

玄武岩纤维增强复合材料及其应用最新研究进展

贾明皓 肖学良* 冯古雨 钱 坤

(生态纺织教育部重点实验室(江南大学),无锡 214122)

摘 要 玄武岩纤维增强复合材料是一种以玄武岩纤维为增强体,以树脂基或水泥基等为基体的新型复合材料,其具有高强度、耐高温、耐腐蚀等优异性能。综述了玄武岩纤维及其复合材料的最新研究现状及其在隔热、耐温、防火领域、石油化工领域、汽车领域及建筑工程领域的应用。并对玄武岩纤维增强复合材料及其应用进行了展望。

关键词 玄武岩纤维,增强,复合材料,应用,研究进展

Recent progress in basalt fiber and its reinforced cement matrix composite

Jia Minghao Xiao Xueliang Feng Guyu Qian Kun

(Key Laboratory of Eco-Textile (Jiangnan University), Ministry of Education, Wuxi 214122)

Abstract Basalt fiber reinforced composite material is a kind of new composite material with basalt fiber as reinforcement and resin or cement base as its matrix, which has high strength, high temperature resistance, corrosion resistance and other excellent properties. The latest research status of basalt fiber and its composite materials and their application in the field of heat insulation, temperature resistance, fire protection, petrochemical industry, automotive field and construction engineering were reviewed. The basalt fiber reinforced composites and their applications were prospected.

Key words basalt fiber, reinforcing, composite, application, research progress

玄武岩是由火山爆发之后的岩浆在地面经过冷却及凝固之后形成的,形状结构一般为致密状或泡沫状,颜色一般为暗色或黑色居多^[1-2]。国内玄武岩矿产资源主要分布在福建福鼎市、河南洛阳市及安徽明光市,其压缩强度可达 300MPa^[3]。也正是玄武岩具有耐高温及其优异的力学性能激起 20 世纪 60 年代苏联国防部研发玄武岩纤维的兴趣^[4],并且到 20 世纪 90 年代各个发达国家都参与研发和生产,生产工艺相继成熟^[5]。玄武岩纤维(Basalt Fiber,简称 BF)是由玄武岩矿石经过高温熔融后,再通过拉丝漏板在高速条件下拉制而成,熔融温度范围为 1450~1500℃^[6-7],经过纺丝工艺而成的纤维一般呈褐色或者金色^[8],在纤维分类中应归属于无机非金属纤维。令国家瞩目的是在这个绿水青山就是金山银山的环保社会,玄武岩纤维作为 21 世纪绿色环保新型材料之一^[9],在整个生产过程中能达到三无要求,即无废料、无废气、无污染。玄武岩纤

维的主要成分有:SiO₂(46%~52%)、Al₂O₃(10%~18%)、CaO+MgO(13%~25%)、Fe_xO_y(6%~18%)、Na₂O+K₂O(2%~10%)、TiO₂(1.5%~2%)^[10]。

目前,在世界高技术纤维行业中,玄武岩纤维作为最具有可持续发展性、最具有竞争力的新型材料之一,其具有一系列的优异性能:第一个主要性能是隔热阻燃、即耐高温又耐低温^[11],使用温度可高达 700℃、低至-260℃,可用于消防、航空航天等领域;第二个主要性能是耐酸和耐腐蚀性能好,可用于石油化工领域^[12];第三个主要性能是具有高的吸引系数和稳定的摩擦系数,可用于汽车领域;第四个主要性能是其具有优异的拉伸强度和高弹性模量,与水泥基体良好的界面粘结性能使玄武岩纤维在土工建筑领域成为新型的增强材料^[13]。近几年众多学者对玄武岩纤维增强复合材料做了大量的研究,基于此,笔者综述了玄武岩纤维增强复合材料及其应用

基金项目:“十三五”国家重点研发计划项目(2016YFB0303200);江苏省自然科学基金(BK20160157)

作者简介:贾明皓(1994-),男,硕士研究生,主要从事纤维增强土工建筑材料的制备与应用研究。

联系人:肖学良(1984-),男,博士,副教授,主要从事纺织品结构与性能研究。

的最新研究进展。

1 在隔热、耐温、防火领域的应用

玄武岩纤维耐高温可达到 700℃ 以上,耐低温可至 -260℃,即能够耐低温又能耐高温的材料并不常见,这使玄武岩纤维成为航空航天及轨道交通领域的新型材料之一。Chen 等^[14]将玄武岩纤维置于 200~800℃ 的环境内来研究化学成分及力学性能的变化,结果表明,纤维表面变的更光滑,单丝直径变小但变化程度不大,质量也在一定程度上减小, SiO_2 和 Al_2O_3 的质量分数都减小,金属氧化物质量分数出现增大的现象,纤维在 200℃、400℃ 和 800℃ 处理后的强度保留率分别为 98.3%、64.6% 和 20%,充分表明玄武岩纤维具有优异的耐高温性能。Li 等^[15]研究了玄武岩纤维纱线在高温处理后断裂强度的变化规律及发生的反应,结果表明,纤维的断裂强度随着温度的升高呈现先上升后下降的趋势,这是因为温度到达 200℃ 时,两根纤维之间的距离减小,从而纤维摩擦力增加导致断裂强度上升。

通过织造工艺而成的玄武岩织物可应用于消防领域。Liu 等^[16]通过比热容、X 射线衍射(XRD)等方法进行表征,表征结果为纤维的比热容为 2913.31J/(kg·K),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。王剑平^[17]发明了一种玄武岩纤维消防阻燃防护服,应用温度范围为 -269~700℃,可使用的对象有消防员、军人以及警察等在火灾环境下高风险工作人员。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。胡显奇^[18]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之一就是其力学性能好,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 在石油化工领域的应用

在石油化工领域主要表现为玄武岩纤维增强树脂基复合材料在气瓶、管材及石油管道等领域的应用,

有数据显示,在石油管道施工使用后其寿命可以达到 80 年。因其具有高的力学性能、耐高温性能以及良好的介电性能使得玄武岩纤维增强树脂基复合材料引起广泛重视,也必将得到快速发展。陆中宇^[19]研究了玄武岩纤维增强树脂基复合板材的耐高温性能,并且研究了在持续高温处理以及碱溶液环境下力学性能的变化趋势,结果表明,玄武岩纤维增强复合材料(BFRP)的耐高温性能优异,在 200℃ 下 BFRP 的力学性能变化不大,但在 300℃ 以及碱溶液环境下处理 4h 后其抗拉强度下降了 32.8%,并且破坏了纤维的内部八面体结构。刘玉美^[20]通过研究织物密度以及纤维体积含量对玄武岩纤维增强树脂基复合材料抗冲击性能的影响,结果发现适当的织物密度和增加纤维含量可以提高其抗冲击性能。

3 在汽车领域的应用

目前汽车行业考虑最多的是节能和环保,要节能首先就要考虑轻量化,从汽车的车体、车壳到内部的刹车片等大多都还是用铁制品制得,玄武岩纤维增强复合材料的轻量化使其占据优势。汽车的一些内饰、装修等大多都还在使用塑料材料,而塑料本身就具有一定的污染性,作为 21 世纪绿色材料的玄武岩纤维,可降低汽车尾气对环境的污染,再加上其高强度、高摩擦系数等优异性能,正在汽车行业得到不断的研究和发展。Liu 等^[21]制备出玄武岩纤维增强摩擦材料,通过改变纤维体积率研究了复合材料的力学性能、磨损性能以及对噪音控制的影响,结果发现内剪切强度随着纤维体积含量的增加呈现先增加后降低的趋势,而磨损量和噪音量控制表现为先降低后增加,三者共同出现一个最佳的纤维体积率值,这个最佳值为 12%。黄四平等^[22]对比了玄武岩纤维和玻璃纤维增强材料对汽车摩擦性能的影响,结果发现无论是在摩擦性能还是在冲击性能测试实验中玄武岩纤维复合材料均表现优异,数据显示摩擦性能提高了 33.8%,冲击性能提高了 7.45%。也充分证实了在汽车行业玄武岩纤维可成为玻璃纤维的替代材料。

4 在建筑工程领域的应用

混凝土作为建筑行业应用最广泛的材料,同样也具有脆性大、易开裂等一系列缺点。在混凝土施工过程中不可避免会出现一些裂缝,也正是这些裂

缝的存在大大降低了混凝土的抗拉强度^[23]。常用的水泥基复合材料增强体有碳纤维、玻璃纤维以及聚乙烯醇(PVA)纤维等,碳纤维的力学性能最好,但是其成本高大大阻碍了其在建筑领域的应用;玻璃纤维的耐碱性差,如要用玻纤增强混凝土必须对玻璃纤维进行表面改性,这又大大增加了工艺难度及成本;PVA纤维与水泥的表面粘结性能和力学性能不如玄武岩纤维。因此玄武岩纤维增强水泥基复合材料也正在成为众多科研工作者研究的对象,其主要可应用于路面、机场跑道、高层建筑以及桥梁加固等。

High等^[24]通过将短切玄武岩纤维掺入混凝土中研究其抗弯曲性能变化情况,结果发现可以显著提高混凝土的抗弯性能。Kizilkanat等^[25]比较了玄武岩纤维和玻璃纤维增强混凝土的力学性能,结果表明,玄武岩纤维增强混凝土(BFRC)的抗拉强度随着纤维体积率的提高而增加,而玻璃纤维增强混凝土(GFRC)虽然也有提高的趋势,但当体积含量超过0.5%时抗拉强度就不再增加。BFRC的抗裂性能及延性比GFRC都得到显著提高。薛启超等^[26]通过测试和观察玄武岩纤维增强混凝土弯曲性能时裂纹的变化情况来研究断裂性能,结果发现裂纹出现3个阶段,分别为裂纹的不扩展到扩展,最后为裂缝的失态阶段,而且由于纤维的掺入,混凝土的抗弯性能提高,从而表现为断裂强度得到显著提高。

5 展望

玄武岩纤维及其增强复合材料在具备许多优异性能的同时,还有一些缺点需要相关工作者去研究和攻破。第一是玄武岩纤维生产技术还不够完善,成纤工艺还具有很大的难度;第二为密度相对于其他高性能纤维较大,这也在一定程度上限制了玄武岩纤维及其复合材料的应用和发展,可以在纤维体积含量以及织物工艺参数上加以控制;第三是玄武岩纤维如作为衣用面料其服用性能不佳,影响穿着舒适性,在与其他纤维材料混纺过程中要充分考虑配合比。玄武岩纤维在建筑工程领域应用上,目前大多都还是以短切和增强筋的形式掺入到混凝土中,而如何使玄武岩连续纤维或者织物应用到建筑中,是众多科研工作者研究的方向之一。

参考文献

[1] Pazniak A, Barantseva S, Kuzmenkova O, et al. Effect of gra-

nitic rock wastes and basalt on microstructure and properties of porcelain stoneware[J]. Materials Letters, 2018, 225: 122-125.

- [2] He Y, Zhou Y, Wen C Q. Chemical composition characteristics and tectonic setting of basalts in the Tibet Duolong ore concentration area[J]. Nonferrous Metals Engineering, 2017, 7(3): 77-82.
- [3] Li C. Application of high-precision magnetic method in prospecting in basalt area[J]. Nonferrous Metals Abstract, 2015, 30(5): 58-59.
- [4] 林希宁, 张凤林, 周玉梅. 玄武岩纤维及其复合材料的研究进展[J]. 玻璃纤维, 2013(2): 39-44.
- [5] 雷静, 党新安, 李建军. 玄武岩纤维的性能应用及最新进展[J]. 化工新型材料, 2007, 35(3): 9-12.
- [6] Li J J, Dang X A. Forming technology of continuous basalt fibers[J]. Material Science and Technology, 2009, 2: 211-214.
- [7] Matykiewicz D, Barczewski M, Knapski D, et al. Hybrid effects of basalt fibers and basalt powder on thermomechanical properties of epoxy composites[J]. Composites Part B: Engineering, 2017, 125: 157-164.
- [8] 王屹, 余骁, 张建军, 等. 玄武岩纤维的开发及应用[J]. 玻璃纤维, 2017(4): 28-31.
- [9] 董丽茜, 陈进富, 郭春梅, 等. 玄武岩纤维在环保领域的应用研究现状及展望[J]. 当代化工, 2018, 47(2): 387-391.
- [10] Liu J X, Yang J P, Chen M R, et al. Effect of SiO₂, Al₂O₃ on heat resistance of basalt fiber[J]. Thermochimica Acta, 2018, 660: 56-60.
- [11] Gutnikov S I, Pavlov Y V, Zhukovskaya E S. Influence of vibration on basalt fiber crystallization at high temperature[J]. Journal of Non-Crystalline Solids, 2018, 501: 71-77.
- [12] Rybin V R, Utkin A V, Baklanova N I. Corrosion of uncoated and oxide-coated basalt fibre in different alkaline media[J]. Corrosion Science, 2016, 102: 503-509.
- [13] Niaki M H, Fereidoon A, Ahangari M G. Experimental study on the mechanical and thermal properties of basalt fiber and nanoclay reinforced polymer concrete[J]. Composite Structures, 2018, 191: 231-238.
- [14] Chen Q, Gu T L, Yang Z J, et al. Effects of elevated temperature treatment on compositions and tensile properties of several kinds of basalt fibers[J]. Journal of Materials Engineering, 2017, 45(6): 61-66.
- [15] Li F Z, Li G C, Wang H M, et al. Study on high temperature resistance of basalt fiber yarn[J]. Journal of Functional Materials, 2015, 3: 3060-3063.
- [16] Liu G Y, Liu Y J, Zhao X M. A study on protecting efficiency to the radiative heat of the outer fabric for the fiber proximity suits[J]. Materials Review, 2017, 31(22): 116-120.
- [17] 王剑平. 一种用玄武岩纤维面料制造的消防阻燃防护服: 中国 103372270[P]. 2013-10-30.

(下转第 12 页)