

# 应用自动圆锥仪对土壤压实的试验研究

洪添胜<sup>1</sup> J.F.Billot<sup>2</sup> A.Marionneau<sup>2</sup>

(1 华南农业大学工程技术学院, 广州, 510642;

2 法国国家农业机械、乡村工程、水利和森林研究中心)

**摘要** 在实验土槽中, 用法国国家农业机械、乡村工程、水利和森林研究中心 (Cemagref) 的自动圆锥仪测量经胎轮压实前后的土壤坚实度, 进而分析胎轮的充气压力、胎轮上的驱动扭矩、胎轮上的载荷以及胎轮的通过次数对土壤压实的影响。此研究为正确地使用胎轮、合理地配备农机具以及为研制新型的农用胎轮, 从而达到减少农田土壤的压实提供了指导。

**关键词** 土壤压实; 自动圆锥仪; 充气胎轮

**中图分类号** TP399; S152.9

在田间作业中, 农业机械会不同程度地对农田土壤产生压实作用, 而压实后的土壤又会影响农作物的生长、发育和产量。土壤压实程度的实地测定方法有多种, 如利用普通的土壤圆锥仪, 方法简单, 但只能测定某点不同深度的土壤坚实度; 或者利用双探头的  $\gamma$  射线检测仪测定不同深度的土壤密度, 此方法较复杂, 仪器本身的价格也较昂贵, 上述两种方法都难于测定土壤横断面的坚实度。法国 Cemagref 从 80 年代开始研制手动式的测定土壤横断面坚实度的圆锥仪, 在 80 年代中后期改进为自动圆锥仪。

本研究采用此自动圆锥仪, 测定胎轮在不同条件下对土壤压实的程度。试验结果表明, 该方法测试精确, 能方便地利用数据表、颜色深浅不同的直观图、曲线图进行定性、定量分析, 从而找出影响土壤压实的主要因素, 并提出减少胎轮对土壤压实的途径。这对于减少机械作业对农田土壤的压实, 提高农作物产量具有重要意义。

## 1 试验设备与方法

本试验研究在法国 Cemagref 的室内土槽进行, 所用的设施和设备有: 一条长为 25m 宽为 2m 深为 1.2m 的室内土槽, 土壤处理机具为拖拉机带动的旋耕机和刮平板, 用与拖拉机连接的装有胎轮的单轮驱动装置作为压实土壤的设备 (Billot 等, 1989), 用自动圆锥仪测试土壤横断面的坚实度和用计算机处理试验数据。

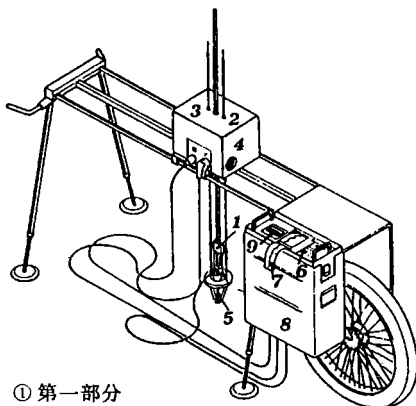
### 1.1 自动圆锥仪的结构及工作原理

自动圆锥仪分为两大部分, 见图 1 (Billot 等, 1989)。第一部分为测量部分, 包括带有圆锥头的测杆 5 (依需要可选择不同长度的测杆、不同直径和不同形状的圆锥测头), 一个测贯入阻力的拉压传感器 1, 一个测贯入深度的位移传感器 2, 一个电动机 3 驱动圆锥头上下运动,

另一个电动机 4 驱动测量部分水平移动。第二部分为单片机控制和数据采集部分 8。外设包括小键盘和液晶显示器 6。监视测试情况的热敏记录仪 7。小磁带记录器 9

自动圆锥仪的工作原理是：测量前，可用键盘输入有关信息，如日期、测量号、设定贯入深度等。测量时，圆锥以均匀的速度贯入土壤中，同时拉压传感器测量贯入阻力（每 1mm 采集一个数据），当测试到达预定的贯入深度时，圆锥自动往上行，同时将存放在内存中的测量数据转录在小磁带中。然后，圆锥（包括测量部分整体）水平移动一段预定的距离（可选 1cm、2cm 或 4cm），再进行上述的测试，测量土壤横断面的坚实度。测试情况可由热敏记录纸上的曲线表示，起监视的作用，而存放在小磁带中的数据可由实验室的计算机读出处理，结果用数据表、曲线图或用颜色深浅不同的图形表示土壤横断面的坚实度（如图 2）。

测试时，如圆锥头碰上阻力大的障碍物（如石块、树根等）时，圆锥仪会自动停止工作并响铃报警，以起保护圆锥仪的作用。



① 第一部分

1. 拉压传感器

2. 位移传感器

3. 上下移动电机

4. 水平移动电机

5. 圆锥测头与测杆

② 第二部分

6. 小键盘与液晶显示器

7. 热敏记录仪

8. 单片机控制器

9. 小磁带记录器

图 1 Cemagref 的土壤自动圆锥仪

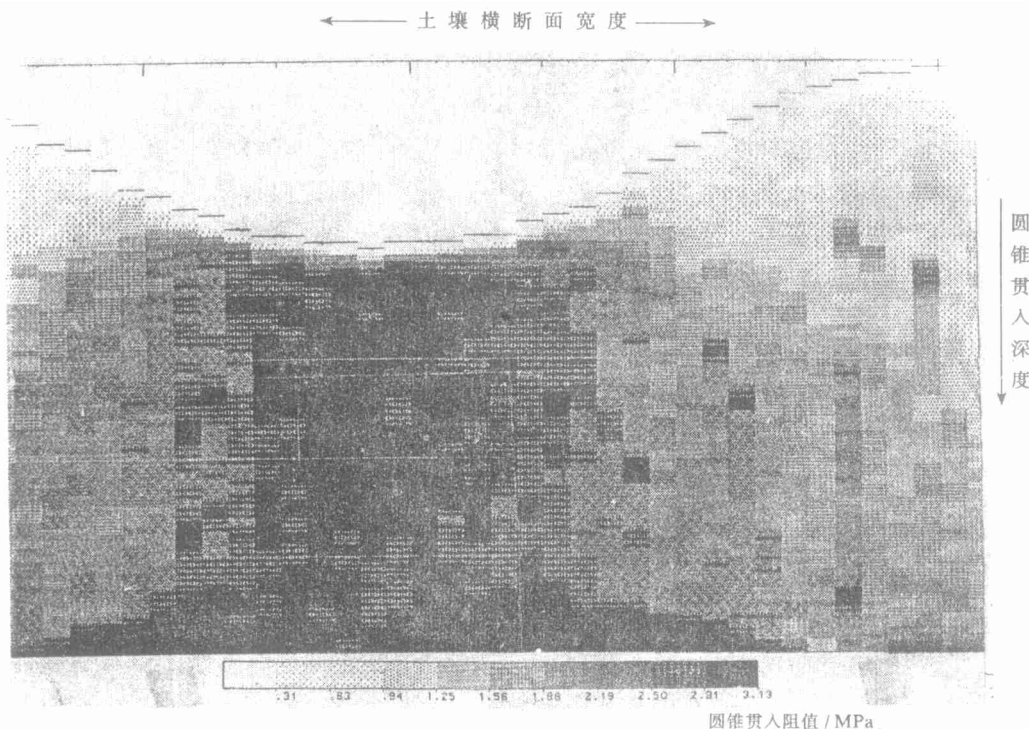


图 2 自动圆锥仪测绘的土壤坚实度横断面直观图

1.2 试验方法

为克服在田间试验时，田间土壤的不均匀性，重复性差和土壤含水量易变的缺点，试验在盛满农田土壤（粘壤土 粘土占 20%，含水量为 22%）的室内试验土槽中进行。首先用拖拉机驱动的旋耕机将土壤破碎并用刮板刮平，再用自动圆锥仪（圆锥顶角为 90°，锥底面积为 0.25cm<sup>2</sup>，每 2cm 宽度作一次贯入测量）测量未压实土壤的横断面，然后利用与拖拉机连接的装有胎轮的单轮驱动试验装置（Hong, 1990; 洪添胜等, 1995）通过土槽中间，土壤受到单轮装置的压实而形成一条连续的轮辙，而拖拉机的轮子则行驶在土槽边缘的水泥地板上，不会压实土壤，再用自动圆锥仪测量土壤横断面的坚实度，即圆锥贯入土壤时单位面积上的阻力。研究在相同的土壤条件下，胎轮上不同的充气压力，胎轮上不同的扭矩，胎轮上不同的载荷以及胎轮通过不同的次数对此土壤压实的影响。

2 试验结果与分析

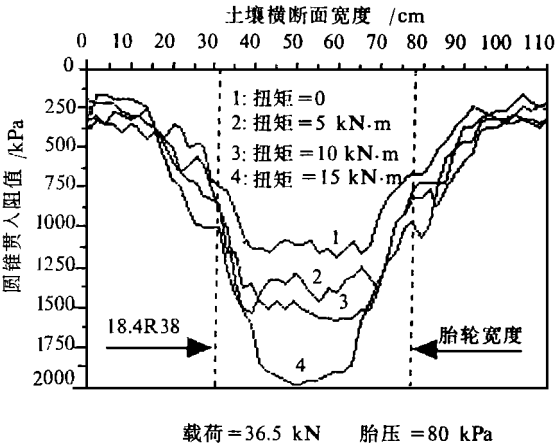
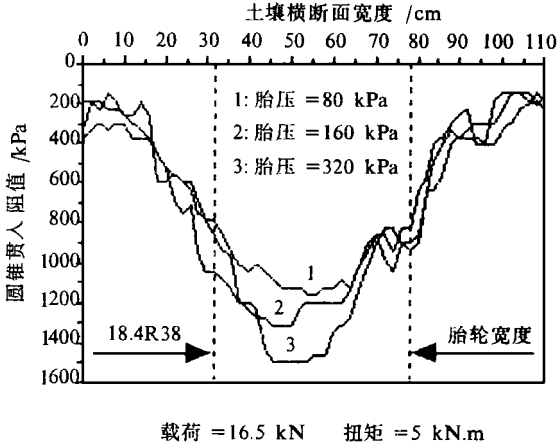
2.1 驱动胎轮的充气压力对土壤压实的影响

图 3所示曲线（土壤横断面坚实度的平均值）是用 18.4R38胎轮 载荷 16.5kN 扭矩 5kN·m，在 3种不同的充气压力（80kPa 160kPa和 320kPa）的情况下，分别行驶通过土槽后，用自动圆锥仪测出的土壤横断面的压实情况。从三条曲线组成的横断面图可看出：胎轮的中心部分压实为最严重；胎轮两侧的土壤蠕变较大；胎轮的充气压力越高，土壤压实就越厉害。因为胎轮充气压力愈大，胎轮就愈呈刚性，而造成胎轮与土壤的接触面积变小，胎轮与土壤之间的接触压力增大，轮辙变深，土壤压实增加。

2.2 驱动胎轮上的驱动扭矩对土壤压实的影响

图 4是用 18.4R38的胎轮，载荷 36.5kN，充气压力 80kPa，在 4种不同的驱动扭矩（0 5 10 15kN·m）的下条件在土槽中分别进行土壤压实后，自动用圆锥仪测出土壤横断面坚实度的曲线图。

在扭矩增加的影响下，土壤的挤压、蠕变较明显，图中的曲线逐渐变尖（呈锥状），在轮辙的中部影响更大。从图中可看出，在相同的条件下，土壤的压实程度是随驱动轮上的



扭矩增加而增加的;而且,当扭矩超出一定的范围时(此试验为扭矩大于  $10\text{ kN}\cdot\text{m}$  时),土壤压实就越严重

### 2.3 驱动胎轮上的载荷对土壤压实的影响

图 5 为驱动胎轮在不同的载荷下,土壤压实的程度随扭矩变化的曲线图。图中的数值是每次测量时,每个测量横断面的总平均值。此组试验利用了 18.4R38 胎轮,胎压保持为  $80\text{ kPa}$ 。其中曲线 1 和 2 的测点较少,这是由于这两次测量时,胎轮上的载荷较小,使得土壤-胎轮间的附着性能较差从而限制了胎轮的驱动扭矩。

从图中可见,随着驱动扭矩的增加,土壤的压实增加;在相同扭矩的条件下,驱动胎轮上的载荷增加使得土壤压实增加,而且可看出胎轮上的载荷从  $16.5\text{ kN}$  增加到  $26.5\text{ kN}$  时,土壤压实的程度大于载荷从  $26.5\text{ kN}$  增加到  $36.5\text{ kN}$  时。这说明土壤的压实程度与胎轮上载荷的大小不呈线性关系。

### 2.4 从动胎轮的通过次数对土壤压实的影响

图 6 的试验条件是: 18.4R38 的光面胎轮,胎压为  $140\text{ kPa}$ ,胎轮上的载荷为  $26.5\text{ kN}$ ,由于此时胎轮由拖拉机牵引,变成从动轮,其驱动扭矩为零。图中的曲线反映了胎轮通过不同的次数,土壤压实横断面的情况。图中表明胎轮在松软的土壤通过时,由于土壤被挤压、蠕变,使土壤不断地被压实:它表现在从图中的横坐标  $30\text{ cm}$  开始到胎轮的另一侧面,但是,从胎轮第 2 次通过开始,由于土壤变得越来越粘,土壤压实的增幅减少。在曲线的中间部分(即胎轮宽度的中线上),在胎轮第 1 次通过后,圆锥贯入阻值增加了  $710\text{ kPa}$ ,第 2 次通过后增加了  $400\text{ kPa}$ ,而后面 3 次通过后才增加了  $400\text{ kPa}$ 。

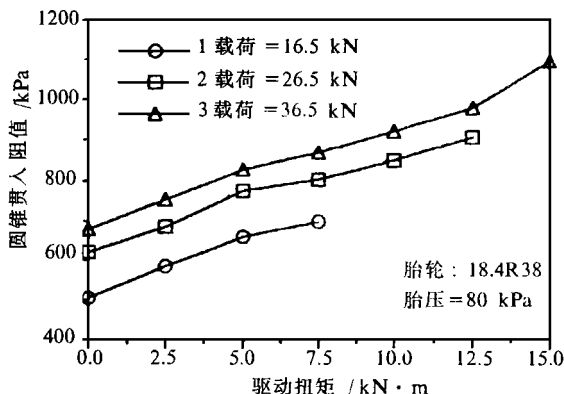


图 5 胎轮载荷的影响

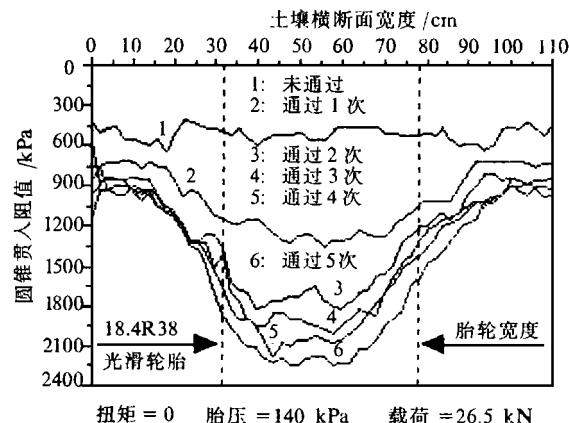


图 6 胎轮通过次数的影响

## 3 结论与讨论

胎轮的充气压力越高,胎轮的刚性越大,对土壤的压实越严重。在不影响胎轮寿命的情况下,采用较低的充气压力可降低土壤的压实程度,或采用双胎轮结构,土壤压实也可降低。

驱动胎轮上的扭矩愈大,愈产生滑转,对土壤的挤压、剪切作用增加,压实加剧;当扭矩超过一定值时,土壤压实增加很大。若采用动力式的农机具,如旋耕机,则可减少拖

拉机驱动轮上的扭矩, 从而减少土壤的压实

胎轮上的载荷增加, 土壤的压实程度亦增加。若采用双胎轮结构可降低每个胎轮上的载荷, 使得胎轮与地面的接触压力减少, 从而可降低土壤的压实。

胎轮第一、二次通过对土壤压实较大, 随后增幅减少。如果使用联合式的作业, 则可减少拖拉机和农机具的通过次数, 亦可减少土壤压实

应用土壤自动圆锥仪对土壤压实的试验研究表明, 它适用于实验土槽和田间旱地土壤坚实度的测试, 并能以数据表、颜色深浅不同的直观图、曲线图等多种形式的表达土壤横断面的坚实度, 这无疑是研究土壤-农业机械-农作物-气候等相互关系、相互影响的一种新方法; 为使这种自动圆锥仪的测量值与标准土壤圆锥仪的测量值(即圆锥指数 CI)建立一定的换算关系, 要将此土壤自动圆锥仪与标准土壤圆锥仪进行大量的比较试验, 用统计分析的数学方法推导出它们之间的转换关系模式, 以扩大其应用范围

### 参 考 文 献

- 洪添胜, Billot J F, Goupillon J F, 等. 1995. 驱动胎轮牵引性能的田间试验研究. 农业工程学报, 11 (195~ 98): 95~ 98
- Billot J F, Marionneau A. 1989. Analyse de la structure du sol dans les champs, au moyen d'un géotromètre "Scanner". Btmea, (36): 44~ 50
- Hong Tiansheng. 1990. Contribution à la modification des performances de traction d'un tracteur agricole au labour [Thèse de doctorat]. Paris: Cemagref- Ensam, 209

## EXPERIMENTS AND STUDIES ON SOIL COMPACTION WITH AN AUTOMATIC PENETROMETER

Hong Tiansheng<sup>1</sup> J. F. Billot<sup>2</sup> A. Marionneau<sup>2</sup>

(1 College of Polytechnic, South China Agr. Univ., Guangzhou, 510642

2 Cemagref d'Antony, Paris)

### Abstract

The automatic penetrometer developed by Cemagref of France was used to measure cross-sections of soil before and after being compacted by a tyre in an experimental soil bin. The effects of pneumatic pressure, driving torque, loading and the number of tyre passes on soil compaction were analyzed. The results provided guidelines for the correct use of tyres, selection of appropriate farm implements and developing new type of tyres for farming so as to reduce over-compaction of farmland.

**Key words** soil compaction; automatic penetrometer; pneumatic tyre