	产品	-	件	—
	覆铜板	原料	1.09	kg	CLCD

	阻焊油墨	原料	0.69	kg	CLCD
	文字油墨	原料	0.09	kg	CLCD
	铜箔	原料	0.07	kg	CLCD
	半固化片	原料	0.22	kg	CLCD
	铜球	原料	0.048	kg	CLCD
	纸箱	原料	0.13	kg	CLCD
	PE 袋	原料	0.02	kg	CLCD
	AR 盐酸	原料	0.0460	kg	CLCD
	工业硫酸	原料	0.1140	kg	CLCD

6.1.1.2 高端汽车电动座椅控制板加工过程数据清单

表 6.3 高端汽车电动座椅控制板生产数据清单

类型	清单	用途	生产/消耗	单位	上游排放因子来源
产品	覆铜板	原料	1.09	kg	CLCD
	阻焊油墨	原料	0.69	kg	CLCD
	文字油墨	原料	0.09	kg	CLCD
	铜箔	原料	0.07	kg	CLCD
	半固化片	原料	0.22	kg	CLCD
	铜球	原料	0.048	kg	CLCD
	纸箱	原料	0.13	kg	CLCD
	PE 袋	原料	0.02	kg	CLCD
	AR 盐酸	原料	0.0460	kg	CLCD
	工业硫酸	原料	0.1140	kg	CLCD
消耗	电力	能源	14.787	kWh	CLCD
	天然气	能源	0.072	m ³	CLCD
	水	资源	0.123	t	CLCD

6.1.1.3 主要原材料产地

表 6.4 主要原材料产地

名称	产地	距离 (km)
覆铜板	宜春市袁州区-上栗县 (汽运)	106
阻焊油墨	广东省东莞市茶山镇-上栗县 (汽运)	690
文字油墨	广东省东莞市谢岗镇-上栗县 (汽运)	690
铜箔	深圳市宝安区西乡街道-上栗县 (火车)	750
半固化片	上海南翔镇-上栗县 (汽运)	958
铜球	鹰潭市高新技术产业园-上栗县 (汽运)	367
纸箱	上栗县-上栗县 (汽运)	25
PE 袋	深圳市宝安区西乡街道-上栗县 (汽运)	750
AR 盐酸	宜春市袁州区-上栗县 (汽运)	106
工业硫酸	广东省东莞市洪梅镇-上栗县 (汽运)	690

6.1.1.4 包装及运输

高端汽车电动座椅控制板生产完成后用 PE 袋进行包装后用纸箱运输到深圳集团公司，包装材料为木质框架，因此不考虑其生产过程排放，只考虑其运输过程的排放和 PE 袋产生的排放。

经包装后运往分销商。

表 6.5 主要分销商地址

分销商地址	距离 (km)
上栗县-深圳市	750

6.2 废弃及回收

由于用户端回收采用就近回收。此部分距离无法核算，不予考虑。只考虑高端汽车电动座椅控制板的金属部分回收。另外回收后的原材料可以作为原材料，可以抵消部分生产过程温室气体的排放量。

表 6.6 废弃回收过程

类型	清单	用途	回收处理	单位	排放因子来源
产品	覆铜板	回收处理	1.09	kg	CLCD
	阻焊油墨	回收处理	0.656	kg	CLCD
	文字油墨	回收处理	0.086	kg	CLCD
	铜箔	回收处理	0.07	kg	CLCD
	半固化片	回收处理	0.209	kg	CLCD
	铜球	回收处理	0.048	kg	CLCD
	纸箱	回收处理	0.124	kg	CLCD
	PE 袋	回收处理	0.019	kg	CLCD
	AR 盐酸	回收处理	0	kg	CLCD
	工业硫酸	回收处理	0	kg	CLCD

7 数据计算

7.1 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：

$$E_i = A_i \times EF_i \quad (1)$$

公式中，

E_i 为第 i 种活动的二氧化碳排放量，t；

A_i 为第 i 种活动的活动水平(如电耗量, kWh);

E_i 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。

表 7.1 CO₂、CH₄、N₂O 的增温潜势

名称	化学式	GWP
二氧化碳	CO ₂	1
甲烷	CH ₄	25
氧化亚氮	N ₂ O	298

2. 二氧化碳排放总当量计算公式为:

$$E = \sum_i A_i \times EF_i \quad (2)$$

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:

$$E_{ij} = A_{ij} \times EF_{ij} \times GWP_j \quad (3)$$

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:

$$E = \sum_i \sum_j A_{ij} \times EF_{ij} \times GWP_j \quad (4)$$

7.2 计算结果

表 7.3 生产单个高端汽车电动座椅控制板排放量表

序号	清单	排放量 (kg)
1	高端汽车电动座椅控制板	1.31×10 ²
2	覆铜板	6.07E-03
3	阻焊油墨	3.83E-03
4	文字油墨	5.02E-04
5	铜箔	3.89E-04
6	半固化片	1.25E-03
7	铜球	2.67E-04
8	纸箱	1.74E-05
9	PE 袋	1.14E-05
10	电力	7.73E-06
11	天然气	1.53E-04
12	水	9.00E-05
13	覆铜板 - 货车运输	16.259
14	阻焊油墨 - 货车运输	65.698
15	文字油墨 - 货车运输	8.661
16	铜箔 - 货车运输	7.348
17	半固化片 - 货车运输	29.036
18	铜球 - 货车运输	2.472
19	纸箱 - 货车运输	0.335
20	PE 袋 - 货车运输	1.534

表 7.4 生产单个高端汽车电动座椅控制板包装运输排放量表

序号	清单	排放量 (kg)
----	----	----------

1	产品包装及运输	3.58×10^{-1}
2	产品 - 货车运输	2.56×10^{-1}
3	包装材料 - 货车运输	1.02×10^{-1}

7.5 产品废旧回收利用排放量表

序号	清单	排放量 (kg)
1	高端汽车电动座椅控制板回收	-3.60×10^{-1}
2	覆铜板	-1.28×10^{-1}
3	铜箔	-7.36×10^{-2}
4	铜球	-3.53×10^{-2}
5	半固化片	-4.89×10^{-2}
6	纸箱	-3.39×10^{-2}
7	PE 袋	-4.05×10^{-2}

表 7.6 生产单个高端汽车电动座椅控制板排放量表

序号	清单	排放量 (kg)
1	产品全生命周期	1.31×10^2
2	产品生产	1.31×10^2
3	产品包装及运输	3.58×10^{-1}
4	废弃回收	-3.60×10^{-1}

根据公式 (4) 可以计算出 1 个高端汽车电动座椅控制板的碳足迹 $e=131 \text{ kg CO}_2e$ ，从高端汽车电动座椅控制板生命周期累计碳足迹贡献比例的情况，可以看出高端汽车电动座椅控制板的碳排放环节主要集中在产品生产过程。另外，产品主要的原材料为生铁，产品回收后可以作为原材料用于生产，因此废气回收过程为负值，可以抵消部

分排放。

所以为了减高端汽车电动座椅控制板的碳足迹，应重点考虑在生产过程中减少原料磨损量，尽可能采用绿色原料；完善公司的电力计量器具的配备，合理利用电能，对重点用能设备进行能源计量，对车间单位产品能耗、物料消耗进行指标考核。

为减小产品碳足迹，建议如下：

1) 通过改变产品运输方式、提高单次运输效率，有效减少运输过程中燃料的消耗。

2) 降低原料消耗，提高物料利用率，同时，在工艺允许的情况下，采用温室气体影响较小的原料代替；

3) 加强节能工作，从技术及管理层面提升能源效率，减少能源投入，厂内可考虑实施节能改造，重点提高能源的利用率，从而减少能源的使用量；完善电力计量器具的配备。

4) 在分析指标的符合性评价结果以及碳足迹分析、计算结果的基础上，结合环境友好的设计方案采用落实生产者责任延伸制度、绿色供应链管理等工作，提出产品生态设计改进的具体方案；

5) 继续推进绿色低碳发展意识，坚定树立企业可持续发展原则，加强生命周期理念的宣传和实践。运用科学方法，加强产品碳足迹全过程中数据的积累和记录，定期对产品全生命周期的环境影响进行自查，以便企业内部开展相关对比分析，发现问题。在生态设计管理、组织、人员等方面进一步完善；

6) 推进产业链的绿色设计发展，制定生态设计管理体制和生态

设计管理制度，明确任务分工；构建支撑企业生态设计的评价体系；建立打造绿色供应链的相关制度，推动供应链协同改进。

8 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。减少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。

9 结语

萍乡市丰达兴线路板制造有限公司每生产 1 个高端汽车电动座椅控制板产品产生 131 kg CO₂e，其中产品生产过程占比最大，达到 99.81%；产品包装及运输和废弃回收过程排放占比 0.90%。生产过程中采用先进低能耗技术设备生产降低能源消耗及原料磨损；在包装运输过程中通过改变产品运输方式、提高单次运输效率，有效减少运输过程中燃料的消耗。另外，产品的主要原材料为生铁，回收后可以作为原材料抵消部分排放，因此企业应加大对废旧产品的回收，扩大渠道收购、利用废旧产品。

机械设备制造业产品碳足迹报告是企业未来生存和发展的必然选择，企业进行产品碳足迹的核算从而实现温室气体管理，制定低碳发展战略。通过产品生命周期的碳足迹核算，企业了解排放源，明确各生产环节的排放量，为制定合理的减排目标和发展战略打下基础。

参考文献:

[1] IPCC 2007: the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

[2] Product Carbon Footprint Memorandum, Position statement on measurement and communication of the product carbon footprint for international standardization and harmonization purposes, Berlin, December 2009.

[3] ISO/TS 14067: 2013, Greenhouse Gases—Carbon Footprint of Products—Requirements and Guidelines for Quantification and Communication[J]. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2013.

[4] BSI, The Guide to PAS 2050: 2011, How to carbon footprint your products, identify hotspots and reduce emissions in your supply chain.

[5] GHGP0301 《温室气体审定/核查管理程序》

[6] ISO 14064-3:2019 温室气体——温室气体声明审定与核查规范及指南

[7] ISO/TS 14067:2018 温室气体 产品碳足迹 量化和通报的要求和指南

[8] PAS 2050 商品和服务的生命周期温室气体排放评价规范