

2020年 中国惯性导航行业精品报告

报告标签：惯性导航、陀螺仪、加速度计、卫星导航、MEMS传感器

报告主要作者：陈夏琳
2020/03

报告提供的任何内容（包括但不限于数据、文字、图表、图像等）均系头豹研究院独有的高度机密性文件（在报告中另行标明出处者除外）。未经头豹研究院事先书面许可，任何人不得以任何方式擅自复制、再造、传播、出版、引用、改编、汇编本报告内容，若有违反上述约定的行为发生，头豹研究院保留采取法律措施，追究相关人员责任的权利。头豹研究院开展的所有商业活动均使用“头豹研究院”或“头豹”的商号、商标，头豹研究院无任何前述名称之外的其他分支机构，也未授权或聘用其他任何第三方代表头豹研究院开展商业活动。

报告摘要

惯性导航是通过测量加速度来解算运载体位置信息的自主导航定位方法，该方法具备不与外界交互而自主独立工作的能力。惯性导航系统能实时、准确地测量位置、加速度及转动量（角度、角速度）等信息，是唯一可输出完备六自由度数据的设备。因中国部队正在进行国防现代化建设，军用惯性导航更新换代需求旺盛，且在未来一段时间内都将保持高需求态势，此外，中国无人机（百亿级市场）及无人驾驶（万亿级市场）行业发展迅速。在下游军用市场和民用市场的双重刺激下，2019至2024年中国惯性导航行业市场规模（按销售额统计）有望从172.7亿元人民币增长至429.7亿元人民币，年复合增长率将达20.0%。

◆ 中国惯性导航行业下游市场增长稳定，其中自动驾驶将是未来增长热点

中国惯性导航行业下游包括军用和民用两部分，其中军用市场的应用占比约81.8%，是中国惯性导航行业的主流应用。从参与主体角度分析，中国具备惯性传感器研究和制造实力的企业多集中于军工领域，而民营企业主要参与中游惯导系统的设计和制造。中国惯性导航行业下游市场增长稳定，其中军用需求保持逐年上升态势，民用领域中自动驾驶市场有望在未来1-2年实现L3等级量产，对惯性导航的需求巨大。

◆ 中国惯性导航行业投资价值高，可从器件层、无人驾驶应用、算法标定及器件设计、制造与封测等领域入手

中国惯性技术整体开发水平尚未列入全球前列，且行业存在政策调整风险及发展不及预期风险。但考虑到惯性导航各应用均处于蓬勃发展或早期发展阶段且对惯性导航需求旺盛等特点，总体而言，中国惯性导航行业发展潜力佳、投资标的判断标准清晰，产业投资价值高。投资者若能在该阶段成功捕获优质投资标的，则其投资回报收益率将维持在较高水平。中国惯性导航行业的投资机会主要可分为以下三点：

- 从全产业链角度出发，器件层是惯性导航产业链核心环节，且器件层尚未形成绝对的行业龙头，值得投资；
- 从应用层面出发，随着未来中国L3及以上自动驾驶等级汽车渗透率的提升，中国自动驾驶用惯性导航市场可达千亿级别，提前布局无人驾驶行业的企业将是优质投资标的；
- 从产品实现过程角度出发，中国惯性导航行业的竞争重点将由算法设计、标定环节逐渐滚动至惯性器件的设计、制造与封测环节，投资者在挑选标的时可根据不同阶段的竞争重点做出判断。

企业推荐：

导远科技、戴世智能、羲朗科技

目录

◆ 名词解释	-----	05
◆ 中国惯性导航行业概述	-----	09
• 定义	-----	09
• 工作原理分析	-----	10
• 分类	-----	11
◆ 中国惯性导航行业产业链分析	-----	12
• 中国惯性导航产业链分析	-----	12
• 中国惯性导航行业产业上游分析	-----	13
• 陀螺仪	-----	13
• 加速度计	-----	14
• GNSS板卡	-----	15
• 中国惯性导航行业产业链下游概述	-----	16
◆ 中国惯性导航行业市场规模分析	-----	17
• 军用市场规模推导	-----	17
• 民用市场规模推导	-----	18
• 中国惯性导航行业市场规模推导	-----	19
• 中国惯性导航行业产业链投资策略分析	-----	20
◆ 中国惯性导航行业政策分析	-----	21
◆ 中国惯性导航行业核心竞争力分析	-----	22
• 中国惯性导航系统实现过程	-----	22

目录

• 短期核心竞争力分析——标定补偿及算法	-----	23
• 长期核心竞争力分析——器件设计、加工与封测	-----	24
◆ 中国惯性导航行业驱动因素分析	-----	25
• 驱动因素分析——自动驾驶发展拉动需求增长	-----	25
• 驱动因素分析——军用市场需求旺盛	-----	26
◆ 中国惯性导航行业发展趋势分析	-----	27
• 发展趋势分析——高精度陀螺仪将成主流	-----	27
• 发展趋势分析——融合将成行业主旋律	-----	28
◆ 中国惯性导航行业投资风险及优质企业判断标准	-----	29
◆ 中国惯性导航行业竞争格局分析	-----	30
• 中国惯性导航行业竞争格局	-----	30
• 中国惯性导航行业企业排名	-----	31
◆ 中国惯性导航行业投资企业推荐	-----	32
• 导远科技	-----	32
• 戴世智能	-----	34
• 羲朗科技	-----	36
◆ 中国惯性导航行业投资建议概述	-----	38
◆ 专家观点	-----	39
◆ 方法论	-----	40
◆ 法律申明	-----	41

名词解释 (1/4)

- ◆ **IMU**：惯性测量单元 (Inertial Measurement Unit)，用于测量物体三轴姿态角（或角速率）以及加速度的装置，广泛应用于汽车、机器人等需进行运动控制的设备制造领域。
- ◆ **自由度**：用以确定物体在空间中独立运动的变量，最大数为6，六个自由度指沿三个方向平移以及绕三个轴转动。
- ◆ **GNSS**：全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System)，又称全球卫星导航系统，泛指所有的卫星导航系统，包括全球的、区域的和增强的，如美国的GPS、俄罗斯的Glonass、欧洲的Galileo、中国的北斗卫星导航系统，以及相关的增强系统等，还涵盖在建和以后要建设的其他卫星导航系统。
- ◆ **陀螺仪**：是用高速回转体的动量矩敏感壳体相对惯性空间绕正交于自转轴的一个或二个轴的角运动检测装置。利用其他原理制成的角运动检测装置起同样功能的也称陀螺仪。
- ◆ **加速度计**：测量运载体线加速度和重力加速度的仪表。在惯性系统中，加速度计是基本的敏感元件之一，与陀螺仪一起构成惯性导航系统。
- ◆ **累计误差**：是从基准点（端点）起朝一个方向以一定间隔依次进行定位，在工作台的移动范围内各定位点测量值（实际从基准点移动的位置）与指令值（发出指令后应实际移动的位置）之差的最大差值。
- ◆ **比力**：载体相对惯性空间的绝对加速度和引力加速度之和。
- ◆ **有害加速度**：指运载体相对地球运动和地球旋转引起的加速度、运载体在地球表面圆周运动的向心加速度以及重力加速度等。
- ◆ **地心惯性系**：原点位于地球原点，z轴沿地轴指向北极，x轴和y轴位于赤道平面内分别指向两个恒星的坐标系。
- ◆ **加速度**：指在匀变速直线运动中的速度变化与所用时间的比值，是速度对时间的变化率，表示速度变化的快慢。加速度与速度变化和发生速度变化的时间长短有关，但与速度的大小无关。
- ◆ **科里奥利力**：是对旋转体系中进行直线运动的质点由于惯性相对于旋转体系产生的直线运动的偏移的一种描述。
- ◆ **位移**：由初位置到末位置的有向线段，其大小是运动物体初位置到末位置的直线距离，其方向是从初位置指向末位置。位移只与物体运动的始末位置有关，而与运动的轨迹无关。如果质点在运动过程中经过一段时间后回到原处，则位移则为零。
- ◆ **角速率**：一个以弧度为单位的圆在单位时间内所走的弧度。

名词解释 (2/4)

- ◆ **MEMS**：微机电系统 (Micro-Electro-Mechanical System)，指集机械元素、微型传感器、微型执行器以及信号处理和控制电路、接口电路、通信和电源于一体的完整微型机电系统，通过采用半导体加工技术能够将电子机械系统的尺寸缩小到毫米或微米级。
- ◆ **MEMS陀螺仪**：指利用科里奥利力将旋转物体的角速度转换成与角速度成正比的直流电压信号的硅微机电陀螺仪，其核心部件通过掺杂技术、光刻技术、腐蚀技术、LIGA技术、封装技术等批量生产。MEMS陀螺仪作为MEMS惯性传感器的一种，具有体积小（其边长都小于1mm）、质量轻（核心器件重量仅为1.2mg）、启动快、可靠性高（工作寿命超过10万小时，能承受1000g的冲击）、价格低、易于大批量生产、能承受恶劣环境条件等突出优势。
- ◆ **激光陀螺仪**：是利用Sagnac效应，通过在闭合光路中由同一光源发出沿顺时针方向和逆时针方向传输的两束光和光干涉，利用检测相位差或干涉条纹的变化，测出闭合光路旋转角速度的陀螺仪。
- ◆ **光纤陀螺仪**：以光导纤维线圈为敏感元件，可精确定位运动目标方位的仪器。
- ◆ **Sagnac效应**：将同一光源发出的一束光分解为两束，让它们在同一个环路内沿相反方向循行一周后会合，随后在屏幕上产生干涉，当环路平面内存在旋转角速度时，屏幕上的干涉条纹将会发生移动的现象。
- ◆ **半球谐振陀螺仪**：是哥式振动陀螺仪中的一种具有惯导级性能的高精度陀螺仪，随机漂移可达到 $10^{-4}^{\circ}/h$ 量级，寿命高达15年。
- ◆ **MEMS加速度计**：是使用MEMS技术制造的加速度计。由于采用了微机电系统技术，其尺寸大大缩小（一个MEMS加速度计只有指甲盖的几分之一大小），具有体积小、重量轻、能耗低等优点。
- ◆ **石英挠性加速度计**：一般为单轴力矩反馈式加速度计，是通过检测质量以检测外界的加速度信号，再经伺服电路解调、放大，最后输出电流信号正比于加速度信号的加速度计，广泛用于航空航天高精度导航系统、石油钻井测斜或地质勘探捷联系统。
- ◆ **多路径效应**：信号在传播过程中，受一些物体的反射而改变了传播方向、振幅、极化及相位等，与通过直线路径到达接收机的信号产生叠加而导致的定位结果不准现象。
- ◆ **带宽**：指陀螺仪/加速度计频率特性测试中，规定在测得的幅频特性的幅值降低3dB所（分贝/小时）对应的频率范围。在该范围内陀螺仪/加速度计能够精确线性地测量输入角速率/线加速度。
- ◆ **标定**：是通过实验手段建立惯性器件输出误差与外部输入（如温度、角速度、振动）之间的关系，以确定不同条件下惯性器件误差的补偿方法，是惯性技术产品极为重要的生产工序，也是惯性检测及误差补偿技术的重要一环。

名词解释 (3/4)

- ◆ **卡尔曼滤波惯导模型**：是一种最优化自回归数据处理算法，其利用多传感器进行信息融合，通过传感器之间的冗余数据及互补数据，增强系统的可靠性及观测范围，同时借助误差不随时间积累的辅助导航系统提供的信息来补偿和抑制惯性导航中的累积误差，进而达到提高整个导航系统精度的目的。
- ◆ **扩展卡尔曼滤波方法**：将非线性系统的非线性函数通过泰勒级数等方法线性化，并省去高阶项，得到线性系统模型的卡尔曼滤波方法。
- ◆ **RTK**：载波相位差分技术 (Real-time Kinematic)，实时处理两个测量站载波（指可用调制信号调制的高频电磁波）相位（亦称相角，是描述信号波形变化的度量单位）观测量的差分方法，能在野外实时得到厘米级定位精度。
- ◆ **航位推算**：指在知道当前时刻位置的条件下，通过测量移动的距离和方位，推算下一时刻位置的方法。
- ◆ **动中通**：是“移动中的卫星地面站通信系统”的简称。通过动中通系统，车辆、轮船、飞机等移动的载体在运动过程中可实时跟踪卫星等平台，不间断地传递语音、数据、图像等多媒体信息，可满足各种军民用应急通信和移动条件下的多媒体通信的需要。
- ◆ **AGV**：自动导引运输车 (Automated Guided Vehicle)，装备有电磁或光学等自动导引装置，能够沿规定的导引路径行驶，具有安全保护以及各种移载功能的运输车。
- ◆ **零偏**：当输入角速率为零时，陀螺仪的输出量为零偏，以规定时间内测得的输出量平均值相应的等效输入角速率表示，单位为 ($^{\circ}$) /h。
- ◆ **RAIM**：接收机自体完好性监控 (Receiver Autonomous Integrity Monitoring)，根据用户接收机的多余观测值监测用户定位结果的完好性的技术，其目的是在导航过程中检测出发生故障的卫星，并保障导航定位精度。
- ◆ **SLAM**：即时定位域地图构建 (Simultaneous Localization and Mapping)，机器人在移动过程中根据位置估计和地图进行自身定位，同时在自身定位的基础上建造增量式地图，实现自主定位和导航的技术。
- ◆ **IATF16949**：IATF (国际汽车工作组, International Automotive Task Force) 为了协调国际汽车质量系统规范而出台的汽车行业质量管理体系认证，已成为汽车行业的基础性标准。
- ◆ **EDA**：电子设计自动化技术 (Electronic Design Automation)，以计算机为工具，设计者在软件平台上用硬件描述语言Verilog HDL完成设计文件，再由计算机自动完成逻辑编译、化简、分割、综合、优化、布局、布线和仿真，直至对特定目标芯片完成适配编译、逻辑映射和编程下载等工作。
- ◆ **激光雷达**：通过分析发射及接收激光束的时间差计算障碍物距离的雷达传感器。

名词解释 (4/4)

- ◆ **VSLAM** : 视觉导航 (Visual SLAM) , 是通过摄像机对周围环境进行图像采集, 并对图像进行滤波和计算, 完成自身位置确定和路径识别, 并做出导航决策的一种新的导航技术。VSLAM采用被动工作方式, 设备简单、成本低廉、应用范围广。VSLAM最主要的特征是自主性和实时性, 无需依靠外界任何设备, 只需对储存系统和环境中的信息进行计算就可得出导航信息。
- ◆ **自动驾驶分级L1-L5** : 美国汽车工程协会和美国高速公路安全管理局共同推出的自动驾驶等级标准。L0指由人全权驾驶的无自动化汽车, 可辅助警告和保护系统, L1指提供方向盘或加减速辅助功能的驾驶支援汽车, L2指部分自动化汽车, L3指有条件自动化汽车, L4指高度自动化汽车, L5指完全自动化汽车。其中, L1-L3处于ADAS阶段, L4处于“ADAS+V2X”阶段, L5处于完全自动驾驶阶段。
- ◆ **ADAS** : 先进驾驶辅助系统 (Advanced Driver Assistance System) , 利用安装在车辆上的传感、通信、决策即执行等装置, 检测驾驶员、车辆及其行驶环境并通过影像、灯光、声音、触觉提示/警告或者控制等方式辅助驾驶员执行驾驶任务或主动避免/减轻碰撞危害的各类系统的总称。
- ◆ **V2X** : 车与外界信息交换 (Vehicle to Everything) , 车对周围的移动交通控制系统实现的信息交互技术, X可指代车辆、红绿灯等交通设施, 也可是云端数据库, 该系统通过整合全球定位系统 (GPS) 导航技术、车对车交流技术、无线通信及远程感应技术等多种技术实现信息融合共享, 可用于指导车辆路线规划、规避障碍物等。
- ◆ **鲁棒性** : 在异常和危险情况下系统生存的能力, 指控制系统在一定 (结构, 大小) 的参数摄动下, 维持其它某些性能的特性。



FROST & SULLIVAN
沙利文

招聘 行业分析师

我们一起“创业”吧，开启一段独特的旅程！

✉ 邮箱：fs.recruitment@frostchina.com

📍 工作地点：北京、上海、深圳、香港、南京、成都



中国惯性导航定义

惯性导航因其强自主性和强抗干扰性而具有不可替代性，但存在误差累计等缺点，需与其他定位方式进行优势互补，其中，“GNSS+IMU”是最常见的INS组合方案

惯性导航定义

惯性导航 (Inertial Navigation System) 是通过测量加速度来解算运载体位置信息的自主导航定位方法，该方法不向外部辐射能量、不依赖于外部信息，因而具备不与外界交互而独立自主工作的能力。惯性导航系统能实时、准确地测量位置、加速度及转动量（角度、角速度）等信息，是**唯一可输出完备六自由度数据的设备**。

惯性导航优点分析

常见的定位技术包括以卫星定位GNSS为代表的信号定位、以激光雷达定位为代表的环境特征匹配定位，以及惯性导航定位。这三种方式各有优劣，而惯性导航具有强自主性、强抗干扰能力、不依赖外界信号等特点，同时可为运载体全面提供位置、姿态、速度等信息，其输出的信息丰富而全面。因此，**惯性导航具有不可替代性**。

常见定位技术优缺点分析

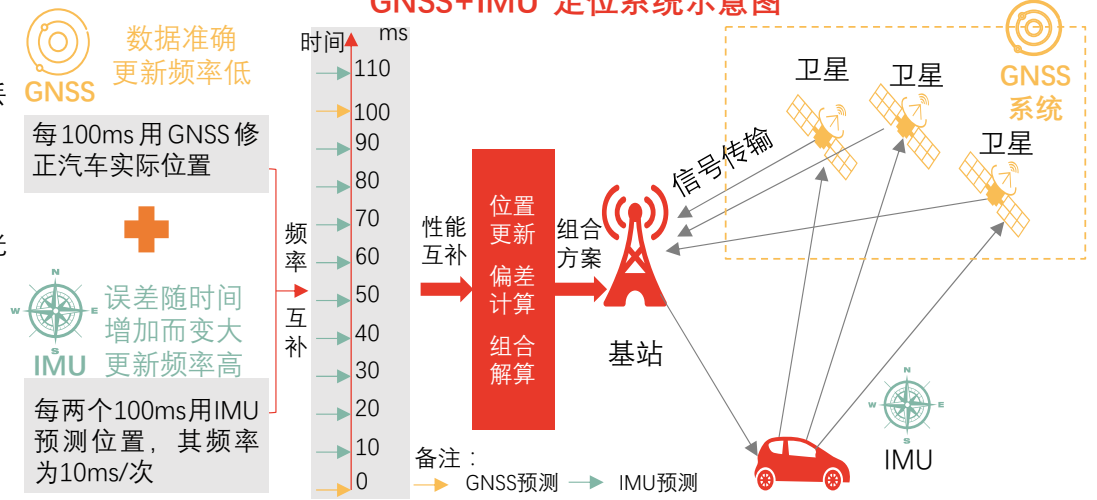


惯性导航构成

“全球导航卫星系统 (GNSS) + 惯性测量单元 (IMU)”是最常见的惯性导航组合方案。

- GNSS在卫星信号良好时可提供厘米级定位，但在地下车库等卫星信号微弱的场景下，其定位精度会大幅下降。IMU即使在复杂工作环境中或极限运动状态下也可进行精确定位，但其存在误差累计问题。两者结合可实现应用场景和定位精度的互补；
- 此外，GNSS更新频率低（仅有10Hz，其延迟达100ms），不足以支撑实时位置更新，IMU的更新频率 > 100Hz（其延时 < 10ms），可弥补GNSS的实时性缺陷。因而通过IMU与GNSS的组合，可达到优势互补的效果，大幅提升定位系统的精确度。

“GNSS+IMU”定位系统示意图



来源：导远科技，星网宇达招股说明书，头豹研究院编辑整理

©2020 LeadLeo



www.leadleo.com

中国惯性导航工作原理分析

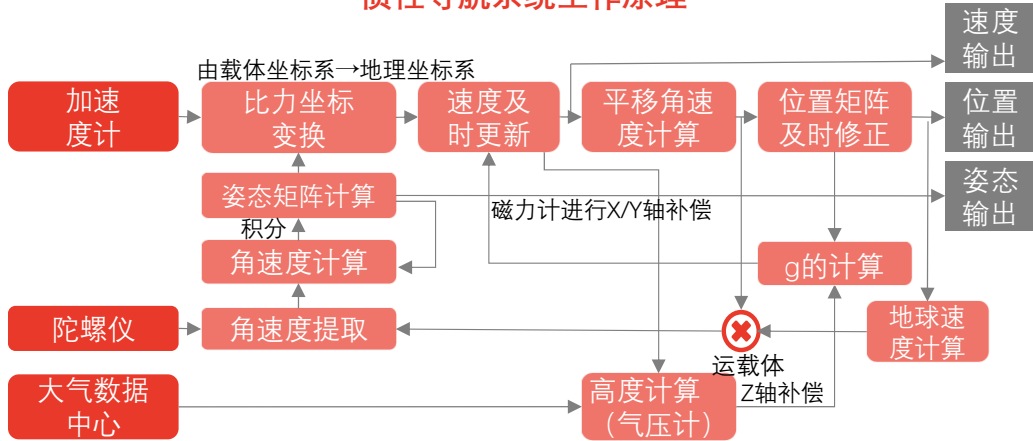
加速度计和陀螺仪等惯性传感器是惯性导航的核心器件，分别用于测量运载体的加速度和角速度，对系统的精度起决定性作用

惯性导航系统工作原理

惯性导航系统以牛顿力学定律为基础，利用IMU测量载体的比力及角速度信息，结合给定的初始运动条件，与GNSS等系统进行信息融合，从而实时推算速度、位置、姿态等参数。基于该技术的惯性导航系统可装备于运载体（如飞机、船舶、汽车、无人机等）并用于实现导航定位，系统通过连续测得运载体角速度和线速度并进行积分运算即可连续、实时预测运载体的当前位置。

IMU是融合了陀螺仪、加速度计、磁力计和压力传感器的多轴组合。其中，**陀螺仪**用以获取运动体的**角速度并测量其角度变化**，**加速度计**用以获取运动体的**线性加速度并测量其速度变化**。惯性导航解算软件将角速率进行积分运算解算出姿态矩阵并提取姿态信息，再利用姿态矩阵将加速度计测得的比例加速度信息变换至地理坐标系上计算出运载体的速度和位置，进而实现对运载体运动参数的有效控制。

惯性导航系统工作原理



来源：星网宇达招股说明书，《惯性技术》，头豹研究院编辑整理

©2020 LeadLeo



惯性导航系统的核心部件

加速度计及陀螺仪等惯性传感器为惯性导航系统的核心器件（以MEMS惯性导航为例，两者成本占比约50%），分别用于测量运载体的加速度和角速度，对系统精度起决定性作用。

加速度计与陀螺仪在惯性导航系统中的作用

	测量值	在惯性导航中的作用
加速度计	三轴（xyz三轴）加速度	定位，修正姿态
陀螺仪	三轴角速度	姿态解算，辅助定位

详细解读

• 加速度计作用分析——通过加速度反推速度和位置信息

牛顿力学框架表明任何运动体的运动状态均可用加速度表征。而运动体的运动状态可简单概括为时间、速度和距离三个要素，其中时间可直接获取，运动速度和运动距离可分别通过加速度一次积分及二次积分得到，即通过测量运载体的加速度即可推测出其运动状态。

加速度计可测量运动体的加速度，是确定惯性导航系统导航参数的核心部件。

• 陀螺仪作用分析——通过角速度获取方向信息

由于地球自传以及运载体做相对地球的运动，运载体所处位置当地水平面和方位相对惯性空间处于不断的变换当中。因此，如果要使平台始终保持水平和固定指北方向，即使平台跟踪地理坐标系，就必须使平台以地理坐标系相对惯性空间的角速度相对惯性空间转动。因此，惯性导航系统必须使用陀螺仪，并使陀螺仪按一定角速度进动，从而传输信号至稳定回路使平台，使其也以相同的角速度相对惯性空间转动。最后通过以惯性参照系中系统初始方位作为初始条件，对角速率进行积分，就可实时得到运载体的当前方向信息。

陀螺仪可通过控制旋转角速度使惯性导航的载体坐标系始终与地理坐标系保持一致，并根据角速率信息解算得出运载体的方向信息，起到辅助定位的作用。

通常情况下，每套IMU装置包含3组陀螺仪和加速度计，分别测量三个自由度的角加速度和线加速度。

www.leadleo.com

中国惯性导航分类

凭借体积、成本和可靠性等优势，捷联式惯性导航成为惯性导航行业发展的主流产品形式

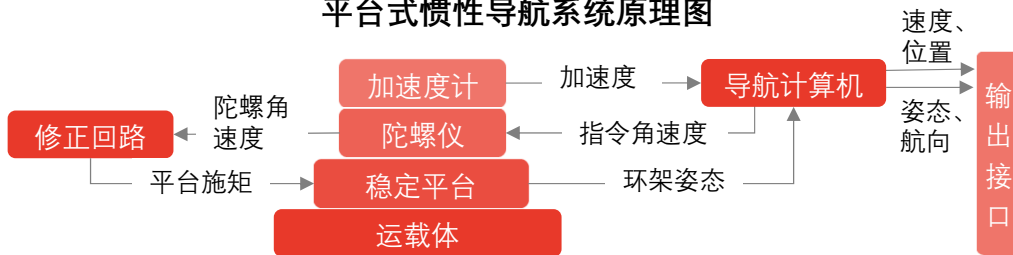
惯性导航分类

根据构建导航坐标系方法的不同，惯性导航系统可划分为平台式惯性导航和捷联式惯性导航两类。

◆ 平台式惯性导航

平台式惯导采用**物理平台**模拟导航坐标系，即将加速度计安装在由陀螺仪控制的稳定平台上，使平台始终保持导航坐标系姿态不变。平台式惯性导航通过**加速度计**测量加速度，传送到**导航计算机**中，导航计算机从中解算分离出有害加速度并将指令角速度反馈至**陀螺仪**，用以补偿地球转动引起的陀螺自转轴表现运动。陀螺仪输出角速度，通过**修正回路**修正后，输出平台施矩至**稳定平台**。稳定平台以此调整自身姿态，并将姿态参数传送到**导航计算机**，最终计算出运载体的速度、位置以及姿态、航向等信息。

平台式惯性导航系统原理图

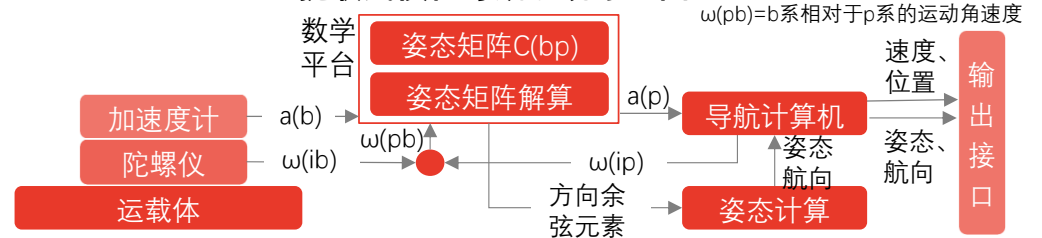


◆ 捷联式惯性导航

捷联式惯导采用**数学算法**确定导航坐标系，即将加速度计和陀螺仪直接安装在运载载体上，陀螺仪用以计算运载载体相对导航坐标系的姿态变化，加速度计经姿态变化后解算至导航坐标系内，得出姿态矩阵**C(bp)**，从而得到运载载体坐标系加速度**a(p)**及方向余弦元素，从而确定运载载体的速度、位置以及姿态、航向等信息。

备注：
i=地心惯性系
P=以运载载体为原点的坐标系
b=速度计内部坐标系
a(b)=b坐标系下的加速度，a(p)同
ω(ib)=b坐标系下的角速度，ω(ip)同
ω(pb)=b系相对于p系的运动角速度

捷联式惯性导航系统原理图



◆ 平台式惯性导航与捷联式惯性导航对比

捷联式惯性导航结构简单，在**体积和成本**方面具有优势。此外，由于激光陀螺仪的出现及计算机技术的快速发展，其**性能优势**逐步显现。因此从20世纪80年代开始，**捷联式惯性导航逐渐取代平台式惯性导航成为主流产品形式**。

平台式惯性导航和捷联式惯性导航特征对比

类型	体积	成本	计算量	主要应用级别	定位误差典型值	定向误差典型值	技术特征	环境适应性	发展前景
平台式惯性导航	引入物理平台，体积大	高	小	中高导航级、运动隔离	1-2海里/小时	0.1°-0.2°	机电一体化系统，内含3-4个实体框架	抗振、抗冲击能力有限	局部被淘汰，市场萎缩
捷联式惯性导航	系统结构简单，体积小	低	大，需使用激光陀螺仪	各导航级、稳定控制	<1海里/小时	0.05°-0.1°	电子数字化系统，内部没有活动部件	抗振、抗冲击能力强	主流应用形式

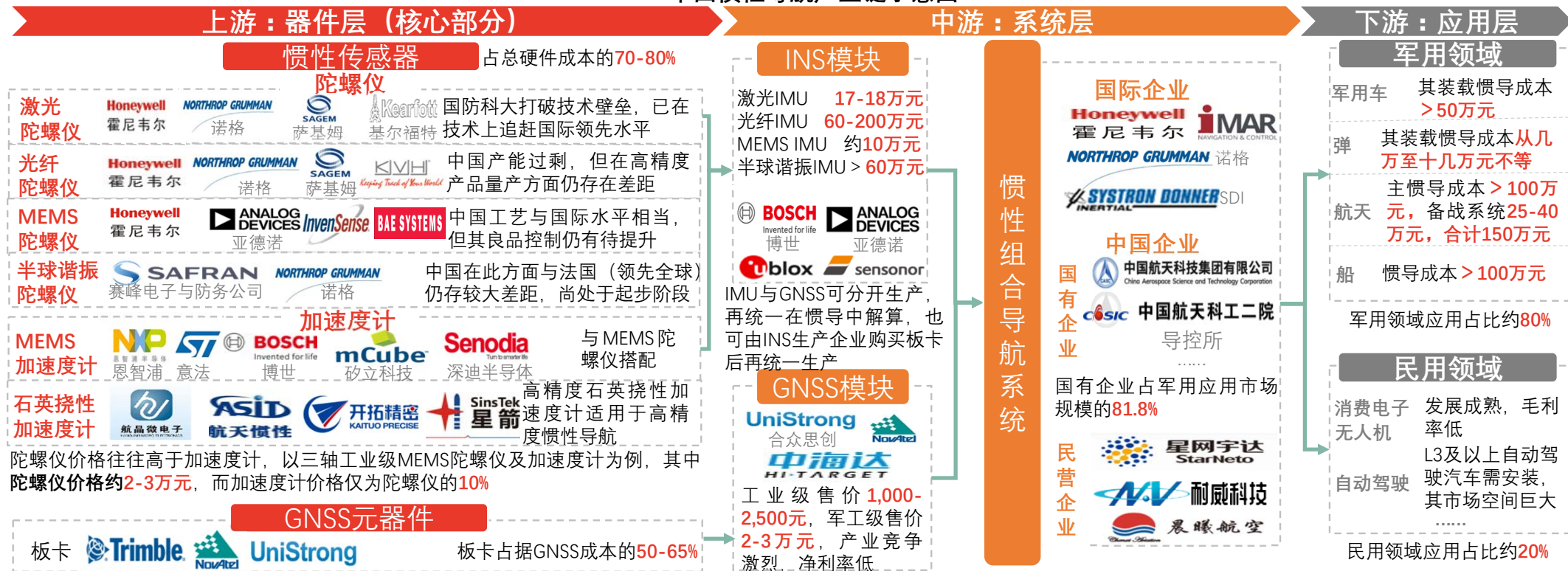
来源：《自动测量与控制》，晨曦航空招股说明书，头豹研究院编辑整理

中国惯性导航行业产业链分析

惯性导航由器件层、系统层和应用层三部分构成，其中器件层对惯性导航系统起到决定性作用，且其技术门槛高，是产业链的核心部分

中国惯性导航行业产业链分为三个环节。产业链上游参与主体为惯性传感器供应商（包括陀螺仪供应商和加速度计供应商）及GNSS元器件供应商；产业链中游参与主体是INS模块生产企业、GNSS模块生产企业及惯性组合导航系统集成商；产业链下游参与者为军用车、弹、航天、船舶等军工企业及消费电子、无人机、自动驾驶等相关行业民用企业。其中，器件层对惯性导航系统起到决定性作用，且其技术门槛高，是产业链的核心部分。

中国惯性导航产业链示意图



来源：各公司官网，头豹研究院编辑整理

©2020 LeadLeo



www.leadleo.com

中国惯性导航行业产业链上游分析——陀螺仪

惯性导航陀螺仪可分为激光陀螺仪、光纤陀螺仪、MEMS陀螺仪及半球谐振陀螺仪，其中MEMS陀螺仪因高性价比特性而被广泛应用于民用领域

惯性导航陀螺仪定义与分类

陀螺仪是用于测量物体**旋转角度**和**快慢**的传感器。根据工作原理的不同，陀螺仪可划分为激光陀螺仪、光纤陀螺仪、MEMS陀螺仪及半球谐振陀螺仪：

- 其中，激光陀螺仪由于具有高精度、高可靠性等特点，主要应用于武器装备等军用领域；
- 光纤陀螺仪因其高精度、低成本而在军用领域均得到广泛应用；
- 而MEMS陀螺仪由于**体积小、成本适中、性价比最高**等特点，在民用导航、控制领域及消费类市场更易得到普及和应用，是**惯性导航民用领域应用最为广泛的陀螺仪**；
- 半球谐振陀螺结构简单、零件数仅为2-3个，是最具潜力实现高精度、小型化、低成本的陀螺仪，中国在该陀螺仪关键技术方面已实现部分突破，但在卫星和航天器应用方面仍处于初步探索阶段。

中国惯性导航用陀螺仪分类与性能对比

	原理	定位误差典型值	定向误差典型值	精度	可靠性	尺寸(直径)	价格	主要应用领域	中国技术水平	中国技术水平说明	相应系统层技术	相应系统售价
激光陀螺仪 (RLG)	Sagnac效应	< 1海里/小时	0.05°-0.1°	中高精度产品为0.001-0.01°/h	达1×10 ⁵ h	厘米级别	约20万元	军用，陆用战车、导弹等武器装备	●	国防科大已实现该技术的突破，中国激光陀螺技术已达国际领先水平	中国惯性导航系统层技术与国际领先水平的差距在不断缩小，虽在算法的 普适性 （即同一算法可适用于车、船、弹等多个应用场景的能力）仍弱于国际一流企业，但在 定制化、差异化服务 方面（根据客户需求针对性调参）占据优势	60万至上百万元
光纤陀螺仪 (FOG)	Sagnac效应	1海里/20分钟	0.2°-1°	0.002-1°/h	数十万小时	可低至1-2cm	约6万元	多为军用	●	中国光纤陀螺产能过剩，除高精度产品外基本已与国际水平持平		17-18万元
MEMS陀螺仪	科里奥利力	20米(与GNSS组合)	0.4°-1°	0.01-500°/h	超十万小时	厘米级别	最低，2-5万元	军用市场占比约70% 民用市场占比约30% 备注：此处占比数据为高精度MEMS惯性导航系统销售额占比	●	中端产品的量产能力和良品率低于国际水平		10万元左右
半球谐振陀螺仪 (HRG)	半球壳唇缘径向振动驻波	/	/	最佳，可达10 ⁻⁴ %/h	最高，约100万小时，连续工作15年的可靠度高达99.5%	最小，约5mm	> 20万元	多为军用	●	与国际领先国家法国在随机漂移、动态范围、质量与产能等方面存在差距		> 60万元

来源：晨曦航空招股说明书，《2019年国外惯性技术发展回顾》，头豹研究院编辑整理



备注：●代表水平最高，○代表水平低

www.leadleo.com

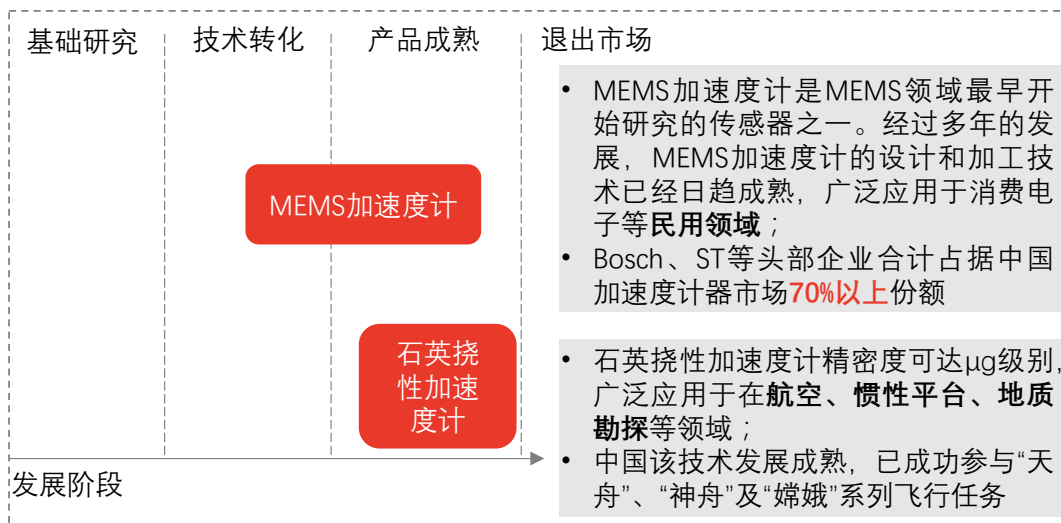
中国惯性导航行业产业链上游分析——加速度计

中国惯性导航消费级加速度计企业应通过拓展应用领域扩大其市场份额，而高端军用级加速度计相关企业应将发展重点聚焦至提升产品精度、集成度及性能上

加速度计分类及发展阶段

加速度计是用来感测载体比力的惯性器件，可通过测量加速度和重力从而计算运载体的速度和位置，是**惯性导航系统的另一核心元件**。中国惯性导航市场最为成熟的加速度计为MEMS加速度计和石英挠性加速度计。其中，MEMS加速度计多与MEMS陀螺仪搭配使用，其设计和加工技术已日趋成熟，但中国市场70%以上的份额仍被产品性能更佳、价格具备优势的国际龙头企业博世与意法半导体占据。石英挠性加速度计多应用于航空、惯导平台等领域，因涉及国防安全，中国在该技术技术研发力度投入大，行业发展成熟，该加速度计已成功参与“天舟”、“神舟”及“嫦娥”系列飞行任务。

中国惯性导航加速度计技术发展阶段，2019年



来源：《MEMS惯性传感器现状与发展趋势》，头豹研究院编辑整理

加速度计选型及发展重点

不同应用领域对加速度计性能的关注点不同。消费电子、汽车、工业、军事武器和航空航天导航等领域对被测物体加速度、倾斜、振动或冲击等方面的测量需求存在差异，**根据应用领域差异针对性地对加速度计性能参数进行选择至关重要。**

不同细分应用领域关注的加速度计性能指标

应用	具体应用场景	重点关注性能指标
消费	手机屏幕旋转、图像缩放	成本/功耗/尺寸/集成度
汽车	触发安全气囊等	稳定性/量程/集成度/带宽
工业	检测和监控设备运行状态	信噪比/稳定性/量程/带宽
战术	武器、工业无人机导航等	信噪比/误差/稳定性
导航	航空航天、自动驾驶等	

在惯性测量应用中，为保证加速度计的精度，通常采用三个单轴加速度计立体组装形式以实现三个方向的加速度信号测量。随着测量设备微型化发展，该方案已逐渐不能满足设备小型化的市场需求。截至2019年4月，中国三轴单片集成加速度计的研究主要集中在低精度领域，即振动、冲击测量等工业和手机、游戏等消费领域，尚不能满足高端装备在精度方面的要求。随着**消费级加速度计**领域制造商的增多，其成本不断下降，产品利润空间降低，相关企业应通过**系列化产品满足不同需求、占领不同领域**，从而扩大其市场份额。而**高端军用级加速度计相关企业**应将发展重点聚焦至**提升产品精度、集成度及性能上**。

中国惯性导航行业产业链上游分析——GNSS板卡

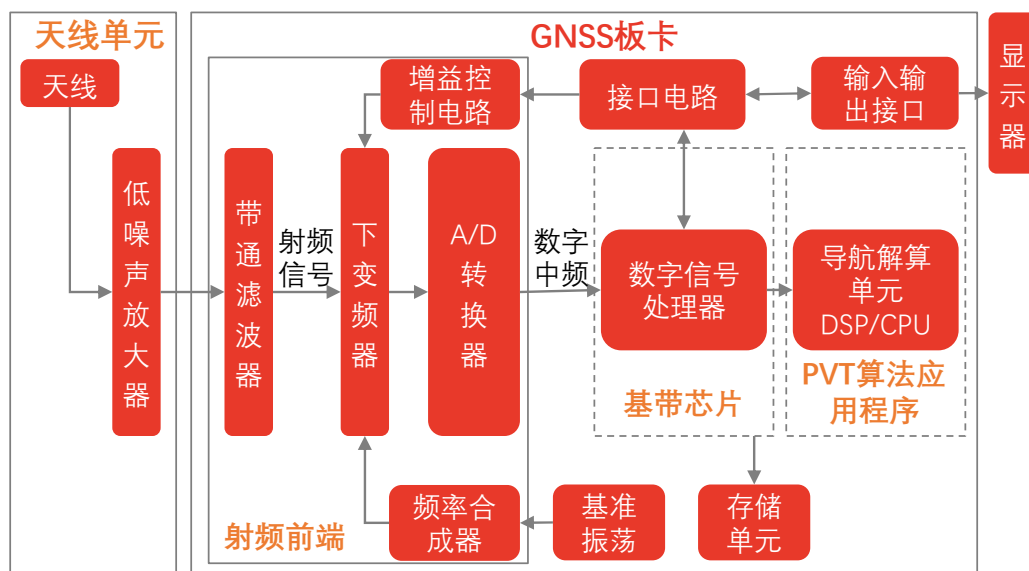
板卡占据GNSS成本的50-65%，是GNSS产业的核心部件，现阶段中国已初步实现GNSS板卡国产替代，相关企业下阶段市场布局的重点将向国际市场转移

板卡是GNSS产业的核心部件

GNSS (Global Navigation Satellite System)，全球导航卫星系统，泛指全球所有的卫星导航系统，包括全球的、区域的和增强的卫星导航系统。GNSS定位技术使用三角定位法，通过3颗以上的卫星进行定位，可准确地定位地球表面的任一位置。但该方法存在高度依赖卫星信号的缺陷，当运载体位于城市峡谷时，由于多路径效应、卫星信号被遮挡等原因，GNSS定位和测速的精确性及可靠性大幅降低，这也是“GNSS+IMU”组合导航成为当前主流惯性导航模式的重要原因。

此外，导航卫星发出的射频信号经过长距离传输之后变得非常微弱，地面接收机天线接收后需要通过射频前端放大、解调、数字化为中频信号。**GNSS板卡是卫星导航终端接收机的核心部件**（板卡占据GNSS成本的**50-65%**，注意此处板卡包含GNSS芯片），其在完成对卫星信号的解扩解调后通过导航解算可计算出运载体位置、速度与时间等导航数据，进而实现导航、定位或测量等功能，是产业应用的关键所在。

卫星导航终端接收机工作原理



来源：耐威科技招股说明书，头豹研究院编辑整理

中国已初步实现GNSS板卡国产替代，下阶段将布局国际市场

中国GNSS板卡的发展历程可划分为两个阶段：

- 第一阶段：**在2012年之前，由于技术积累及市场成熟度等方面的差异，中国GNSS企业规模小、实力弱，在芯片、GNSS板卡、天线、导航算法等方面与国际企业差距明显。此阶段中国市场高精度GNSS板卡进口依赖度高达**95%**，全球高精度GNSS板卡长期被美国Trimble公司和加拿大NovAtel公司垄断；
- 第二阶段：**2013年至今，2013年发改委发布《促进信息消费——加快推进北斗卫星导航产业规模化发展》，明确提出支持中国北斗芯片事业。2015年5月，和芯星通发布全球首款高精度多模多频卫星导航系统级SoC芯片Nebulas II UC4C0，这也是全球首款全系统多核高精度导航定位SoC芯片，标志着中国GNSS芯片迈入国际领先水平。此后，国产GNSS芯片及板卡发展迅速，并已初步实现规模化应用。**截至2018年年底，国产GNSS芯片在中国市场占比已超70%，高精度板卡市场占比达30%。**

从市场的反馈和接受程度来看，中国国产GNSS板卡已具备国际竞争力，下一个阶段的发展重点将是走向国际市场，投资者在挑选投资标的时可重点关注企业的**国际化布局**。

中国惯性导航行业产业链下游概述

中国军用惯性导航市场发展成熟，其技术将向高性能和高可靠性发展，民用惯性导航行业仍存巨大市场空间，产品将向高精度、低成本和小型化方向发展

军用领域是中国惯性导航的主流下游应用

中国惯性导航行业下游应用包括军用和民用两部分，其中**军用市场的应用占比约81.8%**（按销售额统计），是中国惯性导航行业的主流应用。从参与主体角度分析，中国具备惯性传感器研究和制造实力的企业多集中于军工领域，而民营企业主要参与中游惯性导航系统的设计和制造。从发展情况分析，中国惯性导航军用市场保持逐年稳定增长态势，民用领域中，自动驾驶仍是蓝海市场，未来增长空间巨大。从技术方向分析，军用惯性技术将向高性能和高可靠性方向发展，民用惯性技术则将向高精度、低成本和小型化方向发展。

惯性导航下游应用场景占比及发展情况，2020年3月



来源：头豹研究院编辑整理
©2020 LeadLeo



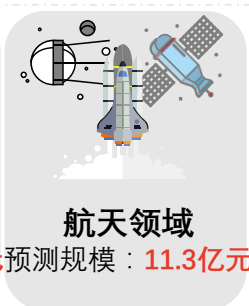
中国惯性导航行业产业链下游分析——军用市场规模推测

此报告从各载体所安装惯性导航系统的数量的和主要生产军工企业的惯性导航营收情况两个口径，推测中国2019年惯性导航军用市场的应用规模为141.2亿元

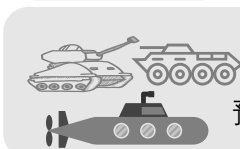
因惯性导航军用领域的数据涉密，无法获得具体数据，此报告将从各载体所安装惯性导航系统的数量的和主要生产军工企业的惯性导航营收情况来推测中国惯性导航军用市场的应用规模，并用两个口径相互校对，以期得到尽可能精准的规模数据。

2019年中国惯性导航军用市场应用规模推测（载体口径）

推导逻辑：根据《国际航天杂志》估计，中国在役军用飞机约计3,210架。按四年的更换周期计算，每年将有803架飞机需进行惯导系统更新，此外每年新增数量约90架，合计共893架；按每架飞机装备主副两套惯导系统（主系统约100万元、副系统约50万）共150万元的价格计算，中国每年军用飞机惯导需求量约1,786套，市场空间约为**26.8亿元**



推导逻辑：根据中国航天科技集团有限公司发布的《中国航天科技活动蓝皮书（2019年）》，2019年中国航天器发射次数为34次，航天器发射数量60余次，按运载火箭和卫星均需求4个惯性测量单元，则每年至少需求376套惯性测量单元，按每套300万元计算，每年市场空间约为**11.3亿元**



推导逻辑：根据中信建投《惯性导航：自助式导航系统，军民两用市场广阔》，中国陆军装甲车辆每年列装数量总计约为2,180辆，按照每套惯导系统50万元计算，每年市场空间约为**10.9亿元**



推导逻辑：中国现有海军各类作战舰艇260艘，按4年的更换周期计算，每年将有65艘舰艇需更新惯导，每年新增大型水面舰艇和潜艇约15艘，合计共80艘。按每艘舰艇装备2套惯导系统，每套惯导售价300万元计算，中国海军舰船惯性导航市场规模约**4.8亿元**

军用惯性导航规模总计：141.2亿元

2019年中国惯性导航军用市场应用规模推测（企业口径）

军工集团	研制力量	主要领域	收入规模估计(亿元)
航天科技机关	13所、16所	航天火箭 导弹	35
	航天电子		25
航天科工集团	三院、33所	导弹类	35
中航工业集团	618所	军用飞机	26
兵器集团	导控所及北方导航	炮、陆用惯导	10
中船重工集团	707所	船舶	10
其他民参军企业	/	/	5-10
合计			141-146

从各载体所安装惯性导航系统的数量和单价推测，中国2019年惯性导航军用市场应用规模约为**141.2亿元**，而从主要生产军工企业的惯性导航营收情况来推测，中国2019年惯性导航军用市场规模在**141-146亿元**之间，两个口径推算出的规模数据基本吻合。

来源：《国际航天杂志》，《中国航天科技活动蓝皮书（2019年）》，《新时代的国防》，中信建投，头豹研究院编辑整理



中国惯性导航行业产业链下游分析——民用市场规模推测

中国民用惯性导航产业化应用起步晚，应用占比仅为18.2%，且相关企业产业链布局尚不完善，整体处于发展初期，但随着需求渗透逐步提升，市场发展潜力巨大

随着技术进步，中低精度的惯性器件尤其是MEMS惯性器件发展迅猛，其成本逐步降低，体积逐步减小，惯性导航在民用领域开始得到广泛应用，民用应用领域与规模正呈现快速增长态势。但总体而言，中国惯性导航在民用领域的市场占比仍旧偏小，仅为**18.2%**，远低于军用领域。

中国惯性导航民用下游应用领域概况，2019年

惯性导航民用下游市场概况

根据头豹研究院预测，2018年中国民用无人机产品销售和服务总体市场规模达到121.7亿元，未来在国家政策的大力扶持下，市场规模将在2023年达**624.6亿元**

无人机

按2011-2017年（国家数据仅更新至2017年）石油和天然气固定资产投资完成额增速（-2.2%）推算，2017年中国基于惯性技术的石油测斜仪销售额约**17.6亿**。受新冠疫情和沙特增产影响，国际油价出现恐慌性下跌，石油和天然气资源勘探开发和设备投资将有所降低，基于惯性技术的石油测斜仪市场未来增长将较为缓慢

石油勘探

中国共有2,846个县级行政区划，按每个县级区划有一个车管所、每个车管所20辆考试车计算，中国共有约5.7万辆考试车。此外，中国教练车数量约75万辆，按10%的升级概率且更新频率为3年一次计算，则有2.5万辆教练车需更新惯导系统。参考星网宇达招股说明书，智能驾考系统价格约1万元/套，则中国电子路考考惯性导航市场规模总计**8.2亿元**

电子路考

动中通

2015年中国动中通系统的的市场需求约为1,000套/年。基于中国公安部、武装警察部队及解放军部队等已将动中通列为重点采购装备的现状，头豹预测2019年中国动中通需求量约为5,000套/年。根据星网宇达招股说明书显示，动中通单价约为45万/套计算，整体市场空间约**22.5亿**

高速铁路

2019年中国高铁里程为3.5万公里，按每60公里需要一套惯性轨道检测设备，每套设备平均市场价140万元测算，则中国高铁运输行业对惯性轨道检测设备的市场需求为**8.1亿元**

消费电子和汽车

根据头豹研究院数据，2019年中国MEMS惯性传感器市场将达到78.6亿，预计未来5年中国MEMS传感器年复合增长率在7.4%，到2023年市场规模将近102.7亿元，惯性传感器占据20%的市场份额，则2023年中国惯性传感器市场将接近**20.5亿**

民用飞机

对于民用飞机，惯性技术主要作为GPS的补充导航手段，因此，价格低、精度低、使用周期长的惯导系统更适合民用飞机，整体市场规模较小

中国主要民用惯性导航上市公司营收情况及预测

企业名称	主要领域	2019年惯性导航营收(亿元)	2020年营收估计(亿元)
耐威科技	航空惯性导航 航空发动机电子 无人机	7.2	13.4
星网宇达	惯性组合导航 惯性测量 稳控产品	4.0	7.5
晨曦航空	航空惯性导航 航空发动机 无人机	1.4 (根据2018年惯导营收占比推测得出)	1.5
合计		12.6	22.4
中国惯性导航民用市场总体规模		31.5	56.0

备注：2020年各公司营收估计是基于wind一致预测数据得出；总体规模基于以上三家上市公司营收占总体市场份额40%的假设推导得出

中国惯性技术民用产业化应用起步晚，相关民营企业由于技术积累不足而规模偏小，导致整体行业集中度不高、市场中高低端产品的发展呈现不均衡态势。中国惯性导航行业民用代表性企业包括耐威科技、星网宇达和晨曦航空，其业务多以从国外进口元器件并销售为主，新产品开发相对滞后，真正具备自主研发实力及产业化能力的较少，产品附加价值相对较低、同质化竞争较为激烈。整体来看，**中国民用惯性技术企业仍处于发展初期，未来仍有较大发展空间。**

来源：中信建投，WIND，头豹研究院编辑整理

©2020 LeadLeo



www.leadleo.com

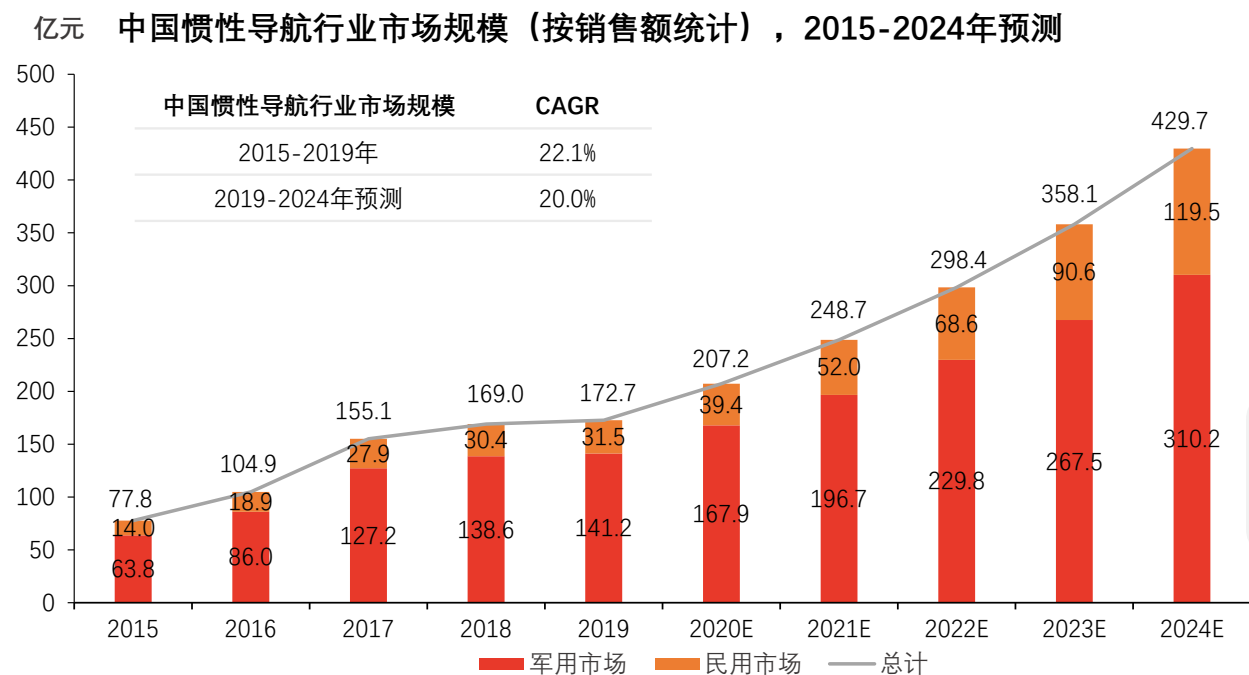
中国惯性导航行业市场规模

在下游军用市场和民用市场需求的双重驱动下，中国惯性导航行业市场规模将于2024年达到429.7亿元人民币

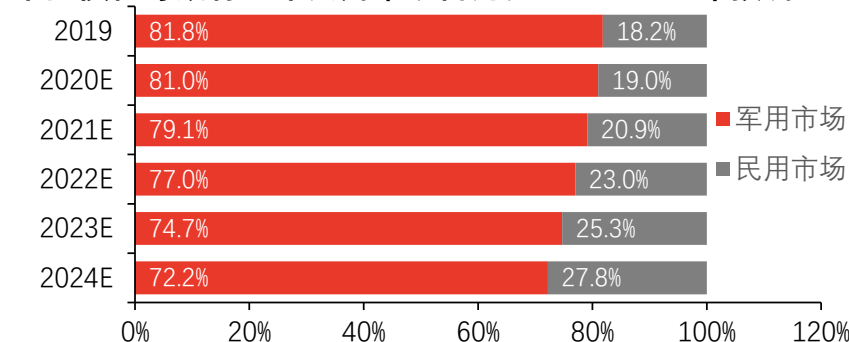
惯性导航市场规模推导逻辑

根据头豹研究院对中国惯性导航军用市场及民用市场的规模预测，2019年中国惯性导航军用市场规模为141.2亿元，民用市场规模为31.5亿元，合计共172.7亿元，其中军用市场占比为81.8%，是中国惯性导航的主要下游应用场景。因中国部队正在进行国防现代化建设，军用惯性导航更新换代需求旺盛，且在未来一段时间内都将保持高需求态势，军用市场在未来仍将保持惯性导航最大下游应用市场的地位。在民用市场方面，受益于中国无人机（百亿级市场）及无人驾驶（预计将有万亿级市场）行业的发展，未来民用应用占比将逐年提升，至2024年有望提升至**27.8%**。

在下游军用和民用市场的双重刺激下，**2019至2024年中国惯性导航行业市场规模（按销售额统计）有望从172.7亿元人民币增长至429.7亿元人民币，年复合增长率达20.0%。**



中国惯性导航行业军民用市场占比，2019-2024年预测



- 1 中国国防现代化建设对惯性导航需求旺盛，且军转民为行业注入活力，将进一步拉动军用惯性导航市场的发展
- 2 中国无人机、自动驾驶行业存在巨大市场空间，随着这两个行业的发展，中国民用惯性导航的需求量将出现爆发式增长

受以上因素的影响，预计2019年至2024年中国惯性导航行业市场规模年复合增长率将达到**20.0%**，行业市场规模有望于2024年达**429.7亿元**

来源：头豹研究院编辑整理

©2020 LeadLeo



www.leadleo.com

中国惯性导航行业产业链投资策略分析

综合全产业链分析，器件层企业将是中国惯性导航行业最佳投资标的，投资者可参考零漂、零偏重复性、非线性度、随机游走系数、良品率及产能等指标进行标的选择

纵观中国惯性导航行业全产业链，**器件层企业将是最佳投资标的**，原因如下：

- ① 器件层中加速度计和陀螺仪是惯性导航系统的核心装置，对系统精度起决定性作用，因而**器件层是惯性导航产业链中最为重要的环节**；
- ② 中国惯性导航器件层技术仍与国际一流水平存在差距，且行业**尚未在该领域形成绝对的龙头**，因而该层面企业的竞争较小、发展天花板更高，其潜在投资收益回报率也将高于竞争格局已趋于稳定的惯性导航系统层企业。

此报告将器件企业是否具备成为龙头企业的潜力量化为工艺水平、良品率和产能三个指标，其中工艺水平又可继续细分为零偏稳定性、零偏重复性、非线性度和随机游走系数四个关键技术指标，并给出详细的参考数值。但考虑到陀螺仪与加速度计以及其各自细分种类的关键技术指标存在显著差异，此处仅陈列民用领域应用最为广泛的MEMS陀螺仪的相关数据。

判断器件层企业是否具备成为龙头企业的重要参考指标

指标	关键技术指标	概念解释	影响	指标要求	参考数值（以MEMS陀螺仪为例）
工艺水平 (指产品稳定性和产品一致性)	零偏稳定性 (又称零漂)	当角速率为零时，陀螺输出量围绕其均值的离散程度	器件精度	零偏稳定性越低，器件精度愈高	100%良率情况下， <10°/h 则具备成为中国龙头潜力， <1°/h 则为国际龙头水平
	零偏重复性	在同样条件下及规定的间隔内，多次通电过程中，零偏值相对其均值的离散程度	器件的长期稳定性	零偏重复性越低，器件长期稳定性愈好	<20°/h 可达国际龙头水平
	非线性度	在输入角速率范围内，器件输出量相对最小二乘法拟合直线的最大的偏差与最大输出量之比	平台稳定性及系统精度	非线性越小，平台稳定性和系统精度愈高	<100ppm (ppm即 10^{-6} ，表偏离性) 则具备成为中国龙头潜力
	随机游走系数	由白噪声产生的随时间积累的输出误差系数，反映器件输出随机噪声的强度	器件快速响应的稳定和控制能力	随机游走系数越小，器件快速响应的稳定和控制能力愈高	<0.02°/√h 则具备成为中国龙头潜力， <0.01°/√h 则达到国际龙头水平
良品率		产线上最终通过测试的良品数量占投入材料理论生产出的数量的比例	反映企业制造能力	良品率越高，表明该企业量产能力愈强	达 100% 最佳
产能		在计划期内，企业在既定的组织技术条件下，所能生产的产品数量	反映企业生产规模	产能越高，该企业器件生产规模愈大，成本愈低	/

来源：头豹研究院编辑整理

©2020 LeadLeo



www.leadleo.com

中国惯性导航行业政策分析

2020年2月，发改委等11个国家部委联合盖章出台《智能汽车创新发展战略》，推动惯性导航系统自主知识产权军用技术的转换应用，该政策利好惯性导航行业发展

中国政府发布了多个惯性导航直接推动政策，进一步促进惯性导航系统等自主知识产权军用技术的转化应用、技术研发和产业化实现。国防科工局早在1989年和2006年已颁布多个惯性导航行业标准，对惯性导航系统精度评定方法机载惯性导航系统技术要求等做出明确规定，引导产业标准化发展。此外，因惯性导航早期多应用于军用领域，“军转民”、“军民融合”成为行业现阶段的热点方向，“军民结合，寓军于民”的军民融合政策已经上升成为中国的国防工业发展战略，同时也为惯性导航行业的发展带来历史机遇。

中国惯性导航相关政策，1989-2020年

	主体	政策或项目名称	时间	主要内容
直接推动政策	发改委、工信部、科技部、公安部等11个部委	《智能汽车创新发展战略》	2020-02	推动新技术转化应用，加快北斗卫星导航定位系统、高分辨率对地观测系统在智能汽车相关领域的应用，促进惯性导航系统等自主知识产权军用技术的转化应用，加强自动驾驶系统、云控基础平台等在国防军工领域的开发应用
	国务院	《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》	2016-11	推动智能传感器、电力电子、印刷电子、半导体照明、惯性导航等领域关键技术研发和产业化，提升核心基础硬件供给能力
	科技部	国家高技术研究发展计划（863计划）地球观测与导航技术领域2014年度备选项目征集指南	2013-04	面向民用惯性导航对高精度、小体积、低成本陀螺仪的迫切需求，开展基于磁共振的微型原子自旋陀螺仪关键技术研究，研制原理样机，推动中国高精度惯性导航从光学陀螺仪向原子陀螺仪的更新换代，为中国量子导航的发展提供关键支撑
行业标准	国防科工局	《GJB 1185A-2005 机载惯性导航系统通用规范》	2006-12	规定了机载惯性导航系统(以下简称“惯导系统”)的技术要求、质量保证规定和交货准备。本规范适用于设计、制造、检验和交付
		《GJB 729-1989 惯性导航系统精度评定方法》	1989-12	规定了惯性导航系统精度的评定方法，包括位置、首向、横摇、纵摇及速度等五个导航参数的精度评定，适用于舰船、飞机等各类运载体
间接推动政策	国防科工局	《关于促进国防科技工业科技成果转化的若干意见》	2016-05	通过军用技术推广科研计划支持军工技术转化，建设军工科技成果信息与推广转化平台，推动军工技术特别是民用核能、民用航天、民用飞机以及具有军工技术优势的智慧产业、新材料、新能源、节能环保等产业的产业化发展
	中央军委	《中央军委关于深化国防和军队改革的意见》	2016-01	以领导管理体制、联合作战指挥体制改革为重点，协调推进规模结构、政策制度和军民融合深度发展改革

来源：头豹研究院编辑整理

©2020 LeadLeo



www.leadleo.com

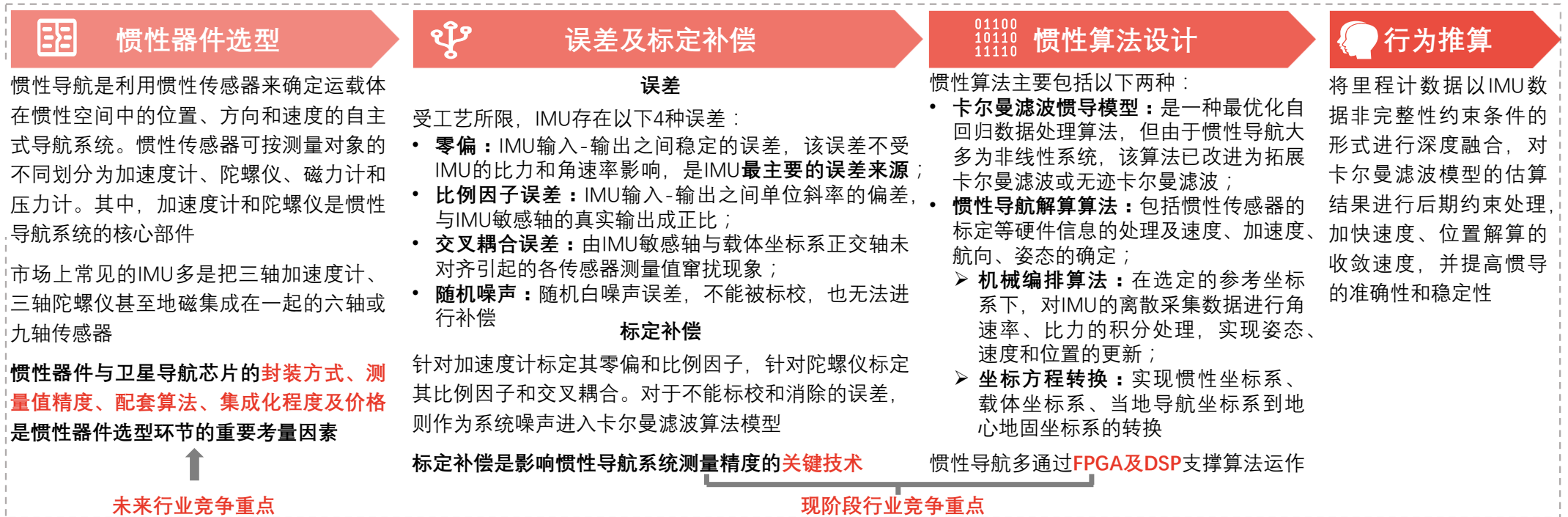
中国惯性导航系统实现过程

从实现过程角度出发，中国惯性导航行业的竞争重点将由算法标定环节逐渐滚动至惯性器件的设计、加工与封测环节

惯性导航系统的实现过程分为惯性器件选型、误差及标定补偿、惯性算法设计、行为推算四个步骤，其中前三个步骤是惯性导航技术的核心竞争力所在。

提高惯性导航系统精度的手段大致有两种，第一种是从工艺上提高惯性器件的精度，但此方法技术难度大，且对于加工条件、材料等要求高，第二种为采用标定补偿和算法方式对系统误差进行补偿。短期来看，通过标定补偿和优化算法提升国产惯性导航性能是最具可行性和性价比的路径，因此，**短期内中国惯性导航行业的竞争将体现在标定补偿和算法上**。但随着算法不断成熟，通过算法优化来提升系统性能的空间将逐渐缩小，而系统性能对惯性器件硬件性能的依赖程度则会相应提高，**届时行业的竞争将体现在惯性器件的设计、加工与封测环节**。

惯性导航系统实现过程与竞争重点分析



来源：头豹研究院编辑整理

©2020 LeadLeo



www.leadleo.com

中国惯性导航短期核心竞争力分析——标定补偿及算法

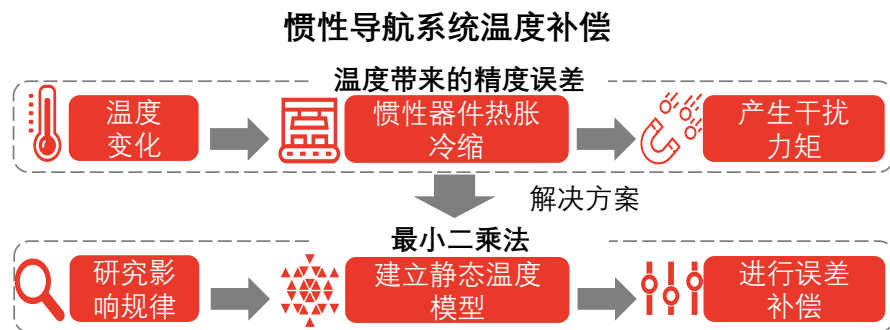
短期内中国惯性导航行业的竞争将体现在标定补偿和算法上，应重点关注温度补偿及无迹卡尔曼滤波方法

惯性导航误差分析与补偿

惯性器件的误差分析与补偿方法分为3种：

- ① 采用误差补偿算法的方式进行补偿，即将误差通过算法拟合方式进行补偿；
- ② 采用旋转调制技术，将IMU（惯性测量单元）加上转动机构进行旋转，通过旋转来消除常值误差（称为旋转调制）；
- ③ 采用Allan方差分析法，以补偿系统的随机误差。

其中**温度补偿**是现阶段惯性导航系统标定补偿环节中容易被忽略的环节。温度所带来的惯性器件精度误差主要来源于惯性器件本身对于温度的敏感程度以及温度梯度或者温度与温度梯度的交叉乘积项带来的影响。常见的陀螺仪及加速度计静态温度模型拟合方法为最小二乘法，将陀螺仪和加速度计的数学模型系数与温度建立静态温度误差补偿模型，从而提高器件精度。



来源：星网宇达招股说明书，头豹研究院编辑整理

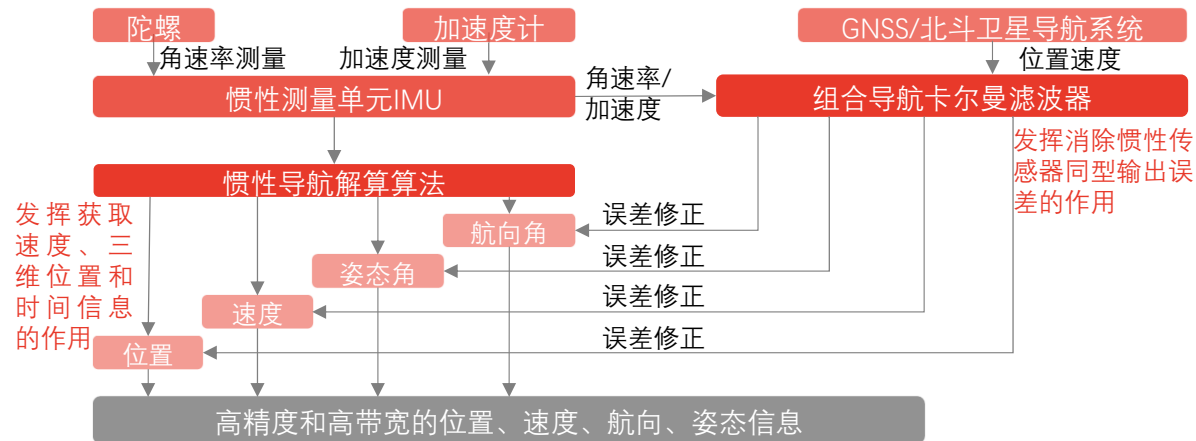
惯性导航算法

导航算法是决定导航定位精度的关键因素之一，在同样的硬件环境下，不同技术水平的导航算法直接影响导航定位精度的高低。

惯性导航算法可根据作用不同划分为卡尔曼滤波惯导模型及惯性导航解算算法。其中卡尔曼滤波惯导模型起到消除惯性传感器同型输出误差的作用，惯性导航解算算法起到获取速度、三维位置和时间信息的作用，两者相辅相成，缺一不可。

常规的卡尔曼滤波适用于线性高斯模型，而大多数惯性导航系统均为非线性系统，故必须建立适用于非线性系统的滤波算法。因此逐渐发展出扩展卡尔曼滤波方法和无迹卡尔曼滤波方法。其中，**无迹卡尔曼滤波方法**针对非线性函数，对其概率密度进行近似，使用已经确定的样本来估计状态的后验概率密度，不需要对非线性函数进行近似，具有更高的精度和稳定性，将是**未来的重点发展方向**。

惯性组合导航中的算法及其作用



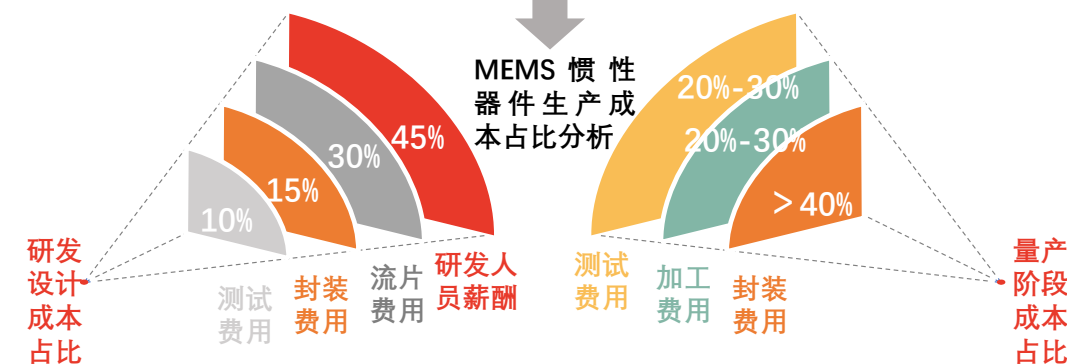
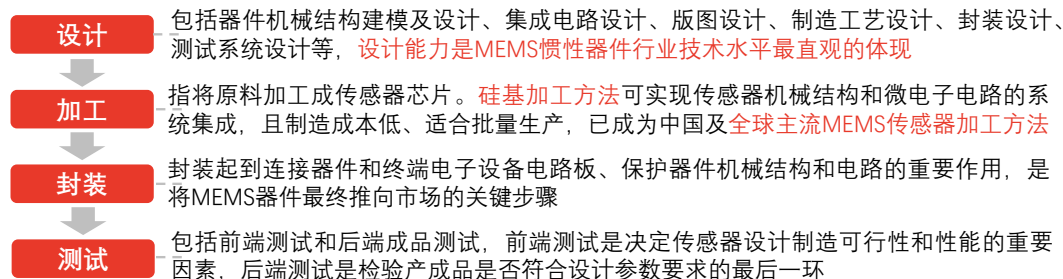
中国惯性导航长期核心竞争力分析——器件设计、加工与封测

惯性导航器件的生产流程可分为设计、加工、封装及测试四环节，其中封装和测试在量产阶段成本占比高达60%-80%，是器件生产的重点关注环节

惯性导航器件的生产流程

惯性导航器件生产流程包括设计、加工、封装及测试等环节。根据民用领域应用范围最为广泛的MEMS惯性器件的成本计算，其在研发设计成本集中于研发人员薪酬和芯片流片环节，而在量产阶段，由于MEMS惯性器件具备定制属性，且高复杂性的封装是保护机械结构件免受环境因素影响、实现传感器精确测量的关键，因而该阶段成本则集中于封装环节。

惯性导航器件生产流程及成本占比分析



来源：头豹研究院编辑整理

©2020 LeadLeo

MEMS惯性导航器件各生产流程发展情况分析

- 设计**：中国本土MEMS惯性传感器设计企业在加速度计方面已具备较强研发能力，但在MEMS陀螺仪领域的研发能力弱，多定位于低端消费级产品应用领域。此外，MEMS惯性器件上游设计软件被国际公司垄断，以EDA软件为例，2018年Synopsys、Cadence和Mentor Graphics占据了我国EDA95%的市场份额
- 加工**：具备MEMS惯性传感器晶圆加工能力的中国本土企业日益增加，但技术积累薄弱，多数企业产能规模小，导致中国MEMS惯性导航器件外协代工供应商过度集中于头部企业，影响产业链中游加工环节健康发展
- 封装**：国际领先封装企业包括日月光、安靠技术、矽品科技等，其中日月光与安靠科技占据全球MEMS传感器封装市场40%以上份额。中国具备MEMS封装能力的企业仅有长电科技、华天科技、晶方科技等数10家企业
- 测试**：MEMS器件的测试需通过不同的外部激励测试产品特性，而该外部激励测试完全由MEMS惯性传感器设计者根据应用场景需求制定，因此，MEMS惯性传感器设计企业需根据不同应用场景对产品的测试方案进行针对性设计

由于MEMS惯性导航器件种类和应用领域众多，属于高度定制化产品，其封装测试具备多样性、差异性和复杂性特征，因此封装和测试是MEMS惯性导航器件生产过程中最需关注的环节。



推广

innovation
创新地图 map

前哨 2020 科技特训营

掌握创新武器 抓住科技红利



扫码报名

咨询微信: innovationmapSM

电话: 157-1284-6605



王煜全

海银资本创始合伙人
Frost&Sullivan, 中国区首席顾问

中国惯性导航行业驱动因素分析——自动驾驶发展拉动需求增长

惯性导航是L3级及以上自动驾驶等级汽车的必要组件，随着2021年中国L3级自动驾驶汽车的逐步量产，惯性导航行业有望迎来需求暴增和技术升级等局面

惯性导航器件在自动驾驶中的作用

惯性导航在自动驾驶中起到重要作用，除提供独特定位功能和算法信息来源外，惯性导航还是自动驾驶的最后一道安全防线。

惯性导航在自动驾驶中的作用



对于L3级及以上的自动驾驶汽车，惯性导航是必不可少的高精度定位组件。

不同自动驾驶等级所需的惯性导航情况

	产品类别	精度要求	应用场景
L3有条件自动化	惯导+轮速	< 50cm	智能巡航、拥堵巡航、遥控泊车
L3-L4高度自动化	惯导+GNSS+轮速	10-30cm	城市巡航、高级拥堵巡航、代客泊车、固定路线泊车
L4-L5完全自动化	惯导+GNSS+轮速+冗余	< 10cm	高度甚至完全无人驾驶

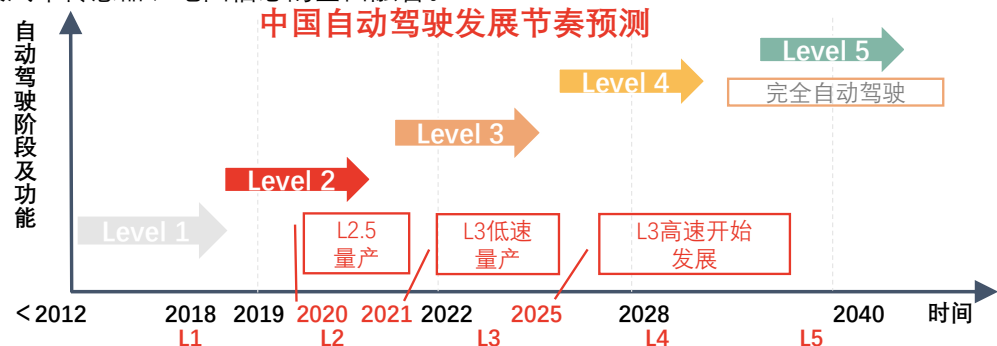
来源：头豹研究院编辑整理

自动驾驶对惯性导航行业的影响

2018年1月发改委发布《智能汽车创新发展战略（征求意见稿）》，明确规定中国“智能汽车强国战略”，要求2020年中国智能网联汽车实现50%的加装率，并实现高级别无人驾驶（L3级及以上等级）产业化和真正市场化。

2020及2021年将是自动驾驶行业的关键节点。截至2020年3月，中国自动驾驶量产车型尚处于L2及L2.5阶段。根据中国毫米波雷达某知名企业具有十余年工作经验的专家预测，随着芯片、算法、传感器等技术的日趋成熟，在上述政策影响下，中国将于**2020年实现L2.5量产，于2021年初步实现L3低速量产，到2025年实现L3低速大规模应用和L3高速初步发展。**届时，惯性导航作为L3及以上等级自动驾驶车辆的必要部件，其需求量有望迎来爆发式增长。

此外，当前车载惯性导航存在价格过高（>10万元）而无法满足车辆成本和量产要求的弊病，其瓶颈在于封装及标定补偿技术。为了适应下游自动驾驶的快速发展，惯性导航相关企业将积极研发高精度MEMS封装及其误差标定技术，促进惯性导航与自动驾驶汽车传感器、地图信息的全面融合。

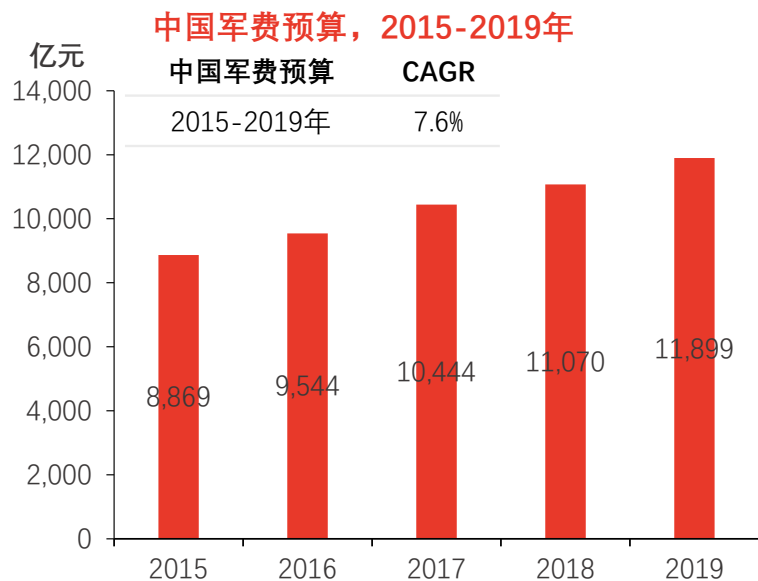


中国惯性导航行业驱动因素分析——军用市场需求旺盛

中国国防现代化建设对惯性导航需求旺盛，且军转民为行业注入活力，将进一步拉动军用惯性导航市场的发展

中国军费开支逐年增加

中国部队正在进行国防现代化建设，军费预算逐年增长，由2015年的8,869亿元上升至2019年的11,899亿元，年复合增长率达7.6%。军用市场是惯性导航最大的下游应用市场，其预算支出的增长将直接促进核心军用武器部件——惯性导航的需求提升，从而拉动中国惯性导航市场规模提升。



来源：《政府工作报告》，头豹研究院编辑整理

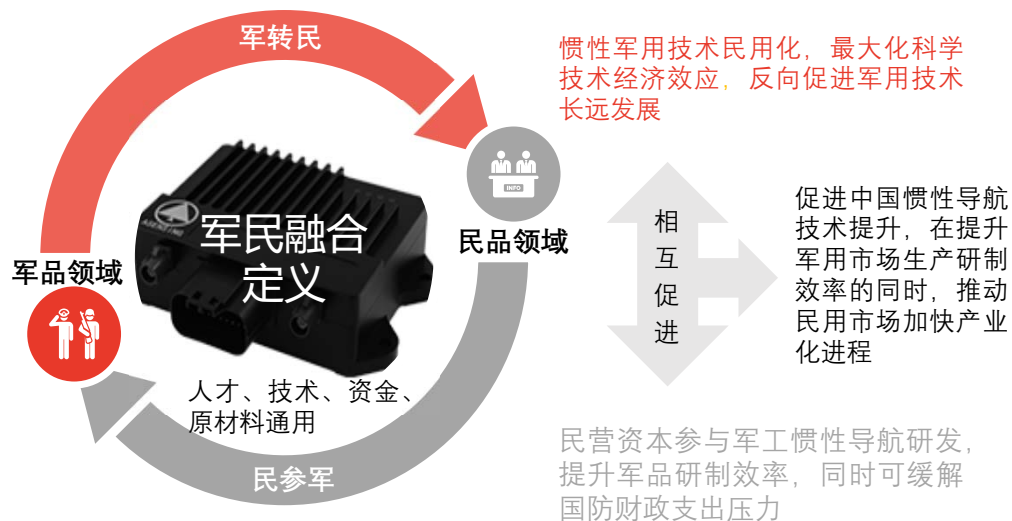
©2020 LeadLeo

军民融合促进惯性导航行业发展

“军民结合，寓军于民”的军民融合政策是中国新时期国防产业发展变革的大趋势，可有效增强国防技术储备。军民融合政策已上升为中国的国防工业发展战略，中国中央军委、发改委及国防科工局颁布多个相关政策促进军民融合的发展。

计划经济体制内缺乏竞争和效率低下是阻碍中国国防工业发展的重要问题之一，且军工行业存在军费规模的天花板效应，因而在当前整体财政支出压力较大的背景下，通过军民融合可将优势民营企业、优质社会资源引入军品科研、生产和维修各个环节，有效提高军工产业生产效率，同时也可起到缓解部分国防财政支出压力的作用。同时，军转民将军用高端技术民用化，可加速民用产业的技术提升，推动民用市场的产业化落地。

军民融合对惯性导航行业的影响



www.leadleo.com

中国惯性导航行业趋势分析——高精度陀螺仪将成主流

参考美国、法国惯性导航陀螺仪情况，短期内中国各陀螺仪将凭借自身优势重点应用于不同领域，而未来市场将由高精度MEMS陀螺仪和半球谐振陀螺仪占据

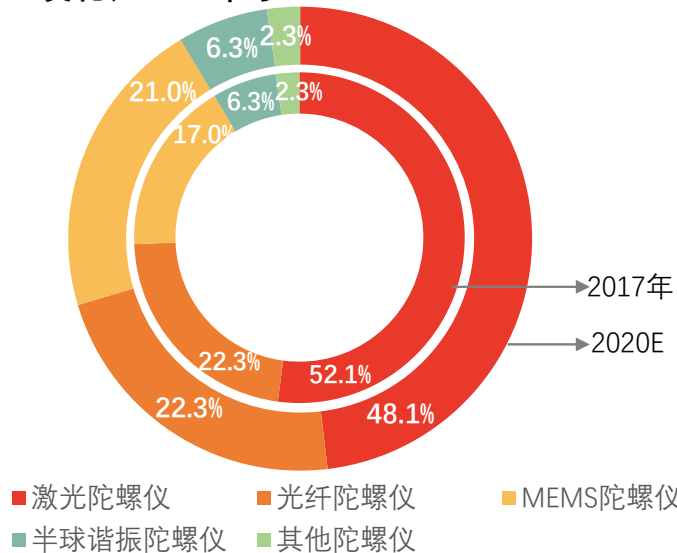
短期内各陀螺仪将凭借自身优势重点应用于不同领域

综合美国惯性导航陀螺仪交易额占比变化情况和国际陀螺技术发展阶段，未来各类陀螺仪将凭借自身优势重点应用于不同领域。在**战略级（航天航海领域）**市场，**激光陀螺仪**因优越的温度稳定性而占据市场主要地位，在**导航级（弹武器）**领域，**激光和光纤陀螺仪**将共享市场空间，在**战术级（地面武装器和飞行器）**领域，尤其是在高端应用场景，**光纤陀螺仪**将依然扮演重要角色，而在**商业级（汽车及消费电子）**领域，**MEMS陀螺仪**将凭借高性价比持续保持统治地位。

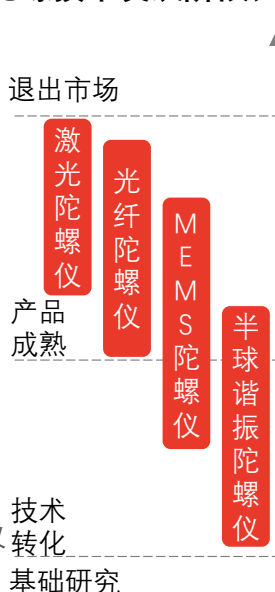
长期预测高精度MEMS及半球谐振陀螺仪将获得快速发展

法国赛峰集团对其旗下激光陀螺仪、光纤陀螺仪与半球谐振陀螺仪进行性能对比，其中0~5为指标增优等级，由下图可知，半球谐振陀螺仪的带宽可达到光学陀螺（激光、光纤、MEMS陀螺仪统称）水准，同时其体积、质量、功耗、零偏稳定性、温度稳定性、及角度随机游走等指标优势明显。赛峰公司认为半球谐振陀螺仪未来将替代光学陀螺在军用市场的地位和市场份额，而MEMS陀螺仪因其高性价比将持续在商业级市场占据领先地位，但将向**高精度**方向演化。

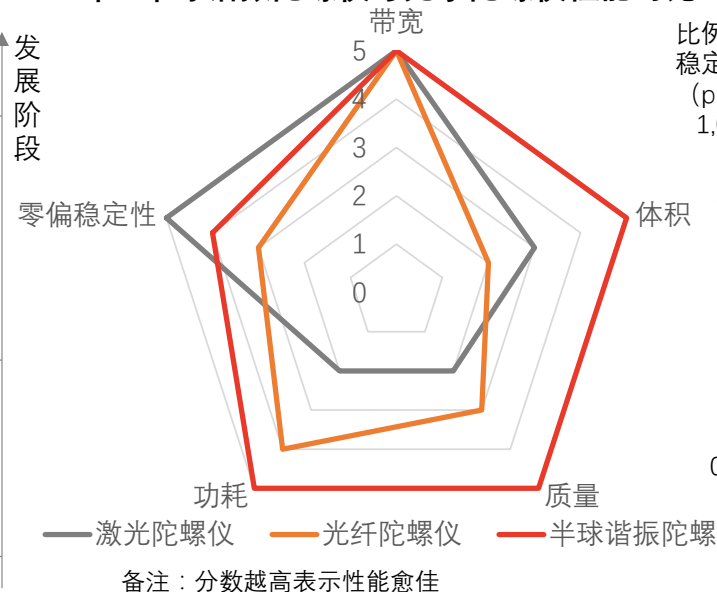
美国惯性导航用陀螺仪交易额占比变化，2017年与2020E



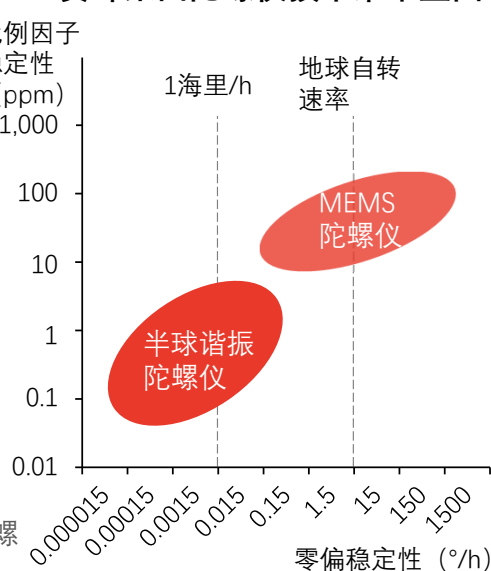
国际陀螺技术发展阶段，2019年



半球谐振陀螺仪与光学陀螺仪性能对比



赛峰集团陀螺仪技术未来蓝图



来源：《2019年国外惯性技术发展回顾》，《惯性世界》，头豹研究院编辑整理

©2020 LeadLeo



www.leadleo.com

中国惯性导航行业趋势分析——融合将成行业主旋律

惯性导航系统具备成为自动驾驶汽车导航传感器信息融合中心的潜力，此外，视觉惯性导航系统有望因其高性价比优势而得到广泛应用

惯性导航有望成为定位信息融合中心

惯性导航可在车辆运行过程中提供连续测量信息，将视觉传感器、雷达、高精地图等感知到的数据再度进行更深层次的融合，是各传感器之间链接的纽带。

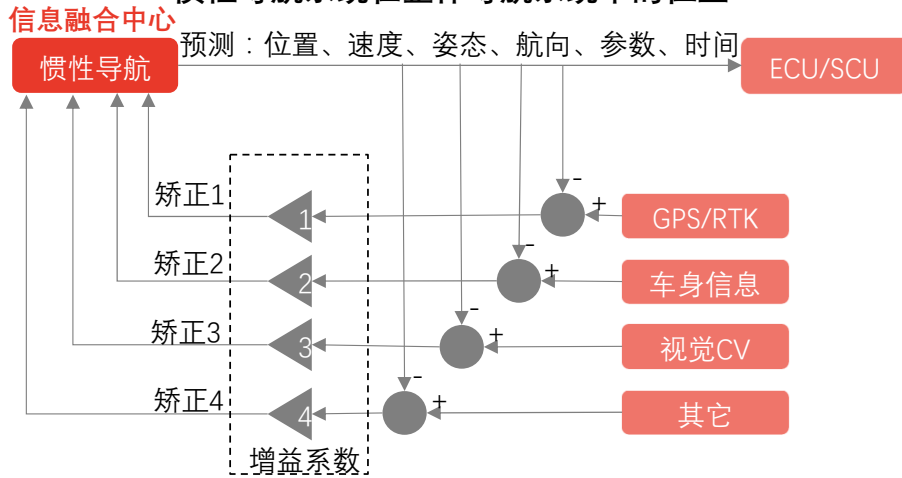
随着5G技术的发展和深化应用，以无人机、智能机器人及自动驾驶为代表的自动控制领域产品对各板块的耦合性要求提升。而**惯性导航系统具备成为自动驾驶汽车导航传感器信息融合中心的潜力**，可通过紧耦合的方式兼收各类传感器数据，在实时滤波和容错算法的基础上，在多源信息整合中自动剔除超出传感器误差的野值或异常值，进一步通过融合递推的方式对各类传感器信息进行预测，提高导航系统的应用效率，提升整个系统的综合性能和可靠性。

视觉惯性导航系统将成为行业发展热点

惯性导航系统被广泛用于估计传感平台（如自动驾驶车辆），特别是在水下、室内、城市峡谷等GPS信号缺乏的环境中，但其存在累计误差问题，其测量误差会随着时间累积和不断增高，因而惯性导航在长期导航下的可靠性不强。尽管存在高端战术级IMU，但其成本高，位于几十万元级别，难以大规模普及应用。

纯视觉SLAM技术则存在鲁棒性差、测量精度低等问题，在智能汽车上尚未得到广泛应用。但SLAM具备体积小、重量轻、能效高、可提供丰富环境信息及价格低等优点，而将其作为INS的辅助来源融合产生视觉惯性导航系统VINS，则可有效弥补双方在性能和成本上的不足。因而**视觉惯性导航系统将因其互补的传感器特性、低成本、小尺寸等优势而得到广泛应用。**

惯性导航系统在整体导航系统中的位置



视觉惯性导航系统性能优势



惯性导航

存在累计误差问题，战术级惯性导航售价过高（几十万元级别）



SLAM

存在鲁棒性低和精确度差的问题



**视觉惯性导航
VINS**

通过成本、性能互补，弥补了惯性导航和SLAM的可靠性和精度问题，同时将系统价格降低至**千元级别**

来源：星网宇达招股说明书，《Visual-Inertial Navigation: A Concise Review》，头豹研究院编辑整理



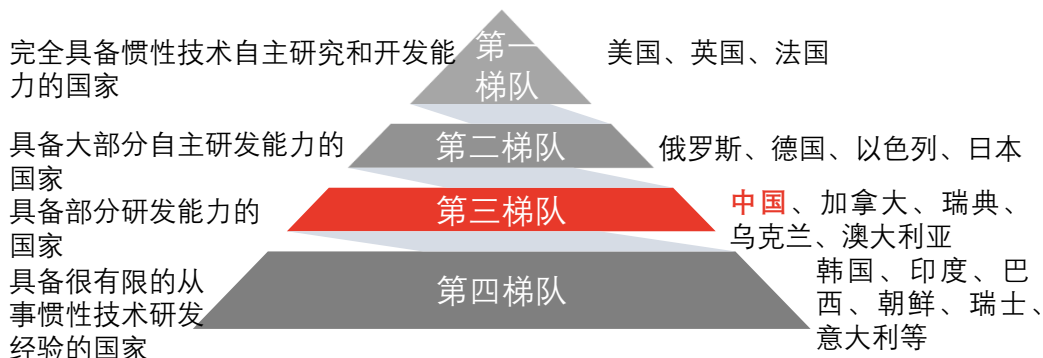
中国惯性导航行业投资风险分析及优质企业判断标准

中国惯性导航技术仍落后于美英法等惯性技术强国，且行业存在发展不及预期风险，但高风险同时也意味着高收益，此时，如何分辨优质企业成为关键

中国惯性导航行业技术水平分析

美国国防部把从事惯性技术领域研究和开发的国家分为4个层次，中国处于第三梯队。中国的惯性导航组合研发起步晚于美英法等惯性技术强国，技术上（良品率、产品精度、算法普适性）与国际领先水平存在差距。此外，国际企业在包括工业、汽车、军工和宇航等下游应用领域上，均占据市场优势，市场份额领先。中国距离成为第一梯队惯性技术国家仍需较长时间。

中国惯性导航技术在国际上所处的地位



中国惯性导航行业风险分析

中国惯性导航行业存在以下风险：

- 政策调整风险：**惯性导航行业受政策影响大，若出现预期之外的政策调整将对现有市场形成冲击；
- 自动驾驶市场化不及预期风险：**中国自动驾驶处于快速发展阶段，但仍存在市场话不及预期、市场接受程度不达预期等风险，将影响民用惯性导航的推广情况。

来源：头豹研究院编辑整理

©2020 LeadLeo

优质企业判断标准

中国惯性技术整体开发水平尚未列入全球前列，且行业存在政策调整风险及发展不及预期风险。但考虑到惯性导航各应用均处于蓬勃发展或早期发展阶段，均对惯性导航需求旺盛等特点，总体而言，中国惯性导航行业发展潜力佳、投资标的判断标准清晰，产业**投资价值高**。投资者若能在该阶段成功捕获优质投资标的，则其投资回报收益率将维持在较高水平。此报告分别给出系统层、器件层及初创企业的投资判断指标。

中国惯性导航优质企业判断指标

系统层企业

投资者可依据市场占有率、全产业链布局、核心技术三个指标判断系统层企业投资潜力：

- 市场占有率：**市场占有率越高表示该公司在领域内的话语权愈强，也侧面反映出企业在技术、产业化实现、客户资源等方面的优势
- 全产业链布局：**指布局惯性导航上中下游全产业链的能力，布局越全面，产品的成本优势将愈明显
- 核心技术：**指产品制造能力、设计能力、算法研发和成本控制等核心技术

器件层企业

投资者可依据工艺水平、良品率和产能三个指标判断器件层企业投资潜力，详情见P20页











初创公司

惯性导航行业技术门槛高，技术是影响产品产业化实现的核心因素，因此，投资者可依据**研发人员背景**判断初创企业投资潜力。核心技术团队出身国际龙头企业、军工企业、研究所，且具备多年相关研发经验的初创公司更易产出成品并实现量产，创业失败风险更小

中国惯性导航行业竞争格局

中国惯性导航行业参与者包括军工企业、民用企业和初创企业三种类型，其中，军工企业因市场广阔、具备全产业链能力而成为行业主要参与者

中国惯性导航行业参与者包括军工企业、民用企业和初创企业三种类型。

		中国惯性导航领域主要参与者					
		成立时间	主要领域	技术情况	2019年惯导营收(亿元)	核心优势	
惯性导航	军工企业 <ul style="list-style-type: none"> 由于西方在军用高精度惯性技术领域对中国实施禁运，因此中国军工企业均具备惯性陀螺仪的生产和研制能力 中国在国防信息化领域投入不断加大，未来军用惯导市场规模有望进一步扩大，而相对集中的产业格局将使相关企业集中获益 	 航天科技集团	1999-07	航天火箭 导弹	全产业链生产能力	60	中国最早组建惯性技术发专业化科研单位
		 航天科工集团	1999-07	导弹类	全产业链生产能力	35	中国惯性技术的核心研究单位之一
		 中航工业集团	2008-11	军用飞机	全产业链生产能力	26	中国航空工业、制导与控制技术研发中心
		 兵器集团	1999-07	炮 陆用惯导	全产业链生产能力	10	光纤陀螺产量与工程化技术在中国居领先地位
	民营上市企业 <p>民用企业多集中在中流系统层，基本不具备陀螺仪的生产能力。整体来看，中国民用惯性技术企业仍处于发展初期</p>	 中船重工集团	2019-10	船舶	全产业链生产能力	10	中国船舶行业惯性导航技术研究的核心单位
		 耐威科技	2008-05	航空惯性导航 航空发动机电子 无人机	部分光纤陀螺仪及石英加速度计可自主研发，激光及光纤陀螺仪为外购	7.2	收购Sillex，是民营企业中为数不多具备MEMS芯片生产能力的企业之一
		 星网宇达	2005-05	惯性组合导航、 惯性测量、稳控	惯性器件均外购	4.0	惯性导航领域的民参军龙头企业
		 晨曦航空	2000-02	军用航空惯导产品	惯性器件均外购	1.4	在惯性导航和发动机电子领域具备技术优势和多年军方配套服务经验
		 导远科技	2016-11	自动驾驶	具备组合导航系统和高性能IMU惯组设计和批量生产能力	/	中国唯一能提供车载组合惯导总成全套方案的供应商
		 戴世智能	2015-01	汽车测试设备 自动驾驶	通过视觉信息融合RTK组合惯性导航实现全路况高精度定位	/	商业路径清晰，由盈利实现快的汽车测试设备市场切入
初创企业 <p>资金、市场布局实力弱于前两者</p>							

来源：各公司官网，头豹研究院编辑整理

©2020 LeadLeo



www.leadleo.com

中国惯性导航行业企业排名

本报告从营收、产业链布局情况、核心技术掌握情况等3个维度对中国惯性导航行业企业进行评分，其中，航天科工集团位居第一，耐威科技位列民营企业首位

中国惯性导航系统层企业排名评价标准

在中国惯性导航下游应用中，军用领域占比高达81.8%，远高于民用市场。此外，军用惯性导航因涉及国防安全，其精密度、稳定性等性能要求均高于民用惯性导航。综合市场份额与技术水平，占据军用领域80%市场份额的军工企业整体实力均高于民营企业。因而此报告在进行惯性导航行业企业排名时将优先考虑企业的经营性质，并针对军工企业和民营企业分别给出不同评分标准。

• 对于军工企业

中国惯性导航军工企业均具备全产业链生产能力，且技术均已到达较高水平，因而此报告仅将惯性导航营收作为军工企业排名的参考指标；

• 对于民营企业

本报告从营收、产业链布局情况及核心技术掌握情况3个方面对中国惯性导航系统层民营企业进行评分，每个指标评分区间为1-5分，权重为33.3%，并根据指标评分与指标权重计算出民营企业排名情况。

中国惯性导航行业企业排名，截至2020年3月

2019年中国惯性导航行业军工企业营收情况（基于估计值）



中国惯性导航行业民营企业综合评分情况，截至2020年3月

	营收	产业链布局情况	核心技术掌握情况	综合评分
耐威科技	3	4	4	11
星网宇达	2	3	3	8
晨曦航空	1	3	3	7

综合排名

- 1 航天科工集团** 营收最高
- 2 航天科技集团** 导弹类产品是消耗品，其惯导需求量大
- 3 中航工业集团** 军用飞机是第二大下游应用市场
- 4 兵器集团** 陆用惯导单价虽低，但需求量大
- 5 中船重工集团** 舰船为惯性导航规模最小的应用领域
- 6 耐威科技** 子公司Sillex在纯MEMS代工领域全球第二
- 7 星网宇达** 军用、民用多领域发展
- 8 晨曦航空** 专注军用航空惯导产品

来源：头豹研究院编辑整理

©2020 LeadLeo



www.leadleo.com

惯性导航行业投资企业推荐——导远科技（1/2）

导远科技具备组合导航系统和高性能IMU惯组的设计和批量生产能力，是中国领先的惯性及光电传感产品供应商，已获得千万级别投资，估值增长15倍



公司名称：深圳导远科技有限公司



成立时间：2016年



公司总部：中国深圳



企业简介

深圳导远科技有限公司（简称“导远科技”）成立于2016年，注册资金304.8万元，是一家专注于提供MEMS惯性测量单元、组合导航、航姿及控制解决方案的技术性公司，是中国领先的惯性及光电传感产品供应商。

融资概况

导远科技共经历两轮融资：

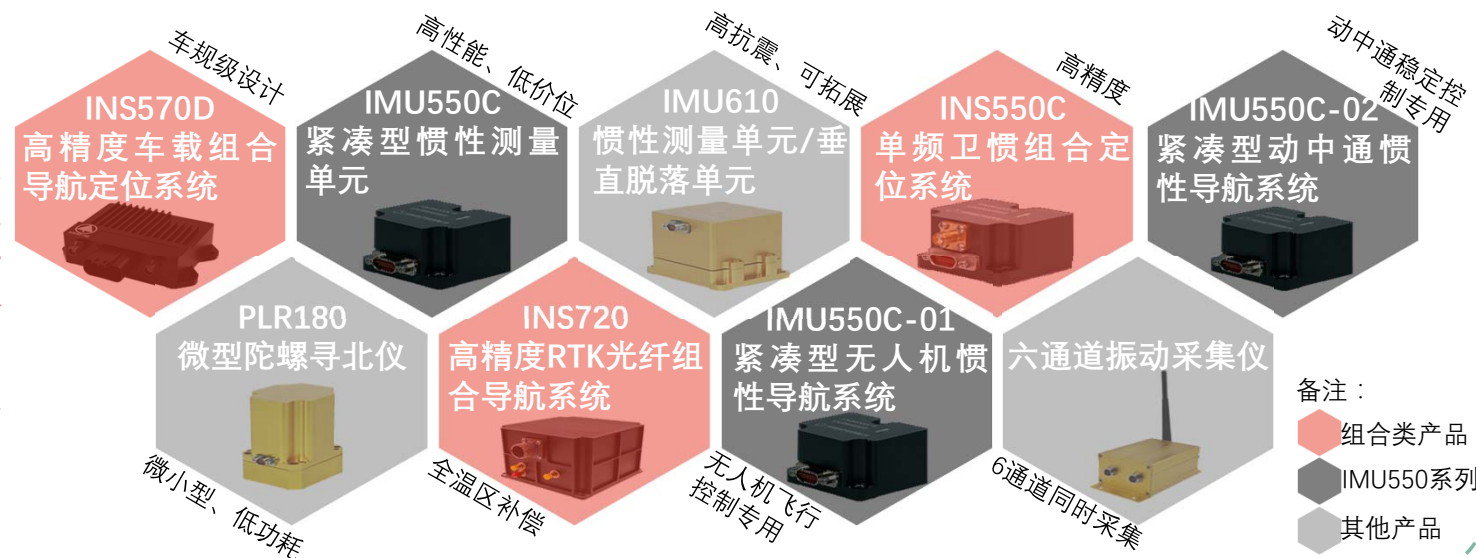
- ◆ 2017年4月获得励石投资、鹏德创业投资的天使轮投资，投资金额未披露。
- ◆ 2019年3月获得合创资本、力合科创及时代伯乐1,000万人民币投资，导远科技融后估值约为5,000万元人民币，与注册时相比，估值增长超15倍。

主要产品

导远科技主营产品为姿态测量与自动驾驶组合导航产品，包括垂直陀螺（VG）、惯性测量单元（IMU）、姿态航向参考系统（AHRS）、GPS/INS组合导航系统、寻北仪（非磁罗盘）等，还可根据客户的需求，提供应用于特殊工作环境下的定制化解决方案。其产品用于定位及导航的使用场景，主要客户群体为整车主机厂、汽车Tier 1供应商、军工企业和自动驾驶解决方案提供商。

- 导远科技以惯性导航技术为核心，其产品解决方案为“基于位置定位同步的（环视）特征匹配（RTK+惯导+环视），实现定位误差在20厘米以内的概率 > 97.5%”。
- 此外，导远科技具备组合导航系统和高性能IMU惯组的设计和批量生产能力。其车规级组合导航总成级产品能实现厘米级动态定位精度和2‰D的短期航位推算精度，以及0.1°的动态姿态精度，产品广泛应用于汽车自动驾驶、无人机姿态控制、运动捕捉及仿真、船舶及海上平台姿态监控等领域。

导远科技产品介绍



来源：导远科技官网，IT橘子，基业长青经济研究院，头豹研究院编辑整理



惯性导航行业投资企业推荐——导远科技（2/2）

导远科技团队能力圈形成互补、渠道拓展能力强，且成功通过汽车质量体系认证，是中国唯一能提供车载组成惯导总成全套方案的供应商

投资亮点

亮点一：团队技术能力形成互补

导远科技团队核心成员拥有**12年**的组合导航及超过**20年**的MEMS研发经验，能为惯性导航产品的开发提供技术支撑。此外，除技术人才外，导远科技还拥有工作经验和行业积累丰富的销售和运营人才，团队成员的能力形成互补。

亮点二：渠道扩展能力强，有利于品牌建设

相比同行尚未进入汽车厂商供应体系，导远科技的组合导航产品已为上汽、小鹏多款车型定点配套供货，同时也进入了吉利、长城、广汽、一汽、奇瑞、野马等知名汽车厂商的供应商目录，与京东、阿里、智行者、德赛西威与四维图新知名智能汽车行业厂商有深度的技术合作与交流，其技术和质量得到了主机厂的认可，有利于其品牌的宣传和未来市场的进一步拓展。

亮点三：拥有多项惯导专利，获得汽车行业质量体系认证

导远科技拥有多项惯导专利，且产品已通过并实施IATF16949:2015管理体系，具备汽车质量体系认证。

- 国家高新技术企业
- ISO9001质量体系认证企业
- IATF16949汽车零部件质量体系
- 国家特种机器人标准化工业组成员企业（SWG13）
- 已授权**专利6项**，**软著14项**，参与起草**国家标准2项**
- 计划申报B级军工质量体系认证（保密、国军标质量体系、武器装备承制）

技术分析：导远科技技术实力领先，对视觉-卫惯组合进行前瞻布局

车载组合导航具备低功耗、高速率、稳定性高等特点，能实时反馈当前车辆的姿态和航向，输出X、Y、Z三轴加速度和角速率等车辆信息，在智能驾驶算法上提供稳定可靠的车辆原始数据，在实现L2.5、L3级别自动驾驶中发挥着重要作用。导远科技在视觉-卫惯组合领域进行前瞻布局，现已成为多个大型车厂量产车型定点供应商。

导远科技**核心技术及产品**为六轴单片晶圆级真空封装MEMS芯片，可应用于自动驾驶、VIO、车位地图的构建和识别，该产品具备完全自主知识产权。导远科技的**算法**经过了**隧道、峡谷、车库、高架桥**等多种场景的实测，轨迹误差小、精度高，能够实现对空间环境的图像特征点和地理位置的关系进行辨识、预测和匹配，实现动态高精度地图快速构建以及动态目标的识别和跟踪，并通过高精度定位和机器视觉融合实现轻量级SLAM，并进一步实现载体的实时路线规划。导远科技是**中国唯一能提供车载组合惯导总成全套方案的供应商**，已被多个量产自动驾驶乘用车项目采纳，其自主设计的光纤主组合惯导系统也获得军用型号的定型。

来源：导远科技官网，“见·未来”智能科技论坛，头豹研究院编辑整理

©2020 LeadLeo



www.leadleo.com

惯性导航行业投资企业推荐——戴世智能 (1/2)

戴世智能通过视觉信息融合RTK组合惯性导航实现全路况高精度定位，为自动驾驶提供超视距的路况与环境信息服务，已获得水木资本千万级天使投资



公司名称：上海戴世智能科技有限公司



成立时间：2015年



公司总部：中国上海

DAISCH

企业简介

上海戴世智能科技有限公司（简称“戴世智能”）成立于2015年，注册资金313.1万元，是一家高精度惯性定位解决方案提供商，为自动驾驶提供高精度运动与位置传感系统和工具链。

融资概况

2019年10月15日戴世智能获得水木资本的数千万元人民币天使轮投资。本轮融资主要用于增加研发投入、扩建团队和完善管理与质量体系。戴世智能融后估值约为1.5亿元人民币。

主要产品

戴世智能基于载波相位差分技术、惯性导航技术以及机器视觉技术研发了无人驾驶高精度定位系统，并通过视觉信息融合RTK组合惯性导航实现全路况高精度定位，为自动驾驶提供超视距的路况与环境信息服务。戴世智能的产品线可根据服务对象划分为两条：为主机厂L3级自动驾驶业务提供高性价比、高稳定性的标准化惯导产品和服务；为主机厂的L4及以上的自动驾驶业务提供ADAS和自动驾驶测试套件。具体来说，戴世智能的产品包括汽车级战术级精度IMU、汽车级INS系统、无人控制系统、离子电流监测点火系统、动力控制系统等。

戴世智能产品介绍

1

运动位置传感器



MS系列
惯性测量单元

配备CAN和RS232接口的动态3轴加速度、3轴陀螺仪和倾斜传感器

2



惯性测量及卫星定位融合传感器

IFS系列惯性和GNSS融合传感器

3



UAVTRONIC AG
无人控制系统

针对农业无人飞行器市场的高性能无人机控制系统

4



IonTronic V3.0
离子电流监测点火系统

通过监测离子电流的大小得到燃烧相关信息

5



POWERTECH
动力控制系统

可实现精确燃烧过程控制

来源：戴世智能官网，IT橘子，头豹研究院编辑整理

©2020 LeadLeo



www.leadleo.com

惯性导航行业投资企业推荐——戴世智能（2/2）

戴世智能商业路径清晰，其人才和技术优势将加速企业由体量大、盈利实现速度快的汽车测试设备市场向量产设备市场的转移

核心产品展示

戴世智能惯导系统的独特性在于其于算法中融入牛顿力学基本原理、车辆动力学、误差模型自学习，并扩展卡尔曼滤波进行数据融合，可通过加速度、角速度准确推算车辆的位置。以其产品IFS2000为例，该惯性测量及卫星定位融合传感器是一款小体积高性能的导航单元，集成载波相位差分定位模块，支持单/双天线，可提供三轴运动学测量，包括加速度、角速度、航向、速度和位置信息，支持最高100HZ的更新率。此外，IFS2000具备可靠的防护等级及耐高温性能，适用于**航空航天、地图测绘、稳定性控制、无人驾驶、运动分析**等场景。IFS2000可在**地下车库等复杂工况**下工作，当车辆进入封闭遮挡区域（比如地下车库、隧道等）并失去卫星信号时，IFS2000仍可进行定位，并将定位精度保持在米级。右下图为IFS2000在二层地下车库测试时的状态，右上角姿态球实时显示了车辆的姿态信息，能准确反映车路在通过减速带和上下坡的动态过程，而左上角的三维曲线则显示了车辆实时的运动轨迹。

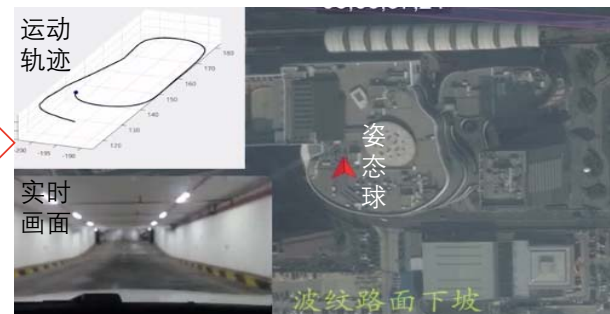
戴世智能
IFS2000
性能与地下车库应用场景



关键性能：

- 32位ARM高性能处理器
- 满足AEC-Q100汽车标准的传感器
- 支持CAN总线及OBD2协议
- 陀螺稳定性 $2^\circ/h$
- 加速度稳定性 $0.003mg$
- GNSS多星座支持
- 温度范围：-40°C-85°C
- 价格：**6万元人民币**

地下车库场景应用情况



投资亮点

亮点一：商业路径明确

戴世智能现阶段瞄准**汽车测试设备市场**（市场体量大且可快速实现盈利），其IFS3000 ADAS KIT套件可全方位服务于ADAS功能开发验证，辅助工程师完成点到点、轮廓到轮廓、车辆到车道线等高精度距离动态测量和运动学信息采集及数据回放。随着技术成熟度的不断迭代，其INS/IMU产品的成本大幅下降（现售价近**6万元人民币**，仅为进口产品价格的**10%-25%**）。产品的高性价比及高可靠性使戴世智能具备实现量产的能力。戴世智能计划在短期内实现量产，并在未来**5-8年**成为Tier1企业。

亮点二：人才优势显著

戴世智能核心团队来自同济、复旦、交通大学，其中高级顾问李理光老师是同济大学特聘教授及SAE工程师学会成员。戴世智能已与中国多个OEM、Tier 1和科研院所合作，为多家汽车厂商（包括上汽、广汽、长安）、自动驾驶方案公司提供IMU和INS产品。

来源：戴世智能官网，头豹研究院编辑整理

©2020 LeadLeo



www.leadleo.com

惯性导航行业投资企业推荐——羲朗科技（1/2）

羲朗科技利用惯性导航、信息融合技术解决运动体对位置、姿态等导航信息的准确性、实时性需求，已获得联想之星天使轮投资



公司名称：北京羲朗科技有限公司



成立时间：2017年



公司总部：中国北京



企业简介

北京羲朗科技有限公司（简称“羲朗科技”）成立于2017年，注册资金117.7万元，是一家自动驾驶位置与姿态技术方案供应商。羲朗科技利用惯性导航、信息融合技术解决各种运动体对位置、姿态等导航信息的准确性、实时性需求。

融资概况

羲朗科技共经历一轮融资：

- ◆ 2018年9月羲朗科技获得联想之星的天使轮投资，具体金额未透露。联想之星已全面布局自动驾驶感知层，羲朗科技是在该层面的最终补充环节。
- ◆ 羲朗科技的融后估值约为500万元人民币。

主要产品

羲朗科技通过拥有自主知识产权的惯性器件在线标定技术与温度误差补偿技术大幅降低器件误差，并通过惯性导航与GPS实时动态载波差分（RTK）、卫星精密定轨技术相结合达到厘米级定位精度等技术优势，在降低惯性导航成本的同时，大幅提升产品的性能，可在万元级别的惯导产品上实现十万元级别产品的性能，其高精度组合导航产品性价比高，具备成本竞争优势。

羲朗科技产品介绍

针对自动驾驶汽车使用环境

- 航向精度：0.08°
- 俯仰精度：0.05°
- 横滚精度：0.05°
- 角速度精度：0.05°/s
- 速度精度：0.08m/s



Qsens-V203高精度MEMS组合导航系统



Qsens-A102高精度MEMS组合导航系统

针对无人车（AGV）使用环境

- 航向精度：0.5°
- 俯仰精度：0.2°
- 横滚精度：0.2°
- 角速度精度：0.1°/s
- 速度精度：0.2m/s

针对无人车（AGV）使用环境

- 航向精度：0.2°
- 俯仰精度：0.1°
- 横滚精度：0.1°
- 角速度精度：0.1°/s
- 速度精度：0.2m/s



Qsens-V201高精度MEMS组合导航系统



H/M105航天导航U205航海导航

针对航天、航海使用环境

- 航向精度：0.03°
- 俯仰精度：0.01°
- 横滚精度：0.01°

来源：羲朗科技官网，IT橘子，头豹研究院编辑整理

©2020 LeadLeo



www.leadleo.com

惯性导航行业投资企业推荐——羲朗科技（2/2）

羲朗科技依托其在软件算法建模方面丰富的经验，通过惯性传感器误差补偿等技术，有效降低了其惯导产品的成本，高性价比成为其产品的最大竞争优势

投资亮点：产品性价比高

羲朗科技的惯导产品售价位于千元至三万元之间，但在姿态和信息输出精度等性能方面可与十万元级别的产品媲美，性价比高。依托其在软件算法建模方面的丰富经验（羲朗科技已在全国20个省市1万多台车上累计测试超73万小时），羲朗科技通过惯性传感器误差补偿技术、可靠惯导与辅助设备数据融合算法等技术，有效解决了低成本MEMS器件带来的高零偏和比例因子误差问题，成功平衡了惯性导航产品价格与性能的关系。

羲朗科技提高产品性价比的相关措施

进行温度补偿和非正交标定

对惯性器件的温度变化趋势项进行多项式补偿，并对物理结构的非正交误差进行出厂前标定，在补偿惯性器件的基础上计算车辆姿态，确保重力加速度在车体坐标系内准确分解

构建车辆动力学模型

构建车辆动力学模型，分解离心力与哥氏力之间的耦合关系，消除车辆横向干扰加速度对车控的影响

2

3

搭建惯量模型和补偿模型

搭建高精度转动惯量模型和惯导安装补偿模型，用于消除由于车辆杆臂效应造成的干扰加速度

产品性价比高

羲朗科技针对自动驾驶客车、AGV、智慧农机、巡检机器人等不同应用场景提供不同产品，售价从数千元到三万多元不等

1

4

建立联合偏微分方程组

结合伪距、伪距率以及惯性器件的微分关系建立联合偏微分方程组，在GNSS有效观测数据时可精确补偿陀螺零偏和比例因子残差

应用案例——车载导航定位解决方案

羲朗科技基于低成本MEMS陀螺仪、加速度计，为车联网提供具有全自主知识产权的导航模块。该模块采用以微惯导为主，GNSS、车辆速度表为辅的组合导航体制，引入卫星导航的RAIM算法，提高卫星导航信息的数据质量，利用GNSS信息对陀螺仪、加速度计今夕在线标定，扣除零偏和比例因子误差对导航精度的影响，省去了出厂标定过程，提高了微惯导对使用环境的适应能力，同时引入车辆速度表信息，以辨别导航模块相对车辆的安装姿态。

羲朗科技 车载导航 定位解决 方案性能 与特征



导航模块精度指标

- 航向精度 $< 2^\circ$
- 可抑制城市峡谷、地库/隧道出入口等复杂地形下的多径干扰
- 支持伪距差分、载波差分及AGPS，常规模式定位精度2m
- 隧道、地库等无GNSS信号区域精度为 $5\% * d$ (d表示行驶里程)

01100
10110
11110

导航算法模块特征

- 成本低、精度高，可提供全息导航数据，包括位置速度、姿态角和加速度
- 实时、在线标定各类传感器误差，自动辨识设备安装方向及姿态角
- 完备的卫星导航RATM算法，提高导航的鲁棒性
- 完备的车辆姿态信息，可实时计算车辆加减速、转弯情况，判断疑似碰撞情况

来源：羲朗科技官网，36氪，头豹研究院编辑整理

©2020 LeadLeo



www.leadleo.com

中国惯性导航行业投资建议概述

中国惯性导航行业发展潜力佳、投资标的的判断标准清晰，产业投资价值高。器件层企业、无人驾驶应用、算法标定及器件设计、制造与封测投资潜力巨大

此页综合前文分析，对中国惯性导航行业的投资价值进行概述，并从全产业链层面、应用层面、实现过程层面三个角度给出具体的投资建议。

中国惯性导航行业投资建议概述

投资价值

中国惯性导航行业发展潜力佳、投资标的的判断标准清晰，因而产业投资价值高：

- 惯性导航下游应用广泛，且各应用均处于蓬勃发展或早期发展阶段，对惯性导航的需求巨大，行业未来10年内都将保持高速发展姿态，行业发展潜力佳；
- 惯性导航技术指标明确，且通过对标国际领先产品指标，投资者可将投资价值量化为相关技术参数，投资标的的判断标准清晰；

投资建议：

全产业链层面

从全产业链角度出发，**器件层企业将是最佳投资标的**。器件层中加速度计和陀螺仪是惯性导航系统的核心装置，对系统精度起决定性作用，是惯性导航产业链中最重要的环节。其次，中国惯性导航器件层尚未形成绝对的行业龙头，该层面企业的竞争小、发展天花板高，其潜在投资收益回报率高。

此报告将从器件企业是否具备成为龙头企业的潜力量化为**工艺水平、良品率和产能**三个指标，其中工艺水平又可继续细分为**零偏稳定性、零偏重复性、非线性度和随机游走系数**四个关键技术指标，并给出详细的参考数值。详情见P20页；

应用层面

从应用层面出发，**无人驾驶将是行业未来的热点**。惯性导航系统是L3及以上自动驾驶等级汽车的核心精准定位装置之一，随着未来中国L3及以上自动驾驶等级汽车渗透率的提升，中国自动驾驶用惯性导航市场可达**千亿级别**，届时中国惯性导航竞争格局将迎来改变，成功抢占先进、在自动驾驶领域提前布局并占据优势的企业将有望“弯道超车”，超越现有惯性导航龙头企业、占据市场领先地位。详情见P25页；

实现过程层面

从实现过程角度出发，**中国惯性导航行业的竞争重点将由算法、标定环节逐渐滚动至惯性器件的设计、制造与封测环节**。提高惯性导航系统精度的方法有从工艺上提高惯性器件的精度和采用标定补偿和算法方式对系统误差进行补偿两种，短期来看，后者的可行性和性价比更高，因此，短期内中国惯性导航行业的竞争将体现在标定补偿和算法上。但随着算法不断成熟，通过算法优化来提升系统性能的空间将逐渐缩小，届时行业的竞争将体现在惯性器件的设计、制造与封测环节方面。

- 在标定补偿和算法层面，应重点关注温度补偿及无迹卡尔曼滤波方法；
- 在器件设计、制造与封测层面，应重点关注封装、测试环节。

详情见P22-24页



专家观点

专家表示中国惯性导航行业未来10年都将保持高速发展态势，行业发展潜力佳，且在器件层、无人驾驶应用、算法标定及器件设计、制造与封测等方面具备投资潜力



专家简历

此专家在惯性导航行业具备多年从业经验，就职于行业TOP 3民营企业，熟悉惯性导航核心技术、制作流程、竞争格局，并具备相关领域市场开拓、产品销售和客户维护的工作经验。

专家观点

行业发展现状如何

中国惯性导航行业下游包括军用和民用两部分，其中军用市场的应用占比约81.8%，是中国惯性导航行业的主流应用。从参与主体角度分析，中国具备惯性传感器研究和制造实力的多集中于军工企业，而民营企业主要参与中游惯导系统的设计和制造。中国惯性导航行业下游市场增长稳定，其中军用需求保持逐年上升态势，民用领域中自动驾驶市场有望在未来1-2年实现L3等级量产，对惯性导航需求巨大。

行业未来发展如何

惯性导航下游应用广泛，且各应用均处于蓬勃发展或早期发展阶段，对惯性导航的需求巨大，行业未来10年内都将保持高速发展姿态，行业发展潜力佳。

行业存在哪些投资机会

中国惯性导航行业发展潜力佳、投资标的判断标准清晰，因而产业投资价值高。整个行业的投资机会主要可分为以下三点：

- 从全产业链角度出发，器件层是惯性导航产业链核心环节，且器件层尚未形成绝对的行业龙头，值得投资；
- 从应用层面出发，随着未来中国L3及以上自动驾驶等级汽车渗透率的提升，中国自动驾驶用惯性导航市场可达千亿级别，提前布局无人驾驶行业的企业将是优质投资标的；
- 从产品实现过程角度出发，中国惯性导航行业的竞争重点将由算法设计、标定环节逐渐滚动至惯性器件的设计、制造与封测环节，投资者在挑选标的时可根据不同阶段的竞争重点做出判断。

方法论

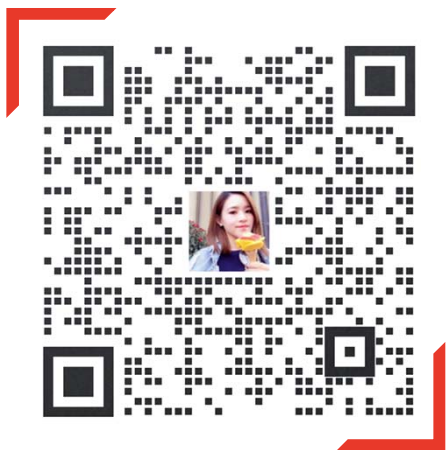
- ◆ 头豹研究院布局中国市场，深入研究10大行业，54个垂直行业的市场变化，已经积累了近50万行业研究样本，完成近10,000多个独立的研究咨询项目。
- ◆ 研究院依托中国活跃的经济环境，从惯性导航、陀螺仪、加速度计、卫星导航、MEMS传感器等领域着手，研究内容覆盖整个行业的发展周期，伴随着行业中企业的创立，发展，扩张，到企业走向上市及上市后的成熟期，研究院的各行业研究员探索和评估行业中多变的产业模式，企业的商业模式和运营模式，以专业的视野解读行业的沿革。
- ◆ 研究院融合传统与新型的研究方法，采用自主研发的算法，结合行业交叉的大数据，以多元化的调研方法，挖掘定量数据背后的逻辑，分析定性内容背后的观点，客观和真实地阐述行业的现状，前瞻性地预测行业未来的发展趋势，在研究院的每一份研究报告中，完整地呈现行业的过去，现在和未来。
- ◆ 研究院密切关注行业发展最新动向，报告内容及数据会随着行业发展、技术革新、竞争格局变化、政策法规颁布、市场调研深入，保持不断更新与优化。
- ◆ 研究院秉承匠心研究，砥砺前行的宗旨，从战略的角度分析行业，从执行的层面阅读行业，为每一个行业的报告阅读者提供值得品鉴的研究报告。

法律声明

- ◆ 本报告著作权归头豹所有，未经书面许可，任何机构或个人不得以任何形式翻版、复刻、发表或引用。若征得头豹同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“头豹研究院”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节或修改。
- ◆ 本报告分析师具有专业研究能力，保证报告数据均来自合法合规渠道，观点产出及数据分析基于分析师对行业的客观理解，本报告不受任何第三方授意或影响。
- ◆ 本报告所涉及的观点或信息仅供参考，不构成任何投资建议。本报告仅在相关法律许可的情况下发放，并仅为提供信息而发放，概不构成任何广告。在法律许可的情况下，头豹可能会为报告中提及的企业提供或争取提供投融资或咨询等相关服务。本报告所指的公司或投资标的的价值、价格及投资收入可升可跌。
- ◆ 本报告的部分信息来源于公开资料，头豹对该等信息的准确性、完整性或可靠性不做任何保证。本文所载的资料、意见及推测仅反映头豹于发布本报告当日的判断，过往报告中的描述不应作为日后的表现依据。在不同时期，头豹可发出与本文所载资料、意见及推测不一致的报告和文章。头豹不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时，头豹对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，读者应当自行关注相应的更新或修改。任何机构或个人应对其利用本报告的数据、分析、研究、部分或者全部内容所进行的一切活动负责并承担该等活动所导致的任何损失或伤害。

读完报告有问题？

快，问头豹！你的智能随身专家



扫码二维码
即刻联系你的智能随身专家

