

火工药剂储存安定性及老化机理分析

汝卫星 高薇

江西新余国科科技股份有限公司 江西 新余 338000

【摘要】：火工药剂乃武器装备、民用爆破等领域之核心基础材料，其储存安定性径直关联使用安全性与可靠性。本文自火工药剂储存进程中的实际影响要素着手，深入剖析化学老化、物理老化两类核心老化机理，契合行业实践认知，探究储存环境、药剂组分、包装形式等关键影响要素对安定性的作用规律，最终提出针对性的安定性提升办法。研究意旨为火工药剂储存管理实践供给切实可行的理论参照，规避泛泛而谈，聚焦实际储存场景中的核心难题与解决路径。

【关键词】：火工药剂；储存安定性；老化机理；环境影响；防护措施

DOI:10.12417/3083-5526.25.05.016

引言

火工药剂作为一类兼具高能量特性的特殊化学药剂，广泛运用于国防军工、矿山开采、道路建设等多个领域。无论是武器装备中的起爆构件，还是民用爆破工程里的爆破药剂，其生产之后往往需历经一定周期的储存，方投入实际使用。在储存进程中，受外界环境与自身组分特性作用，火工药剂会逐步产生老化变质，非但可能致使能量降低、作用可靠性减弱，严重之时更会诱发燃烧、爆炸等安全事端，给人员生命与财产安全带来极大危害。是以，深入研究火工药剂的储存安定性及老化机理，系保障火工药剂安全储存与有效使用的关键所在^[1]。

1 火工药剂储存安定性的核心内涵与判断依据

1.1 储存安定性的核心内涵

从行业实际应用层面观之，火工药剂的储存安定性本质即在规定的储存条件与储存周期内，药剂可维持其原有理化性质、能量特性与作用可靠性的能力。简而言之，便是药剂在储存进程中“不变质、不失效、不生安全问题”的能力。对于实际储存管理来讲，安定性良好的火工药剂，于正常储存条件下，可长期维持起爆灵敏度、燃烧速度、能量输出等关键性能指标稳定，不出现显著的变质现象；而安定性欠佳的药剂，或在短期内即出现组分改变、外观异常、性能降低等问题，难以满足实际使用需求^[2]。

1.2 储存安定性的判断依据

在实际工作当中，判断火工药剂储存安定性的依据主要源自两个方面：其一为外观及理化性质的改变，其二为性能指标的波动。从外观而言，常见异常现象涵盖药剂颜色变深、变浅，产生结块、潮解、结晶析出等状况，譬如硝化棉类药剂储存失当会出现发黄、发黏之态，黑火药或因受潮产生结块。从理化性质而言，药剂的酸碱度、含水率、粒度分布等指标发生显著变化，即表明安定性出现问题。从性能指标方面观察，起爆灵敏度数值、殉爆距离长度、燃烧时间节点等核心性能方面的参数出现偏离原始设定标准范围的状况，这种情形的出现便表明药剂已经呈现出老化变质的特征，难以对使用过程中的安全性

和效果性实施保障。这些用于判断的依据内容，均为行业领域内的工作人员在开展长期储存实践活动期间所总结提炼出来的成果，具备较强的实际操作应用属性^[3]。

2 火工药剂储存环节出现老化问题的核心作用机理

2.1 化学层面的老化作用机理

火工药剂是以热能激发产生燃烧或爆燃作用的功能性药剂，其核心技术特征体现在混合组成与能量释放控制两方面。按组成可分为单质药剂（含有机化合物或弱起爆药）和混合药剂（由氧化剂、可燃剂、黏结剂复合构成），需满足吸湿性小、热冲能敏感等性能基准。该药剂通过配方调整实现耐高温（150℃以上）、抗电磁干扰等特种功能，典型配方包括低氢化钛/高氯酸钾发火药等体系。应用领域覆盖航天运载器点火系统、石油深井爆破装置等高端装备，与雷管、火帽等火工品构成完整的传火序列。化学老化现象指的是火工药剂所含有的组分物质在储存过程当中发生化学性质的反应，进而造成药剂组分构成产生改变、性能水平出现下降的过程，该现象属于火工药剂发生老化问题的核心原因之一。在常见的化学老化反应类型当中，主要包含分解类型的反应、氧化类型的反应以及交互类型的反应。分解反应可视为火工药剂最为常见的化学老化表现形式^[4]。大部分火工药剂的组分物质本身具备一定程度的不稳定性特征，在储存环境条件之下会缓慢地开展分解反应活动。以硝化类药剂为例，其分子结构内部含有的硝基成分在外界因素的刺激作用之下，会缓慢地进行分解并生成氮氧化物、二氧化碳等气体物质，同时释放出热量能量。若分解过程产生的气体物质无法及时实现排出操作，将会造成储存容器内部的压力水平升高，进而复分解反应的推进速度形成加速作用；而所释放出的热量则会使得局部区域的温度出现升高情况，进一步对分解程度产生加剧效果，最终形成恶性循环的局面。

2.2 物理层面的老化作用机理

物理老化现象是指火工药剂在储存过程中，由于受到外界环境因素的影响作用，发物理状态方面的变化情况，进而造成药剂性能水平出现下降，但并未发生明显化学组分构成改变

的过程。物理老化现象虽然不会对药剂的化学组成结构产生改变作用，但会借助药剂结构状态的改变方式，对化学老化的进程产生间接影响效果，同时对药剂的使用性能产生直接影响作用。吸潮现象与潮解现象属于最为常见的物理老化表现现象。大部分火工药剂具备一定程度的吸湿性特征，在储存环境的湿度水平较高的情况下，会对空气中含有的水分实施吸收操作。水分的浸入会造成药剂出现结块现象、流动性水平下降，对药剂的装填性能以及起爆灵敏度产生影响作用。对于部分含有金属组分的药剂而言，水分还会造成金属组分发生锈蚀现象，从而引发化学老化反应活动。以黑火药在潮湿环境条件下开展储存工作为例，其会吸收水分并出现结块现象，同时水分会对其中含有的硫磺成分的氧化过程产生加速作用，最终造成药剂性能水平下降。

3 影响火工药剂储存安定性的关键因素

3.1 储存环境方面的因素内容

火工品，又称火具，是装有火药或炸药，受外界刺激后产生燃烧或爆炸，以引燃火药、引爆炸药或做机械功的一次性使用的元器件和装置的总称。包括火帽、底火、点火管、延期件、雷管、传爆管、导火索、导爆索以及爆炸开关、爆炸螺栓、启动机、切割索等。常用于引燃火药，引爆炸药，还可作为小型驱动装置，用以快速打开活门、解除保险及火箭级间分离等。

储存环境条件属于对火工药剂老化速度产生影响的最为关键的外部因素内容，其中，温度参数、湿度参数、氧气含量参数属于核心的环境参数内容。温度因素对药剂老化过程产生的影响最为显著突出，从实际开展的储存工作经验进行分析，温度数值每升高一定的幅度范围，药剂的老化速度便会呈现出明显的加快趋势。这源于温度上升会启动药剂成分的分子运行，加快分解反应、氧化反应等化学老化反应的开展，同时也会加重水分蒸发、成分挥发等物理老化流程。举例来讲在夏季高温状况里，存放的硝化棉药剂老化速率会远高于冬季低温状况。湿度是作用于物理老化的关键要素，同时也会间接对化学老化产生作用。环境湿度过大之际，药剂易于吸潮潮解，引发结块、成分溶解等物理改变；而环境湿度过小之时，某些药剂可能会出现干燥开裂情形，影响药剂的结构完整性。氧气含量则主要对氧化反应的推进产生作用，储存环境中氧气含量越高，药剂成分的氧化反应速率越快，化学氧化越严重。

3.2 药剂自身成分要素

药剂自身成分的稳定性是决定其储存安定性的内在要素。不同成分的火工药剂，其老化速率和老化机理存在显著差别。首先，主含能成分的稳定性直接决定了药剂的安定性程度，比如硝化甘油、黑索金等含能成分本身稳定性欠佳，由其制备的火工药剂储存安定性相对较低；而一些稳定性较高的含能成分（像奥克托金）制备的药剂，储存安定性则相对较好。其次，

药剂中的杂质含量对安定性影响显著。在火工药剂生产流程中，不可避免会引入少量杂质，这些杂质往往会成为老化反应的催化剂，加速化学老化。比如生产过程中残留的酸、碱杂质，会直接催化硝化类药剂的分解反应；而金属杂质则会加快氧化反应的推进。因此，实际生产中控制杂质含量，是提升火工药剂储存安定性的关键环节之一。多成分火工药剂中，氧化剂与可燃剂的比例是否合理、敏化剂的添加量是否恰当，都会对药剂的稳定性产生影响。若比例失衡，可能造成部分成分过量，这些过量成分易于发生分解或氧化反应，进而引发整体药剂的老化。

3.3 包装形式要素

包装是火工药剂储存过程中的“防护屏障”，合理的包装形式能够有效隔绝外界环境要素的影响，提升储存安定性。从实际储存情形来看，包装的密封性、包装材料的兼容性是核心影响要素。包装密封性差是导致药剂老化的常见缘由之一，密封性不足会造成空气中的氧气、水分等进入包装内部，与药剂接触引发氧化、吸潮等老化流程；包装材料的兼容性则直接影响药剂的安全性和安定性。若包装材料与火工药剂成分发生反应，不仅会破坏包装结构，还会污染药剂，加速老化。部分塑料包装材质或会和药剂中的有机溶剂产生溶胀、溶解状况，造成包装出现破损情形；而某些金属包装材质或会被药剂中的酸性成分实施腐蚀作用，生成金属离子，对老化反应起到催化效果。所以，在实际的储存工作当中，一般会选用和药剂具备良好兼容性的包装材质，像专用铝箔、玻璃纤维复合材质等之类，并对包装的密封性能进行保障。

4 提升火工药剂储存安定性的实用措施

4.1 对储存环境的管控工作进行优化

针对环境方面因素所产生的影响，重点在于对温度、湿度开展精准的管控操作以及对有害气体进行隔绝处理。首先，需要挑选阴凉、干燥且通风状况良好的储存库房，让库房避免直接处于阳光的照射之下，对夏季出现高温的情况进行防治。在实际的管理工作过程中，能够依照药剂的特性设定合理的温度区间范围，一般情况下把温度控制在 15-25℃是比较合适的；对于稳定性相对较差的药剂，能够运用低温储存的模式，进一步对老化的速度起到减缓作用。其次，要对库房的湿度进行严格的控制，通常是把相对湿度控制在 60%以下，能够通过安装除湿设备、放置干燥剂等途径来实现对湿度的管控目标，防止药剂出现吸潮潮解的现象。

4.2 对药剂生产质量进行严格地把控

从内在因素的角度出发，提升药剂自身的稳定性属于提升储存安定性的根本性措施。在生产的过程中，应当对主含能组分的质量进行严格控制，选用稳定性较高的原料；同时，对生产工艺进行优化处理，减少杂质的引入，特别是对酸、碱、

金属等有害杂质的含量进行控制。另外，需要对药剂的组分分配比进行精准控制，确保各组分比例处于合理状态，避免因配比失衡而导致老化速度加快。生产工作完成之后，需要对药剂开展严格的质量检测工作，只有理化性质、性能指标符合相关标准的药剂，才可以进入储存环节。

4.3 对包装与储存管理规范进行完善

对包装方式进行优化，提升包装的防护能力。依据药剂的特性挑选相容性良好的包装材质，确保包装材质不会和药剂发生反应；同时，采用密封性能优异的包装结构，例如运用双层密封、添加密封垫圈等方式，对氧气和水分进行隔绝。在储存管理的过程中，要严格执行分类储存的原则，将不同类型、不同稳定性的火工药剂分开进行储存，防止相互之间产生影响；同时，合理控制储存堆码的高度，避免因堆码过高而造成包装破损，同时保证库房内部通风状况顺畅。

4.4 储存周期的合理规划事宜

依照不同类别火工药剂所具备的稳定性程度状况，对储存

周期开展合理规划动作，防止出现超期储存的现象情形。针对稳定性处于较差状态的药剂类型，应当对储存周期实施缩短举措，将优先安排使用作为首要任务内容；对于稳定性呈现较高水平的药剂品类，同样需要严格依照既定的储存周期开展管理工作，针对超期储存的药剂产品，必须经历严格标准的性能检测环节，在确认达到合格状态之后方可投入使用流程，若未达到合格标准则需及时开展无害化处理操作事项。

5 结论

火工药剂储存安定性能是保障其安全使用的核心前提，其老化进程是化学与物理老化作用共同作用的结果，受储存环境、药剂成分、包装方式等多种因素综合影响。本文立足实际储存场景，深入剖析分解反应、氧化反应等化学老化机理，以及吸潮、结晶形态变化等物理老化机理，明确各关键影响因素的作用规律。在此基础上，提出优化环境管控、严控生产质量、完善包装管理、合理规划储存周期等贴合实际、操作性强的措施，以有效提升火工药剂储存安定性能。

参考文献：

- [1] 曹佳伟,刘红娥,张菲,李彦龙,滕依依,赵士津.基于 EDEM 的火工药剂静电特性模拟及回归分析[J].火工品,1-7.
- [2] 金翰林,鞠一非,廖芸,余新继.基于 PLC 的火工药剂高精度称量系统设计[J].兵工自动化,2025,44(06):78-81.
- [3] 赵团,宋明军,纪向飞,赵甲.火工药剂介电常数测试技术及响应分析[J].装备环境工程,2024,21(11):19-24.
- [4] 李泽睿,侯聪花,张灏哲,崔皓洋,罗宇航.窄粒径 HMX 的细化及性能研究[J].火工品,2024,(06):72-76.