

# Accuracy Analysis of Prism-Free Total Station in the Reconstruction and Extension of Expressway

Jiawei Zhang<sup>1</sup>, Haojie Li<sup>1</sup>, Yueyao Zhao<sup>1</sup>, Chengzhi Sun<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Shandong University of Science and Technology, Qingdao Shandong

<sup>2</sup>Junan County Land and Resources Bureau of Linyi City, Linyi Shandong

Email: zhangweijia168@qq.com

Received: Jun. 17<sup>th</sup>, 2019; accepted: Jul. 1<sup>st</sup>, 2019; published: Jul. 8<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

In the process of reconstruction and expansion of expressway, there are high-speed vehicles in the measuring environment, and the danger coefficient measured by ordinary prism total station instrument is too high. Therefore, the prism-free total station instrument has obvious advantages, with high accuracy, but also greatly guarantees the safety of surveyors. In this paper, the prism total station and prism-free total station are used to measure the reconstruction and expansion of expressway. The plane and elevation data are analyzed based on the actual measured data, and the prism-free total station is evaluated by the analysis results. Through research, analysis and verification, the elevation measurement of expressway reconstruction and expansion using prism-free total station instrument is fully in line with the measurement accuracy requirements.

## Keywords

Expressway Reconstruction and Expansion, Prism-Free Total Station, Accuracy Analysis

---

# 免棱镜全站仪在高速公路改扩建中的精度分析

张家威<sup>1</sup>, 李豪杰<sup>1</sup>, 赵曰耀<sup>1</sup>, 孙成志<sup>2</sup>

<sup>1</sup>山东科技大学, 山东 青岛

<sup>2</sup>临沂市莒南县国土资源局, 山东 临沂

Email: zhangweijia168@qq.com

收稿日期：2019年6月17日；录用日期：2019年7月1日；发布日期：2019年7月8日

## 摘要

在高速公路改扩建的过程中，测量环境中高速行驶的车辆，普通的有棱镜全站仪测量危险系数过高。因此，免棱镜全站仪有着较为明显的优势，拥有着较高精度的同时，也大大保证了测量人员的安全。本文使用免棱镜全站仪和有棱镜全站仪进行高速公路改扩建的测量，根据实际测量所得的数据进行平面和高程数据分析，通过分析结果对免棱镜全站仪进行了评估。经具体项目计算分析，使用免棱镜全站仪进行高速公路改扩建的测量，其精度完全符合测量精度标准。

## 关键词

高速公路改扩建，免棱镜全站仪，精度分析

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

高新技术大量涌入人们的生活，使得各项工作科技化。免棱镜全站仪的出现改变了全站仪测量的传统模式，极大地提高了测量的便捷性和安全性，因为免棱镜全站仪可以直接照准目标测量而不需要将棱镜放在目标点上。目前，免棱镜全站仪由初期几十米发展到一千米以上，主要有激光免棱镜测距和脉冲激光测距，在人们无法攀登的悬崖峭壁、地形测绘、地下大型工程的断面测量中已经大量使用免棱镜全站仪进行测量。在这些特殊的测量工作中，免棱镜测量可以发挥出明显的优势，提高外业工作效率[1]。

## 2. 免棱镜全站仪简介及其误差来源

### 2.1. 免棱镜全站仪简介

免棱镜全站仪相对于普通全站仪而言，在测距过程中不依赖照准反射棱镜或者反射片等专用反射工具。其测量原理是免棱镜全站仪发射激光束打在待测点上，然后由待测点对激光信号进行漫反射返回免棱镜全站仪[2]。免棱镜全站仪测量原理图如图1所示，全站仪在免棱镜模式下，通过激光信号的发射与接收，将测距离变为测时间，可以准确测定待测点的空间坐标。其误差来源与有棱镜全站仪大致相同，主要包括角度误差(三轴误差、仪器固定误差等)和距离误差(比例误差、固定误差等)[3]，但需要注意的是，由于受到激光束的限制，对角落或深色表面物体测距不理想，形状和折射角也会对误差造成影响。免棱镜全站仪在测量过程中具有效率高、精度高、测距速度快、测程远、安全性好等特点，在高速公路改扩建这种较危险的测量工作中有着大大的优势。

### 2.2. 仪器简介

本文研究所用仪器为徕卡 ts09 全站仪，其参数如表1所示[4]。

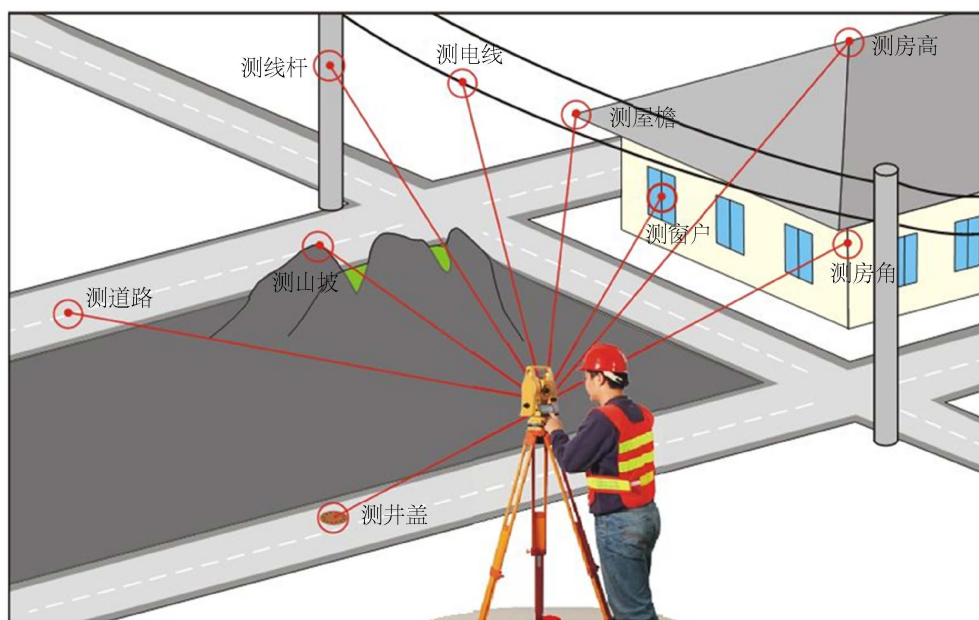


Figure 1. Measurement schematic diagram of prism-free total station  
图 1. 免棱镜全站仪测量原理图

Table 1. Leica ts09 measurement parameters table  
表 1. 徕卡 ts09 测量参数表

全站仪类型	有棱镜	免棱镜
距离测量精度	1.5 mm + 2 ppm*D	2 mm + 2 ppm*D
角度测量精度	1", 2", 5"	
标准模式下最大距离	3500 m	>500 m
测角电子补偿器	双轴光电式电子补偿器	

### 3. 免棱镜全站仪的应用及精度分析

#### 3.1. 项目概况

京沪高速公路莱芜至临沂某段改扩建工程第三段(K540 + 580-K561 + 000), 起点位于南赵庄村南侧新泰蒙阴界, 于薛家官庄南侧设蒙阴西互通立交, 跨过东儒莱河后, 路线从既有高速右侧分离新建双向八车道, 向东南跨越南官庄河, 经南竺院村南后顺接既有高速公路, 经蒙阴县城南侧设蒙阴互通, 行经新建蒙阴服务区、桃墟镇西侧后到达本段终点。路线全长 20.42 公里。采用全站仪测量, 本项目平面坐标系采用西安 80 坐标系, 高程采用 1985 黄海高程系统。

#### 3.2. 案例分析

由于高速公路的沥青路面, 在使用免棱镜模式下视野范围有限, 在中间设站, 前方 16 个点, 后方 16 个点, 每 20 米选取两个点, 分别为高速公路前进方向偏距为 9.9, 偏距为 12.4 的位置。总共选取 32 个实测点位进行误差分析, 在外业测量的近千组点位中, 抽取了 32 组进行数据的精度评定。分别使用有棱镜全站仪和无棱镜全站仪所得数据如表 2 所示。

**Table 2.** Plane and elevation measurements of prism and prism-free total stations (unit: m)  
**表 2.** 有棱镜全站仪和免棱镜全站仪平面和高程测量数据(单位: m)

点号	有棱镜全站仪			免棱镜全站仪		
	X	Y	H	X	Y	H
1	***6593.202	***603.007	252.189	***6593.217	***603	252.198
2	***6591.118	***619.675	252.138	***6591.11	***619.685	252.145
3	***6582.149	***621.057	252.228	***6582.132	***621.037	252.218
4	***6580.065	***619.675	252.154	***6580.081	***619.67	252.156
5	***6571.096	***637.725	252.278	***6571.105	***637.74	252.271
6	***6569.012	***636.344	252.222	***6569	***636.352	252.225
7	***6560.043	***654.394	252.352	***6560.05	***654.41	252.345
8	***6557.96	***653.012	252.287	***6557.97	***653	252.298
9	***6548.99	***671.062	252.438	***6548.9	***671.073	252.452
10	***6546.907	***669.681	252.388	***6546.918	***669.675	252.37
11	***6537.938	***687.731	252.544	***6537.927	***687.725	252.53
12	***6535.854	***686.349	252.488	***6535.838	***686.345	252.5
13	***6526.885	***704.399	252.654	***6526.895	***704.391	252.674
14	***6524.801	***703.017	252.596	***6524.814	***703.04	252.604
15	***6515.832	***721.067	252.758	***6515.822	***721.05	252.751
16	***6513.749	***719.686	252.684	***6513.74	***719.681	252.7
17	***6504.779	***737.736	252.872	***6504.789	***737.741	252.892
18	***6502.696	***736.354	252.799	***6502.7	***736.362	252.812
19	***6493.727	***754.404	252.973	***6493.737	***754.415	252.96
20	***6491.643	***753.023	252.907	***6491.629	***753.032	252.92
21	***6482.674	***771.073	253.071	***6482.684	***771.058	253.085
22	***6480.59	***769.691	253	***6480.581	***769.681	253.01
23	***6471.621	***787.741	253.17	***6471.635	***787.752	253.156
24	***6469.537	***786.359	253.117	***6469.551	***786.351	253.131
25	***6460.568	***804.409	253.292	***6460.548	***804.395	253.298
26	***6458.485	***803.028	253.233	***6458.48	***803.022	253.218
27	***6449.515	***821.078	253.385	***6449.531	***821.088	253.372
28	***6447.432	***819.696	253.322	***6447.44	***819.712	253.315
29	***6438.463	***837.746	253.491	***6438.469	***837.738	253.506
30	***6436.379	***836.365	253.428	***6436.386	***836.358	253.412
31	***6427.41	***854.415	253.609	***6427.425	***854.413	253.62
32	***6425.326	***853.033	253.544	***6425.311	***853.048	253.562

根据《数字测绘成果质量检查与验(GB/T 18316-2008)》，利用公式(1)-(2)求得误差如表 3 所示。

**Table 3.** Plane and elevation error values (unit: m)

**表 3.** 平面和高程误差值(单位: m)

点号	北坐标 X 差值	东坐标 Y 差值	高程 H 差值
1	0.015	-0.007	0.009
2	-0.008	0.01	0.007
3	-0.017	-0.02	-0.01
4	0.016	-0.005	0.002
5	0.009	0.015	-0.007
6	-0.012	0.008	0.003
7	0.007	0.016	-0.007
8	0.01	-0.012	0.011
9	-0.009	0.011	0.014
10	0.011	-0.006	-0.018
11	-0.011	-0.006	-0.014
12	-0.016	-0.004	0.012
13	0.01	-0.008	0.02
14	0.013	0.023	0.008
15	-0.01	-0.017	-0.007
16	-0.009	-0.005	0.016
17	0.01	0.005	0.02
18	0.004	0.008	0.013
19	0.01	0.011	-0.013
20	-0.014	0.009	0.013
21	0.01	-0.015	0.014
22	-0.009	-0.01	0.01
23	0.014	0.011	-0.014
24	0.014	-0.008	0.014
25	-0.02	-0.014	0.006
26	-0.005	-0.006	-0.015
27	0.016	0.01	-0.013
28	0.008	0.016	-0.007
29	0.006	-0.008	0.015
30	0.007	-0.007	-0.016
31	0.015	-0.002	0.011
32	-0.015	0.015	0.018

根据误差表绘制误差曲线图如下图 2~图 4 所示。其中横坐标为点号，纵坐标为误差值，单位为 m。

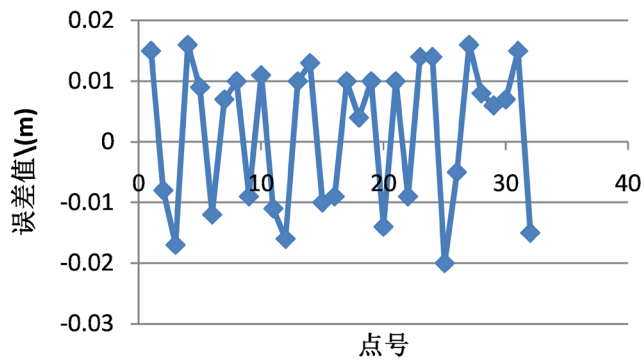


Figure 2. The northern coordinate difference between prism and prism-free total stations

图 2. 有棱镜全站仪和免棱镜全站仪的北坐标差

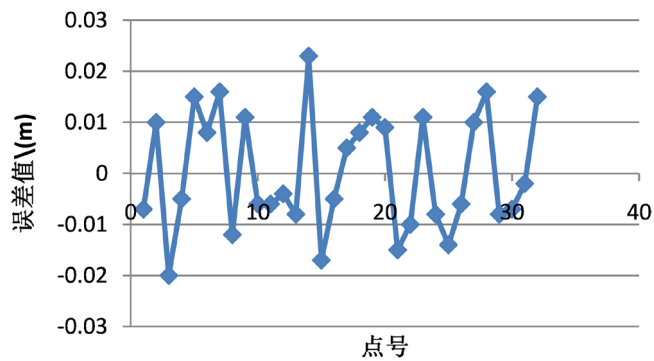


Figure 3. The eastern coordinate difference between the prism total station and the prism-free total station

图 3. 有棱镜全站仪和免棱镜全站仪的东坐标差

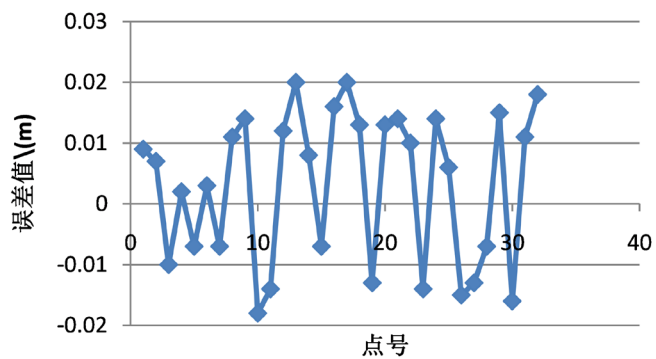


Figure 4. The elevation difference between prism and prism-free total stations

图 4. 有棱镜全站仪和免棱镜全站仪的高程差

根据《数字测绘成果质量检查与验(GB/T 18316-2008)》对所得数据进行分析：  
用以下公式计算平面精度：

$$M = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \{(X_i - x_i) + (Y_i - y_i)\}^2}{n-1}} \quad (1)$$

式中： $M$ 为点位中误差，单位为m； $X_i$ 为免棱镜模式下的值，单位为m； $Y_i$ 为免棱镜模式下的东坐标值，单位为m； $x_i$ 为有棱镜模式下的北坐标值，单位为m； $y_i$ 为有棱镜模式下的东坐标值，单位为m； $n$ 为测点个数。经计算  $M = 16.6 \text{ mm}$ ，平面精度小于评定规范小于  $50 \text{ mm}$  的要求。

用以下公式计算高程精度：

$$M_h = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - h_i)^2}{n-1}} \quad (2)$$

式中： $M_h$ 为高程中误差，单位为m； $H_i$ 为免棱镜模式下的高程，单位为m； $h_i$ 为有棱镜模式下的高程，单位为m； $n$ 为测点个数。经计算  $M_h = 12.7 \text{ mm}$ ，高程精度满足评定标准小于  $30 \text{ mm}$  的要求。

#### 4. 结束语

在高速公路改扩建的测量工作中，测量环境的复杂加大了测量作业的难度，普通全站仪测量对测量人员的安全没有保障，免棱镜全站仪的出现改善了这一问题。根据有棱镜全站仪和免棱镜全站仪的数据分析对比，可以看出免棱镜全站仪的测量精度完全符合精度评定规范，可以应用于实际工程当中。随着测绘科学的发展，免棱镜全站仪凭借着精度高，安全系数高的特点，已经在外业测量工作中广泛应用，但值得提出的是，免棱镜全站仪在对测量物体的颜色形状上还有着很大的要求，以及对光线的要求也比较高，如若未来通过研究可以解决这些问题，那么免棱镜全站仪完全可以取代有棱镜全站仪，更广泛的应用于测绘领域中。

#### 参考文献

- [1] 曾强. 免棱镜全站仪与 GPS-RTK 技术在大吉山钨业地形测量中的应用[J]. 北京测绘, 2014(2): 98-100.
- [2] 杨俊志, 张贵和. 测绘仪器精度的表示与检定[J]. 测绘科学, 2006, 31(3): 69-70.
- [3] 范百兴, 夏治国. 全站仪无棱镜测距及精度分析[J]. 北京测绘, 2004(1): 28-31.
- [4] 潘正凤, 杨正尧. 数字测图原理与方法[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2006.

#### 知网检索的两种方式：

1. 打开知网首页：<http://cnki.net/>，点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”，跳转至：<http://scholar.cnki.net/new>，搜索框内直接输入文章标题，即可查询；  
或点击“高级检索”，下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2329-549X，即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版：<http://www.cnki.net/old/>，左侧选择“国际文献总库”进入，搜索框直接输入文章标题，即可查询。

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[gst@hanspub.org](mailto:gst@hanspub.org)