

# Key technologies for intelligent energy storage battery PACK line

Wenhui Fu

Ningde Sikeqi Intelligent Equipment Co., Ltd., Ningde, Fujian, 352100, China

## Abstract

The main function of PACK line is to assemble multiple battery cells into battery modules or packs of different specifications to meet the specific needs of different customers. Energy storage batteries have the characteristics of short product life cycle, small and diversified quantity, rapid market changes, and fierce market competition. Therefore, the PACK line for energy storage batteries also faces enormous challenges which is the crucial part of energy storage battery manufacturing. Firstly, the paper introduces the main challenges which are faced by the current intelligent energy storage battery PACK line. Secondly, the key technologies are proposed to solve these problems. Finally, the development trend of intelligent PACK line for energy storage batteries is discussed.

## Keywords

Energy Storage Battery, PACK Line, Intelligent

## 储能电池 PACK 线智能化的关键技术

付文辉

宁德思客琦智能装备有限公司, 中国·福建 宁德 352100

## 摘要

由于储能电池具有产品生命周期短、量少且多样化、市场变化迅速、市场竞争激烈等特点, PACK线的主要功能就是将多个电芯装配成不同规格的电池模组或电池包, 从而满足不同客户的具体需求。因此, 储能电池PACK线作为储能电池制造中非常关键的一环, 同样也面临着巨大的挑战。为此, 本文首先介绍了当前储能电池PACK线智能化面临的主要挑战, 然后提出解决这些问题需要攻克的关键技术, 最后展望了储能电池PACK线智能化的发展趋势。

## 关键词

储能电池; PACK线; 智能化

## 1 引言

储能电池产业是新能源领域的风口, 全球新型储能新增储能装机容量在 2023 年创下纪录, 新增装机容量达到 42GW/99GWh, 同比增长 163%/183%, 至 2030 年估计新增装机容量将以 27% 的复合年增长率增长。但由于面向客户众多、需求多样, 储能电池产品型号多, 生产切换频繁, 而现有的新能源电池生产线柔性兼容能力弱、产品切换周期长, 由此导致现有的新能源电池生产线在面对储能电池生产需求时存在着总体利用率低、制造成本快速增加等问题。提高新能源电池生产线的智能化水平是解决当前储能电池生产中小批量、多品种、切换频繁等问题的关键。

## 2 储能电池 PACK 线面临的挑战

PACK 线是新能源电池生产线中非常关键的一环, 其

【作者简介】付文辉(1978), 男, 中国福建宁德人, 本科, 工程师, 从事智能装备研发, 机械设计及其制造研究。

主要功能就是将多个电芯装配成不同规格的电池模组或电池包, 从而满足不同客户的具体需求。不难看出, PACK 线的智能化水平在很大程度上决定了新能源电池生产线的产品适应能力。因此, 储能电池 PACK 线在储能电池生产过程中也同样面临着巨大的挑战, 主要表现在以下几个方面:

### 2.1 产品的少量多样化

少量多样化的生产是储能电池较动力电池生产最大的不同, 产品周期更短、批量更小、品种更多, 如何柔性、高效地组织储能电池 PACK 线的资源, 生产出所需的储能电池是首先要关注的问题。

### 2.2 快速变化的市场

储能电池 PACK 线需要敏捷地应付变化快速且难以预测的订单式生产。这对执行制造系统的柔性、响应性以及各种动态复杂信息的处理能力提出了更高的要求。

### 2.3 品质与成本的竞争压力

储能电池产业所面临的不仅是国内竞争而且是面对全球各地一流产品的与日俱增的竞争压力, 需要不断提升储能

电池的品质及降低其生产成本。

因此,开展储能电池 PACK 线智能执行制造系统研发,实现高兼容、高节拍、高产能、高综合利用率、高设备能力指数的储能电池柔性制造,从而进一步开展提高电池 PACK 执行制造系统的生产效率并且降低储能电池的生产成本。

### 3 PACK 线智能化的关键技术

突破 PACK 线智能化的关键技术是提高储能电池 PACK 线智能水平,实现高兼容、高节拍、高产能、高综合利用率、高设备能力指数的储能电池制造的关键。

#### 3.1 智能化体系架构及其智能生产调度

让储能电池 PACK 线具有“智慧”属性不仅需要通过网络串联众多的控制器、传感器,还需要结合物联网技术将数据传输给上层的制造执行系统,从而提升储能电池 PACK 线的整体智慧水平。储能电池 PACK 线需要在分析生产调度管理现状的基础上,结合 PACK 线在生产计划与作业管理、质量管理、物料管理追溯、设备绩效管理、统计与分析等方面的功能需求,设计相应的 MES 系统基本功能构架,详细分析系统各个功能模块,探讨 MES 系统实施方案及实施保障措施。

储能电池 PACK 线是为了向顾客提供个性化的产品,要求企业能够基于每个顾客的需求做出生产决策,因为如何有效地平衡有限的生产能力和顾客需求之间的差异是 PACK 线生产调度必须解决的问题。生产调度问题是一类非常重要的组合优化问题,进化算法作为一类群体智能优化算法,可以通过一次运行获得多个非支配解,非常适合求解离散的多目标优化问题,并已被广泛应用于求解多目标调度问题<sup>[1-6]</sup>。

#### 3.2 储能电池 PACK 线数字孪生仿真技术

数字孪生技术是目前智能制造研究中较为受到关注的方向之一<sup>[7-9]</sup>。无论是模型理论、机制模式和算法设计等更是其中热点,理论上的研究较多,但是目前从应用层面来看有待进一步提升。

储能电池 PACK 线的生产工艺力学动态性能变化非线性,装配误差随机性强,机理结构复杂,单独采用解析物理模型难以有效获得电池生产工艺的可靠仿真效果。这就需要综合运用电池 PACK 多源异构生产数据集成方法、电池关键生产工艺的机理与数据混合驱动数字孪生模型、电池生产质量的演化与预测方法,揭示电池关键生产工艺参数对生产质量的影响机制,提出面向产品换型时关键工艺参数的快速优化和决策方法,形成多品类储能电池 PACK 线统的数字化设计技术体系,解决多规格多品类电池切换生产中的关键工艺参数优化的核心问题,为储能电池 PACK 线提供生产工艺参数决策的理论和依据。

#### 3.3 高精度、高效率的在线视觉智能测量技术

高精度、高效率的在线智能测量技术可大幅度提高产品检测精度和降低在线定位时间,进一步提高储能电池 PACK 线的智能化。机器视觉可通过提取被测物的边缘信息

而获得被测物的几何参数<sup>[10-13]</sup>,基于三维点云数据的三维视觉检测系统通过对 3D 激光线扫相机扫描到的三维点云数据进行处理,可以获取待检测工件的宽度、高度和弧度等信息,从而可以快速准确的检测生产线的生产情况,提高生产效率与正品率。视觉测量通过提取被测物的边缘信息而获得被测物的几何参数,首先提取被测对象的边缘,其定位精度会直接影响最终的测量结果。提取被测对象边缘的精度会直接影响机器视觉最终的测量结果,因此如何提取被测量的边缘、线条等图像特征并进行尺寸精度检测是视觉智能检测的关键。

#### 3.4 3D 飞行激光焊接工艺

激光焊接技术在电池生产领域经过十多年的发展<sup>[14-15]</sup>,由计算机控制的振镜系统可以对激光快速扫描,并可对传统中难以到位的焊接区域进行偏转焊接。传统激光加工系统的主要工作流程与激光飞行焊接系统的主要区别在于传统方案采用“加工—定位”的步进式方案,激光飞行加工采用“连续加工”的方案,因此相较于传统激光加工方式,激光飞行焊接技术的效率明显提高,且可加工幅面也进行了相应的扩展。振镜激光飞行焊接就是一个以机器人和振镜模块组成的移动激光焊接系统,机器人挂载振镜焊接系统能够在移动过程中加工完工件,而无需再静态等待振镜激光出光加工完成后再进行下一次焊接加工。近年来,伴随着二维振镜发展成熟,三维扫描振镜激光焊接技术引入了运动跟踪与补偿算法,完成了机器人系统与振镜系统的运动跟踪与补偿的高度耦合,实现了高效、高精的联动运动,在保证加工质量的前提下大幅度提高了焊接加工效率,从而可大幅度提高储能电池 PACK 线的生产效率。

## 4 储能电池 PACK 线智能化的发展趋势

### 4.1 面向智能制造体系的智能生产调度方法

储能电池 PACK 线是为了向顾客提供个性化的产品,要求企业能够基于每个顾客的需求做出生产决策,因为如何有效地平衡有限的生产能力和顾客需求之间的差异是 PACK 线生产调度必须解决的问题。在按订单生产的生产经营模式下,针对考虑交货期问询、可控加工时间和制造期限的储能电池 PACK 线生多目标产调度问题,以自适应多种群策略为核心思想的新型的多目标进化算法,建立了最小化最迟完成时间和总延迟时间的多目标数学模型,并设计了基于多种群策略的多目标遗传算法进行求解。

### 4.2 多品类电池组数字孪生产线的建模方法

通过传感器等装置对电池生产车间环境因素、产品型号规格、设备运行信息、电芯尺寸等多源异构数据进行实时采集,构建充分融合物理机制和数据特性的高可靠电池 PACK 关键生产工艺数字孪生模型,发展多源异构数据的高效处理融合技术,揭示机器人生产工艺参数对生产质量的影响机制,解决面向产品快速换型时工艺参数的精准调控和匹

配问题,突破数字孪生工艺参数生成及整线虚拟调试技术在电池PACK成组装配、焊接、涂胶、气密测试等关键生产工艺的落地实践与重要工程应用。

#### 4.3 复杂电池制造工艺下的高精度、高效率的在线智能测量技术

视觉测量通过提取被测物的边缘信息而获得被测物的几何参数,提取被测对象的边缘,其定位精度会直接影响最终的测量结果。利用深度学习分算法库提取电池模组被测量的边缘、线条等图像特征并进行尺寸精度检测,利用3D成像配合视觉算法的解决方案可以对储能电池表面的缺陷进行精确检测,提升小缺陷关注度,实现对细小缺陷的精确检测。

#### 4.4 高速3D飞行激光焊接工艺

由整个焊接过程来看,移动振镜的补偿主要思路为:当获得机械手在移动过程中单位时间内的位移量,将此位移量补偿入振镜图形的插补轨迹表达式中,理论上可使得移动过程中振镜图形轨迹不会因为机械手动态移动而产生图形变形。在进行激光飞行焊接的动态图形补偿前,需要先确定静态振镜焊接图形是否正确,以此来排除静态条件下振镜的本身图形畸变影响。由激光控制软件的基本图元实现原理可知,其轨迹图元的实现将通过插补算法实现而成。引入了运动跟踪与补偿算法,完成了机器人系统与振镜系统的运动跟踪与补偿的高度耦合,实现高效、高精的联动运动,在保证加工质量的前提下大幅度提高激光焊接加工效率。

### 5 结论

储能电池PACK生产线作为新能源产业链中的关键一环,正迎来前所未有的发展机遇,智能化已成为储动力电池PACK生产线不可逆转的趋势。通过智能化与自动化深度融合,储能电池PACK生产线实现了设备间的无缝互联与数据的实时分析,显著提升了生产效率与产品质量,可以满足工商业储能、电网调频等场景的差异化需求。

#### 参考文献

[1] S.Huang, Y.Guo, Q.Wu, S.Zha, L.Song, "Optimization Algorithm of UWB Positioning for Aircraft Assembly Workshop," Transactions of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Vol.35,2018, 44-53.

[2] B.Schleich, N.Anwer, L. Mathieu, S.Wartzack, Shaping the digital twin for design and production engineering, CIRP Annals, Vol.66,

2017, 141-144.

[3] Y.Zheng, S.Yang, H.Cheng. An application framework of digital twin and its case study, Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, Vol. 10, 2019, pp. 1141-1153.

[4] Xu, Z.J.; Xu, D.H.; He, J.; Wang, Q.; Liu, A.H.; Xiao, J.F. (2017). Mixed Integer Programming Formulations for Two-Machine Flow Shop Scheduling with an Availability Constraint. Arabian Journal for Science & Engineering, Vol. 43, No. 3, 1-12. doi: 10.1007/s13369-017-2763-0

[5] Xuan,H.; Li,B. (2013).Scheduling dynamic hybrid flowshop with serial batching machines. Journal of the Operational Research Society, Vol. 64, No. 6, 825-832. doi: 10.1057/jors.2012.64

[6] Sun, G.X.; Bin, S. (2018). A new opinion leaders detecting algorithm in multi-relationship online social networks. Multimedia Tools and Applications, Vol. 77, No. 4, 4295-4307.

[7] 黄佳圣,施佳宏,易扬,许红祥,闫月晖,刘金锋,刘晓军.面向微组单元的数字孪生同步方法及系统实现[J].计算机集成制造系统,2021,27(02):412-422.

[9] 万峰,邢香园,吴剑锋,赵文浩,王治,陈瑞启.基于数字孪生的卫星总装过程管控系统[J].计算机集成制造系统,2021,27(02): 631-641.

[10] GENG J. Structured-light 3D surface imaging: a tutorial[J]. AdvOpt Photon, 2011, 3(2):128-60.

[11] DANIEL S 5 RICHARD S. High-accuracy Stereo depth maps using structured light[C]//2003 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2003.Proceedings. IEEE, 2003.

[12] JALKIO JA,KIM R C5 CASE S K .Three dimensional inspection using multistribe structured light[J]. Optical Engineering, 1985, 24(6):966-74

[13] DAVISON A J .Real-time simultaneous localisation and mapping with a single camera; proceedings of the EEEE International Conference on Computer Vision, F, 2003[C].

[14] 韩善果,杨永强,黄冬林,王红卫,振镜激光扫描焊接工艺及其应用[A],华南理工大学机械与汽车工程学院.

[15] Xi L, Jin L. Galvanometer scanning technology for laser additive manufacturing[C]//Society of Photo-optical Instrumentation Engineers. 2017.