

文章编号: 1006-9941(2011)03-0325-05

高聚物黏结粉末橡胶等静压净成型技术

梁华琼, 韩超, 雍炼, 陈学平, 杨永林

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要: 为获得高聚物黏结粉末橡胶等静压净成型技术(rubber isostatic pressing, RIP), 研究了成型工艺对橡胶等静压成型件性能的影响, 探索了橡胶等静压成型过程粉末的形变规律, 并对工艺参数进行优化。结果表明: 成型压力越大, 初始相对装药密度越高, 橡胶等静压成型越接近等静压成型; 成型压力 160 MPa、初始相对装药密度 62% 时, 橡胶等静压成型件的轴向密度差可以控制在 0.4%, 达到等静压成型密度波动控制范围, 成型件外形尺寸规整, “象足”影响不明显, 可实现复杂形状炸药件的近净成型, 减少原材料损耗。

关键词: 材料科学; 橡胶等静压(RIP); 高聚物黏结粉末; 成型性能; 净成型

中图分类号: TJ55; TB33

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.03.018

1 引言

净成型技术由于具有低损耗、低成本、高效率等优点, 在粉末冶金、陶瓷、磁材等行业被广泛应用。传统的炸药部件成型通常采用加工成型的方法, 材料浪费率至少 30%, 效率低, 经二次加工后的原材料无法回收利用, 也不能直接通过下水道排出, 产生的大量废弃物, 处理风险大, 环境污染严重。橡胶等静压净成型技术(rubber isostatic pressing, RIP) 是使炸药件通过压制成型后免加工或近免加工, 减少原材料损耗, 节约成本, 降低生产周期, 提高生产效率, 使炸药成型过程更安全、更环保, 做到绿色、安全生产。

RIP 净成型技术采用橡胶模具做传压介质, 并在一个封闭的钢模内被压缩以使模具空腔内的粉末以一种准等静压的方式被压缩。该工艺最初是发展用于小厚度、长中空管型试件的压制^[1-2], Sagawa 等^[3-4] 改进了 RIP 技术, 使其应用更广泛。RIP 成型时, 成型的粉体与金属模具没有直接接触, 得到的成型件具有更均匀的密度分布, 因此, RIP 技术对于难以压缩的粉体材料成型具有潜在的应用前景^[5-9]。Shima 等^[10] 通过对金属材料 RIP 成型过程的数值模拟, 发现压制条件对 RIP 成型件的形状及密度分布具有重要影响。

收稿日期: 2010-04-26; 修回日期: 2010-06-25

作者简介: 梁华琼(1977-), 女, 硕士, 主要从事含能材料精密成型及相关物性研究。e-mail: lhq_lhq0008@sina.com

本实验主要研究高聚物黏结粉末 RIP 成型工艺对 RIP 成型件性能的影响, 并对 RIP 成型工艺参数进行优化, 探索高聚物黏结粉末 RIP 净成型技术特点。

2 实验

2.1 材料

橡胶软模: 三元乙丙橡胶(重庆多普橡胶有限公司提供), 硬度(邵氏 A)23, 拉伸强度 6.5 MPa。

高聚物黏结粉末: D-90031(中国工程物理研究院化工材料研究所自制)。

2.2 性能参数

成型试件的“象足”因子 r_e 、成型件的长径比 r_a 、成型件的收缩率之比 r_c 等对评价 RIP 成型过程具有重要意义, 其定义如下:

$$r_e = (d_e - d') / d' \quad (1)$$

$$r_a = h' / d' \quad (2)$$

$$r_c = (1 - d' / d) / (1 - h' / h) \quad (3)$$

其中, d_e 为末端成型直径, d' 为成型件中部直径, h 为软模空腔高度, h' 为成型件中心高度, 具体见图 1 所示, 本实验中 $d=60$ mm, $h=80$ mm。

因等静压成型时: $r_e=0$, $r_c=1$, 因此 RIP 成型时, r_e 越接近 0, 而 r_c 越接近于 1, 则 RIP 成型就越接近等静压成型; 在相同工艺条件下, r_a 越大, 则径向受力越大, RIP 成型越接近等静压成型。

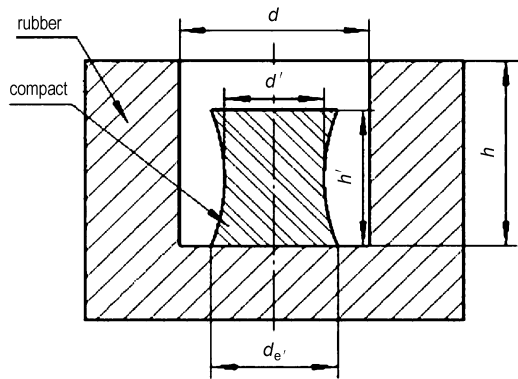


图 1 RIP 成型件示意图

Fig. 1 Sketch map of compact with RIP

2.3 密度测试

成型件密度测试: 将成型件去掉表皮, 加工成形状规则的圆柱体, 采用体积称重法进行密度测量。

轴向密度分布测试: 将成型件沿轴向加工成 $\Phi 5$ mm 厚的薄片, 采用体积称重法进行密度测量。

2.4 成型技术条件

成型压力为 80, 120, 160 MPa, 药温及模温为常温, 压制时间为 20 min。

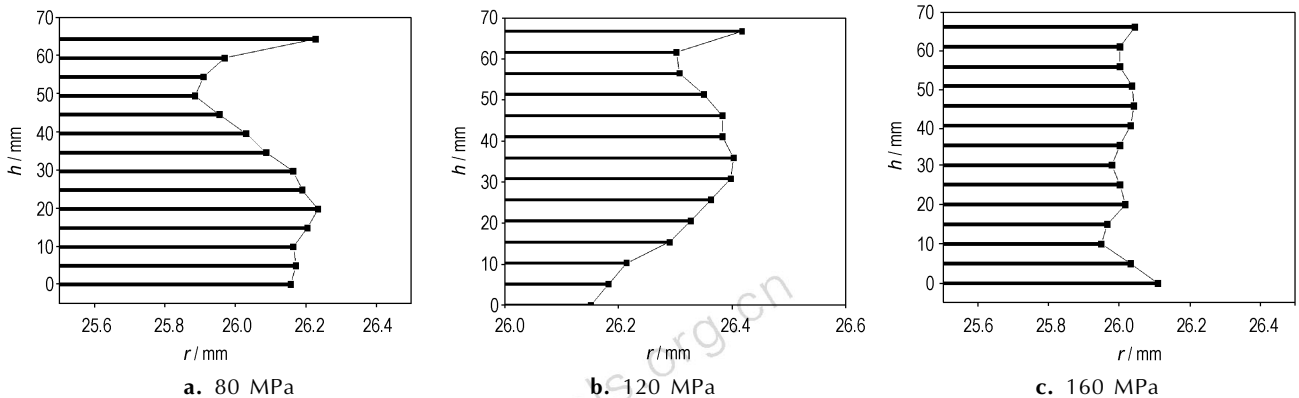


图 2 不同压力条件下高聚物黏结粉末 RIP 成型件外形尺寸

Fig. 2 Shapes and dimensions of compacts with RIP under different pressures

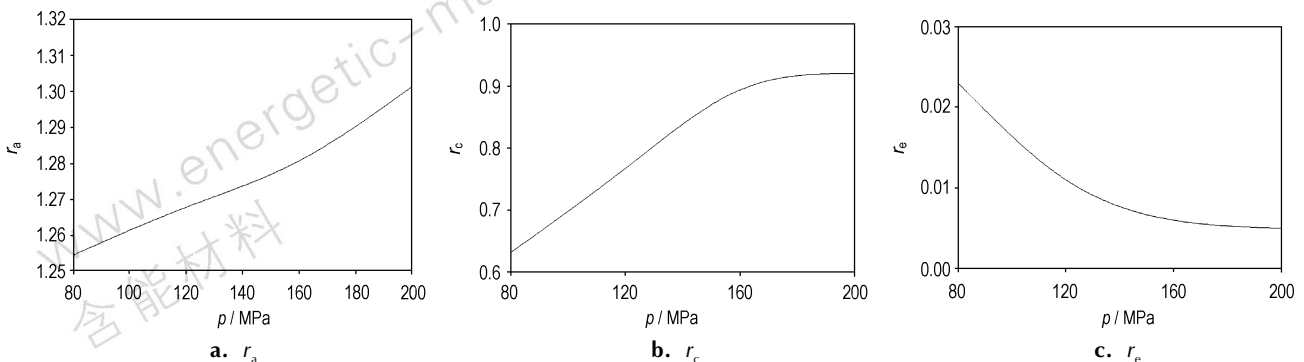


图 3 成型过程中成型压力对 r_a 、 r_c 、 r_e 的影响

Fig. 3 Effects of pressure on r_a , r_c , and r_e during compact process

3 结果与讨论

3.1 成型压力对 RIP 成型过程的影响

3.1.1 成型压力对 RIP 成型件形状的影响

图 2 为不同压力条件下成型件外形尺寸分布, 由图 2 可以看出, 压力越大, “象足”现象越不明显, 当压力增大到 160 MPa 左右时, “象足”消失, 除去测试误差, 可以认为压制的成型件是一均匀的圆柱体, “象足”的影响已经不明显。这主要是因为开始加压的瞬间, 高聚物黏结粉末处于松散态, 强度很低, 可以将橡胶软模看成空的型腔, 粉体材料随着橡胶软模的纵向压缩、横向膨胀, 形成中间粗, 两头细的形状, 即“象足”现象, 当压力继续增加, 高聚物黏结粉末具有一定的强度后, 橡胶软模开始起压力传递的作用, 压力越大, 橡胶软模横向和径向的压力传递越均衡, 故“象足”现象越不明显。

3.1.2 成型压力对成型过程的影响

图 3 为成型压力与成型过程中 r_a 、 r_c 、 r_e 的变化关系图, 可以看出随着压力的增加, r_a 、 r_c 逐渐增大, r_e 逐渐减小。当压力增大到 160 MPa 时, r_c 为 0.9, r_e 为 0.006, 继续增大压力, r_c 、 r_e 变化不大。说明随着压力

的增加,RIP 成型件径向作用力逐渐增大,成型件的轴向和径向收缩率逐渐趋于平衡,“象足”因子 r_e 对产品外形尺寸的影响越来越不明显,RIP 成型过程越来越接近等静压成型。所以,工艺条件控制合适,可以避免“象足”对产品外形尺寸的影响,当压力为 160 MPa 时,RIP 成型为等静压成型,可以实现复杂形状的近净成型。

3.1.3 成型压力对成型件密度的影响

成型压力对成型件密度的影响见图 4 所示,其中图 4a 为成型压力与成型件整体密度的关系,图 4b 为成型压力与成型件轴向密度分布的关系。由图 4a 可以看出,RIP 成型件的整体密度随成型压力的增加而增加,当压力达到 160 MPa 左右时,随着压力的继续增大,密度增量很小,从 160 MPa 增加到 200 MPa,密度只增加了 0.1% 左右。所以,当压力到达 160 MPa 后,依靠提高压力的方法增加高聚物黏结粉末 RIP 成型件的密度已非常困难。由图 4b 可以看出,当压力为 160 MPa 时,成型件的轴向密度差为 0.4% 左右,可以实现等静压成型,确保复杂形状成型件的密度均匀性较好,实现 RIP 近净成型。

3.2 初始相对装药密度对压缩过程的影响

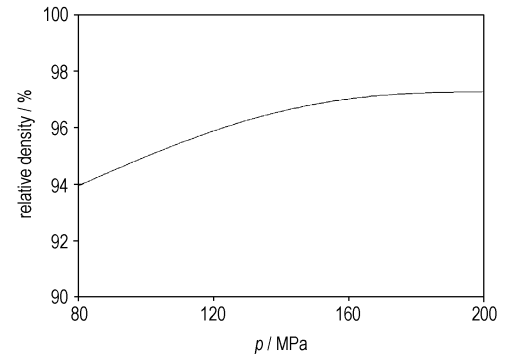
3.2.1 初始相对装药密度对成型件形状的影响

图 5 为在压力为 160 MPa,不同初始相对装药密度条件下成型件的外形尺寸,可以看出,当初始相对装药密度为 0.5115 时,成型件的“象足”非常明显,在同一条件下,随着初始相对装药密度的增大,“象足”的影响逐渐减弱,RIP 成型越接近等静压。这主要是因为,初始装药的初始相对装药密度越小,造型粉的间隙就越大,开始加压的瞬间,造型粉随橡胶软模的变形就越大,“象足”现象就越明显。说明适当提高初始相对装药密度,可以减弱或避免“象足”对成型件外形尺寸

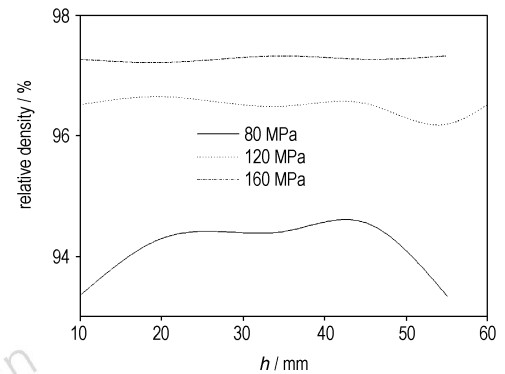
的影响,实现 RIP 近净成型。

3.2.2 初始相对装药密度对成型过程的影响

图 6 为初始相对装药密度与成型过程中 r_a 、 r_c 、 r_e 的变化关系,可以看出,随着初始相对装药密度的增大, r_a 、 r_c 逐渐增大, r_e 逐渐减小。说明初始相对装药密度越大,RIP 成型件的径向作用力越大,轴向和径向收缩比越接近 1,RIP 成型越接近于等静压,越容易实现净成型,这一结论与文献[12-13]的实验结果一致。



a. change of compact densities with pressure



b. axial densities distributions of compacts

图 4 成型压力对成型件密度的影响

Fig. 4 Effects of pressure on compact densities

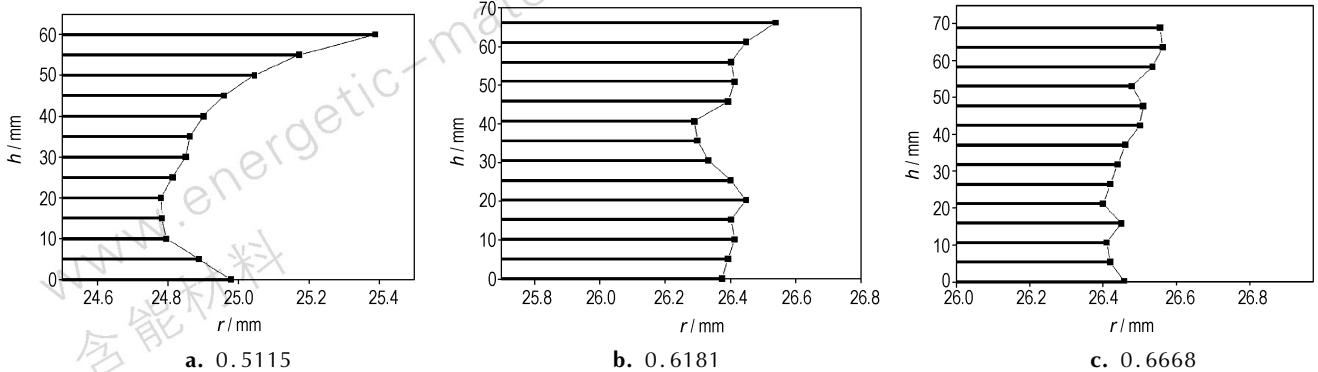


图 5 不同初始相对装药密度条件下高聚物黏结粉末成型件外形尺寸

Fig. 5 Shapes and dimensions of compacts with RIP under different initial charge densities

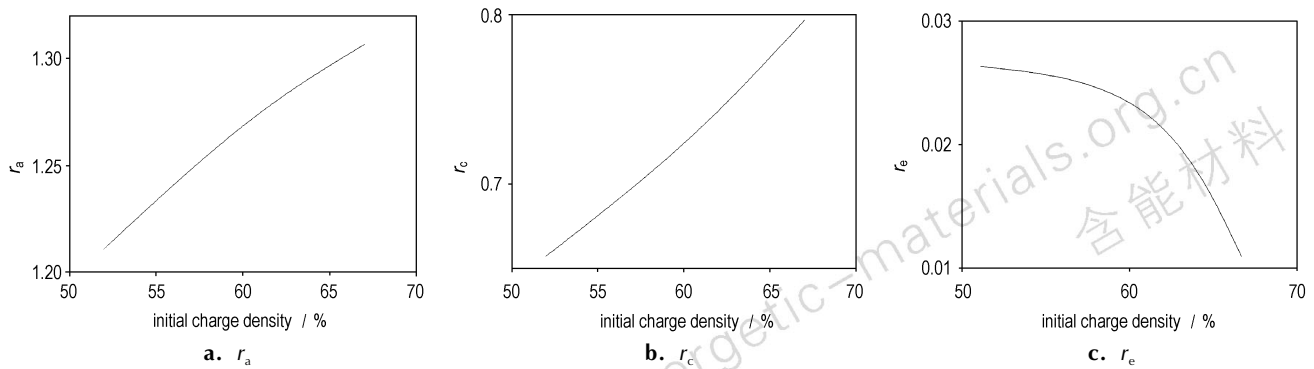


图6 初始相对装药密度对成型过程 r_a 、 r_c 、 r_e 的影响

Fig. 6 Effects of initial charge densities on r_a , r_c , and r_e during compact process

3.2.3 初始相对装药密度对 RIP 成型件密度的影响

表1为160 MPa压力下初始相对装药密度与RIP成型件成型密度的关系。由表1可以看出,初始相对装药密度对成型件的整体成型密度影响不大,当压力为160 MPa时,不同初始相对装药密度下成型件的整体成型密度基本一致,密度差为0.1%左右,说明当压力为160 MPa时,可以使RIP橡胶软模流动起来,轴向和径向均匀传递压力,达到等静压成型。

图7为初始相对装药密度对成型件轴向密度分布的影响,可以看出,初始相对装药密度为62%和67%时,轴向密度差均在0.4%左右,可以实现等静压成型。在实际操作过程中,初始相对装药密度越大,装配时间越长,且继续增大高聚物黏结粉末的初始相对装药密度难度很大,故确定高聚物黏结粉末RIP成型的初始相对装药密度为62%左右。

4 结论

高聚物黏结粉末RIP净成型实验研究发现,工艺条件对橡胶等静压成型件性能的影响非常明显,成型压力越大,初始相对装药密度越高,橡胶等静压成型越接近等静压成型。成型压力160 MPa、初始相对装药密度62%时,在此工艺条件下,橡胶软模具有了充分的流动性,具备类似液体的性质,RIP成型件外形尺寸规整,“象足”影响不明显,产品轴向密度差可以控制在0.4%以内,达到等静压成型技术水平,可实现复杂形状炸药件的近净成型,避免“象足”、密度波动对产品质量及外形尺寸的影响,使炸药件通过RIP压制成型后免加工或近免加工,减少原材料损耗。

表1 成型密度与初始相对装药密度的关系

Table 1 Relationship between compact density and initial charge density

initial charge density / %	52	62	67
compact density / %	97.16	97.21	97.21

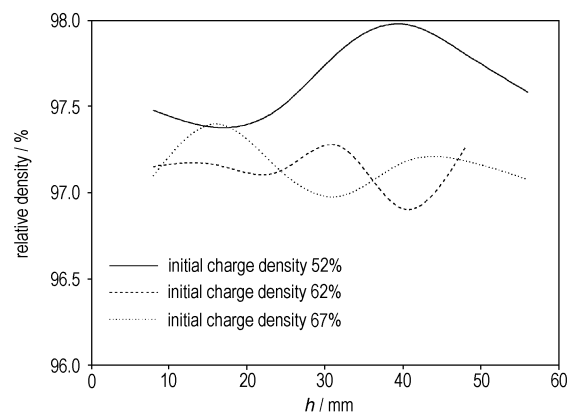


图7 初始相对装药密度对成型件轴向密度分布的影响

Fig. 7 Effects of initial charge densities on axial density distribution of compact

参考文献:

- [1] Okimoto K, Yamakawa T, Sato T. Experimental investigation on the simple rubber-press method[C]// Reports of the Government Industrial Research Institute. Kyushu: GIRIK, 1973: 506-518.
- [2] Yamaguchi K, Noso K, Fukuda M, et al. Production of thin and deep cylindrical cups by ironing of cups of sintered metal powder performs[J]. *Journal of Japan Society of Technology and Plasticity*, 1984, 25: 38-44.
- [3] Sagawa M, Nagata H, Watanabe T, et al. Development of RIP (rubber isostatic pressing) technology for powder compaction [C]// Proceedings of the 1998 Powder Metallurgy World Congress & Exhibition. Spain: Granada university, 1998: 103-108.
- [4] Sagawa M, Nagata H, Watanabe T, et al. Rubber isostatic pressing (RIP) of powders for magnets and other materials[J]. *Materials and Design*, 2000, 21: 243-249.

- [5] 李蔚,高濂,久米秀树. 橡胶等静压成型纳米 ZrO_2 (3Y) 粉末坯 [J]. 无机材料学报,2002,17(6): 1297-1300.
LI Wei,GAO Lian,Mayo M J. Preparation of nano ZrO_2 (3Y) green compact by RIP[J]. *Journal of Inorganic Materials*,2002, 17(6): 1297-1300.
- [6] 吴安国. 高性能 Nd-Fe-B 烧结磁体制作工艺近况[J]. 磁性材料及器件,1999,30(5): 32-36.
WU An-guo. Reviews of preparation of sintered Nd-Fe-B magnet [J]. *Journal of Magnetic Materials and Devices*,1999,30(5): 32-36.
- [7] 刘得利. 陶瓷制品的准等静压法[J]. 山东陶瓷,2003,30(5): 31-35.
LIU De-li. Quasistatic pressing of ceramic articles[J]. *Shandong Ceramics*,2003,30(5): 31-35.
- [8] 贺俊,邹彦文,邱学良. 10 MW 高温气冷堆球形燃料元件制造 [J]. 原子能科学技术,2003,37(增刊): 40-44.
HUO Jun,ZOU Yan-wen,QIU Xue-liang. Fabrication of spherical fuel element for 10 MW high temperature gas-cooled reactor [J]. *Atomic Energy Science and Technology*,2003,37(Supplement): 40-44.
- [9] 贺俊,邹彦文,梁彤翔. HTR-10 球形燃料元件制造工艺[J]. 核动力工程,2002,23(2): 60-62.
HUO Jun,ZOU Yan-wen,LIANG Tong-xiang. Fabrication technology of spherical fuel element for HTR-10[J]. *Nuclear Power Engineering*,2002,23(2): 60-62.
- [10] Shima S. Simulation of rubber isostatic pressing and shape optimization of rubber mold[J]. *International Journal of Mechanical Sciences*,2002(44): 1603-1623.

Net Shaping Technology of Polymer-bonded Powder by Rubber Isostatic Pressing

LIANG Hua-qiong, HAN Chao, YONG Lian, CHEN Xue-ping, YANG Yong-lin

(Institute of Chemical Materials, CAEP, Mianyang 621900, China)

Abstract: The polymer-bonded powder was shaped by rubber isostatic pressing (RIP). The effects of process parameters of RIP on the properties of compact were studied. Results show that the process parameters of RIP have a great effect on the shape of compact and density distribution. The higher the pressure and initial relative density, the better are the properties of compact. At the pressure of 160 MPa and initial relative density of 62%, the axial density difference of compact is less than 0.4%, and the RIP tends to isostatic pressing and becomes a net shaping process.

Key words: materials science; rubber isostatic pressing (RIP); polymer-bonded powder; compact property; net shaping

CLC number: TJ55; TB33

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.03.018



新书介绍——《炸药的绿色制造技术》

南京理工大学化工学院吕春绪教授的著作《炸药的绿色制造技术》2010年6月1日由国防工业出版社出版(16开、419页、精装)。本书是炸药领域的一部科技专著。与以往的炸药化学与工艺学相比,它更注重绿色环保、节能减排、原子经济性及资源再利用等方面的撰写与论述,特别体现环境友好与绿色化的炸药化学与工艺学,是目前从事炸药科研、生产及应用工作者之急需。

本书重点介绍两部分内容,一部分是与炸药合成相关的单元反应(尤其是硝化反应)的研究;另一部分为典型炸药的合成。主要内容为:第1章 绪论;第2章 绿色硝化反应与技术;第3章 全氟溶剂在硝化反应中的应用;第4章 分子印迹聚合物在芳烃硝化反应中的应用;第5章 离子液体在硝化反应中的应用;第6章 原子经济性在硝化反应中的应用;第7章 绿色环化反应与技术;第8章 绿色氧化反应与技术;第9章 绿色还原反应与技术;第10章 绿色氟化反应与技术;第11章 常见炸药的绿色制造技术。

信息来源: <http://www.xinhua bookstore.com/product/1604723/>