

## MZ100 六轴姿态模块性能测试报告

北京眸星科技有限公司

2025 年 3 月 14 日

## 目 录

一、测试概述.....	1
二、测试设备与平台.....	2
2.1 测试设备.....	2
2.2 测试平台.....	2
三、测试用例.....	3
3.1 静态测试.....	3
3.1.1 测试方法.....	3
3.1.2 测试结果.....	3
3.2 转台短时测试.....	4
3.2.1 测试方法.....	4
3.2.2 测试结果.....	4
3.3 转台长时测试.....	6
3.3.1 测试方法.....	6
3.3.2 测试结果.....	7
3.4 连续开关机测试.....	7
3.4.1 测试方法.....	7
3.4.2 测试结果.....	7
3.5 夜间降温测试.....	8
3.5.1 测试方法.....	8
3.5.2 测试结果.....	8
3.6 午间升温测试.....	9
3.6.1 测试方法.....	9
3.6.2 测试结果.....	9
3.7 重复上下墙测试.....	10
3.7.1 测试方法.....	10
3.7.2 测试结果.....	11
3.8 长时爬墙测试.....	12
3.8.1 测试方法.....	12
3.8.2 测试结果.....	12
四、总结.....	13

## 一、测试概述

眸星科技 (EYESTAR®) **MZ100 六轴姿态模块** 基于内置加速度计和陀螺仪惯性测量器件 (IMU)，采用非线性补偿、正交补偿、温度补偿和漂移补偿等标定手段，通过机械编排滤波算法输出提供具有重力向量参考的俯仰角 (Pitch)、横滚角 (Roll) 以及无参考标准的航向角 (Yaw) 信息，满足载体运动控制需求。

本报告对 MZ100 六轴姿态模块进行性能测试和分析，测试场景和用例涵盖静态测试、动态测试、连续开关机测试、夜间降温测试、午间升温测试等。测试结果如下：

- 静止状态下，MZ100 一小时航向角累积漂移误差最大不超过  $0.0489^\circ$ ，俯仰角误差最大不超过  $0.1017^\circ$ ；
- 转台运动状态下，MZ100 一小时航向角累积漂移误差平均  $15.7256^\circ$ ，俯仰角误差平均  $6.2566^\circ$ ，横滚角误差平均  $6.6624^\circ$ ；
- 连续开关机上电测试表现出高度一致性，每次重新开机后的航向角一小时累积误差最大不超过  $0.0434^\circ$ ，俯仰角误差不超过  $0.0387^\circ$ ，横滚角误差不超过  $0.0582^\circ$ ；
- 夜间降温测试航向角累积误差  $0.1337^\circ$ ，午间升温测试航向角累积误差  $0.1179^\circ$ ；

**针对泳池清洁机器人，MZ100 设计具有“智能爬墙模式”，可自主检测机器人上下墙状态，并通过动力学约束等优化算法，有效解决机器人重复上下墙以及长时间墙上作业时的航向角漂移痛点问题。智能爬墙模式下：**

- 连续 3 次重复上下墙测试（每次墙上保持运动状态 3min），MZ100 航向角平均误差  $1.4562^\circ$ ，俯仰角平均误差  $0.0638^\circ$ ，横滚角平均误差  $0.0186^\circ$ ；
- 长时爬墙测试（墙上保持运动状态 1h），MZ100 航向角误差  $2.0539^\circ$ ，俯仰角误差  $0.0096^\circ$ ，横滚角误差  $0.0020^\circ$ 。

测试结果表明，MZ100 具有较高的器件性能，能够良好满足智能割草机、AGV、机器人、智慧农业、机械控制等领域应用需求；配合自身特有的优化算法，能够有效解决泳池清洁机器人重复上下墙以及长时间墙上作业时的航向角漂移痛点问题，更好地适配客户开发需求。

## 二、测试设备与平台

### 2.1 测试设备

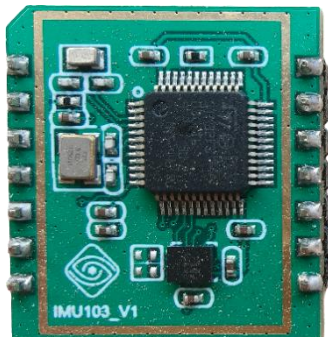


图 2-1 MZ100 六轴姿态模块

测试采用眸星科技 MZ100 六轴姿态模块，如图 2-1 所示。其内置陀螺仪与加速度计的主要性能见表 2-1。

表 2-1 MZ100 陀螺仪与加速度计性能

器件	参数	数值	单位
陀螺仪	量程	$\pm 2000$	$^{\circ}/s$
	角度随机游走	0.17	$^{\circ}/\sqrt{hr}$
	零偏稳定性	1	$^{\circ}/hr$
加速度计	量程	$\pm 16$	g
	速度随机游走	100	$\mu g/\sqrt{hz}$
	零偏稳定性	12	$\mu g$

### 2.2 测试平台



图 2-2 测试平台示意图

如图 2-2 所示，动态测试采用电动转台进行。测试时，通过双面胶将测试设备固定安装

在转台台面。

### 三、测试用例

#### 3.1 静态测试

##### 3.1.1 测试方法

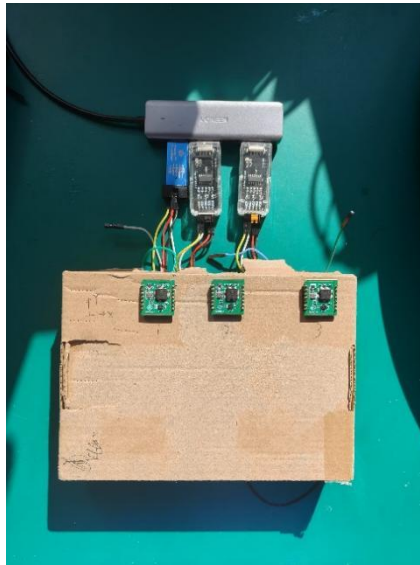


图 3-1 静态测试环境

如图 3-1 所示，将 MZ100 置于室外，在不同温度环境下，反复多次上电启动设备并实时采集姿态输出数据，每次采集时间 1h 左右。考察 MZ100 在不同温度环境下的航向角漂移与姿态测量能力。

##### 3.1.2 测试结果

测试共采集了 10 组数据，其三轴姿态角误差统计结果见表 3-1。从表中可以看出，在不同温度环境下，MZ100 静态测量的航向角累积误差最大不超过 0.0489°、平均为 0.0190°，俯仰角误差最大不超过 0.1017°、平均为 0.0254°，横滚角误差最大不超过 0.1353°、平均为 0.0380°。

表 3-1 静态测试姿态误差统计

数据组	环境温度	测量时长	航向角累积误差 (deg)	俯仰角误差 (deg)	横滚角误差 (deg)
1	13.3℃	1h02'32"	0.0083	0.0039	0.0119
2	14.2℃	1h01'03"	0.0230	0.0040	0.0192
3	16.8℃	1h02'06"	0.0280	0.0235	0.0042
4	24.1℃	0h59'31"	0.0096	0.0117	0.0170
5	25.6℃	1h00'34"	0.0140	0.0029	0.0235

6	35.2℃	1h02'15"	0.0067	0.0256	0.0303
7	36.2℃	1h02'26"	0.0003	0.0012	0.0112
8	38.1℃	1h01'17"	0.0096	0.0051	0.0291
9	39.5℃	1h02'31"	0.0489	0.0748	0.1353
10	39.9℃	1h01'15"	0.0425	0.1017	0.0989
最大值	-	-	0.0489	0.1017	0.1353
平均值	-	-	0.0190	0.0254	0.0380

## 3.2 转台短时测试

### 3.2.1 测试方法

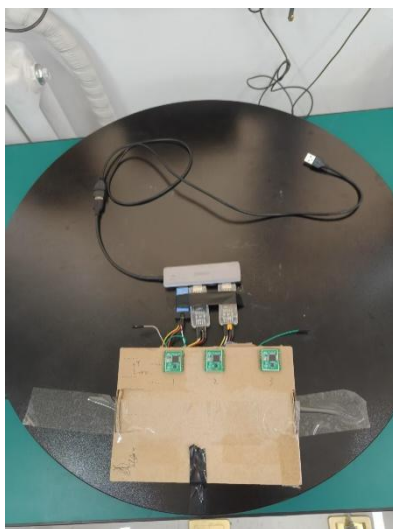


图 3-2 动态测试环境

如图 3-2 所示，将 MZ100 固定安装在连续运动的转台上，实时采集姿态输出数据，分别进行以下三类测试，每类测试均重复进行 10 组：

- (1) 以 20°/s 的转台速度，正转 30 圈，统计前后姿态偏差的角度值；共测试 10 组；
- (2) 以 20°/s 的转台速度，反转 30 圈，统计前后姿态偏差的角度值；共测试 10 组；
- (3) 以 20°/s 的转台速度，正转 180°、再反转 180°，反复 30 次，统计前后姿态偏差的角度值；共测试 10 组。

### 3.2.2 测试结果

#### (1) 正转 30 圈测试结果

测试结果表明，MZ100 以 20°/s 的速度正转 30 圈，航向角累积漂移误差平均 10.3501°，俯仰角误差平均 0.1846°、横滚角误差平均 0.4095°，见表 3-2。

**表 3-2 正转 30 圈误差统计**

数据组	测量时长 (s)	航向角累积误差 (deg)	俯仰角误差 (deg)	横滚角误差 (deg)
1	522.670	13.5531	0.4121	0.4228
2	501.950	11.8463	0.3146	0.4062
3	517.100	7.1240	0.2171	0.3526
4	498.590	7.3466	0.3671	0.4185
5	516.830	11.2578	0.0394	0.5084
6	498.000	11.6473	0.1102	0.3421
7	516.950	5.0965	0.1367	0.3147
8	498.530	6.6448	0.1030	0.4075
9	523.310	17.0101	0.1318	0.4917
10	502.510	11.9747	0.0146	0.4306
最大值	-	17.0101	0.4121	0.5084
平均值	-	10.3501	0.1846	0.4095

**(2) 反转 30 圈测试结果**

测试结果表明，MZ100 以 20°/s 的速度反转 30 圈，航向角累积漂移误差平均 9.5156°，俯仰角误差平均 0.4875°、横滚角误差平均 0.4585°，见表 3-3。

**表 3-3 反转 30 圈误差统计**

数据组	测量时长 (s)	航向角累积误差 (deg)	俯仰角误差 (deg)	横滚角误差 (deg)
1	508.820	10.0355	0.4813	0.3638
2	506.570	11.8108	0.5079	0.5527
3	502.320	12.9193	0.5876	0.4714
4	508.550	8.2696	0.5974	0.5396
5	509.000	5.9039	0.3755	0.5550
6	507.740	8.5525	0.2520	0.3436
7	502.040	5.0271	0.6214	0.4829

8	507.690	8.6350	0.5371	0.2805
9	509.140	11.8117	0.4450	0.5359
10	506.200	12.1915	0.4703	0.4596
最大值	-	12.9193	0.6214	0.5550
平均值	-	9.5156	0.4875	0.4585

### (3) 正转 180°、再反转 180°，反复 30 次测试结果

测试结果表明，MZ100 以 20°/s 的速度先正转 180°、再反转 180°，重复 30 次测试的航向角累积漂移误差平均 1.2792°，俯仰角误差平均 0.5338°、横滚角误差平均 0.6228°，见表 3-4。

表 3-4 正转 180°、再反转 180°，重复 30 次误差统计

数据组	测量时长 (s)	航向角累积误差 (deg)	俯仰角误差 (deg)	横滚角误差 (deg)
1	496.440	0.2614	0.0294	0.4966
2	499.510	2.0329	0.5885	0.3504
3	497.100	0.6406	0.6250	0.0819
4	503.620	3.9981	0.6355	0.9167
5	495.220	0.8269	0.5355	0.3625
6	500.120	0.2978	0.1746	0.3754
7	497.660	1.5284	0.3374	0.1134
8	503.700	0.6163	0.3073	0.6795
9	496.430	1.7756	0.7601	0.9180
10	499.910	0.8149	1.3451	1.9345
最大值	-	3.9981	1.3451	1.9345
平均值	-	1.2792	0.5338	0.6228

## 3.3 转台长时测试

### 3.3.1 测试方法

如图 3-2 所示，将 MZ100 固定安装在连续运动的转台上，反复多次上电启动设备并实



时采集姿态输出数据，每次采集时间 1h 左右，以考察 MZ100 在长时间连续运动状态下的航向角漂移与姿态测量能力。

### 3.3.2 测试结果

测试共采集了 10 组数据，其三轴姿态角误差统计结果见表 3-5。从表中可以看出，在多组测试数据中，MZ100 动态测量的航向角累积误差最大不超过 24.1467°、平均为 15.7256°，俯仰角误差最大不超过 12.7785°、平均为 6.2566°，横滚角误差最大不超过 11.8701°、平均为 6.6624°。

表 3-5 动态测试姿态误差统计

数据组	测量时长	航向角累积误差 (deg)	俯仰角误差 (deg)	横滚角误差 (deg)
1	1h 02' 32"	13.3734	1.7956	8.0903
2	1h 00' 44"	14.1116	1.2245	9.1097
3	1h 04' 01"	7.5452	11.2057	0.7651
4	0h 58' 54"	14.7947	2.8592	10.8626
5	0h 59' 06"	22.2823	9.7706	2.6535
6	1h 02' 11"	21.9462	5.4115	11.8701
7	1h 01' 36"	10.1908	12.6629	1.2532
8	1h 01' 54"	24.1467	1.0628	10.6350
9	1h 03' 02"	13.2667	12.7785	1.3762
10	0h 59' 26"	15.5985	3.7942	10.0085
最大值	-	24.1467	12.7785	11.8701
平均值	-	15.7256	6.2566	6.6624

## 3.4 连续开关机测试

### 3.4.1 测试方法

将 MZ100 置于室内，每上电测试 10 分钟后断电关机 1 次，每次关机 30 秒；重复上述操作 6 次，总测试时间约 1h。分别统计每次上电测试以及 1h 全程测试的姿态误差，以考察 MZ100 在连续开关机状态下的航向角漂移与姿态测量能力。

### 3.4.2 测试结果

每次上电测试以及 1h 全程测试的三轴姿态角变化情况见图 3-3。

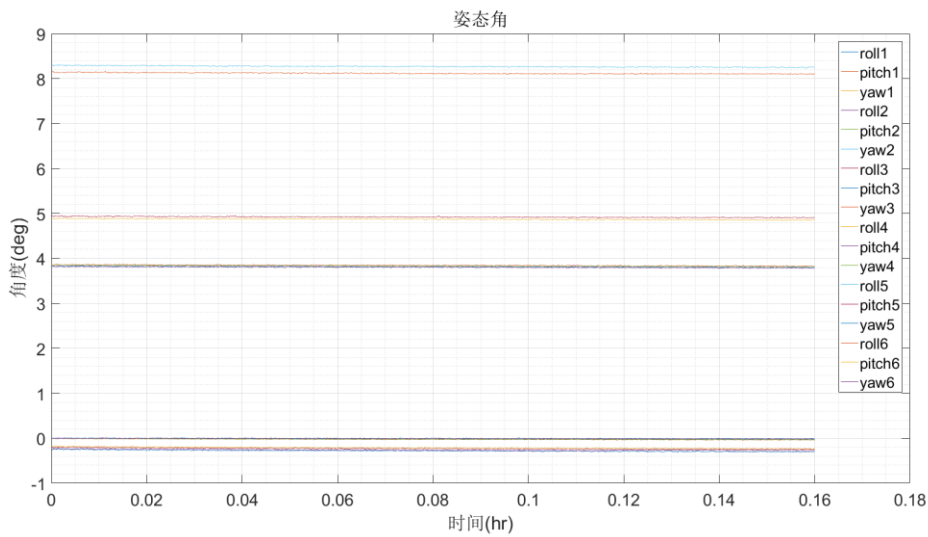


图 3-3 连续开关机测试姿态角变化

每次上电测试以及 1h 全程测试的三轴姿态角误差统计结果见表 3-6。从表中可以看出，每次开关机的航向角累积误差最大不超过  $0.0434^{\circ}$ ，俯仰角误差不超过  $0.0387^{\circ}$ ，横滚角误差不超过  $0.0582^{\circ}$ 。

表 3-6 连续开关机测试姿态误差统计

数据组	航向角累积误差 (deg)	俯仰角误差 (deg)	横滚角误差 (deg)
第 1 次开关机	0.0363	0.0343	0.0400
第 2 次开关机	0.0197	0.0344	0.0582
第 3 次开关机	0.0434	0.0322	0.0500
第 4 次开关机	0.0369	0.0387	0.0507
第 5 次开关机	0.0131	0.0289	0.0505
第 6 次开关机	0.0105	0.0302	0.0313

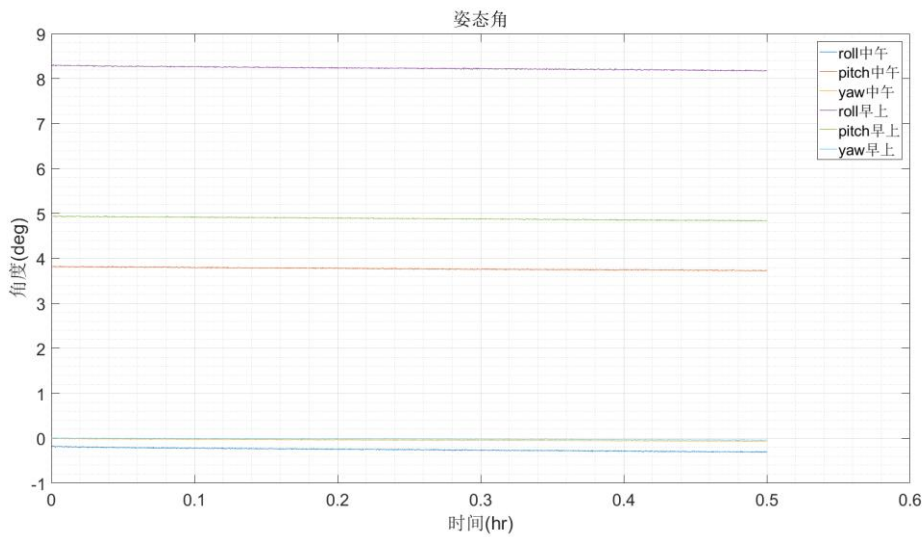
### 3.5 夜间降温测试

#### 3.5.1 测试方法

将 MZ100 置于室外，在中午 12 点上电启动设备并实时采集姿态输出数据，采集半小时后断电关机；直至第二天早上 6 点，重新上电开机并采集数据半小时。统计该过程中的姿态误差，以考察 MZ100 在经历了完整夜间降温后的航向角漂移与姿态测量能力。

#### 3.5.2 测试结果

整个夜间降温测试的三轴姿态角变化情况见图 3-4。


**图 3-4 夜间降温测试姿态角变化**

整个夜间降温测试的三轴姿态角误差统计结果见表 3-7。从表中可以看出，MZ100 在中午半小时的航向角累积误差为  $0.0701^{\circ}$ ，俯仰角误差为  $0.0912^{\circ}$ ，横滚角误差为  $0.1243^{\circ}$ ；在第二天早上半小时的航向角累积误差为  $0.0636^{\circ}$ ，俯仰角误差为  $0.0852^{\circ}$ ，横滚角误差为  $0.1245^{\circ}$ ；完整全程测试的航向角累积误差为  $0.1337^{\circ}$ ，俯仰角误差为  $0.1764^{\circ}$ ，横滚角误差为  $0.2488^{\circ}$ 。测试结果表明，虽然历经了长时间的夜间降温，MZ100 依然能够保持性能。

**表 3-7 夜间降温测试姿态误差统计**

数据组	航向角累积误差 (deg)	俯仰角误差 (deg)	横滚角误差 (deg)
中午 0.5h	0.0701	0.0912	0.1243
(第二天) 早上 0.5h	0.0636	0.0852	0.1245
<b>1h 全程</b>	<b>0.1337</b>	<b>0.1764</b>	<b>0.2488</b>

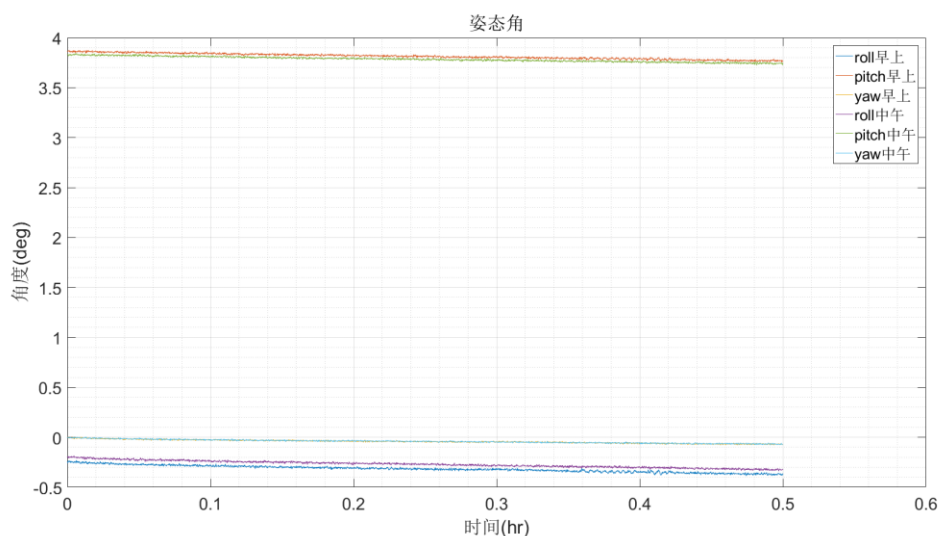
## 3.6 午间升温测试

### 3.6.1 测试方法

将 MZ100 置于室外，在早上 6 点上电启动设备并实时采集姿态输出数据，采集半小时后断电关机；直至中午 12 点，重新上电开机并采集数据半小时。统计该过程中的姿态误差，以考察 MZ100 在经历了完整午间升温后的航向角漂移与姿态测量能力。

### 3.6.2 测试结果

整个午间升温测试的三轴姿态角变化情况见图 3-5。


**图 3-5 午间升温测试姿态角变化**

整个午间升温测试的三轴姿态角误差统计结果见表 3-8。从表中可以看出，MZ100 在早上半小时的航向角累积误差为  $0.0740^{\circ}$ ，俯仰角误差为  $0.0959^{\circ}$ ，横滚角误差为  $0.1239^{\circ}$ ；在中午半小时的航向角累积误差为  $0.0439^{\circ}$ ，俯仰角误差为  $0.0974^{\circ}$ ，横滚角误差为  $0.1127^{\circ}$ ；完整全程测试的航向角累积误差为  $0.1179^{\circ}$ ，俯仰角误差为  $0.1933^{\circ}$ ，横滚角误差为  $0.2366^{\circ}$ 。测试结果表明，虽然历经了长时间的午间降温，但 MZ100 依然能够保持良好性能。

**表 3-8 午间升温测试姿态误差统计**

数据组	航向角累积误差 (deg)	俯仰角误差 (deg)	横滚角误差 (deg)
早上 0.5h	0.0740	0.0959	0.1239
中午 0.5h	0.0439	0.0974	0.1127
<b>1h 全程</b>	<b>0.1179</b>	<b>0.1933</b>	<b>0.2366</b>

### 3.7 重复上下墙测试

针对泳池清洁机器人，MZ100 设计具有“智能爬墙模式”，可自主检测机器人上墙状态，并通过动力学约束等优化算法，有效解决机器人重复上下墙以及长时间墙上作业时的航向角漂移痛点问题。

#### 3.7.1 测试方法

从地面标记好的起始点出发，运动到与地面垂直的墙壁上，**在墙壁上持续运动 10min** 后回到地面，然后再次运动到墙壁上、再次持续运动 10min；重复 5 次上述操作后，回到地面起始点位置，作为一组测试，记录结束与起始的姿态角，计算航向角漂移误差。

**重复上述测试 10 次，得到 10 组独立的测试数据结果。**

测试装置如图 3-6 所示。

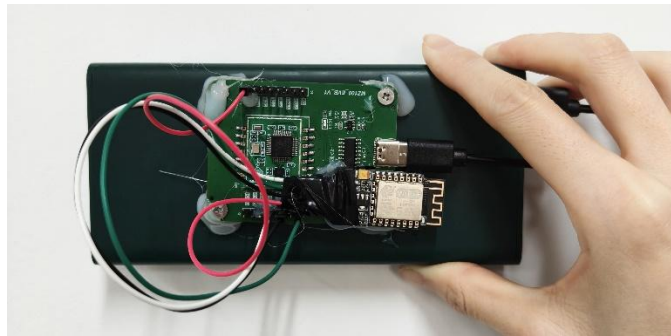


图 3-6 反复上下墙测试示意图

### 3.7.2 测试结果

对于每组测试，MZ100 连续 5 次上下墙测试（每次在墙上持续运动 10min）时的三轴姿态角变化曲线如图 3-7 所示。

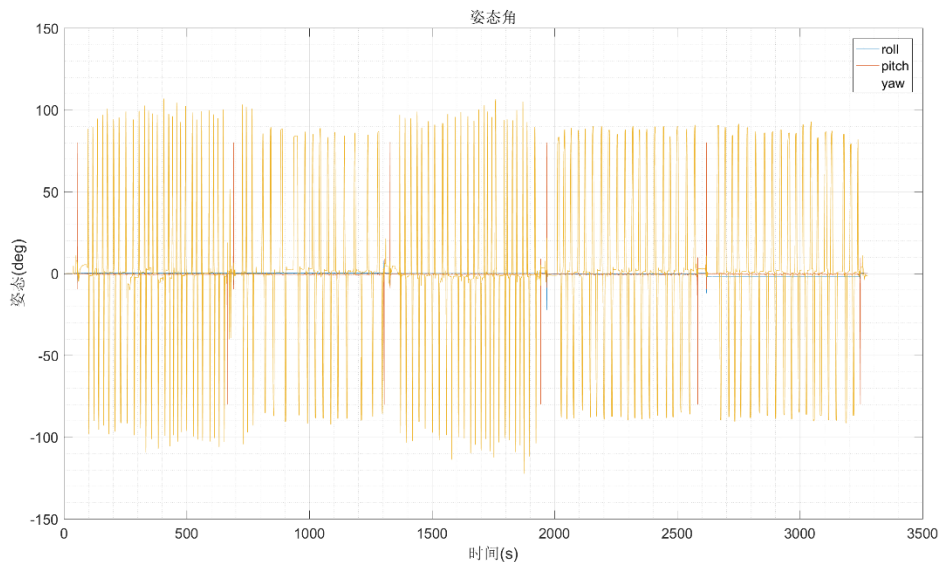


图 3-7 每组重复上下墙测试姿态角变化（连续上墙 5 次，每次墙上运动 10min）

MZ100 重复 10 组上下墙测试的三轴姿态角误差统计结果见表 3-9。每组测试，MZ100 均连续上墙 5 次、每次保持墙上运动 10min。统计这 10 组独立测试的数据结果可知，MZ100 重复上下墙的航向角平均误差为  $2.0550^\circ$ ，俯仰角平均误差为  $0.0426^\circ$ ，横滚角平均误差为  $0.0293^\circ$ 。

表 3-9 3min 重复上下墙测试姿态误差统计

数据组	航向角累积误差 (deg)	俯仰角误差 (deg)	横滚角误差 (deg)
1	0.3492	0.0382	0.1267
2	0.5729	0.0561	0.0311
3	1.2414	0.0147	0.0044

4	0.1740	0.0422	0.0005
5	1.5455	0.0093	0.0285
6	4.6492	0.0429	0.0217
7	1.6774	0.0343	0.0291
8	2.8372	0.0506	0.0152
9	4.8016	0.0416	0.0304
10	2.7020	0.0961	0.0060
最大值	4.8016	0.0961	0.1267
平均值	2.0550	0.0426	0.0293

### 3.8 长时爬墙测试

#### 3.8.1 测试方法

MZ100 长时爬墙测试借助垂直的转台设备来完成。

从地面标记好的起始点出发，运动到与地面垂直的转台平面上，并将设备固定到垂直的转台设备上，随转台转动 1 小时，然后取下设备并回到地面起始点，记录结束与起始的姿态角，计算航向角漂移误差。

重复上述测试 5 次，得到 5 组测试数据结果。

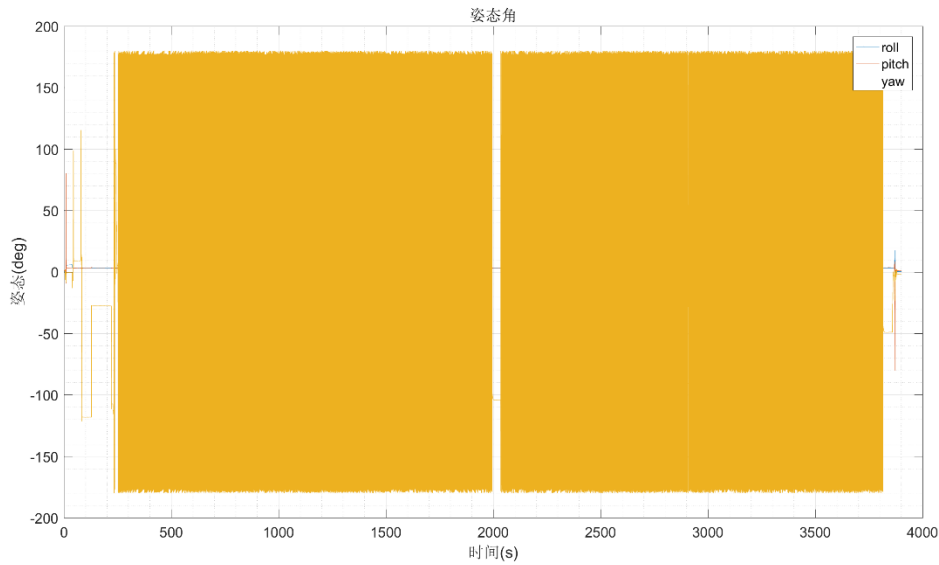
测试装置如图 3-8 所示。



图 3-8 长时爬墙测试示意图

#### 3.8.2 测试结果

MZ100 长时墙测试时的三轴姿态角变化曲线如图 3-9 所示。


**图 3-9 1h 长时爬墙测试姿态角变化**

MZ100 长时爬墙测试的三轴姿态角误差统计结果见表 3-10。每组测试，MZ100 均在墙上保持运动 1h。统计这 5 组独立测试的数据结果可知，MZ100 长时爬墙的航向角平均误差为  $3.0189^\circ$ ，俯仰角平均误差为  $0.2645^\circ$ ，横滚角平均误差为  $0.0644^\circ$ 。

**表 3-10 1h 长时爬墙测试姿态误差统计**

数据组	航向角累积误差 (deg)	俯仰角误差 (deg)	横滚角误差 (deg)
1	2.0539	0.0096	0.0020
2	4.9086	0.1495	0.0684
3	4.3605	0.0624	0.0287
4	2.5883	0.8572	0.2214
5	1.1833	0.2438	0.0019
最大值	4.9086	0.8572	0.2214
平均值	3.0189	0.2645	0.0644

## 四、总结

为验证 MZ100 六轴姿态模块性能，我们设计通过静态、动态、连续开关机、夜间降温、日间升温等测试场景和用例，对 MZ100 的航向角等姿态测量能力进行了分析和验证。

测试结果如下：

- 静止状态下，MZ100 一小时航向角累积漂移误差最大不超过  $0.0489^\circ$ ，俯仰角误差最大不超过  $0.1017^\circ$ ；

- 转台运动状态下，MZ100 一小时航向角累积漂移误差平均  $15.7256^{\circ}$ ，俯仰角误差平均  $6.2566^{\circ}$ ，横滚角误差平均  $6.6624^{\circ}$ ；
- 连续开关机上电测试表现出高度一致性，每次重新开机后的航向角一小时累积误差最大不超过  $0.0434^{\circ}$ ，俯仰角误差不超过  $0.0387^{\circ}$ ，横滚角误差不超过  $0.0582^{\circ}$ ；
- 夜间降温测试航向角累积误差  $0.1337^{\circ}$ ，午间升温测试航向角累积误差  $0.1179^{\circ}$ ；
- 连续 3 次重复上下墙测试（每次墙上保持运动状态 3min），MZ100 航向角平均误差  $1.4562^{\circ}$ ，俯仰角平均误差  $0.0638^{\circ}$ ，横滚角平均误差  $0.0186^{\circ}$ ；
- 长时爬墙测试（墙上保持运动状态 1h），MZ100 航向角误差  $2.0539^{\circ}$ ，俯仰角误差  $0.0096^{\circ}$ ，横滚角误差  $0.0020^{\circ}$ 。

测试结果表明，MZ100 具有较高的器件性能，能够良好满足智能割草机、AGV、机器人、智慧农业、机械控制等领域应用需求；配合自身特有的优化算法，能够有效解决泳池清洁机器人重复上下墙以及长时间墙上作业时的航向角漂移痛点问题，更好地适配客户开发需求。