

# 电池密封质量提升与数字化监控策略

张亮

一汽 - 大众汽车有限公司

**摘要:** 密封对电池的整体性能和安全性具有关键作用。针对市场上电池密封失效的问题, 本文提出了包括系统性审视密封工艺、失效根因分析、关键密封特性识别、密封特性标准梳理和实时监控在内的质量提升策略。同时, 引入了先进的数字化监控概念, 并借助众行框架设计, 实施了相关性分析、积分卡管理以及基于拦截模型的预警机制, 能够有效提升电池密封质量的现代化管理水平。

**关键词:** 电池; 密封性; 数字化; 关键要素

## 0 前言

电池密封技术对于电池的整体性能和安全性至关重要。不合格的密封在潮湿环境下可能引发电路故障, 而在涉水情况下, 电池进水则可能导致严重的安全事故, 因此, 国家强制要求电池必须通过 IPX7 浸水试验。

当前市场上, 电池密封质量的稳定性受多种因素影响。涂密封胶是常见的密封方式, 但电池尺寸大、涂胶轨迹长以及行驶过程中电池内外部的压差等因素均可能导致密封胶发生偏移, 进而引发密封失效。针对这一复杂而关键的问题, 如何确保电池在批量生产过程中实现稳定可靠的密封质量, 成为当前研究的重中之重。本文旨在探讨如何有效保障电池密封质量的稳定性, 并提出相应的质量提升策略。

## 1 电池密封性能的评估方法

一汽 - 大众高度重视电池的密封性能, 因此引入了比 IPX 7 更为严苛的涉水防水测试 K13。国标仅要求“无泄漏、外壳破裂、起火或爆炸现象, 试验后绝缘电阻小于  $100\ \Omega/V$ ”。而一汽 - 大众则要求“带温度冲击的浸水试验, 电池包升温至  $(55 \pm 2)\ ^\circ\text{C}$ , 将电池包浸没到  $(5 \pm 2)\ ^\circ\text{C}$  的水中 5 min, 以上操作为 1 个循环, 累积执行 20 个循环”。

## 2 质量提升策略

针对电池密封技术在生产过程中面临的问题, 我们提出了一系列质量提升策略。

### 2.1 密封工艺的系统性审视

为了保障电池密封质量的稳定性, 首先需要对密

封工艺进行系统性审视。以 MEB 电池为例, 我们深入分析了其生产过程中的密封特性工艺地图, 明确了与气密性相关的零件和密封工序分别为供应商、电池焊接线以及电池装配线。

### 2.2 密封失效的根因分析

结合 K13 试验结果和密封工艺地图, 我们识别了 8 种常见的失效模式 (见表), 并总结了 3 种主要的失效原因。这些分析为我们后续的质量提升工作提供了重要依据。

表 失效模式分析表

| 失效原因 Reason | 工位绿化思路 Station ideas |         |       |
|-------------|----------------------|---------|-------|
|             | 要素未识别                | 要素标准不清晰 | 要素未监控 |
| 铆钉          | ✓                    |         |       |
| 压机          |                      | ✓       |       |
| 密封胶         |                      | ✓       |       |
| 压机压合        | ✓                    |         |       |
| 横梁铸         |                      |         | ✓     |
| 空心螺栓        |                      | ✓       |       |
| 涂胶          |                      |         | ✓     |
| 焊缝          |                      |         | ✓     |

### 2.3 要素识别

为了全面识别电池密封质量特性, 我们开展了多项要素识别工作。

(1) 研究密封结构: 深入分析电池内部到外部过渡区上涉及的所有零部件及其之间的结合工艺。

(2) 逐项开展潜在失效分析: 对 6 类相关零件和 11 类过程工艺进行了逐项分析, 识别了潜在的失效模式和影响要素, 如图 1 所示。

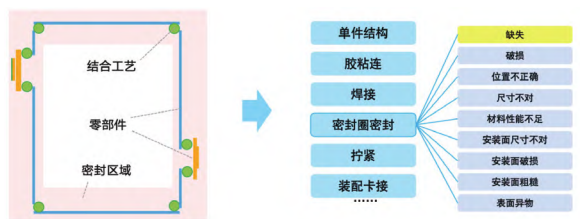


图 1 要素识别示意

2.4 要素标准

为了确保电池生产过程中的密封质量，我们对上述已识别的影响密封质量的各项要素进行系统地标准梳理，涵盖了新增标准、收严标准以及修改标准三个重要维度，旨在构建一个全面、严谨的密封特性标准体系，从而为电池生产提供强有力的质量保障，如图 2 所示。

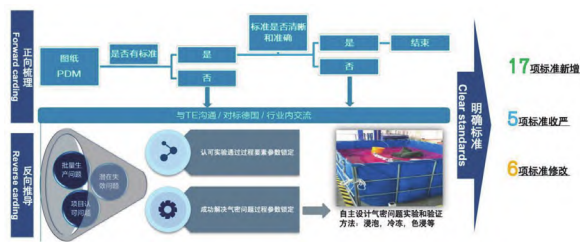


图 2 要素标准梳理

2.5 要素监控

基于要素识别和标准梳理的结果，我们在批量生产过程中引入了三个方面的实时监控措施。

- (1) 要素受控性确认：根据要素识别及标准梳理的内容，我们逐项核实并确认生产过程中各要素是否均处于受控状态。
- (2) 监控频次合理性评估：与外部进行对标交流，并结合自身的监控资源，不断评估并优化要素监控的频次，确保监控效率与效果达到最佳平衡。
- (3) 监控效果评估：根据生产批量及项目当前状态，定期评估监控措施的实施效果，确保监控工作能够精准、及时地反映生产实际情况，为决策提供有力支持。图 3 所示为要素监控地图。

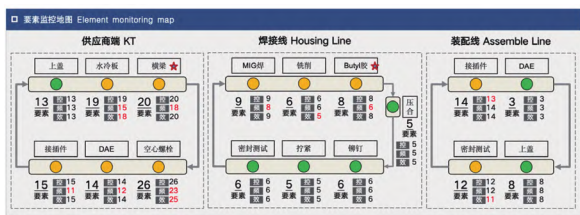


图 3 要素监控地图

3 数字化监控与应用

为了更有效地监控气密特性，我们尝试引入数字化手段，以提升电池密封质量的现代化管理水平。

3.1 技术路线

为实现业务需求，我们采用众行框架设计(如图 4)。业务所需数据主要存储在 MongoDB 数据库及钉钉宜搭中，通过 Java 后端处理数据并存储到 GaussDB 数据库，同时利用 VUE3 开发前端界面。

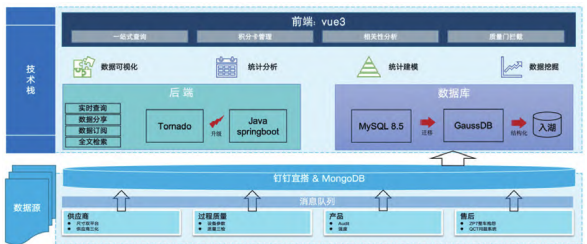


图 4 众行框架结构

3.2 业务设计

业务设计构建在三个核心环节之上。首先，运用先进的数字化工具进行深入的相关性分析，以揭示数据之间的深层联系和规律。其次，实施积分卡管理策略，通过量化的方式精准评估产品质量，为管理层提供直观的质量改进依据。最后，建立基于拦截模型的预警机制，一旦产品质量数据触及预警阈值，系统将立即启动响应流程，确保问题产品得到迅速识别与妥善处理。图 5 所示为其可视化界面。



图 5 可视化界面

(1) 相关性分析

通过相关性分析，挖掘数据间的内在联系，了解当前产品的质量趋势和缺陷样品的特征值。例如，我们可以根据电池包号查询前后  $N$  天的具体值，分析当前电池包的质量分布。同时，我们还能根据多个条件反向筛查出存在潜在风险的产品范围。

### (2) 积分卡管理

引入积分卡概念，依据 Cpk 规则为电池包进行量化打分，从而直观地展示电池包的质量状态。这种方法有助于管理层更好地了解产品质量，并采取针对性的改进措施。

### (3) 开发拦截模型

如图 6 所示，我们开发了三个拦截模型，一旦检测到当前产品的质量数据与这些模型匹配，系统将立即触发预警信息，确保问题产品得到及时识别与处理。

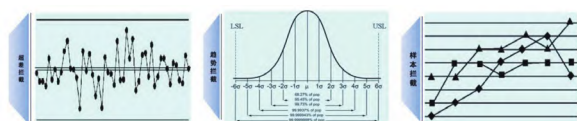


图 6 拦截模型

#### 1) 超差拦截模型

超差拦截模型专注于关键质量特性的监控。当电池包的某项关键指标超过预设公差时，系统会立即启动拦截，这是生产线上常用的缺陷拦截方法。然而，面对如电池壳体多个螺柱高度差这样的复杂尺寸，由于在线测量设备功能限制，仅依赖单一公差判断可能不足。为此，系统在后端能够精确计算多个螺柱间的关联高度差，一旦超出标准，将立即触发拦截，确保产品质量无虞。

#### 2) 趋势拦截模型

趋势拦截模型侧重于产品的预测性质量预警。以电池壳体铣削后的平面度为例，即使个别电池平面度未超出公差，但系统通过正态统计分析，能够敏锐捕捉到异常趋势，发出预警。这种预警使我们能够及时发现潜在问题，如铣刀寿命临近，从而迅速采取措施，避免潜在的批量质量风险。

### 3) 样本拦截模型

样本拦截模型基于实际缺陷样本的特征参数构建，一旦生产线上出现与已知缺陷样本特征相吻合的产品，系统会立刻启动拦截机制。以电池包泄漏问题为例，我们深入剖析了问题的根源，发现主要是铆钉压力不足和泄漏量超标等因素所致。基于此，我们针对这些不良特征设定了精确的组合公差范围，并在量产过程中实施数字化监控。一旦产品符合这些不良特征，系统能够迅速识别并拦截，有效防止不良品流入市场。

## 4 结语

在电池密封技术的深入探索中，本文取得了一些值得分享的成果。通过全面审视密封工艺，我们成功识别了影响电池密封质量的关键因素。随后，围绕要素识别、标准制定和监控实施三个层面，我们详细阐述了提升密封质量的具体方法论，为电池质量的持续优化提供了坚实的理论支撑。同时，我们引入先进的数字化监控技术概念，为电池密封质量的监测与管理提供了创新思路，预期将极大增强生产过程中的稳定性，为电池行业的质量提升奠定坚实基础。

展望未来，我们计划从多个方面对电池密封技术进行深度提升：一是深入探索技术核心，寻求更优质的密封材料和先进工艺，以增强电池的密封性能；二是强化数字化监控，通过引入智能化设备与算法，实现对生产过程的实时追踪与数据分析，以便更早地预测和识别潜在问题；三是加强行业合作与交流，携手业内同行共同推动电池密封技术的创新与发展，共同应对行业挑战。