

# PAAM 高吸水树脂的土壤保水性能

## Water Retention Capacity of Soil for High Absorbing Water Resin of PAAM

谢建军<sup>1,2</sup>, 韩心强<sup>1</sup>, 何新建<sup>2</sup>

(1 中南林业科技大学 林学院, 长沙 410004;

2 中南林业科技大学 材料科学与工程学院, 长沙 410004)

XIE Jian-jun<sup>1,2</sup>, HAN Xin-qiang<sup>1</sup>, HE Xin-jian<sup>2</sup>

(1 College of Forestry, Central South University of Forestry & Technology,

Changsha 410004, China; 2 College of Materials Science and Engineering,

Central South University of Forestry & Technology, Changsha 410004, China)

**摘要:** 以不同河砂/泥土比例混配不同质地土壤, 研究了聚(丙烯酸-丙烯酰胺)高吸水树脂(PAAM)用量在自来水和 0.9% NaCl 溶液中对土壤保水能力的影响。发现自然蒸发条件下, PAAM 树脂施用量为 5g/kg 时, 使河砂/泥土=10:0, 5:5, 3:7, 0:10 四种质地土壤在自来水中保水率降至 30% 的时间与对照组相(无 PAAM)比分别延长了 560, 445, 360, 350h; 使河砂/泥土=10:0, 7:3, 5:5, 3:7, 0:10 五种质地土壤在自来水中饱和含水率分别提高 4.5, 2.6, 2.2, 1.6, 1.2 倍。该树脂临界用量为 5g/kg 能显著改善土壤团粒结构, 满足实际使用要求; 在 0.9% NaCl 溶液中吸液倍率明显降低, 在盐碱地区施用后对土壤保水和蓄水能力提高不大, 更适合施用于砂质土壤中而不适用于在高盐碱地区使用。

**关键词:** PAAM; 保水能力; 吸水倍率; 土壤; 高吸水树脂

中图分类号: TB332 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381(2010)03-0084-05

**Abstract:** The effect of different mass of poly (acrylic acid-acrylamide) superabsorbent (PAAM) on water retention capacity of soil in tap water and 0.9% NaCl aqueous solution was investigated at different ratios of river sand/soil. The results have shown that the times of decreasing the water retention ratios by 30% relative to the comparative experiments (no PAAM) in tap water have prolonged for another 560 h, 445h, 360h and 350h for four different ratios of the river sand and soil: 10:0, 5:5, 3:7 and 0:10, when the using mass of PAAM is 5g per kg soil under the natural evaporation conditions. The equilibrium absorbencies of soil in tap water are increased by 4.5, 2.6, 2.2, 1.6 and 1.2 multiple for five different ratios of the river sand and soil: 10:0, 7:3, 5:5, 3:7 and 0:10. When the critical using mass of the PAAM is 5g per kg soil, the granular structure of the soil can be improved obviously and the applying require can be satisfied. However, the absorbency of PAAM in 0.9% NaCl solution is greatly reduced and the increasing water retention capacities are small when PAAM is used in the areas of saline-alkali soil. And the PAAM is suit for use in the areas of the sandy soil while it is not suit for use in the areas of high saline-alkali soil.

**Key words:** poly(acrylic acid-acrylamaide); water holding capability; absorbency; soil; superabsorbent

我国是世界上水资源缺乏的国家之一, 干旱半干旱地区面积占国土总面积的 47%, 即使在南方降水较多的地区, 也存在着季节性和区域性缺水; 我国又是一个农业大国, 农业用水量约 4000 亿立方米, 约占总用水量的 70%, 其中农田灌溉用水量约为 3600~3800 亿立方米, 约占农业用水总量的 90%~95%, 但是, 目前我国灌溉用水平均利用率约为 45%, 远低于发达国家 70% 的水平<sup>[1]</sup>。因此, 提高灌溉用水利用率, 不仅

可以提高农业生产效益, 而且也缓和了水资源供需紧张的局面。此外, 随着全球水资源供需矛盾的日益加剧, 世界各国尤其是发达国家都把发展节水高效农业作为农业可持续发展的重要措施, 尤其注重新型节水技术的推广应用。

化学节水技术是利用化学材料或制剂通过直接作用于植物或间接作用于土壤来改善植物的水分消耗特性, 进而提高水分利用率<sup>[1]</sup>。目前, 保水剂、土壤固化

剂等一批新型、多功能节水材料已在农业中得到应用并取得良好效果。PAAM 树脂是一种新型保水剂,分子链上的 $-COO^-$ 使其具有强阴离子性、水溶性和好的吸附性能;酰胺基使其具有耐盐性、抗酸碱性和好的水解稳定性,两者共存产生协同效应赋予树脂许多新性能<sup>[2]</sup>。因此,施用 PAAM 树脂后,土壤的吸水、保水和吸肥、保肥性能提高,同时土壤内部结构得到改善,团粒数目增多,尺寸增大,透气性能提高<sup>[3]</sup>。而且,PAAM 树脂对光热稳定,吸水后凝胶强度大,反复使用性好<sup>[2,3]</sup>,这些优点有利于它在农业上的推广应用。但是目前对土壤进行改良研究中,较多学者把目光集中在聚丙烯酰胺树脂(PAM)上,而关于 PAAM 树脂应用的文献则很少。笔者以不同质地的土壤为载体,研究 PAAM 树脂对其保水性能的影响,为该树脂在农业上的应用提供一些理论依据。

## 1 实验

### 1.1 实验原料

PAAM 树脂,溶液聚合自制,粒度 60~100 目,在蒸馏水、0.9% (质量分数,下同) NaCl 溶液中吸水倍率分别为 1300, 107 g·g<sup>-1</sup>;氯化钠,分析纯,上海化学试剂厂;河砂,采自湘江长沙段,用 3mm 网筛除去过大颗粒;泥土,采自本校长沙校区实验楼旁泥土,采样深度 2~5 cm,在 105℃ 恒温烘箱干燥 24h,稍粉碎,过筛,粒径控制在 5mm 内。

### 1.2 保水率和含水率测定

称取已处理河砂、泥土,按河砂/泥土=10:0,7:3,5:5,3:7,0:10 混配五种质地的土壤,称取定量混配土壤分装于 500mL 塑料杯中,分别加入 PAAM 树脂 0.00, 0.20, 0.60, 1.00g 并混匀;向塑料杯中,加入适量自来水或 0.9% NaCl 溶液,使吸水饱和(以土壤表层没有积水,倾斜塑料杯杯壁与土壤间隙有少许液体渗出为准);置于室外通风环境自然干燥;在连续 30d 内,以适当时间间隔称量上述塑料杯总重量,记录数据并计算土壤保水率  $R_i$ <sup>[4]</sup> 和含水率  $\theta$ <sup>[5]</sup>:

$$R_i = \frac{m_i}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

$$\theta_i = \frac{(m_i - m'_0)}{m'_0} \times 100\% \quad (2)$$

式(1),(2)中: $m_0$ 为吸水饱和时土壤和 PAAM 树脂总质量(g); $m'_0$ 为干土壤和 PAAM 干树脂总质量(g); $m_i$ 为第  $i$  次称重时土壤和吸水 PAAM 树脂总质量(g); $R_i$ 为第  $i$  次称重时的保水率(%); $\theta$ 为第  $i$  次称重时的含水率(%)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 PAAM 树脂用量对土壤保水能力的影响

图 1~4 给出不同质地土壤施用不同质量 PAAM 树脂后保水率随时间的变化。由图可知,在河砂/泥土=10:0,5:5,3:7,0:10 四种质地土壤中 PAAM 树脂用量为 1, 3, 5g/kg 时,保水率降至 30% 时的时间分别由对照组(PAAM 树脂用量为 0g/kg,下同)的 120h 延长到 280, 500, 680h(图 1,河砂:泥土=10:0,即纯河砂),由 185h 延长到 410, 500, 630h(图 2,河砂:泥土=5:5),由 210h 延长到 280, 490, 570h(图 3,河砂:泥土=3:7);由 280h 延长到 360, 540, 630h(图 4,河砂:泥土=0:10);显然对同一土壤,树脂用量越多,曲线偏离对照组曲线越远,土壤保水率下降越慢。这是因为 PAAM 树脂吸水倍率高,吸水后体积膨胀,树脂与土壤之间产生胶结作用,促进土壤团粒结构特别是 1mm 以上大团粒的迅速形成,团粒内部具有相当数量的毛细孔隙,孔隙内吸持水分并依赖毛细作用保持于其中<sup>[5]</sup>。正常情况下,这部分水分可以借助毛细力产生运动,但是团粒内非毛细孔隙也大量增加,切断了毛细管与表层毛细管的联系,从而降低了水分蒸发强度,且随树脂用量增加,土壤团粒含量明显提高,团粒间可能产生交叠,降低了土壤总表面积,蒸发强度进一步下降,保水能力提高。

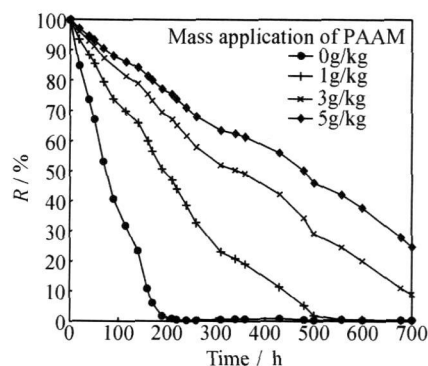


图 1 PAAM 用量对河砂/泥土=10:0 的土壤在自来水中保水率与时间关系的影响

Fig. 1 Effect of PAAM mass in soil/sand=10:0 on the relation of water retention ratios to time

但是,四幅图中树脂用量 5g/kg 与 3g/kg 的两条曲线所围面积均小于 3g/kg 与 1g/kg 两条曲线所围的面积,说明随树脂用量增加,土壤团粒的数目增加速度趋于缓慢,原因可能是施用 PAAM 树脂的主要作用是增大了土壤中团粒结构的含量,这种作用的发挥自然与土壤中原有团聚体的数量有关,先加入的

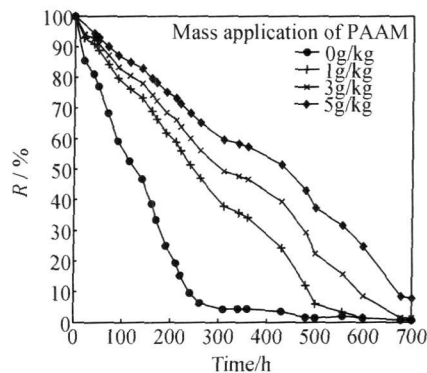


图 2 PAAM 用量对河砂/泥土=5:5 的土壤在自来水中保水率与时间关系的影响

Fig. 2 Effect of PAAM mass in soil/sand=5:5 on the relation of water retention ratios to time

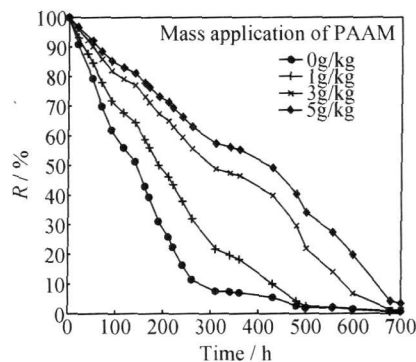


图 3 PAAM 用量对河砂/泥土=3:7 的土壤在自来水中保水率与时间关系的影响

Fig. 3 Effect of PAAM mass in soil/sand=3:7 on the relation of water retention ratios to time

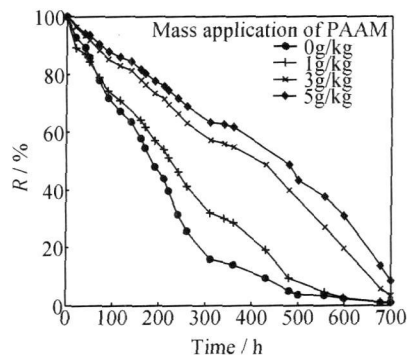


图 4 PAAM 用量对河砂/泥土=0:10 的土壤在自来水中保水率与时间关系的影响

Fig. 4 Effect of PAAM mass in sand/soil=0:10 on the relation of water retention ratios to time

PAAM 树脂已明显增加了土壤中团聚体的数量,后加入的这种作用不能充分发挥,所以 PAAM 树脂的施用量应有一个临界值<sup>[6]</sup>。

## 2.2 河砂含量对施用 PAAM 的土壤含水率变化的影响

如图 5 所示,在河砂/泥土=10:0,7:3,5:5,3:

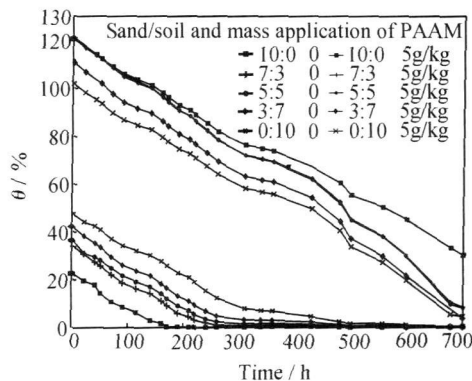


图 5 PAAM 树脂用量为 0 和 5g/kg 时对土壤含水率与时间关系的影响

Fig. 5 Effect of PAAM mass in soil on the relation of water holding ratios to time under the application amount of 0 and 5g/kg

7,0:10 五种质地土壤中施用 PAAM 树脂 5g/kg 后,饱和含水率( $t=0$  时对应的  $\theta$  值,下同)由对照组的 22%,34%,37%,42%,46% 提高到 122%,121%,120%,110%,103%,提高倍数分别为 4.5,2.6,2.2,1.6,1.2。仔细观察还发现 PAAM 树脂用量 5g/kg 的土壤含水率时间曲线的相对位置发生翻转,使河砂/泥土=10:0 的土壤两条曲线分别位于最上端和最下端,距离最远;河砂/泥土=0:10 土壤的两条曲线位于中间,距离最近。原因是河砂中主要矿物石英( $\text{SiO}_2$ )的吸水保水能力差,泥土中主要矿物高岭石和三水铝石,携带有可变电荷使吸水保水能力好<sup>[5]</sup>,故河砂含量高的土壤自身保水能力差,但是砂粒尺寸大、无黏结性,砂质土壤疏松多孔,粒间孔隙总体积大,为 PAAM 树脂提供了充足的膨胀空间,吸水后凝胶网络可以充分舒展,束缚更多水分。同时,土壤体积也发生膨胀,土壤中国、液、气三相分布得到改善,液相、气相占的比例提高,蓄水量增加;且石英表面的 Si 原子与水结合成极性的硅烷醇<sup>[5,7]</sup>( $\text{Si-OH}$ )与 PAAM 凝胶颗粒表面的  $-\text{COO}^-$ ,  $-\text{NH}_2$  亲和性好,易于形成稳定的土壤团聚体。相反,泥土中的黏土矿物湿胀性、黏结性较好,故泥土含量越高的土壤质地越黏越重;矿物水化后,颗粒尺寸进一步减小,使土壤紧密堆积,孔隙度下降;不利于 PAAM 树脂发挥作用,且矿物质含硅氧烷( $\text{Si-O-Si}$ )的非极性表面成分<sup>[5,7]</sup>,与 PAAM 树脂亲和性差。故土壤中河砂含量越高施用 PAAM 树脂后保水能力提高越显著。

## 2.3 土壤中 PAAM 树脂的用量对 0.9% NaCl 溶液的保水能力的影响

如图 6,在河砂/泥土=10:0 的土壤(纯河砂)中树脂用量 5g/kg 时保水率时间曲线与对照曲线的距离较远,保水率下降到 30% 的时间由未加 PAAM 树

脂时的 150h 延长到 370h, 延长 220h, 但仍然没有图 1 显著。由图 7, 8 可知, 在 PAAM 树脂用量为 5g/kg 时, 河砂/泥土= 5: 5(图 7) 和 0: 10(图 8) 的土壤在 0.9% NaCl 溶液的保水率时间曲线与对照曲线的距离仍然很近, 保水能力提高也不如图 2, 4 显著。这是因为 PAAM 树脂是一种离子型保水剂, 渗透吸水为其主要吸水机理<sup>[8, 9]</sup>, 盐水中 NaCl 的解离使树脂凝胶网络内外渗透压差减小, 吸水倍率下降, 吸水饱和时树脂体积也只发生有限膨胀, 在土壤中所占比重不大时, 对土壤团粒结构改善不明显; 加之盐水离解出的  $\text{Na}^+$  是土壤溶液中的主要弥散离子, 使土壤溶液的临界絮凝浓度提高<sup>[7, 9, 10]</sup>, 土壤粘粒易于发生弥散, 破坏了土壤中原有的团粒结构, 且这种弥散不可恢复, 基本抵消 PAAM 树脂加入对土壤保水能力的提高。所以 PAAM 树脂对这五种质地土壤的保水能力提高不显著。对蓄水能力, 由于 PAAM 树脂在 0.9% NaCl 溶液中吸水倍率为  $107 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ , 吸水饱和时体积增大较小, 对土壤固、液、气三相分布影响不大; 加上土壤中黏粒的弥散和矿物水化使土壤黏粒尺寸进一步减小、表面活性提高, 黏粒间相互作用增强而紧密堆积<sup>[5, 11]</sup>。所以施用 PAAM 树脂后土壤中固、液、气三相含率变化不大, 液相、气相所占的比例并未明显提高。因此, 图 9 中树脂用量为 5g/kg 的五条含水率时间曲线与对照曲线相比, 跳动幅度都不大(另外, 五条曲线间相互交叉增多, 规律性不如图 5 明显, 可能是因为含水率变化太小, 数据受仪器误差、天气变化和树脂在土壤中分布影响较大引起的), 而且与图 5 相比饱和含水率增大幅度较小, 这说明 PAAM 树脂的加入对实验中五种质地土壤的蓄水能力提高也不显著。因此, 施用 PAAM 树脂对实验用的五种质地土壤在 0.9% NaCl 溶液保水能力提高不大, 故 PAAM 树脂不太适合在高盐碱地区使用。

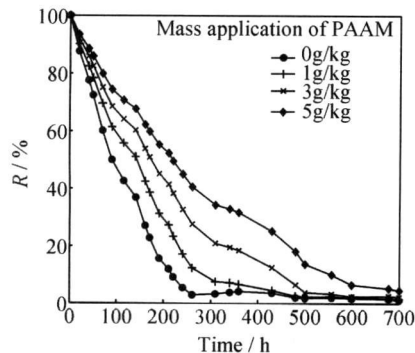


图 6 PAAM 树脂用量对河砂/泥土= 10: 0 的土壤在 0.9% NaCl 溶液中保水率与时间关系的影响

Fig. 6 Effect of PAAM mass in soil/sand= 10: 0 on the relation of water retention ratios to time in 0.9% NaCl aqueous solution

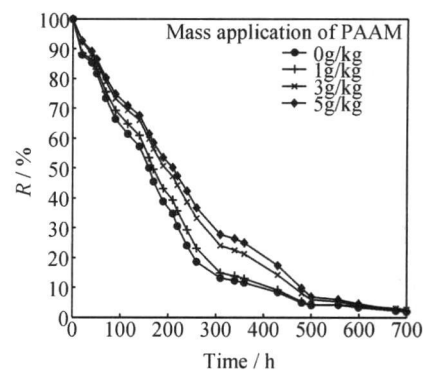


图 7 PAAM 树脂用量对河砂/泥土= 5: 5 的土壤在 0.9% NaCl 溶液中保水率与时间关系的影响

Fig. 7 Effect of PAAM mass in soil/sand= 5: 5 on the relation of water retention ratios to time in 0.9% NaCl aqueous solution

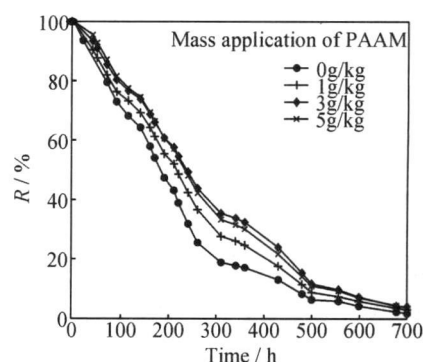


图 8 PAAM 树脂用量对河砂/泥土= 0: 10 的土壤在 0.9% NaCl 溶液中保水率与时间关系的影响

Fig. 8 Effect of PAAM mass in soil/sand= 0: 10 on the relation of water retention ratios to time in 0.9% NaCl aqueous solution

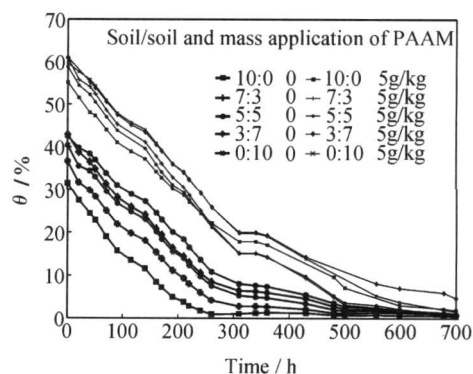


图 9 PAAM 树脂用量为 0 和 5g/kg 时土壤对 0.9% NaCl 溶液含水率与时间关系的影响

Fig. 9 Effect of PAAM mass in soil on the relation of holding ratios to time in 0.9% NaCl aqueous solution under the application amount of 0 and 5g/kg

### 3 结论

(1) 自然蒸发条件下, 考虑到农业生产的灌溉周期

和降水周期,认为用量 5g/kg 可以满足实际使用要求。

(2) PAAM 树脂吸水保水性能好,用量为 1g/kg 与 3g/kg 已明显改善土壤蓄水保水能力,但还不能满足实际使用要求,超过 5g/kg 时对土壤改良效果明显下降,因此该树脂施用量的临界值应为 5g/kg。

(3) 砂质土壤自身保水能力差,但结构疏松,且表面硅烷醇极性基团与 PAAM 树脂亲和性好,两者产生协同作用,使土壤团粒结构得到显著改善,蓄水保水能力大大提高,故 PAAM 树脂更适合施用于砂质土壤中。

(4) PAAM 树脂属离子型保水剂,耐盐性差,对 0.9% NaCl 溶液的吸液倍率低,在盐碱地区施用后对土壤保水和蓄水能力提高不大,故不适用于在高盐碱地区使用。

#### 参考文献

- [1] 王爱勤. 有机-无机复合高吸水树脂[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [2] 谢建军, 刘新容, 梁吉福, 等. 丙烯酸/丙烯酰胺共聚吸水树脂吸水率及洗液性能[J]. 中南林业科技大学学报, 2007, 27(3): 54-59.
- [3] 邹新禧. 超强吸水剂[M]. 第 2 版. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [4] 吴季怀, 林建明, 魏月琳, 等. 高吸水保水材料[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.

- [5] 李法虎. 土壤物理化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [6] 庄文化, 冯浩, 吴普特. 高分子保水剂农业应用研究进展[J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 265-270.
- [7] 邵明安, 王全九, 黄明斌. 土壤物理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [8] JOHNSON M S, VELTKAMP C J. Structure and functioning of water-storing agricultural polyacrylamides[J]. J Sci Food Agri, 1985, 36: 789-793.
- [9] 郑易安, 杨遼, 王爱勤. PAA-AM/SH/MT 多功能保水剂的溶胀和保水性能研究[J]. 中国农业通报, 2007, 23(4): 435-439.
- [10] 彭冲, 李发虎, 潘兴瑶. 聚丙烯酰胺施用对碱土和非碱土水传导度的影响[J]. 土壤学报, 2006, 43(5): 835-842.
- [11] SEPASKHAH A R, BAZRAFSHAM-JAHROMI A R. Controlling run off and erosion in sloping land with polyacrylamide under a rainfall simulator[J]. Biosystems Engineering, 2006, 93(4): 469-474.

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(07JJ3109)

收稿日期: 2009-04-03; 修订日期: 2009-11-16

作者简介: 谢建军(1964—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事功能高分子材料和聚合反应工程研究, 联系地址: 中南林业科技大学林学院(410004), E-mail: xiejianjun12@sina.com

(上接第 24 页)

#### 参考文献

- [1] CLARKE D R, PHILLIPS S R. Thermal barrier coating materials[J]. Materialstoday, 2005: 22-29.
- [2] CAO X Q, VASSEN R, STOVER D. Ceramic materials for thermal barrier coatings[J]. Journal of the European Ceramic Society, 2004, 24: 1-10.
- [3] STOVER D, PRACHT G, LEHMANN H, et al. New material concepts for the next generation of plasma-sprayed thermal barrier coatings[J]. Journal of Thermal Spray Technology, 2004, 13(1): 76-83.
- [4] ZHOU H M, YI D Q, YU Z M, et al. Preparation and thermophysical properties of CeO<sub>2</sub> doped La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> ceramic for thermal barrier coatings[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2007, 438: 217-221.
- [5] LI J Y, DAI H, LI Q, et al. Lanthanum zirconate nanofibers with high sintering-resistance[J]. Materials Science and Engineering B, 2006, 133: 209-212.
- [6] LIAN J, WANG L M, HAIRE R G, et al. Ion beam irradiation in La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>-Ce<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> pyrochlore[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 2004, 218: 236-243.
- [7] 谢亚红, 刘瑞泉, 李志杰, 等. Ga, Ce 双掺杂烧绿石型复合氧化物的合成及离子导电性能研究[J]. 无机化学学报, 2004, 20(5): 551-554.
- [8] TONG Y P, WANG Y P, YU Z X. Preparation and characterization of pyrochlore La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> nanocrystals by stearic acid method[J]. Materials Letters, 2008, 62: 889-891.

- [9] KOMARNENI S. Hydrothermal preparation of low-expansion NZP family of materials[J]. International Journal of High Technology Ceramic, 1988, 4: 31-39.
- [10] NAIR J, NAIR P, DOESBURG E B M, et al. Preparation and characterization of lanthanum zirconate[J]. Journal of Materials Science, 1998, 33: 4517-4523.
- [11] LUTIQUE S, JAVORSK P, KOINGS R J M. Low temperature heat capacity of Nd<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> pyrochlore[J]. Journal of Chemistry Thermodynamics, 2003, 35: 955-965.
- [12] 赵青, 常爱民, 简家文, 等. 改性溶胶-凝胶法制备 ZrO<sub>2</sub> 纳米粉及其团聚控制[J]. 材料科学与工程学报, 2003, 21(5): 683-686.
- [13] 李敦钊, 黄新春, 冀晓鹏, 等. 碳酸盐热分解制备纳米 YSZ 粉末及其涂层研究[J]. 有色金属(冶炼部分), 2007, (S1): 34-37.
- [14] 杨有利, 伍光凤, 严磊, 等. 化学共沉淀法低温合成 La<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>CoO<sub>3</sub> 多晶[J]. 热加工工艺, 2007, 36(16): 16-18.
- [15] MATSUMURA Y, YOSHINAKA M, HIROTA K, et al. Formation and sintering of La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> by the hydrazine method[J]. Solid State Communications, 1997, 104(6): 341-345.
- [16] 刘红华, 王志义, 于爱华, 等. 共沉淀法制备纳米 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> 复合粉体[J]. 青岛科技大学学报, 2003, 24(5): 419-421.
- [17] 杨波, 王志兴, 郭华军, 等. 室温固相反应-煅烧分解法制备镍锰氧化物[J]. 中国有色金属学报, 2007, 17(10): 1705-1710.

收稿日期: 2008-08-25; 修订日期: 2009-09-10

作者简介: 王璟(1982—), 女, 在读博士, 从事高温热结构及热防护研究, 联系地址: 湖南长沙国防科技大学航天与材料工程学院 501 教研室(410073), E-mail: jingwang@nudt.edu.cn