

高性能结构材料技术丛书

先进聚合物基复合材料技术

姜振华 等著



科学出版社

www.sciencep.com

内 容 简 介

本书是“高性能结构材料技术丛书”之一,主要介绍了国内科研工作者在新型复合材料领域科研项目中所取得的重大科研成果和国内外最新发展趋势和方向。内容涵盖了我国在石油和航空航天等国家重要支柱性产业中所急需的多种新型复合材料,并对这些新型复合材料的制备技术、生产工艺、制品应用及相应检测技术等进行了重点阐述。

本书可供材料科学与工程领域高等院校和科研院所的科研人员以及其他从事新型复合材料研究的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

先进聚合物基复合材料技术/姜振华等著. —北京:科学出版社, 2007
(高性能结构材料技术丛书)

ISBN 978-7-03-019861-7

I. 先… II. 姜… III. 高聚物-基质(生物学)-复合-材料
IV. TB333

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 135710 号

责任编辑:杨震 黄海 吴伶俐/责任校对:陈丽珠

责任印制:钱玉芬/封面设计:陈敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年9月第一版 开本:B5(720×1000)

2007年9月第一次印刷 印张:15 3/4

印数:1—2 500 字数:299 000

定价:50.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

“十五”国家 863 计划新材料技术领域
《高性能结构材料技术丛书》编委会

顾 问 (以姓氏汉语拼音字母为序)

杜善义 冯纪春 海锦涛 何天白 黄伯云
廖小罕 刘久贵 刘治国 乔金梁 劭力勤
王新林 吴以成 肖定全 许 京 殷庆瑞
郑燕康 周 廉

主 任 徐 坚

副主任 谢建新 李建保

编 委 (以姓氏汉语拼音字母为序)

卞曙光 丁文江 董 瀚 傅殿霞 傅正义
黄世兴 姜振华 李建保 刘 兵 瞿金平
田志凌 王琦安 谢建新 熊柏青 徐 坚
薛忠民 朱衍平 左 良

《高性能结构材料技术丛书》序

材料是人类赖以生存和发展的物质基础，也是社会现代化和高新技术发展的先导。高性能结构材料技术有力地支撑着现代交通运输、能源动力、资源环境、化工、建筑、航空航天、国防军工以及国家重大工程等领域的可持续发展，带动传统产业和支柱产业的升级改造与产品更新换代，促进包括新材料产业在内的高新技术产业的形成与发展。

“十五”期间，国家 863 计划新材料技术领域高性能结构材料技术主题紧密结合国民经济和社会发展重大需求，开展了战略性和前瞻性研究。研究内容主要包括高性能金属材料、先进陶瓷材料、高性能高分子材料、高性能低成本复合材料、先进建筑材料，以及先进制备、成形与加工技术等六个专题和研究开发环境（基地）建设。通过认真调研，制定战略规划，精心组织项目，严格管理规范，以及项目承担单位与研究人员的共同努力，突破了一批结构材料制备关键技术，产生了一批在国内外有较大影响、具有自主知识产权的新材料技术成果，在提升传统产业和支柱产业的国际竞争力，形成新的产业和新的经济增长点，培育具有开拓创新能力、能胜任国家重大攻关任务的新材料技术研发队伍，提高国家综合科技实力、巩固现代国防、保障重点工程建设、提高人民生活质量和促进社会可持续发展等方面，做出了重大贡献。

“十五”期间 863 计划高性能结构材料技术主题研究工作取得的主要成果包括：

申请专利 1412 项，其中发明专利 1195 项，国外发明专利 8 项，拟立的新材料技术标准和规范 10 项；

发表论著 5475 篇，主编或参与编写专著 30 部；

获得国家技术发明二等奖 4 项，国家科技进步二等奖 2 项，省、市科技进步奖一等奖 4 项、二等奖 3 项；

培养研究生 1845 名，一批中青年课题负责人成长为各个单位的学术带头人和技术骨干；

70% 以上的课题有企业参与，在 200 家以上企业进行了工程化和产业化，7 项课题进入产业化示范工程项目；新材料产值达到 100 亿元以上，使社会资源和间接经济效益超过 200 亿元。

为了总结、展现上述成果，推动相关技术的进一步发展和产业化，高性能结构材料技术主题专家组组织部分取得代表性研究成果的课题负责人，编辑出版了

《高性能结构材料技术丛书》，包括《先进钢铁材料》、《高性能变形镁合金及加工技术》、《镁合金科学与技术》、《先进聚合物基复合材料技术》、《先进陶瓷及无机非金属材料》、《高分子科学与工程》、《材料先进制备与成形加工技术》七个分册，是一件非常有意义的工作。希望这套丛书的出版，能为广大材料科技工作者提供有益的参考。

“十五”863计划新材料技术领域专家委员会主任

中南大学校长、教授

中国工程院院士

中国科协副主席

黄伯云

2006年10月

前 言

材料是人类社会赖以生存和发展的物质基础，是多数发明创造和技术进步的先导，是许多新技术得以实现的载体。因此，世界各国尤其是发达国家都把新材料的研发作为重要的战略任务，投入大量人力和财力，力争占领新材料领域的制高点。我国的“高技术研究发展计划”（即 863 计划）把新材料领域列为重点研究发展领域之一，其目的是为国家高新技术各相关领域提供关键新材料，并促进我国材料科技事业的发展。

现代科学技术的迅速发展，对新材料的需求日益旺盛，同时对新材料的性能也提出了更高的要求，从而带动了新材料向高性能化、复合化、功能化、智能化、结构功能一体化和低成本化的方向发展。在这一发展趋势下，复合材料的作用和地位越来越重要。因为复合材料具有可设计性，既可以成为综合性能优异的高性能的结构材料，又可以成为具有特殊性能的功能材料，还可以成为结构功能一体化的构件。根据我国各技术领域对复合材料的需求，“十五”期间我们安排了一批复合材料方面的项目，目的是为了通过研究突破新型复合材料制备关键技术及应用技术，使新型复合材料在国家重点工程、传统产业和支柱产业的改造及新兴产业的形成等方面起到应有的作用。经过广大科技工作者近 5 年的努力，取得了一批具有很高学术水平和实用价值的成果。为使这些成果更好地得到推广应用，在国民经济建设中发挥更大的作用，我们将这些成果编辑成本书，供广大科技工作者和产业界人士参考。

目 录

《高性能结构材料技术丛书》序

前言

第 1 章 连续玄武岩纤维	1
1.1 引言	1
1.2 连续玄武岩纤维的发展	2
1.3 最近研究进展	6
1.4 应用与发展前景.....	10
1.4.1 玄武岩纤维的主要特点	10
1.4.2 连续玄武岩纤维的主要应用领域	12
参考文献	16
第 2 章 低压片状模塑料 (SMC)	17
2.1 引言.....	17
2.1.1 概述	17
2.1.2 低压 SMC 的研究意义	18
2.2 低压 SMC 的发展	19
2.2.1 低压 SMC 的国外发展现状及进展	19
2.2.2 国内低压 SMC 的发展	20
2.3 低压 SMC 的最新研究进展及成果	21
2.3.1 低压 SMC 原材料	21
2.3.2 低压 SMC 配方	27
2.3.3 低压 SMC 生产工艺和成型工艺	28
2.3.4 低压 SMC 废料回收及后处理	34
2.4 低压 SMC 的应用与发展前景	36
2.4.1 在汽车工业中的应用	36
2.4.2 在铁路车辆中的应用	37
2.4.3 在建筑/住宅方面的应用	38
2.4.4 在电气领域中的应用	39
参考文献	41
第 3 章 复合材料自动铺丝技术	43
3.1 引言.....	43
3.1.1 自动铺丝技术简介	43
3.1.2 自动铺丝技术在先进复合材料技术中的作用	43

3.2	复合材料自动铺丝技术的发展	44
3.2.1	美国与西欧国家的研发与应用情况	45
3.2.2	国内发展现状与趋势	47
3.3	复合材料自动铺丝最新研究进展	48
3.4	复合材料自动铺丝技术发展前景	53
	参考文献	53
第4章	有机硅改性双酚 F 环氧树脂研究	55
4.1	引言	55
4.2	有机硅改性环氧树脂国内外研究现状及发展趋势	57
4.2.1	有机硅聚合物改性环氧树脂的方法与机理	57
4.2.2	改性物性能研究	62
4.2.3	有机硅改性(双酚 F)环氧树脂的研究发展趋势	66
4.3	有机硅改性双酚 F 环氧树脂最新研究进展	68
4.3.1	开发含有新的结构特征的有机硅改性环氧树脂	68
4.3.2	复合型有机硅改性剂分子结构设计	68
4.3.3	含环氧基及酚羟基的聚硅氧烷低聚物的制备及其改性 BPF 环氧树脂 物理化学性能的研究	70
4.4	有机硅改性双酚 F 环氧树脂应用与发展前景	74
4.4.1	环氧树脂电子电器封装及绝缘材料	74
4.4.2	环氧树脂复合材料	75
4.4.3	环氧涂料	76
4.4.4	其他	76
	参考文献	76
第5章	聚合物基复合材料列车构件	78
5.1	引言	78
5.1.1	聚合物基复合材料在轨道交通领域应用可行性分析	78
5.1.2	开展聚合物基复合材料在轨道交通领域应用研究的意义	80
5.2	复合材料在列车上的应用发展现状	80
5.2.1	国外列车大型复合材料承载构件	80
5.2.2	国外列车复合材料辅助件和非主承力件	82
5.2.3	国内列车复合材料构件发展现状	83
5.3	复合材料列车构件的主要成型技术	84
5.3.1	手糊成型工艺	84
5.3.2	RTM 成型工艺	85
5.3.3	缠绕成型工艺	87

5.3.4 RFI 成型工艺	88
5.3.5 其他成型工艺	92
5.4 聚合物基复合材料在高速列车上的应用趋势	92
5.4.1 低成本制备技术	93
5.4.2 计算机辅助设计和制备技术	94
5.4.3 最新研究进展	95
参考文献	97
第 6 章 天然纤维复合材料应用	98
6.1 引言	98
6.1.1 天然纤维复合材料发展历程及研究现状	98
6.1.2 天然纤维复合材料的应用领域	98
6.1.3 天然纤维的市场需求	99
6.2 天然纤维复合材料在汽车工业中的应用	102
6.2.1 国外的应用现状和趋势	102
6.2.2 国内市场需求及研究应用情况	106
6.3 天然纤维复合材料在建筑领域的应用	107
6.3.1 作为保温吸声材料的应用	107
6.3.2 天然纤维人造板的应用	110
6.3.3 木纤维塑料复合材料在建筑工程中的应用	115
6.4 天然纤维复合材料典型产品应用及发展前景	117
6.4.1 典型产品应用实例	117
6.4.2 影响天然纤维复合材料发展的因素	119
参考文献	121
第 7 章 耐高温高性能聚合物复合材料规模化制备技术	123
7.1 引言	123
7.2 纤维增强热塑性复合材料的发展	124
7.3 最新研究进展	127
7.3.1 高强度长纤维粒料	127
7.3.2 连续玻璃纤维增强热塑性塑料片材	128
7.3.3 连续玻璃纤维增强聚丙烯片材生产线的研制	130
7.4 应用与发展前景	131
7.4.1 应用	131
7.4.2 市场前景	132
参考文献	133

第 8 章 复合材料应用之抽油杆	137
8.1 引言	137
8.2 碳纤维连续抽油杆的国内外研究和发展现状	138
8.3 碳纤维连续抽油杆的研究进展	141
8.3.1 碳纤维/乙烯基酯树脂复合材料的研究	141
8.3.2 碳纤维复合材料连续抽油杆生产线的制造	149
8.3.3 碳纤维复合材料连续抽油杆的接头技术	150
8.3.4 碳纤维连续抽油杆的规格和性能指标	152
8.3.5 碳纤维复合材料连续抽油杆的应用技术研究	155
8.4 碳纤维连续抽油杆的推广应用前景及现场应用效果	158
参考文献.....	160
第 9 章 “离位”技术与先进复合材料的低成本高性能化	162
9.1 引言	162
9.2 “离位”技术的发展状况	163
9.2.1 “离位”增韧技术:传统复合材料的高性能化技术.....	163
9.2.2 “离位”液态成型:高性能复合材料的低成本技术.....	167
9.3 “离位”技术的最新研究进展	171
9.3.1 先进的液态成型树脂体系:普适性与通用性	171
9.3.2 纺织复合材料:低成本高性能整体结构的必由之路.....	172
9.4 “离位”技术的应用与发展前景	174
9.4.1 复合材料的多层次多尺度优化:基础研究,研以致用	174
9.4.2 展望:需求带动研究,应用带动核心技术的突破与创新	177
参考文献.....	178
第 10 章 航空复合材料结构-功能一体化技术研究	179
10.1 引言.....	179
10.2 航空复合材料结构-功能一体化技术的国内外发展状况	179
10.2.1 航空复合材料结构-功能一体化技术	179
10.2.2 航空复合材料结构-功能一体化重要技术应用——抗坠毁	180
10.2.3 纺织复合材料技术与结构一体化技术	182
10.3 最新研究进展.....	184
10.3.1 复合材料管形元件作为吸能基础元件的研究	184
10.3.2 承载结构制造作为一体化制造技术基础的研究	190
10.4 应用发展前景.....	193
参考文献.....	193

第 11 章 复合材料性能表征与评价技术的红外热波检测技术及应用	195
11.1 引言	195
11.2 红外热波检测技术的原理	195
11.3 实验结果和最新研究进展	199
11.3.1 原理实验	199
11.3.2 应用实验	202
11.3.3 与超声和 X 射线的对比实验	207
11.4 应用与发展前景	210
参考文献	211
第 12 章 GF/PP 复合混纤纱制备技术及应用	212
12.1 引言	212
12.2 GF/PP 复合混纤纱的发展	214
12.2.1 连续玻璃纤维增强热塑性复合材料的制备技术	214
12.2.2 混纤纱的后加工	216
12.3 应用与发展前景	220
12.3.1 复合混纤纱在汽车上的应用及发展前景	220
12.3.2 复合混纤纱在其他行业中的应用	221
参考文献	223
第 13 章 油田深井开采封隔用特种弹性体复合材料的制备	225
13.1 引言	225
13.1.1 特种弹性体复合材料概念与意义	225
13.1.2 油田深采用高性能封隔器胶筒迅速发展	226
13.2 高温高强型耐油弹性体复合材料的发展	227
13.3 最新研究进展——成功突破	228
13.3.1 提出研制目标、制定研究内容	228
13.3.2 难点分析与研究方案	229
13.3.3 研究成果	232
13.4 应用和发展前景	235
参考文献	236

第 1 章 连续玄武岩纤维

(横店集团上海俄金玄武岩纤维有限公司, 胡显奇)

1.1 引 言

连续玄武岩纤维 (continuous basalt fiber, CBF) 属于新型无机材料中的高性能纤维, 被誉为 21 世纪的新材料。

连续玄武岩纤维是以天然玄武岩矿石为原料, 将其破碎后加入熔窑中, 在 1450~1500℃ 下熔融后, 通过拉丝漏板制成的连续纤维。CBF 与现用的一般玻璃纤维和其他碳纤维、芳纶、超高相对分子质量聚乙烯纤维等高科技纤维相比, 具有很多独特的优点。例如, 力学性能好, 耐高温热效率性能佳, 可在 -269~700℃ 范围内连续工作, 且基本性能保持不变, 耐酸耐碱, 抗紫外线性能强, 吸湿性低, 有更好的耐环境性能; 此外, 还有绝缘性能好、高温过滤性佳等优点。以连续玄武岩纤维为增强体可制成各种性能优异的复合材料, 在军用、民用领域有广泛的应用, 因此连续玄武岩纤维被誉为 21 世纪的新材料。

生产玄武岩纤维的原料是火山岩浆冷凝形成后的玄武岩矿石。我国地域辽阔, 内地和台湾地区均拥有丰富的储量。按照地理位置, 可划分为两大区域: 一个区域是沿我国东部内地边缘, 形成数以百计的火山群和火山锥, 成为环太平洋火山链的一部分; 另一个区域是位于青藏高原及周边地区的火山群。中国新生代火山岩绝大部分为玄武岩, 特别是碱性玄武岩占优势, 拉斑玄武岩较少。因此, 生产玄武岩纤维的原料非常充裕。但是, 有必要指出的是: 真正符合控制连续玄武岩纤维的优质玄武岩并不多。

生产连续玄武岩纤维的工艺比较简洁, 直接以玻璃态的天然玄武岩矿石为原料, 不添加其他辅料, 采用“一段法”拉丝制造, 无“三废”排放, 不污染环境。

连续玄武岩纤维的生产原料来源广且廉价, 综合性能优异, 性价比高, 应用领域广泛。实现这一高科技项目的产业化, 既可促进我国矿产资源的合理开发和 high 附加值的应用, 又能填补我国国内连续玄武岩纤维的空白, 形成一个新兴的产业。以连续玄武岩纤维 (无捻粗纱、纺织纱、短切纱等) 为增强体, 可以形成多领域、多系列的新型复合材料, 具有较长的产业链, 市场需求大, 可促进相关领域产品的升级换代, 符合国家的产业政策。我国已将连续玄武岩纤维列为中长期规划中鼓励发展的四大高科技纤维之一。

二十年，在以前苏联为代表的几个科技发达国家中玄武岩纤维材料技术的研究开发进入了一个崭新的阶段。他们成功地研制出了连续玄武岩纤维，并转入工业化生产。虽然此后东欧一些国家也曾发表有关连续玄武岩纤维的专利，但只限于实验室的样品。因此，玄武岩连续纤维的系统报道基本来源于独联体国家。

前苏联的科学家最终开发成功了玄武岩连续纤维的生产工艺和技术，经过近20年不断的实践，掌握了稳定温度条件下变化的拉丝敏感参数和熔融玄武岩以及通过铂铑合金漏板拉丝成型的关键装置及技术，还有选择一定成分组成的处理玄武岩纤维丝束的浸润剂。这些技术的大部分内容到目前为止还是保密的，具体的核心技术只有开发者才知道。按俄罗斯玄武岩科学技术中心的专家列昂尼德斯米尔诺夫的话说：“玄武岩纤维不是计算出来的，是试验出来的，以后再去研究该过程的物理化学机理。”因此，真正的玄武岩连续纤维的成功制备是在前苏联的改革初期。为此，前苏联花费了上亿美元的研究经费。在前苏联解体之前，除了在“绝热吸声材料”科研生产联合体之外，还在苏多格达市伏拉基米尔州和格鲁吉亚的鲁斯塔夫市各建成了一套熔炉。在吉尔吉斯斯坦和哈萨克斯坦也曾建有熔炉，但很久没有消息了。1991年以后，有了玄武岩连续纤维的专利登记，才陆续有文章发表。它的综合性能指标完全能够满足玻璃纤维用户的特殊要求。20世纪90年代前半期，随着玄武岩纤维性能的公开发表，引起了工业界和投资者的广泛兴趣。在乌克兰的别列切市和俄罗斯的苏多格达市的两个工厂刚刚进行工业化的生产，提供给市场的玄武岩纤维产品非常少，甚至还不够做试验用的数量。欧盟对玄武岩纤维的发展也有一个专门的计划，美国、日本、韩国及中国也在积极开发玄武岩纤维的制备技术，并正在逐步开展连续玄武岩纤维的规模化生产。现在，乌克兰拥有年产2000t纯玄武岩（无其他添加原料）连续纤维的工厂。前苏联解体前夕，俄罗斯利用该技术也在苏多格达市建立了一个年产2000t连续玄武岩纤维的工厂，即苏达格玻璃纤维公司（SUDAGLASS）。

玄武岩纤维研究前期是关于玄武岩纤维的制备与利用。在20世纪八九十年代，大多数的专利是关于制备超细玄武岩纤维的耐高温漏板，以及将玄武岩纤维用于高工艺技术的内容。采用玄武岩纤维作为增强物，能够获得具有稳定使用性能的复合材料。这种材料可与传统结构材料相媲美，为玄武岩纤维打开崭新的广阔应用领域。

玄武岩连续纤维与普通岩棉和一般玻璃纤维相比，在纤维质量方面有了质的飞跃，表现出较高的弹性模量、高热稳定性以及优异的耐温、耐酸碱等性能。用连续玄武岩纤维增强塑料（FRP）的强度、热稳定性、电绝缘性能均优于玻璃纤维增强材料，可在很大程度上替代高强玻璃纤维、部分碳纤维、芳纶等高科技纤维，展现出它广阔的市场发展前景。

现在乌克兰主要有乌日（TOYOTA）合资企业、乌克兰绝缘材料厂两家企

业生产连续玄武岩纤维,其中乌日(TOYOTA)合资企业2003年年产800t连续玄武岩纤维,产品全部返销日本用作汽车消声器高温过滤的内芯材料;最近有可靠消息表明,乌日企业正在乌克兰扩建年产5000t的连续玄武岩纤维工厂。俄罗斯有苏达格玻璃纤维(SUDAGLASS)公司和伊瓦特玻璃纤维(IVOTGLASS)股份有限公司等企业。2003年受资金困扰,俄罗斯苏达格玻璃纤维公司暂停了连续玄武岩纤维的生产,但是该公司在2004年4月参加了在法国举办的欧洲复合材料展(JEC),展出了规模化提供连续玄武岩纤维及其制品的生产能力,且展位比上届大,品种更多,展出的制品包括连续玄武岩纤维纱、织物、短切纤维、毡、网布、增强棒等。俄罗斯伊瓦特玻璃纤维股份有限公司目前的年产量不大,只有近60t,产品主要供给俄罗斯军工领域。除此之外,俄罗斯还有其他4家连续玄武岩纤维的生产厂家,但是规模都不大,基本上为单块拉丝漏板(200孔)的全电熔或气电结合型的生产装置。前几年,德国DBS玻璃纤维公司利用美国原丝公司提供的技术,建立了有6块拉丝漏板(800孔)的玄武岩熔融拉丝生产装置,直接进行短切玄武岩纤维的生产。此外,在格鲁吉亚也有一家企业从1994年开始进行连续玄武岩纤维的生产,期间曾有过停产。在美国新泽西州有一家玄武岩纤维公司,利用美国原丝公司的生产技术和引进部分乌克兰生产技术,2001年开始用波歇炉制备连续玄武岩纤维,采用800孔喷嘴漏板拉丝,生产比较稳定,产品100%供给美国军方;最近有消息证明,该企业已经将波歇炉800孔漏板的全套装置卖给了军方最大的一个用户。加拿大安大略的Albarrie Canada Ltd. 主要进口乌克兰和俄罗斯的玄武岩连续纤维进行深加工后销售。比利时的Basaltex-Masureel公司主要从事连续玄武岩纤维制品的生产。韩国在乌克兰的一家企业(INTECH公司)曾于2002年从乌克兰引进技术安装了一个单漏板的工业小装置,但是由于存在韩国玄武岩矿石原料不符合拉制连续纤维的组分要求等问题没有开展规模化的生产。

与俄罗斯、乌克兰等独联体国家相比,我国在连续玄武岩纤维及其复合材料方面的研究相对比较落后,至少落后了15年时间。这与我国有丰富的玄武岩矿石储量和经济蓬勃发展的国情是不相适应的。在20世纪70年代、80年代和90年代,直至近几年来,我国先后有国家建筑材料科学研究院、南京玻璃纤维研究设计院等研究单位,曾经对利用天然玄武岩矿石拉制连续纤维的生产技术进行了断断续续的研究。南京玻璃纤维研究设计院以矿物棉研究所(二所)为班底成立的南京双威科技实业有限责任公司,2001年受有关方面的委托采用全铂坩埚火焰喷吹法开展了纤维直径 $\leq 3\mu\text{m}$ 的超细玄武岩棉的研发和少量生产。黑龙江省的鸡西市梨树区、辽宁省营口市建筑材料科学研究所等国内有关单位充分发挥自己的研发力量和玄武岩矿石的资源优势,曾经研制在玄武岩粉中添加萤石粉、锆粉,按质量分数混合开发耐碱玄武岩连续纤维,并已取得了一些阶段性的研究成

果,也获得了有关玄武岩连续纤维方面的发明专利。2002年9月,“玄武岩连续纤维及其复合材料”项目(课题代码:2002AA334110)列入国家863计划,深圳俄金碳材料科技有限公司为该课题的依托单位。国内很多家企业纷纷关注连续玄武岩纤维的投资和发展。2003年,黑龙江省宁安市镜泊湖耐碱玄武岩纤维有限公司率先采用“二段法”工艺和国内发明专利,以全电熔钼电极熔融的坩埚法开展耐碱连续玄武岩纤维的生产。2003年12月,深圳俄金碳材料科技有限公司与浙江横店集团、太原双塔刚玉股份有限公司共同在上海市南汇区成立了横店集团上海俄金玄武岩纤维有限公司,并在上海南汇工业园区购地110亩建设玄武岩纤维工业园。2004年,在吸收俄罗斯、乌克兰技术的基础上开展了研发和技术的再创新,形成了自主知识产权,采用“一段法”(即直接采用天然玄武岩矿石,不添加任何辅料)工艺,实现了连续玄武岩纤维的产业化。此外,深圳国际技术创新研究院也开始从乌克兰聘请专家,利用自身的研究力量积极开展对连续玄武岩纤维的研究。北京融商网信电子技术开发有限公司利用俄罗斯提供的技术在北京市延庆县内建立了“北京诺浩连续玄武岩纤维工程研究中心”,据称也在开展连续玄武岩纤维的研究。

目前,国内外在连续玄武岩纤维的研发和生产方面存在的主要问题有:①原创技术一直在原有基础上徘徊。在乌克兰、俄罗斯两国虽然已实现连续玄武岩纤维产业化10多年了,但是产量较低,产品比较单调,生产技术一直停留在200孔拉丝漏板的技术水平上。尤其是前苏联解体后,连续玄武岩纤维的生产技术几乎没有得到实质性的提高和发展。这从另一个角度看,也为世界其他国家赶超国际技术先进水平提供了发展机遇。②玄武岩固有的熔融特性客观上严重制约了玄武岩纤维的规模生产。与生产玻璃纤维的人工配料相比,生产连续玄武岩纤维以天然的单一组分的玄武岩矿石为原料,难溶、析晶上限温度高,玄武岩熔体透热性差、液面不能太深,料性短、易析晶和漫流,氧化铁含量高且易还原,容易造成铂铑合金漏板中毒等特性在很大程度上制约了连续玄武岩纤维向多孔化、规模化方向发展。截至2004年年底前,全世界尚无一条年产1000t连续玄武岩纤维的池窑生产线,铂铑合金漏板孔数最多在800孔。同比,玻璃纤维的规模生产水平仅在我国就已实现了单窑年产4万~5万t乃至10万t的池窑生产线,铂铑合金漏板孔数最多可达4000~6000孔,而且以生产玻璃纤维质量著称的重庆复合材料股份有限公司等企业还实现了生产线的工业自动化控制。③知识产权保护力度远远超过了连续玄武岩纤维规模生产的发展速度。近10年来,随着各国知识产权保护意识的增强,鉴于连续玄武岩纤维规模生产的技术难度高、研发投入大的情况,目前全世界申请有关连续玄武岩纤维生产装置和技术的国际专利至少有100个以上,还不包括各国国内的发明专利。这与连续玄武岩纤维生产规模小、发展速度慢形成了强烈的反差。发明专利既保护了发明者的权益,同时也筑起了

发展连续玄武岩纤维的一道道屏障。国外许多有意向的投资者甚至在众多的发明专利面前感到茫然不知所措而止足不前。

“青山遮不住，毕竟东流去。”连续玄武岩纤维的发展犹如“一江春水向东流”已经形成了势不可挡的发展趋势。正如国外专家预言的那样：全世界玄武岩纤维投资发展的第二个浪潮已经来临！继 2002 年我国连续将玄武岩纤维列为国家高技术研究的发展计划（国家 863 计划）后，2004 年该项目又被列为国家级火炬计划，横店集团上海俄金玄武岩纤维有限公司承担了该 863 计划成果的转化任务。据有关媒体报道，连续玄武岩纤维呈不断增长的发展势头，其中乌克兰的需求量为每年 4 万 t，独联体国家总约每年 20 万 t。加拿大的 Albarrie Canada Ltd. 公司从俄罗斯、乌克兰进口玄武岩连续纤维，进行下游产品的开发和利用，主要用来制备高温过滤材料。美国的 BGF Industries 公司甚至已对高温隔热、消声的“玄武岩垫”产品申请了商标。采用连续玄武岩纤维作为增强体，能够获得具有稳定使用性能的复合材料。这种材料可与传统结构材料相媲美，为玄武岩纤维打开新的广阔应用领域。由于玄武岩来源容易，制约连续玄武岩纤维规模化生产的技术“瓶颈”正在被逐渐打开，连续玄武岩纤维应用市场前景广阔，性价比高，具有较强的市场竞争力，玄武岩连续纤维的优异性能已凸显出来，其发展前景逐步被业内人士看好，商机无限。近几年来国内外有许多企业关注该新型纤维的发展，并开始纷纷投资该项目。连续玄武岩纤维在我国的大规模生产和应用已为期不远。最近，国家发展和改革委员会正在制定中长期发展规划，其中在《中国化纤工业发展战略研究报告——高新技术纤维分报告》中已经明确将连续玄武岩纤维与碳纤维、芳纶、超高相对分子量聚乙烯纤维一并列为我国中长期要重点发展的四大高新技术纤维。其中，对玄武岩连续纤维产能目标的发展规划为：2010 年全国生产玄武岩连续纤维 1 万 t，2020 年计划为 3 万 t。

1.3 最近研究进展

连续玄武岩纤维生产技术的创新有很大的难度，例如：①玄武岩的矿物组成和化学组成与高温黏度、结晶性能（尤其是结晶上限温度值）、成纤温度范围的相互关系，以及对连续纤维成型的稳定性关系；②窑炉氧化-还原气氛的严格控制，保持稳定的 Fe^{2+}/Fe^{3+} 值，防止铁离子对铂铑合金漏板的冶金化学作用；③对窑炉空间燃烧温度、熔体温度、漏板温度、熔体黏度、燃烧气体与空气的混合比例以及析晶温度的控制等一系列敏感参数的采集、优化，数学模型的建立等。因此，对玄武岩熔融新装置、新技术、新工艺的研发和创新应直接指向使其具有实用性、稳定性和经济性，以促进连续玄武岩纤维的低成本、规模化生产。

现在，连续玄武岩纤维生产技术的发展已呈现向“多孔化、规模化、自动