

· 915788

耐火纤维生产与应用

丁 力 周育林 编著



上海科学技术出版社

耐火纤维生产与应用

丁 力 周育林 编著

上海科学技术出版社

耐火纤维生产与应用

丁 力 周育林 编著

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 上海东方印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 8.375 字数 180,000

1990年4月第1版 1990年4月第1次印刷

印数: 1—1,000

ISBN 7-5323-1764 1/TQ 41

定价: 4.40元

江苏省泰兴县耐火纤维厂

耐火纤维是一种新型轻质的耐火保温材料，目前已在冶金、石油、化工、电子、宇航、国防等工业大量应用，为节约能源开辟了广阔的道路。

我厂是江苏省生产耐火纤维的专业性工厂，产品有普通硅酸铝纤维、高铝纤维、含铬纤维、含锆纤维、晶体纤维五大系列100多个品种，经国家耐火材料监督检测中心测试，各项指标均达国内先进水平。

本厂产品选料精良，工艺先进，品种齐全，价格合理，一流的产品，一流的服务，保您称心如意。



请认准“泰威”牌商标



厂址：江苏省泰兴县根思路69号

邮政编码：225401

电话：2118 3341 电报：9073

开户行：县建行 帐号：263076

70057/04

江苏省泰兴县耐火纤维厂

江苏省泰兴县耐火纤维厂生产的新型节能保温材料——硅酸铝纤维岩棉复合保温管壳，是上海经济区建材情报协作网首批推广的建材科技新成果，填补了国内保温材料生产的一项空白。该产品将两种纤维按照不同的使用温度，配以不同的厚度比例有机地复合为一体，具有导热系数低、价格低廉、不刺痒、不裂缝等特点，广泛应用于 600℃ 以内各种热力管道保温，节能效果显著。

该厂还生产各种高温粘结剂、节能涂料、铝箔复合材料、压敏胶带等，“泰威”牌系列耐火保温材料品种齐全，应有尽有。



请认准“泰威”牌商标

厂址：江苏省泰兴县根思路 69 号

电话：2118 3341 电报挂号：9073

联系人：徐宇赤

前 言

耐火纤维是一种新型的轻质节能保温材料。由于具有导热系数小、密度*低、抗热震、蓄热少等特点,使其在工业炉窑上的应用日益广泛,被喻为第三代耐火材料。国内外应用耐火纤维的实践证明,采用耐火纤维作为保温绝热材料,连续式炉窑一般可节能5~8%,间歇式炉窑一般节能15~30%,最高可达66.67%。由于耐火纤维蓄热量极小,采用耐火纤维作为工业炉窑内衬,还可以缩短炉窑升温 and 降温时间,提高设备利用率,实现间接节能。

近年来,随着人类节能意识的不断增强,世界各国都普遍加强了耐火纤维的生产与应用。我国的耐火纤维工业虽起步较晚,但发展速度却高于美国、苏联和日本。1971年我国首次生产耐火纤维,1981年产量超过1228吨,1984年的产量大于4690吨,其增长速度为100%。我国已经掌握电阻炉连续连续成纤、干法针刺制毡的生产技术,并且成功地研制出72% Al_2O_3 、80% Al_2O_3 和 95% Al_2O_3 结晶质耐火纤维,使我国在这一领域的研究达到世界先进水平。

在应用方面,冶金部专门成立了以马鞍山钢铁设计研究院为组长单位的耐火纤维推广组,“六五”期间共节约标准煤25.4万吨。今后,我国将重点在1300℃以上的高温炉窑上推广应用耐火纤维。属于这个范围的轧钢加热炉全国总共有

* 指耐火纤维制品的密度,即以前习称的“容重”,下同。

458 座、均热炉 336 座；机械行业有电瓷炉 600 多座、加热炉 200 多台；另外，全国还拥有高温实验电炉 15000 多台，应用耐火纤维的潜力相当大。

作者鉴于目前国内尚缺乏全面系统介绍耐火纤维生产与应用技术的专门书籍，力求在总结实践经验的基础上，借鉴于国内外最新成就，整理成一本熔知识介绍、生产与应用手册为一体的专门书籍。本书共分 10 章及 3 篇附录，系统地介绍了耐火纤维的发展历史、耐火纤维分类和耐火纤维的各种特性及用途；有关各种耐火纤维坯料及制品的生产技术、工艺设备和参数，本书力求作全面地总结与介绍，并努力反映当今世界的最新成就。对耐火纤维炉衬的设计计算及各种工业炉窑应用耐火纤维的专门技术，分别以公式、计算机程序和实例的形式加以描述，并且推荐了各种粘结剂、锚固件和涂料的选择方法。该书是从事节能、耐火材料、炉窑设计与施工工作的技术人员、工人和干部的必备手册，亦可作为大、专院校有关专业师生的教材或教学参考书。

由于耐火纤维生产与应用技术仍处在继续发展之中，而这门新兴学科所涉及的领域又十分广阔，加上作者才学有限，书中定有错误和不妥之处，恳望读者批评指正。

编著者

1988 年 8 月

目 录

第一章 耐火纤维的基本知识	1
§ 1 概述.....	1
§ 2 广义的耐火纤维与狭义的耐火纤维.....	2
§ 3 耐火纤维发展简史.....	4
§ 4 耐火纤维的节能机理.....	6
第二章 耐火纤维的特性与用途	9
§ 1 耐火纤维的特性.....	9
1.1 基本特性	9
1.2 导热系数	11
1.3 耐火特性	16
1.4 化学特性	18
1.5 电气特性	18
1.6 吸音特性	19
1.7 通气特性	19
1.8 压缩复原性能	21
1.9 蓄热量与热容量	21
1.10 黑度	22
§ 2 耐火纤维的用途.....	23
2.1 炉墙绝热材料	23
2.2 炉窑耐热构件	23
2.3 高温密封材料	24

2.4	高温绝缘材料	24
2.5	绝热零部件	24
2.6	耐火建筑用材和防火材料	25
2.7	耐火纤维用作复合材料	25
2.8	高温吸音材料	25
2.9	高温过滤材料	25
2.10	高温化学反应触媒载体	25
2.11	原子反应堆内衬材料	26
2.12	其他应用	26

第三章 耐火纤维的种类.....28

§ 1	耐火纤维坯料的种类.....	28
1.1	玻璃质耐火纤维	28
1.2	结晶质耐火纤维	34
§ 2	耐火纤维制品的种类.....	38
2.1	纤维块	38
2.2	耐火纤维毡	38
2.3	耐火纤维毡	39
2.4	耐火纤维板	41
2.5	耐火纤维预制组件	42
2.6	耐火纤维湿毡	43
2.7	耐火纤维纸	43
2.8	耐火纤维异形制品	45
2.9	耐火纤维编织制品	45
2.10	耐火纤维不定形材料	46
2.11	耐火纤维-矿棉(岩棉)复合制品	46

第四章 耐火纤维坯料的生产.....49

§ 1	熔融硅酸铝纤维坯料的生产.....	49
-----	-------------------	----

1.1	原料的熔融方法	49
1.2	成纤方法	53
1.3	各种熔融硅酸铝纤维的制造工艺	57
§ 2	结晶态耐火纤维坯料的生产	65
2.1	多晶莫来石纤维的生产	65
2.2	多晶氧化铝短纤维的生产	70
2.3	多晶氧化铝长纤维的生产	80
2.4	多晶氧化锆纤维的生产	83
§ 3	其他耐火纤维坯料的生产	86
3.1	熔融二氧化硅纤维	86
3.2	高硅质纤维	86
3.3	钛酸钾纤维	86
3.4	碳素纤维	87
第五章	耐火纤维制品的生产	91
§ 1	湿法生产	91
1.1	普通耐火纤维毡湿法生产工艺	91
1.2	纤维卷毡的湿法连续生产	97
1.3	湿法真空成型工艺与混合纤维生产	99
1.4	耐火纤维纸的生产	106
1.5	耐火纤维湿毡的制造工艺	109
§ 2	干法生产	109
2.1	干法生产的一般方法	109
2.2	几种典型的干法生产工艺	112
第六章	耐火纤维性能测定	120
§ 1	制品密度测定	120
§ 2	渣球含量测定	122
§ 3	加热线收缩率测定	124

§ 4 含水量测定	126
§ 5 抗风速性测定	127
§ 6 高温回弹率测试	128
§ 7 抗拉强度的测定	129
§ 8 导热系数的测定	130
8.1 量热器法测导热系数	130
8.2 热线法测导热系数	132
第七章 耐火纤维炉衬的热工计算	136
§ 1 耐火纤维炉衬的节能机理	136
§ 2 传热形式	141
§ 3 稳定态传热计算	144
§ 4 非稳定态传热计算	151
§ 5 耐火纤维炉衬的最优化设计	167
第八章 耐火纤维炉衬结构设计	173
§ 1 层铺炉衬	173
§ 2 堆砌炉衬	180
§ 3 模块炉衬	181
§ 4 贴面炉衬	183
§ 5 绝热板炉衬	184
§ 6 喷涂炉衬	185
§ 7 涂抹炉衬	187
第九章 耐火纤维炉衬的施工与维护	190
§ 1 炉衬施工	190
§ 2 锚固件和粘结剂的选用	196
§ 3 炉衬修补	201

§ 4 炉衬维护	203
第十章 耐火纤维在工业炉窑上的应用	208
§ 1 加热炉	208
§ 2 均热炉	218
§ 3 锻造炉	219
§ 4 箱式电炉	221
§ 5 热处理炉	225
§ 6 铝、铜熔炼保温炉	228
§ 7 陶瓷烧成炉	230
§ 8 隧道窑台车绝热	231
§ 9 石油加热炉、裂解炉	233
§ 10 其他窑炉	234
附录 I 普通硅酸铝耐火纤维技术标准	238
附录 II 普通硅酸铝耐火纤维应用规范	242
附录 III 耐火纤维炉衬结构与散热量及蓄热量的关系	251

第 一 章

耐火纤维的基本知识

§ 1 概 述

耐火纤维是一种新型耐高温的柔软而富有弹性的纤维状材料。它实际上是一种耐高温的“棉花”，是一种由耐热纤维将空气高度分割的气-固混合物。耐火纤维与岩棉、矿渣棉及玻璃纤维一样，都可作为保温隔热材料，但耐火纤维的耐热温度远高于岩棉、矿渣棉和玻璃纤维(见表 1-1)。因此，耐火纤维能广泛应用于冶金、化工、机械、建材、造船、航空航天和科学实践等国民经济的各个部门。

表 1-1 几种矿物纤维的使用温度

玻 璃 纤 维	300~350℃
矿 渣 棉	350~600℃
岩 棉	450~700℃
耐 火 纤 维	700~1700℃

与硬质耐火材料相比，耐火纤维的主要优点是：

1. 导热系数大约为轻质耐火砖的 $1/5 \sim 1/3$ ^[1]，且具有良好的抗热震性能；
2. 制品密度只是轻质耐火砖的 $1/10 \sim 1/3$ ，采用耐火纤维炉衬能降低炉窑基础和钢结构的基建费用，一般能节约钢材 $20 \sim 50\%$ ^[2]；
3. 蓄热少、升温快，能提高炉窑利用率和节能，对间隙式

炉窑效果尤为显著;

4. 安装方便,节省施工时间和费用;

5. 能吸收声音、降低噪音。

国内外应用实践表明,采用耐火纤维作为保温隔热材料,连续式炉窑一般节能5~8%,间隙式炉窑通常节能15~30%,最高节能达66%^[3]。近年来,随着能源价格的上涨,各国都普遍加强了耐火纤维的生产与应用。世界耐火纤维产量增长情况见图1-1^[4]。

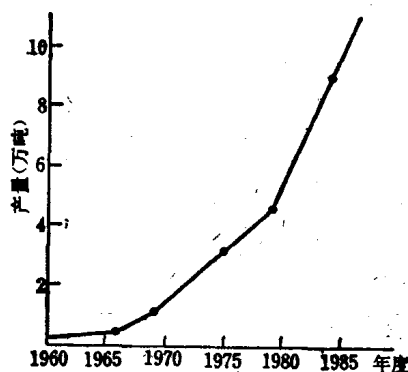


图 1-1 世界耐火纤维产量增长情况

我国十分重视这项新技术的开发利用。国家经委继“六五”期间将耐火纤维列为国家重点推广的新技术项目之后,又将耐火纤维列为“七五”期间的国家重点推广项目,我国将在冶金、化工、机械、建材、造船、航空等各行各业的工业炉窑上大面积地推广这种新型的保温节能材料。

§ 2 广义的耐火纤维与狭义的耐火纤维

广义的耐火纤维(Refractory Fiber)是指包括氧化铝纤

维、氧化硅纤维、硅酸铝纤维、氧化锆纤维、炭化物纤维、硼化物纤维和炭素纤维在内的一切耐热温度在 700°C 以上的无机纤维材料的总称。狭义的耐火纤维不包含炭化物纤维、硼化物纤维和炭素纤维。通常人们也称耐火纤维为“陶瓷纤维”，严格地讲，这是不确切的。实际上，陶瓷纤维(Ceramic Fiber)仅指由熔融法生产的硅酸铝系纤维，它属于耐火纤维的一部分，而不是所有耐火纤维的总称。但在通常所用的耐火纤维中，绝大多数是熔融法生产的硅酸铝系纤维(陶瓷纤维)，因此，有人习惯上将耐火纤维称为陶瓷纤维也不足为奇。

另一方面，有的学者认为陶瓷纤维也可分为广义的和狭义的，狭义的陶瓷纤维仅指由熔融法生产的硅酸铝系耐火纤维，而广义的陶瓷纤维则包括氧化铝纤维、氧化硅纤维、硅酸铝纤维和氧化锆纤维。从这个意义上说，广义的陶瓷纤维就是狭义的耐火纤维(图 1-2)。

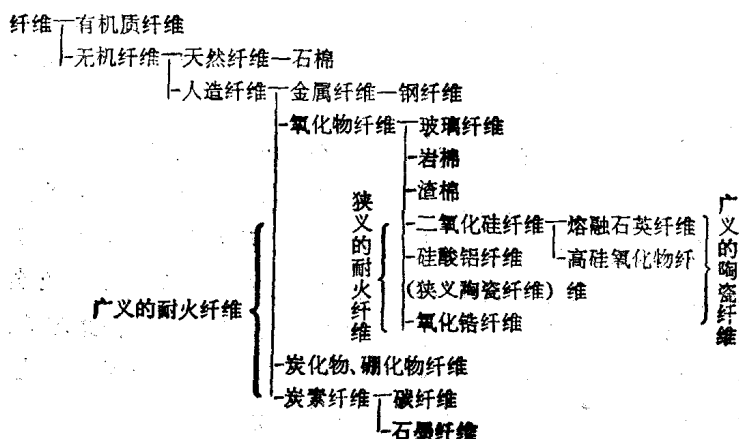


图 1-2 耐火纤维的范畴

§ 3 耐火纤维发展简史

据文献记载,人类大约在 1100 年以前就能制造矿物纤维,并用它来加工成纺织物^[6]。现代耐火纤维的发展是从本世纪 40 年代开始的。1942 年,美国 B&W 公司(The Babcock & Wilcox Company)的中心研究所在熔化高岭土时,一名技师偶然将压缩空气喷口对到正在滴落的高岭土熔体上,意外地得到了一种形似石棉的纤维,当时称为“高岭棉”。这种“高岭棉”就是最早的耐火纤维。由于这种纤维耐热温度远高于石棉和玻璃纤维等无机纤维材料,同时具有良好的柔韧性和回弹性,因而几年之后便投入了工业规模生产。

五十年代,美国金刚砂公司(The Carborundum Company)、巴布考克·维尔考克斯公司(The Babcock & Wilcox Company)和琼斯-曼维尔公司(Johns-Manville Corporation)正式生产耐火纤维。当时生产的散状耐火纤维,主要用作工业炉窑炉壁膨胀缝的充填料,由于价格昂贵,所以发展缓慢。

六十年代初,美国发展了耐火纤维制品制造工艺,用耐火纤维制成了毯、毡、板、纸、绳、真空成型异形件等制品,并将这些技术传入欧洲、日本等国家和地区。耐火纤维制品的研制成功,扩大了耐火纤维材料的使用范围,使它不仅可用作隔热材料、膨胀缝充填材料,而且可用作高温衬垫材料、密封材料、触媒载体等,从而确定了耐火纤维作为工业材料的地位。这时,由于工艺改进,产量增大,制造成本也随之降低。

六十年代中期,美、英等国开始采用耐火纤维毯、毡代替传统的耐火砖,用作金属热处理炉、石油加热炉及陶瓷素烧窑

等工业窑炉的内衬材料,取得了可观的节能效果,引起了人们的普遍重视。从此,耐火纤维及其制品的品种也有了很大发展,陆续制造出高纯硅酸铝纤维、含铬硅酸铝纤维、高铝纤维、多晶莫来石纤维、多晶氧化铝纤维及多晶氧化锆纤维等。

七十年代以来,多晶氧化铝纤维得到迅速地发展。1970年,英国帝国化学工业公司(Imperial Chemical Industries Ltd)研制成多晶氧化铝纤维,1974年投入半工业性生产。1979年底,帝国化学工业公司在蒙德分部投资700万英镑,建成一条年产500~700吨的工业生产线^[7]。

我国从七十年代初开始以焦宝石为原料试生产普通硅酸铝纤维,并且于1971年底首次将国产耐火纤维用于工业炉窑。经过十几年的努力,我国在基础理论研究、产品研制和推广应用方面都取得巨大成就。我国目前已有耐火纤维生产厂家约200个,其中江苏50余家,浙江40余家,山东30余家,边远省区新疆、贵州等地也建立了不同规模的工厂。表1-2为1970~1983年我国重点耐火纤维厂产量统计。1984年以后,我国先后从美国O E公司(Combustion Engineering Company),B&W公司和Ferro公司引进四条连熔连续成纤、针刺干法制毡耐火纤维生产线,并在江苏、湖北等地组织了消化移植。

表1-2^[8] 国内重点耐火纤维厂1970~1983年产量统计

年 度	1970	1975	1979	1981	1983
产 量 (t)	2~5	80~100	540	3000	4700

我国已能批量生产普通硅酸铝纤维、高纯硅酸铝纤维、高铝纤维、含铬硅酸铝纤维、多晶莫来石纤维、多晶氧化铝纤维和相应的混合纤维。特别是95%Al₂O₃多晶纤维,目前世界