

工业电子雷管控制模块

之电磁兼容与可靠性解决思路



1.1 2025年最新标准要求

GB 19417-2025 《工业雷管通用安全技术要求》

标准在电磁兼容方面：

标准聚焦静电、射频、电压冲击等电磁干扰场景，通过明确抗扰度要求和试验方法，确保工业雷管在复杂电磁环境中不发生误动作

标准在可靠性方面：

从机械应力（震动、拉力、撞击等）、温度应力、特殊环境（煤矿）等多维度提出要求，结合严格的检验规则，保障雷管在全生命周期内的稳定性和安全性



1.2 GB 19417-2025 《工业雷管通用安全技术要求》

电磁兼容项目	技术要求	试验方法	适用对象
静电感度	电容 500pF，串联电阻 5kΩ，充电电压 25kV 的条件下，经脚线-管壳放电方式，不应发生爆炸	WJ/T9042 的规定进行	工业电雷管 工业电子雷管
射频感度	用功率 10W 的射频源注入射频能量，在脚线-脚线及脚线-管壳两种模式下，不应发生爆炸	GB/T27602 的规定进行	工业电雷管 工业电子雷管
直流电压冲击性能	施加48V直流电压，持续10s，不应发生爆炸	WJ/T9103 的规定进行	工业电子雷管
交流电压冲击性能	施加220V/50Hz交流电压，不应发生爆炸	WJ/T9103 的规定进行	工业电子雷管
直流脉冲电压冲击性能	用储能电容 200 (1±2%) μF，充电电压 2000 (1±1%) V 的高压直流电源进行直流脉冲电压冲击，不应发生爆炸	WJ/T9103 的规定进行	工业电子雷管

1.3 GB 19417-2025 《工业雷管通用安全技术要求》

可靠性	技术要求	试验方法	适用对象
抗震性能	置于凸轮转速为 (60 ± 1) r/min、落高为 (150 ± 2) mm 的震动试验机中，连续震动 10min，不应发生爆炸、结构松散或损坏、短路、断路和性能不稳等现象	WJ/T9074 附录 A 的规定进行	工业电雷管/工业电子雷管/导爆管雷管
抗拉性能	在 49N 的静拉力作用下持续 1min，不应发生爆炸，封口塞与脚线或导爆管不应发生目视可见的损坏或移动	WJ/T9074 附录 B 的规定进行	工业电雷管/工业电子雷管/导爆管雷管
抗撞击性能	点火部位、起爆部位在落锤质量 2.0kg、落高 0.7m 条件下受到撞击，不应发生爆炸	WJ/T9074 的规定进行	工业电雷管/工业电子雷管/导爆管雷管
抗跌落性能	从距离水平钢板垂直高度为 5.0m 的高处跌落，不应发生爆炸或结构损坏	按照 WJ/T9104 的规定进行	工业电雷管/工业电子雷管/导爆管雷管
耐温安全性能	在 100℃ 的环境中保持 4h，不应发生爆炸	按规定的仪器及装置和试验程序进行（高温箱温度控制精度为 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 等）	工业电雷管、工业电子雷管、导爆管雷管
抗弯性能	施加 49N 的径向荷载，持续 1min，不应发生爆炸，管体不应呈现明显的弯曲、裂纹和折痕	按照 WJ/T9105 的规定进行	工业电雷管、工业电子雷管、导爆管雷管
可燃气安全度	在浓度为 $(9\pm0.3)\%$ 的可燃气中起爆时，不应引爆可燃气体	按照 GB18096 的规定进行	煤矿许用型工业电雷管、煤矿许用型工业电子雷管

2.1 WJT9107-2025工业电子雷管 电子引火模块（申报稿）

电磁兼容要求的核心逻辑

分层覆盖电磁干扰场景：

1. 从低频（50Hz 交流电）到高频（15.0GHz 射频）、从持续电压（直流 48V）到瞬时脉冲（2000V 单脉冲）、从静电到电磁辐射，全面覆盖工业电子雷管可能面临的电磁环境（如矿山、工地、勘探现场的复杂电磁干扰）

2. 双重考核指标：

所有项目均要求 “不发生误发火”（无烟火）+ “后续功能正常”（通信、发火可靠），既防止即时危险，又保障模块在干扰后仍能按程序工作，体现 “**安全性**” 与 “**可靠性**” 的双重要求。

1. 适配电子引火模块的核心作用

电子引火模块是工业电子雷管的 “**点火控制核心**”，其电磁兼容性能直接决定雷管是否会因电磁干扰误起爆，因此标准通过严格指标确保其在电磁干扰下的 “抗误动” 能力，是整个雷管安全链的关键环节

2.2 WJT9107-2025(申报稿) 核心电磁兼容要求及技术细节

序号	项目名称	技术要求	核心目的
1	直流电压冲击性能	在模块两脚间施加 48V 直流电，持续 10s 1. 电引火元件不应产生目视可见的烟或火 2. 测试后模块组网应能正常通信、发火	抵抗直流电路中可能出现的电压波动（如电路故障、电源异常），防止误触发
2	交流电压冲击性能	在模块两脚间施加 220V/50Hz 交流电 电引火元件不应产生目视可见的烟或火	抵抗民用交流电环境中的泄漏、感应电压（如近距离接触供电线路），避免误动作
3	静电感度	在模块两脚间以 “25kV 充电电压、500pF 电容、5k Ω 串联电阻” 注入放电： 1. 电引火元件不应产生烟或火 2. 测试后模块组网应能正常通信、发火	抵抗静电放电干扰（如人体静电、设备摩擦起电），防止静电引发早爆
4	直流单脉冲电压冲击性能	在模块两脚间以 “2000V（ $\pm 1\%$ ）充电电压、200 μ F（ $\pm 2\%$ ）电容” 注入放电，电引火元件不应产生目视可见的烟或火	抵抗瞬间高压脉冲干扰（如雷电感应、电路开关操作产生的浪涌），避免脉冲触发

2.3 WJT9107-2025(申报稿) 技术挑战

针对直流 48V、220V 交流、2000V 直流单脉冲电压的冲击测试要求，对于工作在 24V 以下电平的电子雷管系统而言，从芯片工艺和总线电平电压两方面存在显著技术挑战

挑战01.

电子引火模块的核心控制芯片（如逻辑芯片、通信芯片、储能管理芯片等）需适配系统 24V 以下的低电平工作环境，但其同时要承受远高于工作电压的冲击（48V 为工作电压的 2 倍以上，2000V 更是高达百倍级），芯片工艺需平衡“低功耗 / 低电压适配”与“高耐压抗冲击”的矛盾

挑战02.

耐压能力与工艺兼容性的冲突，低电平（<24V）芯片通常采用低压工艺（如 CMOS 工艺中 5V、3.3V 耐压的氧化层设计），其半导体衬底、栅氧化层厚度等参数针对低电压优化，以降低导通电阻和功耗；但48V直流、220V交流（峰值约311V）、2000V 脉冲的冲击会产生远超其耐压极限的电场，可能导致栅氧化层击穿、PN 结反向击穿或金属互连线熔断

2.4 WJT9107-2025(申报稿) 技术挑战

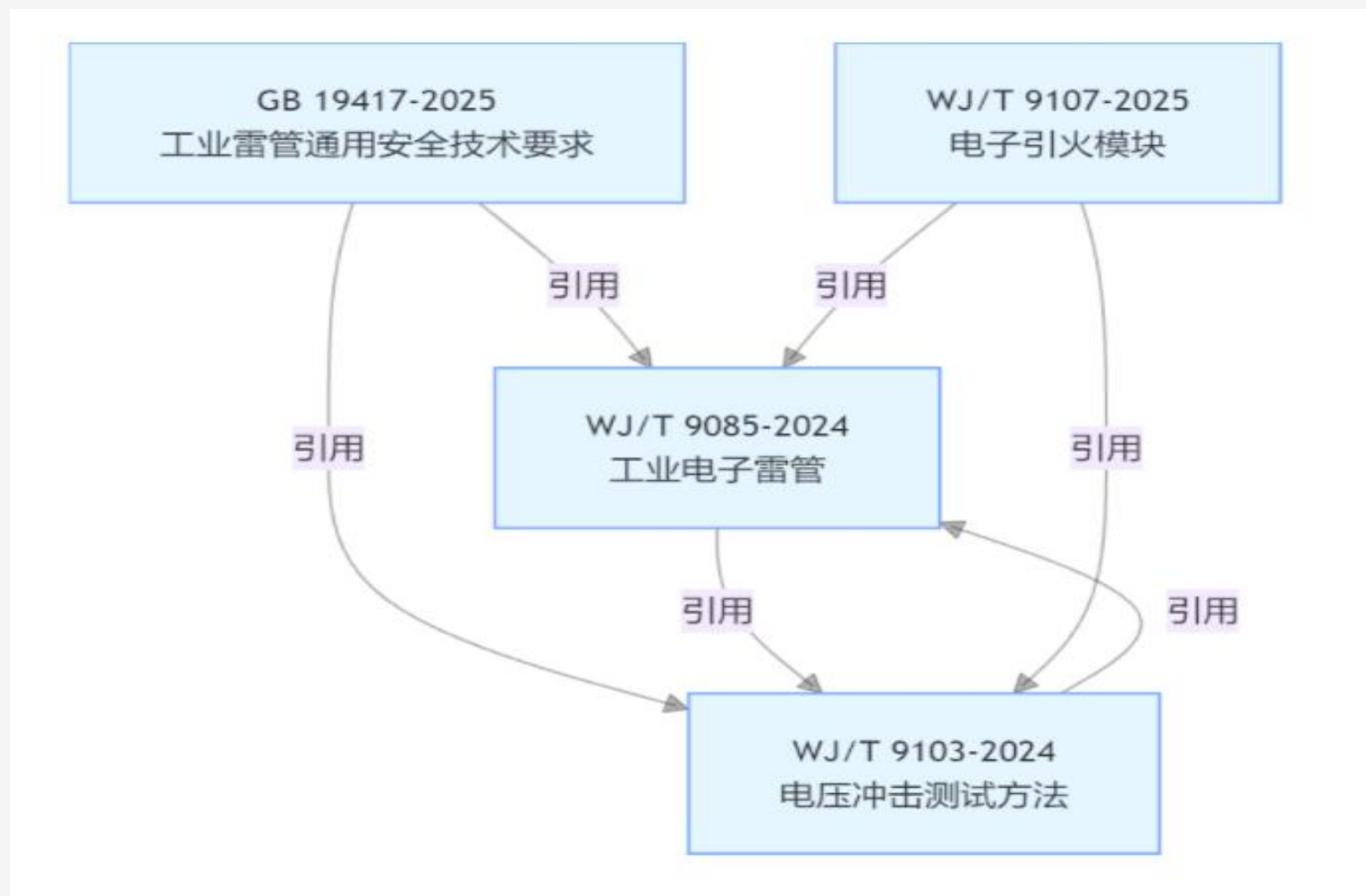


即要还要

要不冒烟，还要能通正常工作

为了安全生产，一切都是必要

3.1 几份标准的引用关系



3.2 标准定位与核心范围

★层级清晰：

GB 19417-2025 是顶层通用标准，WJ/T9085-2024 是电子雷管专项标准，WJ/T 9107-2025 是组件级标准，WJ/T 9103-2024是方法标准，形成“通用→专项→组件/方法”的纵向支撑链

★互补性强：

横向层面，通用标准与专项标准在指标上保持一致，组件标准与整机标准配套，方法标准为所有涉及“电压冲击”的测试提供统一依据，确保技术要求的可操作性和一致性

★核心聚焦：

所有标准均围绕“工业电子雷管的安全性能”（如抗电磁干扰、可靠性）展开，引用关系服务于“从通用到具体、从整机到组件、从要求到方法”的逻辑闭环

4.1 48V、220V 交流、2000V 直流单脉冲解决思路

防护架构设计

芯片工艺优化

电路隔离与浪涌抑制

信号处理与自恢复机制



4.3 220V 工频电压交流测试

工频电压交流测试，其实在通讯电话线行业，就是电力线搭接类似，标准内容：

5.10 交流电压冲击性能

在电子引火模块两脚之间施加 220 V、50 Hz 的交流电，电引火元件不应产生目视可见的烟或火。

目前的P0300DA和SMF24CA可以满足要求，但是它将不能满足5.9项的测试要求

本项测试的通过取决与器件电压和塑封料的材料；阻燃剂氢氧化铝 $\text{AL}(\text{OH})_3$ ，神一样存存

4.4 2000V 单脉冲测试思路与思考

5.12 直流单脉冲电压冲击性能

在单发电子引火模块两脚之间，以充电电压为 $(2000 \pm 1\%)$ V、容量为 $(200 \pm 2\%)$ μ F 的电容注入式放电，电引火元件不应产生目视可见的烟或火。

计算一下能量：能量公式： $E = CV^2 / 2$

E 为能量（单位：焦耳，J）

C 为电容（单位：法拉，F）

V 为电压（单位：伏特，V）

电容器储存的能量为 400 焦耳（J）

400 焦耳（J）单次泄放能量属于中等能量量级

= 大致相当于 40kg 物体从 1 米高处下落的动能 = 约 0.1 克 TNT 的能量

4.4.1 2000V 单脉冲测试思路与思考

➤ 理论思路依据:

常温下, 根据IEC60664-1 或 IPC-2221B规则, 综合计算出来2000V直流不拉弧最小间距4-10mm之间

假如医疗设备需符合 UL 60601-1 (间隙 $\geq 12\text{mm}$), 航空领域需符合 DO-160G (间隙 $\geq 15\text{mm}$)

➤ 思考:

- 一. 针对电子雷管, 行业最少也等同于医疗设备推荐的12mm; 但是电子雷管的实际间隙和空间是达不到的
然而, 标准和实际情况是防止非常小概率的人为用错设备, 拿错启爆器, 接错启爆器
- 二. 电子雷管的绞线与雷管模组之间的连接端子, PCBA线的走线, 表面的绝缘材料, 简称: 绿油, 阻焊剂 (Solder Mask), 其核心成分是环氧树脂和光引发剂, 它具有绝缘作用
- 三. 是否有高能吸收材料, 可以吸收能量; 通过磁、光、热的形势损耗? 但又不要影响发火电阻

4.5 解决思路？

► 高吸能材料的思路

吸收过程中不发生爆炸、飞溅等二次危害，优先通过塑性变形、断裂或相变等可控方式耗能

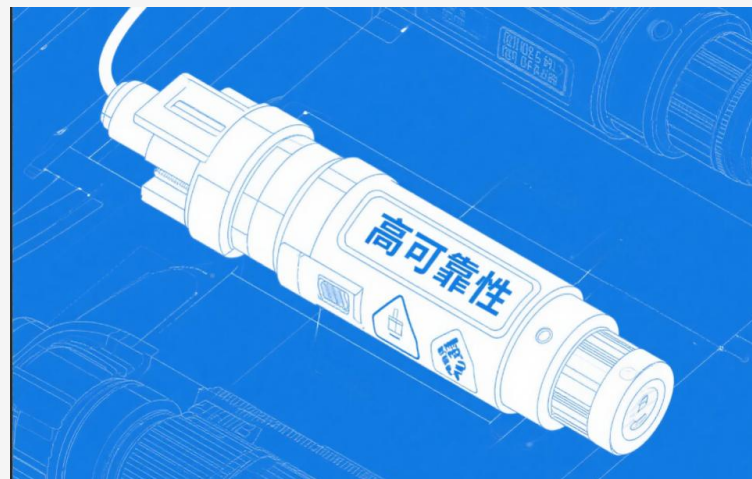
► 金属基吸能材料

泡沫铝、多孔铜、铝合金蜂窝结构，通过孔隙压溃、塑性变形（金属晶格滑移）耗散能量，属于“塑性耗能”，单次使用后不可恢复

► 高分子基吸能材料

闭孔聚氨酯泡沫、丁基橡胶、超高分子量聚乙烯；通过高分子链的弹性形变（可逆）或断裂（不可逆）耗散能量，形状记忆合金（SMA），马氏体相变可逆吸能

行业专家齐心协力，为行业高质量发展！



谢谢大家！

www.yint.com.cn