

林区测量中全站仪无棱镜测距精度研究

苏英樟, 徐文兵, 张果丽, 马灿灿, 梁 丹, 方涯盼

(浙江农林大学 环境与资源学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 全站仪无棱镜测距便捷高效, 多用于建筑测量领域, 林区测量应用较少。利用索佳 SET1X 全站仪以不同树种和不同墙面为观测目标, 通过试验研究不同树种、不同材质的墙面、不同距离以及不同入射角度对无棱镜测距精度的影响, 探讨无棱镜测距在林区测量中应用的可行性。试验表明: 不同因子对无棱镜测距精度的影响如下: ①不同材质的墙面, 影响不明显; ②不同树种因树皮粗糙程度的差异对精度影响较大, 测距 20 m 时误差最大值达到 2.769 mm; ③被测物体表面颜色有影响, 颜色越深, 影响越大, 测距 20 m 时误差接近 1.000 mm; ④距离影响其反射信号的稳定性, 测距误差与距离成正相关, 测距 100 m 时误差可达到 5.000 mm; ⑤入射角度不宜过大, 测距 20 m, 入射角 20°以上时误差接近 2.000 mm; ⑥测距树皮粗糙的树种时, 增加随机瞄准点的观测次数, 以提高测距精度。图 2 表 6 参 17

关键词: 森林测计学; 全站仪; 无棱镜测距; 测距精度

中图分类号: S758.7

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2015)03-0376-08

Range precision in forestry with Reflectorless Total Station

SU Yingzhang, XU Wenbing, ZHANG Guoli, MA Cancan, LIANG Dan, FANG Yapan

(School of Environmental & Resource Sciences, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: The Reflectorless Total Station, a convenient and efficient instrument for distance measurement used more in construction surveying than in forestry, was employed to determine the influence of different factors, such as trees, walls, distance, and angle of incidence, on precision distance measurements in forestry and to determine its feasibility for use with forest surveys, a Reflectorless Total Station (SOKKIA SET1X Total Station) with trees and walls as survey targets was tested. Experimental results on precision of distance measurements showed that (1) the material quality of a wall had little effect, its error is about 0.5 mm; whereas, (2) different tree species has varying degrees of bark roughness, it had the most influence to precision distance. For example, maximum error reached 2.769 mm with a measuring distance of 20 m. (3) Surface color of the target object revealed that the darker the color the greater the influence with 1 mm of error for a 20 m distance. (4) The stability of reflected signals had an error proportional to the distance with close to 5 mm measurement error for 100 m. (5) When the angle of incidence was over 20°, at 20 m the error was close to 2 mm. (6) for target trees with rough bark, randomly selected target points should be obtained to improve the precision of the distance measurement. [Ch, 2 fig. 6 tab. 17 ref.]

Key words: forest mensuration; total station; measuring distance by reflectorless; range precision

无反射棱镜全站仪是指不需要棱镜作为合作目标即可进行测距的全站仪, 是传统全站仪结合无反射棱镜测距技术, 具有普通全站仪所不可替代的优点^[1]。生产实践活动中, 如地籍测量、桥梁隧道测量

收稿日期: 2014-08-28; 修回日期: 2014-11-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31170595, 41371411, 41401528); 浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室开放基金项目(KFJJ2012004); 浙江农林大学大学生科技创新项目(100310)

作者简介: 苏英樟, 从事工程测绘等研究。E-mail: Suyz93@163.com。通信作者: 徐文兵, 副教授, 从事工程测绘、全球卫星定位导航等研究。E-mail: xuwb97@163.com

等,很多情况下,用户难以在目标点上设置合作目标物(如棱镜或反射片),此时选择免棱镜测距模式,即可在仪器标定的范围内进行测距^[2]。由于无反射棱镜全站仪不需要合作目标就可以测得该点的坐标及距离,减轻了作业员的工作量,降低了作业强度和危险性,且测距速度快,从而提高了工作效率^[3]。现有研究文献表明:被测目标的材质、颜色、距离、透明程度、激光入射角以及被测物体附近有无遮挡物等因素对无棱镜测距精度有不同程度的影响。无反射棱镜全站仪测角精度与观测目标无关,而测距精度与照准目标密切相关,包括不同颜色的反射目标对测程和测距精度的影响^[4]。当物体表面有较强的反射能力且信号稳定时,物体的表面粗糙程度对测距影响不明显;除很深颜色(如黑色)外,材料颜色对测距精度的影响不明显,但颜色越浅,物体的反射信号越强,对测距越有利^[5];距离远近对测距精度影响较明显,随着距离增加,精度降低;无棱镜模式对透明物体进行测距时,大多得不到准确的距离值。鉴于诸多因素对无棱镜测距精度的影响,在使用时,被测目标附近不应有带色的光或反射物,测量光亮或潮湿的表面、边缘、拐角要考虑到激光点的尺寸、瞄准位置、瞄准角度等因素^[6]。目前,无棱镜测距精度的研究主要集中于建筑测量领域,虽然三维激光扫描仪在林区测量中有所应用,但无棱镜全站仪的野外工作环境要求和造价都远低于三维激光扫描仪^[7]。随着精准林业的发展和相关学术研究等都对林业调查手段提出更高的要求^[8],研究无棱镜测距在林区测量中应用的可行性,有很好的现实意义。本研究利用索佳 SET1X 全站仪,以不同树种和不同墙面为观测目标,研究不同树种、不同材质的墙面、不同距离对无棱镜测距精度的影响,促进林区测量工作向高效化、便捷化、精准化方向发展。

1 仪器设备与无棱镜测距原理

1.1 索佳 SET1X 全站仪的性能特点

索佳 SET1X 全站仪是电脑型全站仪,测角精度为 $\pm 1''$;反射片模式的测程为 1.3~500.0 m,精测精度为 $\pm(3 + 2 \times 10^{-6} \cdot D)$ mm(D 为距离,km);而无棱镜模式,测程为 0.3~500.0 m(白色面,90%反射率)和 0.3~250.0 m(灰色面,18%反射率),在 0.3~200.0 m,测距精度分别为 $\pm(3 + 2 \times 10^{-6} \cdot D)$ mm。

1.2 无棱镜测距原理

无反射棱镜测距时,入射光到达被测物体,沿各个方向反射,形成漫反射,回光部分为被测物体的反射部分,部分反射光被测距仪的接收元件接收,从而实现测距^[9]。测距原理有脉冲法和相位法 2 种,脉冲法以计数脉冲信号发射和接收之间脉冲个数来测量距离,多次测量求得平均距离^[10]。相位法是使用连续信号,以不同的频率来调制基本信号,测出发射和接收信号之间的相位差,从而求得被测距离^[11]。索佳 SET1X 全站仪无棱镜测距是利用红色激光二极管、调制激光相位比较法测距。在全站仪的测距头中,安装 2 个光路同轴的发射管,分别是测量反射镜或反射片的红外激光发射管和无反射棱镜的红色激光发射管,红色激光发射管发射稳定不可见的红色激光,利用发射的调制光与被测目标反射的接收光之间光强的相位差来实现测距^[12]。

2 研究方法

2.1 试验方案

在林区测量中,观测目标主要是各种树木和建筑物。无棱镜测距时,不同树种、建筑物墙面、距离及入射角度等多种因子将影响测距精度。为了探索不同因子对无棱镜测距的影响,本研究在约束其他因子相同的情况下,通过试验分析某个因子的影响程度。

2.1.1 不同树种 林业测量中树木定位是常规观测任务,不同树种的树皮颜色和粗糙程度各不相同,如表 1 所示。为检验不同树种对测距精度的影响,选择天气条件优良(晴天,无风,气温 25℃左右)、视线通视条件好的外界环境下,对樟树 *Cinnamomum camphora* 和银杏 *Ginkgo biloba* 等 10 个树种进行测距。观测方法是:先量取树木胸径(树干基部离地面 1.3 m),贴上反射片,距离观测目标大约 20 m 架设仪器,全站仪在反射片模式下进行测距 6 次,求其平均值作为参考值;再保持仪器测距光轴方向不变,去除反射片,采用无棱镜测距模式,瞄准树皮测距 30 次。试验注意事项:全站仪望远镜与反射片大致等高,削弱光线入射角对测距结果的影响;由于某些树皮裂纹较多,测距过程中应重复上下微调十字丝高度,以模拟无棱镜瞄准树皮位置的随机性;测距成果是平距,可忽略瞄准点高度微小差异的影响。

表 1 不同树种的树皮表面特征

Table 1 Bark's surface characteristics of different tree species

树种	树皮表面特征	树种	树皮表面特征
樟树 <i>Cinnamomum camphora</i>	深灰褐色，深沟纵裂纹	青桐 <i>Firmiana simplex</i>	青绿色，平滑
红花刺槐 <i>Robinia hispida</i>	暗色，纹裂多	响叶杨 <i>Populus adenopoda</i>	深灰色，纵裂
苦槠 <i>Castanopsis sclerophylla</i>	暗灰色，纵裂	竹柏 <i>Podocarpus nagi</i>	褐色，平滑，薄片状脱落
柳树 <i>Salix</i> sp.	褐色，纵裂	玉兰 <i>Magnolia denudata</i>	灰白带青色，平滑少裂
银杏 <i>Ginkgo biloba</i>	浅灰褐色，不规则纵裂	香花槐 <i>Robinia pseudoacacia</i> 'Idaho'	灰色，有纹裂

2.1.2 不同材质墙面 同等观测条件下，对白色涂料外墙、白色光滑涂料墙、棕褐色瓷砖墙、白色塑料墙、银灰色金属墙、花岗岩墙、白色铁皮墙等 7 种墙面进行测距。观测方法同 2.1.1 所述。

2.1.3 不同距离 同等观测条件下，对樟树、银杏、白色铁皮墙、淡粉色涂料外墙等进行不同距离测距，距离分别为 20 m 左右，40 m 左右，60 m 左右，80 m 左右，100 m 左右。观测方法同 2.1.1 所述。

2.1.4 不同颜色 为了测试不同颜色对测距精度的影响，同等观测条件，选取材质大致相同的白色、淡粉色、淡蓝色、粉色、土灰色、灰黑色、深粉色粉刷墙等 7 种不同颜色的涂料外墙进行测距。观测方法同 2.1.1 所述。

2.1.5 不同入射角度 研究入射角度对测距精度的影响程度，本试验选择 2 种距离的观测方案。一是观测距离约为 8 m，入射角分别设置为 0° ， $\pm 4^\circ$ ， $\pm 8^\circ$ ， $\pm 12^\circ$ ， $\pm 16^\circ$ 和 $\pm 20^\circ$ 。试验过程中，先设置入射角，逐个入射角进行试验。另一观测距离约 20 m，入射角分别设置为 0° ， 10° ， 21° 和 31° 。观测方法同 2.1.1 所述。

2.2 数据处理

利用下列数据分析方法，探讨无棱镜测距与相关因子之间的关系。①根据概率统计和测量平差的理论，观测值均方误差虽不反映观测值的精度，但可以很好地反映观测值的离散程度，即测量数据的内部精度^[13]，亦即内符合精度。计算公式为：

$$r = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1)$$

式(1)中： x_i 为第 i 次无棱镜观测值； $\bar{x}$ 为无棱镜测量值的平均值； n 为测量次数。②外符合精度是衡量观测精度的一种数字标准，在相同观测条件下的一组真误差平方中数的平方根。外符合精度不是真误差，是一组真误差的代表值。本试验以反射片观测值作为参考值，代替真值。外符合精度的大小反映了该组观测值的可靠性，其计算公式为^[14]：

$$\alpha = \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \cdots + \Delta_n^2}{n}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n}} \quad (i=1, 2, 3, \cdots, 30) \quad (2)$$

式(2)中： Δ_i 是无棱镜观测值与反射片观测值之差； n 是观测次数。③在 Excel 中，绘制出各观测目标在不同距离下测距的内符合精度、外符合精度与距离之间的关系图，探讨全站仪无棱镜测距误差与距离之间存在的关系。假设测距误差与距离之间服从一元线性关系，分别对 4 种不同材质的测距结果作一元线性回归分析。设测距误差与距离的线性方程式为：

$$\Delta = \alpha + \beta D + \varepsilon \quad (3)$$

式(3)中： Δ 为测距误差值； α 为加常数； β 为乘常数； D 为距离值； ε 表示随机误差，假定 ε 服从正态分布 $N(0, \sigma^2)$ ，其中 σ^2 表示误差的大小。

将观测值误差和对应距离代入式(3)，进行拟合，则当 $D=D_i$ 时， Δ_i 的估计值为式(4)。

$$\Delta_i = \alpha + \beta D_i \quad (4)$$

式(4)中： $i=1, 2, \cdots, 5$ 。

根据最小二乘法求得加乘常数的回归系数 α 和 β ，使得 $\hat{\Delta}_i$ 与 Δ_i 最接近，令：

$Q=\sum_{i=1}^5(\Delta_i-\hat{\Delta})^2=\sum_{i=1}^5(\Delta_i-\alpha-\beta D_i)^2$ ，在 Q 达到极小条件下求得回归系数 α 和 β 的估计值，如式(5)：

$$\hat{\beta}=\frac{\sum_{i=1}^5(D_i-\bar{D})(\Delta_i-\bar{\Delta})}{\sum_{i=1}^5(D_i-\bar{D})^2}, \quad \hat{a}=\bar{\Delta}-\hat{\beta}\bar{D}。$$

(5)

式(5)中： $\bar{D}$ 、 $\bar{\Delta}$ 为样本中心，其中： $\bar{D}=\frac{1}{5}\sum_{i=1}^5D_i$ ， $\bar{\Delta}=\frac{1}{5}\sum_{i=1}^5\Delta_i$ 。

将 4 种材质的测距误差与对应距离代入式(5)，求得各自的 $\hat{\alpha}$ 和 $\hat{\beta}$ ，分别建立各自的一元测距误差回归模型，并对各回归模型进行有效性检验，求出其相关系数 R 如式(6)，根据所求相关系数来判断测距误差与距离之间的相关性。

$$R=\frac{\sum_{i=1}^5(D_i-\bar{D})(\Delta_i-\bar{\Delta})}{\sqrt{\sum_{i=1}^5(D_i-\bar{D})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^5(\Delta_i-\bar{\Delta})^2}}。$$

(6)

3 结果与分析

3.1 不同树种对无棱镜测距精度的影响

利用试验所得测距值，根据式(1)和式(2)，分别计算出各树种测距值的内符合精度和外符合精度，其计算结果见表 2。

由表 2 可知：外界环境条件良好时，不同树皮的无棱镜测距内符合精度为 0.662~1.810 mm，表明树皮的差异性对无棱镜测距精度有一定的影响。其中：青桐、竹柏、玉兰等的内符合精度分别为±0.828 mm，±0.662 mm 和±0.675 mm，较其他目标更小，且上下微调十字丝进行测距时，测距结果变动较小。其他树种，如银杏、樟树、红花刺槐、苦楮、柳树、香花槐、响叶杨的内符合精度值都大于±0.900 mm，当测距激光照射到树皮表面不同部位时，所测结果差异较大。经分析，主要原因是前者树皮表面较光滑，而后者树皮颜色较深且有不同程度裂纹。

以反射片测距结果为参考值，分析无棱镜测距的外符合精度，青桐、竹柏、玉兰的值分别为 1.505 mm，0.658 mm 和 0.775 mm，无棱镜测距结果接近于反射片，外符合精度较高。而其余树种相对于反射片所测结果波动较大，其中响叶杨的外符合精度值最大，达到 2.769 mm。究其原因，应与树皮的颜色和粗糙程度有关。

3.2 不同材质墙面对无棱镜测距的影响

根据式(1)和式(2)，分别计算出各种不同材质墙面测距值的内符合精度和外符合精度，其计算结果如表 3 所示。

表 2 不同树种的测距精度

Table 2 Distance measurement accuracy of different tree species

树种	无棱镜测距均值/m	反射片测距均值/m	最大差值/mm	均值差值/mm	内符合精度/mm	外符合精度/mm
樟树	20.915	20.913	5.000	2.000	±1.194	±1.958
红花刺槐	20.761	20.759	5.000	2.000	±1.653	±2.280
苦楮	19.936	19.934	5.000	2.000	±1.398	±2.708
柳树	23.460	23.460	4.000	0.000	±1.810	±1.780
银杏	20.985	20.984	2.000	1.000	±0.971	±1.560
青桐	17.966	17.965	3.000	1.000	±0.828	±1.506
响叶杨	20.112	20.110	5.000	2.000	±1.279	±2.769
竹柏	21.205	21.105	2.000	0.000	±0.662	±0.658
玉兰	20.932	20.932	2.000	0.000	±0.675	±0.775
香花槐	20.751	20.750	4.000	1.000	±1.437	±1.897

表 3 不同墙面测距结果

Table 3 Results of distance measurement by different metopes

墙面特征	无棱镜测距均值/m	反射片观测均值/m	最大差值/mm	均值差值/mm	内符合精度/mm	外符合精度/mm
白色涂料外墙	20.231	20.231	1.000	0.000	± 0.466	± 0.548
白色光滑涂料墙	22.036	22.036	1.000	0.000	± 0.434	± 0.447
棕褐色瓷砖墙	18.551	18.551	1.000	0.000	± 0.507	± 0.516
白色塑料墙	20.988	20.988	1.000	0.000	± 0.507	± 0.516
银灰色金属墙	23.844	23.844	1.000	0.000	± 0.509	± 0.707
花岗岩墙	19.755	19.754	1.000	1.000	± 0.509	± 0.707
白色铁皮墙	19.842	19.842	1.000	0.000	± 0.509	± 0.707

由表 3 可知：几种不同材质墙面无棱镜测距结果的平均值与参考值基本一致，内符合精度和外符合精度基本一致，约为 0.5 mm，说明不同墙面的材质对无棱镜测距精度影响不明显。

综合不同树皮和不同墙面的测距结果分析，可发现树皮的测距误差普遍比不同墙面的要大；上下微调激光束所测得的平距，不同材质的墙面几乎没有波动，与反射片所得结果也相差甚微，而不同树皮的结果差异较大，应是墙面都较平整光滑，而树皮颜色较深且有不同深度的裂纹。因此，被测目标表面的反射能力较强，反射信号稳定，材质的不同对无棱镜测距精度影响并不明显。

3.3 不同距离对无棱镜测距的影响

根据式(1)和式(2)，计算樟树、银杏、白色铁皮墙、淡粉色粉刷外墙等 4 种目标在不同距离下的测距值的内符合精度和外符合精度，绘制成散点图(图 1 和图 2)。

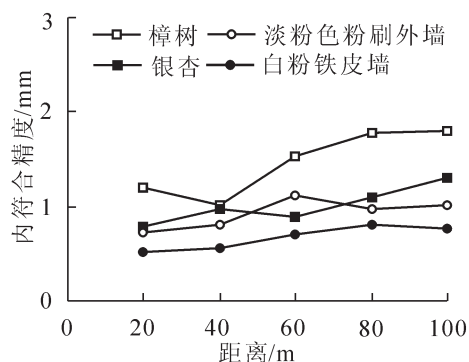


图 1 内符合精度与距离的关系图

Figure 1 Diagram of inner accuracy and distance

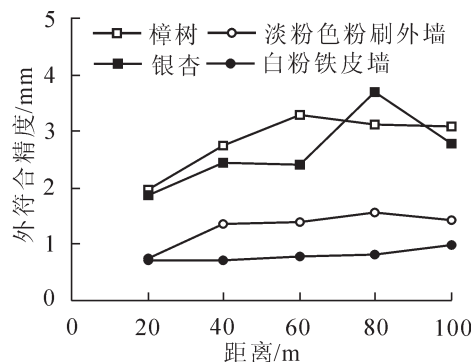


图 2 外符合精度与距离的关系图

Figure 2 Diagram of outer accuracy and distance

图 1 和图 2 显示：随着免棱镜测量距离的增加，观测数据的误差随之增大，与袁征等^[15]研究结果一致；同时，4 种不同材质的观测值均方根误差都随着距离的增加而大致呈线性增长趋势，可说明无棱镜测距精度随测量距离增大而衰减。

取 Δ 为观测值内符合精度，将樟树、银杏、淡粉色粉刷外墙、白色铁皮墙的内符合精度与对应距离代入式 (6)，求出各自的 $\hat{\alpha}$ 和 $\hat{\beta}$ ，分别建立各自的一元测距误差回归模型，并进行有效性检验，由式(7)求得樟树、银杏、淡粉色粉刷外墙、白色铁皮墙等 4 种材质的观测值内符合精度与距离的相关系数 R 分别为 0.883, 0.923, 0.747 和 0.926。

同理，取 Δ 为外符合精度，将上述 4 种材质的外符合精度与对应距离代入式(6)，求出各自的 $\hat{\alpha}$ 和 $\hat{\beta}$ 分别建立各自的一元测距误差回归模型，并进行有效性检验，由式(7)求得樟树、银杏、淡粉色粉刷外墙、白色铁皮墙等 4 种材质的外符合精度与距离的相关系数 R 分别为 0.930, 0.918, 0.793 和 0.936。

由此表明：观测值内符合精度和外符合精度，与距离之间的相关系数 R 都较大，且同一材质的测距外符合精度与距离之间的相关系数比内符合精度的大，最小相关系数达到 0.747，说明测距精度与距离之间的相关性显著，因此距离是影响无棱镜测距精度的重要因素。

在多次试验过程中发现，当距离较远、天气条件较差、被测物体表面颜色过深或不稳定时，常会导

致无棱镜测距失败。如距离樟树 100 m 左右进行测距时，因其树皮颜色过深，且树皮表面过于粗糙，导致反射能力不稳定，返回信号弱，常常出现测量失败，此时全站仪屏幕上会出现“观测条件差”或“无信号”等提醒。

3.4 不同颜色对无棱镜测距的影响

根据试验中对不同颜色墙面的测距结果，根据式(1)和式(2)，分别计算出各种不同颜色墙面测距值的内符合精度和外符合精度，其结果如表 4 所示。

表 4 不同颜色墙面测距精度

Table 4 The precision of distance measurement to different color metopes

墙面特征	无棱镜测距均值/m	反射片观测均值/m	最大差值/mm	均值差值/mm	内符合精度/mm	外符合精度/mm
白色粉刷外墙	20.231	20.231	1.000	0.000	±0.450	±0.516
淡粉色粉刷墙	19.443	19.443	1.000	0.000	±0.702	±0.753
淡蓝色粉刷墙	19.269	19.269	1.000	0.000	±0.466	±0.548
粉色粉刷外墙	20.578	20.578	1.000	0.000	±0.669	±0.753
土灰色粉刷墙	21.314	21.315	2.000	1.000	±0.596	±0.913
灰黑色粉刷墙	20.293	20.294	2.000	1.000	±0.461	±0.949
深粉色粉刷墙	20.942	20.941	2.000	1.000	±0.556	±0.837

表 4 表明：相似材质的不同颜色墙面无棱镜模式测距值相差甚微，其内符合精度和外符合精度大致相当，测距精度相差不大，说明颜色对较短距离的测距精度影响不大。但是，颜色越浅，对测距结果越有利，测距效果最好的是白色，随着颜色的加深，外符合精度有降低趋势，说明物体表面的反射能力也随之降低。因此，精密测距工程中，对表面颜色深的物体进行无棱镜测距要加强检校，尤其是黑色，其反射率很低，会影响测距精度。另外，在试验过程中，免棱镜全站仪对透明物体进行测距时，由于激光束能穿透玻璃等透明材质，其测距结果无规律性。当仪器瞄准透明物质时，一般不能得到正确的距离值，其误差随被测物体的透明度及背景物体的距离而变化，因此，应避免照准如玻璃之类的透明物体^[16]。

3.5 不同入射角度对无棱镜测距的影响

试验中以不同入射角度无棱镜测距同一目标，根据式(1)和式(2)分别计算出各种不同入射角度的测距值的内、外符合精度，如表 5(观测距离约 8 m)和表 6(观测距离约 20 m)所示。

表 5 不同入射角度对无棱镜测距影响(观测距离 8 m)

Table 5 Influence of different incident angles on reflectorless distance measurement (8 m of distance measurement)

入射角度/(°)	无棱镜测距均值/m	反射片观测均值/m	最大差值/mm	均值差值/mm	内符合精度/mm	外符合精度/mm
20	7.918	7.917	1.200	1.000	±0.000	±1.200
16	7.919	7.918	1.200	1.000	±0.076	±0.923
12	7.919	7.918	1.400	1.000	±0.076	±1.122
8	7.902	7.901	0.700	1.000	±0.128	±0.688
4	7.925	7.925	0.500	0.000	±0.092	±0.247
0	7.906	7.906	1.000	0.000	±0.183	±0.183
-4	7.899	7.899	0.600	0.000	±0.076	±0.329
-8	7.899	7.899	0.500	0.000	±0.137	±0.486
-12	7.908	7.907	1.000	1.000	±0.055	±0.712
-16	7.897	7.896	1.100	1.000	±0.000	±1.100
-20	7.901	7.899	2.400	2.000	±0.114	±2.253

说明：正值角度表示仰角，负值角度表示俯角。

表 5 和表 6 表明：无论是近距离观测还是较远距离观测，无棱镜模式下不同入射角度的测距结果有差异，随着入射角度的增大，内、外符合精度逐渐增大趋势。因此，在精密测距工程中，无棱镜测距需要避免入射角度过大。

表 6 不同入射角度对无棱镜测距影响(观测距离 20 m)

Table 6 Influence of different incident angles on reflectorless distance measurement (20 m of distance measurement)

入射角度/(°)	无棱镜测距均值/m	反射片观测均值/m	最大差值/mm	均值差值/mm	内符合精度/mm	外符合精度/mm
0	19.252	19.251	0.900	1.000	±0.124	±0.602
10	19.254	19.253	1.100	1.000	±0.461	±0.716
21	19.255	19.254	2.000	1.000	±0.318	±1.337
31	19.256	19.255	1.900	1.000	±0.281	±1.496

4 结论和讨论

4.1 结论

分析索佳 SET1X 全站仪无棱镜测距的试验结果可知,不同材质表面、不同颜色、不同距离对无棱镜测距精度影响并不相同。①总体上,对于不同材质的物体,只要其表面有足够的反射能力且反射信号稳定,则对无棱镜测距精度的影响不大;被测物体表面的颜色,对无棱镜测距有一定影响,颜色越浅,测距精度越高,反之亦反;距离对无棱镜测距精度影响较大,测距误差随着距离增加而随之增加,深色物体,尤其是黑色,本身反射能力较弱,当距离较远时,其反射信号将不稳定,直接影响测距质量;无棱镜测距时入射角度不宜过大,否则会影响测距精度。②无棱镜模式对不同树种进行测距,应注意树皮的表面特征,若树皮裂纹较多、较深,则测距时不同的激光所瞄点会导致测距结果差异很大,在实际应用中,要增加选点的随机性。③无棱镜测距时,要保证全站仪和被测目标物之间通视且无流动物体;试验发现,气象条件(风力、温度、光线强度变化等)对索佳 SET1X 无棱镜测量效果有影响;当全站仪与被测目标之间的距离过大或是天气条件不好时,会导致测距失败。

4.2 讨论

①全站仪无棱镜测距虽方便快捷,但测距精度受诸多因素影响,因此,在精密测距中尽可能地选择有合作目标测距,或者应用于精度要求不高的测距工作。②本试验针对较短距离的无棱镜测距,试验数据间偏差较小,为增加试验数据的说服力,有必要增加样本量;其次,增加测距距离,进一步探索较长距离时各因子的影响情况。③本试验场地为地形简单、被测目标没有通视障碍的区域,天气晴朗无风,模拟了外界环境良好的试验条件。因此,有待于进一步研究全站仪无棱镜测距对外界因素的依赖性,如何削弱外界环境的影响,如“多路径效应”影响比较明显时,可以采用加罩的方法来削弱其影响^[17]等,以提高无棱镜测距的应用范围及其精度。

5 参考文献

- [1] 王胜强. 无反射棱镜全站仪测距精度分析[J]. 测绘与空间地理信息, 2012, **35**(6): 190 – 195.
WANG Shengqiang. Distance measurement precision analysis of non-reflector total station [J]. *Geom & Spat Inf Technol*, 2012, **35**(6): 190 – 195.
- [2] 白晓光. 谈无反射棱镜全站仪[J]. 黑龙江生态工程职业学院学报, 2007, **20**(2): 56 – 60.
BAI Xiaoguang. Talk about non-reflector total station [J]. *J Heilongjiang Vocat Inst Ecol Eng*, 2007, **20**(2): 56 – 60.
- [3] 杨瑞芳, 李红耀. 对无棱镜测距全站仪的几点思考[J]. 平顶山工学院学报, 2007, **16**(4): 44 – 45.
YANG Ruifang, LI Hongyao. Reflections of total station without prism [J]. *J Pingdingshan Inst Technol*, 2007, **16**(4): 44 – 45.
- [4] 冯永长. 无反射棱镜全站仪实测精度检测方法探讨[J]. 山西建筑, 2012, **38**(14): 239 – 240.
FENG Yongchang. Inquiry on measured precision testing method of total-station with no reflection prism [J]. *Shanxi Archit*, 2012, **38**(14): 239 – 240.
- [5] 岳建平, 高永刚, 谢波. 无反射棱镜全站仪测距性能测试[J]. 测绘工程, 2005, **14**(2): 35 – 37.
YUE Jianping, GAO Yonggang, XIE Bo. Test of reflectorless total station in distance measure [J]. *Eng Surv Map*, 2005, **14**(2): 35 – 37.
- [6] 徐文兵, 高飞, 杜华强. 几种测量方法在森林资源调查中的应用与精度分析[J]. 浙江林学院学报, 2009, **26**(1): 132 – 136.

- XU Wenbing, GAO Fei, DU Huaqiang. Application and precision analysis of several surveying methods in forest resources survey [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2009, **26**(4): 132 – 136.
- [7] 谢鸿宇, 温志庆, 钟世锦, 等. 无棱镜全站仪测量树高及树冠的方法研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2011, **31**(11): 53 – 58.
- XIE Hongyu, WEN Zhiqing, ZHONG Shijing, *et al.* Measure method research of tree height and tree crown by non-prism total station [J]. *J Cent South For Univ Sci & Technol*, 2011, **31**(11): 53 – 58.
- [8] 徐文兵, 汤孟平. 全站仪双边交会法定测定树木三维坐标[J]. 浙江林学院学报, 2010, **27**(6): 815 – 820.
- XU Wenbing, TANG Mengping. Tree's 3D coordinate positioned by two-side intersection with total station [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2010, **27**(6): 815 – 820.
- [9] 冒爱泉, 万兴初, 杨建. 无反射棱镜全站仪在地籍测量中的应用[J]. 城市勘测, 2007(4): 123 – 124.
- MAO Aiquan, WAN Xingchu, YANG Jian. Application of reflectorless total station in cadastration [J]. *Surv City*, 2007(4): 123 – 124.
- [10] 韩健. 无反射棱镜全站仪及其测试[J]. 江西测绘, 2009, **80**(4): 49 – 50, 52.
- HAN Jian. Reflectorless total station and its test [J]. *Jiangxi Surv Map*, 2009, **80**(4): 49 – 50, 52.
- [11] 黄志行, 王灵锋, 周小峰. 无棱镜全站仪在桥梁通航净空测量中的应用[J]. 浙江水利科技, 2009(5): 47 – 49.
- HUANG Zhixing, WANG Lingfeng, ZHOU Xiaofeng. Non-reflector total station in the application of the bridge navigable clearance measurement [J]. *Zhejiang Water Conserv Sci Technol*, 2009(5): 47 – 49.
- [12] 朱顺平, 薛英. 无反射棱镜全站仪及其测试[J]. 测绘通报, 2001(3): 41 – 43.
- ZHU Shunping, XUE Ying. Relectorless total station introduction and test [J]. *Bull Surv Map*, 2001(3): 41 – 43.
- [13] 范百兴, 夏治国, 胡友健, 等. 全站仪无棱镜测距及精度分析[J]. 北京测绘, 2004(1): 28 – 31.
- FAN Baixing, XIA Zhiguo, HU Youjian, *et al.* Distance measurement and accuracy analysis of non-reflector total station [J]. *Beijing Surv Map*, 2004(1): 28 – 31.
- [14] 张凤瑞. 对无棱镜反射测量精度的探讨[J]. 测绘通报, 2011(11): 47 – 49.
- ZHANG Fengrui. The discussion of reflectorless measurement accuracy [J]. *Bull Surv Map*, 2011(11): 47 – 49.
- [15] 袁征, 周行. 免棱镜全站仪实测精度分析[J]. 中国新技术新产品, 2012(6): 73.
- YUAN Zheng, ZHOU Xing. Non-reflector total station measured precision analysis [J]. *China New Tecnol Prod*, 2012(6): 73.
- [16] 王胜强. 无反射棱镜全站仪测距精度分析[J]. 测绘与空间地理信息, 2012, **35**(6): 190 – 195.
- WANG Shengqiang. Distance measurement precision analysis of non-reflector total station [J]. *Geomatics & Spat Inf Technol*, 2012, **35**(6): 190 – 195.
- [17] 夏立福, 李井春, 胡友建, 等. 免棱镜全站仪测距性能的测试及精度分析[J]. 地理空间信息, 2008, **6**(2): 133 – 135.
- XIA Lifu, LI Jingchun, HU Youjian, *et al.* Test and precision analysis of ranging performance of reflectorless total statio [J]. *Geospat Inf*, 2008, **6**(2): 133 – 135.