

耕作播种与 植物保护机械

H. 伯纳斯基

[波] J. 哈曼 著

Cz 卡那夫斯基



机械工业出版社

ND16/05
耕作播种与植物保护机械

H. 伯纳斯基

〔波〕 J. 哈曼 著

Cz. 卡那夫斯基

凤元洪 唐才林 胡榕 唐修杰 译



机械工业出版社

本书是波兰学者应美国农业部和国家科学基金会约请而撰写的。它比较客观地分析了东方和西方的农业机械科学技术成就，详细阐述了铧式犁和圆盘犁等耕地机具、各种肥料施布机具、播种和栽植机具等的设计方法，以及喷雾和烟雾的雾化原理、计算要素和喷粉机的设计方法等。还详细介绍了土壤力学原理，农业机械轮子或履带的牵引特性，主动和被动形态的驱动机械以及振动机械的基础理论和设计方法。

本书可供从事农业机械研究、设计和使用的工程技术人员以及高等和中等院校的有关师生使用。

Agricultural Machines, Theory and Construction Vol 1

H. Bernacki, J. Haman, Cz. Kanafojski

Scientific Publications Foreign Cooperation

Center of the Central Institute for

Scientific, Technical and Economic Information

• • •

耕作播种与植物保护机械

波兰科学技术与经济情报中央研究所

〔波〕H.伯纳斯基, J.哈曼, Cz.卡那夫斯基 著

凤元洪 唐才林 胡瑛 唐修杰 译

高良润 胡中 校

•

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第117号)

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

•

开本850×1168 1/32·印张 155/8·字数412千字

1985年12月北京第一版·1985年12月北京第一次印刷

印数0.001—1.130·定价4.50元

15033·6143

前 言

本书是根据应美国农业部和国家科学基金会的约请，由波兰科学技术与经济情报中央研究所于1972年出版的《Agricultural Machines, Theory and Construction, vol.》一书编译的。该书是由波兰教授、博士H·Bernacki, J·Haman和Cz. Kanafojski撰写，同年用英文出版介绍给美国读者。其特点是在取材方面经过认真选择，基本上能够不存偏见地分析东方和西方的农业机械科学技术成就，把近代耕作、播种、施肥、栽植和植物保护等机械经过实践考验，证明有效的理论、结构和设计方法加以阐述，较好地反映了这些方面的成就。

鉴于原书英文版篇幅较大，并且兼有教科书和手册的性质；故采取编译方式，就原书内容作了进一步精选和汇编。保留了我国农业机械学教材和设计手册中缺少的或特别值得开拓的内容，构成本书共10章。它从专题的角度出发，既有按机具作业特点所划分的章节，详细阐述了铧式犁和圆盘犁耕地机具多种设计方法，化肥、厩肥、液肥和粪便肥料的施布机械，谷物条播、精量播种、薯块种植、秧苗移栽等播种和栽植机械，以及喷雾与烟雾的雾化原理计算要素和喷粉机的设计方法等；同时，还用专门章节详细介绍了土壤力学原理，农业机器轮子或履带的牵引特性，主动形态和被动形态的驱动机械，不同频率和振幅的振动机械等方面的基础理论和综合设计方法。并且在每个专题之后附有较详细的参考文献目录。

本书在编译过程中，得到了从事农业机械教学、科研和生产方面有关单位的关心和支持。除署名的译校人员外，还有赵国文，陈光汉，彭金敖，苏福功等同志参加了部分翻译和审校工作，在此表示衷心的感谢。

■

由于我们业务水平和工作经验不够，错误和不妥之处在所难免，欢迎读者批评指正。

编译者

1984年2月

目 录

前言

第一章 土壤力学的一般原理与土壤的受力分布.....	1
1-1 引言.....	1
1-2 土壤的力学性质.....	2
1-3 土壤的剪切.....	6
1-4 土壤的受力分布.....	11
1-5 作用于土壤深层的力的状况.....	11
1-6 作用于土壤表层的力的状况.....	15
1-7 振动对土壤物理性能的影响.....	22
第二章 农业机械的牵引要素.....	30
2-1 拖拉机和农业机械的轮子或履带.....	30
2-2 行走元件的动力学.....	34
2-3 切向牵引力.....	40
2-4 挂钩牵引力.....	41
2-5 行走元件的选择.....	43
参考文献	44
第三章 耕地机械.....	45
3-1 犁的系统.....	45
3-2 犁体.....	64
3-3 犁体曲面的设计.....	105
3-4 犁的稳定性.....	132
参考文献	159
第四章 驱动旋转耕作机械	160
4-1 驱动机具的发展史.....	160
4-2 机具分类.....	164
4-3 工作元件的运动学.....	171
4-4 切割土垡的力.....	179
4-5 旋转机具的计算.....	195
4-6 联合作业机.....	205

4-7 旋转与联合作业机具的稳定性	215
参考文献	221
第五章 摆动与振动机械	223
5-1 摆动机械	224
5-2 振动机械	233
参考文献	250
第六章 肥料施布机械	252
6-1 厩肥和混合肥料撒布机	252
6-2 合理施用液体粪肥和粪便的装置	282
参考文献	298
第七章 化肥撒布机械	299
7-1 离心式撒肥机	302
7-2 撒肥机	314
7-3 盘式撒肥机	318
7-4 蜗轮式撒肥机	325
7-5 轴辊式撒肥机	330
7-6 液氨喷洒机和侧向撒肥机	331
参考文献	338
第八章 播种机械	339
8-1 谷物条播机	339
8-2 排种装置	345
8-3 特种播种机	367
8-4 糖用甜菜间苗机	388
参考文献	399
第九章 种植机械	402
9-1 半自动种植机	402
9-2 栽植机	421
9-3 抓斗	423
9-4 圆盘式栽植机	428
参考文献	431
第十章 植物保护机械	432
10-1 引言	432

10-2	雾滴尺寸及其选择	432
10-3	喷雾方法的分类	439
10-4	压力喷雾机具及液体的破碎过程	440
10-5	雾滴和气流的穿透	459
10-6	雾滴的破碎	467
10-7	烟雾发生器	471
10-8	喷雾器泵	472
10-9	喷粉机具及其设计	479
	参考文献	491

第一章 土壤力学的一般原理 与土壤的受力分布

1-1 引 言

土壤并非均是均质和各向同性的物质。因此,对于自然状态下的土壤,试图精确地决定它的应力和应变的分布是没有意义的。不过,在大多数实际情况下,在关系到一般力学规律应用的宏观条件时,土壤也可以被看作为均质且各向同性的物质。

土壤的变形具有同金属或其他弹性材料变形不同的特性,这是由于土壤的多孔结构所造成的。应力使得土壤的固体颗粒形成弹性和塑性变形,并且使其原始结构遭到破坏,它引起土壤孔隙度的减小和渗透于其中的气体和水分的部分丧失。压力去掉以后,其弹性变形随即消失,而塑性变形和孔隙度的变异却依然保留。这种变形过程,只有极少数情况,例如在应力状态很小或刚性很大的土壤中,才可以按照虎克定律应用物体的流变模型。对于整个土体来说,应当看作为一种具有粘结性的弹塑性体。Kisiel 介绍了Maxwell-Saint Venant 模型(图1-1)。图中并联设置了两种元件,一种是表示弹性 G_1 和粘性 η 特征的麦克斯韦液力元件,另一种是表示弹性 G_2 和塑变屈服点的Saint Venant元件。在多数情况下,应用简化的模型可能更为有利,例如应用适合于缓慢弹性变形过程的Kelvin模型,或者在某些情况下应用不包括Saint Venant元件的麦克斯韦模型。

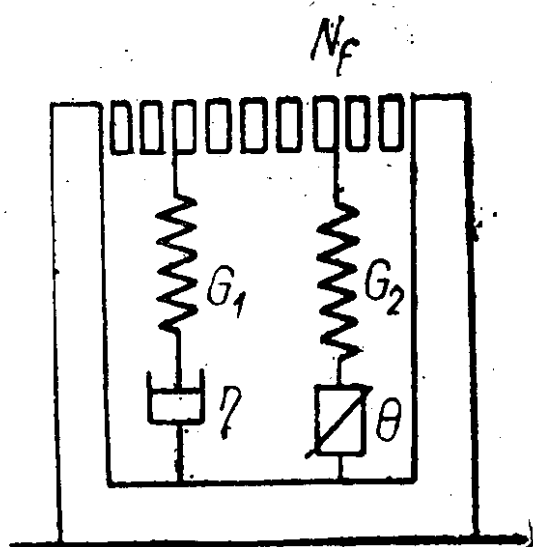


图1-1 土壤的流变模型

这里对流变条件的详细情况无需细述,在此需要强调下列事

实：在农具作业导致土壤快速变形的情况下，变形速度对于土壤强度的影响不能象土建工程中应用传统土力学那样被忽视。这是由于前面已谈到的土壤中的液体和气体以有限的速度转移所引起的。有关这方面内容将在土壤的力学性质中进一步阐述。

1-2 土壤的力学性质

构成一自由微粒体系的松散土壤，只有靠其内摩擦力去抵抗外力。内摩擦力 T 取决于接触表面的类型和作用于接触处的法向力（见图1-2）。

$$T = \mu P \quad (1-1)$$

式中 T ——内摩擦力；

μ ——内摩擦系数；

P ——垂直于摩擦面上的力。

通常以 $\mu = \operatorname{tg} \rho$ 表示内摩擦系数，式中 ρ 为内摩擦角。将(1-1)式应用于单位面积上，则得

$$t = \mu \sigma_n$$

式中 t ——内摩擦应力；

σ_n ——压缩应力。

为了不致于破坏土壤内部平衡，则应符合下列条件

$$t \geq \tau$$

式中 τ ——土壤的剪切应力。

对于无粘结性的松散土壤，其内摩擦角等于自然坡度角。但是，实际上纯粹的松散土壤是极少的。一般情况下，土壤表现为一定的不以其内在应力为转移的粘结性。

粘结力是由两个因素产生的。其一为粘结，即具有相同质地的微粒之间的相互吸引力，例如包围着土粒的吸湿水或晶格之间的吸引力；其二为附着力，即出现在相邻的不同质地微粒之间的附着力，例如矿物质和水的微粒之间的附着。

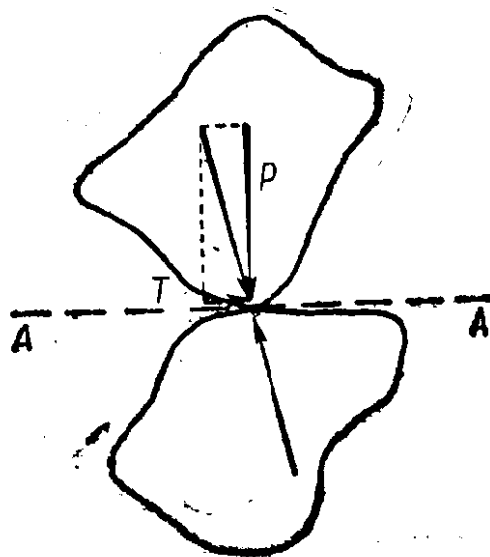


图1-2 作用于土粒接触面上的力

不难理解，当土壤微粒之间产生一定量的附加力时，则其粘结性会增大。

松散土壤的一个特点是当它的横向变形受约束时，实质上其压缩强度是有限定的；此外，它还没有抗拉强度。粘性土壤则具有一定限度的抗拉能力。

在土壤中具有毛细管水的情况下，其弯液面的压力可以产生附加的压缩力，从而增大了内摩擦力，这种现象称为表观粘结性。

就我们所关心的土壤变形和应力状态而言，土壤的抗拉应力是可以忽略的，甚至在粘结土壤中它的抗拉强度也是很小的。

现在我们观察一下土壤应力的一种特殊状态，即土壤在容器中不能横向运动时的压缩实例。这种情况与一定的机械作业时土壤产生变形的状态在某种程度上是一致的，这里土壤的横向位移受到包围它的土体的约束。

由于土粒和薄膜水以及密封在孔隙内的空气受压情况都是弹性变形，则土壤也属于弹性变形。总的说来，这些变形是不大的。当土壤受到很大的应力使土粒产生位移，则导致土壤发生塑性变形。这是由于土壤受到挤压并且排出土壤中的水分和气体而产生的。因此，假若水分不能逸出，则土壤将承受一部分压力。由于自然传递的作用，这些力将逐渐被土壤的固体物质所承受，并且最终导致整个外部应力被土壤所承受。

土壤在沉降过程中孔隙减少，而孔隙中气体对于液体的容积比并不因土壤水分的增加而发生任何变化。

施加在土壤表面的压缩应力与土样高度或孔隙度的关系曲线如图1-3所示，图中 ε 为孔隙度， σ 为压缩应力。若设

S ——在载荷作用下土样高度的减少量；

h_0 ——土样的初始高度；

σ_0 ——初始或预加压缩应力；

σ_1 ——压缩应力的增值；

则应力与土样高度的关系可用下式表示为

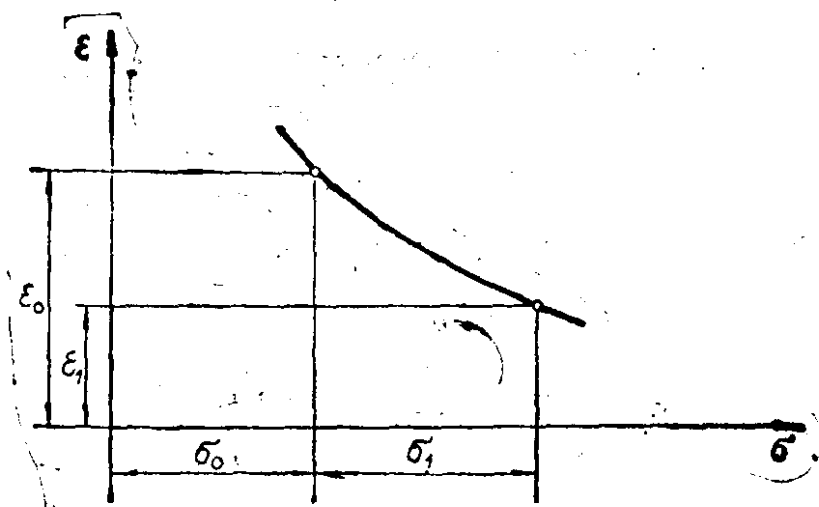


图1-3 孔隙度 ε 与压应力 σ 的关系曲线

$$\frac{d\sigma}{\sigma_0 + \sigma_1} = \frac{dS}{h_0} C \quad (1-2)$$

式中 C ——常数。

假设土样的横断面 S 发生变化，并且将孔隙度代入式中则得

$$S = h_0 \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0}$$

式中 e_0 ——当 σ 等于 σ_0 时的孔隙度；

e_1 ——当 σ 等于 $\sigma_1 + \sigma_0$ 时的孔隙度。

将 S 代入式(1-2)并加以积分，得到在任何 σ 值时的关系式为：

$$\ln \frac{\sigma}{\sigma_0} = \frac{C}{1 + e_0} (e_0 - e)$$

这种 ε 与 σ 的关系曲线类似于图1-4所示，通常称之为土壤的压实曲线。

经过一段时间，当载荷从土样上移去，则孔隙度回升到比初始状态较小的数值，这是因为土粒的回弹和孔隙中空气膨胀变形较小的缘故。当然，由于弹性变形的原因，膨胀曲线不能够与压实曲线重叠。图1-4表示了在压力陆续增大的条件下，土壤承受重复载荷时的情况。图1-5表示在压力不变的条件下，土壤承受重复载荷时的情形，从图中可以看到在每次载荷之后土壤压实情况的变化。作为一个实际的例证，如机器的轮子沿着同一轮迹反

复行走，每通过一次其轮辙变得更深一些。轮辙内土壤的结实程度取决于土壤的类型，一般在轮子辗压50次以后就不易再压实

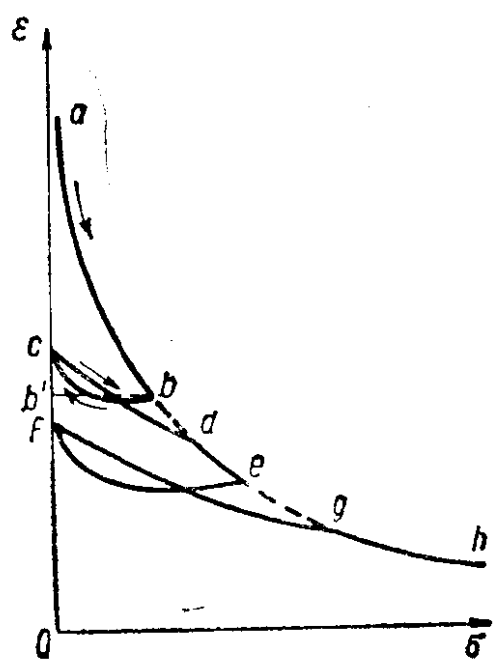


图1-4 在压力陆续增大情况下土壤承受重复载荷时的e与σ关系曲线了。在应力差别不大时，其线性关系通常被认为

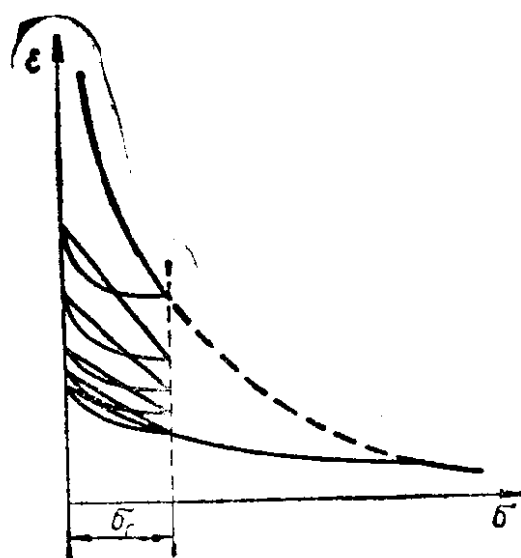


图1-5 在压力不变条件下，土壤承受重复载荷时的e与σ关系曲线

$$\frac{d\sigma}{de} = a \text{ (公斤/厘米}^2\text{)}$$

式中 a ——土壤压缩系数 (图1-6)。

有时，土壤的压缩率是由容积减小的系数来确定的，该系数

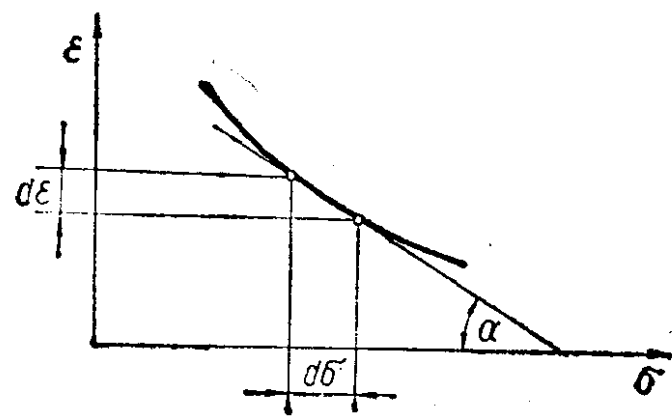


图1-6 孔隙度e与压缩应力的简图

表示应力 σ 的增大与相对变形之间的比率。

$$M_s = -\frac{\Delta\sigma}{\delta} = -\frac{1}{a}(1 + \varepsilon_0)$$

M_s 的近似值见表1-1。

表1-1 M_s 的近似值(按Rosinski资料)

土 壤 类 型	σ (公斤/厘米 ²)			
	0~1	1~2	2~4	4~6
粗砂土	80	140	260	480
中等砂土	65	125	240	380
细砂土	50	110	220	300
塑性壤土	18	45	90	140
塑性粘土	10	25	45	90

1-3 土壤的剪切

土壤由于其抗压强度很大,故大多数土壤在农业机器作业时产生永久变形,是由造成土壤剪坏的剪切应力所引起的。

剪切阻力(不考虑土壤应力增长速度的影响)可以由库仑公式来表达,藉以确定土壤压缩应力与剪切应力的平衡关系。因此,粘性土壤的剪切应力可用下式表示

$$t = C + \sigma\mu$$

式中 C ——土壤的粘结力。

当由于毛细管压力产生表面粘结时

$$t = C + (\sigma_n + \sigma_s)\mu$$

或

$$t = C + (\sigma_n + \sigma_s)\operatorname{tg}\rho \quad (1-3)$$

式中 σ_s ——由于毛细管作用而产生的力。

在适耕土壤中, σ_s 是相当低的。考虑到我们所注意的主要边界条件,即应力增大到使土壤结构破坏,则我们可以把(1-3)式改写为如下形式

$$\tau = C + (\sigma_n + \sigma_s)\operatorname{tg}\rho$$

式中 σ_1 ——极限剪切应力，其相关曲线见图1-7。

由于土体的匀称性，土壤剪切作用形成一个空间的应力状态；但是就其主要情况而言，可以简化为平面状态，如图1-8所示。图中 σ_1 与 σ_2 为主压缩应力， τ 为极限剪切应力。

对于倾斜 α 角的任意断面，其压缩应力为

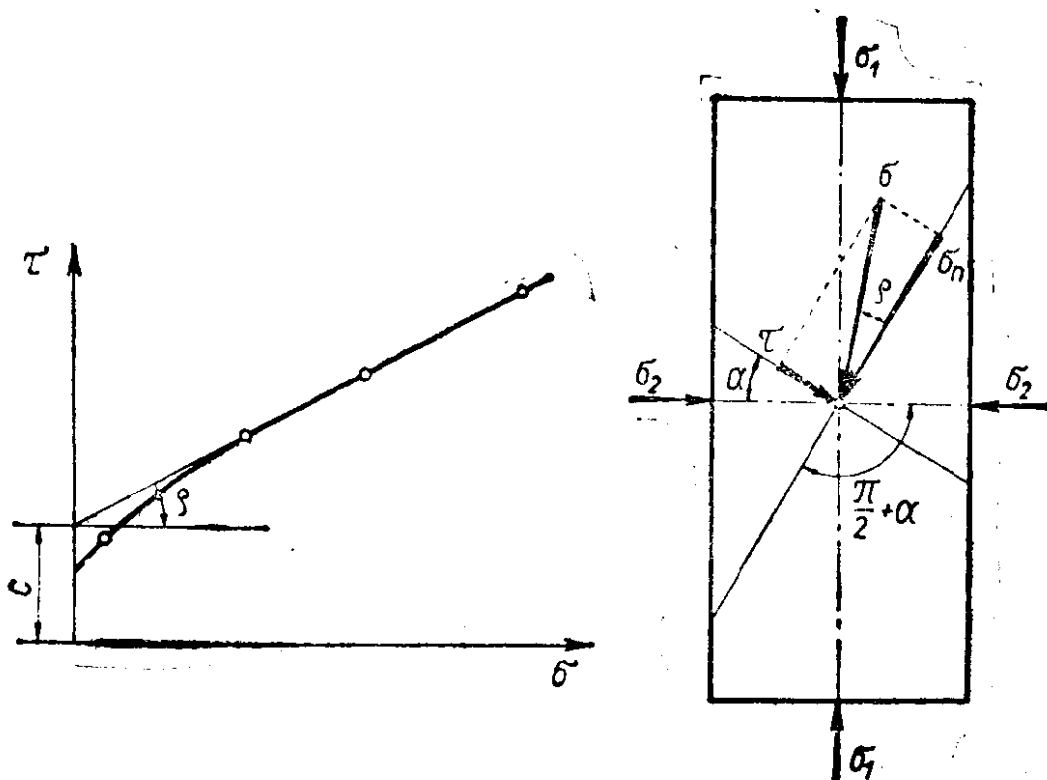


图1-7 剪切应力和压缩应力的边界关系 图1-8 平面应力状态

$$\sigma_n = \frac{1}{2} (\sigma_1 + \sigma_2) + \frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_2) \cos 2\alpha$$

且其剪切应力为

$$\tau = \frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_2) \sin 2\alpha$$

在极限平衡状态下，此断面的剪切应力必先大于内摩擦力和粘结力。不难证明，对于每一定值的 C 与 $\tan \rho$ 的土壤，其剪切断面所处位置的倾斜角度可借助于摩尔圆的方法加以确定。如图1-9，在垂直轴上给出剪切应力 τ ，在水平轴上给出压缩应力 σ_n ，通过应力 σ_1 与 σ_2 延线的零点($\tau = \sigma_n = 0$)绘出摩尔圆的切线，在切点处即可确定极限剪切应力 τ 值和产生剪切作用的倾斜角 α ；此处，比

值 $\frac{\tau}{\sigma_n}$ 将达到最大值。土壤的抗拉强度可用 P_t 值表示。

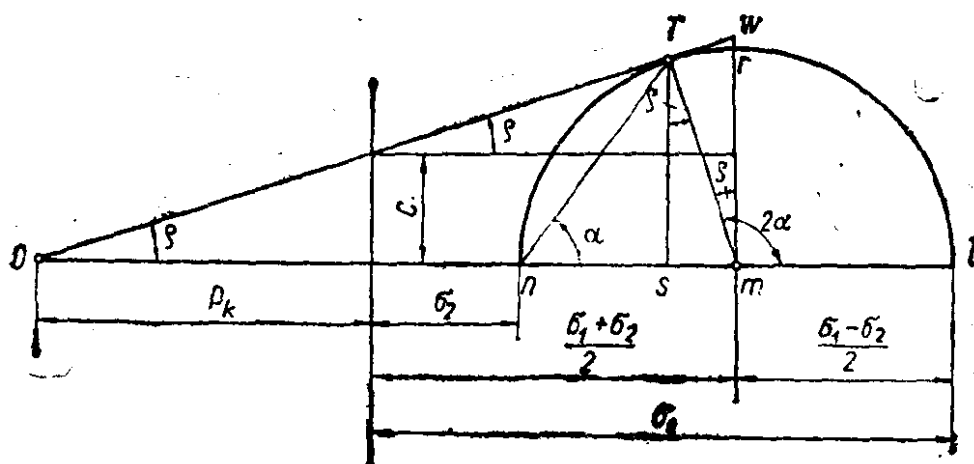


图1-9 用摩尔圆确定剪切平面倾角的方法

内摩擦角的明显变化可以在被测试的土壤处于水分饱和状态时遇到。在这种情况下，几乎全部的压力都传递到水分子上，因而其内摩擦力减小到接近于零。然而这种情况在农业生产实践中是不大见到的，不值得过分注意。

大多数适耕土壤的特点是它们具有很小的粘结性。在这些情况下，因为 $C=0$ ，且摩尔圆的切线通过坐标系的起点，故用图解方法是简单的。这种情况对于用实验方法确定土壤力学性质十分重要。

表1-2给出了土壤内摩擦系数和粘结力的数值。

当农机具在土壤中作业时，土壤沿着农具工作面滑过，产生摩擦力（与内摩擦性质相反），称作土壤-物体（外）摩擦力。在低速运动条件下，其关系为

$$T_r = \mu_r N$$

式中 T_r ——摩擦力；

μ_r ——摩擦系数；

N ——作用于摩擦面上的法向力。

μ_r 的数值随着土壤的结构、水分和接触表面情况的不同而在很大范围内变动。很多学者所提供的近似的资料见表1-3。

随着水分的不同，土壤内摩擦系数的变化如图1-10。在不同

表 1-2

土 壤 类 型	状 态	ρ (度)	C (公斤/厘米 ²)
中等土壤	坚实的	38~40	—
	松散的	32~35	—
腐殖质砂土	坚实的	25~30	—
	松散的	18~22	—
壤质砂土	半干硬的	24~28	0.20~0.25
	可塑的	19~22	0.15~0.10
壤 土	半干硬的	22~26	0.30~0.25
	可塑的	15~19	0.15~0.20
粘 土	半干硬的	17~19	0.40~0.60
	可塑的	10~14	0.25~0.30

表 1-3

土壤类型	接触工作表面	μ_s	
		干 燥	潮 湿
砂 粒	抛光钢材	0.38	0.82
	钢	0.55	0.79
	木材	0.48	—
壤质砂土	抛光钢材	0.36	0.78
	钢	0.50	0.73
	木材	0.65	—
壤 土	抛光钢材	0.33	0.43
	钢	0.48	0.48
	木材	—	0.86
适耕壤土	抛光钢材	0.36	0.78
	钢	0.50	0.73
	木材	—	0.99
泥炭土	钢	—	0.87

水分时压力对摩擦系数的影响如图1-11。