

针刺土工布的顶破强度实验分析

汤宝润 于延有 郑俊芝

(天津纺织工学院)

【摘要】 本文采用涤纶短纤维针刺型土工布为研究对象。对其顶破强度及破坏机理进行了试验分析, 获得的结果可为工程设计及应用提供有益的依据。

一、引言

土工布属于柔性复合材料, 其顶破除了决定于工作应力外, 它的使用温度、负载时间及湿度等均对顶破强度有影响。土工布在石块及尖硬物体的顶压下, 由于石块负载使土工布受应力集中作用而产生刺破及土体与石块之间的土工布受挤压产生局部形变过大而顶破, 如图 1 所示。通常情况下, 土工布的刺破强度低于顶破强度。

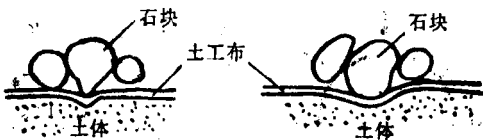


图 1 土工布顶压简图

二、顶破实验

采用强力试验机模拟土工布受石块顶压作用。顶破试验是将土工布固定在环形夹具内, 用标准的顶杆以一定的速度顶入土工布试样, 直到试样被顶破, 其破裂时最大负载表示土工布的顶破强度。我们为了研究不同半圆头顶杆直径对土工布顶破强度值的影响, 根据国内外资料, 选用顶入速度为 60mm/min, 对三种试样(见表 1), 在不同顶杆直径下进行顶破试验, 其顶破强度见表 2。

三、实验结果与顶破机理分析

1. 不同直径顶杆的顶破强度

表 1 土工布试样的物理性能

编号	A ₁	A ₂	A ₃
土工布结构	针刺短纤维	针刺短纤维	针刺短纤维
原料	涤纶	涤纶	涤纶
质量(g/m ²)	330	422	449
厚度*(mm)	2.52	3.05	3.65
密度(kg/m ³)	130.9	138.4	123.0

* 指 2kpa 压力下的厚度。

表 2 不同顶杆直径的顶破强度值 单位(N)

顶杆	A ₁	A ₂	A ₃
φ10mm	645	285	499
φ24mm	1208	520	867
φ36mm	1911	943	1454

从表 2 可知: 大直径顶杆的强度高于小直径顶杆, 其主要原因是在小直径顶杆作用下土工布的接触挤压力大于大直径顶杆挤压力(决定于顶杆接触面积大小, 即接触面积越小越易顶破)。

通过线性回归分析, 这三种直径的顶杆在顶破土工布试样时, 其顶破强度值之间有很好的相关性, 回归方程为:

$$F_{\phi 36} = 2.666F_{\phi 10} + 166$$

$$\text{相关系数 } R = 0.9970$$

$$F_{\phi 24} = 1.889F_{\phi 10} - 35$$

$$\text{相关系数 } R = 0.9946$$

从上述结果可知, 土工布在不同直径顶杆作用下的顶破强度值是可相互换算的。这样, 方便了工程设计的不同要求。

2. 顶破过程的形变机理分析

通过实验观察可知，土工布在反复负载作用下被顶破，其顶破可分为：顶压(AB)、静载(BC)及回复(CD)三个过程，如图2(B)所示。

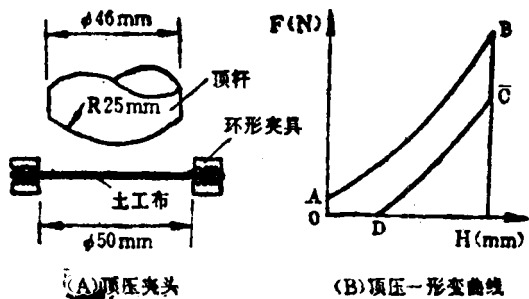


图2 顶压过程示意图
(OA为预加载力 $F = 4.9N$)

对针刺型土工布 A_2 试样，分别顶压 490、392、294、196N 四档负载，静载 30 秒，然后除掉负载，观察在不同负载下形变的恢复情况。为了分析方便，采用顶入深度 H 的变化取代形变，因土工布的形变 ϵ 与顶入深度 H 是可换算的，为此，用急弹性 $H_{急}$ 、缓弹性 $H_{缓}$ 、塑性 $H_{塑}$ 分别代替 $\epsilon_{急}$ 、 $\epsilon_{缓}$ 、 $\epsilon_{塑}$ 。我们只利用各项形变所占百分率计算，因此可不用 ϵ 值表达。

(1) 顶压过程中，负载 F 与顶压深度 H 关系为非线性曲线。土工布所承受的负载大小，决定于纤维强力、纤维间纠缠点的负载能力及纤维的抽拔力。由于纤维在土工布中为非均匀分布，为此，在这过程中负载 F 与顶压深度 H 为非线性曲线。对此曲线经过拟合，选用以 $y = ke^{ax}$ 为函数，其拟合方程为：

$$F = 0.628e^{0.03H} (N)$$

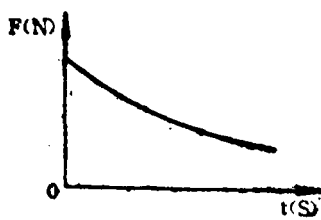


图3 应力松弛曲线

(2) 静载过程中，土工布的负载逐渐减小，此时土工布发生粘弹性应力松弛，其应力松弛曲线，如图3所示。

(3) 回复过程中，土工布发生粘弹性蠕变回复。通过测定急弹性恢复高度 H_1 、缓弹性恢复高度 H_2 值，其各项高度值与负载作用相关，它们之间关系见表3。

表3 负载与形变的关系

负载	196N	294N	392N	490N
$H_1\%$	35.10	33.50	31.22	28.47
$H_2\%$	9.05	0.45	7.41	6.42
$H_3\%$	55.85	58.05	61.37	65.11

注： $H_1\% = H_1 / (H_1 + H_2 + H_3)$

随着外负载的增加，各项形变的变化也不同，急弹性形变随负载增加而减小，塑性形变随负载增加而加大。因此，在较大负载作用下土工布虽不能被顶破，但易造成较大的塑性形变，而在反复负载作用时，更易产生塑性形变的积累而破坏。

3. 顶破与拉伸的关系

土工布受顶压时，实际上是受多向拉伸作用，其受力状态如图4所示。

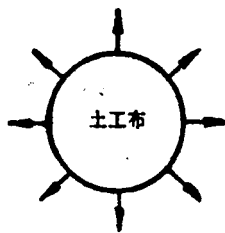


图4 多向拉伸

对土工布试样进行各向单向拉伸，其中强度值较低的方向正是顶破时试样的断裂处，其表现该处的形变量较低。通常针刺型土工布的顶破常常由于结构失稳而构成的，即强度低则形变量也低，为此，在形变低处产生裂口而破坏。

对不同的土工布 A_1 、 A_2 、 A_3 试样，通过比较拉伸强度与顶破强度可知：各向单向拉伸强度均高的土工布，其顶破强度值也高，见表4。拉伸和顶破为两种不同负载情况，但试

表4 拉伸与顶破强度

作用方式	单向拉伸(N/50m)	顶破强度(N) $\phi 10mm$
试样 A_1	528	645
试样 A_2	403	285
试样 A_3	460	499

样受到破坏机理却是相同的。

4. 顶破强度理论计算

石块是导致土工布被顶破的主要因素, 其顶破强度(F)通常可用下式表达:

$$F = (\pi/4) p f d^2$$

式中: F 为土工布的强度(N); P 为作用在土工布上最大压力(kN/m^2); f 为安全系数; d 为石块的平均直径(m)。

例如: 行驶在路面上的卡车, 其轮胎施于路面上的压力为 80KPa , 作用在土工布上的压力按资料^[5]可知:

$$P = 0.75 \times \text{轮胎压力} = 60(\text{kN/m}^2)$$

石块的平均直径为 8cm , 考虑选用安全系数 $f=1$, 则:

$$F = (\pi/4) \times 60 \times 0.08^2 \times 1 = 302(\text{N})$$

实际所测土工布 A_1 及 A_2 试样的顶破强度均大于理论计算值, 为此, 采用理论计算值较安全, 可为工程计算应用。

四、结论

1. 在顶破过程中, 由于土工布具有较高的抵抗强度, 而土工布一次被顶破的可能性较

小, 往往是受顶压后, 随着时间的延长产生较大的塑性形变而失稳。通常在长期反复负载作用下, 产生塑性形变积累而破坏。

2. 土工布的顶破强度, 用不同直径顶杆所测得的顶破强度间具有线性关系, 这为非标准的顶杆与标准的顶杆所测得的强度值之间可进行换算, 为工程设计提供了方便。

3. 拉伸与顶破关系密切, 顶破实际上是受多向拉伸破坏, 而拉伸强度高的土工布, 其顶破强度也高。土工布被顶破的位置往往发生在抗拉强度最低方向。

4. 土工布在应用中, 易被尖硬物体所刺破, 而不易被钝的物体顶破。

参考资料

- [1] 《纺织学报》, 1991年, No.12, P.33。
- [2] 《力学与实践》, 1992年, No.2, P.16。
- [3] G.Wemer等: 《土工织物多轴应力胀破及顶破试验》, 1991.No.4。
- [4] 赵家宜等译: 《产业用纤维材料手册》, 1984年。
- [5] Book of papers, The International Non-woven Fabric Conference, 1988。