

基于工艺观察的过程失效模式与分析优化

陈卫华，苑红涛，梁力文

沈阳华晨宝马汽车有限公司 辽宁沈阳 110143

摘要：探讨工艺观察在汽车生产制造中，如何优化过程失效模式与效应分析（PFMEA）在动态生产环境中的效用。以某汽车公司总装车间主线束失效为例，证明工艺观察作为一种实时监控生产的工具，对PFMEA基于历史数据和静态分析的予以补充。工艺观察通过到现场实地观察、员工培训与指导以及观察后的总结与改进，发现并解决来件包装不合理导致的线束插头损坏，产品缺陷率从0.3%降低至0%，每台缺陷车返修工时约节省80min。研究显示工艺观察对完善PFMEA流程提供重要支持，这种支持使那些不易被发现的潜在隐患得以迅速捕捉，从而加强风险预判，制造企业能把工艺观察融入生产环节中，有利于构筑健全的质量管控体系。

关键词：工艺观察；PFMEA；动态生产环境；质量控制

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2025.06.008

随着经济全球化，以及汽车市场竞争愈发白热化，汽车企业要想在这样的环境中稳固地位并占据主动权，必须让产品拥有过硬的品质。过程失效模式与效应分析（PFMEA）作为质量问题分析评估工具，被用来预测和分析生产过程中可能发生的失效模式及其对产品质量可能造成的影响^[1]。到现在PFMEA不仅被应用于汽车生产领域，同时也被其他行业广泛应用^[2, 3]。但在实际生产过程中，尽管PFMEA可以在预防和识别潜在风险展现出显著优势，但其局限性也不容忽视，例如PFMEA依赖于过往的数据和经验层面的

主观判断，而对于生产过程中出现的新的生产状况，其识别和评估能力往往受到限制，同时，PFMEA在实行阶段还会由于数据是否完备、团队水平、理解透彻程度，以及时间安排的情况而举步维艰。

在此背景下，尤其是生产环境发生改变或是技术快速迭代的情况之下，优化PFMEA应用成为重中之重。工艺观察作为现场生产过程的实时监测手段，可以带来即真实又客观的生产状态反馈信息，将静态数据分析留下的空白填补起来。本文以某汽车厂主线束失效为例，通过工艺观察优化PFMEA关键环节，从构建

高效团队，风险评估准确性以及实时响应速度都能够得到显著提高，这样一来才能达成更有效的预防性维护和质量管理，对PFMEA发现潜在失效模式也有帮助。

过程失效模式与效应分析

过程失效模式与效应分析（PFMEA）是一种系统化的方法，用于识别、评估和控制生产过程中可能出现的失效风险，保证产品服务达到预定的质量标准 and 客户满意度^[4]。PFMEA的理论主要参考《AIAG & VDA FMEA Handbook》，由美国汽车工业行动小组（AIAG）和德国汽车工业协会（VDA）联合发布。这一标准为PFMEA的实施提供详细的指导原则。针对分析出的潜在风险进行量化的等级评估，需要建立严重程度（S）、频度（O）、探测度（D）的评估准则，评估准则可参考各行业标准^[5]。

工艺观察

工艺观察是指生产团队成员到达生产现场，按照标准化文件对某一操作进行实地观察，每天通过固定时间开展工艺观察，同时与操作者及时沟通，发现可能改善点和问题点，并将上述内容纪录下来并跟踪解决的整个过程。工艺观察有助于团队成员掌握一手材料，增强团队成员对现场实际操作的感知，也有利于管理层对流程改善进行指导。

某汽车公司总装车间，生产分为两个班次，每个班次的段长需要做两次工艺观察。每次工艺观察时间为30min。车间规定每个班次的生产支持团队至少开展一次工艺观察活动见表1，支持人员通过现场的直接观察，既保证获得一手材料的同时，又不影响日常生产工作的连续性。

表1 工艺观察安排表

班次	时间	参与人员
班次1	8:30—9:00	段长
	11:30—12:00	段长/生产支持团队
班次2	16:00—16:30	段长/生产支持团队
	22:00—22:30	段长

基于工艺观察检查表的指导如图1所示，观察流程被细分为三个阶段，如图2所示。

工艺观察检查表

日期 _____ 班次 _____ 工位 _____ ☐ 段长 ☐ 生产支持团队 _____

工艺	为什么选择该工位的操作区域做工艺观察?	工艺观察发现内容	员工反馈	
	标准工艺和员工实际操作匹配吗?		支持人员反馈	责任人
技能	1.岗位技能资质? 2.节拍内工作完成情况?			
	3.上次本岗位工作时间? 4.两名以上员工担任该工位?			
工艺纪律	1.UT: _____ VA: _____ NVA: _____ 1.走动浪费(画圈图)NVA 2.一次取件/工具吗?NVA 3.等待浪费?Non-UT 4.过度包装?MVA			
	1.基于-TPM标准,设备/工具点检? 2.设备运行状态? 3.BVIS信号显示?			
浪费	1.料架上空间浪费? 2.料架上库存?			
	3.料架划伤时间风险? 4.料架防静电要求?			
安全	工作环境和员工行为安全?			
质量	1.最近发生的相关质量和控制措施? 2.自检和互检流程? 3.3-Axis-Yoke方案?			
	弯腰、过肩、仰颈、扭身、拍击等人机工程操作?			
其他	直线经理定义的其他问题			
任务	1.本次工艺观察的Top3问题是什么? 2.Top问题能否帮助“现场顽固”的改善? 3.哪些问题可以用SDCA工作跟踪解决?			

图1 工艺观察



图2 工艺观察流程

1) 现场观察。首先观察人员到达生产现场，观察某一员工操作15min，并使用工艺观察检查表对每个细节逐项做好记录，包括但不限于安全、设备运行状态、作业标准的遵守情况等。

2) 员工指导与培训。在观察某一操作者操作15min后，与操作者一起开展团队会议，倾听操作者反馈，重视他们的想法和建议，及时向操作者提供指导，减少操作过程中的潜在偏差。

3) 工艺观察总结。团队对整个工艺观察过程进行总结，将发现项进行记录存档，共同分析潜在问题，

梳理问题的优先级，确定后续的改进措施，确定责任人做好问题跟踪。

工艺观察在PFMEA中进行优化以主线束损坏为例

以某汽车总装车间某车型的主线束失效为例，汽车在做电检时，变道辅助模块无响应。针对此问题，生产团队根据历史PFMEA，重点关注失效模式信息见表2。经过多次检查后，问题可能源于导线压接不良或连接器接触不良，但不能确定根本原因。

表2 失效模式评价信息

序号	失效模式	发生度	严重度	可探测度	RPN
1	线束本身连接器接触不良	8	5	6	240
2	线束绝缘层磨损导致线束内部损坏	9	4	7	252
3	员工安装线束不到位	7	6	5	210
4	线束长度不足	8	3	4	96

不能确定根本原因，主要是因为PFMEA和RPN分析虽然是一个系统化的工具，但它主要依赖于理论分析和历史数据，不能及时提供帮助，解决动态的生产环境问题。

1.工艺观察的优势

工艺观察可以更直接地发现实际生产中的动态问题和潜在风险，优势主要体现在以下几个方面。

- 1) 动态性问题。实际生产环节中常会出现动态性问题，而PFMEA多以静态的工艺设计和历史数据为基础构建，通过工艺观察可以发现现实生产中的动态情形，如设备瞬间发生的故障状况、操作人员偶然出现的临时性错误等都能被察觉到，但这些动态问题以传统PFMEA框架来看很难被全部涵盖。
- 2) 隐性失效。一些失效模式可能在理论分析阶段不容易被发现，然而在实际生产过程中却显现出来，如线束在特定温度下的性能出现变化，以及线束长度造成安装不便的问题。
- 3) 全面观察。工艺观察可以从整个生产过程中入手，从物流来件到安装线束，在生产全过程的状态，这些问题在PFMEA中可能未被充分考虑，整个流程各

个环节皆有可能对质量产生影响。

2.工艺观察的关注重点

为了找到问题的根本原因，生产团队决定在该工位进行工艺观察。记录每个生产环节，生产团队重点关注以下方面。

- 1) 来件状态。检查供应商提供的导线和连接器是否存在外观损伤或性能异常。
- 2) 包装方式。观察来件的包装是否合理，是否存在挤压、摩擦或污染。
- 3) 存储与搬运。记录来件在物流到生产线上的存储条件及搬运方式。
- 4) 生产过程。跟踪线束从拆线到组装的每个环节，记录异常情况。

通过工艺观察，团队发现一个此前被忽略的关键问题：来件包装设计不合理。具体表现为：线束弯曲缠绕匝数过多，导致包装直径过宽，穿过车身孔安装线束时，容易刮碰到主线束插头，导致线束插头损坏如图3和图4所示。通过优化新的线束包装方式加长主



图3 优化前线束包装方式



图4 主线束插头损坏

线束长度及减少匝数的方法如图5所示，经验证第四周优化线束包装方式后缺陷率降低为0，如图6所示。



图5 优化前线束包装方式

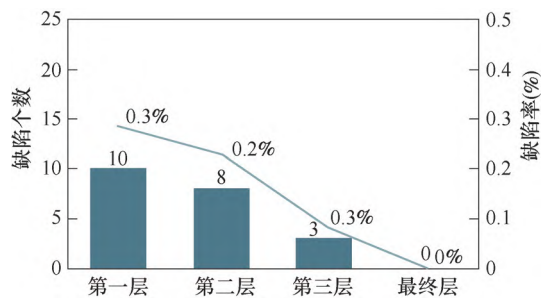


图6 缺陷率降低示意

目前某汽车工厂，全面实行工艺观察，鼓励员工及段长分析现在操作流程，发现潜在的失效模式，定期检查失效模式清单，保证产品质量，提升问题解决效率。改进后的失效模式分析见表3。

表3 改进后失效模式评价信息

序号	失效模式	发生度	严重度	可探测度	RPN
1	线束本身连接器接触不良	8	5	6	240
2	线束绝缘层磨损导致线束内部损坏	9	4	7	252
3	员工安装线束不到位	7	6	5	210
4	线束长度不足	8	3	4	96
5	线束的缠绕方式	5	5	8	200

更新后的失效模式评价信息，增加线束的缠绕方式对主线束失效的影响，并定义RPN系数，降低因主线束失效带来的损失，进一步表明工艺观察是生产过程中不可或缺的重要一环，同时鼓励管理者多关注现场，倾听员工的声音，发现更多的改善。

结语

通过工艺观察理论与现场实际案例相结合，发现传统的PFMEA方法在识别潜在失效模式方面虽具有优势，但其静态性和局限性，使得在出现一些动态的问题时失效模式难以被全面考虑。而这一问题通过工艺观察能够得到有效弥补。在出现主线束失效问题后，生产团队经过工艺观察准确找到问题的根本原因，发现来件包装方式对主线束失效问题存在潜在影响，通过优化线束包装设计、加强来件检查等措施后，经验证显著降低了主线束失效缺陷率。

汽车制造处于一个动态的生产环境，工艺观察是发现动态环境中潜在问题的有效方法，制造类企业可以将工艺观察融入日常质量管理体系，为企业带来实质性提升品质的机会。从而抓住实质性提升品质的机会，随着数字技术广泛渗透，未来，工艺观察能够结合大数据分析或者智能算法等工具，让企业的质量管控无疑会变得更加精准。

参考文献：

[1] 刘新, 伍俊楠, 潘殿琦, 等.基于改进FMEA的污水厂设备故障风险评估模型[J].中国安全科学学报, 2024, 34 (8) : 101-107.

[2] Thomas D. Rethinking FMEA for today’ s manufacturing landscape considering innovation in risk analysis[J].Journal of Failure Analysis and Prevention, 2025 (1) : 1-3.

[3] 周倩, 黄佳, 宋明顺, 等.基于改进FMEA的智能制造系统可靠性与风险评估[J].现代制造工程, 2024 (5) : 145-152.

[4] 成建强, 王英豪, 莫国田.售后变速器油封的失效模式分析和制造装配过程中的工艺优化[J].汽车工艺师, 2021 (8) : 14-17.

[5] 谭凯.基于FMEA的化工装置调配单元可靠性分析[J].化工设备与管道, 2025, 62 (1) : 15-19.

[6] 金海哲, 朱琳, 李怡, 等.基于改进FMEA的医疗器械人因可靠性评估与应用[J].东北大学学报 (自然科学版), 2021, 42 (9) : 1360-1368. **AUTO1950**