

玄武岩纤维复合材料的研究进展及市场发展前景

任东强（兴安盟石源玄武岩纤维工程技术研究院，内蒙古 兴安盟 137400）

摘要：玄武岩是经过火山爆发以后的岩层从地面冷却和凝固形成的。本身呈现出了泡沫形状，颜色为黑色。一般来讲，国内的玄武岩矿产资源通常是分布在河南、福建、安徽等，压缩强度为 300MPa。上个世纪 90 年代，各项国家都加大了对玄武岩的研发和生产力度，整体生产工艺十分成熟。玄武岩矿石经过高温熔融以后，根据拉丝漏板基于高速条件下形成熔融温度为 1450℃，通过纺织工艺形成的纤维呈现出金色，在纤维分类中归属于无机非金属材料纤维。文章中主要论述了玄武岩纤维复合材料研究进展以及市场发展前景。

关键词：玄武岩；纤维复合材料；研究进展；市场发展前景

玄武岩纤维作为二十一世纪环保新型材料，得到了广泛应用，在整个生产过程中能够达到无废物、无废气、无污染的要求。现阶段，在高技术纤维领域内，玄武岩纤维是有着可持续发展性以及竞争力的新型材料。本身呈现出了隔热、阻燃耐腐蚀性能良好以及吸引系数高等一系列性能。在最近几年中，各项学者全面研究了玄武岩纤维增强复合材料。文章中全面论述了该项材料的研究进展以及市场发展前景。

1 对于玄武岩纤维复合材料的论述

1.1 玄武岩纤维复合材料的化学成分和基本结构

玄武岩纤维从原料选择中明确要求玄武岩融化温度、成型温度必须处于合理的操作范围内，规范性的选择玄武岩的矿物。制造纤维的玄武岩要求 SiO_2 含量高于 50%，而且 Al_2O_3 含量控制在 18% 左右，这对于纤维防水性能和耐腐蚀性能提升起到了极高的效果。基于各项技术的创新和改进，玄武岩纤维结构日益完善。行业人员认为内部玄武岩纤维是非晶态物质，有着远程无序和近程有序的结构特征。组成结构为骨架结构四面体的两个顶点相互连接，形成铝原子，能够取代硅氧四面体中的硅。处于玄武岩纤维表面的金属离子，因为配位数不符合，而从空气和水中缔合或者羟基。

1.2 玄武岩纤维复合材料的特征体现

玄武岩纤维复合材料和其他类型的纤维材料相比较来看，特征如下：第一，有着一定的稳定性和绝缘性。玄武岩纤维复合材料因为导热系数比较低，工作范围大，抗震性能良好，因此得到了普遍应用。该种类型的材料采取多孔结构和无规则的排列方式，吸声性能高，能够当成生产设备的声绝缘材料。第二，力学性能良好。玄武岩纤维的抗拉比强度高和弹性模量十分优异，可以广泛应用于增强性的复合材料。第三，

高电绝缘性能。玄武岩纤维有着一定的绝缘性，可以将其当成耐热绝缘材料，然后应用到电子工业、印刷、线路板制造等领域中。对于电磁波的透过性极高。如果将玄武岩纤维布增加到建筑物的墙体内，可以有效的屏蔽各项电磁波。第四，高耐腐蚀性和化学稳定性。从碱性溶液中玄武岩纤维有着良好的化学稳定性。这种特征在桥梁隧道老板等混凝土结构以及沥青混凝土路面等多方面得到了广泛应用，同时普遍受到了高湿度、酸碱等因素的影响，未来发展前景良好。第五，过滤净化特征以及原料无毒副反应，玄武岩纤维的过滤系数是特别高的，可以当成过滤材料应用。第六，因为玄武岩纤维的吸湿性非常低，因此由玄武岩纤维制造隔热性材料，在火箭传播、制造业等需要低湿性领域内应用十分普遍。

2 玄武岩纤维复合材料的应用研究

2.1 在隔热防火领域中的应用

玄武岩纤维抗高温几乎达到了 700℃ 之上既可以抵抗低温，又可以耐高温。这从一定程度上促使该种类型的材料成为了航空航天以及轨道交通领域中的新型材料。相关人员把玄武岩纤维放置到 200~800℃ 的环境中，研究化学成分和力学性能变化。经过相关探究表明，纤维表面十分光滑，直径变小，不过变化幅度不是特别大，质量也会减小质量分数，减小金属氧化物质量分数增大。玄武岩纤维有着一定的耐高温性能，相关人员研究了玄武岩纤维从高温处理后断裂强度的变化规律以及反应情况。经过探究表明，纤维的断裂强度伴随着温度的升高而逐渐上升，然后下降。这是由于温度到达 200℃ 以后，两根纤维之间的间距减小，从而增强纤维摩擦力。利用制造工艺形成的玄武岩之物可以应用到消防领域中，相关人员采取 X 射线等方式进行论述，获取精准的结果。具有较高的热

防护性能, XRD 谱图显示纤维具有短程有序、长程无序的非结晶状态, 与比热容也存在一种关系。玄武岩纤维消防阻燃防护服, 应用温度范围为 $-269\sim 700^{\circ}\text{C}$, 可使用的对象有消防员、军人以及警察等在火灾环境下高危工作人员。面料分为 4 层: 第一层为内里, 主要作为服用面料要考虑防护服较好的服用性能。第二层为防水透气层, 其作用不仅能防水, 而且能够提高面料的舒适性。第三层为隔热层, 这一层能够充分发挥玄武岩纤维优异的隔热性能, 从而起到热防护作用。第四层是外层, 由玄武岩纤维缝纫线、金属防火拉链构成。良好的隔热性能可做成毡制品, 普遍应用于保温杯或保温板等领域。通过对玄武岩纤维防火保温板做了大量研究, 用于建筑外墙的保温板最大的优点就是其力学性能好, 较好的耐候性使其在日常的太阳光照环境下能够长时间使用。

2.2 在石油化工领域内的应用

从石油化工领域来看, 玄武岩纤维增强树脂基复合材料表现在管材和石油管道等多项领域中的应用, 经过数据探究表明, 石油管道施工使用以后, 说明能够达到 80 年, 因为有着一定的力学性能和耐高温性能, 因此人为加大了玄武岩纤维增强树脂基复合材料的重视程度, 吃重材料得到了一定程度的发展, 相关人员探究了玄武岩纤维增强树脂基复合板材的耐高温性能。以及持续高温处理之下和碱溶液环境下的力学性能变化情况, 经过探究表明, 玄武岩纤维增强复合材料的耐高温性能良好, 处于 200°C 之下的力学性能变化幅度不是特别大。不过在 300°C 以下碱溶液环境中处理 4h 以后抗拉强度下降, 纤维的内部画面体结构被破坏。结果发现增加纤维含量能够提升抗冲击性能。

2.3 玄武岩纤维增强复合材料在汽车上的应用研究

2.3.1 玄武岩纤维替代玻璃纤维用于成型汽车导流罩

首先, 对玄武岩纤维进行改性处理得到改性玄武岩纤维、玄武岩纤维是一种环保的高性能纤维, RTM 成型本身有着极高的作用, 是一种效率高、成本低、生产方式对人体较友好的复合材料成型方式。

2.3.2 研究现状

相关人员通过对不同类型的纤维在 RTM 成型中的实际应用效果进行对比。研究表明, 纯玻璃纤维 (GF) 毡类的拉伸强度非常高, 而弯曲性能较好。玄武岩纤维 (BF) 增强方案与纯玻璃纤维 (GF) 增强方案相比, 拉伸性能提升约为 75%, 提升幅度较大, 主

要表现为纤维毡同纤维布整体结构的差异。

2.3.3 目前存在的现状

怎样做到玄武岩纤维的弯曲性能和碳纤维相当甚至优于碳纤维。怎样在不大量提高纤维量的前提下提升玄武岩纤维的整体性能。

2.3.4 实施产业化分析

现阶段, 对于玄武岩纤维应用于汽车部件的研究鲜少, 但不能忽视其在汽车部件上的应用, 成型汽车整流罩作为汽车上重要的空气导流装置, 其材料的环保、高性能对于汽车有着极高的作用。对此, 在未来解决其弯曲性能较碳纤维低的前提下, 本身具备良好的产业化前景。

2.4 玄武岩纤维在汽车外饰件上的应用研究

2.4.1 玄武岩纤维在汽车外饰件上的应用

借助通用型片状模塑料片材工艺将 4 种玄武岩纤维制成片材, 并将其模压成重型载货汽车的外饰件。相较于目前广泛应用于重型载货汽车门面的外饰件玻璃纤维来讲, 玄武岩纤维综合性能极高, 远远优于玻璃纤维, 而且绿色环保, 有特别高的研究价值。

2.4.2 研究现状

相关对外饰件的力学性能、喷漆后漆膜表面性能进行有效的检测, 并将其与现用的玻璃钢外饰件进行综合性对比。结果表明, I 型玄武岩纤维外饰件的拉伸强度逐渐提高 43.9%, 弯曲强度提高 12.0%, 冲击强度提高 31.3%, 同时 I 型玄武岩纤维外饰件喷涂满足标准要求, I 型玄武岩纤维制件的表面质量要优于玻璃钢。国外对汽车面板材料依据玻璃纤维与玄武岩纤维含量的不同分组, 100% 玄武岩纤维的组在 2MPa 的压力、15min 的愈合时间下, 拉伸强度、挠曲强度、冲击强度都为 3 组中最佳, 分别为 95.00MPa、29.91MPa、12.50MPa。研究结果表明, 面板的机械性能与压力、时间和混合类型成正比。目前存在的问题是采取何种方式降低玄武岩纤维的成本, 提高经济效益。

2.4.3 产业化分析

目前, 玄武岩纤维应用于汽车外饰件主要是在重型汽车上, 距离其小型化尚需一段距离, 而且目前的玄武岩纤维成本较高, 距离其大规模产业化还需较多实验以及技术积累。所以, 当前将玄武岩纤维可以应用于重型汽车上, 但距离其普及还需相当一段时间。

2.5 高承压、低成本的车用玄武岩纤维缠绕复合材料气瓶

玄武岩纤维缠绕气瓶主要由铝合金内衬和玄武岩

纤维缠绕层所组成。可将压缩天然气汽车的气瓶压力由较为广泛采用的 20MPa 提到 35MPa, 从而提高汽车的续驶里程。同时相较于对环境污染较大的玻璃纤维以及成本高昂的碳纤维, 玄武岩纤维在环保性、成本控制都有较为良好的表现, 且纤维的综合性能良好, 具有广阔的市场前景。

2.5.1 研究现状

通过进行结构静力学模块计算, 分别获取铝合金内衬、螺旋缠绕层、环向缠绕层在各工况下的最大等效应力, 同时和复合材料气瓶的设计要求进行对比。分析得出结论, 将目前常用的车用 CNG 气瓶工作压力由 20MPa 提高到 35MPa 是可行的。通过对车用 35MPa 玄武岩纤维增强复合材料气瓶自紧工艺进行研究, 结果表明: 在自紧后, 玄武岩纤维增强复合气瓶纤维层在 35MPa 的工作压力下的应力强度明显高于自紧前, 气瓶纤维强度利用率大幅度提高。在 60~80MPa 的工作压力下, 纤维增强作用得到提高。而且当自紧压力为 64.89MPa 时, 气瓶的承载性能达到最佳。该研究成果可以大幅度提高玄武岩复合材料气瓶的承载能力, 有助于天然气汽车的应用及推广。

2.5.2 目前存在的问题

①如何提高玄武岩纤维缠绕复合材料气瓶的疲劳强度; ②对玄武岩纤维缠绕复合材料气瓶的损伤分析不足; ③玄武岩纤维缠绕复合材料气瓶的安全性能是否满足要求。

2.5.3 产业化分析

当前, 对于车用玄武岩纤维复合材料气瓶的研究尚处于初级阶段, 后续还需大量实验验证其在 35MPa 的压力下是否仍然具有稳定的性能及是否具有安全性, 在解决诸如此类问题的前提下, 该复合材料气瓶具有大规模产业化的良好前景, 此材料气瓶在节能环保方面的优势是其未来发展的巨大潜力。

3 具有发展潜力的玄武岩纤维增强复合材料

通过对比各种玄武岩纤维增强复合材料, 玄武岩纤维树脂基复合材料具有很广阔的前景。这 3 种玄武岩纤维复合材料各具特点: ①玄武岩纤维增强金属层合板, 同时具有金属和复合材料纤维的优点, 且相较于其他纤维增强金属层合板, 具有绿色无污染、化学稳定性好的特点, 是一种十分具有潜力的玄武岩增强复合材料; ②玄武岩纤维/树脂基复合材料, 因在车用复合材料气瓶的应用中有良好的性能, 具有十分广阔的前景; ③玄武岩纤维聚合物复合材料, 目前

的研究多用于混凝土的结构强化, 针对车用材料的研究较为缺乏。在 3 种玄武岩纤维增强复合材料中, 在对玄武岩纤维的安全性及疲劳损伤进行进一步深入分析后, 玄武岩纤维树脂基复合材料具有很广阔的发展前景。

4 玄武岩纤维复合材料市场前景

4.1 市场分析——全球

全球玄武岩纤维复合材料产能主要集中在乌克兰、俄罗斯、中国、美国等国家。2019 年全球产量达到了 3.5 万 t, 市场规模约为 2.3 亿美元, 2020 年将超过 2.8 亿美元。从产量分布来看, 我国玄武岩纤维增强复合材料产量高达 1.5 万 t, 已成为全球主要的玄武岩纤维生产国家之一。美国玄武岩纤维增强复合材料年产量达到 4500t, 排在第二。俄罗斯年产量约有 3800t 左右, 产品较为高端, 主要应用在军工、油气管道等领域。

4.2 市场分析——国内

我国玄武岩纤维增强复合材料研发应用起源于上世纪 90 年代。经过几十年的发展, 目前中国已经成为玄武岩纤维全球主要生产国家之一。2022 年我国玄武岩纤维产量达 2.42 万 t, 需求量约 1.75 万 t, 国内市场规模超过 2 亿元。截至年底, 国内外实际已投入生产运营的玄武岩生产厂家约有 30 多家, 我国约占 70% 多。已经有 76 余家全国工商注册的玄武岩纤维厂家。其中, 年产能达到 3000t 以上的厂家达到 12 家, 而且还有诸多专业的研究院校在做相关研究工作, 政府的相关政策也在大力支持玄武岩纤维增强复合材料的发展。

5 结语

通过研究中国玄武岩纤维增强复合材料目前的发展现状可以得出, 虽然我国在车用玄武岩纤维材料研究领域里产生了一些成果, 但与国际先进水平还存在一定的差距。国内的各研究机构和企业要勇于开拓创新, 在未来为该领域的突破贡献自己的力量。

参考文献:

- [1] 吴智深. 玄武岩纤维及其复合材料作为建材的创新应用 [J]. 江苏建材, 2022(4):15-22.
- [2] 陈德茸. 连续玄武岩纤维的发展与应用 [J]. 高科技纤维与应用, 2022, 39(6):17-20.

作者简介:

任东强 (1975-), 男, 汉族, 陕西延安人, 大学本科, 研究方向: 玄武岩纤维制造, 纤维设备研发。