



“十二五”国家重点出版规划项目

高性能纤维技术丛书

玄武岩纤维

Basalt Fiber

曹海琳 晏义伍 岳利培 赵金华 著



国防工业出版社
National Defense Industry Press



“十二五”国家重点出版规划项目

高性能纤维技术丛书

玄武岩纤维

曹海琳 晏义伍 岳利培 赵金华 著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书首先介绍了玄武岩纤维的国内外发展历程和几个主要国家的玄武岩纤维产业布局,然后以玄武岩纤维的制备技术为起点,详细介绍了玄武岩纤维结构与纤维综合性能的相关性以及玄武岩纤维的表面处理技术和不同处理技术的效果评价,最后重点介绍了玄武岩纤维在复合材料中的应用,同时兼顾玄武岩纤维的几种制品及其应用领域,力求尽可能全面囊括玄武岩纤维的基础研究、应用研究与产业发展。作为国内第一本有关玄武岩纤维的专著,本书学术性和应用性并重,广泛性与深刻性兼顾,内容紧跟国内外本学科近年来的发展动向,系统地总结和讨论玄武岩纤维及其复合材料的制备、性能、改性、应用以及工业化发展。

本书可供从事玄武岩纤维研究和生产的技术人员阅读,也可作为玄武岩纤维复合材料等应用研发人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

玄武岩纤维 / 曹海琳等著. —北京:国防工业出版社,2017.7

版社,2017.7

(高性能纤维技术丛书)

ISBN 978-7-118-11290-0

I. ①玄… II. ①曹… III. ①玄武岩—无机纤维

IV. ①TS102.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 117053 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 13 字数 248 千字

2017 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 78.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

高性能纤维技术丛书

编审委员会

指导委员会

名誉主任 师昌绪

副主任 杜善义 季国标

委员 孙晋良 郁铭芳 蒋士成

姚 穆 俞建勇

编辑委员会

主任 俞建勇

副主任 徐 坚 岳清瑞 端小平 王玉萍

委员 (按姓氏笔画排序)

马千里 冯志海 李书乡 杨永岗

肖永栋 周 宏(执行委员) 徐樑华

谈昆仑 蒋志君 谢富原 廖寄乔

秘 书 黄献聪 李常胜

序

Foreword

从 2000 年起,我开始关注和推动碳纤维国产化研究工作。究其原因是,高性能碳纤维对于国防和经济建设必不可缺,且其基础研究、工程建设、工艺控制和质量管理等过程所涉及的科学技术、工程研究与应用开发难度非常大。当时,我国高性能碳纤维久攻不破,令人担忧,碳纤维国产化研究工作迫在眉睫。作为材料工作者,我认为我有责任来抓一下。

国家从 20 世纪 70 年代中期就开始支持碳纤维国产化技术研发,投入了大量的资源,但效果并不明显,以至于科技界对能否实现碳纤维国产化形成了一些悲观情绪。我意识到,要发展好中国的碳纤维技术,必须首先克服这些悲观情绪。于是,我请老三委(原国家科学技术委员会、原国家计划委员会、原国家国防科学技术工业委员会)的同志们共同研讨碳纤维国产化工作的经验教训和发展设想,并以此为基础,请中国科学院化学所徐坚副所长、北京化工大学徐樑华教授和国家新材料产业战略咨询委员会李克建副秘书长等同志,提出了重启碳纤维国产化技术研究的具体设想。2000 年,我向当时的国家领导人建议要加强碳纤维国产化工作,中央前后两任总书记均对此予以高度重视。由此,开启了碳纤维国产化技术研究的一个新阶段。

此后,国家发改委、科技部、国防科工局和解放军总装备部等相关部门相继立项支持国产碳纤维研发。伴随着改革开放后我国经济腾飞带来的科技实力的积累,到“十一五”初期,我国碳纤维技术和产业取得突破性进展。一批有情怀、有闯劲儿的企业家加入到这支队伍中来,他们不断投入巨资开展碳纤维工程技术的产业化研究,成为国产碳纤维产业建设的主力军;来自大专院校、科研院所的众多科研人员,不仅在实验室中专心研究相关基础科学问题,更乐于将所获得的研究成果转化为工程技术应用。正是在国家、企业和科技人员的共同努力下,历经近十五年的奋斗,碳纤维国产化技术研究取得了令人瞩目的成就。其标志:一是我国先进武器用 T300 碳纤维已经实现了国产化;二是我国碳纤维技术研究已经向最高端产品技术方向迈进并取得关键性突破;三是国产碳纤维的产业化制备与应用基础已初具规模;四是形成了多个知识基础坚实、视野开阔、分工协作、拼搏进取的“产学研用”一体化科研团队。因此,可以说,我国的碳纤维工程

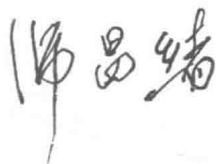
技术和产业化建设已经取得了决定性的突破!

同一时期,由于有着与碳纤维国产化取得突破相同的背景与缘由,芳纶、芳杂环纤维、高强高模聚乙烯纤维、聚酰亚胺纤维和聚对苯撑苯并二噁唑(PBO)纤维等高性能纤维的国产化工程技术研究和产业化建设均取得了突破,不仅满足了国防军工急需,而且在民用市场上开始占有一席之地,令人十分欣慰。

在国产高性能纤维基础科学研究、工程技术开发、产业化建设和推广应用等实践活动取得阶段性成就的时候,学者专家们总结他们所积累的研究成果、著书立说、共享知识、教诲后人,这是对我国高性能纤维国产化工作做出的又一项贡献,对此,我非常支持!

感谢国防工业出版社的领导和本套丛书的编辑,正是他们对国产高性能纤维技术的高度关心和对总结我国该领域发展历程中经验教训的执着热忱,才使得丛书的编著能够得到国内本领域最知名学者专家们的支持,才使得他们能从百忙之中静下心来总结著述,才使得全体参与人员和出版社有信心去争取国家出版基金的资助。

最后,我期望我国高性能纤维领域的全体同志们,能够更加努力地攻克科学技术、工程建设和实际应用中的一个一个难关,不断地总结经验、汲取教训,不断地取得突破、积累知识,不断地提高性能、扩大应用,使国产高性能纤维达到世界先进水平。我坚信中国的高性能纤维技术一定能在世界强手的行列中占有一席之地。



2014年6月8日于北京

师昌绪先生因病于2014年11月10日逝世。师先生生前对本丛书的立项给予了极大支持,并欣然做此序。时隔三年,丛书的陆续出版也是对先生的最好纪念和感谢。——编者注

前言

Preface

玄武岩纤维是 21 世纪的绿色环保材料,是世界高技术纤维行业中可持续发展的有竞争力的新材料产业。玄武岩纤维属无机非金属纤维,由天然的玄武岩矿石在高温熔融状态下通过拉丝漏板拉制而成。玄武岩纤维的性能介于碳纤维与玻璃纤维之间,在强度、刚度上大体和 S2 高强玻璃纤维相当,优于 E 玻璃纤维,但其在耐高温、耐酸碱性等化学稳定性及耐水性、吸湿等方面有优异的性价比。碳纤维等增强纤维的严重短缺,为玄武岩纤维的开发和应用提供了前所未有的机遇,其优异独特的性能加之低成本的价格优势,使之必将具有广阔的市场应用前景。基于此,玄武岩纤维及其复合材料可以很好地满足国防建设、交通运输、建筑、石油化工、环保、电子、航空航天等领域结构材料的需求,对国防建设、重大工程和产业结构升级具有重要的推动作用。

20 世纪 60 年代,苏联首先开始了玄武岩纤维的研制工作,经过了近 20 年不断的实践,于 1985 年在乌克兰玻璃纤维研究所建成采用 200 孔漏板的第一台工业化生产炉,揭开了全世界研究玄武岩纤维的序幕。自此以后,美国、加拿大、欧洲、日本等都相继展开了前期研究,研究范围越来越宽,从连续纤维到超细纤维,从纤维制品到纤维复合材料,可以说是这种新材料获得大规模工业化应用的前奏。

我国开展连续玄武岩纤维的研究较晚,始于 20 世纪 90 年代中期,通过技术引进、消化、吸收、再创新,近几年发展较快,工业化生产试验刚刚完成,技术已趋成熟,部分技术达到国际先进水平,取得了自主知识产权,并被列入为国家“863”计划。迄今,国内已生产和正在运作建厂的企业达 10 余家,年总产量 20000t 左右。

本书作为玄武岩纤维的专业书籍,详细介绍了玄武岩纤维的制备技术和综合性能,以及玄武岩纤维在复合材料中的主要应用等相关内容,以期成为从事玄武岩纤维研究与应用开发等方向专业人士的主要参考读物。本书主要内容包括

玄武岩纤维的国内外发展历程和各主要研发国家的产业布局、玄武岩纤维的制备技术、玄武岩纤维的结构与性能、玄武岩纤维的表面处理技术、玄武岩纤维复合材料及其应用,以及玄武岩纤维制品及其应用。

本书由深圳航天科技创新研究院先进材料所组织编著,第1章由曹海琳撰写,第2章由晏义伍撰写,第3章由岳利培撰写,第4章由赵金华撰写,第5章由曹海琳撰写,第6章由晏义伍撰写,佟晓楠和李振伟参与了书稿整理工作,全书统稿由曹海琳完成。

限于作者知识水平,书中不妥之处在所难免,欢迎读者匡误斧正。

作者

2017年1月

目录

Contents

第1章 绪论	001
1.1 玄武岩纤维发展简史	001
1.1.1 国外玄武岩纤维发展历程	001
1.1.2 国内玄武岩纤维发展历程	002
1.2 当今世界玄武岩纤维产业布局	003
1.2.1 国外玄武岩纤维产业布局	003
1.2.2 国内玄武岩纤维产业布局	004
1.3 应用领域	005
1.4 发展趋势	006
参考文献	007
第2章 玄武岩纤维的制备技术	009
2.1 玄武岩矿石的品位与拉丝要求	009
2.1.1 玄武岩矿藏分布与矿石成分	009
2.1.2 玄武岩熔体特性与拉丝要求	011
2.2 熔炉设计与拉丝工艺	015
2.2.1 矿石选取与添加	017
2.2.2 熔炉设计	018
2.2.3 漏板设计与拉丝工艺	021
2.3 玄武岩纤维浸润工艺	026
2.3.1 浸润剂	026
2.3.2 浸润工艺	030
2.4 合股工艺	033
2.5 加捻纱制备	034
2.6 短切纱制备	037
参考文献	039

第3章 玄武岩纤维的结构与性能 040

3.1 基本物理性能 040

3.1.1 表面形貌..... 040

3.1.2 密度..... 041

3.2 化学组成与结构 041

3.2.1 化学组成..... 041

3.2.2 微观精细结构..... 043

3.3 表面状态与性能 048

3.3.1 表面状态..... 048

3.3.2 表面能..... 049

3.4 力学性能 049

3.5 热性能 052

3.5.1 热稳定性..... 052

3.5.2 绝热性能..... 054

3.6 耐腐蚀性能 054

3.6.1 耐酸腐蚀性..... 055

3.6.2 耐碱腐蚀性..... 057

3.7 电磁性能 061

3.8 阻燃性能 062

3.9 隔音性能 062

参考文献 063

第4章 玄武岩纤维的表面处理技术 064

4.1 表面处理技术 064

4.1.1 涂层处理法..... 064

4.1.2 化学处理法..... 071

4.1.3 其他改性技术..... 076

4.2 表面处理效果评价 077

4.2.1 表面处理效果评价方法..... 077

4.2.2 涂层表面处理效果..... 083

4.2.3 偶联剂表面处理效果..... 096

4.2.4 酸碱刻蚀表面处理效果..... 100

4.2.5 等离子体表面处理效果..... 103

参考文献 104

第5章 玄武岩纤维复合材料及其应用	106
5.1 热固性树脂基复合材料	106
5.1.1 环氧树脂基复合材料.....	107
5.1.2 酚醛树脂基复合材料.....	113
5.1.3 玄武岩纤维增强乙烯基树脂复合材料及其应用.....	127
5.2 热塑性树脂基复合材料	133
5.2.1 连续玄武岩纤维增强热塑性树脂基复合材料.....	134
5.2.2 短切玄武岩纤维增强热塑性树脂基复合材料.....	149
5.3 建筑用玄武岩纤维增强复合材料	161
5.3.1 玄武岩纤维在路面土工格栅中的应用.....	161
5.3.2 玄武岩纤维在水泥基复合材料中的应用.....	166
参考文献	174
第6章 玄武岩纤维制品及其应用	176
6.1 无捻粗纱	176
6.1.1 规格与性能.....	176
6.1.2 应用领域与实例.....	177
6.2 短切纱	178
6.2.1 规格与性能.....	178
6.2.2 应用领域与实例.....	179
6.3 织造制品	181
6.3.1 二维织造制品与应用(布、毡等)	181
6.3.2 三维制造制品与应用(立体织物)	184
6.4 其他制品及应用	185
6.4.1 土工格栅.....	185
6.4.2 复合筋.....	186
参考文献	188

第 1 章

绪 论

1.1 玄武岩纤维发展简史

1.1.1 国外玄武岩纤维发展历程

玄武岩纤维(Basalt Fiber, BF)的研制工作 20 世纪 60 年代始于苏联,当时玄武岩纤维在一些特性上超过玻璃纤维,强度比钢材还高,而且在 700℃ 条件下强度保有率高的特性引起了苏联军方的注意,苏联国防部门下达项目给乌克兰基辅材料问题研究院进行基础研究,该院建成“绝热隔音材料科研生产联合体”。经过了近 20 年不断的实践,花费了上亿美元,苏联科学家才最终开发成功了玄武岩连续纤维的生产工艺和技术。1985 年在乌克兰玻璃纤维研究所建成采用 200 孔漏板的第一台工业化生产炉,揭开了全世界研究玄武岩纤维的序幕。美国、加拿大、欧洲、日本、中国等都相继展开了前期研究,研究范围越来越宽,从连续纤维到超细纤维,从纤维制品到纤维复合材料,可以说是这种新材料获得大规模工业化应用的前奏^[1]。

苏联是世界上着手玄武岩纤维研究最早也最成熟的国家,但由于苏联解体,经济不景气,未能有效地推动玄武岩纤维的产业化进程。2000 年,世界上唯一的年产 1500t 的工业化生产基地在乌克兰玻璃纤维与塑料研究所内建成。该厂由日本人投资,方式为乌克兰/日本合资,乌方提供技术,日方提供资金,产品 100% 由日本人回购,主要用于丰田 LEXUS 轿车消音器的绝热隔音毡。乌克兰为了防止技术流失,从未向世界各地的参观者介绍其技术与产品。苦于资金的缺乏,乌克兰无力推动玄武岩纤维及复合材料的进一步研究^[2]。

俄罗斯在 20 世纪 90 年代也大力开展了玄武岩纤维材料的研究,俄罗斯实力雄厚的军工科研机构——俄罗斯国家石墨结构材料研究院(“暴风雪”号航天飞机材料研究单位)在玄武岩纤维的研究与开发方面做了大量的工作,主要成

果包括将玄武岩纤维与聚合物材料、金属材料、陶瓷材料、无机和碳素材料相结合研制各种复合材料。玄武岩纤维研究列入了俄罗斯联邦“新材料和化学制品”重大技术项目,有关研究成果得到欧盟工业委员会和联合国的高度评价,并在一系列大型国际博览会上获得了多项金奖。为了全面发展玄武岩纤维材料研究和应用工作,俄罗斯石墨研究院发出倡议,并在莫斯科市政府的大力支持下,1998 年正式推出“在莫斯科经济建设中推广应用玄武岩纤维新材料综合纲要”,该纲要也得到俄罗斯联邦科技部的认可和支持。俄罗斯石墨研究院作为牵头单位具体组织和实施该重大项目,另外还有俄罗斯及独联体其他国家的 40 多个科研、设计和生产单位也参与实施这个纲要,它们包括俄罗斯苏达格茨玻璃纤维股份公司、莫斯科保温玻璃股份公司、列宁格勒电气机械厂、俄军工科研企业“中央科学设计局”、俄罗斯石墨研究院玄武岩科技中心,以及“隔热隔音材料”股份公司(乌克兰)等。俄罗斯正加强对玄武岩材料的研究与开发,并积极推动这一新材料在国防及国民经济中的应用。可以说,玄武岩纤维的开发与应用正展现出极其广泛的诱人的发展前景。目前,俄罗斯的研究重点主要是制备连续纤维及超细纤维的工艺及方法,纤维复合材料性能开发与应用等。

美国和加拿大从 20 世纪 90 年代才开始研究玄武岩纤维,从有关报道的情况来看,已有几家公司及若干所大学涉足这项研究。最近,美国的海特克(Hightec)公司、联合纤维(Fiberand)公司及加拿大的亚伯力(Albarrie)公司已相继宣称成功地制造了玄武岩连续纤维及超细纤维,并称已使用 800 孔漏板拉丝技术,可实现年产纤维 1000t。德国、英国、瑞典等国都报道生产出了可用于飞机发动机喷气管绝热隔音的超细玄武岩纤维。日本是世界上第一个规模化应用玄武岩连续纤维的国家。由于丰田 LEXUS 汽车发动机的废气出口温度的提升,原来使用玻璃纤维制造的消音器绝热隔音毡不能满足使用要求,因此日本出资与乌克兰建立了合资企业生产玄武岩连续纤维应用在这个方面^[3]。

1.1.2 国内玄武岩纤维发展历程

我国开展连续玄武岩纤维(CBF)的研究较晚,始于 20 世纪 90 年代中期,通过技术引进、消化、吸收、再创新,近几年发展较快,工业化生产试验刚刚完成,技术已趋成熟,部分技术达到国际先进水平,取得了自主知识产权,并被列入国家“863”计划。迄今国内已生产和正在运作建厂的企业达 10 余家,年总产量 20000t 左右。

国内玄武岩纤维在产业化初期,大多引进模仿苏联的工艺技术。然而几年的实践证明,这些引进的技术在中国很难获得成功。国内现存的玄武岩纤维生产线,大多是各企业结合自身特点,依靠国内玻璃纤维行业技术人员在苏联技术

设备基础上进行改造创新建立起来的,因此各厂生产工艺也不尽相同。炉窑方面,目前国内玄武岩纤维生产工艺主要有全电熔炉和气电结合炉两种。从目前表现来看,两种熔炉各有优劣:全电炉自动化控制较好,原丝线密度较为稳定;气电结合炉则由于受炉窑熔化能力的局限较小,采用熔炉多漏板拉丝技术,生产成本相对更低。漏板方面,目前各企业已经在完善 400 孔漏板拉丝工艺的基础上,逐步尝试更大漏板拉丝技术^[4]。

1.2 当今世界玄武岩纤维产业布局

1.2.1 国外玄武岩纤维产业布局

21 世纪以来由于实业资本的投入,玄武岩纤维在全球发展速度明显加快。

美国 Paymeon 集团旗下的美国玄武岩公司(Basalt America)专注于玄武岩纤维复合筋的生产和销售,玄武岩纤维复合筋可解决传统钢筋锈蚀的材料固有难题,其产品已被本土的迈阿密大学和佛罗里达交通部权威认证通过。同时最新的美国纤维增强塑料杆标准也首次将玄武岩纤维筋列入其中。美国利毕科技公司(Libi Technologies)目前销售两种不同型号的滑雪板,在这两种型号中所加入的是玄武岩纤维,而不是其他型号中通常使用的玻璃纤维。默文制造公司(Mervin Manufacturing)制备玄武岩增强滑雪板,在其拥有专利权的滑雪板木芯的每一侧都有玄武岩衬里,使滑雪板刚性更好,重量更轻。该公司还在其生产的 Quik Sliver 牌滑雪板中使用了玄武岩科技公司(Basaltex)的玄武岩产品。

在汽车工业方面,美国 Azdel 公司(GE 和 PPG 的合资公司)开发了一种商名为 Volcalite 的热成型热塑性复合材料,该热塑性复合材料含有聚丙烯和玄武岩短纤维。该公司称玄武岩聚丙烯系统吸声性好、热膨胀系数低、强度重量比高、延展性好。在制造汽车顶蓬内衬时能够比使用普通材料薄 50%。在英国、美国都设有公司的高技术纤维产业公司(Technical Fiber Products)使用玄武岩短纤维制造薄毡。该公司正在用这种薄毡试生产多层复合的热成型的汽车部件。佳斯迈威欧洲公司也在生产湿法玄武岩薄毡。

在欧洲,CBF 因原料可持续利用和蕴藏丰富、生产过程绿色环保等原因,近年在德国、比利时和英国等建立生产厂家,其下游产品开发厂家尤为活跃。

2006 年筹建并于 2010 年建成的比利时艾梭玛德克斯公司(Isomatex)通过计算机准确控制玄武岩纤维与其它矿石混合来准确控制原料成分均匀,并采用独特的感应电炉解决玄武岩熔体导热率低等技术问题,制备出高强度的玄武岩纤维。同样,位于比利时韦弗海姆市的玄武岩科技公司(Basaltex)率先把玄武岩

纤维引入欧洲,专注于开发、生产高性能特种多用途玄武岩纤维以代替高强玻璃纤维、钢纤维、芳纶和高强度碳纤维,并取得初步应用,特别推出多款环保绿色复合材料。

在亚洲,连续玄武岩纤维的生产集中在中国、格鲁吉亚、韩国等国家,在这些国家中凡是用火焰炉生产连续玄武岩纤维的技术大多是来自于乌克兰或俄罗斯,唯独中国的全电熔炉是中国人自己的独立创新^[5]。

近几年,由于世界经济的快速发展,全世界迎来了新的投资连续玄武岩纤维的热潮,有力地带动了该复合材料的强劲增长。但是受制于玄武岩矿石原料产地,并非所有的玄武岩矿石均适合制备连续玄武岩纤维,例如俄罗斯虽然拥有全球差不多 1/5 的大陆面积,但是至今还没有发现一处理想的生产连续纤维的优质玄武岩矿石,目前所用优质玄武岩矿石原料主要从乌克兰进口。全球范围内能够用来拉制连续纤维的优质玄武岩矿石极少,玄武岩纤维在全球的产业布局形成了乌克兰、俄罗斯、中国“三足鼎立”的局面^[6]。

1.2.2 国内玄武岩纤维产业布局

我国在玄武岩纤维方面的研究起步较晚。20 世纪 90 年代中期,南京玻璃纤维研究设计院最早开始玄武岩纤维的研究,专注于适合充当隔热材料的超细玄武岩纤维,主要用于战斗机发动机外壳等军工用途。随着国家相关部门对玄武岩纤维的重视,2002 年哈尔滨工业大学深圳研究院派专家出访乌克兰,带回玄武岩纤维样品,并依托哈尔滨工业大学与乌克兰、俄罗斯坚实的合作基础及广泛的合作交流渠道,组建了专门的研究队伍致力于玄武岩纤维技术的引进、研发及其产业化工作。

2014 年 3 月,在 2014(吉林)高新技术纤维材料产业创新论坛举办期间,中国化学纤维工业协会玄武岩纤维分会成立,该分会是隶属于中国化学纤维工业协会的分支机构。该分会的成立代表国内玄武岩纤维逐步走向产业化。截止到 2016 年底,国内全行业粗略统计年总产能在 20000t 左右,玄武岩纤维规模化生产企业主要为四川航天拓鑫玄武岩实业有限公司(四川航天拓鑫)、浙江石金玄武岩纤维有限公司(浙江石金)、江苏天龙玄武岩连续纤维股份有限公司(江苏天龙)、河北通辉科技有限公司(河北通辉)、山西晋投玄武岩开发有限公司(山西晋投)、新疆拓新矿业有限公司(新疆拓新)、吉林通鑫玄武岩科技有限公司(吉林通鑫)、吉林玖鑫玄武岩产业(集团)有限公司(吉林玖鑫)、河南登电电力有限公司(河南登电)和贵州石鑫玄武岩科技有限公司(贵州石鑫)十家企业。浙江石金、江苏天龙和河南登电采用电熔炉技术,剩余 7 家采用均采用四川航天拓鑫气电结合炉技术。我国现有玄武岩纤维生产企业及其基本情况如表 1-1 所列。

表 1-1 我国现有玄武岩纤维生产企业及其基本情况

企业	进入行业时间	工艺路线	纤维产能/t
四川航天拓鑫	2003	气电结合炉	3000
浙江石金	2003	全电熔炉	3000
江苏天龙	2007	全电熔炉	1000
河北通辉	2010	气电结合炉	2000
山西晋投	2012	气电结合炉	800
新疆拓新	2012	气电结合炉	1000
吉林通鑫	2013	气电结合炉	1000
吉林玖鑫	2013	气电结合炉	800
河南登电	2015	全电熔炉	1000
贵州石鑫	2015	气电结合炉	3000

1.3 应用领域

1. 军事、航空航天材料市场

在我国航空航天领域的现有武器装备型号与新型导弹和飞行器中,还大量使用玻璃纤维、高硅氧纤维和碳纤维增强的复合材料。由于缺少性能介于碳纤维与玻璃纤维之间的纤维,很多武器装备型号在选材上顾此失彼,即要么用碳纤维增加武器装备的成本,要么用玻璃纤维不能保证武器装备的性能。玄武岩纤维的出现为上述问题的解决提供了良好的途径,它作为耐高温、轻质、高性能隔热和热结构材料可完全替代玻璃纤维复合材料,部分替代价格昂贵的高硅氧纤维和碳纤维增强复合材料,可提高导弹和飞行器的综合性能并降低制备成本,是我国高超声速导弹和飞行器理想的隔热候选材料^[7]。

2. 公路工程及交通安全防护材料市场

玄武岩纤维是一种理想的沥青混凝土及水泥混凝土加强材料,可广泛用于道路建设。与其他纤维加强沥青混凝土相比,玄武岩纤维具有不可替代的优势。在沥青混凝土及水泥混凝土中是替代木纤维、聚丙烯(PP)纤维、钢纤维的理想材料。此外,在公路建设中,玄武岩纤维复合筋具有高强轻质、高耐腐蚀、施工便利等特点,也是取代钢筋的理想材料,玄武岩纤维及其织物还可用来加固强化路堤、斜坡、堤坝及河岸。玄武岩纤维缆索作为一种新的柔性防护材料,由于其强度高、耐腐蚀、轻质易施工等优点将逐步取代目前市场上的传统材料。

3. 加固材料市场

玄武岩纤维单向布尤其适合于替代碳纤维单向布用于建筑桥梁加固补强和

修复,玄武岩纤维比部分碳纤维具有更突出的综合性能和性价比。在建筑加固领域,用于柱体抗震加固的玄武岩纤维性能已经非常接近碳纤维,某些指标数据比部分碳纤维更优越。

4. 消烟除尘过滤材料市场

目前,在过滤市场上应用最多的是玻璃纤维。鉴于玻璃纤维本身强度、耐磨、耐折及耐化学腐蚀性的不足,不得不对其表面进行浸渍等特殊工艺处理。此外,在 300℃ 以上,玻璃纤维过滤材料无法胜任连续工作的要求,而上述工业行业又迫切需要强度高、耐高温、耐腐蚀的过滤材料以适应其恶劣的工作环境。玄武岩纤维正好将填补这一空白。

5. 汽车材料市场

玄武岩纤维复合材料(FRP)可以作轿车车壳、车身、底板、保险杠、车门、消音器、刹车片等。与玻璃纤维相比,玄武岩纤维的拉伸模量要高 30% ~ 50%,因此具有极大的市场竞争力。尤其是刹车片,玄武岩纤维几乎将无可争议地取代石棉及玻璃纤维。对于消音器的绝热隔音,玄武岩纤维也是最理想的一种材料。

6. 体育器械和娱乐用品市场

体育器械和娱乐用品要求重量轻、强度高、弹性好,这正是玄武岩纤维固有的特点。除此之外,它还具有可设计性,成形和修补都很方便,其优越的性价比也使其成为取代碳纤维的理想材料。

7. 船舶制造材料市场

玄武岩纤维优异的耐化学腐蚀及力学性能,又使其成为一种理想的舰船用复合材料的加强纤维。这种用玄武岩纤维加强的树脂复合材料作为舰船的结构及装饰材料可在游艇、渔船及内河客船等方面得到广泛应用,是取代玻璃纤维复合材料的理想替代品。

1.4 发展趋势

玄武岩连续纤维及其复合材料是 21 世纪的绿色环保材料,是世界高技术纤维行业中可持续发展的有竞争力的新材料产业。玄武岩纤维及其复合材料可以较好地满足国防建设、交通运输、建筑、石油化工、环保、电子、航空航天等领域结构材料的需求,对国防建设、重大工程和产业结构升级具有重要的推动作用。我国铁矿石资源缺乏,以玄武岩连续纤维制品替代钢材在道路、桥梁及建筑中的运用必将引起越来越多的关注。

从全球的发展水平看,玄武岩纤维的技术及规模尚处于初级阶段,这为我国赶超国外的先进技术水平提供了很大的发展空间和市场机遇。我们要充分认识到:第一,我国玄武岩连续纤维与发达国家的巨大差距和亟待强化发展的重要意