

文章编号: 0258-7025(2010)Supplement 1-0317-07

三维激光扫描技术在粮仓储量检测中的应用

杨帆^{1,2,3} 张爱武^{1,2,3} 戴玉成^{1,2,3} 李凯^{1,2,3}

¹ 首都师范大学三维信息获取与应用教育部重点实验室, 北京 100048
² 首都师范大学空间信息技术教育部工程研究中心, 北京 100048
³ 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048

摘要 三维激光扫描技术是近十年迅速发展起来的新型遥感技术,它随着激光测距技术的出现应运而生。与传统的三维数据获取技术相比,三维激光扫描技术具有的最大优势是它的非接触式测量和面数据的快速获取。将三维激光扫描技术应用在粮食清查仓库中,目的是为了快速获得粮食表面的信息,据此计算粮食体积。研究了粮仓内粮食体积的计算原理,并分别以北京青云店粮库和中储粮涿州粮食储备库为例,重点阐述三维激光扫描技术在清查仓库中的应用方法,包括实地测量、后续数据处理和体积计算等。实验结果表明,用三维激光扫描技术测量粮食体积,速度快,精度高,有较强的实用性。

关键词 激光技术;粮食体积;扫描;点云数据

中图分类号 TN249;5379.3 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201037s1.0317

Application of Three-Dimensional Laser Scanning Technology in Granary Reserve Detection

Yang Fan^{1,2,3} Zhang Aiwu^{1,2,3} Dai Yucheng^{1,2,3} Li Kai^{1,2,3}

¹ Key Laboratory of 3D Information Acquisition and Application, Ministry of Education, Capital Normal University, Beijing 100048, China

² Engineering Research Center of Spatial Information Technology, Ministry of Education, Capital Normal University, Beijing 100048, China

³ College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China

Abstract 3D laser scanning technology is an active remote sensing technology with stable, fast and precise performance, and it can scan thousands of points to a point cloud of 3D data of the object and be operated at night. 3D laser scanning technology is used to make an inventory of warehouse, takes the horizontal bin of Beijing Qingyundian grain storage and the squat silo of Zhuozhou grain storage of China grain reserves corporation for examples, emphasizes the method of its application on this aspect, including the processing of situ measurement of 3D laser scanner, data processing and volume calculating. The results of the experiments show that the application of 3D laser scanning technology on surveying of grain volume has great practicality for its high accuracy and fast speed.

Key words laser technique; grain volume; scan; point cloud data

1 引 言

三维激光扫描技术是近十年迅速发展起来的新型遥感技术,全天候、实时、主动、快速、准确和直接

获取大范围地表及地物高密度三维数据,在一定程度上解决了城市规划、国土调查、数字森林、数字电力、数字交通、文物数字保护、应急减灾和矿产调查

收稿日期: 2010-04-27; **收到修改稿日期**: 2010-06-01

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2008BADA8B02-1)资助课题。

作者简介: 杨帆(1984—),男,硕士研究生,主要从事三维信息获取与处理及虚拟现实等方面的研究。

E-mail: yangfwyh@gmail.com

导师简介: 张爱武(1972—),女,博士,教授,主要从事三维信息获取与处理、计算机视觉与模式识别和虚拟现实等方面的研究。E-mail: zhangaw163@163.com

等应用领域的数据库需求^[1]。与传统的三维数据获取技术相比,三维激光扫描技术具有的最大优势是它的非接触式测量和面数据的快速获取。正因为如此,依托此技术的三维激光扫描仪可以对各种复杂的场景进行信息获取并进行模型重构,快速地输出各种点、线、面和体等各种制图数据^[2]。

我国是一个拥有十几亿人口的发展中大国,粮食安全始终是关系经济发展、社会稳定和国家安全的全局性重大战略问题。开展粮食清仓查库,摸清家底,是保障粮食安全的重要举措^[3]。具体来讲,要全面清查所有国有粮食企业储存的中央储备粮、地方储备粮、国家临时存储粮和国有企业的商品粮。通过实物清查、账实核对、质量扦样和检验,查清这部分粮食的品种、数量和质量情况^[4]。

在清查粮仓内的粮食时,先计算出粮食的体积,然后再根据测得的粮食密度来计算重量。传统的计算粮食体积方法,一种是根据粮仓内粮食堆积的形状,通过测量粮仓的长、宽或者直径,之后利用数学公式进行计算仓内粮食体积。在计算露天堆装粮食时,先将粮堆进行整形,人为地推成近似梯形,再进行人工丈量^[5]。这样计算出的结果误差较大,主要原因是由于测量长宽等参数时,保证的只是一点上的精度。传统的方法也费工费时。而本文的方法是用三维激光扫描仪对粮食进行扫描,保证的是面上的精度。与传统的工作手段相比,本文中的方法在保证精确度的同时,速度也快,节省时间。这对于清仓查库来说非常重要。

2 体积计算原理

这里所应用的三维激光扫描仪,是二维激光扫描仪和伺服马达的结合。二维激光扫描仪采用激光

测距技术,由精密伺服系统驱动激光光束快速地扫描过被测区域,来获取扫描路径上的一系列测量点的距离数据,最终得到被测对象的三维坐标。二维激光扫描仪的测距原理为飞行时间法,扫描仪记录并处理从激光脉冲发出到返回被接收所经历的时间,即可测得被测目标点和激光头之间的距离 R ^[6]。

在三维激光扫描仪工作时,仪器内部的棱镜通过快速的旋转,把激光头发射的一维激光转换为二维激光,与此同时,伺服马达也进行旋转,以获得第三维的信息。通过记录棱镜的旋转获得激光束与垂直方向的夹角 β ,伺服马达的旋转可以获得激光束与水平初始方向的夹角 α 以及测得距离 R ,三者相结合进行计算,就能得到被测点的三维坐标 (x, y, z) ^[7]。具体示意如图1所示。

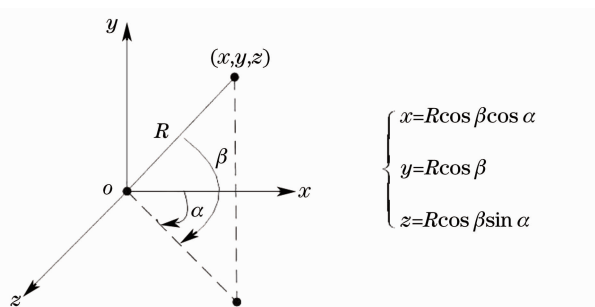


图1 三维激光扫描仪测量原理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of 3D laser scanner measuring principles

2.1 体积计算原理

粮仓一般都具有规则的形状,并且其内上部仓壁有一条明显的标识线或者建筑特征来表示该处距离仓底的高度,将这个高度所在的水平面称为“已知面”,记此高度为 H 。在计算粮食体积的时候分为两种情况。

第一种情况,如图2(a)所示,斜线部分代表粮食,

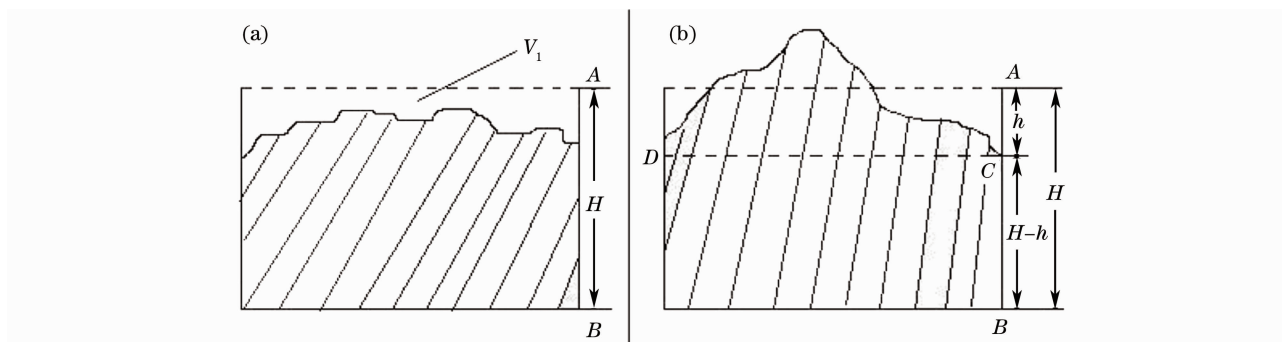


图2 粮食体积计算示意图。(a)粮食面低于已知面,(b)粮食面高于已知面

Fig. 2 Schematic diagram of grain volume calculation. (a) grain surface lower than known surface, (b) grain surface higher than known surface

其体积为所求的 V 。 A 所处水平面为“已知面”，上部的空白部分为 V_1 。如果粮食上表面最高处的高度小于 H ，那么需要计算粮食上表面到“已知面”之间的空间体积 V_1 ，高度为 H 的标准几何体的体积为 V_H ，那么仓内粮食的总体积的求解公式即为

$$V = V_H - V_1. \tag{1}$$

第二种情况，如图 2(b) 所示，斜线部分代表粮食，其体积为所求的 V 。 CD 所处的水平面即为“新已知面”， CD 之上的斜线部分体积为 V_1 ，下部为 V_{H-h} 。如果粮食上表面最高处的高度大于 H ，那么将“已知面”向下平移一段距离 h ，生成“新已知面”， h 等于粮面上的点到原“已知面”距离的最大值。这样，需要计算“新已知面”以上部分粮食的体积 V_1 ；“新已知面”以下，高度为 $H-h$ 的这一部分标准几何体的体积 V_{H-h} 这两个值，仓内粮食的总体积的求解公式即为

$$V = V_{H-h} + V_1. \tag{2}$$

2.2 根据点云计算体积

采用的根据点云计算体积的方法是三棱柱投影法，步骤如下：

- 1) 将点云数据三角化，生成三角网；
- 2) 设置投影基准面。一般为 2.1 节中提到的“已知面”或“新已知面”；
- 3) 将三角形投影到投影面上。投影之后，在投影面上会生成无缝连接的三角形网格。这些投影所得的三角形与原三角形一一对应，将其对应的顶点相连，形成多个小三棱柱；
- 4) 计算小三棱柱的体积并累加，得到点云到投影面之间空间的体积。首先计算投影得到的三角形的面积；然后以各三角形三顶点到投影平面间距的均值，作为三角形到投影平面的投影三棱柱的高。得到小三棱柱的体积后进行累加，得到原始点云数据和投影面之间的整个空间的体积。

3 粮食体积实测试验

3.1 三维激光扫描技术在粮仓储量检测应用中的工作流程

用三维激光扫描仪在粮仓内进行实地测量，以及后续数据处理的工作流程如图 3 所示。

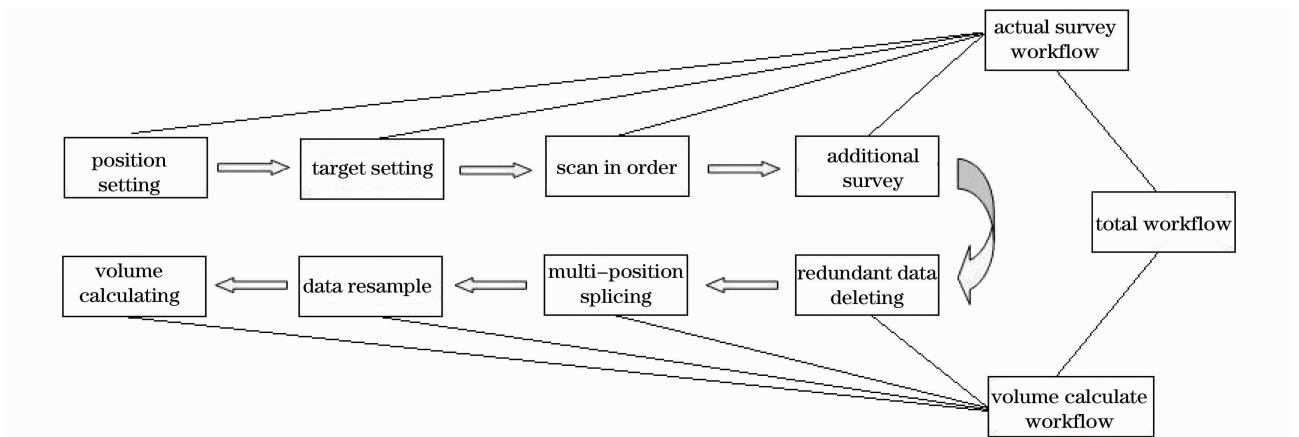


图 3 工作流程图

Fig. 3 Work flowchart

3.2 平房仓实测及数据处理

平房仓是一种比较常见的粮仓，它的大小约为

20 m×40 m，高度约为 8~9 m(图 4)。在平房仓内壁比较靠上的位置，有一圈颜色较为鲜明的线，叫做

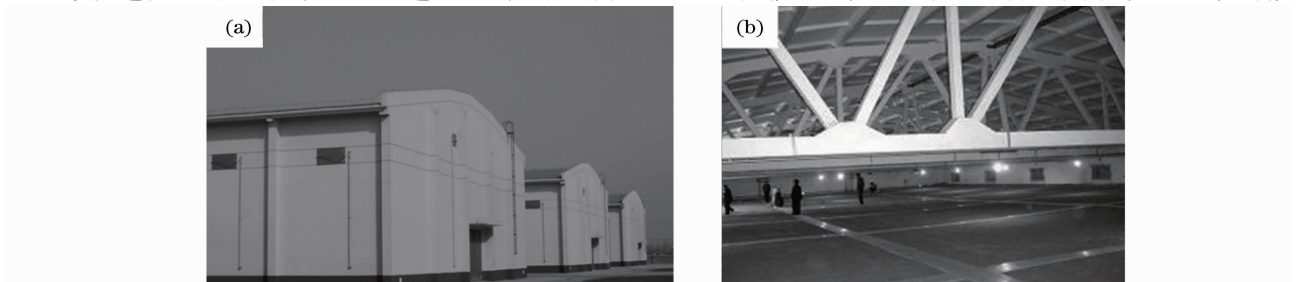


图 4 平房仓视图。(a)平房仓外部视图,(b)平房仓内部视图

Fig. 4 Pictures of horizontal bin. (a) outside picture, (b) inside picture

“装粮线”，高度为 6 m，在向仓内堆装粮食时，仓壁处的粮食不允许遮盖装粮线。

3.2.1 三维激光扫描仪实测平房仓内粮食体积的步骤

1) 站点与靶标的布设。在项目组有关人员的联系下，在北京青云店粮库进行了平房仓的粮食体积测量实验。为了在粮仓内部定位要首先贴上靶标，贴在装粮线上，在便于被识别的同时也方便了确定装粮线的位置。具体布设站点方式如图 5 所示。

2) 扫描。靶标全部贴好之后，开始用三维激光扫描仪进行扫描。扫描时要确保操作人员不要挡住三维激光扫描仪的视线。逐站扫描，直到全部完成。

3) 补测。将预先布设好的站点全部完成扫描后，获取的数据可能不够完整，或者数据质量不够

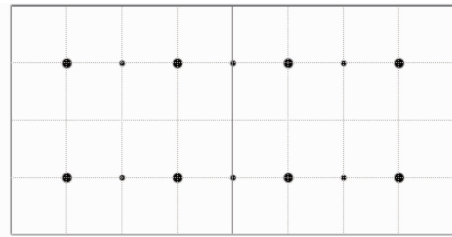


图 5 站点及靶标布设图

好。在扫描软件内对刚刚获得的点云数据进行观察，如果发现某些位置数据质量不够好，就重设几个站点针对这些位置进行扫描，以达到查漏补缺的目的。

通过上面三个主要步骤，平房仓实测过程完成，如图 6(a)所示。

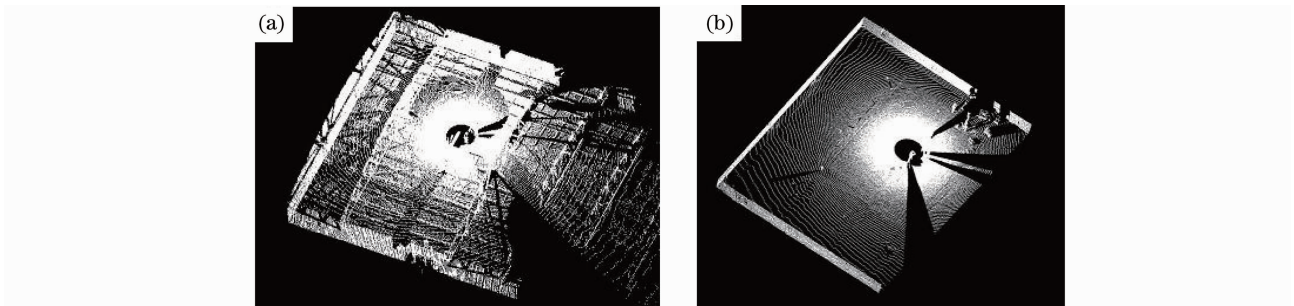


图 6 平房仓内部数据。(a)单站点原始数据,(b)处理后的数据

Fig. 6 Schematic diagram of data inside the horizontal bin. (a) raw data of single scanning position, (b) processed data of single scanning position

3.2.2 平房仓点云数据的后处理

1) 冗余数据的删除。在粮仓内获取的原始数据，有很大一部分是无用的，例如上部的天棚，以及侧面的一些遮挡物。而且，离扫描仪距离较远的粮面数据，因为点云比较稀疏，分辨率低，也要删除掉。但是要注意保留靶标点，以及一些对数据拼接时有用的数据，例如平房仓侧壁的交角处，如图 6(b)所示。

2) 多站点拼接。在两个站点数据的公共部分找到三个或三个以上的同名点，进行两个站点的数据拼接。通过多次拼接，即可获得平房仓内的整个粮食表面三维点云数据(图 7)。

3.3 浅圆仓实测及数据处理

浅圆仓是另一种比较常见的粮仓，它的主要部分是圆柱形，顶部为近似圆锥的形状。浅圆仓的直径约为 25~30 m，圆柱部分的高度为 20 m 左右，如图 8 所示。在向仓内堆装粮食时，粮食不高于浅圆仓圆柱部分的高度，但是仓内中间部分会较高。

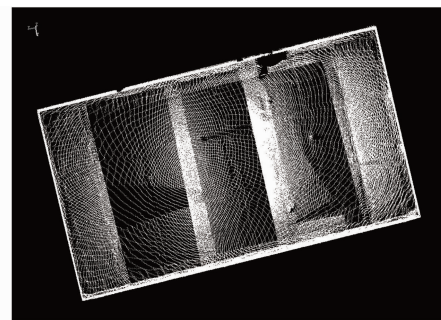


图 7 平房仓内粮食上表面拼接后的整体图

Fig. 7 Merged point cloud data of grain surface inside the horizontal bin

3.3.1 三维激光扫描仪实测浅圆仓内粮食体积的步骤

1) 站点与靶标的布设。本次实验在中储粮涿州直属库进行，对浅圆仓粮食体积进行了测量。浅圆仓内粮食的上表面除靠仓壁的一周，中部一般被工作人员处理成高 1 m 左右的圆台形状，如图 9 所

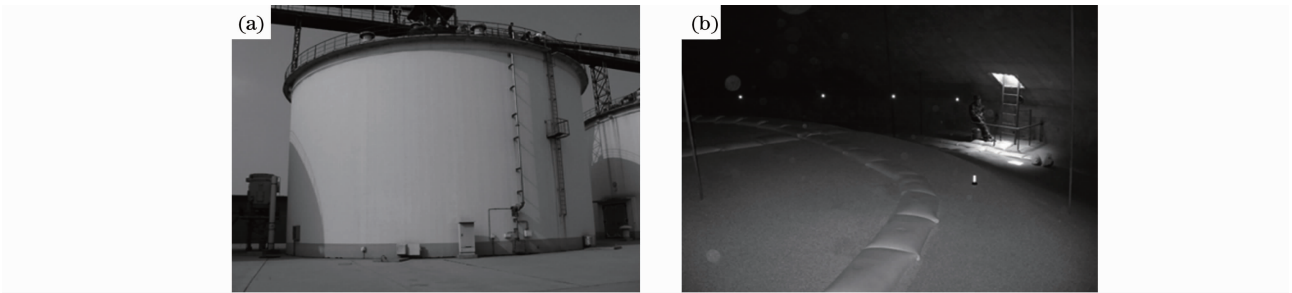


图 8 浅圆仓视图。(a)浅圆仓外部视图,(b)浅圆仓内部视图
Fig. 8 Schematic diagram of squat silo. (a) outside picture, (b) inside picture

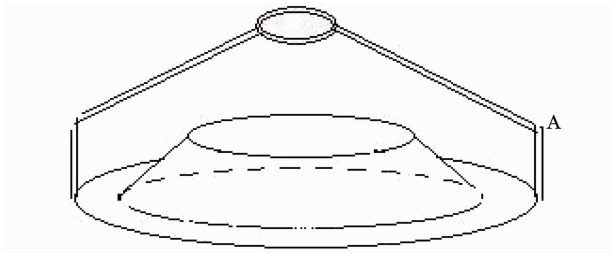


图 9 浅圆仓内部粮食顶面示意图
Fig. 9 Top of grain inside the squat silo

示。在靠仓壁一周布置七个站点,圆台上方布置两个站点,如图 10 所示。靶标贴在仓壁圆柱上部靠近仓顶的位置。

2) 扫描。按站点顺序完成实测。扫描过程与在平房仓内扫描的过程相同,在此不再赘述。

3) 补测。检查数据质量。如有质量差的情况则可以进行补测,保持数据的完整和高质量。

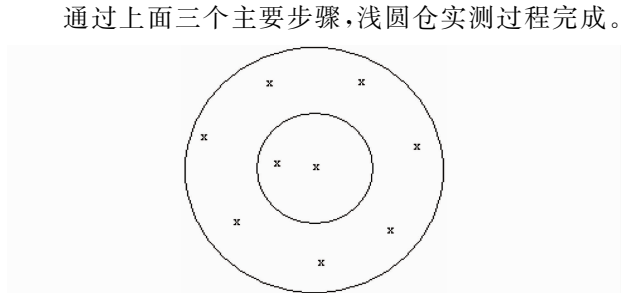


图 10 实测站点布置图
Fig. 10 Scan position of measuring

3.3.2 浅圆仓点云数据的后处理

1) 冗余数据的删除。本次实验数据中,浅圆仓内部原始数据如图 11(a)所示,浅圆仓内的仓顶、内部的一些遮挡物以及非常稀疏的点云都是冗余数据,需要删除;但是要保留靶标点,以及圆柱形仓壁的数据,如图 11(b)所示。

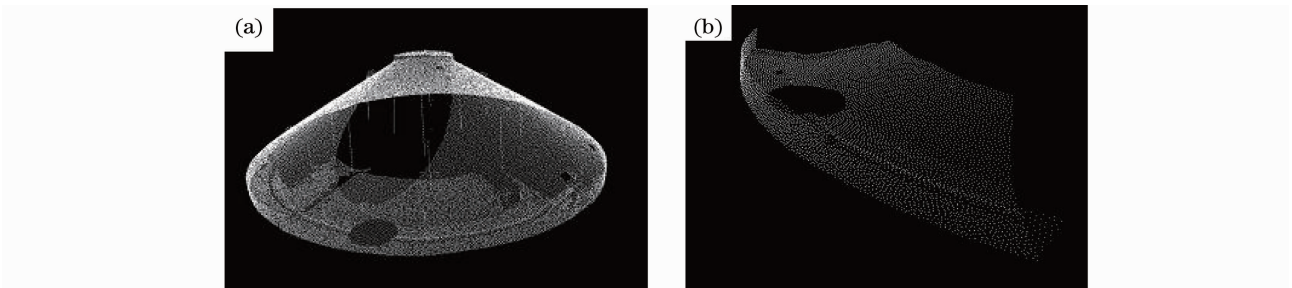


图 11 浅圆仓内部数据。(a)单站点原始数据,(b)处理后的数据
Fig. 11 Schematic diagram of data inside the squat silo. (a) raw data of single scanning position, (b) processed data of single scanning position

2) 多站点拼接。将冗余数据删除之后,根据同名点进行两个站点的数据拼接,所有站点拼接完成后,还需进行一下平差。最终获得浅圆仓内的整个粮食表面三维点云数据,如图 12 所示。

4 实验结果及分析

4.1 实验结果

4.1.1 平房仓体积计算结果

平房仓内粮食上表面最高点低于平房仓内的装

粮线高度 6 m,所以采用(1)式来计算此平房仓内粮食的体积。选择装粮线为投影基准面,粮食面的点云数据向投影基准面投影,计算出体积 V_1 ;然后计算以平房仓底为底、高为 6 m 的立方体的体积 V_H ,则最终平房仓内粮食的体积 $V=V_H - V_1$ 。由于选择基准面可能存在误差,所以选择了几次投影基准面进行了体积计算,得到的实验结果如表 1 所示。

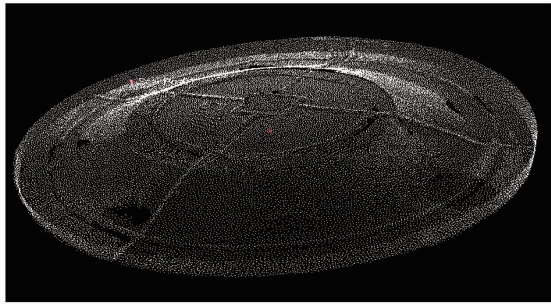


图 12 浅圆仓内部拼接之后的点云数据

Fig. 12 Merged point cloud data of grain surface inside the squat silo

表 1 平房仓粮食体积测量计算结果

Table 1 Results of calculated grain volume in horizontal bin

| V_H/m^3 | V_1/m^3 | V/m^3 |
|-----------|-----------|----------|
| | 222.528 | 6584.592 |
| | 226.228 | 6580.892 |
| | 223.799 | 6583.321 |
| | 218.352 | 6588.768 |
| 6807.12 | 221.930 | 6585.190 |
| | 223.089 | 6584.931 |
| | 224.878 | 6582.242 |
| | 219.833 | 6587.287 |
| | 224.173 | 6582.947 |

由表 1 中 9 个实验结果,最终实验结果取平均值 $V=6584.463\text{ m}^3$ 。

4.1.2 浅圆仓体积计算结果

浅圆仓内粮食上表面最高点高于浅圆仓内圆柱状侧壁的高度,所以采用(2)式来计算此平房仓内粮食的体积。仓壁圆柱上表面为“已知面”,下移 1.45 m,生成“新已知面”即投影基准面。先计算出高出投影基准面部分粮食的体积 V_1 ;然后计算以浅圆仓底为底、高为 $(H-1.45)\text{ m}$ 的圆柱体的体积 V_{H-h} ,则最终平房仓内粮食的体积 $V=V_{H-h}+V_1$ 。由于在本次实验中,浅圆仓的高度 H 没有拿到准确的数据,所以在计算体积的过程中,只计算出 V_1 ,并以 V_1 作为实验的最终结果进行误差分析。基于与平房仓相同的原因,仍旧选择了多次投影基准面进行体积计算,得到的实验结果如表 2 所示(其中 $V_{1,x}$ 代表第 X 次计算得到的 V_1 的值)。

表 2 浅圆仓内 V_1 部分粮食体积计算结果Table 2 Results of calculated grain volume in part V_1

| X | $V_{1,x}/m^3$ |
|-----|---------------|
| 1 | 474.467 |
| 2 | 476.405 |
| 3 | 471.667 |
| 4 | 473.024 |
| 5 | 477.582 |
| 6 | 472.095 |
| 7 | 473.520 |
| 8 | 476.587 |
| 9 | 471.326 |
| 10 | 473.690 |

由表 2 中 10 个实验结果,最终实验结果取平均值 $V_1=474.036\text{ m}^3$ 。

4.2 结果分析

通过表 1,2 中的数据可以看出,通过三维激光扫描仪测量,最终得到的粮食体积精确度较高:平房仓的体积在 6584 m^3 上下波动,最大的偏差小于 0.1%;浅圆仓的 V_1 部分的体积在 $471\sim 478\text{ m}^3$ 范围内波动,偏差小于 1%。与清仓查库的要求 $\pm 3\%$ 相比,已足够小。由于此次实验先于清仓查库,所以没有可以作为比较的真实数据。但是就实验数据本身来说,结果波动小,精度较高。

5 结 论

采用三维激光扫描仪对粮食体积进行了测量,测量中,无须进行过多的人工干预,外业测量约为 1 h,内业数据处理大约为 2 h,其数据质量、精确度比较高。可以看出,用三维激光扫描仪进行非接触式测量,速度快,效率高,数据好。

在三维激光扫描仪广泛应用的今天,将其应用在粮食储量方面在国内还尚属首次。下一步需要进行的工作主要是对体积计算结果的准确性进行验证,修正差异,使其尽可能地接近真实值。随着研究的进一步深入,三维激光扫描仪定能在粮食行业更好地发挥它的作用。

参 考 文 献

- Hu Shaoxing, Zhang Aiwu, Liu Haiyun *et al.*. Designing and developing a 360° continuous scanning portable 3D lidar system [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(s1): 168~171
- 胡少兴, 张爱武, 刘海云 等. 360°连续扫描的便携式三维激光雷达设计与开发[J]. *光学学报*, 2008, **28**(s1): 168~171

- 2 Ma Liguang. The Research of Terrestrial Laser Scanning Technology[D]. Wuhan: Wuhan University, 2005. 4
马立广. 地面三维激光扫描测量技术研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2005. 4
- 3 李克强. 开展粮食清仓查库是保障粮食安全的重要举措
<http://www.chinagrains.gov.cn/n16/n3615/n3676/n4289696/n4324553/4325075.html>
- 4 国家粮食局负责人解读我国粮食库存真实性
<http://news.xhby.net/system/2009/05/10/010500355.shtml>
- 5 Song Feng, Luo Ju. Application method of physical inventory of rice in bulk[J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2009, **5**(17): 58~60
宋锋, 罗菊. 散装稻谷实物清查方法的应用[J]. *粮油食品科技*, 2009, **5**(17): 58~60
- 6 Chen Yulin. Designing and Realization Research of Middle Range 3D Laser Scanner[D]. Beijing: Capital Normal University, 2008. 8~9
陈玉林. 快速中距离三维扫描仪设计和实现的研究[D]. 北京: 首都师范大学, 2008. 8~9
- 7 Oliver Wulf, Bernardo Wagner. Fast 3D scanning methods for laser measurement systems [C]. International Conference on Control Systems and Computer Science 14th, 2003, Bucharest