

地聚物胶凝材料制备及应用研究现状

简家成¹,刘 峰¹,杨宏斌²,刘丽荣³,虞爱平³

(1. 桂林理工大学化学与生物工程学院,广西 桂林 541004;

2. 广西固体废物管理中心,广西 南宁 530022;

3. 桂林理工大学土木与建筑工程学院,广西 桂林 541004)

摘要:本文主要概述了地聚物胶凝材料的定义,结构及其性能优点,并总结了其制备方法及应用情况。地聚物是具一类新型建筑胶凝材料,在建筑行业得到了广泛关注,且在其它领域也得到了一定应用。地聚物可由含有硅铝酸盐的原料加入适量碱激发剂制备得到。它具有三维网状结构,能够固定工业废水废渣中的重金属离子,而且胶凝迅速,早期强度高。地聚物是一种具有良好应用前景的胶凝材料,不久的将来将会取代水泥,成为建筑行业主要原料。

关键词:地聚物;三维网状结构;地聚物制备;地聚物应用;碱激发剂

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2014.03.004

中图分类号:TD989;TU528 文献标志码:A 文章编号:1000-6532(2014)03-0018-05

地聚物主要是由含硅铝酸盐的天然矿物或工业废弃物制备得到的。自法国科学家 Joseph Davidovits 于 1985 年在其美国专利^[1]中提出地聚物的概念,地聚物的研究已得到广泛关注。地聚物是一种碱激活胶凝材料,其性能与水泥相似,但性能优于水泥。随着人们对地聚物的深入研究,地聚物在建筑行业得到广泛应用,如钢筋混凝土中用地聚物代替部分水泥,将地聚物与水泥混合起来制备新型地聚物基建筑材料等。不仅如此,人们还对地聚物进行了改性,在地聚物中参加碳纤维、玻璃纤维等,提高地聚物的韧性,使其抗折能力可与金属媲美,因而地聚物复合材料又可应用于航天航空等领域。

1 地聚物定义及结构

1.1 地聚物定义

从制备原料及过程等考虑,地聚物可定义为:是以烧粘土(偏高岭土)、碱激发剂为原料,经过适当工艺处理,通过化学反应得到的具有与陶瓷性能相似的一种新材料^[2]。

从空间结构和性能考虑,地聚物是一类新型的具有三维氧化物网络结构的高性能无机聚合材料^[3]。

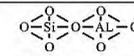
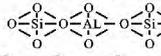
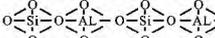
从内部化学键连接考虑,地聚物是由 Si, O, Al 等以共价键连接成骨架的无机聚合物^[4,5]。

1.2 地聚物结构

Joseph Davidovits 教授认为^[6],地聚物聚合分子式可写为: $M_x \{-(SiO_2)_z - AlO_2\}_n \cdot wH_2O$,其中 M 代表碱金属元素;x 为原子个数;z 表示 Si/Al 比值;- 为化学键;n 为聚合度,可取 1、2、3;w 为化学结合水数目。根据 n 值的不同,Joseph Davidovits 教授将地聚物分为三类^[2-3],见表 1。

表 1 地聚物结构分类

Table 1 Classification for geopolymers

n	名称	类型	聚合单元结构
1	Poly(sialate)	PS	
2	Poly(sialate-siloxo)	PSS	
3	Poly(sialate-disiloxo)	PSDS	

地聚物三维网状结构由硅氧四面体和铝氧四面体连接组成,其中任意两个铝氧四面体之间不能共用同一个桥氧,而是必须以单个形式与四个硅氧四面体通过桥氧结合(在内部)或与 1~3 个硅氧四面体结合(在表面)^[2,3,10,30]。地聚物结构单元通过侧链上的不饱和氧与其他硅、铝四面体结合,架构向三维方向伸展,具有一定的结晶形态。

地聚物的三维网状结构^[7-9]中,阳离子如 Na⁺、K⁺、Li⁺、Ca²⁺、Ba²⁺、NH₄⁺和 H₃O⁺等存在其网络结构

收稿日期:2013-09-29

基金项目:广西科学研究与技术开发计划项目(桂科攻 12118023-5);广西高等学校重点资助科研项目(201202ZD049)

作者简介:简家成(1989-),男,硕士研究生,研究方向为地聚物基保温材料的研究。

空隙中,以平衡四配位的 Al^{3+} 的负电荷^[2,6]。地聚物的这一结构使其能够固定一些重金属离子或放射性元素,对于环境保护大大有利。

2 地聚物胶凝材料的性能及优点

2.1 地聚物胶凝材料性能

2.1.1 地聚物胶凝材料物理性能

地聚物材料的部分物理性能参数见表2^[3,12]。

表2 地聚物部分物理性能参数

Table 2 Some physical performance parameters of geopolymers

物理性能	密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	熔点/ / $^{\circ}C$	膨胀 系数/ $\times 10^{-6} / ^{\circ}C^{-1}$	摩氏 硬度	抗压 强度 /MP	抗折 强度 /MP	抗拉 强度 /MP
范围	0.85 ~ 1.8	800 ~ 1400	4 ~ 25	4 ~ 7	≥ 15	≥ 5	30 ~ 190
备注	随 Si 含量上升而增大	随 Si 含量上升而增大	随 Si 含量上升而增大	与成型方法和填料性质有关	纯地聚物体系	地聚物复合体系	

地聚物物理性能有:

(1)地聚物的高温收缩率和低膨胀率均较低,且膨胀系数可调

地聚物的高温收缩率比与波特兰水泥要低得多。钾铝硅酸盐聚合物在 $400^{\circ}C$ 下的收缩率为 0.2% ~ 1.0%, $800^{\circ}C$ 下为 0.2% ~ 2.0%。其线膨胀系数在 $0 \sim 1000^{\circ}C$ 为 $2.1 \times 10^{-6} \sim 4.5 \times 10^{-6}$ ^[12]。由表2知,地聚物膨胀系数可以由 Si 的含量调节。当纯地聚合物的 Si/Al 在 2 ~ 20 时,其膨胀系数在 $4 \times 10^{-6} \sim 25 \times 10^{-6} / ^{\circ}C$ 内变化^[3]。因此地聚物在与陶瓷、钢、铜等复合制备复合材料时,可以调节地聚物的热膨胀系数使其与填充物的相同,这样可以降低因热膨胀系数不同而导致的内应力从而提高复合材料的使用寿命。

(2)地聚物具有耐高温性能

地聚物本身是个氧化物网络结构体系,在 $1000 \sim 1200^{\circ}C$ 之间不氧化、不分解;另一方面,密实的氧化物网络体系可以隔绝空气,保护内部物质不被氧化^[3]。经 $480^{\circ}C$ 、 $580^{\circ}C$ 和 $680^{\circ}C$ 烧制后,地聚物胶凝材料的强度不仅没有下降反而上升,可能是高温促进了新矿物晶体的形成,从而提高了材料的强度^[10]。因此,在高温下,地聚物与水泥相比具有更高的强度。

(3)地聚物具有高强度

地聚物与普通水泥等的强度对比见表3^[11]。

表3 地聚物与其他材料强度对比

Table 3 The strength comparison of Geopolymer and other materials

材料名称	密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	弹性 模量 /GPa	抗拉 强度 /MPa	抗弯 强度 /MPa	冲击 韧性 /($J \cdot cm^{-3}$)
地聚物	2.2 ~ 2.7	50	30 ~ 190	40 ~ 120	50 ~ 1500
普通水泥	2.3	20	1.6 ~ 3.3	5 ~ 10	20
玻璃	2.5	20	1.6 ~ 3.3	5 ~ 10	20
陶瓷	3.0	200	100	150 ~ 200	300
铝合金	2.7	70	30	150 ~ 400	10000

碳纤维增强地聚合物材料的抗弯强度可达 245MPa,拉伸强度可达 327MPa,抗剪强度可达 14MPa,在 $800^{\circ}C$ 下,可保持其 63% 的原始抗弯强度^[12]。由表3可知,地聚物的强度明显高于水泥。这是因为地聚物不存在硅酸钙的水化反应,其最终产物以离子键和共价键为主,范德瓦尔斯键为辅,其性能类似天然沸石矿物,而传统水泥则以范德瓦尔斯键以及氢键为主^[2],所以地聚物强度高于水泥。

(4)地聚物具有耐久性

地聚合物的优良性能一方面源于其稳定的网络结构,另一方面是因为可以完成避免普通水泥因金属离子迁移与骨料反应而引起的碱集料反应,不发生膨胀,因而经受自然破坏的能力很强^[3,8,12]。因为地聚物的三维网络结构可使其在高温或低温下都能保持完整的结构,从而使其抗冻性及抗氧化性良好,而且具有低渗透率。

2.1.2 地聚物胶凝材料化学性能

(1)固定金属离子性能强

地聚物的结构是由环状分子链构成的“类晶体”结构。环状分子之间结合形成密闭的空腔,可以把金属离子和其他毒性物质分割包围在空腔内^[31];同时骨架中的铝离子也能吸附金属离子^[3,8]。据有关文献报道^[13],地聚物基质对 Hg、As、Fe、Mn、Ar、Co、Pb 的固定率大于或等于 90%,而且被固定的金属离子还参与了地聚物结构的形成。地聚物的这一特性被广泛应用于处理废弃物中的重金属离子或放射性元素。

(2)胶凝和硬化速度快

地聚反应过程中,溶胶的形成和脱水反应速度比较快,网络骨架比较容易形成,因此可快速制得高强度制品^[3]。据文献,地聚物在室温下能迅速硬化,用水和标准砂调成砂浆,在 $20^{\circ}C$ 水化 4h 后,其强度可达最终强度的 70% 左右,约为 20MPa,28d 抗压强度达 70 ~ 100MPa^[11-12]。因此地聚物应用于机场、道路、桥梁和军事设施等的快速修建与修复。

(3) 耐酸性好

地聚物网络结构中 Si-O 和 Al-O 在室温下较难与酸(HF 酸除外)反应,可以用其制造耐酸材料^[3]。J. Davidovits 的试验结果表明:把波特兰水泥和地聚物材料浸渍于硫酸(pH=0)中,结果发现 60d 后,水泥重量损失 63%,而地聚物仅失重 3%。据文献报道^[10],在同样的酸性条件下,地聚物胶凝材料强度保有率比普通硅酸盐水泥高得多,酸性越强,优势越明显,同样地聚物胶凝材料具有更好的耐硫酸盐侵蚀的能力,其强度保有率比相同情况下的普通硅酸盐水泥高得多。另外地聚物胶凝材料在海水中浸泡 28d 后,强度仅下降 15%,而普通硅酸盐水泥下降了 44%,显示了地聚物胶凝材料具有更好的耐硫酸盐侵蚀能力。

(4) 聚合度高,抗氧化能力高

与水泥材料相比,地聚物材料的聚合程度较高,碱激活水泥体系中加入了大量的 CaO(约 40% ~ 50%),而大量的 Ca²⁺离子与溶胶结合生成低聚合度的铝硅酸盐水化产物,不利于缩聚大分子链的增长^[3]。所以地聚物比水泥聚合度高。地聚物是无机聚合物缩聚大分子,聚合度高。由硅氧四面体及铝氧四面体通过桥氧连接而成,连接键都是共价键, Si-O 键能为 535kJ/mol,并且 Si-O 键和 Al-O 键具有方向性,不易转动^[3]。所以地聚物抗氧化能力高。

2.2 地聚物胶凝材料优点

(1) 原料来源广,价格低廉

制备地聚物所用的主要原料为硅铝氧化物(如天然硅铝酸盐矿物、高岭土等),以及高炉矿渣、钢渣、粉煤灰、煤矸石、废玻璃、各种炉渣等工业矿渣等^[5,8],氧、硅和铝是地壳中含量最多的三种元素,远远多于金属材料在地壳中的含量^[11]。

(2) 生产节能,环保

制备地聚物材料所用的原料可直接使用或只需低温(350 ~ 750℃)处理,不用高温煅烧,且 Si-O、Al-O 共价键的断裂重组反应温度在 150℃ 以下就可进行^[3]。Davidovits 认为生产地聚物材料的能耗是生产水泥的 1/6 ~ 1/4^[14],吴中伟院士则认为其能耗只有陶瓷的 1/20、钢的 1/70、塑料的 1/150^[2]。

地聚物的制备过程没有 NO_x、SO_x 和 CO 的排放,CO₂ 的排放量也是非常低^[31],其排放量约为生产同重量的水泥的 1/10 ~ 1/5^[3]。故地聚物为节能环保的绿色材料。

(3) 地聚物使用后可回收再利用

由地聚物的反应机理可知,地聚物反应只是硅铝酸之间的脱水反应,在碱性条件下是可逆的,所以地聚物产物粉碎后又可以作为制备地聚物的原料,

而水泥使用后就不能再作为原料了^[3]。

(4) 地聚物制备工艺简单

地聚物的制备工艺也比较简单,其过程可以归纳为:原料预处理、加入碱激发剂和水、搅拌后装模成型和脱模养护,最后得到地聚物胶凝材料。

3 制备地聚物胶凝材料的原料及制备方法

3.1 制备地聚物胶凝材料的制备原料

制备地聚物材料的原料主要是含“铝硅酸盐”的天然矿物(如高岭土,偏高岭土,硅藻土等)或工业废渣(如粘土、火山灰、矿渣、粉煤灰、硅灰、尾矿、赤泥、钢渣等)^[30];其次是碱激发剂(如水玻璃,苛性钾,苛性钠,硅酸钾等)。

3.2 制备地聚物胶凝材料的方法

3.2.1 地聚物聚合机理

陶文宏等^[10]通过 X 射线衍射和扫描电镜对地聚物进行分析,得到了地聚物的聚合产物种类和形貌,由此得到地聚物的聚合机理。地聚物的聚合分三步:第一步是铝硅酸盐在 OH⁻ 离子作用下其结构中的共价键断裂,解离出 [SiO₄]⁴⁻ 和 [AlO₄]⁵⁻ 等离子团,进入溶液中的过程;第二步解离出的 [SiO₄]⁴⁻ 和 [AlO₄]⁵⁻ 水化离子与体系中的 Na⁺ 结合,Na⁺ 与 Si-O 键形成过渡性物质;第三步是水化 [SiO₄]⁴⁻ 和 [AlO₄]⁵⁻ 在一定的 pH 值条件下发生聚合形成新的物质并游离出自由水生成铝硅酸钠水化物。

文献^[11]指出,地聚物聚合可分为四步:(1)铝硅酸盐矿物粉体原料在碱性溶液(NaOH、KOH)中的溶解;(2)溶解的铝硅配合物由固体颗粒表面向颗粒间隙的扩散;(3)凝胶相 [M_x(AlO₂)_y(SO₂)_z · nMOH · mH₂O] 的形成,导致在碱硅酸盐溶液和铝硅配合物之间发生聚合作用;(4)凝胶相逐渐排除剩余的水分,固结硬化成地聚合物块体。

人们还根据碱激发反应过程不同,将地聚物的聚合分为含钙碱激发体系和无钙碱激发体系^[15]。在含钙体系中,NaOH 作为催化剂,使地聚物中的硅、铝化合物溶解而形成硅酸钠和偏铝酸钠,再进一步与 Ca(OH)₂ 反应形成硅酸钙和铝酸钙矿物,使地聚物硬化且重新生成 NaOH 再催化下一轮反应。在无钙体系中,地聚物聚合过程与上面两种看法大致相同。

以上的聚合机理结论大致相同,可以归纳为:地聚物的形成过程是在碱激发剂的作用下,使铝硅酸盐的 Si-O 键及 Al-O 键断裂,再重新结合形成三维网状结构的地聚物。

3.2.2 制备地聚物胶凝材料的方法

地聚物的制备方法步骤大致相同,下面通过粉煤灰基地聚物及高岭土基地聚物的制备来总结。

井巍等^[16]在制备粉煤灰地聚物时,以偏高岭土和粉煤灰为制备地聚物的基体原料,制备流程为:煅烧高岭土、配制碱激发剂、固液混合搅拌、加入砂、装模压制成型、对成型式样进行强度测试。其制备方法为压制成型法。

Xiaolu Guo, Huisheng Shi 等^[22]在水玻璃模数为1.5,掺入量为10%并且在75℃下养护8h后,再在23℃下养护23d情况下制备得到抗压强度为63.4MPa的C级粉煤灰基地聚物。其制备方法为常用的碱激发法,就是在粉煤灰中加入碱激发剂,搅拌装模振实成型后在脱模养护得到地聚物。

尚建丽等^[17]以矿渣、粉煤灰为原料,液体硅酸钠和氢氧化钠为碱激发剂,在标准养护条件下成功制备具有较高抗压强度的矿渣-粉煤灰地质聚合物。其制备方法同 Xiaolu Guo 和 Huisheng Shi 等的方法。

用高岭土制备地聚物时,第一步是高岭土的活化改性。高岭土的改性影响到地聚物的强度^[18-19],在850℃下,急剧升温、快速冷却是高岭土最佳改性方案^[19]。第二步是加入碱激发剂和水,碱激发剂一般用水玻璃,水玻璃的类型和模数、碱含量及养护条件等对地质聚物强度都有影响^[20]。在保湿条件下,随养护温度升高,偏高岭土基地聚物的凝结时间缩短,抗压强度发展速率减慢^[21]。第三步是搅拌装模,振实。第四步是脱模养护成型。

由以上例子可以归纳总结地聚物的制备方法为:①原料的预处理(如高岭土的煅烧改性,煤矸石的粉磨等);②碱激发剂的配制、用量及计算(如水玻璃模数的调试,种类选择等);③加入碱激发剂及水按国标中要求进行操作;④装模振实养护;⑤脱模养护,成型。

4 地聚物在各行业的应用情况

自地聚物被发现后,其研究得到了广泛关注,其应用更是遍及各行各业,主要包括建筑材料、高强复合材料、固核固废材料、密封材料和耐高温材料,保温材料等方面,在国外已经用于汽车及航空工业、有色金属铸造及冶金行业、土木工程、塑料工业等^[2-3]。

胡志华、林华强等^[23]用粉煤灰地聚物作胶凝材料制备了不同密度 EPS 轻质隔热板,而且具有较高的强度、较低导热系数和较好热工性能并具有对高频声波较好的吸收能力。莫羨忠、王荣华等^[24]将 PEO 高分子材料加入高岭土中制备地聚物复合材

料,增大了地聚物复合材料的抗弯性能。他们还由相同的材料制备了高导电率的地聚物基复合材^[25]。马帅、陈平等^[26]以矿渣和锰渣分别作为地聚物的主要原料制备地聚物,并对其进行海水侵蚀实验,实验表明地聚物不受海水侵蚀影响,力学性能突出,而且可以大量利用工业废渣,为沿海施工建筑材料开辟了一个新的研究方向。许泽胜、贾屹海等^[27]以粉煤灰地聚物为基体,加入发泡剂和稳泡剂,制备了轻质发泡材料,其抗压强度最高达2.57MPa(密度为0.76g/cm³),导热系数小于0.09 W/(m·K),使用温度高达800℃,是很好的耐高温、高强度多孔保温材料。安金鹏、卢忠远等^[28]总结了粉煤灰地聚物水泥在固定金属离子和放射性废弃物方面的现状及趋势,该文献表明,粉煤灰地聚物水泥形成致密的结构,强度高,抗渗性能优良,水硬化后形成网络状的硅铝酸盐结构,适合处理重金属离子及放射性元素。乔卫丽^[29]研究了煅烧高岭土及地聚物在水泥中的应用,以高岭土、工业水玻璃和水泥为原料,制备地聚物水泥。结果表明在普通硅酸盐水泥中掺入制备地聚物的原材料,改善了水泥的内部孔隙结构,提高复合胶凝性材料的强度。J. Davidovits 利用碳纤维改性地聚合物制得复合材料^[3],该材料在1000℃下不氧化,在815℃时抗弯强度仍有245MPa,而密度只有1.85g/cm³,比水泥(2.3g/cm³)、铝(2.7g/cm³)、钢(7.8g/cm³)小很多;(K, Ca)PSS 在900℃下,抗压强度仍达40MPa。

5 结 语

地聚物材料的三维网状结构决定了它的优良性能,从而决定了它的多用途。地聚物作为一种新型材料已在建筑胶凝材料、保温材料、复合材料、航天航空、工业废水废渣中的有毒重金属离子的固定等方面得到广泛应用。其制备过程中的节能环保特性使其相对于水泥生产具有更大的优势,而且耐久性比水泥好的多。相信在不久的将来,地聚物将会全面替代水泥,成为建筑胶凝材料的主流。根据地聚物的耐久性能以及耐高温性能等,以地聚物为基体,利用生活中的废弃聚苯乙烯泡沫,制备地聚物基保温砂浆,制得的保温砂浆会比用水泥制得的好。

参考文献:

- [1] J Davidovits. Geopolymers and Geopolymeric materials[J]. Therm. Anal., 1989(35):429-441.
- [2] 郑娟荣,覃维祖. 地聚物材料的研究进展[J]. 建筑石膏与胶凝材料, 2002(4):11-12.
- [3] 张书政,龚克成. 地聚合物. [J]. 材料科学与工程学报, 2003, 21(3):430-436.
- [4] 金漫彤,黄彩菊,邵江平,等. 地聚物固化体抗高温性能

- 及数学模型研究[J]. 浙江工业大学学报, 2011, 39(1): 1-6.
- [5] 赵素宁, 曲烈, 杨久俊, 等. 粉煤灰地聚物的力学性能及微观结构研究[J]. 粉煤灰, 2010, 3(5): 3-6.
- [6] Maria Izquierdo, Xavier Querol, Joseph Davidovits, Diano Antenucci. Coal fly ash-slag-based geopolymers: Microstructure and metal leaching[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, (166): 561-566.
- [7] Behzad Majidi. Geopolymer technology, from fundamentals to advanced applications: a review[J]. Materials Technology, 2009, 24(2): 79-87.
- [8] 陈晓堂. 地质聚合物的合成、结构及其性能评价的研究[D]. 郑州: 郑州大学出版社, 2008.
- [9] 吕江波. 粉煤灰地质聚合物制备与性能分析[D]. 西安: 西北大学出版社, 2009.
- [10] 陶文宏, 付兴华, 孙凤金. 地聚物胶凝材料性能与聚合机理的研究[J]. 硅酸盐通报, 2008, 27(4): 730-735.
- [11] 吴静. 新型地聚物基建筑材料的研究[D]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2007.
- [12] 张晓飞. 地质聚合物聚合机理的第一性原理研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2010.
- [13] Hanzlicek T, Steinerova M, Straka P. Radioactive metal isotopes stabilized in a geopolymer matrix: determination of a leaching extract by a radiotracer method[J]. Am. Ceram. Soc. 2006, (89): 3541-3543.
- [14] J Davidovits. Geopolymers: Inorganic polymeric new materials[J]. Therm. Anal. 1991, (37): 1633-1656.
- [15] 李海宏. 地质聚合物的制备及机理研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学出版社, 2007.
- [16] 井巍, 刘剑虹, 林枫. 粉煤灰地质聚合物的制备研究[J]. 高师理科学刊, 2006(4): 40-42.
- [17] 尚建丽, 刘琳. 矿渣-粉煤灰地质聚合物制备及力学性能研究[J]. 硅酸盐通报, 2011, 30(3): 741-744.
- [18] 陈宜俚, 郑娟荣, 陈晓堂, 等. 高岭土的活化及其地质聚合物的性能研究[J]. 化工矿物与加工, 2008(1): 11-14.
- [19] 杨晓昕, 王春梅, 杨克锐. 不同煅烧制度对煅烧高岭土活性的影响[J]. 山东建材, 2006, 41(4): 41-44.
- [20] 郑娟荣, 刘丽娜. 偏高岭土地质聚合物合成条件的试验研究[J]. 郑州大学学报, 2008, 29(2): 44-47.
- [21] 郑娟荣, 刘丽娜. 养护温度对偏高岭土地质聚合物凝结硬化性能的影响[J]. 郑州大学学报, 2007(4): 2-4.
- [22] Xiaolu Guo, Huisheng Shi, Warren A. Dick. Compressive strength and microstructural characteristics of class C fly ash geopolymer[J]. Cement & Concrete Composites, 2010(32): 142-147.
- [23] 胡志华, 林华强, 马菊英, 等. 地聚合物基 EPS 轻质隔热板的研究[J]. 新型建筑材料, 2010, 47(03): 47-49.
- [24] 莫羨忠, 王荣华, 庞锦英, 等. 地聚物基复合材料的制备及弯曲强度的研究[J]. 广西大学学报, 2009, 34(2): 183-186.
- [25] 王荣华, 莫羨忠, 苏锋, 等. 地聚物基复合材料制备及其电导率的研究[J]. 人工晶体学报, 2009, 38: 390-393.
- [26] 马帅, 陈平, 刘荣进. 地聚物胶凝材料的海水侵蚀研究[J]. 新型建筑材料, 2009, 58(04): 58-61.
- [27] 许泽胜, 贾屹海, 卡哈尔·艾买提, 等. 粉煤灰地质聚合物轻质发泡材料的制备与性能研究[J]. 新型建筑材料, 2009, 80(03): 80-82.
- [28] 安金鹏, 卢忠远, 严云. 粉煤灰基地聚物水泥固化重金属和放射性废物研究现状及发展趋势[J]. 原子能科学技术, 2008, 42(12): 1087-1091.
- [29] 乔卫丽. 煅烧高岭土及地质聚合物在水泥中的应用研究[D]. 太原: 太原理工大学出版社, 2010.
- [30] Maricela Lizcano, Andres Gonzalez, Sandip Basu, Karen Lozano and Miladin Radovic. Effects of Water Content and Chemical Composition on Structural Properties of Alkaline Activated Metakaolin-Based Geopolymers[J]. Journal of the American Ceramic Society, 2012, 95(7): 2169-2177.
- [31] Jae Eun Oh, Juhyuk Moon, Sang-Gyun Oh, Simon M. Clark. Microstructural and compositional change of NaOH-activated high calcium fly ash by incorporating Na-aluminate and co-existence of geopolymeric gel and C-S-H(I)[J]. Cement and Concrete Research, 2012(42): 673-685.

Research on Preparation and Application Status of Geopolymers

Jian Jiacheng¹, Liu Zheng¹, Yang Honbin², Liu Lirong³, Yu Aiping³

(1. College of Chemical and Biological Engineering Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi, China;

2. Guangxi Solid Waste Management Center, Nanning, Guangxi, China;

3. Guilin University of Technology Department of Civil and Architectural Engineering, Guilin, Guangxi, China)

Abstract: The definition, and performance advantages of geopolymer cement materials, geopolymer preparation method as well as its application were summarized. Geopolymer is a new kind of cementitious materials which drew people's attention in the construction industry as well in other fields. Geopolymer was prepared from the materials containing aluminosilicate by adding alkali activator. It has a 3D network structure, which can gelatinize heavy metal ions in waste water and residue rapidly with high early strength. Geopolymer is a good kind of cementitious material which has good prospects, and replaces the cement as the main material in building industry in the future.

Keywords: 地质聚合物; 3D network structure; Geopolymer preparation; Geopolymer application; Alkali activator