

MOS 管总炸？别只怪耐压，这 8 个原因最容易忽略：

做硬件调试的工程师，谁没炸过 MOS 管？很多人一遇到炸管，第一反应就是「耐压选低了」，赶紧换个更高 V_{ds} 的型号，板子改了、成本涨了，结果该炸还是炸。其实绝大多数时候，炸管的真凶根本不是耐压，而是 8 个最容易被忽略的细节。今天一文讲清楚，附排查方法和解决方案，新手也能快速定位问题。

1. 栅极过压击穿：最容易忽略的「第二耐压」

很多工程师选 MOS 只看漏源耐压 V_{ds} ，却对栅极耐压 V_{gs} 没概念。MOS 管的栅氧化层非常薄，绝大多数低压 MOS 的栅极耐压只有 $\pm 20V$ 甚至 $\pm 10V$ ，远低于漏源耐压。驱动尖峰、静电放电、驱动电压超标，都能瞬间击穿栅氧化层，属于不可逆的硬击穿，管子直接报废。

典型现象：上电就炸，万用表测 G-S 极呈导通状态；批量生产时静电防护不到位，不良率高。

排查方法：用示波器测驱动波形的尖峰值；检查生产环节的静电防护。

解决办法：栅极串入 $10\sim 100\Omega$ 阻尼电阻；栅极对地加齐纳二极管钳位；选用栅极耐压裕量充足的 MOS。

2. 瞬态浪涌电流：瞬间超流，耐压再高也没用

开机、热插拔、负载短路的瞬间，会出现远大于持续工作电流的尖峰浪涌。很多人选 MOS 只看持续电流 I_d ，忽略了脉冲电流 I_{dm} 指标。毫秒级的大电流会产生极大的导通损耗，瞬间让结温飙升，直接热击穿炸管，根本等不到散热发挥作用。

典型现象：开机、插拔负载时随机炸管，正常稳态工作却一切正常。

排查方法：用电流探头捕捉开机、短路瞬间的电流尖峰，对比器件的脉冲电流额定值。

解决办法：输入端增加缓启动电路；串联保险丝；选用脉冲电流裕量大的 MOS。

3. 散热不足：封装选错，电流再大也没用

MOS 管 datasheet 上的最大电流，是 25°C 环境、理想散热下的理论值。实际工作中，封装选小了、PCB 铺铜面积不够、底部焊盘焊接不良，都会导致热阻超标，热量散不出去，结温持续升高，长期工作最终过热失效。很多时候不是管子电流不够，是封装散热扛不住。

典型现象：满载工作几分钟后炸管，外壳摸着明显发烫；降额使用后故障消失。

排查方法：通过热阻公式计算结温，或用红外测温仪测壳温推算结温。

解决办法：更换散热更好的封装；加大 PCB 散热铺铜；DFN 封装优化钢网设计，保证底部焊盘焊接质量。

4. 寄生振荡：高速开关的隐形杀手

高频 PWM 驱动场景下，MOS 管的寄生电容、引脚寄生电感，和驱动回路一起容易形成 LC 谐振，产生高频电压尖峰。这些尖峰可能反复冲击栅极和漏极，要么瞬间击穿器件，要么慢慢累积应力，导致器件提前失效，属于非常隐蔽的炸管原因。

典型现象：开关频率越高，炸管越频繁；测 Vds 波形，开关沿带有明显的高频振荡尖峰。

排查方法：示波器接 Vds，观察开关上升/下降沿是否有高频振荡和过冲。

解决办法：栅极串阻尼电阻抑制振荡；适当降低开关速度；优化 PCB 布局，减小驱动回路和功率回路的寄生电感。

5. 驱动不足：开关速率越慢，损耗越大，发热越凶

MOS 管的开通和关断，需要足够的驱动电流给栅极电容充放电。如果驱动芯片电流不够、或者 MOS 栅极电荷 Qg 太大，开关过程就会被拉长，开通损耗和关断损耗大幅增加。这些损耗全部转化为热量，时间一长就会过热炸管。

典型现象：开关频率越高，发热越严重、炸管越快；导通内阻明明不大，但管子就是烫得厉害。

排查方法：测 Vgs 波形，看上升沿、下降沿是否过缓；估算开关损耗占比。

解决办法：更换驱动能力更强的控制芯片；选用低 Q_g 、开关速度快的 MOS 管。

6. 体二极管反向恢复：感性电路的常客

在电机驱动、继电器控制等感性负载电路，以及 H 桥、同步整流等拓扑中，MOS 关断时体二极管会承担续流作用。当体二极管从导通状态恢复到截止状态时，会产生反向恢复电流尖峰，叠加在主回路上，同时诱发电压尖峰，很容易超出器件的电流、电压耐受极限，导致炸管。

典型现象：感性负载开关时随机炸管；H 桥电路下管故障率明显更高。

排查方法：测开关瞬间的电流、电压波形，观察是否有反向恢复尖峰。

解决办法：选用反向恢复速度快的 MOS；增加 RCD 吸收电路；优化死区时间设计。

7. 焊接空洞：DFN 封装的隐形坑

DFN、QFN 这类靠底部焊盘散热的封装，焊接时如果钢网开孔不对、回流焊曲线没调好，底部焊盘很容易出现焊接空洞。空洞不导热、不导电，会让局部热阻大幅上升，散热能力直接打折。管子长期在过热状态下工作，迟早会失效炸管，而且批量一致性很差。

典型现象：同一块板上的管子，有的炸有的正常；批量生产良率偏低，故障分散。

排查方法：X 射线检测底部焊盘空洞率；拆解器件观察焊锡覆盖情况。

解决办法：优化钢网开孔比例；调整回流焊温度曲线；选用焊接工艺性好的器件。

8. 雪崩耐量不足：不是耐压不够，是能量不够

感性负载关断的瞬间，电感会产生很高的感应电动势，把 MOS 管拉进雪崩状态。单次雪崩的能量超过器件的 EAS（单次雪崩能量）额定值，也会击穿器件。

典型现象：感性负载每次关断都有概率炸管； V_{ds} 波形有明显的雪崩尖峰。

排查方法：计算感性关断的雪崩能量，对比器件的 EAS 额定值。

解决办法：增加 RCD 钳位吸收电路；选用雪崩耐量更高的 MOS 管。

最后总结

MOS 管炸管，别上来就死磕耐压。栅极过压、浪涌电流、散热不足、寄生振荡、驱动不足、反向恢复、焊接空洞、雪崩耐量，这 8 个细节，才是绝大多数炸管的真凶。

选 MOS 也别只盯着 V_{ds} 和 $R_{ds(on)}$ ，栅极特性、开关特性、散热、雪崩、浪涌这些参数，同样决定了实际应用的可靠性。