

# 纺机功率模块与驱动电路故障分析及修复工艺浅析

谈俊荣

绍兴毕加纺电纺机有限公司 浙江 绍兴 312000

**【摘要】**：功率模块与驱动电路是纺机电气系统的核心组成部分，直接决定纺机的运行效率、稳定性及使用寿命，其故障会导致纺机停机、运行异常，严重影响纺织生产进度与产品质量。本文结合纺机功率模块与驱动电路的基本结构、工作原理，系统分析两类部件常见的故障类型、故障成因，从理论层面梳理故障诊断的核心思路与关键方法，针对性提出科学可行的修复工艺，明确修复流程、操作要点及注意事项，为纺机功率模块与驱动电路的故障处理提供理论支撑，助力企业降低设备维护成本、提升生产连续性。

**【关键词】**：纺机；功率模块；驱动电路；故障分析；修复工艺

DOI:10.12417/3083-5526.26.01.039

## 引言

纺织行业的智能化、高速化发展，使得纺机对电气部件的性能要求不断提升，功率模块与驱动电路作为纺机电气系统的“动力核心”与“控制枢纽”，承担着电能转换、动力传输及运行调控的重要职责。功率模块负责将输入电能转换为纺机运行所需的功率形式，驱动电路则控制功率模块的启停、运行参数调节，二者协同工作，保障纺机各执行机构稳定运转。

在纺机长期连续运行过程中，受工作环境、使用年限、电压波动、维护不当等多种因素影响，功率模块与驱动电路易出现各类故障，这些故障不仅会导致纺机无法正常启动，还可能引发设备损坏、生产中断等问题，增加企业的维护成本与生产损失。当前，针对纺机功率模块与驱动电路的故障分析多偏向实操案例，缺乏系统的理论梳理，修复工艺也存在不规范、不统一的问题，难以满足企业高效维护设备的需求。

基于此，本文聚焦纺机功率模块与驱动电路，摒弃具体企业案例论证，从理论层面展开研究，梳理其基本结构与工作原理，分析常见故障的类型及成因，探索科学合理的故障诊断方法与修复工艺，旨在为纺机维护人员提供理论参考，规范故障处理流程，提升故障修复效率与质量，保障纺机稳定、高效运行。

## 1 纺机功率模块与驱动电路的基本结构及工作原理

纺机功率模块与驱动电路是相互关联、协同工作的有机整体，二者的结构设计与工作性能直接影响纺机的运行状态，明确其基本结构及工作原理，是开展故障分析与修复的基础，以下分别从功率模块、驱动电路两个方面进行理论阐述。

### 1.1 功率模块的基本结构及工作原理

纺机常用的功率模块主要为功率半导体模块，其核心功能是实现电能的转换与控制，将电网输入的交流电转换为纺机电机运行所需的直流电或可调频率的交流电，同时承受较大的功率负荷，保障动力传输的稳定性。功率模块的基本结构主要包括功率半导体器件、散热装置、引脚端子及绝缘外壳，各部件

分工明确、相互配合。

功率半导体器件是功率模块的核心，常用的有 IGBT、MOSFET 等，这类器件开关速度快、功率损耗小、耐压性强，能适应纺机高功率、高频率的运行需求。散热装置主要包括散热片、散热风扇，功率模块工作时会产生大量热量，若热量无法及时散发，会导致模块温度过高引发器件损坏，因此散热装置的性能直接影响功率模块的使用寿命与稳定性。

引脚端子分为功率端子与控制端子，分别负责传输大功率电能和接收驱动电路的控制信号，控制功率半导体器件的导通与关断；绝缘外壳则用于隔离内部器件与外部电路，防止漏电、短路等故障，保障运行安全。

功率模块的工作原理可概括为：接收驱动电路的控制信号，控制内部功率半导体器件导通与关断，将输入电能按纺机需求转换，输出稳定功率信号为执行机构提供动力；同时散热装置实时散热，确保模块温度维持在合理范围，避免过热故障。

### 1.2 驱动电路的基本结构及工作原理

纺机驱动电路是连接控制单元与功率模块的关键环节，核心功能是接收控制单元的弱电控制信号，经放大、整形、隔离等处理后，输出能驱动功率模块工作的强电控制信号，同时实现对功率模块的保护与状态监测。其基本结构主要包括信号放大模块、隔离模块、保护模块及电源模块。

信号放大模块通过三极管、运算放大器等器件，将微弱控制信号放大为强电信号，确保功率模块准确接收控制指令；隔离模块（如光耦、隔离变压器）实现控制电路与功率电路的电气隔离，防止高压干扰，保护控制单元；保护模块具备过流、过压、过热等保护功能，出现异常时及时切断控制信号，防止故障扩大；电源模块为驱动电路各部件提供稳定工作电压，保障工作精度。

驱动电路的工作原理为：控制单元的信号经放大模块放大后，通过隔离模块传输至功率模块控制端子，控制其导通与关断；保护模块实时监测运行状态，异常时触发保护机制；电源

模块持续提供稳定电压，确保驱动电路精准、稳定控制功率模块运行。

## 2 纺机功率模块与驱动电路常见故障类型及成因分析

### 2.1 功率模块常见故障类型及成因

功率模块长期承受高电压、大电流负荷，易出现各类故障，常见类型包括模块击穿、模块过热、输出异常、引脚接触不良，各类故障成因差异明显，具体分析如下：

模块击穿是最常见故障，表现为内部功率半导体器件损坏、无法实现电能转换，甚至出现短路。其成因主要有三点：一是电网电压波动过大，超过模块耐压极限，击穿内部器件；二是驱动信号异常，控制信号过大或波形失真，导致器件导通过度、电流过大而击穿；三是散热不良，热量无法及时散发，器件温度过高而损坏。

模块过热表现为温度异常升高，严重时触发过热保护导致纺机停机。成因主要是散热装置故障（散热片积尘、风扇损坏）和工作负荷过大，纺机长期高功率运行使模块功率损耗增加，热量超出散热能力。

输出异常表现为输出电压、电流不稳定，导致纺机运行异常，成因包括内部半导体器件性能下降、引脚接触不良及控制信号异常，分别会导致输出参数不稳定、信号传输失真、导通关断时间不合理。

引脚接触不良表现为引脚与外部电路连接松动，导致信号或电能传输不畅，成因包括安装不当、纺机运行振动及引脚氧化腐蚀，这些因素会导致连接松动、接触电阻增大，影响连接稳定性。

### 2.2 驱动电路常见故障类型及成因

驱动电路故障会直接导致功率模块无法正常工作，常见类型包括信号失真、驱动功率不足、保护功能失效、电源故障，具体成因如下：

信号失真表现为控制信号波形畸变，无法准确控制功率模块，成因包括隔离模块故障、放大模块性能下降及电磁干扰，隔离模块损坏、放大器件性能变差会导致信号失真，纺织车间的电磁干扰也会影响信号传输质量。

驱动功率不足表现为控制信号功率不够，无法驱动功率模块导通，成因包括放大模块故障、电源模块输出不稳定及线路损耗过大，放大器件损坏、电源电压波动、线路电阻过大，都会导致驱动功率不足。

保护功能失效表现为过流、过压、过热保护无法正常工作，故障发生时无法触发保护，导致故障扩大，成因包括保护模块检测器件损坏、接线松动及控制逻辑异常，这些因素会导致检测失灵、信号中断或保护机制无法启动。

电源故障表现为电源模块无法输出稳定电压，导致驱动电路无法正常工作，成因包括电源模块内部器件损坏、输入电压波动及线路接触不良，整流滤波器件损坏、电网电压不稳定、线路松动，都会引发电源故障。

## 3 纺机功率模块与驱动电路故障诊断方法

针对不同故障类型采用对应诊断方法：功率模块故障主要采用电阻测量法与电压测量法，断电测量引脚电阻、运行时测量输入输出电压，根据参数异常判断故障；驱动电路故障主要采用波形测量法与电压测量法，用示波器检测控制信号波形，测量电源及放大模块电压，判断信号失真、电源故障等问题。

此外，保护功能失效可通过模拟过流、过压工况，观察保护机制是否触发；引脚接触不良可结合外观检查与电阻测量，观察引脚状态、测量接触电阻，判断接触情况。

为直观呈现纺机功率模块与驱动电路的故障关联逻辑，便于维护人员快速排查与处理，现将两类部件的故障类型、核心成因、诊断方法整理为如下表格：

图 1：纺机功率模块与驱动电路故障类型 - 成因 - 诊断对应表

部件类型	常见故障类型	核心故障成因	诊断方法
功率模块	模块击穿	1. 电网电压波动超耐压极限；2. 驱动信号异常致电流过大；3. 散热不良器件高温损坏	断电测量引脚电阻，运行时检测输入输出电压，对比标准参数判断
功率模块	模块过热	1. 散热装置故障（散热片积尘、风扇损坏）；2. 纺机长期高功率运行负荷过大	运行中实时监测模块温度，检查散热片、风扇外观及工作状态
功率模块	输出异常	1. 内部半导体器件性能下降；2. 引脚接触不良；3. 驱动电路控制信号异常	测量输出电压、电流稳定性，检测引脚接触电阻，排查驱动电路信号
功率模块	引脚接触不良	1. 安装不当；2. 纺机运行振动；3. 引脚氧化腐蚀	外观检查引脚状态，测量引脚与外部电路接触电阻
驱动电路	信号失真	1. 隔离模块故障、放大模块性能下降；2. 纺织车间电磁干扰影响信号传输	用示波器检测控制信号波形，排查隔离 / 放大模块器件状态
驱动电路	驱动功率不足	1. 放大模块故障；2. 电源模块输出不稳定；3. 线路损耗过大	测量驱动信号功率，检测电源模块输出电压，排查线路电阻

驱动电路	保护功能失效	1. 保护模块检测器件损坏； 2. 接线松动；3. 控制逻辑异常	模拟过流 / 过压 / 过热工况，观察保护机制是否触发，检查接线及控制程序
驱动电路	电源故障	1. 电源模块内部器件损坏； 2. 输入电压波动；3. 线路接触不良	测量电源模块输出电压稳定性，检查内部整流滤波器件及线路连接

#### 4 纺机功率模块与驱动电路修复工艺

结合故障诊断结果，针对不同故障类型制定规范的修复工艺，明确修复流程、操作要点及注意事项，确保修复后部件恢复正常性能，突出理论性与通用性。

##### 4.1 修复工艺的基本要求

修复需遵循安全性、规范性、针对性原则，严格遵守断电操作规范，防止安全事故；按既定流程规范操作，避免二次故障；根据故障类型与位置采用对应方法，确保修复效果。同时需使用专业检测工具与优质修复材料，做好修复记录，为后续维护提供参考。

##### 4.2 功率模块常见故障修复工艺

模块击穿故障需更换同型号、同参数的新模块，流程为：断电停机、拆除接线、确认故障、清理安装位置、安装新模块、连接接线、通电测试。模块过热故障需针对性修复，清理散热片积尘、更换损坏风扇，或调整纺机运行参数降低负荷，修复后监测温度确保正常。

输出异常故障，若为器件性能下降需更换模块，若为引脚接触不良需清理氧化层、重新固定引脚，若为控制信号异常需排查驱动电路，修复后测试输出参数。引脚接触不良故障需拆除模块、清理引脚氧化层、校正变形引脚、重新安装固定，通电测试确保接触良好。

##### 4.3 驱动电路常见故障修复工艺

信号失真故障，若为隔离模块或放大模块故障需更换对应器件，若为电磁干扰需优化布线、增加屏蔽措施，修复后用示波器检测波形确保正常。驱动功率不足故障，更换损坏放大器件、检修电源模块、更换大截面导线缩短传输距离，修复后测

#### 参考文献：

[1] 毛琦,汪一龙,王为介,等. 基于混合数据驱动的牵引整流器故障诊断方法[J]. 铁道科学与工程学报,2025,22(8):3795-3808.  
 [2] 回晓双,宁圃奇,李东润,等. 高功率密度三相全桥 SiC 功率模块设计与开发[J]. 华中科技大学学报(自然科学版),2024,52(7):83-86,91.  
 [3] 肖标,郭祺,涂春鸣,等. 面向开关时序与驱动电压自主协同调控的 SiC/Si 混合开关驱动电路[J]. 电工技术学报,2025,40(4):1117-1128.  
 [4] 中国纺织机械协会. 纺机行业运行情况分析[J]. 纺织机械,2024(5):44-48.

量驱动功率满足要求。

保护功能失效故障，更换损坏检测器件、重新固定接线、修正控制逻辑漏洞，修复后模拟异常工况测试保护功能。电源故障，更换电源模块内部损坏器件或直接更换电源模块，增加稳压装置稳定输入电压，清理接线端子重新连接，修复后测量输出电压确保稳定。

##### 4.4 修复后的测试与验收

修复完成后需进行参数测试与运行测试，参数测试测量功率模块输入输出电压、电流及驱动电路控制信号、电源电压，确保符合正常范围；运行测试将部件安装到纺机，通电启动后观察运行状态，监测温度、运行声音，确保纺机稳定运行。验收合格后归档修复记录，若出现异常需重新排查修复，直至测试合格。

#### 5 结论与展望

本文围绕纺机功率模块与驱动电路的故障分析及修复工艺展开研究，结合两类部件的基本结构与工作原理，系统分析了常见故障类型及成因，梳理了科学合理的故障诊断方法，提出了针对性的修复工艺，通过分析论证了诊断方法与修复工艺的可行性，得出以下结论：

纺机功率模块常见故障包括模块击穿、模块过热、输出异常、引脚接触不良，成因与电压波动、散热不良、信号异常、安装维护不当相关；驱动电路常见故障包括信号失真、驱动功率不足、保护功能失效、电源故障，成因与隔离模块故障、放大模块性能下降、干扰信号、电源不稳定相关。

遵循先易后难、先外后内、先静态后动态的原则，采用电阻测量法、电压测量法、波形测量法等，能精准定位故障；针对不同故障采用对应修复工艺，规范操作、注重细节，能有效修复故障，降低维护成本，提升纺机运行连续性。

随着纺机智能化、高速化发展，功率模块与驱动电路的性能要求将不断提升，故障类型也将更复杂。未来可结合物联网、人工智能技术，研发智能化故障诊断系统，实现故障实时监测、提前预警与自动诊断；探索更高效可靠的修复工艺与新型材料，提升修复质量，延长部件使用寿命，为纺织行业高质量发展提供支撑。