

耐火纤维应用技术文集



冶金工业出版社

TF065.1

5

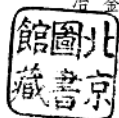
3

耐火纤维应用技术文集

马鞍山钢铁设计研究院 主编

4002 01

冶金工业出版社



B 43.75

耐火纤维应用技术文集
马鞍山钢铁设计研究院 主编

•

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街原机械部北巷39号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

•

850×1168 1/32 印张 8 字数 212 千字

1985年7月第一版 1985年7月第一次印刷

印数00,001~4,000册

统一书号: 15062·4333 定价1.85元

前 言

耐火纤维的应用是国家重点推广的四十项新技术之一。耐火纤维在千台以上工业炉窑中的应用实践表明：它节能效果显著，有利于炉窑产量、产品质量的提高。1982年6月，国家经委、国家科委在洛阳联合召开了“全国耐火纤维推广应用经验交流会”。在这次会议之后，冶金部有领导、有组织、有计划地在全国冶金系统各生产环节工业炉窑、高温管道大力推广应用耐火纤维，并组织成立了耐火纤维应用技术试验推广组，以协同抓好冶金系统耐火纤维的推广工作；制定“普通硅酸铝耐火纤维应用规范”；研究、设计耐火纤维示范炉；编辑出版《耐火纤维通讯》刊物，为在冶金炉窑中进一步推广应用耐火纤维新技术创造了条件。几年来，冶金系统耐火纤维新技术的推广应用工作取得了显著的成绩。鞍山钢铁公司等12个冶金企业，1984年底应用耐火纤维炉窑总数达到1172台，年节约标煤7.5万吨。应用耐火纤维节能、增产及炉窑维修费等综合经济效益，1984年达2520万元。耐火纤维应用范围，从最初的热处理炉推广到烧结、焦化、耐火、炼铁、炼钢、轧钢及机修等各冶金生产环节的工业炉窑，并出现了一批高效、省能、轻型纤维炉窑。应用范围的扩大，推进了耐火纤维材质和应用技术、理论的发展。各单位结合应用实践创造了许多新结构、新方法。为总结交流经验，促进耐火纤维新技术的发展，不断扩大应用耐火纤维的经济效益，冶金部委托马鞍山钢铁设计研究院组织编写了这本《耐火纤维应用技术》。

本书介绍了冶金各生产环节应用耐火纤维的工业炉窑结构，应用方法和经济效益；论述了耐火纤维应用技术、热损毁机理及国外耐火纤维的发展情况，可供各单位在进一步组织耐火纤维新

技术的推广中参考。学习本书中介绍的有关经验时，应结合本单位的具体情况，灵活运用。要求各单位把在实践中创造的新经验及时报冶金部耐火纤维应用技术试验推广组，以便组织交流、推广。

冶金部科技司
1985年2月

目 录

1. 振奋精神, 大力协同, 把耐火纤维推广应用工作
提高到一个新阶段……冶金部科技司副司长 那宝魁 (1)
2. 硅酸铝系非晶质耐火纤维热退化问题的研究
……冶金部洛阳耐火材料研究所 郑安忠、宋树森 (8)
3. 硅酸铝耐火纤维结构与性能分析
……武汉钢铁学院 汪厚植、刘新敏等 (27)
4. 耐火纤维应用技术的理论与实践
……马鞍山钢铁设计研究院 崔之开 (45)
5. 稳定态炉衬设计
——实用化与最优化
……北京钢铁学院 陈洁珍、曹冠之 (59)
6. 间断式全纤维炉衬炉子的不稳定态传热计算探讨
……马鞍山钢铁设计研究院 李家庆 (79)
7. 高温陶瓷纤维的应用……鞍山钢铁公司 岑佩莉 (101)
8. 全纤维炉衬高温罩式炉
……齐齐哈尔钢厂 陆旭、冯振山等 (111)
9. 耐火纤维-岩棉复合炉衬——电热罩式退火炉
……太原钢铁公司 王思源、杨全青等 (119)
10. 大型全纤维炉衬罩式炉
……鞍山钢铁公司半连轧厂、耐火材料厂 (127)
11. A60 高铝耐火纤维在连续加热炉上的应用
……鞍山钢铁公司第二薄板厂、耐火材料 (133)
12. 耐火纤维在车轮热处理炉上的应用
……马鞍山钢铁公司 王永镛 (140)
13. 耐火纤维在硅钢辊底式炉上的应用
……武汉钢铁公司 甘奇鸿、夏振亚等 (147)

14. 小型轧钢加热炉炉筋水管应用耐火纤维包扎
.....重庆特殊钢厂 周元清、齐钧(157)
15. 耐火纤维在炼焦炉上的应用...武汉钢铁公司 黄坤池(162)
16. 焦炉蓄热室封墙隔热保温...攀枝花钢铁公司 毛南森(172)
17. 40米²大钟退火炉全耐火纤维毯炉盖
.....武汉钢铁公司 董耀庭、郭金华(178)
18. 热风炉使用耐火纤维绝热材料
.....苏州钢铁厂 丁鸿飞、黄襄汉(187)
19. 耐火纤维在武钢高炉热风系统的应用
.....武汉钢铁公司 刘志斌、徐扬伦(193)
20. 国外陶瓷纤维在钢铁工业中的应用
.....鞍山焦化耐火设计研究院 霍素真(204)
21. 耐火纤维工艺及其应用技术的发展动向
.....冶金部洛阳耐火材料研究所 何林朴(222)
22. 附录.....(240)

1. 振奋精神，大力协同，把耐火纤维推广应用工作提高到一个新阶段

——冶金部科技司副司长那宝魁在
1984年7月冶金部耐火纤维应用技术
交流会上的总结

同志们：

从十七日开始，历时五天的冶金部耐火纤维应用技术交流会，现在即将结束了。

参加这次大会的有来自全国各省冶金厅（局、冶金公司）、各重点钢铁企业、各耐火生产厂和科研、设计、大专院校以及兄弟部委共90个单位，184位代表，提交会议交流的资料约65份。

在会议过程中，有35个单位在大会或分组会上介绍、交流了推广耐火纤维先进经验；表彰了耐火纤维推广应用先进单位、先进个人。会议讨论了1984年计划和今后的设想；代表们参观了首都钢铁公司（以下简称首钢）耐火材料厂从美国CE公司引进的耐火纤维生产线；会议还举办了小型耐火纤维展览。

这次会议，耐火纤维的科研、设计、生产厂及用户代表济济一堂，畅所欲言，气氛热烈，对推广应用节能新材料提出了很好的意见和建议。这次会议是推广应用耐火纤维先进事迹和新鲜经验的总结交流会，是进一步抓好新型节能材料的再动员会，是使耐火纤维的科研、生产、应用向深度和广度发展的促进会。会议是成功的，达到了预期目的。

一、会议的主要收获

（1）增强了推广应用耐火纤维的紧迫感，提高了对节能重

大意义的认识。许多代表反映，冶金工业是耗能大户，到本世纪末钢翻两番，能源不可能大量增加。能源问题是一个很重要、很现实的问题。对于这个问题必须有紧迫感，不能掉以轻心。因此我们必须向新技术要能源，而耐火纤维就是一项节能效益十分显著的新技术，必须抓紧抓好，力求在冶金工业炉窑上大力采用。必须把应用耐火纤维做为一项节能的战略措施持续不断地抓下去，抓出更大的成效来。

(2) 进一步统一了思想认识，明确了工作方向。会议一致认为，经过几年推广应用的实践表明：在1000℃以下的工业炉窑上应用普通硅酸铝耐火纤维，工艺成熟，实际效果好，应普遍推广应用。同时，还明确了中、高档耐火纤维是今后开发研究和推广应用的重点。因为冶炼、锻轧等炉窑温度高、耗能大，约占冶金企业炉窑耗能70%左右，是工业炉窑节能的重要环节，是提高经济效益的关键。

(3) 会议上，许多单位为进一步推广应用耐火纤维的工作介绍了他们的经验，这些经验的共同特点是：

- 1) 领导重视，有规划，有专门的班子。
- 2) 科研、设计、使用互相结合。
- 3) 采取承包制，有投资、有计划、有检查。

二、推广应用耐火纤维的主要成绩和做法

1982年6月，国家经委、国家科委在洛阳召开了全国耐火纤维推广应用经验交流会后，冶金部有领导、有组织、有计划地在全国冶金系统各生产环节工业炉窑、高温管道大力进行推广应用耐火纤维。从1983年初我们组织成立了以马鞍山钢铁设计研究院为组长单位、洛阳耐火材料研究所为副组长单位的耐火纤维技术应用推广组，以协同抓冶金系统耐火纤维的推广工作。1983年6月，冶金部组织制订了普通硅酸铝耐火纤维的应用规范，研究与设计了示范炉，并办了《耐火纤维通讯》刊物，为在冶金炉窑中进一步推广耐火纤维创造了条件。由于抓了这些工作，加上各单

位的协同努力，几年来耐火纤维的推广应用工作取得了显著成绩。据不完全统计，截止1984年4月份，鞍钢、武钢、马钢、重庆特钢厂、大连钢厂等12个冶金企业，在811座大型工业炉窑上已成功地推广应用了普通硅酸铝耐火纤维，年节约标准煤3.5万吨以上。预计到今年年底，耐火纤维可用于1000座工业炉窑上，年节煤可达5万吨以上。

几年来，耐火纤维推广应用工作有以下几点体会：

(1) 组织多部门、多学科联合攻关。耐火纤维是一种新型节能材料，将它应用于生产实践，科学技术问题涉及的面比较广，需要做大量细致的工作。为了充分发挥各单位的优势，我们先后组织了有大专院校、科研设计部门，耐火纤维生产厂及推广应用单位等参加的联合应用科技攻关，取得了较好的效果。在这次会议上，洛阳耐火材料研究所郑安忠同志介绍了即“硅酸铝系非晶质耐火纤维热退化问题的研究”。(论文摘要)他们对不同组成的硅酸铝系耐火纤维进行了差热分析、矿相变化、晶粒生长、强度变化，以及微观形貌结构等方面的研究。他们对硅酸铝系耐火纤维在高温下使用损坏的原因进行了研究，并得出了结论，认为主要是晶粒长大，而且国产硅酸铝耐火纤维的长期使用温度不会超过 1200°C ，其中普通硅酸铝耐火纤维为 1000°C ，高纯硅酸铝纤维为 1100°C ，高铝纤维和含铬硅酸铝纤维将在 $1150\sim 1200^{\circ}\text{C}$ 之间。这一研究是十分有意义的，它为我们正确处理使用温度和耐火纤维品种之间的关系提供了科学的依据。武汉钢铁学院从结晶动力学和断裂力学角度研究了显微结构变化与性能的关系，也认为纤维变质主要发生在由晶体长大所引起强度连续下降的过程中，结构与性能已突变，温度也在 980°C 左右。这些研究都说明普通硅酸铝纤维的使用温度能在 1000°C 以下。在这次会议上我们还看到了有关最优炉衬设计的研究，这是正确应用耐火纤维的又一有意义的成果。北京钢铁学院针对连续操作炉窑提出了稳定态炉衬设计的优化问题；马鞍山钢铁设计院针对间歇操作炉窑提出了不稳定态传热计算问题。无疑这些成果对我们应用耐

火纤维设计工业炉窑都具有很好的参考价值。正是由于这方面的原因，我们才组织了大专院校、科研设计院所和生产、使用单位来共同攻关、联合推广。例如齐齐哈尔钢厂在罩式退火炉上应用耐火纤维，就有北京钢铁学院负责炉子改造前后的热平衡测试与计算。洛阳耐火材料研究所负责全纤维炉衬结构设计及现场施工指导。首钢耐火材料厂负责提供合格的耐火纤维制品。经过协同努力，在较短的时间内实现了全纤维 $1050^{\circ}\text{C}\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 退火炉的成功应用。

马鞍山钢铁公司、马鞍山钢铁设计院等科研设计单位共同协作，从1978年开始就有计划地在各类型炉窑上推广应用耐火纤维新技术，应用耐火纤维工业炉窑的总数已达170座，占公司工业炉窑总数74%，是冶金系统推广应用耐火纤维经济效益显著的单位之一。

实践证明，组织多部门、多学科的攻关，是推广应用耐火纤维的有效办法之一。协调好了，可以达到事半功倍的效果。

(2) 坚持改革的精神，以承包合同制的形式组织推广耐火纤维新材料。1983年冶金部与以马鞍山钢铁设计院、洛阳耐火材料研究所为牵头单位的耐火纤维推广小组签订合同，并拨出专款25万元，下达指令性指标，要求到1984年底在1000座工业炉窑上推广应用。到84年四月份止，采用耐火纤维大型工业炉窑已从1983年的739座增加到811座，增加了72座，到1984年底推广应用的耐火纤维工业炉窑将比去年增加261座。

又如，首钢耐火材料厂在冶金部军工办协调下，承包了改造海军装技部的19条舰船的合同协议。到目前已有2条改造完毕，节能效果和降温效能都很好。

鞍山钢铁公司于1982年9月给半连轧厂下达任务，在公司科技部主持下，半连轧厂与鞍钢耐火厂签订合同改造13米长罩式炉5台，已改完4台。

(3) 抓典型，搞“示范”，促进耐火纤维的广泛应用。为了增长对耐火纤维新材料应用的知识，冶金部先后在太钢、齐钢

组织应用全纤维炉衬的“示范”施工。同时还在北京特殊钢厂组织马鞍山钢铁设计院等单位进行高效、节能型耐火纤维炉衬的“示范”工作。这几座“示范”炉中，已投产的在生产中显示了高效节能的优越性。如齐钢的那座全纤维炉于1984年初建成投产，每年可节约162吨标准煤。太钢的那座耐火纤维罩式退火炉于1983年底建成，取得了每年节约电费18336元、提高生产率7.4%的效果。

(4) 抓国外引进技术的消化移植，加强新技术、新工艺的信息工作，搞好技术咨询服务。首都钢铁公司耐火厂从美国引进CE耐火纤维毯生产线，最近与洛阳耐火材料研究所、鞍山焦化耐火设计研究院三方协调决定，联合移植这条生产线，同时，首都钢铁公司与洛阳耐火材料研究所商定，洛耐所将高档的多晶莫来石纤维、多晶氧化铝纤维转让给首钢，这些工作都有利于耐火纤维的应用与开发。此外，首钢还大搞技术服务，以扩大耐火纤维的应用，首钢耐火材料厂还与冶金、化工、机械、电子、军工、海军等109个用户建立了联系，几年来改造大小窑炉867台，应用耐火纤维1800多吨。今年为开发边远地区，应西藏火力发电厂邀请，派人到西藏服务2个月，介绍耐火纤维应用技术，协助用户设计施工。同时首钢耐火材料厂为耐火纤维打入国际市场，今年上半年向香港出口各种型号纤维制品7.4吨，并正在进行国际技术服务的尝试。事实证明：加强耐火纤维生产、工艺及应用等方面的信息工作，推进技术进步，搞好技术咨询服务，这些办法是扩大和提高耐火纤维应用与研究的有效途径。

三、奋发努力，把耐火纤维的推广应用 工作提高到一个新阶段

几年来，耐火纤维的应用和推广工作有很大成绩，但目前，工作中还存在不少问题，主要表现在：一是有些单位的领导同志对推广应用普通硅酸铝耐火纤维这项新技术不够重视，对这种行

之有效的节能材料认识不足，因而，工作抓得很不得力，显得很被动，他们对贯彻中央的节能方针和采用新技术，缺乏紧迫感。

二是一些企业对开发和应用耐火纤维技术还比较落后，不少企业还是土法上马，与国内先进企业，特别是与国外技术发达国家相比差距很大。另外，就冶金行业来说我们与机械、石油、化工等部门相比，也有很大差距。

为此，我们提出以下要求：

（1）各单位领导同志一定要充分重视推广应用耐火纤维工作，要亲自抓，要进一步提高认识，端正态度，要把这项工作列入节能规划和技术改造规划，要在人力、物力和经费上给予保证，对于所进行的项目要定期检查落实。

（2）各单位要进一步搞好耐火纤维推广应用工作的协调。凡签订了有关承包合同或协议的单位，一定要维护合同的严肃性，要认真去完成。科研、设计等单位，要面向生产单位，密切合作，切实抓好耐火纤维炉窑结构设计、施工、安装技术以及材质的研究。冶金部耐火纤维应用技术试验推广组，今后应侧重于耐火纤维及其应用技术的开发研究和总结交流改革方面的经验，这个组今后还要加强和充实，希望这个组继续为冶金部检查落实冶金系统耐火纤维的推广计划的实施，调查研究国内外情况，为部及时准确地提供技术信息。在条件成熟时，还可以探索新的组织形式，走向科研、设计、生产和使用联合体、行业开发中心或专业协会等更高一级的经济社团实体、有利于政企分开的改革。

鉴于我国耐火纤维生产设备、工艺、水平普遍还比较低的实际情况，我们要紧紧瞄准国际先进水平，狠抓技术进步，努力改善装备，挖掘潜力，不断提高耐火纤维的质量，降低成本，增加品种，满足国民经济各方面发展的需要。

（3）对于1000℃以下的工业炉窑节能改造所需的普通硅酸铝耐火纤维要批量生产，制定国家技术标准和应用规范。鞍钢等12个冶金企业，要在1984年完成冶金部下达的三项指令性任务，即应用耐火纤维炉窑数1000座；年节约标准煤5万吨；建成二台

“示范炉”。其它各冶金企业，要在3~5年内将可应用耐火纤维1000℃以下的炉窑全面采用这项新技术。各企业要按上述目标，制定和落实切实可行的规划，于1984年10月底以前报部。对于1000℃以上的工业炉窑所需的耐火纤维材料要积极组织企业、科研、设计、大专院校和耐火纤维生产厂联合研制，力求在2~3年内实现高档品质纤维、混合纤维小批量工业生产，为高温工业炉窑节能改造提供物质保证。

（4）进一步组织冶金各生产环节“示范炉”，通过总结鉴定、组织推广，做到成熟一个，推广一批，不断扩大耐火纤维应用范围，使纤维炉窑及其材质逐步实现标准化、定型化和系列化。

（5）继续表彰和奖励那些在新技术开发研究和推广应用工作中做出显著成绩的先进单位和先进个人，充分发挥他们的积极性，努力把推广应用工作抓紧抓好。

总之，各单位要领导重视，要有规划，要有一个专门的推广班子。讲科学、讲实效、联合攻关。一方面抓普及，一方面抓提高。相信这样抓下去，冶金工业的节能工作，将会出现一个新的局面。

2. 硅酸铝系非晶质耐火纤维热退化问题的研究

一、概 述

硅酸铝系非晶质耐火纤维是发展很快、已经在工业炉上得到广泛使用、节能效果和经济效益都非常显著的一类耐高温纤维^[1]。但是，这类纤维在使用时的受热过程中，纤维品质易发生劣化、严重者导致粉化、脱落，不能继续使用，即发生所谓的热退化。它直接与这类纤维的耐热性有密切联系，所谓耐热性就是指耐火纤维能承受的最高长期使用温度或者安全使用温度。国内外许多耐火纤维技术资料和产品说明都沿用公称耐热性或最高使用温度。而长期安全使用温度则远低于此值，并且至今尚缺公认的规定，这给耐火纤维材料品种的发展和材料的有效利用造成了困难。

不能正确评价耐火纤维材料的安全使用温度主要原因是对纤维在使用过程中，其品质劣化机理了解不够清楚。所以，一些发达国家很重视这方面的问题，并进行了许多研究工作^[2~13]。我们自八十年代初开始了这方面的研究^[14,15]。本文综合国内外试验成果，对硅酸铝系耐火纤维的热退化过程提出一些看法，并探讨了国产几种硅酸铝系纤维的长期安全使用温度。

二、差热分析研究结果

图2-1为国产普通硅酸铝纤维和含铬硅酸铝纤维的差热分析测定结果(加热速度为 $10^{\circ}\text{C}/\text{分}$)。图2-2是联邦德国1260型高纯硅酸铝纤维的差热分析^[2]。图2-3是日本高铝纤维差热分析结果^[3]。所有上述几种硅酸铝系纤维被加热到 980°C 附近都有较强的放热峰出现。 980°C 为莫来石的理论生成温度。实际上测试条件不

同会使这一温度有轻微波动。这种放热现象是原子由无序排列转变到有序排列而伴随能量释放的结果。温度继续升高再无其他放热峰出现。因此，该放热峰出现的温度应是纤维的莫来石析晶温度。从图2-1中还可以看出，含铬硅酸铝纤维的放热效应和其他几种硅酸铝系纤维的放热效应相同，说明加入 Cr_2O_3 对纤维的析晶温度没有影响。根据我们的试验， $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 从60/40到40/60的范围内，莫来石析晶都是这个温度，其他少量杂质的存在并无影响。

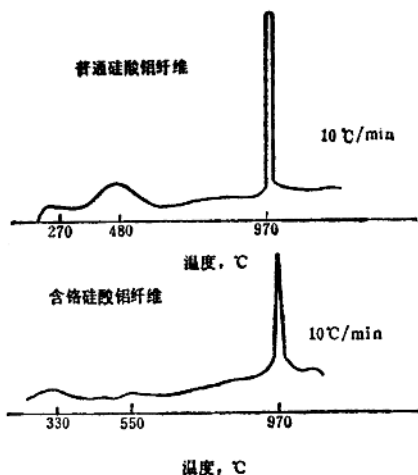


图 2-1 普通硅酸铝纤维和含铬硅酸铝纤维的差热分析

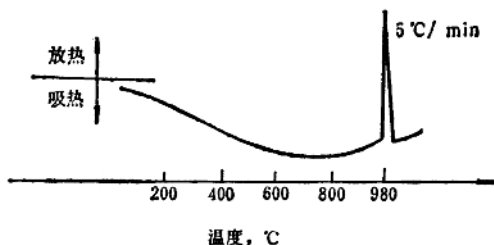


图 2-2 联邦德国1260型高纯硅酸铝纤维的差热分析

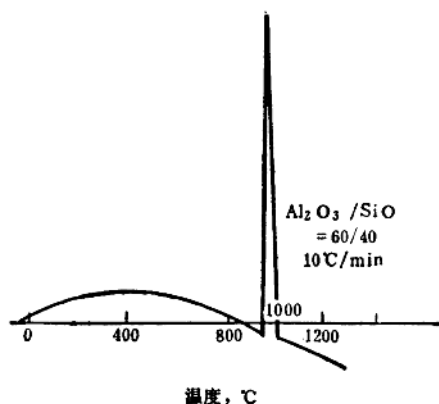


图 2-3 日本高铝纤维的差热分析

三、矿物相的变化

硅酸铝系非晶质耐火纤维在受热过程中产生析晶，有莫来石和方石英晶体析出，图2-4为苏联硅酸铝纤维莫来石和方石英析

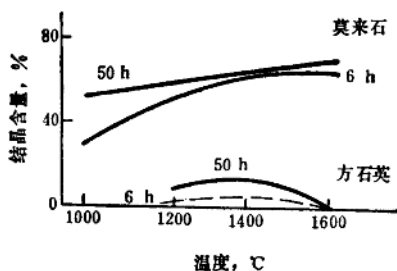


图 2-4 苏联硅酸铝纤维结晶量随温度的变化

晶量随温度的变化^[4]。纤维在1000~1600°C范围内加热6小时者莫来石含量随温度升高而增加。加热50小时者莫来石含量增加很少。图2-5是联邦德国1260型3种不同化学组成的高纯硅酸铝纤维的矿物相变化^[2]。图2-6是日本普通硅酸铝纤维和高铝纤维的矿物相变化^[5]。图2-7和图2-8是4种国产硅酸铝纤维分别在8小时