

文章编号: 1006-9941(2013)06-0697-05

## 3,3'-二(*N*-羟基脒胺脒基)二咪唑基醚合成及歧化反应

翟连杰, 王伯周, 霍 欢, 李 辉, 李亚南, 黄新萍, 刘 宁

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

**摘要:** 以3-氰基-4-硝基咪唑为原料,经分子间醚化、加成、重氮化、双脒化得到3,3'-二(*N*-羟基脒胺脒基)二咪唑基醚(DOFOF),总收率达51.0%,用IR、<sup>1</sup>H NMR、<sup>13</sup>C NMR、元素分析等进行了结构表征。初步优化了双脒化工艺,确定了最佳反应条件:反应温度20℃,  $n(\text{DCFOF}) : n(\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}) : n(\text{KOH}) = 1 : 4 : 4$ 。发现了DOFOF在碱性条件下易发生歧化反应,分离鉴定了歧化产物3,3'-二脒胺脒基二咪唑基醚,并从理论上提出了可能的歧化反应机理。

**关键词:** 有机化学; 3,3'-二(*N*-羟基脒胺脒基)二咪唑基醚; 含能中间体; 合成; 歧化

**中图分类号:** TJ55; O62

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-9941.2013.06.001

### 1 引言

咪唑醚类化合物是咪唑类含能化合物中重要的一类,具有能量密度高、标准生成焓大、熔点低、氢含量少(或者无氢)、增塑性等特点,可以作为熔铸炸药或含能增塑剂使用,目前已成为国内外含能材料研究领域的热点之一<sup>[1-9]</sup>。3,3'-二(1-氟代-1,1-二硝基甲基)二咪唑基醚(FOF-13),是一种典型咪唑醚类含能材料,其熔点为48℃,密度为1.97 g·cm<sup>-3</sup>,氧化系数 $k_o$ 为100%,标准生成焓 $\Delta H_f$ 为146.5 kJ·mol<sup>-1</sup>,分解点>270℃,具有高能量密度,低撞击感度和良好的热稳定性。此外,FOF-13不仅与其它咪唑类含能材料有着很好的相容性,而且与火炸药常规组分(梯恩梯、黑索今、奥克托今、硝化棉、高氯酸铵、二硝酰胺铵等)的相容性也较好,其综合性能优于二(2-氟代-2,2-二硝基乙基)甲缩醛,是一种性能优良的含能增塑剂<sup>[10]</sup>。

1998年, Sheremetev在29th ICT年会报道了FOF-13的合成路线<sup>[10]</sup>,但由于保密原因,至今仍未披露具体合成实验条件及结构表征数据。探究FOF-13合成路线,发现脒化反应条件难以控制,合成技术难度

较大,是合成FOF-13的关键步骤。

本课题组参考文献[10],以3-氰基-4-硝基咪唑为原料,自行设计了合成条件,经分子间醚化、氰基加成、重氮化、双脒化高收率得到了FOF-13关键中间体3,3'-二(*N*-羟基脒胺脒基)二咪唑基醚(DOFOF)。重点突破了脒化合成技术,掌握脒化反应的关键技术,为进一步合成FOF-13奠定基础,同时,亦为自主设计新型含能化合物提供理论依据。研究还考察了氰基加成、双脒化反应的影响因素,确定了适宜的反应条件;首次实验发现DOFOF在碱性条件下易发生歧化反应,并初步提出了*N*-羟基脒胺脒基发生歧化反应的机理,为改进合成条件奠定了基础。

### 2 实验部分

#### 2.1 实验仪器与试剂

ZF-II型三用紫外仪,上海市安亭电子仪器厂; NEXUS870型傅里叶变换红外光谱仪,美国热电尼高力公司; AV500型(500 MHz)超导核磁共振仪,瑞士BRUKER公司; Vario EL-III型元素分析仪,德国EXE-MENTAR公司; LC-2010A液相色谱仪,日本岛津公司; X-6型显微熔点测定仪,北京泰克仪器有限公司。

浓硫酸,分析纯,西安市福晨化学试剂有限公司; 异丙醇,分析纯,天津化学试剂有限公司; 氢氧化钾,盐酸羟胺,均为分析纯,成都市科龙化工试剂厂; 亚硝酸钠,分析纯,天津市百世化工有限公司; 乙腈,色谱纯,SK Chemcials; 3-氰基-4-硝基咪唑(CNNF)自制<sup>[8]</sup>。

收稿日期: 2013-03-14; 修回日期: 2013-05-14

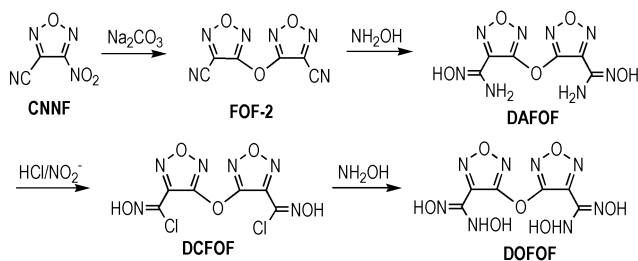
基金项目: 国家自然科学基金(21243007)和国防科研基础计划项目(B09201100051)资助

作者简介: 翟连杰(1988-),男,在读研究生,主要从事含能材料合成研究。e-mail: trihever0210@126.com

通讯联系人: 王伯周(1967-),男,研究员,主要从事含能材料合成及性能研究工作。e-mail: wzb600@163.com

## 2.2 实验原理

合成路线见 Scheme 1。



Scheme 1 Synthetic routes of DOFOF

## 2.3 实验步骤

### 2.3.1 FOF-2 的合成<sup>[8]</sup>

室温下将 30.00 g (0.214 mol) 3-氰基-4-硝基呋咱(CNNF), 18.00 g (0.170 mol) 无水碳酸钠加入到 1.6 L 无水乙腈中, 缓慢升温至 78 °C 时, 开始产生黄色硝烟, 回流反应至不再产生黄色硝烟, 减压蒸馏除去乙腈得到淡黄色晶体, 水洗 2~3 次, 真空干燥, 得白色晶体 19.91 g, 收率 90.9%, 纯度 99.7%, m. p.: 68.0~69.0 °C; <sup>13</sup>C NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 125 MHz), δ: 161.13 (C—O), 129.09 (C—C=N), 106.63 (C≡N); IR (KBr, cm<sup>-1</sup>), ν: 2270 (C≡N), 1563, 1506, 1250, 1032 (呋咱环); Anal. calcd for C<sub>6</sub>N<sub>6</sub>O<sub>3</sub>: C 35.31, N 41.18; found C 35.12, N 41.17.

### 2.3.2 DAFOF 的合成

冰水浴下, 将 4.16 g (20 mmol) FOF-2 和 2.85 g (41 mmol) NH<sub>2</sub>OH·HCl 加入到 50 mL 水和 25 mL 异丙醇的混合溶液中, 搅拌均匀后分批加入 2.28 g (21.5 mmol) 无水碳酸钠, 升温到 25 °C 并保温 1 h。过滤除去滤液, 水洗, 真空干燥, 得到白色粉末状固体 5.02 g, 收率 91.2%, 纯度 98.7%, m. p.: 203~204 °C; <sup>1</sup>H NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 500 MHz), δ: 10.67 (s, 2H, OH), 6.28 (s, 4H, NH<sub>2</sub>); <sup>13</sup>C NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 125 MHz), δ: 160.31 (C—O), 142.23 (C—C=N), 141.33 (C—NH<sub>2</sub>); IR (KBr, cm<sup>-1</sup>) ν: 3495, 3454, 3349 (NH<sub>2</sub>), 3172, 2919 (OH), 1680, 1656, 1525, 1193 (呋咱环); Anal. calcd For C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>N<sub>8</sub>O<sub>5</sub>: C 26.67, N 41.18, H 2.24; found C 26.22, N 41.07, H 2.08.

### 2.3.3 DCFOF 的合成

室温下, 将 5.40 g (20 mmol) DAFOF 加入到 30 mL 水和 55 mL 浓盐酸的混合溶液中, 升温搅拌至全溶, 缓慢降温至 0 °C, 滴加 2.83 g (41 mmol) 亚硝

酸钠的饱和溶液, 控制约 2 h 滴加完毕, 前 30 min 反应过程剧烈, 冒出大量气泡, 可用少量乙醇作消泡剂; 滴加完毕保温 2.5 h, 随后缓慢升温至 15 °C 反应 2 h。过滤, 水洗, 真空干燥, 得白色粉末状固体 5.73 g, 粗品收率 92.7%, 粗品纯度 94.6%, 水和乙醇混合重结晶得 DCFOF 5.35 g, 收率 86.5%, 纯度 99.4%。m. p.: 60~61 °C; <sup>1</sup>H NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 500 MHz), δ: 13.71 (s, 2H, OH); <sup>13</sup>C NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 125 MHz), δ: 158.99 (C—O), 143.03 (C—C=N), 123.40 (C—Cl); IR (KBr, cm<sup>-1</sup>) ν: 3533, 3167, 3020 (OH), 1617, 1570, 1518, 1024 (呋咱环); Anal. calcd For C<sub>6</sub>H<sub>2</sub>N<sub>6</sub>O<sub>5</sub>Cl<sub>2</sub>: C 23.32, N 27.20, H 0.65; found C 23.30, N 26.85, H 0.73.

### 2.3.4 DOFOF 的合成

20 °C 下, 将 1.39 g (20 mmol) 盐酸羟胺和 1.12 g (20 mmol) 氢氧化钾加入到 50 mL 甲醇中, 过滤除去氯化钾沉淀得羟胺的甲醇溶液, 向其中加入 1.55 g (5 mol) DCFOF, 反应 2 h 后, 减压蒸馏除去溶剂, 将所得粘稠状液体溶于水中, 25 mL 乙醚萃取 3 次, 合并有机相并用无水硫酸镁干燥, 蒸除溶剂后得灰白色粘稠状液体, 静置一段时间后凝结成白色块状固体 1.27 g, 粗品收率 89.7%, 粗品纯度 84.6%。经柱色谱提纯后得 DOFOF 1.01 g, 收率 71.2%, 纯度 98.9%。m. p.: 109~110 °C; <sup>1</sup>H NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 500 MHz), δ: 11.18 (s, 2H, NH), 9.04 (s, 2H, OH), 8.89 (s, 2H, OH); <sup>13</sup>C NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 125 MHz), δ: 161.12 (C—O), 145.32 (C—C=N), 141.77 (C—NHOH); IR (KBr, cm<sup>-1</sup>) ν: 3533, 3167, 3020 (OH), 1617, 1570, 1518, 1024 (呋咱环); Anal. calcd For C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>N<sub>8</sub>O<sub>7</sub>: C 23.85, N 37.08, H 2.00; found C 24.50, N 36.48, H 2.13.

### 2.3.5 DOFOF 的歧化反应

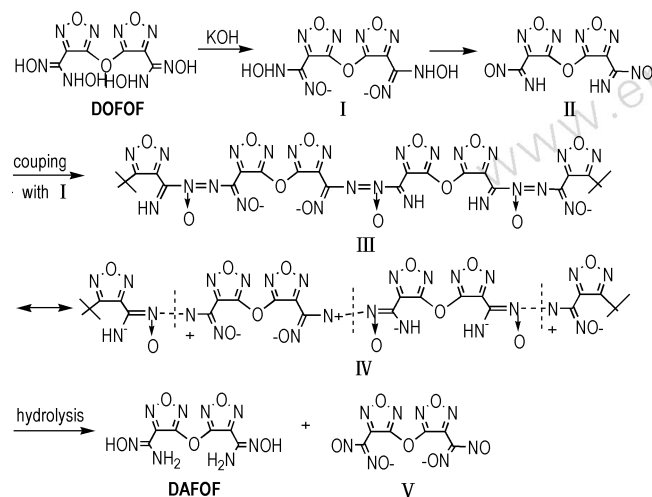
冰水浴下, 将 3.09 g (10 mmol) DOFOF 加入到 30 mL 甲醇中, 缓慢滴加 0.56 g 氢氧化钾的 10 mL 甲醇溶液, 待滴加完成后反应 2 h, 除去甲醇加入 20 mL 水中, 乙醚萃取 15×3 mL, 合并乙醚萃取液, 无水硫酸镁干燥后减压蒸馏得到 0.56 g DAFOF, 纯度 98.8%, 表征数据同 2.3.2。

## 3 结果与讨论

### 3.1 DOFOF 歧化反应机理

DOFOF 结构中肟基具有一定的酸性, 在氢氧化

钾存在下,脞基首先与氢氧化钾进行中和反应得到氧负离子过渡态 I,然后通过电荷转移,失去  $\text{OH}^-$  得到 3,3'-二(偕亚胺亚硝基)二咪唑基醚 II<sup>[11]</sup>, I 和 II 通过偶合作用转化成 III; III 异构化为 IV, IV 的氮氮单键易于断裂,水解成歧化产物 DAFOF 和 V, V 会以钾盐的形式存在<sup>[12]</sup>。实验中很容易分离得到 DAFOF,但未能成功分离得到钾盐产物。推测可能的歧化反应机理见 Scheme 2。



Scheme 2

## 3.2 DAFOF 合成条件探讨

### 3.2.1 溶剂对 DAFOF 收率的影响

根据文献报道<sup>[13-16]</sup>,以醇和水做混合溶剂,脞基与羟胺的加成反应能够顺利进行,收率高,纯度高。故本实验将醇与水体积比定为 1:2,反应时间为 2.0 h,反应温度为 25 °C 时,考察了不同的醇与水做混合溶剂对 DAFOF 收率的影响,结果见表 1。

表 1 溶剂对 DAFOF 收率的影响

Table 1 Effect of solvent on yield of DAFOF

solvent	yield/%	purity/%
$\text{CH}_3\text{OH}$	89.8	99.2
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	86.8	99.1
$\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$	91.2	98.7
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_2\text{OH}$	84.4	96.4

由表 1 可以看出,选用甲醇和水作混合溶剂时,产物纯度最好,达到 99.2%,正丁醇和水做溶剂则最差,选用烷基基长的端羟基醇做溶剂时,产物纯度和收率都随之降低,这可能是由于 FOF-2 在长链醇中的溶解度低,导致脞基水解,副反应增加;当选用异丙醇和水

做反应溶剂时,产物收率最高,达到 91.2%,纯度介于乙醇和正丁醇之间。综合来看,选用异丙醇和水做反应溶剂较合适。

### 3.2.2 异丙醇和水体积比对 DAFOF 收率的影响

反应时间为 2.0 h,反应温度为 25 °C 时,考察异丙醇和水的体积比对 DAFOF 收率的影响,结果见表 2。

表 2 异丙醇与水体积比对 DAFOF 收率的影响

Table 2 Effect of volume ratios of isopropanol and  $\text{H}_2\text{O}$  on yield of DAFOF

$V(\text{H}_2\text{O}) : V(\text{isopropanol})$	yield/%	purity/%
1 : 0	81.1	96.0
3 : 1	86.4	98.0
2 : 1	91.4	98.9
1 : 1	60.2	99.2

由表 2 可知,随着溶剂中异丙醇量逐渐增多,产物收率先增加后迅速降低,在水和异丙醇体积比为 2:1 时,收率最高,达到 91.4%;而产物纯度随异丙醇量增多而提高,最高达到 99.2%。这可能是由于单纯用水做反应溶剂时,由于 FOF-2 不溶于水,游离的羟胺不能和 FOF-2 很好的接触,不能使反应进行彻底,液相色谱也证实了此时产物中残留少许原料,故纯度最差;而随着异丙醇用量的增加,FOF-2 在反应体系中溶解度增加,与游离羟胺的加成反应容易进行,所以产品纯度和收率随之增大;但当异丙醇和水的体积比达到 1:1 时,产物的收率严重下降,这可能与产物在反应体系中溶解度增大以及促使原料中脞基的水解等有关。因此,水与异丙醇最佳体积比为 2:1。

## 3.3 DOFOF 合成条件探讨

### 3.3.1 氢氧化钾用量

DCFOF 与  $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$  物质的量比为 1:4,反应时间为 2 h,反应温度为 25 °C,考察了 DCFOF 与 KOH 的料比对反应的影响,实验结果见表 3。

表 3 DCFOF 与 KOH 料比对 DOFOF 收率的影响

Table 3 Effect of molar ratio of DCFOF and potassium hydroxide on the yield of DOFOF

$n(\text{DCFOF}) : n(\text{KOH})$	yield/%	purity/%
1 : 2	88.5	49.6
1 : 4	85.4	82.3
1 : 6	63.2	38.7
1 : 8	little	-

由表 3 可看出,产品收率随氢氧化钾的增多而降

低,当  $n(\text{DCFOF}) : n(\text{KOH}) = 1 : 4$  时,DOFOF 的收率和纯度均较好。究其原因,氢氧化钾一方面与盐酸羟胺进行中和反应,生成游离的羟胺,从而使亲核反应能够顺利进行;另一方面作为缚酸剂吸收反应过程产生的氯化氢。当  $n(\text{DCFOF}) : n(\text{KOH}) = 1 : 2$  时,氢氧化钾用量不足,反应不能完全进行,产物中含有较多原料,纯度仅为 49.6%;当  $n(\text{DCFOF}) : n(\text{KOH})$  为  $1 : 8$  时,氢氧化钾已过量,强碱下产物中双胍基团会发生歧化、偶合等副反应,故碱过量对反应不利,甚至不能得到产品。当  $n(\text{DCFOF}) : n(\text{KOH}) = 1 : 4$  时,羟胺既能游离出来,氢氧化钾的量又不多余,因此保证了反应的顺利进行,收率和纯度都最好。综合考虑,最佳 DCFOF 与 KOH 物质的量比为  $1 : 4$ 。

### 3.3.2 反应温度

DCFOF 与  $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ 、KOH 的物质量比为  $1 : 4 : 4$ ,反应时间 2 h,考察了不同反应温度对 DOFOF 收率的影响,实验结果见表 4。

表 4 反应温度对 DOFOF 收率的影响

Table 4 Effect of reaction temperature on the yield of DOFOF

temperature/°C	yield/%	purity/%
0	86.9	82.3
10	82.5	83.1
20	89.7	84.6
30	75.5	61.4
40	64.1	43.6

由表 4 可知,在  $0 \sim 20$  °C 范围内,DOFOF 收率和纯度变化不大,到 30 °C 以后收率和纯度都有所下降,杂质明显增多。因此,为减少副反应的发生,最佳反应温度为 20 °C。

## 4 结论

(1) 以 3-氰基-4-硝基呋唑为原料,自行设计合成条件,经分子间醚化、氰基加成、重氮化、双胍化得到了 DOFOF,总收率达 51.0%,并通过红外、核磁、元素分析等方法对产物结构进行了表征。

(2) 确定了合成 DAFOF 最佳条件:反应溶剂为异丙醇和水的混合溶剂,二者体积比为  $1 : 2$ ,25 °C 下反应 2 h,收率 91.2%;确定了合成 DOFOF 最佳条件: $n(\text{DCFOF}) : n(\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}) : n(\text{KOH}) = 1 : 4 : 4$ ,20 °C 下反应 2h,收率 89.0%。

(3) 发现了 DOFOF 在强碱下会发生歧化反应,

并通过光谱学信息鉴定出歧化产物 DAFOF,初步提出了 DOFOF 发生歧化反应可能的机理。

### 参考文献:

- [1] Olofson R A, Michelman J S, Furazan [J]. *Journal of Organic Chemistry*, 1965, 30(6): 1854-1859.
- [2] 李战雄,唐松青,欧育湘,等. 呋唑含能衍生物合成研究进展[J]. 含能材料, 2002, 10(2): 59-65.  
LI Zhan-xiong, TANG Song-qing, OU Yu-xiang, et al. Synthesis status of furazano energetic derivatives[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2002, 10(2): 59-65.
- [3] 范艳洁,王伯周,周彦水,等. 3,3'-二氰基-4,4'-偶氮呋唑(DCAF)合成及晶体结构[J]. 含能材料, 2009, 17(4): 385-388.  
FAN Yan-jie, WANG Bo-zhou, ZHOU Yan-shui, et al. Synthesis and crystal structure of 3,3'-dicyano-4,4'-azofurazan (DCAF)[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2009, 17(4): 385-388.
- [4] Pivina T S, Sukhachev D V, Evtushenko A V. Comparative characteristic of energy content calculating methods for the furazan series as an example of energetic materials [J]. *Propellants Explosives Pyrotechnics*, 1995, 20: 5-10.
- [5] Sheremetev A B, Mantseva E V. Hydroxyfurazans: Outlook to using [C] // 32nd International Annual Conference of ICT, 2001, 103/1-4.
- [6] Sheremetev A B, Kulagina V O, Aleksandrova N S, et al. Dinitro Trifurazans with Oxy, Azo, and azoxy Bridges [J]. *Propellants Explosive Pyrotechnics*, 1998, 23: 142-149.
- [7] Sheremetev A B, Kharitonova O V, Mel'yana T M, et al. Synthesis of symmetrical difurazanyl ethers [J]. *Mendeleev Commun*, 1996, 4(6): 141-143.
- [8] 范艳洁,王伯周,来蔚鹏,等. 3,3'-二氰基二呋唑基醚(FOF-2)的合成、表征及量子化学研究[J]. 有机化学, 2009, 29(4): 614-620.  
FAN Yan-jie, WANG Bo-zhou, LAI Wei-peng, et al. Synthesis, characterization and quantum chemistry study on 3,3'-dicyanodifurazanyl ether (FOF-2) [J]. *Chinese Journal of Organic Chemistry*, 2009, 29(4): 614-620.
- [9] 王锡杰,廉鹏,葛忠学,等. 3,3'-二硝基双呋唑醚(FOF-1)合成、晶体结构及理论研究[J]. 化学学报, 2010, 68(6): 557-563.  
WANG Xi-jie, LIAN Peng, GE Zhong-xue, et al. Synthesis, crystal structure and theoretical research of 3,3'-dinitrodifurazanyl ether(FOF-1) [J]. *Acta Chim Sinica*, 2010, 68(6): 557-563.
- [10] Sheremetev A B. 3,3-Bis(1-fluoro-1,1-dinitromethyl) difurazanyl ether [C] // Proc. 29<sup>th</sup> Int. Annual Conf. ICT, Karlsruhe, Germany. June 30-July 3, 1998: 58: 1-6.
- [11] Armand J, Minvielle R M. Étude des hydroxyamidoximes formique et benzoïque et des acides nitrosoliques correspondants [J]. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 1965, 260: 2512-2515.
- [12] Sheremetev A B, Aleksandrova N S, Suponitsky K Y. Bivalent oxidation of nitrosolic acids: synthesis of 1,1-dinitroalkanes [J]. *Mendeleev Communications*, 2010, 20: 215-217.
- [13] Godovikova T I, Vorontsova S K, Konyushkin L D, et al. 4-Methyl-1,2,5-oxadiazole-3-carbonitrile in the synthesis of 1,2,5-oxadiazolyl-1,2,4-oxadiazoles [J]. *Russian Chemical Bulletin*, 2008, 57(11): 2440-2442.

- [14] Godovikova T I, Vorontsova S K, Konyushkin L D. Synthesis of 5-(1,2,5-oxadiazol-3-yl)-1H-Tetrazoles from 3-cyano-1,2,5-oxadiazoles[J]. *Russian Chemical Bulletin, International Edition*, 2009, 58(2): 406-409.
- [15] Luic M, Florence L, Valerie L, et al. New non-hydroxamic AD-AMTS-5 inhibitors based on the 1,2,4-triazole-3-thiol scaffold [J]. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 2010, 20: 6213-6216.
- [16] Marion F, Matthieu D, Nathalie L G, et al. Ethionamide Boosters. 2. Combining bioisosteric replacement and structure-based drug design to solve pharmacokinetic issues in a series of potent 1,2,4-oxadiazole ether inhibitors[J]. *J Med Chem*, 2012, 55: 68-83.

## Synthesis and Disproportionation Reactions of 3,3'-Bis(*N*-hydroxy amidoxime) difurazanyl Ether

ZHAI Lian-jie, WANG Bo-zhou, HUO Huan, LI Hui, LI Ya-nan, HUANG Xin-ping, LIU Ning

(Xi'an Modern Chemistry Research Institution, Xi'an 710065, China)

**Abstract:** 3,3'-Bis(*N*-hydroxy amidoxime) difurazanyl ether was synthesized from 3-cyano-4-nitrofurazan via etherification of nitro-group, addition, diazotisation and dioximation reaction with a total yield of 51.0%, and its structure and intermediates were characterized by IR, NMR and elemental analysis. The reaction conditions of dioximation were discussed and the optimum condition was obtained as follows: reaction temperature 20 °C,  $n(\text{DCFOF}) : n(\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}) : n(\text{KOH}) = 1 : 4 : 4$ . Under alkaline conditions, DOFOF could be easily disproportionated to obtain 3,3'-diamidoximinodifurazanyl ether. In addition, the reaction mechanism for disproportionation reaction of DOFOF was proposed.

**Key words:** organic chemistry; 3,3'-bis(*N*-hydroxy amidoxime) difurazanyl ether; energetic intermediate; synthesis; disproportionation

CLC number: TJ55; O62

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2013.06.001



欢迎  
订阅

含能材料

ISSN 1006-9941  
CN 51-1489/TK

《含能材料》1993年创刊,1996年国内外公开发行人。该期刊由中国工程物理研究院主办,中国工程物理研究院化工材料研究所承办,四川省科学技术协会主管,国内外公开发行人,主要报道国内外火炸药、推进剂、烟火剂、火工药剂、武器弹药设计及相关材料的研制、工艺技术、性能测试、爆炸技术及其应用、含能材料的库存可靠性、工业废水处理、环境保护等方面的最新成果,促进含能材料学科领域的科技进步。

《含能材料》是武器工业类中文核心期刊、中国科技论文统计源刊(中国科技核心期刊)、中国科学引文数据库来源刊、中国学术期刊综合评价数据库源刊、《中国知网》源刊、万方数据库源刊、中文科技期刊数据库源刊、中国化学文献数据库源刊,同时还被《美国工程索引(EI)》、《美国化学文摘(CA)》、《俄罗斯文摘杂志(AJ)》、《美国剑桥科学文摘(CSA)》、《Elsevier SCOPUS》、《中国学术期刊文摘》、《中国导弹与航天文摘》及《兵工文摘》等刊物收录。

本刊为双月刊,每双月末出版,已向国内外公开发行人,邮发代号:62-31。2014年本刊单期为20元,全年订价120元。凡未赶上邮局订读者,可向编辑部邮购。2014年(第22卷)第1~6期,邮购价为140元/年;另有少量过刊合订本供应。

通讯地址:四川省绵阳市919信箱310分箱,621900 电话:0816-2485362 传真:0816-2495856 e-mail:HNCL01@caep.ac.cn  
www.energetic-materials.org.cn; 含能材料.cn; 通用网址:含能材料 欢迎订阅、赐稿及刊登广告!