

## 全方位深松部件造成鼠道的机理

郭新荣<sup>①</sup> 谷谒白  
(中国农业大学机械工程学院)

**摘要** 全方位深松部件能造成鼠道的结构特征是其呈梯形框架式,并且底刀向前和下方伸出。底刀伸出量的垂直投影即为鼠道高度。鼠道顶部形状取决于底刀末端截面线的形状。能形成鼠道的土壤含水率为12%~23%。在土箱中采用静态和动态方法模拟造成鼠道,并研究其承载强度。鼠道承载强度峰值所对应的土壤含水率为23.4%;土壤体积密度超过 $1.42\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 后,承载强度急剧增大;抛物线型拱顶鼠道的承载强度较平面型拱顶大11.25%。在土槽中用测力台车测试底刀模型部件的结果表明:当底刀末端拱线矢高分别为10,15和20mm时,深松比阻的增长率分别为3.1%,10%和30.5%,因而在生产中不宜采用曲面型拱顶的鼠道。

**关键词** 全方位深松机; 鼠道; 稳定性; 承载强度; 深松比阻

**中图分类号** S222.129.2

## Mechanisms of Forming Mole by Bulk Subsoiler

Guo Xinrong Gu Yebai  
(College of Machinery Engineering, CAU)

**Abstract** The constructional feature for bulk subsoiler to form mole lies in that its working part has the form of trapezoid frame, and its base blade is extending forward and downward. The top form of mole depends on the end section outline of the base blade. The proper soil moisture for forming mole is 12%~23%. The mole has been simulated in soil box by both static and dynamic ways for testing bearing capacity (BC). The peak of BC appears when the soil moisture is 23.4%, BC increases sharply, while the bulk density of soil has the value of  $1.42\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , and the mole with curved top has more BC than that with the plane top. The draft of 4 model parts with different shaped base blade has been tested in soil bin. When the arch height has the value of 10, 15, 20 mm, the corresponding rate of increase for specific draft is 3.1%, 10%, 30.5%. So the mole with curved top is not suitable for practical use.

**Key words** bulk subsoiler; mole; stability; bearing capacity; specific draft

全方位深松机是原北京农业工程大学于1991~1994年间研制的一种结构型式及工作原理都很独特的新型土壤深松机具<sup>[1]</sup>。它不仅具有松土和碎土质量高、深松比阻小和增产效果显著等优点,而且能在松土层底部形成通贯作业行的鼠道。生产实践证实,此鼠道对旱地蓄水保墒、涝地降低地下水位及治理盐碱地等都具有重要作用。本文中将对全方位深松部件在深松土壤的同时造成鼠道的机理进行分析,以期为深松部件的合理设计及使用提供科学的依据。

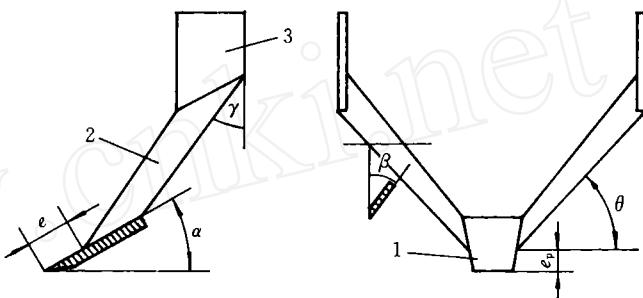
收稿日期: 1997-02-17

①郭新荣,北京清华东路17号中国农业大学(东校区)50信箱,100083

## 1 全方位深松部件造成鼠道的结构条件及工艺过程

全方位深松部件造成鼠道的结构条件是深松部件呈梯形框架式,其底刀向前和下方伸出(见图1)。

全方位深松部件造成鼠道的工艺过程与原理如下(图2):由于底刀前伸,使得深松部件周边刀刃所切出的梯形断面的土沟下部带有小凹沟ABCD,所切出垡条的断面形状则与土沟相吻合,即在下部带有小凸起。当垡条通过底刀面向后和上方移动时,其下凸部分受垡条重力作用被压缩,而变为平底状。于是,当垡条下落铺架在土沟内时,便留出小凹沟,形成鼠道。



1. 底刀; 2. 侧刀; 3. 垂直联结板;  $e$ —底刀伸出量;  $e_p$ — $e$ 的垂直投影;  
 $\alpha$ —底刀起土角;  $\beta$ —侧刀切土角;  $\gamma$ —侧刀后倾角;  
 $\theta$ —侧刀在横垂面内的倾角

图1 全方位深松部件造成鼠道的结构特征

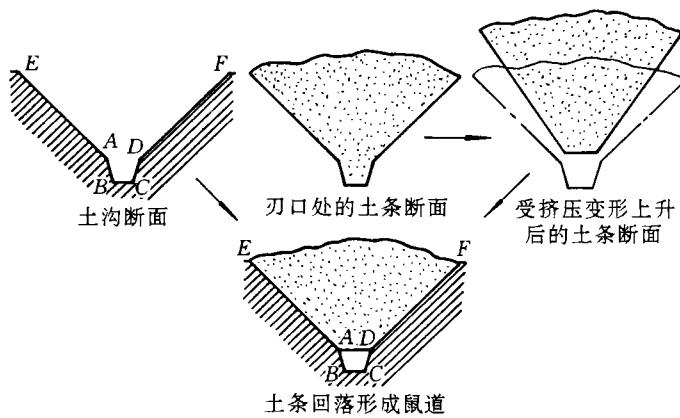


图2 全方位深松部件造成鼠道的工艺过程

18.3%,土壤体积密度  $\rho=1.6\sim1.8\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。试验前在土槽的起始端切出整齐的土壤断面,在土槽台车上逐个安装模型部件,并在其底刀表面涂抹白粉。试验时开动台车,使模型部件在土槽中通过,然后对留在土槽断面上的鼠道截面拍照并测量尺寸。

2.1.1 底刀伸出量 如图3所示,模型部件底刀外伸部分在横垂面内的投影尺寸恰好

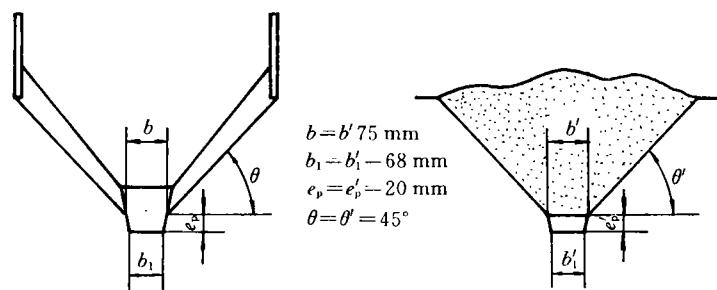


图3 底刀外伸部分与鼠道的几何尺寸对照

与所造成的鼠道的断面尺寸对应且相等,其中,底刀伸出量  $e$  在正视图上的投影高度  $e_p$  等于鼠道断面高度  $e'_p$ 。试验结果进一步证明:只有当全方位深松部件的底刀有伸出量时,才能造成鼠道,即无前伸量的底刀不能造成鼠道。在使用中应注意及时更换磨损的底刀刃板,以保证底刀的伸出量。

**2.1.2 底刀宽度** 试验结果(表1)表明:底刀宽度为100 mm的模型部件在3种土壤体积密度条件下均能造成鼠道,而底刀宽度为150 mm的深松部件只在  $\rho \geq 1.79 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  时才能造成鼠道,且沟顶下垂。可见,从造成鼠道的角度考虑,底刀宽度不宜过大。

**2.1.3 底刀工作面形状** 试验结果(表2)表明:鼠道截面顶部形状与模型部件底刀工作面末端截面线的形状完全一致。

表1 不同宽度底刀造成鼠道的对比试验结果

底刀末端宽度/mm	$\rho / (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	鼠道尺寸/mm		
		顶宽	底宽	高度
100	1.61	100	68	20
	1.70	100	68	20
	1.80	100	68	20
150	1.60	0	0	0
	1.70	0	0	0
	1.79	(沟顶下垂5 mm)		

说明:土壤含水率17.1%,耕深18 cm。

表2 不同底刀工作面造成鼠道的对比试验结果

底刀末端截面线矢高/mm	$\rho / (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	鼠道顶形状
0	1.61	
·	1.70	平面顶
·	1.80	
20	1.60	
20	1.69	二次抛物线拱顶
20	1.81	

说明:土壤含水率16.9%,耕深18 cm。

## 2.2 土壤含水率

土槽试验结果表明:砂壤土的含水率为13%~19.3%、土壤体积密度为1.48~1.82 g·cm<sup>-3</sup>情况下的6次试验均能造成鼠道,其中含水率为13%时,在鼠道的底部可见少量散落的土粒。另据田间试验结果<sup>[1]</sup>,全方位深松机在含水率为12%~22%的粘土、重壤土、中壤土、轻壤土、砂壤土中作业时,均能造成鼠道。

## 3 鼠道稳定性试验

鼠道的稳定性是指其能承受农业机械驶过时的载荷而不发生破坏。与用传统的塑孔器型鼠道犁打出的鼠道相比,全方位深松部件所造成的鼠道的主要不同点为:1)鼠道截面不呈圆形;2)因受深松作业深度限制,鼠道深度仅为45 cm左右;3)鼠道上方土壤已松碎。因此有必要对其稳定性作针对性强的试验研究。这里采用静态模拟和动态模拟2种试验方法。

### 3.1 试验1:土箱静态模拟

在土箱内用静态方法模拟制出全方位深松部件在田间造成的一段鼠道,然后在鼠道顶部的土体上方施加已知载荷,并观测鼠道受破坏的情况。试验装置<sup>[3]</sup>如图4所示。

在土箱内制备鼠道时,先在箱底放置模型,然后装填土壤并夯实,使模拟鼠道周围土壤体积密度的分布情况与田间相似,最后抽出模型,留下鼠道。在加载试验前用磅秤标定压力环。

**3.1.1 加载方式与鼠道失稳标准** 在田间,当拖拉机后轮处在鼠道正上方时,鼠道稳定性所受影响最大。此时,因拖拉机链轨或后轮的宽度大于鼠道的顶宽,故可看作是鼠道的整个顶边

受一均布载荷的作用。据此这里采用在鼠道上方土体上加均布载荷方法进行加载试验:在鼠道顶部放置一长方形木板,其宽度等于铁牛-55型拖拉机后轮的宽度,然后启动千斤顶作加载试验。

对于鼠道失稳问题,在国内外的研究资料中尚未见统一的标准。鉴于此,本试验中以鼠道顶部下垂量为 $(1/5)h$ (本试验鼠道高 $h=4.5\text{ cm}$ ),或沟底掉落的散土高度达到 $(1/5)h$ 作为鼠道失稳标准,并将此时的载荷称为极限载荷,或鼠道承载强度。

### 3.1.2 试验结果与分析

3.1.2.1 鼠道顶部宽度对承载强度的影响 1)在3种土质条件下,鼠道极限载荷均随鼠道顶宽的增大而减小(图5)。此结果可以解释为鼠道的沟顶相当于一简支梁,在均布载荷作用下,随着跨度的增大,鼠

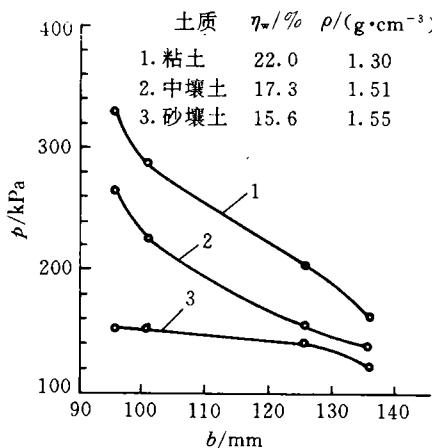


图5 鼠道极限载荷 $p$ 与鼠道顶宽 $b$ 的相关性

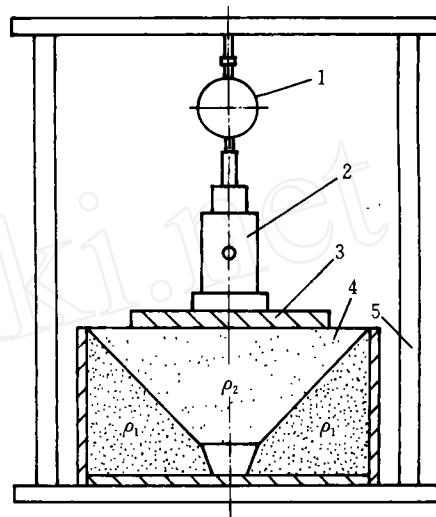
道顶部中央和两端分别受到

较大的弯矩和剪力的作用,所以鼠道的顶宽越大,其承载强度越小。2)当鼠道顶宽相同时,在粘土中形成的鼠道承载强度最大,中壤土次之,砂壤土最小。3)1SQ-250型全方位深松机在田间造成的鼠道,其顶宽为135 mm。按图5,在3种土壤中所造成鼠道的承载强度分别为160, 135和120 kPa,均大于铁牛-55型拖拉机后轮传递到鼠道上方土层的压力(经计算为117 kPa左右)。可见,全方位深松机在田间造成的鼠道能承受住拖拉机后轮的载荷而稳定存在。

3.1.2.2 土壤含水率对鼠道稳定性的影响 如图6所示:在粘土中,当鼠道顶部土壤含水率从18%增至

23.4%时,鼠道的承载强度逐渐增至峰值;当土壤含水率超过23.4%后,承载强度便急剧下降。

3.1.2.3 鼠道顶部土壤的体积密度对鼠道承载强度的影响 在粘土、含水率为22%的条件下,当鼠道顶部土壤体积密度从 $1.2\text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 增至 $1.42\text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 时,鼠道承载强度逐渐增大,当超过 $1.42\text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 后,鼠道承载能力急剧增大。据测试<sup>[4]</sup>,全方位深松机在田间造成的鼠道,其顶部土壤体积密度的平均值为 $1.44\text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,在图7中所对应的承载强度为155 kPa左右,足以保证鼠道的稳定性。



1. 压力环; 2. 千斤顶; 3. 加压板; 4. 土箱; 5. 刚架;  $\rho_1$ —未松土壤体积密度;  $\rho_2$ —深松后土壤体积密度

图4 土箱静态模拟试验装置

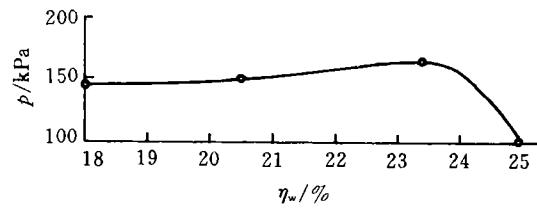


图6 鼠道承载强度 $p$ 与土壤含水率 $\eta_w$ 的相关性

### 3.2 试验Ⅱ:土箱内动态模拟试验

试验目的是研究鼠道顶部形状对鼠道稳定性的影响。采用将两面楔贯入土箱的方法造成鼠道,试验装置如图8所示。试验只在粘土中进行,所用的2种两面楔如表3所示。土箱内

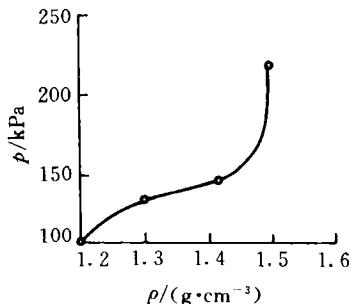
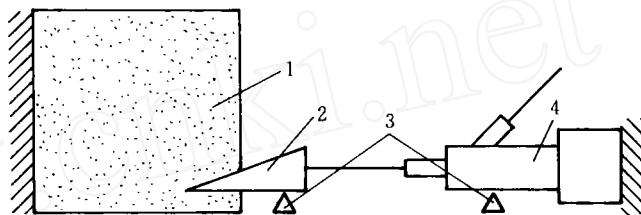


图7 鼠道承载强度  $p$  与  
土壤体积密度  $\rho$  的  
相关性



1. 土箱; 2. 两面楔; 3. 支承座; 4. 千斤顶

图8 动态模拟造成鼠道的试验装置

土壤的体积密度分布按模拟田间状况制备。启动千斤顶,将两面楔贯入土箱,造成鼠道,然后作加载试验。加载方法同图6。加载试验结果(表4)表明:将鼠道顶部制成拱形可以提高鼠道的承载强度;在本试验条件下,抛物线型拱顶的鼠道承载强度较平面顶鼠道大11.25%。

表3 试验用两面楔的结构参数

模型号	两面楔末端顶边的形状	楔的长度/cm	两面楔末端尺寸/cm			图形
			上底长度	下底长度	高度	
1	直线	20	13.5	6.5	8.0	①
2	抛物线	20	13.5	6.5	9.0	②

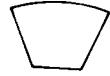
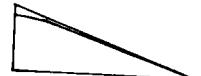
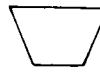
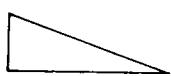


表4 2种鼠道顶加载对比试验

模型号	土壤含水率/%	鼠道顶极限荷载		
		荷载/kPa	增长率	平均增长率
1	22.00	140	—	—
2	23.41	161	—	—
	22.00	155	0.101	0.112
	23.41	181	0.124	

### 4 顶部形状不同的鼠道的深松比阻对比试验

鼠道顶部采用抛物线形拱虽然可以提高鼠道的承载强度,但又会引起深松阻力的变化。为了探明其影响程度,笔者利用土槽对装用不同表面形状底刀的模型部件进行牵引阻力测试。所用土槽和测力台车与文[2]相同。模型部件底刀的工作面做成4种:1种为平面,其余3种是以抛物线和直线为导线,由直元线构成的锥状面(见图9),其矢高  $h$  分别为10,15和20 mm。试

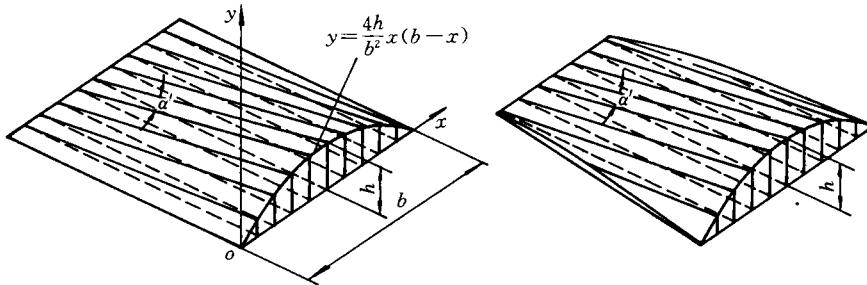


图9 模型部件底刀曲面及其形成原理

验结果(图 10)表明:当土壤体积密度  $\rho$  一定时,随着底刀末端截面线矢高  $h$  的增大,模拟部件的深松比阻  $q$  随之增大,且增长率也不断变大。其原因是当矢高增大时,底刀工作面的起土角相应地增大,而导致深松比阻增大。底刀末端截面线矢高  $h$  与深松比阻增长率  $\epsilon$  的相关性如图 11 所示。与平面型底刀相比,矢高分别为 10,15 和 20 mm 的模型部件,其深松比阻的增长率相应地为 3.1%,10% 和 30.5%。由此可见,曲面型底刀虽能提高鼠道的承载强度,但矢高稍为增大便会引起深松作业能耗显著增大,故不宜采用。

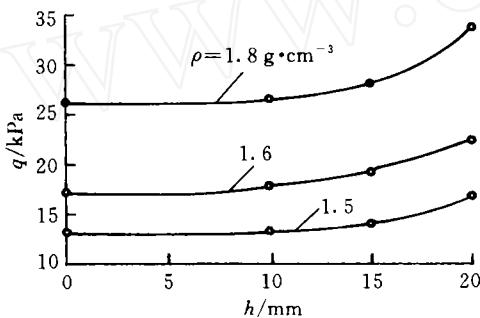


图 10 模型部件深松比阻  $q$  与底刀端面拱线矢高  $h$  的相关性

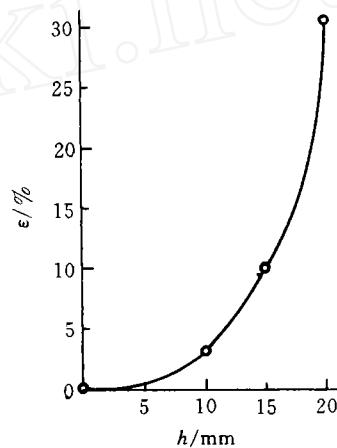


图 11 深松比阻增长率  $\epsilon$  与拱线矢高  $h$  的相关性

## 5 结 论

- 1)全方位深松部件造成鼠道的结构特征是其底刀向前和下方伸出。底刀伸出量的垂直投影即为鼠道的高度,底刀截面线的形状决定鼠道顶部的结构形式。
- 2)全方位深松部件造成鼠道的土壤类型可以是粘土、壤土和砂壤土。能形成鼠道的土壤含水率为 12%~23%。在粘土中,当含水率从 18% 增至 23% 时,鼠道的承载强度逐渐增至最大,而后便急剧下降。
- 3)采用抛物线形拱顶的鼠道,可以提高其承载强度,但拱线矢高稍为增大时,深松比阻便显著增长,因而在生产中不宜采用曲面型拱顶。

## 参 考 文 献

- 1 谷谒白,刘向阳. 1SQ-250 型全方位深松机的研制与试验. 北京农业工程大学学报, 1994, 14(4): 43, 45
- 2 陈 明,谷谒白,刘向阳. 全方位深松部件结构参数的试验研究. 北京农业工程大学学报, 1995, 15(1): 27
- 3 中华人民共和国水利电力部. SDS01-79 土工试验规程(上册). 北京: 水利出版社, 1980. 110
- 4 廖植樨,邓 健,谷谒白,等. 全方位深松对土壤物理化学性质的影响. 北京农业工程大学学报, 1995, 15(1): 21