

感器, K-ATOMICS 系统可对油压、机械及电子故障进行自动诊断。

(2) 可以详尽地显示 63 种故障。

(3) 除了“误差”用 E 和“低温”用 C 显示外, 被查出的其它故障用两位数显示。

(4) 查出故障时, 报警灯便开始闪烁, 显示器显示出故障, 蜂鸣器开始报警。

(5) 在采取措施前, 若故障自动消除, 则报警灯和蜂鸣器关闭, 而控制器中的自动诊断

显示器将显示保留 5min, 以便司机有充裕的时间了解故障的性质。

(6) 所有诊断出的故障均被贮存在控制器中的永久式随机存取存储器内, 即使控制器没有电源时, 被贮存的诊断数据也能保存下来。当接通启动器时, 贮存的诊断结果可按故障发生顺序一一显示。

李建启 供稿

⑫  
25-28

## 关于液压挖掘机挖掘阻力的研究

郑秋霖

FD621

摘要 就挖掘机铲斗在挖掘作业中所承受的挖掘阻力的切线阻力与挖掘深度的关系, 切线阻力与法线阻力的关系, 挖掘阻力的方向, 着力点的位置以及摩擦阻力等加以论述。

叙词: 液压挖掘机 铲斗 挖掘力

### 1 铲斗承受的阻力

液压挖掘机在挖土作业时, 斗齿与土壤互相接触, 所接触之处产生了大小相等, 方向相反的力, 即: 一个是与土壤相对的挖掘力, 另一个是该力的反作用力—挖掘阻力。当铲斗挖掘土壤时, 将产生以下外力 (如图 1 所示):

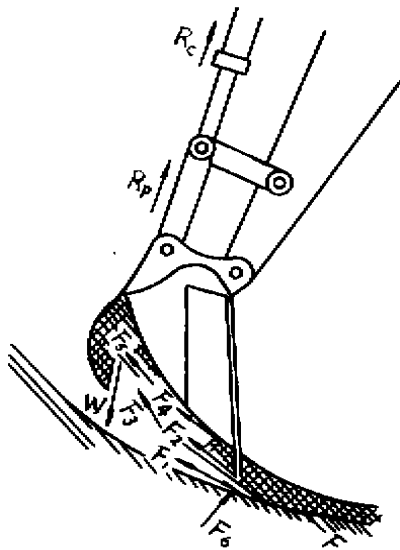


图 1 挖掘时铲斗承受的阻力

① 液压缸的内部阻力 ( $R_c$ )

② 各机构的内部阻力 ( $R_p$ )

③ 铲斗的外底面与地面之间的摩擦阻力 ( $F_1$ )

④ 铲斗的外侧面与地面之间的摩擦阻力 ( $F_2$ )

⑤ 铲斗内土壤与铲斗内底面之间的摩擦阻力 ( $F_3$ )

⑥ 铲斗内土壤与铲斗内侧面之间的摩擦阻力 ( $F_4$ )

⑦ 土壤的内部摩擦力 ( $F_5$ )

⑧ 土壤的压入阻力 ( $F_6$ )

⑨ 土壤的挖掘阻力 ( $F_R$ )

除了机械本身的问题外, 作为实际问题的是 (3) ~ (7) 的阻力测定非常困难, 为此, 实验中进行以下假定: 用阻力之和表示 (3) ~ (7)、(9) 的阻力, 作为切线阻力 ( $F_t$ ); 把  $F_6$  的阻力作为法线阻力 ( $F_n$ )。

### 2 挖掘阻力与挖掘深度的关系

图 2、图 3 表示针对砂质土、粘性土的切线阻力  $F_t$  与挖掘深度  $t$  之间的关系实测结果。

由图可知, 若挖掘深度  $t$  增加, 挖掘阻力

的切线分力  $F_t$  也会增加。其增加趋向在砂质土壤中是抛物线，而铲斗回转角  $90^\circ$ （最大挖掘深度）之前的抛物线是很弯曲的，铲斗回转角  $90^\circ$ （最大挖掘深度）后的抛物线则弯曲较为平缓。这是因为砂土质情况下没有粘着力，在挖掘中成为摩擦阻力，因而形成抛物线；其次是铲斗回转角  $90^\circ$  前，铲斗边回转边继续挖掘，砂质土的滑动也在持续，这种滑动破坏区域变大则会影响未挖掘的土壤。因此，铲斗回转角  $90^\circ$  后，不大会造成土壤的滑动，仅受装入土的重量的影响。所以在砂质土的情况下，挖掘阻力与挖掘深度  $t$  的平方成比例。在

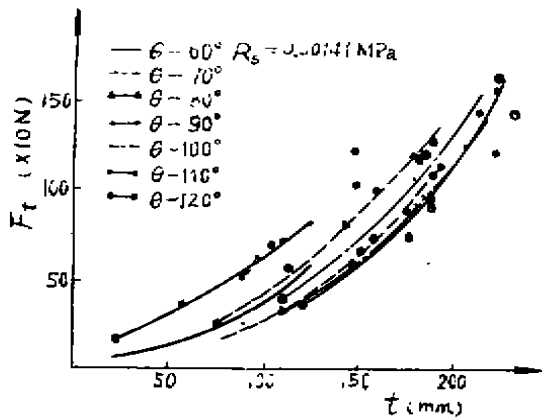


图2 砂质土的切线阻力  $F_t$  与挖掘深度  $t$  的关系

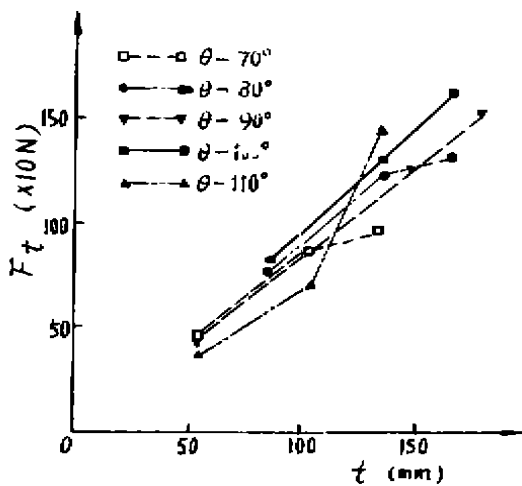


图3 粘性土的切线阻力  $F_t$  与挖掘深度  $t$  的关系

### 3 切线阻力 $F_t$ 与法线阻力 $F_n$ 的关系

粘性土情况下，其增加趋向基本上是直线的，尤其在最大挖掘深度前后。

关于切线阻力  $F_t$  与法线阻力  $F_n$  之间的关系在砂质土的控制试验结果中，有3例在图4上得以表示。由这些结果可知，这两个阻力

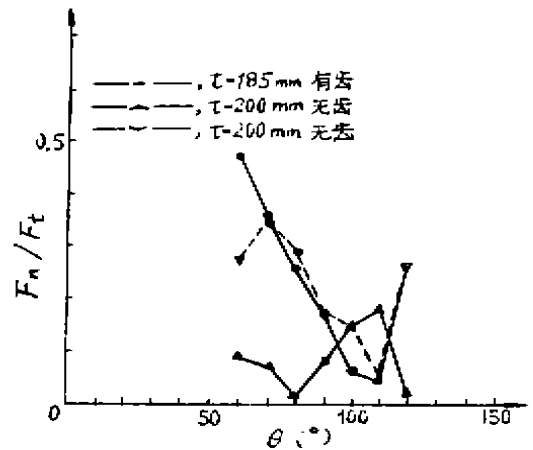


图4 砂质土的切线阻力  $F_t$  与法线阻力  $F_n$  的关系

之间无明显的关系，但可了解如下情况，即：在挖掘开始阶段，这两个阻力之比值 ( $F_n/F_t$ ) 大，随着挖掘深度  $t$ （即铲斗回转角）的增加，该比值则变小。达到最大挖掘深度  $t$  的前后，这两个阻力之比值为最小。若继续挖掘，则超过最大挖掘深度  $t$ ，随着挖掘深度  $t$  的减小，该比值则又有变大的趋向。在粘性土情况下，挖掘实测结果中，有4例在图5上得以表示。

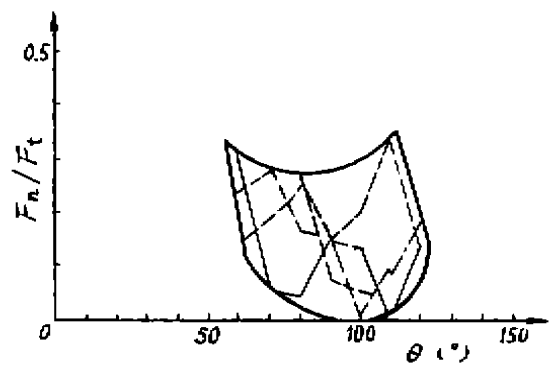


图5 粘性土的切线阻力  $F_t$  与法线阻力  $F_n$  的关系

由这些结果可知，在粘性土情况下，这两

个阻力之间有某种程度上的关系。这两个阻力之比值根据铲斗回转角而有所不同，但从整体来看，变化范围在0~0.35。

#### 4 挖掘阻力的方向与着力点的位置

液压挖掘机中，挖掘阻力的切线分力  $F_t$  决定了其机械性能。而法线分力  $F_n$  的大小在砂质土情况下，其方向基本指向土壤。但是当铲斗回转角在  $95^\circ \sim 115^\circ$  之间时，其阻力的大小出现减少的趋向，对粘性土情况下， $F_n$  的方向因铲斗的回转角而有所不同。在开始阶段， $F_n$  的方向指向土壤，当铲斗回转角在  $95^\circ \sim 115^\circ$  之间时， $F_n$  的方向指向铲斗回转中心。主要原因有：一个是齿形的原因。由于铲斗上斗齿安装处的厚度厚（铲斗钢板的厚度+斗齿厚度），所以  $F_n$  的方向会改变；另一个是摩擦阻力的原因。在挖掘中，当铲斗回转角在  $95^\circ \sim 115^\circ$  之间时，铲斗装满土，铲斗前隆起的土量也很多，这时铲斗外的土与土之间的内部摩擦阻力、铲斗内土与土之间的内部摩擦阻力以及土与铲斗之间的摩擦阻力也就大。因此挖掘阻力的合力方向就改变，有时趋向铲斗回转中心，有时趋向外部。另一方面，挖掘时集中力会作用于斗齿尖，即如何正确地掌握挖掘阻力合力的着力点的位置是重要的。图6表示了其范例。

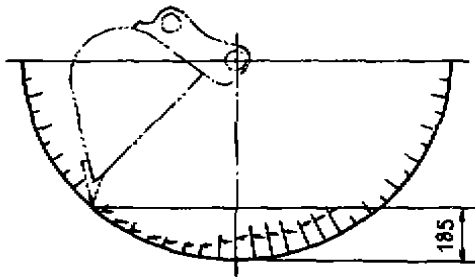


图6 铲斗的每个姿势中，挖掘阻力的合力的方向与着力点的位置

对铲斗的切线阻力  $F_t$ 、法线阻力  $F_n$  及力矩进行测量，从测量结果计算并绘出了挖掘阻力的合力与其着力点。图6所示为按正常挖掘条件实例整理的结果（所谓正常的挖掘条件，

即①铲斗上装有五根斗齿；②齿形如前文图10(a)所示[见本刊91年第五期]。图6表明挖掘阻力的合力方向随铲斗回转角而变化：回转角  $90^\circ$  前其方向总是朝下；回转角  $90^\circ$  后，有时朝上，有时朝下。对挖掘阻力的合力的着力点位置：在砂质土、粘性土情况下，着力点随回转角移动，在大约全部高度（挖掘深度+隆起土高度）的  $1/3 \sim 1/4$  之间变化。

#### 5 土与钢板的摩擦试验

##### 5.1 试验的目的

通过试验，并弄清砂质土、粘性土与各种钢板表面粗糙度的摩擦关系等。

##### 5.2 试验方法

用于试验的试料在标准砂的情况下，其含水比有三种：2.50%、6.06%、7.41%；在粘性土情况下，其含水比有两种：22.21%、32.93%。钢板试料采用结构钢材SS41，表面粗糙度有三种： $4\mu$ 、 $10\mu$ 、 $16\mu$ 。实验方法如图7所示，试验装置采用单面剪切机。在不饱和状态下，按非压紧非排水条件进行等体积试验。上载压有四个阶段(0.04、0.12、0.2、0.32MPa)。

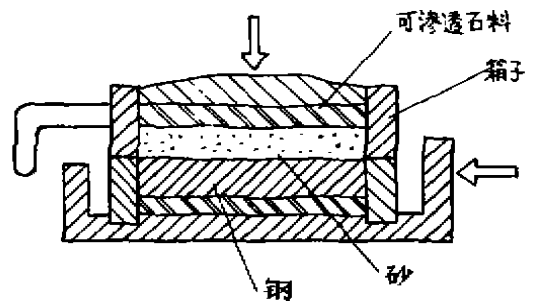


图7 土与钢板的摩擦实验装置

剪切速度在砂质土情况下是一定的，但是粘质土的剪切速度分缓速试验(0.25mm/min)和急速试验(2.73mm/min)，粘性土与钢板之间的剪切速度为缓速试验(0.25mm/min)。根据以上条件，进行土与土、土与钢板的摩擦试验。

##### 5.3 试验结果及探讨

由单面剪切试验结果制出的直压力  $P$  与

摩擦应力  $f$  之间的关系如图 8 所示。

(a) 关于砂与钢板的摩擦

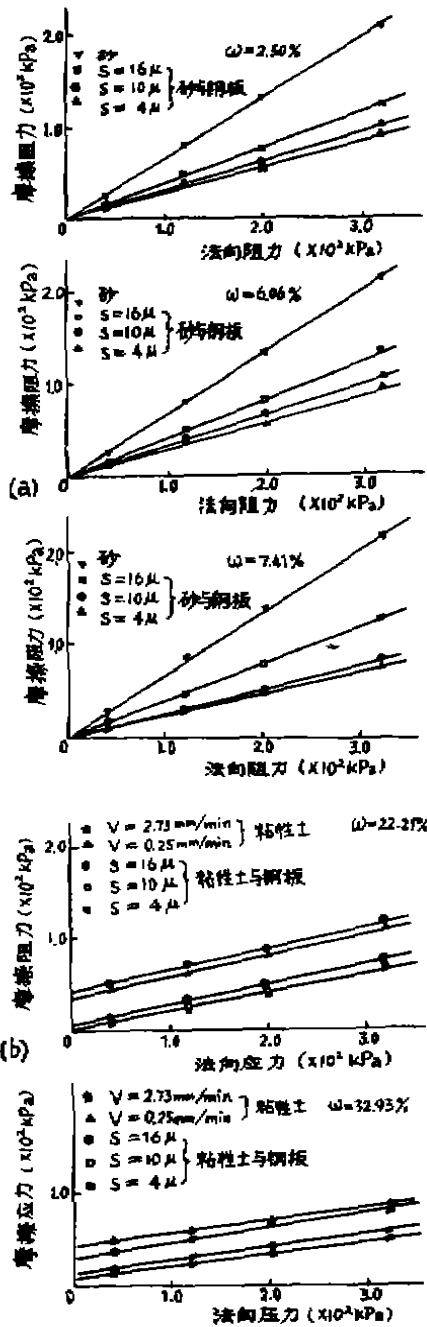


图 8

(a) 砂质土与钢板的摩擦试验结果

(b) 粘性土与钢板的摩擦试验结果

当砂与钢板之间发生摩擦时，直压力  $P$

与摩擦应力  $f$  之间是  $f = Ptg\delta$  ( $tg\delta$  是由砂质土的种类、含水比以及钢板的种类、粗糙度、硬度等决定的常数) 的关系。因此形成如表 1 所示的那种方式。另一方面，在试验中，对于砂的含水比状态和钢板的粗糙度状态， $f = Ptg\delta$  函数值如表 2 所示。

表 1

土的种类	土与钢板的摩擦条件	剪切破坏条件
砂	$f = Ptg\delta$	$\tau = \sigma tg\phi$

表 2

含水比%	2.50			6.06			7.41		
钢板粗糙度( $\mu$ )	16	10	4	16	10	4	16	10	4
$tg\delta$	0.38	0.32	0.28	0.41	0.33	0.28	0.41	0.26	0.24
$tg\phi$	0.65			0.66			0.69		
$\frac{tg\delta}{tg\phi}$	0.59	0.49	0.43	0.62	0.50	0.42	0.59	0.38	0.35

由试验结果可知，在砂质土的情况下， $tg\delta$  与  $tg\phi$  的大小不同是由于砂的内部滑动时和与钢板之间的滑动时的摩擦机构之差所致。

(b) 关于粘性土与钢板的摩擦

当粘性土与钢板之间发生摩擦时，直压力  $P$  与摩擦力  $f$  之间的关系是  $f = K + Ptg\delta$  ( $K$  是由粘性土的种类、含水比及钢板的种类、粗糙度等决定的常数； $tg\delta$  基本上是由粘性土的种类、含水比决定的。根据土的种类、铲斗的材质以及挖掘中的土量的变化，能计算出土与铲斗内底面的摩擦阻力；根据挖掘中铲斗的位置、液压挖掘机的平衡限制或动臂缸的限制、铲斗重量+挖掘中的土量，能计算出铲斗外底面与土的最大摩擦阻力。还可以根据挖掘中铲斗的位置、回转马达的制动性能，计算出铲斗外侧面与土的最大摩擦阻力。根据以上计算结果，就会了解减少摩擦阻力的方法。

郑秋霖 供稿