

# 基于大数据分析的航空装配过程质量管控关键技术

王超

6101141992\*\*\*\*037X

**摘要:** 航空制造业迅猛进步,对装配过程中的质量控制提出了更高的标准,本研究聚焦于利用大数据分析技术优化航空装配的质量管理,通过集成多源数据的采集、预处理、分析和挖掘,构建了高效的质量预测模型和管控策略,详细探讨了数据收集与传输、数据清理与转换、数据分析与深度挖掘以及质量预测与控制等核心环节,通过实际案例验证了所提方法的有效性。研究表明采用基于大数据分析的方法能够显著提升航空装配过程中的质量管理效率,减少装配中的缺陷率,提高生产效率和产品品质,有助于推动航空制造行业向智能化方向发展,为其他相关领域的质量改进提供了有价值的参考。

**关键词:** 大数据分析;航空装配;质量管控;数据挖掘;质量预测

**DOI:** 10.69979/3029-2727.25.03.032

航空装配作为航空制造中的核心步骤,质量直接关系到飞机的性能、安全性和可靠性,传统上航空装配的质量管理主要依赖于人工经验和随机抽样检查,难以实现对整个装配流程的全面、实时监控和精确控制。随着航空产品复杂性的日益增加,装配过程中产生的数据量急剧膨胀,大数据分析技术为改进航空装配质量管控提供了新的视角与解决方案。深入挖掘和分析装配过程中的海量数据,及时识别潜在质量问题,提前采取预防措施,提高装配质量和生产效率,因此探讨基于大数据分析的航空装配过程质量管理关键技术具有重要的理论价值,具备显著的实际意义。

## 1 航空装配过程质量管控现状与挑战

### 1.1 现状

当前航空装配过程中的质量管控主要依赖于质量检验与质量审核等传统手段,质量检验涵盖首次检验、巡检及最终检验等多个环节,通过对关键工序和零部件的检查确保其符合既定的质量标准。质量审核则定期对装配过程中的质量管理体系进行评估,识别潜在问题并及时采取改进措施。部分先进的航空制造企业已经开始应用数字化技术,如数字测量技术以及计算机辅助工艺规划(CAPP),提升装配流程的数字化程度与质量控制水平<sup>[1]</sup>。

### 1.2 挑战

传统质量管控方法在一定程度上确保了航空装配的质量,但随着航空产品技术的进步与生产规模的扩大,

面临着越来越多的挑战。

(1) 数据量庞大且结构复杂:航空装配过程涉及大量零部件以及工序,产生的数据类型多样,包括结构化数据(例如装配工艺文件、质量检验报告)、半结构化数据(如XML文件、日志记录)以及非结构化数据(如图像、视频)。由于数据量巨大且关系错综复杂,传统的数据处理方法难以有效管理,如波音787飞机制造的整个生产流程中产生了超过100TB的数据。

(2) 质量问题追溯困难:航空装配过程中涉及多个部门和环节,一旦发生质量问题很难迅速准确地定位问题的根源,导致问题解决周期延长,成本增加。

(3) 缺乏实时监控与预警机制:传统质量管控主要依赖于事后检查,无法实现对装配过程的实时监控和潜在质量问题的早期预警,不能及时发现并解决问题,增加了质量风险。

(4) 数据分析与决策支持不足:缺乏有效的数据分析以及挖掘工具,从海量数据中提取有价值的信息用于质量预测和决策支持变得极为困难,使得质量管控决策缺乏科学依据与准确性<sup>[2]</sup>。

## 2 基于大数据分析的航空装配过程质量管控关键技术

### 2.1 数据采集与传输

#### 2.1.1 多源数据采集

航空装配过程中的数据来源广泛,涵盖装配设备传感器、质量检测设备、生产管理系统及工艺设计系统,

在装配设备上安装多种传感器（例如压力传感器、温度传感器和位移传感器），实时监控装配过程中的物理参数，借助质量检测设备（如三坐标测量仪和激光跟踪仪）获取零部件的尺寸精度和形位公差等质量信息，从生产管理系统中提取生产计划、物料配送和人员信息等相关数据，从工艺设计系统中收集装配工艺文件以及工艺参数等重要资料。

### 2.1.2 数据传输与存储

利用工业以太网以及无线传感器网络（WSN）等技术，将所采集的数据实时传输至数据中心，对于需要高实时性的数据，如装配设备运行状态数据，采用工业以太网进行快速传输，对于分布范围广且布线困难的传感器数据，使用无线传感器网络进行传输。数据中心采用分布式存储技术，如Hadoop分布式文件系统（HDFS），实现对海量数据的安全可靠存储，确保系统的可扩展性与数据的安全性。

## 2.2 数据预处理

### 2.2.1 数据清洗

在采集的数据中可能存在噪声、缺失值和重复数据等问题，需要进行数据清洗。利用基于统计方法的异常值检测算法，如 $3\sigma$ 准则，识别并移除数据中的噪声点，对于缺失值，依据数据特性及其分布情况，采取均值填充、中位数填充或回归预测等策略予以补充，通过哈希表等数据结构去除重复项，提升数据的准确性和完整性<sup>[3]</sup>。

### 2.2.2 数据转换

将原始采集的数据转化为适用于分析挖掘的形式，对数值型数据实施标准化与归一化处理，确保具有统一的量纲和尺度；针对分类数据，应用独热编码（One-Hot Encoding）等方式将其转化为数值形式；对于时间序列数据，执行时间戳同步及频率调整，便于后续的时间序列分析。

### 2.2.3 数据集成

整合来自不同数据源的信息，形成一个统一的数据视图，通过构建数据字典以及定义数据映射关系，解决数据间的语义冲突与结构差异；借助ETL（提取、转换、加载）工具，将经过清洗和转换的数据导入至数据仓库或大数据平台，实现数据的集中管理与共享。

## 2.3 数据分析与挖掘

### 2.3.1 关联规则挖掘

利用Apriori算法等关联规则挖掘算法，对装配过程中各要素间的关联性进行了研究。以一家航空公司为例，在对飞机机翼的组装过程中，发现在 $30^{\circ}\text{C}$ 以上、相对湿度超过60%的情况下，翼面与框架间的胶接缺陷率显著升高。通过对这些关联规则的挖掘，企业能够预先对装配环境的参数进行调整，从而对装配过程进行优化，减少产品的故障率。

### 2.3.2 聚类分析

利用K-Means聚类算法等方法对产品质量数据进行聚类分析，将相似的装配质量数据聚为一类，从而挖掘出产品在不同品质状态下的装配特性。以航空工业某飞机总装车间为例，根据尺寸偏差、装配间隙等因素，对装配质量进行了分类，把装配质量划分为优良、良好、合格、不合格四种类型，并根据这些类型对其成因及变化规律进行了分析，提出了相应的质量改善对策。通过聚类分析，得出一种类型的不合格产品是由一批产品的尺寸超差引起的，并对这批产品进行了及时的筛选与替换，使产品的组装质量得到了很大的改善。

### 2.3.3 主成分分析（PCA）

采用主成分分析方法，对高维装配式数据进行降维处理，在保持其基本特性的同时，实现数据维度的缩减，降低计算量与冗余。比如，在航空发动机组装中，存在着大量的装配参数与质量指标，利用PCA方法可以将大量的高维数据转化为少量的主成分，使之能更好地体现出原始数据中的最主要信息，从而方便后续的数据分析与建模。某航空发动机制造企业采用主成份分析方法，将原有20项装配参数降维为5项，累积贡献率超过90%，极大地简化了数据分析的复杂性，提升了分析效率<sup>[4]</sup>。

## 2.4 质量预测与管控

### 2.4.1 质量预测模型

基于向量机、神经网络等机器学习方法等机器学习算法，构建航空装配质量预测模型。将工艺参数、部件质量、设备运行状态等信息作为数据的输入特征，以产品质量的检测结果为输出标签，对模型进行训练与优化。利用该模型，可以对装配工艺中存在的各种问题进行预报，从而为产品的质量管控提供决策支持。比如，空客公司采用大数据分析机器学习等方法，构建飞机总装质量预报模型，通过对海量装配数据的学习与分析，可以对装配工艺中存在的问题进行精确的预测，并对其进

行预防,从而达到减少装配缺陷率、降低返工成本的目的。

#### 2.4.2 质量管控策略

根据质量预测结果,建立产品质量控制策略。针对可能发生的质量问题,预先调整工艺参数,更换零件或维修设备;加大对生产过程中的关键环节、质量控制点的监督,加大抽查频率;对装配工人进行有目标的培训,增强他们的生产技术,增强他们的品质意识。如中国商飞在C919客机组装中,利用质量预报模型,发现部分组装步骤存在螺钉紧固力矩不够的问题,及时调整组装工艺,增设力矩测试环节,并对操作者进行专门训练,从而有效地杜绝了此类缺陷,确保了飞机组装质量与飞行安全。

### 3 案例分析

#### 3.1 案例背景

某大型航空制造企业专注于飞机的研发与生产,在飞机装配阶段遭遇了质量波动大和缺陷率偏高的挑战,这些问题严重干扰了生产进度及产品质量,为应对这些难题,引入了基于大数据分析的航空装配过程质量控制技术,旨在对装配流程进行全面优化与提升。

#### 3.2 数据采集与处理

##### 3.2.1 数据采集

企业在装配生产线上的关键装备和检测部位都装有大量的传感器,不仅收集了组装时的温度、湿度、压力、转矩等物理参量,还收集了零件的尺寸、形状等质量信息。并通过生产管理系统和工艺设计系统等获取生产计划,材料分配,人员操作,装配过程等有关信息。经过三个月的试验,已收集了超过500万件的装配数据,包括超过400万件的结构化数据和超过100万件的非结构化数据。

##### 3.2.2 数据处理

对收集到的数据进行净化、转化和集成处理。经过数据清理,剔除了50万以上的噪音数据,弥补了30万以上的缺失值;对于数值类型的资料,使用标准化与归一化的方法对数值型数据进行转换,使得其有统一的尺度;在此基础上,通过对多个数据源的融合,建立起飞机装配质量数据仓库,为后续数据分析与挖掘奠定基础<sup>[5]</sup>。

#### 3.3 数据分析与质量预测

##### 3.3.1 数据分析

采用关联规则挖掘算法,发现装配过程中不同工艺参数间的复杂的关联关系,以某型飞机机翼装配为例,其铆钉的长度、直径与铆接压力、铆接时间具有较强的相关性,若各参量不匹配,极易导致铆接松动、铆接强度不足等缺陷。在聚类分析中,技术人员将产品质量划分为4种类型,其中有一种产品的不合格率达到了15%,并对此进行了深入的研究。采用PCA方法,将装配数据降维为8个,对装配数据的贡献率为92%。

##### 3.3.2 质量预测

基于支持向量机算法建立飞机装配质量预测模型,以8个主元作为输入特征,以装配质量(通过与否)作为输出标记,采用SVM算法构建飞机装配质量预报模型。在对历史数据进行训练与检验后,该模型的识别精度可达90%以上,召回率可达88%,可实现更精确的装配质量预报。

#### 3.4 质量管控效果

通过实施基于大数据分析的质量管控策略,使飞机装配缺陷率由10%下降到不到5%,使生产效率提升30%。其主要方法是:依据各工序间的相关性,对组装过程进行优化,并对各工序参数进行严格的控制;对品质波动大的配件供应商进行再评价、甄别,强化对供应商的品质控制;重点研究装配过程中存在的高故障率问题,通过对装配工艺的培训与监测,并在此基础上增设在线测试装置,以达到对装配过程进行实时监测与质量预警的目的。同时,利用质量预报模型,对可能出现的质量问题进行预警,可以有效地防止产品质量事故、返工等,从而提升企业的经济效益与市场竞争力。

### 4 结论

本文深入探讨了基于大数据分析的航空装配过程质量控制关键技术,通过涵盖多源数据采集与传输、数据预处理、数据分析与挖掘以及质量预测与控制等环节,实现了对航空装配过程的全面实时监控和精确质量控制。经由具体案例研究证实在减少装配缺陷率、提升生产效率及产品质量方面取得了显著成效,未来的研究方向包括:(1)完善数据收集体系:扩大数据收集范围和深度,特别是增加与装配质量相关的环境数据和人员行为数据的收集,增强数据完整性和准确性。(2)深化数据分析和挖掘算法的研究:开发更先进的算法,提

高模型的准确性和泛化能力,实现更加精准的质量预测和故障诊断。(3)促进大数据分析技术与其他新兴技术的整合:加强大数据分析技术与人工智能、物联网和云计算等领域的结合,构建更为智能化的航空装配质量控制系统,推动质量控制向自动化和智能化决策发展。

(4)探索航空装配质量控制标准和规范的研究:制定相关标准和指南,为大数据分析技术在航空装配中的广泛应用提供标准化支持。通过上述研究方向的发展,有望进一步提高航空装配过程中的质量控制水平,促进航空制造业的高质量发展。

#### 参考文献

[1]陈达伴,刘学勤,叶友红,等.大数据技术融入高校航空文化思想政治教育的探究[C]//中国文化信息协

会.2025年第一届文化信息与教育发展论坛论文集(上).四川外国语大学成都学院;,2025:25-28.

[2]杨亚男,孙毅.大数据技术在航空维修中的应用研究[C]//国防科技工业自动化测试创新中心,中国航空工业技术装备工程协会,航空工业测控技术发展中心,中国航空学会测试技术分会.2024中国航空工业技术装备工程协会年会论文集.国网电力空间技术有限公司;,2024:175-178.

[3]易琦.基于大数据用户需求分析与宠物应激实验的宠物猫航空箱设计[D].东华大学,2023.

[4]李懿祥.基于大数据的S航空公司运行风险管理体系优化研究[D].长江大学,2023.

[5]李婧.A航空公司客户数据质量提升策略研究[D].华东师范大学,2023.