

文章编号: 1006-9941(2008)03-0272-05

含能材料电流点火感度的概率分布研究

王鹏, 杜志明

(北京理工大学爆炸科学与技术国家重点实验室, 北京 100081)

摘要: 将 Frank-Kamenetskii 参数和电阻假设为正态分布的随机变量, 应用二维随机变量函数的概率密度公式, 推导出了含能材料电流点火感度的概率密度函数。进一步得出了含能材料电流点火的可靠度的计算方法。结果表明: 含能材料的电流点火的感度分布函数不是一个简单的数学函数, 而是由桥丝的电阻、质量、比热容和含能材料的比热容、密度、反应热、频率因子、导热系数、活化能等物理化学参数综合影响的复杂函数。

关键词: 军事化学与烟火技术; 含能材料; 感度; 概率密度函数; 可靠度

中图分类号: TJ45

文献标识码: A

1 引言

桥丝式电火工品利用电流通过桥丝时放出的热量加热装在其中的含能材料完成点火, 这种点火方法在武器系统和航天系统中有着广泛的应用, 其可靠度的高低直接决定了武器系统和航天系统的可靠度, 因此对其点火可靠性的研究就显得尤其重要。然而, 以前的研究主要以实验为基础^[1], 即通过大量的实验数据的积累来确定含能材料电流点火感度的概率分布类型, 理论研究相对欠缺。因此, 笔者在文献[2]的研究中定义了热点火温度, 建立了绝对超临界化学放热系统模型, 得出了点火电流的计算方法, 但是没有考虑点火电流的随机性。本文在文献[2]的理论基础上, 继续研究含能材料电流点火的随机性问题。

2 正态假设

含能材料的电流点火过程是一个非常复杂的物理化学过程, 其影响因素很多, 比如含能材料的物理化学性能: 反应热(Q)、活化能(E)、密度(ρ_e)、频率因子(A)、导热系数(k)和桥丝的电阻(R_Ω)、质量(m)、比热容(c_w)等。这些物理量或多或少都存在随机性, 它们都以某种函数关系影响点火电流的感度分布, 但是这种函数关系又是极其复杂的, 分别研究每一种物理量对点火电流的感度分布的影响是不现实的。在含能材料和桥丝组成的这种有外加内热源的化学放热系统中, 随机性的影响因素主要来自化学和电学两个相互独立的方面。

(1) 化学方面。含能材料的各种理化参数的随机性对感度均有影响, 这些理化参数的综合影响因素是 Frank-Kamenetskii 参数 δ , 因桥丝点火的本质是热点火, 而化学放热系统能否发生热点火的临界性判据取决于 Frank-Kamenetskii 参数 δ ^[3]。所以假设 Frank-Kamenetskii 参数 δ 为正态分布的随机变量^[4], 以此来综合代表含能材料化学放热因素的随机性对点火电流随机性的影响。Frank-Kamenetskii 参数 δ 的定义如式(1)所示^[5]:

$$\delta = \frac{a^2 Q E \rho_e A \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)}{k R T^2} \quad (1)$$

式中, a 为反应物的特征尺寸, m ; Q 为反应热, $J \cdot kg^{-1}$; E 为活化能, $J \cdot mol^{-1}$; ρ_e 为密度, $kg \cdot m^{-3}$; A 为频率因子, s^{-1} ; R 为气体常数, $8.314 J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$; k 为导热系数, $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$; T 为参考温度, K 。

既然假设 Frank-Kamenetskii 参数 δ 为正态分布的随机变量, 就必须首先明确 Frank-Kamenetskii 参数 δ 的定义, 如式(1)所示。其中, T 称为参考温度, 在无量纲化时, 参考温度的选取是很重要的。参考温度有两种取法: (1) 以环境温度 T_a 为参考点; (2) 以 T_{max} 为参考温度, T_{max} 是指系统中温度的最大值^[5]。本文的化学放热系统模型采用的是绝对超临界系统模型^[2], 所以在式中的参考温度 T 就是系统温度, 而不是环境温度 T_a 。注意: 这时 Frank-Kamenetskii 参数 δ 的临界值 δ_c 就不是经典值^[3]: 0.87846(无限大平板)、2(无限长圆柱)、3.32199(球)。

(2) 电学方面。在含能材料和桥丝组成的化学放热系统中, 除了含能材料本身, 电热桥丝对电流点火的感度影响是最大的。桥丝的各种物理参数的随机性对感度也有影响, 且函数关系也是非常复杂的。决定桥

收稿日期: 2007-10-30; 修回日期: 2007-12-19

作者简介: 王鹏(1980-), 男, 博士, 研究方向为军事化学与烟火技术。

丝电热性质的是桥丝的电阻 R_Ω ，因为根据焦耳定律，电阻丝的电热功率 $P = I^2 R_\Omega$ ，所以电阻 R_Ω 是桥丝电热性质的本质属性。本文同时假设电阻 R_Ω 为正态分布的随机变量，以此来代表桥丝电学放热因素的随机性对点火电流随机性的影响。

在研究由含能材料和桥丝组成的有外加内热源的化学放热系统的热点火感度时，必须同时考虑以上两个方面对感度的影响，缺一不可。所以本文同时假设 δ 和 R_Ω 为正态分布的随机变量，来推导电流点火感度的概率密度函数。

3 点火电流的感度概率密度函数

3.1 点火功率的感度概率密度函数

点火温度 T_{fire} 可表示为^[6]：

$$T_{\text{fire}} = - \frac{E}{2R \text{LambertW}\left(-1, -\frac{1}{2\sqrt{\frac{kE\delta_{\text{sper}}}{a^2 Q\rho_e AR}}}\right)} \quad (2)$$

在上式中注意两个量，第一个 δ_{sper} ，是 Frank-Kamenetskii 参数 δ 的超临界值 (super critical)，而不是文献[6]中计算临界环境温度 T_{acr} 时使用的临界值 δ_{cr} 。另一个是反应物的特征尺寸 a ，在热点火理论中 a 表示加热层的厚度，加热层的厚度被认为远远小于物体表面曲率半径和物体大小^[5]。根据热点起爆机理，加热层的厚度 a 约等于热点的直径。这两个量都是无法用实验测量得到的，但是它们的组合 δ/a^2 是可以通过点火电流 I 计算得到的。

在文献[2]中求出的点火温度 T_{fire} 为：

$$T_{\text{fire}} = \frac{E}{R \ln\left(\frac{QAmc_w}{I^2 R_\Omega c_e}\right)} \quad (3)$$

忽略桥丝表面与含能材料之间的热阻，即认为在桥丝表面，含能材料的温度与桥丝的温度相等。联立式(2)和式(3)，注意到电功率 $P = I^2 R_\Omega$ ，同时省略 δ_{sper} 的下标，可得式(4)：

$$\frac{dP}{d(\delta/a^2)} = \frac{QAm \frac{c_w}{c_e} \text{LambertW}\left(-1, -\frac{1}{2\sqrt{\frac{kE}{Q\rho_e AR} \frac{\delta}{a^2}}}\right) \exp\left[2\text{LambertW}\left(-1, -\frac{1}{2\sqrt{\frac{kE}{Q\rho_e AR} \frac{\delta}{a^2}}}\right)\right]}{\left[1 + \text{LambertW}\left(-1, -\frac{1}{2\sqrt{\frac{kE}{Q\rho_e AR} \frac{\delta}{a^2}}}\right)\right] \frac{\delta}{a^2}} > 0 \quad (11)$$

$$f_p(x) = \frac{c_e \rho_e R \left\{ \left[\ln\left(\frac{xc_e}{QAmc_w}\right) \right]^2 + \ln\left(\frac{xc_e}{QAmc_w}\right) \right\}}{\sqrt{2\pi} \sigma_\delta kEmc_w \exp\left\{ \left\{ \frac{xc_e \rho_e R}{kEmc_w} \left[\ln\left(\frac{xc_e}{QAmc_w}\right) \right]^2 - \mu_\delta \right\}^2 / 2\delta_\delta^2 \right\}} \quad (12)$$

$$- \frac{E}{2R \text{LambertW}\left(-1, -\frac{1}{2\sqrt{\frac{kE\delta}{a^2 Q\rho_e AR}}}\right)} = - \frac{E}{R \ln\left(\frac{QAmc_w}{Pc_e}\right)} \quad (4)$$

解式(4)，可得：

$$\text{LambertW}\left(-1, -\frac{1}{2\sqrt{\frac{kE\delta}{a^2 Q\rho_e AR}}}\right) = \ln\left(\sqrt{\frac{Pc_e}{QAmc_w}}\right) \quad (5)$$

根据 LambertW 函数的性质^[7-9]，由式(5)可得：

$$\ln\left(\sqrt{\frac{Pc_e}{QAmc_w}}\right) \exp\left[\ln\left(\sqrt{\frac{Pc_e}{QAmc_w}}\right)\right] = - \frac{1}{2\sqrt{\frac{kE}{Q\rho_e AR} \frac{\delta}{a^2}}} \quad (6)$$

整理式(6)可得：

$$\frac{\delta}{a^2} = \frac{Pc_e \rho_e R}{kEmc_w} = \left[\ln\left(\frac{Pc_e}{QAmc_w}\right) \right]^2 \quad (7)$$

根据式(7)，求 δ/a^2 对电功率 P 的导数：

$$\frac{d(\delta/a^2)}{dP} = \frac{c_e \rho_e R}{kEmc_w} \left\{ \left[\ln\left(\frac{Pc_e}{QAmc_w}\right) \right]^2 + \ln\left(\frac{Pc_e}{QAmc_w}\right) \right\} \quad (8)$$

根据一次二阶矩法^[10]，设函数 $y = f(x)$ ，则 $\sigma_y = f'(\mu_x) \sigma_x$ 。所以 δ/a^2 的标准差 σ_δ 可以通过功率 P 的标准差 σ_P 近似表示为：

$$\sigma_\delta = \frac{c_e \rho_e R}{kEmc_w} \left\{ \left[\ln\left(\frac{Pc_e}{QAmc_w}\right) \right]^2 + \ln\left(\frac{Pc_e}{QAmc_w}\right) \right\} \sigma_P \quad (9)$$

根据正态分布随机变量基本代数运算公式^[10]，可以求得电功率 σ_P ：

$$\sigma_P = \mu_I \sqrt{\mu_I^2 \sigma_R^2 + 4\mu_R^2 \sigma_I^2} \quad (10)$$

下面的分析要用到概率论中的一个定理，单调函数的概率密度公式^[11]。根据定理要求，求电功率 P 对 δ/a^2 的导数，由 LambertW 函数的性质^[7-9]：LambertW $(-1, x) < -1$ ，所以经过分析可知电功率 P 对 δ/a^2 的导数是正值，见式(11)：

这样就满足定理的要求，应用单调函数的概率密度公式可得电功率 P 的概率密度函数，见式(12)：

3.2 点火电流的感度概率密度函数

上节推导得出的式(12)是点火功率 P 的概率密度函数,考虑电阻 R_Ω 的随机性,这时有两个随机变量即电阻 R_Ω 和功率 P ,问题从一维变为二维,设电阻 R_Ω 为正态分布的随机变量,且根据电阻 R_Ω 和功率 P 的物理意义可知 R_Ω 和 P 必是相互独立的随机变量,应用二维随机变量函数的概率密度公式^[12],可得:

$$f_I(I) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_{R_\Omega}(R_\Omega) f_P(I^2 R_\Omega) |2IR_\Omega| dR_\Omega \quad (13)$$

将式(12)代入式(13),同时注意到 R_Ω 为电阻,积分下限取0,可得式(14)。由式(14)可见,含能材料的电流点火的感度分布函数不是一个简单的数学函数,而是由桥丝的电阻 R_Ω 、质量 m 、比热容 c_w 和含能材料的比热容 c_e 、密度 ρ_e 、反应热 Q 、频率因子 A 、导热系数 k 、活化能 E 等物理化学参数综合影响的复杂函数。

$$f_I(I) = \int_0^{+\infty} \frac{IR_\Omega c_e \rho_e R \left\{ \left[\ln \left(\frac{I^2 R_\Omega c_e}{QAmc_w} \right) \right]^2 + \ln \left(\frac{I^2 R_\Omega c_e}{QAmc_w} \right)^2 \right\}}{\pi \sigma_R \sigma_\delta kEmc_w \exp \left\{ \frac{\left\{ \frac{I^2 R_\Omega c_e \rho_e R}{kEmc_w} \left[\ln \left(\frac{I^2 R_\Omega c_e}{QAmc_w} \right) \right]^2 - \mu_\delta \right\}^2}{2\sigma_\delta^2} + \frac{(R_\Omega - \mu_R)^2}{2\sigma_R^2} \right\}} dR_\Omega \quad (14)$$

$$f_z(z) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_r(z+I) f_I(I) dI \quad (15)$$

$$f_z(z) = \int_0^{+\infty} \int_0^{+\infty} \frac{IR_\Omega c_e \rho_e R \left\{ \left[\ln \left(\frac{I^2 R_\Omega c_e}{QAmc_w} \right) \right]^2 + \ln \left(\frac{I^2 R_\Omega c_e}{QAmc_w} \right)^2 \right\}}{\sqrt{2\pi} \pi \sigma_R \sigma_\delta \sigma_r kEmc_w \exp \left\{ \frac{\left\{ \frac{I^2 R_\Omega c_e \rho_e R}{kEmc_w} \left[\ln \left(\frac{I^2 R_\Omega c_e}{QAmc_w} \right) \right]^2 - \mu_\delta \right\}^2}{2\sigma_\delta^2} + \frac{(R_\Omega - \mu_R)^2}{2\sigma_R^2} + \frac{(z+I - \mu_r)^2}{2\sigma_r^2} \right\}} dR_\Omega dI \quad (16)$$

$$R_L = \int_0^{+\infty} \int_0^{+\infty} \int_0^{+\infty} \frac{IR_\Omega c_e \rho_e R \left\{ \left[\ln \left(\frac{I^2 R_\Omega c_e}{QAmc_w} \right) \right]^2 + \ln \left(\frac{I^2 R_\Omega c_e}{QAmc_w} \right)^2 \right\}}{\sqrt{2\pi} \pi \sigma_\delta \sigma_R \sigma_r kEmc_w \exp \left\{ \frac{\left\{ \frac{I^2 R_\Omega c_e \rho_e R}{kEmc_w} \left[\ln \left(\frac{I^2 R_\Omega c_e}{QAmc_w} \right) \right]^2 - \mu_\delta \right\}^2}{2\sigma_\delta^2} + \frac{(R_\Omega - \mu_R)^2}{2\sigma_R^2} + \frac{(z+I - \mu_r)^2}{2\sigma_r^2} \right\}} dR_\Omega dI dz \quad (17)$$

R_L 的表达式是一个三重积分,而且积分函数很复杂,所以没有解析解,可以通过数值方法求解式(17)。求解三重积分的数值方法在不同的计算机语言中有很多种,比如 MATLAB 语言中的 triplequad 函数,见下面的算例。

5 算例

假设有一电点火头,桥丝材料为镍铬(Ni-Cr)合金,点火药为斯蒂芬酸铅(LTNR)。测得桥丝质量 $m = 3 \times 10^{-9}$ kg,电阻 $R_\Omega = 4 \Omega$ 、标准差 $\sigma_R = 0.2 \Omega$ 。假设某延滞期下临界点火电流 I 的平均值为 $\mu_I = 100$ mA、

4 电流点火可靠度的计算方法

下面应用应力-强度干涉理论^[10]计算电流点火的可靠度 R_L 。本文的广义强度为点火电路的点火电流 r ; 广义应力为一定点火延滞期的临界点火电流 I ,计算方法详见参考文献[2]。则根据应力-强度干涉理论,点火可靠度 $R_L = Pr(r - I > 0)$ 。由于无法知道 r 的概率分布函数,所以假设 r 服从正态分布。设 $z = r - I$,再次应用二维随机变量函数的概率密度公式^[12],可以得出干涉变量 z 的概率密度函数,见式(15):

将式(14)代入式(15),注意到在积分中的 I 表示电流为正值,积分下限取0,可得式(16):

点火可靠度 $R_L = Pr(z > 0)$,所以,由式积分可得式(17):

标准差 $\sigma_I = 10$ mA。点火电流 I 的平均值 $\mu_I = 150$ mA、标准差 $\sigma_I = 10$ mA,求此电点火头的点火可靠度。

镍铬桥丝材料的基本参数和斯蒂芬酸铅的基本参数见表1和表2。

将表1和表2数据代入 $P = I^2 R_\Omega$,容易算得 $\mu_P = 40$ mW,代入式可得 $\sigma_P = 8.2$ mW,代入式(7)可得 $\mu_\delta = 9.8649 \times 10^8$,代入式(9)可得 $\sigma_\delta = 1.8927 \times 10^8$ 。将以上数据代入式(14)可得点火电流 I 的概率密度函数 $f_I(x)$,如图1所示。

表1 镍铬桥丝材料的基本参数^[13]

Table 1 Essential parameters of Ni-Cr alloy

parameter	value
$\rho_{\Omega}/\Omega \cdot m$	1.2×10^{-6}
α/K^{-1}	1.3×10^{-4}
$c_w/J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	120
$\rho_w/kg \cdot m^{-3}$	8.2×10^3

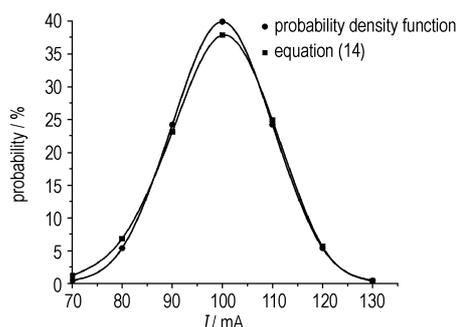
Note: ρ_{Ω} , resistivity; α , resistance temperature coefficient; c_w , specific heat; ρ_w , density.

表2 斯蒂芬酸铅的基本参数^[14-15]

Table 2 Essential parameters of LTNR

parameter	value
$Q/J \cdot kg^{-1}$	1.0897×10^6
$E/J \cdot mol^{-1}$	1.88×10^5
$c_c/J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	687 (25 °C)
A/s^{-1}	$10^{15.4}$
$\rho_c/kg \cdot m^{-3}$	1.5×10^3
$k/W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	5.0

Note: Q , reaction heat; E , activation energy; c_c , specific heat; A , frequency factor; ρ_c , density; k , thermal conductivity.

图1 点火电流 I 的概率密度函数Fig. 1 The probability density function of fire current I

从图1中可见,本文求出的概率密度分布函数与正态分布函数相差不大,这说明了以前假设含能材料的电流点火感度服从正态分布是合理的。

将以上数据代入式(17),应用MATLAB的triplequad函数计算点火可靠度 R_L ,注意在确定积分上下限时的技巧^[4],可以算得 $R_L \approx 99.99\%$ 。同时假设 r 和 I 都是正态分布的随机变量,算得 $R_L = 99.98\%$,两者相差0.01%,相差很小。

6 结论

以前对含能材料电流感度的研究一直使用的是实验方法,即按照GJB/Z377A-94^[16]进行感度实验,在获得实验数据之后将实验数据与正态分布、对数正态分布、逻辑斯谛分布、对数逻辑斯谛分布等标准数学概

率分布函数通过 χ^2 检验法或其它标准方法进行分布拟合检验,哪种分布类型的置信水平高,就认为火工品的感度近似服从哪种分布函数。但是,正态分布函数等是纯数学函数,是高斯等数学家对普遍概率现象的纯数学描述,并不能表现含能材料电热点火的复杂的物理化学反应本质。即正态分布等纯数学函数与电热点火的物理化学本质无关,所以电火工品的电流点火的感度在本质上不是正态分布或其它纯数学分布,只是在一定置信水平下近似而已。

本文从含能材料电流点火的化学和电学反应本质出发,通过电功率 P 和Frank-Kamenetskii参数 δ/a^2 的函数关系,经过合理的假设,推导出了含能材料电流点火的感度分布函数,证明了含能材料的电流点火的感度分布受桥丝和含能材料两方面物理化学因素综合影响,这与实践经验是一致的。在此基础上计算了电流点火的可靠度,为今后火工品可靠性理论和实验的研究创造了条件。

参考文献:

- [1] 李国新,程国元,焦清介. 火工品实验与测试技术[M]. 北京:北京理工大学出版社,1998.
- [2] 王鹏,杜志明. 桥丝式电火工品热点火理论[J]. 火工品,2007(4): 26-30.
WANG Peng, DU Zhi-ming. Thermal ignition theory of electric hot wire initiating devices[J]. *Initiators and Pyrotechnics*, 2007(4): 26-30.
- [3] 冯长根. 热爆炸理论[M]. 北京:科学出版社,1988.
- [4] WANG Peng, DU Zhi-ming. Probabilistic study on thermal sensitivity of energetic material[C]//Theory and Practice of Energetic Materials (VOL. VII): 226-230.
- [5] 冯长根. 热点火理论[M]. 吉林:吉林科学技术出版社,1991.
- [6] 王鹏,杜志明. 化学放热系统热爆炸临界值的随机性[J]. 安全与环境学报,2007,7(1): 115-118.
WANG Peng, DU Zhi-ming. Random nature of thermal explosion criticality of exothermic system[J]. *Journal of Safety and Environment*, 2007,7(1): 115-118.
- [7] Corless R M, Gonnet G H, Hare D E G, et al. Lambert's W function in Maple[J]. *The Maple Technical Newsletter*, 1993, 9: 12-22.
- [8] Corless R M, Gonnet G H, Hare D E G, et al. On the Lambert's W Function[J]. *Advances in Computational Mathematics*, 1996, 5(4): 329-359.
- [9] Barry D A, Parlange J Y, Li L, et al. Analytical approximations for real values of the Lambert W-function[J]. *Mathematics and Computers in Simulation*, 2000, 53: 95-103.
- [10] 朱文予. 机械概率设计与模糊设计[M]. 北京:高等教育出版社,2001.
- [11] 盛骤,谢士千,潘承毅. 概率论与数理统计[M]. 北京:高等教育出版社,1989.
- [12] 徐美进,王贺元,杨文杰. 关于二维随机变量函数的概率密度的一种简便算法[J]. 辽宁工学院学报,2005,25(3): 205-207.

- XU Mei-jin, WANG He-yuan, YANG Wen-jie. Simple algorithm for probability density of function in two random variable[J]. *Journal of Liaoning Institute of Technology*, 2005, 25(3): 205 - 207.
- [13] 曹建华, 蔡瑞娇, 董海平, 等. 电火工品桥丝与药剂升温模型及在可靠性设计中的应用[J]. *爆炸与冲击*, 2004, 24(1): 90 - 95.
CAO Jian-hua, CAI Rui-jiao, DONG Hai-ping, et al. The temperature rising models of bridge wire and explosive of electro-explosive device and application in reliability design[J]. *Explosion and Shock Waves*, 2004, 24(1): 90 - 95.
- [14] 钟一鹏, 胡雅达, 江宏志. 国外炸药性能手册[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1990.
- [15] 胡荣祖, 堵祖岳, 吴承云, 等. $M(TNR) \cdot H_2O$ 的热分解机理[J]. *无机化学*, 1987, 3(4): 121 - 127.
HU Rong-zu, DU Zu-yue, WU Cheng-yun, et al. Thermal decomposition mechanisms on $M(TNR) \cdot H_2O$ [J]. *Journal of Inorganic Chemistry*, 1987, 3(4): 121 - 127.
- [16] GJB377A - 94. 感度试验用数理统计方法[S]. 国防科学技术工业委员会, 1994.

Probability Distribution of Current Sensitivity of Energetic Materials

WANG Peng, DU Zhi-ming

(State Key Laboratory of Explosion Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: The current sensitivity probability density function of energetic materials was deduced based on Frank-Kamenetskii parameter and resistance supposing as stochastic variable of normal distribution, by the application of the probability density formula of function in two random variables. The calculation method of current fire reliability of energetic materials was worked out too. Results show that the probability distribution of current sensitivity of energetic materials is not a simple mathematical function, but a very complicated function which is influenced by physical and chemical parameters of hot wire such as resistance, mass and specific heat, and influenced by physical and chemical parameters of energetic materials such as specific heat, density, reaction heat, frequency factor, thermal conductivity and activation energy.

Key words: military chemistry and pyrotechnics; energetic material; sensitivity; probability density function; reliability



会议信息(一)

全国第十四届大环化学暨第六届超分子化学学术讨论会

会议主题: 大环化学和超分子化学的发展

会议内容: 1. 冠醚化学; 2. 环糊精化学; 3. 杯芳烃化学; 4. 卟啉与环蕃; 5. 大环多胺与其它大环; 6. 瓜环或葫芦环联脲; 7. 分子钳; 8. 超分子及其它。

承办单位: 西北师范大学 时间: 8月10-12日 地点: 甘肃省兰州市

联系人: 魏太保(兰州市安宁东路967号西北师范大学化学化工学院, 730070)

电话: 0931-7970394 传真: 0931-7971323 电子信箱: weitaibao@126.com

2008 全国高分子材料科学与工程学术论文报告会

会议主题: 新型高分子材料的合成、结构、性能、功能及其加工

会议内容: 1. 高分子材料的合成与反应; 2. 高分子材料凝聚结构和性能; 3. 功能高分子与高分子新材料; 4. 高分子材料的改性、复合及共混; 5. 高分子材料成型装备及新技术应用; 6. 高分子材料科学发展展望。

承办单位: 1. 清华大学 2. 贵州科学院 时间: 10月21-25日 地点: 上海市

联系人: 谢续明(清华大学化学馆高分子所, 100084)

电话: 010-62773607 传真: 010-62770304 电子信箱: xxm-dce@tsinghua.edu.cn