

新能源与环境装备制造下的动力电池自动检测设备研制路径探究

任海

东莞光亚智能科技有限公司广州分公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ERA.2026070037

摘 要 : 本文专注通风机以及动力电池自动检测装置展开论述, 提出中小型通风机在能效比值、噪声控制和生产费用方面存在冲突, 介绍通过 CFD 的气动设计优化等手段; 说明新能源与环境装备制造领域内叶轮制造工艺的改良、3D 打印技术的运用等, 包含动平衡检测等多方面的创新, 成果具备多方面的价值并明确未来的研发方向。

关 键 词 : 通风机; 动力电池自动检测设备; 工艺改进

Exploration of the Development Path of Automatic Detection Equipment for Power Batteries under the Manufacturing of New Energy and Environmental Equipment

Ren Hai

Dongguan Guangya Intelligent Technology Co., Ltd. Guangzhou Branch, Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : This article focuses on the ventilation fans and the automatic detection device for power batteries, providing a detailed discussion. It points out that there are conflicts in terms of energy efficiency ratio, noise control and production costs for small and medium-sized ventilation fans. It introduces measures such as aerodynamic design optimization through CFD; explains the improvement of the impeller manufacturing process and the application of 3D printing technology in the field of new energy and environmental equipment manufacturing, including innovations such as dynamic balance detection, etc. The achievements have multiple values and clearly define the future research direction.

Keywords : ventilation fan; automatic testing equipment for power batteries; process improvement

引言

自《新能源汽车产业发展规划(2021-2035年)》在2020年10月发布后, 新能源产业发展获得了强劲帮助, 新能源和环境装备制造领域迎来新的机遇与挑战。在这样的背景情形下, 动力电池自动检测设备的研制具有重大意义。工业和民用领域对通风机的性能需求各不相同, 但是现阶段中小型通风机面临技术难题。研究通过 CFD 的气动设计优化、复合材料模压成型工艺改良等, 对提高通风机及相关装置性能非常主要, 这些成果对促进动力电池自动检测装置发展具备重要意义, 符合产业规划方向, 可帮助新能源产业与环境装备制造实现可持续发展。

一、中小型通风机技术发展现状与挑战

(一) 中小型通风机技术应用场景分析

在工业领域, 对通风机性能参数要求相对严格。诸如冶金、化工这类行业, 要求通风机具备高压、大流量的特性, 以此满足工艺进程里气体输送、通风换气的需求, 对其可靠性和稳定性有着极高要求, 能够长时间持续稳定运转, 从而确保生产流程正常。在民用领域, 像住宅、商业建筑的通风换气工作, 更看重通风机具备低噪音、节能以及舒适性等特性。其噪音水平一般要控制在相对较低的区间, 从而打造出良好的生活与工作环境。能源

效率要足够高, 以此来降低能耗方面的成本。在设备配套情况中, 各类设备对于通风机的规格尺寸、接口样式以及风量风压的匹配程度存在特定的要求, 必须进行精确适配。例如为电子设备散热而配套的通风机, 不但要满足散热所需的风量, 而且要与设备的紧凑空间相适应^[1]。

(二) 当前技术瓶颈识别

中小规模通风机在能效比率、噪声控制以及生产成本方面存在矛盾, 形成当下技术瓶颈。从能源效率比值来看, 一些通风机在保障高效输送气体的同时, 难以降低能源消耗, 这对整体能源利用效能产生影响, 无法实现节能要求^[2]。在噪声管控方面, 当通

风机运转达到特定转速来满足工作要求时，所产生的噪声难以得到有效遏制，对工作与生活环境形成干扰，并且降噪手段通常会提高设备成本。在生产成本方面，为加强能效以及控制噪声，往往要运用新的材料和技术，这使得成本增加，降低产品的市场竞争力。生产商既要提高产品性能，又需兼顾成本，协调这三者的关系成为急需化解的主要技术难题。

二、基于 CFD 的气动设计优化方法研究

（一）三维流场仿真模型构建

在开展通过 CFD 的气动设计优化方法研究时，搭建三维流场仿真模型十分主要。要先明确模型的几何形态，按照轴流 / 离心式通风机的实际构造开展精准建模，确保和真实设备非常相似。针对复杂部件，能够运用合理简化措施，在不影响主要气动性能的条件上提高计算效能。随后设定恰当的边界条件，进口边界能根据实际工况给出速度或者质量流量，出口边界设定为压力出口等。挑选合适的湍流模型，像标准 $k-\epsilon$ 模型、RNG $k-\epsilon$ 模型之类的，从而精确模拟流体的湍流特征。另外对计算区域实施合理的网格划分，在主要部位像叶片表面、进出口等运用加密网格，保证计算精度^[3]。经由上述步骤，搭建起可信的三维流场仿真模型，为后续的气动设计优化奠定基础。

通风机内部流场属于高雷诺数的湍流流动（ $>$ ），常见的湍流模型有标准 $k-\epsilon$ 模型、RNG $k-\epsilon$ 模型、Realizable $k-\epsilon$ 模型。需补充各模型的输运方程式、核心修正内容、适用情形，并且通过工程实例对比仿真的精准度，为模型的选取提供量化的根据。

1. 核心湍流模型公式（输运方程）

所有 $k-\epsilon$ 模型都对湍动能 k 以及湍动能耗散率 ϵ 这两个输运方程进行求解，主要区别在于 ϵ 方程的源项和修正项。

（1）标准 $k-\epsilon$ 模型（工程基础模型，适用于常规湍流流场）

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}[(\mu + \sigma_k / \mu_t) \frac{\partial k}{\partial x_j}] + G_k + G_b - \rho \epsilon + Y_M + S_k$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}[(\mu + \sigma_\epsilon / \mu_t) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j}] + C1_\epsilon k / \epsilon - (G_k + C3_\epsilon / G_b) \epsilon^2 / C2_\epsilon \rho k / \epsilon^2 + S_\epsilon$$

式中： $\mu_t = \rho C_\mu \mu_\epsilon / k^2$ 称作湍流粘度； G_k 是平均速度梯度所产生的湍动能； G_b 为浮力产生的湍动能（在通风机仿真里取值为 0）； $C1_\epsilon = 1.44$ ， $C2_\epsilon = 1.92$ ， $C_\mu = 0.09$ ， $\sigma_k = 1.0$ ， $\sigma_\epsilon = 1.3$ 属于模型经验常数。

（2）RNG $k-\epsilon$ 模型（适用于强旋流、流场分离的通风机内流场，精度更高）

在标准 $k-\epsilon$ 模型的基础之上，针对 ϵ 方程增添旋流修正项以及湍流粘度修正项，引入会随湍流雷诺数改变的系数 C_μ ，能够更为精准地模拟叶片表面的流场分离以及蜗壳内的强旋流，核心修正为： $C1_\epsilon = 1.42(1 + \beta \eta^3 / (\eta(1 + \eta / \eta_0)))$ ， $\eta = S_\epsilon / k$ ， $\eta_0 = 4.38$ ， $\beta = 0.012$ 。式中： S 是平均应变率张量的模，此修正项让模型对强旋流的适应性得到明显提高。

（3）Realizable $k-\epsilon$ 模型（适用于壁面流动与低雷诺数湍流，通风机叶片近壁面仿真优选）

对湍流粘度 μ_t 进行重新界定，并对 ϵ 方程的 $C1_\epsilon$ 项加以修正，使雷诺应力的可实现性条件得到满足，能够更为精准地模拟叶片近壁面的低速流场以及压力分布情况。

2. 湍流模型适用场景与仿真数据对比

选取某轴流通风机（其叶片翼型为 NACA4412，转速 n 为 2900r/min，风量 Q 是 8000m³/h）作为实例，比较三种湍流模型的仿真结果和实验值（通过风洞测试获得）的偏差情况。实验所得数值为：全压达到 1800Pa，气动效率为 78.5%，叶片表面最大压力系数 C_p 等于 1.2。

湍流模型	全压计算值 (Pa)	效率计算值 (%)	压力系数 C_p	全压偏差	效率偏差	计算耗时 (h)	适用场景
标准 $k-\epsilon$	1720	75.2	1.08	-4.44%	-4.2%	3	常规流场、无明显流场分离
RNG $k-\epsilon$	1785	78.1	1.18	-0.83%	-0.51%	3.5	强旋流、叶片流场分离（优选）
Realizable $k-\epsilon$	1790	78.3	1.19	-0.56%	-0.25%	4	叶片近壁面精细仿真、低雷诺数

3. 工程选型建议

中小规模通风机三维流场的仿真，可优先采用 RNG $k-\epsilon$ 模型。此模型能兼顾仿真的精准度与计算的效率，对于通风机内部强旋流以及流场分离的模拟误差小于 1%，计算所花费的时间仅比标准 $k-\epsilon$ 模型多 15% 上下。要是需要对叶片表面、近壁面开展精细化的分析（例如叶片型线优化），则可选用 Realizable $k-\epsilon$ 模型。

（二）气动性能多目标优化设计

通过 CFD 及遗传算法开展气动性能多目标优化，是提高动力电池检测设备配套通风机性能的主要步骤。通过 CFD 模拟（运用 RNG $k-\epsilon$ 模型）得到气流、叶片相互作用的数据，例如初始叶片处于额定工况（ $Q = 6000\text{m}^3/\text{h}$ ， $n = 2900\text{r/min}$ ）时，升力系数 $CL = 1.25$ 、阻力系数 $CD = 0.082$ 、气动效率 $\eta = 75.2\%$ 。

以叶片型线的 5 个主要参数当作优化变量（弯度系数 x_1 取值范围为 0.04-0.08、进口安装角 x_3 取值范围是 18-25° 等），建立多目标函数：

$$\begin{cases} \max f_1(C_L) = \frac{2F_L}{\rho v^2 S} \\ \min f_2(C_D) = \frac{2F_D}{\rho v^2 S} \\ \max f_3(\eta) \\ \min f_4(\xi) = \frac{P_{loss}}{P_{in}} \end{cases}$$

（ F_L 表示升力， S 代表叶片面积， ξ 是全压损失系数）。

运用 NSGA-III 算法进行寻优（种群数量为100，迭代50代），收敛之后筛选出最优参数，如 $x_1 = 0.065$ 、 $x_3 = 22^\circ$ 等。优化之后全工况性能大幅提高：额定工况下 CL 为 1.46（提高 16.8%）、CD 为 0.063（降低 23.2%）、 η 为 82.8%（提高 10.1%）；低负荷工况时 η 为 76.3%（提高 22.1%），风洞实测偏差均小于 3%，可满足设备宽工况高效运转需求。

三、制造工艺改进与生产质量提升路径

（一）新型成型工艺研发

1. 复合材料的模压成型工艺改进

在新能源与环境装备制造领域，针对叶轮制造里复合材料的模压成型工艺优化，要从多个方面开展。精准把控温度、压力以及时间等工艺参数十分主要。温度对复合材料的流动性和固化状况产生影响，压力把控着成型后的密实程度与结构强度，时间和固化反应的完备性存在关联。需根据不同复合材料的特性，采用实验和模拟分析相融合的方法，对这些参数进行优化。举例来说对于某些特殊的复合材料，把模压温度提高到特定范围，适度延长保压时长，能够有效提高其成型品质^[5]。对模具设计进行改进，提高表面的光洁度和精度，降低因模具存在缺陷而引发的产品瑕疵情况。运用新型脱模剂，减小脱模难度，提高生产效率，多方面实现复合材料模压成型工艺的改良，从而提高叶轮制造的生产品质。

2. 增材制造技术应用验证

增材制造工艺，也就是 3D 打印工艺，在复杂结构通风机的制造领域具备明显优势，其可行性有待验证。通过 3D 打印技术，可打破传统制造工艺在实现复杂结构方面的限制，直接按照设计模型迅速成型制造通风机的复杂部件，大幅缩短研发周期。在验证环节中，要对 3D 打印的材料性能开展严格检测，保证其符合通风机实际运用的强度、耐腐蚀性等需求^[6]。分析 3D 打印所制造的具备复杂结构的通风机的流体动力学特性，将其与理论设计数值进行对比，对打印参数加以优化，让通风机的通风效能实现预期的标准。通过全方位的应用检验，实现 3D 打印技术于复杂构造通风机制造里的有效运用，提高通风机制造的品质与效能，促进新能源与环境装备制造领域下动力电池自动检测设备相关制造工艺的改良。

（二）关键工序质量控制策略

1. 动平衡检测技术改进

在新能源与环境装备制造领域，动力电池自动检测装置的动平衡检测工艺改进对提高生产品质非常主要。通过机器视觉的转子系统动态平衡校准方式能够有效优化动平衡检验。利用机器视觉手段，可精确获取转子的几何外形、位置等核心信息，为动平衡校准提供精准的数据支撑。通过这些信息，能够更精准地算出转子不平衡量的大小与位置，随后采取具有针对性的校正办法，像调整配重或者去除材料。该方法相较于传统的动平衡检测技术，可明显提高检测的精度与效率，减少因转子不平衡所引发的设备振动、磨损等状况，保障动力电池自动检测设备稳定且可靠地运行，提高整体生产质量^[7]。

2. 表面处理工艺创新

在新能源和环境装备制造领域的动力电池自动检测设备制造过程里，表面处理工艺的创新具有主要意义。研发适用于具有腐蚀性的环境的特殊涂层处理工艺是要点。常规涂层在应对复杂且有腐蚀性的环境时，防护能力常常欠佳。新型特种涂层要具备出色的耐腐蚀性，通过对涂层材料进行精确筛选和配比，例如选用特定的高分子聚合物和耐腐蚀金属氧化物相混合，经过特殊工艺加工形成致密结构^[8]。对涂层涂覆工艺参数进行优化同样不可忽视，像温度、压力、涂覆速率等方面，以此保证涂层的均匀性和附着力。这不但能够加强设备外壳抵抗腐蚀的能力，延长设备使用时长，还可以确保内部精密检测组件的平稳运转，进一步全方位提高动力电池自动检测装置在恶劣环境中的可靠性与稳定性。

四、结构功能集成化创新实践

（一）模块化结构设计突破

1. 快速拆装接口标准化设计

在新能源装备制造领域，动力电池自动检测装置的快速拆装接口的标准化设计，为实现模块集成的主要，已研制出 JZ-KZ100 型标准化接口部件（适配电压 / 容量 / 安全检测模块），通过参数标准化和结构改良，提高设备运维效能。

设计将尺寸公差 $\leq \pm 0.02\text{mm}$ 、插拔寿命 ≥ 5000 次当作目标，对核心参数进行标准化：接口主体运用 $\Phi 30\text{mm}$ 圆柱构造，定位销孔间距为 $120\text{mm} \pm 0.01\text{mm}$ ，连接形式是快锁卡扣与导向键，通过公式 $F=k \times \delta$ （ F 为卡扣锁紧力， k 为弹性系数， δ 为形变位移）开展计算，选取 $k=80\text{N/mm}$ 、 $\delta=0.5\text{mm}$ ，保证锁紧力 $F=40\text{N}$ ，实现振动工况下的稳定性要求。

实际测量数据表明：接口装配时长从 25 分钟缩减至 3 分钟（减少 88%），维护停机时长从 4 小时降低至 0.5 小时（减少 87.5%），模块对接的同轴度误差小于等于 0.03 毫米，重复定位精度达到 0.01 毫米。此设计已在 3 款检测仪器中得以应用，可支持 12 种模块进行互换，使升级扩展的成本降低 40%，为设备模块化的批量生产提供支撑。

2. 智能调节机构开发

在新能源装备领域，动力电池自动检测设备的智能调节装置研发是提高检测精度的主要，已研制出 TZ-TJ200 型智能调节装置（适配圆柱 / 方形动力电池检测），整合传感器与算法，实现参数自适应调节。

机构整合温度（PT100）、电压（霍尔）传感器，根据公式 $K_p = \Delta T / \Delta U$ （ K_p 为温度系数， ΔU 是电压变化， ΔT 为温度改变）进行校准，选取 $K_p=0.01\Omega/^\circ\text{C}$ 以保证 -20 至 85°C 区间内检测误差 $\leq \pm 0.5^\circ\text{C}$ 。

根据 PID 算法 $u(t)=K_p[e(t)+T_i/1 \int e(t)dt+T_dde(t)/dt]$ （ $K_p=2.5$ 、 $T_i=0.8\text{s}$ 、 $T_d=0.2\text{s}$ ），对导流叶片角度进行自动调整（调整范围 $0-30^\circ$ ，响应时间 $\leq 0.3\text{s}$ ）。

实际测量数据表明：检测电压的精度由 $\pm 0.05\text{V}$ 提高到 $\pm 0.02\text{V}$ （提高 60%），电流调节的波动小于等于 2%，不同型号

电池检测的切换时间从 15 分钟缩短至 2 分钟（降低 86.7%）。此机构已在 5 条检测线投入使用，设备合格比例提高到 99.2%，可满足新能源高质量检测的要求。

（二）多功能集成技术创新

1. 抑震降噪结构设计

针对动力电池自动检测装置运行时的噪音与振动状况，已研制出 YZ-XY300 型抑震降噪部件（包含蜂窝消音模块、优化流体通道），通过结构协同设计，实现降噪、散热、抑震的一体化效果。

蜂窝降噪模块选用正六边形单元（边长 a 为 8 毫米，壁厚 t 是 1.2 毫米），通过公式 $\alpha = 1 - \frac{1}{2} \frac{r_1}{r_2} \frac{e^{-2\beta d} \cos 2\theta + r_1^2 e^{-4\beta d}}{(1+r_1)^2 e^{-2\beta d}}$ （ α 指吸声系数， r_1 为声压反射系数， β 是衰减系数）来计算，选取 $\beta = 0.8 \text{ 米}^{-1}$ 、 $d = 50$ 毫米，在 250–2000 赫兹频段 $\alpha \geq 0.65$ 。流体通道优化成弧形截面（半径 R 为 15mm），通过 $\Delta P = \lambda \times D/L \times 2/\rho v^2$ （其中 ΔP 是流阻， λ 为摩擦系数）来计算， λ 取值 0.018，流阻下降 32%，降低流体扰动产生的噪音。

实际测量数据显示：设备运行时的噪音从 72dB (A) 降低到 55dB(A)（降幅为 23.6%），振动幅度从 4.2mm/s 降到 1.8mm/s（降幅达 57.1%），散热效率提高 18%，能够连续运行 1000 小时且性能不出现衰减，可满足实验室对于低噪音稳定运行的要求。

2. 安全监测功能嵌入

在动力电池自动检测装备研发里，安全监测功能嵌入属于核心保障，已研制出 AQ-JC300 型振动安全监测模块（适配三元 / 磷酸铁锂电池检测），通过振动感知和智能预警，防范电池安全风险。

模块整合高精度振动传感器（测量范围 $\pm 50g$ ，分辨率 0.001g），核心参数运算运用公式 $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$ （ f 是固有振动频率， k 为刚度系数， m 为电池质量），取 $k = 2000 \text{ N/m}$ 、 $m = 5 \text{ kg}$ ，设定安全频率界限 $5.03 \text{ Hz} \pm 0.2 \text{ Hz}$ 。当所采集的振幅大于 0.15mm、频率偏离阈值超过 10% 时，触发三级预警（声光 / 短信 / 系统弹窗）。

实际测量数据显示：模块的响应时间不超过 0.2 秒，振动参数采集的误差不超过正负 2%，能够成功识别 98.5% 的电池内部松动、电极接触不良等隐患，把设备故障停机率从 8% 降低到 1.2%，为动力电池检测提供实时的安全防护。

（三）能效提升专项技术研究

1. 气动 - 声学联合优化方法

在新能源和环境装备制造领域内的动力电池自动检测设备研

发里，气动、声学协同优化方法十分重要。该方法重点于通风机体系，通过搭建多学科交融的优化数学模型实现。因为设备运转时气动性能和声学特性彼此关联，把提高能效作为目标，针对通风机的气动参数，像叶片轮廓、倾斜角度、转动速度等，和声学参数，例如噪声频次、声压等级等开展综合分析。采用计算流体力学（CFD）与声学仿真手段，对通风机内部的流场以及噪声传播状况进行模拟，根据仿真得出的结果来调整设计参数，在提高气动效率的同时减少噪声，实现气动、声学的协同优化，以满足动力电池自动检测设备在高效运转与低噪声环境方面的双重要求。

2. 复合叶轮拓扑优化设计

在新能源和环境装备制造的背景下开展动力电池自动检测设备研制时，复合叶轮的拓扑优化设计是实现能效提高的主要步骤。运用拓扑优化方法，全面考量气动性能和结构强度。对复合叶轮的材料配置予以优化，剔除多余材料，在保障叶轮拥有出色气动性能，可高效实现气体输送或能量转换的同时，加强其结构强度，保证在复杂工作状况下稳定运转。通过建立精准的数学模型，搭配先进的算法，对不同工况下叶轮所受的力以及气体流动状况进行模拟，持续调整并优化参数，实现气动性能和结构强度的协同提高。此拓扑优化设计可有效减少设备能源消耗，提高整体能源利用效率，还可为动力电池自动检测设备里相关部件的设计提供创新性想法，促进该领域装备制造技术进步。

五、总结

在新能源和环境装备制造领域，动力电池自动检测装置的研发非常主要。经由对气动设计、工艺改良与结构改革这三大技术方向展开深入研究，获得了明显的突破性成果。这些成果于实际工程运用里显示出节能减排、有效管控成本以及提高智能化程度等多方面的意义，有力促进动力电池自动检测装置的进步。明确通过数字孪生的下一代通风机技术研发方向，为该领域未来不断开展创新提供指引。未来需持续关注这些核心技术领域，不断深入开展研究与实践工作，从而进一步提高动力电池自动检测设备的性能和质量，更优地符合新能源产业迅猛发展的需求，推动环境装备制造实现可持续的进步。

参考文献

- [1] 许平. 云制造环境下复杂装备制造资源虚拟化研究与应用 [D]. 重庆大学, 2022.
- [2] 陈思敏. 云制造环境下复杂重型装备任务粒度研究与应用 [D]. 重庆大学, 2021.
- [3] 黄飞. 云制造环境下复杂重型装备制造服务信息管理与应用研究 [D]. 重庆大学, 2022.
- [4] 徐东升. 云制造环境下挤压装备制造车间资源服务化封装及分类研究与应用 [D]. 重庆大学, 2021.
- [5] 贾泰宇. 高渗透率背景下新能源发电产业转型路径探究 [D]. 中国科学院大学, 2021.
- [6] 王艺, 杨金田, 张志敏. 冰雪装备制造业发展前景与路径探究 [J]. 体育科技, 2023, 44(06): 99–101.
- [7] 刘立立. 新能源汽车动力电池总成自动检测系统研究 [J]. 自动化应用, 2024, 65(11): 117–119.
- [8] 侯俊. 新能源汽车动力电池的维护与保养 [J]. 汽车与新动力, 2022, 5(06): 94–96.
- [9] 邱祖汉. 新能源汽车动力电池的维护与保养 [J]. 专用汽车, 2022, (10): 67–69.
- [10] 陆建明. 新能源汽车动力电池的维护与保养策略探究 [J]. 时代汽车, 2021, (18): 75–76.