مجله علمی- پژوهشی مواد پرانرژی
سال هفتم- شماره 1- شماره پیاپی 14- بهار 91

جنبه‌های جدیدی از حساسیت اصطکاکی نیترآمین‌ها

مارسلا جونگوا[1]، اسواتوپلاک زمان[2*]، آدلا هوساروا[3]
جمهوری چک- پارادوبیس- دانشگاه پارادوبیس- دانشکده تکنولوژی شیمی- گروه مواد پرانرژی
(تاریخ وصول: ۹۰/۹/۷ ، تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۱/۲۳)

چکیده
حساسیت اصطکاکی (FS) پنج مورد نیترآمین خطی و هشت مورد نیترآمین حلقوی اندازه‌گیری شده و همبستگی آن با حساسیت ضربه‌ای (IS) و جابه جایی شیمیایی اتم های نیتروژن (^{15}N) گروه‌های نیترآمینوی آنها که در مرحله آغازگری وارد می‌گردند، بررسی شده است. مقایسه متقابل حساسیت های اصطکاکی و ضربه‌ای نشان از وجود برخی همبستگی‌های جزیی می‌دهد که از ساختار مولکولی این مواد مشخص می‌باشد. مولفه همبستگی بین FS و جابجایی شیمیایی اتم‌های نیتروژن (^{15}N) گروه‌های نیترو بهترین مطابقت را با همبستگی‌هایی دارد که در شیمی فیزیک آلی متداول می‌باشد. تفاوتی در مورد همبستگی مشابه برای حساسیت ضربه‌ای که به بهترین شکل توسط بکار بردن جابجایی شیمیایی ^{15}N اتم‌های آزا در اغلب گروه‌های نیترآمینوی فعال قابل تفسیر است، وجود دارد. هر دوی این حساسیت‌ها در مکانیسم انتقال ضربه اولیه به مرکز واکنش مولکول متفاوت عمل می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: اصطکاک، جابجایی شیمیایی ^{15}N، ضربه، نیترآمین‌ها، حساسیت اصطکاکی، حساسیت ضربه‌ای.

1- مقدمه

حساسیت مواد پرانرژی[4] (HEMs) نشان دهنده ویژگی خیلی مهمی در رابطه با ایمنی آنها در حین ساخت و جابجایی می‌باشد. این حساسیت عمدتاً ناشی از خصلت شیمیایی این مواد می‌باشد که امکان استفاده از اصطلاح "واکنش پذیری آغازگری مواد پرانرژی[5]" را در این موقعیت می‌دهد [1]. طی بیست سال گذشته موضوع اصلی HEMs، در زمینه مطالعه بر روی حساسیت‌های ضربه‌ای[6] و شوکی[7] آن‌ها متمرکز بوده است. اگرچه چنین توجهی در مورد ویژگی‌های FS آن‌ها وجود نداشته است. تجربه ما نشان می‌دهد که نتایج تعیین FS بطور عمده می‌تواند تحت تأثیر تغییرپذیری انسانی[8] باشد. با این وجود، اندازه‌گیری‌های دقیق توسط یک محقق نتایجی را فراهم می‌کند که نشانگر همبستگی‌های متقابلی است که با نتایج سایر آزمون‌های حساسیت و آزمون‌های فیزیکی- شیمیایی در ارتباط می‌باشد. هدف ما در این مقاله مستند کردن همبستگی است که بین داده‌های حساسیت ضربه‌ای و جابجایی شیمیایی ^{15}N NMR نیترآمین‌های مورد مطالعه وجود دارد.

1 و3- محقق دانشگاه پارادوبیس
2- استاد دانشگاه پارادوبیس
* E-mail: svatopluk.zeman@upce.cz
4- High Energetic Materials
5- Initiation Reactivity of HEMs
6- Impact Sensitivity
7- Shock Sensitivity
8- Human Variability

Archive of SID
www.SID.ir

جدول 1- نیترآمین‌های مطالعه شده همراه با نام اختصاصی، جابجایی شیمیایی ^{15}N NMR، حساسیت های ضربه‌ای و اصطکاکی آنها.

ردیف	نام شیمیایی	نام اختصاصی	جابجایی شیمیایی ^{15}N NMR (ppm)				حساسیت اصطکاکی		حساسیت ضربه‌ای	
			موقعیت در مولکول	اتم نیتروژن		مرجع	FS (N)	ضریب برگشت پروبیت	E_{dr} (J)	مرجع
				نیترو	آمینو					
1	2- نیترو-2- آزاپروپان	DMNA	-2	-25/8	-215/8	12و11	82/4	0/7497		
2	1و4- دی نیترو-1و4- دی آزابوتان	EDNA	1و4-	-26/3	-205/5	12و11	47/4	0/8044	8/3	5
3	2و4- دی نیترو-2و4- دی آزاپنتان	OCPX	2و4-	-28/4	-202/6	12و11	74/9	0/9605	65/6	a´
4	2و4و6- تری نیترو-2و4و6- تری آزا هپتان	ORDX	2*و6-	-28/5	-202/3	12و11	147/7	0/9095	29/5	
			-4	-32/0	-189/9	12و11				
5	2و5- دی نیترو-2و5- دی آزاهگزان	DMEDNA	2و5-	-27/8	-209/5	12و11	57/9	0/7497	21/0	a
6	1و3- دی نیترو ایمیدازولیدین	CPX	1و3-	-31/2	-209/0	12و11	57/7	0/9446	18/0	10
7	1و4- دی نیترو پی پیرازین	DNDC	1و4-	-26/3	-205/5	12و11	122/3	0/8169	42/7	a
8	1و3و5- تری نیترو-1و3و5- تری آزینان	RDX	1و3و5-	-32/9	-198/1	12و11	148/5	0/9935	5/6	5
9	1و3و5- تری نیترو-1و3و5- تری آزپان	HOMO	1*و5-	-33/0	-201/3	12و11	119/9	0/9916	4/6	10
			-3	-34/4	-196/3	12و11				
10	1و3و5و7- تترانیترو-1و3و5و7- تترازوکان	HMX	1و3و5و7-	-34/7	-199/1	12و11	154/4	0/8801	6/4	5
11	سیس-1و3و4و6- تترانیترواکتاهیدروایمیدازو-[4و5- d]ایمیدازول	BCHMX	1و3و4و6-	-35/2	-190/1	8	66/1	0/8747	3/0	8
12	4و10- دی نیترو-2و6و8و12- تتروکسا-4و10- دی آزاایزو ورتزیتان	TEX	4و10-	-33/4	-197/2	12و11	196/8	0/8738	23/0	9
13	2و4و6و8و10و12- هگزانیترو-2و4و6و8و12- هگزاآزاایزو ورتزیتان	HNIW	2*و6و8و12-	-40/3	-199/0	12و11	69/0	0/9634	13/2	7
			4و10-	-43/4	-179/5	12و11				

* عکس العمل اولیه گروه نیترآمینو در آغازگری

a مقادیر معین شده در این مقاله

2- جابجایی شیمیایی ^{15}N NMR و حساسیت های ضربه‌ای و اصطکاکی نیترآمین‌ها

جدول 1 تعدادی از نیترآمین‌ها و مقادیر FS آنها را نشان می‌دهد. خلوص نیترآمین‌های مورد بررسی این مطالعه، توسط دستگاه HPLC اندازه‌گیری شده که بیش از 99% وزنی بوده است. حساسیت ضربه‌ای نیترآمین‌های مطالعه شده، توسط دستگاه آزمون اصطکاکی BAM در شرایط استاندارد [2] و با ارزیابی نتایج حاصله با نتایج آنالیزهای پروبیت[1] [6] تعیین گردیده است (فقط نیروی ناشی از 50% آغازگری در جدول 1 گزارش شده است).

جدول 1 داده‌های حساسیت ضربه‌ای نیترآمین‌های مطالعه شده را نیز نشان می‌دهد. حساسیت توسط یک سنجش‌گر استاندارد با یک سندان قابل تعویض اندازه‌گیری شده است [3 و 2]. مقدار ماده آزمایش شده mm^3 40 می‌باشد [3]. آشکارسازی بر اساس تأثیر صدا بوده [6 و 5 و 4] و از سقوط وزنه های 1 و 2 کیلوگرمی استفاده شده است [3 و 2]. یک آنالیز پروبیت [6] برای تعیین سطوح احتمال آغازگری مورد استفاده قرار گرفت. حساسیت بدست آمده بصورت انرژی سقوط، E_{dr} در برابر درصد آغازگری بیان شده است. تنها 50% احتمال آغازگری در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته و در جدول 1 گزارش شده است. بخشی از مقادیر E_{dr} از سایر منابع اقتباس شده است [10-7 و 5 و4]. جدول 1 حاوی جابجایی شیمیایی ^{15}N NMR نیترآمین‌های مطالعه شده نیز می‌باشد. این داده ها از کارهای منتشر شده قبلی اقتباس شده است [12و11 و8].

3- نتایج و بحث

در کار اخیرمان در ارتباط با خرجهای پلاستیکی[2] بر پایه نیترآمین‌ها به یک همبستگی شبه لگاریتمی بین حساسیت های ضربه‌ای و اصطکاکی دست یافتیم [13].

1- Probit

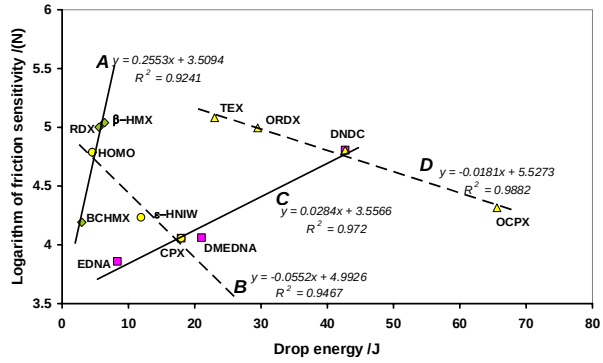
2- Plastic Bonded Explosives

Archive of SID

www.SID.ir

تفاوت آغازگری ناشی از ضربه (تراکم تک محوری[1]) و آغازگری ناشی از اصطکاک (برش کناری[2] با حجم ثابت) در مقاله ژانگ[3] بصورت تئوری در خصوص تأثیر مکانیسم حساسیت زدایی الفینها بررسی شده است [14]، نیروی اصطکاک طی برش متناسب با سطح تماس می‌باشد.

همبستگی بین حساسیت‌های اصطکاکی و ضربه‌ای نیترآمین‌های جدول 1 در شکل 1 نشان داده شده است. این نیترآمین‌ها بر اساس نوع ساختار مولکولی به چهار گروه تقسیم می‌شوند. گروه A حاوی ترکیبات حلقوی با آرایش متیلن نیترآمین هستند که به خاطر انعطاف‌پذیری مولکولی با یکدیگر متفاوتند: β-HMX دارای چهار حالت تغییر، RDX دو حالت، HOMO تاکنون از این لحاظ بررسی نشده و BCHMX نیز دارای ساختاری غیر منعطف است که حساسیتش به تحریک مکانیکی در سطح پنتااریتریتول تترانیترات (PETN) می‌باشد [8]. به نظر می‌رسد خط راست B در شکل 1 یک ترکیب فرضی از ساختار کروی مولکول HNIW که می‌تواند ترکیبی از دو ساختار HOMO و دو ساختار CPX باشد را نشان می‌دهد. خط راست C شامل ترکیباتی است که در مولکولشان ساختار اتیلن دی نیترامین وجود دارد و استخلافهای حساسیت زدا به آن متصل هستند (به ترتیب از EDNA تا DNDC). می‌توان تصور نمود که ترکیبات گروه D از یک جزء دی متیل نیترآمین بوجود آمده باشد.



شکل 1- همبستگی شبه لگاریتمی بین حساسیت اصطکاکی و ضربه‌ای (بر اساس انرژی سقوط) نیترآمین‌های جدول 1.

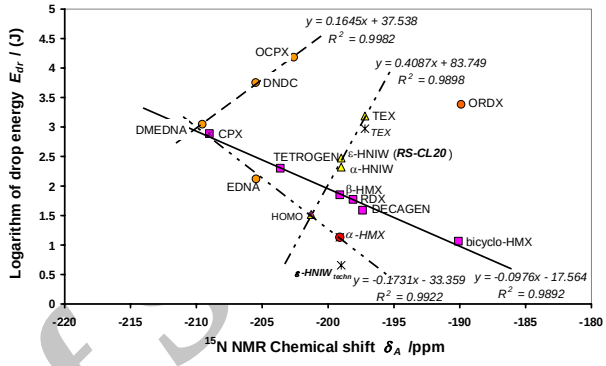
بنابراین با توجه به شکل 1، ساختار مولکولی و نیروهای بین مولکولی عواملی هستند که گروه بندی نیترآمین‌های مورد مطالعه را توجیه می‌کنند. می‌توان نتیجه‌گیری نمود که حساسیت‌های ضربه‌ای و اصطکاکی از لحاظ مکانیسم‌های انتقال ضربه اولیه به مرکز واکنش مولکول متفاوت عمل می‌کنند. به خوبی مشخص شده است که شرایط فضایی و ساختار الکترونی حالت پایه در مرکز واکنش مولکول ترکیبات پلی نیترو، نقش تعیین کننده‌ای در واکنش‌پذیری آغازگری آن‌ها دارند [17- 15 و 11 و1]. در این زمینه، اصطلاح "مرکز واکنش" به معنی گروهی از اتم‌های و یا گروه‌های عاملی یک مولکول است که تغییرات شیمیایی در آنها باعث شروع تجزیه شدن مولکول می‌گردد. ساختار الکترونی و شرایط فضایی مرکز واکنش مولکول می‌تواند توسط جابجایی شیمیایی اتم‌های کلیدی این مرکز نشان داده شود. بین جابجایی شیمیایی این اتم‌ها و مولفه های واکنش‌پذیری آغازگری مواد پرانرژی همبستگی وجود دارد [11و1]. نشان داده شده که استفاده از جابجایی شیمیایی ^{15}N NMR برای مطالعه میکرو مکانیسم شیمیایی آغازگری نیترآمین‌ها توسط حرارت، ضربه، شوک و یا جرقه الکتریکی نتایج پر ارزشی را ارائه می‌دهد [11و1]. مشخص شده که ساختار الکترونی و اثرات فضایی روی اتم‌های آزا که اغلب گروه‌های فعال نیترو مولکول را حمل می‌کنند، نقش کلیدی در آغازگری توسط ضربه را دارند (شکل 2). اغلب نیترآمین‌های مطالعه شده مولکول‌هایی متقارن دارند. البته این موضوع در مورد: HOMO به دلیل حضور فعال ترین گروه نیترآمین در موقعیت 1، برای HNIW به دلیل حضور این گروه در موقعیت 2 و برای ORDX نیز به دلیل حضور این گروه در موقعیت 4، صادق نیست [12و11 و1]. نیترآمین‌های مطالعه شده بر اساس نوع ساختار مولکولی و برهم کنش بین مولکولی در کریستال‌هایشان به چهار گروه تقسیم می‌گردند. همبستگی برهم کنش‌های ذکر شده نسبت به حساسیت ضربه‌ای در شکل 2 نشان داده شده است. می‌توان مشاهده نمود که نیترآمین‌ها با مولکول‌های خطی و کروی در این رابطه شیب منفی دارند. همچنین بین ε-HNIW با خلوص معمولی و ε-HNIW با خلوص بالا (RS-CL20) تفاوت وجود دارد، نوع دوم این ماده پر انرژی فعال، اخیراً موضوعی جذاب برای تحقیق و توسعه بوده است [18].

1- Uniaxial Compression
2- Shear Slide
3- Zhang

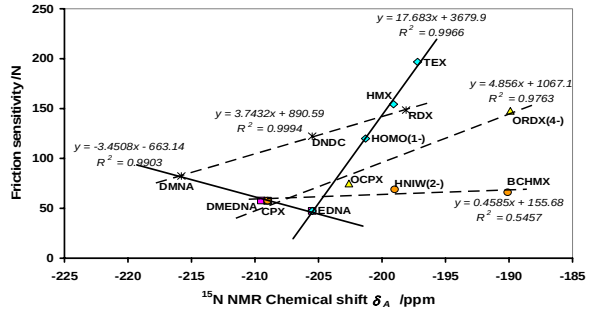
Archive of SID

www.SID.ir

مقایسه متقابل مقادیر FS و جابجایی شیمیایی اتم‌های نیتروژن آزا که حمل‌کننده گروه نیترویی است که عکس العمل اولیه را دارد در شکل 3 آورده شده است. جهت همبستگی نشان داده شده در اینجا واضح نیست. این امکان وجود دارد که بتوان گروهی از نیترآمین‌های تولید شده از EDNA، CPX و DMNA را مشاهده نمود. یک شباهت ساختاری نسبتاً نزدیک در هر یک از گروه‌ها وجود دارد.

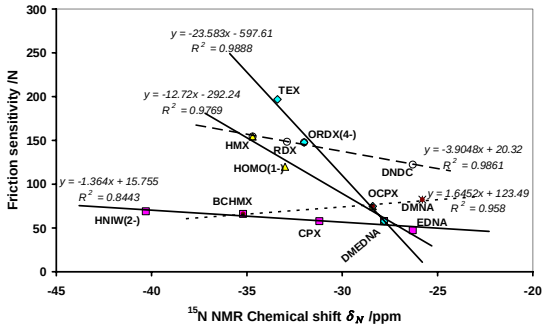


شکل 2- همبستگی شبه لگاریتمی بین حساسیت ضربه‌ای (بر اساس انرژی سقوط) و جابجایی شیمیایی ^{15}N NMR اتم‌های آزا در نیترآمین‌های جدول 1.



شکل 3- مقایسه حساسیت اصطکاکی با جابجایی شیمیایی ^{15}N NMR اتم نیتروژن آزا که حامل گروه‌های نیتروی واکنش دهنده اولیه در آغازگری نیترآمین‌های مطالعه شده، باشند. (موقعیت گروه‌های نیترو در پرانتز آورده شده است.)

ساختار الکترونی اتم‌های آزا در نیترآمین‌ها با کنفورماسیون این مولکولها در ارتباط است. البته با توجه به این که آنها اتم‌های داخلی ساختار هستند، لذا اثرشان در پتانسیل بین مولکولی کمتر از گروه‌های نیتروی متصل به خود آنها خواهد بود. در ساختار کریستالی نیترآمین‌ها، اتم‌های اکسیژن گروه‌های نیترو توسط برهم‌کنش‌های دو قطبی- دو قطبی با اتم‌های نیتروژن و اکسیژن مولکول کناری در ارتباط هستند [21-19]، این پدیده عامل مهمی است که ساختار کریستالی نیترآمین‌ها را کنترل می‌کند. برهم‌کنش‌های مورد اشاره در خلاف برش جانبی ناشی از اصطکاک عمل می‌کنند. اتم‌های آزا جهت گیری گروه‌های نیترو در مولکول های مجاور را توسط کنفورماسیون مولکول تحت تأثیر قرار می‌دهند. شاید مشارکت کنفورماسیون و ساختار الکترونی مرکز واکنش مولکول، دلیلی برای دسته بندی نیترآمین‌ها به گروه‌های نشان داده شده در شکل 3 باشد. اثر غالب ساختار الکترونی در اتم‌هایی آزا، توسط گروه‌های DMENA-CPX- HNIW-BCHMX قابل استناد است.



شکل 4- مقایسه حساسیت اصطکاکی با جابجایی شیمیایی ^{15}N NMR اتم نیتروژن گروه‌های نیتروی واکنش دهنده اولیه در آغازگری نیترآمین‌های مطالعه شده (موقعیت گروه‌های نیترو در پرانتز آورده شده است.)

مقایسه FS با جابجایی شیمیایی اتم‌های نیتروژن در گروه‌های نیترو (نشان داده شده در شکل 4) از پیچیدگی کمتری برخوردار است. این چنین به نظر می‌رسد که مولکول اغلب نیترآمین‌های مطالعه شده از DMEDNA تولید شده باشند. موقعیت داده DNDC در شکل 4 از تقارن مرکزی مولکول و اثرش بر روی جابجایی شیمیایی اتم‌های نیتروژن و همچنین متأثر از پایداری کامل‌تر شبکه کریستالی آن می‌باشد. موقعیت داده DMNA می‌تواند به دلیل نقطه ذوب پایین (K 331 [13]) و در نتیجه اثر خود نرم شوندگی[1] آن باشد. بر اساس مقایسه متقابل شکل های 3 و 4 به نظر می‌رسد که عامل تعیین کننده در آغازگری توسط اصطکاک باید ساختار الکترونی و مجاورت اتم نیتروژن حاوی گروه نیترو باشد. در این فرضیه، آغازگری ناشی از اصطکاک مشابه با آغازگری ناشی از شوک، جرقه الکتریکی و تجزیه حرارتی با دمای پایین است.

1- Self Lubricating

Archive of SID

www.SID.ir

ضریب برگشت پروبیت در جدول 1 وابستگی بیشتر حساسیت اصطکاکی را بویژه به شرایط اندازه گیری، خواص فیزیکی نمونه نیترآمین و تغییرات انسانی نشان می‌دهد. نتایج این مقاله به روشنی مقادیری از FS ترکیبات مطالعه شده را نشان می‌دهد که همبستگی معنی داری با ساختار الکترونی آن‌ها دارد.

4- نتیجه‌گیری

همبستگی بین حساسیت اصطکاکی (FS، برش کناری با حجم ثابت) و حساسیت ضربه‌ای (IS، فشردگی تک محوری) توسط یک معادله شبه لگاریتمی نشان داده می‌شود. این رابطه به تعدادی گروه‌های فرعی تقسیم می‌شود که ارتباط نسبتاً نزدیکی به ساختار مولکولی نیترآمین‌های مطالعه شده دارد. این آغازگری‌ها در مکانیسم انتقال ضربه اولیه به مرکز واکنش مولکول متفاوت عمل می‌کنند. مشابه سایر حساسیت‌ها، در حساسیت اصطکاکی نیز، همبستگی بین حساسیت و جابجایی شیمیایی اتم‌های نیتروژن در گروه‌های نیترآمین وجود دارد. این همبستگی شامل جابجایی شیمیایی ^{15}N این گروه‌ها (در مرکز واکنش) می‌شود که پاسخ اولیه را در فرآیند آغازگری می‌دهند. در این رابطه نیترآمین‌های مطالعه شده به چندین گروه با ساختارهای مولکولی مشابه تقسیم می‌شوند. این دسته بندی ناشی از وسعت مشارکت اتم‌های نیتروژن مرکز واکنش مولکول نیترآمین در پتانسیل بین مولکولی و ساختار الکترونی این مرکز می‌باشد. استفاده از جابجایی شیمیایی اتم‌های نیتروژن گروه‌های نیترو منجر به روابط پیچیده‌تری نسبت به روابط حاصل از کاربرد جابجایی شیمیایی اتم‌های آزا می‌گردد. در این رابطه آغازگری ناشی از اصطکاک متفاوت از آغازگری ناشی از ضربه و مشابه آغازگری ناشی از شوک، جرقه الکتریکی و تجزیه حرارتی با دمای پایین می‌باشد.

5- تشکر و قدردانی

این مقاله بنا به درخواست نویسنده مقاله (Prof. Zeman) توسط دبیر کمیته علمی اولین همایش بین المللی و ششمین همایش مواد منفجره، پیروتکنیک و پیشرانه (پروفسور محمد حسین کشاورز) و همکار ایشان دکتر مهدی شفیعی به فارسی ترجمه شده است.

مراجع

[1] Zeman, S. “Sensitivity of High Energy Compounds.”; Struct. Bond 2007, 125, 195.

[2] Sućeska, M. “Test Methods for Explosives.”; Springer press: Heideleberg, 1995.

[3] Public Notice of Czech Mining Authority No. 246/1996 Collection of Czech Laws, Establishing more Detailed Conditions for Allowing Explosives, Explosive Objects and Aids into Use, and Their Testing, Aug. 13th, pp. 3200-3208, 1996.

[4] Zeman, S.; Krupka, M. “New Aspects of Impact Reactivity of Polynitro Compounds, Part III. Impact Sensitivity as a Function of the Intermolecular Interactions.”; Propellants, Explos., Pyrotech. 2003, 28, 301.

[5] Storm, C. B.; Stine, J. R.; Kramer, J. F. “Sensitivity Relationships in Energetic Materials.”; In Chemistry and Physics of Energetic Materials; Bulusu, S. N., Ed. Kluwer Acad. Publs: Dordrecht, 1990, p. 605.

[6] Šelešovský, J.; Pachmáň, J. “Probit Analysis a Promising Tool for Evaluation of Explosive’s Sensitivity.”; Cent. Eur. J. Energ. Mater. 2010, 7, 269.

[7] Vágenknecht, J.; Mareček, P.; Trzciński, W. “Some Characteristics and Detonation Parameters of TEX Explosive.”; J. Energ. Mater. 2002, 20, 245.

[8] Klasovitý, D.; Zeman, S.; Růžicka, A.; Jungová, M.; Roháč, M. “*cis*-1,3,4,6-Tetranitrooctahydroimidazo[4,5-d]imidazole (BCHMX), its Properties and Initiation Reactivity.”; J. Hazard. Mater. 2009, 164, 954.

[9] Ou, Y.; Wang, C.; Pan, Z.; Chen, B. “Sensitivity of Hexanitrohexaazaisowurtzitane.”; Chinese J. Energ. Mater. 1999, 7, 100.

[10] Atalar, T.; Jungová, M.; Zeman, S. “A New View of Relationships of the N–N Bond Dissociation Energies of Cyclic Nitramines, Part II. Relationships with Impact Sensitivity.”; J. Energ. Mater. 2009, 27, 200.

[11] Zeman, S. “ A Study of Chemical Micro-mechanisms of Initiation of Organic Polynitro Compounds.“; In Theoretical and Computational Chemistry Energetic Materials, Part 2, Detonation, Combustion; Politzer, P.; Murray, J. Eds. Elsevier Press: Amsterdam 2003,13, 25.

Archive of SID

www.SID.ir

[12] Zeman, S. “Relationship Between Detonation Characteristics and 15N NMR Chemical Shifts of Nitramines.”; J. Energ. Mater. 1999, 17, 305.

[13] Zeman, S.; Elbeih, A.; Akštein Z. “Preliminary Study of Several Plastic Bonded Explosives Based on Cyclic Nitramines.”; Chinese J. Energ. Mater. 2011, 19, 8.

[14] Zhang, C. “Understanding the Desensitizing Mechanism of Olefin in Explosives Versus External Mechanical Stimuli.”; J. Phys. Chem. C. 2010, 114, 5068.

[15] Delpuech, A.; Cherville, J. “Application de la Chimie Theoretique a la Recherche d’un Critere de Sensibilite des Explosifs.“, Symposium H.D.P. “Corportement des Milieux Denses Soushautes Pressions Dynamiques.”, Paris, 27–31 Aout, 1978.

[16] Delpuech, A.; Cherville, J. “Relation Entre la Structure Electronique et la Sensibilite au Choc des Explosifs Secondaries Nitres. Critere Moleculaire de Sensibilite. I. Cas des Nitroaromatiques et des Nitramines.“; Propellant, Explos., Pyrotech. 1978, 3, 169.

[17] Delpuech, A.; Cherville, J. “Relation entre la Structure Electronique et la Sensibilite au Choc des Explosifs Secondaries Nitres. III. Influence de l’Environnment Cristallin."; Propellant, Explos., Pyrotech. 1979, 4, 61.

[18] Elbeih, A.; Husarova, A.; Zeman, S. “Low Sensitive HNIW.“; Proc. 14th Seminar NTREM, Univ. Pardubice, April p. 602, 2011.

[19] Atovmyan, L. O.; Golovina, N. I.; Zolotoy, A. B.; Zhitomirskaya, N. G.; Fedorov, B. S.; Eremenko, L. T. “Structure and Packing of Primary and Secondary Nitro Amines.”; Zh. Org. Khim. 1998, 24, 1848.

[20] Krebs, B.; Mandt, J.; Cobbledick, R. E.; Small, R. W. H. “The Structure of N,N-Dimethylnitramine.”; Acta Crystallogr. B. 1979, 35, 402.

[21] Filhol, A.; Bravic, G.; Rey-Lafon, M.; Thomas, M. “X-Ray and Neutron Studies of a Displacive Phase Transition in N,N-Dimethylnitramine (DMN).”; Acta Crystallogr. B. 1980, 36, 575.

Archive of SID

www.SID.ir