

# 土工织物抗拔试验分析研究

王俊林<sup>①</sup> 郑培成 盛崇文

(南京水利科学研究院)

**摘 要:** 本文首先从土粒的微观结构入手, 分析了填土中埋入土工织物后, 土工织物抗拔力的形成机理。进而通过土工织物的拉拔试验, 分析了决定抗拔力的拟摩擦系数  $f^*$  的主要影响因素。得出  $f^*$  随正应力  $\delta$  增大而减小, 抗拔力  $T$  与土工织物拉应变  $\varepsilon$  的关系可用  $T=k(\varepsilon-\varepsilon_0)^a+b$  来拟合等几点有意义的结论。

**关键词:** 土工织物、抗拔力、拉拔试验、加筋土、拟摩擦系数

**中国图出分类号:** TV339

自 1966 年法国工程师 H.Vidal 等人<sup>(1)</sup>利用镀锌条钢作加筋材料设计建造了世界上第一座加筋公路挡墙以来, 加筋土这一技术以其构造简单、造价低、占地少、适应性强等优点, 在岩土工程中得以广泛应用。土工织物具有较高的抗拉强度, 并且在填土适当的情况下与土体之间有良好的粘着作用, 所以它是加固地基、边坡或挡墙的极好材料。当用土工织物加固不稳定土体时, 它与土体组成复合体, 依靠土—土工织物间的摩擦阻力即抗拔力, 与土体联合起来共同承受和传递外部荷载 (或应力), 其中土工织物承受侧向荷载 (或应力)。土工织物抗拔力的大小直接决定着加固效果的好坏。因此在设计加筋土结构时, 如何确定土工织物的抗拔力是关键, 也是研究加筋土结构的重要课题之一。

## 1 抗拔力的形成

由 Coulomb 定理<sup>(2)</sup>知: 粒状无粘性土的内摩擦力, 一般认为包括这样两部分: ①土颗粒的表面摩擦力, ②颗粒间的嵌入和联锁作用产生的咬合力。而对于粘性土来说还应包括: (1)由于土粒间水膜与相邻土粒之间的分子引力所形成的原始凝聚力, (2)由于土中化合物的胶结作用而形成的固化粘聚力。 (3)由于毛细作用而形成的毛细粘聚力。

当填土中埋入土工织物后, 土工织物与土粒间产生摩擦阻力, 阻碍土与土工织物间的相对滑动。作用在土与土工织物界面摩擦阻力的合力即为土工织物的抗拔力, 用  $T$  表示。为分析抗拔力形成的机理, 我们引入一个符号  $f^*$ , 称为拟摩擦系数, 并定义  $f^*=d\tau_{\max}/d\sigma_n$ 。其中  $\tau_{\max}$  表示抗拔力最大时土工织物界面的剪应力,  $\tau_{\max}=T_{\max}/b$ 。  $\sigma_n$  为作用在土工织物平面上的垂直应力,  $T_{\max}$  为在  $\sigma_n$  作用下土工织物的最大抗拔力, 单位为  $kN/m$ ,  $b$  为受拉土工织物的宽度 (m)。  $f^*$  值体现了颗粒间各接触点以及颗粒与土工织物间接触点的作用关系。

作用在土颗粒上的力系可用图 1 (a) 表示。其中  $P_v$  表示竖直方向的外荷载,  $P_H$

<sup>①</sup>王俊林现在郑州工学院土建系工作。

表示水平方向的外荷载,  $N$  表示界面反力,  $N = P_v + W$ ,  $W$  表示土粒的重力,  $T'$  表示土粒所受的土—土工织物界面摩擦力。

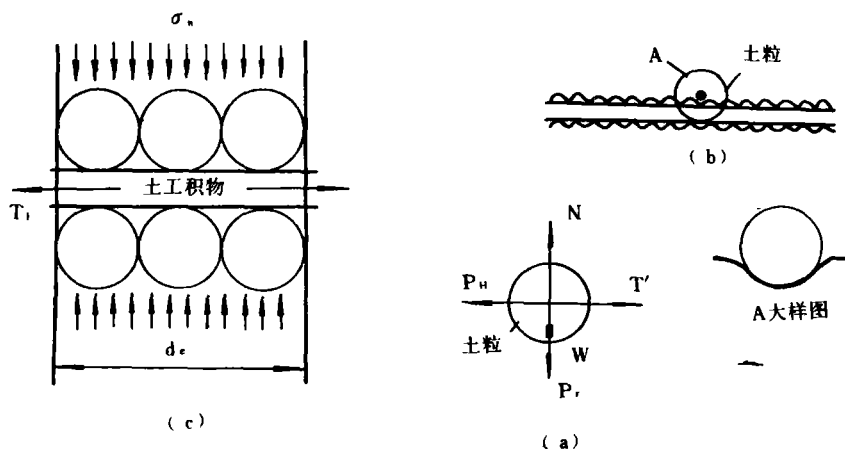


图1 土与土工织物相互作用简图

图1(b)表示当土工织物受到拉力时, 土—土工织物相互作用的情形。可以看出, 土工织物的抗拔力由以下几部分组成: 1. 土粒与土工织物接触面的表面摩擦力, 2. 土粒与平行或垂直于运动方向微凹体间的咬合力, 3. 土粒与土工织物间的粘附力。

土工织物加筋土中, 土颗粒并不是都与土工织物直接接触, 而是通过与土工织物直接接触的土粒将应力传递到与土工织物不接触的其他土粒上去。于是就可以充分发挥土工织物间土体的内摩擦作用。若土体本身抗剪强度  $\tau = C + \sigma_n \tan \psi$ , 小于土—土工织物间的摩擦力, 那么, 土工织物连同嵌入其内的土粒将会沿土体内某一可能滑动面滑动而破坏。

图1(c)表示长度为  $dl$  的土工织物的受力情况。当忽略土工织物自重时, 作用在宽为  $b$  的土工织物, 其上、下两面的垂直力为  $2Ndl$ , 其中  $N$  表示作用在土工织物界面上的垂直应力。此时土工织物的最大拉力  $T_{\max} = f^* \cdot 2Ndl$ 。由于土工织物上土粒的作用是有差别的, 反映在土工织物上的摩擦阻力也是有变化的。如图中所示, 作用在  $dl$  两端的力分别为  $T_1$  和  $T_2$ , 在  $dl$  微段内土工织物产生了拉力  $dT = T_1 - T_2$ 。

在加筋土结构中, 如果下列三种情况中的任意一种发生, 即认为加筋土整体作用被破坏。

①当土工织物所承受的拉力大于土工织物与土体间的摩擦阻力时, 土工织物从土中被拔出。

②填土抗剪强度不足, 土工织物连同嵌入其内的土粒被拉出。

③土工织物承受的拉力大于土工织物的极限抗拉强度时, 土工织物被拉断。

土工织物抗拔力是指上述三种破坏均不会发生时, 它能够承受的最大拉力。

由上面的分析可以看出, 土工织物抗拔力是由土粒间的摩擦力、土粒与土工织物间的相互作用力以及土工织物自身强度所决定的。一般来说土工织物的抗拉强度生产厂家是能够控制的, 而受土粒间的摩擦力、土—土工织物相互作用力受土的种类、土工织物类型、法向应力、土工织物间距等诸多因素的影响, 因此欲取得计算所需用的指标  $f^*$  是比较困难的。为此, 很多国家在施工前或施工中进行了试验, 以便正确提供或验证设计参数取值。

## 2 拉拔试验

### 2.1 试验仪器及所用材料

2.1.1 仪器 试验是在 DJS 多功能剪力仪<sup>[3]</sup>上进行的。

#### 2.1.2 材料

①土工织物：常州产扁丝编织布，密度为  $28 \times 28 / 5\text{cm}$ ，厚度  $0.43\text{mm}$ ，重量  $87.3\text{g} / 5\text{cm}$ ，平均孔径  $0.23\text{mm}$ 。

表 1：砂土粒度组成表

粒径(mm)	1.4~0.5	0.5~0.25	0.25~0.074	<0.074
含量(%)	41	36.5	21.64	0.86

表 2：粘土粒度组成表

粒径(mm)	>0.5	0.5~0.25	0.25~0.10	0.10~0.05	0.05~0.005	0.005~0.002	<0.002
含量(%)	9.5	2.5	9.0	13.5	43	10	12.5

②填土：砂土，其粒度组成见表 1；粘性土，其粒度组成见表 2。

2.2 试验内容与方法 试验是在  $18 \times 18\text{cm}$  的剪切盒中进行的，土工织物（埋入填土中的）尺寸为  $15 \times 15\text{cm}$ 。剪切盒下盒垫有一砧块，砧块上放一有机玻璃板，板面与下盒面平齐。土工织物铺在有机玻璃板上，将填土装入上盒内。用加载板对土施加垂直正应力，水平拉力由电机带动水平加荷装置施加，通过量力环测得水平力大小。

为了进行比较，还做了校正试验，是将土工织物上下两面都放上有机玻璃板，观察土

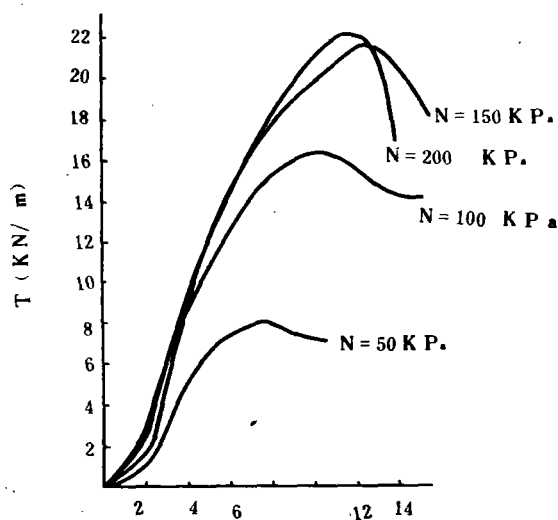


图 2 砂土双面拉拔  $T-\varepsilon(u)$  曲线

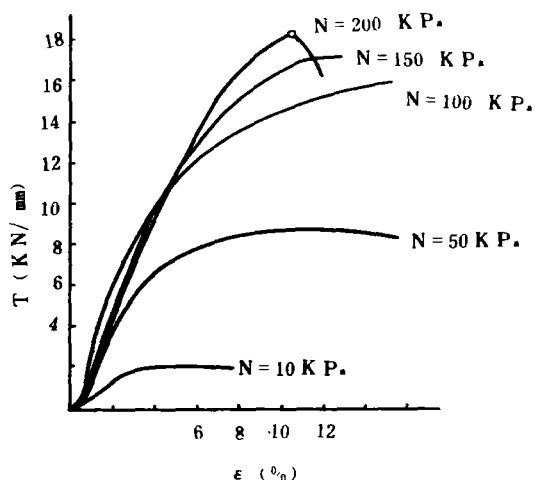


图 3 粘土( $\omega=22\%$ )拉拔曲线

工织物抗拔力变化情况。对砂土将下盒内的有机玻璃板换成砂层,使土工织物上下两面均与砂接触进行试验。对于细颗粒的粘性土用两种含水量(分别为22%和7.5%)进行试验。

### 2.3 试验成果整理与分析

试验成果见图2—图5。

图2—图3表示抗拔力 $T$ 与土工织物拉应变 $\varepsilon$ ( $\varepsilon=u/L$ ,  $u$ 为拉力作用点位移,  $L=15\text{cm}$ 为土工织物长度)的关系曲线。可以看出这些曲线均可大致分为三段:①初始段。该段内抗拔力 $T$ 随应变 $\varepsilon$ 增加的幅度较小,②上升段一般发生在应变为2—10%范围内,在这一阶段 $T$ 随 $\varepsilon$ 增长的梯度较大,也较有统一的规律性,曲线可用幂函数 $T=k(\varepsilon-\varepsilon_0)^a+b$ 来近似地拟合;③破坏阶段。此时抗拔力已达到极大值。当法向应力 $\sigma_n$ 较小时抗拔力达到一稳定值。土工织物与土体间相对滑动即认为土—土工织物复合体发生破坏,当 $\sigma_n$ 较大时,因土工织物强度不足而被拉断,此时土工织物的强度决定其抗拔力的大小。

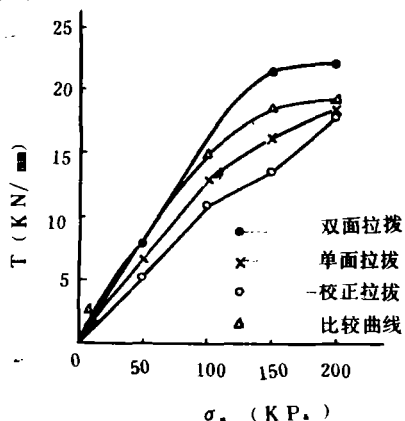


图4 砂土  $T-\sigma_n$  关系曲线

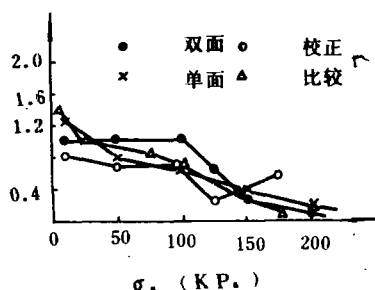


图5 砂土  $f^*-\sigma_n$  关系曲线

土工织物两侧均为有机玻璃板时抗拔力峰值较小。说明土工织物抗拔性能与其接触材料性能有关。

图4表示土工织物抗拔力 $T$ 大小与法向应力 $\sigma_n$ 关系曲线,可以看出抗拔力 $T$ 随 $\sigma_n$ 增加而增加。

图5表示拟摩擦系数 $f^*$ 随 $\sigma_n$ 变化的规律, $f^*$ 随 $\sigma_n$ 增加而减小。导致这种现象的原因与土的膨胀效应有关,因为土的膨胀性随平均应力的增加而减小。

粘性土同样具有上述性质,但含水量不同,测得的抗拔力是有显著差异的。当正应力为50、100、150、200kPa时,测得含水量为22%(22%接近填土的最优含水量)时的抗拔力分别为8.7、14.7、17.1、18.3kN/m,而含水量为7.5%时对应的抗拔力分别为8.0、12.5、16.2、17.4kN/m。说明填土的含水量对土工织物抗拔力也是有影响的。接近最优含水量时,填土易于压实,从而能够更好地与土工织物咬合,提高土工织物的抗拔力。这与澳大利亚学者A.B.Tourle等人<sup>[4]</sup>的结论一致,填土含水量为最优含水量时,土工织物的抗拔力最大。

为了进行比较,在图4中将曲线2的纵坐标减去曲线3上相应纵坐标的1/2,然后

再乘以 2, 得到曲线 4 (横坐标不变)。与曲线 1 作比较可以看出: 曲线 4 上的纵坐标值小于曲线 1 上相应的值。造成这一现象的原因是: 垫有有机玻璃板时, 限制了土工织物竖直方向的变形; 无有机玻璃板时, 填土受垂直应力作用, 会发生不均匀的压缩变形。土工织物就会产生弯曲变形, 在其表面上会有附加正应力产生, 因此其抗拔力就会增加。

### 3 结 论

3.1 拟摩擦系数  $f^*$  的影响因素较多, 它与土的类型、土工织物类型、法向应力、土工织物层距等诸多因素有关, 且关系较为复杂。

3.2 土工织物极限抗拔力, 应是土体最大抗剪强度, 土—土工织物界面最大摩擦力和土工织物抗拉强度三者中的最小者。

3.3 极限抗拔力  $T$  随作用在土工界面上的正应力  $\sigma_n$  增加而增加, 但  $f^*$  随  $\sigma_n$  的增大而减小。

3.4 抗拔力  $T$  与土工织物应变  $\varepsilon$  关系曲线可分为初始段、上升段和破坏阶段三部分, 其中前两段可用幂函数  $T = k(\varepsilon - \varepsilon_0)^a + b$  来近似拟合。

3.5 土工织物抗拔力大小受填土含水量影响, 最优含水量可达最大。

### 参 考 文 献

- [1] "The history of reinforcing earth", Giroud, J.P. Tst. Int. Cont. On Geotextiles 1977.
- [2] 史如平、韩选江《土力学与地基工程》, 上海交通大学出版社 1990 年。
- [3] 《岩土工程师》, 1990 年第三期
- [4] A.B.Fourle and K.J.Fablan "粘土—土工织物相互作用室内测定" 长江科学院资料, 周正明、马梅英译校, 1989 年。

### Studies For Pull-out Test of Geotextile

Wang Junlin Zhen Peicheng Sheng Chongwen

(Nanjing Hydraulic Research Institute)

**Abstract:** In this paper, the microstructure of soil grain was considered at first. The forming mechanism of pullout resistance of geotextile was analysed after geotextile was buried in earth-fill. In order to determine the coefficient of quasi-friction  $f^*$  of pullout resistance, the main affecting factors were analysed, depending on the pull-out test of geotextile. And some conclusions were obtained: the  $f^*$  decreased with normal stress increasing, the relationship between pullout resistance  $T$  and tensile strain  $\varepsilon$  of geotextile can be described by the following equation:  $T = k(\varepsilon - \varepsilon_0)^a + b$ . etc.

**Keywords:** Geotextile, Pullout resistance, Pull-out test. Reinforcement soil Coefficient.