

低温环境下短纤针刺土工布顶破性能与机理研究

郑晓国¹, 陈隆杰²

(1. 浙江交通职业技术学院 路桥学院, 浙江 杭州 311112; 2. 浙江省交通运输科学研究院)

摘要: 为了研究短纤针刺土工布低温环境下的顶破性能,以厚度为 2.8 mm 短纤针刺土工布为研究对象,分别在试验温度 20(常温)、0、-3、-6、-9、-12 ℃ 与含水率 0%、5%、15%、30%、50%、80%条件下进行了顶破强力试验,得到不同含水率与温度条件下的短纤针刺土工布顶破强力预测方程以及顶破强力增量随温度的变化趋势关系,同时详细阐述了顶破破坏过程中短纤针刺土工布的变形机理与双峰值机理。短纤针刺土工布顶破性能研究结果对于边坡防护、软基与路基隔离、公路路基、土石坝加筋等工程具有重要参考价值。

关键词: 短纤针刺土工布; 顶破特性; 低温; 机理

由于短纤针刺土工布具有重量轻、渗透性好、抗拉强度高、耐高温、耐腐蚀、抗冷冻、耐候性等特点;具有加筋、排水、过滤、隔离、封闭、防护作用,被广泛应用于路基加筋、边坡防护、公路养护、运动馆、围垦、隧洞、码头等工程领域。但是,短纤针刺土工布应用于工程建设时,常埋置于岩、土体中,当岩、土体发生位移,尤其碰到石块、坚硬土块时土工布受力超过其顶破强度,土工织物极易在此处产生应力集中,发生断裂破坏,对岩、土体整体的隔离、加筋、防护等造成较大影响,给工程建设埋下一定的隐患,并且深埋或者表面覆盖的土工织物受自然条件影响,处于不同含水率状态,负温环境会对其顶破特性同样产生较大影响,因此,对于公路边坡防护、路基加筋等工程而言,短纤针刺土工布顶破性能的研究非常重要。

顶破特性是土工织物重要的力学特征之一,目前成为路基的加筋、边坡防护、软基与路基隔离、碎石排水暗沟滤层、水工建筑的隔离等工程重要检测指标之一。之前不少学者在土工织物的顶拉伸性能方面进行了一定的研究,但是都未考虑温度因素对土工织物的影响。刘路路等将负温因素考虑在内,研究了不同含水量下短纤针刺土工布在负温环境下的抗拉性能,但未涉及顶破特性。还有一些学者对土工织物的顶破性能进行了一定的研究,但是都未考虑负温的影响。例如,储才元等基于拉伸应力与主模量夹角函数、最小断裂伸长率和试样尺寸等参数,推导得出了土工织物顶

破强力计算公式;张天阳等借助 Abaqus 对土工织物的顶破过程进行了数值模拟,从宏观与微观角度深入分析了顶破土工织物的应力应变分布、能量吸收机制以及摩擦作用的影响;朱静等分析了顶破钢球直径、顶破速度和夹环半径对织物顶破强力的影响;焦亚楠等通过试样研究得到,当模压温度为 170 ℃、保温时间为 40 min 时,亚麻/聚丙烯复合材料的顶破性能达到最优。

基于以上对土工织物的研究总结,低温环境下短纤针刺土工织物顶破性能的研究少之又少,并且短纤针刺土工布顶破性能对实际工程的应用研究具有重要作用,所以该文分别在含水率为 0%、5%、15%、30%、50%、80%,试验温度为 20(常温)、0、-3、-6、-9、-12 ℃ 条件下进行顶破强力试验,得到不同含水率条件下顶破强力与温度预测方程,同时分析顶破强力增量随着温度的变化趋势,阐述负温环境下短纤针刺土工织物顶破的变形机理与双峰值机理。

1 试验内容

1.1 顶破仪器

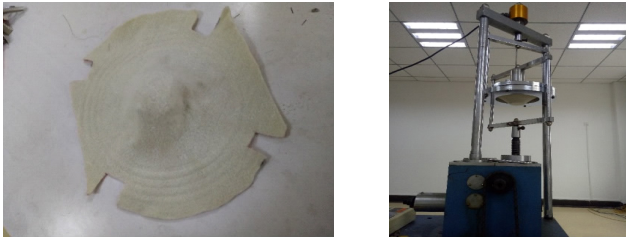
顶破仪器采用 YG031P 型土工织物试验机,强力测试范围为 0~6 000 N,测力精度 $\leq \pm 0.2\%$,冲破下降速度为 100 mm/min,冲破最大下降动程为 120 mm,有效最大顶破动程为 90 mm,传动方式为单独双

速电动机传动。

1.2 试样制备与方法

此次短纤针刺土工布试样平均厚度 2.8 mm,平均单位质量偏差-1.25%。试验参考规范为 JTG E50-2006 与 JTG/T D32-2002,判断依据为 JT/T 520-2004。由于不同岩、土体内部含水率差距较大,所以土工布的干湿程度不同,此次试验设置了含水率分别为 0%、5%、15%、30%、50%、80% 的土工布试样。为了研究负温对顶破性能的影响,分别设置试验温度为 20(常温)、0、-3、-6、-9、-12℃。将土工布试样置于冷冻箱 10 h,迅速进行顶破试验,负温试样试验在冬天进行,室内温度为零下,常温试样试验在室温 20℃进行,尽量减少温度损失偏差。此外,为了降低试验测试数据波动误差,对应一种确定的含水率与试验温度,分别进行 3 个试样平行试验,共进行 108 个试样的顶破试验,取 3 个试验值的平均值 \bar{X} 。如 3 个值中有波动较大值按 $\bar{X} \pm K\sigma$ 范围之外舍弃;余下取平均值。 σ 为标准差,试件数量为 3 时 K 为 1.15。

图 1 为短纤针刺土工布顶破破坏试样及 YG031P



(a) 顶破试样 (b) 顶破试验机

图 1 短纤针刺土工布试样及试验机

型土工织物顶破试验机。

2 顶破强力试验结果分析

2.1 顶破强力分析

按照 1.2 节的试验步骤,将含水率为 0%、5%、15%、30%、50%、80% 的短纤针刺土工布试样分别在试验温度 20、0、-3、-6、-9、-12℃ 的条件下进行顶破强力试验,得出不同含水率与试验温度条件下顶破强力平均值如表 1 所示。

表 1 顶破强力试验数据结果

含水率/ %	不同温度(℃)下的顶破强力/kN					
	20	0	-3	-6	-9	-12
0	1.91(0.010 6)	2.08(0.008 9)	2.11(0.007 5)	2.22(0.005 0)	2.47(0.008 2)	2.79(0.013 5)
5	1.90(0.014 0)	2.10(0.012 2)	2.12(0.006 6)	2.24(0.012 3)	2.48(0.004 4)	2.81(0.013 7)
15	1.89(0.008 5)	2.12(0.005 3)	2.13(0.014 8)	2.31(0.007 8)	2.49(0.015 6)	2.83(0.009 2)
30	1.88(0.011 8)	2.14(0.008 5)	2.18(0.010 6)	2.33(0.013 1)	2.51(0.006 1)	2.87(0.009 5)
50	1.84(0.012 8)	2.13(0.010 8)	2.21(0.004 4)	2.37(0.008 2)	2.55(0.009 2)	2.91(0.011 8)
80	1.82(0.019 2)	2.14(0.006 1)	2.22(0.011 0)	2.39(0.005 3)	2.62(0.012 2)	2.98(0.005 3)

注:括号中数据为不同温度和含水率下试样试验结果的标准差。

由表 1 可知:当温度为室温,土工布含水率从干燥状态增加到 80%,顶破强力仅减少 0.09 kN,说明常温环境下含水率对其顶破强力程度影响较小,主要原因在于含水率增加,土工布内部聚合物分子之间的摩擦牵引作用降低,但是从试验结果看来,降低程度较小,对其聚合物分子之间的牵拉作用影响甚微。然而,当试验温度从 20℃降低到-12℃,6 种含水率工况下,土工布顶破强力分别增加 0.88、0.91、0.94、1.07、1.16 kN。当温度处于 0℃以下,土工布顶破强力随温度的降低反而增加。当温度一定时,随着含水率的增加,顶破强力逐渐增加。当温度位于 0~-3℃范围波动时,增长趋势不明显;当温度达到-9℃,增长趋势显著,尤其当温度达到-12℃,相比于干燥状态的短纤针刺土工布,顶破强力增加 6.8%。分析其主要

原因是,负温下的短纤针刺土工布要克服外力达到顶破破裂,首先要打破聚合物分子之间的冰体连接强度,然后再克服聚合物分子之间的连接强度,冰体强度随着温度降低,越来越“硬”(但是当温度低于某个值时,冰体强度不再增加),而且聚合物颗粒之间的连接力同样增加,活动性降低,需要更大的外界做功才能打破颗粒之间的连接作用达到顶破土工布的效果,所以土工布对外表现出顶破强度提高,这与刘路路的负温环境土工布的拉伸强度试验结果类似。

对试验数据进行非线性回归分析,当函数类型为抛物线时,回归分析效果最好,得到短纤针刺土工布在不同含水率条件下顶破强力与负温的拟合方程为:

$$F=aT^2+bT+c \tag{1}$$

式中: F 为顶破强力(kN); T 为温度(℃); a 、 b 、 c 为拟

合系数。

利用式(1)对表 1 数据进行拟合,拟合曲线见图 2,拟合方程与参数见表 2。

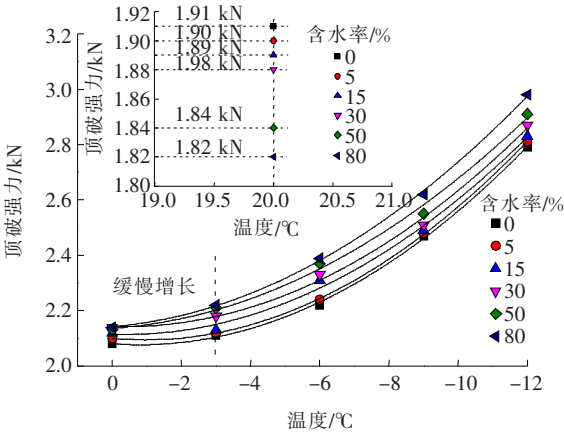


图 2 不同含水率下顶破强力与温度关系曲线

表 2 顶破强力与温度试验数据拟合

含水率/%	拟合方程	相关系数
0	$F=0.005\ 7T^2-0.002\ 9T+2.080\ 9$	0.997\ 9
5	$F=0.005\ 9T^2-0.001\ 1T+2.097$	0.998\ 2
15	$F=0.005\ 3T^2-0.004\ 1T+2.114\ 3$	0.994\ 5
30	$F=0.005\ 3T^2-0.002\ 9T+2.143\ 7$	0.955\ 8
50	$F=0.004\ 6T^2-0.008\ 1T+2.136\ 9$	0.989\ 4
80	$F=0.004\ 9T^2-0.010\ 3T+2.142\ 6$	0.984\ 2

由表 2 可以看出:拟合方程相关系数较高,可以对相关工程及土工布再加工提供一定的参考,土工布的加工过程,要考虑低温的影响。

2.2 顶破强力损失量分析

以室温(20℃)下短纤针刺土工布的顶破强力为基准,为了更加全面地描述不同含水率下低温环境对短纤针刺土工布顶破强力的影响,提出短纤针刺土工布顶破强力增量(DI)概念:

DI=(F-F_{20℃})/F_{20℃} (2)

式中:F_{20℃}为室温 20℃下对应的顶破强力(kN)。

分别对不同含水率与试验温度下的顶破强力数据进行计算,得到不同含水率下顶破强力增量与温度的关系曲线,如图 3 所示。

由图 3 可知:① 与室温条件下短纤针刺土工布顶破强力相比较而言,从整体上可以看出在不同含水率条件下,土工布顶破强力增量随着温度降低呈现出逐渐增长的趋势,温度越低,顶破强力增量越大;② 当温度处于负温环境下,土工布含水率越高,顶破强力增量越大。

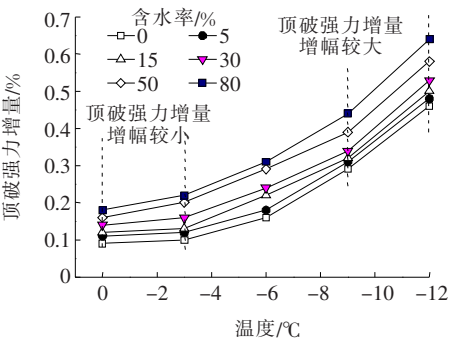


图 3 顶破强力增量与温度关系曲线

3 短纤针刺土工布顶破机理分析

短纤针刺土工布主要由涤纶、丙纶与维纶组成,多孔隙,从微观角度来看,通过聚合物分子链之间的连接,该文建立了如图 4、5 所示在负温和常温下短纤针刺土工布顶破破坏过程内部机理变化图,破坏变形主要分为 3 个阶段:弹性变形、塑性变形、破坏阶段。

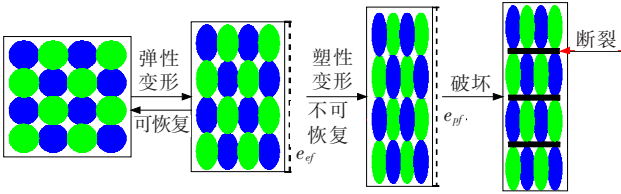


图 4 负温下短纤针刺土工布变形机理图

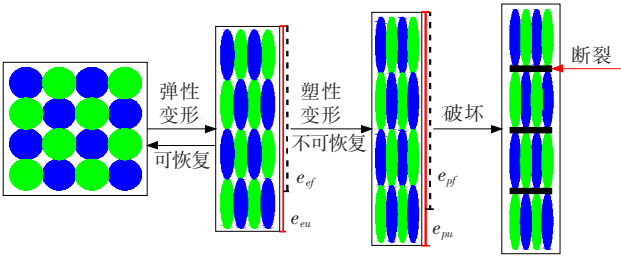


图 5 常温下短纤针刺土工布变形机理图

图 4、5 中,e_{ef}为负温下土工布弹性变形量;e_{pf}为负温下土工布塑性变形量;e_{eu}为常温下土工布弹性变形量,e_{pu}为常温下土工布塑性变形量。

当顶破试验时间相同,e_{ef}<e_{eu},e_{pf}<e_{pu},弹性变形阶段,聚合物分子仅发生可恢复的拉伸变形,但时间很短;塑性变形阶段,聚合物分子出现不可恢复的变形,部分变形可恢复。由图 4、5 可以看出:负温环境下短纤针刺土工布的弹性变形与塑性变形比常温环境下的弹性变形与塑性变形小。相比常温环境,虽然负温环境下的顶破强度增加,但对外表现出整体韧性降低,脆性增加,屈服能力逐渐减弱,弹性变形与塑性变形的

废冶金渣胶结料处治高含水率海相黏土试验研究

赵翔¹, 陈冠一^{1,2}, 杨和平¹ 编译

(1. 长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114; 2. 广东鸿高建设集团有限公司)

摘要: 近年来,新加坡必须在填海陆域采用海相黏土作填料修建道路,筑路前如何经济有效地改善高含水率软黏土的工程性质成为挑战,用水泥处治需耗费大量水泥而不经济。为此,开展采用废冶金渣胶结料代替波特兰水泥改善海相软黏土的潜在用途研究,通过系列对比试验,分析并评价了胶结料及水泥处治的海相黏土不排水抗剪强度。结果表明:对初始含水率较高的海相软黏土,采用同剂量的废冶金渣胶结料及水泥进行处治,两者达到相同的无侧限抗压强度时,胶结料处治的养护时间可缩短约20%而同养护14、28 d的不排水抗剪强度可提高20%~50%,且废冶金渣胶结料处治土后期增强性能好。微结构研究也表明。废冶金渣胶结料处治土粒间形成的锁结基体有利于提高其抗剪强度。

关键词: 海相黏土; 废冶金渣; 抗剪强度; 地基处理

1 前言

围海造陆是人类利用海洋空间最古老的方法之

一。从19世纪开始,围海造陆就成了新加坡拓展土地的主要方法。20世纪70年代以来,新加坡拓展的新土地已超过100 km²,近来还计划到2030年再填造100 km²的土地。围海造陆一般分3个阶段进行:首

发生时间缩短,且随着温度逐渐降低时间越来越短,导致出现顶破破坏的时间缩短,聚合物分子链断裂,主要因为土工布内部聚合物分子链受低温影响活动性降低,活动区域缩小,称这个区域为负温因子应变。

从顶破试验结果可以看出:当含水率增加时,应力应变曲线会出现两个峰值强度,并且含水率越高第一个峰值强度越明显,原因在于不仅仅要克服土工布聚合物分子链之间的连接强度,还要克服冰体分子之间的连接强度,由于冰体分子之间接触更加紧密,所以首先打破冰体分子之间的连接,出现第一个峰值强度,此时聚合物分子链还未启动,虽然应变增加,但应力随之下降,之后土工布开始承担外力,总顶破强力又逐渐上升,达到聚合物分子链的峰值强度直至破坏。

4 结论

(1) 建立了不同含水率与温度条件下的短纤针刺土工布顶破强力预测方程,可以为实际工程提供参考。

(2) 短纤针刺土工布顶破强力损失量随着温度降低呈现出逐渐增加的趋势,土工布含水率越高,顶破强力损失量越大,温度越低,顶破强力增量越大。

(3) 短纤针刺土工布顶破变形主要分为3个阶段:弹性变形、塑性变形、破坏阶段。负温环境下顶破试验双峰强度的出现主要在于外力不仅要克服土工布聚合物分子链之间的连接强度,还要克服冰体分子之间的连接强度。

参考文献:

- [1] 曹国福,徐兵,王茂胜,等.圈围工程中高强有纺土工布加筋垫层变形试验研究[J].岩土力学,2014(S1).
- [2] 张思云,张艳,靳向煜.土工膜和非织造土工布单向与双向拉伸机理对比试验研究[J].东华大学学报(自然科学版),2014(2).
- [3] 刘路路,李哲,刘晓燕.基于不同含水率负温环境下短纤针刺土工布拉伸性能研究[J].公路工程,2017(3).
- [4] 储才元,严灏景.非织造布力学各向异性与顶破强力的模拟计算[J].中国纺织大学学报,1995(4).
- [5] 张天阳,丁辛.机织物顶破过程的有限元分析[J].东华大学学报(自然科学版),2012(6).
- [6] 朱静,杜赵群,于伟东.织物刺破与顶破测试方法对比研究[J].东华大学学报(自然科学版),2013(6).
- [7] 焦亚男,祁小芬,吴宁,等.亚麻/聚丙烯复合材料的制备及拉伸、顶破性能[J].天津工业大学学报,2014(5).
- [8] JTG E50-2006 公路工程土工合成材料试验规程[S].