

指标响应文件

河北汉光重工有限责任公司

技术参数及配置要求

1、主要功能

- a) 具有系泊和母船行进（可使用卫星辅助）条件下的启动对准功能；
- b) 能够提供载体位置信息、角速度及线加速度信息；
- c) 能够提供载体纵向、横向和垂向速度信息；
- d) 能够提供载体航向角、纵横摇角信息；
- e) 具有设备自检、状态监测功能；
- f) 具有通过网口导出内记的功能；
- g) 具有短距离内往返标定惯导系统与 DVL 的参数功能。
- h) 支持海上对准、水下静态对准、快速对准等多种对准方式；
- i) 支持纯惯性、GPS 组合导航、DVL 组合导航、USBL 组合导航等多种工作模式；
- j) 能够通过相关指令能够对惯导工作参数（杆臂、DVL 安装偏差角、校正系数、串口通讯方式、串口波特率、串口输出频率等）进行配置。
- k) 惯导系统的网络通讯采用 10/100M 自适应网络。

2、工作条件

- a) 工作区域：全纬度；
- b) 工作温度：-40°C~60°C；
- c) 贮存温度：-50°C~70°C；
- d) 冲击：30g in 6ms；
- e) 振动：2g sine (5 to 100 Hz)。

3、性能指标

- a) 对准时：10min；

- b) 对准方式：水下静态对准（给出当地纬度、经度和高度），母船行进中对准（接入 GPS）；
- c) 航向精度 (RMS): $0.03^\circ * \sec\phi$ (ϕ 为当地纬度);
- d) 姿态精度 (RMS): 0.01° ;
- e) 纯惯性定位精度 CEP50: 0.8nm/h ;
- f) DVL 组合定位精度 CEP50: $0.3\%D$ (D 为航程, DVL 测速精度 0.5%);
- g) 航向测量范围: $0^\circ \sim 360^\circ$;
- h) 横滚角测量范围: $-180^\circ \sim +180^\circ$;
- i) 俯仰角测量范围: $-90^\circ \sim +90^\circ$;
- j) 角速度测量范围: $\pm 300^\circ/\text{s}$;
- k) 加速度测量范围: $\pm 10g$;
- l) 平均无故障工作时间: 10000h。

4、电气接口

- a) 输入电压: DC18V~36V (24V), 稳态功耗不大于 20W, 瞬态不大于 35W;
- b) 数据传输接口: 1 路 RS232/RS422 可配, 4 路 RS422, 2 路 RS232, 2 路网口;

表 4 惯导系统端口配置表

端口号	端口类型	收/发	设备	备注(可配置)
A	RS232/RS422	收/发	加速度、角速度输出频率 100Hz	115200bps
B	RS232/RS422	收	备用	115200bps
C	RS422	收/发	备用	115200bps
D	RS422	收/发	备用	115200bps
E	RS422	收/发	配置口	115200bps
F	RS232	收/发	备用	115200bps
G	RS232	收/发	程序升级	115200bps
1	网络内记口	/	内记口	内记导出
2	网络通讯口	收/发	通讯口	导航口(50Hz)

c) 数据更新频率：输出可配置到至少 1 个输出口，更新率 1~100Hz
可配置；

d) 数据输出模式：上电主动输出；

e) 支持多种外部辅助设备（如 GPS、DVL、USBL、深度计等）。

5、机械指标

a) 重量：<4.9kg；

b) 尺寸：165mm×165mm×127mm（公差：±1mm；不含接插件高度）。

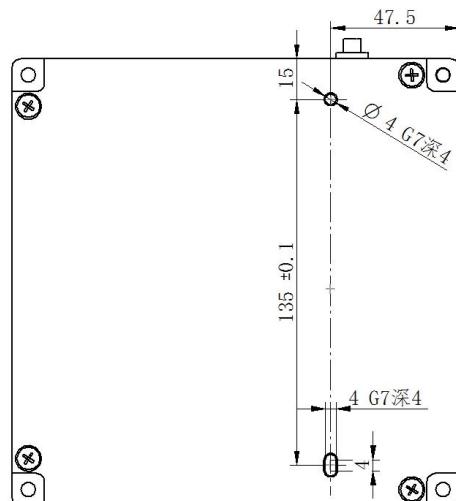


图 5 外形图一

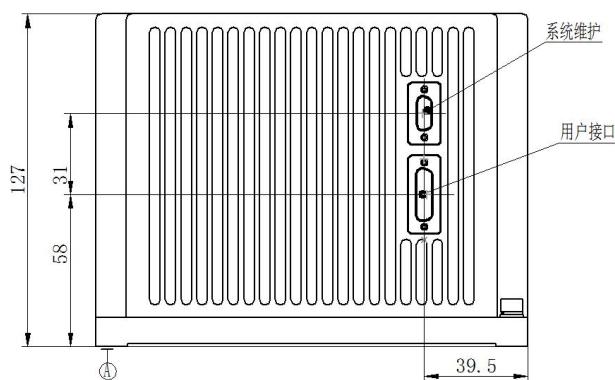


图 6 外形图二

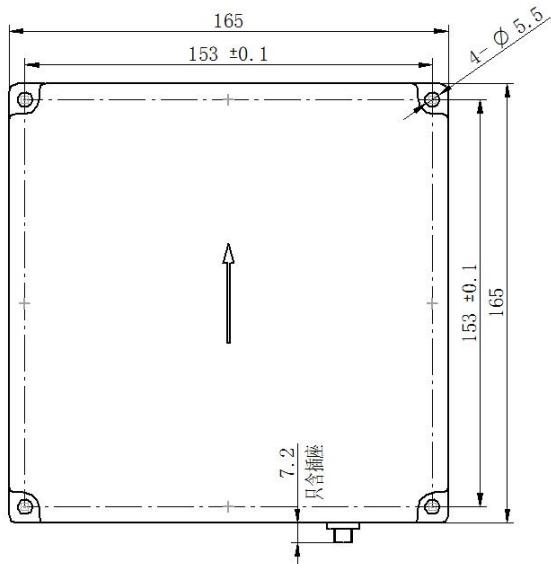


图 7 外形图三

6、陀螺相关技术指标

- a) 量程: $\pm 400^\circ/\text{s}$;
- b) 常温标度因数非线性: $\leq 20\text{ppm}$;
- c) 常温零偏稳定性(100s, 1σ , $^\circ/\text{h}$): ≤ 0.004 ;
- d) 常温零偏重复性(1σ , $^\circ/\text{h}$): ≤ 0.004 ;
- e) 随机游走 ($^\circ/\sqrt{\text{h}}$): ≤ 0.001 ;
- f) 数据更新率: 1000Hz;

7、加速度计相关技术指标

- a) 全温偏值温度系数: $\leq 10\mu\text{g}/^\circ\text{C}$;
- b) 全温标度因数温度系数: $\leq 10\mu\text{g}/\text{g}^2$;
- c) 偏值长期重复性: $\leq 10\mu\text{g}$;
- d) 标度因数长期重复性: $\leq 15\text{ppm}$;
- e) 偏值短期稳定性: $\leq 10\text{ppm}$;
- f) 标度因数短期稳定性: $\leq 10\text{ppm}$;
- g) 工作温度: $-55\sim+85^\circ\text{C}$;
- h) 温度传感器: PT1000;

8、售后服务体系

售后服务：参加路上联调试验；参加内场联调试验；参加湖上联调试验；

电话支持：7*24 小时；质保期：5 年；服务时限：报修后 24 小时；

商品承诺：原厂全新未拆封正品，并出具车载纯惯性定位精度报告、航姿精度报告、湖试报告和环境试验报告；

交付周期：15 工作日。

注：

售后服务承诺书见附件一；

HsKINS-M110-B5 惯导系统技术说明书见附件二；

车载纯惯性定位精度报告见附件三；

航姿精度报告见附件四；

湖试报告见附件五；

环境试验报告见附件六；

全纬度应用证明见附件七。

投标人（全称及公章）：河北汉光重工有限责任公司

日 期：2024 年 1 月 12 日



附件一 售后服务承诺书

为了保证投标产品的长期可靠运行，以确保用户的利益，并获取用户的满意。本公司对产品的质量、质保期保修、售后服务及具体保障内容作出如下计划安排及承诺：

- 1.产品具备联调条件后，我公司派遣专业技术人员安装调试，并参加联调试验（包括路上联调试验；内场联调试验；湖上联调试验），提供技术支持及售后服务，解决甲方关于联调试验的技术问题；
- 2.维修电话响应，我公司设有客户服务热线电话 7×24 小时随时响应用户对系统故障维修的要求。

售后服务联系人：姜工、王工（结构）

联系电话：150-8140-5385(24h)、189-3160-7959(24h)

Email 地址：lijianyi368@126.com

- 3.仪器设备的主机和配件免费保修年限 5 年；
- 4.甲方通知后，需要现场维修，售后服务响应及到达现场的时间：国内 2 小时响应、24 小时到达；（指从接到采购人的通知后，报障至到达故障现场的时间）；
- 5.商品承诺：原厂全新未拆封正品，并出具车载纯惯性定位精度报告、航姿精度报告、湖试报告和环境试验报告；
- 6.交付周期：合同签订后 15 个工作日。

投标人（全称及公章）：河北汉光重~~工~~有限责任公司

日 期：2024 年 1 月 12 日



附件二 HsKINS-M110-B5 惯导系统技术说明书

HsKINS-M110-B5 惯导系统是以三轴光纤陀螺仪、加速度计为核心元件，通过光纤陀螺和加速度计输出的角速率和比力信息，经过导航解算实时输出载体的姿态、航向、位置、速度等信息，并可以与外部辅助设备（DVL、GPS、USBL 和深度计等）进行数据融合，为潜水器/UUV 的导航和控制提供参考。

一. 惯导系统指标

1. 主要功能

- a) 具有系泊和母船行进（可使用卫星辅助）条件下的启动对准功能；
- b) 能够提供载体位置信息、角速度及线加速度信息；
- c) 能够提供载体纵向、横向和垂向速度信息；
- d) 能够提供载体航向角、纵横摇角信息；
- e) 具有设备自检、状态监测功能；
- f) 具有通过网口导出内寄的功能；
- g) 具有在湖上短距离内往返标定惯导系统与 DVL 的参数功能。
- h) 支持海上对准、水下静态对准、快速对准等多种对准方式；
- i) 能够通过相关指令能够对惯导工作参数（杆臂、DVL 安装偏差角、校正系数、串口通讯方式、串口波特率、串口输出频率等）进行配置。
- j) 惯导系统的网络通讯采用 10/100M 自适应网络。

2. 工作条件

- a) 工作区域：全纬度；
- b) 工作温度：-40°C~60°C；
- c) 贮存温度：-50°C~70°C；
- d) 冲击：30g in 6ms；
- e) 振动：2g sine (5 to 100 Hz)。

3. 性能指标

- a) 对准时问: 10min;
- b) 对准方式: 水下静态对准 (给出当地点纬经高), 母船行进中对准 (接入 GPS);
- c) 航向精度 (RMS): $0.03^\circ * \sec\varphi$ (φ 当点纬度);
- d) 姿态精度 (RMS): 0.01° ;
- e) 纯惯性定位精度 CEP50: 0.8nm/h;
- f) DVL 组合定位精度 CEP50: $0.3\%D$ (D 为航程, DVL 测速精度 0.5%);
- g) 航向测量范围: $0^\circ \sim 360^\circ$;
- h) 横滚角测量范围: $-180^\circ \sim +180^\circ$;
- i) 俯仰角测量范围: $-90^\circ \sim +90^\circ$;
- j) 角速度测量范围: $\pm 300^\circ/\text{s}$;
- k) 加速度测量范围: $\pm 10g$;
- l) 可靠性平均无故障时间: 10000h。

4. 电气接口

- a) 输入电压: DC18V~36V (24V), 稳态功耗不大于 20W, 瞬态不大于 35W;
- b) 输出连接器类型: J30JM-15ZKP 和 J30JM-25ZKP;
- c) 连接器针脚分为 15 芯(系统维护)和 25 芯(用户接口), 见表 1-表 2, 其中同步信号为 TTL 电平接口, 占空比可配置;
- d) 端口配置说明见表 3。

表 1 惯导系统维护接口定义

J30JM-15ZKP (系统维护)				
序号	名称	代号	说明	备注
1	RS-232 通讯 口 (COMG)	COMG_Tx	232 发送	程序升级
2		COMG_Rx	232 接收	
3		GND_G	信号地	

4	网络内记口 1	NET1_R+	网络接收+	网络内记口
5		NET1_R-	网络接收-	
6		NET1_T+	网络发送+	
7		NET1_T-	网络发送-	
8	RS-422 通讯口 (COMC)	RS422TX(+)C	422 发送+	COMC
9		RS422TX(-)C	422 发送-	
10		RS422RX(+)C	422 接收+	
11		RS422RX(-)C	422 接收-	
12	RS-422 通讯口 (COMD)	RS422TX(+)D	422 发送+	COMD
13		RS422TX(-)D	422 发送-	
14		RS422RX(+)D	422 接收+	
15		RS422RX(-)D	422 接收-	

表 2 用户接口定义

J30JM-25ZKP (用户接口)				
序号	名称	代号	说明	备注
1、2	系统供电(正)	24V+	供电输入+	供电接口
14、15	系统供电(负)	24V-	供电输入-	
3	RS-232 (COMF)	COMF_Tx	232 发送	COMF
4		COMF_Rx	232 接收	
5		GND_F	信号地	
6	RS-232/422 通讯口可配置 (COMA)	COMA_Tx+	发送+	(加速度、角速度输出频率 100Hz)
7		COMA_Tx-/232T	发送-	
8		COMA_Rx+/232R	接收+	
9		COMA_Rx-	接收-	
10		GND_A	信号地	
11	网络通讯口 2	NET2_R+	网络接收+	网络通讯口(导航信息 50Hz)
12		NET2_R-	网络接收-	
13		NET2_T+	网络发送+	
16		NET2_T-	网络发送-	
17	RS-422 通讯口 (COME)	RS422TX(+)E	422 发送+	COME(配置口)
18		RS422TX(-)E	422 发送-	
19		RS422RX(+)E	422 接收+	
20		RS422RX(-)E	422 接收-	
21	TTL 同步信号	Trigger+	同步信号正	TTL 同步
22		Trigger-	同步信号负	
23	RS-232/422 通讯口可配置 (COMB)	COMB_Rx+/232R	接收+	COMB
24		COMB_Rx-	接收-	
25		GND_B	信号地	

表 3 惯导系统端口配置表

端口号	端口类型	收/发	设备	备注(可配置)
A	RS232/RS422	收/发	加速度、角速度输出频率 100Hz	115200bps
B	RS232/RS422	收	备用	115200bps
C	RS422	收/发	备用	115200bps
D	RS422	收/发	备用	115200bps
E	RS422	收/发	配置口	115200bps
F	RS232	收/发	备用	115200bps
G	RS232	收/发	程序升级	115200bps
1	网络内记口	/	内记口	内记导出
2	网络通讯口	收/发	通讯口	导航口(50Hz)

5. 机械指标

- a) 重量: <4.9kg;
- b) 尺寸: 165mm×165mm×127mm (公差: ±1mm; 不含接插件高度)。

惯导系统外形尺寸及安装接口如下。

安装孔为 4 个φ5.5，使用两个φ4 圆柱销定位。

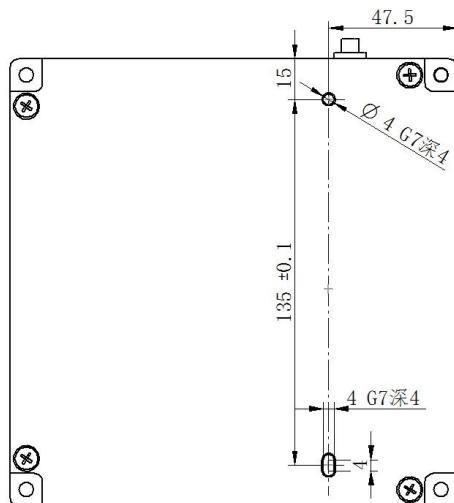


图 1 外形图一

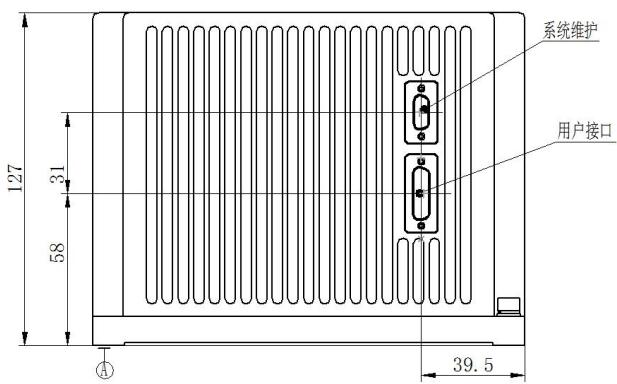


图 2 外形图二

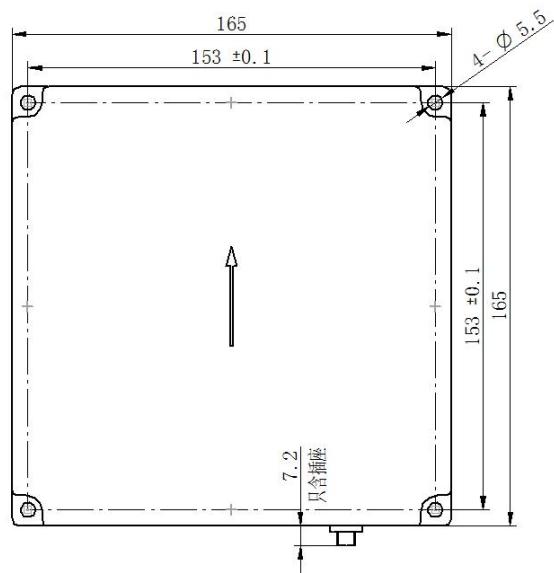


图 3 外形图三

附件三 车载纯惯性定位精度测试报告

对过往同类型产品进行车载试验，将惯导系统固定在试验车上，在车顶安装好 GNSS 后，共进行 3 组跑车试验。考核过程为惯导系统状态(静态对准或动态对准任选一个)转为自主导航状态(纯惯性)后，行驶 1 小时(保证设备不断电，GNSS 保持有效)，待车停稳后，记录位置误差并利用 CEP (圆形公算误差) 作为指标验证导航精度，CEP 的值由公式 2 求得。

表 3.1 纯惯性试验位置误差

航次 时间	第一次跑车 位置误差/m	第二次跑车 位置误差/m	第三次跑车 位置误差/m
10min	95	74	86
20min	477	466	180
30min	968	1098	253
40min	1517	1352	423
50min	1818	999	506
60min	1523	487	425
CEP(50%)	0.606nm/h		

试验结果如表 3.1 所示，纯惯性位置误差在 0.8nm/h 之内。

附件四 航姿精度测试报告

1、航向精度测试

对过往同类型产品进行四位置测试，调整转台外框、中框、内框架均为 0° 。惯导系统分别在位置一、位置二、位置三、位置四，四位置间隔 90° 静态对准，对准结束后，记录航向和姿态；将每次记录的航向和姿态分别于对应的 0° 、 90° 、 180° 、 270° 位置做差，计算的差值按照 RMS（公式 1）进行计算，记录结果如表 4.1 所示。

表 4.1 四位置对准精度检查

航姿 转台位置	位置一	位置二	位置三	位置四	RMS
航向/ $^\circ$	0.0135	90.0051	179.9987	269.9826	0.0113

通过表 4.1 可知，航向精度在 $0.03^\circ * \sec\phi$ 以内，满足指标。

2、姿态精度测试

对过往同类型产品进行重复性测试，在同一位置进行不小于 4 次的重复性静态对准，按照 RMS（公式 1）进行计算，记录结果如表 4.2 所示。

表 4.2 对准精度重复性检查

航姿 转台位置	第一 次 对准	第二 次 对准	第三 次 对准	第四 次 对准	RMS
俯仰/ $^\circ$	0.0001	0.0004	-0.0004	-0.0001	0.0003
横滚/ $^\circ$	-0.0001	-0.0003	-0.0001	0.0003	0.0002

通过表 4.2 可知，姿态精度在 0.01° 以内，满足指标。

附件五 湖试试验报告

过往同类型产品在吉林市松花湖进行多组湖试试验，试验中，惯导系统和 DVL 之间刚性连接。两次湖试的轨迹和定位精度如图 5-1~图 5-4 所示，DVL 组合导航满足 0.3%D 的指标要求。

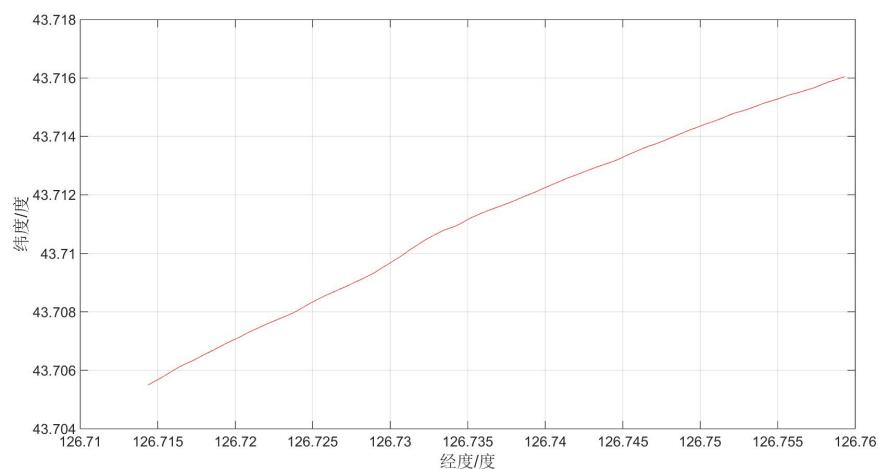


图 5-1 惯导第一次湖试轨迹

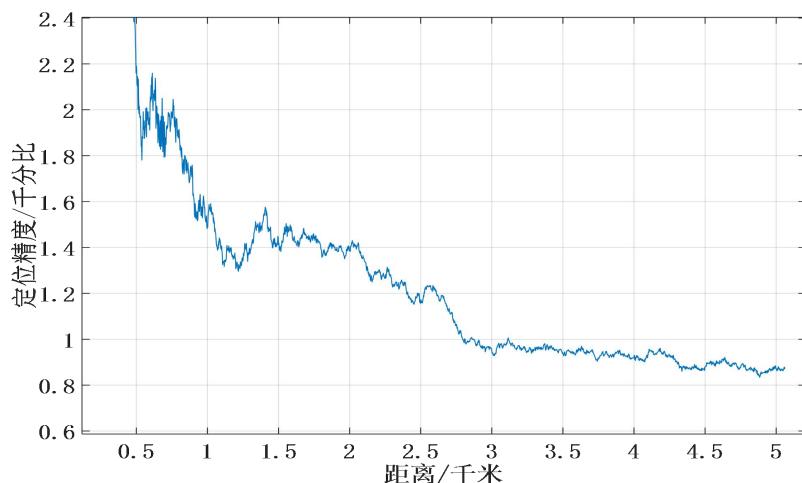


图 5-2 惯导第一次湖试定位精度

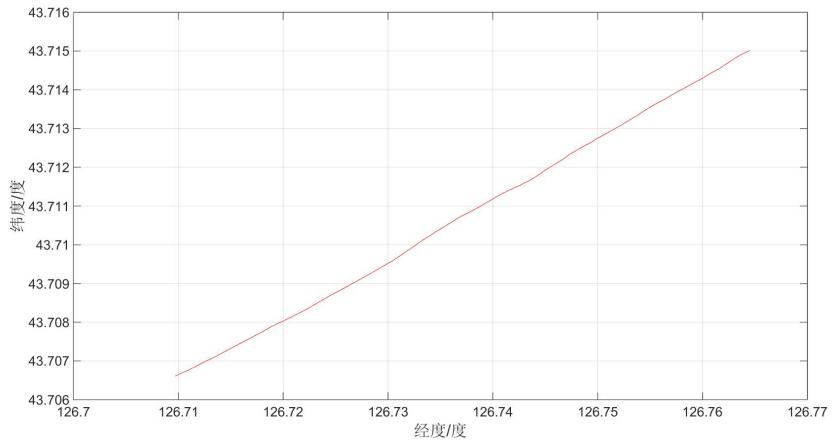


图 5-3 惯导第二次湖试轨迹

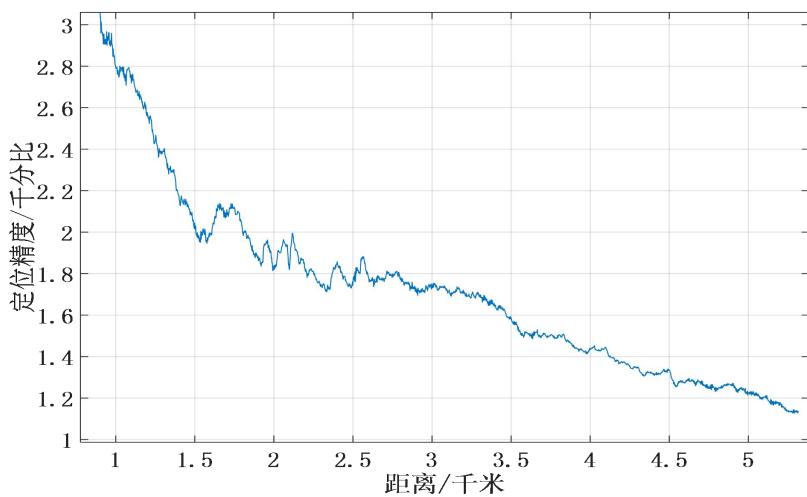


图 5-4 惯导第二次湖试定位精度

通过图 5-2 和图 5-4 可知，DVL 组合导航满足 0.3%D 的指标要求。

附件六 环境试验报告

1、高温工作试验检查

1.1 高温试验条件

- a) 工作试验温度: 60°C, 允差 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的范围内;
- b) 试验时间: 试验时间为试件温度稳定后至少再保持 2h;
- c) 温度变化速率: 箱内温度梯度(靠近试验导航系统处测得)应不超过 $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$;
- d) 除必要的支撑点外, 试验导航系统在试验中应完全被温度试验箱内空气包围。

1.2 检查方法及判据

试验前, 导航系统上电进行对准, 对准结束后导航 5min, 并录取试验数据, 作为初始检测信息。

系统断电, 打开温箱并以每分钟不超过 3°C 的速率将温度升至 $(60 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, 保温 2h, 导航系统上电进行对准, 对准结束后导航 60min, 并录取试验数据, 作为中间检测信息。

系统断电, 温箱降至室温待导航系统达到温度平衡后测试, 导航系统上电进行对准, 对准结束后导航 5min, 并录取试验数据, 作为最终检测信息。试验检测记录如表 6-1 所示。

表 6-1 高温工作试验检测记录表

试验项目	试验条件	试验状态	功能检查		外观检查	检测结论
			试验数据输出是否正常	输入电流、电压是否正常		
高温工作试验	试验前	初始检测	正常	正常	良好	合格
	60°C 保温 2h 后, 立即测试	中间检测	正常	正常	良好	合格
	试验后	最终检测	正常	正常	良好	合格

2、低温工作试验检查

2.1 低温工作试验条件

- a) 工作试验温度：-40°C，允差±2°C的范围内；
- b) 试验时间：试验时间为试件温度稳定后至少再保持2h；
- c) 温度变化速率：箱内温度梯度(靠近试验导航系统处测得)应不超过3°C/min；
- d) 除必要的支撑点外，试验导航系统在试验中应完全被温度试验箱内空气包围。

2.2 检查方法及判据

试验前，导航系统上电进行对准，对准结束后导航5min，并录取试验数据，作为初始检测信息。

系统断电，打开温箱并以每分钟不超过3°C的速率将温度降至(-40±2)°C，保温2h，导航系统上电进行对准，对准结束后导航60min，并录取试验数据，作为中间检测信息。

系统断电，温箱升至室温待导航系统达到温度平衡后测试，导航系统上电进行对准，对准结束后导航5min，并录取试验数据，作为最终检测信息。检测记录如表6-2所示。

表 6-2 低温工作试验检测记录表

试验项目	试验条件	试验状态	功能检查		外观检查	检测结论
			试验数据输出是否正常	输入电流、电压是否正常		
低温工作试验	试验前	初始检测	正常	正常	良好	合格
	-40°C保温2h后，立即测试	中间检测	正常	正常	良好	合格
	试验后	最终检测	正常	正常	良好	合格

3、高温储存试验检查

3.1 高温储存试验条件

- a) 试验温度：70°C；
- b) 试验时间：温度到温后保温 24h；
- c) 温度变化率：5°C/min。

3.2 检查方法及判据

- a) 将被测惯导系统放置在高低温箱，试验前导航系统上电进行对准，对准结束后导航 5min， 并录取试验数据，作为初始检测信息；
- b) 启动高低温箱，将温度升至 70°C，共保温 24h；
- c) 恢复常温 1h 后，导航系统上电进行对准，对准结束后导航 5min，并录取试验数据，作为最终检测信息。检测记录如表 6-3 所示。

表 6-3 高温储存试验检测记录表

试验项目	试验条件	试验状态	功能检查		外观检查	检测结论
			试验数据输出是否正常	输入电流、电压是否正常		
高温储存试验	试验前	初始检测	正常	正常	良好	合格
	试验后	最终检测	正常	正常	良好	合格

3.3 还原

在试验箱内以不大于 5°C/min 的变化率恢复到标准大气条件，直至试验产品达到温度稳定。试验箱恢复到正常大气条件后，至少保持 2h，以确保试验产品达到温度稳定，不结水珠。

4、低温储存试验检查

4.1 低温储存试验条件

- a) 试验温度: -50°C;
- b) 试验时间: 温度到温后保温 24h;
- c) 温度变化率: -5°C/min。

4.2 检查方法及判据

- a) 将被测惯导系统放置在高低温箱，试验前导航系统上电进行对准，对准结束后导航 5min， 并录取试验数据，作为初始检测信息；
- b) 启动高低温箱，将温度降至-50°C，共保温 24h；
- c) 恢复常温 1h 后，导航系统上电进行对准，对准结束后导航 5min， 并录取试验数据，作为最终检测信息。检测记录如表 6-4 所示。

表 6-4 低温储存试验检测记录表

试验项目	试验条件	试验状态	功能检查		外观检查	检测结论
			试验数据输出是否正常	输入电流、电压是否正常		
低温储存试验	试验前	初始检测	正常	正常	良好	合格
	试验后	最终检测	正常	正常	良好	合格

4.3 还原

在试验箱内以不大于 5°C/min 的变化率恢复到标准大气条件，直至试验产品达到温度稳定。试验箱恢复到正常大气条件后，至少保持 2h，以确保试验产品达到温度稳定，不结水珠。

附件七 全纬度应用证明

本型号惯导系统在极区、马里亚海沟都能够正常工作，说明具备全纬度导航能力(低纬度地区采用常规导航算法、高纬度地区切换为高纬度导航算法)，应用证明如下：

附件 4

应用证明

项目名称	极区高纬度惯性导航设备研制及相关技术研究
应用单位	中国科学院沈阳自动化研究所
通讯地址	辽宁省沈阳市浑南区创新路 135 号
应用起止时间	2021 年 3 月~至今

应用情况及社会、军事效益：

河北汉光重工有限责任公司研制的“HsKINS 型”惯导作为我单位主持研制的“探索 4500”AUV(自主水下机器人)重要组成部分，为 AUV 提供定位定向数据。

该型惯导已装备“探索 4500”AUV，并随系统顺利完成了湖试试验、海上试验，技术指标均达到参数说明书的设计要求。2021 年 7 月，“探索 4500”AUV 搭乘“雪龙 2”科考船开展了中国第 12 次北极科考。在此次科考期间，该型导航系统工作稳定、可靠，保障了“探索 4500”AUV 冰下作业等任务的顺利完成。表明该型惯导具备全纬度工作能力，受到中国大洋协会领导与专家的高度评价。

该型惯导实现了在高纬度地区的自对准。提出的极区高纬度冰下组合导航技术可以有效保持初始对准精度，抑制位置误差发散，始终提供高精度航向和可靠的位置信息。可广泛装备于各类运载体用于极区任务，完成全球导航任务。未来对我国海洋装备的快速发展具有重要的战略意义和军事价值。

应用单位(盖章)

2022 年 10 月 21 日



应用证明

项目名称	全海深用一体化惯性导航系统
应用单位	中国科学院沈阳自动化研究所
通讯地址	辽宁省沈阳市浑南区创新路 135 号
应用起止时间	2018 年 8 月~至今

应用情况及社会、军事效益：

我所主持研制的“海斗一号”全海深自主遥控潜水器，在导航设备方面采用了河北汉光重工有限责任公司研制的全海深用一体化惯性导航系统。

该导航系统于 2020 年 5 月随“海斗一号”在马里亚纳海沟，完成万米海试与试验性应用任务，该惯性导航系统性能稳定可靠，各项指标均达到技术协议的要求，为本航次中海斗一号项目任务的顺利执行，提供了很好的技术支撑和保障。

该型导航系统实现了捷联惯导系统（SINS）与声学多普勒计程仪（DVL）一体化集成，是一种用于全海深的精确导航仪器，在一定程度上有效保障了海斗一号在万米海底探测和作业的导航精度。

应用单位（盖章）

年 月

类似产品已成功应用，证明该系列产品具备全纬度导航能力。

附录:计算公式

1. RMS 计算公式:

$$X = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (\Delta x_n)^2} \quad (1)$$

其中 Δx_n 表示差值, N 表示样本数量, $n=1, 2 \dots N$, X 表示均方根(RMS)。

2. 定位精度的计算公式如下:

$$CEP = 0.83 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n RER_i^2} \quad (2)$$

式中:

CEP ——50%圆概率误差, 单位为海里/小时(n mile/h)

n ——有效试验次数

RER_i ——第 i 次试验的任务径向误差率, 单位为海里/小时(n mile/h), 其中

RER_i 对应的时间长度相同 (为 1h), RER_i 的计算公式如下所示:

$$RER_i = \sqrt{\frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} RER_{ij}^2} \quad (3)$$

式中:

m_i ——第 i 次试验的采样点数;

j ——第 i 次试验的第 j 个采样时刻;

RER_{ij} ——第 i 次试验的第 j 个采样时刻的径向误差率, 单位为海里/小时(n mile/h), 每次试验在采样时间间隔相同的前提下计算 RER_{ij} 值, 本试验为 10min,

其中 RER_{ij} 的计算公式如下所示:

$$RER_{ij} = \frac{1}{T_{ij}} \sqrt{(\Delta \varphi_{ij})^2 + (\Delta \lambda_{ij} \times \cos \varphi_{ij})^2} \quad (4)$$

式中:

T_{ij} ——第 i 次试验第 j 个采样时刻导航时间, 单位为小时 (h);

$\Delta\varphi_{ij}$ —— 第 i 次试验第 j 个采样时刻纬度误差, 单位为角分 ($'$);

$\Delta\lambda_{ij}$ —— 第 i 次试验第 j 个采样时刻经度误差, 单位为角分 ($'$);

φ_{ij} —— 第 i 次试验的第 j 个采样时刻纬度真值, 单位为度 ($^{\circ}$)。

投标人（全称及公章）：河北汉光重工有限责任公司

日 期：2024 年 1 月 12 日

