

陈元庆,程建军,丁泊淞,等.玻纤网格布增强风积沙砂浆阻沙板性能试验[J].地震工程学报,XXXX,XX(X):000-000.DOI:10.20000/j.1000-0844.20231019003

CHEN Yuanqing, CHENG Jianjun, DING Bosong, et al. Tests on the performance of aeolian sand mortar blocking boards reinforced by glassfiber mesh[J]. China Earthquake Engineering Journal, XXXX, XX(X): 000-000. DOI: 10.20000/j.1000-0844.20231019003

玻纤网格布增强风积沙砂浆阻沙板性能试验

陈元庆,程建军,丁泊淞,段彦福,雷佳,李宇鹏,董宏光

(石河子大学水利建筑工程学院,新疆石河子832003)

摘要:为探究玻纤网格布对风积沙砂浆阻沙板抗弯及抗冻性能的增强效果,基于不同的玻纤网格布规格和铺设层数,以及不同的冻融循环次数,对风积沙砂浆阻沙板开展弯曲和冻融循环试验。研究表明:风积沙砂浆阻沙板的开裂弯矩随玻纤网格布规格和铺设层数的增加而增大;玻纤网格布风积沙砂浆阻沙板的抗弯受力破坏主要有脆性破坏、脆性破坏+单裂缝柔性破坏、多裂缝柔性破坏三种类型;随冻融循环次数的增加,玻纤网格布风积沙砂浆阻沙板的破坏逐渐加大,经25次冻融循环作用后,板材的质量损失率小于5%,强度损失率小于25%,满足冬寒夏热的实际工程环境使用要求。

关键词:玻纤网格布;风积沙;阻沙板;性能试验

中图分类号: TU528.58

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(XXXX)0X-0-09

DOI:10.20000/j.1000-0844.20231019003

Tests on the performance of aeolian sand mortar blocking boards reinforced by glassfiber mesh

CHEN Yuanqing, CHENG Jianjun, DING Bosong, DUAN Yanfu,
LEI Jia, LI Yupeng, DONG Hongguang

(College of Water Conservancy & Architectural Engineering, Shihezi University, Shihezi 832003, Xinjiang, China)

Abstract: In this study, the enhancement effect of fiberglass mesh on the flexural behavior and frost resistance of aeolian sand mortar blocking boards was studied. A series of flexural and freeze-thaw cycle tests were conducted on the aeolian sand mortar blocking board considering different parameters, i.e., the specification and layers of fiberglass mesh and freeze-thaw cycles. The results show that the cracking moment of aeolian sand mortar blocking plate increases with the increase in the specification and number of layers of glass fiber mesh. There are three main types of flexural failure of the aeolian sand mortar blocking plate reinforced by fiberglass mesh: brittle failure, brittle failure + flexible failure with single crack, and flexible failure with multi-crack. With the increase of freeze-thaw cycles, the failure of aeolian sand

收稿日期:2023-10-19

基金项目:国家自然科学基金项目(52168065)

第一作者简介:陈元庆(1999-),男,硕士研究生,主要从事工程沙害治理、特殊土工程性能、风积沙综合利用,以及工业固废资源化路用等方面的研究。E-mail:chenyq202302@163.com。

通信作者:程建军(1979-),男,博士,教授,主要从事道路工程、岩土工程、水利水电工程及风沙治理、固废资源化路用等方面的研究。E-mail:chengdesign@126.com。

mortar blocking plate reinforced by fiberglass mesh is gradually deepened. After 25 freeze-thaw cycles, the mass loss rate of the plate is less than 5% and the strength loss rate is less than 25%, thus meeting the requirements of practical engineering environment.

Keywords: fiberglass mesh; aeolian sand; sand blocking plate; performance test

0 引言

中国西部地区风积沙资源丰富、取材方便,将其作为建筑材料应用于沙漠铁路和其他工程的建设,既可缓解天然河砂的供应量,又能对环境沙漠化起到抑制作用,促进生态、经济的可持续发展,推动新时代生态文明建设^[1-3]。

国内外研究及工程实践证明,在一定程度上可利用风积沙代替传统建筑用砂制作水泥基材料^[4-8],但风积沙存在分级差、孔隙大、无黏性和结构松散等不良特性,采用风积沙制作的水泥基材料强度偏低,导致其在工程建设中的使用受到限制^[9-11]。对不满足工程使用标准的材料可进行加筋改良^[12-13],使其达到实际工程应用的标准,因此,可对风积沙水泥基材料进行加筋处治,增强其力学性能和耐久性^[14]。Guo等^[15]发现将聚丙烯纤维掺入风积沙砂浆且纤维用量为 1.3 kg/m^3 时,可改善风积沙砂浆的施工性能和力学性能;阮波等^[16]通过无侧限抗压强度试验,发现掺入玄武岩纤维提高了水泥改良风积沙的抗压强度和延性,其最优纤维掺量为0.8%;Zhang等^[17]通过水泥和纤维固化增强风积沙,发现当玻璃纤维长度为6 mm、纤维含量为3%、水泥掺量为10%时,试样的劈裂强度达到最大值;Zhu等^[18]研究表明掺玻璃纤维喷射混凝土材料的抗拉和抗剪试验强度较未掺纤维的混凝土分别提高了310%和596%;程从密等^[19]通过试验研究,发现玻璃纤维可显著提升水泥基材料的断裂能,玻璃纤维掺量小于3%时,断裂能与玻璃纤维掺量近似呈直线型增长;邓宗才等^[20]基于四边简支板的弯曲试验结果,认为铺设玻璃纤维网络的试件能够有效抑制主裂缝的萌生和扩展,并使试件呈现变形硬化特征;Ding等^[21]分析了纤维对风积沙固沙板性能的增强作用,发现固沙板的强度随纤维含量和长度的增加而增加,抗压强度和抗折强度的最大增幅分别达2.15倍和0.59倍,纤维的加入还显著提高了板材的抗冻性,使板材的质量损失率平均降低了60%。

综上所述,风积沙水泥基材料主要通过纤维加筋来增强性能,加筋方式多是以条状纤维混杂掺入,而将玻纤网格布铺设于风积沙水泥基材料中的加筋方式较为罕见。本研究因地制宜,将沙漠铁路

沿线的风积沙作为水泥砂浆的细骨料,并铺设玻纤网格布对材料的整体性能进行改良与提升,制作出一种结构性强、成本低廉的风积沙砂浆阻沙板,即玻纤网格布风积沙砂浆阻沙板;通过一系列室内试验,研究玻纤网格布规格、铺设层数和冻融循环次数对玻纤网格布风积沙砂浆阻沙板抗弯及抗冻性能的影响,以期为其在沙漠铁路建设中的工程应用提供参考。

1 试验

1.1 试验原材料

(1) 试验所用风积沙取自新疆哈密地区额哈铁路沙害严重地段,其主要成分为 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 和 MgO 等。风积沙扫描电镜外观特征如图1所示,其表面凹凸不平,棱角较为圆润。

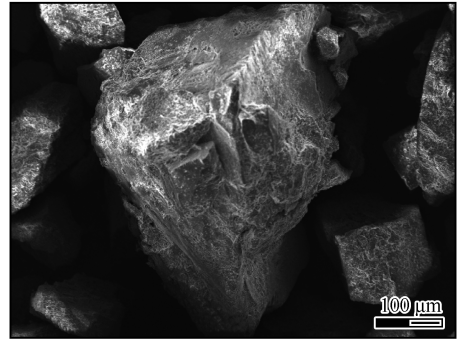


图1 风积沙外观特征

Fig.1 Apparent features of the aeolian sand

(2) 玻纤网格布外观呈白色网格状,其形态特征如图2所示,具体性能参数列于表1。玻纤网格布具有抗碱性好、韧性大、经纬向抗拉力高、化学稳

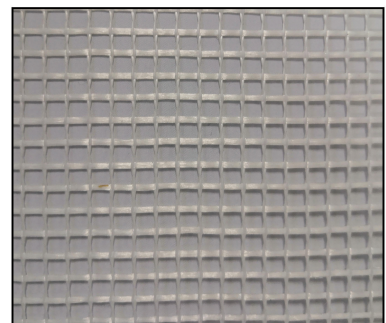


图2 玻纤网格布形态特征

Fig.2 Morphological characteristics of the fiberglass mesh

表 1 玻纤网格布具体性能参数

Table 1 Specific performance parameters of the glassfiber mesh

标号规格 /(g/m ²)	实测规格 /(g/m ²)	孔径 /(目×目)	纵向拉伸断裂强力 /(N/50 mm)	横向拉伸断裂强力 /(N/50 mm)	纵向断裂 应变/%	横向断裂 应变/%	含胶量 /%
45	46	3×3	452	461	3.8	3.9	13.5
80	78	5×5	572	606	3.6	3.9	13.4
120	121	5×5	751	798	3.5	3.7	13.8
136	135	5×5	896	968	3.8	3.9	13.5
160	162	5×5	1 221	1 765	3.6	3.5	13.8

定性好,以及不易变形等优点,形状与风积沙砂浆阻沙板非常匹配,因此适用于板材的制作。与板材抗弯受力的特点相结合,能够最大程度地发挥玻纤网格布的增强加固作用。

(3) 可再分散性乳胶粉用于提升风积沙砂浆的黏结性和抗裂性等,其形态特征如图 3 所示,主要性能指标如表 2 所列。可再分散性乳胶粉的整体外观形态为自由流动的白色粉末状,其保护胶体为聚乙烯醇,可以提升风积沙砂浆基体的流动度。

(4) 研究用水泥为普通硅酸盐水泥,强度等级为 42.5。



图 3 可再分散性乳胶粉形态特征

Fig.3 Morphological characteristics of the redispersible emulsion powder

表 2 可再分散性乳胶粉的主要性能指标

Table 2 Main performance indexes of the redispersible emulsion powder

指标	pH 值	灰分/%	固含量/%	粒径/ μm	成膜最低温度/ $^{\circ}\text{C}$
特征值	7.4	10.65	95.7	400 μm 过筛剩余 1.5%	1~4

1.2 试验方案

玻纤网格布的规格用单位面积表示,本文采用 0、45、80、120、136 和 160 g/m² 共 6 种规格的玻纤网格布进行试验研究,其铺设层数分别为 1、2、3 层,铺设位置如图 4 所示。板材的试验配合比如表 3 所列。

1.3 试件制作及试验方法

按照表 3 所列的配合比,结合工程使用及性能试验要求,制作两种规格的玻纤网格布风积沙砂浆阻沙板试件,其尺寸分别为 900 mm(长)× 300 mm(宽)× 25 mm(高)和 100 mm(长)× 100 mm(宽)× 25 mm(高)。依照《建筑墙板试验方法(GB/T 30100—

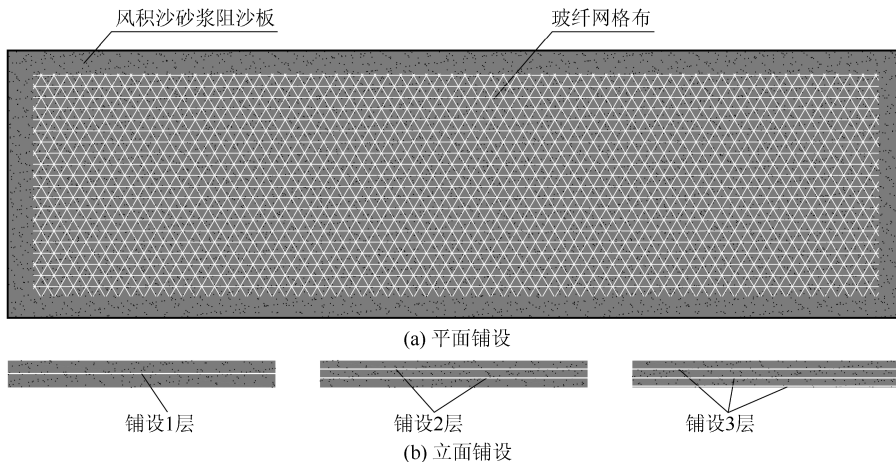


图 4 玻纤网格布铺设示意图

Fig.4 Layout diagram of the glassfiber mesh

表 3 试验配合比

Table 3 Mix proportion

试验组号	沙胶比	可再分散性乳胶粉/%	纤维网格布层数/层	玻纤网格布规格/(g/m ²)	水胶比
基准组	3:1	0.3	0	0	0.9
试验组	3:1	0.3	1,2,3	45,80,120,136,160	0.9

2013)》^[22],对试件的抗弯及抗冻性能进行试验研究。试验时,以未铺设玻纤网格布的试件为基准组,采用玻纤网格布增强的试件作为试验组,其余因素不变,分别改变玻纤网格布的规格和铺设层数。

选取 900 mm(长)× 300 mm(宽)× 25 mm

(高)的试件进行抗弯强度试验。如图 5 所示,试验采取均布荷载的加载方式,支座①、②、③的着力点间距分别为 400、200 和 800 mm,控制万能试验机以 0.05~0.10 MPa/s 的速度进行加载,直至试件完全破坏,记录此时的破坏荷载为极限荷载 P 。

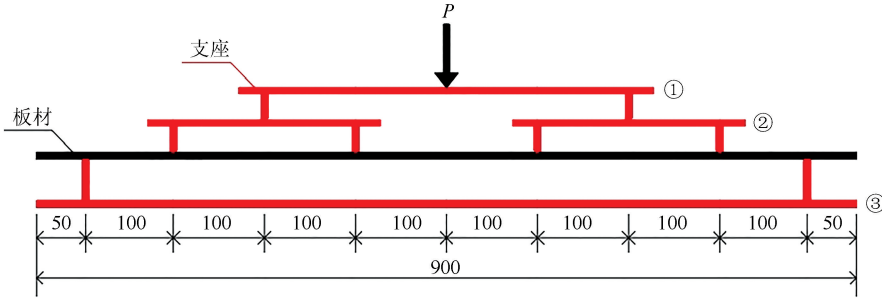


图 5 试验支座及荷载分布示意图(单位:mm)

Fig.5 Distribution of bearings and loads (Unit:mm)

选取 100 mm(长)× 100 mm(宽)× 25 mm(高)的试件进行抗冻试验。当冻融循环机温度降至 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[23] 时放入试件,待机箱内温度重新到达 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时开始计时,冷冻时间保持 4 h;然后在温度为 $20\sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的水中融化 2 h,此为一个完整的冻融循环;达到试验规定的冻融循环次数时,取出试件,观察其表面形态特征变化,并按《建筑墙板试验方法(GB/T 30100—2013)》^[22] 中公式计算其质量损失率及强度损失率。

2 抗弯分析与讨论

玻纤网格布风积沙砂浆阻沙板抗弯试验过程如图 6 所示,抗弯试验结果如表 4 所列。

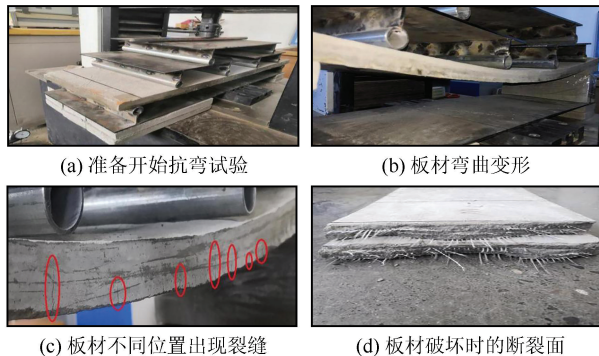


图 6 抗弯试验过程

Fig.6 Flexural test process

表 4 抗弯试验结果

Table 4 Flexural test results

试验组号	极限荷载 P/N	跨中弯矩 $M/(N\cdot m)$	极限荷载下跨中挠度 f/mm	最大跨中挠度 f_{max}/mm	等效抗弯刚度 $EI/(N\cdot \text{mm}^2)$
JZ0	712	72.090	1.746	1.746	1.76×10^9
DB1	1 033	104.591	2.724	2.724	3.06×10^9
DB2	1 082	109.553	3.010	3.522	2.92×10^9
DB3	1 104	111.780	3.648	4.656	2.47×10^9
DB4	1 506	152.483	3.174	8.100	4.04×10^9
DB5	1 472	149.040	12.494	16.427	1.00×10^9
DB6	2 159	218.599	14.619	20.089	1.30×10^9
DB7	1 665	168.581	4.328	7.276	3.31×10^9
DB8	1 912	193.590	12.574	18.727	1.33×10^9
DB9	4 257	431.021	27.811	28.468	1.40×10^9
DB10	1 356	137.295	2.736	13.106	4.17×10^9
DB11	1 590	160.988	10.835	23.221	1.26×10^9
DB12	4 819	487.924	31.926	32.956	1.39×10^9
DB13	2 029	205.436	8.547	9.920	2.08×10^9
DB14	2 165	219.206	17.052	19.362	1.12×10^9
DB15	5 503	557.179	36.622	37.749	1.39×10^9

2.1 阻沙板开裂弯矩计算

根据《建筑结构荷载规范(GB 50009—2012)》^[24],垂直于建筑物表面的风荷载按式(1)计算。

$$W_K = \beta_z \mu_s \mu_z \omega_0 \quad (1)$$

其中: W_K 为风荷载标准值(kN/m^2); β_z 为高度 z 处的风振系数; μ_s 为风荷载体型系数; μ_z 为风压高度变化系数; ω_0 为基本风压(kN/m^2)。

本文风积沙来源为新疆哈密地区,根据文献[24],对该地区高度 ≤ 5 m 的建筑物风振系数 β_z 取 1.69;风荷载体型系数 μ_s 在计算独立墙壁及围墙时取 1.3;风压高度变化系数 μ_z 根据地面粗糙度类别确定,沙漠戈壁地区属于 A 类地区,离地面 5 m 以下时取 1.17;基本风压 ω_0 按照哈密地区 50 年一遇的风压,取 0.6 kN/m²[24]。综上计算,得出工程区风荷载标准值为 1.54 kN/m²,板材所能承受的最大风荷载须超过此值。

由试验结果,根据式(2)计算玻纤网格布风积沙砂浆阻沙板的开裂弯矩。以风荷载标准值 1.54 kN/m² 为例,根据式(3)可得出不同规格玻纤网格布风积沙砂浆阻沙板在该风荷载作用下所能维持的最大长度 l_{max} (m)。

$$M_0 = \frac{M}{B} \quad (2)$$

式中: M_0 为板材的开裂弯矩(kN·m); M 为板材的跨中弯矩(N·m); B 为板材厚度(mm)。

$$M_0 = \frac{q_0 l_{max}^2}{8} \quad (3)$$

式中: q_0 为板材所承受的风荷载,本文取 1.54 kN/m²。

根据式(2)、(3),计算得出不同规格玻纤网格布风积沙砂浆阻沙板的开裂弯矩及风荷载标准值作用下板材所能维持的最大长度,并列于表 5。风荷载标准值下,未铺设玻纤网格布的板材所能维持的最大长度为 3.868 m,超过此值会有断裂的风险。随玻纤网格布规格及铺设层数的增加,风积沙砂浆阻沙板的开

裂弯矩明显提升,板材的最大长度也在增加;使用规格为 160 g/m² 的玻纤网格布铺设 3 层时,板材的最大长度提升为 10.753 m,与基准组相比提升了 2.78 倍。由此,可结合实际工程的使用要求选择适当的板材长度,依据计算结果确定合适的材料配比。

表 5 板材开裂荷载及最大长度

试验组号	玻纤网格布规格/(g/m ²)	玻纤网格布层数/层	开裂弯矩 M_0 /(kN·m)	板材最大长度 l_{max} /m
JZ0	0	0	2.884	3.868
DB1		1	4.184	4.659
DB2	45	2	4.382	4.768
DB3		3	4.471	4.816
DB4		1	6.099	5.625
DB5	80	2	5.962	5.561
DB6		3	8.744	6.735
DB7		1	6.743	5.915
DB8	120	2	7.744	6.338
DB9		3	17.241	9.458
DB10		1	5.492	5.338
DB11	136	2	6.440	5.780
DB12		3	19.517	10.063
DB13		1	8.217	6.529
DB14	160	2	8.768	6.745
DB15		3	22.287	10.753

2.2 阻沙板抗弯破坏特点

为进一步研究玻纤网格布风积沙砂浆阻沙板的受力破坏过程,绘制其荷载-挠度曲线于图 7。

如图 7 所示,不同规格和铺设层数的玻纤网格布风积沙砂浆阻沙板的抗弯受力破坏主要有以下几

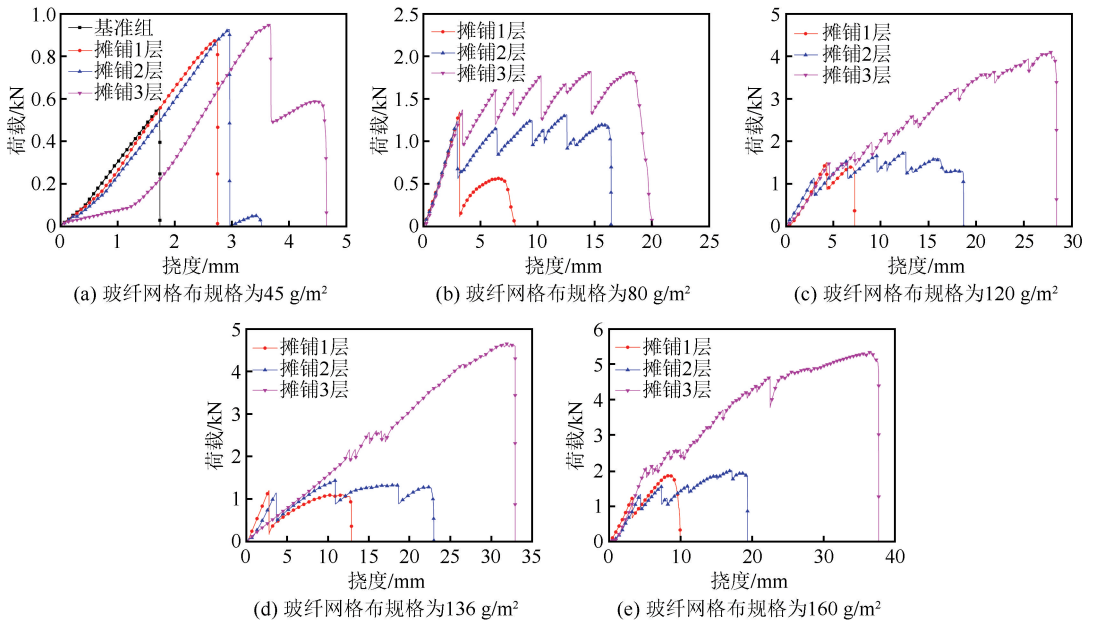


图 7 抗弯试验板材荷载-挠度曲线

Fig.7 Load-deflection curve of the plate from flexural test

种类型:

(1) 脆性破坏

以图 7(a)中基准组与铺设 1 层玻纤网格布的板材试件为例进行分析,可知未铺设玻纤网格布或铺设规格较低时,板材的破坏类型为脆性破坏。由荷载-挠度曲线可知,试件前期受力可看作弹性受力变形阶段,当试件达到极限承载能力后荷载立即下降至 0,峰值点十分陡峭;这两组试件的受力主要由砂浆骨料承担,铺设低规格、单层的玻纤网格布虽然能在一定程度提升板材的受力极限荷载,但整体破坏形式并未发生改变。

(2) 脆性破坏+单裂缝柔性破坏

以图 7(a)中铺设 2、3 层及图 7(b)~(e)中铺设 1 层玻纤网格布的板材试件为例进行分析,发现在板材脆性破坏的基础上出现了柔性破坏的阶段,这与文献[25]中掺入钢纤维与耐碱玻璃纤维网格布混凝土板的破坏形态相似,即由脆性破坏转变为延性破坏,混凝土板的极限承载力和弯曲韧性皆有提升;板材荷载达到峰值后开始下降,但下降到一定程度后又重新上升并达到新峰值,最后快速下降至 0。其原因是:在脆性破坏阶段,板材中砂浆骨料的受荷能力达到极限,出现峰值,受拉区出现一条主裂缝;随着加载继续,板材内部的玻纤网格布主要受力,此时曲线呈微凸状,板材破坏类型转变为柔性破坏;继续加载,直至网格布达到极限承载并发生断裂,此时板材完全破坏,网格布断裂位置即为板材受拉区主裂缝出现的位置。柔性破坏阶段的出现有效提升了板材的变形能力,其挠度明显增加,但铺设低规格的玻纤网格布时,板材试件在柔性破坏阶段的受力峰值点并未超过脆性破坏阶段,此时板材的极限荷载还是由砂浆骨料决定。随着网格布规格的提升,板材试件柔性破坏阶段的受力峰值点也在不断提升,并超过脆性破坏阶段成为极限荷载,如图 7(e)中铺设 1 层玻纤网格布的板材试件,此时玻纤网格布的加入不仅提升了板材的变形能力,更增强了板材的

抗弯力学性能。

(3) 多裂缝柔性破坏

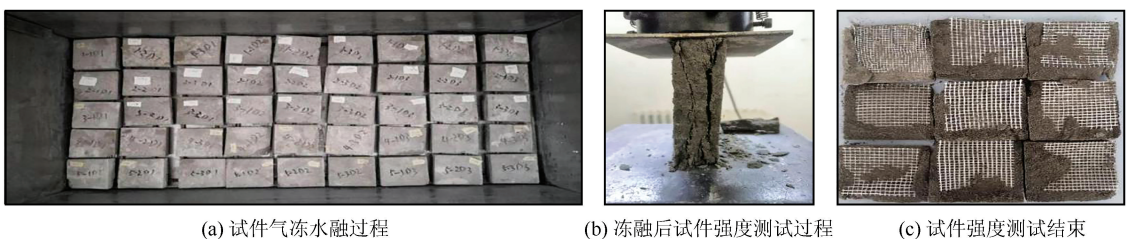
以图 7(b)~(e)所示铺设 2、3 层玻纤网格布的板材试件为例进行分析,随着玻纤网格布规格的提升,板材试件荷载-挠度曲线的上升段开始出现波动,但总体变化趋势平缓,破坏形式也变成了多裂缝柔性破坏。邓宗才等^[18]研究发现铺设玻纤网格和混杂纤维的超高性能混凝土双向板内部会发生显著的内力重分布,本研究试验结果也表明随着网格层数的增加,板材的极限承载力和弯曲韧性显著提升。在板材出现第一条主裂缝之前,即受力曲线还未出现下降段时,依旧可以看作是板材的弹性受力变形阶段;当板材受拉区出现裂缝时,其受力开始下降,但下降幅度较小,说明砂浆骨料的承受能力还未达到极限时玻纤网格布就开始发挥作用,此时板材的整体受力由砂浆骨料与玻纤网格布共同承担,随着进一步加载,在板材受拉区不断出现裂缝,板材内部的玻纤网格布也出现断裂,可以听到玻纤绷断的噼啪声,荷载-挠度曲线也出现波动,这一阶段为裂缝发展阶段;当砂浆骨料和玻纤网格布受力达到极限后进入破坏阶段,板材受力破坏时,其抗弯极限荷载与最大挠度十分接近,但此时玻纤网格布并没有完全断裂,破坏的板材通过玻纤网格布依旧连接在一起,所以板材破坏后的整体性要强于前两种破坏形式。多裂缝柔性破坏形式充分结合了砂浆骨料与玻纤网格布的特点,使二者配合发挥出最大作用,与基准组相比极大提升了板材的抗弯性能,保留了板材抗弯破坏后的整体性。

3 抗冻分析与讨论

材料的抗冻性能主要由外观形态、质量损失率和强度损失率三个方面评价。玻纤网格布风积沙砂浆阻沙板的抗冻性能测试过程如图 8 所示。

3.1 阻沙板冻融循环破坏特征

冻融循环后试件的形态如图 9 所示。由图 9(a)



(a) 试件气冻水融过程

(b) 冻融后试件强度测试过程

(c) 试件强度测试结束

图 8 冻融循环试验过程

Fig.8 Process of the freeze-thaw cycle test

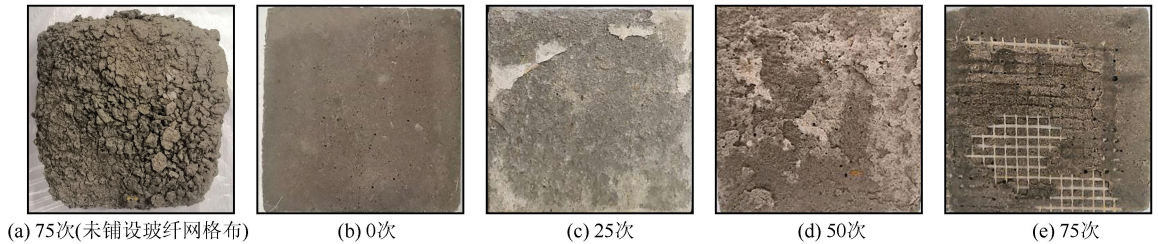


图 9 冻融循环后试件形态

Fig.9 Morphology of specimens after different freeze-thaw cycles

可知,未铺设玻纤网格布的风积沙阻沙板试件经 75 次冻融循环作用后呈现矩形,但形状不规则;试件被侵蚀、剥落破碎,表面呈碎粒状,形似堆积,与图 9 (e)中铺设玻纤网格布的试件经 75 次冻融循环作用后的形态形成鲜明对比,可看出玻纤网格布对风积沙砂浆阻沙板的增强效果。在相同冻融条件下,是否铺设玻纤网格布对风积沙砂浆阻沙板的表观形态影响显著,而不同玻纤网格布规格和布设层数对其表观形态的影响微小。

玻纤网格布风积沙砂浆阻沙板在不同冻融循环次数下的外观形态如图 9(b)~(e)所示。随冻融循环次数的增加,试件的破坏程度逐渐增强:冻融循环 0 次时,试件非常完整,表面平整,无任何冻害现象出现,此时试件各项性能指标均处于正常状态;冻融循环 25 次后,板材主体结构并未遭到损坏,但部分边角表层的砂浆开始脱落,表面掉渣,呈凹凸不平、粗糙状,但整体较为完整,此时冻害已经发生,但对其整体性能并无太大影响;冻融循环 50 次后,试件表层砂浆出现大面积的层状脱落,质量损失明显增加,试件冻胀产生的孔隙明显,此时试件的整体性能受到较大影响;冻融循环 75 次后,试件表面砂浆完全脱落,内部玻纤网格布部分裸露在试件表面,试件结构有明显的裂缝孔洞等痕迹,且整体厚度变薄,此时试件遭受到的冻害已经十分严重。

3.2 阻沙板冻融循环质量损失率

根据试验结果,绘制各组玻纤网格布风积沙砂浆阻沙板试件的质量损失率统计图(图 10)。由图可知,各组试件在不同冻融循环次数下的最大质量损失率均出现在基准组(JZ0 组),即未铺设玻纤网格布时;冻融循环 25 次后,随着玻纤网格布规格及层数的增加,板材质量损失率无明显降低,此时玻纤网格布对板材抗冻性能的影响并不明显;冻融循环 50 次后,玻纤网格布开始显现一定的改善作用,与基准组相比,板材的质量损失率明显降低;冻融循环 75 次后,与基准组相比,试验组的质量损失率至少

降低了 88%。由此可知,在板材内铺设玻纤网格布可以大幅度减小其质量损失率,不同程度地提升其整体性。

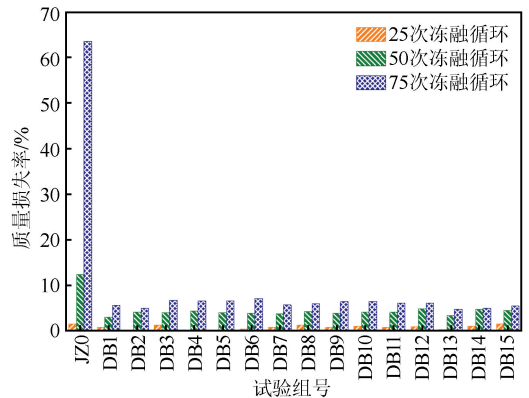


图 10 试件质量损失率统计图

Fig.10 Statistical chart of mass loss rate of specimens

3.3 阻沙板冻融循环强度损失率

根据试验结果,绘制风积沙砂浆阻沙板强度损失率与玻纤网格布规格及铺设层数的关系曲线(图 11)。由图 11 可知,冻融循环 25 次后,基准组的强度损失率为 15%,试验组的强度损失率大多在 14%~24%之间,玻纤网格布的加入使试件的强度损失率有所提升,但总体都在 25%以下;冻融循环 50 次后,玻纤网格布的加入对试件的强度损失率起到了改善作用,此时绝大多数试件的强度损失率低于基准组,最高降低了 51.12%;冻融循环 75 次后,玻纤网格布对试件强度损失率的改善作用更加显著,此时试验组试件的强度损失率远小于基准组试件(78.64%),最大降低了 46.99%。随着冻融循环次数的增加,玻纤网格布对风积沙阻沙板强度损失率的改善效果愈加明显。

经上述分析,可得出玻纤网格布风积沙砂浆阻沙板在 25 次冻融循环作用下的质量损失率小于 5%,强度损失率小于 25%,符合《砌筑砂浆配合比设计规程(JGJ/T 98—2010)》^[26]所规定的砌筑砂浆抗冻性要求,满足夏季炎热、冬季寒冷的实际工程环境。

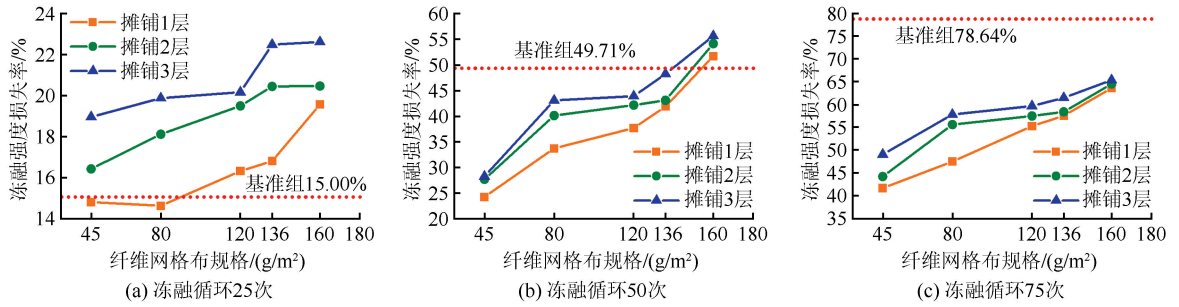


图 11 试件冻融强度损失率与玻纤网格布规格及铺设层数关系曲线

Fig.11 Relationship curve between freeze-thaw strength loss rate and specification and laying layer of glassfiber mesh for different specimens

4 结论

本研究因地制宜,利用沙漠铁路沿线的风积沙制作砂浆阻沙板,并通过玻纤网格布加筋处治,增强其性能,得到主要结论如下:

(1) 风积沙砂浆阻沙板的开裂弯矩随玻纤网格布规格和铺设层数的增加呈上升趋势,相应板材在标准风压作用下所能维持的最大长度亦在增加,铺设 3 层规格为 160 g/m^2 的玻纤网格布板材,其最大长度可达到 10.753 m ,与基准组相比提升了 2.78 倍。

(2) 玻纤网格布风积沙砂浆阻沙板的抗弯受力破坏类型主要有脆性破坏、脆性破坏+单裂缝柔性破坏、多裂缝柔性破坏三种。

(3) 铺设玻纤网格布可以改善冻融作用下风积沙砂浆阻沙板的表观形态,但随冻融循环次数增加,破坏仍呈加大趋势,破坏程度由无冻害(试件结构完整)向严重冻害(内部玻纤网格布部分裸露,呈现疲软状且试件厚度整体变薄)转变。

(4) 铺设玻纤网格布可以抑制冻融循环对风积沙砂浆阻沙板的劣化作用,随冻融循环次数增加,其增强效果愈发显著;在 25 次冻融循环作用下,玻纤网格布风积沙砂浆阻沙板的质量损失率小于 5%,强度损失率小于 25%;冻融循环 75 次时,板材的质量损失率与基准组相比至少降低了 88%。

参考文献(References)

[1] BAI J W, XU R, ZHAO Y R, et al. Flexural fatigue behavior and damage evolution analysis of aeolian sand concrete under freeze-thaw cycle[J]. International Journal of Fatigue, 2023, 171: 107583.

[2] 董伟,付前旺,申向东,等.盐冻作用后风积沙混凝土孔结构对抗压强度影响的灰熵分析[J].材料导报,2023,37(2):69-74.

DONG Wei, FU Qianwang, SHEN Xiangdong, et al. Grey entropy analysis on effect of pore structure on compressive

strength of aeolian sand concrete after salt-freezing[J]. Materials Reports, 2023, 37(2): 69-74.

- [3] YOU Q L, YANG Z, MA J L, et al. Analysis of the particle characteristics of aeolian sand in Yulin area, China [J]. Advances in Civil Engineering, 2022(2): 1-12.
- [4] 黄晨睿,袁忠正,阮波.水泥改良风积沙无侧限抗压强度影响因素分析[J].铁道科学与工程学报,2023,20(8):2858-2867.
- HUANG Chenrui, YUAN Zhongzheng, RUAN Bo. Influencing factors analysis on unconfined compressive strength of cemented aeolian sand[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2023, 20(8): 2858-2867.
- [5] 李玉根,张慧梅,陈少杰,等.风积沙混凝土盐冻多尺度劣化机制[J].复合材料学报,2023,40(4):2331-2342.
- LI Yugen, ZHANG Huimei, CHEN Shaojie, et al. Multi-scale degradation mechanism of aeolian sand concrete under salt-frost condition[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2023, 40(4): 2331-2342.
- [6] CUI Q, LIU G, ZHANG Z H, et al. Experimental investigation on the strength and microscopic properties of cement-stabilized aeolian sand[J]. Buildings, 2023, 13(2): 395.
- [7] LIU H F, CHEN X L, CHE J L, et al. Mechanical performances of concrete produced with desert sand after elevated temperature[J]. International Journal of Concrete Structures and Materials, 2020, 14(1): 26.
- [8] KAUFMANN J. Evaluation of the combination of desert sand and calcium sulfoaluminate cement for the production of concrete [J]. Construction and Building Materials, 2020, 243: 118281.
- [9] 韦朝.风积沙填筑铁路路基累积塑性变形及临界动应力试验研究[J].铁道科学与工程学报,2024,21(1):138-148.
- WEI Zhao. Experimental study on cumulative plastic deformation and critical dynamic stress of aeolian sand embankment of railway[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2024, 21(1): 138-148.
- [10] LI J, MA J, TONG Y D, et al. Study on fractal characteristics of pores of NAS reinforced by MICP under the control of electric field[J]. Construction and Building Materials, 2021, 271: 121540.
- [11] CHE J L, WANG D, LIU H F, et al. Mechanical properties of

- desert sand-based fiber reinforced concrete (DS-FRC)[J]. Applied Sciences, 2019, 9(9): 1857.
- [12] 李博文, 鲁洋, 刘斯宏, 等. 轮胎加筋砂垫层抗液化性能振动台试验研究[J]. 地震工程学报, 2024, 46(2): 369-375.
LI Bowen, LU Yang, LIU Sihong, et al. Shaking table tests on the liquefaction resistance of tire-reinforced sand cushions[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2024, 46(2): 369-375.
- [13] 王丽丽, 谢婉丽, 钟秀梅, 等. 土工格栅加筋粉煤灰改良黄土力学特性研究[J]. 地震工程学报, 2024, 46(2): 349-357.
WANG Lili, XIE Wanli, ZHONG Xiumei, et al. Mechanical properties of fly ash-modified loess reinforced by geogrid[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2024, 46(2): 349-357.
- [14] 雷佳, 程建军, 丁泊淞, 等. 不同纤维掺量风积沙水泥基材料三轴试验研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2023, 20(2): 587-599.
LEI Jia, CHENG Jianjun, DING Bosong, et al. Triaxial test study on aeolian sand cement-based materials with different fiber content[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2023, 20(2): 587-599.
- [15] GUO J H, YANG Z H, GAO C Y. Effect of polypropylene fiber on properties of aeolian-sand mortar[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, 472: 012087.
- [16] 阮波, 张佳森, 丁茵, 等. 玄武岩纤维水泥改良风积沙强度及孔隙结构研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2022, 19(5): 1260-1269.
RUAN Bo, ZHANG Jiasen, DING Hui, et al. Experimental study on unconfined compressive strength and microstructure of cemented aeolian sand reinforced with basalt fiber[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2022, 19(5): 1260-1269.
- [17] ZHANG X D, PANG S, LI J, et al. Interface mechanism and splitting characteristics of fiber-reinforced cement-solidified aeolian sand[J]. Materials, 2022, 15(8): 2860.
- [18] ZHU C L, ZHOU N, GUO Y B, et al. Effect of doped glass fibers on tensile and shear strengths and microstructure of the modified shotcrete material: an experimental study and a simplified 2D model[J]. Minerals, 2021, 11(10): 1053.
- [19] 程从密, 张健, 甘伟, 等. 玻璃纤维增强水泥断裂能的试验研究[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2018, 46(11): 47-52, 67.
CHENG Congmi, ZHANG Jian, GAN Wei, et al. Experimental research on fracture energy of glass fibre-reinforced cement[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2018, 46(11): 47-52, 67.
- [20] 邓宗才, 鹿宇浩, 龚明高, 等. 玻璃纤维网格超高性能混凝土板抗弯性能试验研究[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 2022, 55(6): 621-631.
DENG Zongcai, LU Yuhao, GONG Minggao, et al. Flexural performance of ultra-high performance concrete slabs with glass fiber net[J]. Journal of Tianjin University (Science and Technology), 2022, 55(6): 621-631.
- [21] DING B S, CHENG J J, XIA D T, et al. Fiber-reinforced sand-fixing board based on the concept of "sand control with sand": experimental design, testing, and application[J]. Sustainability, 2021, 13(18): 10229.
- [22] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 建筑墙板试验方法: GB/T 30100—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Test methods for building wallboard: GB/T 30100—2013[S]. Beijing: Standards Press of China, 2013.
- [23] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑砂浆基本性能试验方法标准: JGJ/T 70—2009[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Standard for test method of basic properties of construction mortar: JGJ/T 70—2009[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009.
- [24] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑结构荷载规范: GB 50009—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Load code for the design of building structures: GB 50009—2012[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.
- [25] 丁一宁, 菅淑敏, 李冬. 玻璃纤维网格布的耐碱性能及其对混凝土板双向受弯性能的影响[J]. 复合材料学报, 2019, 36(4): 954-963.
DING Yining, JIAN Shumin, LI Dong. Alkaline resistance of glass fiber meshes and its effect on biaxial flexural behavior of concrete slabs[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2019, 36(4): 954-963.
- [26] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 砌筑砂浆配合比设计规程: JGJ/T 98—2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Specification for mix proportion design of masonry mortar: JGJ/T 98—2010[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010.

(本文编辑: 赵乘程)