土壤容重测定用分段式原状取土器的设计

周雪青,李洪文*,何进,王庆杰,张喜瑞

(中国农业大学工学院,北京 100083)

摘 要:为了提高土壤容重测定中土样采集的效率和精准性,将环刀法和原状取土管法结合,进行了分段式原状取土器的研制。该分段式原状取土器主要由取土装置和土样分离装置等组成。与经典环刀法试验对比表明,分段式原状取土器可有效保证所取土样的原状度,并能提高取土效率4~8倍。 关键词:分段式原状取土器;环刀;原状土;土壤容重

中图分类号: S237 文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2008)-8-0127-04

周雪青,李洪文,何 进,等. 土壤容重测定用分段式原状取土器的设计[J]. 农业工程学报,2008,24(8):127-130. Zhou Xueqing, Li Hongwen, He Jin, et al. Design of multi-segment in situ soil sampler testing bulk density[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(8): 127-130.(in Chinese with English abstract)

0 引 言

土壤容重是土壤重要的物理特性指标,容重的大小 反映土壤结构、透气性、透水性以及保水能力的高低。 目前测定土壤容重的方法主要有环刀法和原状取土管 法。环刀法取土需要先挖掘剖面坑,存在着操作复杂、 劳动强度大、取土效率低等缺点;原状取土管法虽然一 次可以取得多个土层的土样,取土效率较高,但存在着 土样推出困难、土样分离精准度低、误差大等缺点^[1-3]。

因此,针对目前取土方法存在的问题,开展分段式 原状取土器的研究,保证所取土样的原状度,提高土壤 容重测定的精准性和效率,对于农业领域中土壤物理性 质的研究具有重要意义。

1 分段式原状取土器的设计

1.1 设计思路

分段式原状取土器结合了环刀法和原状取土管法的 优点,通过将一个推刀环和多个 100#标准环刀(φ50.46 mm×50 mm)依次放入分段式原状取土管中,并随分段式 原状取土管一起入土,一次取土过程可以取得多个土层 的原状土样^[4]。同时在推土过程中,通过推取土管上端的 推刀环将内置环刀推出,可避免对土样的压实;在土样 分离过程中,通过相邻环刀之间的纵向错位切割,可有 效避免掉土、掉渣现象。

1.2 整机结构及主要技术参数

1.2.1 整机结构

研制的分段式原状取土器主要由取土装置和土样分 离装置两部分构成。取土装置主要由取土管靴、取土管、

收稿日期: 2007-11-28 修订日期: 2008-03-28

基金项目: 国家十一五科技支撑课题"垄作区保护性耕作技术研究与示范" (2006BAD28B04)

作者简介:周雪青,女,山东济宁人,主要从事农业机械装备的研究。北京 中国农业大学工学院,100083。Email:zhouxueqing8851@163.com ※通讯作者:李洪文,男,江苏人,教授,博士生导师。主要从事保护性耕 作方面的研究。北京 中国农业大学工学院,100083。 Email:lhwen@cau.edu.cn 推刀环和内置环刀等部分组成(图 1)。其中,取土管外 壁标有刻度,可确定取样时的入土深度;内置环刀采用 无刃环刀,可保证相邻环刀间的紧密配合,同时保证环 刀强度,防止变形。



图 1 取工衣直结构间图 Fig.1 Structure of soil sampling device

土样分离装置主要由推土机构、支撑机构和切土机 构等组成,如图2所示。





分段式原状取土器采用冲击钻或重力锤作为动力 源,在冲击钻或重力锤的锤击下,取土器的取土管缓慢 进入土体,同时原状土样充满取土管内置环刀,达到预 定深度后,通过配套的杠杆机构,将取土管从深层土壤 中提出,同时将其送入土样分离装置。

在土样分离过程中,推土手轮通过蜗轮蜗杆传动机

构带动丝杠运动,丝杠设有轴向槽,可保证丝杠在取土 管内的直线运动。丝杠头部的顶柱将取土管内的环刀推 到切土支架上。此时,转动切土手轮,将切土支架上的 环刀与取土管内的环刀分离,完成一次土样分离,依次 进行,直到取土管内的环刀全部推出。

1.2.2 基本技术参数

. __ . . . __

分段式原状取土器及土壤分离装置的主要技术参数 如表 1 所示^[5]。

表 1 分段式原状取土器的主要技术参数									
Table 1 Main technical parameters of multi-segment in situ soil sampler									
	取土管内径	面积比	内间距比 /%	外间距比 /%	壁厚 /mm	有效取土深度 /mm	内置环刀		
取土装置	/mm	/%					内径/mm	外径/mm	高度/mm
	54	53.76	0.92	6.89	2	600	50.46	53.50	50
土样分离装置 -	外形尺寸(长×宽×高)/m		结构质量/kg		传动比		作业效率/h-1		
	$1.5 \times 0.6 \times 0.6$			16.8		10		100~	~180

注: 面积比——取土器断面积与土样断面积的百分比,以 *Ar*表示: 内间距比——取土器内径和刃口内径之差与刃口内径的百分比,以 *C*_i表示: 外间距比——取土器最大外径与取土器筒外径之差与取土器筒外径的百分比,以 *C*_o表示。

2 关键部件设计

2.1 取土装置

2.1.1 取土管靴的设计

取土管靴的主要技术参数包括刃口尖端宽度1,取土 管靴内径 de,取土管靴高度 b,管靴刃角 φ,管靴切削 深度 a 和取土管管靴外径 dw (图 3)。取土管靴是取土器 的主要入土部件,也是最先切入土壤的部件,因此其参 数的设计对取土质量的影响较大。



图 3 取土管靴剖面简图 Fig.3 Profile of soil sampling tube boot

刃口尖端宽度 *l* 是影响切土阻力的主要参数之一。一般刃口尖端宽度越小,切土阻力就越小,但同时越易发 生刃口迸裂和变形。根据试验测定,确定刃口尖端宽度 *l* 为 1 mm。

取土管靴的内径 de 取决于内置环刀的内径,它应小于或等于内置环刀的内径,取 de= 50 mm。

取土管靴高度 b 不宜过大,管靴高度大则对所取土 样的摩擦阻力大, b 的适宜范围为 20~30 mm。

管靴刃角对所取土样质量的影响较大。试验测定土 样无侧限抗压强度百分比与管靴刃口角度对应的关系曲 线如图 4 所示。当管靴刃口角度为 10°时,无侧限抗压 强度可以达 90%以上;当管靴刃口角度为 30°时,无侧 限抗压强度仅为 70%左右。因而取土管的管靴刃口角度 通常都小于 10°^[6,7]。

由图3可知:

此时管靴外径略大于取土管外径,强度不能满足要求, 设计不合理。

当 φ =10°, *b*=30 mm 时, 由式(1)计算得 *a*=5.29 mm, 可满足设计要求。设计时, 圆整取 *a* 为 5 mm, *b* 为 30 mm, 确定管靴刃角 φ 为 9.46°。

同时,由图3计算得取土管管靴外径 dw为62 mm。



图 4 无侧限抗压强度与管靴刃口角度对应关系 Fig.4 Relationship between unconfined compressive strength and soil sampling tube boot cutting angle

2.1.2 取土管的设计

取土管的长度取决于试验对所取土样深度的要求, 同时还要考虑上端挤压,下端拉断土柱及其土壤结构对 取土器压入难易程度的影响。设计时,综合考虑确定取 土管长度 *L* 为 600 mm。

取土管的直径大小,直接影响到所取土样的质量^[8]。 若直径过大则压入阻力较大,若直径过小则所取土样分 离困难,从而影响土壤容重的测定^[8]。根据内置环刀外径 (53.5 mm)和推样过程的稳定性,确定取土管内径*d*为 54 mm。

2.2 土样分离装置

2.2.1 推土机构

推土机构主要包括蜗轮蜗杆传动机构和与蜗轮蜗杆 传动机构连接为一体的丝杠螺母传动机构。转动推土手 轮,通过传动比为10的蜗轮蜗杆传动机构带动丝杠运动, 丝杠上设有轴向槽,使得丝杠在取土管内沿直线运动, 从而可有效保证试验质量。

2.2.2 切土机构

切土机构主要由切土支架、切土手轮、丝杠等组成。

切土机构通过切土支架和取土管支架之间的相向运动, 从而达到将推土机构从取土管内推出的环刀分离的目 的。

3 试验结果及分析

3.1 不同测定方法下的土壤容重

土壤类型为轻黏土,分别采用原状取土管法、分段 式原状取土管法和环刀法 3 种取土方法进行取土试 验^[9-12]。试验分别采用 3 种取土方法测定 0~5,5~10, 10~15,15~20,20~25,25~30,30~35,35~40, 40~45 和 45~50 cm 10 个土层的土壤容重。3 种测试方 法所用环刀尺寸相同(内径 5 cm,长 5 cm);分段式原 状取土管采用内径为 5.4 cm,长为 60 cm 的普通镀锌管, 内置内径为 5 cm 的环刀;原状取土管采用内径为 5 cm, 长为 50 cm 的普通镀锌管。

其中,原状取土管法和分段式原状取土管法重复取 样 6次,环刀法重复取样 3次。不同取样方法下测定的 0~ 50 cm 深度土层的平均土壤容重如表 2 所示。

表 2 3 种取土方法下 0~50 cm 深度土层土壤容重对比 Table 2 Comparison of bulk density from 0 to 50 cm soil depth with three sampling methods

		F U					
土层深度 /cm	土壤容重/g•cm ⁻³						
	环刀法	分段式原状取土管法	原状取土管法				
0~10	1.46 ± 0.02	1.28 ± 0.18	0.99 ± 0.17				
10~30	1.50 ± 0.03	1.47 ± 0.08	1.04 ± 0.16				
30~50	1.48 ± 0.02	1.51 ± 0.06	1.10 ± 0.22				

3.2 土壤容重的方差分析

3.2.1 分段式原状取土管法与环刀法测定土壤容重的 方差分析

分段式原状取土管法和环刀法条件下,土壤表层 (0~10 cm)、中层(10~30 cm)和下层(30~50 cm) 土壤容重的方差分析如表 3 所示。在显著性水平 P=0.05 下,表层土壤容重测定值的统计量 F=8.84>临界值 F_a=4.07,表明在土壤表层,二者所测定的土壤容重差异 显著。中层和下层土壤容重的统计量分别为 F=1.31 和 1.10,小于其在显著性水平 P=0.05 下的临界值 F_a=2.39 和 2.36,表明中层和下层土壤容重的分段式原状取土管 法测定值与环刀法测定值无显著差异。

表 3 分段式原状取土管法与环刀法测定土壤容重的方差分析 Table 3 Variance analysis of bulk density between multi-segment in situ soil sampler method and ring sampler method

in situ son sumpter method and ring sumpter method						
土层深度 /cm	方差来源	离差平方和	自由度	方差	统计量 F	临界值 Fa
	组间	0.097	3	0.0323	8.84	4.07
0~10	组内	0.029	14	0.0021	0.04	4.07
	组间	0.040	7	0.0057	1.21	2 20
10~30	组内	0.121	28	0.0043	1.51	2.39
	组间	0.016	7	0.0023	1.10	2.36
30~50	组内	0.059	28	0.0021	1.10	2.30

原因分析: 在分段式原状取土管法中, 锤击取土管 产生振动冲击,振动造成了表层土壤松散,破坏了土壤 原状度,其土壤容重相对于原状不扰动状态下的土壤容 重亦减小; 而振动冲击对中、下层土样影响较小,故分 段式原状取土管法与环刀法测定的中、下层土壤容重无 显著差异。

3.2.2 原状取土管法与环刀法测定土壤容重的方差分析 用原状取土管法和环刀法取土测定土壤表层(0~

10 cm)、中层(10~30 cm)和下层(30~50 cm)的土 壤容重,并对其进行方差分析(表 4),显著性分析 (*P*=0.05)表明:二者在表层、中层和下层测定的土壤 容重都存在显著差异。

在原状取土管法中,土样从取土管中推出造成土样 的压实,而且在土样分离过程中,土样易出现掉渣和掉 样现象,造成土壤原状度的破坏,因此原状取土管法和 环刀法测定的土壤容重差异显著。

表 4 原状取土管法与环刀法测定土壤容重的方差分析 Table 4 Variance analysis of bulk density between in situ soil sampler method and cutting ring method

土层深度/cm	方差来源	离差平方和	自由度	方差	统计量 F	临界值 Fa
	组间	0.868	3	0.289	21.02	2 40
0~10	组内	0.185	14	0.0132	21.95	5.49
	组间	1.733	7	0.247	20.07	2.36
10~30	组内	0.331	28	0.0118	20.97	2.50
	组间	1.192	7	0.170	۰ ۲۲ ۹	2.26
$30 \sim 50$	组内	0.544	28	0.0194	0.//	2.30

3.3 土样破损情况

土样破损情况(如表 5 所示)分析表明,分段式原状 取土管法与环刀法相似,可以有效地保证深层土壤(10~ 50 cm)的原状度。对于表层土壤(0~10 cm),分段式 原状取土管法的入土过程造成的各层土样压实最终反映 在表层土样中,且敲击破坏了表层土壤的原状度,使得 表层土样不能有效充满环刀,造成土样破损。原状取土 管法在取土样、分离土样、装入环刀等一系列过程中, 都造成了土样的破损,因而取土效果最差。

表 5 不同土层深度、不同取土方法下的土样破损情况比较 Table 5 Comparison of soil breaking in different depth with

different soil sampling methods						
土层深度 /cm	土样破损情况					
	环刀法	分段式原状取土管法	原状取土管法			
0~10	无破损	有破损	有破损			
10~30	无破损	无破损	有破损			
30~50	无破损	无破损	有破损			

注:无破损——土样恰好充满环刀;有破损——土样未充满环刀。

3.4 取土效率

分段式原状取土管法和原状取土管法不需挖掘剖面 坑便可以取得不同土层深度的土样,因此相对环刀法, 使用分段式原状取土器可以提高工效 4~8 倍(不包括劳 动强度的差别以及后期回填土坑的工时及劳动付出)。

4 结 论

1)试验结果表明:与环刀法土壤容重测定值相比, 分段式原状取土管法测定值在 10~50 cm 土层无显著性 差异,因此分段式原状取土器可代替环刀进行深层(10~ 50 cm)土壤容重的研究;与原状取土管法相比,分段式 原状取土管法所取土样破损率低。

2)试验表明,分段式原状取土管法较好地解决了环 刀法和原状取土管法存在的问题,并可减少作物生长期 取样对作物和土壤的破坏,同时可有效保证所取土样的 原状度,提高取土效率。

3)分段式原状取土器具有结构简单,操作方便等特 点,其作为一种高效、可靠的取土工具,具有较好的使 用价值。

[参考文献]

- 贾书刚,杨学明,王淑平,等.新型直压式手动原状土取 土钻设计、性能分析及其应用[J].水土保持研究,1995,
 (1): 61-62.
- [2] 贾书刚,杨学明,王淑平.新型直压式手动原状土取土钻的设计及应用[J].土壤学报,1995,(1):108-109.

- [3] Hicher P Y, Michali A. Identifying soil parameters by means of laboratory and in situ testing[J]. Computers and Geotechnics, 1996, 19(2): 153-170.
- [4] 谢贵明. 原状土样质量的影响因素和质量保证措施[J]. 有 色金属矿产与勘查, 1996, 5(3): 189-192.
- [5] 周维邦. 对取土器三个比率技术参数的商榷[J]. 探矿工程 (岩土钻掘工程), 1990, (6): 11-13.
- [6] 张力群. 取土器的合理选用与改进[J]. 探矿工程(岩土钻 掘工程), 2003, (3): 33-34.
- [7] 贾国英.水利水电工程地质勘察中取土器及取样方法的探 讨[J].电力学报,2003,18(4):317-319.
- [8] 姜安龙,高大钊.取土器直径对取样扰动的影响分析[J].工 程勘察,2002,(4):13-14,38.
- [9] 田 昆,莫剑锋,常风来,等. 原状取土管法与经典方法 测定山地土壤物理性质的比较研究[J]. 土壤通报,2007,38(2):225-227.
- [10] 田 昆,莫剑锋,常凤来,等. IN-SITU 原状取土管测 定山地退化土壤物理性质[J]. 山地学报, 2006, 24(4): 450 -457.
- [11] 葛雪康,叶正强.取土方法对土的物理力学指标的影响 [J]. 江苏建筑, 1999, (1): 39-41.
- [12] 姜安龙,张少钦,高大钊. 润扬大桥北锚碇取土质量的试验研究[J]. 南昌航空工业学院学报(自然科学版),2004,24(1):81-83,95.

Design of multi-segment in situ soil sampler testing bulk density

Zhou Xueqing, Li Hongwen^{**}, He Jin, Wang Qingjie, Zhang Xirui

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: To improve efficiency and veracity of soil sampling in testing bulk density, the cutting ring method and in situ soil tube method were combined and a multi-segment in situ soil sampler was designed. This soil sampler was composed of sampling device and sampler separation device. The results show that the method of multi-segment in situ soil tube can effectively guarantee undisturbed sampling soil and improve sampling efficiency by 400% \sim 800% compared with cutting ring method.

Key words: multi-segment in situ soil sampler; cutting ring; undisturbed soil; bulk density