

中华人民共和国国家标准

GB/T 28587—2012

移动测量系统惯性测量单元

Inertial measurement unit in the mobile mapping system

2012-06-29 发布

2012-10-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语及定义	1
4 产品分级	2
5 基本参数	2
6 通用技术要求	3
6.1 外观检查	3
6.2 功能检查	3
7 参数检验	3
7.1 检验条件	3
7.2 标准装置	3
7.3 检验项目	4
8 检验方法	4
8.1 转台调平	4
8.2 已知目标方位角建立	5
8.3 偏航角 ψ 的精度 δ_ψ	5
8.4 俯仰角 θ 的精度 δ_θ	5
8.5 侧滚角 φ 的精度 δ_φ	6
8.6 输出稳定性 B_S	7
8.7 开机重复性 B_R	7
9 环境试验	7
10 标志	7
11 包装	8
12 运输	8
13 贮存	8
附录 A (资料性附录) 检验记录计算实例	9
图 1 转台调平示意图	4
图 2 已知方位角目标示意图	5
表 1 准确度等级划分	2
表 2 惯性测量单元(IMU)基本参数	2
表 3 检验用标准装置	3

表 4 惯性测量单元(IMU)检验项目	4
表 A.1 偏航角精度 δ_ψ 检验记录表	9
表 A.2 俯仰角精度 δ_θ 检验记录表	10
表 A.3 侧滚角精度 δ_φ 检验记录表	11
表 A.4 输出稳定性 B_S 检验记录表	12
表 A.5 开机重复性 B_R 检验记录表	13



前 言

本标准依据 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由国家测绘地理信息局提出。

本标准由全国地理信息标准化技术委员会(SAC/TC 230)归口。

本标准起草单位:国家光电测距仪检测中心。

本标准主要起草人:方爱平、齐维君、杨俊志、翟清斌、吴秀娟、牟秀珍。



移动测量系统惯性测量单元

1 范围

本标准规定了移动测量系统中惯性测量单元(IMU)的产品分类、技术要求、试验方法、检验规则,仪器的包装、标志、运输和贮存的方法。

本标准适用于移动测量系统(机载、车载和船载等)中惯性测量单元(IMU)的设计、生产试验和检验。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 191 包装储运图示标志

GB/T 2423.1~2423.10、2423.25~2423.27 电工电子产品环境试验

GB/T 15464 仪器仪表包装通用技术条件

3 术语及定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

移动测量系统 **mobile measurement system**

测绘领域中以飞机、轮船、汽车等为载体,搭载测绘仪器进行测绘作业的系统。

3.2

惯性测量单元(IMU) **inertial measuring unit**

由3个正交安装的单轴陀螺仪或2个正交安装的双轴陀螺、3个正交安装的加速度计、相关辅助电路及结构体等部分构成,用于测量运动载体的三维角速度和非引力加速度(比力)的装置。

3.3

转台 **flight turntable**

用来复现飞行器姿态角运动的装置,有单轴转台、双轴转台和三轴转台之分。

3.4

IMU稳定性 **stability of measuring results**

在静止条件下,衡量IMU输出量围绕其均值的离散程度。以规定时间内输出量的标准偏差来表示,包括IMU三个轴向的输出量稳定性。

3.5

IMU开机重复性 **repeatability of measuring results**

在同样条件及规定间隔时间内,多次通电过程中,IMU输出量相对其均值的离散程度,以多次测试所得零偏的标准偏差表示,包括IMU三个轴向输出量的重复性。

3.6

俯仰角 **pitch**

航向倾角 **longitudinal tilt**

θ

载体坐标系 X_b 轴与水平面的夹角,从水平面起算,向上为正。

3.7

侧滚角 roll

旁向倾角 lateral tilt

φ

载体坐标系 Y_b 轴与水平面的夹角,从水平面起算,右倾为正。

3.8

偏航角 yaw

真航向 true heading

ψ

在水平面内,载体坐标系 X_b 轴与真北方向之间的夹角,从真北方向起算,右偏为正。

4 产品分级

惯性测量单元(IMU)用来测定运动载体姿态的偏航角 ψ 、俯仰角 θ 和侧滚角 φ ,即航向、俯仰、横滚的状态。它是由三个陀螺仪及三个加速度计组成,由导航计算机对陀螺仪及加速度计的原始测量数据进行处理后,输出偏航角 ψ 、俯仰角 θ 和侧滚角 φ 等参数。

惯性测量单元(IMU)的测量准确度等级以输出参数的标准差来划分,参见表 1。

表 1 准确度等级划分 单位为度(°)

准确度等级	测角标准差(δ)
I	$\delta \leq 0.01$
II	$0.01 < \delta \leq 0.02$
III	$0.02 < \delta$

5 基本参数

惯性测量单元(IMU)的基本参数参见表 2。

表 2 惯性测量单元(IMU)基本参数 单位为度(°)

序号	项目	仪器等级		
		I	II	III
1	偏航角 ψ 的精度 δ_ψ	$\delta_\psi \leq 0.01$	$0.01 < \delta_\psi \leq 0.02$	$0.02 < \delta_\psi$
2	俯仰角 θ 的精度 δ_θ	$\delta_\theta \leq 0.005$	$0.005 < \delta_\theta \leq 0.01$	$0.01 < \delta_\theta$
3	侧滚角 φ 的精度 δ_φ	$\delta_\varphi \leq 0.005$	$0.005 < \delta_\varphi \leq 0.01$	$0.01 < \delta_\varphi$
4	输出稳定性 B_S	$B_S \leq 0.01$	$0.01 < B_S \leq 0.1$	$0.1 < B_S$
5	开机重复性 B_R	$B_R \leq 0.01$	$0.01 < B_R \leq 0.1$	$0.1 < B_R$

6 通用技术要求

6.1 外观检查

外观检查应包括下列几项内容：

- a) 表面应清洁,无裂纹、碰伤、划痕、毛刺,金属件无锈蚀,涂镀层完好无剥落;
- b) 紧固件、连接件应牢固无松动,并用胶(或漆)固封;
- c) 电连接器应完整无损,绝缘层完好;
- d) 至少具有两个相互垂直的基准面;
- e) 所有标志、印记应清晰、正确,并位于明显处,无短缺字符现象。



6.2 功能检查

功能检查应包括下列几项内容：

- a) 先通电检验,查看输出应正常;
- b) 各种操作键、按钮或开关应反应灵敏、功能正常;
- c) 如有显示屏,显示的各种字符应清晰、内容完整、对比度适当;
- d) 数据输出完好;
- e) 仪器的附件齐全。

7 参数检验

7.1 检验条件

检验条件包含下列内容：

- a) 检验工作应在实验室内常温下进行;
- b) 实验室应不受强电场、磁场和震动的影响;
- c) 环境实验部分应满足相关条件。

7.2 标准装置

检验设备主要是位置转台。检验设备应装有安全限制装置,以免惯性测量单元(IMU)在电、机械、热等方面过载或输入量过大。

检验用标准装置及其技术要求见表3。

表3 检验用标准装置

单位为秒(")

序号	标准器具名称	技术要求
1	已知真方位角目标	1.0(标准差)
2	转台(双轴)	3.0(角位置定位误差) 3.0(两轴垂直度)

7.3 检验项目

惯性测量单元(IMU)的检验项目见表 4。

表 4 惯性测量单元(IMU)检验项目

序号	检验项目	检验类型	
		定型鉴定	出厂检验
1	外观及一般功能检查	+	+
2	偏航角 ψ 的精度 δ_ψ	+	+
3	俯仰角 θ 的精度 δ_θ	+	+
4	侧滚角 φ 的精度 δ_φ	+	+
5	输出稳定性 B_s	+	+
6	开机重复性 B_R	+	+

注：检验类型中，“+”为应检项目；“—”为可不检项目。

8 检验方法

8.1 转台调平

在进行惯性测量单元(IMU)的检测前,首先要精密调平转台,调平的方法是将水平传感器按图 1 所示方向安置于工作平台上,传感器输出含有 X 和 Y 轴信号,它们是与水平误差(角度)成线性关系的模拟直流电压信号。当 X 值大于 0, Y 值小于 0,撑腿 1 为最高点;当 X 值小于 0, Y 值小于 0,撑腿 2 为最高点;当 X 值小于 0, Y 值大于 0,撑腿 3 为最高点;当 X 值大于 0, Y 值大于 0,撑腿 4 为最高点。

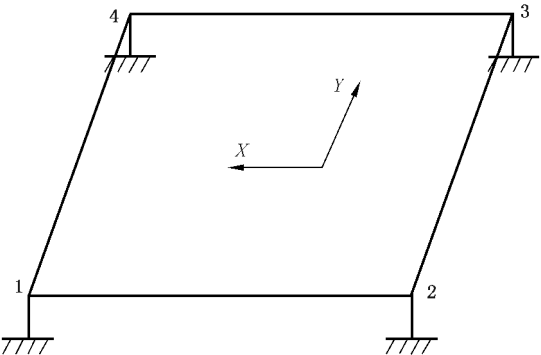


图 1 转台调平示意图

假设撑腿着地后撑腿 1 为最高点(其他撑腿为最高点也一样),根据水平传感器的信号,可以分别进行 X 轴和 Y 轴方向的调节。如先进行 X 轴调节,其过程如下:

- a) 撑腿 1 和 4 不动,撑腿 2 和 3 同时上升一定位移,即工作平台绕撑腿 1 和 4 为轴线旋转,撑腿 2 和 3 同时上升,上升的数值根据水平传感器的 X 轴反馈值决定,直至 X 轴呈水平状态;
- b) 撑腿 3 和 4 不动,撑腿 1 和 2 同时上升一定位移,操作方法与 a)类似,进行 Y 轴的水平调节;
- c) 若工作台的 X 轴和 Y 轴都调节成水平状态,则认为工作台处于水平状态。

转台的调平也可以按照转台使用手册中的方法或其他能满足相应精度要求的方法。

8.2 已知目标方位角建立

利用天文测量的方法在室内建立一条接近北方向的已知真方位角的目标,其准确度(标准差)应不大于 $1''$,应至少还有一条与目标方向大致相差 90° 的检核边,参见图 2。

检验之前,应检查目标方向是否发生了变化。

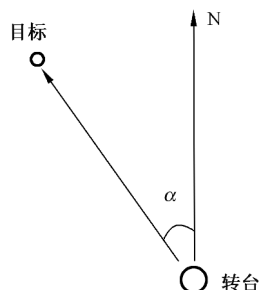


图 2 已知方位角目标示意图

8.3 偏航角 ψ 的精度 δ_ψ

8.3.1 检验方法

IMU 的偏航角 ψ 的精度 δ_ψ 的检验方法及步骤如下:

- 将 IMU 安装到转台上,转动转台轴使 IMU 的航向轴对准转台的正北方向;
- 读取转台输出 α_1 ;
- 启动 IMU 进行测量,得偏航角观测值 ψ_1 ;
- 顺时针转动转台 $\alpha_2 = 10^\circ$ 后,从 IMU 上得偏航角观测值 ψ_2 ;
- 重复 d),共转动转台 $n(n=36)$ 次后,得 IMU 上偏航角观测值 $\psi_i (i=1, 2, \dots, n)$,转台转动的角度为 $\alpha_i (i=1, 2, \dots, n)$ 。

8.3.2 数据处理

IMU 的偏航角 ψ 的精度 δ_ψ 的数据处理及计算过程如下:

- 计算偏航角误差平均值:

$$\bar{\psi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\psi_i - \alpha_i) \quad \dots\dots\dots (1)$$

- 计算偏航角观测值的残差 ν_i :

$$\nu_i = (\psi_i - \alpha_i) - \bar{\psi} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (2)$$

- 偏航角 ψ 的精度 δ_ψ :

$$\delta_\psi = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \nu_i^2}{n-1}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

n ——测量次数;

δ_ψ 应满足表 2 的要求。计算实例参见表 A.1。

8.4 俯仰角 θ 的精度 δ_θ

8.4.1 检验方法

俯仰角 θ 的精度 δ_θ 的检验方法及步骤如下:

- 将 IMU 安装到转台上,使 IMU 测定俯仰角 θ 的轴与转台的一个轴重合;

- b) 将转台选择至 -20° ,读取转台输出量 α_1 ;
- c) 启动 IMU 进行测量,得俯仰角观测值 θ_1 ;
- d) 向回转动转台 2° 后,从 IMU 上得俯仰角观测值 θ_2 ;
- e) 重复 d),共转动转台 $n(n=21)$ 次后,得 IMU 上俯仰角观测值 $\theta_i(i=1,2,\cdots,n)$,读取转台输出量 $\alpha_i(i=1,2,\cdots,n)$ 。

8.4.2 数据处理

俯仰角 θ 的精度 δ_θ 的数据处理及计算步骤如下:

- a) 计算俯仰角误差平均值:

$$\bar{\theta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\theta_i \pm \alpha_i) \quad \cdots \cdots \cdots (4)$$

- b) 计算俯仰角观测值的残差 ν_i :

$$\nu_i = (\theta_i \pm \alpha_i) - \bar{\theta} \quad (i=1,2,\cdots,n) \quad \cdots \cdots \cdots (5)$$

- c) 俯仰角 θ 的精度 δ_θ :

$$\delta_\theta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \nu_i^2}{n-1}} \quad \cdots \cdots \cdots (6)$$

式中:

n ——测量次数;

δ_θ 应满足表 2 的要求。计算实例参见附录 A 表 A.2。

8.5 侧滚角 φ 的精度 δ_φ

8.5.1 检验方法

侧滚角 φ 的精度 δ_φ 的检验方法及步骤如下:

- a) 将 IMU 安装到转台上,使 IMU 测定侧滚角 φ 的轴与转台的一个轴重合;
- b) 将转台选择至 -20° ,读取转台输出量 α_1 ;
- c) 启动 IMU 进行测量,得侧滚角观测值 φ_1 ;
- d) 向回转动转台 2° 后,从 IMU 上得侧滚角观测值 φ_2 ;
- e) 重复 d),共转动转台 $n(n=21)$ 次后,得 IMU 上侧滚角观测值 $\varphi_i(i=1,2,\cdots,n)$,转台转动的角度为 $\alpha_i(i=1,2,\cdots,n)$ 。

8.5.2 数据处理

侧滚角 φ 的精度 δ_φ 数据处理及计算步骤如下:

- a) 计算侧滚角误差平均值:

$$\bar{\varphi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\varphi_i \pm \alpha_i) \quad \cdots \cdots \cdots (7)$$

- b) 计算侧滚角 φ 观测值的残差 ν_i :

$$\nu_i = (\varphi_i \pm \alpha_i) - \bar{\varphi} \quad (i=1,2,\cdots,n) \quad \cdots \cdots \cdots (8)$$

- c) 侧滚角 φ 的精度 δ_φ :

$$\delta_\varphi = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \nu_i^2}{n-1}} \quad \cdots \cdots \cdots (9)$$

式中:

n ——测量次数;

δ_φ 应满足表 2 的要求。计算实例参见表 A.3。

8.6 输出稳定性 B_s

8.6.1 检验方法

将惯性测量单元(IMU)安装在检测设备上,并使航角指北。检验方法如下:

- 设定输出量测的采样间隔时间为 5 min,测试时间不少于 60 min;
- 接通电源,记录 IMU 在测试时间内的输出量。

8.6.2 数据处理

惯性测量单元(IMU)稳定性检验的数据处理程序如下:

- 计算输出量的平均值 \bar{w}

$$\bar{w} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n w_i \right) \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

w_i ——三个轴向(侧滚角 φ 、偏航角 ψ 和俯仰角 θ)输出量。

- 计算稳定性

计算观测值的残差 ν_i :

$$\nu_i = w_i - \bar{w} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (11)$$

计算输出量重复性:

$$B_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \nu_i^2}{n-1}} \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中:

n ——测量次数;

取三个轴向中的最大值为 B_s 的最后检验结果, B_s 应满足表 2 的要求。计算实例参见表 A.4。

8.7 开机重复性 B_R

8.7.1 检验方法

将惯性测量单元(IMU)安装在测试设备上,并使航角指北。检验方法如下:

- 接通电源,记录惯性测量单元(IMU)开机直到输出结果稳定后,记录输出量并关闭电源;
- 再开机,重复 a),重复次数不少于 10 次。

8.7.2 数据处理

惯性测量单元(IMU)开机重复性检验的数据处理参见 8.6.2。

B_R 应满足表 2 的要求。计算实例参见表 A.5。

9 环境试验

按 GB/T 2423.1~2423.10、2423.25~2423.27 相关要求对环境试验。

10 标志

10.1 仪器上应具有产品型号、名称、商标、仪器制造商和仪器编号等标志。

10.2 说明书和包装上应标注产品的型号、名称、商标、仪器制造商和详细地址。

11 包装

仪器的包装应符合 GB/T 15464 规定。包装储运标志应符合 GB/T 191 的规定。

12 运输

12.1 仪器搬运和放置按照运输箱的标志进行,应严格遵守仪器搬运和运输的相关规则。

12.2 应禁止与易燃、易爆、易腐蚀等物品同车装运。

12.3 应有防雨、防日晒、防撞击和防跌落的措施。

13 贮存

仪器应贮存在通风良好、隔热、保温、排水、具防火措施的场所。



附 录 A
(资料性附录)
检验记录计算实例

表 A.1~表 A.5 分别给出了偏航角精度 δ_ψ 、俯仰角精度 δ_θ 、侧滚角精度 δ_φ 、IMU 输出稳定性 B_s 及开机重复性 B_R 的检验记录计算实例。

表 A.1 偏航角精度 δ_ψ 检验记录表

检测编号: _____

仪器型号: _____

仪器编号: _____

观 测: _____

记 录: _____

日 期: _____

单位: 度(°)

序号	转台读数输出值 α_i	偏航角输出值 ψ_i	残差 ν_i
1	0.000	166.894	-0.003 2
2	10.000	176.894	-0.003 2
3	20.000	186.895	-0.002 2
4	30.000	196.896	-0.001 2
5	40.000	206.896	-0.001 2
6	50.000	216.896	-0.001 2
7	60.000	226.897	-0.000 2
8	70.000	236.898	0.000 8
9	80.000	246.898	0.000 8
10	90.000	256.897	-0.000 2
11	100.000	266.898	0.000 8
12	110.000	276.898	0.000 8
13	120.000	286.898	0.000 8
14	130.000	296.898	0.000 8
15	140.000	306.898	0.000 8
16	150.000	316.899	0.001 8
17	160.000	326.899	0.001 8
18	170.000	336.898	0.000 8
19	180.000	346.898	0.000 8
20	190.000	356.899	0.001 8
21	200.000	6.898	0.000 8
22	210.000	16.898	0.000 8
23	220.000	26.897	-0.000 2
24	230.000	36.897	-0.000 2
25	240.000	46.898	0.000 8
26	250.000	56.897	-0.000 2

表 A.1 (续) 单位为度(°)

序号	转台读数输出值 α_i	偏航角输出值 ψ_i	残差 ν_i
27	260.000	66.897	−0.000 2
28	270.000	76.898	0.000 8
29	280.000	86.898	0.000 8
30	290.000	96.898	0.000 8
31	300.000	106.897	−0.000 2
32	310.000	116.897	−0.000 2
33	320.000	126.897	−0.000 2
34	330.000	136.897	−0.000 2
35	340.000	146.896	−0.001 2
36	350.000	156.896	−0.001 2
偏航角 ψ 的精度 $\delta_\psi=0.001\ 2$			

表 A.2 俯仰角精度 δ_θ 检验记录表

检测编号: _____ 仪器型号: _____ 仪器编号: _____
观 测: _____ 记 录: _____ 日 期: _____

单位为度(°)

序号	转台读数输出值 α_i	俯仰角输出值 θ_i	残差 ν_i
1	20.000 0	−19.981	−0.002 2
2	18.000 0	−17.981	−0.002 2
3	16.000 0	−15.980	−0.001 2
4	14.000 0	−13.980	−0.001 2
5	12.000 0	−11.979	−0.000 2
6	10.000 0	−9.979	−0.000 2
7	8.000 0	−7.979	−0.000 2
8	6.000 0	−5.979	−0.000 2
9	4.000 0	−3.978	0.000 8
10	2.000 0	−1.978	0.000 8
11	0.000 0	0.021	−0.000 2
12	−2.000 0	2.021	−0.000 2
13	−4.000 0	4.021	−0.000 2
14	−6.000 0	6.022	0.000 8
15	−8.000 0	8.022	0.000 8
16	−10.000 0	10.022	0.000 8
17	−12.000 0	12.022	0.000 8

表 A.2 (续)

单位为度(°)

序号	转台读数输出值 α_i	俯仰角输出值 θ_i	残差 ν_i
18	-14.000 0	14.022	0.000 8
19	-16.000 0	16.023	0.001 8
20	-18.000 0	18.022	0.000 8
21	-20.000 0	20.022	0.000 8
俯仰角 θ 的精度 $\delta_\theta=0.001\ 0$			

表 A.3 侧滚角精度 δ_φ 检验记录表

检测编号: _____

仪器型号: _____

仪器编号: _____

观 测: _____

记 录: _____

日 期: _____

单位为度(°)

序号	转台读数输出值 α_i	侧滚角输出值 φ_i	残差 ν_i
1	-20.000 0	-20.047	0.000 6
2	-18.000 0	-18.047	0.000 6
3	-16.000 0	-16.047	0.000 6
4	-14.000 0	-14.047	0.000 6
5	-12.000 0	-12.047	0.000 6
6	-10.000 0	-10.047	0.000 6
7	-8.000 0	-8.047	0.000 6
8	-6.000 0	-6.047	0.000 6
9	-4.000 0	-4.047	0.000 6
10	-2.000 0	-2.047	0.000 6
11	0.000 0	-0.047	0.000 6
12	2.000 0	1.952	-0.000 4
13	4.000 0	3.952	-0.000 4
14	6.000 0	5.952	-0.000 4
15	8.000 0	7.952	-0.000 4
16	10.000 0	9.951	-0.001 4
17	12.000 0	11.951	-0.001 4
18	14.000 0	13.952	-0.000 4
19	16.000 0	15.952	-0.000 4
20	18.000 0	17.952	-0.000 4
21	20.000 0	19.952	-0.000 4
侧滚角 φ 的精度 $\delta_\varphi=0.006\ 7$			

表 A.4 输出稳定性 B_s 检验记录表

检测编号: _____ 仪器型号: _____ 仪器编号: _____
 观测: _____ 记录: _____ 日期: _____

序号	时间 min	IMU 输出量/(°)					
		侧滚角 φ		偏航角 ψ		俯仰角 θ	
		观测值	残差	观测值	残差	观测值	残差
1	0	-0.050	0.001	3.187	-0.002 2	0.014	0.005 4
2	5	-0.050	0.001	3.188	-0.001 2	0.012	0.003 4
3	10	-0.051	0.000	3.188	-0.001 2	0.011	0.002 4
4	15	-0.051	0.000	3.189	-0.000 2	0.009	0.000 4
5	20	-0.051	0.000	3.189	-0.000 2	0.008	-0.000 6
6	25	-0.052	-0.001	3.189	-0.000 2	0.007	-0.001 6
7	30	-0.052	-0.001	3.190	0.000 8	0.007	-0.001 6
8	35	-0.052	-0.001	3.190	0.000 8	0.007	-0.001 6
9	40	-0.052	-0.001	3.190	0.000 8	0.007	-0.001 6
10	45	-0.052	-0.001	3.190	0.000 8	0.007	-0.001 6
11	50	-0.052	-0.001	3.190	0.000 8	0.007	-0.001 6
12	55	-0.052	-0.001	3.190	0.000 8	0.008	-0.000 6
13	60	-0.052	-0.001	3.190	0.000 8	0.008	-0.000 6
输出量平均值		-0.051		3.189 2		0.008 6	
输出量标准差		0.000 8		0.001 0		0.002 2	
最后检验结果		$B_s=0.002$					

表 A.5 开机重复性 B_R 检验记录表

检测编号: _____

仪器型号: _____

仪器编号: _____

观 测: _____

记 录: _____

日 期: _____

序号	开机 次数	IMU 输出量/(°)					
		侧滚角 φ		偏航角 ψ		俯仰角 θ	
		观测值	残差	观测值	残差	观测值	残差
1	1	−0.049	0.000 5	2.082	−0.091 5	0.014	−0.000 6
2	2	−0.050	−0.000 5	2.094	−0.079 5	0.014	−0.000 6
3	3	−0.049	0.000 5	2.069	−0.104 5	0.014	−0.000 6
4	4	−0.050	−0.000 5	2.121	−0.052 5	0.014	−0.000 6
5	5	−0.049	0.000 5	2.108	−0.065 5	0.015	0.000 4
6	6	−0.050	−0.000 5	1.991	−0.182 5	0.015	0.000 4
7	7	−0.049	0.000 5	2.080	−0.093 5	0.014	−0.000 6
8	8	−0.050	−0.000 5	2.248	0.074 5	0.015	0.000 4
9	9	−0.049	0.000 5	2.350	0.176 5	0.016	0.001 4
10	10	−0.050	−0.000 5	2.592	0.418 5	0.015	0.000 4
输出量平均值		−0.049 5		2.173 5		0.014 6	
输出量标准差		0.000 5		0.178 4		0.000 7	
最后检验结果		$B_R=0.178$					
