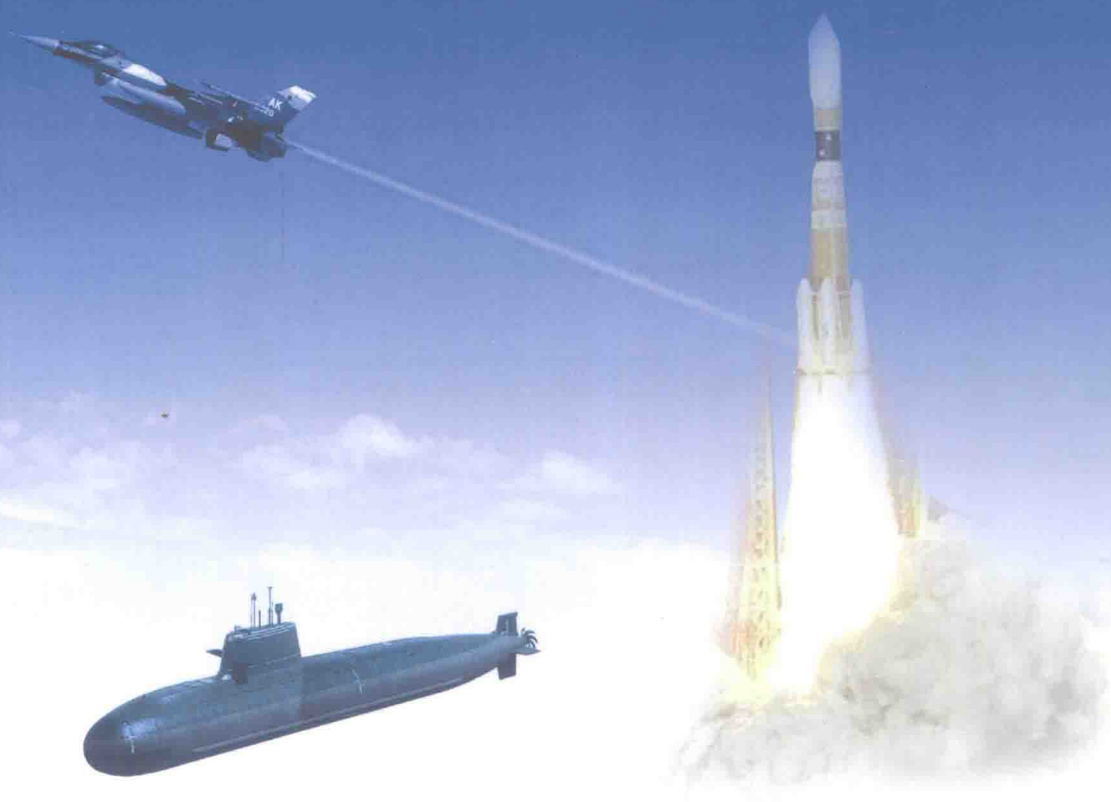


MEMS惯性传感器技术

INERTIAL SENSOR TECHNOLOGY

张志英 编著

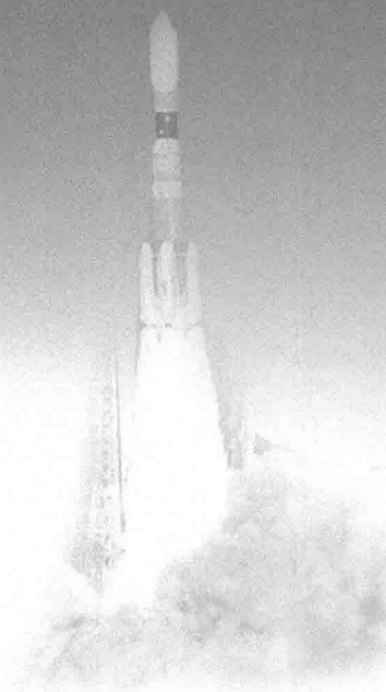
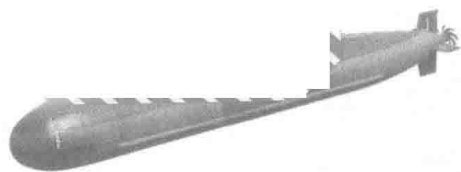


西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

MEMS惯性传感器技术

INERTIAL SENSOR TECHNOLOGY

张志英 编著



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

MEMS 惯性传感器技术/张志英编著. —西安:
西安交通大学出版社, 2015. 5
ISBN 978-7-5605-7265-9

I. ①M… II. ①张… III. ①微电子技术-惯性传感器-研究 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 080042 号

书 名 MEMS 惯性传感器技术
编 著 张志英
责任编辑 任振国 刘雅洁

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网 址 <http://www.xjtupress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315(总编办)
传 真 (029)82668280
印 刷 虎彩印艺股份有限公司

开 本 720mm×1000mm 1/16 印张 17.75 彩页 1 字数 322 千字
版次印次 2016 年 12 月第 1 版 2016 年 12 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-7265-9
定 价 80.00 元

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82665640

读者信箱:lg_book@163.com

版权所有 侵权必究



作者张志英，男，1942年出生于陕西省西安市周至县。高级工程师。1962年考入西安交通大学，就读于电机工程系工业企业电气化与自动化专业。毕业后分配到国防科委第六研究院第六一八研究所工作，从事飞机自动飞行控制系统总体的研究。着重于自动飞行控制系统总体电路和机内自检测（BIT）及传感器分系统的研究。在研究所工作的三十五年中，参加了五个大课题的研究工作。曾在国家第七个五年计划（七五）和第八个五年计划（八五）的航空重大科研项目中荣立二、三等功，并荣获科学技术成果奖和科学技术进步奖一、二、三等奖等，发表论文十数篇。曾任中国航空工业第六一八研究所飞机自动飞行控制系统总体专业组副组长，中国航空工业部ACT项目ICD工作组组长等职。

1987年，受中国航空工业部派遣，作为ACT专家代表团成员，出访德意志联邦共和国。还应邀参加《电气工程师手册》（第二版，2000年6月，机械工业出版社出版）和《自动飞行控制系统》（2003年1月，国防工业出版社出版）两书的编写。

退休后，受聘于西安高新技术开发区和北京中关村高新技术企业，从事MEMS惯性传感器的研发和自动测量及自动控制系统的集成。曾任公司研发部部长、副总经理、总工程师、技术专家等职，是国内最早研发出MEMS惯性传感器的领军人，也是国内最早为企业获得MEMS惯性传感器“微机械-电子系统技术固态角速率陀螺”（2004年7月23日）和“微机械-电子系统技术惯性测量单元”（2005年5月19日）两项发明专利的带头人。

序 言

传感是非感觉器官的一种正常感觉活动,把这种正常感觉活动主观地推测为从一段距离之外接收到与感觉印象相似的一种印象就是传感的概念。把这种印象变为实体的物理器件就是传感器。把非感觉器官的与感觉印象相似的各种印象通过多种多样的手段做成可显、可观、可测的器件就是传感器技术。传感器技术是一门学科跨度范围相当大的技术,它是综合测量技术、信息处理技术、半导体技术、计算机技术、材料学、光学、声学、仿生学、微电子学及微机械学等多学科的综合性学科。惯性传感器技术是与物体运动的惯性有关的传感器技术。而 MEMS 惯性传感器技术又是以现代先进的 MEMS 工艺技术为制作手段的惯性传感器技术。

在 1962 年,笔者进入大学时购买的中苏共同编著的《俄华辞典》里还没有传感器(датчик)这个单词。但到了 20 世纪 70 年代,苏联人发表了一篇文章说 21 世纪将是传感器的时代。是的,现代一辆高级小轿车已用到上百个传感器,其中惯性传感器占较大比例。近二十多年来,MEMS 惯性传感器迅速兴起,并以体积小、重量轻、启动快、可靠性高等独特优势受到各技术领域的青睐。现今,越来越多的技术领域都已经或正在使用 MEMS 惯性传感器。

MEMS 惯性传感器是依据惯性原理对运动载体角速率和线加速度进行测量的敏感元件。MEMS 惯性传感器包括 MEMS 角速率陀螺和 MEMS 线加速度计两大类,角速率信号和线加速度信号是各类测控系统、自动控制系统,特别是闭环自动控制系统必不可少的两大信号。近年来 MEMS 技术的研究与开发飞速发展,基于 MEMS 技术的惯性传感器种类、品牌越来越多,MEMS 惯性传感器的精度和工作可靠性越来越高,在军工领域和民用工业领域 MEMS 惯性传感器的应用越来越广泛。

MEMS 惯性传感器的研发设计、生产制造和推广应用是现今许多大中型企事业单位的重要经营业务。我们在自动控制、惯性导航定位、平台稳定、运动载体姿态检测控制方面广泛推广新型 MEMS 惯性传感器,并拥有一批成熟稳定的客户群和一些成功的应用实例。编写该书,旨在提供给各技术领域打算研发、测试和使用 MEMS 惯性传感器的工程技术人员参考,在 MEMS 惯性传感器产品技术消化和选型工作中得到支持和帮助。同时该书既可作为大专院校学生的学习参考资料,

也可作为企事业单位研发工程师、销售工程师和技术服务工程师的上岗培训教材。

作者曾在中国航空工业第六一八研究所(自控所)工作 35 年之久,从事飞机自动飞行控制系统总体的研究工作,着重于自动飞行控制系统总体电路和机内自检测(BIT)及传感器分系统的研究。退休后又受聘于西安和北京高新技术企业,置身于惯性传感器的开发应用,潜心从事 MEMS 惯性传感器的研发,不仅是国内最早研发出 MEMS 惯性传感器的领头人之一,而且先后研发不同型号 MEMS 惯性传感器达百余种。退休后,在企业工作的十余年中特别注重培养年轻人,为培训年轻人而编写的成套课件有 16 篇,不仅在企业给研发、销售工程师们传授,还在大学给硕、博士研究生们讲授,在科研院所给高级工程师、研究员等工程技术人员讲解。同时还为西安和北京有关企业打造建设了四条 MEMS 角速率陀螺、MEMS 线加速度计生产线,并在 MEMS 惯性传感器的测试中积累了一些经验。本书既是作者退休后研发 MEMS 惯性传感器工程技术理论的概括,也是作者本人 45 年来部分工作经验的总结。

本书从 MEMS 惯性传感器的基本概念出发,简单介绍了 MEMS 惯性传感器的术语、分类、功能及作用原理;从研发和技术服务的角度简述了 MEMS 惯性传感器的敏感极性和参数计算及其调整;给出了企业制造 MEMS 角速率陀螺的两个企业标准;详细介绍了一单轴较大量程 MEMS 硅角速率陀螺的制造工艺;介绍了 MEMS 惯性传感器的测试项目、测试方法及环境试验;也从性能参数出发阐述了 MEMS 惯性传感器的选择原则,并介绍了国内外可供选择的 MEMS 惯性传感器产品及其他像光纤陀螺、激光陀螺、垂直陀螺等惯性传感器产品;特列了 33 个作者牵头自行研制的不同量程型号的 MEMS 硅角速率陀螺使用说明书及其注释和国内外 22 个 MEMS 石英角速率陀螺技术条件及其注释;又从 MEMS 惯性传感器的应用角度讲述了 MEMS 惯性传感器应用的技术领域、MEMS 角速率陀螺的应用特点和 MEMS 惯性传感器的安装要求;还对十余年来 MEMS 惯性传感器在各技术领域中典型的应用实例进行了一些粗浅的解析;最后,简单地介绍了 MEMS 惯性传感器的测试仪器和设备。

在此还要感谢国务院特殊津贴获得者、研究员级高级工程师、原轻工部钟表研究所副总工程师张志京先生对本书插图所做的精细工作。

书中仍有不妥之处,敬请读者予以指正。

张志京

二零一六年九月初八

目 录

第 1 章 MEMS 惯性传感器术语	(1)
1.1 综合术语	(1)
1.2 MEMS 角速率陀螺术语	(5)
1.3 MEMS 线加速度计术语	(8)
第 2 章 MEMS 惯性传感器分类	(11)
2.1 MEMS 角速率陀螺分类	(11)
2.2 MEMS 线加速度计分类	(12)
第 3 章 MEMS 惯性传感器的功能	(14)
3.1 MEMS 角速率陀螺的功能	(14)
3.2 MEMS 线加速度计的功能	(14)
第 4 章 MEMS 惯性传感器作用原理	(16)
4.1 MEMS 角速率陀螺作用原理	(16)
4.1.1 MEMS 硅角速率陀螺的科里奥利作用原理	(16)
4.1.2 MEMS 石英角速率陀螺的科里奥利作用原理	(16)
4.2 MEMS 线加速度计作用原理	(17)
4.2.1 MEMS 硅线加速度计的牛顿第二定律作用原理	(18)
4.2.2 MEMS 石英线加速度计的牛顿第二定律作用原理	(18)
第 5 章 MEMS 惯性传感器的敏感极性	(21)
5.1 MEMS 角速率陀螺的敏感极性	(21)
5.2 MEMS 线加速度计的敏感极性	(22)
5.3 MEMS 惯性测量单元 IMU 的敏感极性	(22)

第 6 章 MEMS 惯性传感器的调整	(25)
6.1 MEMS 硅角速率陀螺的调整	(25)
6.1.1 敏感极性的确定	(25)
6.1.2 测量范围的扩展	(25)
6.1.2.1 外接运算放大器缩小测量范围的 MEMS 硅角速率陀螺的调整方法	(25)
6.1.2.2 外接电阻扩大较大测量范围的 MEMS 硅角速率陀螺的调整方法	(26)
6.1.2.3 外接附加供电扩大更大测量范围的 MEMS 硅角速率陀螺的调整方法	(28)
6.1.3 零偏的调整	(29)
6.1.3.1 零偏调整的计算方法	(29)
6.1.3.2 零偏调整的操作工艺	(30)
6.1.4 带宽的调整	(30)
6.1.4.1 一般 MEMS 硅角速率陀螺带宽的调整	(30)
6.1.4.2 有外接电阻扩大较大测量范围的 MEMS 硅角速率陀螺带宽的调整	(31)
6.1.4.3 有外接附加供电扩大更大测量范围的 MEMS 硅角速率陀螺带宽的调整	(31)
6.1.5 自检测(ST)响应值的计算方法	(31)
6.1.5.1 一般 MEMS 硅角速率陀螺自检测(ST)响应值的计算方法	(31)
6.1.5.2 有外接电阻和附加供电的 MEMS 硅角速率陀螺自检测(ST)响应值的计算方法	(32)
6.1.6 输出滤波器参数的选择	(32)
6.2 MEMS 硅线加速度计的调整	(33)
6.2.1 敏感极性的确定	(33)
6.2.2 零偏的调整	(33)
6.2.3 带宽的调整	(33)
6.2.4 输出噪声的计算	(34)
6.2.5 地球重力加速度 $1g$ 的处理	(34)

第 7 章 制造 MEMS 硅角速率陀螺的企业标准	(35)
7.1 企业标准:Q/ZZYB001—2009《MEMS 硅角速率陀螺生产规程》 ..	(35)
7.1.1 印刷电路板组件焊接规程	(35)
7.1.2 装配调试规程	(37)
7.1.2.1 步骤一:初测并调零	(37)
7.1.2.2 步骤二:清洗并烘干	(37)
7.1.2.3 步骤三:喷三防漆并做老化试验及组装	(37)
7.1.2.4 步骤四:高温试验	(38)
7.1.2.5 步骤五:低温试验及低温试验后的烘干处理	(38)
7.1.2.6 步骤六:灌封及总装配	(39)
7.1.2.7 步骤七:贴标签	(39)
7.1.2.8 步骤八:标定测试	(40)
7.1.2.9 步骤九:漆封	(40)
7.1.2.10 步骤十:产品入库	(41)
7.2 企业标准:Q/ZZYB002—2009《MEMS 角速率陀螺测试方法》	(41)
7.2.1 范围	(41)
7.2.2 引用文件	(41)
7.2.3 测试项目	(41)
7.2.4 测试方法步骤	(42)
7.2.4.1 速率静特性曲线及标度因数和标度因数非线性度测试	(42)
7.2.4.2 分辨力的测试	(43)
7.2.4.3 零偏稳定性、零偏及零偏重复性的测试	(44)
7.2.5 打印角速率陀螺“标定结果报告”	(46)
第 8 章 单轴 MEMS 硅角速率陀螺制造工艺	(48)
8.1 产品元部件配套表	(48)
8.2 生产流程	(49)
8.3 部组件的设计要求	(51)
8.3.1 单轴+3500 °/s MEMS 硅角速率陀螺的电路及 PCB 设计要求	(51)
8.3.2 PCB-陀螺主芯片组件的形成	(53)
8.3.3 机械壳体组件的设计要求	(54)
8.3.4 面膜标签的设计要求	(55)

8.4 部组件检验方法	(56)
8.4.1 元器件检验	(56)
8.4.2 PCB 板检验	(56)
8.4.3 表贴焊检验	(56)
8.4.4 MEMS 陀螺主芯片 BGA 载流焊检验	(57)
8.4.5 机械壳体检验	(57)
8.4.6 标识极性检验	(58)
8.5 焊接与装配要求及必要的测试方法	(58)
8.5.1 元器件的领取	(58)
8.5.2 元器件的清洗和保养	(58)
8.5.3 焊接与装配要求	(58)
8.5.4 产品正温度系数测试方法	(59)
8.5.5 零偏置调整方法	(59)
8.5.6 电气绝缘电阻的测试方法	(60)
8.5.7 烘干、喷三防漆、老化试验	(60)
8.5.8 灌封要求——二次灌封法	(60)
8.5.9 机械壳体装配要求	(61)
8.5.10 产品编号的确定方法	(61)
8.5.11 调整灵敏度的计算方法	(62)
8.5.12 自检测 ST 的测试方法和计算方法	(62)
8.5.13 启动时间的测试方法	(63)
8.5.14 消耗电流的测试方法	(63)
8.5.15 输出噪声的测试方法	(64)
8.5.16 带宽的测试方法及测试数据认定	(64)
8.6 总装配图	(64)
8.7 合格产品检验标准	(65)
8.7.1 电气性能基本合格产品例行测试要求	(65)
8.7.2 高低温试验例行测试要求	(65)
8.7.3 产品标定测试要求	(66)
8.8 合格产品主要性能指标	(67)

第 9 章 MEMS 惯性传感器的测试	(69)
9.1 MEMS 角速率陀螺的测试	(69)

9.1.1	测试设备	(69)
9.1.2	测试项目	(69)
9.1.3	测试方法步骤	(69)
9.1.3.1	速率静特性测试(第一步)	(69)
9.1.3.2	分辨力的测试(第二步)	(70)
9.1.3.3	零偏稳定性、零偏及零偏重复性的测试(第三步)	(72)
9.1.3.4	随机游走系数的测试(第四步)	(74)
9.1.3.5	带宽的测试(第五步)	(74)
9.1.3.6	启动时间的测试(第六步)	(76)
9.1.4	关于 MTBF 检验测试方法	(80)
9.2	MEMS 线加速度计的测试	(81)
9.2.1	测试设备	(81)
9.2.2	测试项目	(81)
9.2.3	测试方法步骤	(81)
9.2.3.1	零偏、刻度因数、零偏稳定性、零偏重复性的测试	(81)
9.2.3.2	线加速度静特性的测试	(84)
9.2.3.3	带宽的测试	(84)
9.2.3.4	输出噪声的计算和测试	(85)
9.2.4	在惯性导航系统中使用的线加速度计	(85)
第 10 章	MEMS 惯性传感器产品的环境试验	(87)
10.1	环境试验概念	(87)
10.2	我国标准类别	(87)
10.3	MEMS 惯性传感器产品研制阶段的划分	(88)
10.4	MEMS 惯性传感器产品设计依据的标准	(88)
10.5	MEMS 惯性传感器产品环境试验项目的选取	(89)
10.6	MEMS 惯性传感器产品环境试验方法步骤	(91)
10.7	环境试验报告	(91)
第 11 章	MEMS 惯性传感器产品的选择	(93)
11.1	MEMS 惯性传感器产品的选择原则	(93)
11.1.1	MEMS 角速率陀螺产品的选择原则	(93)
11.1.2	MEMS 线加速度计产品的选择原则	(94)

11.2	国内 MEMS 惯性传感器产品的选择	(96)
11.2.1	国内 MEMS 硅惯性传感器产品的选择	(96)
11.2.1.1	MEMS 硅角速率陀螺选型	(96)
11.2.1.2	MEMS 硅线加速度计选型	(96)
11.2.1.3	MEMS 硅惯性测量单元(IMU)选型	(96)
11.2.1.4	MEMS 硅倾角传感器选型	(96)
11.2.2	国内 MEMS 石英惯性传感器产品的选择	(105)
11.2.2.1	MEMS 石英角速率陀螺产品的选择	(105)
11.2.2.2	MEMS 石英线加速度计产品的选择	(106)
11.3	国内外其他惯性传感器产品的选择	(110)
11.3.1	国内其他惯性传感器产品的选择	(110)
11.3.1.1	国内机械式惯性传感器产品的选择	(110)
11.3.1.2	国内典型光纤角速率陀螺技术条件	(111)
11.3.1.3	国内典型激光角速率陀螺技术条件	(112)
11.3.2	国外其他惯性传感器产品的选择	(113)
11.3.2.1	光纤角速率陀螺系列产品	(113)
11.3.2.2	半球谐振角速率陀螺系列产品	(113)
11.3.2.3	线加速度计系列产品	(113)
11.3.2.4	惯性测量单元(IMU)系列产品	(113)
11.3.2.5	垂直陀螺系列产品	(113)
11.3.2.6	倾角传感器系列产品	(113)
第 12 章	MEMS 硅角速率陀螺使用说明书及其注释	(126)
12.1	ARG-50A 型 $\pm 50^\circ/\text{s}$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书	(126)
12.1.1	简介	(126)
12.1.2	原理	(126)
12.1.3	技术条件	(127)
12.1.4	电气接口	(128)
12.1.5	外形尺寸	(128)
12.2	ARG-60A 型 $\pm 60^\circ/\text{s}$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书	(129)
12.2.1	简介	(129)
12.2.2	原理	(129)
12.2.3	技术条件	(129)

12.2.4	电气接口	(131)
12.2.5	外形尺寸	(131)
12.3	ARG-80A 型 $\pm 80^{\circ}/s$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书及其注释	(131)
12.3.1	ARG-80A 型 $\pm 80^{\circ}/s$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书	(131)
12.3.1.1	简介	(131)
12.3.1.2	原理	(131)
12.3.1.3	技术条件	(132)
12.3.1.4	电气接口	(133)
12.3.1.5	外形尺寸	(133)
12.3.2	ARG-80A 型 $\pm 80^{\circ}/s$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书注释	(133)
12.3.2.1	简介	(133)
12.3.2.2	原理	(134)
12.3.2.3	技术条件	(134)
12.3.2.4	电气接口	(139)
12.3.2.5	外形尺寸	(139)
12.4	ARG-90D 型 $\pm 90^{\circ}/s$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书	(139)
12.4.1	简介	(139)
12.4.2	原理	(140)
12.4.3	技术条件	(140)
12.4.4	电气接口	(141)
12.4.5	外形尺寸	(141)
12.5	ARG-100 型 $\pm 100^{\circ}/s$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书	(141)
12.5.1	简介	(141)
12.5.2	原理	(142)
12.5.3	技术条件	(142)
12.5.4	电气接口	(143)
12.5.5	外形尺寸	(143)
12.6	ARG-150 型 $\pm 150^{\circ}/s$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书	(144)
12.6.1	简介	(144)
12.6.2	原理	(144)
12.6.3	技术条件	(144)

12.6.4	电气接口	(145)
12.6.5	外形尺寸	(146)
12.7	ARG-200 型 $\pm 200^{\circ}/s$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书	(146)
12.7.1	简介	(146)
12.7.2	原理	(146)
12.7.3	技术条件	(147)
12.7.4	电气接口	(148)
12.7.5	外形尺寸	(148)
12.8	ARG-250 型 $\pm 250^{\circ}/s$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书	(148)
12.8.1	简介	(148)
12.8.2	原理	(149)
12.8.3	技术条件	(149)
12.8.4	电气接口	(150)
12.8.5	外形尺寸	(150)
12.9	ARG-300 型 $\pm 300^{\circ}/s$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书	(150)
12.9.1	简介	(150)
12.9.2	原理	(151)
12.9.3	技术条件	(151)
12.9.4	电气接口	(152)
12.9.5	外形尺寸	(152)
12.10	ARG-350 型 $\pm 350^{\circ}/s$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书	(153)
12.10.1	简介	(153)
12.10.2	原理	(154)
12.10.3	技术条件	(154)
12.10.4	电气接口	(155)
12.10.5	外形尺寸	(155)
12.11	ARG-400 型 $\pm 400^{\circ}/s$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书	(155)
12.11.1	简介	(155)
12.11.2	原理	(156)
12.11.3	技术条件	(156)
12.11.4	电气接口	(157)
12.11.5	外形尺寸	(157)
12.12	ARG-450 型 $\pm 450^{\circ}/s$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书	(157)

12.12.1	简介	(157)
12.12.2	原理	(158)
12.12.3	技术条件	(158)
12.12.4	电气接口	(159)
12.12.5	外形尺寸	(159)
12.13	ARG-500 型 $\pm 500^{\circ}/s$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书	(160)
12.13.1	简介	(160)
12.13.2	原理	(160)
12.13.3	技术条件	(160)
12.13.4	电气接口	(161)
12.13.5	外形尺寸	(162)
12.14	ARG-550 型 $\pm 550^{\circ}/s$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书	(162)
12.14.1	简介	(162)
12.14.2	原理	(162)
12.14.3	技术条件	(162)
12.14.4	电气接口	(163)
12.14.5	外形尺寸	(164)
12.15	ARG-600 型 $\pm 600^{\circ}/s$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书	(164)
12.15.1	简介	(164)
12.15.2	原理	(164)
12.15.3	技术条件	(164)
12.15.4	电气接口	(165)
12.15.5	外形尺寸	(166)
12.16	ARG-720 型 $\pm 720^{\circ}/s$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书	(166)
12.16.1	简介	(166)
12.16.2	原理	(166)
12.16.3	技术条件	(166)
12.16.4	电气接口	(168)
12.16.5	外形尺寸	(168)
12.17	ARG-800 型 $\pm 800^{\circ}/s$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书	(168)
12.17.1	简介	(168)
12.17.2	原理	(168)
12.17.3	技术条件	(169)

12.17.4	电气接口	(170)
12.17.5	外形尺寸	(170)
12.18	ARG-900 型 $\pm 900^{\circ}/s$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书	(170)
12.18.1	简介	(170)
12.18.2	原理	(170)
12.18.3	技术条件	(171)
12.18.4	电气接口	(172)
12.18.5	外形尺寸	(172)
12.19	ARG-1000 型 $\pm 1000^{\circ}/s$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书	(172)
12.19.1	简介	(172)
12.19.2	原理	(172)
12.19.3	技术条件	(173)
12.19.4	电气接口	(174)
12.19.5	外形尺寸	(174)
12.20	ARG-1100 型 $\pm 1100^{\circ}/s$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书	(174)
12.20.1	简介	(174)
12.20.2	原理	(174)
12.20.3	技术条件	(175)
12.20.4	电气接口	(176)
12.20.5	外形尺寸	(176)
12.21	ARG-1200 型 $\pm 1200^{\circ}/s$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书	(176)
12.21.1	简介	(176)
12.21.2	原理	(177)
12.21.3	技术条件	(177)
12.21.4	电气接口	(178)
12.21.5	外形尺寸	(178)
12.22	ARG-1500 型 $\pm 1500^{\circ}/s$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书	(178)
12.22.1	简介	(178)
12.22.2	原理	(179)
12.22.3	技术条件	(179)
12.22.4	电气接口	(180)
12.22.5	外形尺寸	(180)
12.23	ARG-2000 型 $\pm 2000^{\circ}/s$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书	(180)

12.23.1	简介	(180)
12.23.2	原理	(181)
12.23.3	技术条件	(181)
12.23.4	电气接口	(182)
12.23.5	外形尺寸	(182)
12.24	ARG-2200 型 $\pm 2200^{\circ}/s$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书	(182)
12.24.1	简介	(182)
12.24.2	原理	(183)
12.24.3	技术条件	(183)
12.24.4	电气接口	(184)
12.24.5	外形尺寸	(185)
12.25	ARG-2500 型 $\pm 2500^{\circ}/s$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书	(185)
12.25.1	简介	(185)
12.25.2	原理	(186)
12.25.3	技术条件	(186)
12.25.4	电气接口	(187)
12.25.5	外形尺寸	(187)
12.26	ARG-3000 型 $\pm 3000^{\circ}/s$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书	(187)
12.26.1	简介	(187)
12.26.2	原理	(188)
12.26.3	技术条件	(188)
12.26.4	电气接口	(189)
12.26.5	外形尺寸	(189)
12.27	ARG-4000 型 $\pm 4000^{\circ}/s$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书	(189)
12.27.1	简介	(189)
12.27.2	原理	(190)
12.27.3	技术条件	(190)
12.27.4	电气接口	(191)
12.27.5	外形尺寸	(191)
12.28	ARG-5000 型 $\pm 5000^{\circ}/s$ MEMS 硅角速率陀螺使用说明书	(191)
12.28.1	简介	(191)
12.28.2	原理	(192)
12.28.3	技术条件	(192)