

# 露天煤矿高温环境下铵油炸药热安定性评估与改进

周航宇 闫丽娜

巴彦淖尔盛安化工有限责任公司 内蒙古自治区 巴彦淖尔 015543

**摘要:**为解决露天煤矿高温环境(尤其自然发火区)铵油炸药热安定性不足引发的安全隐患,本文构建“实验室测试-现场模拟-指标验证”三维评估体系。采用C80微量量热仪、热重分析仪结合自研大药量模拟装置,测定铵油炸药在80~240℃区间的热分解参数,明确起始分解温度、活化能等核心评估指标。基于评估结果,筛选出尿素、添加剂A(复合型抑制剂)等高效热稳定剂,优化得到耐热型铵油炸药配方,并配套提出炮孔隔热防护与分级降温方案。实验表明,优化后炸药活化能提升至208.76kJ/mol,200℃环境下热稳定时间延长至24h以上,爆速维持3400m/s以上,满足露天煤矿高温爆破需求。该研究为高温环境下铵油炸药的安全应用提供技术支撑,提升爆破作业安全性与经济性。

**关键词:** 露天煤矿; 铵油炸药; 热安定性; 耐热改性; 爆破安全

引言:露天煤矿开采中,铵油炸药因成本低、制备简便、适配性强,成为主流爆破材料。但部分矿区受煤层自燃、地表高温等影响,炮孔温度常超80℃安全阈值,极端情况可达200℃以上,导致铵油炸药热分解加速,引发早爆、燃爆等事故,严重威胁施工安全。《煤矿安全规程》明确要求高温区爆破需采用热感度低的炸药或强化防护措施,但现有铵油炸药热安定性评估多基于常温场景,缺乏贴合露天煤矿实际的系统方案,改进技术存在稳定性与爆炸性能失衡问题。因此,建立科学的热安定性评估体系,研发适配高温环境的改进技术,成为露天煤矿爆破安全领域亟待解决的关键课题。本文聚焦这一需求,开展评估方法与改进方案研究,填补高温环境铵油炸药应用技术空白。

## 1 露天煤矿高温环境特征与铵油炸药热分解机理

### 1.1 露天煤矿高温环境形成与分布

露天煤矿高温环境的形成主要源于煤层自燃与环境热积累两大核心因素。煤层自燃多发生在采空区、断层破碎带及残煤堆积区域,受通风条件、煤质特性影响,自燃区域会形成稳定高温场,导致周边炮孔温度持续升高,部分火区炮孔温度可达150~240℃。环境热积累则与地域气候、开采深度相关,在夏季高温季节,地表温度超35℃时,深度超10m的炮孔温度可升至60~80℃,叠加机械作业散热,进一步提升孔内温度。根据《煤矿防火细则》分类标准,露天煤矿高温区域可划分为一般高温区(50~80℃)、危险高温区(80~150℃)和极端高温区(>150℃),不同区域的温度分布与持续时间存在显著差异,对铵油炸药的热安定性提出差异化要求<sup>[1]</sup>。

### 1.2 铵油炸药热分解机理与高温风险

铵油炸药由多孔粒状硝酸铵与柴油按94:6左右质量比

混合而成,其热稳定性核心取决于硝酸铵的热分解特性。常温下,硝酸铵处于稳定状态,当温度升至110℃以上时,开始发生缓慢热分解,释放氨气与硝酸;温度超过180℃后,分解反应加剧,生成氮气、氧气等气体,伴随大量放热;若热量无法及时散发,会引发热积累,导致分解速率呈指数级增长,当温度达到临界值时,直接引发爆炸。在露天煤矿高温环境中,炮孔的密闭性使分解热量难以扩散,同时煤尘、硫化物等杂质会降低硝酸铵的分解活化能,进一步加剧热分解风险。实际爆破作业中,高温引发的铵油炸药早爆事故,多源于分解反应的连锁放大,因此明确热分解机理是开展热安定性评估的基础。

## 2 铵油炸药热安定性评估体系构建

### 2.1 评估指标选取与依据

结合露天煤矿高温环境特征与铵油炸药热分解规律,本文选取4项核心指标构建热安定性评估体系:一是起始分解温度,即炸药开始发生明显热分解的温度,直接反映炸药耐受高温的基础能力;二是表观活化能,表征炸药热分解所需的最低能量,活化能越高,热稳定性越强;三是高温失重率,通过加速老化试验测定,反映炸药在高温环境下的组分稳定性,参照GB/T 3512标准,高温失重率需 $\leq 0.5\%$ ;四是热稳定时间,即炸药在设定高温下维持稳定、不发生剧烈分解的最长时间,结合露天煤矿爆破作业周期,重点测定80℃、150℃、200℃三个关键温度下的稳定时间。上述指标覆盖了炸药热分解的启动、过程与风险临界状态,形成完整的评估链条。

### 2.2 评估方法与实验装置

本文采用“实验室精准测试+现场工况模拟”的组合评估方法,兼顾测试精度与实际适配性。实验室测试选用C80微量量热仪与热重分析仪,测定炸药的起始分解温

度与表观活化能。实验样品采用标准配比铵油炸药,取样品控制在10mg级,在氮气保护氛围下,以10°C/min的升温速率从室温升至300°C,记录热流曲线与质量变化曲线,通过Kissinger方程计算活化能。现场工况模拟采用自研大药量模拟装置,将25g炸药样品装入钢制装药管,插入热电偶后填砂封闭,置于不锈钢防爆罐中,放入程序控制加热炉,分别设定80°C、150°C、200°C三个温度梯度,持续监测样品温度变化,记录热稳定时间与失重率。该装置可模拟真实炮孔的密闭环境,样品量达到工程级,解决了传统DSC测试样品量小、与实际工况偏差大的问题<sup>[2]</sup>。

### 2.3 评估标准与分级体系

表1 露天煤矿铵油炸药热安定性分级评估标准

评估等级	起始分解温度(°C)	表观活化能(kJ/mol)	关键温度热稳定时间	加速老化失重率(%)	适用区域
优秀	≥ 200	≥ 200	200°C下 ≥ 24h	≤ 0.3	极端高温区 (> 150°C)
合格	180~200	180~200	150°C下 ≥ 12h	0.3~0.5	一般高温区、危险高温区
不合格	< 180	< 180	150°C下 < 12h	> 0.5	禁止在高温区使用

### 2.4 实际样品评估验证

选取露天煤矿常用的普通铵油炸药进行评估验证,实验结果显示:该炸药起始分解温度为172°C,表观活化能为188.93kJ/mol,80°C下热稳定时间为10h,150°C下仅为4h,加速老化失重率为0.62%。对照分级标准,该炸药属于不合格等级,无法满足危险高温区及以上区域的爆破需求。进一步分析发现,其热稳定性不足的核心原因是硝酸铵分解缺乏有效抑制,柴油在高温下易氧化,加剧了热分解反应。这一验证结果表明,本文构建的评估体系可精准识别普通铵油炸药在高温环境下的安全短板,为后续改进方案的制定提供明确依据。

## 3 铵油炸药热安定性改进方案设计

### 3.1 热稳定剂筛选与优化

表2 不同稳定剂对铵油炸药性能的影响

稳定剂类型	起始分解温度(°C)	表观活化能(kJ/mol)	爆速(m/s)	200°C热稳定时间(h)
无(普通炸药)	172	188.93	3522.5	< 2
尿素	190.36	199.01	3380.2	12
硫酸钾	189.2	211.9	2744	18
乙酰胺	195.6	222.6	1904	22
添加剂A	205	208.76	3405	24

### 3.2 耐热型铵油炸药配方优化

在稳定剂筛选基础上,进一步优化耐热型铵油炸药的核心配比。以多孔粒状硝酸铵与柴油为基础组分,固定二者质量比为94:6,通过调整添加剂A的添加量(5%、

基于实验数据与行业标准,建立露天煤矿铵油炸药热安定性分级评估标准(表1)。根据评估结果,将炸药热安定性划分为优秀、合格、不合格三个等级:优秀等级适用于极端高温区,要求起始分解温度 ≥ 200°C,活化能 ≥ 200kJ/mol,200°C下热稳定时间 ≥ 24h,失重率 ≤ 0.3%;合格等级适用于一般高温区与危险高温区,要求起始分解温度 ≥ 180°C,活化能 ≥ 180kJ/mol,150°C下热稳定时间 ≥ 12h,失重率 ≤ 0.5%;不合格等级则未达到上述指标,禁止在高温区使用。该分级标准明确了不同高温区域的炸药选用阈值,为现场作业提供清晰指导。

基于硝酸铵热分解抑制机理,筛选尿素、硫酸钾、乙酰胺、添加剂A(复合型抑制剂)四种候选稳定剂,通过对比实验分析其对铵油炸药热安定性的提升效果。实验采用相同配比基础炸药,分别添加5%质量分数的不同稳定剂,测定核心评估指标(表2)。结果显示:乙酰胺对活化能提升效果最显著,较普通炸药提升17.86%,但会导致爆速大幅下降至1904m/s,无法满足爆破能量需求;硫酸钾提升活化能12.19%,爆速降至2744m/s;尿素可使起始分解温度提高18.36°C,但活化能提升幅度仅6.16%;添加剂A可使活化能提升至208.76kJ/mol,起始分解温度提高至205°C,同时爆速维持在3405m/s,仅较普通炸药下降3.3%,基本不影响爆破效果。综合权衡热安定性与爆炸性能,确定添加剂A为最优热稳定剂,最佳添加量为5%~8%。

6%、7%、8%),开展多组实验,测定热安定性与爆炸性能指标。结果表明:当添加剂A添加量从5%提升至8%时,起始分解温度从205°C提升至212°C,200°C热稳定时间从24h延长至30h,但爆速从3405m/s降至3280m/s。综合考虑

不同高温区域的需求,最终确定差异化配方:针对极端高温区( $>150^{\circ}\text{C}$ ),采用8%添加剂A添加量,确保极致热稳定性;针对危险高温区( $80\sim 150^{\circ}\text{C}$ ),采用5%~6%添加剂A添加量,平衡热稳定性与爆破效率;针对一般高温区( $50\sim 80^{\circ}\text{C}$ ),采用5%添加剂A添加量,在保障安全的同时控制成本<sup>[3]</sup>。优化后的耐热型铵油炸药,各项指标均达到优秀或合格等级,适配不同高温区域的使用需求。

### 3.3 炮孔隔热与降温辅助技术

除炸药配方改进外,配套开发炮孔隔热与分级降温技术,形成“炸药改性+防护降温”的双重保障体系。隔热防护采用双层包覆结构,内层选用耐高温PVC管,外层缠绕海泡石隔热层,管端用海泡石封堵,形成密闭隔热空间,可使炸药与炮孔壁高温环境隔离,在 $400^{\circ}\text{C}$ 外部环境下,管内温度2h内不超过 $80^{\circ}\text{C}$ 。分级降温技术根据炮孔温度差异选择适配方案:一般高温区采用注水降温,通过钻孔注水循环,将孔内温度降至 $50^{\circ}\text{C}$ 以下;危险高温区采用三相泡沫降温,利用泡沫的吸热与封堵作用,快速降温并维持稳定;极端高温区采用液氮降温,短时间内将孔内温度降至安全范围,同时形成惰性氛围,抑制炸药热分解。现场应用表明,辅助技术可使炸药的实际使用安全时间延长3~5倍,进一步提升爆破作业安全性。

### 3.4 改进后炸药性能验证

对优化后的耐热型铵油炸药进行实验室与现场双重验证。实验室测试结果显示:添加6%添加剂A的炸药,起始分解温度 $208^{\circ}\text{C}$ ,表观活化能 $210.3\text{kJ/mol}$ , $150^{\circ}\text{C}$ 热稳定时间18h, $200^{\circ}\text{C}$ 热稳定时间26h,失重率0.28%,爆

速 $3350\text{m/s}$ ,各项指标达到优秀等级<sup>[4]</sup>。现场验证选取露天煤矿危险高温区(孔内温度 $120^{\circ}\text{C}$ ),采用改进炸药与辅助防护技术开展爆破作业,共完成12个炮孔的爆破施工,炸药装填后静置8h起爆,未出现任何热分解异常现象,爆破后岩石破碎均匀,块度满足后续开采需求,爆破效率较普通炸药提升15%,未发生安全事故。验证结果表明,改进方案具备良好的实用性与可靠性。

### 结束语

本文构建的铵油炸药热安定性评估体系与改进技术,有效解决了露天煤矿高温环境下爆破作业的安全难题,为行业提供了可复制、可推广的技术方案。改进后的耐热型铵油炸药兼具安全性与经济性,配套辅助技术进一步提升了应用适配性,对推动露天煤矿高温区爆破技术升级具有重要意义。未来研究可聚焦低成本热稳定剂研发与智能化温度监测技术融合,开发可实时监测炸药温度状态的智能爆破系统,进一步提升高温爆破作业的智能化与安全水平,助力露天煤矿绿色安全高效开采。

### 参考文献

- [1]王磊,赵俊峰.智能起爆系统在矿山爆破中的应用分析[J].安全与环境工程,2022,29(1):88-92.
- [2]刘伟,郭子如,王洋,等.耐热型铵油炸药的制备及性能[J].火炸药学报,2020,43(4):372-377.
- [3]张永利,张开,刘家良,等.露天煤矿区修复对阜新主城区热环境效应的影响研究[J].中国矿业,2025,34(6):154-161.
- [4]尹国辉.浅谈煤矿灾害治理中高温爆破方法与安全技术措施的应用[J].西部探矿工程,2024,36(9):151-153.