

智能网联汽车制造工厂碳减排贡献研究

朱长俊 鲍其龙 张伟

(安徽奇瑞绿能生态科技有限公司, 芜湖 241000)

摘要: 为研究智能网联汽车制造工厂对碳减排的贡献, 通过调研常规汽车制造工厂和智能网联汽车制造工厂在建设、工艺、运营管理和生产过程中的能耗情况, 核算常规工厂和智能网联汽车制造工厂能耗和碳排放指标, 分析了能耗和碳排放情况。研究发现, 智能网联汽车制造工厂的建设与运行能够实现能耗总量和强度、碳排放总量和强度的有效控制, 降低能源消耗, 大幅降低碳排放。

关键词: 智能网联汽车制造工厂 碳排放 碳减排

中图分类号: U461.99 文献标志码: B DOI: 10.19710/J.cnki.1003-8817.20240393

Research on Carbon Emission Reduction Contribution of Intelligent Connected Automobile Manufacturing Factories

Zhu Changjun, Bao Qilong, Zhang Wei

(Anhui Chery Green Energy Ecological Technology Co., Ltd., Wuhu 241000)

Abstract: In order to study the contribution of intelligent connected automobile manufacturing factories to carbon emission reduction, this paper investigates energy consumption of conventional automobile manufacturing factories and intelligent connected automobile manufacturing factories in terms of construction, process, operation and management, and production process, calculated energy consumption and carbon emission indexes of the conventional factories and the intelligent connected factories and analyzes energy consumption and carbon emission. The study finds that the construction and operation of the intelligent connected automobile manufacturing factories can achieve effective control of total energy consumption and intensity and total carbon emission and intensity, reduce energy consumption and substantially reduce carbon emissions.

Key words: Intelligent connected automobile manufacturing factory, Carbon emission, Carbon reduction

1 前言

在全球气候变化的大背景下, 碳减排成为世界各国关注的焦点。我国积极推进力争于2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和的“双碳”战略^[1]。“双碳”战略要求汽车制造业加快转型升级, 降低能源消耗和碳排放强度^[2]。政府出台了一系列政策, 如对新能源汽车进行补贴^[3]、对企业能耗双控和碳排放双控提出要求^[4-5]等, 以推动汽车产业向绿色低碳方向发展。同时, 加强了对碳排放

的监测和管理, 建立了严格的碳排放核算和报告制度^[6], 促使汽车制造企业采取切实有效的减排措施。

国际上, 众多国家和地区制定了碳政策。例如, 欧盟推出了严格的碳排放交易体系 (Emissions Trading System, ETS), 对企业的碳排放进行配额限制和交易管理。美国制定了一系列温室气体排放标准 and 法规, 要求汽车制造商不断提高燃油效率, 减少车辆的碳排放。

汽车制造业作为能源消耗和碳排放的重点行

作者简介: 朱长俊(1992—), 男, 工程师, 硕士学位, 研究方向为企业能碳管理和碳减排。

参考文献引用格式:

朱长俊, 鲍其龙, 张伟. 智能网联汽车制造工厂碳减排贡献研究[J]. 汽车工艺与材料, 2025(5): 8-12.

ZHU C J, BAO Q L, ZHANG W. Research on Carbon Emission Reduction Contribution of Intelligent Connected Automobile Manufacturing Factories[J]. Automobile Technology & Material, 2025(5): 8-12.

业,在国内、外碳政策的压力下,必须积极探索创新,实现绿色低碳发展。智能网联技术的发展为汽车制造工厂的碳减排提供了新的途径。

2 智能网联汽车制造工厂与碳减排途径

2.1 智能网联技术在汽车制造中的应用与特点

智能网联技术是将物联网、大数据、人工智能、云计算等新一代信息技术与汽车制造深度融合的产物。在汽车制造工厂中,这些技术的应用涵盖了生产设备的智能化控制、生产流程的数字化管理、供应链的协同优化以及产品质量的实时监测等。利用物联网技术,工厂内的各类设备可实现互联互通,实时传输生产数据,为生产决策提供依据^[7]。大数据和人工智能技术则能够对海量的生产数据进行分析和挖掘,预测设备故障,优化生产排程,提高生产效率^[8]。

智能网联汽车制造工厂具有高度自动化、柔性化和数字化的特点。高度自动化的生产线减少了人工干预,提高了生产效率和产品质量的稳定性。柔性化生产系统能够快速响应市场需求的变化,实现多车型、小批量的定制化生产。数字化技术则贯穿于整个生产过程,实现了设计、生产、销售等环节的信息无缝对接,提高了企业的运营管理水平^[9]。

2.2 碳减排途径

2.2.1 优化生产流程

精益生产理念强调消除生产过程中的浪费,包括过度生产、库存积压、等待时间等。通过实施精益生产,汽车制造工厂能够减少不必要的能源和资源消耗,从而降低碳排放^[10]。采用准时制生产方式,可根据客户订单精确安排生产计划,从而减少库存,降低用于存储和管理库存的能源消耗。

借助智能算法和传感器技术,对生产设备进行实时监测和智能化调度。根据生产任务的优先级和设备的运行状态合理分配设备资源,可避免设备的空转和低效运行,提高能源利用效率,减少碳排放^[11]。

2.2.2 能源管理与优化

利用智能能源监测系统对能源消耗进行实时监测和数据采集。通过分析能源数据,确定能源

消耗的高峰时段和高能耗环节,针对性地采取节能措施。如调整生产计划,避开能源消耗高峰时段,或对高能耗设备进行节能改造。

在工厂屋顶、停车场等空间安装太阳能光伏板、微风发电机,利用太阳能、风能等可再生能源发电。同时,储存多余电能供夜间或能源供应不足时使用,减少对传统化石能源的依赖,降低碳排放。

2.2.3 智能物流与供应链管理

利用智能物流系统,结合地理信息系统和实时交通数据,规划最优的零部件运输路径,减少运输距离和运输次数,降低物流环节的能源消耗和碳排放。

制定碳减排目标和行动计划。通过优化供应商的生产流程、选择环保型原材料等方式,实现整个供应链的碳减排。

3 智能网联汽车制造工厂碳减排的成效评估

3.1 指标体系建立

科学、全面的能耗指标和碳排放指标体系是评估智能网联现代化汽车制造工厂碳减排成效的基础。根据汽车制造工厂生产实际情况,设立工厂单位面积电力消耗量、单位面积天然气消耗量、单位面积热力消耗量、单位车辆电力消耗量、单位车辆天然气消耗量、单位车辆热力消耗量、工厂直接碳排放量、工厂间接碳排放量、工厂碳排放总量、工厂单位车辆生产碳排放量、工厂单位面积碳排放量等指标^[12]。

3.1.1 工厂碳排放总量

汽车工厂碳排放总量主要包括核算边界内的化石燃料燃烧所产生的排放、使用电力和购入热力环节产生的二氧化碳排放,计算如下:

$$E = E_c + E_e + E_T \quad (1)$$

式中: E 为工厂温室气体排放总量, E_c 为化石燃料燃烧产生的温室气体排放量, E_e 为使用电力产生的温室气体排放量, E_T 为购入热力产生的温室气体排放量。

3.1.2 工厂直接碳排放量

工厂直接排放量是指产生自工厂边界范围内

的相关温室气体排放源,主要为化石燃料燃烧排放,计算如下:

$$E_C = \sum_{i=1}^n (FC_i \times NCV_i \times CC_i \times OF_i \times \frac{44}{12}) \quad (2)$$

式中: FC_i 为第 i 种化石燃料的消耗量, NCV_i 为第 i 种化石燃料的低位发热量, CC_i 为第 i 种化石燃料的单位热值含碳量, OF_i 为第 i 种化石燃料的碳氧化率, $44/12$ 为二氧化碳与碳的相对分子质量之比。

3.1.3 工厂间接碳排放量

工厂间接排放量是指能源使用产生的间接排放,产生自工厂生产活动使用的电力、热力,例如办公区、生产区、生活区的空调系统、照明系统、供暖系统等用电、用热产生的碳排放量,计算如下:

$$E_E = AD_E \times EF_E \quad (3)$$

$$E_T = AD_T \times EF_T \quad (4)$$

式中: AD_E 为使用电量, EF_E 为电力碳排放因子, AD_T 为购入热量, EF_T 为热力排放因子。

3.1.4 工厂单位车辆生产碳排放量

工厂单位车辆生产碳排放量是指一个完整年度内工厂碳排放总量与生产车辆数量的比值,计算如下:

$$E_{PC} = E/AD_C \quad (5)$$

式中: E_{PC} 为工厂边界范围内每生产一辆车产生的碳排放量, AD_C 为工厂一个完整年度内生产车辆数量。

3.1.5 工厂单位面积碳排放量

工厂单位面积碳排放量是指一个完整年度内工厂碳排放总量与工厂占地面积的比值,计算如下:

$$E_{PA} = E/AD_A \quad (6)$$

式中: E_{PA} 为工厂边界范围内单位面积的碳排放量, AD_A 为工厂占地面积。

3.1.6 工厂单位面积能耗

工厂单位面积能耗是指一个完整年度内工厂电力、热力和天然气消耗量与工厂占地面积的比值,计算如下:

$$E_{PAE} = E_E/AD_A \quad (7)$$

$$E_{PAT} = E_T/AD_A \quad (8)$$

$$E_{PAG} = E_C/AD_A \quad (9)$$

式中: E_{PAE} 为工厂边界范围内单位面积的电力消耗量, E_E 为工厂电力消耗总量, E_{PAT} 为工厂边界范围内单位面积的蒸汽消耗量, E_T 为工厂蒸汽消耗总量, E_{PAG} 为工厂边界范围内单位面积的天然气消耗量, E_C 为工厂蒸汽消耗总量。

3.1.7 工厂单位车辆生产能耗

工厂单位车辆生产能耗是指一个完整年度内工厂电力、热力和天然气消耗量与工厂生产车辆数量的比值,计算如下:

$$E_{PCE} = E_E/AD_C \quad (10)$$

$$E_{PCT} = E_T/AD_C \quad (11)$$

$$E_{PCG} = E_C/AD_C \quad (12)$$

式中: E_{PCE} 为工厂边界范围内每生产一辆汽车的电力消耗量, E_{PCT} 为工厂边界范围内每生产一辆汽车的蒸汽消耗量, E_{PCG} 为工厂边界范围内每生产一辆汽车的天然气消耗量。

3.2 减排成效分析

本研究通过调研常规汽车制造工厂和智能网联汽车制造工厂设计、建设、能源系统等现状,收集了生产过程各环节能耗数据,运用机械设备制造行业碳排放核算等方法核算了工厂边界范围内碳排放量,从碳排放总量和碳排放强度指标对智能网联工厂减排成效进行量化。

3.2.1 常规工厂能耗与碳指标

表1为常规工厂活动数据和排放因子,根据现场调研和数据收集,常规工厂直接排放计算天然气消耗产生碳排放,间接排放计算电力消耗和热力消耗产生的碳排放,数据均来源于在线监测计量表。常规工厂年产量为250 000辆,占地面积为309 400 m²。常规工厂的能耗指标和碳排放指标如表2、表3所示。

表1 常规工厂活动数据与排放因子

排放类型	种类	活动数据	排放因子	数据来源
直接排放	天然气	6 549 117.00 Nm ³	21.621 9 tCO ₂ /×10 ⁴ Nm ³	天然气计量表
间接排放	电力	88 876 320.95 kW·h	0.594 2 kg/kW·h	电力计量表
间接排放	热力	63 617.1 t	0.11 tCO ₂ /GJ	热力计量表

指标类型	指标值
单位面积电力消耗量/ $\text{kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-2}$	287.253 8
单位面积蒸汽消耗量/ $\text{t}\cdot\text{m}^{-2}$	0.205 6
单位面积天然气消耗量/ $\text{Nm}^3\cdot\text{m}^{-2}$	21.167 2
单位车辆电力消耗量/ $\text{kW}\cdot\text{h}\cdot\text{辆}^{-1}$	355.505 3
单位车辆蒸汽消耗量/ $\text{t}\cdot\text{辆}^{-1}$	0.254 5
单位车辆天然气消耗量/ $\text{Nm}^3\cdot\text{辆}^{-1}$	26.196 5

指标类型	指标值
碳排放总量/ tCO_2e	86 041.790 4
直接碳排放量/ tCO_2e	14 160.435 3
间接碳排放量/ tCO_2e	71 881.355 1
单位车辆碳排放量/ $\text{tCO}_2\text{e}\cdot\text{辆}^{-1}$	0.344 2
单位面积碳排放量/ $\text{tCO}_2\text{e}\cdot\text{m}^{-2}$	0.278 1

3.2.2 智能网联工厂能耗与碳指标

表4为智能网联工厂活动数据和排放因子,根据现场调研和数据收集。智能网联工厂用能类型与常规工厂相同,直接排放计算天然气消耗产生碳排放,间接排放计算电力消耗和热力消耗产生的碳排放,数据均来自于在线监测计量表。常规工厂年产量为200 000辆,占地面积为831 330 m^2 。智能网联工厂的能耗指标与碳排的指标如表5、表6所示。

排放类型	种类	活动数据	排放因子	数据来源
直接排放	天然气	4 452 360.41 Nm^3	21.621 9 $\text{tCO}_2/\times 10^4 \text{Nm}^3$	天然气计量表
间接排放	电力	71 979 612.75 $\text{kW}\cdot\text{h}$	0.594 2 $\text{kg}/\text{kW}\cdot\text{h}$	电力计量表
间接排放	热力	4 059.38 t	0.11 tCO_2/GJ	热力计量表

指标类型	指标值
单位面积电力消耗量/ $\text{kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-2}$	86.583 7
单位面积蒸汽消耗量/ $\text{t}\cdot\text{m}^{-2}$	0.004 9
单位面积天然气消耗量/ $\text{Nm}^3\cdot\text{m}^{-2}$	5.355 7
单位车辆电力消耗量/ $\text{kW}\cdot\text{h}\cdot\text{辆}^{-1}$	359.898 1
单位车辆蒸汽消耗量/ $\text{t}\cdot\text{辆}^{-1}$	0.020 3
单位车辆天然气消耗量/ $\text{Nm}^3\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{辆}^{-1}$	22.261 8

指标类型	指标值
碳排放总量/ tCO_2e	53 614.049 3
直接碳排放量/ tCO_2e	9 626.849 2
间接碳排放量/ tCO_2e	43 987.200 1
单位车辆碳排放量/ $\text{tCO}_2\text{e}\cdot\text{辆}^{-1}$	0.268 1
单位面积碳排放量/ $\text{tCO}_2\text{e}\cdot\text{m}^{-2}$	0.064 5

3.2.3 节能减排贡献分析

由表7可知,智能网联汽车制造工厂相比常规汽车制造工厂单位面积能耗大幅降低,其中,单位车辆制造电力消耗基本持平,其他指标均降幅明显。

指标类型	节能贡献率
单位面积电力消耗量	69.86
单位面积蒸汽消耗量	97.67
单位面积天然气消耗量	74.68
单位车辆电力消耗量	-1.23
单位车辆蒸汽消耗量	92.00
单位车辆天然气消耗量	15.04

由表8可知,智能网联汽车制造工厂相比常规汽车制造工厂在碳排放总量和碳排放强度上均大幅降低。

指标类型	减排贡献率
碳排放总量	37.69
直接碳排放量	32.02
间接碳排放量	38.81
单位车辆碳排放量	22.11
单位面积碳排放量	76.81

4 结束语

智能网联现代化汽车制造工厂在碳减排方面具有巨大的潜力,是节能减排有效途径之一。通过优化生产流程、能源管理、材料选用和物流供应链等环节,智能网联汽车制造工厂实现了碳排放总量控制和碳排放强度控制,大幅降低了碳排放,是实现汽车制造碳减排、绿色可持续发展的有效

措施,但在推进智能网联技术应用和碳减排的过程中,仍面临着技术、成本、法规等多方面的问题。

随着技术的不断进步、成本的逐渐降低以及法规政策的日益完善,智能网联现代化汽车制造工厂将在碳减排领域发挥更大作用。同时,汽车制造业的碳减排经验也将为其他工业领域提供有益的借鉴。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国生态环境部. 中国应对气候变化的政策与行动[EB/OL]. (2021-10-27). https://www.mee.gov.cn/zcwj/gwywj/202110/t20211027_958030.shtml.
- [2] 中华人民共和国国务院. 新能源汽车产业发展规划(2021—2035年)[EB/OL]. (2020-11-02). https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-11/02/content_5556716.htm.
- [3] 中华人民共和国财政部. 关于完善新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知[EB/OL]. (2020-12-31). http://jjs.mof.gov.cn/zhengcefagui/202012/t20201231_3638812.htm.
- [4] 中华人民共和国发展和改革委员会. 完善能源消费强度和总量双控制度方案[EB/OL]. (2020-09-16). https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202109/t20210916_1296856.html.
- [5] 中华人民共和国国务院. 加快构建碳排放双控制度体系工作方案[EB/OL]. (2024-08-02). https://www.gov.cn/zhengce/content/202408/content_6966079.htm.
- [6] 中华人民共和国发展和改革委员会. 机械设备制造企业温室气体排放核算方法与报告指南[EB/OL]. (2023-10-30). <https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201511/W020231027531108809609.pdf>.
- [7] 姜豪. 智能化汽车零部件超级工厂的建筑设计[J]. 上海建设科技, 2023(5): 5-7.
- [8] 王玉林, 杨晓东, 周鑫. 汽车领域人工智能应用探讨[J]. 农业装备与车辆工程, 2024, 62(6): 86-88.
- [9] 左常宁. 智能制造在汽车制造业中的应用[J]. 汽车测试报告, 2023(11): 4-6.
- [10] 施井瑞. 精益生产技术在汽车制造业的应用[J]. 时代汽车, 2019(4): 56-57.
- [11] 罗梓琿, 江呈羚, 刘亮, 等. 基于深度强化学习的智能车间调度方法研究[J]. 物联网学报, 2022, 6(1): 53-64.
- [12] 徐可西, 詹冰倩, 姜春, 等. 碳排放约束下的城市空间格局优化:理论框架、指标体系与实践路径[J]. 自然资源学报, 2024, 39(3): 682-696.