

# 现代生产技术在电子雷管制造中的应用与挑战

张 千

天津宏泰华凯科技有限公司 天津 301900

**摘 要:** 电子雷管作为工程爆破中极为关键的工具, 它的制造精度以及可靠性会直接对爆破效果以及安全产生影响。随着现代生产技术迅速发展, 电子雷管制造领域正在经历智能化的转型升级过程。本文探讨现代生产技术于电子雷管制造当中的应用现状以及面临的挑战, 分析技术瓶颈和人才供需矛盾, 提出有针对性的策略建议, 期望能推动电子雷管制造业实现高质量发展。

**关键词:** 现代生产技术; 电子雷管; 制造业; 策略优化

## 引言

电子雷管制造过程中融合了许多核心技术, 现代生产技术的运用对其制造效率以及产品质量有着提升作用。本文分析了电子雷管制造工艺以及现代生产技术的大致情况, 剖析了自动化与智能制造技术在电子雷管制造方面的应用, 探讨了所面临的技术、人才、安全与管理方面的挑战, 给出了技术创新与升级、人才培养与引进、安全与管理优化等策略。

## 一、电子雷管制造与现代生产技术概述

### (一) 电子雷管制造工艺

电子雷管的生产流程融合多项核心技术环节, 其制造工艺有精密化特征。在微电路制备阶段, 采用微影加工和化学蚀刻工艺, 将延时控制模块以三维堆叠结构植入硅基芯片, 形成毫秒级时序调控中枢, 随后进入核心装药工序, 根据工程爆破需求, 将钝感炸药与敏化剂按精确的定量配比, 依靠真空分层灌注到管体结构内, 实现爆破能量的梯度释放设计。紧接着进入精密装配阶段, 依靠精密焊接工艺将起爆芯片与复合式点火装置构建电气回路, 采用冗余触点设计保障极端工况下的信号传导可靠性, 产品定型前需实施多维度质量检测, 除基础的安全性能验证外, 还运用激光干涉仪进行纳秒级延时标定, 并模拟复杂电磁环境下的抗干扰测试, 保证每个雷管符合军标级可靠性要求。

**作者简介:** 张千 (1990.08-), 男, 汉族, 天津市蓟州区, 本科, 毕业于天津理工大学, 助理工程师, 研究方向: 现代生产技术在电子雷管制造中的应用与挑战。

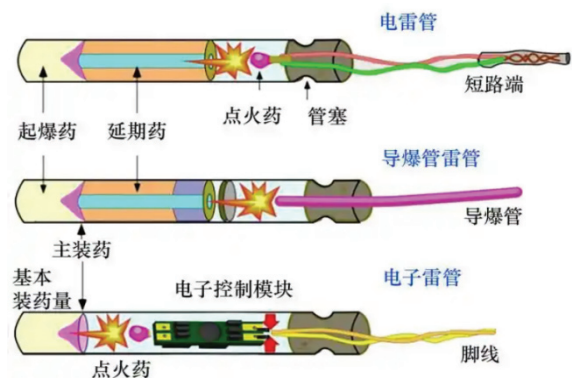


图1 电子雷管

### (二) 现代生产技术简介

电子雷管制造领域正加速推进智能化转型升级, 现代产线借助模块化集成系统实现全流程工艺革新。智能传输装置与数控加工单元协同作业, 使原材料预处理、精密装配及封装检测等工序形成无缝衔接, 提升产能利用率, 将人为操作失误率控制在0.3%以下。基于工业物联网的数字化质量管控平台, 依靠分布式传感器实时采集工艺参数并动态优化工艺曲线, 使关键质量指标波动范围缩小至 $\pm 0.05\text{mm}$ , 良品率提升约15%。在核心部件加工环节, 采用高精度激光微雕技术替代传统冲压工艺, 借助热影响区控制算法使外壳接缝精度达微米级, 配合非接触式密封检测系统, 产品爆破可靠性提升至99.98%新高度。

## 二、现代生产技术在电子雷管制造中的应用

### (一) 自动化生产技术的应用

电子雷管制造体系中, 智能化生产系统呈现出不可替代的技术优势。在原料预处理阶段, 智能机械臂根据预设参数自动抓取和输送原料, 有效规避人工转运导致

的物料损耗与定位偏差，芯片微加工环节中，配备自适应控制系统的纳米级光刻设备可基于精密电路图纸，完成亚微米精度的集成电路成型，保障关键元件的工艺稳定性<sup>[1]</sup>。针对火工品装配核心工艺，模块化生产线实现不同规格药剂量的动态补偿填充，依靠多轴联动机械手完成芯片模组、点火机构与金属壳体间毫米级精度的快速装配，质量监控方面，集成高灵敏度传感器配合图像识别算法，可对产品爆速参数、起爆可靠性等核心指标进行多维数据验证。凭借上述智能化生产体系的协同运作，在实现产能提升的同时将人为因素导致的质量波动控制在最低范围内，提高高危作业场景下的本质安全水平。

### (二) 智能制造技术的应用

智能制造技术的应用提升了电子雷管制造的现代化水平。在实际加工流程中，分布于生产线各关键节点的传感装置持续采集设备工况、产品检测指标及环境变量等多元数据，依托工业大数据平台对这些信息进行深度解析与智能研判，使生产团队可精准识别设备性能波动、工艺参数偏移等异常状况，并采取预防性维护策略规避潜在风险。结合人工智能算法的智能排产系统可动态整合订单波动曲线、设备稼动率及物料库存数据，生成兼顾效率与成本的最优生产方案。在质量追溯维度，依靠为每发雷管配备专属电子身份证并完整记录其全生命周期的工艺参数，构建起覆盖原料入厂至成品出厂的全链路追溯体系，保证质量缺陷的溯源响应速度提升至分钟级。依托工业物联网构建的云端协同平台，实现了生产数据的跨地域可视化监控与远程工艺调控，这种虚实融合的管理模式有效突破了传统制造在时空维度上的制约瓶颈。

## 三、现代生产技术在电子雷管制造中面临的挑战

### (一) 技术层面的挑战

电子雷管制造领域正经历着技术升级周期持续压缩的行业态势，生产企业在推进技术现代化进程中遭遇多维技术瓶颈。在集成电路制造环节，随着微电子技术向纳米级精度演进，晶圆加工对光刻设备的分辨率要求呈现指数级增长，当前国产光刻装备在套刻精度与良品率控制方面仍存在较大技术代差，迫使企业长期陷入进口设备依赖困境，这种状况导致固定资产投资成本居高不下，使产业链面临关键设备断供的潜在风险<sup>[2]</sup>。在含能材料应用维度，以CL-20为代表的新型高能炸药虽然较大提升了起爆性能，但其敏感特性对装药工序提出了近乎严苛的精度标准，传统气动式装填设备在微克级药量

控制方面存在系统性误差，直接影响着起爆序列的时序精度与可靠性指标，车间级智能化改造进程中暴露出的异构系统间数据壁垒，严重制约着MES系统与PLC控制单元间的协同响应效率，这种数字化断层现象使得实时工艺优化算法难以有效落地，成为制约数字孪生技术深度整合的主要障碍。

表1 电子雷管制造领域技术瓶颈表

技术领域	技术瓶颈	影响
集成电路制造	光刻设备分辨率要求高，国产设备套刻精度与良品率控制存在技术代差	依赖进口设备，固定资产投资成本高，面临关键设备断供风险
含能材料应用	新型高能炸药CL-20敏感特性要求高精度装药，传统气动式设备存在误差	影响起爆序列时序精度与可靠性，制约MES系统与PLC协同效率
智能化改造	异构系统间数据壁垒，数字化断层现象	实时工艺优化算法难以落地，制约数字孪生技术整合

### (二) 人才层面的挑战

当前电子雷管制造业面临较大的人才供需矛盾，其核心岗位要求从业者有电子工程、机械设计及化学工艺的跨领域知识结构，同时须掌握产线操作与质量管控的实践技能。现实情况显示，教育机构培养与企业用人需求间存在明显错位，高校相关院系的课程体系更新滞后于产业需求，课堂理论与产线实操存在断层，导致应届毕业生普遍需要半年以上的岗位适应期。从企业人才发展维度观察，部分生产单位的在岗培训体系呈现碎片化特征，缺乏阶梯式培养方案，缺少专项技能提升模块，制约了技术人员对智能生产系统的适应能力<sup>[3]</sup>。

### (三) 安全与管理层面的挑战

作为高危爆炸物品的电子雷管，其安全生产需遵循严苛的操作规程与风险防控体系。在推进智能制造转型升级过程中，生产安全面临多维度的新型挑战，数控装药机、智能巡检机器人等先进设备的投用，虽提升效率却使系统耦合度较大提高，设备程序异常或遭受网络攻击时可能触发链式反应。极端情况下，黑客攻击可能破解DCS控制系统篡改延时参数，引发殉爆或早爆事故，面对日益扩大的产能需求与精细化的工艺要求，传统的人工巡检和纸质台账难以实现全流程动态管控，特别在多工序协同作业时易产生监管盲区，部分企业安全培训流于形式，员工存在侥幸心理，违规进行雷管编码录入或起爆元件检测的情况屡禁不止。

#### 四、现代生产技术在电子雷管制造中应用挑战的策略

##### (一) 技术创新与升级策略

为突破电子雷管制造领域的技术瓶颈，企业需构建以技术创新为主导的发展体系。在核心装备研发层面，应重点攻关光刻机这类芯片制造关键设备，其微米级加工精度与长期运行可靠性直接决定雷管性能参数，建议联合高校院所组建多学科联合攻关团队，主动申请政府专项科研基金，重点突破光学系统误差补偿、精密导轨热变形控制等技术难点，依靠设备迭代研发提升国产化率，保证产业链自主可控。在装药工艺革新方面，可引入微流控芯片技术，基于微米级通道设计实现纳米炸药定量装填，结合机器学习模型构建装药参数动态调节系统，对温湿度、压力梯度等变量进行毫秒级反馈控制，将装药误差控制在0.5%以内，有效提升产品批次一致性。在智能制造转型方面，建议构建全流程数字化管控体系，依托物联网技术实现设备泛在感知，凭借OPC-UA协议打通PLC、MES系统间的数据壁垒。利用时序数据库存储海量生产数据，结合数字孪生技术建立工艺参数优化模型，精准识别设备空转、物料滞留等异常工况，使产线综合效率提升。

##### (二) 人才培养与引进策略

在电子雷管制造行业转型升级过程中，人力资源的优化配置成为驱动技术创新的核心动力。校企协同育人平台的构建需突破传统模式，依靠“订单式”人才培养机制实现供需精准对接，高等院校应依托企业技术中心建立联合实验室，将电子雷管专用芯片设计、起爆控制系统开发等前沿技术转化为模块化课程，实践课程比例不低于总学时的50%，并引入虚拟仿真平台开展高危工序的沉浸式实训。企业技术专家采取“双师同堂”授课模式，将近期破解的哑弹故障分析、延期精度控制等多个典型案例转化为教学项目，使学生提前掌握产业一线的技术攻关方法。针对产业工人队伍能力提升，企业应建立分层次的岗位能力提升方案，运用“微课+工作坊”形式每月开展工艺改进研讨，每季度组织装药精度控制、起爆时序调试等专项技能比武，并设立专项创新激励基金，对提出装填参数优化算法等创新方案的团队给予研发经费支持，形成创新驱动发展的良性循环。

##### (三) 安全与管理优化策略

电子雷管作为高危民爆物品，其安全生产管理直接关系到社会公共安全。在技术防护领域，构建多维联动的网络安全架构具有战略意义，依靠部署态势感知平台对网络流量实施动态监控，结合大数据分析技术精准捕捉异常数据流和潜在威胁，每季度组织红蓝对抗实战演练，模拟APT攻击、勒索病毒等复杂场景，持续验证防御体系响应效能并迭代升级策略。建立常态化漏洞扫描机制，采用自动化渗透测试工具对工控系统进行深度检测，形成“漏洞发现-补丁开发-修复验证”的闭环管理流程，保证生产控制系统全生命周期安全，在管理维度推行“安全嵌入式”管理模式，由跨部门专家团队对原料质检、精密装配、仓储物流等多个关键节点进行风险矩阵评估，制定分级管控方案。实施安全责任制清单管理，将隐患排查质量与部门绩效薪酬直接挂钩，建立“三违”行为熔断机制，设立安全生产委员会统筹监管工作，配置注册安全工程师团队开展定制化培训项目，依靠虚拟现实事故模拟、岗位风险沙盘推演等创新形式强化员工安全素养。

##### 结语

综上所述，电子雷管制造业朝着智能化方向转型已成为不可阻挡的趋势，然而其所面临的技术、人才、安全以及管理等挑战不容小觑。借助构建技术创新体系、优化人才培养机制以及强化安全管理措施等方式，可有效地突破当前存在的瓶颈，提升该产业的竞争力。在未来，技术持续取得进步以及政策给予的持续支持，电子雷管制造业将迎来更为广阔的发展前景。

##### 参考文献

- [1] 李童吉, 吴梦伟, 王家乐, 等. 电子雷管抗冲击性能研究进展[J]. 煤矿爆破, 2024, 42(04): 23-26+37.
- [2] 何运华, 杨德义, 齐彬, 等. 露天矿山电子雷管新预裂爆破方案的应用研究[J]. 辽宁科技学院学报, 2024, 26(06): 26-29.
- [3] 李冰晶. 数码电子雷管在煤矿井下的安全管理[J]. 煤炭技术, 2024, 43(12): 289-291. DOI: 10.13301/j.cnki.ct.2024.12.060.