

# 发泡剂 H 的活化机理及其对天然橡胶发泡的影响

周 洋, 彭宗林\*, 姜述芹

(上海交通大学 化学化工学院, 上海 200240)

**摘要:**研究发泡剂 H 与尿素的相互作用机理以及两者并用对天然橡胶(NR)硫化和发泡的影响。结果表明:发泡剂 H 与尿素并用时的分解历程与它们各自单用时不同,两者反应温度在 130~180 ℃之间,峰值温度约为 150 ℃;发泡剂 H/尿素并用比在等当量或尿素稍过量时效果最佳,两者对 NR 的硫化都有明显的促进作用;尿素的分散性对发泡体的泡孔均匀性影响显著。

**关键词:**发泡剂;尿素;天然橡胶;分解特性;发泡性能

**中图分类号:**TQ330.38<sup>+</sup>7;TQ332 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2012)07-0408-07

发泡剂 H (N,N'-二硝基五亚甲基四胺)是一种常用的化学发泡剂,其分解温度为 190~205 ℃,发气量为 190~210 mL·g<sup>-1</sup>[1-3]。由于它具有易分散、发气量大、发泡效率高等特点,因此广泛应用于橡胶发泡材料中[4-5]。

发泡剂 H 的缺点是分解温度高,且分解放出甲醛等难闻气体,因而常用活化剂对其改性。现行工业生产经常将发泡剂 H 与尿素并用,以降低发泡剂 H 的分解温度[6-9],并缓解难闻气味。但现有文献对发泡剂 H 与尿素并用后热分解历程以及它们之间相互作用规律的系统研究较少。本工作以天然橡胶(NR)为基体,分别采用红外光谱分析、热重分析和差示扫描量热分析等手段系统地研究发泡剂 H 与尿素在 NR 中的相互作用机理以及两者并用对 NR 硫化和发泡的影响,以期对 NR 发泡提供应用基础数据。

## 1 实验

### 1.1 主要原材料

NR,1<sup>#</sup>白皱片,马来西亚产品;发泡剂 H,江苏雅克科技股份有限公司产品;尿素,分析纯,国药集团化学试剂有限公司产品;尿素复合物 BK4,日本产品;轻质活性碳酸钙,上海碳酸钙厂

产品。

### 1.2 试验配方

基本配方(0<sup>#</sup>):NR 100,轻质活性碳酸钙 40,活性氧化锌 5,硬脂酸 1,硫黄 3,促进剂 M 1。

将发泡剂 H 和尿素加入基本配方中,总量均为 8 份。1<sup>#</sup>配方中加入 8 份发泡剂 H;2<sup>#</sup>配方中加入 6 份发泡剂 H 和 2 份尿素;3<sup>#</sup>配方中加入 4.3 份发泡剂 H 和 3.7 份尿素;4<sup>#</sup>配方中加入 2 份发泡剂 H 和 6 份尿素;5<sup>#</sup>配方中加入 8 份尿素。

### 1.3 试验设备和仪器

S(X)K-160A 型开炼机,上海橡胶机械厂产品;XLB-D 型平板硫化机,湖州宏侨橡胶机械有限公司产品;Spectrum 100 型傅里叶转换红外光谱仪(FTIR),美国 Perkin Elmer 公司产品;Q5000IR 型热重分析仪(TG)和 Q2000 型差示扫描量热分析仪(DSC),美国 TA 公司产品;S-2150 型扫描电子显微镜(SEM),日本日立公司产品;UR-2030 型无转子发泡硫化仪,中国台湾优肯科技股份有限公司产品;邵氏 C 型硬度计,中国台湾高铁检测仪器有限公司产品。

### 1.4 试样制备

#### 1.4.1 混炼胶

先将 NR 在开炼机上塑炼,然后加入轻质活性碳酸钙、活性氧化锌、硬脂酸、发泡剂、促进剂,最后加入硫黄。薄通 3 次后出片,制得混炼胶。

**基金项目:**上海市科委科研计划项目(08DZ1170104)

**作者简介:**周洋(1985—),男,湖北当阳人,现在壳牌(中国)有限公司工作,硕士,从事橡胶材料的发泡研究。

\* 通信联系人

1.4.2 测试样品

将混炼胶在平板硫化机上压制成薄膜样品,制备条件分别为 80 ℃×15 min 和 180 ℃×15 min,用于红外光谱测试。

1.4.3 发泡样品

混炼胶放置 1 d 后返炼出片,在平板硫化机上采用一次跳模法在厚度为 5 mm 的方框形模具框中硫化发泡,温度为 160 ℃,时间根据硫化曲线确定,制得 NR 发泡材料。

1.5 测试分析

1.5.1 热分析

TG 分析测试温度范围为 30~700 ℃,升温速率为 10 ℃·min<sup>-1</sup>,氮气保护;DSC 分析测试温度范围为 0~250 ℃,升温速率为 10 ℃·min<sup>-1</sup>,氮气保护。

1.5.2 红外光谱分析

用红外光谱仪的钻石全反射附件测试薄膜样品的 FTIR 谱,扫描范围为 4 000~500 cm<sup>-1</sup>,扫描 16 次。

1.5.3 性能测试

混炼胶的硫化曲线测试温度为 160 ℃,硫化时间为 15 min;密度按 GB/T 6343—2009《泡沫塑料及橡胶 表观密度的测定》进行测定;硫化胶的邵氏 C 型硬度按 HG/T 2489—2007《鞋用微孔材料硬度试验方法》进行测定。

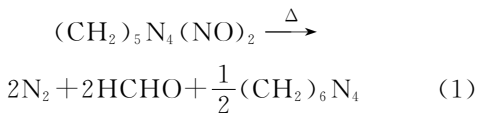
1.5.4 微观结构

用刀片切割发泡样品,在其断面上喷金,然后用 SEM 观察并拍照。

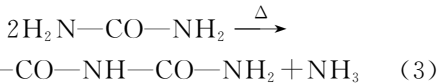
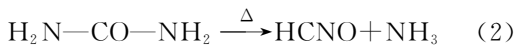
2 结果与讨论

2.1 热分析

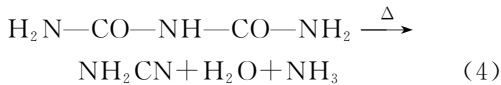
据文献[1,8]报道,发泡剂 H 的分解反应式见式(1),生成氮气、甲醛和六亚甲基四胺。



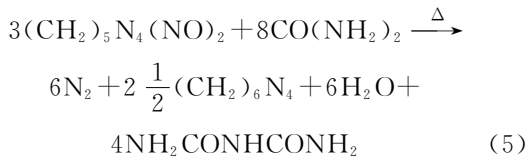
尿素的反应比较复杂,温度、升温速率以及反应容器不同,都会有不同的反应<sup>[10-11]</sup>。尿素的熔点为 133 ℃,在 150~190 ℃时会发生分解反应,典型的反应式见式(2)和(3),产物有氨气、异氰酸和缩二脲。



当温度为 190~250 ℃时,缩二脲会发生分解反应,见式(4),生成氰胺、水和氨气。缩二脲分解的氰氨又会三聚生成三聚氰胺。三聚氰胺快速加热会升华,升华温度为 300 ℃。



发泡剂 H 与尿素并用时的反应式见式(5)<sup>[1,8]</sup>。



反应式(1)和(5)中的分解产物六亚甲基四胺为白色固体,熔点为 263 ℃,超出此熔点即升华并分解,放出氨气等气体,并留下固体残余物。反应放出的气体量以及固体残余物的形式与温度有关<sup>[12-13]</sup>。

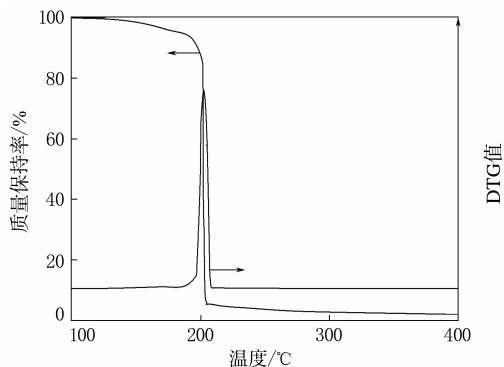
以上反应式中的气体产物和理论气体产率如表 1 所示,其中气体产率是按气体总质量占反应物总质量的百分比计算。从表 1 可以看出,发泡剂 H 和尿素按式(5)反应的气体产率远低于纯发泡剂 H 按式(1)分解的气体产率。

表 1 发泡剂 H 和尿素的理论气体产率 %

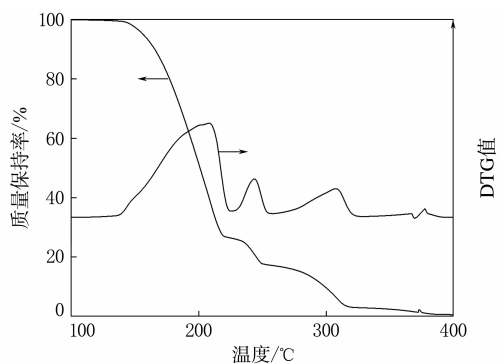
| 反应式 | 气体产物                               | 理论气体产率 |
|-----|------------------------------------|--------|
| (1) | N <sub>2</sub> , CH <sub>2</sub> O | 62.4   |
| (2) | HCNO, NH <sub>3</sub>              | 100    |
| (3) | NH <sub>3</sub>                    | 14.2   |
| (4) | H <sub>2</sub> O, NH <sub>3</sub>  | 34.0   |
| (5) | N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O  | 26.6   |

在研究分散于橡胶基质中发泡剂的分解特性之前,先分别考察纯发泡剂 H 和纯尿素的分解特征,其 TG 和 DTG 曲线如图 1 所示。

从图 1(a)可以看出,发泡剂 H 的分解为突发性的,160 ℃时开始缓慢分解,195 ℃时快速分解,分解峰值温度为 202 ℃。发泡剂 H 在 100~250 ℃之间的质量损失率为 96%,该数值远大于式(1)的理论气体产率(62.4%)。理论上发泡剂



(a) 发泡剂 H



(b) 尿素

图1 发泡剂 H 和尿素的 TG 和 DTG 曲线

H 应该是分步分解损失质量的,但在氮气氛围中却是一步式,这可能是由于发泡剂 H 分解放出大量的热,使反应产物六亚甲基四胺受热迅速分解损失质量所致。

从图 1(b)可以看出:尿素的分解是分步的(3步),在 100~250 °C 之间分解的质量损失率为 82.3%,据此推断该温度范围内式(2)~(4)的反应均有发生;而在 250~320 °C 之间的质量损失可能是氰胺三聚生成的三聚氰胺升华所致。

为了研究发泡剂 H 和尿素并用后发生分解反应的温度范围以及并用比对分解温度的影响,本试验将发泡剂 H 和尿素并用于 NR 胶料中进行热分析,以考察发泡剂在实际使用环境中的分解特性。发泡剂 H 和尿素在 NR 胶料中的 DSC 曲线如图 2 所示。

从图 2 可以看出:单用发泡剂 H(1<sup>#</sup> 配方)的胶料在 160~230 °C 之间出现明显的分解放热峰,峰值温度为 211 °C;单用尿素(5<sup>#</sup> 配方)的胶料在 133 °C 时出现的吸热峰是尿素的熔融峰,150~200 °C 之间的吸热峰是尿素发生式(2)~(4)反应

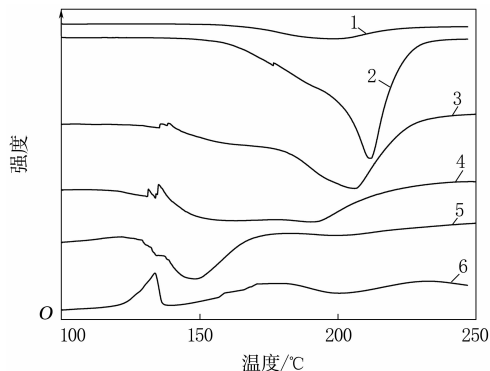
配方编号:1—0<sup>#</sup>;2—1<sup>#</sup>;3—2<sup>#</sup>;4—3<sup>#</sup>;5—4<sup>#</sup>;6—5<sup>#</sup>。

图2 发泡剂 H 和尿素在 NR 胶料中的 DSC 曲线

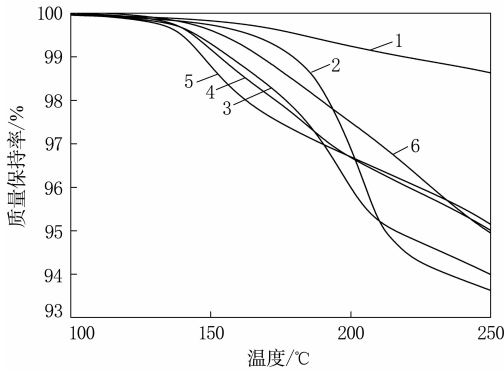
的结果,而 200~250 °C 的吸热峰可能是氰胺三聚生成三聚氰胺等反应所致。

发泡剂 H 和尿素的并用配方胶料在 133 °C 时也出现了尿素的熔融峰,在 130~180 °C 之间出现了单用发泡剂 H 和单用尿素配方胶料均没有的放热峰,峰值温度在 150 °C 左右。当发泡剂 H 过量(2<sup>#</sup> 配方)和等当量(3<sup>#</sup> 配方)时,分别在 206 和 195 °C 时出现了发泡剂 H 的单独分解峰放热峰。当尿素过量(4<sup>#</sup> 配方)时,发泡剂 H 的单独分解峰消失,只有 150 °C 的放热峰。随着尿素用量的增大,150 °C 左右的发泡剂 H 和尿素发生反应,放热峰越来越明显。

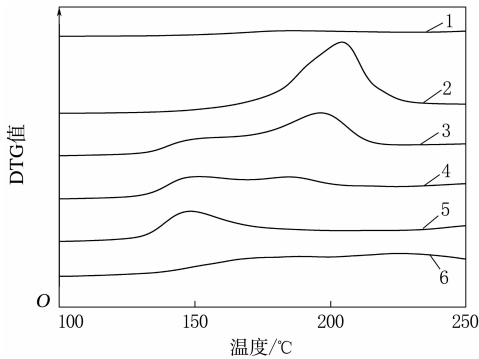
发泡剂 H 和尿素在 NR 胶料中的 TG 和 DTG 曲线及热质量损失数据如图 3 和表 2 所示。表 2 中发泡剂 H 的质量损失率是指 100~250 °C 之间发泡剂 H 和尿素的总质量损失占总质量的百分比(已扣除胶料本身的质量损失率)。

从图 3(a)可以看出,发泡剂 H 和尿素并用配方胶料在 130~180 °C 之间的热质量损失速度比两者单用都快,说明发泡剂 H 和尿素并用时的分解历程与它们各自单用时不同。图 3(b)更好地表达了发泡剂分解损失质量的峰值温度,其结果与 DSC 曲线(图 2)一致。由此说明发泡剂 H 和尿素确实在 130~180 °C 之间发生了反应,峰值温度在 150 °C 左右,反应为放热反应。

从表 2 可以看出,发泡剂 H 和尿素在胶料中单独分解的质量损失率与其在氮气环境中的质量损失率相近,而两者等当量并用和尿素过量配方胶料的质量损失率却小于两者单独分解时的质量损失率,再次说明两者并用时按式(5)发生了反



(a) TG 曲线



(b) DTG 曲线

注同图 2。

图 3 发泡剂 H 和尿素在 NR 胶料中的 TG 和 DTG 曲线

表 2 发泡剂 H 和尿素在 NR 胶料中的热质量损失数据

| 项 目                              | 配方编号 |     |     |     |     |
|----------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|
|                                  | 1#   | 2#  | 3#  | 4#  | 5#  |
| $T_{p1}/^{\circ}\text{C}$        | —    | 150 | 150 | 148 | 172 |
| $T_{p2}/^{\circ}\text{C}$        | 204  | 198 | 186 | —   | 226 |
| 质量损失率(250 $^{\circ}\text{C}$ )/% | 99   | 93  | 73  | 68  | 76  |

应,而且相互反应的产气量小于两者单独分解的产气量。

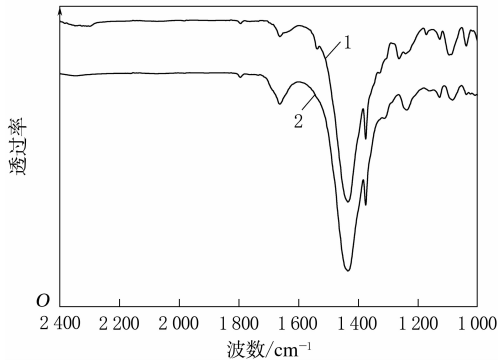
综合以上热分析结果,发泡剂 H 和尿素的并用比在等当量(质量比为 4.3 : 3.7)或尿素略过量(如质量比为 1 : 1)时能有效地发挥发泡剂 H 的作用,并使发泡剂 H 的分解温度降低。因此工业上推荐的发泡剂 H/尿素并用比为 1/1 是较为实用的。

### 2.2 红外光谱分析

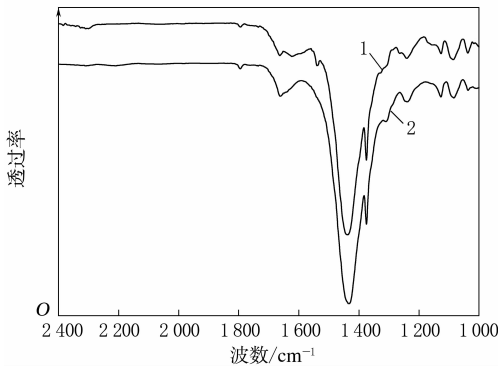
发泡剂 H 和尿素在加热分解后均会产生大量气体,并且在聚合物中留下残余物。为了进一

步研究发泡剂 H 和尿素并用时的分解反应途径是否与两者单独分解不同,将胶料分别在低温(80  $^{\circ}\text{C}$ )和高温(180  $^{\circ}\text{C}$ )下热压成膜,以比较发泡剂分解前后热压膜的红外光谱,测试结果如图 4 所示。

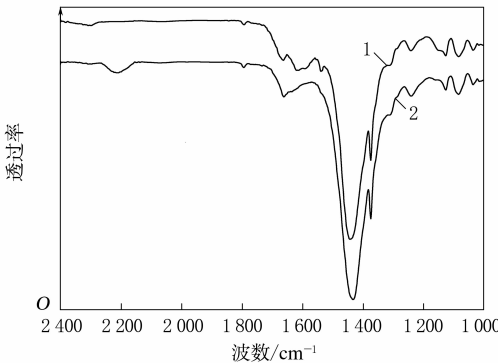
发泡剂 H 的特征吸收是在 1 265  $\text{cm}^{-1}$  处—NO 的伸缩振动吸收峰,而尿素的特征吸收是在 1 622  $\text{cm}^{-1}$  处 N—H 的弯曲振动吸收峰。



(a) 1# 配方



(b) 3# 配方



(c) 5# 配方

1—80  $^{\circ}\text{C}$   $\times$  15 min; 2—180  $^{\circ}\text{C}$   $\times$  15 min。

图 4 发泡剂 H 和尿素在 NR 胶料中分解前后的红外光谱对比

从图 4(a)可以看出,高温压膜后,1 265  $\text{cm}^{-1}$  处发泡剂 H 的特征吸收峰消失,说明发泡剂 H 已经发生了分解反应。从图 4(c)可以看出,高温压膜后 1 622  $\text{cm}^{-1}$  处尿素的特征吸收峰消失,说明尿素发生了分解反应,同时 2 210  $\text{cm}^{-1}$  处出现新的吸收峰,这是氰胺中—CN 的伸缩振动吸收峰,说明尿素发生了式(3)和(4)的反应。

从图 4(b)可以看出,3<sup>#</sup> 配方同时含有发泡剂 H 和尿素,分解前的红外光谱为两者的叠加谱图。高温分解后,两者的特征峰消失,但 2 210  $\text{cm}^{-1}$  处却没有出现氰胺的特征吸收峰,说明发泡剂 H 和尿素并用后并不是各自单独分解,而是相互发生反应,按式(5)进行。

综合红外光谱分析结果以及热分析数据,尿素对发泡剂 H 显示出活化作用的内在原因主要是发泡剂 H 和尿素之间发生了反应。

2.3 发泡剂 H 和尿素对 NR 硫化的影响

从图 2 和 3 可知,发泡剂 H 和尿素发生式(5)反应的温度范围在 130~180  $^{\circ}\text{C}$  之间,分解峰值温度在 150  $^{\circ}\text{C}$  左右,因此选取 160  $^{\circ}\text{C}$  为发泡剂 H 与尿素并用于 NR 中的发泡温度。

为了研究发泡剂 H 和尿素并用对 NR 硫化的影响,并确定发泡剂 H 和尿素并用硫化发泡的最佳比例,测定了 0<sup>#</sup>~5<sup>#</sup> 配方胶料在 160  $^{\circ}\text{C}$  下的硫化曲线,如图 5 所示,其硫化特性参数如表 3 所示。

从图 5 和表 3 可以看出,发泡剂 H 和尿素对 NR 硫化都有促进作用,既加快了硫化速度,又提高了硫化程度。同等用量下尿素对 NR 硫化的促进作用比发泡剂 H 强。发泡剂 H 与尿素并用的

表 3 发泡剂 H 和尿素对 NR 胶料硫化特性的影响

| 项 目                            | 配方编号           |                |                |                |                |                |
|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                                | 0 <sup>#</sup> | 1 <sup>#</sup> | 2 <sup>#</sup> | 3 <sup>#</sup> | 4 <sup>#</sup> | 5 <sup>#</sup> |
| $t_{10}/\text{min}$            | 1.43           | 1.33           | 0.87           | 0.83           | 0.75           | 0.92           |
| $t_{90}/\text{min}$            | 6.78           | 4.77           | 2.78           | 2.87           | 3.33           | 3.97           |
| $M_L/(\text{dN}\cdot\text{m})$ | 0.15           | 0.14           | 0.26           | 0.10           | 0.37           | 0.15           |
| $M_H/(\text{dN}\cdot\text{m})$ | 5.47           | 11.80          | 10.03          | 11.24          | 13.96          | 14.10          |

胶料硫化速度与单用尿素的胶料相近,而硫化程度随着尿素用量的增大而增大。单用发泡剂 H (1<sup>#</sup> 配方)或发泡剂 H 过量(2<sup>#</sup> 配方)时,胶料的硫化曲线在后期略有下降,这是由于发气量大,气体对胶料有增塑作用所致。

2.4 发泡剂 H 与尿素并用对 NR 发泡的影响

为了保证开模时胶料的硫化程度一致以比较发泡性能,对不同胶料取 160  $^{\circ}\text{C}$  硫化曲线上转矩为 10  $\text{dN}\cdot\text{m}$  对应的时间为硫化时间,对 1<sup>#</sup>~5<sup>#</sup> 配方胶料在平板硫化机上采用一次跳模法进行硫化发泡。一次跳模后的试样停放 48 h 后测定其密度和硬度,结果如图 6 所示。

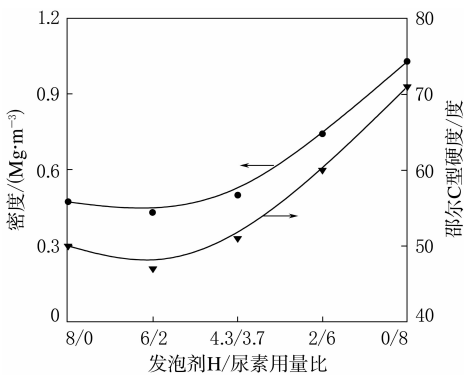


图 6 发泡剂 H 和尿素并用比对 NR 发泡材料密度和硬度的影响

从图 6 可以看出:在发泡剂总量相同且开模时硫化程度相同的情况下,当发泡剂 H 过量至发泡剂 H 和尿素等当量比之前发泡体的密度相当;当尿素过量时,密度随尿素用量的增大而增大。相应地,发泡体的硬度变化趋势与密度相同。

在本试验条件下,发泡剂 H 与尿素在等当量比之前发泡体的密度相近,表明这两者的发气量相近。这是由于虽然并用发泡剂 H 的发气量大于其与尿素并用时的发气量,但是 160  $^{\circ}\text{C}$  下分解并不完全,而发泡剂 H 与尿素并用后提高了发泡剂 H 在 160  $^{\circ}\text{C}$  下的分解效率,从而既没有降低发气量,又能减少胶料中发泡剂的残留物,提高了发

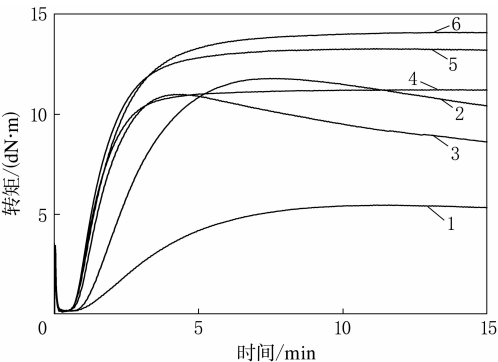
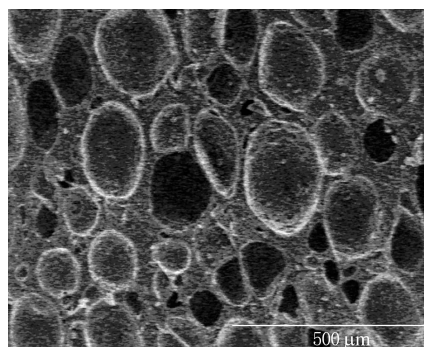


图 5 发泡剂 H 和尿素对 NR 胶料硫化曲线的影响

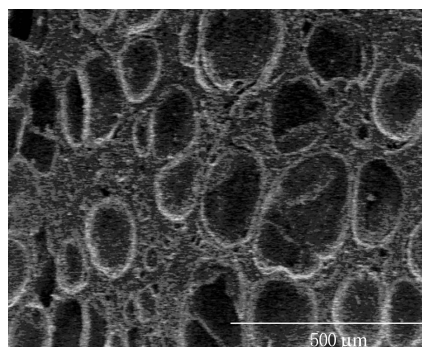
泡剂的利用效率。试验中还发现尿素的用量越大,发泡时产生的难闻气味越小,这也是两者相互反应的结果。

图 7 所示为各典型配方胶料的泡孔结构 SEM 照片。

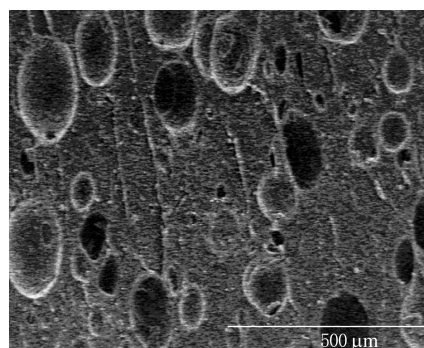
从图 7 可以看出:单用发泡剂 H 的胶料发泡



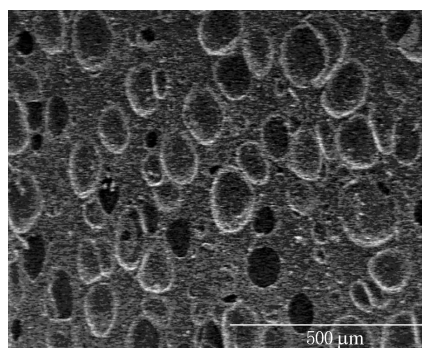
(a)1# 配方



(b)3# 配方



(c)5# 配方



(d)3# 配方中的尿素换为 BK4

放大 100 倍。

图 7 各典型配方胶料的泡孔结构 SEM 照片

后泡孔孔径较大,分布不太均匀,泡壁较薄,有一定数量的开孔[见图 7(a)];单用尿素的胶料发泡后泡孔少,泡壁很厚,而且泡孔大小不均[见图 7(c)];发泡剂 H 和尿素等当量并用后胶料的泡孔形态特征介于两者之间[见图 7(b)];BK4 是一种商品化的尿素复合物,可以促进尿素在胶料中均匀分散,将尿素换为易分散的 BK4 时,泡孔结构变得细密均匀,是较理想的泡孔形态[见图 7(d)]。这说明尿素的分散效果对胶料泡孔结构的影响至关重要。

### 3 结论

(1)发泡剂 H 和尿素并用于 NR 胶料中,当温度为 130~180 °C 时二者发生反应,反应峰值温度约为 150 °C,与它们各自单用时的分解历程不同。

(2)发泡剂 H 与尿素并用比在等当量或尿素稍过量时效果最佳,使分解温度降低,发气速度加快,但气体产率比单用发泡剂 H 时低。

(3)发泡剂 H 和尿素对 NR 的硫黄硫化都有明显的促进作用,两者并用后胶料的硫化速度与单用尿素时相近,硫化程度随尿素用量的增大而增大。

(4)在橡胶常用的硫化温度(低于 200 °C)下,发泡剂 H 和尿素的并用比影响发泡体的发泡倍率,等当量时发泡效果最佳。尿素的分散性对发泡体泡孔的大小及均匀性影响显著。

### 参考文献:

- [1] Hans Zweifel, Maier R D, Michael Schiller, et al. Plastic Additives Handbook(6th Edition)[M]. Cincinnati, Ohio: Hanser Publications, 2009:719-728.
- [2] Rowland D G. Practical Chemical Blowing Agents for Expan-

- ding Rubber[J]. Rubber Chemistry and Technology, 1993, 66(3): 463-475.
- [3] 林广梁. 发泡剂的分解性质研究[J]. 橡胶工业, 1990, 37(10): 584-588.
- [4] 彭宗林, 王君, 张祥福, 等. EPDM 胶料中发泡剂 H 的分解特性研究[J]. 橡胶工业, 2000, 47(8): 456-459.
- [5] 刘永军, 朱景芬, 赵玉中. 发泡体系和硫化体系对 NBR 海绵性能的影响[J]. 橡胶工业, 2005, 52(11): 660-663.
- [6] 雷海军. 热硫化型硅橡胶海绵胶料发泡压力曲线的探讨[J]. 特种橡胶制品, 2001, 22(3): 7-10.
- [7] 亢庆卫, 罗权焜. 尿素衍生物对硅橡胶海绵性能的影响[J]. 特种橡胶制品, 2004, 25(1): 4-8.
- [8] 佚名. 海绵橡胶用发泡剂与硫化体系[J]. 王作龄编译. 世界橡胶工业, 2008, 35(9): 7-15.
- [9] Guan L T, Du F G, Wang G Z, et al. Foaming and Chain Extension of Completely Biodegradable Poly(propylene carbonate) Using DPT as Blowing Agent[J]. J. Polym. Res., 2007, 14: 245-251.
- [10] Finar I L. Organic Chemistry [M]. London: Longmans, Green and Co, 5th impression, 1957: 322-354.
- [11] Schaber P M, James Colson, Steven Higgins, et al. Thermal Decomposition (Pyrolysis) of Urea in an Open Reaction Vessel[J]. Thermochimica Acta, 2004, 424(1-2): 131-142.
- [12] John Marc Dreyfous, Jones S B, Yoursy Sayed. Hexamethylenetetramine: A Review[J]. American Industrial Hygiene Association Journal. 1989, 50(11): 579-585.
- [13] Yoshitomo Iwakami, Masao Takazono. Thermal Decomposition of Hexamethylene Tetramine[J]. Bull. Chem. Soc. J., 1968, 41: 813-817.

收稿日期: 2012-01-18

## Study on Activation Mechanism of Blowing Agent H and Its Effects on Foaming of NR

ZHOU Yang, PENG Zong-lin, JIANG Shu-qin

(Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

**Abstract:** The mechanism of the interaction between blowing agent H and urea, and their effects on the vulcanization and foaming property of NR were investigated. The results showed that, the decomposition course of blowing agent H/urea blend was different from their own decomposition reactions. The reaction temperature range was from 130 °C to 180 °C, and the decomposition peak temperature was about 150 °C. With equivalent blending ratio or with slightly higher urea level, the foaming effect was the best, and both blowing agent H and urea had significant accelerating effects on the vulcanization of NR. The dispersion of urea had significant effect on the pore uniformity of NR foam.

**Key words:** blowing agent; urea; NR; decomposition characteristics; foaming property

### 无接头橡胶履带一次成型硫化装置

中图分类号: TQ330.4<sup>+</sup>7 文献标志码: D

由镇江同立橡胶有限公司申请的专利(公开号 CN 101804677A, 公开日期 2010-08-18)“无接头橡胶履带一次成型硫化装置”, 涉及的硫化装置由第1、第2和第3内模收缩张紧滑块, 上、下内模具, 内模通汽加热平板, 收缩张紧机构, 定位铰链, 上、下外模具构成。上外模具和下外模具对称设置在成型硫化装置上部 and 下部, 上、下外模具内的左端和右端由上至下分别设置有第1、

第2和第3内模收缩张紧滑块, 上内模具通过定位铰链安装于左右两端的第1内模收缩张紧滑块之间, 下内模具通过定位铰链安装于左右两端的第3内模收缩张紧滑块之间, 内模通汽加热平板设置在上内模具和下内模具之间, 收缩张紧机构分前后各自连接在第2内模收缩张紧滑块外表面的中部。该装置对整条无接头橡胶履带产品只需进行一次成型、硫化操作就能完成生产操作。

(本刊编辑部 马 晓)