

惯性导航：自助式导航系统，军民两用市场广阔

惯性导航：惯性仪表系统集成，军民领域应用前景广阔

惯性导航是以惯性仪表为核心的惯性系统集成之一。在惯性技术领域，从技术层次来看，分为惯性仪表与惯性系统两个层级，惯性仪表主要包括测量角运动的陀螺仪和测量线运动的加速度计；惯性系统是以惯性仪表为核心，利用集成技术实现的惯性测量、惯性导航以及稳控系统，其中惯性导航应用领域最为广泛。

下游应用领域包括军用和民用两部分，军用市场基本被国内军工企业占据，民营企业集中在民用市场。军用领域方面，惯导系统在舰艇船舶、航空飞行器、航天飞机、制导武器、陆地车辆、机器人等装备上均有所应用。民用市场包括大地测量、石油钻井、电子交通、汽车安全、消费电子等领域，其中 MEMS 惯性传感器在消费级市场应用领域最为广泛。

陀螺仪和加速度计是惯性导航系统的核心器件

惯性导航系统的核心装置是陀螺仪和加速度计。通常情况下，每套惯性测量装置包含三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，通过对加速度的积分和初始速度、位置的叠加运算，得到物体在空间位置中的运动方向和速度，结合惯性导航系统内的运动轨迹设定，对航向和速度进行修正以实现导航功能。

根据应用场景和精度要求不同，可以将惯性导航所需陀螺仪器件分为战略级、导航级、战术级和商业级（消费级）：1、战略级应用场景集中于航天和航海领域；2、导航级应用场景多为各类导弹武器；3、战术级应用场景包括地面兵装武器和飞行器；4、商业级应用场景为民用。

陀螺仪器件的发展共经历四个阶段，呈现出高精度、小型化、可靠性强的发展趋势。陀螺仪发展的前三个阶段为机电陀螺仪时代；20 世纪 70 年代后，随着光学和微电子技术应用，基于不同测量原理的光学陀螺仪（激光陀螺仪和光纤陀螺仪）和 MEMS 陀螺仪应运而生，同时在机电陀螺仪领域发展出性能更佳的静电陀螺仪。

全球市场格局：美国处于绝对领先地位，中国尚属第三梯队

全球惯性技术开发分为四个层次，目前我国居第三层次，具备部分研发能力。根据美国国防部的统计数据，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：属于第一层次的有美国、英国和法国，完全具备自主研究和开发惯性技术能力；属于第二层次的有俄罗斯、德国、以色列和日本，具备大部分自主研发能力；属于第三层次的有中国、澳大利亚、加拿大、瑞典、乌克兰，具备部分研发能力；属于第四层次的有韩国、印度、巴西、

国防军工

维持

增持

黎韬扬

litaoyang@csc.com.cn

010-85130418

执业证书编号：S1440516090001

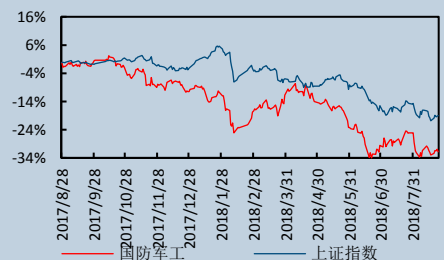
研究助理：刘永旭

liuyongxu@csc.com.cn

010-86451440

发布日期：2018 年 08 月 28 日

市场表现



相关研究报告

朝鲜、瑞士、意大利等，具备较为有限的惯性技术研发能力。

国内产业链格局：军工企业具备核心传感器制造能力，民企参与中游系统集成

惯性导航产业链主要分为器件制造、模块组装和软件设计两个层级。在产业链上游，惯导系统元器件主要包括电子元器件、惯性器件和其他参考信息设备；产业链中游主要产品包括信息采集处理模块、测量单元模块和卫星测姿模块，以及对各模块进行系统集成和软件设计。

国内具备惯性传感器研究和制造实力的多集中在军工企业，民营企业主要参与中游惯导系统设计和制造。目前，具备惯性传感器制造能力的企业主要有中航六一八所、航天三十三所、航天十三所、航天电子、耐威科技等，多为军工企业。具备惯导系统制造能力的企业包括航天三十三所、航天十三所、中航六一八所、航天电子、航天七零四所、耐威科技、西安晨曦、中星测控和星网宇达等，民营企业多集中在中游惯导系统设计和制造上。

下游市场：军用武器装备应用广泛，民用领域场景丰富

惯性导航系统应用于各类武器装备。在军用飞机、精确制导武器、地面装甲车辆、海军舰船等各类武器装备中，惯性导航是不可或缺的导航系统，打破了卫星定位系统受制于天气、地理位置等因素的限制，能够实现全天候、全地形的自动驾驶，满足各类武器装备在复杂战场环境下的作战需求。民用领域应用场景丰富。民用市场对惯性导航系统的需求场景较为丰富，主要集中于石油勘探、移动通信、高速铁路、民用飞机、无人机、消费电子和汽车等领域。

投资分析：军用惯导市场规模超百亿，领域分工产业格局较为集中

军用惯性导航市场规模约为 113 亿元-155 亿元。在航天、航空、舰船和战车等军用领域的惯导市场基本由各大军工企业或院所垄断，采用自上而下的计算方法，我们对各企业或院所的营业收入规模进行估算，预计 2017 年我国军用惯性导航市场整体规模约 155 亿元；同时，采用自下而上的计算方法，根据装备建设情况，我们对惯性导航在军用领域各类应用场景规模进行估算，预计每年军用惯性导航市场整体规模约为 113 亿元。我们认为，目前我国在国防信息化领域投入不断加大，超过军费支出和装备建设投资平均增速，同时我国惯性导航技术仍具备较大发展空间，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。

重点推荐：

军工央企：航天电子；

民参军：星网宇达、晨曦航空。

目录

一、惯性导航：惯性仪表系统集成，军民领域应用前景广阔.....	6
1.1 自助式导航系统，应用场景涉及军民两大市场.....	6
1.2 捷联式惯导是发展主流，组合导航系统提升性能.....	7
二、惯性器件：陀螺仪和加速度计是核心器件	10
2.1 陀螺仪：经历四个时期发展，应用场景划分测量精度要求.....	10
2.2 加速度计：测量物体线性加速度，技术成熟种类较多.....	17
三、世界惯性导航市场	19
3.1 全球市场格局：美国处于绝对领先地位，中国尚属第三梯队.....	19
3.2 激光陀螺仪竞争格局	20
3.3 光纤陀螺仪竞争格局	21
3.4 MEMS 陀螺仪竞争格局.....	23
四、国内惯性导航产业格局及下游应用市场	25
4.1 军用市场：各军种装备广泛应用，每年市场空间超过百亿.....	26
4.2 民用市场：应用场景丰富，需求渗透逐步提升.....	34
五、投资分析和重点公司推荐	41
5.1 投资分析：军用惯导市场规模超百亿，领域分工产业格局较为集中.....	41
5.2 航天电子：惯性导航龙头企业，军民融合潜力巨大.....	44
5.3 星网宇达：惯性技术领先企业，产品覆盖军民领域.....	47
5.3 晨曦航空：深耕军航惯导领域，战略布局光学陀螺惯导产业.....	50

图表目录

图 1：惯性导航工作原理	6
图 2：陀螺仪	6
图 3：加速度计	6
图 4：惯性导航系统应用场景	7
图 5：捷联式惯导系统工作原理	8
图 6：惯性组合导航工作原理	9
图 7：机械陀螺仪基本构架	11
图 8：机械陀螺仪	11
图 9：液浮陀螺仪结构图	11
图 10：液浮陀螺仪	11
图 11：挠性陀螺仪结构图	12
图 12：静电陀螺仪结构图	12
图 13：环形激光陀螺仪	13
图 14：激光陀螺仪原理示意图	13
图 15：环形激光陀螺仪	14
图 16：光纤陀螺仪原理示意图	14

图 17: MEMS 陀螺仪.....	15
图 18: MEMS 陀螺仪的驱动和传感.....	15
图 19: Yole 发展公司预测环形激光陀螺仪仍将占据高性能陀螺仪的主要市场.....	16
图 20: 中美惯性陀螺仪发展情况对比.....	16
图 21: 加速度计原理图.....	17
图 22: 不同精度的加速度计应用领域.....	18
图 23: 2015 年全球惯性市场规模达 46.4 亿美元, 预计 2016-2020 年复合增长率为 13.81%.....	19
图 24: 大部分惯性技术企业和科研机构集中在北美, 其次是欧洲和亚洲.....	20
图 25: 霍尼韦尔公司 HG1700 IMU 及其内部的三个 GG1308 陀螺仪.....	21
图 26: 诺格公司部分光纤陀螺仪惯导产品.....	23
图 27: BAE 公司系列化 MEMS IMU.....	23
图 28: 惯性(组合)导航产业链.....	25
图 29: 美国军用飞机惯导系统演变历史.....	27
图 30: 我国各式在役军用飞机数量.....	28
图 31: 我国仍有大量的二代机.....	28
图 32: 惯性技术是导弹和制导弹药最常采用的制导技术之一.....	28
图 33: “飞腾”系列制导炸弹.....	29
图 34: 2018 年我国国防支出预算约 11070 亿元.....	30
图 35: 2019 年美国导弹预算支出占装备费用比例为 8.7%.....	30
图 36: 我国航天器发射数量和次数.....	31
图 37: 59 式坦克已不能适应新时期战场要求.....	31
图 38: 99A 主战坦克是未来列装主要力量.....	31
图 39: AN/WSN-7A 和 AN/WSN-7B 激光陀螺仪惯性导航系统.....	33
图 40: 民用无人机行业将继续保持高速增长.....	34
图 41: 2025 年中国民用无人机细分领域市场规模展望.....	34
图 42: 2016 年油价开始逐步回升.....	35
图 43: 2017 年石油和天然气固定资产投资完成额触底回升.....	35
图 44: 汽车保有量稳步上升.....	36
图 45: 汽车驾驶人数稳步上升.....	36
图 46: GPS 惯导组合轨检小车.....	38
图 47: 预计 2020 年高铁里程达到 3 万公里.....	38
图 48: 高铁动车组数量稳步上升.....	38
图 49: MEMS 传感器在全球消费电子和汽车领域市场规模.....	40
图 50: 中航工业 618 所部分惯导产品.....	41
图 51: 2012-2017 年公司营收及增速情况.....	44
图 52: 2012-2017 年公司净利及增速情况.....	44
图 53: 近年公司营收情况(分产品).....	44
图 54: 近年公司毛利率情况.....	44
图 55: 2016 年重组后公司持股比例及惯导产品分领域营收.....	45
图 56: 星网宇达营收及增速情况.....	47
图 57: 星网宇达具体产品结构、分类.....	47

图 58: 星网宇达各业务收入情况	48
图 59: 星网宇达各业务毛利率情况	48
图 60: 晨曦航空具体产品结构、分类	50
图 61: 晨曦航空营收和归母净利润情况	50
图 62: 晨曦航空各项业务收入占比	50
图 63: 晨曦航空挠性惯导占比持续下降	51
表 1: 惯性导航和卫星导航、组合导航对比.....	7
表 2: 不同类型惯导系统发展前景	8
表 3: 陀螺仪发展历史	10
表 4: 不同领域对惯性陀螺仪的精度需求	10
表 5: 各种机电陀螺仪支撑系统和目前国内外应用情况.....	12
表 6: 激光陀螺仪优点	13
表 7: 光纤陀螺仪与其他陀螺仪比较	14
表 8: 不同精度的光纤陀螺仪的应用领域	15
表 9: 两种不同应用领域对加速度计性能要求.....	17
表 10: 激光陀螺仪主要生产厂家和典型产品	20
表 11: 光纤陀螺仪主要生产厂家和典型产品	21
表 12: 当前不同机构最高性能的光纤陀螺仪参数.....	22
表 13: MEMS 陀螺仪主要生产厂家和典型产品.....	23
表 14: 惯性导航产品市场的主要竞争者	26
表 15: 诺格公司 RLG 和 FOG 惯性导航系统对比	27
表 16: 制导控制系统一般占导弹成本的四成左右.....	29
表 17: 外媒报道的中、美、俄三国陆军的主要装备数量.....	32
表 18: 2010 年之前我国舰船用惯导发展情况	33
表 19: 驾考系统市场空间估算	36
表 20: 星展测控的“动中通”和“动中看”产品.....	36
表 21: 商飞、波音预计 2017-2036 年我国喷气式客机和涡扇支线客机市场	39
表 22: 707 所营收估算	42
表 23: 导控所营收估算	42
表 24: 我国主要民用惯性导航企业收入和技术情况.....	42
表 25: 我国军用惯性导航企业收入规模推测	43
表 26: 惯性导航相关子公司历年业绩	45
表 27: 航天电子主业盈利预测	46
表 28: 截至 2017 年底公司募投项目进展情况	48
表 29: 星网宇达盈利预测表	49
表 30: 截至 2018 年 6 月公司募投项目进展情况	51
表 31: 晨曦航空盈利预测表	51

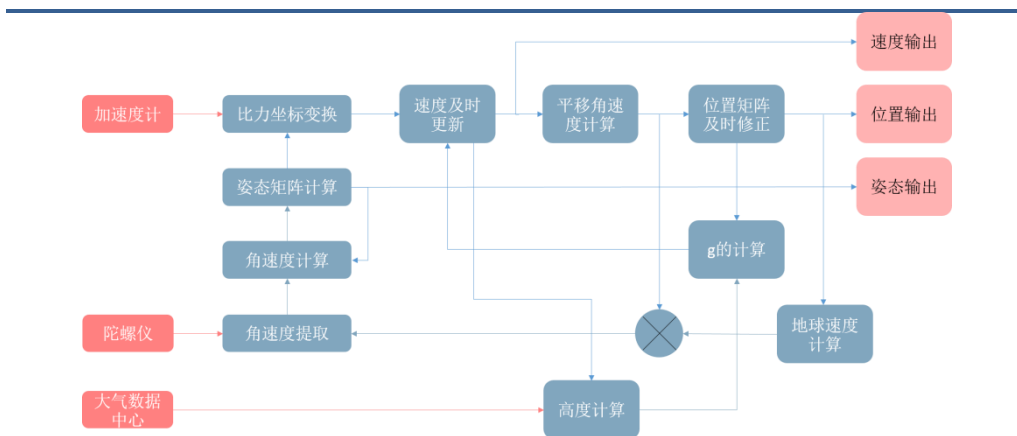
一、惯性导航：惯性仪表系统集成，军民领域应用前景广阔

1.1 自助式导航系统，应用场景涉及军民两大市场

惯性导航是以惯性仪表为核心的惯性系统集成之一。在惯性技术领域，从技术层次来看，分为惯性仪表与惯性系统两个层级，惯性仪表主要包括测量角运动的陀螺仪和测量线运动的加速度计；惯性系统是以惯性仪表为核心，利用集成技术实现的惯性测量、惯性导航以及稳控系统，其中惯性导航应用领域最为广泛。

惯性导航是一种自助式的导航设备。其基本工作原理是利用陀螺仪和加速度计测量载体在惯性参考系下的角速度和加速度，并对时间进行积分、运算得到速度和相对位置，且把它变换到导航坐标系中，这样结合最初的位置信息，就可以得到载体现在所处的位置。

图 1：惯性导航工作原理



资料来源：耐威科技招股说明书，中信建投证券研究发展部

陀螺仪和加速度计是惯性导航系统中的核心器件。传统意义的陀螺仪是指服从牛顿力学的机电陀螺仪，用于测量物体运动的角速度，而随着激光技术和微电子技术的发展，光学陀螺仪和 MEMS 陀螺仪等建立在全新测量原理上的陀螺仪蓬勃发展；加速度计是用来测量运载体线运动信息的器件，和陀螺仪共同构成惯导系统的核心器件，其精度高低和性能优劣基本上决定了惯导系统的精度和性能。

图 2：陀螺仪



资料来源：百度，中信建投证券研究发展部

图 3：加速度计



资料来源：百度，中信建投证券研究发展部

惯性导航具有隐蔽性高、覆盖范围广、短期精度高等优点。相对于卫星导航系统需要依靠卫星完成导航工

作，惯性导航依靠自身搭载的惯性器件完成导航工作，不依靠外界信息同时也不向外部辐射能量，因此具备较高的隐蔽性；惯性导航系统可以全天候工作于高空、地表、水下等各种环境，导航覆盖范围较广；惯性导航系统可以依靠惯性器件输出角（加）速度、线（加）速度、航向和姿态等数据，与卫星导航系统相比数据提供更丰富；同时，惯性导航系统可以进行实时、连续工作，数据更新频率快、短期精度高。

表 1：惯性导航和卫星导航、组合导航对比

比较项目	惯性导航	卫星导航	组合导航
对卫星信号的依赖性	不依赖卫星信号	依赖于卫星信号	无卫星信号时惯性导航系统仍能正常工作
工作时的隐蔽性	隐蔽性好，不受外界信息干扰	易受外界干扰	使用卫星导航时易受外界干扰
导航定位误差	随运动载体运行时间误差不断积累	误差与运动载体运行时间无关	惯性导航系统的误差可由卫星导航系统修正
能否提供载体的姿态、航向信息	可提供载体的姿态航向信息	单个终端无法提供载体姿态信息	能提供载体的姿态信息
产品经济成本	价格昂贵	价格较低	价格较高

资料来源：耐威科技招股说明书，中信建投证券研究发展部

下游应用领域包括军用和民用两部分，军用市场基本被国内军工企业占据，民营企业集中在民用市场。军用领域方面，惯导系统在舰艇船舶、航空飞行器、航天飞机、制导武器、陆地车辆、机器人等装备上均有所应用。我国军工企业具备惯性技术全产业链的生产能力，大部分的军用惯性市场被军工企业占据。民用市场包括大地测量、石油钻井、电子交通、汽车安全、消费电子等领域，其中 MEMS 惯性传感器在消费级市场应用领域最为广泛，且 MEMS 传感器的生产具有规模效应，规模越大，成本越低，竞争力越强。

图 4：惯性导航系统应用场景



资料来源：中信建投证券研究发展部

1.2 捷联式惯导是发展主流，组合导航系统提升性能

根据构建导航坐标系方法的不同，惯导系统分为平台式惯导和捷联式惯导系统。平台式惯导是采用物理平

台模拟导航坐标系统，即将加速度计安装在稳定平台上，稳定平台由陀螺仪控制，使平台始终跟踪要求的导航坐标系；捷联式惯导是采用数学算法确定出导航坐标系，即将加速度计和陀螺仪直接安装在运载体上，陀螺仪输出用来计算运载体相对导航坐标系的姿态变化，加速度计输出经姿态变化至导航坐标系内。

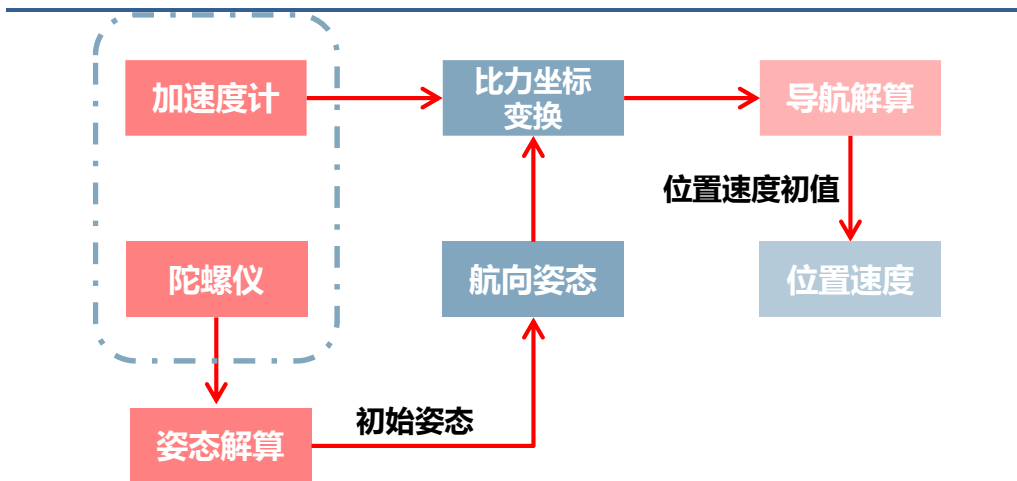
表 2：不同类型惯导系统发展前景

类型	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
平台式惯导系统	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，系统内部有三个到四个实体框架	抗振、抗冲击力有限	局部被淘汰，市场萎缩
捷联式惯导系统	高中低导航级、稳定控制	小于 1 海里/小时	0.05~0.1°	电子数字化系统，系统内部没有活动部件	抗振、抗冲击力强	主流应用形式

资料来源：晨曦航空招股说明书，中信建投证券研究发展部

捷联式惯导系统在体积、成本和可靠性方面具有优势，是未来发展的主流形式。在惯性器件性能要求和计算量等方面，捷联式惯导系统要求更为苛刻，但同时减少对于复杂机电平台的要求。捷联式系统的抵抗振动和冲击能力比较强，在体积和成本方面具有优势，同时由于激光陀螺仪、光纤陀螺仪等惯性器件的出现以及计算机技术的快速发展，捷联式惯导在性能优势也逐步显现。因此从上世纪 80 年代开始，平台式惯导的开发工作已经基本终止，捷联式惯导将是未来惯导系统发展的主流形式。

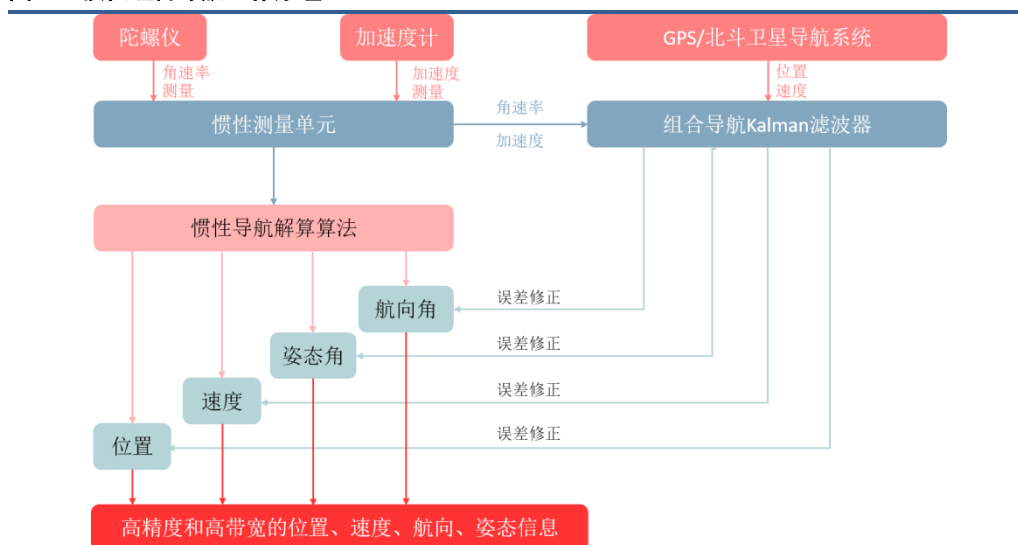
图 5：捷联式惯导系统工作原理



资料来源：中信建投证券研究发展部

在实际应用中，通常采用惯性+卫星的组合导航方式提高导航系统性能。由于惯性导航的反馈信息是通过惯性器件测量与算法产生，相对定位误差随导航时间而增加，因此长期导航精度较差；卫星导航采用绝对定位方式，定位精度取决于卫星信号精度，不因时间积累而增加误差。在实际应用领域，通常采用组合导航方式，即惯性+卫星组合导航来进行实时、高精度定位导航，一方面卫星导航受限于位置和时间，可能存在丢失信号的风险，而惯性导航短期精度高且不受范围的限制，可以适时地对卫星导航信号进行补充；另一方面，惯性导航累计误差高，而卫星导航可以实时更新位置数据，对惯性导航的数据进行修正，从而弥补惯性导航长期精度不高的缺点。

图 6：惯性组合导航工作原理



资料来源：星网宇达招股说明书，中信建投证券研究发展部

二、惯性器件：陀螺仪和加速度计是核心器件

2.1 陀螺仪：经历四个时期发展，应用场景划分测量精度要求

惯性导航系统的核心装置是陀螺仪和加速度计。通常情况下，每套惯性测量装置包含三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，通过对加速度的积分和初始速度、位置的叠加运算，得到物体在空间位置中的运动方向和速度，结合惯性导航系统内的运动轨迹设定，对航向和速度进行修正以实现导航功能。

陀螺仪器件的发展共经历四个阶段，呈现出高精度、小型化、可靠性强的发展趋势。陀螺仪发展的前三个阶段为机电陀螺仪时代，由最初的轴承陀螺仪、液浮和气浮陀螺仪发展至挠性陀螺仪，陀螺仪的精度不断提升；20世纪70年代后，随着光学和微电子技术在陀螺仪领域的应用，基于不同测量原理的光学陀螺仪（激光陀螺仪和光纤陀螺仪）和MEMS陀螺仪应运而生，同时在机电陀螺仪领域发展出性能更佳的静电陀螺仪。未来基于现代量子力学技术的核磁共振陀螺仪、原子干涉陀螺仪，将向更高精度、更可靠、体积更小的方向发展。

表 3：陀螺仪发展历史

时间	原理	陀螺仪
第一代 20世纪40年代以前	牛顿经典力学原理	滚珠轴承支承陀螺仪马达和框架的陀螺仪
第二代 20世纪40年代末到50年代初	牛顿经典力学原理	液浮和气浮陀螺仪
第三代 20世纪60年代以后	牛顿经典力学原理	动力挠性支承陀螺仪（主要为动力调谐陀螺仪）
第四代 20世纪70年代以后	萨格奈克（光学陀螺仪）、哥氏振动效应（MEMS陀螺仪）、牛顿经典力学原理（静电陀螺仪）	静电陀螺仪、激光陀螺仪、光纤陀螺仪和MEMS陀螺仪
未来	量子力学技术	核磁共振陀螺仪、原子干涉陀螺仪

资料来源：《陀螺仪的发展历程以及现状》，《2016年国外惯性技术发展及回顾》，中信建投证券研究发展部

根据应用场景和精度要求不同，可以惯性导航所需陀螺仪器件分为战略级、导航级、战术级和商业级（消费级）。1、战略级应用场景集中于航天和航海领域，包括战略导弹核潜艇、航空母舰或者洲际导弹等，要求标度因数定性 $<1\text{ppm}$ ，多使用环形激光陀螺仪和机电陀螺仪；2、导航级应用场景多为各类导弹武器，要求标度因数定性 $<100\text{ppm}$ ，多使用环形激光陀螺仪、光纤陀螺仪和动力调谐陀螺仪；3、战术级应用场景包括地面兵装武器和飞行器，如各类装甲车和战斗机，要求标度因数定性 $<1000\text{ppm}$ ，多使用环形激光陀螺仪、光纤陀螺仪和动力调谐陀螺仪；4、商业级应用场景为民用，常用领域包括汽车导航、消费电子产品等，要求标度因数定性 $>1000\text{ppm}$ ，多使用MEMS陀螺仪和光纤陀螺仪。

表 4：不同领域对惯性陀螺仪的精度需求

性能指标	战略级	导航级	战术级	商业级
标度因数定性/ppm	<1	$1\sim 100$	$100\sim 1000$	>1000
漂移稳定性/ $^{\circ}\cdot\text{h}^{-1}$	<0.005	$0.01\sim 0.15$	$0.15\sim 15$	>15
随机游走/ $^{\circ}\cdot\text{h}^{-1}$	<0.01	$0.01\sim 0.05$	$0.05\sim 0.5$	>0.5
量程/ $^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$	>500	>500	>400	$50\sim 1000$

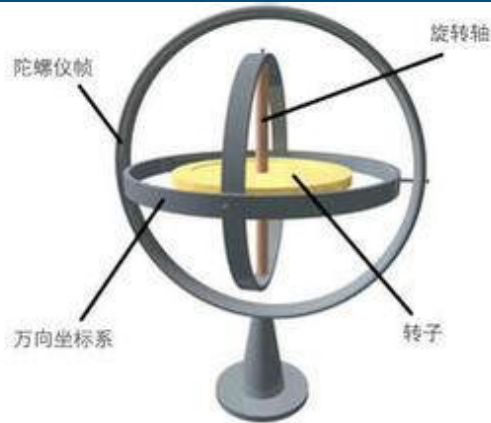
成本/美元	>20000	10000	1000	500
陀螺仪技术	机电陀螺仪、环形激光陀螺仪和光纤陀螺仪	环形激光陀螺仪，光纤陀螺仪，动力调谐陀螺仪	环形激光陀螺仪，光纤陀螺仪，动力调谐陀螺仪	MEMS，光纤陀螺仪

资料来源：《惯性导航技术的新进展及发展趋势》，《基于 MEMS 陀螺仪的稳定平台关键技术研究》，中信建投证券研究发展部

2.1.1 机电陀螺仪

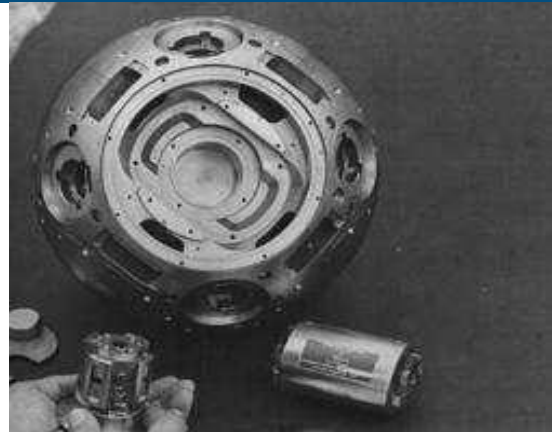
机电陀螺仪主要包括气浮、液浮陀螺仪、挠性陀螺仪和静电陀螺仪。机电陀螺仪是利用高速转子的转轴稳定性来测量载体正确方位的角传感器，支撑系统的有害力矩是降低测量精度的主要因素，因此高速转子的支撑系统是机电陀螺仪的主要技术发展领域，机电陀螺仪类别划分的主要依据则是支撑系统的工作方式。

图 7：机械陀螺仪基本构架



资料来源：百度，中信建投证券研究发展部

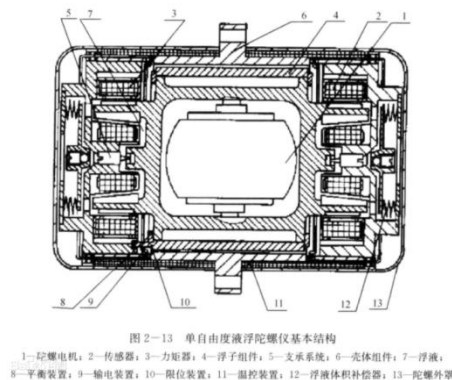
图 8：机械陀螺仪



资料来源：百度，中信建投证券研究发展部

目前，国外在产业应用中的液浮、气浮和挠性等机电陀螺仪已基本被光学陀螺仪所替代，国内有部分领域仍在应用。其中，气浮陀螺仪是利用气体的静压力或动压力使整个陀螺仪组合件悬浮起来的陀螺仪，液浮陀螺仪则是利用液体的静浮力将陀螺仪组件悬浮起来的陀螺仪，两者制造工艺都较为复杂，成本较高且寿命较短，因此国外在 20 世纪 80 年代就被激光陀螺仪和光纤陀螺仪所取代。

图 9：液浮陀螺仪结构图



资料来源：百度，中信建投证券研究发展部

图 10：液浮陀螺仪

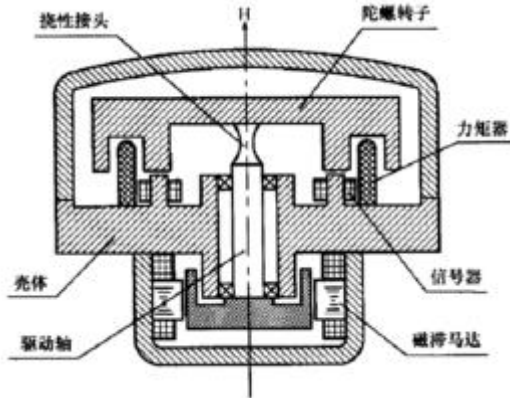


资料来源：百度，中信建投证券研究发展部

动力调谐陀螺仪是挠性陀螺仪最主要的应用形式，通过驱动轴与挠性接头和陀螺仪转子相连，挠性接头的

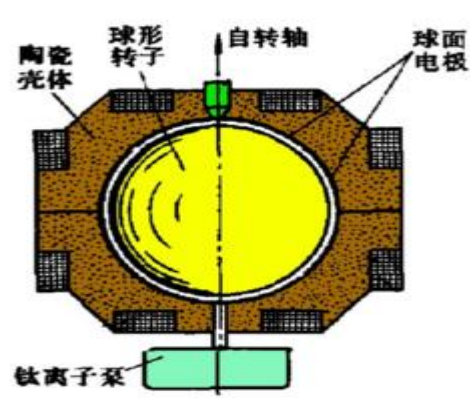
弹簧刚度和平衡环运动所产生的动力弹簧刚度相互抵消，从而消除挠性支撑对陀螺仪转子的弹性约束。相比于上述两种陀螺仪，动力调谐陀螺仪结构简单、精度中等、成本较低。但相对于成本更低、精度更高的光学陀螺仪，动力调谐陀螺仪在国外上个世纪已经基本被取代，在我国目前也处于被逐步替代的过程。目前，我国仅在部分精度需求较高的应用领域仍在使用上述几种机电陀螺仪。

图 11：挠性陀螺仪结构图



资料来源：百度，中信建投证券研究发展部

图 12：静电陀螺仪结构图



资料来源：百度，中信建投证券研究发展部

静电陀螺仪精度最高，常被用在弹道导弹核潜艇和航空母舰上。静电陀螺仪是利用球形转子与电容极板之间的强电场产生的静电吸力将空心或实心球形转子悬浮起来的陀螺仪。陀螺仪内部被抽成高真空，最高精度可达 1×10^{-70} /h，通常被用在弹道导弹、核潜艇和航空母舰上。

表 5：各种机电陀螺仪支撑系统和目前国内外应用情况

机电陀螺仪种类	支撑系统	目前情况
气浮陀螺仪	气体的静压力或动压力	国外已基本被淘汰，国内少部分高精度领域需求
液浮陀螺仪	液体的静浮力	国外已基本被淘汰，国内少部分高精度领域需求
动力调谐陀螺仪	挠性接头	国外已基本被淘汰，国内正处于被替代过程中
静电陀螺仪	强电场产生的静电吸力	弹道导弹核潜艇和航空母舰等高精度领域

资料来源：《舰用惯性技术的现状与发展》，中信建投证券研究发展部

2.1.2 光学陀螺仪

激光陀螺仪

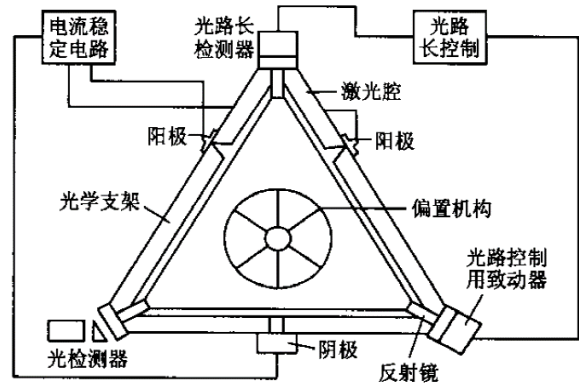
环形激光陀螺仪（RLG）主要利用光程差的原理——Sagnac 效应来测量角速度。两束光波沿着同一个圆周路径反向而行，当光源与圆周均发生旋转时，两束光的行进路程不同，产生了相位差，通过测量该相位差可以测出激光陀螺仪的角速度。与传统的液浮、气浮和挠性等机电陀螺仪相比，环形激光陀螺仪在实现同样的精度和性能要求下，可以实现更低的成本和更高的稳定性。

图 13：环形激光陀螺仪



资料来源：《对sagnac效应的一种解释》，中信建投证券研究发展部

图 14：激光陀螺仪原理示意图



资料来源：《激光陀螺仪的分析及发展方向》，中信建投证券研究发展部

表 6：激光陀螺仪优点

优点	
性能稳定，抗干扰能力强	可承受很高的加速度和强烈的振动冲击，在恶劣的环境条件下仍能稳定工作。即使运行几千小时以后，激光陀螺仪的精度（特别是偏置稳定性）仍能非常稳定。
精度高	国外现已公布的零漂值为 $5 \times 10^{-4} / \text{h}$ ，中高精度正式产品的零漂值在 $0.001^\circ / \text{h} \sim 0.01^\circ / \text{h}$ 之间。
动态范围宽	可测转速的动态范围高于 10^8 ，远大于普通机电陀螺仪。
寿命长，可靠性好	国外产品的寿命已达 $1 \times 10^5 \text{h}$ 以上，平均无故障时间（MTBF）已高于 $1 \times 10^4 \text{h}$ ，远大于机电陀螺仪。
启动迅速	没有马达的启动和稳定问题，所以激光陀螺仪启动后立即开始运转。激光陀螺仪不使用加热器，启动暂态误差特别低，这样系统在启动后很短的时间内（通常只需 $1 \text{min} \sim 2 \text{min}$ ）就可正常工作。
不需恒温	激光陀螺仪的腔长控制系统能确保它在环境温度大范围变化的状态下正常运转，这是其它种类的陀螺仪无法比拟的。
具有高度稳定的标度因数	激光陀螺仪标度因数稳定度一般为 10^{-6} 数量级，最高可达 0.5×10^{-6} 。
动态范围造成的误差极小	因为是光学元件，不存在非等惯性、旋转马达的动态性能、输出轴的旋转、框架的预负载、质量不平衡及非等弹性等常规动量转子速率陀螺仪中常见的误差源（这些误差源对环境振动和加速度均较敏感），因此激光陀螺仪的性能基本不受动态环境的影响。
对准稳定性极高	激光陀螺仪的输入轴取决于环形激光谐振腔的闭合光路，该光路为固态几何形状，由膨胀系数极低的玻璃构成，从而输入轴的几何位置固定不变，可提供极高的输入轴对准稳定性。常规转子陀螺仪由于机械结构不对中而产生的传感器零位偏差、动态施矩回路的倾斜效应等限制了对准稳定性。
使用灵活，应用范围广	激光陀螺仪既是速率陀螺仪，又是位置陀螺仪。
输入信号数字化	与计算机结合方便。
无高速转动部件	可直接附着于运动载体上。
成本低	对于同样的精度和性能要求，激光陀螺仪的成本比机电陀螺仪低得多。

资料来源：《激光陀螺仪的分析及发展方向》，中信建投证券研究发展部

激光陀螺仪精度高，在军事装备中应用广泛。激光陀螺仪在战略级、导航级和战术级惯性导航系统中均有

应用，主要满足航空航天、海军舰船等军事装备的较高精度需求，未来将主要向更高精度、更高可靠性的高要求方向发展以为航天、舰船装备提供高精度的惯性元器件，以及向体积更小、价格更便宜、结构更牢靠的超小型战术应用发展，为战术导弹、中远程火箭、火炮瞄准线稳定等提供更坚固、廉价的传感器。

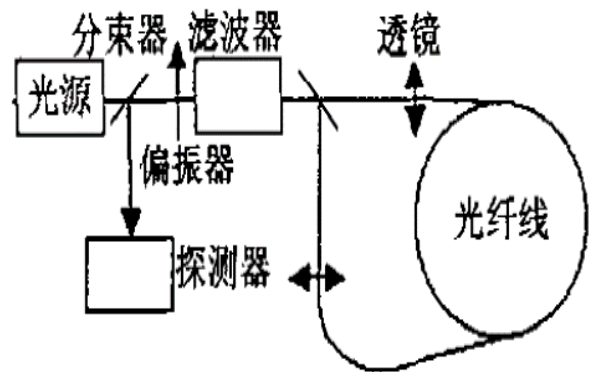
光纤陀螺仪

光纤陀螺仪使用与环形激光陀螺仪相同的基本原理——Sagnac 效应。使用光纤作为激光回路，由于光纤可以进行绕制，因此光纤陀螺仪中激光回路的长度比环形激光陀螺仪大大增加，以实现提高陀螺仪灵敏度的目的。

图 15：环形激光陀螺仪



图 16：光纤陀螺仪原理示意图



资料来源：《对 sagnac 效应的一种解释》，中信建投证券研究发展部

资料来源：《光纤陀螺仪的发展现状》，中信建投证券研究发展部

光纤陀螺仪具有高耐性和高性价比的优势，单价在百万以下。与传统的机电陀螺仪相比，光纤陀螺仪不使用机械转动部件，灵敏度更高；与环形激光陀螺仪相比，不需要光学腔的精密加工、机械偏置和高压，制造工艺更为简单，使用寿命更长；与 MEMS 陀螺仪相比，在技术指标和环境适应性上具有优势。

表 7：光纤陀螺仪与其他陀螺仪比较

	液浮陀螺仪	动力调谐陀螺仪	静电陀螺仪	环形激光陀螺仪	光纤陀螺仪
价格	高	低	高	低	低
可靠性	普通	普通	普通	高	高
耐环境性	良	普通	良	优	优
动态误差	小	大	小	小	小
对数字系统适应性	良	良	良	优	优
启动	慢	普通	慢	快	快
精加工要求	高	普通	高	高	无
超精组装室要求	高	普通	高	高	无

资料来源：《光纤陀螺仪的应用及发展》，中信建投证券研究发展部

根据光纤陀螺仪的精度高低，其应用范围涵盖从战略级武器装备到商业级民用领域。中高精度的光纤陀螺仪主要应用在航空航天等高端武器装备领域，而低成本、低精度光纤陀螺仪主要应用在石油勘查、农用飞机姿态控制、机器人等许多精度要求不高的民用领域。随着先进微电子与光电子技术的发展，如光电集成和光纤陀螺仪专用光纤的发展，加速了光纤陀螺仪的小型化和低成本化。光纤陀螺仪目前是惯性技术研究领域的主流陀

螺仪，在 2005 年国外中近程导弹、中程导弹、卫星等武器装备领域就已经占据了一半以上的用量。目前，国内光纤陀螺仪的研制水平已接近惯性导航系统的中、低精度要求。

表 8：不同精度的光纤陀螺仪的应用领域

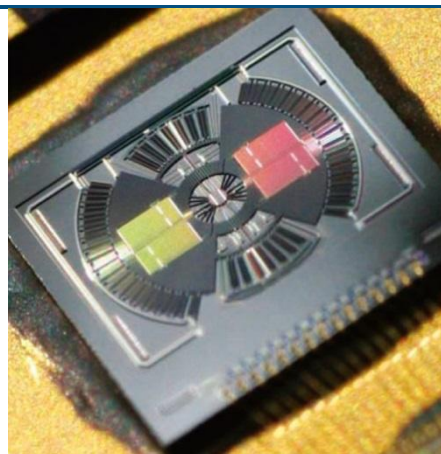
零偏稳定性 (° / h)	应用领域
>10	陆地交通工具导航，机器人姿态控制，照相机或者天线稳定装置
1~10	无人驾驶飞机，战术导弹制导
0.1—1.0	导航参考系统 (SHRS)，卫星姿态测量
0.01—0.1	火炮捷联惯导，航空器导航，地球测量，卫星定位
0.001—0.01	航空航天惯导系统，航海导航
<0.001	精密航天器应用，精密瞄准与跟踪

资料来源：《光纤陀螺仪的应用及发展》，中信建投证券研究发展部

2.1.3 MEMS 陀螺仪

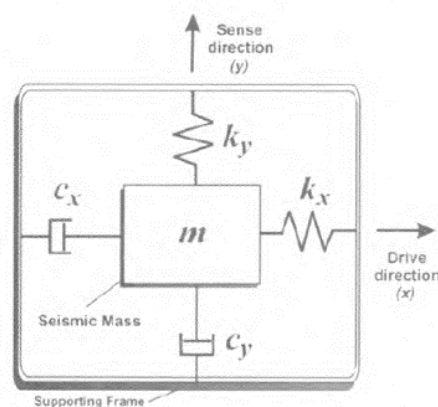
MEMS 陀螺仪的基本组成是由加速度计和抖动装置组成，抖动装置又可分为角振动装置和线振动装置。因此，可以将 MEMS 陀螺仪看作是一种振动式角速度传感器，其原理是利用科里奥利力进行能量的传递，将谐振器的一种振动模式激励到另一种振动模式，后一种振动模式的振幅与输入角速度的大小成正比，通过测量振幅实现对角速度的测量。

图 17：MEMS 陀螺仪



资料来源：《微电子机械 MEMS 陀螺仪的原理和测试方法研究》，中信建投证券研究发展部

图 18：MEMS 陀螺仪的驱动和传感



资料来源：《微电子机械 MEMS 陀螺仪的原理和测试方法研究》，中信建投证券研究发展部

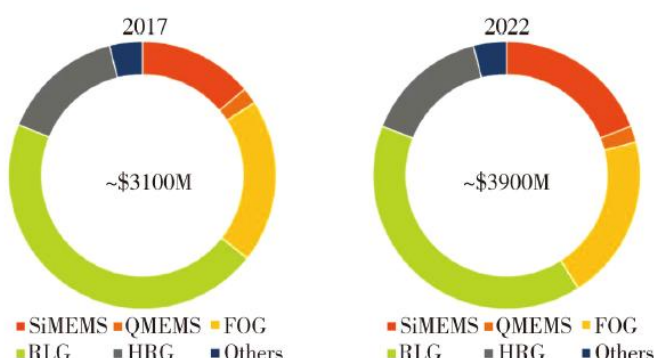
随着 MEMS 陀螺仪精度的不断提高，其应用领域也越来越广泛。在消费类电子方面，低精度 MEMS 陀螺仪应用领域不断拓展，主要用在手机、游戏机、音乐播放器等手持设备上，使得人机互动达到一个新的高度；中级 MEMS 陀螺仪主要用于汽车电子稳定系统、GPS 辅助导航系统，精密农业、工业自动化、大型医疗设备等；在军工领域，高精度的 MEMS 陀螺仪有替代低精度光纤陀螺仪的趋势，能够满足飞机、导弹的控制应用、战术导弹惯性制导、惯性 GPS 导航等要求。

MEMS 陀螺仪惯导系统具有体积小、质量轻、集成化程度高、功耗低、高可靠性等优点，单价在十万元以下。相比光学陀螺仪和机电陀螺仪，其精度最低，成本也最低，根据星网宇达招股说明书，MEMS 惯导系统单

价约为 2~5 万量级，而 MEMS 陀螺仪的封装成本很高，约占整个成本的 50%~90%。

从美国惯导陀螺仪的发展情况来看，未来各类陀螺仪将凭借自身优势重点应用于不同领域。在战略级市场，由于光纤陀螺仪受温度、磁场变化导致难以保持高精度，因此环形激光陀螺仪将依然占据市场主要地位；在导航级领域，激光和光纤陀螺仪将共享市场空间；在战术级领域，尤其是在高端应用场景，光纤陀螺仪将依然扮演重要角色；而在商业级领域，MEMS 陀螺仪将持续保持统治地位。

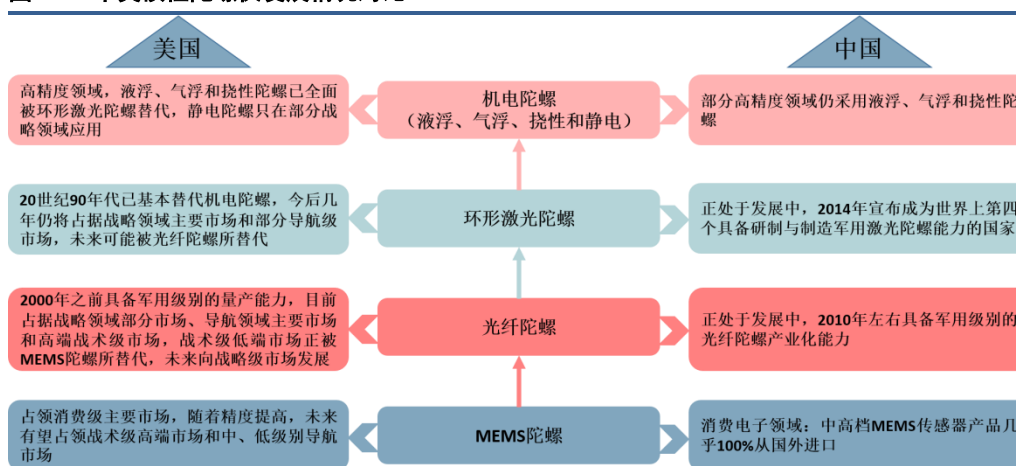
图 19：Yole 发展公司预测环形激光陀螺仪仍将占据高性能陀螺仪的主要市场



资料来源：《2017 年国外惯性技术发展回顾》，中信建投证券研究发展部

我国将复制美国惯性技术发展之路，激光陀螺仪、光纤陀螺仪、MEMS 陀螺仪均处于产业发展前期，气浮、液浮和挠性等前代机电陀螺仪依然占据主流地位。目前，我国已具备研制生产高、中、低精度不同惯性仪表及系统的能力和条件，可生产的陀螺仪包括气浮、液浮、挠性、静电到激光、光纤、MEMS 以及原子陀螺仪。但是，与国外目前主流应用陀螺仪——包括光学陀螺仪（激光、光纤）和 MEMS 陀螺仪相比，在精度、可靠性等指标仍有一定差距。目前，气浮、液浮和挠性陀螺仪在我国高精度领域仍在应用，但随着我国光学陀螺仪技术的进步，我国将复制美国惯性技术发展之路。

图 20：中美惯性陀螺仪发展情况对比

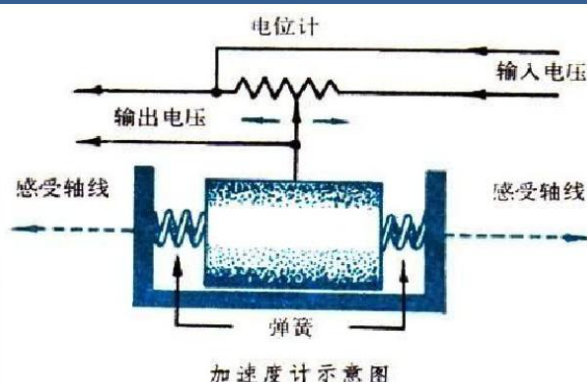


资料来源：中信建投证券研究发展部

2.2 加速度计：测量物体线性加速度，技术成熟种类较多

加速度计是用来测量运载体线加速度的惯性器件，可以感知任意方向上的加速度，从而计算运载体的速度和位置。常见加速度计的构件一般包括外壳、参考质量，敏感元件和信号输出器等。当敏感质量与壳体产生相对运动时，弹簧发生变形，当弹簧的弹力与检测质量加速运动时产生的惯性力相平衡时，这时弹簧的变形便反映了被测加速度的大小。

图 21：加速度计原理图



资料来源：百度百科，中信建投证券研究发展部

加速度计种类较多：既可以按检测质量的位移将其分为线性加速度计(检测质量作线位移)和摆式加速度计(检测质量绕支承轴转动)，也可以按支撑方式将其分为宝石支承、挠性支承、气浮、液浮、磁悬浮和静电悬浮等。通常综合几种不同分类法的特点来命名一种加速度计，目前比较成熟的加速度计包括液浮摆式加速度计、挠性摆式加速度计、石英振梁加速度计和 MEMS 加速度计等。

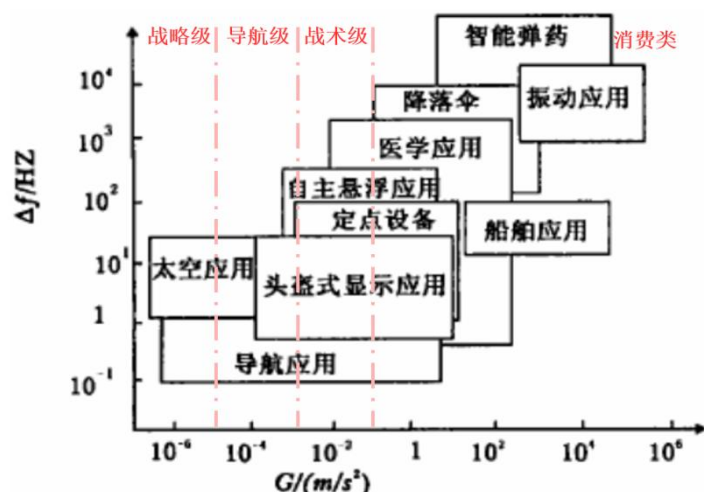
加速度计应用领域十分广泛。生活中常见的应用如安装机械硬盘的笔记本，可以通过加速度计测量跌落前的冲击，并提前停止笔记本电脑磁头的工作以防止碰撞损坏。同样在汽车的安全气囊系统中也安装加速度计，通过加速度计可以侦测碰撞发生时车辆突然的减速度，从而在正确的时间开启气囊。

表 9：两种不同应用领域对加速度计性能要求

参数	汽车	导航
测量范围	±50g (安全气囊)	±1g
	±2g (运动稳定系统)	
频率范围	DC-400Hz	DC-100Hz
分辨率	<100mg (安全气囊)	<4 μg
	<10mg (运动稳定系统)	
离轴敏感度	<5%	<0.1%
非线性	<2%	<0.1%
温度敏感度	<900×10 ⁻⁶ /°C	±50×10 ⁻⁶ /°C

资料来源：《微加速度传感器的研究现状及发展趋势》，中信建投证券研究发展部

图 22：不同精度的加速度计应用领域



资料来源：《微加速度传感器的研究现状及发展趋势》，中信建投证券研究发展部

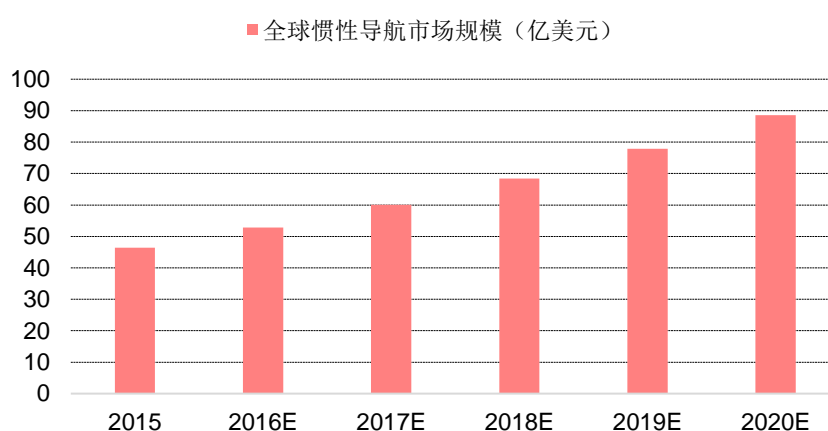
液浮摆式加速度计、挠性加速度计技术已经非常成熟，部分领域仍在应用，石英振梁加速度计在高精度领域应用广泛，MEMS 加速度计在中低精度领域发展迅速。从加速度计的发展情况来看，早期有摆式积分陀螺仪加速度计和宝石轴承摆式加速度计，六十年代中期开始发展起来液浮摆式加速度计、挠性加速度计、电磁加速度计等，九十年代后期逐渐发展成熟的振梁加速度计和静电加速度计。目前，液浮摆式加速度计、挠性加速度计技术已经非常成熟，部分领域仍在应用，振梁加速度计则在高精度领域具有一席之地，MEMS 加速度计随着新材料和新检测机理的不断出现，高精度、智能化的 MEMS 加速度计未来应用将更为广泛。其中，MEMS 与光学技术的结合——MOEMS 将成为惯性传感器的研究热点。

三、世界惯性导航市场

3.1 全球市场格局：美国处于绝对领先地位，中国尚属第三梯队

全球惯性导航市场规模预计 2020 年将达到 88.7 亿美元，2016-2020 年复合增长率为 13.81%。根据 MarketsandMarkets 在 2016 年 1 月发布的预测报告，受益于飞机数量的增加、对导航精度的要求提高以及部件的微型化和低成本等，2015-2020 年全球惯性导航市场将以复合年增长率(CAGR)13.81%的速度增长，由 2015 年的 46.4 亿美元增长到 2020 年的 88.7 亿美元。

图 23：2015 年全球惯性市场规模达 46.4 亿美元，预计 2016-2020 年复合增长率为 13.81%



资料来源：MarketsandMarkets，中信建投证券研究发展部

全球惯性技术开发分为四个层次，目前我国居第三层次，具备部分研发能力。根据美国国防部的统计数据，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：属于第一层次的有美国、英国和法国，完全具备自主研究和开发惯性技术能力；属于第二层次的有俄罗斯、德国、以色列和日本，具备大部分自主研发能力；属于第三层次的有中国、澳大利亚、加拿大、瑞典、乌克兰，具备部分研发能力；属于第四层次的有韩国、印度、巴西、朝鲜、瑞士、意大利等，具备较为有限的惯性技术研发能力。

美国的霍尼韦尔、诺格和法国的赛峰为全球惯性技术领域顶尖公司。目前，美国主要的惯性导航技术公司包括：霍尼韦尔、诺格公司、大西洋惯性系统、亚诺德半导体(ADI)和吉尔福特等；法国主要的惯性导航技术公司包括赛峰、iXblue、泰雷兹集团等。其他国家主要的惯性技术公司包括：英国 BAE 系统公司；德国博世公司；俄罗斯物理光学、陀螺仪光学、拉明斯克仪表厂和 Optolink；日本航空电子工业、三菱精密；挪威 Sensoror 等。

图 24：大部分惯性技术企业和科研机构集中在北美，其次是欧洲和亚洲



资料来源：《2017 年国外惯性技术发展与回顾》，中信建投证券研究发展部

3.2 激光陀螺仪竞争格局

在激光陀螺仪领域，仅美国、法国、俄罗斯、德国及中国等少数国家可以进行研制量产。目前，在激光陀螺仪领域的相关企业有美国 Draper 实验室、霍尼韦尔公司、诺格公司、吉尔福特公司等，法国萨基姆公司（赛峰集团子公司）、Sextant 公司等，日本的宇宙开发事业团、国家宇航实验室、航空电子工业有限公司(JAE)，俄罗斯的 Polyus 研究所、电子光学公司等。在专利申请及发文数量方面，美国、日本、德国、欧专局、法国等国家/机构的激光陀螺仪领域研究发文数量占总数量的近 75%。

表 10：激光陀螺仪主要生产厂家和典型产品

公司	典型产品
霍尼韦尔公司	GG1308、GG1320、GG1342、GG1389、HG9900、H-423、H-764G、Laserf 系列惯导系统、TALIN 系列海洋惯性导航系统
诺格公司	LN93、LN100、LG2717、LG8028、PIXYZ22、LTN90、LTN101、MK39 系列、MK49 舰船用激光陀螺仪惯导系统
萨基姆公司	Sigma30、Sigma40、Sigma 95N、Sigma 40EXP、Sigma 40XP 惯导系统
吉尔福特公司	T-10、MRLG
Sextant 公司	SLIC-15、PIXY-14、PIXY-22
Polus	ZLK-16
泰雷兹	图腾 3000
俄罗斯 Aviapribor	BINS-85

资料来源：《2016 年国外惯性技术发展与回顾》，中信建投证券研究发展部

霍尼韦尔是激光陀螺仪领域研发领先企业。目前，霍尼韦尔公司主要激光陀螺仪产品包括 GG1308、GG1320、GG1342、GG1389，其中，高精度以 GG1389 为代表，其零偏稳定性达到了 1.5×10^{-40} /h，是世界上精度最高的激光陀螺仪。低精度以 GG1308、GG1320 为代表，GG1389 陀螺仪的该公司 GG1308 陀螺仪的零偏稳定性为 1~5

°/h，是世界上体积最小的产品化激光陀螺仪，采用该陀螺仪的惯导系统型号主要有 HGI500 IMU 和 HGI700 IMU（包含 3 个 GG1308 陀螺仪和 3 个 RBA-500 石英振梁加速度计）两种，主要用于美军 JDAM 联合直接攻击炸弹和制导多管火箭发射系统等装备。

图 25：霍尼韦尔公司 HGI700 IMU 及其内部的三个 GG1308 陀螺仪



资料来源：搜狐网，中信建投证券研究发展部

诺格收购利顿工业公司，成为激光陀螺仪的主要生产者。利顿工业公司研制的激光陀螺仪以正方形光路的机抖陀螺仪和异面腔四频差动陀螺仪为主，其中机抖陀螺仪主要包括 LG2717（零偏稳定性优于 0.05 °/h）和 LG8028（零偏稳定性优于 0.01°/h），分别应用于航空导航系统和中高精度导航系统。公司异面腔四频差动激光陀螺仪与同等尺寸的机抖陀螺仪相比，能以较小的尺寸获得了优于 0.01°/h 的精度，大批量生产的 LN 100 系列、LN 120G 和 LTN 101 惯导系统均采用了腔长为 18.4cm 的该陀螺仪。

法国赛峰 (萨基姆)公司是欧洲最大的激光陀螺仪生产厂家。公司于 1977 年开始涉足激光陀螺仪领域，其激光陀螺仪产品主要以 GLC-8、GLC-16 和 GLS-32 激光陀螺仪为主。其中，GLS-32 机抖陀螺仪主要用于航空及潜艇的捷联惯导系统，采用该陀螺仪的 SIGMA40 惯导系统的导航定位精度为 1.5 n mile/24h；GLC-16 型陀螺仪（零偏稳定性 0.01 °/h）是一种方形光路的机抖陀螺仪，主要用于直升机、小型运载火箭等；GLC-8 型陀螺仪腔长仅为 8cm，零偏稳定性 0.1~10 °/h，主要用于射程 60~100km 的战术导弹。

3.3 光纤陀螺仪竞争格局

美国始终保持领先地位，日本在中低精度陀螺仪应用方面位居世界前列。目前，国外研制和生产光纤陀螺仪的相关单位有美国 Draper 实验室、诺格公司、霍尼韦尔公司、KVH 公司等，法国萨基姆公司、iXblue 公司等，日本三菱精密有限公司，俄罗斯 Optolink 公司等等。

表 11：光纤陀螺仪主要生产厂家和典型产品

公司	典型产品
霍尼韦尔公司	导航级 Spirit 惯性测量单元、战略级高性能太空光纤陀螺仪 HPSFOG
诺格公司	LN200、LN251、LN260、LN270、LLN-G1、LR240、LLN GX、LLN GY、LCR 100、LN 200A、LN 200 等系列产品
KVH 公司	DSP-3400、DSP-3100、DSP-3000、DSP-4000、DSP-1750、DSP-1760 光纤陀螺仪，1775、1750、1725、CG-5100、TG 6000 惯性测量单元，CNS 500、GEO FOG 3D、GEO FOG DUAL 3D 惯导系统

iXblue 公司 AIRINS, ATLANS-C, Hydfins, Quadrans, Octans, Phins C3、C5、C7 系列、Phins Compact 光子惯性导航系统, MARINS M3、M5、M7 系列惯导系统, ROVINS NANO 惯导系统

萨基姆公司 APIRS 姿态航向参考系统

俄罗斯 VOBIS 公司 VOBIS-1、VOBIS-2 光纤陀螺仪

三菱精密有限公司 MFG-200、MOD-II 以及 TA7584

资料来源:《2016 年国外惯性技术发展与回顾》, 中信建投证券研究发展部

自 20 世纪 70 年代至今, 光纤陀螺仪关键技术不断取得重大突破, 应用领域长袖拓展, 目前光纤陀螺仪的精度最高可达 $8 \times 10^{-5} \text{ }^\circ/\text{h}$, 在高端领域已经与激光陀螺仪形成竞争的态势。

表 12: 当前不同机构最高性能的光纤陀螺仪参数

光纤陀螺仪及厂商	角度随机游走/ [$^\circ/\text{h}^{1/2}$]	零偏稳定性/ [$^\circ/\text{h}$]	标度因数误差/ 1×10^{-4}	线圈长度/直径
霍尼韦尔公司 HPFOG	1×10^{-4}	3×10^{-4}	1	4km
AlliedSignal 制导与控制系统	2.1×10^{-4}	5.7×10^{-4}	—	2km
诺格利顿公司制导控制系统	9×10^{-4}	9×10^{-4}	10	1km, 76mm
L-3Space&NavCIRUS-A	5×10^{-4}	3×10^{-3}	10	—
Airbus 防务太空 Astrix-200	2×10^{-4}	—	30	5km, 200mm
iXblue 公司 MARINS 系列	1.8×10^{-4}	1×10^{-4}	—	5km
iXblue 公司光纤陀螺仪样机	3.9×10^{-5}	—	—	5km
Optolink 公司 SRS-2000	1.8×10^{-4}	1×10^{-4}	30	2km, 250mm
Optolink 公司 SRS-5000	6.9×10^{-5}	8×10^{-5}	3	5km, 250mm

资料来源:《2017 年国外惯性技术发展与回顾》, 中信建投证券研究发展部

霍尼韦尔是最早研制光纤陀螺仪的公司之一。公司自 20 世纪 80 年代中期开始研发各类精度的光纤陀螺仪, 其干涉式光纤陀螺仪产品的零偏稳定性范围为 $10^{-4} \text{ }^\circ/\text{h} \sim 10^{-3} \text{ }^\circ/\text{h}$ 。2016 年, 其用于太空应用的高性能太空光纤陀螺仪(HPSFOG), 精度范围达 $2 \times 10^{-4} \text{ }^\circ/\text{h} \sim 6 \times 10^{-4} \text{ }^\circ/\text{h}$ 。除了干涉式光纤陀螺仪, 公司还进行了谐振式光纤陀螺仪的研究, 样品的零偏稳定性优于 $0.1 \text{ }^\circ/\text{h}$ 。

诺格光纤陀螺仪产品线极为丰富, 在光纤陀螺仪领域占据领先地位。公司自 1988 年开始研制基于光纤陀螺仪 IMU 系统, 代表产品分为 uFORS 系列与 FOG-200 系列。前者具有精度低、小型化特征; 后者具有精度高的特点, 多用于 IMU、AHRS 等军用系统。截至 2016 年, 公司已交付超过 30000 个基于光纤陀螺仪的惯性导航产品以及超过 10000 个光纤陀螺仪速率传感器, 奠定了公司在光纤陀螺仪领域的领先地位。

图 26：诺格公司部分光纤陀螺仪惯导产品



资料来源：诺格官网，中信建投证券研究发展部

3.4 MEMS 陀螺仪竞争格局

美国 Draper 实验室、霍尼韦尔公司所生产的 MEMS 陀螺仪的偏置稳定性、定位精度处于世界领先水平。目前，MEMS 陀螺仪相关研究单位有美国 Draper 实验室、霍尼韦尔、大西洋惯性系统公司、InvenSense 公司、波音公司等，英国 BAE 系统公司，挪威 Sensoror 公司，日本东芝公司等。

表 13：MEMS 陀螺仪主要生产厂家和典型产品

公司	典型产品
霍尼韦尔公司	HG1120、HG1700、HG1900、HG1930、HG4930, BG1930 GPS 辅助惯导系统
亚诺德半导体公司	AD116136 陀螺仪
InvenSense 公司	高精度陀螺仪 MPU — 3300
挪威 SENSOROR 公司	STIM300 陀螺仪
荷兰 XSENS 公司	MTI-100 IMU、MTI-200 VRU、MTI-300 AHRs、MTI-G-700 微型惯性测试系统
Crossbow 公司	NAV440 型组合导航系统

资料来源：《2016 年国外惯性技术发展与回顾》，中信建投证券研究发展部

MEMS 是当前惯性陀螺仪研究的焦点。自 20 世纪 80 年代发展至今，MEMS 陀螺仪关键技术研发突飞猛进，成为学术研究领域的焦点，在美国 DARPANIGM 项目支持下，多环碟形陀螺仪最高精度达 0.003°/h。

图 27：BAE 公司系列化 MEMS IMU



资料来源：《2017 年国外惯性技术发展与回顾》，中信建投证券研究发展部

德国博世公司 MEMS 陀螺仪专利申请最多。博世公司发布了 DRS-MM1、DRS-MM2 和 DRS-MM3 共 3 代 MEMS 陀螺仪产品，其中 DRS-MM3 零偏稳定性达到 1.5°/h，主要面向汽车和消费电子应用。英国 BAE 公司 MEMS 谐振环陀螺仪最小体积仅有 16.387cm³，零偏稳定性优于 0.1°/h，IMU 可植入士兵战靴，实现单兵全时导航。BAE

谐振环陀螺仪有角速率和速率积分两种模式，用于高速旋转弹、中程导弹和美国 155mm 制导神箭炮弹等武器系统。

日本硅传感系统公司的 MEMS 谐振环陀螺仪是该领域内精度的最高水平，最新产品零偏稳定性优于 $0.06^\circ/\text{h}$ ，角度随机游走优于 $0.01^\circ/\text{h}^{1/2}$ 。

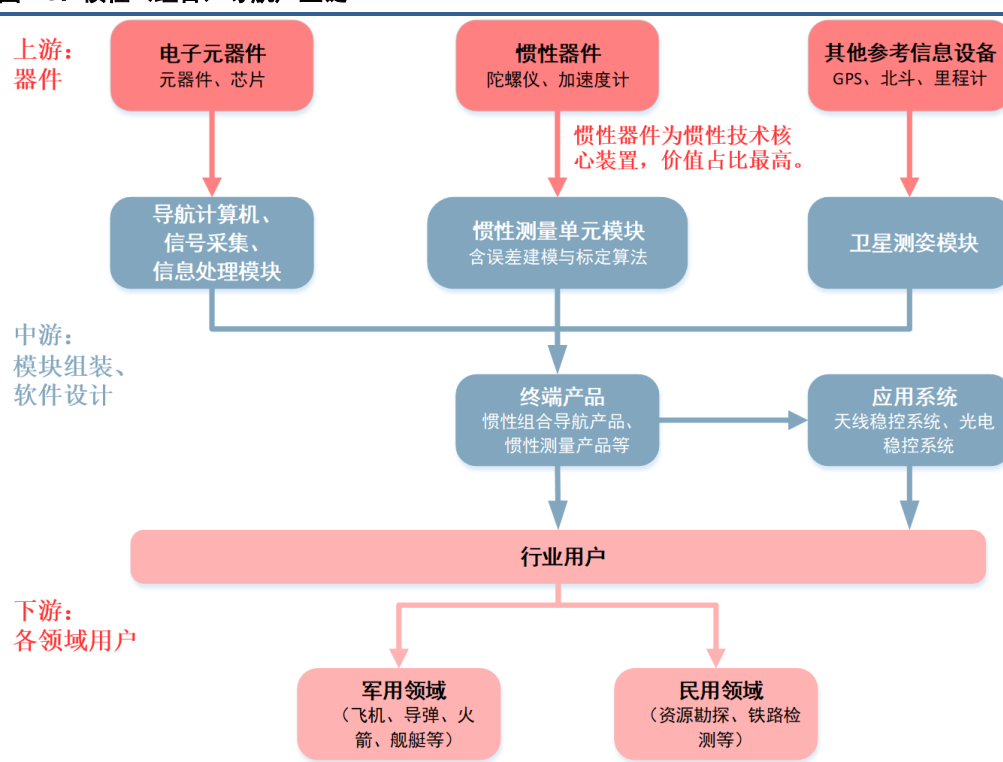
美国 Draper 实验室是 MEMS 陀螺仪研究领域领导者。Draper 实验室研制了双框架结构、调频音叉结构和振动轮结构 MEMS 陀螺仪，霍尼韦尔购买其调频音叉结构 MEMS 陀螺仪专利，在此基础上研发出系列 MEMS 陀螺仪，零偏稳定性优于 $10^\circ/\text{h}$ ，大量应用于 JDAM 制导炸弹等武器系统。针对单兵导航和惯性寻北需求，霍尼韦尔公司与 Draper 实验室共同开展高性能硅 MEMS 陀螺仪研究。大西洋惯性系统公司研制振动环结构 MEMS 陀螺仪，其产品 CRS09 广泛应用在 NLAW 反坦克武器、A-Darter 空空导弹、MBDA 海狼舰船防御导弹等武器装备中。

四、国内惯性导航产业格局及下游应用市场

惯性导航产业链主要分为器件制造、模块组装和软件设计两个层级。在产业链上游，惯导系统元器件主要包括电子元器件、惯性器件和其他参考信息设备；产业链中游主要产品包括信息采集处理模块、测量单元模块和卫星测姿模块，以及对各模块进行系统集成和软件设计。

惯性器件是核心装置，在惯导系统领域中制造难度最大，价值占比最高，但毛利率水平低于中游。产业链上游惯性器件研发和制造难度最大，价值量也相对较高，但其毛利率低于中游模块组装和软件设计。目前我国在中低端陀螺仪已基本实现了国产化，高端陀螺仪仍依赖进口。对于精度需求不高的民用惯导系统，上游陀螺仪供给充分，价格稳定。

图 28：惯性（组合）导航产业链



资料来源：星网宇达招股说明书，中信建投证券研究发展部

民营企业多集中在中游。产业链中游主要根据下游客户对惯性产品需求及实际工作环境将上游厂商生产的标准化惯性器件进行惯性技术测试等相关工序，并根据参数及目标工作环境调整惯性技术系统以对惯性器件进行纠偏、补偿等，结合集成相关功能性芯片、基础元器件等工序，并选用适当算法、参数，开发适合客户行业及工作特点的软件，最终进行系统集成形成能为下游终端用户直接应用的惯性技术产品

下游应用领域包括军用和民用两部分，军用市场基本被国内军工企业占据，民营企业集中在民用市场。军用领域方面，惯导系统在舰艇船舶、航空飞行器、航天飞机、制导武器、陆地车辆、机器人等装备上均有所应用。我国军工企业具备惯性技术全产业链的生产能力，大部分的军用惯性市场被军工企业占据。民用市场包括大地测量、石油钻井、电子交通、汽车安全、消费电子等领域，民营上市公司中仅有耐威科技具备 MEMS 传感器（含陀螺仪）的生产能力，且 MEMS 传感器的生产具有规模效应，规模越大，成本越低，竞争力越强。

目前，军用惯性技术主要向着高性能和高可靠性发展，民用市场则向高精度、低成本和小型化方向发展。对于军用市场，主要向着高性能和高可靠性发展，一方面，战略武器需要更高精度的惯性仪表与系统技术，另一方面，对于常规运载体，需要可靠性更高的惯性技术；而对于民用领域，则主要是向着高精度、低成本、小型化发展。

国内具备惯性传感器研究和制造实力的多集中在军工企业，民营企业主要参与中游惯导系统设计和制造。目前，具备惯性传感器制造能力的企业主要有中航六一八所、航天三十三所、航天十三所、航天电子、耐威科技等，多为军工企业。具备惯导系统制造能力的企业包括航天三十三所、航天十三所、中航六一八所、航天电子、航天七零四所、耐威科技、西安晨曦、中星测控和星网宇达等，民营企业多集中在中游惯导系统设计和制造上。

表 14：惯性导航产品市场的主要竞争者

区域	产品类型	主要企业
全球	惯性传感器	Honeywell、Drapa、NorthropGrumman、Sensoror、SDI
	惯性导航系统	Honeywell、NorthropGrumman、SDI、IMAR、Goodrich、Optolink
	组合导航系统	Honeywell、NorthropGrumman、SDI、IMAR、Xsens、Goodrich
中国	惯性传感器	中航六一八所、航天三十三所、航天十三所、航天电子、耐威科技等
	惯性导航系统	航天三十三所、航天十三所、中航六一八所、航天电子、航天七零四所、耐威科技、西安晨曦、中星测控、星网宇达等
	组合导航系统	航天二院十二所、航天电子、航天七院、航天五院、耐威科技、西安晨曦、星网宇达等

资料来源：耐威科技招股说明书，中信建投证券研究发展部

4.1 军用市场：各军种装备广泛应用，每年市场空间超过百亿

4.1.1 军用飞机

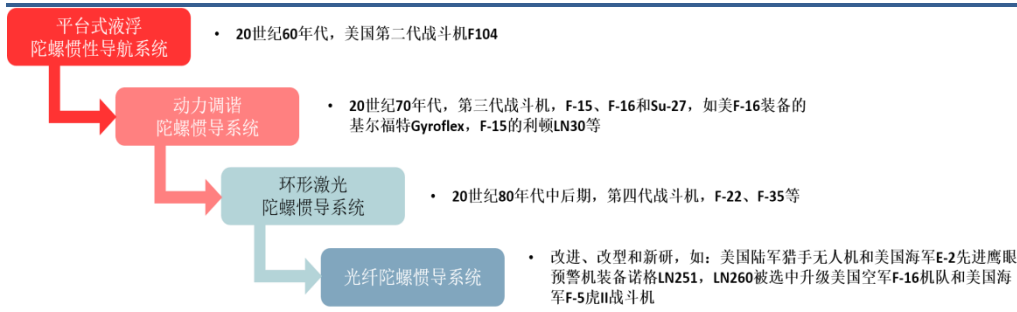
惯性导航系统是现代军用飞机的必备装置，精度需求一般为导航级。在现代战争中，由于战场环境的复杂性，军用飞机难以完全依靠卫星定位系统和地面导航装备完成导航工作，惯性导航系统不受外界信息干扰和战场地理环境制约，可以保障军机在战斗期间完成实时导航和定位。不同机种的任务特点对导航精度要求有一定差别，但整体需求基本为导航级精度。

第二代战机采用平台式液浮陀螺仪惯性导航系统，第三代战斗机多采用动力调谐陀螺仪惯导系统。惯性导航在军用飞机上的应用始于 20 世纪 60 年代，随着第二代超声速喷气战斗机的问世，军用飞机开始装备惯性导航系统，如美国第二代战斗机 F104 装备的即为平台式液浮陀螺仪惯性导航系统。随着成本更低、性能更好的动力调谐陀螺仪研制成功，20 世纪 70 年代开始，第三代战斗机(F-15、F-16 和 Su-27 等)装备的导航系统大多为动力调谐陀螺仪基系统，例如，美国 F-16 战斗机装备的基尔福特 Gyroflex 动力调谐陀螺仪惯导系统以及 F-15 战斗机上装备的利顿 LN30 装备。

美国现役主流战机包括 F-22 和 F-35 等，基本采用环形激光陀螺仪捷联式惯导系统。20 世纪 80 年代中后期，环形激光陀螺仪捷联式惯性导航系统已达到了中等精度性能要求，系统可靠性高、寿命长，系统体积、质量和成本仅为同等性能水平的平台惯性导航系统（动力调谐陀螺仪）的 1/2 或 1/3。目前现役主流战机基本使用环形

激光陀螺仪捷联式惯性导航系统，如诺格公司的 LN100G 装备于 F-22 和 F-35 战斗机等。

图 29：美国军用飞机惯导系统演变历史



资料来源：中信建投证券研究发展部

美国新研飞机和改进改型飞机大多采用光纤陀螺仪导航系统。目前，国际上光纤陀螺仪惯性导航系统的精度已达导航级标准，如诺格公司的 LN251 和 LN260，LN251 装备于美国陆军的猎手无人机和美国海军的 E-2 先进鹰眼预警机，LN260 被选中升级美国空军 F-16 机队和美国海军 F-5 虎 II 战斗机。

表 15：诺格公司 RLG 和 FOG 惯性导航系统对比

参数	LN100 (RLG)		LN251 (FOG)	
	纯惯性导航	组合导航	纯惯性导航	组合导航
定位精度 (CEP)	0.8nm/h	10m	0.8nm/h	4m
速度精度 (rms)/(m·s-1)	0.76	0.015	<0.8	<0.03
姿态 (rms)/(°)	0.05	0.02	<0.05	<0.02
外形尺寸/cm3	27.9×17.8×17.8		16.9×17.8×17.8	
质量/kg	9.8		5.7	
功耗/W	37.5		25	
MTBF/h	>14400		>20000	

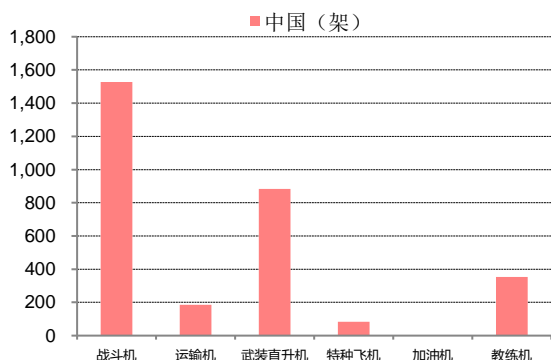
资料来源：《惯性技术在航空领域的发展与应用》，中信建投证券研究发展部

根据 Flightglobal 最新数据显示，目前我国空军二代歼击机及强击机（J-7、J-8、Q-5）仍有 591 架，三代机（J-10、J-11、J-15）数量仅有 634 架。从战机代系结构上看，二代与三代战机数量大致相等，另有 40%左右的二代机及早期三代机已面临退役，急需新型战机填补数量空缺。我们预计，未来我国空军二代机将逐步退出战备序列，主战机型将以三代机为主逐渐向四代机过渡。

未来激光陀螺仪、光纤陀螺仪在我国军用飞机市场前景广阔。相比于美国，我国不仅在战机数量上有巨大差距，在飞机代数也有明显差距，目前我国仍有一半的战斗机为二代机，二代机大多数采用机电陀螺仪惯导系统，随着歼-7、歼-8 等机型的陆续退役，机电陀螺仪惯导未来也将逐渐被淘汰。对标美国三代机、四代机的装备情况，我们认为，未来我国新增军用飞机将逐步采用激光和光纤陀螺仪惯导系统。

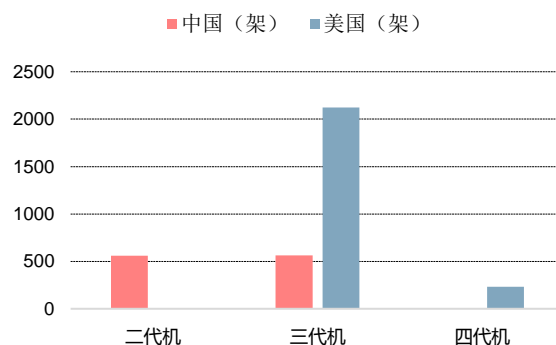
每年我国军用飞机惯导系统市场空间约为 25 亿元左右。对于国内军用飞机市场，根据 World Air Force 估计，我国各式在役军用飞机合约计 3000 架。按照四年的惯导系统更换周期计算，每年将有 750 架飞机进行惯导系统更新；新增需求方面，每年新增约 90 架各式军用飞机；按照每架飞机装备主副两套惯导系统、每套惯导系统 150 万元的价格计算，我国每年军机惯导系统需求约为 1680 套，市场空间约为 25.2 亿元。

图 30：我国各式在役军用飞机数量



资料来源：《World Air Force 2018》，中信建投证券研究发展部

图 31：我国仍有大量的二代机



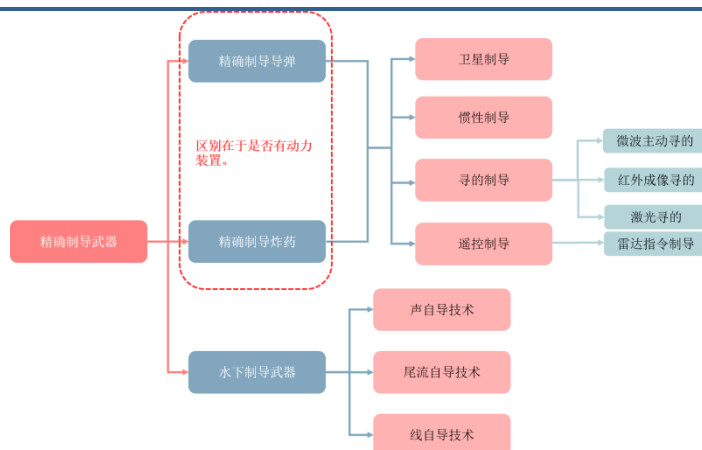
资料来源：《World Air Force 2018》，中信建投证券研究发展部

中航工业 618 所主要提供军用飞机惯导系统。目前，我国主要提供军机惯导系统的是中航工业 618 所，航天科技九院旗下的航天电子、13 所和 16 所也有部分产品为军机惯导系统配套，均具备上游惯性器件的生产能力。晨曦航空则主要集中在军用飞机惯导系统行业中游开展业务，提供系统集成服务，其投资的中国兵器集团旗下的西安北方捷瑞光电科技有限公司具备新型激光陀螺仪研制生产能力。

4.1.2 精确制导武器

惯性技术是导弹和制导弹药最常采用的制导技术之一。精确制导武器主要包括精确制导导弹、精确制导弹药和制导武器三大类。惯导是制导导弹和弹药最常采用的导航技术，而水下制导武器通常采用声自导技术、尾流自导技术和线导技术。精确制导导弹与弹药主要区别在于：导弹依靠自身动力系统和导引、控制系统飞向目标，而精确制导弹药自身无动力装置，其弹道的初段和中段需要借助火炮、飞机等载体进行投掷。

图 32：惯性技术是导弹和制导弹药最常采用的制导技术之一



资料来源：中信建投研究所整理，中信建投证券研究发展部

目前，惯性制导已普遍装配在我国空空导弹、巡航导弹和弹道导弹等领域，根据精度不同，系统单价在十万到几百万左右。空空导弹方面，我国霹雳系列空空导弹从霹雳 10 开始已全部装备惯导系统，其制导方式为惯导加末段红外成像制导，惯导系统仅发挥辅助导航作用，预计系统单价为十万左右；战略级导弹，包括陆基巡航导弹、洲际及远程弹道导弹，通常配备高精度机电陀螺仪惯导或者激光惯导，系统单价在百万元以上；中短程导弹方面，主要配套激光惯导或者光纤惯导，系统单价在百万元左右。

制导炸弹正在向“惯导+卫星定位+末端寻的”复合制导及系列化方向发展，惯导系统单价在十万元以下。制导炸弹是战斗轰炸机、强击机等空中力量对地面建筑、桥梁、中小型指挥所等多种军用目标实施精确打击的重要手段，是在普通炸弹上加装精确制导装置及空气动力控制装置而成。与普通炸弹相比，制导炸弹具有精度高、成本低、投放距离远等特点。目前，制导炸弹正在向“惯导+卫星定位+末端寻的”复合制导及系列化方向发展，具有昼/夜、全天候、防区外、投射后不管、多目标攻击能力等特点。

图 33：“飞腾”系列制导炸弹



资料来源：《珠海航展中国机载制导炸弹》，中信建投证券研究发展部

制导系统一般占导弹成本的四成左右。制导系统成本占导弹成本的比例取决于导弹类型和制导功能技术，但随着制导系统技术的发展，制导精度不断提升，价值量占比也有逐年增加的趋势。例如，防御系统导弹，导引头和控制系统由于技术水平先进，结构更为复杂，占到整体导弹成本的 40%以上。通过对美国导弹的成本分析，我们认为，制导系统一般占导弹总成本中的四成左右。

表 16：制导控制系统一般占导弹成本的四成左右

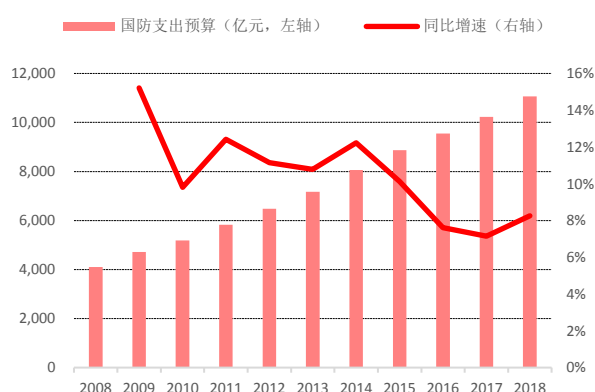
导弹型号	制导与控制 (%)	推进 (%)	再入飞行器 (%)	其他部分 (%)	
弹道导弹	MX	21.7	25.4	33.4	19.5
	潘兴-1	33.1	26.9	17.9	22.1
反拦截导弹	PAC-3	≥47	-	-	-
	THAAD	43	11	-	46
AGM-130 空地导弹	41	19	-	40	
先进中程空空导弹	77	6	-	17	

资料来源：《导弹武器的低成本化研究》，中信建投证券研究发展部

导弹和制导炸弹领域惯性导航系统市场空间约为 68 亿元。根据《2010 年中国的国防》白皮书，我国国防费主要由人员生活费、训练维持费和装备费三部分组成，每一部分大概占总支出的 1/3。目前，我国部队正在进行国防现代化建设，装备支出比例可能有所提升。按照 2018 年国防支出 35%为装备支出计算，装备经费约为 3874.5 亿人民币。参照美国导弹和弹药申请经费占总采办经费的 8.7%，预计我国目前各类导弹市场规模约为 340 亿元，制导系统约占总成本的 40%，导弹武器制导系统的市场空间为 136 亿元左右。惯性技术作为导弹和制导弹药中最常采用的制导技术之一，其在制导系统中所占比例预计为 1/2，我们预计，惯性导航系统在导弹和制

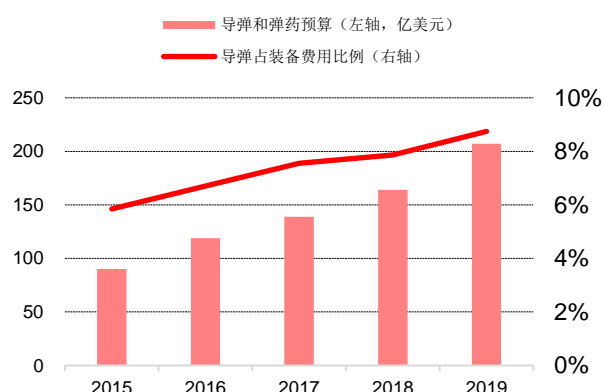
导炸弹领域的市场空间约为 68 亿元。

图 34：2018 年我国国防支出预算约 11070 亿元



资料来源: Wind, 中信建投研究发展部

图 35：2019 年美国导弹预算支出占装备费用比例为 8.7%



资料来源: 美国国防部, 中信建投研究发展部

4.1.3 航天领域

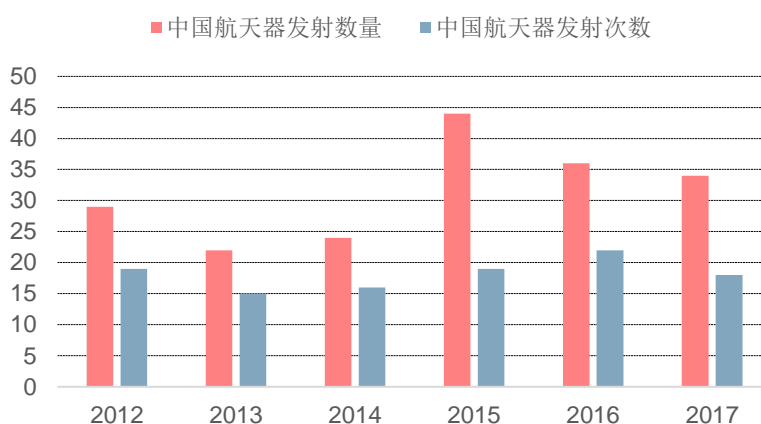
惯性导航系统在航天领域的应用可以分为两方面：一是用于卫星和载人飞船等航天器的姿态稳定，二是用于运载火箭的导航、控制等。

对于卫星、载人飞船等航天器来说，惯性技术主要用于姿态稳定，包括用于测量姿态的陀螺仪和用于稳定的惯性执行系统。由于卫星对惯性仪器要求其具有长寿命和高可靠性，全固态的光纤陀螺仪比机电陀螺仪有着更显著的优势，因此国内卫星搭载的惯导系统正逐渐用光纤陀螺仪替代传统的机电陀螺仪。一般来说，一颗卫星通常需要 1~2 个惯性导航系统（对应 3~6 个陀螺仪），同时会有一颗备用卫星，再考虑研制、设计、测试等过程的需求，因此每颗卫星计划至少需求 3~6 个惯性导航系统。

对于运载火箭，我国神舟三号之前采用气浮陀螺仪平台惯性导航系统，神舟三号后的运载火箭采用 2 套挠性陀螺仪捷联惯性测量单元，目前我国运载火箭采用激光惯导和光纤惯导相结合的方式对运载火箭进行导航、指导和控制。我们认为，对于每次航天器发射，火箭上都要搭载两个惯性测量单元，而在研制、测试等过程中，至少也需要两个惯性测量单元，保守估计，每次运载火箭发射至少需要装备 4 个以上的惯性测量单元。

航天惯导市场空间约 6.24 亿。2017 年我国航天器发射次数为 18 次，航天器发射数量为 34 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 208 套惯性测量单元，按照每套 300 万元计算，每年市场空间约为 6.24 亿。

图 36：我国航天器发射数量和次数



资料来源：《国际太空》，中信建投证券研究发展部

4.1.4 地面装甲车辆

惯导系统一方面可以为火炮提供航向角和姿态角，另一方面可以协助装甲部队在卫星导航失效的条件下快速准确移动到指定位置参与战斗。以轮式自行火炮为例，惯导系统可以为火炮提供航向角和姿态角，以便火炮结合目标信息、弹道条件、气象条件以及地形条件解算射击诸元，同时也可以为行军机动、阵地转移提供位置信息，如我国 PLZ-45 自行火炮即安装了惯导系统。

图 37：59 式坦克已不能适应新时期战场要求



资料来源：百度图片，中信建投证券研究发展部

图 38：99A 主战坦克是未来列装主要力量



资料来源：百度图片，中信建投证券研究发展部

根据海外媒体中国陆军未来基本作战单元是合成营，一个合成营大约拥有 2 个坦克连和 2 个机械化步兵连，即 1 个合成营大约拥有 29 辆主战坦克；以 1 个重装合成旅拥有 2 个重装合成营计算，全旅拥有 58 辆主战坦克。根据美国公布的数据来看，中国陆军已有 600 辆 99 系列主战坦克大约可以装备 10 个重装合成旅，按照 13 个集团军每个集团军 2 个重装合成旅计算，因此中国陆军至少还需要再装备 16 个重装合成旅，相应就需要生产接近 1000 辆 99 系列主战坦克。鉴于新轻坦刚开始量产而已有的 99、96 系列坦克已列装多年，因此预计多种型号的坦克将错峰配置，按照陆军 2035 年前完成信息化和现代化建设的目标，预计每年 99、96 系列以及新轻坦等主战坦克的产量可达 180 辆。

中国陆军合成旅的中型旅规模与美军斯特赖克作战旅相当，其装备都以各型 8×8 轮式步兵战车为主，装备

的各种车辆全部采用轮式，我们预计，三大主要 8×8 轮式装甲步兵型（步兵战车、装甲突击车以及装甲运输车）的需求量至少为：13（集团军）×2（中型合成旅）×4（合成营）×（31+15+7）（步兵战车+装甲突击+装甲运输车）=5512 辆，预计每年新列装数量约为 1000 辆。

每年陆军装甲车辆惯导系统的市场空间约 8.72 亿元。除主战坦克和装甲步兵车辆外，我国目前已有牵引火炮、自行火炮和自行火箭炮车等装甲车辆装备也将进入更新换代过程，预计未来装备支出增速略高于军费支出，按照每年 10% 计算，则每年更换数量约为 1000 辆，陆军各类装甲车辆每年列装数量总计约为 2180 辆，按照每套惯导系统 40 万元计算，每年市场空间约为 8.72 亿元。

表 17：外媒报道的中、美、俄三国陆军的主要装备数量

项目	美国	俄罗斯	中国
先进主战坦克	2300	2600	2000
先进步兵战车	4500	3000	1500
其他装甲车辆	8000	2900	3300
大口径牵引火炮	1200	1800	6300
大口径自行火炮	950	2600	1800
自行火箭炮车	1205	1400	1800
合计	18155	14300	16700

资料来源：日本《军事研究》杂志，中信建投证券研究发展部

目前，陆用惯导主要有兵器工业集团旗下的导控所、北方导航所提供。目前我国新式坦克装备安装中低精度的光纤陀螺仪惯导系统，由于地面作战平台对导航精度需求较低，且随着 MEMS 陀螺仪精度的提高，未来可能将被成本更低的 MEMS 惯导系统所替代。

4.1.5 海军舰船

保障舰船的航海安全。现代舰船出海训练、执行任务非常频繁，并且出海时间较长。为保障舰船的航海安全，要求作为舰载主要导航设备的惯性导航系统在长时间内保持高精度，对可靠性等也提出了更高要求。舰艇激光惯导系统能够在测速设备配合下自主工作，提供舰艇位置、速度以及航向、姿态、姿态角速度等信息，与基于外部信息的精确定位设备组合工作，对惯导的误差和误差源进行校正，其可靠性和适用性得到大幅提升，在恶劣的海洋环境中能够完全正常工作，满足舰艇长时间航海安全要求。

舰载武器装备的作战使用。对于舰载武器，初始对准状态将直接影响其命中精度。舰艇激光惯导由于采用了旋转调制、自适应速度阻尼等一系列先进技术，能确保其在长时间内保持在高精度工作状态，完全满足作为武器系统传递对准过程中的精度要求，可以为舰载武器提供高精度的初始对准状态。

目前美国海军战术攻击型核潜艇和水面舰船等舰船对于惯性导航的精度要求为战术级，主要装备激光捷联式惯导；弹道导弹核潜艇的精度要求为战略级，装备静电陀螺仪惯导。美国舰船用惯导从液浮平台式惯导发展为激光捷联式惯导，目前 AN/WSN-7 系列激光陀螺仪惯导系统已经装备美国海军除弹道导弹核潜艇以外的所有舰艇，该系统在没有 GPS 辅助信息的情况下能够提供 14 天的导航能力。每艘舰艇都安装了两套系统，共计有 130 艘水面舰船和 62 艘潜艇，其中包括 4 艘俄亥俄级巡航导弹核潜艇、4 艘弗吉尼亚级核动力攻击潜艇，11 艘核动力航母、26 艘导弹巡洋舰和 49 艘导弹驱逐舰等。

图 39： AN/WSN-7A 和 AN/WSN-7B 激光陀螺仪惯性导航系统


资料来源：《舰艇惯性导航技术应用与展望》，中信建投证券研究发展部

我国海军舰船惯导系统每年市场空间约为 4.8 亿元。目前，我国海军装备各类作战舰艇约为 260 艘，每艘舰艇装备 2 套惯导系统，整体需求数量为 520 套左右，按照惯导系统使用寿命 4 年计算，每年惯导系统存量替换市场约为 130 套；同时，我国每年新增大型水面舰艇和潜艇约 15 艘，预计每年舰载惯性导航系统需求为 30 套，合计需求 160 套，按照每套惯导系统 300 万元计算，海军舰船惯导系统每年市场空间约为 4.8 亿。

目前我国主流舰艇惯导系统为液浮陀螺仪平台式，未来将逐步更换为激光陀螺仪捷联式惯导。2011 年之前，我国主流舰艇惯导产品全部是液浮陀螺仪平台式惯导，我们认为，随着我国激光陀螺仪惯导系统技术的成熟，未来我国主要新型舰艇装备将和美国海军一致，逐渐更换为激光陀螺仪捷联式惯导。

表 18：2010 年之前我国舰船用惯导发展情况

序号	产品	年代	技术特点	应用场合
1	第一代液浮惯导（简称惯导 I）	90 年代中 期	液浮陀螺仪三环半解析式平台式，铝材陀螺仪，不含系统监控技术，单点信息综合校准效果不好。	水下高精度
2	第一代液浮惯导之第一改进型（简称惯导 IA）	2002 年	与惯导 I 相比，铝材陀螺仪采用了永磁电机技术、系统增加了垂向通道，可输出垂向速度。增加了利用多普勒声学测速信息进行断续校准的系统技术。	水下高精度
3	静电陀螺仪监控器和惯导 I（或惯导 IA）的组合物	2002 年	静电陀螺仪监控器采用几何式平台式、陀螺仪壳体旋转技术、与俄罗斯技术方案一致。前期使用引俄陀螺仪，国产陀螺仪工程化工作正在进行。	水下高精度
4	小型液浮惯导	2006 年	液浮陀螺仪三环半解析式平台式，铝材陀螺仪，不含系统监控技术，进行了小型化轻型化设计。	水面中精度
5	中精度液浮惯导	2002 年	液浮陀螺仪三环半解析式平台式，铝材陀螺仪，不含系统监控技术。	水面中精度
6	第二代液浮惯导（简称惯导 II）	2009 年	液浮陀螺仪三环半解析式平台式，三浮铝材陀螺仪，采用 H 调制监控技术，很好地解决了单点信息重调校	水下高精度

准问题。与惯导 I 相比，精度提高三到五倍。现已开始铍材陀螺仪应用研究，目前的试验表明，精度在原有基础上提高二到三倍，具有较大的精度潜力。它是第一代液浮惯导的换代产品，代表着我国液浮陀螺仪平台式惯导的最高精度水平。

7 第一代液浮惯导之第三改进型
(简称惯导 IC) 2009 年

是惯导 IB 的姊妹产品。侧重于应用场合的特需参数的测取，比如水面升沉速度、纵横倾角、角速度等等，另外优化了与无线电导航和静电陀螺仪监控器的组合导航技术，对计算机系统进行了升级。

水面中高精度

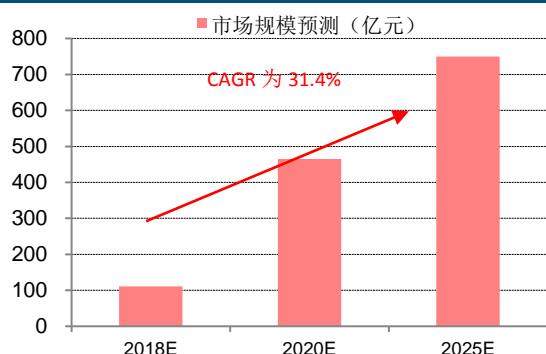
资料来源：《舰艇惯性导航技术现状及发展趋势》，中信建投证券研究发展部

4.2 民用市场：应用场景丰富，需求渗透逐步提升

4.2.1 无人机

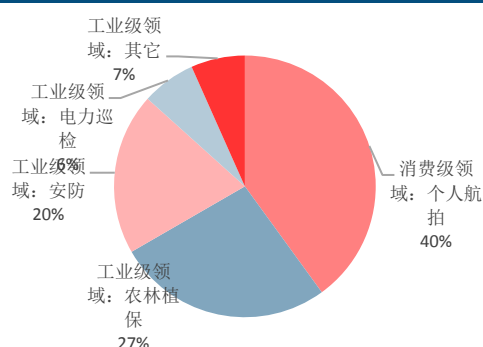
通过利用惯性器件及捷联惯性导航技术，可以为无人机提供精确的速度、位置和姿态等信息，从而实现其精确的导航定位和姿态控制。目前无人机在军事领域的应用最为成熟，同时随着人们对无人机认知程度的加深，其在遥感测绘、边海防、森林防火、管道巡线、应急救援、警务执法等民用领域呈现出迅猛的发展态势。

图 40：民用无人机行业将继续保持高速增长



资料来源：Wind，中信建投研究发展部

图 41：2025 年中国民用无人机细分领域市场规模展望



资料来源：前瞻产业研究院，中信建投研究发展部

我国民用无人机市场将继续保持高速增长。根据前瞻产业研究院预测，我国民用无人机产品销售和服务总体市场规模 2018 年有望达到 110.9 亿元，到 2020 年将达到 465 亿元，2025 年将达到 750 亿元；其中，航拍及娱乐仍是最大的应用领域，市场规模有望达 300 亿元。我们认为，未来无人机领域的惯性导航产品将充分受益于无人机市场的高速增长，成为民用市场重要增长点之一。

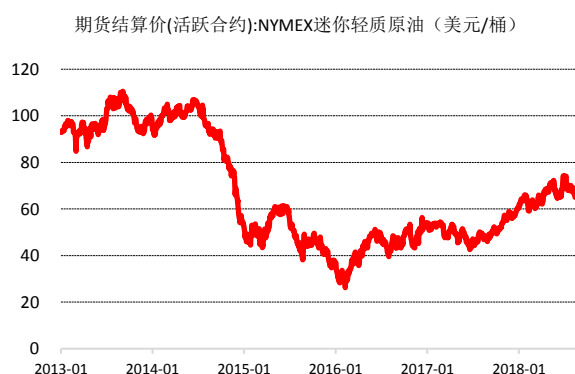
4.2.2 石油勘探领域

惯性技术在资源勘探中，主要用于测量井身轨迹和钻头的实际位置，从而保证井深达到预定位置。随着石油资源日益枯竭，勘探和开发情况愈加复杂，因此就需要精度更高、性能更加可靠的石油测斜仪器。而惯性技术的应用，使得这种要求得以满足，通过采用高精度、高分辨率的惯性及磁传感器来精确测量钻井过程中井斜角、方位角及工具面角等工程参数，从而实现井身轨迹与钻头位置的实时监测。

2017 年石油和天然气固定资产投资完成额触底回升。2014 年至 2015 年油价的下跌，使得我国主要石油和

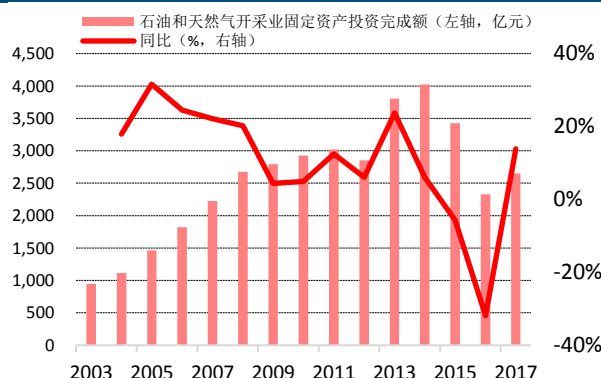
天然气生产企业均降低了国内油田的勘探与开采，通过提高国际原油采购降低自身运营成本，从而减少了对石油勘探开采设备的市场需求。随着 2016 年油价触底回升，2017 年我国石油和天然气固定资产投资完成额触底回升，同比增长 13.9%。今年 1 月至 7 月，完成额累计同比增长 10.7%，石油和天然气资源勘探开发和设备投资进一步好转。

图 42：2016 年油价开始逐步回升



资料来源: Wind, 中信建投研究发展部

图 43：2017 年石油和天然气固定资产投资完成额触底回升



资料来源: Wind, 中信建投研究发展部

2011 年，基于惯性技术的石油测斜仪销售额约为 18 亿元，占石油测斜仪销售额的 70%。我们按照近几年石油和天然气固定资产投资完成额的增速推算，不考虑惯性技术石油测斜仪占比的提高，2017 年市场空间约为 16 亿左右。我们认为，随着油价回暖，石油和天然气资源勘探开发和设备投资进一步好转，基于惯性技术的石油测斜仪市场未来有望回暖。

4.2.3 电子路考

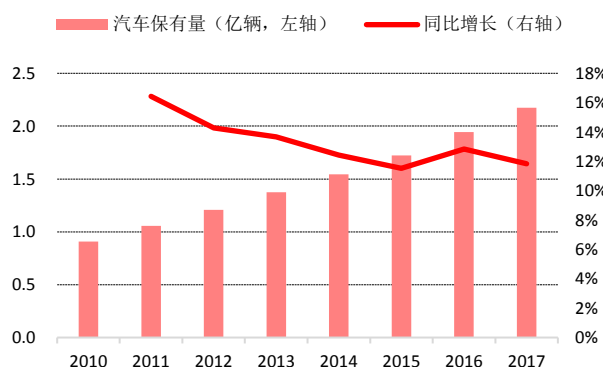
智能化电子路考系统是一套集计算机技术、自动控制、卫星定位、惯性导航及数字化通信技术为一体的综合性考试设备系统。该系统通过安装在车上的陀螺仪、惯性导航及卫星定位系统等设备实时监测车辆的行驶轨迹和运行姿态，以及超、会车过程中的车辆相对位置等数据信息，从而实现对考试全过程的精确判分，摒弃了传统人工考试的随意性，保证了考试结果的客观公正性。

目前，智能驾考系统的需求来自于两方面，一是考试车的替换需求，二是教练车的渗透需求。2012 年末，公安部颁布了《机动车驾驶证申领和使用规定》(公安部令第 123 号)，其中对驾驶员考试做出了全面修改，为适应新的全国驾驶员考试要求，考试实施场地将实现智能化评判与实时监控，因此，在 2012 年下半年，智能驾考系统的需求开始激增，随着驾驶人考试考点场地逐步完成升级改造，驾驶人考试系统市场未来需求将趋于平稳。鉴于驾考系统一般使用寿命为 3-5 年，未来驾考系统市场主要来源于替换需求。另一方面，随着驾考对驾驶人的考察范围逐步扩大，考生需要加强培训力度才能顺利通过考试，驾驶员考试培训学校为适应新的考试规则，也将升级改造自身培训场地，这也将整体上提高驾考行业对驾驶员考试和训练系统的需求。因此智能驾考系统未来增长还来自于驾校教练车的渗透需求。

随着经济的快速发展，我国车辆数量迅猛增加。截至 2017 年底，我国汽车保有量达 2.17 亿辆，同比增长 11.85%，驾驶人总数为 3.42 亿人，同比增长 10.32%。截至 2018 年 2 月 9 日，我国共有 2876 个县级行政区划，按照每个县级区划有一个车管所计算(假设县级车管所科目二考试时具有 10 辆考试车、在科目三考试时具有 10 辆考试车)，约有 5.7 万辆考试车；截至 2017 年 6 月底，我国共有驾校 16743 所，教练车达 75 万辆左右。我

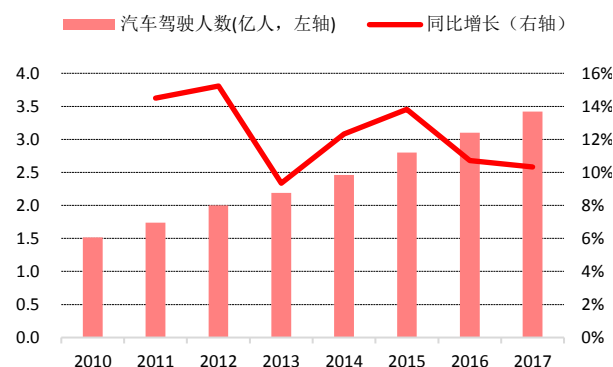
们按每套系统单价 7000 元，有 10%的教练车安装了智能驾考系统计算，则市场空间约为 9.24 亿。对于智能驾考系统来说，其使用寿命一般为 3-5 年，以此估算每年驾考系统使用空间约为 2.3 亿左右。

图 44：汽车保有量稳步上升



资料来源：Wind，中信建投研究发展部

图 45：汽车驾驶人数量稳步上升



资料来源：Wind，中信建投研究发展部

表 19：驾考系统市场空间估算

	2017E	2018E	2019E	2020E
考试车需求 (套)	14255	15253	16321	17463
教练车需求 (套)	18826	20788	23278	26383
合计	33081	36041	39598	43846
单价 (元/套)	7000	6900	6800	6700
市场规模 (亿元)	2.32	2.49	2.69	2.94
增速		7.39%	8.28%	9.10%

资料来源：中信建投研究发展部

4.2.4 移动通信——动中通

“动中通”是指通过天线基座对天线进行动态调整，使平台保持和通讯卫星相对稳定的状态，从而保证通讯质量。惯性传感器是动中通的核心部件，在车辆运动过程中根据惯性测量信息自动控制天线的方位、仰角和极化角，确保天线的波束中心始终精确指向卫星，使系统在静态、高速、高动态下均可稳定运行，具有很高的机动性和灵活性。“动中通”共分四类：车载、船载、机载和全自动便携站等产品，主要应用于应急通信、移动办公、电视台现场直播、航空宽带、商船通信、军用通信、游艇、渔船等领域。

表 20：星展测控的“动中通”和“动中看”产品

产品类别	应用案例	主要特点	图示
船载动中通	中国公安边防海警部队	1、系统采用自主研发的 GNSS/INS 融合方位姿态测量技术，无需罗经接入，各种复杂工况下，亦能快速、精确的指向和跟踪卫星；2、各种工况下保证稳定性能；3、可抵抗海上大颠簸，可抵挡海上大风；	

中国海监总队

4、3 轴设计，支持赤道卫星过顶；
5、ODU 采用 IP67 防护等级设计，防尘防水防盐雾。



车载动中通 武警某应急指挥项目

1、波导喇叭阵列天线、超低轮廓，厚度仅为 30cm；2、高增益，发射可达 35.5dBi 以上；
3、启动后快速寻星，跟踪中精准对星。



车载动中看 中欧房车、骏奇房车

1、增益高，接收范围广；
2、采用惯导及 GPS 融合技术，可在颠簸路况下准确对星。



船载动中看 货轮新红海号

1、覆盖范围广，可满足沿海及内陆大部分船只收看卫星电视的需求；2、稳定对星，可应对船体航行中的大颠簸。



资料来源：星展测控官网，中信建投研究发展部

动中通整体市场空间估计在 72 亿以上。惯性技术在军民市场应用前景与展望中的数据显示，2010 年，我国动中通系统的市场需求为 500 套/年，2011 年达到 800 套/年。我们认为，车载动中通的的需求来自于军队、公安和武警以及县级以上的政府应急管理部门（包含政务、地震、水利、交通等）。截至 2018 年 2 月 9 日，我国共有 2876 个县级行政区，大约有近 3000 只武警中队、3000 个县级公安局和 1800 个政府应急管理部门（包含政务、地震、水利、交通等），若每个部门配置 2 个车载动中通设备，则市场需求达 1.5 万套；船载动中通需求来自于海警、海监船，根据伦敦国际战略研究所统计，中国海警有 370 艘舰船，海监有 400 余艘执法船，则市场空间也有近千套。根据星网宇达招股说明书显示，动中通单价约为 30~60 万/套，按照 45 万/套计算，整体市场空间在 72 亿以上。

4.2.5 高速铁路

惯性技术是高速铁路检测中普遍采用的技术方法之一。高速铁路出现后，如何快速、准确地判断轨道是否发生型变、损失、路基是否沉降变得尤为重要，而基于惯性技术的路轨检测车则可以自动地测量轨道高低、轨向、水平、扭曲和轨距等轨道不平顺度以及轨道损伤等。因此，轨检小车一方面可用于铁路铺设，另一方面可以完成铁路的日常养护以及维修等。

图 46: GPS 惯导组合轨检小车

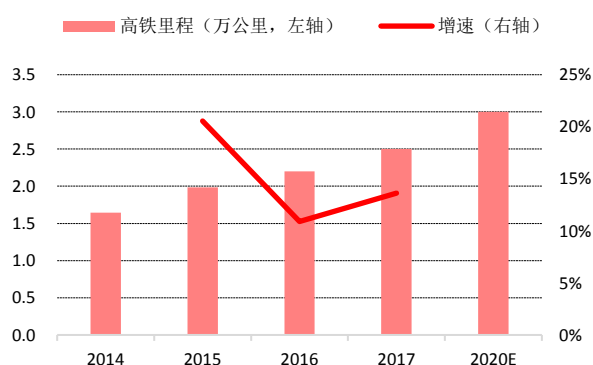


资料来源: 新浪网, 中信建投证券研究发展部

我国高速铁路轨道检测设备与发达国家相比有所滞后。作为全世界第一高铁大国,我国仍主要沿用过去的铁路检测设备,难以适应高速铁路发展的需要;而国外进口的轨道检测设备价格昂贵,以进口的 GEDO_CE 轨检小车为例,平均价格约为 140 万/套,且供货数量、供货周期都难以得到保障。

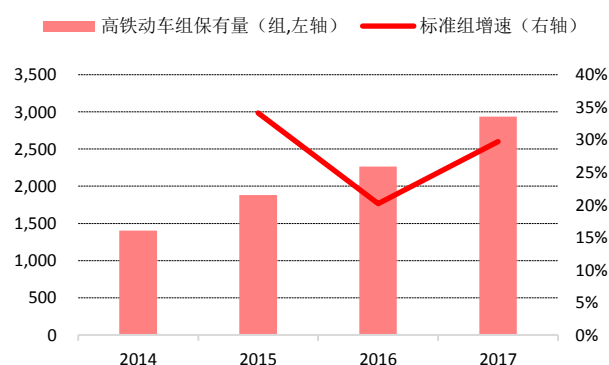
未来三年轨道检车小车需求约为 625 辆,平均每年市场空间约为 1.77 亿左右。根据我国中长期铁路规划,预计到 2020 年我国高速铁路里程将达到 3 万公里。截至 2017 年底,现有高速铁路里程为 2.5 万公里,未来三年将新增 0.5 万公里的高速铁路。根据相关铁路建设数据显示,平均每建设 40 公里高铁需要一辆轨道检测小车,则未来三年大约需要 125 辆。按照每 60 公里高铁需要一辆轨道小车进行维护,则 3 万公里需要 500 辆。我们认为,未来三年大约需要 625 辆轨道检测小车,按照小车出厂价 85 万/辆计算,平均每年市场空间约为 1.77 亿。

图 47: 预计 2020 年高铁里程达到 3 万公里



资料来源: Wind, 中信建投研究发展部

图 48: 高铁动车组数量稳步上升



资料来源: Wind, 中信建投研究发展部

目前,星网宇达等公司在供电弓网检测领域上也应用了惯导技术。弓网系统的作用是为电动列车提供电能,滑动接触,不间断、可靠安全地供电,因此需要测量供电弓网的空间几何位置信息,而星网宇达等公司可以提供基于惯性导航测量弓网潜在故障部位的产品,并且在 2016 年上半年给成都国铁电气提供了 31 套设备,估计价格在 30 万左右。

我们预计,未来三年基于惯性技术的供电弓网检测设备的市场空间在 1.5 亿至 2.0 亿左右。根据国家铁路局《2017 铁路统计公报》数据,2017 年我国在运动车组为 2935 标准组,列车为 23840 辆。不考虑行车密度增加,则 2018~2020 年我国仍需新增动车组 $587 \text{ 组} = 3 / (3 - 0.5) * 2935 - 2935$ 。若考虑行车密度增加,保守预计 2020 年每公里高铁动车组为 0.125 组,则新增数量为 815 组。我们预计,每辆高铁上配备一个光纤惯导,大致单价

在 20-30 万左右，未来三年市场空间在 1.5 亿至 2 亿左右。

4.2.6 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，多用于航向姿态测量，要求低寿命周期成本。民用飞机航路较为固定，且飞行环境比较平稳，一般来说主要依赖全球定位系统(GPS) 和地面导航设备，惯导系统只是作为一种补充手段。因此，对于民用飞机，惯性导航系统的经济性和可靠性因素占比较重，价格低、精度低、使用周期长的惯导系统更适合民用飞机。

目前，民机机型主要配置的是激光陀螺捷联惯性导航系统。20 世纪 80 年代中后期，环形激光捷联惯性导航系统开始大量装备民机，主要民机机型均配置了这种设备。目前，为民用飞机提供环形激光陀螺仪的公司主要为霍尼韦尔和诺格，如霍尼韦尔公司的 Laseref 系列惯性基准单元(IRU)，配套波音 737-300/400/500、747-400、757、767、787 及空客公司 A310、A300-600，以及巴西 Embraer170/175/190/195 等。诺格公司的激光捷联惯性基准系统 LTN90-100 用于 A300-600 及俄航的伊尔 96-300 客机；LTN92 用于波音 747、麦道 DC10、湾流 II/IV 等；LTN101 用于包括 A320、A330 和 A340 在内的多种客机和货运飞机等。

表 21：商飞、波音预计 2017-2036 年我国喷气式客机和涡扇支线客机市场

预测主体	机型	中国需求量（架）	中国市场空间（亿美元）
商飞	涡扇支线客机	1097	506
商飞	单通道喷气式客机	5475	5395
波音	单通道喷气式客机	5420	5837

资料来源：商飞、波音官网，中信建投证券研究发展部

由于光纤陀螺可靠性更高、寿命更长、成本更低，部分新机型准备采用光纤陀螺惯导系统。与当前环形激光陀螺技术相比，光纤陀螺技术所带来的更高的可靠性、更长的寿命对于民用飞机导航市场格外重要。诺格公司的 MEMS 加速度计和 FOG 基惯性基准单元 LTN101E 被 A380 飞机选用，FOG 构成的姿态航向参考系统 (ARHS)LCR92 大量装备支线飞机如多尼尔 328、隼 20 及湾流 G 等，以及 S-76、S-92 和贝尔 412 直升机。

随着我国民用飞机产量和国产化比例的提高，未来 20 年民用飞机惯导需求有望达到 2500 套。根据中国商飞预测，预计 2017~2036 年我国将需求单通道喷气式客机 5475 余架，涡扇支线客机 1097 架。截至 2018 年 5 月，单通道喷气式客机 C919 订单达 815 架，涡扇支线客机 ARJ21 订单达 453 架。我们预计，C919 未来 20 年产量有望达到 2000 架，ARJ21 产量达到 500 架，则国内民用飞机惯导需求将达到 2500 套。

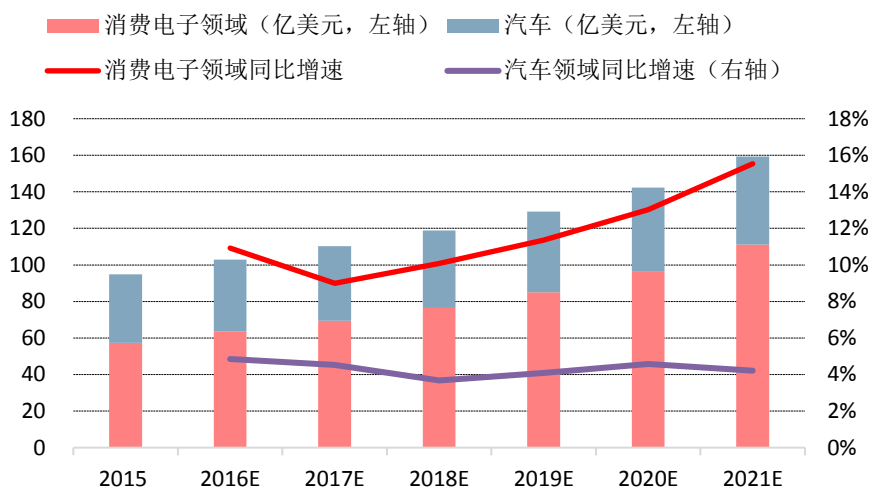
4.2.7 消费电子和汽车

MEMS 惯性传感器全球市场规模约 50 亿美元左右，下游主要应用领域为消费电子和汽车。根据半导体权威机构 Yole Development 的数据，预计到 2018 年，全球 MEMS 行业的产值将突破 220 亿美元，其中 MEMS 惯性传感器约占 MEMS 行业总规模的 23%，预计将在 50 亿美元左右，主要应用领域为消费电子和汽车。

低精度 MEMS 惯性传感器通常用在消费电子类产品上。这类产品包括手机、游戏机、无线鼠标、数码相机、硬盘保护器、智能玩具、计步器等等，主要用来进行加速度、倾斜、振动和转动测量。如智能手机中的加速度传感器，当用户拿着手机运动时，会出现上下摆动的情况，这样可以检测出加速度在某个方向上来回改变，通过检测改变的次数，从而实现计步功能。

中级精度 MEMS 惯性传感器通常作为工业级产品。这类产品主要用于汽车电子稳定系统（ESP 或 ESC）、精密农业、工业自动化、大型医疗设备、机器人、仪器仪表、工程机械等等。比如在汽车领域，通过惯性传感器测量加速度的变化，可及时打开安全气囊，保护驾驶员和乘客免受撞击伤害。

图 49：MEMS 传感器在全球消费电子和汽车领域市场规模



资料来源：Yole Développement，中信建投证券研究发展部

我们预计，2020 年我国 MEMS 惯性传感器市场将达到 150 亿。智研咨询数据显示，2015 年中国 MEMS 传感器市场规模为 308 亿元人民币。预计未来 5 年中国 MEMS 传感器年复合增长率在 20%左右，到 2020 年市场规模将近 650 亿元。假设惯性传感器依然占据 23%的市场份额，则 2020 年我国惯性传感器市场将接近 150 亿。

五、投资分析和重点公司推荐

5.1 投资分析：军用惯导市场规模超百亿，领域分工产业格局较为集中

我国从事惯性技术产品研发及生产的企业包括军工企业和民参军企业。军工企业包括航天科技九院（上市公司航天电子，非上市公司 13 所、16 所）、航天科工 33 所、中航工业 618 所、中船重工 707 所、兵器工业导控所和北方导航等等。由于在军用高精度惯性技术领域，西方发达国家仍对我国禁运，因此军工企业基本全部具备惯性陀螺仪的生产和研制能力。

中国航天科工三院 33 所，是中国从事惯导技术研究的核心单位之一，产品主要应用在导弹领域。公司研制成功中国首个弹用动调陀螺平台惯导系统，为多个系列导弹实现远程精确自主导航奠定了基础；研制成功中国首个全国产化激光捷联惯导系统、首个定型装备的光纤捷联惯导系统等。公司产品不但推动了我国飞航武器导航、制导与控制技术的发展，也被推广应用于防空武器、水中兵器、远程火炮等领域。33 所现有职工 2300 余人，拥有航天惯性、航天青半、航天万方三家公司，2015 年度营业收入达到 24.8 亿元水平，利润突破 2.4 亿元，预计 2017 年收入约为 33 亿。

中航工业 618 所隶属于中国航空工业集团，是我国航空工业导航、制导与控制（GNC）技术研发中心，其惯性技术主要应用于航空工业，尤其是军用飞机。618 所产品覆盖歼击机、运输机、轰炸机、直升机、无人机、导弹等多类飞行器，拥有飞行控制和惯性导航两个航空科技重点实验室。目前，618 所现有职工 2900 余人，2013 年实现营业收入 26.43 亿元，利润总额 1.72 亿元，净利润 1.59 亿元，预计 2017 年收入约为 34 亿左右。

图 50：中航工业 618 所部分惯导产品



资料来源：中航工业 618 所官网，中信建投证券研究发展部

中船重工 707 所是我国船舶行业惯性导航技术研究的核心单位，主要从事船舶导航与操控领域专业技术研究和系统设备供应。707 所产品主要有惯性导航系统、平台罗经、无线电导航、综合导航系统、操艇系统、计程仪等船用导航产品，也生产航天和陆用惯性敏感器和设备。中船重工集团 2016 年营收 2800 亿元，员工总数 16.3 万人，经济增加值 317 亿元，若按员工人数比例计算，707 所营业收入约为 27 亿元；若按经济增加值计算，707 所营业收入约为 3 亿元。结合我们对船用惯导市场规模的估算，我们预计，707 所营收规模约为 10 亿元。

表 22：707 所营收估算

	2016 年营收 (亿元)	2016 年经济增加值 (亿元)	2016 年员工总数 (万人)	707 所员工 人数	707 所营收(亿元)—— —以营收预估	707 所营收(亿元)—— —以经济增加预估
中船重工	2800	317	16.3	1600	27	3

资料来源：2016 年中船重工社会责任报告，中信建投证券研究发展部

导控所隶属于兵器工业集团，主要从事陆用、弹用惯导系统工程化研制。导控所主要业务包括陆用惯导、弹用惯导研制，制导火箭、弹药总体技术及控制部件工程化研制，卫星导航及无人平台等新技术产品研发等。公司光纤陀螺产量与工程化技术水平在国内居领先地位，光纤惯导系统产品已成功应用到 20 多种武器装备中。

导控所营收规模约为 10 亿元。截止到 2013 年末，导控所总资产为 7.9 亿元、净资产约为 2 亿元，员工人数为 450 人，净利润 2340 万元。我们按照员工、净资产、净利润和总资产四项，对比兵器工业集团对导控所的营收进行估算，平均约为 8.7 亿元，鉴于我们使用的是 2013 年的导控所数据，因此我们认为实际营收可能更高，2017 年营收规模约为 10 亿元。

表 23：导控所营收估算

	营业收入(亿元)	经济附加值(亿元)	员工总数(万人)	净资产(亿元)	总资产(亿元)
兵器工业集团(2016)	4074.06	70.60	25.25	1460.05	3692.95
导控所(2013)		0.23(净利润)	0.05	2.00	7.90
	按员工规模	按净资产规模	按净利润规模	按总资产规模	平均
预估营收(亿元)	7.26	5.58	13.27	8.72	8.71

资料来源：中信建投证券研究发展部

民用企业包括星网宇达、晨曦航空和耐威科技等等，由于中低精度陀螺仪发展成熟、货源充足、设备质量稳定，因此，民用企业多集中在中游，基本不具备陀螺仪的生产能力。整体来看，我国民用惯性技术企业仍处于发展初期，一方面占民用惯导市场比重较小，另一方面也尚未有企业具备完整的产业链，我们认为，民用惯导未来仍有较大发展空间

表 24：我国主要民用惯性导航企业收入和技术情况

公司	主要领域	营收(2017)	陀螺仪技术情况
耐威科技	航空惯性导航、航空发动机电子及无人机领域	总收入 6.01 亿，惯导收入约 1.21 亿	部分光纤陀螺仪及石英加速度计可自主研发生产，推进 MEMS 惯性传感器研究和生产，激光陀螺仪、光纤陀螺仪等均从专业厂家采购
星网宇达	主要开展惯性组合导航、惯性测量、惯性稳控产品的研发、生产及销售，主要应用在航空、航天、航海、电子、石油、测绘、交通及通信等多个领域	4.1 亿	均外购
晨曦航空	主营业务为研发、生产、销售航空机电产品及提供相关专业技术服务，主要产品及服务涉及航空惯性导航、航空发动机电子及无人机领域。	1.78 亿	均外购

资料来源：中信建投证券研究发展部

军用惯性导航市场规模约为 113 亿元-155 亿元。在航天、航空、舰船和战车等军用领域的惯导市场基本由

各大军工企业或院所垄断，采用自上而下的计算方法，我们对各企业或院所的营业收入规模进行估算，预计 2017 年我国军用惯性导航市场整体规模约 155 亿元；同时，采用自下而上的计算方法，根据装备建设情况，我们对惯性导航在军用领域各类应用场景规模进行估算，预计每年军用惯性导航市场整体规模约为 113 亿元。我们认为，目前我国在国防信息化领域投入不断加大，超过军费支出和装备建设投资平均增速，同时我国惯性导航技术仍具备较大发展空间，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。

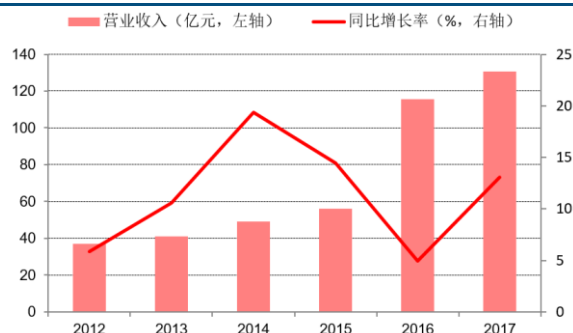
表 25：我国军用惯性导航企业收入规模推测

母公司	子公司	主要应用领域	产品	营收（公开资料）	营收（2017E）
航天科技集团	航天电子 13 所、16 所	航天火箭、导弹等	基本涵盖所有惯导产品	20 亿（惯性领域，2015 年） 30 亿（2016 年）	60
航天科工集团	三院 33 所	导弹等	高精度平台式惯导系统、激光捷联式惯导系统、光纤捷联航姿系统等等	24.8 亿（2015）	33
中航工业集团	618 所	军用飞机等	挠性平台式惯导系统、挠性捷联综合惯导系统、激光捷联式惯导系统、光纤捷联航姿系统等等	26.43 亿（2013）	34
中船重工集团	707 所	船舶行业等			10 亿
兵器工业集团	导控所 北方导航	陆用惯导等	光纤陀螺、陆用惯导、弹用惯导		10 亿
其它民参军企业					8 亿
合计					155 亿

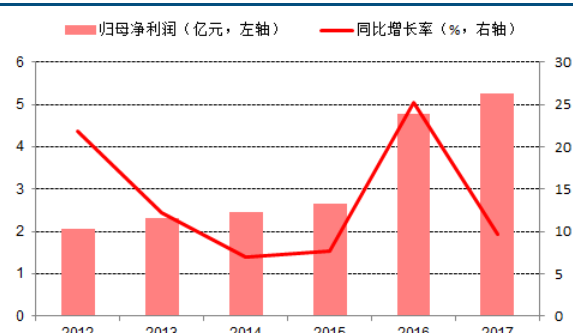
资料来源：中信建投证券研究发展部

5.2 航天电子：惯性导航龙头企业，军民融合潜力巨大

受益于我国航天事业的快速发展，公司近年营收净利均保持稳定增长。2017年，公司实现营业收入130.54亿元，同比增长13.04%；实现归属上市公司股东净利润5.25亿元，同比增长9.73%。由于2017年费用化研发投入较2016年增加近5000万元，公司净利润增速较营收增速偏低。

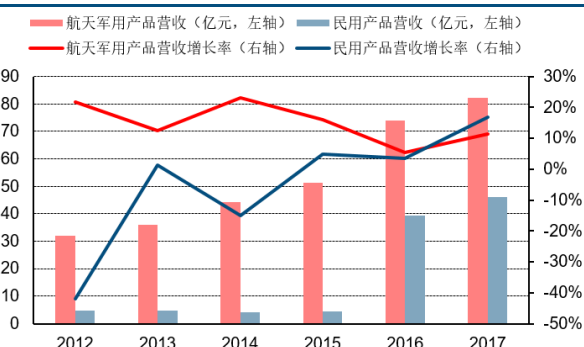
图 51：2012-2017 年公司营收及增速情况


资料来源：公司年报，中信建投研究发展部

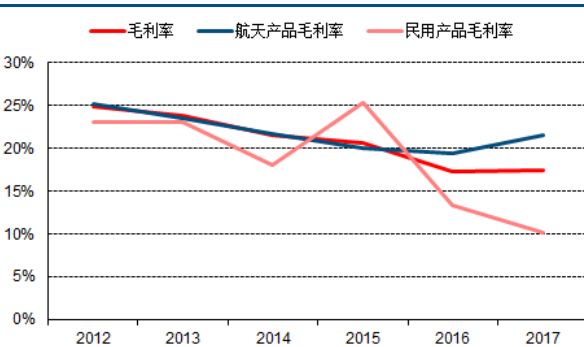
图 52：2012-2017 年公司净利及增速情况


资料来源：公司年报，中信建投研究发展部

公司2016年完成资产重组并入航天电工，航天电工主要产品为民品电线电缆，使得公司民品营收占比由2015年的8%上升到2016年的34%。由于民品电线电缆业务毛利率较低，2016年公司整体毛利率为17.28%，同比下降3.36个百分点。2017年公司航天产品毛利率为21.57%，同比增长2.22个百分点，民用产品毛利率为10.21%，同比下降3.19个百分点，公司整体毛利率为17.51%，结束了连续多年的下滑态势，有望企稳。

图 53：近年公司营收情况（分产品）


资料来源：公司年报，中信建投研究发展部

图 54：近年公司毛利率情况


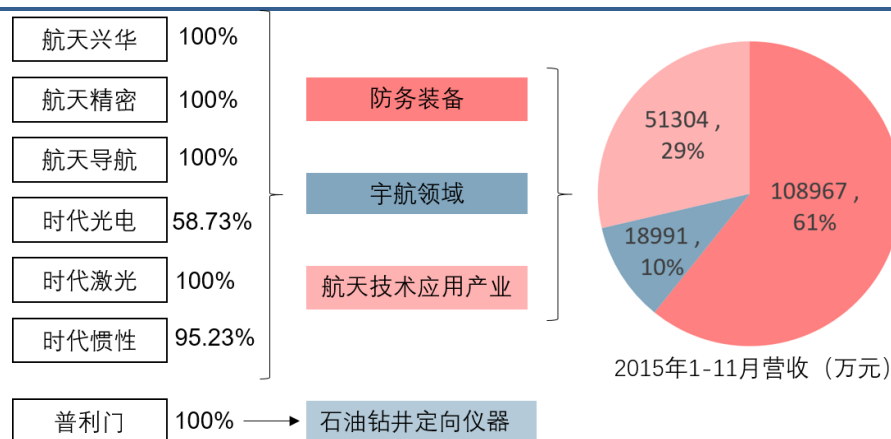
资料来源：公司年报，中信建投研究发展部

我国惯性导航研制生产单位主要有航天九院13所、航天三院33所、中航工业618所和北方导航等军工科研院所。随着军民融合的推进，部分民营企业如晨曦航空、耐威科技和星网宇达等也参与到军用惯导的生产。从技术水平和市场规模来看，国家军工科研院所技术先进，占据了绝大部分惯导市场，其中航天九院在我国惯导领域占据龙头地位。

通过2016年重大资产重组完善惯导板块，营收大部来自防务装备。2016年公司重组，分别以从北京兴华机械厂、陕西航天导航设备有限公司、陕西苍松机械厂购买的经营性资产和负债设立航天兴华、航天导航和航天精密三家子公司，并收购时代光电58.73%股权、时代激光50%股权和时代惯性76.26%股权，使公司惯性导航板块进一步完善。目前，公司惯性导航板块共有7家子公司：航天兴华等6家子公司主营业务分部在防务装备、

宇航和航天技术应用产业三个领域，其中大部分营收来自防务装备配套；另外，普利门主营石油钻井定向仪器设计、生成和销售。

图 55：2016 年重组后公司持股比例及惯导产品分领域营收



资料来源：公司公告，中信建投研究发展部

实战化练兵加速新型武器装备列装，大幅提升导弹、弹药等消耗品需求。18 年初全军发布了新军事训练大纲，表明实战化已经成为新时期军事训练的主要特点。新大纲对武器装备各项指标提出更高要求，落后装备将加速淘汰，新装备加速列装，另外，对于导弹、弹药等武器耗材而言，实战化训练将更多的采用实弹射击，加大了对导弹、弹药等的消耗，进而增加了采购需求。

惯导业务是公司的另一主要利润来源，近两年占公司归母净利润比例约为 27%、29%。公司在惯导领域技术优势突出，不仅向航天领域配套，还积极拓展空空导弹、运输机、直升机、鱼雷、地面装备等各个领域。受益于我国军费保持较快增长以及实战化训练催生的消耗类弹药需求，公司惯导业务将保持较快发展。

表 26：惯性导航相关子公司历年业绩

子公司	持股比例	子公司净利润 (亿元)						
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
时代激光	100%	-0.15	/	/	0.27	/	0.3	0.37
航天兴华	100%	/	/	0.11	0.12	/	0.26	0.28
陕西导航	100%	/	/	0.11	0.15	/	0.26	0.33
时代光电	58.73%	/	/	0.21	0.19	/	0.32	0.37
西安精密	100%	/	/	0.22	0.26	/	/	/

资料来源：公司公告，中信建投证券研究发展部

公司控股股东中国航天科技集团公司九院是航天电子专业大型科研生产联合体，拥有多家优质科研院所资产，其中 771 所、772 所是航天领域仅有的集成电路专业研究所，13 所是我国最早组建的惯性技术专业科研单位，是我国航天惯性技术的奠基者。九院下属研究所技术实力突出，军转民潜力巨大，改制后有望激发活力。

2017 年 7 月，国防科工局在京组织召开军工科研院所转制工作推进会，宣告启东首批 41 家军工科研院所转制工作，标志着军工科研院所转制工作进入实施阶段。航天九院下属研究所业务与上市公司业务紧密相关，完成改制后大概率将注入上市公司，进一步增厚公司业绩。

公司作为航天电子设备配套龙头，受益于航天强国发展战略，业绩稳健增长可期；无人机、精确制导炸弹两类系统级产品毛利较高，随着军改影响的逐渐消除和国家“一带一路”战略的持续推进，未来放量可期；院所改制步入实施阶段，航天九院下属多家研究所改制后有望注入上市公司，将进一步提升公司盈利能力。预计公司 2018 年至 2020 年的归母净利润分别为 6.21、7.22、8.41 亿元，同比增长分别为 18.26%、16.22%、16.50%，相应 18 至 20 年 EPS 分别为 0.23、0.27、0.31 元，对应当前股价 PE 分别为 29、25、22 倍，维持增持评级。

表 27：航天电子主业盈利预测

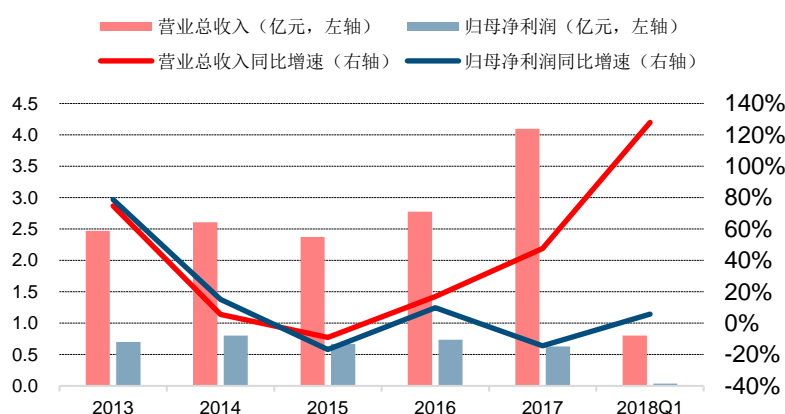
年份	2017E	2018E	2019E	2020E
测控通信业务净利润/百万元	287	321	360	403
同比 (%)	16%	12%	12%	12%
惯性导航业务净利润/百万元	153	175	201	232
同比 (%)	18%	15%	15%	15%
机电组件业务净利润/百万元	94	105	118	132
同比 (%)	8%	12%	12%	12%
集成电路业务净利润/百万元	35	39	44	49
同比 (%)	10%	12%	12%	12%
系统级业务净利润/百万元	20	26	39	59
同比 (%)	/	30%	50%	50%
电线电缆业务净利润/百万元	98	128	147	169
同比 (%)	10%	32%	15%	15%
母公司及其他子公司合计亏损	-162	-174	-188	-203
净利润合计 (亿元)	5.25	6.21	7.22	8.41
同比 (%)	9.73	18.26	16.22	16.50
EPS (元)	0.19	0.23	0.27	0.31
P/E	36	29	25	22

资料来源：中信建投研究发展部，PE 对应 8 月 26 日收盘价

5.3 星网宇达：惯性技术领先企业，产品覆盖军民领域

受益于惯性技术在军民领域中的快速应用，公司营收和净利润自 2011 年以来，便保持高速增长。营业总收入从 2011 年的 0.97 亿增长到 2017 年的 4.1 亿元，年均复合增速达 27.16%；净利润从 2011 年的 0.11 亿元增长到 0.63 万元，年均复合增速达 33.78%。2018 年 Q1 营收为 0.8 亿元，同比增长达 127.94%，随着募投项目产能的逐渐释放，公司业绩有望保持稳速增长。

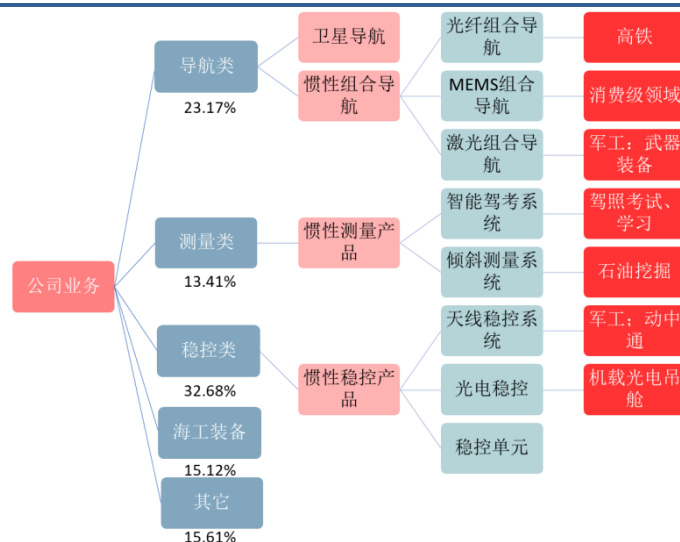
图 56：星网宇达营收及增速情况



资料来源：Wind，中信建投证券研究发展部

公司主要产品都是以惯性技术为核心，主要分为惯性组合导航产品、惯性测量产品及惯性稳控产品三大类，产品覆盖多个军民应用领域。公司的主营业务处于整个惯性技术应用产业链的中游，是连接上游惯性器件、芯片、基础元器件生产厂商与产品使用者与终端用户的桥梁，并直接面对下游不断扩展的各应用行业。

图 57：星网宇达具体产品结构、分类

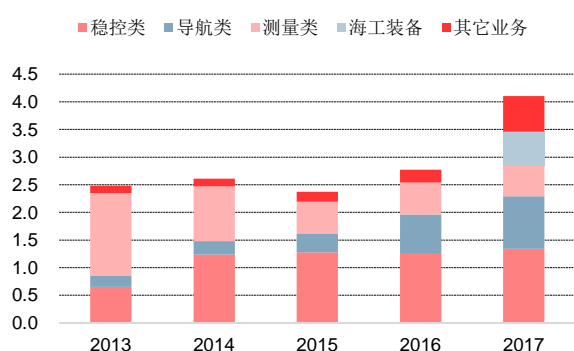


资料来源：Wind

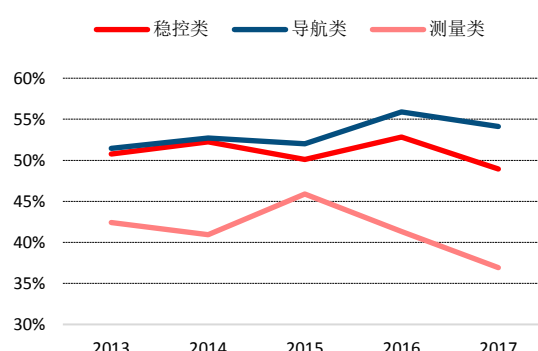
惯性组合导航产品可以动态确定载体的位置以及姿态等信息，产品包含光纤组合导航、MEMS 组合导航和激光组合导航，2017 年收入为 0.95 亿元，占总收入比重为 23.17%，毛利率为 54.11%；

惯性测量系统主要功能是感知系统所在位置及姿态变化并进行记录和反馈，从而得出系统一段时间内的位置、姿态变化情况，目前已应用于石油测斜、城市测绘、地质监测、驾驶员考试等领域。公司主要产品包括北斗高精度测量产品、北斗智能驾考系统和倾斜测量系统，2017 年营收为 0.55 亿元，占营业总收入的 13.41%，毛利率为 36.92%；

惯性稳控产品主要功能是通过不间断的监测系统姿态位置变化，动态调整系统姿态，使系统对设定目标保持相对稳定。主要产品包括天线稳控产品和光电稳控产品，其中天线稳控产品主要为卫星动中通天线，光电稳控产品包括船用、车用光电探测稳瞄系统及机载吊舱。2017 年收入为 1.34 亿元，占总收入比重为 32.68%，毛利率为 48.94%。

图 58：星网宇达各业务收入情况


资料来源: Wind, 中信建投研究发展部

图 59：星网宇达各业务毛利率情况


资料来源: Wind, 中信建投研究发展部

今年年底募投项目有望投产，预计新增年销售收入 5.52 亿元，净利润 1.48 亿元。公司募投项目包含四项，其中投资项目中的“惯性导航与测控产品产业化项目”达产之后预计年生产惯性测量产品 1200 套，惯性组合导航产品 550 套，惯性稳控产品 350 套；“基于北斗的新一代驾驶人考训系统产业化项目”达产预计年生产驾驶人考试系统 6,000 套和驾驶人训练系统 7,800 套；“基于惯性技术的铁路轨道检测设备产业化项目”达产预计年生产铁路轨道检测设备 90 套。根据公司最新公告，公司募投项目有望于今年年底投产，投产之后公司产能将大幅提升，完全达产后预计新增年销售收入 5.52 亿元，净利润 1.48 亿元。

表 28：截至 2017 年底公司募投项目进展情况

项目名称	募投内容	拟投入募集资金	累计投入募集资金总额	达产后预计实现年销售收入 (亿元)	达产后预计实现年净利润 (亿元)	投资进度	预计可使用状态日期
惯性导航与测控产品产业化项目	惯性测量产品 1,200 套，惯性组合导航产品 550 套，惯性稳控产品 350 套	16500	11648.17	3.34	0.91	70.59%	2018/10/31
基于北斗的新一代驾驶人考训系统产业化项目	驾驶人考试系统 6,000 套和驾驶人训练系统 7,800 套	10144.82	4099.69	1.42	0.36	40.41%	2018/12/31
惯性技术研发中心项目	铁路轨道检测设备 90 套	4200	3461.77	0.77	0.21	82.42%	2018/12/31

合计 30844.82 19209.63 5.52 1.48 62.28%

资料来源：公司公告，中信建投研究发展部

公司作为惯性导航领域的民参军龙头企业，主要产品以惯性技术为核心，涵盖惯性组合导航产品、惯性测量产品及惯性稳控产品三大类，产品覆盖多个军民应用领域。募投项目有望于今年年底投产，投产之后公司产能将大幅提升。预计公司 2018 年至 2020 年的归母净利润分别为 1.25、1.79、2.3 亿元，同比增长分别为 99.92%、42.69%、28.40%，相应 18 至 20 年 EPS 分别为 0.78、1.12、1.44 元，对应当前股价 PE 分别为 29、20、16 倍，维持增持评级。

表 29：星网宇达盈利预测表

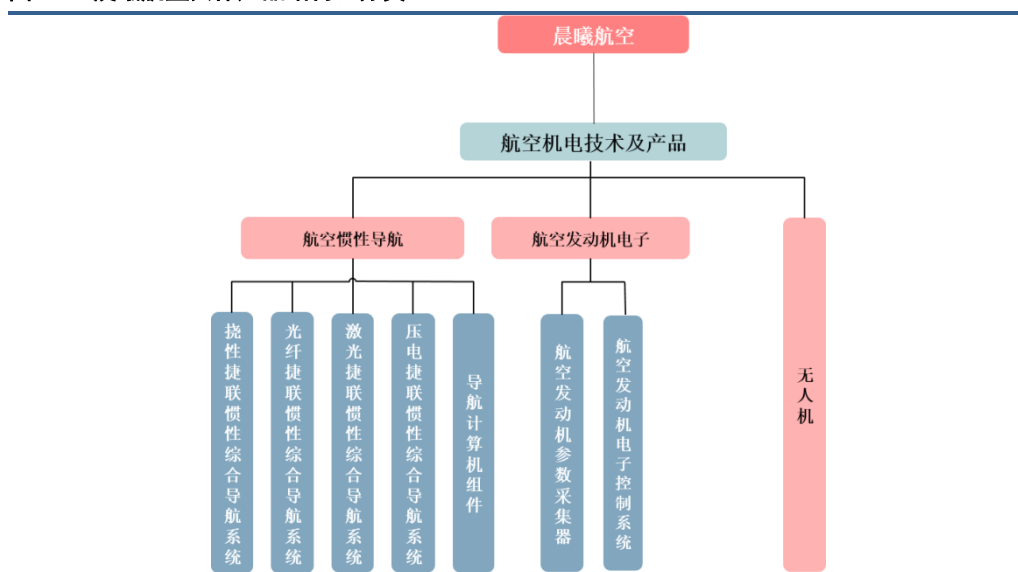
	2017A	2018E	2019E	2020E
营业收入(百万)	409.57	717.89	932.45	1187.21
同比 (%)	47.64%	75.28%	29.89%	27.32%
净利润(百万)	62.74	125.43	178.98	229.81
同比 (%)	-14.43%	99.92%	42.69%	28.40%
EPS (元)	0.39	0.78	1.12	1.44
P/E	58	29	20	16

资料来源：中信建投研究发展部，PE 对应 8 月 26 日收盘价

5.3 晨曦航空：深耕军航惯导领域，战略布局光学陀螺惯导产业

公司主要从事军用航空惯导产品的生产和销售。公司主要产品及服务涉及航空惯性导航、航空发动机电子及无人机领域。其中惯性导航是公司第一大收入来源，在惯性导航方面，公司主要生产导航计算机组件、挠性捷联、激光捷联、光纤捷联等惯性组合导航系统，主要应用于直升机、运输机和无人机等机型。

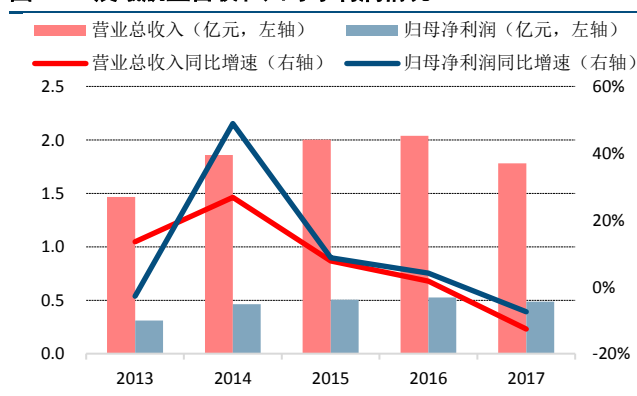
图 60：晨曦航空具体产品结构、分类



资料来源：公司公告，中信建投研究发展部

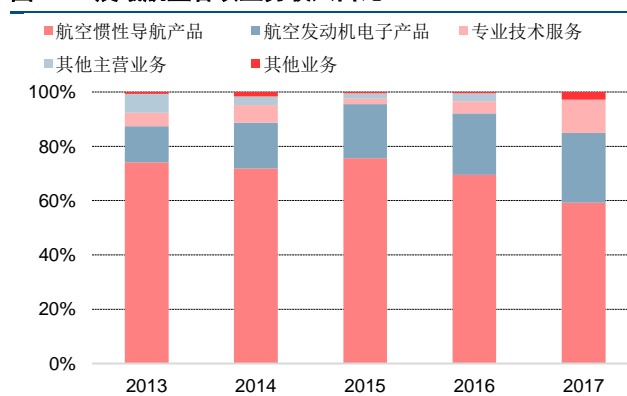
公司 2017 年营收为 1.78 亿元，同比下降 12.63%，归母净利润为 4852.14 万元，同比下降 7.46%，毛利率为 51.85%。2013-2017 年营收复合增长率为 4.95%，归母净利润为 11.7%。分业务看，惯导产品是公司主要收入来源，占收入的 60%，毛利率为 45.4%；航空发动机电子占收入的 26%，毛利率为 50.7%；专业技术服务占收入的 12%，毛利率为 85.6%。

图 61：晨曦航空营收和归母净利润情况



资料来源：Wind，中信建投研究发展部

图 62：晨曦航空各项业务收入占比

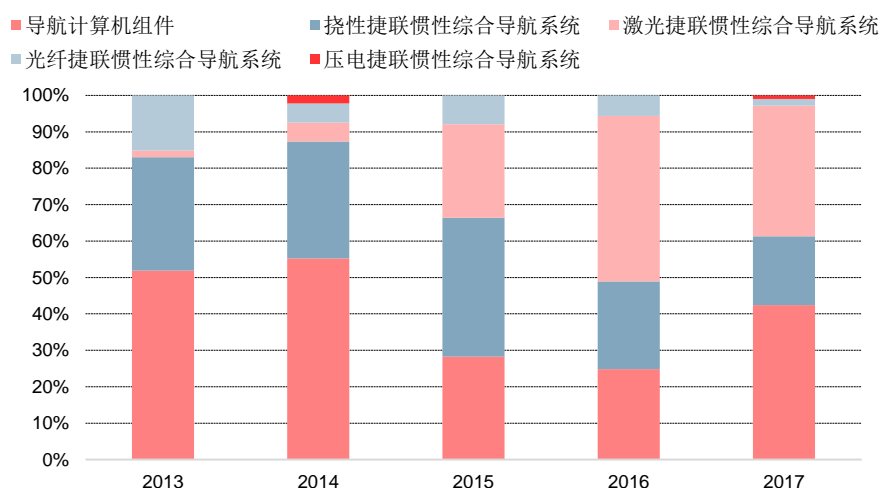


资料来源：Wind，中信建投研究发展部

根据我们对未来军用飞机惯导系统的研究，未来我国军机将主要采用激光或者光纤陀螺惯导系统。从公司收入也可以发现，公司挠性惯导占比持续下降，预计未来将逐步被淘汰。随着公司募投项目中对光学陀螺生产和研发的逐步投入，我们认为，公司未来有可能实现光学陀螺全产业的生产与配套，届时将有望受益于我国军

用飞机的更新换代。

图 63：晨曦航空挠性惯导占比持续下降



资料来源：公司公告，中信建投研究发展部

表 30：截至 2018 年 6 月公司募投项目进展情况

承诺投资项目	募集资金承诺投资总额(万元)	截至期末累计投入金额(万元)	截至期末投资进度(%)	项目达到预定可使用状态日期
承诺投资项目				
1、航空机载设备产品生产线建设项目	18407.12	2347.79	12.75	2018/12
2、研发中心建设项目	6233.92	933.75	14.98	2018/12
承诺投资项目小计	24641.04	3281.54		
合计	24641.04	3281.54		

资料来源：公司公告，中信建投研究发展部

公司惯导及航发电子产品前景广阔，行业前景广阔，直升机参数采集器、数字式电子控制系统、无人机有望为公司带来新的业绩增长点。我们坚定看好公司未来发展前景，预测公司 2018 年至 2020 年的归母净利润分别为 0.56 亿元、0.64 亿元、0.72 亿元，同比增长分别为 15.85%、13.09%、13.61%，相应 18 年至 20 年 EPS 分别为 0.33、0.37、0.42 元，对应当前股价 PE 分别为 34、30、26 倍，给予增持评级。

表 31：晨曦航空盈利预测表

	2017A	2018E	2019E	2020E
营业收入(百万)	177.94	210.24	238.45	271.14
同比(%)	-12.63%	18.15%	13.42%	13.71%
净利润(百万)	48.52	56.21	63.57	72.22
同比(%)	-7.46%	15.85%	13.09%	13.61%
EPS(元)	0.28	0.33	0.37	0.42
P/E	39	34	30	26

资料来源：中信建投研究发展部，PE 对应 8 月 26 日收盘价

分析师介绍

黎韬扬：北京大学硕士，军工行业首席分析师。2015-2017 年新财富军工行业第一名团队核心成员，2015-2016 年水晶球军工行业第一名团队核心成员，2017 年水晶球军工行业第二名，2015-2016 年 Wind 军工行业第一名团队核心成员，2017 年 Wind 军工行业第二名，2016 年保险资管最受欢迎分析师第一名团队核心成员，2017 年保险资管最受欢迎分析师第二名。

研究助理：刘永旭，南开大学金融硕士，2018 年 7 月加入中信建投军工团队。

研究服务

社保基金销售经理

姜东亚 010-85156405 jiangdongya@csc.com.cn

机构销售负责人

赵海兰 010-85130909 zhaohailan@csc.com.cn

保险组

张博 010-85130905 zhangbo@csc.com.cn

高思雨 gaosiyu@csc.com.cn

张勇 010-86451312 zhangyongzgs@csc.com.cn

张宇 010-86451497 zhangyuyf@csc.com.cn

北京公募组

黄玮 010-85130318 huangwei@csc.com.cn

朱燕 85156403 zhuyan@csc.com.cn

任师蕙 010-8515-9274 renshihui@csc.com.cn

黄杉 010-85156350 huangshan@csc.com.cn

王健 010-65608249 wangjianyf@csc.com.cn

杨济谦 yangjiqian@csc.com.cn

私募业务组

李静 010-85130595 lijing@csc.com.cn

赵倩 010-85159313 zhaopian@csc.com.cn

上海地区销售经理

黄方禅 021-68821615 huangfangchan@csc.com.cn

戴悦放 021-68821617 daiyuefang@csc.com.cn

李祉瑶 010-85130464 lizhiyao@csc.com.cn

翁起帆 wengqifan@csc.com.cn

李星星 lixingxing@csc.com.cn

范亚楠 fanyanan@csc.com.cn

李绮绮 liqiqi@csc.com.cn

薛皎 xuejiao@csc.com.cn

许敏 xuminzgs@csc.com.cn

王罡 wanggangbj@csc.com.cn

深广地区销售经理

胡倩 0755-23953981 huqian@csc.com.cn

许舒枫 0755-23953843 xushufeng@csc.com.cn

程一天 chengyitian@csc.com.cn

曹莹 caoyingzgs@csc.com.cn

张苗苗 020-38381071 zhangmiaomiao@csc.com.cn

廖成涛 0755-22663051 liaochengtao@csc.com.cn

陈培楷 020-38381989 chenpeikai@csc.com.cn

评级说明

以上证指数或者深证综指的涨跌幅为基准。

买入：未来 6 个月内相对超出市场表现 15% 以上；

增持：未来 6 个月内相对超出市场表现 5—15%；

中性：未来 6 个月内相对市场表现在-5—5% 之间；

减持：未来 6 个月内相对弱于市场表现 5—15%；

卖出：未来 6 个月内相对弱于市场表现 15% 以上。

重要声明

本报告仅供本公司的客户使用，本公司不会仅因接收人收到本报告而视其为客户。

本报告的信息均来源于本公司认为可信的公开资料，但本公司及研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证，也不保证本报告所包含的信息或建议在本报告发出后不会发生任何变更，且本报告中的资料、意见和预测均仅反映本报告发布时的资料、意见和预测，可能在随后会作出调整。我们已力求报告内容的客观、公正，但文中的观点、结论和建议仅供参考，不构成投资者在投资、法律、会计或税务等方面的最终操作建议。本公司不就报告中的内容对投资者作出的最终操作建议做任何担保，没有任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺。投资者应自主作出投资决策并自行承担投资风险，据本报告做出的任何决策与本公司和本报告作者无关。

在法律允许的情况下，本公司及其关联机构可能会持有本报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或类似的金融服务。

本报告版权仅为本公司所有。未经本公司书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布本报告。任何机构和个人如引用、刊发本报告，须同时注明出处为中信建投证券研究发展部，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和/或修改。

本公司具备证券投资咨询业务资格，且本文作者为在中国证券业协会登记注册的证券分析师，以勤勉尽责的职业态度，独立、客观地出具本报告。本报告清晰地反映了作者的研究观点。本文作者不曾也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

股市有风险，入市需谨慎。

中信建投证券研究发展部

北京

东城区朝内大街 2 号凯恒中心 B 座 12 层（邮编：100010）
电话：(8610) 8513-0588
传真：(8610) 6560-8446

上海

浦东新区浦东南路 528 号上海证券大厦北塔 22 楼 2201 室（邮编：200120）
电话：(8621) 6882-1612
传真：(8621) 6882-1622

深圳

福田区益田路 6003 号荣超商务中心 B 座 22 层（邮编：518035）
电话：(0755) 8252-1369
传真：(0755) 2395-3859