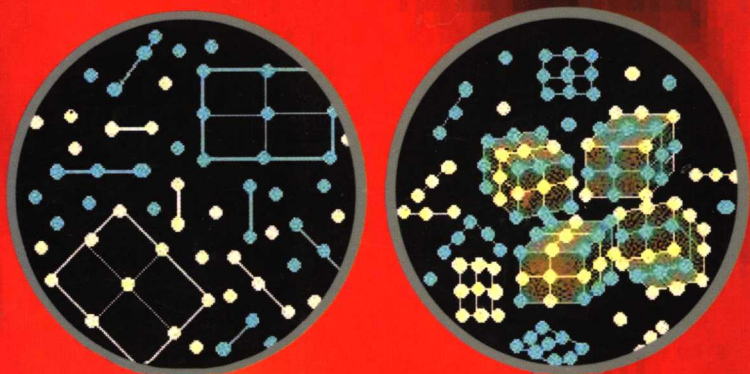


# 耐火纤维应用技术

张克铭 编著



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

# 耐火纤维应用技术

张克铭 编著

北 京

冶金工业出版社

2007

## 内 容 简 介

本书系统地论述了节能型高温隔热材料——耐火纤维（也称为陶瓷纤维和硅酸铝纤维）热过程的主要特征：传热、析晶、收缩、衰变，介绍了以耐火纤维为基的各种节能型新产品和施工技术、粒状耐火纤维浇注料的特性及应用技术、耐火纤维喷涂技术及施工工艺等，最后介绍了以氧化铝纤维作为增强相（增强体）的特殊复合材料技术及发展趋势。

本书可供冶金、建材、机械、化工、军工和热电等行业从事耐火保温材料、工业炉窑和热工设备管理的工程技术人员阅读，也可供大专院校有关专业的师生参考。

## 图书在版编目（CIP）数据

耐火纤维应用技术/张克铭编著. —北京：冶金  
工业出版社，2007. 1

ISBN 978-7-5024-4116-6

I. 耐… II. 张… III. 耐高温纤维—应用  
IV. TQ175.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2006）第 145503 号

出 版 人 曹胜利（北京沙滩嵩祝院北巷 39 号，邮编 100009）

责任编辑 章秀珍 美术编辑 李 心

责任校对 石 静 李文彦 责任印制 牛晓波

北京百善印刷厂印刷；冶金工业出版社发行；各地新华书店经销

2007 年 1 月第 1 版，2007 年 1 月第 1 次印刷

850mm × 1168mm 1/32；10.375 印张；277 千字；319 页；1 ~ 5000 册

30.00 元

冶金工业出版社发行部 电话：(010)64044283 传真：(010)64027893

冶金书店 地址：北京东四西大街 46 号(100711) 电话：(010)65289081

（本社图书如有印装质量问题，本社发行部负责退换）



张克铭，1953年8月生。教授级高级工程师，原鞍钢设计研究院院长助理、工业炉室主任，国家85攻关项目多晶莫来石纤维应用技术攻关组成员，享受国务院专家特殊津贴；在《钢铁》、《耐火材料》、《工业炉》、《工业加热》、《冶金能源》等国家核心刊物上发表论文多篇。出版著作《多晶莫来石耐火纤维及其应用技术》（冶金工业出版社，1992年）；社会学术兼职：全国保温材料科技信息网副理事长；全国冶金行业生产力促进中心耐火纤维推广中心主任。

## 冶金工业出版社部分图书推荐

| 书 名                | 定价 (元) |
|--------------------|--------|
| 耐火材料手册             | 188.00 |
| 筑炉工程手册             | 168.00 |
| 耐火材料显微结构           | 88.00  |
| 耐火材料与钢铁的反应及对钢质量的影响 | 22.00  |
| 钢包用耐火材料            | 19.00  |
| 耐火材料技术与应用          | 20.00  |
| 钢铁工业用节能降耗耐火材料      | 15.00  |
| 碱性不定形耐火材料          | 9.80   |
| 刚玉耐火材料             | 26.00  |
| 短流程炼钢用耐火材料         | 49.50  |
| 耐火材料性能与评价          | 13.80  |
| 特种耐火材料(第3版)        | 26.00  |
| 非氧化物复合耐火材料         | 36.00  |
| 不定形耐火材料(第2版)       | 36.00  |
| 蓝晶石 红柱石 硅线石        | 32.00  |
| 特种耐火材料实用技术手册       | 70.00  |
| 镁铬铝系耐火材料           | 9.80   |
| MgO-C 质耐火材料        | 9.80   |
| 耐火材料工艺学(第2版)       | 18.60  |
| 耐火材料新工艺技术          | 69.00  |
| 化学热力学与耐火材料         | 66.00  |
| 铝电解炭阳极生产与应用        | 58.00  |
| 高炉砌筑技术手册           | 66.00  |
| 高炉冶炼操作技术           | 30.00  |
| 炼焦煤性质与焦炭质量         | 26.00  |

# 前 言

耐火纤维（陶瓷纤维）因其低热容、低热导率、高耐火度和高热敏性等优点而被作为首选节能型材料，在各行业的工业炉窑等热工设备中广泛应用。近30年来，耐火纤维在工业炉窑节能降耗方面取得了显著的成效，从而也促进了这种材料的快速发展。可以说，占国内总能耗近25%的各类工业炉窑有近90%应用了耐火纤维材料。本书系统地介绍了节能型材料——耐火纤维，并介绍了近几年以它为基础开发出来的新型复合节能材料应用技术和应用领域。

1981年，国家将硅酸铝耐火纤维列为重点推广的节能材料，从而加速了耐火纤维的开发与应用研究。正是应用领域的拓宽，人们认识到了在温度大于1250℃的炉窑中，耐火纤维出现的使用寿命问题。由此，推动了多晶耐火纤维和应用技术的进步。

多晶氧化铝和多晶莫来石纤维在我国20世纪90年代初开始应用在大工业试验方面，在高温工业炉窑取得了节能降耗的显著效果。氧化铝纤维作为增强相复合金属基和陶瓷基等材料，在高温下抗氧化和制取成本等诸多方面比硼化物和碳化物纤维都有优越性，因此国内一些科研单位也在开始中间试验。目前，氧化铝连续纤维仍处在研制阶段。

多晶莫来石耐火纤维应用技术，得到了原国家经委科技局、能源局，原冶金部军工办、科技司的大力支持。近几年

耐火纤维喷涂和粒状耐火纤维浇注料应用技术，得到了国家冶金行业生产力促进中心的关心和帮助，作者将这些新的节能技术编著成书，以表答谢。

本书成稿过程中，《工业炉》主编曹田力教授和《冶金能源》主编罗文泉教授给予很大支持并对书稿进行了初审，在此表示感谢。

感谢鞍山钢铁集团公司及设计研究院对我的多年培养和支持。

作 者

2006 年 8 月于鞍山

# 目 录

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 1 概论 .....                   | 1  |
| 1.1 耐火纤维制取工艺 .....           | 4  |
| 1.1.1 耐火纤维的分类 .....          | 4  |
| 1.1.2 耐火纤维制造方法 .....         | 5  |
| 1.1.3 耐火纤维制取工艺 .....         | 7  |
| 1.2 硅酸铝耐火纤维分类及温度 .....       | 8  |
| 1.2.1 玻璃态耐火纤维生产工艺 .....      | 10 |
| 1.2.2 玻璃态耐火纤维产品及使用温度 .....   | 13 |
| 1.2.3 晶体态耐火纤维及生产工艺 .....     | 19 |
| 1.2.4 晶体态耐火纤维产品及使用温度 .....   | 22 |
| 1.3 多晶莫来石耐火纤维 .....          | 26 |
| 1.3.1 生产多晶莫来石纤维的优势 .....     | 26 |
| 1.3.2 多晶莫来石纤维生产工艺 .....      | 28 |
| 1.3.3 多晶莫来石纤维的特性 .....       | 30 |
| 1.3.4 多晶莫来石纤维的理化指标 .....     | 35 |
| 1.3.5 多晶莫来石纤维复合预制砖生产工艺 ..... | 38 |
| 1.3.6 多晶莫来石纤维工业性试验 .....     | 39 |
| 1.3.7 多晶莫来石短纤维的制取工艺 .....    | 46 |
| 1.4 耐火纤维的分类温度 .....          | 48 |
| 2 耐火纤维的特性 .....              | 52 |
| 2.1 耐火纤维的基本特性 .....          | 52 |
| 2.1.1 纤维密度 .....             | 52 |
| 2.1.2 纤维直径 .....             | 52 |

|       |                 |     |
|-------|-----------------|-----|
| 2.1.3 | 纤维长度            | 52  |
| 2.1.4 | 渣球含量            | 53  |
| 2.1.5 | 纤维比表面积          | 53  |
| 2.2   | 耐火纤维的热过程特性      | 53  |
| 2.2.1 | 传热特性            | 54  |
| 2.2.2 | 耐火性能            | 61  |
| 2.2.3 | 低蓄热性能           | 64  |
| 2.2.4 | 加热收缩特性          | 66  |
| 2.3   | 物理化学特性          | 68  |
| 2.3.1 | 化学性质及侵蚀         | 68  |
| 2.3.2 | 电学及静电性质         | 71  |
| 2.3.3 | 消音性质            | 74  |
| 2.3.4 | 透气特性            | 75  |
| 2.3.5 | 可压缩性能           | 76  |
| 2.3.6 | 可增韧功能 (抗热震性)    | 77  |
| 3     | 耐火纤维传热机理及绝热     | 81  |
| 3.1   | 传热方式与绝热原理       | 81  |
| 3.1.1 | 导热              | 81  |
| 3.1.2 | 对流              | 82  |
| 3.1.3 | 辐射              | 84  |
| 3.2   | 耐火纤维炉衬稳定态传热机理   | 89  |
| 3.2.1 | 炉膛内部传热          | 89  |
| 3.2.2 | 炉衬内部传热          | 91  |
| 3.2.3 | 炉衬外表面传热         | 99  |
| 3.3   | 耐火纤维炉衬非稳定态传热及计算 | 102 |
| 3.3.1 | 施密特近似法和图解法      | 103 |
| 3.3.2 | 图表查取方法          | 107 |
| 3.4   | 耐火纤维的低蓄热与高热敏性   | 111 |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| <b>4 耐火纤维衰变粉碎机理 .....</b>    | <b>114</b> |
| 4.1 玻璃态纤维的衰变粉碎 .....         | 115        |
| 4.1.1 纤维析晶现象 .....           | 115        |
| 4.1.2 纤维收缩与损坏 .....          | 119        |
| 4.1.3 纤维在还原气氛析晶 .....        | 121        |
| 4.2 晶体态纤维的衰变粉碎 .....         | 123        |
| 4.2.1 晶体态纤维的分类及收缩 .....      | 123        |
| 4.2.2 纤维的自身断裂粉化 .....        | 124        |
| 4.2.3 低密度形成的低强度 .....        | 125        |
| 4.3 耐火纤维腐蚀衰变 .....           | 127        |
| 4.3.1 在特殊气氛炉内腐蚀 .....        | 127        |
| 4.3.2 露点与水蒸气侵蚀 .....         | 129        |
| 4.3.3 金属锚固件高温氧化腐蚀 .....      | 130        |
| 4.4 安装工艺及施工质量 .....          | 132        |
| <b>5 以耐火纤维为基的产品及技术 .....</b> | <b>135</b> |
| 5.1 耐火纤维浇注料 .....            | 135        |
| 5.1.1 耐火纤维浇注料的理化指标 .....     | 136        |
| 5.1.2 耐火纤维浇注料主要配比与施工 .....   | 137        |
| 5.1.3 耐火纤维浇注料施工规范 .....      | 138        |
| 5.2 耐火纤维可塑料 .....            | 141        |
| 5.2.1 耐火纤维可塑料理化指标 .....      | 141        |
| 5.2.2 耐火纤维可塑料制作工艺 .....      | 141        |
| 5.3 高强耐火纤维绝热板 .....          | 142        |
| 5.3.1 耐火纤维硬质板制作工艺 .....      | 142        |
| 5.3.2 耐火纤维硬质板应用技术 .....      | 142        |
| 5.4 粒状耐火纤维及浇注料 .....         | 144        |
| 5.4.1 粒状耐火纤维增韧补强机理 .....     | 145        |
| 5.4.2 粒状耐火纤维浇注料性能 .....      | 148        |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 5.5 耐火纤维喷涂技术 .....            | 156 |
| 5.5.1 喷涂设备及喷涂工艺 .....         | 157 |
| 5.5.2 复合层喷涂及针刺处理 .....        | 167 |
| 5.5.3 喷涂纤维结合剂及性能 .....        | 168 |
| 6 耐火纤维节能应用 .....              | 170 |
| 6.1 钢铁冶金行业 .....              | 170 |
| 6.1.1 钢包烘烤盖及永久层 .....         | 170 |
| 6.1.2 轧钢加热炉水梁包扎 .....         | 179 |
| 6.1.3 轧钢加热炉内衬贴面 .....         | 185 |
| 6.1.4 轧钢加热炉预热段全纤维喷涂炉顶 .....   | 194 |
| 6.1.5 冷轧全氢强对流罩式退火炉 .....      | 199 |
| 6.1.6 高炉热风炉球顶与热风管道隔热层喷涂纤维 ... | 206 |
| 6.1.7 球团竖窑隔热层整体喷涂耐火纤维 .....   | 210 |
| 6.2 石油化工行业 .....              | 212 |
| 6.2.1 转化和裂解炉内衬采用耐火纤维喷涂 .....  | 212 |
| 6.2.2 管式加热炉顶管密封保温 .....       | 227 |
| 6.3 火力发电行业 .....              | 230 |
| 6.3.1 热电厂锅炉密封保温机械化施工 .....    | 230 |
| 6.4 机械加工行业 .....              | 235 |
| 6.4.1 精密铸造模壳焙烧炉 .....         | 235 |
| 6.4.2 燃煤退火炉全耐火纤维炉顶 .....      | 236 |
| 6.4.3 石英管焙烧及高温热处理炉 .....      | 238 |
| 6.5 建材行业炉窑 .....              | 240 |
| 6.5.1 新型炉墙结构及燃烧技术 .....       | 240 |
| 6.6 有色金属行业 .....              | 242 |
| 6.6.1 炭素焙烧炉超轻型炉盖 .....        | 242 |
| 7 耐火纤维其他应用技术 .....            | 245 |
| 7.1 复合材料及增强相 .....            | 245 |

|       |                           |     |
|-------|---------------------------|-----|
| 7.2   | 耐火纤维补强增韧及机理 .....         | 247 |
| 7.2.1 | 纤维补强的基体与界面 .....          | 248 |
| 7.2.2 | 纤维搭桥增韧与拔出效应 .....         | 251 |
| 7.2.3 | 纤维传递应力及弹性模量 .....         | 252 |
| 7.2.4 | 短纤维及晶须增强体的制备工艺 .....      | 253 |
| 7.3   | 氧化铝陶瓷纤维应用领域 .....         | 256 |
| 7.3.1 | 主要应用领域 .....              | 256 |
| 7.3.2 | 发展现状及市场前景 .....           | 258 |
| 7.3.3 | 加快对多晶氧化铝纤维制取工艺的研究 .....   | 260 |
| 7.4   | 氧化铝纤维先驱体的化学合成 .....       | 261 |
| 7.4.1 | 常规氧化铝纤维制取方法和改进 .....      | 261 |
| 7.4.2 | 氧化铝晶须(单晶氧化铝) .....        | 263 |
| 7.4.3 | 拉丝溶胶体及连续纤维制备 .....        | 265 |
| 8     | 高温空气燃烧技术(HTAC)与耐火纤维 ..... | 269 |
| 8.1   | 高温空气燃烧技术 .....            | 270 |
| 8.1.1 | 技术概况 .....                | 270 |
| 8.1.2 | 技术特征 .....                | 270 |
| 8.1.3 | 国内应用情况 .....              | 270 |
| 8.1.4 | 高温燃烧技术原理 .....            | 271 |
| 8.1.5 | 高温燃烧原理的技术优势 .....         | 276 |
| 8.1.6 | 高温燃烧技术市场 .....            | 277 |
| 8.1.7 | HTAC 蓄热体与内衬解决方案 .....     | 278 |
| 8.2   | 蓄热式烧嘴的隔热及高抗热震性能材料 .....   | 279 |
| 8.2.1 | 粒状耐火纤维浇注料的应用 .....        | 280 |
| 9     | 国外耐火纤维市场及应用技术开发动态 .....   | 282 |
| 9.1   | 耐火纤维全球市场化 .....           | 282 |
| 9.2   | 常规硅酸铝耐火纤维生产发展趋势 .....     | 284 |
| 9.2.1 | 玻璃态耐火纤维 .....             | 284 |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 9.2.2 晶体态耐火纤维 .....           | 286        |
| 9.3 耐火纤维特殊用途及进展 .....         | 289        |
| 9.3.1 纤维增韧结构陶瓷的前景 .....       | 290        |
| 9.3.2 增韧陶瓷的几种耐火纤维 .....       | 291        |
| 9.4 连续纤维应用领域及发展 .....         | 292        |
| 9.4.1 连续陶瓷纤维的应用现状 .....       | 293        |
| 9.4.2 国外连续耐火陶瓷纤维的发展 .....     | 294        |
| 9.4.3 国内连续耐火陶瓷纤维的发展状况 .....   | 295        |
| 9.5 氧化铝纤维增强金属基复合材料 .....      | 296        |
| 9.5.1 连续陶瓷纤维增强的铁基复合材料 .....   | 297        |
| 9.5.2 陶瓷纤维增强铝基复合材料 .....      | 298        |
| 9.5.3 发动机用新型陶瓷纤维复合材料 .....    | 300        |
| <b>10 耐火纤维微观与显微结构术语</b> ..... | <b>302</b> |
| 10.1 显微结构的概念 .....            | 302        |
| 10.2 晶体、晶格、晶粒和晶界 .....        | 303        |
| 10.2.1 晶体 .....               | 303        |
| 10.2.2 晶格 .....               | 305        |
| 10.2.3 晶粒 .....               | 307        |
| 10.2.4 晶界 .....               | 309        |
| 10.3 晶相、气相和玻璃相 .....          | 311        |
| 10.3.1 晶相 .....               | 311        |
| 10.3.2 气相 .....               | 312        |
| 10.3.3 玻璃相 .....              | 313        |
| <b>附 录</b> .....              | <b>314</b> |
| <b>参考文献</b> .....             | <b>318</b> |

# 1 概 论

耐火纤维也可称为陶瓷纤维和硅酸铝纤维，陶瓷纤维从广义上讲是耐火纤维的主要代表，是氧化铝、二氧化硅、硅酸铝和氧化锆等耐火纤维的总称，而耐火纤维同时也包含碳纤维、氮化物纤维、硼化物纤维和非氧化物纤维等。从狭义上讲，只有硅酸铝质熔融或溶胶纤维化的纤维才被称作陶瓷纤维，它与其他纤维是有区别的。

狭义的陶瓷纤维是将  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  形成的熔融物以细流股状态取出，再通过喷吹和甩丝法使之纤维化，这种方法被称为熔融纤维化方法。玻璃纤维、岩棉、矿渣棉等与其制法基本相同，但由于原料组成不同其使用性能不相同，使用性能最大差异是使用温度。对耐火纤维来说，其长期使用温度为  $1000 \sim 1250^\circ\text{C}$ ，熔融温度为  $1780^\circ\text{C}$  以上。而岩棉、矿渣棉等的连续使用温度为  $600 \sim 700^\circ\text{C}$ ，玻璃棉（无碱玻璃棉）的连续使用温度小于  $380^\circ\text{C}$ ，超过它们的使用温度纤维丝会急剧收缩和粉碎。基于这种原因，这些材料不能作为高温炉窑的工作衬。

1941 年，在美国的巴布科克和维尔·科克斯公司中央研究所开发出了耐火纤维。同年，美国 B&W 公司首次采用高岭土制成耐火纤维。耐火纤维最初仅仅被用在军事项目上，20 世纪 60 年代后期被用在工业上。主要是炉墙砌砖的胀缝填料和作为隔热材料非工作衬，日本引进此技术后先后开发出了耐火纤维毡、湿法成型毡、纤维纸和其他制品。

1968 年以后，美国依然将耐火纤维毡作为炉墙绝热材料，在用作炉墙工作层时取得了意想不到的效果，这时才认识到作为热面耐火材料又达到了节能效果，因此，耐火纤维炉衬在国际上得到了迅速普及和推广。

1973 年世界发生石油危机后，耐火纤维在工业节能中所起

的作用愈来愈受到人们的重视，其产量、品种与日俱增，用途越来越广泛。1969年，全世界的耐火纤维的产量仅1万t，而1979年已经达到了4.3万t；1966年，欧洲耐火纤维的产量还不足1000t，10年后增长到1.08万t；日本耐火纤维的产量近年来以32%~50%的速度增长，1982年的产量就达到了2万t，目前全世界耐火纤维年生产的总产量已经超过30万t。

目前，所生产和使用的耐火纤维基本上是硅酸铝基的陶瓷纤维。最初陶瓷纤维都是用高岭土之类的天然原料制造的，这种原料的 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量为40%~45%。国内最初的原料为焦宝石，其 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 在35%左右，喷出的纤维棉不是纯白色。近十年陶瓷纤维的主要原料采用了煤矸石系的高岭土，喷吹出来的纤维棉为纯白色，柔性也得到了提高。其理化指标见表1-1和表1-2。

表 1-1 煤矸石系的高岭土原矿 (%)

| 化学<br>成分 | $\text{SiO}_2$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{TiO}_2$ | $\text{CaO}$ | $\text{MgO}$  | $\text{K}_2\text{O}$ | $\text{Na}_2\text{O}$ | 烧失量     |
|----------|----------------|-------------------------|-------------------------|----------------|--------------|---------------|----------------------|-----------------------|---------|
|          | 43.5 ~<br>45   | 37.4 ~<br>39            | 0.33 ~<br>0.36          | 0.2 ~<br>0.3   | 0.1 ~<br>0.2 | 0.1 ~<br>0.14 | 0 ~<br>0.2           | 0.02 ~<br>0.1         | 15 ~ 16 |

表 1-2 煤矸石系的高岭土熟料

| 项 目 | $\text{SiO}_2/\%$ | $\text{Al}_2\text{O}_3/\%$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3/\%$ | 主晶莫来石相<br>/% | 耐火度<br>/℃   | 密度<br>/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ | 烧失量  |
|-----|-------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|-------------|-----------------------------------------|------|
|     | 52.7 ~<br>54.2    | 44.7 ~<br>46.8             | <0.35                      | $\geq 65$    | $\geq 1770$ | 2.5 ~<br>2.6                            | <0.2 |

由于耐火纤维使用温度和高温下抗收缩性能随着 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量增加而提高，开始时人们改用配合料的方法加大 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量，但是高温熔融工艺限制了这种方法。当原料中 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量达到60%以上时，由于配合料熔体黏度的温度系数太高，也就是说在高温下熔体黏度太低，纤维丝无法形成。因此说，高温熔融物应有适当的黏度和较小的表面张力。耐火纤维的制造与岩棉、矿渣棉不同，它的熔融温度远大于岩棉和矿渣棉，黏度的温度系数也远远

大于它们。耐火纤维熔融纤维化工艺中， $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  的最大比值一般限制在 60/40 以下，这主要是熔融物表面形成的张力所要求的。例如，纯氧化铝高温熔融物在喷吹时无法形成纤维，形成的是氧化铝气泡或者小颗粒球。熔融法生产的耐火纤维，其  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量在 60% 以下，目前国内企业控制在 56% 左右。

从图 1-1 的  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{SiO}_2$  二元相图上可以看出，耐火纤维的耐火度可通过增加  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的含量得到改善。随着  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量的增加，固体熔化的液相线提高，在  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量达到 72% 之前，即使  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量增加，固相线始终是水平的保持在 1546℃ 以下，而固相和液相共存区域在不断地扩大。当  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量达到 72% 并超过时，固相线突然从 1546℃ 上升到 1912℃，这说明  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量为 72% 及 72% 以上的耐火纤维从固相变为液相的温度大大提高。也就是说，耐火纤维的使用温度得到提高。从图 1-1 可以看到， $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量超过 72%，耐火纤维熔点提高得比较大，这是采用溶胶工艺制取晶体纤维的一个特征。因此将  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量提高到 72%

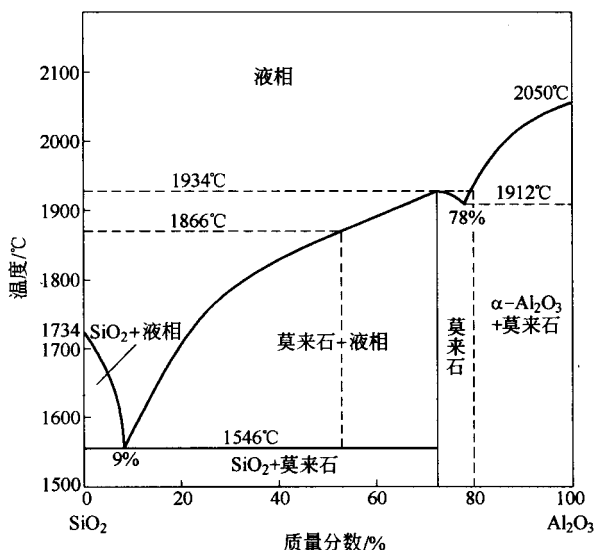


图 1-1 硅酸铝耐火纤维  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{SiO}_2$  二元相图

以上的氧化铝纤维列入了晶体纤维的范畴。

这种氧化铝纤维是一种多晶氧化物纤维，它区别于单晶纤维（即只含一种晶质，纤维杆内晶粒结晶时向同一方向生长，纤维长径比很小）及玻璃质纤维（如玻璃纤维、岩棉、矿渣棉和陶瓷纤维等），它的晶粒比较小，在高温下晶相存在一系列复杂的转变。

多晶纤维出现在 20 世纪 50 年代，并经历了很长的发展时期，以规模生产多晶氧化铝纤维则是在 20 世纪 70 年代。工业发达的国家如美国、英国、德国和日本都投入了很大力量研究开发这种纤维。在这方面居于领先地位的一些公司有：英国的卜内门公司（即 I. C. I 公司）、德国的拜耳公司（Farbentabriken Bayer AG）、美国石油公司（Univeral Oil）、美国联合碳化物公司（Union Carbide Corp）、美国孟山杜公司（Monsanto Co.）、日本电气化学公司、日本住友化学公司等。

氧化铝纤维实际应用是在 1975 年，英国帝国化学公司以“蓝宝石”纤维名称在市场上推广销售。它销售的制品仅有“单毡”的块状制品，这种制品可直接应用到炉墙工作层（当时的安装方法仅仅限于炉内衬贴面）。为了提高这种制品的强度，将“蓝宝石”氧化铝纤维与玻璃态耐火纤维棉混纺制出耐高温产品，由于恰巧遇到全世界石油危机，为达到炉窑节能降耗这种产品得到广泛应用，该产品也成为了使用温度超过 1250℃ 工业炉窑普遍使用的炉衬材料。

## 1.1 耐火纤维制取工艺

### 1.1.1 耐火纤维的分类

耐火纤维现已广泛应用于各行各业，根据使用要求的不同，产品的物理和化学性能及安装方法也千差万别。其产品分类如下：按材质可分为标准型（1260 型）、含锆型（1425 型）、含铬型（1425 型）和多晶氧化铝型（1600 型）。按形态可分为纤维