

典型场景下重型载货车换电站运营经济性研究

顾洪建 高越 戴森

(中汽信息科技(天津)有限公司,天津 300300)

【欢迎引用】顾洪建,高越,戴森.典型场景下重型载货车换电站运营经济性研究[J].汽车文摘,2024(1):45-50.

【Cite this paper】GU H J, GAO Y, DAI M. Research on the Operation Economy of Battery-Swapping Station for Heavy Truck in Typical Scenarios [J]. Automotive Digest (Chinese), 2024(1): 45-50.

【摘要】换电重型载货车是近年来新能源重型载货车推广的主要车型。重型载货车换电站为用户车辆提供换电服务,其运营经济性直接关系到未来换电重型载货车能否规模化发展。建立了重型载货车换电站运营经济性测算模型,针对5种典型应用场景下的重型载货车换电站的盈亏水平及盈利平衡点进行了分析。研究发现,重型载货车换电站运营经济性与换电站年换电量密切相关,换电运营企业为保证运营收益,应重点考察目标应用场景下换电重型载货车车队规模以及月行驶里程。

关键词:换电重型载货车;换电站;应用场景;经济性测算

中图分类号:U469.72;F403.7 文献标识码:A DOI: 10.19822/j.cnki.1671-6329.20230209

Research on the Operation Economy of Battery-Swapping Station for Heavy Truck in Typical Scenarios

Gu Hongjian, Gao Yue, Dai Miao

(China Auto Information Technology (Tianjin) Co., Ltd., Tianjin 300300)

【Abstract】The development of battery replacement heavy truck has been a main way to promoting new energy heavy trucks in recent years. Battery-swapping stations provide battery-swapping and recharging services for heavy trucks. The operation economy of battery-swapping stations is directly related to whether the battery replacement heavy trucks can be developed on a large scale in future. This paper mainly establishes the economy calculation model and analyzes the operation economy of battery-swapping stations in 5 short transportation scenarios. The operation economy of battery-swapping stations is closely related to the annual battery-swapping electricity. In order to ensure the profit of battery-swapping operation enterprises, it is necessary to focus on the scale and monthly mileage of the heavy trucks fleet under the target application scenarios.

Key words: Battery replacement heavy, Battery - swapping station, Scenario, Economic calculation

0 引言

新能源重型载货车的推广和应用是公路交通领域实现“碳达峰、碳中和”的关键路径之一^[1]。近年来,采用换电技术路线的纯电动重型载货车凭借其诸多优势在行业内受到广泛关注^[2-3]。换电技术可以实现车电价值分离,在降低用户购车门槛、提高补能效率的同时,为新能源汽车的推广提供商业模式创新机会,推动新能源商用车价值链逐渐由产业链前端业务(如整车制造、车辆销售)向产业链后端业务(如补能服务、金融租赁)拓展^[4]。自2021年10月《关于启动新能源汽车

换电模式应用试点工作的通知》实施以来,以唐山、包头、宜宾为代表的城市在换电重型载货车的推广应用上取得了初步成效^[5-6]。2022年,换电重型载货车比例快速提升,销量达到1.24万辆,已超过充电重型载货车销量^[7]。其中,牵引车销量约占换电重型载货车销量的70%,占主体地位^[8]。

目前,换电重型载货车主要推广应用于封闭场景(如矿山、港口)以及区域短倒场景(如城建渣土)^[9]。相比于传统燃油重型载货车,换电重型载货车在购置成本、全生命周期运营成本上均存在一定优势,很多学者对此进行了研究。齐涛等^[10]对煤炭矿产场景、港

口运输场景、混凝土搅拌场景、钢厂场景下的换电重型载货车全生命周期总拥有成本进行了测算,对比了2种服务模式下换电重型载货车与传统燃油重型载货车的成本差异;姜运哲等^[11]建立了多个典型场景下的换电重型载货车技术经济性测算模型,分析了影响换电重型载货车使用阶段经济性的主要因素,得出影响换电重型载货车经济性的最大因素是电池综合服务费,但其在测算换电重型载货车和柴油重型载货车技术经济性时未考虑车辆期末残值收益。在换电站运营经济性测算方面,冯莉等^[12]分析了换电站建设成本、运营成本、流动成本的构成,研究了不同服务车辆数及单车日均行驶里程与换电站成本回收周期之间的关系;傅鹏等^[13]根据分时电价构建了充电和换电模式的场站运营经济性测算模型,并在相同售电量的情形下,对比分析了2种模式下场站的经济效益;殷晓雪^[14]基于换电重型载货车产业链条中发电、输电、充换电等环节的成本及活动价值的分析,建立了以产业链成本最小化为目标的经济效益优化模型,并对3种能源结构转型情景下的换电站规模、总成本、低碳效益进行了模拟;张梅梅等^[15]以动力电池为储能介质的单一或混合储能模式,构造了换电站的安全电池数量及2种模式充电费用最优时的风光消纳率计算模型,并基于蒙特卡洛算法预测了换电需求,模拟并计算了“车-源-网”换电生态系统的经济性收益。

换电重型载货车的推广应用除了需要满足车辆使用端的经济性条件外,还应使重型载货车换电站在运营端的经济性达到盈利条件,否则将有可能限制换电重型载货车的规模化发展。因此,有必要开展重型载货车换电站运营经济性的研究,分析典型场景下重型载货车换电站运营的盈利能力,判断重型载货车换电站的盈利平衡点及盈利条件,从而帮助换电运营企业更好地选择目标场景并布局换电站,或改善换电站的盈利水平。

1 重型载货车换电产业结构

目前,我国已形成了完备的全自主重型载货车换电产业结构,并且由多方业务主体构成,包括整车企业、换电运营企业、换电技术及设备服务企业、电池资产管理企业、电池企业、电网企业^[16],如图1所示。

整车企业:负责换电车辆的设计、生产制造与销售。

换电运营企业:负责换电站及备用电池的充电与维护,为用户车辆提供换电服务,并向用户收取电费

以及服务费。重型载货车领域的典型换电运营企业主要有国家电投启源芯动力、吉利阳光铭岛、三一锂电、金茂科易、协鑫电港。

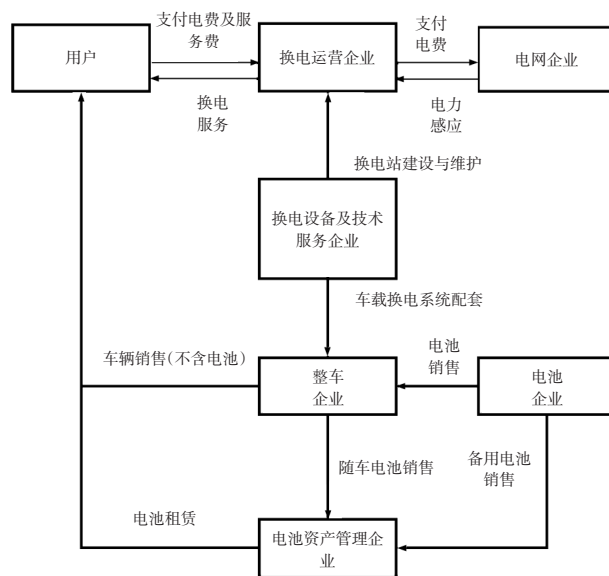


图1 换电模式产业生态结构

换电技术及设备服务企业:负责车载换电系统总成的设计与制造,换电站站体与换电机构的设计、制造、施工以及维护^[17]。重型载货车领域的典型换电技术及设备服务企业主要有玖行科技、瀚川智能、科易动力、三一锂电。

电池资产管理企业:负责购买随车电池,并向用户提供电池租赁服务,属于重资产运营企业^[18]。

电池企业:负责随车动力电池以及换电站备用电池的设计及制造,其中,随车动力电池向整车企业出售,待车辆售出后再由电池资产管理企业购买,换电站备用电池直接向电池资产管理企业出售^[19]。

电网企业:负责换电站建设时的电力扩容,向换电站提供运营所需电力,并向换电运营企业收取电费。

2 重型载货车换电站运营经济性测算模型

目前我国诸多换电运营企业在为用户提供换电服务的同时,还为用户提供电池租赁服务,即也充当电池资产管理企业的角色^[20]。因此,本文在测算重型载货车换电站运营经济性时,将换电运营企业和电池资产管理企业视为一家业务主体。

重型载货车换电站的年利润模型 R 为:

$$R = E - C \quad (1)$$

式中, E 为重型载货车换电站年收入, C 为重型载货车换电站年支出。

重型载货车换电站年收入 E 为:

$$E = E_c + E_s + E_r \quad (2)$$

式中, E_c 为换电电费收入; E_s 为换电服务费收入; E_r 为电池租金收入。各项收入计算方式如下:

$$E_c = P_e \cdot Q_s \quad (3)$$

$$E_s = P_s \cdot Q_s \quad (4)$$

$$E_r = P_r \cdot n_v \times 12 \quad (5)$$

式中, P_e 为基础平均电价; P_s 为平均换电服务费价格; P_r 为单块动力电池月租赁价格; n_v 为随车电池数量; Q_s 为换电站年换电量, 其计算公式为:

$$Q_s = \frac{n_v \cdot d_m \times 12}{e_v} \quad (6)$$

式中, e_v 为车辆单公里能耗; d_m 为车辆月行驶里程。

重型载货车换电站年支出 C 为:

$$C = C_s + C_b + C_c + C_{site} + C_m + C_{main} \quad (7)$$

式中, C_s 为换电站年折旧费用; C_b 为电池年折旧费用; C_c 为换电电费支出; C_{site} 为换电站土地租赁费用; C_m 为换电站运营人工费用; C_{main} 为换电站维修与维护费用。

换电站按照平均年限法计算年折旧费用:

$$C_s = \frac{P_s(1-r_s)}{T_s} \quad (8)$$

式中, P_s 为换电站建设成本(不含站内备用电池); r_s 为换电站期末残值, 本文按照 10% 计算; T_s 为换电站折旧年限, 经调研, 重型载货车换电站采用高强度铝合金外壳, 耐腐蚀耐盐雾, 有效使用寿命超过 20 年^[23]。考虑到实际应用情况, 本文中重型载货车换电站折旧年限按照 10 年计算。

换电站备用电池及随车电池同样按照平均年限法计算折旧费用:

$$C_b = \frac{P_b(n_v + n_s)(1-r_b)}{T_b} \quad (9)$$

式中, P_b 为单块动力电池价格; n_v 和 n_s 分别为随车电池和换电站备用电池数量; r_b 为动力电池期末残值, 本文按照 10% 计算; T_b 为动力电池折旧年限。

经调研, 动力电池寿命以首先达到 3 000 次充放电循环或 5 年使用期限为准, 因此, 动力电池折旧年限为:

$$T_b = \begin{cases} 5 & \frac{e_v \cdot q \times 3\,000}{d_m \times 12} > 5 \\ \frac{e_v \cdot q \times 3\,000}{d_m \times 12} & \frac{e_v \cdot q \times 3\,000}{d_m \times 12} \leq 5 \end{cases} \quad (10)$$

式中, q 为单块动力电池电量, 本文按照 $q=282 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 计算。

重型载货车换电站为保证运营效率, 暂时不考虑利用峰谷电价价差盈利, 即亏电状态的动力电池换下后立即进行充电, 换电电费实行“平进平出”, 因此换电电费支出:

$$C_c = E_c \quad (11)$$

3 典型场景下重型载货车换电站运营经济性分析

换电站建设成本硬件成本(如站体设备、箱变、电缆)以及施工成本(如电力扩容、地面硬化)^[21-22]。换电站运营成本(如土地年租金、人力成本、设备维修与维护)和固定资产成本(如动力电池)。换电站固定资产投入与运营成本明细如表 1 所示。

表 1 换电站固定资产投入与运营成本明细

成本项目		费用/万元	备注
固定资产投入	换电站建设成本 P_s	站体设备	300
		箱变及电缆	80
		电力扩容、地面硬化等施工	150
	单块动力电池价格 P_b	40	采用宁德时代 282 kW·h 动力电池, 度电单价为 1 420 元/kW·h
	年均土地租赁费用 C_{site}	2	
运营成本	年均人工费用 C_m	30	4 代换电站和 4.5 代换电站均需要人员值守, 采用 3 班轮换制, 每班 1 人, 人员工资按照 10 万元/人计算
	年均设备维修与维护费用 C_{main}	20	

为了更好地推广换电重型载货车, 换电运营企业往往会通过合理定价来保证: (1) 换电车辆的全生命周期经济性优于传统燃油车辆; (2) 换电车辆的单公里能源综合费用(包含电费、服务费、动力电池租金公里折算费用)优于传统燃油车辆。因此, 本文重点分析不同场景下重型载货车换电站的运营经济性。

本文选取电厂短倒运输、钢厂短倒运输、港口内运输、城市混凝土运输、城建渣土运输这 5 个典型换电重型载货车应用场景, 通过实地调研的方式获取车辆及换电站运营特征, 如表 2 所示。

利用上一节中的重型载货车换电站运营经济性测算模型分别计算各典型场景下重型载货车换电站的年利润, 计算结果如图 2 所示。城市混凝土运输和港口内运输场景下的重型载货车换电站年处于负盈利状态, 分别亏损 89 万元和 16 万元。从这 2 个场景的运营情况看出, 其服务的换电重型载货车数量均较

少。此外,城市混凝土运输场景下的车辆平均月行驶里程为3 500 km,为所选场景中最低,最终导致城市混凝土运输场景下的重型载货车换电站年换电量较

少,盈利水平较差。城建渣土运输、电厂短倒运输和钢厂短倒运输场景下的重型载货车换电站年换电量均超过6 GW·h,实现了不同程度上的盈利。

表2 典型场景下车辆及换电站运营特征

应用场景	城建渣土运输	城市混凝土运输	港口内运输	电厂短倒运输	钢厂短倒运输
运输线路	工地与填埋场之间往返	水泥厂和周边工地之间往返	港口内货物堆场和码头之间往返	电厂和煤炭堆场之间往返	钢厂和港口之间往返
换电站位置	渣土车车队场站内	水泥厂内	港口内	电厂附近	运输线路中间
车队规模 n_{vehicle} /辆	80	20	20	40	50
换电站备用电池数 n_{spare} /块	10	4	4	7	7
单程运距/km	5~30	5~30	1~3	5~35	100
单日运输频次/次	10~15	8~10	50~100	6~8	2
月出勤天数/d	30	28	30	30	28
月平均行驶里程 d_m /km	5 500	3 500	6 000	8 400	11 200
车辆单公里能耗 e_s /kW·h·km ⁻¹	1.7	1.8	1.7	1.9	1.9
基础平均电价 P_e /元	0.6	0.6	1	0.4	0.6
平均换电服务费 P_s /元	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
单块动力电池月租金 P_r /元	5 000	5 000	6 500	6 000	6 000

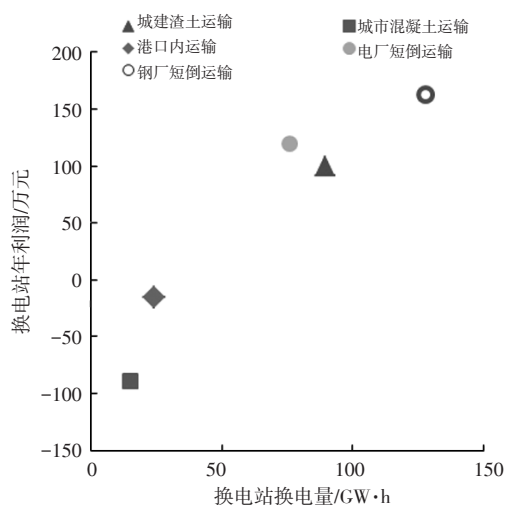


图2 各场景下重型载货车换电站年利润

4 重型载货车换电站盈利平衡点分析

为对比分析不同场景下重型载货车换电站运营经济性差异,找到重型载货车换电站盈利平衡点,对换电站运营、车队规模等条件进行统一假设:(1)换电站均按照10年期折旧;(2)换电站建设以及车辆采购成本均相同,换电站均配置7块备用电池;(3)车队运营规模为50辆,均采用无动力底盘购买,动力电池租赁支付月租金的方式;(4)车队每月出勤天数均为28 d;(5)动力电池电量为282 kW·h,寿命均按照达到85万kW·h放电或使用5年的标准判定(先到为准);(6)换电站采用的基础平均电价 P_e (按照

0.6元/kW·h计算)、换电服务费 P_s (按照0.4元/kW·h计算)和单块动力电池月租金 P_r (按照6 000元/月计算)均相同。在以上假设条件下,不同应用场景下重型载货车换电站年换电量与年利润如图3所示。

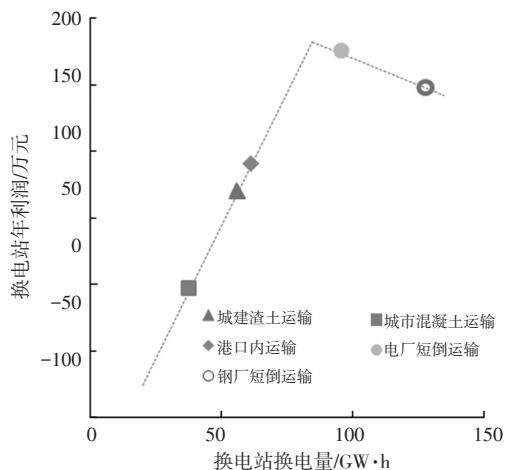


图3 重型载货车换电站年换电量与年利润关系

可以发现,除城市混凝土运输场景外,城建渣土运输、港口内运输、电厂及钢厂短倒运输场景均能在一定条件下实现盈利。其中,电厂及钢厂短倒运输场景下单车平均月行驶里程较高,换电站盈利能力较强。同时可以发现,当重型载货车换电站年换电量 $Q \leq 8.45$ GW·h (即单车年换电量小于等于17万kW·h时,换电站年利润与年换电量成线性正相关;当换电站年换电量 $Q > 8.45$ GW·h (即单车年换电量大于

17万 kW·h)时,换电站年利润与年换电量成线性负相关;当换电站年换电量 $Q_s > 3.85 \text{ GW}\cdot\text{h}$ 时,换电站可以实现盈利。不同场景下重型载货车换电站年利润 R 与换电站年换电量 Q_s 拟合后的关系为:

$$R = \begin{cases} 0.4Q_s - 155.85 & Q_s \leq 8.45 \text{ GW}\cdot\text{h} \\ -0.08Q_s + 250 & Q_s > 8.45 \text{ GW}\cdot\text{h} \end{cases} \quad (12)$$

导致后半段换电站年利润与年换电量成线性负相关的原因是:当单车年换电量大于17万 kW·h时,动力电池先达到0.85 GW·h 电量,使用寿命少于5年,因此换电运营企业需为车辆提供新的动力电池,从而导致动力电池年折旧率和折旧成本升高,最终使换电站年收益减少。

5 结论

本文将换电运营企业和电池资产管理企业视为一家商业主体,建立了重型载货车换电站运营经济性测算模型,测算了换电重型载货车典型应用场景下换电站的运营经济性。研究结果发现:(1)重型载货车换电站运营经济性与换电站年换电量密切相关,随着换电站年换电量的升高,换电站年利润也随之增加;但当单车年换电量达到17万 kW·h后,动力电池将先于5年使用期限退役,折旧率和折旧成本随之升高,同时换电站年收益也会随之减少;(2)换电运营企业为保证运营收益,应选择具备高频、重载、大运营强度等特征的区域短倒场景,例如电厂及钢厂短倒运输,重点考察目标应用场景下换电重型载货车车队规模以及月行驶里程,保证换电站年换电量达到盈利平衡点。

未来,随着换电重型载货车互换性标准的统一,各换电站有望兼容不同重型载货车生产厂家的车型,换电站的运营经济性将会与其选址的合理性相关。此外,换电运营企业还可以通过以下方式提高运营经济性:(1)合理设定换电服务费以及电池租赁费;(2)与整车生产企业、电池生产企业签订框架协议,以集采的方式采购电池,降低电池购置成本;(3)布局动力电池梯次利用以及回收业务,拓宽产业生态,从而为其带来新的经济价值。

参 考 文 献

[1] 邱彬,彭海丽.我国商用车低碳化发展环境研究与技术路径分析[J].汽车工程学报,2022,12(2):127-136.
[2] 易珂,廖颖慧.我国换电重卡市场现状及前景分析[J].专用汽车,2022(8):5-7.
[3] 宋辉,张敬贵,王子焯,等.电动重卡市场发展现状及趋势

分析[J].汽车文摘,2021(12):17-21.

- [4] 刘颖,张荣旺.新能源汽车金融创新:重构产业价值释放潜力[N].中国经营报,2023-01-09.
[5] 工业和信息化部.工信部启动新能源汽车换电模式应用试点工作[EB/OL].(2021-10-28)[2023-04-16].http://www.gov.cn/xinwen/2021-10/28/content_5647458.htm.
[6] 北京青年报.河北唐山投运换电重卡超5000辆 投运量居全国第一[EB/OL].(2022-03-15)[2023-04-08].<https://new.qq.com/rain/a/20221108A07YLP00>.
[7] 第一商用车网.新能源重卡12月实销超6000辆爆表!全年2.5万辆涨140%换电重卡谁第一?[EB/OL].(2023-01-12)[2023-06-12].<https://www.cvworld.cn/news/Onedatata/230112/205654.html>.
[8] 新浪汽车.电卡观察 | 2022年换电重卡盘点[EB/OL].(2023-02-01)[2023-08-01].https://www.sina.com.cn/article_1461887147_5722a0ab00100vlgj.html.
[9] 汽车总站网.电卡观察 | 换电 or 充电,重卡电动化技术路线之争[EB/OL].(2023-04-27)[2023-07-27].<https://new.qq.com/rain/a/20230427A0A8JR00>.
[10] 齐涛.重卡换电模式经济性分析[J].商用汽车,2022,375(5):46-48.
[11] 姜运哲,宋承斌,周怡博,等.典型场景下换电重卡的技术经济性分析[J].工业技术经济,2022,41(2):154-160.
[12] 冯莉,朱云尧.换电重卡及换电站经济性测算和发展判断[J].商用汽车,2023(4):64-68.
[13] 傅鹏,杨凤玖,张禄郗.电动汽车充、换电模式经济性研究[J].内蒙古电力技术,2022,40(2):22-27.
[14] 殷晓雪.换电重卡产业链的环境与经济优化研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2021.
[15] 张梅梅,黄榆洁,周梦迪,等.换电生态下换电站电池配置及经济性研究[J].工业技术经济,2022,41(9):18-25.
[16] 中国电动汽车百人会.车电分离模式产业生态系统构建研究[EB/OL].(2021-01-01)[2023-08-25].<http://www.ev100plus.com/#/report/detail/38>.
[17] 王传义,张顺义.浅谈商用车换电技术方案[J].汽车电器,2023(9):29-30+33.
[18] 周雪松.“双碳”目标下电池银行和智能汽车未来可期[N].中国经济时报,2022-03-28(002).
[19] 肖逸思.宁德时代搅动换电市场 这次盯上了重卡[N].第一财经日报,2023-06-14(A04).
[20] 张宁.财务视角下的乘用车换电模式研究[J].汽车文摘,2021(6):41-44.
[21] 东北证券.新能源汽车换电站模式研究:新能源新赛道,换电风口再起[EB/OL].(2022-08-25)[2023-08-25].<https://new.qq.com/rain/a/20220825A01EJC00>.
[22] 胡斌.新能源汽车换电商业模式盈利优化研究[D].杭

州:浙江大学, 2022.

E-mail: guhongjian@catarc.ac.cn

[23] 汽车动力总成. 重卡用换电技术解析[EB/OL]. (2022-02-17) [2023-08-25]. <https://auto.vogel.com.cn/c/2022-01-17/1154739.shtml>.

高越,男,1993年生,工学硕士学位,工程师,就职于中汽信息科技(天津)有限公司,研究方向:清洁交通、商用车电动化。

(责任编辑 梵铃)

E-mail: gaoyue2019@catarc.ac.cn

戴淼,男,1990年生,工学学士学位、工程师,就职于中汽信息科技(天津)有限公司,研究方向:商用车行业洞察、商用车电动化。

【作者简介】

顾洪建,男,1979年生,管理学硕士学位,副高级工程师,现任中汽信息科技(天津)有限公司党委委员、副总经理,研究方向:新能源汽车、汽车产业经济

E-mail: daimiao@catarc.ac.cn

《汽车工艺与材料》投稿须知

《汽车工艺与材料》杂志创刊于1986年,是由中国第一汽车集团有限公司主办的国内外公开发行的汽车制造类月刊、中国汽车工程学会会刊,是全面报道汽车先进制造工艺与材料应用的专业性杂志。

《汽车工艺与材料》杂志始终致力于汽车制造新技术的开发(如汽车制造领域中的四大工艺)、新材料的研究应用、轻量化技术、智能制造、绿色制造技术、加工技术、生产装备、检测技术、数字化模拟技术及生产管理等方面的报道。努力为汽车及零部件生产中各门类的决策者及研究开发人员提供更好、更快、更节约成本的汽车行业发展动态信息,为其适应国内与国际激烈的汽车生产市场竞争提供有效的帮助。

《汽车工艺与材料》杂志关注领先的整车及零部件企业和材料、装备等供应商,及时报道汽车行业最新的设计、制造、材料、加工技术、生产装备、检测技术等方面的成功案例。

主要栏目:

AT&M视界、生产现场、材料应用、生产装备、检测技术、数字化园地、行业动态等。

投稿要求:

- (1) 来稿须具有独创性并与实践相结合,文章字数最好控制在6000字以内。
- (2) 来稿不能在国内、外公开杂志上发表过,严禁一稿多投,对同时一稿多投者,编辑部将视对本刊声誉、工作上造成的影响程度,采取相应处理措施。
- (3) 来稿的试验方法、试验数据、试验结论必须准确、可靠。
- (4) 来稿须包括以下项目:题名、作者姓名、作者单位、中文摘要(200字左右)、参考文献等。来稿采用word文档的格式。
- (5) 来稿文章格式应符合一般科技论文格式,或参考近期本刊所刊登文章格式。
- (6) 稿件图片请发清晰原图,图形尺寸应适中,并配上图名和图号,且文中要有相应体现(例如:如图1所示、见图2等)。图中英文需要翻译成中文。
- (7) 计量单位必须采用(或换算成)中华人民共和国法定计量单位。文章中文字母大小写、上下角标应书写正确,避免同一符号代表2种及以上物理量的情况出现。
- (8) 文章必须附有公开发表的参考文献,且在文中应标注文献引用处。参考文献录项目应齐全,包括作者姓名、题名、刊名(或书名,图书应注明出版地与出版社)、出版年、卷、期。
- (9) 请在来稿时注明作者联系方式(包含手机、办公室电话、E-mail等)。
- (10) 本刊投稿网址:<http://qcgycj.cbpt.cnki.net>,咨询电话:0431-82028069。

竭诚欢迎汽车行业及相关各界的专家学者积极向本刊投稿。