

# The Application of MetroIn\_DPM System in the Deformation Monitoring of Large Structures

Yongchao Li<sup>1</sup>, Liang Che<sup>2</sup>, Jianjun Li<sup>1</sup>, Wenliang Tong<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Shandong Province Daizhuang Coal Mine, Weishan Shandong

<sup>2</sup>Shandong Jinan Real Estate Surveying and Mapping Institute, Jinan Shandong

Email: jzmklyc@163.com

Received: Jan. 19<sup>th</sup>, 2018; accepted: Feb. 2<sup>nd</sup>, 2018; published: Feb. 8<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

The MetroIn\_DPM digital near-view industrial photogrammetry system and the simulation experiment of Axyz/MTM theodolite industrial measurement system were carried out in the laboratory to demonstrate the feasibility of the MetroIn\_DPM system applied to the project. In addition, MetroIn\_DPM digital close-range industrial photoelectric measurement system was used to monitor the gas station tent and column, and the deformation and trend of the gas station tent were obtained.

## Keywords

Industrial Photogrammetry, Image Processing, Theodolite Measurement System, Deformation Monitoring, Optimum Exposure Strength

---

# MetroIn\_DPM系统在大型建构建筑物形变监测中的应用研究

李永超<sup>1</sup>, 车亮<sup>2</sup>, 李建军<sup>1</sup>, 佟文亮<sup>2</sup>

<sup>1</sup>山东省岱庄生建煤矿, 山东 微山

<sup>2</sup>山东济南市房产测绘院, 山东 济南

Email: jzmklyc@163.com

收稿日期: 2018年1月19日; 录用日期: 2018年2月2日; 发布日期: 2018年2月8日

## 摘要

应用MetroIn\_DPM数字近景工业摄影测量系统及Axyz/MTM经纬仪工业测量系统在实验室内进行的模拟实验,论证了MetroIn\_DPM系统应用于工程项目的可行性;并应用MetroIn\_DPM数字近景工业摄影测量系统对加油站罩棚及立柱进行了监测实践,得到了加油站罩棚的变形量及趋势。

## 关键词

工业摄影测量, 图像处理, 经纬仪测量系统, 形变监测, 最佳曝光强度

Copyright © 2018 by authors 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

MetroIn\_DPM 是由解放军信息工程大学研制的一套数字近景工业摄影测量系统,包括图像数据处理软件[1]、数码相机、环形闪光灯、人工标志以及定向靶等。该系统操作简单,只需测量人员对被测物布设回光反射标志,用数码相机对布设的标志进行拍摄,通过图像处理软件解算出测量点的三维坐标[2]-[8]。主要用于小型工业设备的测量。

本文结合岱庄生建煤矿域内某加油站罩棚的形变监测,对 MetroIn\_DPM 系统在大型建构物形变监测中的应用进行了研究。通过室内的实验及对加油站罩棚形变的实测分析,验证了该系统用于大型建构物形变监测是可行的,其测量精度可满足形变监测的要求。

## 2. MetroIn\_DPM 系统用于远距离测量的可行性论证

MetroIn\_DPM 系统主要用于近距离摄影测量。由于加油站罩棚边缘距离支柱有 5~6 m 远,且加油站罩棚有 8 m 高。为了可以同时拍到支柱及罩棚点,必须进行远距离拍摄。在远距离拍摄条件下该系统能否满足监测的精度要求,为此首先在实验室内进行了方案的可行性实验。实验内容包括:1) MetroIn\_DPM 摄影测量系统在不同拍摄距离下的曝光度调节测试;2) 同时采用 Leica 的 TM5100A 经纬仪测量系统及 MetroIn\_DPM 摄影测量系统进行测量,对 MetroIn\_DPM 系统的测量精度进行对比分析。

### 2.1. 实验场地测量点的布设

将圆形测量点标志和点状编码标志粘贴在实验室内凹凸面墙上,在实验墙上分 5 列共粘贴 30 个编码标志,50 个圆形测量点标志(见图 1 所示)。30 个编码标志的空间分布位置见图 2。

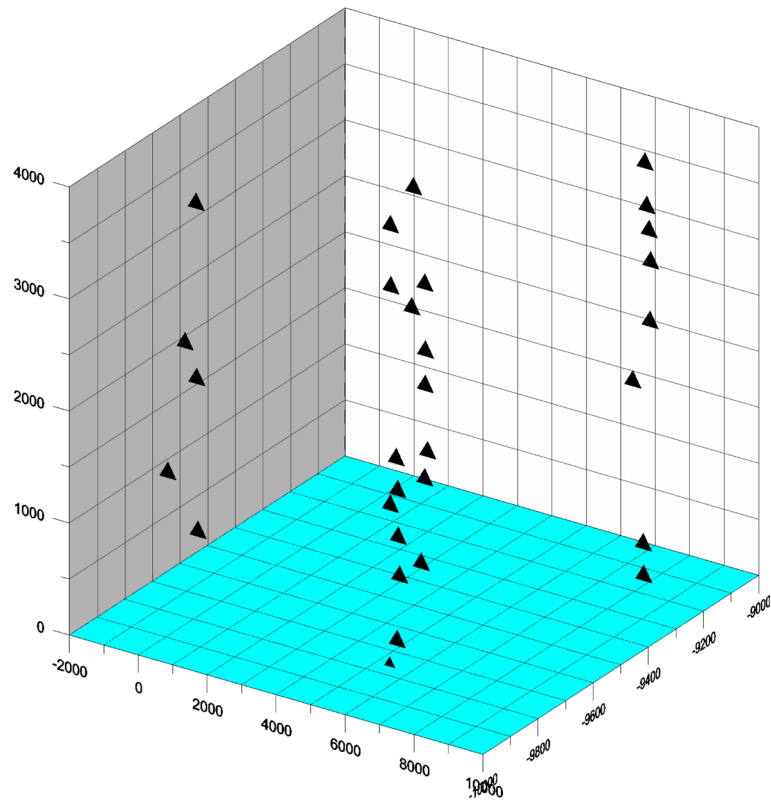
由于编码标志作为不同像片之间的公共点,以实现不同像片的拼接,两张照片至少有 6 个公共编码标志,所以拍摄时各编码标志粘贴的距离不能太大。回光反射标志都是非常规则的圆形,在实验中,可将反光标志同时作为 Axyz/MTM 工业测量系统的测量点使用,另外编码标志是多个点的点集,摄影测量中识别解算的点是标志中心圆点的坐标,所以经纬仪测量系统应瞄准编码标志中间圆点的中心进行测量。

### 2.2. 闪光灯照度、相机光圈及快门速度与拍摄距离关系的测试

获得满足要求的高质量像片的关键是掌握好曝光强度,因此在对测量对象进行拍摄时,必须根据



**Figure 1.** The experimental wall with a reflective marker  
**图 1.** 粘贴反光标志的实验墙



**Figure 2.** Spatial distribution of 30 coded signs  
**图 2.** 30 个编码标志的空间分布图

距离的远近、周围环境的亮度进行闪光灯照度、相机光圈及快门速度的调节，获得最佳曝光强度，从而获取高质量的像片。本次实验分别在距离实验墙 4~5 m、10~12 m 处进行拍摄，测试在不同位置的最佳闪光灯照度、相机光圈及快门速度。

实验中在不同拍摄距离时，分别将闪光灯照度设置为 1/1、1/2、1/4、1/8 四个等级，快门速度分 1/200、

1/320、1/400 三个等级，并选取不同的光圈进行拍摄。依据像片的曝光强度选取最佳的组合方案。由于 MetroIn\_DPM 系统是通过拍摄编码标志、回光反射标志及定向靶的反光影像，经图像识别出各反光点的中心，然后解算出各点三维坐标。其对各反光点的识别精度取决于反光点影像的灰度值。而影像中反光点的灰度值的大小主要取决于闪光灯照度、相机光圈及快门速度。通过实验发现，在近距离拍摄时，外部光线亮度对拍摄质量影响不大。但在白天进行远距离拍摄时，外部光亮对拍摄影像的质量影响较大。由于天气的阴晴，室内亮度变化较大，拍摄时反光点的反射强度难以控制。为减小外部光线的影响，拍摄时间改在晚上进行，取得了很好的效果。

另外通过对像片的处理发现，过低的曝光强度使得像片内像点灰度值较低，导致软件无法识别反光标志和定向靶。而曝光强度过高会导致编码标志中的反光点相连或间距太小，以及定向靶圆环以实心圆形显示，而无法准确识别编码标志和定向靶，致使像片无法定向。

当近距离拍摄时，可使用焦距较短的定焦镜头，相机的光圈数值设置在 2 左右，可通过调节快门速度和闪光灯照度控制曝光强度。随着拍摄距离的增大，数码相机应更换焦距略大些的定焦镜头，如 MetroIn\_DPM 数字近景工业摄影测量系统原配定焦镜头焦距为 30 mm，在拍摄距离增大为 20 m 时，应更换为焦距为 50 mm 以上的定焦镜头。当拍摄对象在纵深方向变化较大时，光圈数值应适当加大(如 5.6 以上)，并增加闪光灯照度，减小快门速度，使拍摄的景深加大，确保在纵深方向的各目标点成像清晰。表 1 给出了实验中各拍摄位置最佳曝光强度时的闪光灯照度及快门速度。

### 2.3. 摄影测量结果的对比及精度分析

拍摄时在平行于墙体的水平方向设置 3 个拍摄位置，在每个水平位置借助升降梯在竖直方向设置 3 个拍摄位置进行拍摄。为确保像片的重合度，在每个拍摄位置均按上、下、左、右、中五个方向进行拍摄。采用 MetroIn\_DPM 软件对拍摄的像片进行处理解算，获得各目标点在各自坐标系下的三维坐标及精度。表 2 给出了不同拍摄距离部分目标点解算结果及精度，在拍摄距离为 4~5 m 时，目标点的平均点位误差为 0.061 mm，最大点位误差为 0.077 mm。在拍摄距离为 10~12 m 时，目标点的平均点位误差为 0.081 mm，最大点位误差为 0.119 mm。

利用公共点将拍摄距离为 10~12 m 时解算的测量点坐标转换到拍摄距离为 4~5 m 时解算的测量坐标系下，在同一坐标系下两次测得坐标对比结果见表 3。由表 3 可知，在同一个坐标系下两次解算坐标的最大差值为 0.2819 mm，RMS 最大值为 0.2030 mm。说明 MetroIn\_DPM 摄影测量系统在不同位置拍摄解算结果是比较稳定的。

### 2.4. MetroIn\_DPM 系统及 Axyz/MTM 系统测量结果的对比

由于首次将 MetroIn\_DPM 工业摄影测量系统应用于拍摄距离较远的测量对象，因此需要在实验室内进行多项实验来验证其应用于该工程项目的可行性。Axyz/MTM 工业测量系统点位测量精度可达 1‰·mm，并且其测量的稳定性较好，已广泛应用于多种工程项目[9] [10] [11]。因此使用 Axyz/MTM 经纬仪工业测量系统分两次对各目标点进行了测量，并通过坐标转换与 MetroIn\_DPM 系统测量结果进行了对比。

**Table 1.** The best exposure conditions and the gray values obtained in different locations

**表 1.** 不同位置拍摄最佳曝光条件及获取的灰度值

拍摄位置	闪光灯照度	相机快门速度	光圈数值	测量点最大灰度值	测量点平均灰度值
4~5 m 处	1/4	1/320	2	201	138
10~12 m 处	1/2	1/200	4	181	127

**Table 2.** Results of partial solutions taken in different locations  
**表 2.** 不同位置拍摄的部分解算结果

点号	4~5 m 处拍摄解算坐标			精度 (mm)	10~12 m 处拍摄解算坐标			精度 (mm)
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	
1	18.9800	3104.1560	990.3580	0.0660	163.3010	2965.2640	1367.4420	0.1110
2	-22.6000	1668.2760	430.5300	0.0630	141.3280	1601.1320	649.3360	0.1070
3	2336.2480	3251.6000	1329.0500	0.0600	2470.9990	3074.5740	1781.5940	0.0830
4	2327.7020	1639.7240	773.3380	0.0600	2482.4740	1535.0950	1048.7920	0.1030
5	2295.7490	335.9600	325.0500	0.0560	2466.5460	289.9760	456.1130	0.0870
6	-2144.5640	1691.9690	1116.0420	0.0760	-1998.0440	1546.7300	1276.9230	0.1190
7	234.7820	2907.1260	906.1620	0.0610	381.8970	2778.8260	1267.6560	0.0760
8	-5.8990	2343.9490	659.9530	0.0610	149.7250	2246.7220	953.5580	0.0770
9	-11.7690	1944.5620	522.3220	0.0610	148.8560	1865.3730	771.9280	0.0770
10	133.2970	1544.8990	375.8640	0.0610	299.0660	1484.6570	585.4020	0.0780
11	-23.0480	1271.3160	294.5360	0.0610	145.8240	1221.9140	469.7950	0.0770
12	-38.0620	938.7580	181.3990	0.0610	134.8630	904.1340	319.6360	0.0780
13	186.7540	165.8480	-102.9300	0.0630	369.7420	168.1080	-43.5320	0.0810
14	2339.7790	2493.9490	1071.8980	0.0560	2483.8410	2350.4780	1441.4610	0.0700
15	2328.6470	1063.2530	581.5850	0.0540	2490.2550	983.8280	793.6480	0.0710
16	2379.7390	838.6000	497.4200	0.0540	2544.2090	770.0120	686.1100	0.0710
17	2327.7760	567.4000	413.1090	0.0570	2495.4360	510.0130	570.6220	0.0720
18	2615.7290	-34.8810	173.5850	0.0670	2791.6670	-61.3270	272.4530	0.0750
19	2337.4520	3741.1430	1489.7160	0.0770	2466.4510	3542.9920	1996.2700	0.0730
20	2575.4290	3309.3760	1337.9460	0.0610	2709.7780	3131.0020	1803.4590	0.0720
		最大值		0.0770		最大值		0.1190
		平均值		0.0610		平均值		0.0810

表 4 为 Axyz/MTM 经纬仪工业测量系统两次的测量结果。目标点的平均点位误差为 0.0301 mm，最大点位误差为 0.0471 mm。

将经纬仪测量系统两次测得的测量点坐标通过公共点转换后得到两组观测数据的差值见表 5。

表 4 和表 5 表明经纬仪测量系统测量的点位误差均小于 0.05 mm，两次测量的各坐标差值基本小于 0.1 mm，两次测量结果的差值的 RMS 为 0.0448 mm。说明经纬仪测量系统测量稳定性是比较高的。

用 Axyz 软件的坐标转换模块将摄影测量系统测得的点坐标转换到经纬仪测量系统坐标下，转换后坐标的差值见表 6。表中数据表明两套测量系统转换到同一坐标系下的坐标差值的 RMS 平均值为 0.1662 mm，RMS 最大值为 0.3558 mm。通过上述检验表明，MetroIn\_DPM 系统在较远距离拍摄的精度完全可以满足建筑物监测工程的精度要求。

### 3. MetroIn\_DPM 系统在加油站罩棚形变监测中的应用研究

在我矿三采区中部建有一加油站，该站的罩棚为平板网架结构、独立悬臂柱支承。四根支柱为钢筋



**Table 3.** Comparison of partial solutions of common point conversion values  
**表 3.** 公共点转换值部分解算结果的对比

点号	4~5 m 处解算的公共点坐标			10~12 m 处转换后公共点坐标			公共点转换差值			RMS (mm)
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	$\Delta X$ (mm)	$\Delta Y$ (mm)	$\Delta Z$ (mm)	
1	18.9800	3104.1560	990.3580	18.7793	3104.2187	990.0761	0.2007	0.0627	0.2819	0.2030
2	-22.6000	1668.2760	430.5300	-22.6769	1668.3883	430.4938	0.0769	0.1123	0.0362	0.0813
3	2336.2480	3251.6000	1329.0500	2336.3600	3251.4810	1328.8781	0.1120	0.1190	0.1719	0.1369
4	2327.7020	1639.7240	773.3380	2327.8745	1639.6703	773.5032	0.1725	0.0537	0.1652	0.1413
5	2295.7490	335.9600	325.0500	2295.8144	336.1359	324.9843	0.0654	0.1759	0.0657	0.1147
6	-2144.5640	1691.9690	1116.0420	-2144.5531	1691.9635	1115.8120	0.0109	0.0055	0.2300	0.1329
7	234.7820	2907.1260	906.1620	234.5665	2907.0485	906.1788	0.2155	0.0775	0.0168	0.1325
8	-5.8990	2343.9490	659.9530	-5.9966	2343.9206	659.9866	0.0976	0.0284	0.0336	0.0618
9	-11.7690	1944.5620	522.3220	-11.8111	1944.6548	522.4052	0.0421	0.0928	0.0832	0.0759
10	133.2970	1544.8990	375.8640	133.2546	1544.9582	375.9439	0.0424	0.0592	0.0799	0.0624
11	-23.0480	1271.3160	294.5360	-23.0730	1271.4560	294.6081	0.0250	0.1400	0.0721	0.0920
12	-38.0620	938.7580	181.3990	-38.1189	938.9145	181.4143	0.0569	0.1565	0.0153	0.0965
13	186.7540	165.8480	-102.9300	186.7731	166.0939	-102.8305	0.0191	0.2459	0.0995	0.1535
14	2339.7790	2493.9490	1071.8980	2339.9297	2493.8480	1071.9729	0.1507	0.1010	0.0749	0.1133
15	2328.6470	1063.2530	581.5850	2328.6974	1063.3046	581.7483	0.0504	0.0516	0.1633	0.1030
16	2379.7390	838.6000	497.4200	2379.7032	838.6195	497.5243	0.0358	0.0195	0.1043	0.0646
17	2327.7760	567.4000	413.1090	2327.8004	567.5039	413.2701	0.0244	0.1039	0.1611	0.1115
18	2615.7290	-34.8810	173.5850	2615.7980	-34.6067	173.5002	0.0690	0.2743	0.0848	0.1704
19	2337.4520	3741.1430	1489.7160	2337.4675	3740.9806	1489.6521	-0.0155	0.1624	0.0639	0.1011
20	2575.4290	3309.3760	1337.9460	2575.5282	3309.1915	1338.0257	-0.0992	0.1845	-0.0797	0.1293
			最大值				0.2155	0.2459	0.2819	0.2030
			平均值				0.1005	0.1231	0.1128	0.1275

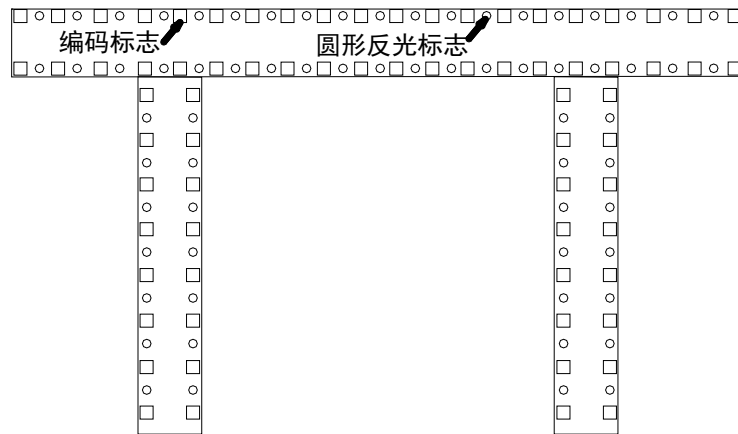
混凝土结构，支柱间距为 14 m，罩棚边沿超出支柱为 5 m，棚高为 8 m。该建筑物抗变形能力较差，当地表倾斜量较大时极易造成罩棚整体失稳倒塌，而曲率及水平变形会造成罩棚的四角锥网架的受力变化以及输油管道的断裂。在加油站西侧、南侧及下部布设有多个全采工作面及宽条带工作面，根据地表变形预计，加油站处地表最大倾斜达到 8 mm/m，最大水平变形达到 6 mm/m。为确保加油站安全，在采动前对加油站罩棚进行了加固，将四根支柱改为可调整高度的钢架结构，当罩棚倾斜时通过调整支柱高度进行纠偏。为及时掌握罩棚的倾斜状况，需对其进行形变测量。加油站罩棚形变测量采用 MetroIn\_DPM 系统实施。

### 3.1. 监测点的布设

将编码标志和圆形测量标志布设在加油站罩棚及支柱表面，分别在各支柱相互垂直的两个侧立面及罩棚的顶部上下边缘粘贴反光标志点作为测量点。测量点布设示意图见图 3。该标志可同时作为经纬仪测量系统和数字工业摄影测量系统的观测目标。布设时，编码标志和圆形测量标志交替粘贴。加油站

**Table 4.** Measurement results and accuracy of Axyz/MTM theodolite industrial measurement system  
**表 4.** Axyz/MTM 经纬仪工业测量系统测量结果及精度

点号	经纬仪第一次测量结果			精度 (mm)	经纬仪第二次测量结果			精度 (mm)
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	
1	8100.3420	-9167.1250	3415.3720	0.0349	-2647.8040	9406.6640	3403.0930	0.0197
2	7968.2010	-9163.8140	388.0220	0.0122	-2516.8980	9389.3520	375.4930	0.0243
3	5597.4570	-9706.4650	3151.0890	0.0395	-101.4140	9674.3570	3138.7640	0.0016
4	5626.9030	-9761.2910	1610.3910	0.0239	-124.5880	9731.5370	1598.0840	0.0111
5	3285.8700	-9369.1720	1712.9730	0.0203	2160.7270	9090.3570	1700.6190	0.0259
6	839.0150	-9996.3720	1721.9210	0.0069	4660.9410	9451.6510	1709.6340	0.0272
7	-1525.5170	-9598.4490	3278.7590	0.0002	6969.7900	8802.5630	3266.8200	0.0315
8	-1507.3340	-9598.1450	1715.3790	0.0244	6951.0420	8804.1950	1703.0050	0.0002
9	-1494.7320	-9595.3440	347.9570	0.0043	6938.4510	8802.8890	335.6350	0.0232
10	8077.2080	-9171.1440	3807.8210	0.0259	-2624.2610	9408.1081	3795.4340	0.0298
11	8141.0890	-9164.0400	3199.4920	0.0276	-2688.7740	9408.1360	3187.3530	0.0090
12	8164.0330	-9161.1230	2917.4800	0.0365	-2711.9940	9407.8680	2905.2550	0.0206
13	8142.4540	-9160.9730	2383.3560	0.0119	-2690.4572	9405.2627	2371.1020	0.0333
14	7766.2890	-9176.5890	1843.9230	0.0179	-2314.8830	9380.8150	1831.7000	0.0231
15	7975.9860	-9162.9370	103.7910	0.0038	-2524.6670	9389.4950	91.1820	0.0219
16	5634.7330	-9788.6730	4019.3370	0.0375	-129.7530	9760.0398	4007.2770	0.0115
17	5626.1280	-9786.0520	3468.4900	0.0471	-121.4660	9756.7130	3456.2530	0.0010
18	5618.1780	-9765.6858	1901.6310	0.0293	-115.6040	9735.5260	1889.2350	0.0353
19	5469.7190	-9768.4610	1476.8530	0.0026	32.1637	9722.5124	1464.3280	0.0319
20	5624.6130	-9759.0600	1190.7810	0.0014	-122.8550	9729.3970	1178.4150	0.0215
21	5637.0260	-9755.8165	839.1470	0.0292	-135.3540	9727.8830	826.6180	0.0045
22	5557.0290	-9754.4890	253.7290	0.0366	-56.0910	9717.7200	241.2220	0.0160
23	5406.0490	-9763.3760	17.1370	0.0217	94.8670	9710.5760	4.6060	0.0386
24	3049.8750	-9381.8260	3477.5530	0.0092	2396.7053	9078.1299	3465.4199	0.0338
25	3280.0310	-9369.7640	2618.0880	0.0252	2166.6830	9090.8120	2605.8280	0.0218
26	3288.1700	-9368.6790	2020.4690	0.0238	2158.4697	9090.7784	2008.0857	0.0154
27	3280.9760	-9359.5670	1105.5150	0.0277	2164.6390	9080.9320	1093.0780	0.0327
28	3227.9620	-9363.5690	866.1280	0.0383	2217.7720	9079.5670	853.6410	0.0225
29	3178.8040	-9370.1320	117.2670	0.0193	2267.3590	9080.7530	104.7690	0.0390
30	833.2920	-9933.1730	2778.0860	0.0144	4659.8574	9388.4920	2766.0000	0.0233
		最大值		0.0471		最大值		0.0390
		平均值		0.0218		平均值		0.0217



**Figure 3.** Layout of the measuring points of the gas station tent  
**图 3.** 加油站罩棚测量点布设示意图

**Table 5.** Difference and precision of common points after conversion  
**表 5.** 转换后公共点差值及精度

点号	公共点转换差值			RMS (mm)	点号	公共点转换差值			RMS (mm)
	$\Delta X$ (mm)	$\Delta Y$ (mm)	$\Delta Z$ (mm)			$\Delta X$ (mm)	$\Delta Y$ (mm)	$\Delta Z$ (mm)	
1	0.0157	0.0248	0.0288	0.0237	17	0.0737	0.0842	0.0608	0.0735
2	0.0686	0.0263	0.0640	0.0563	18	0.0556	0.0651	0.0006	0.0494
3	0.0241	0.0112	0.0011	0.0154	19	0.0877	0.0313	0.0746	0.0689
4	0.0273	0.0633	0.1083	0.0741	20	0.0704	0.0928	0.0753	0.0801
5	0.0270	0.0682	0.0671	0.0574	21	0.0740	0.0366	0.0655	0.0608
6	0.0177	0.0755	0.0262	0.0473	22	0.0403	0.0274	0.0083	0.0285
7	0.0538	0.0212	0.0290	0.0373	23	0.0180	0.0319	0.0209	0.0243
8	0.0742	0.0543	0.0477	0.0598	24	0.0299	0.0372	0.0743	0.0510
9	0.0910	0.0611	0.0891	0.0816	25	0.0733	0.0780	0.1050	0.0866
10	0.0238	0.0362	0.0042	0.0251	26	0.0421	0.0230	0.0188	0.0297
11	0.0292	0.0117	0.0282	0.0244	27	0.0251	0.0976	0.0225	0.0596
12	0.0275	0.0227	0.0215	0.0240	28	0.0230	0.0218	0.0140	0.0200
13	0.0408	0.0372	0.0418	0.0400	29	0.0214	0.0689	0.0197	0.0432
14	0.0208	0.0360	0.0757	0.0499	30	0.0106	0.0391	0.0692	0.0463
15	0.0266	0.0738	0.0017	0.0453	平均值	0.0390	0.0418	0.0435	0.0448
16	0.0566	0.0450	0.0620	0.0550	最大值	0.0910	0.0755	0.1083	0.0816

罩棚各面共布设 134 个点状编码标志，76 个圆形测量点标志。

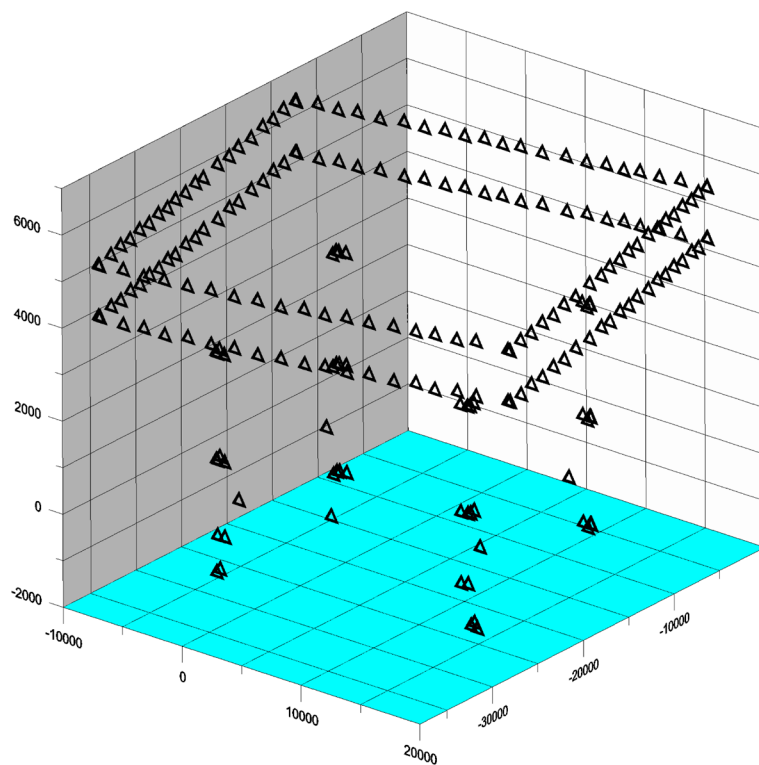
### 3.2. MetroIn\_DPM 数字工业摄影测量系统监测方案实施

由于加油站罩棚边缘距离支柱 5 m，加油站罩棚 8 m 高。为了同时拍到支柱及罩棚顶部的标志点，拍摄位置必须距离定向靶 20 m 左右。通过实验筛选将相机光圈调到 5.6，相机快门速度定为 1/400，闪光



**Table 6.** Difference between Axyz/MTM system and MetroIn\_DPM system coordinates after conversion  
**表 6.** 转换后 Axyz/MTM 系统与 MetroIn\_DPM 系统坐标的差值

点号	公共点转换差值			RMS (mm)	点号	公共点转换差值			RMS (mm)
	$\Delta X$ (mm)	$\Delta Y$ (mm)	$\Delta Z$ (mm)			$\Delta X$ (mm)	$\Delta Y$ (mm)	$\Delta Z$ (mm)	
1	-0.0835	0.1457	-0.0625	0.1035	17	0.0668	0.3724	0.3380	0.2929
2	-0.0313	0.4916	-0.0397	0.2853	18	0.0548	0.5466	0.2794	0.3558
3	-0.0926	-0.0279	0.0794	0.0722	19	0.0961	0.0133	0.3291	0.1981
4	0.0005	0.1115	-0.2007	0.1326	20	-0.0396	0.3525	0.1458	0.2214
5	0.0054	0.2646	-0.0145	0.1530	21	-0.0465	0.2870	0.1198	0.1816
6	0.0226	-0.1807	0.0641	0.1115	22	-0.1200	-0.3466	-0.1480	0.2284
7	0.0285	0.4385	-0.0217	0.2540	23	-0.0171	-0.0502	0.0087	0.0310
8	0.2023	0.1045	-0.2422	0.1919	24	0.0556	0.0539	0.1532	0.0991
9	-0.0040	0.0221	-0.0278	0.0206	25	0.0211	-0.0399	0.0792	0.0526
10	-0.1097	-0.0765	0.1627	0.1216	26	0.1166	-0.4801	0.1137	0.2927
11	-0.0309	0.0937	0.0964	0.0796	27	-0.0195	-0.2203	0.1155	0.1441
12	-0.0425	-0.0791	-0.0059	0.0520	28	-0.2016	0.0149	-0.1530	0.1464
13	0.0186	0.1914	-0.0024	0.1110	29	-0.0423	0.3636	0.1222	0.2228
14	-0.4432	-0.2292	0.0403	0.2890	30	-0.2029	0.2500	0.2229	0.2261
15	-0.1156	-0.0736	-0.2266	0.1529	平均值	-0.0230	0.0747	0.0464	0.1662
16	0.2637	-0.0721	0.0663	0.1624	最大值	-0.4432	0.5466	0.3380	0.3558



**Figure 4.** The stereo map of the gas station tent  
**图 4.** 加油站罩棚测量点立体图

灯曝光强度为 1/4。拍摄时间选择在夜晚进行。

由于加油站体积较大，需要安置三次定向靶，分三个面进行拍摄，各面应尽量对转角处测量点进行拍摄测量，作为后期坐标转换的公共点。拍摄时每个面水平方向设 12 个摄站，垂直方向借助 10 m 人字形竖梯设 3 个摄站，共分 36 个摄站进行拍摄。为确保各拍摄面的三维坐标转换精度，在场地内部安置了多个公共点，点上设置了反光球作为目标点。使用 MetroIn\_DPM 软件对拍摄的像片进行扫描、定向、匹配，导入基准尺后并对其进行平差解算，得出测量点的三维坐标。

### 3.3. 加油站形变趋势

将测得的所有点的三维坐标导入 Matlab 软件后得到罩棚各点位立体图(图 4)。

因为主要检测罩棚顶部的倾斜，因此只需分析其 Z 轴坐标。图 5 为罩棚北面上边缘和下边缘编码标志点及测量点的折线图。

检测结果表明北面罩棚上下边缘测量点高程从东到西逐渐降低，东西两侧高程相差 56.248 mm。南面罩棚上下边缘测量点高程也是从东到西逐渐降低，东西高程相差 45.269 mm。东面罩棚上下边缘测量点高程从南到北逐渐降低，南北两端高差为 37.762 mm。西面罩棚上下边缘测量点高程也是从南到北逐渐降低，南北两端高差为 68.947 mm，顶棚出现弯曲。由此可见，加油站的整体是往西北方向倾斜，东南方向较高，西北方向较低。东南角比西北角高 102.074 mm。根据东南角与西北角的三维坐标计算出两点间的距离为 42992.399 mm，由此得出加油站罩棚的倾斜为 2.4 mm/m。

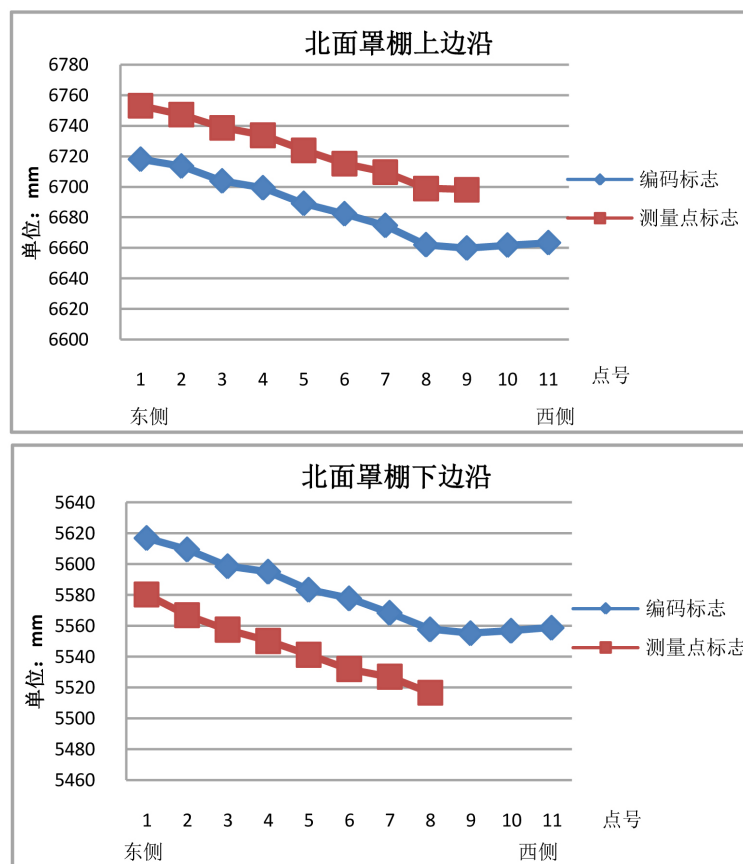


Figure 5. Line chart of the upper edge and lower edge of the tent  
图 5. 罩棚北面上边缘及下边缘测量点折线图

对于加油站支柱的倾斜情况,只需要分析在各面设站测得的测量点 X 轴坐标即可。通过分析加油站支柱上测量点 X 轴坐标,发现各支柱均向西北方向倾斜。其中东南支柱倾斜最大,向北倾斜 5.698 mm/m,向西倾斜 2.788 mm/m。

#### 4. 结论

通过实验室的对比分析及实际工程的应用实践表明, MetroIn\_DPM 数字工业摄影测量系统在实验室内当拍摄距离为 4~5 m 时,目标点的平均点位误差为 0.061 mm。在拍摄距离为 10~12 m 时,目标点的平均点位误差为 0.081 mm。与 Axyz/MTM 工业测量系统测量结果对比其坐标差值的 RMS 平均值为 0.1662 mm。在野外拍摄距离为 20 m 时,其点位测量精度可控制在 1 mm 左右。由此得出 MetroIn\_DPM 数字工业摄影测量系统在较远距离拍摄的精度可以满足一般建筑物监测工程的精度要求。

#### 参考文献

- [1] 冯其强. 数字工业摄影测量中的标志点匹配和自检校光束法平差快速解算[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2007.
- [2] 冯文灏. 关于发展我国高精度工业摄影测量的几个问题[J]. 测绘学报, 1994, 23(2): 120-126.
- [3] 黄桂平. 数字近景摄影测量关键技术研究与应用[D]: [博士学位论文]. 天津: 天津大学, 2005.
- [4] 冯文灏. 近景摄影测量[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2001.
- [5] 陈新, 冯其强, 李宗春. 摄影测量系统精度测试新方法[J]. 测绘工程, 2010, 9(2): 58-60+63.
- [6] 冯其强. 数字工业摄影测量技术研究与实践[D]: [博士学位论文]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2010.
- [7] 李广云, 李宗春. 工业测量系统原理与应用[M]. 北京: 测绘出版社, 2010.
- [8] 冯文灏. V-STARS 型工业摄影测量系统介绍[J]. 测绘信息与工程, 2000(4): 42-47.
- [9] 焦明东, 郑文华, 刘尚国, 程小龙. Axyz/MTM 测量系统在开采沉陷实验模型研究中的应用[J]. 矿山测量, 2009(3): 34-35.
- [10] 刘尚国, 郑文华, 孙佳龙, 徐文锦. 关于 Axyz/MTM 工业测量系统在 3 维测量车传感器位置检测中的应用[J]. 测绘通报, 2006(9): 62-64.
- [11] 郑文华, 石娟, 刘尚国, 景冬, 孙成. Leica Axyz/MTM 在矿井提升绞车检测中的应用[J]. 矿山测量, 2008(4): 17-20.

#### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2329-549X, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 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)