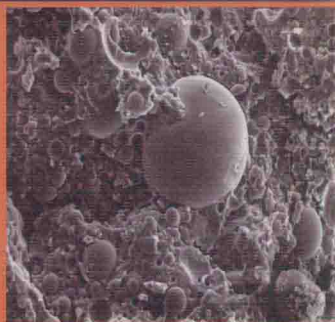
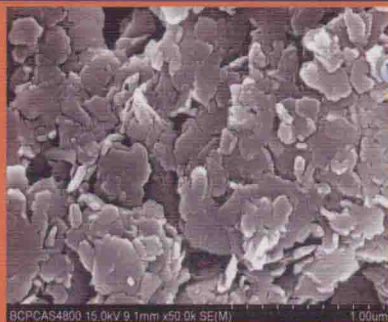
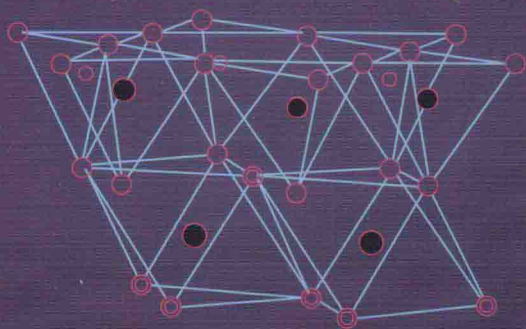
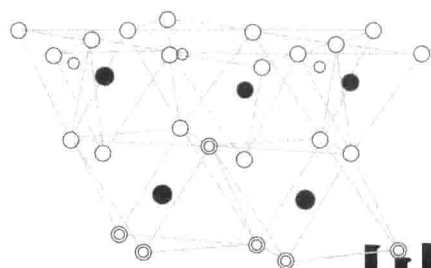


粉煤灰基 地质聚合物

◎ 侯云芬 著

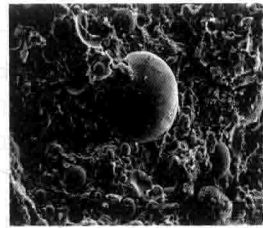
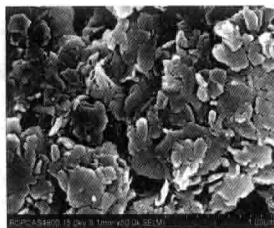


化学工业出版社



粉煤灰基 地质聚合物

◎ 侯云芬 著



化学工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

粉煤灰地质聚合物/侯云芬著. —北京: 化学工业出版社, 2014. 3

ISBN 978-7-122-19223-3

I. ①粉… II. ①侯… III. ①粉煤灰-胶凝材料
IV. ①TB321

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 293950 号

责任编辑: 常 青

文字编辑: 冯国庆

责任校对: 徐贞珍

装帧设计: 韩 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张 10 字数 161 千字 2014 年 5 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 68.00 元

版权所有 违者必究

前言

FOREWORD

Geopolymer 是 20 世纪 70 年代末由 Davidovits 最先研究得到的一种新型胶凝材料,此后世界各地的研究人员开展了大量的相关研究工作。在 20 世纪末,我国开始关注这种新型胶凝材料,并将 Geopolymer 译为土聚水泥、地聚水泥、地质聚合物等多种名称。

偏高岭土是最早用于制备 Geopolymer 的原材料,此后,人们选择了未经煅烧的高岭土以及类似的天然铝硅酸盐矿物作为原料制备 Geopolymer。研究发现,固体废弃物粉煤灰具有与高岭土类似的化学成分,为此,相关人员开始研究粉煤灰基 Geopolymer 的制备技术、反应机理和技术性能等。

经过多年系统的研究发现,Geopolymer 与传统的硅酸盐水泥在原料、水化硬化过程和水化机理以及性能上都存在较大的差异,因而这一新型胶凝材料除了可以用于土木工程之外,更可以用于固化有害、有毒重金属和生产高温防火材料、新型发泡轻质保温材料等。

本书在总结介绍 Geopolymer 的研究现状的基础上,重点介绍粉煤灰基 Geopolymer 的制备技术,分析激发剂组成、养护制度、养护方式、粉煤灰组成等对其性能的影响,提出制备 Geopolymer 的粉煤灰要求以及最佳的制备工艺,同时分析反应机理和影响机理、粉煤灰基 Geopolymer 的耐久性能(如耐酸性、耐热性、碱-骨料反应特性等)。

本书涉及有关 Geopolymer 研究的多方面内容,由于笔者知识有限,难免存在不足和疏漏之处,敬请读者指正。

侯云芬

2014 年 2 月

第1章 绪论

1

- 1.1 地质聚合物概述 1
- 1.2 地质聚合物的研究趋势 5
- 1.3 地质聚合物的性能及应用 6
 - 1.3.1 地质聚合物的性能 6
 - 1.3.2 地质聚合物的应用 9
- 1.4 地质聚合物与硅酸盐水泥和碱激发矿渣水泥的差异 15
 - 1.4.1 三类胶凝材料在组成上的差异 16
 - 1.4.2 三类胶凝材料在水化反应产物上的差异 16
 - 1.4.3 三类胶凝材料在微观结构上的差异 17

第2章 地质聚合物的原料

19

- 2.1 粉煤灰 19
 - 2.1.1 粉煤灰组成 20
 - 2.1.2 粉煤灰在水泥混凝土中的应用 22
 - 2.1.3 本研究中使用的粉煤灰 24
- 2.2 高岭土和偏高岭土 29
 - 2.2.1 高岭土 29
 - 2.2.2 偏高岭土 32

第3章 粉煤灰基地质聚合物试样的制备及其力学性能

35

3.1 激发剂的优化·····	35
3.1.1 以化学试剂为激发剂制备试样的抗压强度·····	35
3.1.2 以钠水玻璃为激发剂制备试样的抗压强度·····	39
3.1.3 以钠钾水玻璃为激发剂制备试样的抗压强度·····	42
3.1.4 两种水玻璃激发剂溶液的红外光谱分析·····	45
3.1.5 粉煤灰及常温养护条件下合成试样的红外光谱 分析·····	48
3.1.6 粉煤灰及常温养护条件下制备试样的核磁共振 分析·····	50
3.1.7 常温标准养护 28d 试样的扫描电镜分析 ·····	55
3.2 养护温度对试样抗压强度的影响·····	56
3.2.1 钠水玻璃激发剂制备试样在高温养护下的抗压 强度·····	57
3.2.2 钠钾水玻璃激发剂制备试样在高温养护下的抗压 强度·····	60
3.2.3 高温养护条件下试样的核磁共振分析·····	63
3.3 养护方式对试样抗压强度的影响·····	65
3.3.1 养护方式对钠水玻璃制备试样抗压强度的影响·····	66
3.3.2 养护方式对钠钾水玻璃制备试样抗压强度的影响·····	68
3.3.3 不同养护方式下制备试样的红外光谱分析·····	76
3.3.4 不同养护方式下制备试样的核磁共振分析·····	77
3.4 高温养护条件对试样抗压强度的影响·····	80
3.4.1 高温养护条件对钠水玻璃制备试样抗压强度的 影响·····	81
3.4.2 高温养护条件对钠钾水玻璃制备试样抗压强度的 影响·····	82
3.4.3 C+G 养护方式时试样的扫描电镜分析 ·····	85
3.5 粉煤灰的影响·····	87
3.5.1 不同低钙粉煤灰制备试样在标准养护条件下的抗压 强度·····	88

3.5.2	不同低钙粉煤灰制备试样在高温养护条件下的抗压强度	89
3.5.3	不同低钙粉煤灰制备试样在其他养护方式下的抗压强度	93
3.5.4	不同养护方式对低钙粉煤灰试样抗压强度的影响比较	98
3.5.5	高钙粉煤灰对地质聚合物抗压强度的影响	99
3.6	粉煤灰基地质聚合物的制备改性	107
3.6.1	矿渣改性粉煤灰基地质聚合物	108
3.6.2	煅烧煤矸石渣粉改性粉煤灰基地质聚合物	110
3.6.3	其他改性方法	112

第4章 地质聚合物反应机理及微观结构

114

4.1	偏高岭土地质聚合物的反应机理及微观结构	114
4.2	天然铝硅酸盐矿物基地质聚合物的反应机理及微观结构	116
4.3	粉煤灰基地质聚合物的反应机理及微观结构	119
4.3.1	粉煤灰基地质聚合物的反应机理及微观结构	120
4.3.2	影响粉煤灰基地质聚合物反应的因素	124

第5章 粉煤灰基地质聚合物的耐久性

130

5.1	粉煤灰基地质聚合物耐化学腐蚀性能	131
5.1.1	不同硫酸盐溶液浸泡后试样抗压强度的变化	132
5.1.2	硫酸盐溶液对试样质量的影响	135
5.1.3	粉煤灰基地质聚合物的耐酸性能	136
5.2	粉煤灰基地质聚合物的耐热性	137
5.3	粉煤灰基地质聚合物的碱-骨料反应性能	138
5.4	讨论	139

5.4.1	浸泡硫酸盐和盐酸溶液后试样的 XRD 和 SEM 分析	139
5.4.2	机理分析	141

第1章

绪 论

20 世纪 70 年代末, Joseph Davidovits 教授用碱液与偏高岭土反应制备出一种具有从无定形到半结晶状态的三维立体结构的新型硅铝酸盐材料, Davidovits 称该材料为 Geopolymer, 汉语翻译中有多种译法, 如地质聚合物、地聚合物、地聚水泥、土聚水泥等。本书采用地质聚合物。

1.1 地质聚合物概述

地质聚合物 (Geopolymer) 的发展应用可以追溯到人类文明启蒙的早期, 有研究表明早在 600 年前, 秘鲁的印加人就在其辉煌的建筑结构中采用了地质聚合物; 也有研究认为, 古埃及人在修建大金字塔时就采用了类似的胶凝材料。

当时, Joseph Davidovits 等学者对古代混凝土建筑物 (如古埃及金字塔、古罗马的大竞技场等) 进行了详细研究后发现: 这些建筑物具有非常优异的耐久性, 它们能在比较恶劣的环境中保持几千年而不破坏的主要原因, 是这些古代建筑中存在一种硅酸盐水泥石中没有的非晶体物质, 该物质的结构与有机高分子聚合物的三维网络状结构相似, 但其主体是无机的 $[\text{SiO}_4]$ 四面体和 $[\text{AlO}_4]$ 四面体, 所以, Joseph Davidovits 教授称为地质聚合物 (Geopolymer)。Joseph Davidovits 于 1972 年申请了地质聚合物历史上第一篇关于用偏高岭土通过碱激发反应制备

建筑板材的专利。

Joseph Davidovits 教授在对地质聚合物内部结构研究的基础上，将地质聚合物中 $[\text{SiO}_4]$ 四面体和 $[\text{AlO}_4]$ 四面体之间连接的长链结构分为三种类型：硅铝长链，即 PS ($\text{Si}/\text{Al}=1$)；双硅铝长链，即 PSS ($\text{Si}/\text{Al}=2$)；三硅铝长链，即 PSDP ($\text{Si}/\text{Al}=3$)。也可用分子式表达为：

$$\text{M}_x \left[\left(\text{Si}-\text{O}_2 \right)_z \text{Al}-\text{O} \right]_n \cdot w\text{H}_2\text{O}$$

式中， z 为 1、2 或 3； M 为碱金属离子 (K^+ 、 Na^+)； n 为聚合度； w 为结合水量。电脑模拟的地质聚合物 PS、PSS 和 PSDS 结构概念如图 1.1 所示。当 z 大于 3 时地质聚合物的结构概念如图 1.2 所示。

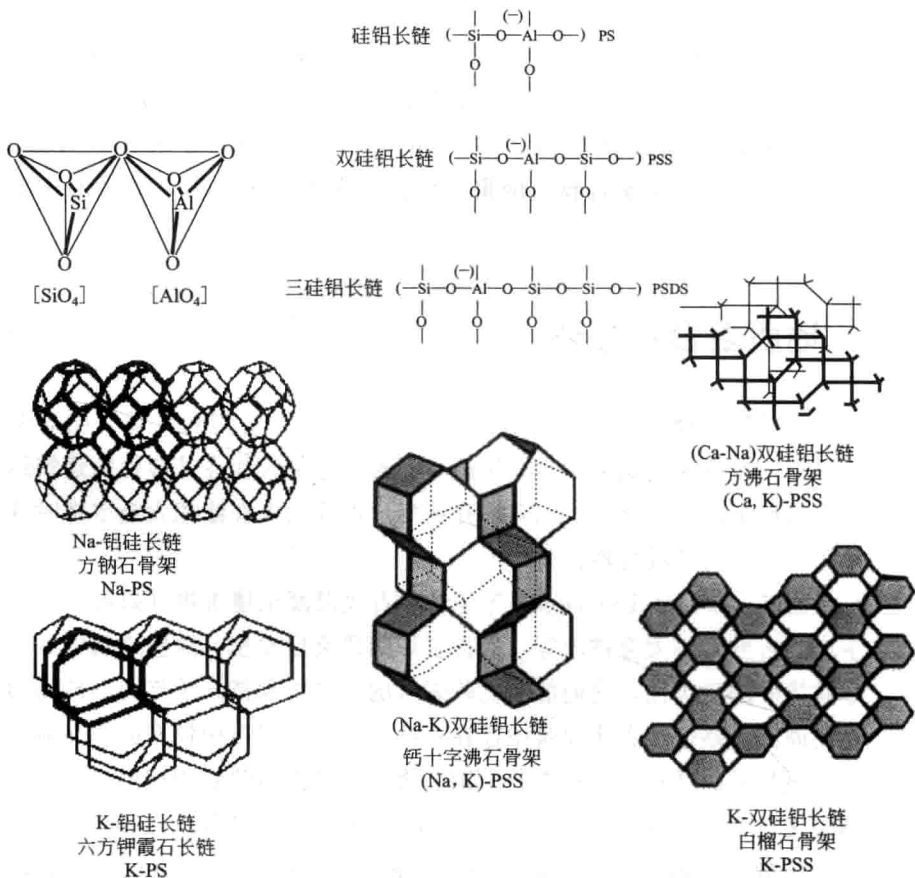


图 1.1 电脑模拟地质聚合物 PS、PSS 和 PSDS 结构概念示意

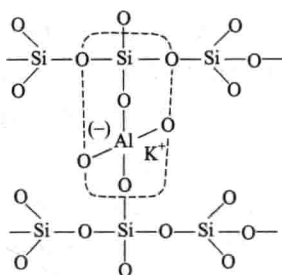


图 1.2 x 大于 3 ($\text{Si}/\text{Al} > 3$) 时地质聚合物基本结构概念示意

所以,地质聚合物是由 $[\text{SiO}_4]$ 四面体和 $[\text{AlO}_4]$ 四面体构成的非晶体的三维网络结构,碱金属离子或碱土金属离子分布于网络孔隙之间以平衡 Al 代替 Si 产生的电价差。

正是由于地质聚合物的独特结构,使其具有许多优点,概括为:优良的力学性能、耐久性、可调整膨胀系数、固结重金属离子、低能耗、绿色、消耗废料、低有害气体排放等——可以有效解决经济发展和环境保护的矛盾。

地质聚合物这些优异的性能,受到国内外许多科研单位、企业和高等院校的重视。

1980 年, Mahler 以含水碱金属铝硅酸盐和硅酸为原料取代固体铝硅酸盐制备了类似的铝硅酸盐地质聚合物。此后, Helferich 和 Shock Neuschaeffer 等先后取得了制备非晶质铝硅酸盐聚合物的专利,其制备工艺和材料化学性能等与 Joseph Davidovits 的实验相似。Palomo 等以煅烧高岭土为原料,加入硅砂作为增强材料,制备了抗压强度高达 83.4MPa 的地质聚合物,而材料的固化时间仅为 24h。Hua Xu 等研究了 16 种天然铝硅酸盐矿物(包括环状、链状、片状和架状等晶体结构,如石榴石、云母、黏土、长石、方钠石和沸石等矿物种类)的地质聚合作用,研究表明,具有架状和岛状结构且含有较高氧化钙的铝硅酸盐矿物合成的地质聚合物抗压强度较大;他们还研究了碱金属阳离子对长石制备地质聚合物的影响。Valeria F. F. Barbosa 等人研究了偏高岭土制备地质聚合物的耐热性能。R. Cioffi 等进行了偏高岭土煅烧温度和时间、地质聚合反应过程的优化。Valeria F. F. 等研究用高岭土合成

K-PS 和 K-PSDS 的技术及其耐热性能。

20 世纪 90 年代后期, J. G. S. van Jaarsveld、J. W. Phair 和 J. S. S. van Deventer 等致力于研究由粉煤灰等工业固体废料制备地质聚合物, 研究原材料特性、养护温度、激发剂等因素对地质聚合物性能的影响, 并研究其应用, 如用来固化有毒金属及化合物等。J. C. Swanepoel、T. Bakharev 等也进行了粉煤灰地质聚合物的制备研究。Hua Xu 等用粉煤灰、高岭土和钠长石三种原料制备地质聚合物, 研究表明: 当在未经煅烧的原料(如高岭土、钠长石)中加入经过煅烧的原料(如粉煤灰)进行地质聚合作用时, 不仅可以显著提高抗压强度, 而且可以明显缩短反应时间。P. Bankowski 等利用地质聚合技术降低粉煤灰中金属离子的滤出。W. K. W. Lee 等研究了各种无机盐对粉煤灰制备地质聚合物的强度和耐久性的影响, 认为在制备过程中混入氯盐对地质聚合物强度和耐久性是有影响的。T. W. Cheng 和 G. C. Lukey 等研究了粒化高炉矿渣在地质聚合物中的应用。T. Bakharev 认为粉煤灰地质聚合物在硫酸盐溶液中的稳定性与激发剂溶液种类、硫酸盐溶液中阳离子类型及溶液的浓度有关。W. K. W. Lee、M. Sofi 和 Diwantoro Hardjito 等研究了地质聚合物混凝土的一些性能, 结果表明混凝土具有优异的力学性能、很好的耐酸性, 徐变和干缩小。Swanepoel 和 Strydom 利用粉煤灰和黏土在 70℃ 下制备地质聚合物, 28d 抗压强度达 8MPa。A. Fernández-Jiménez 等进行了碱激发粉煤灰性能的研究。

我国对地质聚合物的研究起步较晚, 但也有了一定的进展。除了一些综述性研究以外, 主要集中在利用偏高岭土制备地质聚合物的研究, 研究制备技术、影响因素及反应机理和结构特征, 如张云升等用偏高岭土在室温下制备出了 Na-PSS 型地质聚合物, 得出 Na-PSS 型地质聚合物的最优配比, 并提出了这种地质聚合物的统计 3D 分子结构模型。还有研究利用尾矿资源制备地质聚合物, 如马鸿文等利用钾长石尾矿制备地质聚合物, 试样的抗压强度可达 19.4~24.9MPa。相比而言, 利用粉煤灰制备地质聚合物的研究比较少, 而且基本上是将粉煤灰与其他铝硅酸盐材料混合制备地质聚合物。如张云升进行了粉煤灰制备地质聚合物砂浆的研究, 认为粉煤灰掺量为 30%, 80℃ 蒸汽养护 8h 时砂浆试样强度最高, 即抗压强度为 32.2MPa, 抗折强度为 7.15MPa。

1.2 地质聚合物的研究趋势

综上所述,地质聚合物自诞生之日起就一直是国际新型胶凝材料的研究热点,有关地质聚合物的理论和应用的研究得到了快速发展,但是就基础理论和产业化应用方面仍然存在需要进一步研究的课题。

① 还缺乏比较成熟的理论体系。对于地质聚合物的反应,虽然许多学者提出了各种反应模型,但还不能形成系统的反应机理。因此,有关地质聚合物的理论基础研究将是重要的研究课题之一。

② 用于制备地质聚合物的原材料,如粉煤灰、工业废渣等的成分和性能波动很大,这为实际应用带来一定的困难。因此确立原材料成分和地质聚合物性能间的关系将有助于生产、使用和性能的控制。

③ 在实际工程应用中还待研究的课题有:作为混凝土使用时的专用外加剂及耐久性的研究,相关标准体系的制定;用于危险废物固化机理的研究以及危险废物对地质聚合物长期性能的影响研究。

④ 地质聚合物复合、增强、增韧等改性措施的研究,以便于扩展其应用领域,这也是国内外学者关注的课题。如意大利研究人员通过参加聚丙烯纤维网制造了轻质墙板,日本镜美公司通过添加有机物 PVA、PAA 等制造人造大理石也取得了较好的效果。法国专利报道了利用地质聚合物在地下建造 CO_2 的储藏库,以满足储藏库在地下 60m 以下所需的耐腐蚀性、防水性、高强度等性能,保障 CO_2 不泄漏。美国专利报道了使用地质聚合物作为电解铝阳极保护层,具有成本低、对电解反应无污染等特点。

除了以上问题外,同碱激发矿渣水泥一样,地质聚合物还面临着政策不配套、开发投入不足以及人们认识不够等限制其应用的问题。

Geopolymer Alliance 是由澳大利亚科研单位、相关企业和政府机构联合组织的推广和发展地质聚合物技术的联盟,包括墨尔本大学、南昆士兰大学、科廷大学、澳大利亚水泥公司、美国全球铝业公司等。该组织在地质聚合物用于特殊工程、混凝土、矿山回填、危险废物固化等领域做了大量的基础研究工作和示范工程。表 1.1 列出了该联盟未来几年的地质聚合物主要研究方向。

表 1.1 Geopolymer Alliance 未来几年的地质聚合物主要研究方向

大的研究方向	细分研究内容
基础理论研究	黏土、粉煤灰等的溶解机理和反应活性等 地质聚合物成键机理的计算机模拟 激发剂的作用机理 从纳米和微米尺度研究地质聚合物的微观结构 地质聚合物特殊性能的机理研究
现浇混凝土应用研究	包括混凝土的制备、搅拌、运输、浇筑和养护等全系列研究
污水管道防腐应用研究	包括混凝土耐酸腐蚀及在污水管道中的应用研究
矿坑填充应用研究	用地质聚合物混凝土填充矿坑
在高速公路上的应用	包括路基、隔声、抗摩擦等方面的研究
防火建筑材料	隧道防火、防火隔墙、管道等
在酸性环境矿区中的应用	利用地质聚合物的耐酸性,将其用于酸性环境中矿区隧道的开挖、围坝、路基等
危险废物的固化	固化核废料和重金属废渣
铝冶炼废渣的固化	包括利用各种铝冶炼废渣制备地质聚合物的研究
高性能混凝土研究	超高强混凝土和超快速固化混凝土 抗压强度为 100~300MPa 混凝土的商业化 高性能混凝土在建筑横梁和铁道轨枕中的应用

1.3 地质聚合物的性能及应用

1.3.1 地质聚合物的性能

(1) 物理力学性能好 偏高岭土地质聚合物凝结硬化快,早期强度高,而且长期强度也高。偏高岭土地质聚合物在 20℃水化 4h 抗压强度可达 15~20MPa,达到最终抗压强度的 70%;使用优质骨料配制的地质聚合物混凝土,25℃下水化 1d 抗压强度可达 56MPa,且后期抗压强度仍可提高;在一定工艺条件下,地质聚合物制品的强度可达 300MPa 以上;碳纤维增强地质聚合物的抗弯强度可达 245MPa,拉伸强度为 327MPa,抗剪强度为 14MPa,在 800℃下,可保持其 63%的原始抗弯强度。但是,由于原材料自身活性的差异,用粉煤灰或活性较低的铝硅酸盐矿物等制备地质聚合物时,常温下凝结硬化速率较慢,早期强度较低。

偏高岭土地质聚合物与其他材料物理力学性能比较见表 1.2。

表 1.2 偏高岭土地质聚合物与其他材料的物理力学性能对比

材料名称	密度/(g/cm ³)	弹性模量/GPa	抗拉强度/MPa	抗弯强度/MPa	断裂功/(J/cm ³)
地质聚合物	2.2~2.7	50	30~190	40~120	50~1500
普通水泥	3.0	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

(2) 水化热低 地质聚合物是在较低温度下制备而成的，与硅酸盐水泥相比，地质聚合物中“过剩”热量少，所以表现出较低的水化热。用于大体积混凝土工程时不会造成急剧温升，可避免了破坏性热应力的产生。

(3) 收缩率和膨胀率小 地质聚合物与硅酸盐水泥的水化机理完全不同，硅酸盐水泥水化时产生较大的收缩，而地质聚合物水化时表现出较好的体积稳定性，收缩远远小于硅酸盐水泥，一般其 7d、28d 的收缩率分别仅为 0.2‰、0.5‰，硅酸盐水泥硬化水泥浆体 7d、28d 的收缩率却高达 1.0‰和 3.3‰。

(4) 抗渗性、抗冻性好 地质聚合物水化后形成致密的结构，且强度高，所以抗渗性好，其氯离子渗透系数为 10^{-9} cm²/s，与花岗岩 (10^{-10} cm²/s) 相近；而且其孔洞内电解质浓度较高，因而抗冻融循环能力强。

(5) 耐腐蚀性强 地质聚合物水化后没有氢氧化钙生成，不会产生钙矾石等产物，耐硫酸盐腐蚀性强，另外，地质聚合物在酸性溶液和各种有机溶液中都表现了良好的稳定性。与硅酸盐水泥相比，地质聚合物不存在碱-骨料反应的问题，所以地质聚合物的耐久性良好，寿命可达千年以上。

(6) 耐高温、隔热效果好 地质聚合物的耐火度 >1000℃，熔融温度达 1050~1250℃，所以可抵抗 1000~1200℃ 高温的炙烤而不损坏，因而可以有效地固封核废料。地质聚合物与碳纤维复合制成的材料，在 1200℃ 仍然可以保持室温时抗压强度的 67%，可以与其他碳纤维/陶瓷材料相媲美。地质聚合物/碳纤维复合材料和地质聚合物金属陶瓷/碳

纤维复合材料可用于制备冶金用的铸造模具，可耐 500~1500℃ 的温度。

地质聚合物的热导率为 0.24~0.38W/(m·K)，可与轻质耐火砖[其热导率为 0.3~0.438W/(m·K)] 相媲美。又因其所用原料为天然铝硅酸盐矿物或工业固体废弃物，具有良好的防火性能，所以地质聚合物作为建筑结构材料可满足防火阻燃的消防要求。

(7) 有较高的界面结合强度 硅酸盐水泥与骨料结合界面处容易出现富含 Ca(OH)₂ 和钙矾石等粗大结晶的过渡区，造成界面结合力薄弱。而地质聚合物和骨料的界面结合牢固紧密，不会出现类似的过渡区。

(8) 能有效地固定有毒离子 地质聚合物水化后形成的三维网络状铝硅酸盐结构可结合几乎所有的有毒离子。此外，利用工业固体废弃物制成地质聚合物以后，其中的有毒元素或化合物就被固化于材料内部，由于地质聚合物的耐酸碱侵蚀和耐气候变化的性能优良，因而固化有毒离子的地质聚合物不会对环境造成新的污染。尾矿和矿泥形成地质聚合物后，其中金属离子的浸出率大大降低，见表 1.3。

表 1.3 Kam Kotia 矿山尾矿和矿泥滤出液中阳离子的浓度

滤出液种类	阳离子浓度/10 ⁻⁶									
	As	Fe	Zn	Cu	Ni	Ti	Cr	Mn	Co	V
未处理尾矿	42	9726	1858	510	5	20				
聚合物尾矿	2	123	1115	4	3	7				
未处理矿泥			384			6	55	64	84	9
聚合物矿泥			7			3	7	6	9	1

(9) 生产工艺简单，生产能耗低，几乎无污染，低二氧化碳排放 地质聚合物的制备工艺过程为：天然铝硅酸盐矿物原料或工业固体废弃物的选取→原料粉体制备→配料（加入碱性溶液）→注模或半干压成型→解聚和再聚合固化反应→制品。所以其制备过程中无需普通黏土砖常用的烧结工序，也无需使用硅酸盐水泥那样大量消耗能源和资源的“两磨一烧”工艺，地质聚合物的固化主要依靠各种原料之间的低温化学反应。另外，地质聚合物的生产过程中不使用石灰石原料，所以基本

不排放二氧化碳,同时还可以使用各类低钙的工业废料,这些对于保护生态平衡,维护环境协调具有重要的意义。

综上所述,地质聚合物的各项性能优越,而且其能耗仅为陶瓷的 $1/20$,钢的 $1/70$,塑料的 $1/150$,无污染,因此地质聚合物有可能在许多领域内代替一些昂贵材料,这也是欧洲、美国、日本等国家和地区对地质聚合物倍加重视并作为高技术而投入大量人力和财力进行研究的原因。

1.3.2 地质聚合物的应用

地质聚合物所具有的优异性能,使其已经或将会在很多领域得到应用。

(1) 建筑材料 地质聚合物可用作墙体材料、胶凝材料、建筑保温材料 and 防火材料等。

偏高岭土地质聚合物是目前胶凝材料中快凝早强性能最为突出的材料,已经在某些方面代替普通硅酸盐水泥,如用于交通和抢修工程(图1.3),偏高岭土地质聚合物快硬早强, 20°C 条件下,4h抗压强度可达 $15\sim 20\text{MPa}$ 。用它铺筑公路或机场,1h即可步行,4h即可通车,66h即可供飞机起飞和降落。用于土木工程中可以缩短脱模时间,加快模板周转,提高施工速度。地质聚合物所具有的优异耐久性也为土木工程建筑带来了巨大的社会和经济效益。

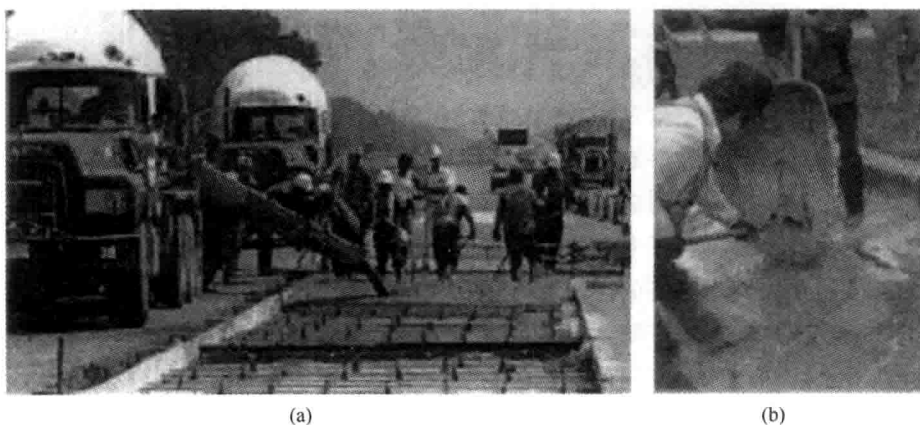


图 1.3 地质聚合物用于道路工程