

# Preparation and Application of Soluble Magnesium Silicate Fiber

Jianhua Li

Chinese People's Armed Police Force Academy, Langfang Hebei  
Email: kennethjh@126.com

Received: Sep. 26<sup>th</sup>, 2017; accepted: Oct. 6<sup>th</sup>, 2017; published: Oct. 25<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

Soluble fiber has the advantages of good biological solubility, low bulk density and low cost. It is an excellent substitute for traditional aluminum silicate fibers in china. The biological solubility of magnesium silicate ceramic fiber and its research and development at home and abroad are introduced. Combined with practice, the physical and chemical properties of magnesium silicate ceramic fiber and its application in engineering are introduced. Magnesium silicate ceramic fiber products with high temperature, high tensile strength, slag ball content and low heating rate of permanent linear change due to the characteristics of small, innovative materials with fireproof heat insulation and good environmental performance, the product has great potential in refractory field.

## Keywords

Biological Soluble, Magnesium Silicate, Ceramic Fiber, Fire Insulation, Fire Door

---

# 可溶性硅酸镁纤维研制及其应用

李建华

中国人民武装警察部队学院科研部, 河北 廊坊  
Email: kennethjh@126.com

收稿日期: 2017年9月26日; 录用日期: 2017年10月6日; 发布日期: 2017年10月25日

---

## 摘要

可溶性纤维具有良好的生物可溶性, 以及低容重, 低成本等优点, 是我国传统硅酸铝纤维的绝佳替代材料。介绍了硅酸镁陶瓷纤维的生物可溶性, 国内外研发进展, 结合实际, 介绍了硅酸镁陶瓷纤维的理化

性能及在工程上的应用。可溶性硅酸镁纤维具有满足较高的使用温度、力学性能优良、纤维含量高、耐候性能优良等特点，由于具有创新性该材料具有良好的耐火隔热性能及环保性能，该产品在耐火隔热领域潜力巨大。

## 关键词

生物可溶性，硅酸镁，陶瓷纤维，耐火隔热，防火门

Copyright © 2017 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

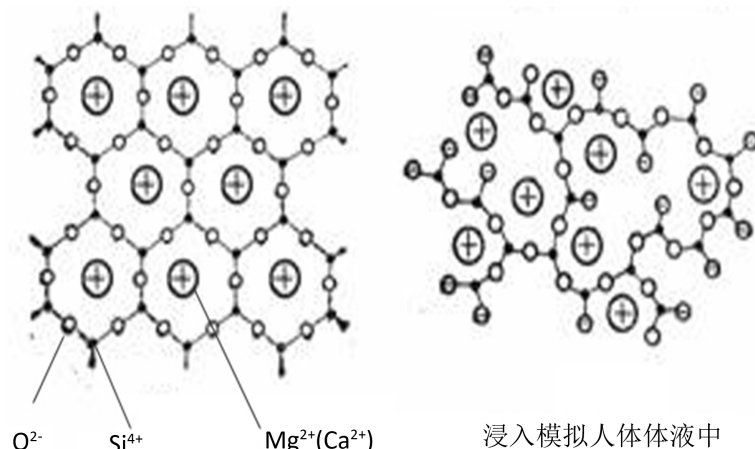
## 1. 前言

陶瓷纤维制品是多孔状材料，气孔率高达 90% 以上，由于纤维材料内部充满低热导率的静态空气，产品导热系数低，保温效果好。纤维材料本身具有 A 级不燃、低容重等特性。传统保温材料如硅铝系陶瓷纤维阻燃隔热性能优良，在许多保温隔热领域如冶炼、石油化工、外墙保温等领域应用广泛。可是由于硅酸铝陶瓷纤维及矿物粉尘为惰性无机难降解材料，且微颗粒易和人体细胞产生反应，永久破坏基体细胞，所以大量使用硅酸铝陶瓷纤维会污染环境，对人体造成危害[1] [2]，欧美国家已经开始限制其使用范围。

从化学成分的角度，碱土可溶性陶瓷纤维的定义如下：该材料主要由二氧化硅和氧化镁、氧化钙等碱土金属氧化物(MgO, CaO)构成，同时，氧化镁、氧化钙等碱土金属氧化物化学含量高于 18%，该材料又称为生物可溶性陶瓷纤维。生物学定义如下：可溶可降解不具有致癌特性，要求在人体的半消失期越短越好，上限低于 10 天，溶解速度快，大于  $100 \text{ ng/cm}^2 \cdot \text{h}$ ，如图 1，图 2 所示[3] [4]。由定义可以看出该生物可溶性陶瓷纤维主要含有硅酸镁、硅酸钙，且含量越高生物可溶性越好；生物可溶性陶瓷纤维具有类似硅酸铝陶瓷纤维优良的阻燃隔热性能，同时该材料可溶降解，对人体无害，环境友好。

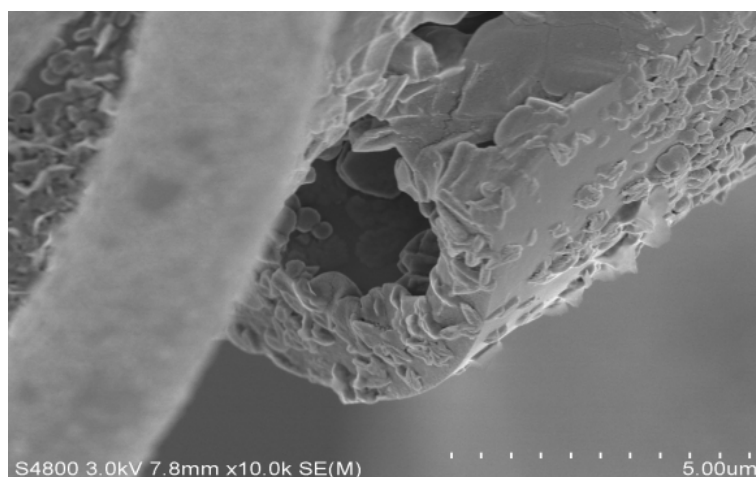
由于硅酸钙镁碱土陶瓷纤维具有优良的阻燃隔热的耐火耐热性能，优良的力学性能，且生物降解环境友好，现在该可溶性材料已经成为领域内的研究热点，硅酸钙镁可溶性陶瓷纤维的真空产品可以在  $1260^\circ\text{C}$  环境下耐热使用 24 小时，收缩率小于 3.5%，所以作为柔顺型耐热材料，使用安全可靠。最重要的是该材料生物降解速度快，对人体造成的伤害极小，所以学者和专家称其为可溶性陶瓷纤维、绿色环保陶瓷纤维、生物降解陶瓷纤维。虽然使用温度稍低于硅酸铝陶瓷纤维，但是其生物降解的环保特性使其备受关注，前景良好。硅酸钙镁可溶性陶瓷纤维主要生产方式是菱镁矿何硅灰石矿熔融 - 淬冷甩丝成纤维，然后制备纤维毯、纤维板等制品。钙镁硅陶瓷纤维是一种环境友好型隔热保温材料，可替代具有致癌风险的硅酸铝陶瓷纤维，应用于许多隔热保温工业领域。同时，硅酸铝耐火材料每年 30 万吨以上的产能，使高岭土、焦宝石、煤矸石这些硅酸铝纤维原材料逐渐枯竭，品质不能保证，致使硅酸铝纤维毯的性能逐渐降低。环保方面，对废弃的硅酸铝保温材料缺乏有限的回收和处理。即使有些处理也极为随意，缺乏有效性，由于硅酸铝陶瓷纤维化学性能稳定，降解困难，会对环境造成长久的污染，人体吸入致癌风险极高，不符合环保的要求[2] [3] [4]。

目前，还没有用于  $450^\circ\text{C} \sim 700^\circ\text{C}$  的工作环境下的纤维状保温材料，可溶性硅酸镁纤维保温毯是针对工业保温领域推出的一种新型的保温材料，耐火温度可达  $1260^\circ\text{C}$ ，具有导热系数低、使用温度高、憎水性能优异、容重小、使用寿命长、施工便捷等优点，广泛用于工业保温领域，显著提高热能利用率，降



**Figure 1.** Lattice network structure

**图 1.** 硅酸镁纤维晶格网络结构示意图



**Figure 2.** The surface of the etched fiber under acidic condition

**图 2.** 纤维在酸性条件下表面蚀刻

低客户的生产耗能和成本，为客户创造更高的价值。故开发这种新型的纤维状保温材料，具有重要意义 [3] [4] [5]。

## 2. 国内外现状

近年来，随着环保意识的提高，欧美国家经过技术攻关相继开发出了以  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$  为主要成分的可溶陶瓷性纤维。目前，美国、英国、法国等国家都相继开发了此种产品，获得许多技术专利(见表 1)并已经进入使用领域 [1] [2] [3]。可溶性纤维的品种有散状纤维、针刺毯、湿法真空成型制品等，由于欧美国家研究人员对可溶性陶瓷纤维的研发较早，取得了一些成果，并在制造商的努力下投入生产和使用。欧美国家申报了很多生产技术包括生产设备和工艺方法方面的专利力图抬高门槛、垄断技术进而垄断市场赚取高额商业利益。我国相对于欧美国家对硅酸钙镁可溶性陶瓷纤维研究起步较晚，研究投入也非常有限，所以我们的技术和工艺相对于他们有比较大的差距，急需科研人员集中攻关。国内的公司如鲁阳公司已经着手研发  $\text{SiO}_2$ - $\text{CaO}$ - $\text{MgO}$  系陶瓷纤维制品——硅酸镁纤维毯 [4] [5]。目前，非晶质陶瓷纤维毯的制造是将矿石原料在电弧炉或电阻炉熔融，然后离心甩丝法进行纤维化，然后压制成毯状。

由于  $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$  等成分的引入，有利于扩大成纤的黏度范围，改善成纤条件，提高了成纤率和纤维

的柔软性。但由于  $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$  等成分的引入, 生成  $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ 、 $\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2$  等低熔点化合物, 造成纤维耐热性的降低。故一般可溶性纤维属于低档陶瓷纤维, 其产品多用作工业窑炉背衬材料。为提高可溶性纤维的耐热性能, 满足防火耐火要求, 采用了引入  $\text{ZrO}_2$  以提高玻璃相黏度, 抑制纤维受热结晶后晶粒生长速率, 实现可溶性纤维耐热性能的提高、力学性能的改善。与国外企业相比, 中国菱镁矿矿产丰富在研发制造上有很多需要提高的地方, 这是国内耐火纤维发展的好机会[2] [3] [5]。

### 3. 性能分析

石化、冶金、火箭、防火等领域各类冷热介质管道和容器的保温系统中, 要求使用温度在  $200^\circ\text{C}\sim 900^\circ\text{C}$  [6] [7] [8] [9]。传统的保温材料玻璃棉、岩棉等制品使用温度在  $200^\circ\text{C}$  左右。玻璃棉、岩棉热稳定性较差, 长期受热后这些材料的纤维晶粒会不断长大, 这直接会导致导热系数增大(图 4)、保温材料产品隔热性能急剧下降使得被保温的装置外壁温度快速升高[10] [11] [12]。图 3 为岩棉在预热炉外壁使用过程中的脱落现象。这说明, 玻璃棉、岩棉等制品不能满足长期的窑炉外壁保温隔热的使用。

#### 3.1. 硅酸镁纤维毯工程技术性能

可溶性硅酸钙镁可有效解决矿棉、玻璃棉在保温隔热及力学性能上的不足, 同时又可溶环保可以替代硅酸铝陶瓷纤维, 作为优良的柔顺保温隔热材料在广大的保温领域具有非常大的应用潜力。总结硅酸钙镁陶瓷纤维制品的性能优点如下: 1) 含氯等卤素离子量低(10 ppm 之内), 腐蚀性小; 2) 力学性能良好,

**Table 1.** Patent of alkaline silicate fiber

**表 1.** 碱土硅酸盐纤维专利[4]

专利国籍/专利权号	主要成分	添加成分
加拿大专利 No.2017344	$\text{SiO}_2$ , $\text{CaO}$ , $\text{Na}_2\text{O}$	$\text{MgO}$ , $\text{B}_2\text{O}_3$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{TiO}_2$ , $\text{Fe}_2\text{O}_3$
国际专利局 WO90/02713	$\text{SiO}_2$ , $\text{CaO}$ , $\text{MgO}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , $\text{Na}_2\text{O}$ 和 $\text{K}_2\text{O}$
加拿大专利 No.2043699	$\text{SiO}_2$ , $\text{CaO}$ , $\text{MgO}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{P}_2\text{O}_5$
法国专利 No.2662687	$\text{SiO}_2$ , $\text{CaO}$ , $\text{MgO}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{P}_2\text{O}_5$ , $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , $\text{Na}_2\text{O}$ , $\text{K}_2\text{O}$ 和 $\text{TiO}_2$
美国专利 US4604097	$\text{CaO}$ 和 $\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{MgO}$ , $\text{SrO}$ , $\text{Na}_2\text{O}$ , $\text{K}_2\text{O}$ , $\text{Li}_2\text{O}_3$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3$



**Figure 3.** The phenomenon of rock wool falling off in the preheating furnace

**图 3.** 岩棉在预热炉外壁使用过程中的脱落现象

柔韧性好，良好的柔顺保温材料；3) 该纤维制品可稳定可靠，可以在 1000℃ 以下的环境长期使用，为 A1 级不燃产品；4) 具有生物可溶性，绿色环保型产品，对人体造成危害极小，废旧纤维毯生物降解快，不会造成环境持久性污染和破坏。

可溶性硅酸钙镁陶瓷纤维制品主要应用在冶金设备及管线的保温；电力、外墙、陶瓷行业背衬保温材料；造船行业的保温防火；等其他民用保温防火等。

### 3.2. 硅酸镁可溶性陶瓷纤维的理化性能指标

#### 1) 硅酸镁陶瓷纤维毯的使用温度

由表 2 可以看出，硅酸钙镁可溶性陶瓷纤维在 800 度以下使用，24 小时线变率仅为 0.5%，非常安全可靠，而在 1000℃ 下的永久线变化率为 0.6% 到 1.3%，这样的性能足以保证该材料制品在 1000℃ 下长期安全的使用。

图 5 为纤维毯表面淋水后的照片。憎水工艺处理的纤维毯表面具有优异的疏水性能，确保了水无法

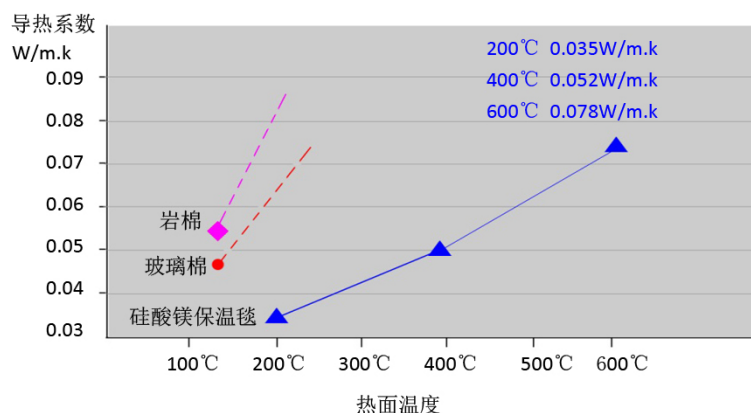


Figure 4. Thermal conductivity of rock wool, glass wool, and magnesium silicate blanket

图 4. 岩棉、玻璃棉、硅酸镁保温毯的导热系数



Figure 5. The surface of magnesium silicate fiber blanket is sprayed with water

图 5. 硅酸镁纤维毯表面淋水后的照片

**Table 2.** Heating line variation of fiber blanket**表 2.** 纤维毯的加热线变化率

温度/°C	24 小时线变化/%
800	0.5
1000	0.6~1.3
1200	11

**Table 3.** Tensile strength index**表 3.** 抗拉强度指标

容重/kg·cm <sup>-3</sup>	抗拉强度/MPa
96	≥0.045
128	≥0.05

浸湿纤维毯。

2) 抗拉强度高, 硅酸镁陶瓷纤维毯施工性能好

表 3 列出了硅酸镁陶瓷纤维毯的抗拉强度值。其中容重为 96 kg/m<sup>3</sup> 的产品, 抗拉强度在 0.045 MPa 以上, 容重在 128 kg/m<sup>3</sup> 的产品, 抗拉强度在 0.05 MPa 以上, 确保了产品具有优异的施工性能。

3) 其他性能

硅酸镁陶瓷纤维毯与传统的玻璃棉、矿渣棉相比较, 使用过程不产生烟气和刺激性气味; 产品颜色洁白; 化学稳定性好; Cl<sup>-</sup>含量低于 25 ppm; 毯状制品, 施工更为便捷等。

#### 4. 结束语

玻璃棉、矿棉、硅酸铝陶瓷纤维等传统纤维化学惰性强、属于致癌纤维材料, 而硅酸钙镁陶瓷纤维具有良好的生物可溶性, 对人体危害极小。随着我国工业的发展, 保温隔热材料用量越来越大, 必须考虑对环境的影响, 硅酸钙镁陶瓷纤维因其优良的耐火性能和机械力学性能以及良好的生物降解性能, 是传统保温材料潜在的替代品。石油化工、冶金、船舶等保温、民用外墙保温、消防领域防火门、防火卷帘帘都亟需硅酸钙镁纤维保温制品。同时, 我国制备硅酸钙镁陶瓷纤维的原材料很丰富。基于以上原因, 大力开展硅酸钙镁陶瓷纤维的研制与推广在工业保温、消防、民用外墙保温, 具有显著的经济效益和社会效益。

#### 基金项目

河北省科技计划项目: 可溶性陶瓷纤维防火门芯板材研制与应用, 项目编号: 15211117。

#### 参考文献 (References)

- [1] 曾天卷. 玻璃纤维、玻璃棉等人造矿物纤维与人体健康[J]. 玻璃纤维, 2002(4): 8-15.
- [2] 董发勤, 万朴, 彭同江, 等. 矿物纤维粉尘表面及体内外安全性评估研究[J]. 矿物岩石地球化学学报, 1999, 18(4): 352-356.
- [3] 王玺堂, 张保国, 王周福, 等. CaO-MgO-SiO<sub>2</sub> 系生物可溶性陶瓷纤维的研究[J]. 武汉科技大学学报自然科学版, 2008, 31(3): 238-241.
- [4] 硅酸镁纤维毯性能及应用[EB/OL]. <http://www.docin.com/p-1134313949.html>
- [5] 于永忠. 阻燃材料手册[M]. 北京: 群众出版社, 1997.

- 
- [6] 薛恩玉, 曾鹏修. 阻燃科学及应用[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1998.
- [7] 周建红. 新型阻燃纤维的改性研究[J]. 消防科学与技术, 2014, 33(8): 949-951.
- [8] 卢国建, 刘松林, 彭小芹. 木材的燃烧性能研究[J]. 消防科学与技术, 2005, 24(4): 414-418.
- [9] 纪磊, 陈志林, 傅峰. 磷酸三聚氰胺阻燃中密度纤维板燃烧性能[J]. 消防科学与技术, 2010, 29(4): 279-281.
- [10] 窦红杰. 可溶纤维防火门芯板研制及应用前景[J]. 武警学院学报, 2012, 28(12): 22-23.
- [11] Jiang, P., Zhang, S., *et al.* (2015) Synthesis, Characterization and Utilization of A Novel Phosphorus/Nitrogen Contained Flame Retardant. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, **54**, 2974-2982.
- [12] 周立鸣. 生物可溶矿物纤维[J]. 保温材料与建筑节能, 2002(12): 23-26.

#### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7613, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>  
期刊邮箱: [ms@hanspub.org](mailto:ms@hanspub.org)