

# HDS3000 地面激光扫描仪测距加、乘常数检定研究

程效军<sup>1</sup> 官云兰<sup>1,2</sup> 胡敏捷<sup>3</sup> 施贵刚<sup>1</sup>

1. 同济大学 测量与国土信息工程系, 上海, 200092; 2. 东华理工大学 地测学院, 江西抚州, 344000; 3. 上海船舶研究设计院, 上海, 200032;

**摘要** 借鉴全站仪六段比较法与激光跟踪仪基准距离法, 测定地面激光扫描仪加、乘常数, 并用徕卡公司的 HDS3000 进行实验, 得到仪器的加、乘常数。通过验证, 说明此两种方法可以应用于地面激光扫描仪的测距检定中。

**关键词** 地面激光扫描仪; 加常数; 乘常数; 检定

中图分类号 P208

文献标志码 A

## Investigation into the Addition and Proportion Constants of Terrestrial Laser Scanner

Cheng Xiao-jun<sup>1</sup> Guan Yun-lan<sup>1,2</sup> Hu Minjie<sup>3</sup> Shi Gui-gang<sup>1</sup>

1. Department of Surveying and Geoinformatics, Tongji University, Shanghai, 200092, China; 2. Geosciences & Surveying and Mapping school, East China Institute of Technology, Fuzhou, Jiangxi, 344000, China; 3. Shanghai Merchant Ship Design and Research Institute, Shanghai 200032

**Abstract:** According to the calibration principles of total station and laser tracker, two schemes on determining addition constant and proportion constant for terrestrial laser scanner were proposed. Taking HDS 3000 as an experiment object, we got its addition and proportion constants. Experiments show that the schemes are applicable to range calibration of terrestrial laser scanner.

**Keywords:** terrestrial laser scanner, addition constant, proportion constant, calibration

### 1. 引言

地面激光扫描仪是近年来引起测绘界关注的一种新型仪器, 能够快速获取研究对象表面大量点的三维坐标, 即点云。它将传统的点测量方式转变立体测量方式, 具有速度快、操作方便、可全天候作业等优点。与传统仪器一样, 其测量成果的精度是测绘工作者首要考虑的问题。

目前, 国外学者针对不同型号地面激光扫描系统的精度作了很多研究, 如距离、物体表面性能(色彩、材质、粗糙度等)、外界环境因素等对测距精度的影响等[1][2][3][4], 但关于扫描仪测距加、乘常数检测研究还较少。本文借鉴全站仪和激光跟踪仪距离校准方法, 设计地面激光扫描系统的加、乘常数检测方案, 并对徕卡公司 HDS3000 仪器进行了检校。

#### 1.1 地面激光扫描系统 HDS3000 简介

HDS3000 由徕卡公司生产, 主要由激光测距单元、角度偏转单元、控制系统和附件构成, 其外形如图 1 所示。激光测距系统用于确定扫描仪至扫描点的距离, 角度偏转单元用于改变激光束的水平方位与垂直方位, 控制系统由计算机及 cyclone 软件组成, 用于获取点云数据, 并进行后续数据处理, 附件则包括电池、脚架、运输箱等。表 1 列出了该仪器的主要技术参数。HDS3000 为全景式扫描仪, 水平扫描范围为 360 度, 垂直扫描范围 270 度, 仪器采用基于飞行时间的脉冲式(pulsed time-of-flight)激光测距, 在反射率为 90%时, 最大测程可达 300。



图 1 地面激光扫描系统 HDS3000

表 1 HDS3000 的技术指标

| 技术指标项目                         |               | 指标值               |
|--------------------------------|---------------|-------------------|
| 测距范围                           |               | 300m（90%反射率），134m |
|                                |               | （18%反射率）          |
| 激光                             |               | 绿色，3R 级           |
| 扫描范围                           | 水平            | 360°              |
|                                | 垂直            | 270°              |
| 扫描速度                           |               | 4000 点/秒          |
| 激光光斑                           |               | <6mm @ 50 米       |
| 最小采样密度                         |               | 1.2mm             |
| 行扫描点数                          |               | 20000             |
| 列扫描点数                          |               | 5000              |
| 单<br>点<br>精<br>度<br><br>(50 米) | 点位            | ±6mm              |
|                                | 距离            | ±4mm              |
|                                | 角度            | ±12″              |
|                                | 形成模型表面<br>的精度 | ±2mm              |
|                                |               |                   |

2 测距加、乘常数检定方案

2.1 六段比较法

在同一条基线上设七个点，分别命名为 1，2，…，7。如图 2 所示。

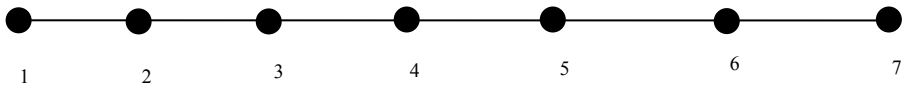


图 2 六段比较法

按全组合法分别用全站仪和扫描仪测量 21 段距离，将全站仪测得的距离值  $\overline{D}_i(i = 1, 2, \cdots 21)$  作为基准值，可列出如下方程：

$$\overline{D}_i = (D_i + v_i) + k + m \cdot D_i \tag{1}$$

其中  $k$  为加常数,  $m$  为乘常数,  $D_i$  为扫描仪获取的距离,  $v_i$  为改正数。

根据 (1) 式列出误差方程式

$$v_i = -k - m \cdot D_i - (D_i - \overline{D_i}) \quad (2)$$

令

$$L_i = D_i - \overline{D_i}$$

总的误差方程式为:

$$V = B \cdot x - L$$

$\begin{matrix} 21 \times 1 & 21 \times 2 & 2 \times 1 & 21 \times 1 \end{matrix}$

其中

$$x = (k \quad m)^T$$

根据间接平差原理, 解算出加常数及乘常数。

$$x = (B^T B)^{-1} (B^T L) \quad (3)$$

测距精度为:

$$\sigma_0 = \pm \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n-2}} \quad (4)$$

## 2.2 基准距离法

借用激光跟踪仪基准距离校准方法的思路<sup>[5]</sup>, 设计了第二种激光扫描仪加、乘常数检校方案, 称其为基准距离法, 如图 3 所示。

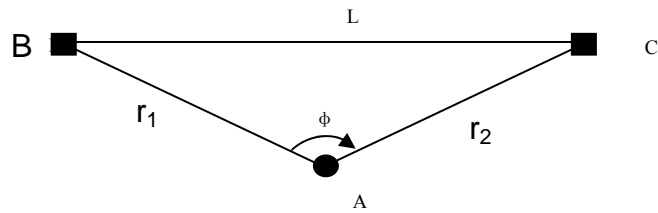


图 3 基准距离法

在 B、C 处安置平面标靶 (靶心作为 B、C 点的位置), 精确测出 BC 两点间的距离  $L$ ; 将高精度全站仪架设在 A 点, 测出 BAC 角度值  $\phi$ 。将扫描仪架设在 A 点, 采用高分辨率对平面标靶扫描, 提取靶心 B、C 坐标后, 计算得到 AB、AC 距离  $r_1, r_2$ 。根据余弦定理有:

$$\overline{r_1}^2 + \overline{r_2}^2 - 2 \cdot \overline{r_1} \cdot \overline{r_2} \cdot \cos \phi = L^2 \quad (5)$$

设扫描仪的测距加、乘常数分别用  $k, m$  表示, 则有

$$\overline{r_1} = r_1 + v_{r1} + k + m \cdot r_1 \quad (6)$$

$$\overline{r_2} = r_2 + v_{r2} + k + m \cdot r_2$$

将 (6) 代入 (5) 中, 有

$$(r_1 + v_{r1} + k + m \cdot r_1)^2 + (r_2 + v_{r2} + k + m \cdot r_2)^2 - 2 \cdot (r_1 + v_{r1} + k + m \cdot r_1) \cdot (r_2 + v_{r2} + k + m \cdot r_2) \cdot \cos \phi = L^2$$

将上式线性化, 写成如下形式

$$A_1 v_1 + B_1 x - w_1 = 0 \quad (7)$$

其中

$$v_1 = (v_{r1}, v_{r2})^T \quad x = (dk, dm)^T \quad w_1 = L^2 - L_1^{02}$$

$$L_1^{02} = (r_1 + k^0 + m^0 \cdot r_1)^2 + (r_2 + k^0 + m^0 \cdot r_2)^2 - 2 \cdot (r_1 + k^0 + m^0 \cdot r_1) \cdot (r_2 + k^0 + m^0 \cdot r_2) \cdot \cos \phi$$

当将扫描仪移动至其它  $n$  个点上，同样对 B、C 进行扫描，则可列出类似的  $n$  个方程，总的方程式为：

$$\underset{n \times 2n}{A} \underset{2n \times 1}{V} + \underset{n \times 2}{B} \underset{2 \times 1}{x} - \underset{n \times 1}{w} = 0$$

利用附有未知参数的条件平差，即可解算出加、乘常数。

$$Nbb = B'(AA')^{-1}B$$

$$f = B'(AA')^{-1}w$$

$$x = (Nbb)^{-1}f$$

$$V = A^T(AA^T)^{-1}(w - Bx)$$

$$\text{测距精度为: } \sigma_0 = \pm \sqrt{\frac{\sum_i v_i^2}{n-2}} \quad (9)$$

### 3 实验及结果分析

#### 3.1 六段法实验及结果

按六段法原理布设实验场地进行实验，实验中采用索佳 NET1200 全站仪及徕卡 HDS3000 激光扫描仪。图 4 为实验场景图，图 5 为试验用的徕卡平面标靶及获取的点云图。



图 4 实验场景图

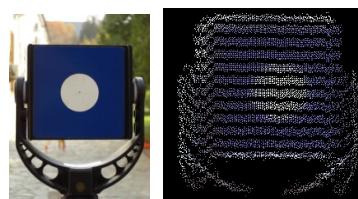


图 5 徕卡旋转平面标靶及其点云图

由于徕卡旋转平面标靶中心有直径约 2mm 的强反射材料，其反射率比周围的大，因此平面标靶中心坐标的获取是将反射率大于阈值的全部点云坐标取平均。具体方法是先人工设定阈值，根据阈值筛选出靶心点云，将筛选后的点坐标取均值，即为靶心坐标。图 6 是阈值筛选后的平面标靶点云图。红色部分为标靶中心的点云数据，将其取平均即得到靶心坐标。表 2 为所测数据。

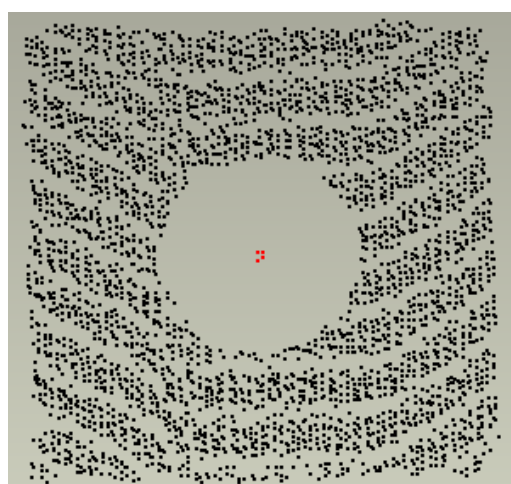


图 6 过滤后的平面标靶点云

表 2 全站仪及扫描仪数据

单位：米

| 测站 | 目标点 | 扫描平距    | 实测距离    | 差值      |
|----|-----|---------|---------|---------|
| 1  | 2   | 4.9989  | 5.0009  | -0.0020 |
|    | 3   | 9.9984  | 10.0019 | -0.0035 |
|    | 4   | 19.9968 | 20.0004 | -0.0036 |
|    | 5   | 29.9983 | 30.0035 | -0.0052 |
|    | 6   | 39.9976 | 40.0010 | -0.0034 |
|    | 7   | 54.9979 | 55.0014 | -0.0035 |
|    | 3   | 4.9999  | 5.0035  | -0.0036 |
| 2  | 4   | 14.9991 | 15.0012 | -0.0021 |
|    | 5   | 25.0006 | 25.0050 | -0.0044 |
|    | 6   | 34.9993 | 35.0018 | -0.0025 |
|    | 7   | 50.0012 | 50.0036 | -0.0024 |
|    | 4   | 9.9977  | 10.0023 | -0.0046 |
|    | 5   | 19.9992 | 20.0028 | -0.0036 |
|    | 6   | 29.9988 | 30.0025 | -0.0037 |
| 3  | 7   | 44.9983 | 45.0014 | -0.0031 |
|    | 5   | 9.9873  | 9.9928  | -0.0055 |
|    | 6   | 19.9861 | 19.9921 | -0.0060 |
|    | 7   | 34.9879 | 34.9911 | -0.0032 |
|    | 6   | 9.9882  | 9.9912  | -0.0030 |
|    | 7   | 24.9852 | 24.9909 | -0.0057 |
|    | 7   | 14.9855 | 14.9905 | -0.0050 |

根据表 2 及公式 (2) (3)，解算出加、乘常数为：

$$k = 4.1388mm \quad m = -1.414e - 005$$

测距精度：

$$\sigma_0 = \pm 1.1833mm$$

### 3.2 基准距离法实验及结果

在三个不同位置处设站，分别用索佳 NET1200 全站仪测出三个位置处的角度值，并分别用徕卡 HDS3000 扫描仪对平面标靶进行扫描，表 3 为全站仪实测数据，表 4 为扫描仪获取的距离。实验中，为了确保扫描仪精确整平，每个测站上，全站仪测量结束后，保持脚架及基座不动，将扫描仪直接架在基座上。

表 3 全站仪实测值

| 站数 | 水平角 $\Phi$ (° ' ") | BC 长度 L (m) |
|----|--------------------|-------------|
| 1  | 67 49 03           |             |
| 2  | 86 43 18           | 20.0680     |
| 3  | 116 40 22          |             |

表 4 扫描仪获取的距离值

| 站数 | 编号 | 距离      |
|----|----|---------|
| 1  | AB | 18.0039 |
|    | AC | 17.9609 |
| 2  | AB | 14.8698 |
|    | AC | 14.3449 |
| 3  | AB | 11.6231 |
|    | AC | 11.9464 |

根据表 3、表 4 及公式 (8) (9)，解算出加、乘常数为

$$k = 3.6774\text{mm} \quad m = 1.4719\text{e-}005$$

测距精度：

$$\sigma_0 = \pm 0.61295\text{mm}$$

### 3.3 结果验证

为了验证计算出的加、乘常数值，在室内任意放置了三个徕卡平面标靶，分别在同一站点用索佳 NET1200 全站仪、徕卡 HDS3000 扫描仪获取点到各平面标靶的水平距离，见表 5。然后利用两种方案求出的加、乘常数对距离进行改正。结果见表 6 及表 7。

表 5 观测距离值 单位：米

| 目标   | 扫描平距   | 实测平距   | 距离差     |
|------|--------|--------|---------|
| 平面 1 | 3.9553 | 3.9592 | -0.0039 |
| 平面 2 | 1.7426 | 1.7462 | -0.0036 |
| 平面 3 | 1.9960 | 1.9988 | -0.0028 |

表 6 六段法结果 单位：米

| 目标   | 改正后距离  | 实测平距   | 距离差    |
|------|--------|--------|--------|
| 平面 1 | 3.9594 | 3.9592 | 0.0002 |
| 平面 2 | 1.7467 | 1.7462 | 0.0005 |
| 平面 3 | 2.0001 | 1.9988 | 0.0013 |

表 7 基准距离法结果 单位：米

| 目标   | 改正后距离  | 实测平距   | 距离差     |
|------|--------|--------|---------|
| 平面 1 | 3.9590 | 3.9592 | -0.0002 |
| 平面 2 | 1.7463 | 1.7462 | -0.0001 |
| 平面 3 | 1.9997 | 1.9988 | -0.0009 |

从以上两表可以看出，未进行测距加、乘常改正前，扫描距离与实测距离相差在毫米级，而经过改正后，距离差减小，基本在亚毫米级。由此可见，经过加、乘常数改正，测距精度有了明显提高。

## 4 结语

借鉴全站仪与激光跟踪仪的检校方法，对地面激光扫描仪 HDS3000 的加、乘常数进行了检测。两种方案得出的结果有些差异，原因可能有以下原因，一是由于测程过短，不能很好地测定乘常数；二是标靶靶心的定位精度不是太高，从而影响了扫描距离值的确定。但从结果看，在 60 米范围内，HDS3000 的加常数基本在 4mm 左右。本文实验是在 60 米以内实施的，求出的加、乘常数是否适合于更长距离的改正，有待于进一步验证。此外，从实验中可以看出，扫描仪测得距离值比全站仪的测距值要短。

由于地面激光扫描仪问世较晚，结构复杂，它与常规的测绘仪器如全站仪和经纬仪等有着显著的差别，现有测绘仪器检定方法是否可以用来检定地面激光扫描仪，仍需要进一步的研究。

## 参考文献

- [1]Thomas P. Kersten, Harald Sternberg, Klaus Mechelke, Investigation into the accuracy behaviour of the terrestrial laser scanning system Mensi GS100, 7th Conference on Optical 3D Measurement Techniques, Vienna, Oct. 3-5, 2005
- [2]Wolfgang Boehler, Andreas Marbs, Investigating Laser Scanner Accuracy, CIPA Symposium, Turkey; October 2003
- [3]Geraldine S. Cheok, Stefan Leigh, Andrew Rukhin, Calibration Experiments of a Laser Scanner, NISTIR 6922,2002, September 2002
- [4]Thorsten SCHULZ, Hilmar INGENSAND, Terrestrial Laser Scanning - Investigations and Applications for High Precision Scanning, In proceedings of FIG Working Week 2004,Athens, Greece, May 22-27, 2004
- [5]李广云, LTD500 激光跟踪测量系统原理及应用, 测绘工程, 2001, 10 (4) : 3-6

**基金项目：**国防科工委国防科技工业“十一五”技术基础科研项目“激光扫描法大曲面体和容量计量新技术研究”（编号：60311303），江西省教育厅科技项目（赣教技字[2007]237号）

**作者简介：**程效军（1964-），男，同济大学土木工程学院测量与国土信息工程系教授，博士生导师，工学博士，主要从事数字近景摄影测量与精密工程测量方面的教学与研究。

E-mail: cxj@mail.tongji.edu.cn

地址：上海四平路 1239 号同济大学测量与国土信息工程系，邮编：200092