

玄武岩纤维混凝土国内外研究现状及发展动态分析

李曦彤, 戎泽斌, 李桢怡, 薛 山

塔里木大学水利与建筑工程学院, 新疆 阿拉尔

收稿日期: 2022年6月4日; 录用日期: 2022年6月14日; 发布日期: 2022年6月27日

摘 要

迄今为止, 混凝土被广泛运用于工程建设, 但由于其显著的缺陷造成使用的局限性。玄武岩纤维作为绿色新型材料, 本文通过将玄武岩纤维加入混凝土后, 对于玄武岩纤维提高混凝土的力学性能和干湿循环下抗盐侵蚀耐久性进行详细阐述分析。

关键词

混凝土, 玄武岩纤维, 力学性能, 干湿循环

Home and Abroad Research Status and Development Trends of Basalt Fiber Reinforced Concrete

Xitong Li, Zebin Rong, Zhenyi Li, Shan Xue

College of Water Resources and Architectural Engineering, Tarim University, Alaer Xinjiang

Received: Jun. 4th, 2022; accepted: Jun. 14th, 2022; published: Jun. 27th, 2022

Abstract

So far, concrete has been widely used in engineering construction, but its use is limited due to its significant defects. Basalt fiber is a new green material. In this paper, after adding basalt fiber to concrete, the mechanical properties of basalt fiber and the durability of resistance to salt erosion under dry-wet cycles are elaborated and analyzed.

Keywords

Concrete, Basalt Fiber, Mechanical Properties, Dry-Wet Cycle

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

普通混凝土有其缺点,如自重大、高导热性、耐高温、高脆弱、低拉伸和弯曲强度。国内外学者不断探索提高普通混凝土缺陷性能的方法,使其得到更广泛的应用。学者们在普通混凝土中添加纤维材料,从内部改善混凝土性能。纤维预应力混凝土可以提高混凝土的韧性及其减缓开裂的能力、与水泥基体的粘附能力和纤维在混凝土中的分散性等因素[1][2]。因此,在混凝土中加入纤维以提高其效率已成为学者们提高混凝土耐久性的一种方法。

玄武岩纤维(BF)于1960年代在苏联开发,其性能比玻璃纤维强,强度比钢高,因此学者们开发了玄武岩纤维制造技术。我国对连续玄武岩纤维(CBF)的研究始于1990年代中期,与苏联技术的联合试验,难以成功研制玄武岩纤维。但随着不断地研究创新,使得我国玄武岩纤维研究技术成熟,拥有自主知识产权。作为21世纪的绿色环保材料,玄武岩纤维具有广泛的应用领域,如军事、航空、交通工程、汽车材料市场等。由于其稳定性好、成本低等特性,因此广泛用于混凝土加固材料[3]。

2. 玄武岩纤维混凝土性能的研究

2.1. 玄武岩纤维混凝土力学性能方面

国内外学者们通过将玄武岩纤维掺入混凝土中来改善其有关力学性能,通过试验得出,玄武岩纤维的掺入可以有效提高混凝土的抗压强度、劈裂抗拉强度和抗折强度;并且当玄武岩纤维为6 mm时,混凝土抗冲击能力最佳[4][5][6][7]。

李德超(2020),赵晨曦(2020)将不同掺量的玄武岩纤维掺入混凝土内部,并且进行混凝土抗压强度和劈裂抗拉强度的测试[8],得出玄武岩纤维之所以提高混凝土的力学性能,主要是由于玄武岩纤维在混凝土内部随机分散,并且在原有混凝土裂缝中充当“桥接”作用,以此来改善混凝土的力学性能,当外力荷载施压时,玄武岩纤维在混凝土内部“桥接”能力充分展现,抵挡外部荷载。

张萌(2021),骆文进(2021)通过改变不同掺量的玄武岩纤维、聚丙烯纤维和陶粒的替代率,采用正交方法对混凝土进行力学性能试验。得出,三种不同因素对于抗折强度有显著的提升,并且建立HF-LWC预测混凝土力学模型的精度较为精准[9]。

雷雅楠(2020)将风积沙最为河砂取代以及不同掺量的玄武岩纤维加入混凝土中[10],得出虽然玄武岩纤维掺量增大,混凝土力学性能得到改善,但并不是掺入纤维越多越好。并且单轴压缩曲线中在弹性阶段,随着玄武岩纤维的掺入曲线下降较为平缓。周浩(2019)、贾彬(2019)等[11]通过试验得出,当玄武岩纤维掺量达到0.3%和0.4%时,混凝土的力学强度提升效果最明显,改善显著且与混凝土基体粘结能力较好;但当掺量持续增大时,力学性能指标发生下降。

王意(2018)通过研究玄武岩纤维混凝土得出[12],合理的减水剂可以改善混凝土的工作性能,同时发现玄武岩纤维对于提升混凝土的抗压能力效果一般,且玄武岩纤维掺量的改变,轴心抗拉强度变化与立

方体抗压强度变化较为相似。葛浩军(2018) [13]通过试验得出,玄武岩纤维的掺入使得混凝土的抗折强度发生先增加后降低的趋势,且抗冲击性能与延性要优于普通混凝土,但是其抗剪强度却低于普通混凝土。

李晓路(2017)、金宝宏、姚宇峰等[14]将不同掺量的玄武岩纤维与再生粗骨料相结合进行再生混凝土的力学性能试验,得出玄武岩纤维降低混凝土的流动性并且使得立方体抗压强度和劈裂抗拉强度得到不同程度的提高。周强[15]使得不同长度的玄武岩纤维掺入混凝土中进行力学性能试验,分析得出玄武岩纤维可以改善混凝土整体强度,使得强度更加稳定。

董伟(2019)、肖阳(2019)、苏英(2019)通过玄武岩纤维混凝土力学强度试验可知[16],玄武岩纤维在混凝土中的效果在早中期阶段显著,同时玄武岩纤维掺入混凝土后,可以减少混凝土的裂缝产生以及裂缝进一步恶化发展,但是玄武岩纤维掺量过大,则有影响混凝土的整体性。

张兰芳(2016)、尹玉龙(2016)、岳瑜(2016)将不同掺量的玄武岩纤维掺入混凝土中进行相关力学性能试验[17],适量的玄武岩纤维可以使混凝土极限拉伸值提高,承受荷载能力提高,并且通过微观结构扫描分析得出,玄武岩纤维与混凝土内部水泥基体结合良好,共同承担外来荷载。

学者们通过研究不同长度的玄武岩纤维及不同掺量的玄武岩纤维掺入混凝土中进行相关力学实验,得出纤维可以显著提高混凝土力学性能,延缓混凝土内部裂缝扩展和加深,并且纤维在混凝土内部形成网状结构以此增强混凝土受力能力,提高混凝土整体性能[18] [19] [20] [21] [22]。玄武岩纤维掺入混凝土内,在混凝土内部随机分布,有效填补混凝土中原有裂缝间隙,当玄武岩纤维混凝土受到外力荷载时,玄武岩纤维与混凝土基体共同承担荷载;当荷载持续的增加,纤维与混凝土基体间的粘结性能延缓了新裂缝的产生及原有裂缝的加深变宽趋势;当荷载持续增大时,混凝土内部的裂缝出现较大向外扩展的现象,纤维在裂缝间的“桥接作用”可以继续提供混凝土抵抗外力荷载的抗力,以此保证混凝土整体破坏时间延长。当裂缝间纤维被拉断或拔出时,混凝土发生最终破坏。因此,玄武岩掺入混凝土内由于填补混凝土内部的裂缝及延缓新裂缝增长的速度,即玄武岩纤维可以有效提高混凝土的承受荷载能力。

2.2. 玄武岩纤维混凝土干湿循环下抗盐侵蚀能力方面

我国西北地区、东北地区混凝土结构主要受到硫酸盐侵蚀、氯盐侵蚀或者复合盐侵蚀[23] [24] [25] [26],盐类侵蚀是混凝土结构破坏的主要因素之一。同时,相比于普通混凝土结构来说,有些建筑结构(桥墩,大坝等)同时遭受干湿交替作用,其腐蚀破坏速度比普通混凝土结构破坏速度要快的多。

混凝土长期处于干湿交替作用下,盐类侵蚀破坏效果最明显,随着盐溶液不断地增大,混凝土破坏越严重,但当粉煤灰的掺入时,混凝土抗盐侵蚀效果并未显著。其中,矿粉可以提高混凝土抗盐侵蚀能力,并且随着玄武岩纤维的掺入且在干湿循环作用下抵抗盐侵蚀能力强于普通混凝土,因为玄武岩纤维的掺入可以减缓混凝土裂缝的生长,因此当盐溶液渗入时,混凝土内部较为密实,不易持续加深破坏。同时,通过 SEM 扫描电镜可知,玄武岩纤维的掺入可以使得腐蚀产物钙矾石和石膏等生成物生成数量减少,延缓裂缝发展[27] [28] [29] [30]。

丁晨(2012)通过试验结果分析得出[31],试件遭受盐侵蚀时,首先破坏处为棱角逐渐有裂缝,并且随着盐溶液的渗入,棱角处裂缝不断地生长扩宽,最终由于裂缝间的贯通导致试件发生破坏。混凝土中添加外加剂的用量在规定范围内,可以改善混凝土的抵抗盐类侵蚀作用的能力[32] [33] [34] [35]。

综上所述,随着玄武岩纤维的掺入,使得混凝土改善抵抗盐溶液侵蚀能力。当盐溶液渗入混凝土内部时,由于裂缝间的玄武岩纤维起到有效“桥接”作用,会阻碍盐溶液的渗入,同时裂缝间会生成石膏、钙矾石等腐蚀产物。当石膏、钙矾石等腐蚀产物随着混凝土受到盐溶液侵蚀作用时间延长时,会从裂缝间逐渐“生长”遍布周围,使得混凝土内部原致密区域发生较多裂纹,并且在盐溶液的加持下,这些裂纹会持续发展形成裂缝,最终由于混凝土内部形成裂缝较多,盐溶液不断地渗入,导致混凝土最终破坏。

但当玄武岩纤维掺入混凝土后,可以有效延缓石膏、钙矾石一类腐蚀产物的生成速度,从而使得混凝土内部的新裂缝产生数量较少,增强混凝土抵抗盐溶液与干湿作用下的侵蚀能力。

3. 结论

通过对玄武岩纤维混凝土的发展、玄武岩纤维掺入混凝土后改善其力学性能和盐侵蚀能力分析,得出以下结论:

1) 玄武岩纤维作为新型绿色材料可以被大量使用掺入混凝土中,并得到良好的改善能力。但是文献表明,玄武岩纤维并不是掺的越多越好,掺入越多,导致纤维在混凝土内部发生“聚集”无法分散现象,使得混凝土内部形成较多薄弱界面,当外力荷载施压时,这些薄弱界面会率先发生破坏,加快混凝土破坏速度。

2) 玄武岩纤维的掺入可以增强混凝土的劈裂抗拉能力和抗折能力,对于抗压强度的提升仅限于小幅度增长;玄武岩纤维在混凝土内部随机分散形成网状结构,增强混凝土内部薄弱点的承受荷载能力。

3) 玄武岩纤维混凝土在干湿循环作用下,抵抗盐侵蚀能力大大增强。当盐溶液渗入玄武岩纤维混凝土内部时,由于玄武岩纤维在混凝土内部较为致密使得腐蚀产物石膏、钙矾石等生长数量及速度大大降低,以此减少新裂缝的生成,因此可以较大程度阻碍盐溶液的渗入破坏,从而减缓混凝土开裂且增强混凝土抵抗盐侵蚀能力。

参考文献

- [1] 孙一民,李忠良,张健.短切BFRC力学性能及机场道面工程应用[J].沈阳工业大学学报,2019,41(6):699-704.
- [2] 金生吉,孙一民,于贺,等.玄武岩纤维增强混凝土力学特性及工程应用研究[M].北京:清华大学出版社,2018:1-54.
- [3] 曹海琳,晏义伍,岳利培,等.玄武岩纤维[M].北京:国防工业出版社,2017:1-7.
- [4] 王志杰,徐成,王嘉伟,等.玄武岩纤维长度对喷射混凝土力学性能影响规律研究[J].隧道建设(中英文),2020,40(S1):9-16.
- [5] 徐存东,黄嵩,李洪飞,等.盐冻作用下玄武岩纤维混凝土力学性能损伤研究[J].硅酸盐通报,2021,40(3):812-820.
- [6] 赵燕茹,刘道宽,王磊,等.玄武岩纤维混凝土高温后力学性能试验研究[J].混凝土,2019(10):72-75.
- [7] 于泳,朱涵,朱学超,等.玄武岩纤维混凝土抗冲击性能研究[J].建筑结构报,2015,36(S2):354-358.
- [8] 李德超,赵晨曦.玄武岩纤维混凝土基本力学性能研究[J].公路,2020,65(6):237-241.
- [9] 张萌,骆文进.混杂纤维轻骨料混凝土力学性能试验研究[J].混凝土与水泥制品,2021(5):48-52.
- [10] 雷雅楠.玄武岩纤维风积沙混凝土力学性能及盐冻环境下耐久性试验研究[D]:[硕士学位论文].包头:内蒙古科技大学,2020.
- [11] 周浩,贾彬,黄辉,等.玄武岩纤维混凝土抗压和抗折力学性能试验研究[J].工业建筑,2019,49(8):147-152.
- [12] 王意.玄武岩纤维混凝土力学性能试验研究[D]:[硕士学位论文].成都:西南交通大学,2018.
- [13] 葛浩军.玄武岩纤维混凝土力学性能及耐久性研究[D]:[硕士学位论文].大连:大连理工大学,2018.
- [14] 李晓路,金宝宏,姚宇峰,等.玄武岩纤维再生混凝土的基本力学性能[J].河北大学学报(自然科学版),2017,37(3):225-230.
- [15] 周强.玄武岩纤维增强混凝土力学性能试验研究[J].路基工程,2019(4):121-124.
- [16] 董伟,肖阳,苏英.玄武岩纤维风积沙混凝土力学性能研究[J].硅酸盐通报,2019,38(7):2016-2020+2027.
- [17] 张兰芳,尹玉龙,岳瑜.玄武岩纤维掺量对混凝土力学性能的影响[J].硅酸盐通报,2016,35(9):2724-2728.
- [18] 柯开展.玄武岩纤维对混凝土力学性能的影响[J].福建建设科技,2016(5):42-43.
- [19] 彭苗,黄浩雄,廖清河,等.玄武岩纤维混凝土力学性能的研究[J].厦门理工学院学报,2012,20(1):83-86.
- [20] 刘瑶,张光洙,王云鹤.玄武岩纤维混凝土力学性能研究及机理分析[J].山西建筑,2014,40(5):107-108.

- [21] 王瑞珍. 玄武岩纤维混凝土的力学性能与应用[J]. 中国住宅设施, 2021(2): 112-113.
- [22] Dias, D.P. and Thaumaturgo, C. (2004) Fracture Toughness of Geopolymeric Concretes Reinforced with Basalt Fibers. *Cement and Concrete Composites*, **27**, 49-54. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.02.044>
- [23] 黄冉. 西部环境下结构混凝土耐久性研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 东南大学, 2017.
- [24] 葛广华, 王成, 姚明星. 阿拉尔垦区盐渍土工程特性试验与分析[J]. 山西建筑, 2016, 42(14): 43-44.
- [25] Mehta, P.K. (1997) Durability-Critical Issues for the Future. *Concrete International*, **20**, 27-33.
- [26] Neville, A. (2001) Consideration of Durability of Concrete Structures: Past, Present, and Future. *Materials and Structures*, **34**, 114-118. <https://doi.org/10.1007/BF02481560>
- [27] 宿晓萍. 吉林省西部地区盐渍土环境下混凝土耐久性研究[D]: [博士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2013.
- [28] 张雷. 德令哈盐沼泽区桥梁墩台混凝土损伤试验研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2015.
- [29] 方鹏. 盐渍土地质条件下大掺量矿物掺合料混凝土耐久性研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2018.
- [30] 郝负洪, 江南, 樊金承, 等. 盐渍土环境下混凝土的抗腐蚀性研究[J]. 混凝土, 2016(8): 8-10+15.
- [31] 丁晨. 盐侵蚀条件与水泥基材料劣化的相关性研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2012.
- [32] 王怿涵, 李维红. 硫酸盐-干湿循环作用下混凝土力学性能研究[J]. 大连大学学报, 2016, 37(3): 13-16.
- [33] 田林杰. 盐渍土地区水泥基材料抗硫酸盐侵蚀宏观性能及微观结构研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州交通大学, 2017.
- [34] Kong, J.S., Ababneh, A.N., Frangopol, D.M., *et al.* (2002) Reliability Analysis of Chloride Penetration in Saturated Concrete. *Probabilistic Engineering Mechanics*, **7**, 305-315. [https://doi.org/10.1016/S0266-8920\(02\)00014-0](https://doi.org/10.1016/S0266-8920(02)00014-0)
- [35] Ahmad, S. (2003) Reinforcement Corrosion in Concrete Structures Its Monitoring and Service Life Prediction—A Review. *Cement & Concrete Composites*, **25**, 459-471. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00086-0](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00086-0)