

DOI: 10.7672/sgjs2024210119

玄武岩纤维桥梁混凝土力学与耐久性能研究*

李忠诚

(中铁十九局集团华东工程有限公司, 浙江 余姚 315400)

[摘要] 为研究玄武岩纤维对桥梁混凝土力学性能、耐久性能的影响规律,提高桥梁混凝土综合性能,对桥梁混凝土抗压强度、劈裂抗拉强度、抗冻性能与抗氯离子渗透性能进行了试验研究。研究表明,在养护龄期为7,28d的条件下,当混凝土中玄武岩纤维掺量增加时,桥梁混凝土抗压强度均先增大后减小,28d劈裂抗拉强度先增大后减小,质量损失率大致先减小后增大,相对动弹性模量大致先增大后减小,电通量先减小后增大。当混凝土中玄武岩纤维掺量为0.3%时,有助于提高桥梁混凝土抗压强度、劈裂抗拉强度、相对动弹性模量,降低质量损失率和电通量,相比素混凝土,玄武岩纤维桥梁混凝土力学性能、耐久性能更优异。

[关键词] 桥梁;玄武岩纤维;混凝土;体积掺量;力学性能;耐久性能

[中图分类号] TU528

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2024)21-0119-04

Research on Mechanics and Durability of Basalt Fiber Bridge Concrete

LI Zhongcheng

(China Railway 19th Bureau Group East China Engineering Co., Ltd., Yuyao, Zhejiang 315400, China)

Abstract: In order to study the influence of basalt fibers on mechanics and durability of bridge concrete, and improve the comprehensive performance of bridge concrete, compressive strength tests, splitting tensile strength tests, frost resistance tests and chloride ion penetration resistance tests were conducted on bridge concrete. The research results show that with the increase of basalt fiber content, the compressive strength of bridge concrete at 7,28d first increases and then decreases, the splitting tensile strength at 28d first increases and then decreases, the mass loss rate roughly decreases and then increases, the relative dynamic elastic modulus roughly increases and then decreases, and the electric flux first decreases and then increases. The optimal dosage of basalt fiber is 0.3%. Adding basalt fiber can help improve the compressive strength, splitting tensile strength, relative dynamic elastic modulus, reduce mass loss rate and electric flux of bridge concrete. Compared with plain concrete, basalt fiber bridge concrete has better mechanical properties and durability.

Keywords: bridges; basalt fibers; concrete; volume fractions; mechanical properties; durability

0 引言

目前,建筑材料的发展趋势主要为复合应用化,如复合材料在混凝土中的应用,多将聚乙烯醇纤维、玄武岩纤维、钢纤维等材料掺入混凝土中,以提高混凝土综合性能,有助于复杂环境中的应用。

玄武岩纤维为新型无机材料,具有高韧性、高抗拉强度、高化学稳定性等优势^[1-2],已有学者对玄武岩纤维在混凝土中的应用进行了研究。张兰芳等^[3]通过测试玄武岩纤维混凝土受硫酸盐腐蚀后

的抗压与抗拉强度腐蚀系数,在玄武岩纤维掺量不同的条件下,对混凝土耐硫酸盐腐蚀性能进行了研究。王晗^[4]制备了含玄武岩纤维和聚丙烯纤维的混凝土试件,测试了混凝土抗压强度、劈裂抗拉强度、抗碳化深度及冻融循环后的抗压强度和损失率,研究了混杂纤维添加后混凝土力学性能与耐久性能。李庆文等^[5]通过开展室内混凝土抗硫酸盐腐蚀试验,研究了玄武岩-聚乙烯醇混杂纤维混凝土抗硫酸盐腐蚀性能,结果表明,混凝土抗压强度随纤维总掺量的增加而减小,当硫酸盐侵蚀周期增加时,混杂纤维混凝土耐腐蚀系数有所下降。

综合上述研究结果,本文以桥梁混凝土为应用

* 中铁十九局集团科研课题

[作者简介] 李忠诚,高级工程师,E-mail: zsjdhd445@126.com

[收稿日期] 2024-04-15

背景,研究不同玄武岩纤维掺量下桥梁混凝土力学性能、耐久性能,在不同冻融循环试验下确定了玄武岩纤维最佳掺量,并与素混凝土进行对比,进一步表明玄武岩纤维的作用。

1 试验概况

1.1 试验材料

试验原材料包括P·O 42.5级普通硅酸盐水泥、I级粉煤灰、S95级矿粉、5~25mm连续级配碎石、机制砂、添加剂、拌和自来水和玄武岩纤维,其中,机制砂由人工破碎的石灰岩制成,添加剂为聚羧酸减水剂、聚醚消泡剂,水泥比表面积为 $345\text{m}^2/\text{kg}$,标稠用水量为27.9%,3,28d抗压强度分别为16.9,49.5MPa,3,28d抗折强度分别为4.11,6.75MPa,体积安定性合格。玄武岩纤维密度为 $2650\text{kg}/\text{m}^3$,抗拉强度为2340MPa,抗拉弹性模量为85.2GPa,长度为19mm,拉伸极限为2.6%。

1.2 试验设备

试验设备包括80L单卧轴强制式混凝土搅拌机、压力试验机、拉力试验机、冻融试验机、RCM试验装置和50Hz试模振动台。

1.3 试件制备

1)制备抗压强度试验试件时,设置试件尺寸为 $150\text{mm}\times 150\text{mm}\times 150\text{mm}$ (长 \times 宽 \times 高),将拌合物均匀倒入模具中振动密实,24h后脱模养护。

2)制备劈裂抗拉强度试验试件时,设置试件为 $\phi 150\text{mm}\times 300\text{mm}$ 圆柱体,将拌合物均匀倒入模具中振动密实,24h后脱模养护。

3)制备抗冻性能试验试件时,设置试件尺寸为 $100\text{mm}\times 100\text{mm}\times 100\text{mm}$ (长 \times 宽 \times 高),将搅拌完成的混凝土放入正方体模具中,根据冻融试验要求,采用冻融试验机对混凝土试件进行冻融试验。

4)根据GB/T 50082—2009《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》相关要求,制备抗氯离子渗透性能试验试件。

1.4 试验标准

本研究依据标准包括GB/T 50080—2016《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》、GB/T 50081—2019《混凝土物理力学性能试验方法标准》和《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》。

2 桥梁混凝土基础配合比设计

本研究桥梁混凝土抗压强度设计等级为C40,共设置6组试验,玄武岩纤维掺量(体积掺量)分别为0,0.1%,0.2%,0.3%,0.4%,0.5%,试验配合比均为水泥:粉煤灰:矿粉:机制砂:碎石:减水剂:消泡剂:水为380:70:50:825:915:

0.35:0.01:180 kg/m^3 。

3 玄武岩纤维对桥梁混凝土力学性能的影响

当玄武岩纤维掺量不同时,桥梁混凝土力学性能也不相同,本次研究中,设置了2种养护龄期,分别为7,28d,在不同养护龄期下对纤维混凝土抗压强度和劈裂抗拉强度进行分析,试验结果如图1所示。由图1a可知,当玄武岩纤维掺量增加时,在养护龄期为7,28d的条件下,桥梁混凝土抗压强度均呈先增大后减小趋势,当玄武岩纤维掺量为0.3%时,桥梁混凝土抗压强度达最大值,分别为44.45,54.57MPa。玄武岩纤维掺量与桥梁混凝土7,28d抗压强度具有较强的非线性关系,相关系数 R^2 分别为0.76,0.78,如式(1)和式(2)所示。由图1b可知,随着玄武岩纤维掺量的增加,在养护龄期为28d的条件下,纤维混凝土劈裂抗拉强度先增大后减小,玄武岩纤维掺量为0.3%时达到最大值,为2.42MPa。玄武岩纤维掺量与桥梁混凝土28d劈裂抗拉强度具有较强的非线性关系,相关系数 R^2 为0.85,如式(3)所示。

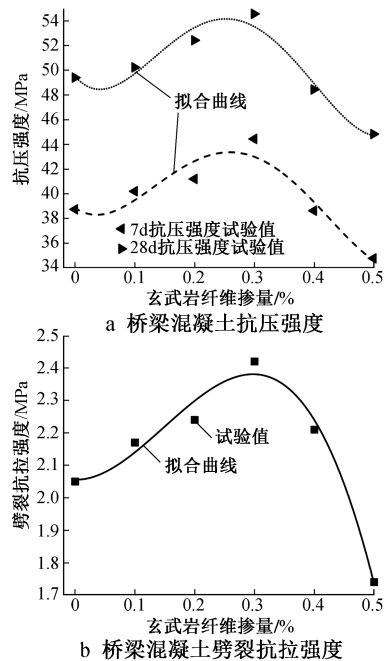


图1 玄武岩纤维对桥梁混凝土力学性能的影响

Fig. 1 Influence of basalt fiber on mechanical properties of bridge concrete

$$y_1 = 38.894 - 35.104x + 586.486x^2 - 1931.204x^3 + 1729.167x^4, R^2 = 0.76 \quad (1)$$

$$y_2 = 49.512 - 54.401x + 811.486x^2 - 2712.315x^3 + 2537.501x^4, R^2 = 0.78 \quad (2)$$

$$y_3 = 2.056 - 0.042x + 11.493x^2 - 26.435x^3 + 2.083x^4, R^2 = 0.85 \quad (3)$$

式中: x 为玄武岩纤维掺量; y_1 为桥梁混凝土 7d 抗压强度; y_2 为桥梁混凝土 28d 抗压强度; y_3 为桥梁混凝土 28d 劈裂抗拉强度。

试验结果表明玄武岩纤维对桥梁混凝土力学性能的影响较大,分析作用机理认为,玄武岩纤维自身具有高强度、高韧性、高耐久性等特点,掺入桥梁混凝土中均匀分散,提高骨料与料浆的结合能力,促进水化产物密实度提高。掺加玄武岩纤维也能够减少桥梁混凝土干燥产生的龟裂,促进桥梁混凝土密实度提高及抗压能力增强。同时,当桥梁混凝土受到拉力作用时,玄武岩纤维能够吸收一部分应变能,进而延缓桥梁混凝土受拉破坏,提高桥梁混凝土劈裂抗拉强度^[6-7]。结合桥梁混凝土力学性能试验结果,玄武岩纤维最佳掺量为 0.3%。

4 玄武岩纤维对桥梁混凝土耐久性能的影响

本研究桥梁混凝土耐久性能指标采用抗冻性能、抗氯离子渗透性能,抗冻性能以质量损失率、相对动弹性模量表征,抗氯离子渗透性能以养护 56d 混凝土 6h 电通量表征,试验结果如图 2,3 所示。

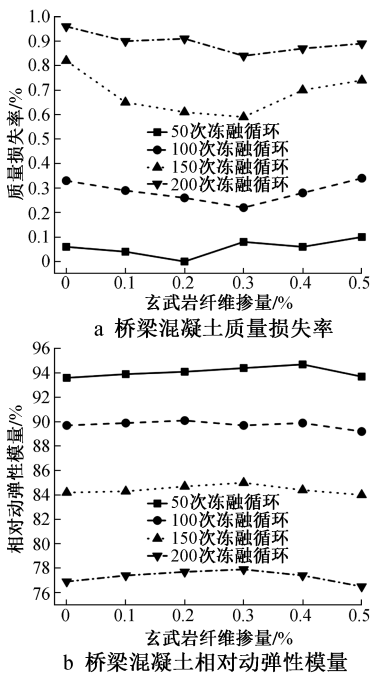


图 2 玄武岩纤维对桥梁混凝土抗冻性能的影响

Fig. 2 Influence of basalt fiber on frost resistance of bridge concrete

由图 2a 可知,随着玄武岩纤维掺量的增加,冻融循环 50 次时,桥梁混凝土质量损失率波动变化,玄武岩纤维掺量为 0.2% 时桥梁混凝土质量损失率达最小值 0;冻融循环 100 次时,桥梁混凝土质量损失率先减小后增大,玄武岩纤维掺量为 0.3% 时桥梁混凝土质量损失率达最小值 0.22%;冻融循环

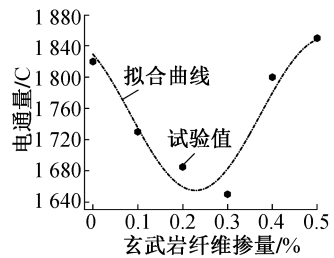


图 3 玄武岩纤维对桥梁混凝土抗氯离子渗透性能的影响

Fig. 3 Influence of basalt fiber on chloride ion permeability resistance of bridge concrete

150 次时,桥梁混凝土质量损失率先减小后增大,玄武岩纤维掺量为 0.3% 时桥梁混凝土质量损失率达最小值 0.59%;冻融循环 200 次时,桥梁混凝土质量损失率波动变化,当玄武岩纤维掺量为 0.3% 时桥梁混凝土质量损失率达最小值 0.84%。当玄武岩纤维掺量相同时,冻融循环次数越多,桥梁混凝土质量损失率越大。

由图 2b 可知,当桥梁混凝土冻融循环 50 次时,桥梁混凝土相对动弹性模量随着玄武岩纤维掺量的增加呈先增大后减小趋势,当玄武岩纤维掺量由 0 增至 0.4% 时,桥梁混凝土相对动弹性模量增至最大,为 94.7%;在冻融循环 100 次的条件下,桥梁混凝土相对动弹性模量呈上下波动趋势,变化幅度较小,当玄武岩纤维掺量由 0 增至 0.2% 时,桥梁混凝土相对动弹性模量增至最大,为 90.1%;在冻融循环 150 次的条件下,当玄武岩纤维掺量由 0 增至 0.3% 时,桥梁混凝土相对动弹性模量增至最大,为 85.0%;在冻融循环 200 次的条件下,当玄武岩纤维掺量由 0 增至 0.3% 时,桥梁混凝土相对动弹性模量增至最大,为 77.9%。因此,在玄武岩纤维掺量相同的条件下,桥梁混凝土冻融循环次数越多,其相对动弹性模量越小。

由图 3 可知,当桥梁混凝土玄武岩纤维掺量不同时,其电通量随着玄武岩纤维掺量的增加呈先减小后增大趋势,当玄武岩纤维掺量为 0.3% 时,桥梁混凝土电通量达最小,为 1 650C。玄武岩纤维掺量与桥梁混凝土电通量具有较强的非线性相关性,相关系数 R^2 为 0.82,如式(4)所示。试验结果表明,在桥梁混凝土中掺加适量的玄武岩纤维可提高其抗氯离子渗透性能。

$$y_4 = 1\,752.592 + 95.706 \sin\left(\frac{x - 0.374}{0.291} \pi\right),$$

$$R^2 = 0.82 \quad (4)$$

分析玄武岩纤维作用机理认为,桥梁混凝土中掺加玄武岩纤维会形成均匀的乱向支撑体系,产生

表1 玄武岩纤维最佳掺量下桥梁混凝土性能

Table 1 Performance of basalt fiber bridge concrete under optimal basalt fiber content

混凝土种类	抗压强度/MPa		劈裂抗拉强度/MPa	200次冻融循环质量损失率/%	200次冻融循环相对动弹性模量/%	电通量/C
	7d	28d				
掺加玄武岩纤维混凝土	44.25	54.69	2.48	0.85	78.1	1 650
素混凝土	38.75	49.20	2.08	0.97	76.1	1 850

二次加强效果,同时会使水泥浆体与碎石的接触更紧密,有助于水泥水化产物附着于粗、细骨料表面,提高桥梁混凝土整体密实度、黏结力,降低孔隙率,最终使桥梁混凝土力学性能、耐久性能均大幅度提高^[8-9]。结合桥梁混凝土耐久性能试验结果,进一步说明玄武岩纤维最佳掺量为0.3%。

5 玄武岩纤维最佳掺量下桥梁混凝土性能

采用试验配合比得到玄武岩纤维最佳掺量下桥梁混凝土性能如表1所示。由表1可知,与素混凝土相比,玄武岩纤维桥梁混凝土抗压强度和劈裂抗拉强度较大,200次冻融循环质量损失率较小,200次冻融循环相对动弹性模量较大,电通量较小,可知玄武岩纤维桥梁混凝土力学与耐久性能更优。

6 结语

1)当桥梁混凝土养护龄期分别为7,28d时,其抗压强度随着玄武岩纤维掺量的增加均先增大后减小,当玄武岩纤维掺量增至0.3%时,桥梁混凝土抗压强度均增至最大。当桥梁混凝土养护龄期为28d时,其劈裂抗拉强度随着玄武岩纤维掺量的增加先增大后减小,当玄武岩纤维掺量增至0.3%时达最大值。

2)在不同玄武岩纤维掺量下,桥梁混凝土质量损失率随着玄武岩纤维掺量的增加大致呈先减小后增大趋势,相对动弹性模量大致呈先增大后减小趋势。冻融循环50次时,玄武岩纤维掺量为0.2%时桥梁混凝土质量损失率达最小值,玄武岩纤维掺量为0.4%时桥梁混凝土相对动弹性模量达最大值。冻融循环200次时,玄武岩纤维掺量为0.3%时桥梁混凝土质量损失率达最小值,玄武岩纤维掺量为0.3%时桥梁混凝土相对动弹性模量达最大值。

3)在不同玄武岩纤维掺量下,桥梁混凝土电通量随着玄武岩纤维掺量的增加先减小后增大,玄武岩纤维掺量为0.3%时桥梁混凝土电通量达最小值。

4)试验得到玄武岩纤维最佳掺量为0.3%,掺加玄武岩纤维有助于提高桥梁混凝土抗压强度、劈裂抗拉强度、相对动弹性模量,降低质量损失率和电通量,相比素混凝土,玄武岩纤维桥梁混凝土力学性能、耐久性能更优异,将玄武岩纤维应用于桥梁混凝土中具有可行性。

参考文献:

- [1] 姬枫. 玄武岩纤维对再生混凝土力学及耐久性能影响研究[J]. 粉煤灰综合利用, 2020, 34(3): 85-87, 140.
JI F. Study on influence of basalt fiber on mechanical and durability properties for recycled concrete [J]. Fly ash comprehensive utilization, 2020, 34(3): 85-87, 140.
- [2] 王慧孜. 玄武岩纤维增强再生混凝土力学与耐久性研究进展[J]. 合成纤维, 2023, 52(11): 75-78.
WANG H Z. Research progress on mechanics and durability of basalt fiber-reinforced recycled concrete [J]. Synthetic fiber in China, 2023, 52(11): 75-78.
- [3] 张兰芳, 王道峰. 玄武岩纤维掺量对混凝土耐硫酸盐腐蚀性和抗渗性的影响[J]. 硅酸盐通报, 2018, 37(6): 1946-1950.
ZHANG L F, WANG D F. Influence of basalt fiber content on sulfate corrosion resistance and impermeability of concrete [J]. Bulletin of the Chinese ceramic society, 2018, 37(6): 1946-1950.
- [4] 王晗. 混杂纤维对铁路工程粉煤灰混凝土力学与耐久性能的影响研究[J]. 当代化工, 2022, 51(12): 2806-2809.
WANG H. Study on influence of hybrid fibers on mechanical and durability properties of fly ash concrete in railway engineering [J]. Contemporary chemical industry, 2022, 51(12): 2806-2809.
- [5] 李庆文, 禹萌萌, 祝青云, 等. 玄武岩-聚乙烯醇混杂纤维混凝土抗硫酸盐侵蚀研究[J]. 塑料科技, 2022, 50(10): 5-11.
LI Q W, YU M M, ZHU Q Y, et al. Research on sulfate resistance of basalt-polyvinyl alcohol hybrid fiber concrete [J]. Plastics science and technology, 2022, 50(10): 5-11.
- [6] 赵立, 佟钰, 赵营, 等. 玄武岩纤维对水泥土力学性能的影响研究[J]. 混凝土世界, 2023(3): 43-50.
ZHAO L, TONG Y, ZHAO Y, et al. Study on influence of basalt fiber on mechanical properties for cement soil [J]. China concrete, 2023(3): 43-50.
- [7] 贾静恩, 张彬. 玄武岩纤维混凝土孔隙结构表征及劈裂拉伸试验研究[J]. 复合材料科学与工程, 2022(10): 63-69.
JIA J E, ZHANG B. Characterization of pore structure and splitting tensile test for basalt fiber reinforced concrete [J]. Composites science and engineering, 2022(10): 63-69.
- [8] 许晓云, 刘欣欣, 彭雅娟, 等. 改性纤维对混凝土抗冻性能的影响研究进展[J]. 四川建材, 2022, 48(10): 9-10.
XU X Y, LIU X X, PENG Y J, et al. Research progress on influence of modified fibers on frost resistance for concrete [J]. Sichuan building materials, 2022, 48(10): 9-10.
- [9] 姜晓刚. 玄武岩纤维混凝土耐久性研究[J]. 安徽建筑, 2021, 28(10): 117-118.
JIANG X G. Research on durability of basalt fiber reinforced concrete [J]. Anhui architecture, 2021, 28(10): 117-118.