

地聚物概论：新一代水泥和绿色建材

崔源声

中国散装水泥推广发展协会
中国散协固废综合利用专业委员会

2023年5月24日 中国 西安

发展地聚物水泥与绿色建材的重要意义

- 为什么要启动地聚物水泥与绿色建材的产业化？
 - 1、地聚物水泥的国内外简要发展历程和进展；
 - 2、重新启动地聚物水泥与绿色建材产业化大背景；
 - 3、国家建材情报所、中国散协和中硅会科普工作委员会推进地聚物水泥产业化的战略举措；
 - 4、地聚物水泥与绿色建材名师和青年专家学者简介；
 - 5、未来计划

1、地聚物水泥的国内外简要发展历程和进展；

- 1.1 1972 年法国化学家戴维多威茨开始从事地聚物的研究和开发，1978年正式提出地聚物的概念，到2022年已经历时50年；经过50多年全世界各国科技工作者的不断完善提升，如今已经拓展到地聚物水泥和混凝土等诸多领域，包括建材、树脂、涂料、陶瓷等多个学科；1824年波特兰水泥申请第一个专利，2024年，在波特兰水泥即将迎来200周年生日的时候，我们推出地聚物水泥作为创新发展和高质量发展的时代产物！
- 1.2 1987 年 2 月美国工程院院士宾夕法尼亚州立大学教授 Della Roy 女士在《Science》上发表论文《New Strong Cement Materials:Chemically Bonded Ceramics》,进一步促进了全球材料科学家地聚物研究热。
- 1.3 2004-2005 年现为中国散协地聚物与绿色建材委员会秘书长的翟冠杰老师在宾夕法尼亚州立大学 Della Roy 院士实验室开发出“高强度粉煤灰地聚物水泥”。
- 1.4 2015 年，地聚物水泥和混凝土在澳大利亚以修建布里斯班 WellCape 机场为标志，地聚物水泥混凝土正式投入商业化运行；还有一个四层楼的装配式预制建筑；此前，澳洲在地聚物固化核废料等应用领域已经有多年的实用经验；

2015年10月3日，地聚物水泥的创始人戴维多维茨教授（80岁高龄）特意飞到澳大利亚参观这个项目！



2015年10月7日，约瑟夫·戴维多威茨教授和他的儿子阿尔法·戴维多威茨与威格纳斯公司的**Glasby and Russell Genrich**,从图文巴市开车到布里斯班。

在2013年12月10日的新闻中，题为：世界上第一座利用结构地聚物混凝土的公共建筑，报道了世界上第一座使用地聚物的混凝土作为结构材料的报道。该座建筑为澳大利亚的布里斯班的昆士兰大学，全球变化研究所。这是一个4层高的公共建筑，包括3个悬空的地聚物混凝土楼板，涉及到33个预制板。它们是用矿渣/粉煤灰基的地聚物混凝土制作的，冠以地球友好的混凝土（**EFC**）瓦格纳地聚物混凝土商标。

Queensland's University GCI building with 3 suspended floors made from structural geopolymer concrete. Credit: Hassel Architect



One of the 33 precast slag/fly ash-based geopolymer concrete floor parts. Credit: Wagners



- **1.5** 2015 年，德州学院粉煤灰研究所翟冠杰教授在美国工程院 DellaRoy 院士指导下，与大连恒翔粉煤灰综合利用有限公司联合建成世界（国内）第一条地聚物人工鱼礁生产线（用于生态海洋牧场建设）；
- **1.6** 2017 年 11 月 23 日中国硅酸盐学会固废分会地聚物产业化专委会在大连成立，翟冠杰教授任首任主任委员兼秘书长；
- **1.7** 2018 年，西安建筑科技大学李辉教授和中国矿业大学王栋民教授，支持上海百奥恒公司研发和生产赤泥地聚物水泥混凝土；
- **1.8** 2021 年 1 月 6 日，中国散装水泥推广发展协会地聚物与绿色建材工作委员会正式成立，标志着我国从国家协会层面开始有组织地推进；
- **1.9** 2021 年 11 月 26 日德州学院粉煤灰研究所在海南洋浦开发区与海南蓝岛环保产业股份有限公司联合成立南海地聚物岛礁实验室；

- **1.10 2022 年 12 月**，中国散装水泥协会地聚物与绿色建材工作委员会组织业内专家学者，起草国内第一个《地聚物水泥与混凝土》标准，标志着我国地聚物水泥与混凝土开始走上规范化和标准化的进程；
- **1.11 2023 年 3 月6日**，国家建筑材料工业技术情报研究所、中国硅酸盐学会科普工作委员会、中国散协固废综合利用专业委员会、粉煤灰专业委员会和地聚物水泥与绿色建材工作委员会等行业组织牵头，联合全国建材主要高等院校和科研院所，以地聚物创始人法国化学家戴维多维茨先生最新的第五版《地聚物化学与应用》专著为教材，开始组织全行业进行大型地聚物水泥与绿色建材科普大讲堂，对全行业进行系统性的地聚物基础知识和专业基础理论培训；

-
- **1.12 地聚物水泥与绿色建材的若干前期历史开创性工作。**

- 地聚物水泥在中国市场正式走向商业化之前，国内诸多从事碱激发材料工作的学者和专家做了大量的探索性工作；

- 其中比较有代表性的专家和学者有杨南茹、史才军、浦心诚、马鸿文、孙恒虎和杨长辉等，这些专家和学者，虽然没有将地聚物及其水泥和建材等大规模产业化，但是他们的艰难探索和不懈努力，都为我们今天持续开发这种新产品积累了宝贵的知识和精神财富。

1.13 地聚物不完全等同于碱激发材料，也不同于传统的波特兰水泥（2个不同）；

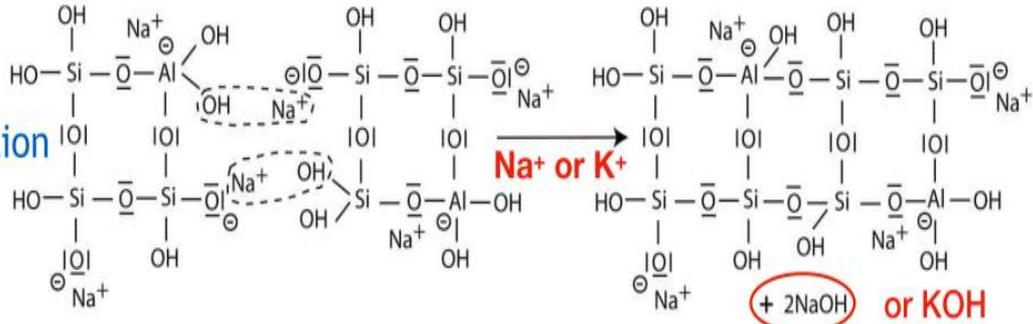
- 1.13.1 为了系统、全面、准确地学习和理解地聚物的研究和发展进程，我们首先选择了地聚物的创始人，法国戴维多威茨教授的最新版（第五版）专著，“地聚物化学与应用”（**Geopolymer Chemistry and Applications-5th Edition**）作为我们首次举办全国性地聚物学习班的主要参考教材。
- 根据戴维多威茨教授的说法，碱激发材料不是地聚物，只是地聚物的第一步，合成地聚物要有6个步骤：

地聚物反应机理的6个步骤

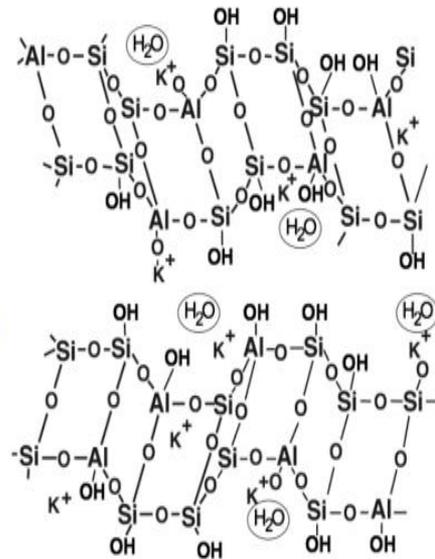
Geopolymerization mechanism

1. Alkalinization *alkali-activation*
 2. Depolymerization of silicates
 3. Gel formation of oligo-sialates
 4. Polycondensation
 5. Reticulation, networking
 6. Geopolymer solidification
1. 碱性化，不是碱激发；
 2. 硅酸盐解聚；
 3. 低聚硅铝酸盐凝胶的形成；
 4. 缩聚或多聚合；
 5. 网状、网络的形成；
 6. 地聚物凝固。

Step 4
polycondensation



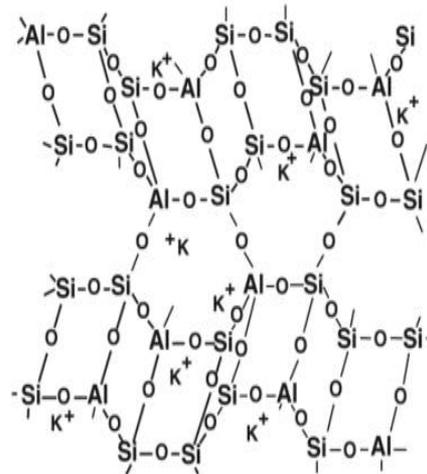
Step 5
reticulation,
networking



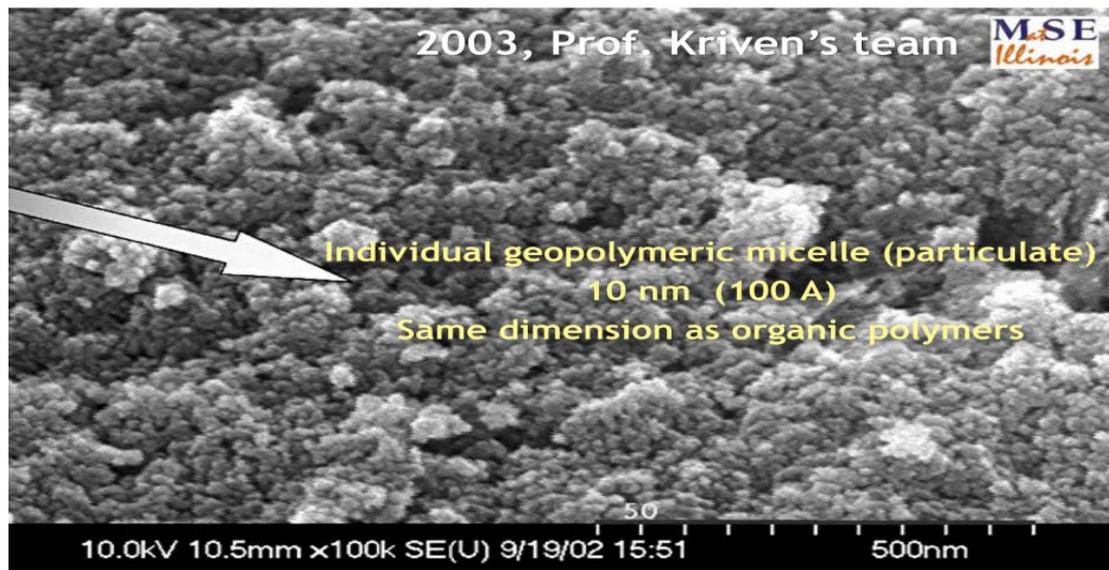
dehydroxylation



Step 6
geopolymer
solidification



1.13.2 地聚物是纳米材料，不同于传统的波特兰水泥，做水泥时**属于纳米水泥，不是微米颗粒的水泥。**

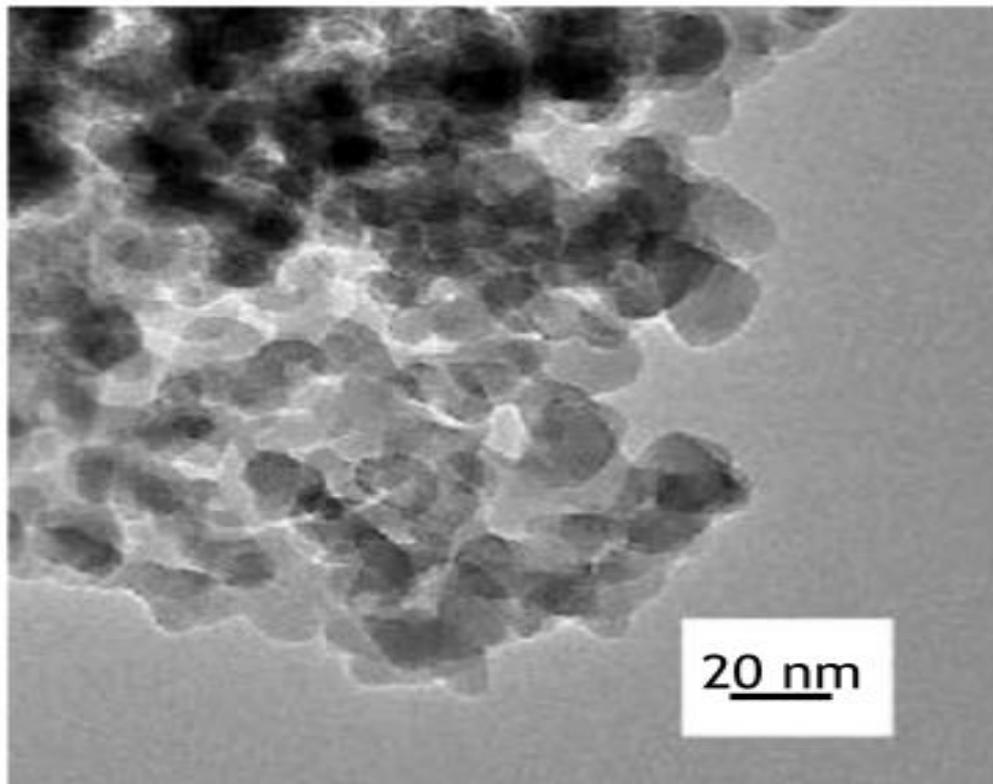


单个地聚物颗粒尺寸**10纳米（100埃）**，与有机聚合物的尺度相同；**2003年**，克力文教授团队测试结果。



地聚物胶粒10 nm; 硅胶30-40 nm; 硅灰200-300 nm;
粉煤灰3-15μm; 波特兰水泥3-33μm;

Step 5
reticulation



2012 Prof. Dong-Kyun
(Don) Seo's team
School of Molecular
Sciences, Arizona
State University,
Tempe, USA

第五步：网状结构；2012年，美国坦佩，亚利桑那州立大学分子科学学院，Dong-Kyun(Don) Seo 教授团队提供照片。

聚合成网状时，粒径从10纳米增长到20纳米！

技术经济指标先进的地聚物水泥及绿色建材产品的 获得往往是**6**种主要激发或活化技术的综合应用

- (1) 机械激发或机械活化；譬如超细粉磨；
- (2) 碱激发或碱性化或碱活化；
- (3) 热激发或热活化；
- (4) 电磁激发或电磁活化，包括微波或超声波激发或活化；
- (5) 温压联合激发、活化、增强，强度可以高达**600**多兆帕；
- (6) 生物激发或活化；
- 上述激发、活化可以联合运用，即多元激发或多元活化；根据技术先进、经济合理原则，采用上述激发或活化技术的两种或多种并用；

2、重新启动地聚物水泥与绿色建材产业化5大背景；

- 2.1 50年（1972-2022）的知识储备从量变开始质变



Joseph Davidovits

State of the
Geopolymer
R&D
2022



14th GP-Camp



Saint-Quentin (France)

July 4-6, 2022

Geopolymer research 1988

1st Geopolymer conference



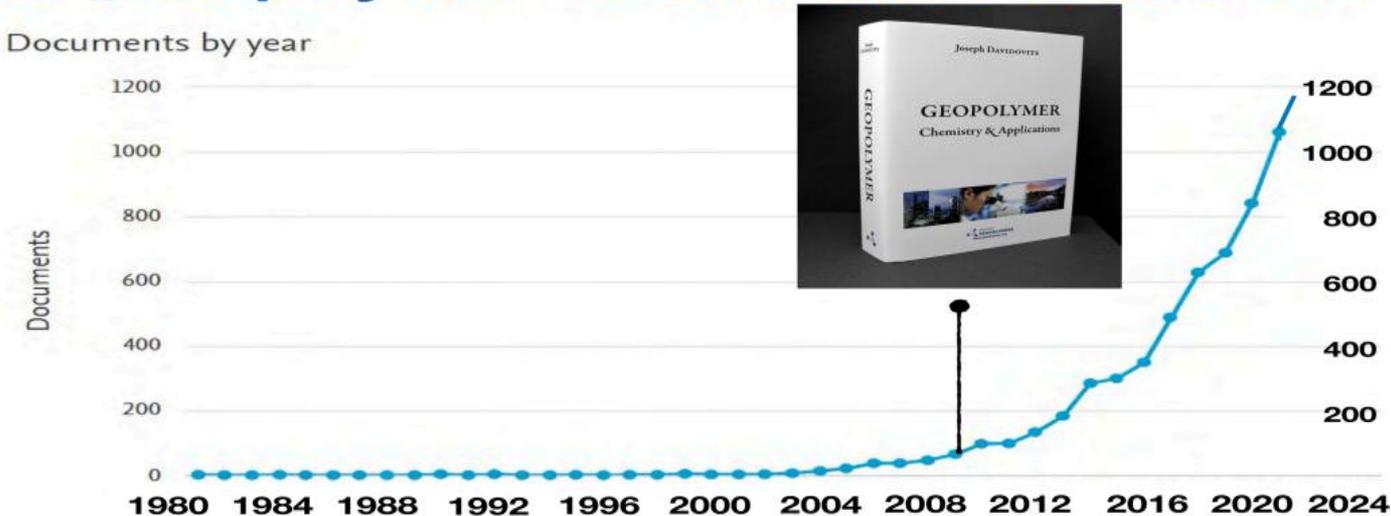
1988-2018, 30年的大变化

Geopolymer research 2018



最近10多年地聚物学科文献呈指数爆炸性增长

Subject „Geopolymer“ in Scientific Publications



Literature Search: Statistical data of SCOPUS database

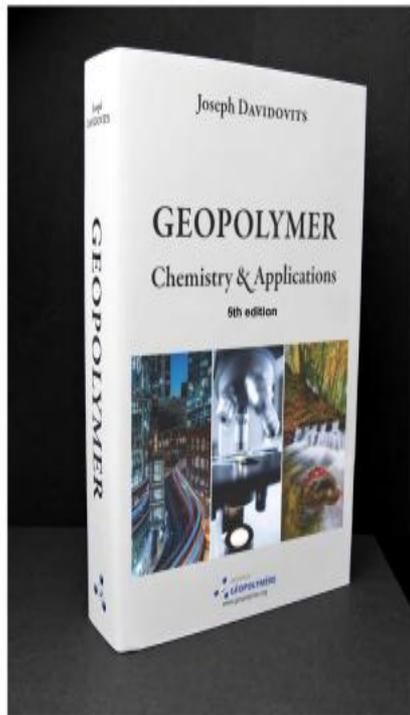
最新的参考教材

In addition to the numerous updates, this 5th edition adds two new chapters:

- Chap. 11: *Ferro-sialate Geopolymers*
- Chap. 21: *How to quantify and develop geopolymer formulas.*

This last new chapter details

- How to select raw materials,
- How to calculate a formula,
- Description of the process method for optimal results, all in a very pragmatic way.



《地聚物化学与应用》第五版，除了大量的更新以外，增加了两个新的章节：

- 第11章：铁铝硅酸盐地聚物；
- 第21章：如何量化和开发地聚物配方；

最新的内容包括：

- 如何选择原材料；
- 如何进行配方计算；
- 对优化结果的工艺方法进行描述；

这些内容都非常实用。

16个研究课题

16 research topics

#1 *Polymeric character of geopolymers*

#2 Poly(siloxonate), soluble silicate (water-glass)

#3 MK-750-based Ferro-sialate geopolymer

#4 Calcium-based geopolymer

#5 Rock-based geopolymer

#6 Silica-based geopolymer

#7 Fly ash-based geopolymer

#8 Phosphate-based geopolymer

16 research topics

#9 Organic-mineral geopolymer.

#10 *Long-term durability (archaeology).*

#11 Geopolymer-fiber composites.

#12 *Geopolymer in ceramic processing.*

#13 *The manufacture of geopolymer cements: No fly ash !*

#14 Geopolymer concrete.

#15 *Material for Radioactive waste, Particles and gas pollution.*

16 *3D printing.*

1. 地聚物聚合特性；
2. 聚（siloxonate: 硅氧化合物），可溶性硅酸盐（水玻璃）；
3. MK-750基铁铝硅酸盐地聚物；
4. 钙基地聚物；
5. 岩石基地聚物；
6. 硅基地聚物；
7. 粉煤灰基地聚物；
8. 磷酸盐基地聚物；
9. 有机矿物地聚物；
10. 长期耐久性（考古学）；
11. 地聚物纤维复合材料；
12. 地聚物陶瓷；
13. 地聚物水泥的制造：不用粉煤灰！
14. 地聚物混凝土；
15. 用于放射性废弃物、粉尘和大气污染的材料；
16. 3D打印；

2.2 地聚物水泥有其独特的产品性能和技术优势

- 地聚物水泥的性能特点：地聚物水泥的网状结构赋予其不同于硅酸盐水泥的特点，在工程应用中表现出优异的性能特点。
 - ①具有非常优异的耐久性能，其寿命有望达千年以上。
 - ②有较高的界面结合强度，适宜作为混凝土结构修补材料。
 - ③地聚物水泥经地聚反应后形成架状的硅铝酸盐结构，能有效固定几乎所有已知的有毒金属离子。
 - ④加偏高岭土，力学性能好，主要力学性能指标优于玻璃和水泥，可与陶瓷、铝、钢等金属材料相媲美。快硬、早强，而且长期强度高，20°C下凝结4h后的强度即可达15~20MPa，为其最终强度的70%左右，后期抗压强度可达到20~100MPa (吴中伟, 1994; 倪文, 2003)。
 - ⑤低收缩，地聚合物的7d、28d的收缩率仅分别为0.02%、0.05%，而硅酸盐水泥硬化浆体7d、28d的收缩率却高达0.10%、0.33%。

- ⑥低渗透性，其氯离子渗透性系数为 10^{-9} cm/s，与花岗岩相近(10^{-10} cm/s)。
- ⑦耐高温，隔热效果好，部分地聚物水泥产品可抵抗 $1000\sim 1200^{\circ}\text{C}$ 高温的炙烤而不损坏，热导率为 $0.24\sim 0.38\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，可与轻质耐火黏土砖[$0.3\sim 0.438\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$]相媲美。
- ⑧耐水热作用，能有效地固定核废料。
- ⑨高岭土的用途，可自调温调湿，适宜制作粮仓等储藏设施。
- ⑩制备工艺简便，而且基本不排放 CO_2 ，地聚物水泥生产过程中排放的 CO_2 仅为硅酸盐水泥的 $1/5$ ；资源和能耗低，生产地聚物材料的能耗低，其能耗只有陶瓷的 $1/20$ 、钢的 $1/70$ 、塑料的 $1/150$ 。

• (资料来源：公开网络检索)

2.3 双碳目标大背景下波特兰水泥碳中和陷入困境

- 双碳目标（3060）已经成为今后几十年中国乃至全球的必由之路！水泥工业的碳排放占全球总排放的5-7%；我们国家占到12-15%；
- 由于传统波特兰水泥的生产要采用石灰石配料，而每吨石灰石要排放440公斤的二氧化碳，这种工艺排放特点，无法实现碳中和；传统波特兰水泥生产巨大的工艺排放比重，面临严重的排放压力。
- 不选择新型的胶凝材料，几乎没有办法消除工艺排放。

- 石灰石主要成分是 CaCO_3 ，石灰石的配料要高达80%的比例。



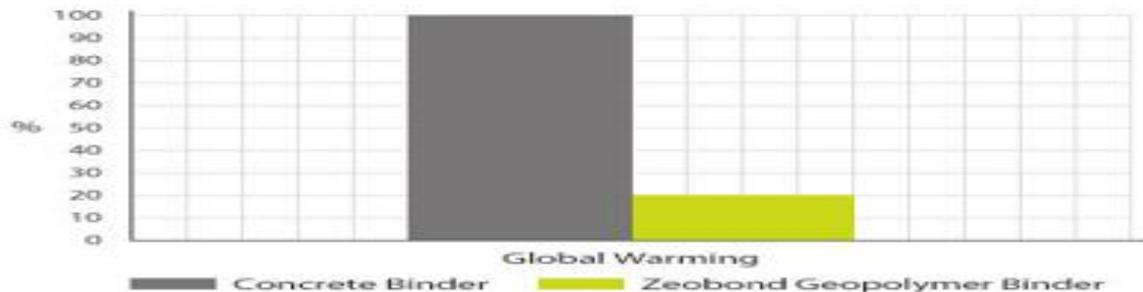
- CaCO_3 分子量100， CO_2 是44

- 所以一吨石灰石完全分解最多产生440 kg的二氧化碳废气；即便是煅烧都采用可再生能源，设备驱动都采用也采用可再生能源，而这种工艺排放也无法避免。

而地聚物水泥是传统波特兰水泥碳排放的**1/5到1/10**，可以节省**80%-90%**碳排放。因此，仅从碳排放的角度而言，也迫使我们不得不推进地聚物水泥的产业化进程。

澳大利亚Zeobond公司委托Netbalance公司做的生命周期分析表明：
地聚物水泥与常规水泥比较--减少CO₂高达80%

在可持续发展与环境部的维多利亚资源市场可持续发展商业计划的支持下，Zeobond委托Netbalance完成了低碳混凝土E-Crete™的生命周期分析。结果-使用E-Crete™减少了80%的水泥二氧化碳足迹！



Comparing 1 m³ 'Concrete Binder' with 1 m³ 'Zeobond Geopolymer Binder';
Method: geobond CO₂ V2.02 / IMPACT 2002+ / character
Source: Netbalance LCA report 2007

CO2 EMISSION OPC VS GEOPOLYMER

▪ Values for Concrete

| Material Name | Weight (kg) | Weight Ratio | Density (kg/m ³) | Emission Faktor (kg CO ₂ eqv./kg) |
|----------------------------------|-------------|--------------|------------------------------|--|
| Reinforced Concrete | | | | |
| Mixture of Sands | 303.4 | 30.3% | 1650 | 0.147 |
| Cement (75 Pa) | 298.4.6 | 29.8% | 3050 | 1.250 |
| Water | 276.5 | 27.7% | 1000 | 0.0 |
| Binder mixture | 8.7 | 0.9% | 2685 | 3.210 |
| Steel Rod | 112.8 | 11.3 | 7850 | 2.890 |
| | | | | |
| Total weight | 1000.0 | | 2596.6 | |
| Total kg CO₂ | | | | 771.7 |
| kg CO₂ eqv./kg | | | | 0.772 |

▪ Values for Geopolymer

| Material Name | Weight (kg) | Weight Ratio | Density (kg/m ³) | Emission Faktor (kg CO ₂ eqv./kg) |
|----------------------------------|-------------|--------------|------------------------------|--|
| Geopolymer | | | | |
| Metakaolin BLk | 292.9 | 29.3% | 1850 | 0.245 |
| Glass water | 287.2 | 28.7% | 1050 | 0.0 |
| SiO ₂ | 31.4 | 3.1% | 319 | 2.890 |
| Carbon fiber | 8.01 | 0.8% | 350 | 0.051 |
| Sands | 94.3 | 9.4% | 1650 | 0.147 |
| Ash | 283 | 28.3% | 425 | 0.0 |
| | | | | |
| Total weight | 1000.0 | | | |
| Total kg CO₂ | | | | 215.7 |
| kg CO₂ eqv./kg | | | | 0.216 |

- **From 771.7 kg of equivalent CO₂ OPC-based concrete, the geopolymer concrete releases 215.7 kg of equivalent CO₂, which represents a saving of 72.5 % for concrete.**

2.4 中国的固废资源得天独厚

- (1) 全国矿产资源的产量每年大约有**50**亿吨；
- (2) 每年全国固体废弃物的产量也大约有**50**多亿吨；
- 如果把这些废弃物很好地利用，就可以为国家节省**50**亿吨矿产资源；正所谓矿石炼制变为垃圾炼制的时代！循环经济、绿色发展，就是这个意思。
- (3) 我国固废资源年产生量巨大，是很好的地聚物原料

- 我国固废产生量每年有**50**多亿吨，而每年消耗的矿产资源也高达**50**多亿吨；如果我们用这些固体废弃物来生产**地聚物水泥或混凝土或绿色建材**，就可以使得我国原材料工业的资源发生战略性转移，对于节能环保、建设资源节约型社会，实现经济、社会和环境全面协调与可持续发展具有十分重大的现实意义。
- 1) 建筑垃圾**20-30**亿吨； 2) 煤矸石约**8**亿吨； 3) 粉煤灰约**6**亿吨； 4) 矿渣约**2**亿吨； 5) 钢渣约**1.5**亿吨； 6) 工业副产石膏约**2**亿吨，包括电厂、钢厂脱硫石膏，磷肥厂磷石膏； 7) 赤泥约**1**亿吨； 8) 电石渣约**0.5**亿吨； 9) 各种尾矿：约计**10.59**亿吨；主要包括铁尾矿**5.88**亿吨，铜尾矿**2.24**亿吨，有色金属尾矿**0.97**亿吨，黄金尾矿**1.5**亿吨； 10) 下水道淤泥约**2**亿吨； 11) 农林废弃物约**10**亿吨； 12) 生活垃圾约**3.2**亿吨；

2.5 地聚物水泥产品显示出经济优势

- 根据邓福南、史才军和杨晓滨的研究和实践，地聚物水泥混凝土的成本在C50以上和C30以下，和波特兰水泥混凝土比较，具有约15%以上的成本优势。
- 这一点非常重要，以前地聚物或碱激发材料无法产业化，除了其他方面的原因外，就是因为成本方面太高成为一个很主要的推广障碍！
- C30和C40波特兰水泥混凝土之所以仍然具备比较强的竞争优势，是因为这两个级别的产品太成熟和普遍了，具有成熟和规模优势，一时半会还不能被地聚物水泥及混凝土所普遍代替，但是随着碳税的加征，估计成本的优势也要逐步丢失不少。

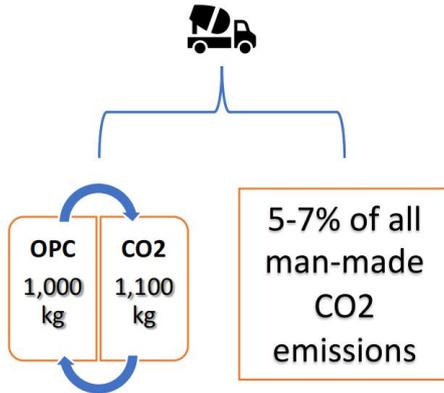
基于快烧物料的高性能自密实地聚物水泥砂浆

- (1) 利用沉积泥沙；包括挖掘粘土；原料基本是废弃物；
- (2) 没有石灰石原料，大幅度减少碳排放；
- (3) 可以在低温下煅烧；根据强度和性能要求，一般煅烧温度在750-850℃；一般不高于1200℃；
- (4) 利用固废，保护环境；
- (5) 大幅度节能减排；
- (6) 产品质量大幅度提升，寿命从100年向1000年提升；



IMT Nord Europe
École Mines-Télécom
IMT-Université de Lille

Cement industry



Excavated Materials

Dredged Sediments



56 million m³ per year

Excavated soils

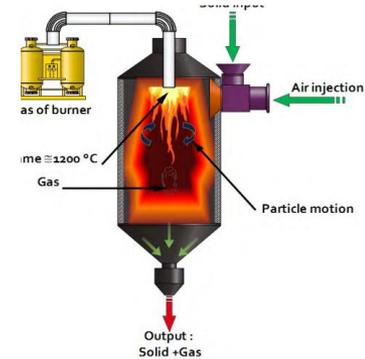


130 million tons per year



Waste Materials

Treating Materials



Flash Calcination



There are several industrial processes to calcine a kaolin clay:

煅烧高岭土的几种方法:

- Continuous furnaces: residence time ~ 4h

连续煅烧炉: ~ 4h;

- Flash kilns: residence time less than 1h

快速煅烧炉: 小于1小时;

To ensure Geopolymerization when experimenting



混合设计程序



Least reactive material + reagent for 10 mins



Add MK for 5 mins



Add Slag which is most reactive so we add it at last for 3 mins



Add sand for 5 mins



Curing

Note: *At room temp*

地聚物水泥可以作为良好的**3D**打印材料

3D printed concrete products



Construction 3D printing



ICON, Austin, Texas. USA



Kamp C, , Antwerpen, Belgium



Apis Cor, Moscow, Russia



Apis Cor, Dubai, UAE



Peri 3D construction, Germany



WASP, Tecla house, Italy

地聚物混凝土及砂浆的优势

- 地聚物固废混凝土技术是一种创新的建筑材料技术，这种技术可以不用水泥制备出强度在**C30-C60**之间的预制构件以及**M30-M80**的特种砂浆，应用场景相当广泛，应用范围覆盖了建筑、水利、海工、市政、公路铁路、电力、环保、军事等领域。
- 地聚物硅基纳米稀土凝胶制固废混凝土技术的结构优势：
 - **1.高强度：**与花岗岩相似，硅基凝胶混凝土的强度普遍高于普通的钙系混凝土。
 - **2.早强：**凝胶混凝土反应速度快于普通混凝土的水合反应，常温下**5小时**即可达到**C20**强度，适合于道路抢修。

- **3.超强抗渗性：**凝胶完全充满混凝土内部的空隙，超高的密实度使得其抗渗性是普通混凝土的三倍以上。
- **4.耐高温和抗冻融性：**纳米微孔结构使凝胶混凝土能承受**1400°**高温和**200**次以上的冻融循环。
- **5.高抗侵蚀性：**凝胶混凝土的抗酸、碱、盐及氯离子侵入性能是普通混凝土的五倍。
- **6.低水化热：**凝胶混凝土的水化热只有普通混凝土的五分之一，因此适合于做大体积混凝土。
- **7.抗碱骨料反应：**凝胶混凝土没有碱骨料反应的风险。

• 地聚物硅基纳米稀土凝胶制固废混凝土技术的成本优势

- 1.原料：胶凝材料主要使用工业废弃物制作，这些原料成本低且供应充足。
- 2.不用水泥：水泥制造过程中产生的二氧化碳排放量大，硅基纳米稀土凝胶技术完全不使用水泥，从而降低碳排放。
- 3.提高了资源利用率：凝胶制作能有效利用并转化工业废弃物，避免了处理和处置这些废弃物的额外成本。
- 4.减少了维护和修复的成本：由于硅基纳米稀土凝胶混凝土的强度高、抗冻融性好、抗侵蚀性强，因此在使用过程中，需要维护和修复的可能性大大降低，从而节约了后期的维护和修复成本。

地聚物硅基纳米凝胶技术制备特种砂浆

- 使用硅基纳米凝胶技术能够创造出高强度、耐磨损、抗冲击的特种砂浆，其独特特点包括：
 - 1.质量稳定：凝胶砂浆已经按比例将水配置在凝胶里，无法后加水，而传统砂浆后加水难控制是影响其质量的主要因素。
 - 2.耐磨性极佳：极高的耐磨性（A6 等级）。
 - 3.抗水冲磨性优良：优良的抗水冲磨能力（与花岗岩相当）。
 - 4.抗腐蚀性优良：能有效抵抗海水和腐蚀性水环境的侵蚀。
 - 5.适用性强：适用于立面和水平面施工，单层施工厚度可达50mm。
 - 6.施工方式灵活：即可以进行人工压抹又能够适应机械化程度高的机械喷涂施工。

硅基纳米凝胶技术制备的特种砂浆可以广泛应用在下列领域：

- 1.可用于受水冲磨影响的新建和翻新建筑物或构筑物（如下水道管道、污水处理厂、水坝和海工构筑物）；并可作为含水挡水结构（ $\text{pH}>4$ ）的抗冲磨保护砂浆。
- 2.适用于做高强度不起砂地坪，防火等级A1，不会被冻融循环破坏。
- 3.在翻新工程中，可以用于修补基础构件和上部结构，通过增加砂浆层来提高混凝土结构的承载能力，适合于抢修道路。
- 4.可用于被动保护或修复，通过砂浆增加保护层和置换受污染或碳化的混凝土。

地聚物混凝土及砂浆和普通混凝土及进口砂浆比较

| | 普通混凝土 | 凝胶固度混凝土 | (进口) 四卡特种砂浆 | 凝胶 固度基特种砂浆 |
|-----------------|----------------------------|----------------------------|----------------|----------------|
| 抗压强度等级 | C15-C60 | C30-C80 | C80 | C80 |
| 抗弯拉强度 | 5MPa | 7MPa | 12MPa | 9MPa |
| 抗冻融等级 | D50 | D200 | D100 | D200 |
| 抗渗等级 | P6 | P20 | P16 | P20 |
| 耐火极限 | 低于350摄氏度 | 高于1200摄氏度 | 低于800度 | 高于1200度 |
| 抗碳化性能等级 | T-IIIId < 20mm | T-Vd < 0.1mm | T-Vd < 0.1mm | T-Vd < 0.1mm |
| 抗冲击强度 | 2000焦耳/平米 | 5300焦耳/平米 | 8000焦耳/平米 | 8000焦耳/平米 |
| 7天内水化热 | 300Kj/Kg | 60kj/kg | 400Kj/Kg | 100Kj/Kg |
| 碱骨料反应 (膨胀系数) | 0.1 | 0.04 | 0.1 | 0.04 |
| 粘结力 | 0.2MPa | 1.2MPa | 1.9MPa | 1.6MPa |
| 材料成本 | 约360元/m ³ (C30) | 约320元/m ³ (C30) | 约4000元/吨 (C80) | 约1200元/吨 (C80) |

3、国家建材情报所、中国散协和中硅会科普工作委员会推进地聚物水泥与绿色建材产业化的战略举措。

- 3.1 支持和组织专家学者开展地聚物学术交流工作；
- 3.2 创建地聚物行业协会，组织企业家和专家学者协同努力，推进地聚物水泥及绿色建材产业化；
- 3.3 组织专家学者编制地聚物水泥及绿色建材全国性专业标准；包括开展检测和认证工作；
- 3.4 开展地聚物水泥与绿色建材的基础知识和专业基础理论培训，包括产业化和技术培训（今年下半年开始）；
- 3.5 开展国际交流、国际合作、技术引进和技术推广等工作；包括协助地方政府开展招商引资、招商引智，创建绿建产业园等；

4.国内地聚物领域专家学者简介

王栋民，中国矿业大学（北京），教授

- 在中国率先提出“固废与生态材料”概念，是固废与生态材料领域的发起人、倡导者和积极实践者，创办国家“固废与生态材料”学术组织。
- 长期致力于现代高性能水泥混凝土材料及其化学外加剂的精细化工合成与应用以及工业/矿业固体废弃物处理与生态环境建筑材料制备与应用的研究。
- 至今培养硕士、博士、博士后100余人，在国内外学术期刊发表论文200余篇，出版著作6部，担任《材料导报》、《建筑材料学报》、《矿业科学学报》、《硅酸盐通报》等学术期刊编委，承担国家科技部重点研发项目等纵向项目30余项、工业界项目百余项。获得省部级奖励10余项，授权国家发明专利20余项。

• 李辉，西安建筑科技大学教授、博士生导师

- 现任西安建筑科技大学材料科学与工程学院院长，兼任教育部生态水泥工程研究中心主任、陕西省生态水泥混凝土工程技术中心主任、中国散装水泥推广发展协会生态修复材料分会理事长、陕西省硅酸盐学会理事长、中国硅酸盐学会固废与生态材料分会副理事长等职。
- 主要从事固体废弃物的资源化以及新型生态胶凝材料方面的研究。发表论文**100**余篇，授权国家发明专利**26**件，实用新型专利**15**件。先后获国家科技进步二等奖**1**项、陕西省科技进步一等奖**2**项、广东省科技进步一等奖**1**项，国家教学成果二等奖**1**项，陕西省教学成果特等奖和二等奖各**1**项。

- **万小梅，青岛理工大学土木工程学院，教授/博士生导师**
- 主要从事新型胶凝材料混凝土，混凝土中固废资源化利用等领域的研究。在碱激发胶材混凝土的制备、碱激发混凝土鱼礁应用关键技术、碱激发胶材混凝土海洋服役性能研究及其评价关键技术、碱激发胶材混凝土宏微观性能提升关键技术方面取得了大量原创性成果。
- 成果成功应用于**2项行业标准、1项国家标准和1项中国建筑学会标准**；授权国家发明专利**5项**、国际发明专利**1项**。
- 发表论文**60余篇**，曾获得青岛市科技进步一等奖**1项**，青岛市自然科学一等奖**1项**、山东省科技进步二等奖**1项**、山东土木建筑科学技术奖二等奖**2项**、山东省教学成果一等奖**2项**、山东省教学成果二等奖**1项**。

- **李学英，哈尔滨工业大学，博士/副教授**
- 主持和参与国家/国防重点项目，国家/省/市自然科学基金项目等**20**余项，美国伊利诺伊大学（**UIUC-2012**）和莱斯大学（**Rice-2019**）土木与环境系访问学者。
- 主要研究方向：地质聚合物的开发；高性能混凝土制备和应用；超高温陶瓷的研究，材料科学在生命健康中的应用。
- 曾获得省科技进步二等奖和校教学基本功大赛奖等。编辑《土木工程材料》等书籍，获批国防和国家专利等多项。

- 张大旺，西安建筑科技大学，副教授/博士
- 青年地聚物学者，主要从事固体废弃物资源化、高性能、功能化和自动化等方面的研究；
- 其著作《地质聚合物混凝土的流变学》入选国家“十四五”重点图书。

翟冠杰，德州学院粉煤灰研究所教授/所长

- 欧美同学会会员，美国宾夕法尼亚州立大学客座教授，清华大学硕士生副导师，大连理工大学博士生副导师，美国加州大学访问学者，美国粉煤灰协会专家，美国硅酸盐学会会员。
- 中国散装水泥协会地聚物与绿色建材委员会执行会长兼首席专家；中国硅酸盐学会固废分会地聚物产业化专委会主任委员，地聚物水泥与绿色建材科学研究院首席科学家。
- 主要从事粉煤灰等固废资源化利用技术的研发与教学工作，擅长粉煤灰（基）地聚物水泥合成，纳米无机材料合成，气化渣、煤矸石、尾矿、脱硫石膏和冶金渣等固体废弃物资源化利用技术开发。

- **张祖华, 同济大学材料科学与工程学院教授、博士生导师。**
- 获南京工业大学博士（2010）和澳大利亚南昆士兰大学博士（2013），入选澳大利亚优青项目（DECRA, 2016）和国家级青年人才计划（2017），兼任中国混凝土和水泥制品协会混凝土矿物掺合料分会副理事长、中国硅酸盐学会固废分会冶金渣专委会副主任委员和《Composites Part B Engineering》副主编等。
- 主持国内外项目10余项，长期致力于低碳胶凝材料基础理论与工程应用关键技术的研究，以及先进功能材料研究。在地聚合物原材料活性表征、微观结构表征与调控、功能化和耐久性提升上获得了多项成果，合著专著1部，发表高水平论文170余篇，国内外引用超10000次，4项专利技术获得产业化支撑。

•

• **郭晓潞，同济大学教授，博士生导师/教授**

- 中硅会固废与生态材料分会碱激发胶凝材料学术委员会副主任、上海市水泥行业协会副会长、《建筑材料学报》编委。
- 上海市一流本科课程《材料检测技术》负责人，获同济大学“立德树人”、“名课优师”、“三八红旗手”等称号；
- 主持国家重点研发计划课题、国家自然科学基金等；长期从事固废资源化、碱激发胶凝材料相关教学与科研工作。

- 苏壮飞，河南理工大学材料学院，博士。
- 主要从事固废基绿色建筑材料与碱激发材料的研究。
- 参与国家重点研发计划子课题两项，省级重点研发计划1项，省级自然科学基金1项，主持校级科研项目1项。以第二人（导师第一）参与完成横向课题项目总额130万元，在国内外学术期刊上发表论文20余篇，其中被SCI收录2篇。

• 王群英，博士，教授级高工

• 留学日本学者，日本化学博士；

- 现任华电电力科学研究院有限公司首席专家，国家重点研发计划首席专家，浙江省特聘专家；中国散协粉煤灰专业委员会 理事长；粉煤灰综合利用首席科学家；
- 17年发电领域从业及研究经历，论文60多篇，专利40余项；一直从事能源领域技术研发及成果产业转化应用技术工作。

- 邵宁宁，深圳信息职业技术学院，博士/副研究员
- 青年专家学者；
- 研究领域：固废资源化、碱激发胶凝材料、废水废气等环境净化，已发表英文学术论文20余篇，其中SCI检索15篇，EI检索2篇，3篇国际会议论文，已授权发明专利5项（4项完成转化）。

- 王奕仁，博士，现任东莞理工学院讲师
- 青年专家学者；
- 主要从事固废资源化处理与生态环境建筑材料的研究与应用。发表国内外学术论文**20**余篇，授权多项发明或实用新型专利，并与国内多家企事业单位开展项目合作。
- 在固体废弃物资源化利用技术、绿色/低碳建材制备以及新型建材研发等方面积累了丰富的研究与应用经验。

5.未来计划和展望

- 5.1 从理论培训到技术培训
- 5.2 从化验室到生产运营：支持组建若干地聚物产业集团；
-
- 地聚物培训班负责各位首期学员的长期学习和指导，中国散协（国家专业协会各分支机构）和建材情报所（国家专业院所），包括国家专业学会（中硅会科普委、中硅会水泥工程技术分会），协同全国十几所著名的大专院校的教授、知名专家学者，全力持续支持各位学员的学习和工作，每年都要定期举办各种形式的学术和技术交流与合作活动，直到大家完全掌握地聚物产业化的相关知识和技术！
- 5.3 组织参加国际地聚物大会和展会；中法国际绿建交流中心；三项低碳地聚物水泥及建材产品的引进等。

·

·

谢谢大家！