

计算机控制的土壤圆锥仪

罗锡文 陈爱新

(华南农业大学工程技术学院, 广州, 5106420)

摘要 圆锥指数 CI (Cone Index) 作为土壤机械强度的一个综合指标已为国内外广泛应用。文章系统地阐述了测量圆锥指数 CI 的土壤圆锥仪在国内外的概况。研制了一种用微型电动机作贯入动力, 用计算机控制的机械式圆锥仪, 实现了对圆锥仪贯入过程的自动控制, 包括自动启动贯入系统, 自动记录和分析测试结果, 到达规定测深和遇到异常情况时自动停止贯入。该仪器还有上下限位系统和手动控制系统。测试结果表明, 该仪器测试可靠, 可用于室内土槽和野外土壤测试。

关键词 圆锥仪; 土壤强度; 计算机控制; 地面-机器系统力学

中图分类号 TP399 S152.9

土壤不仅是农业生产的重要资源, 也是地面车辆行驶的主要介质和农业机械的工作对象, 所以, 土壤的机械物理性质既关系到农作物的生产, 又关系到地面车辆的通过性能和行驶性能以及农业机械的作业性能和能量消耗。国内外学者都非常重视土壤机械物理性质的测定, 并提出了多种测定方法。目前, 在地面机器系统研究中所使用的土壤参数约有 10 组之多, 其中圆锥指数 CI (Cone Index) 作为土壤机械强度 (或土壤承载能力) 的一个综合参数已为世界上许多国家所采用。我国亦有学者建议采用圆锥指数 CI 作为我国统一的土壤力学参数 (Bekker, 1968)。依 ASAE (American Society of Agricultural Engineers, 即美国农业工程师协会) 标准, 圆锥指数可定义为: 圆锥在贯入土壤过程中圆锥头上单位底面积所受到的土壤阻力, 单位为 N/m^2 (或 kgf/cm^2 , 或 lb/in^2)。根据测得的有关土壤的 CI 值, 可采用一些经验或半经验公式计算车辆下陷量、运动阻力、切线牵引力和农机具阻力, 为判断车辆在松软土壤上的通过性及为在各种土壤上行驶作业的车辆、农机具的研究和设计提供依据。

圆锥指数 CI 是用圆锥贯入仪 (简称圆锥仪) 来测定的。早在 1913 年 Bernstein 便使用了圆锥仪, 但最先用来测定土壤参数是第二次世界大战期间美国陆军工程队的水道试验站 (WES) 研制的圆锥贯入仪, 所以圆锥指数法又称 WES 法。第二次世界大战后, 圆锥指数法得到了迅速发展, 美军建立的 AMC-71、AMC-75 和 AMC-85 地面机动性模型, 加拿大国防部建立的 NTPN 机动性模型和北约集团建立的 INRM 模型中都采用圆锥指数来表征地面机械强度。圆锥仪的研制工作已不断深入, 从手动贯入到机动贯入, 从目测读数到电测记录, 出现了多种多样的圆锥仪, 美国研制成功了空投圆锥仪, 而德国正准备利用卫星

测定土壤的 CI 值 (Bekker, 1968)

我国对土壤强度的测定,最初都是采用先从现场采样再在室内进行试验的方法。70年代初,我国农机部门研制了 SJ-3.5 型水田土壤剪切仪, SR-2 型土壤贯入仪, SY-1 型静载式水田土壤承压仪等测定土壤强度参数的仪器 (陈秉聪, 1981)。这些仪器的研制成功地填补了我国在这方面的空白,在一定程度上满足了科研和生产的需要。

南京工程兵学院于 1981 年研制成功工兵圆锥仪 I 型。1984 年,该学院又研制出工兵圆锥仪 II 型。这两种仪器重量轻、结构可靠、使用方便,但仍采用手动贯入,目测读数的方式。

华中农学院和武汉工学院研制的圆锥指数仪采用转动手柄推动圆锥贯入和滚筒自记的方式。1985 年,华南农业大学研制成功了电测圆锥剪切仪。1987 年,又对圆锥仪部分进一步进行了改进,这种电测圆锥仪采用单板计算机进行采样、分析、计算和打印,在圆锥指数的自动记录方面前进了一大步。但贯入方式仍采用手动的方法。

上述几种圆锥仪各有其优缺点,手动贯入方法虽然简单,但难以控制贯入速度,特别是难以保证圆锥仪在贯入过程中始终保持与地面的垂直状态,而圆锥仪与地面的不垂直度是影响圆锥指数测量精度的一个重要因素。目测读数误差大,处理数据所需时间长。滚筒记录方式虽然解决了自记的问题,但整理记录曲线的工作量仍很大。综上所述,研制一种机械贯入,自动记录和处理数据的机械式电测圆锥仪是圆锥指数法研究工作中的一个重要课题。

本文综合分析了国内外各种圆锥仪的优缺点,研制了一种以电动机为贯入动力,用微型计算机 (IBM PC/XT) 控制记录和处理数据的机械式电测圆锥仪。

1 圆锥贯入系统

机械式电测圆锥仪包括圆锥贯入系统和计算机控制及数据处理系统两大部分。

1.1 设计参数

1.1.1 贯入速度 ASAE 标准采用的贯入速度为 3.048 cm/s (即 72 in/min)。ASAE 标准同时指出,低一些的贯入速度对测量精度没什么影响。陈镇威及中国农机化科研院的试验结果表明,贯入速度超过 3 cm/s 时,所测得的 CI 值大都偏高,而当贯入速度为 1 cm/s 时,所测得的 CI 值比较接近真实值。据此,本设计将贯入速度定为 1 cm/s 。

1.1.2 圆锥头和测杆 ASAE 标准采用的圆锥头圆锥顶角为 30° , 锥底面积有两种, 3.2 cm^2 (0.5 in^2) 和 1.3 cm^2 (0.2 in^2), 后者主要用于旱地和较坚硬土壤中。日本 TN-4 土壤坚实度仪也是采用 30° 圆锥顶角, 3.2 cm^2 锥底面积的圆锥头。为便于与国际上有关数据、经验公式和资料进行对比研究,本设计采用圆锥顶角为 30° , 锥底面积为 3.2 cm^2 的不锈钢圆锥头。但在特别坚硬的旱地或特别松软的水田或滩涂上使用时,建议采用锥底面积为 1.3 cm^2 的圆锥头或圆锥顶角为 60° , 锥底面积较大的圆锥头。

测杆采用外径为 16 mm , 壁厚为 1.5 mm 的高强度铝合金管。

1.1.3 最大 CI 值 ASAE 标准采用的最大 CI 值为 $2.058 \times 10^6\text{ N/m}^2$ (300 psi)。对特别坚硬土壤,可换用圆锥头,最大 CI 值可达 $5.194 \times 10^6\text{ N/m}^2$ (750 psi) (ASAE, 1980)。根据

我国大多数土壤的实际情况, 本设计将最大 CI 值定为 $2.45 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ (25 kgf/cm^2), 可满足我国一般水田和旱地测量的需要

1.1.4 最大测量深度 我国土壤的耕作层深度一般为 $18 \sim 22 \text{ cm}$, 渗育层为 $6 \sim 9 \text{ cm}$, 潜育层为 $30 \sim 50 \text{ cm}$ 工兵圆锥仪的深度测量范围为 $0 \sim 60 \text{ cm}$ 结合我国土壤的一般情况, 本设计将最大测量深度定为 60 cm 对于无硬底层的深水田和滩涂, 可通过加长测杆增加测量深度。

1.2 圆锥贯入系统

1.2.1 贯入系统 为实现机械贯入, 本设计采用一种简单的螺母, 丝杆传动形式, 当螺母转动时, 带动丝杆上下移动。为使丝杆只能上下移动而不转动, 在丝杆上开有一条深与宽均为 5 mm 的导向槽, 固定在底座上的导向螺钉通过定位套插入导向槽内。根据本设计中确定的最大 CI 值, 选用外径 d 为 20 mm 的丝杆。为便于上下移动, 螺纹部分采用等腰梯形, 单头, 齿距 3.2 mm (每英 8 齿) 丝杆材质为 45 号钢, 经调质处理。螺母用铜合金制成。

1.2.2 电动机 根据本设计中确定的最大 CI 值和总传动效率, 本设计中选用额定功率为 25 W , 额定转速 1400 r/min , 额定电压 220 V 的单相交流可逆微型电动机, 起动线圈两端并联 2 PF 电容。

1.2.3 传动系统 根据电动机额定转速 (1400 r/min) 和丝杆贯入速度 (1 cm/s), 可确定传动比为 7.47 , 故决定采用两对开式齿轮传动。现恰有 $Z_1 = 19$, $Z_2 = 40$, $Z_3 = 15$, $Z_4 = 45$, 故实际传动比为 6.32 , 圆锥仪实际贯入速度为 11.8 mm/s

1.2.4 传感器 机械式圆锥贯入仪需要测定圆锥贯入阻力和圆锥贯入深度。本设计采用国产 BLR-1 型拉压力传感器测定贯入阻力。该传感器结构小巧, 灵敏度高, 线性好, 连接方便。根据本设计中确定的最大 CI 值, 选用 0.1 T 型, 即可测量最大拉力 (或压力) 为 $9.80 \times 10^2 \text{ N}$ 因本设计确定之最大测量深度为 60 cm , 故需采用大位移传感器, 考虑到野外使用的特点, 本设计决定采用一个多圈精密电位器作为深度传感器, 该电位器可连续传动 10 圈, 输出线性好, 且输出电压信号直可接进行 A/D 转换, 不需要放大。电位器轴上安装一个摩擦轮, 压紧在贯入丝杆上。丝杆上下移动时, 通过摩擦轮即可带动电位器移动。电位器采用 6 V 直流电源, 以保证不超过 A/D 转换电压范围 ($0 \sim 5 \text{ V}$)。

2 计算机控制和数据处理系统

2.1 基本要求

本设计中的计算机控制和数据处理系统应能满足下述要求: (1) 控制贯入系统的启动和运行; (2) 圆锥仪贯入到规定深度后自动停止贯入并控制电动机反转, 使圆锥头上升, 脱离土壤; (3) 在圆锥头贯入过程中如遇到特别坚硬的情况 (如石块), 超过了圆锥仪规定的最大 CI 值, 应立即自动停止贯入, 并控制电动机反转, 使圆锥头上升, 脱离土壤; (4) 同步记录贯入深度和贯入阻力, 并能根据需要调整记录深度间隔; (5) 根据试验记录, 绘制贯入阻力-贯入深度曲线; (6) 应有手动控制系统, 以便在试验前手动控制圆锥头底面与土壤表面齐平; (7) 应有行程控制系统, 以便丝杆在上、下移动时不超过其最大行程。

2.2 计算机

由于本设计中圆锥仪贯入速度不高,记录深度间隔 0.2cm 即足以满足要求,故对计算机的运行速度要求不高,采用 IBM-PC/XT 即可满足要求

2.3 A/D 和 D/A 接口

本设计采用北京工业控制计算机厂生产的 MS-0819 八位 A/D 接口板,该接口板可实现八路 A/D 转换和两路 D/A 转换。A/D 转换时间约为 $100\mu\text{s}$, 误差 $< \pm 1\%$ ($\pm 1\text{LSB}$)。D/A 建立时间约为 μs , 误差 $< \pm 1\%$ 。该接口板可直接插在计算机的槽口上,通过编程实现 A/D 和 D/A 转换。

2.4 信号放大与处理

从拉压传感器输出的贯入阻力信号需放大后才能进行 A/D 转换,本设计采用日本产 6M82 型应变放大仪进行放大。

从电位器输出的贯入深度信号可直接进行 A/D 转换。

为使计算机的外围控制电路与内部电路隔离,本设计在 D/A 输出上采用了光电隔离电路和功率放大电路。

2.5 电动机控制电路

电动机是本设计中计算机控制的对象,其控制电路如图 1 所示。测试开始后,先用点动按钮 SB_1 控制圆锥头下降至底面与土壤表面齐平,然后启动计算机。计算机先向 D/A1 送出控制指令,使 D/A1 输出处于低电平,继电器 J_1 的常开触点闭合,使电动机主线圈控制用交流接触器 KM_F 的线圈通电,各常开触点闭合,电动机正转,驱动丝杆下降,圆锥头贯入土壤,计算机同时对贯入深度和贯入阻力采样,如贯入到规定深度或遇到异常情况,计算机立即向 D/A0 送出控制指令,使 D/A0 输出处于低电平,继电器 J_0 的常开触点闭合,使电动机正反转控制用交流接触器 KM_R 通电,各常开触点闭合,电容 C 换接至 1 3 端(原接至 1 4 端),电动机反转,驱动丝杆上升,直至上限位开关 ST_a 断开为止。若在贯入过程中计算机对电动机失去控制,下限位开关 ST_b 将闭合,控制电动机反转,驱动丝杆上升。

2.6 系统布置

本设计的计算机控制系统和数据处理系统如图 2 所示。

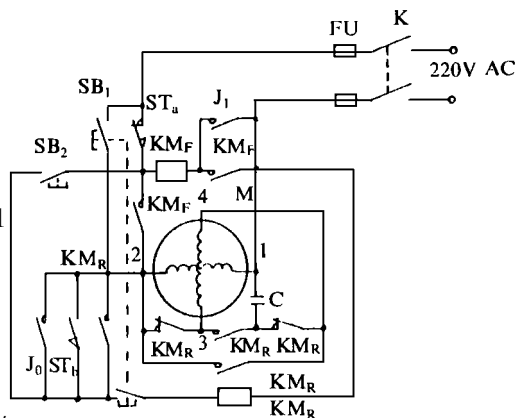


图 1 电动机控制电路

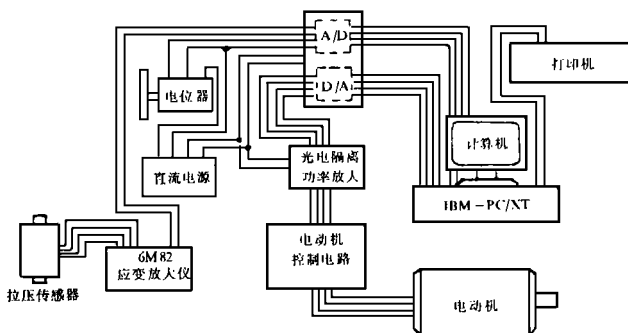


图 2 计算机控制系统和数据处理系统

3 试验结果与分析

3.1 试验结果

将本设计的机械式圆锥贯入仪安装在华南农业大学工程技术学院土槽台车上进行试验。该土槽装入的是附近农场的水稻田土壤，经分层压实后，模拟水稻田各层土壤特性。圆锥仪经标定后，在土槽中进行了多次试验，图 3和图 4是其中两次试验的贯入阻力 - 贯入深度曲线

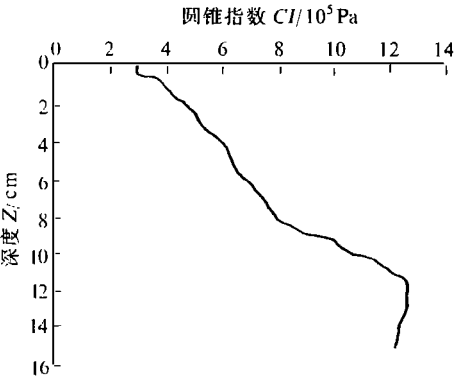


图 3 圆锥指数 - 深度曲线 (1)

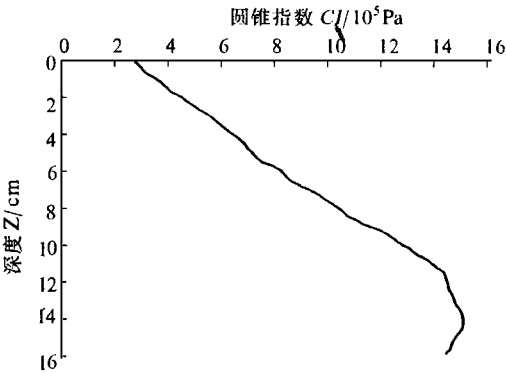


图 4 圆锥指数 - 深度曲线 (2)

3.2 分析与讨论

从各次试验结果可以看出，本设计的机械式圆锥贯入仪实现了 2.1节中提出的各项基本要求，能够自动贯入，自动记录，到达规定测深和遇到异常情况时自动处理。本设计中贯入深度传感器采用多圈精密电位器，虽然结构简单，但由于摩擦轮接触压力波动和电位器内触点接触误差，难以达到较高的测试精度，应考虑改进。如在野外使用，可将本圆锥仪安装在拖拉机上。由于计算机，电动机及各控制电路均采用 220V 交流电源，故应采用直流 - 交流逆变器。

4 结论

测试结果表明，本文设计的机械式圆锥贯入仪由于采用了电动机为贯入动力，可保证贯入速度均匀，贯入过程中测杆始终保持与地面垂直，减少了测杆与孔壁的摩擦误差。计算机控制系统实现了对圆锥仪贯入过程的自动控制，包括自动启动贯入系统，自动记录和分析测试结果，到达规定测深和遇到异常情况时自动停止贯入。上下限位系统可保护圆锥仪在上下移动过程中不超过其最大行程。手动控制系统可实现对圆锥仪的手动调整。本文设计的机械式圆锥仪可用于室内土槽野外土壤的测试。

参 考 文 献

- 王文隆, 王修斌. 1983. 地面力学中土壤参数的选定及其测量方法和仪器. 农业机械学报, 14 (4): 1 ~ 9
- 陈秉聪. 1981. 土壤 - 车辆系统力学. 北京: 中国农业机械出版社, 25- 61
- ASAE. 1980. ASAE S313. 1. Agricultural Engineers Yearbook. [s. l]: [s. n]
- Bekker M G. 1978. 地面 - 车辆系统导论. 《地面 - 车辆系统导论》翻译组译. 北京: 机械工业出版社, 1- 16

COMPUTER-CONTROLLED SOIL PENETROMETER

Luo Xiwen Chen Aixin

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

Abstract

As a comprehensive characteristics of the mechanical strength of soil, the cone index (CI) has been widely used. After reviewing the history and the evolution of the soil penetrometer, an automatic soil penetrometer which powered by a small reversible electric motor and controlled by a computer was developed. The computerized system could control the whole process of soil penetration, including the automatic starting of the soil penetrometer, the automatic recording and an alysing of the test results and the automatic stopping when the soil penetrometer reaches the preset depth or the resistance exceeds the preset limit. The test results showed that this automatic soil penetrometer could be used in indoor soil bins or field situations.

Key words soil penetrometer; soil strength; computer control system; mechanics for terrain-machine system