

玻塑复合土工格栅开发应用研究

王清标^{*1,2,3}, 温小康², 张聪², 施振跃²

(1. 山东科技大学 资源与土木工程系, 泰安 271019;

2. 中国科学院武汉岩土所 岩土力学与工程国家重点实验室, 武汉 430071;

3. 山东华联矿业股份有限公司, 沂源 256119)

摘要: 玻塑复合土工格栅强度高, 冲击韧性好, 耐环境应力、抗蠕变性能强, 且在正常使用状态下能够保持长期稳定的性能。通过对玻塑复合土工格栅的原料、工艺流程、性能指标的介绍, 并通过现场拉伸试验, 对不同温度下格栅的纵向、横向断裂强度以及断裂伸长率进行了分析研究, 得到如下研究结论: (1) 格栅条带采用纤维材料, 能够抵抗侵蚀和气候变化, 保证其性能的稳定; (2) 格栅的断裂强度与温度呈正相关, 断裂伸长率与温度呈负相关, 并经过一定时间后趋于稳定; (3) 结构采用特殊工艺, 提高了格栅的抗剥离撕裂强度和对土体的嵌锁咬合能力, 玻塑复合土工格栅的开发在我国正处于起步阶段, 作为加筋、加固材料必将在土木工程领域有着广阔应用前景。

关键词: 玻塑复合土工格栅; 聚乙烯; 拉伸试验; 断裂强度; 断裂伸长率

中图分类号: TB332 文献标志码: A

Glass-plastic composite geogrid develop applied research

WANG Qingbiao^{*1,2,3}, WEN Xiaokang², ZHANG Cong², SHI Zhenyue²

(1. Department of Resource and Civil Engineering of Shandong University of Science and Technology, Taian

271019, China; 2. State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering,

Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China;

3. Shandong Hualian Mining Co., Ltd, Yiyuan 256119, China)

Abstract: Glass-plastic composite geogrid, high strength, impact toughness, resistance to environmental stress, creep resistance is strong, and in normal use to maintain long-term stable performance. Through the glass-plastic composite geogrid materials, technological process, the introduction of performance indicators, and Through field tensile test at different temperatures grille longitudinal and transverse rupture strength and fracture elongation were analyzed, get the following conclusions: (1) grille strip with fiber material that can resist erosion and climate change, to ensure the stability of its performance; (2) grille breaking strength was positively correlated with temperature, elongation with temperature negative correlation, and after a certain time to stabilize; (3) Structure using a special process to improve the grille peel tear strength and soil interlocking engagement capability, glass-plastic composite geogrid development in our country is in its infancy, as reinforcement, reinforcement will in the civil engineering field has broad market prospects.

Keywords: glass-plastic composite geogrid; polyethylene; tensile test; breaking strength; elongation at break

目前国内用于岩土工程建设的加筋加固材料(土工格栅)品种繁多, 且多以单向、双向、三向拉伸塑料土工格栅、钢塑复合土工格栅等塑料类、钢塑类为主, 此类格栅适应环境各有差异且具有以下性能缺陷: 塑料拉伸类格栅易受材料的物理化学性质影响, 致使强度降低, 断裂伸长率高, 抗蠕变性能、热稳

定性能差, 容易造成工程事故。塑料拉伸类钢塑所用的加筋材料是碳素弹簧钢丝(GB4357-89), 此类格栅虽然强度大, 但易受到酸、碱、盐的腐蚀, 特别对于深海作业、堤岸加固, 因长期受海水冲蚀而造成强度降低, 耐腐蚀性下降, 因此不能完全满足永久性工程建设的要求。

基金项目: (1) 国家自然科学基金(41372289), (2) 中国科学院武汉岩土力学研究所岩土力学与工程国家重点实验室(2012003); (3) 山东省高等学校科技计划项目(12LH03); (4) 中国博士后科学基金(2012M521365)

通讯作者: 王清标(1973-), 男, 副教授, 博士后, 主要研究方向岩土工程和预应力工程 E-mail: 1349725165@qq.com.

针对上述问题,本项目研发的玻塑复合土工格栅是一种新型土工材料,具有抗拉强度高、耐腐蚀性强等优点,并具有良好的物理化学特性。

1 玻塑复合土工格栅概况及工艺流程

1.1 概念及适用范围

玻塑复合土工格栅是以玻璃纤维为原料,采用一定的编织工艺制成的网状结构,由若干纵横交错排列的筋带组成(如图 1 所示)。

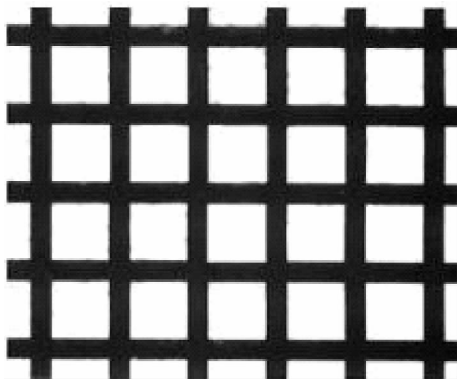


图 1 玻塑复合土工格栅结构示意图

Fig.1 Glass-plastic composite geogrid structure diagram

筋带由玻纤束经高密度聚乙烯隔层包裹而成并经超音波焊接为一体;玻纤束由多根玻纤丝组成,

根据不同直径及根数来改变筋带的拉力大小;玻塑复合土工格栅既增强了格栅的抗拉强度,提高了格栅的抗蠕变性能和耐腐蚀性能,又延长了格栅的使用寿命,适用于煤矿、公路、铁路、飞机场、井灌、民用建筑等几乎所有土木工程行业。

1.2 原料

玻塑复合土工格栅的加筋性能及其在工程上的应用直接取决于格栅的原料。因此,加筋材料在选择上必需保证具有良好的冲击韧性和抗蠕变性,以及较强的耐环境应力和防老化性,此外,还必需保证格栅在长期使用过程中保持其稳定的性能。格栅中的炭黑可提高材料抗紫外线照射,增强材料的光氧化性能,加入量宜为 2%左右。

1.3 工艺流程

玻塑复合土工格栅是将原料通过挤出机,经模具形成条带毛坯,并在一定温度下进行拉伸牵引而形成的具有网状结构的土工格栅,其生产工艺流程如图 2 所示。

2 工艺控制要点

2.1 工艺参数的确定

玻塑复合土工格栅对温度有严格的要求,在一定温度和受热时间因素下,分子间会发生解取向,特别是在温度升高或受热时间过长时解取向的速度更

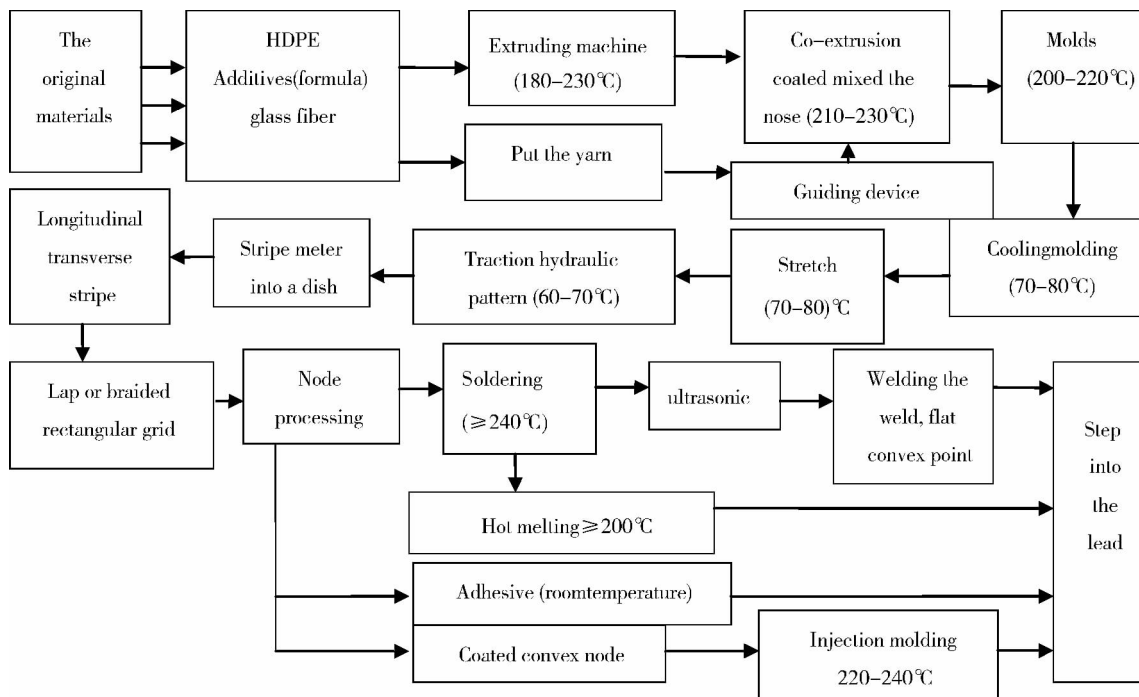


图 2 玻塑复合土工格栅生产工艺流程

Fig2 Glass-plastic composite geogrid production process

加迅速,因此制定工艺参数的基本原则是:在拉伸成型过程能满足生产的前提下将工艺温度控制在80℃以内,受热时间不超过15 min。

2.2 重要质量指标的控制

影响玻塑复合土工格栅质量指标的因素较多,如温度、湿度、网孔尺寸等;指标参数直接影响工程应用,其中每延米屈服拉力、屈服伸长率是两项关键指标,玻塑复合土工格栅的主要质量指标见表1所示。

表1 玻塑土工格栅的质量指标
Table1 Glass plastic geogrid quality indicators

Standard	Vertical and horizontal fracture load/(KN/m)	Elongation/%	Unidirectional reinforcements root of the number/(root/m)	Quality/(g/m ²)
JLGS30	30	≤3	6	500
JLGS40	40	≤3	8	670
JLGS50	50	≤3	10	840
JLGS60	60	≤3	12	1000
JLGS80	80	≤3	8	1600

2.2.1 屈服拉力

影响屈服拉力的因素,一是材料的特性,材料的拉伸强度越高,其每延米屈服拉力值越高;二是板材的厚度,板材越厚,每延米屈服拉力值越高;三是冲孔的形状与尺寸,孔的尺寸及间距越大,每延米屈服拉力值越小;四是拉伸倍率,拉伸倍数越大,每延米

屈服拉力值越低,一般最好将拉伸倍数控制在6—8倍。

2.2.2 屈服伸长率

为保证玻塑复合土工格栅的纵向、横向屈服伸长率,要求其拉伸时应力—应变的屈服点距最大拉力值点、断裂点越接近越好;因为聚丙烯经纵向、横向拉伸后发生应变时已无明显屈服点,难以成型加工,因此选择聚丙烯时应把屈服伸长率也作为一项重要考核指标。

3 玻塑复合土工格栅性能分析

3.1 物理性能

玻塑复合土工格栅基本物理性能主要包括格栅的面密度及网孔尺寸,面密度与产品的各项性能有一定关系,相同规格的土工格栅,如果面密度不同,产品的抗拉强度也随之改变。

网格尺寸受格栅施工环境的影响,对于土层中体积较大的石料,应采用网格尺寸大的格栅,反之采用尺寸较小的格栅,提高格栅与土体间的摩擦咬合性能,从而发挥格栅对土体的加筋作用。

3.2 性能参数分析

玻塑复合土工格栅是将若干条纵横交错排列的筋带编织在一起形成具有良好抗拉强度、抗撕裂强度和耐蠕变性能的土工合成材料,通过充分利用筋带中的纱线强力提高其学性能,可广泛应用于软土地基的加强和路面增强处理等工程领域,其主要性能参数见表2所示。

表2 玻塑复合土工格栅性能参数
Table2 Glass-plastic composite geogrid performance parameters

Standard	JLGS30	JLGS40	JLGS50	JLGS60	JLGS80	
Meshing Size/mm	≥25.4	≥25.4	≥25.4	≥25.4	≥25.4	
Breaking strength/(KN/mm)	Warp direction	≥30	≥40	≥50	≥60	≥80
	Broadwise	≥30	≥40	≥50	≥60	≥80
Elongation at break/%	Warp direction	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3
	Bbroadwise	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3
Elasticity modulus/GPa	67	67	67	67	67	
Temperature tolerance/℃	-100—280	-100—280	-100—280	-100—280	-100—280	
Corrosion resistance	Excellent					
Width/m	1.5—4.0					
Length of sheet/m	50±0.50 100±0.50					

3.3 温控拉伸试验

本次试验主要研究玻塑复合土工格栅在不同温度条件下的拉伸性能。试验的仪器和装置主要有温控实验室、拉力试验机。试验材料采用规格为 JLGS30 的玻塑复合土工格栅, 拉伸试验为 5 组, 每组 10 个格栅试样。试验环境温度设定为 -20 °C、-10 °C、0 °C、10 °C 和 20 °C 五种情况。试样在设定温度中放置 24 h 后, 并在所处温度下进行拉伸试验, 分别测得格栅纵向和横向的断裂强度和断裂伸长率。

玻塑复合土工格栅在不同温度下纵向和横向断裂强度以及断裂伸长率如表 3 所示, 其相应函数图像如图 3 所示。

表 3 拉伸试验结果
Table 3 Tensile test results

Test temperature/ (°C)	Grille longitudinal		Grille transverses	
	Breaking strength/ (KN/m)	Elongation at break/ %	Breaking strength/ (KN/m)	Elongation at break/ %
20	27.5	3.5	28.9	4.0
10	23.8	3.6	25.6	4.0
0	25.7	3.9	25.7	4.0
-10	22.7	3.2	25.2	3.7
-20	21.2	2.6	20.2	2.9

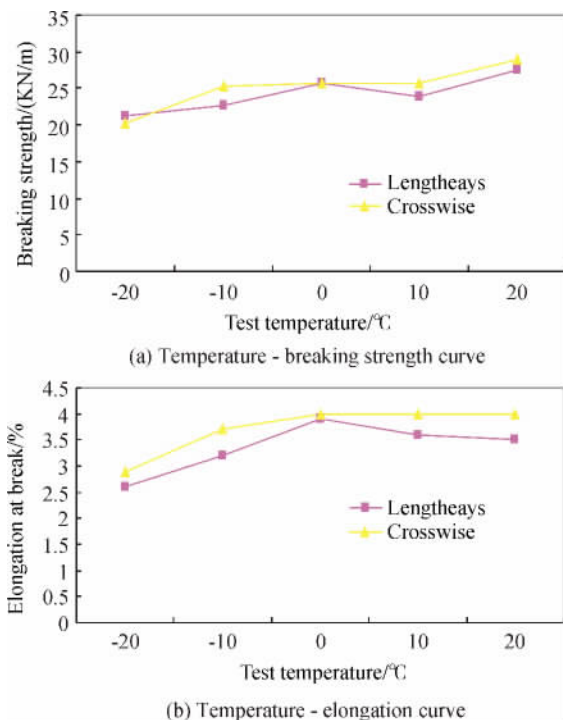


图 3 温度与断裂参数的关系曲线

Fig. 3 Temperature and fracture parameters of the curve

实验数据分析表明, 玻纤土工格栅的断裂强度随着温度的增加而增加, 但在 10 °C 时突变, 即 10 °C 时玻纤格栅的断裂强度低于 0 °C 和 20 °C 时的断裂强度; 断裂伸长率与温度呈负相关, 并经过一定时间后趋于稳定, 特别是低温环境中适应工程变形能力较差。

3.4 技术指标

(1) 高抗拉强度, 低延伸率—玻塑复合土工格栅是以玻璃纤维为主要原料, 具有很高的抗变形能力, 极限抗拉强度达 300 MPa, 断裂延伸率 ≤ 3%。

(2) 无长期蠕变—因条带外表层采用高密度聚乙烯材料, 具备在长期荷载的情况下抵抗变形的能力。

(3) 热稳定性—玻璃纤维的熔化温度在 1000 °C 以上, 这确保了玻塑复合土工格栅在不同的热环境中承受热的稳定性。

(4) 物理化学稳定性—经过特殊工艺配方处理, 玻塑复合土工格栅能够抵抗各类物理磨损和化学侵蚀, 还能抵御生物侵蚀和恶劣气候变化, 保证其性能不受影响。

(5) 集料嵌锁性—由于玻塑复合土工格栅是网状结构, 纵、横向交叉结点高、厚, 形成的机械嵌锁形式使土体在受荷载的情况下能够达到更好的压实状态和更高的承重能力。

(6) 施工性—玻塑复合土工格栅质量轻, 柔性大, 易于现场裁剪和连续, 方便施工, 且不需要特殊的施工机械和专业技术人员。

4 玻塑复合土工格栅的工程应用

4.1 公路上的应用

玻塑复合土工格栅在公路上的应用一方面用于一般公路的路基上, 以增强路基的稳定性和承载能力; 另一方面, 用于沥青路面的下层, 以防止或延缓路面反射裂纹的出现或是修补路面。

4.2 边坡、挡土墙和堤坝上的应用

以玻塑复合土工格栅在边坡中的应用为例说明。对于一个没有土工格栅增强的边坡来说, 在一定的湿度下, 边坡有一个最大的坡度, 当超过了这个坡度, 边坡就会在重力的作用下产生滑移, 滑移层的产生是由于土壤的重力剪切力大于斜坡的承受能力; 但如果在边坡中加入玻塑复合土工格栅, 则可以将原剪切力分散至格栅上, 可以有效地控制滑移面的产生。

4.3 其它工程上的应用

玻塑复合土工格栅还可用于桥梁地基加固、建筑物墙体加固等工程领域,以达到加固土体的目的。

5 亟待解决的关键技术

国内玻塑复合土工格栅的开发刚刚起步,其市场正处于发展成长阶段。为加快玻塑复合土工格栅的发展进程,还需进行更深入的研究分析:

(1)对不同原料和工艺流程影响格栅性能的研究还有待进一步深入,以利于选用适当的原料和制造工艺,优化产品性能,开发出适应性更广的新格栅;

(2)加强格栅的基础性能研究,如拉伸性能、蠕变性能,为工程应用提供可靠的技术依据;

(3)根据不同地区工程特点及施工条件,开发适合工程应用的格栅,拓宽玻塑复合土工格栅的应用领域;

(4)加强对格栅抗折性能的测试研究,优化生产成本,进而掌握玻塑复合土工格栅的性能指标和经济效益。

6 结论

(1)格栅条带采用玻璃纤维材料来代替碳素弹簧钢丝等其它加筋材料,使得玻塑复合土工格栅的双向拉伸断裂强度可达 120 KN/m 以上,断裂伸长率 $\leq 3\%$,能够抵抗多种侵蚀和气候变化,保证其结构性能的可靠性和稳定性。

(2)格栅结构中采用滚花和包覆凸起工艺,使得格栅的抗剥离撕裂强度有了较大的提高,对土体的嵌锁咬合能力增强,同时,滚花工序使得玻璃纤维和塑料层接触的更加牢固。

(3)玻塑复合土工格栅的断裂强度与温度呈正相关,但在 10 °C 时存在突变,但其断裂伸长率随着老化时间的增长而下降,经过一定时间后趋于稳定值,低温环境中适应工程变形能力较差。

(4)玻塑复合土工格栅的开发在我国正处于起步阶段,作为加筋、加固材料在土木工程领域有着广阔的市场前景,但理论研究和实践经验还不够成熟,因此必须在理论研究的深度和广度上进一步加强,在实践中进一步探索、创新,争取在较短时间内达到国际先进水平。

参考文献:

[1] 马素萍,石海岭,王世英. 玻璃纤维土工格栅在沥青路面上的

应用[J]. 交通科技与经济,2003,(4):17-18.

Ma Suping, Shi Hailing, Wang Shiyong. The application of glass fiber geogrid in asphalt[J]. Transportation Science and Technology and Economy, 2003, (4): 17-18.

[2] 肖永亮,张新天. 玻纤格栅加强沥青路面抗疲劳性能实验研究[J]. 北京建筑工程学院学报,2008,24(3):35-38.

Xiao Yongliang, Zhang Xintian. Strengthen the fatigue performance of asphalt pavement fiberglass gridiron experimental study [J]. Journal of Beijing Institute of Architectural Engineering, 2008, 24 (3): 35-38.

[3] 张金荣,刘琦,赵飞. 玻纤格栅在防止半刚性基层反射裂缝中的应用[J]. 公路与汽运,2007,(6):89-91.

Zhang Jinrong, Liu Qi, Zhao Fei. Glass fiber grid to prevent reflection cracking semi-rigid base and application [J]. Journal of Highway and Trucks, 2007 ,(6): 89-91.

[4] 周纪军,程卫国,夏宇. 玻纤土工格栅的抗拉性能研究[J]. 水利水电技术,2012,43(12):96-99.

Zhou Jijun Cheng Weiguo, Xia Yu. Glass fiber geogrid tensile performance study [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2012,43 (12): 96-99.

[5] 贺晓丽. 经编土工格栅的开发与应用[J]. 天津纺织科技,2007,(3):9-12.

He Xiaoli. The development and application of warp-knitted geogrids [J]. Journal of Tianjin Textile Science and Technology, 2007, (3): 9-12.

[6] 宗大全,朱弟雄. 双向土工格栅的开发[J]. 工程塑料应用,2001,29(10):34-36.

Zong Daquan, Zhu Dixiong. The development of the bidirectional geogrid [J]. Engineering Plastics Application, 2001, 29 (10): 34-36.

[7] 薛敏. 塑料土工格栅的生产开发[J]. 现代塑料加工应用,2004,16(6):58-61.

Xue Min. The production and development of plastic geogrid [J]. Modern Plastics Processing and Application, 2004 ,16 (6): 58-61.

[8] 泰安路德工程材料有限公司. 玻塑复合土工格栅生产方法:中国,201010608193.0[P]. 2011-06-01.

[9] 张术彬,常俊德,张滨. 玻纤格栅低温低应力水平蠕变特性试验研究[J]. 南水北调与水利科技,2013,11(4):89-92.

Zhang Shubin, Chang Junde, Zhang Bin. Low temperature and low stress level fiberglass gridiron creep characteristic test study [J]. Journal of The South-north Water Diversion and Water Conservancy Science and Technology, 2013, 11 (4): 89-92.

[10] 储才元,蒋耀兴. 玻纤格栅复合土工布的开发与性能[J]. 产业用纺织品,2001,19(125):23-26.

Chu Caiyuan, Jiang Yaoxing. Development and properties of glass fiber grating composite geotextile [J]. Journal of Industrial Textiles, 2001, 19 (125): 23-26.

[11] 杨锡阶,王时越,黄志静,等. 加载速率对玻璃纤维土工格栅断裂强力的影响[J]. 实验室研究与探索,2007,26(11):238

—240.

Yang Xijie, Wang Shiyue, Huang Zhijing, et al. Loading rate the influence of the breaking strength of glass fiber geogrids [J]. Journal of Laboratory Research and Exploration, 2007, 26 (11): 238—240.

- [12] 杨广庆, 庞 巍, 吕 鹏, 等. 塑料土工格栅拉伸特性试验研究 [J]. 岩土力学, 2008, 29(9): 2381—2391.

Yang Guangqing, Pang Wei, Lv Peng, et al. Plastic geogrid tensile property test study [J]. Rock Soil Strength, 2008, 29 (9): 2381—2391.

- [13] 张同伟, 赵莹莹, 赵阳阳. 土工格栅加筋土三轴试验研究 [J].

河南理工大学学报(自然科学版), 2013, 32(1): 103—108.

Zhang Tongwei, Zhao Yingying, Zhao Yangyang. Geogrid reinforced soil triaxial test study [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2013, 32 (1): 103—108.

- [14] 周志刚, 李雨舟. 土工格栅蠕变特性及其黏弹塑性损伤本构模型研究 [J]. 岩土工程学报, 2011, 33(12): 1943—1949.

Zhou Zhigang, Li Yuzhou. Geogrid creep properties and its sticky elastoplastic damage constitutive model [J]. Rock Soil Engineering Science, 2011, 33(12): 1943—1949.