

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2023.02.004

# 细结晶 NHN 基点火头药剂的性能研究\*

付志斌 雷钊琴

湖南神斧集团向红机械化工有限责任公司(湖南岳阳,414100)

**[摘要]** 以细结晶 NHN 为点火头药剂,分别以聚乙烯醇(PVA)胶、羟丙甲基纤维素胶以及赛璐珞无水乙醇胶为黏结剂,探究不同黏结剂对点火头发火性能和机械性能的影响;并在此基础上,尝试掺杂  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、Zr 等添加剂以提高点火头药剂的性能。结果表明:以 PVA 胶为黏结剂的点火头表现出更好的点火性能、更高的机械强度;掺杂 Zr 后,点火头发火时火焰明亮刺眼,说明 Zr 参与点火过程,放出热量,增加了点火能力。

**[关键词]** 细结晶 NHN;点火头;发火性;延时性能;机械强度;吸湿试验

**[分类号]** TJ45; TQ560; TD235.2+2

## Study on Performances of Fine Crystalline NHN Based Igniter Agent

FU Zhibin, LEI Fangqin

Xianghong Machinery & Chemical Co., Ltd., Hu'nan Shenfu Group (Hu'nan Yueyang, 414100)

**[ABSTRACT]** Effects of different binders on the ignition performance and mechanical properties of the igniter were investigated by using fine crystalline NHN as the igniter agent and polyvinyl alcohol adhesive (PVA), hydroxypropyl methyl cellulose adhesive and celluloid adhesive as the binder respectively. On this basis, try to improve the possibility of ignition performance by doping  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and Zr. Results show that the igniter with PVA as the binder shows better ignition performance and higher mechanical strength. After doping Zr, the flame is bright and dazzling when ignited, indicating that Zr participates in the ignition process, emits heat and increases the ignition ability.

**[KEYWORDS]** fine crystalline NHN; igniter; ignition performance; delay performance; mechanical strength; hygroscopic test

## 0 引言

桥丝式电引火元件是应用较为广泛的点火元件。它的发火性能较好,发火可靠性高,瞎火率低于百万分之一,而且延期精度很高<sup>[1]</sup>。鉴于桥丝式火工品的热发火机理,点火头药剂的物理化学性质决定了点火头的热感度,并在很大程度上影响了药头的激发时间。选择不同药剂的点火头在发火性能、安全和适应环境变化能力上有所不同<sup>[2]</sup>。

三硝基间苯二酚铅(LTNR)系起爆药起爆能力较低,火焰感度、针刺感度较高,常与叠氮化铅配合使用作为点火头药剂。但 LTNR 静电感度很高,实际生产应用时存在一定危险。虽然有通过掺杂或共晶等方法降低 LTNR 静电感度的研究,但尚未在点火头应用中见到相关报道。同时,铅作为重金属元

素,会对人员及环境造成一定的损伤。二硝基重氮酚(DDNP)系起爆药热感度较高,且有多种不同晶型,感度与流散性等皆有差异,因而在实际应用中存在可靠性难以保证的问题。DDNP 制备过程中产生的废水含有重氮基、硝基及其衍生物等毒性较强的有机化合物,若不妥善处理将会严重威胁受纳水体的生态系统,这也使得 DDNP 的应用受到限制。

作为一种新兴起爆药<sup>[3-4]</sup>,硝酸胍镍(NHN)制造工艺简单,原料易得,药剂性能稳定,火焰感度高,机械感度低,长期储存安定性、相容性、耐压性、流散性均表现较好。NHN 生产过程中涉及的含硝酸镍废水可加以回收利用,达到无废水排放、减少重金属元素污染等环保目的。

欧仙荣等<sup>[5]</sup>以质量分数 8%~10% 的聚乙烯醇(PVA)胶为黏结剂,提出了一种硝酸胍镍-铅丹硅系点火药的制作方法,并在点火头应用上得到了较高

\* 收稿日期:2022-04-19

第一作者:付志斌(1976-),男,工程师,主要从事火工药剂配方研究。E-mail:1461229006@qq.com

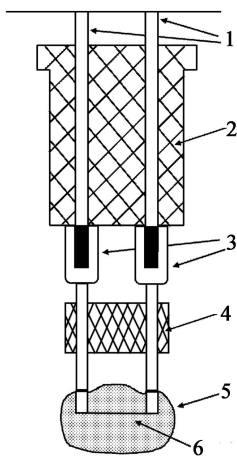
的发火可靠性。之后的试验也证明,以 NHN 为基的刚性电点火头能够满足电点火头生产与电雷管装配过程的安全要求。杜伟兰等<sup>[6]</sup>以 NHN 为点火药基药,配以高氯酸钾与硝化棉黏结剂,利用零氧平衡原理设计了一种新型电点火头,试验结果表明,此点火头的发火时间精度最高,发火可靠性和发火一致性最好。朱顺官等<sup>[7]</sup>研究了在碳晶电点火桥上装填 NHN 后的发火时间与发火能量等参数,NHN 表现出了仅次于斯蒂芬酸铅与叠氮化铅的发火感度。尹志宏等<sup>[8]</sup>用 NHN 替代 DDNP 起爆药,对工业 8# 纸火雷管的结构与工艺重新设计并进行了性能测试,克服了 DDNP 起爆药带来的严重污染问题。

本文中,使用细结晶 NHN 作为桥丝式电点火头药剂,并探究它的应用可行性。对该类点火头延时精度以及恒流发火情况下的各项发火参数进行了表征,同时依据国军标对机械强度和适应性进行测定,认为细结晶 NHN 基桥丝式点火头是一种综合性能较为优秀的点火头。

## 1 试验

### 1.1 点火头基本制作工艺

自制细结晶 NHN,粒径约为  $5\ \mu\text{m}$ ,近似球形。刚性结构点火头结构如图 1 所示。



1 - 脚线; 2 - 橡胶塞; 3 - 电极; 4 - 绝缘片;  
5 - 药头; 6 - 桥丝。

图 1 刚性结构点火头结构示意图

Fig. 1 Structural diagram of igniter with rigid structure

各项试验中使用的不同点火头所用的点火药配方列于表 1。表 1 中,细结晶 NHN 为基药,PVA 胶、羟丙基甲基纤维素胶、赛璐珞无水乙醇胶为黏结剂, $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、Zr 为添加剂。

表 1 试验中使用的不同点火头药剂配方

Tab. 1 Formulas of different igniters used in the test

编号	配方(质量分数)
1-1	5% PVA 胶 + NHN
1-2	5% PVA 胶 + NHN + $\text{Fe}_2\text{O}_3$
2-1	6% PVA 胶 + NHN
2-2	6% PVA 胶 + NHN + 10% Zr
2-3	6% PVA 胶 + 真空细化 LTNR
3-1	8% PVA 胶 + NHN
3-2	8% PVA 胶 + NHN + $\text{Fe}_2\text{O}_3$
4-1	10% PVA 胶 + NHN
4-2	10% PVA 胶 + NHN + $\text{Fe}_2\text{O}_3$
5-1	羟丙基甲基纤维素胶 + NHN
6-1	赛璐珞无水乙醇胶 + NHN
7-1	3% NC 胶 + NHN + 10% Zr

称取适量的细结晶 NHN,用胶头滴管向 NHN 中滴加 PVA 胶,使黏结剂与基药质量比为 1.2 : 1.0,并滴加几滴纯水,调匀。涂蘸刚性点火头,晾干后,于  $50\ \text{℃}$  水浴烘箱中烘干。成品如图 2 所示。

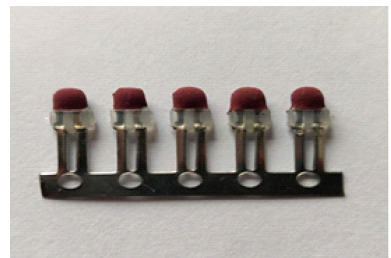


图 2 NHN 基点火头成品实物图

Fig. 2 Finished products of NHN based igniter

对制作好的点火头进行筛选。首先,以肉眼观察,除去药头碎裂等制作失败的点火头;其次,测量点火头的电阻以避免短路、断路等因素对测试结果产生影响。

### 1.2 黏结剂的选择及配制

PVA 胶、羟丙基甲基纤维素胶、赛璐珞无水乙醇胶 3 种黏结剂含能性依次增加;前两者为常用的水基黏结剂,后两者同为纤维改性黏结剂。因此,拟采用 PVA 胶、羟丙基甲基纤维素胶、赛璐珞无水乙醇胶为黏结剂来探究胶浓度、含能性等因素对点火头的影响。

PVA 胶:分别称量 2.5、3.0、4.0、5.0 g PVA 于烧杯中,添加去离子水至 50 g,置于  $110\ \text{℃}$  油浴中加热,不断搅拌,待 PVA 完全溶解即制得所需的质量分数分别为 5%、6%、8%、10% 的 PVA 胶。

羟丙基甲基纤维素胶:称量 5.0 g 羟丙基甲基

纤维素溶于 300 mL 去离子水中,超声至完全溶解,得到目标黏结剂。

赛璐珞无水乙醇胶:将 5.0 g 赛璐珞溶于适量无水乙醇中,配制成 5% 赛璐珞胶。

### 1.3 测试仪器及方法标准

DC9801 智能雷管电参数测试仪,南京理工大学民用爆破器材研究所;储能放电起爆仪,安徽电科技股份有限公司;JGY-50III 静电火花感度测试仪,陕西应用物理化学研究所。

恒流发火试验参考 GJB 5309.10—2004 升降法试验进行测定。

其他性能相关的测试参考 GJB 5309 标准进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同黏结剂时点火头的恒流发火性能

采用升降法对以不同浓度 PVA 胶作为黏结剂的细结晶 NHN 基刚性点火头进行恒流发火试验。恒流时间设定为 20 s,步长为 5 mA。测试结果如表 2 所示。

表 2 以 PVA 为黏结剂的刚性点火头恒流发火数据

Tab.2 Constant current ignition data of rigid igniter with PVA as binder

配方编号	w(PVA 胶)/%	$X_{0.5}/$ mA	$X_{0.999}/$ mA	$X_{0.0001}/$ mA	S/ mA
1-1	5	387.5	440.7	334.3	14.31
2-1	6	414.8	442.8	386.8	7.53
4-1	10	491.9	514.9	468.9	6.18

由表 2 可见,随着所用 PVA 胶浓度的升高,由于 PVA 的能量惰性作用,点火头最大不发火电流(安全电流) $X_{0.0001}$  逐渐升高,且均大于 200 mA。但最小全发火电流  $X_{0.999}$  也持续升高。PVA 胶质量分数达到 10% 时, $X_{0.999}$  为 514.9 mA,大于 450 mA,不符合国家标准 GB 8031—2005 中关于工业电雷管电性能的要求。

在此基础上,为了制作合适的点火头以符合工业电雷管电性能指标中安全电流不小于 200 mA、最小全发火电流不大于 450 mA 的国家标准要求,研究了不同黏结剂时 NHN 基点火头的发火表现,如表 3 所示。对点火头进行了恒流发火测试(升降法时间设置为 20 s,步长 5 mA)和安全电流测试(恒流时间设为 5 min)。

从配方 5-1 与配方 6-1 的测试结果可看出,当

表 3 不同黏结剂点火头的点火性能

Tab.3 Ignition performance of igniter with different binders

配方编号	黏结剂 (质量分数)	$X_{0.999}/$ mA	$X_{0.0001}/$ mA	备注
5-1	羟丙基甲基纤维素胶	360.0	220.0	点火头强度不足,易碎裂
6-1	赛璐珞无水乙醇胶	360.0	240.0	
2-1	6% PVA 胶	442.8		
3-1	8% PVA 胶	472.2		

选用羟丙基甲基纤维素胶作为黏结剂时,可以降低点火头的发火电流;这是因为羟丙基甲基纤维素胶是一种含能性比 PVA 胶更好的黏结剂。

比较配方 5-1 与配方 2-1 也可看出,NHN 基点火头的  $X_{0.999}$  从 6% (质量分数) PVA 胶的 442.8 mA 降至羟丙基甲基纤维素胶的 360.0 mA,效果显著。但同时,羟丙基甲基纤维素胶作为黏结剂时的点火头强度不足,易碎裂,难以满足实际生产中的需要。赛璐珞无水乙醇胶点火头的  $X_{0.999}$  为 360.0 mA, $X_{0.0001}$  为 240.0 mA,符合标准;但无水乙醇为有机溶剂,存在使用风险。适当浓度下的 PVA 胶点火头的发火电流较高,安全性方面有所保障,同时点火头机械强度较好。因此,PVA 胶是一种较为理想的用于制备 NHN 基点火头的黏结剂。若能进一步通过改性降低含 PVA 胶的点火头的  $X_{0.999}$ ,则有希望得到适用于不同发火精度要求下的 NHN 基点火头。

### 2.2 掺杂 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 点火头的点火性能

采用 300 目下的  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  作为添加剂,以 5% 的质量分数加入到 NHN 与 PVA 胶配方体系中,调匀并制作点火头,用升降法对点火头的点火性能进行测定,见表 4。

作为一种化学性质较为稳定的物质, $\text{Fe}_2\text{O}_3$  在点火头点火过程中基本不参与化学反应,在配方中起到了惰性作用,使得  $X_{0.5}$  和  $X_{0.999}$  均得到了明显升高。但同时,配方中各组分粒子尺寸的不匹配使得整个体系无法混合均匀,导致测得的样本标准差 S 增加了 1 倍左右,并使得  $X_{0.0001}$  降低。此外,掺杂  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  后,点火头点火时火焰同样呈赤黄色,颜色较之前无  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  添加时无明显变化。表 4 数据表明,掺杂  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的 NHN 基点火头点火电流范围广,作用精度下降。因此,掺杂  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  无法满足改善点火头点火性能的需求,应选用另一种化学性质较为活泼、粒度较小的物质进行配方改善。

### 2.3 点火头延时性能

#### 2.3.1 掺杂 Zr 点火头

考虑到 300 目下掺杂  $Fe_2O_3$  存在粒度不匹配、改性效果不佳的情况,改用粒径  $5\ \mu m$  的 Zr 进行配方改良。在发火元件实际制作过程中,羟丙基甲基纤维素因较差的黏度与成型性,在掺杂 Zr 后容易在使用中出现结构强度变化等问题;赛璐珞无水乙醇胶是有机基胶,内部混杂了其他物质,在实际使用中带来可靠性与安全性不高等诸多问题。故采用同为水基的硝化棉(NC)胶作为对比,探索采用 PVA 胶的掺杂 Zr 的 NHN 基点火头的点火性能。

采用型号 QAML 贴片电阻式电子芯片,点火药配方为细结晶 NHN 掺杂质量分数 10% 的粒径为  $5\ \mu m$  的 Zr,黏结剂为质量分数 6% 的 PVA 胶(配方 2-2)或质量分数 3% 的 NC 胶(配方 7-1),药胶质量比为 1.0 : 1.0。蘸 2 遍,最后烘干,并用软毛笔涂刷赛璐珞防潮漆,晾干。实测点火头的点火性能数据列于表 5。

从表 5 可见,使用 6% (质量分数)PVA 胶的点火头点火延期时间更接近设定值,延时精度高,这与点火头的密实程度有关。相比较而言,NC 胶固化后的强度和密实性均低于 PVA 胶,导致传热效能差,进而使得点火头的延时精度低。从发火的猛烈程度来看,NC 胶点火头也显得要弱一些。因此,对同一种点火头药剂而言,选择成型后点火头偏向密实的黏结剂,并辅以适合的黏结剂含量,对提高点火头的延时精度和输出能力是有利的。

采用点火装置对掺杂 3 种不同添加剂的 PVA

胶 NHN 基点火头进行了恒流点火,高速摄影图片见图 3。相同药量下,纯 NHN 基点火头的火焰呈赤黄色,火焰持续时间约 10 ms;掺杂  $Fe_2O_3$  后,火焰颜色及持续时间均无明显变化,剧烈程度有所提升;而掺杂 Zr 后,火焰颜色呈亮白色,明亮刺眼,且持续时间长达 50 ms。这是因为在高温条件下 Zr 也被氧化,参加了点火过程,放出了大量的热,增强了点火头的点火能力。

#### 2.3.2 不同起爆药下 Ni-Cr 桥丝表现

采用杭州电子科技有限公司刚性点火头式电子芯片,分敏感型(Ni-Cr 桥丝直径小于  $25\ \mu m$ )和钝感型(Ni-Cr 桥丝直径大于  $25\ \mu m$ )两种规格。敏感型蘸真空细化 LTNR 与 6% (质量分数)PVA 胶(配方 2-3),钝感型蘸细结晶 NHN 与 6% (质量分数)PVA 胶(配方 2-1),均蘸两遍,烘干。最后用软毛笔涂刷赛璐珞防潮漆,晾干。设定延期时间为 50 ms,实测电子芯片的延时性能见表 6。

从表 6 数据可见,在敏感型或钝感型点火头系列中,无论是以 LTNR 或是 NHN 作为基药,当桥丝直径增大时,实测延期时间与设定延期时间的差别随之增大,表明延时性能变差。因此,在本质安全得到保障的前提下,桥丝直径应尽可能小,以提高点火头的延时性能,进而改善点火性能。

### 2.4 点火头机械强度与环境适应性性能

#### 2.4.1 机械强度

在表 3 的试验结果中已注意到,不同种类、浓度的黏结剂将会影响最终产品的机械强度,导致部分点火头无法满足相关应用的标准要求。在选用的 3

表 4 不同配方点火头的点火性能

Tab. 4 Ignition performance of igniter with different formulas

配方编号	w(PVA 胶)	$X_{0.5}/mA$	$X_{0.9999}/mA$	$X_{0.0001}/mA$	S/mA	$Fe_2O_3$
1-1	5%	387.5	440.7	334.3	14.31	无
1-2	5%	402.1	488.6	315.7	23.24	有
3-1	8%	446.9	472.2	421.6	6.79	无
3-2	8%	452.9	543.9	361.8	24.49	有
4-1	10%	491.9	514.9	468.9	6.18	无
4-2	10%	499.2	577.0	421.3	20.93	有

表 5 型号 QAML 电子芯片点火头的延时精度

Tab. 5 Delay accuracy of QAML electronic chip igniter

设定延期时间	配方 7-1				配方 2-2				ms
	实测延期时间		均值	方差	实测延期时间		均值	方差	
0					0.7、0.7、0.6、0.9、0.4		0.66	0.033	
50	54.6、56.2、58.2、52.9、52.1		54.80	6.115	50.8、50.7、51.0、50.5、51.4		50.88	0.117	

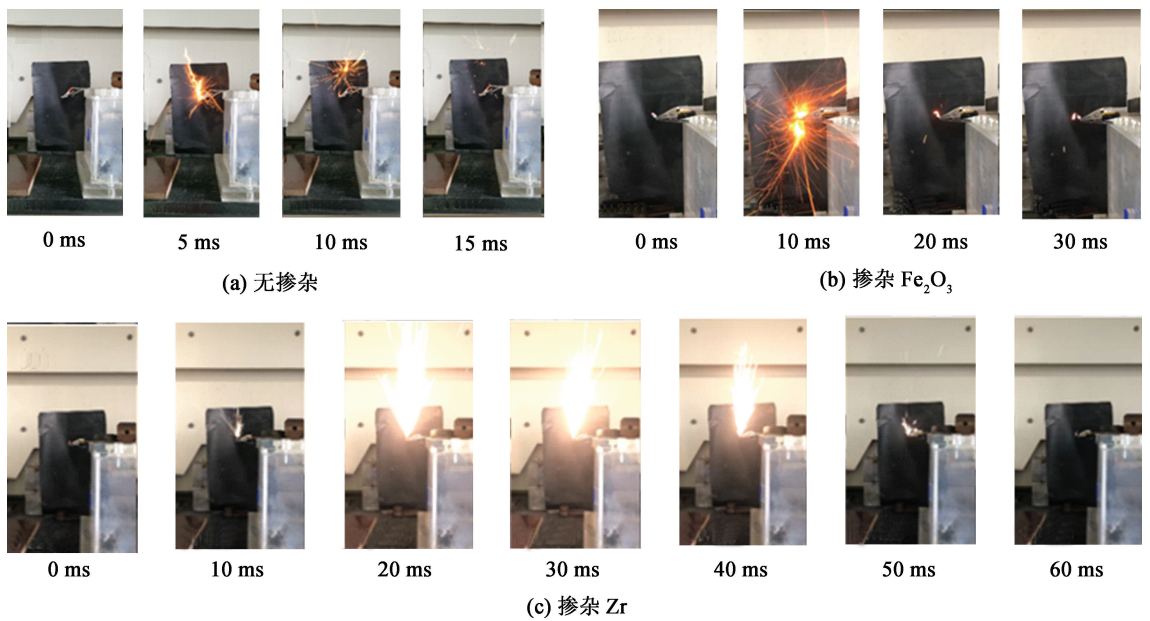


图3 3种掺杂不同添加剂的NHN基点火头的发火过程的高速摄影图

Fig. 3 Fire process of NHN based igniter with three different additives taken by high-speed photography

表6 刚性点火头式电子芯片延时精度

Tab. 6 Delay accuracy of rigid igniter electronic chip

敏感型(配方 2-3)		钝感型(配方 2-1)	
桥丝直径/ $\mu\text{m}$	实测延期 时间/ms	桥丝直径/ $\mu\text{m}$	实测延期 时间/ms
18	50.2	30	52.0
	51.1		51.9
	50.7		52.3
20	50.6	40	52.8
	50.9		53.2
	51.6		53.7
25	51.7	50	53.6
	51.2		55.1
	52.4		54.8

种黏结剂中,PVA胶在强度方面要远远优于羟丙基甲基纤维素胶和赛璐珞无水乙醇胶。且随着胶浓度的提高,点火头感度降低。因此,选用含质量分数6%的PVA胶的配方2-1制备了一批点火头,参照GJB 5309.37—2004进行了抗砸强度测试。结果发现:测试的10发点火头,均未发现明显的损伤,表面保持良好;进行恒流点火(450 mA)后,均正常发火。试验结果表明,PVA胶做黏结剂的NHN基点火头药型不易损伤,有着良好的机械强度。

#### 2.4.2 耐高低温性能

高低温试验参照GJB 150.4A—2009。设定烘箱温度为 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 与 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,设定低温箱温度为 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,恒温4 h后对点火头感度进行测试,考察了高低

温环境对NHN基点火头恒流发火感度的影响。结果见表7。表7中, $\delta$ 为相对偏差,表示高低温条件下与 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下电流的差值百分比。

如表7所示,点火头的50%发火电流 $X_{0.5}$ 随着温度升高而降低。这是因为试验所用点火头为Ni-Cr桥丝式点火头,电阻为正温度系数变化,即随着温度升高,电阻增大。因此,在同等电流下,当热效应增加时,50%发火电流有所降低。此外,随着温度的升高,标准差 $S$ 也随之升高,点火精度下降,相对误差在10%以上,表明低温环境更有利于点火头点火精度的提高。从整体上讲,温度对NHN基点火头发火感度的影响不是很明显,50%发火电流误差在0.5%以内,发火感度误差在2%以内,表明NHN基点火头有着很好的耐高低温性能。

#### 2.4.3 吸湿性

以含质量分数6%的PVA胶的NHN基点火头为研究对象,对表面涂有赛璐珞防潮剂的点火头与未涂覆防潮剂的点火头成品进行吸湿性对比(温度 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,湿度97%),结果如图4所示。

无防潮剂的点火头在最开始的3 d内缓慢吸湿,之后吸湿率稳定在0.18%左右,说明吸湿性较低,基本能满足实际应用。而涂覆赛璐珞防潮剂后,点火头稳定吸湿率降至0.07%;表明涂覆防潮剂是一种降低药剂吸湿性非常有效的手段。对吸湿后的点火头进行恒流(450 mA)点火,两种各5发,均正常发火,说明该类点火头有良好的抗吸湿性能。

表 7 6% (质量分数)PVA 胶 NHN 基点火头高低温恒流发火试验

Tab. 7 High and low temperature constant current ignition test of NHN base igniter with 6% (mass fraction) PVA

温度/°C	$X_{0.5}$ /mA	$\delta_{0.5}$ /%	$X_{0.9999}$ /mA	$X_{0.0001}$ /mA	$\delta_{0.0001}$ /%	$S$ /mA	$\delta_s$ /%
25	414.8		443.0	387.0		7.529	
-40	416.9	+0.5	439.9	393.9	+1.8	6.195	-18.0
40	413.5	-0.3	444.7	382.3	-1.2	8.383	+11.0

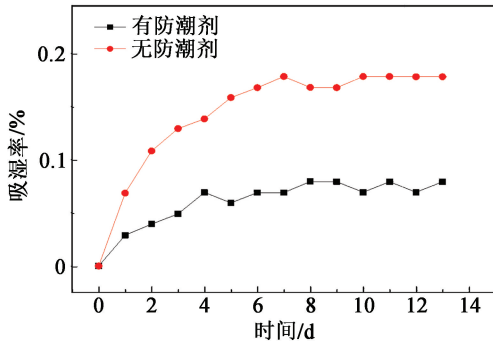


图 4 6% (质量分数)PVA 胶 NHN 基点火头吸湿试验

Fig. 4 Hygroscopic test of NHN based igniter with 6% (mass fraction) PVA

### 3 结论

以 NHN 为基药,分别以 PVA 胶、羟丙基甲基纤维素胶以及赛璐珞无水乙醇胶为黏结剂制作了点火头,探究了胶种类、浓度对点火头机械性能和发火性能的影响;在此基础上,添加  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、Zr 等物质以探究改善点火头性能的可能性。

1)以 NHN 为基药的情况下,PVA 胶点火头机械强度较高,发火电流可依靠胶含量调节;羟丙基甲基纤维素胶点火头机械强度较低,容易碎裂;赛璐珞无水乙醇胶点火头强度适中,发火性能较好,但相较于前两者,所用溶剂为有机溶剂,安全性相对较低。三者含能性依次升高,对应点火头最小全发火电流依次降低,表明黏结剂的含能性越高,点火头的最小全发火电流越低。

2)随着胶含量的增加,PVA 胶 NHN 基点火头最小全发火电流增大,感度降低,样本标准差减小,散布精度增加。若添加 Zr,则会参与点火过程,释放大量的热,极大地延长了火焰的持续时间,增强点火头的点火能力。

3)NHN 基点火头以 6% PVA 胶作为黏结剂时,有较好的机械强度,不易碎裂;高低温环境下,发火感度较为稳定,偏差在 2% 以内;吸湿性能较为优良,稳定吸湿率仅为 0.18%,有着很好的环境适应性,是一种综合性能较为优秀的点火头。

### 参考文献

- [1] 赵杰. 工业电雷管国家标准与瑞典及日本标准比较 [J]. 爆破器材, 2011, 40(3): 26-30.  
ZHAO J. Comparison on standards of China, Sweden and Japan for industrial electric detonator [J]. Explosive Materials, 2011, 40(3): 26-30.
- [2] XIANG D, ZHU W H. Thermal decomposition of energetic MOFs nickel hydrazine nitrate crystals from an ab initio molecular dynamics simulation [J]. Computational Materials Science, 2018, 143: 170-181.
- [3] ZHU S G, WU Y C, ZHANG W Y, et al. Evaluation of a new primary explosive: nickel hydrazine nitrate (NHN) complex [J]. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 1997, 22(6): 317-320.
- [4] CARTWRIGHT M. Investigation of preparation, solubility and stability properties of nickel hydrazine nitrate (NiHN) [J]. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 2018, 43(12): 1270-1276.
- [5] 欧仙荣, 陈如冰, 余仁贵, 等. 一种硝酸胍镍-铅丹硅系点火药的制造方法: CN 102173970 A [P]. 2011-09-07.
- [6] 杜伟兰, 彭文林, 聂祥进, 等. 以硝酸胍镍为基药的电点火头的制备及性能 [J]. 爆破器材, 2016, 45(5): 35-38.  
DU W L, PENG W L, NIE X J, et al. Preparation and properties of a new electric fusehead based on nickel hydrazine nitrate [J]. Explosive Materials, 2016, 45(5): 35-38.
- [7] 朱顺官, 张琳, 李燕, 等. 碳晶膜电点火桥特性研究 [J]. 火工品, 2015(3): 1-4.  
ZHU S G, ZHANG L, LI Y, et al. Study on the igniter with carbon crystal bridge-film [J]. Initiators & Pyrotechnics, 2015(3): 1-4.
- [8] 尹志宏, 邹洪晖, 李利村. 硝酸胍镍起爆药应用于工业纸火雷管的研究 [J]. 火工品, 2006(6): 35-38.  
YIN Z H, ZOU H H, LI L C. Study on application of NHN primary explosives in industry paper-fire detonation [J]. Initiators & Pyrotechnics, 2006(6): 35-38.