

2007/2008

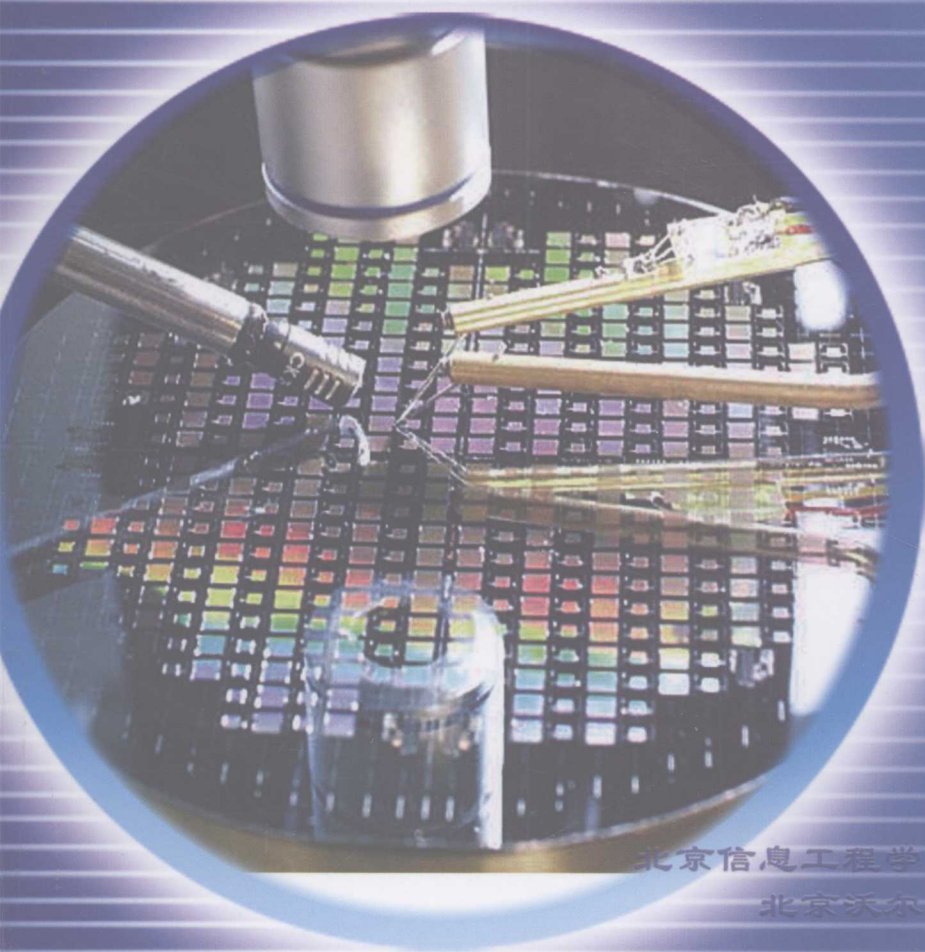
传感器与执行器大全 (年卷)

——传感器·变送器·执行器

■ 中国电子学会敏感技术分会

■ 北京电子学会 编

■ 北京电子商会传感器分会



北京信息工程学院传感技术研究中心

北京沃尔康科技有限责任公司



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



2007/2008
传感器与执行器大全(年卷)

——传感器·变送器·执行器



机械工业出版社

本书是中国电子学会敏感技术分会、北京电子学会和北京电子商会传感器分会年卷编委会编写的出版物,每年一卷。本年卷分3部分,第1部分介绍旋转体用陀螺仪;第2部分介绍传感器、变送器和执行器产品;第3部分介绍研究、生产和销售这些产品的技术支持。

本书是选用传感器与执行器的必备手册,可供传感器与执行器生产、研制和应用的厂商及科技工作者阅读,也可供高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

2007/2008 传感器与执行器大全(年卷):传感器·变送器·执行器/中国电子学会敏感技术分会等编. —3版·—北京:机械工业出版社,2009.4

ISBN 978-7-111-26096-7

I. 2… II. 中… III. ①传感器—手册②变送器—手册③执行器—手册 IV. TP212-62 TH86-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 004795 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:张沪光 责任编辑:张沪光 王 琪

封面设计:陈 沛 责任印制:李 妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2009 年 4 月第 3 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·45 印张·2 插页·1117 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-26096-7

定价:158.00 元

凡购本书,如有缺页,倒页,脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379767

封面防伪标均为盗版

前 言

《传感器与执行器大全》(年卷)已连续出版 11 卷,《2007/2008 传感器与执行器大全》已是第 12 卷。为了方便科技人员掌握传感器基础知识,从《1999/2000 传感器与执行器大全》开始,增加了传感器基础部分,本卷主要介绍旋转体用陀螺仪的基础、原理、功能、结构等知识。

本书主要分如下 3 部分:

第 1 部分分为 2 篇,共 10 章。第 1 篇转子型振动陀螺仪,共 5 章,详细介绍了各类转子型陀螺仪的基础知识;第 2 篇微机械(MEMS)陀螺仪,共 5 章,介绍了各类微机械陀螺仪的原理、功能、结构等内容。

第 2 部分分为 3 篇,共 37 章。第 1 篇敏感元器件与传感器,共 27 章,全面、系统地介绍了各类敏感元器件与传感器的原理、结构、性能和用途;第 2 篇变送器,共 3 章,介绍了各类变送器的原理、结构、性能和用途;第 3 篇执行器,共 7 章,介绍了电动机、泵、阀、接近开关、控制器及报警器等执行器的原理、结构、性能和用途。全书共介绍产品 873 种,其中国内产品 751 种。

第 3 部分是研制、生产和销售传感器、执行器与变送器的国内外厂商的技术支持资料,计 5110 家,其中国内厂商 1365 家。

传感器与执行器的种类和研制、生产的企事业单位很多,鉴于篇幅有限,已在《实用传感器手册》、《传感器敏感元器件实用指南》,以及《1996/1997 传感器与执行器大全》至《2006/2007 传感器与执行器大全》中编入的产品介绍,本书一般不再编入,敬请产品介绍未被编入本书的传感器企事业单位谅解。此外,编入本书的产品介绍基本上保持了各厂商的特色,这样就出现了有的产品命名、所用术语、图形符号及单位不符合国家标准公布的规定,为了方便读者查阅厂家产品,这里不做标准方面的统一工作,在此也请读者注意。

为了适应传感器、变送器和执行器市场的需要,计划每年编辑出版《传感器与执行器大全》(年卷)。新卷本一般仅收集编入市场前景好的产品,欢迎国内外企事业单位和个人向编者推荐新的传感器、变送器与执行器产品。

由于编者水平有限,书中谬误难免,敬请读者批评指正。

编者

《传感器与执行器大全》(年卷) 编委会

顾问	罗沛霖(中国科学院院士,中国工程院院士)
主任委员	毕克允(原中国电子科学研究院副院长)
副主任委员	孔祥荣(中国电子学会敏感技术分会副主任委员) 王文襄(中国电子学会敏感技术分会副主任委员) 李士平(北京电子学会常务理事,北京电子报总编辑) 杨定江(中国电子学会敏感技术分会副主任委员) 陈克铭(中国电子学会敏感技术分会名誉副主任委员) 周志刚(中国电子学会敏感技术分会名誉副主任委员) 范茂军(中国电子学会敏感技术分会副主任委员) 郑振兴(中国电子学会敏感技术分会副主任委员) 赵志刚(中国电子学会敏感技术分会副主任委员) 郭以述(中国电子学会敏感技术分会名誉主任委员) 郭源生(中国电子学会敏感技术分会副主任委员) 鲍敏杭(中国电子学会敏感技术分会名誉副主任委员)
委员	朱强(中国电子学会敏感技术分会电压敏专业学部) 吴紫峰(中国电子学会敏感技术分会力敏专业学部) 张年容(中国电子学会敏感技术分会磁敏专业学部) 杨定江(中国电子学会敏感技术分会光敏专业学部) 胡文成(中国电子学会敏感技术分会温敏专业学部) 胡爱民(中国电子学会敏感技术分会光纤专业学部) 崔大付(中国电子学会敏感技术分会离子敏生物敏专业学部) 黄兆新(中国电子学会敏感技术分会气湿敏专业学部) 魏俊奇(中国电子学会敏感技术分会应用专业学部)
主编	张福学(中国电子学会敏感技术分会主任委员)
副主编	杨崇锋
编委	李万忠 汪建文
参编和审校	牛红磊 王遥 冯梅 刘宇 孙成祥 严庆文 吴立锋 张伟 张磊 杨军 陈辰 周华 周倩 岳萍 罗元海 郑永红 赵启凤 徐鸿卓 程进 雷泽祥 裴延峰 潘红

目 录

前言

第 1 部分 旋转体用陀螺仪

第 1 篇 转子型振动陀螺仪

序言 1

第 1 章 旋转状态飞行器用转子型振动陀螺仪 的数学模型 7

1.1 飞行中飞行器的特征 7

1.2 旋转状态飞行器用转子型振动陀螺仪
敏感元件的运动方程式 11

1.3 飞行器以常值角速度转动时陀螺仪
的性能 15

1.4 旋转状态飞行器用转子型振动陀螺仪
系统方案的选择 17

1.5 已知等级仪器的调节质量 22

1.6 旋转状态飞行器用带有速度负反馈的
转子型振动陀螺仪的稳定性 28

1.7 结论 40

1.7.1 旋转飞行器用转子型振动陀螺仪
的技术要求 41

1.7.2 旋转飞行器用转子型振动陀
螺仪的性能 41

第 2 章 旋转状态飞行器用带速度负反馈的转子 型振动陀螺仪的准确度 43

2.1 绕横轴转动的飞行器常值角速度测量
准确度 43

2.2 带速度负反馈的旋转状态飞行器用转
子型振动陀螺仪的调节质量 56

2.3 结论 59

第 3 章 在交变角速度条件下旋转型飞行器 用转子型振动陀螺仪的性能 60

3.1 在角振荡的条件下旋转状态飞行器用转子
型振动陀螺仪的性能 60

3.2 在角振荡条件下旋转状态飞行
器用转子型振动陀螺仪的输出信号 70

3.3 飞行器的谐波角速度测量准确度 73

3.4 在圆周振动时旋转状态飞行器用转子型
振动陀螺仪的性能 91

3.5 本章使用的基本公式 96

3.6 结论 98

第 4 章 旋转状态飞行器用转子型振动陀螺仪 的工具性和运行性误差 99

4.1 框架静不平衡引起的误差 99

4.2 有自身旋转频率二倍频的飞行器角振荡
和圆周振动引起的误差 100

4.3 仪器在飞行器上安装不精确产生的
误差 102

4.4 环境介质温度变化影响仪器输出信号
产生的误差 104

4.5 结论 107

第 5 章 带速度负反馈的转子型振动陀螺仪 实验研究 108

5.1 带速度负反馈的旋转状态下飞行器用
转子型振动陀螺仪的技术说明 108

5.2 旋转状态飞行器用转子型振动陀螺仪
的参数计算和反馈参数计算 110

5.3 实验用设备 117

5.4 旋转状态飞行器用速度负反馈转子型
振动陀螺仪的温度实验 120

5.5 旋转状态飞行器用转子型振动陀螺仪
频率特性拾取的特殊性 122

5.6 实验结果 124

5.6.1 带速度负反馈的转子型振动陀螺
仪工作能力的测定方法和测定
结果 125

5.6.2 仪器零位信号的测定方法和
结果 125

5.6.3 仪器灵敏度阈值的测定方法和结果	126
5.6.4 仪器输出特性的测定方法和结果	126
5.6.5 在模拟装置旋转频率变化的条件下,带速度负反馈的转子型振动陀螺仪输出信号稳定性的测定方法和结果	131
5.6.6 仪器频率特性采集的方法和结果	132
5.6.7 仪器安装在旋转状态飞行器机体上,安装不精确度影响的测定方法和结果	134
5.6.8 带自身旋转倍频的角振动,对带速度负反馈的转子型振动陀螺仪输出信号影响的测定方法和结果 ..	136
5.7 实验结果和谐波角速度测量	137
5.8 结论	138

第2篇 微机械(MEMS)陀螺仪

第6章 微机械加速度计和陀螺仪	140
6.1 微机械加速度计	140
6.1.1 引言	140
6.1.2 微机械加速度计的工作机制	142
6.1.3 用体微细加工工艺制造的微机械加速度计	142
6.1.4 表面微加工工艺制造的微机械加速度计	145
6.1.5 力反馈	148
6.1.6 谐振微机械加速度计	149
6.2 微陀螺仪	151
6.2.1 引言	151
6.2.2 微机械陀螺仪的基本原理	152
6.2.3 频率带宽	154
6.2.4 热机械噪声	156
6.2.5 微机械陀螺仪	157
第7章 旋转载体用硅微机械陀螺仪的工作原理	161
7.1 结构原理	161
7.2 动力学模型	162

7.2.1 质量振动方程	162
7.2.2 角振动方程的解	165
7.3 动力学参数分析计算	166
7.3.1 弹性支撑梁扭转刚度	166
7.3.2 KRS-300 型样机弹性接头参数计算	166
7.3.3 振动元件角振动阻尼系数	168
7.3.4 陀螺质量角振动固有频率、角振动幅度与被测角速度的关系曲线 ..	170
7.4 信号检测	170
7.4.1 电容敏感	170
7.4.2 信号处理电路	173
7.5 ANSYS 仿真与模拟	176
7.5.1 模态分析	176
7.5.2 频响分析	176
7.6 实验结果与讨论	177
参考文献	177
第8章 旋转体用硅微机械陀螺仪的误差	178
8.1 KGRS-100 型硅微机械振动陀螺仪运动方程	178
8.2 KGRS-100 型硅微机械陀螺仪的误差分析	185
8.3 硅微机械陀螺仪误差计算	188
8.4 KRS-300 型硅微机械陀螺仪的误差 ..	190
第9章 陀螺仪相移	192
9.1 KRS-300 型相移的计算	192
9.2 KRS-300 型的相移	195
9.3 通过调整 KRS-300 型在飞行器上的位置来补偿输出信号相移的可行性	197
9.4 KRS-200 型在角振动台上特性的计算 ..	201
第10章 硅微机械陀螺仪的性能实验	204
10.1 KRS-300 型硅微机械陀螺仪的性能测试	204
10.1.1 KRS-300 型样机性能	204
10.1.2 KRS-300 型 5 只样机的性能	207
10.1.3 KRS-0.09 型温度稳定性	212
10.2 CJS-DR-WB01 型硅微机械陀螺仪性能测试	213
10.2.1 CJS-DR-WB01 型硅微机械陀螺仪性能	213

10.2.2 CJS-DR-WB02 型硅微机械陀螺仪	
性能	219
参考文献	230

第2部分 传感器、变送器和执行器

第1篇 敏感元器件与传感器

第1章 角速度、角度和角加速度陀螺	231
1.1 压电射流陀螺	231
1.1.1 PFRS 系列压电射流角速度	
传感器	231
1.1.2 CJSYS 型压电射流角速度传感器 ..	234
1.1.3 CJSYS-A01 型压电射流角速度	
传感器	235
1.1.4 CJSYS-A02 型高可靠、低功耗压	
电射流角速度陀螺	236
1.1.5 CJSYS-A03 型压电射流角速度	
传感器	237
1.1.6 二维压电射流角速度陀螺	237
1.1.7 三维压电射流角速度陀螺	239
1.2 CJAYS 型压电射流角加速度传感器 ..	240
1.3 DMU 型惯性测量装置及垂直陀螺	241
1.4 CWT 100 型无线遥测系统	247
1.5 X-VIEW 和 X-ANALYZE 数据采集与	
分析软件	248
1.6 CJSYS-B01 型二轴压电角速度	
陀螺	249
1.7 CJS-DR-WB01 型硅微机械陀螺	250
1.8 XS-5G 型具有北向保持功能的航	
姿仪	252
1.9 XS-11 型惯性组合	253
第2章 转速传感器	255
2.1 SZCG-I 型智能磁性转速传感器	255
2.2 CJS 型转速传感器	255
2.3 TQG15 型光电式转速传感器	255
2.4 RP660C1-16-S 型磁电式无源转速	
传感器	256
2.5 LF-06 型磁电转速传感器	256
第3章 编码器	257

3.1 AME-A001 型磁性编码器	257
3.2 TC5000T 型编码器	257
第4章 倾角传感器	258
4.1 气体摆式倾角传感器	258
4.1.1 CJRS-A 型气体摆式倾角传感器	258
4.1.2 CJRS-A01 型气体摆式倾角传	
感器	259
4.1.3 CJRS-B 型二维气体摆式倾角传	
感器	260
4.1.4 CJRS-B01 型二维气体摆式倾角	
传感器	261
4.1.5 CJRS-B04 型低成本静态数字式气	
体摆水平姿态传感器	262
4.1.6 CJRS-Z01 型动态气流式水平姿态	
传感器(有角速度输出)	264
4.1.7 全方位水平姿态传感器	266
4.1.8 CJRS-K01 型抗干扰气体摆式倾角	
传感器	268
4.2 CZT-YD 系列压电石英倾斜仪	269
4.3 CXT 系列倾角传感器	270
4.3.1 CXTILT 系列双轴数字式倾角	
传感器	270
4.3.2 CXTA 系列模拟式倾角传感器	274
4.3.3 CXTSW 型双轴倾角开关	275
4.4 XS-51 型动态水平仪	277
第5章 线性加速度传感器	279
5.1 CAJZS-40 型压电石英加速度传感器	279
5.2 CARS 型气体摆式线性加速度	
传感器	280
5.3 1210 型模拟式加速度传感器	281
5.4 2430 型三轴模拟式加速度计	284
5.5 其他加速度计及相关产品	286
5.5.1 1010 型数字式、1110 型门限式	
单轴加速度计	286
5.5.2 开架式三轴加速度计	286
5.5.3 2210 型模拟式加速度计模块	287
5.5.4 用于模拟式加速度计模块的	
2230 型组合安装件	287
5.5.5 带连接器的测试板	287
5.5.6 评测板	288

5.5.7	3310 型加速度数据采集系统	288	9.5	MAC10 型机械对中仪	316
5.6	加速度计及相关产品	289	9.6	D505 型激光轴对中仪	317
5.6.1	通用型 M 系列加速度计	289	第 10 章	液位和物位传感器	318
5.6.2	高稳定型 LF 系列加速度计	291	10.1	PN-42S 型超声波液位计	318
5.6.3	振动型 HF 系列加速度计	292	10.2	CF-TD2000 型超声波液位计	318
5.6.4	封装外形及安装尺寸和引线 分配	294	10.3	YRK 系列热扩散式液位开关	318
5.6.5	加速度计附件	295	10.4	RJV-001 型单棒振动式物位开关	319
5.6.6	运用 CXLM 加速度计进行振动 分析及机械监测的方法	300	10.5	RPS-3000PVC 型超声物位传感器	319
5.7	CJSD-YD-5 型数字式压电石英加速度 传感器	301	第 11 章	流量计	320
第 6 章	振动和速度传感器	302	11.1	FBLU 系列涡街流量计	320
6.1	DP 系列低频振动传感器	302	11.2	LS 型旋转活塞式流量计	320
6.2	CD-6 型振动速度传感器	303	11.3	液体高压智能涡轮流量计	321
6.3	LDCS-1 型光电速度传感器	304	11.4	LUGB 型涡街流量计	321
6.4	MS8000 系列加速度计	304	11.5	LDBE 型智能电磁流量计	321
第 7 章	线性位移传感器	305	11.6	D07-9N 系列质量流量计	322
7.1	高精度 LVDT 传感器	305	11.7	LGX 型楔式流量计	322
7.2	BWG 型位移传感器	307	第 12 章	荷重传感器	323
7.3	非接触位移传感器	308	12.1	WH07 型轴销式荷重传感器	323
7.4	FBGD 系列位移传感器	308	12.2	MCC-X1 系列传感器称重模块	323
7.5	GEFRAN 型杰弗仑直线位移传感器	309	12.3	CFYHF 型油田荷重传感器	323
7.6	位移传感器	309	12.4	TJH-1 型箔式荷重传感器	324
7.7	ZLDS200 型高精度激光二维扫描 传感器	310	第 13 章	力敏传感器	325
7.8	ZLDS10X 系列激光三角漫反射 位移传感器	310	13.1	压电力敏元件	325
第 8 章	厚度、距离和高度传感器	312	13.2	声纳用宽带换能器及换能器阵	326
8.1	覆铜板 PC 及通孔铜壁厚度测量仪	312	13.3	SLC 系列测力传感器	327
8.2	CH1 系列烧蚀厚度传感器	312	13.4	DMP2000 型高精度数字应变仪	327
8.3	HW-1 型测漆厚度传感器	312	13.5	SXZ-8Y 型石英谐振式力敏传感器	328
8.4	距离传感器	313	13.6	JF200 系列简易硅压阻式力敏传 感器	328
8.5	S80 型激光距离传感器	313	第 14 章	光纤传感器	329
8.6	YH-3002 型高度数字传感器	314	14.1	嘉准光纤传感器	329
第 9 章	孔径、圆度和对中仪	315	14.2	FBGD 系列探杆式光纤光栅位移 传感器	329
9.1	内径测量仪	315	14.3	光纤光栅温度传感器	329
9.2	Y200 型圆度波纹度测量仪	315	第 15 章	功率计与光度计	331
9.3	MC012-Y9025B 型圆度仪	316	15.1	NRP 型功率计	331
9.4	KOSAKA 型真圆度仪	316	15.2	JW3203 型手持式光功率计	331
			15.3	钳形功率计	331
			15.4	TES-1334A 型光度计	332
			15.5	PHOTO-2000INT 型积分式光度计	332

15.6	6400A 型火焰光度计	333	21.4	FDS100 型土壤水分传感器	352
第 16 章	红外测温仪与热像仪	334	21.5	SSADP.S 型便携式露点仪	352
16.1	HWSG-2 系列智能红外双色测温系统	334	21.6	德图 TESTO608-H2 型露点仪	352
16.2	TI200 型红外测温仪	334	第 22 章	声敏传感器	354
16.3	HY-3088G 型红外热像仪	334	22.1	灵敏度可调式水听器	354
16.4	Fluke Ti30 型红外热像仪	335	22.2	CYMBAL-A 型压电换能器	355
第 17 章	温度传感器	336	第 23 章	硬度、密度和浊度传感器	357
17.1	SLST 系列数字温度传感器	336	23.1	数显洛氏硬度计	357
17.2	CHTM-02 系列温湿度传感器	336	23.2	LX-D 型邵氏硬度计	357
17.3	uIRt/c 小型红外线温度传感器	336	23.3	TH300 型洛氏硬度计	357
17.4	IRTP 系列红外测温系统	337	23.4	TQ-886 型插入式液体密度计	358
第 18 章	磁敏传感器	338	23.4.1	自由流体安装-法兰或结 构件连接	359
18.1	YD60 系列磁电传感器	338	23.4.2	T 型件安装-法兰或结构件 连接	359
18.2	DWQ-BL 型磁敏角度传感器	338	23.4.3	流通室安装	360
18.3	MRS-F 型磁敏传感器	339	23.5	TQ-880 型在线液体密度计	360
第 19 章	电流传感器与电导仪	340	23.6	TQ-880 型密度计	361
19.1	四通牌 ST-A 系列霍尔电流、电压 传感器/变送器	340	23.7	TF10 型低浊度传感器	362
19.2	HB-BDLH 型电流传感器	344	第 24 章	多功能传感器	363
19.3	9273AC 型钳形电流传感器	345	24.1	多功能智能传感器	363
19.4	PAS-HIB400 型霍尔电流传感器	345	24.2	动调型惯性组合	366
19.5	D60K 型数字金属电导率测量仪 (涡流导电仪)	345	24.3	低成本高精度寻北仪	367
19.6	FIRST103 型数字便携式涡流导 电仪	346	24.4	静电振动型惯性组合	368
第 20 章	气敏传感器	347	24.5	低成本高精度多功能双轴水平仪	369
20.1	BKR-3 型可燃性气体检测报警仪	347	第 25 章	风速计	371
20.2	BKG-1800 型固定式安装气体 检测探头	347	25.1	HR 系列智能热球式风速计	371
20.3	XOY-3 型氧气检测报警仪	348	25.2	AVM-01、AVM-03 型风速计/风 温计	371
20.4	BSQ-1 型钢瓶液化石油气残气报 警仪	348	25.3	MODEL KA22 型热式风速仪	372
20.5	SS-7 型气敏传感器	349	25.4	AZ8901 型风速/风温/风量仪	372
20.6	QM-N5 型气敏元件	349	25.5	AM4201 型风速计	372
20.7	JF02E 型气敏传感器检测系统	350	第 26 章	扭矩、力矩传感器	374
第 21 章	湿敏(水分)传感器与露点仪	351	26.1	NJ 系列静态扭矩传感器	374
21.1	SINTEK-4 型土壤湿度传感器	351	26.2	ZNJ 系列旋转扭矩传感器	374
21.2	HIS-06 型湿度传感器	351	26.3	TQ-66 系列扭矩传感器	375
21.3	HS1101 型湿敏电容	351	26.4	TQ-664 型静止扭矩传感器	377
			26.5	MCN-J 系列扭矩传感器	378
			26.6	ZLJ200 型汽车自动张紧轮力矩测 量仪	378

第 27 章 传感器用电路	379
27.1 SJ5521 线性可变差动变压器接口专用 集成电路	379
27.2 祥云系列放大系统模块	380
27.2.1 FS21-4C 型超高增益·超低噪声应 变/通用放大系统	380
27.2.2 XIN/X 系列国际水平超高指标参数 放大系统定制	380
27.2.3 PRE 系列电生理信号放大通 道/系统	381
27.3 YF 型应变信号调理模块	381
第 28 章 传感器试验用设备仪器	382
28.1 元器件检测设备	382
28.2 PBD 系列传感器标定试验箱	384
28.3 CSY2000G 型光电传感器系统 实验台	384

第 2 篇 变 送 器

第 29 章 物位、液位和流量变送器	385
29.1 SDSB 系列射频物位变送器	385
29.2 M8403 系列电容物位变送器	385
29.3 DBS500 系列投入式液位变送器	385
29.4 SB-YR2000 系列液位变送器	386
29.5 PCM260 型液位变送器	386
29.6 LWGB 系列涡轮流量变送器	387
29.7 TF 系列叶轮式流量变送器	387
第 30 章 压力、差压变送器	388
30.1 SLB800 系列扩散硅压力变送器	388
30.2 1151 系列智能型电容式压力/差压 变送器	388
30.3 FL-1151 系列电容式压力/差压变 送器	388
30.4 DMP1151 型电容式压力/差压 变送器	389
第 31 章 温度、露点变送器	390
31.1 JLST40 系列一体化温度变送器	390
31.2 DTR200 系列一体化温度变送器	390
31.3 HKWB 型智能温度变送器	390
31.4 DMT142 型露点变送器	391
第 32 章 电流、电容式变送器	392

32.1 1151 系列电容式变送器	392
32.2 电流变送器	392
32.3 PA-20 型单相交流电流变送器	392

第 3 篇 执 行 器

第 33 章 执行器与执行机构	394
33.1 TUBO 系列阀门电动执行器	394
33.2 RC 系列电动执行器	394
33.3 EK 系列电动执行器	395
33.4 3800 系列智能型电液式执行器	395
33.5 DYS-22/80 型电液伺服执行机构	395
33.6 ABB 型电动执行机构	396
第 34 章 阀	397
34.1 ZCZP 型大通径电磁阀	397
34.2 DTLV-0.6 型电动推杆平板闸阀	397
34.3 水封闸阀	398
34.4 GA49H-16 型冲量安全阀	398
34.5 电动蝶阀	398
第 35 章 泵	400
35.1 G 型螺杆泵	400
35.2 IHF 系列化工衬氟泵	400
35.3 自吸式离心油泵	400
35.4 GNF 系列不锈钢单螺杆泵	401
第 36 章 接近开关	402
36.1 APS 系列接近开关	402
36.2 TV618 型电容式耐高温接近开关	402
36.3 JM12-A001 型巨磁电阻接近开关	402
第 37 章 调节器与连接器	404
37.1 SC 系列隔离调节器	404
37.1.1 SC I 系列隔离调节器	404
37.1.2 SC II 系列隔离调节器	404
37.1.3 SC III 系列隔离调节器	404
37.2 TTM110 系列智能数字调节器	404
37.3 P20 型防水连接器	405
37.4 IDC 型连接器	405
37.5 TJC4 型条形连接器	405
第 38 章 控制器	406
38.1 FYK 型浮球液位控制器	406
38.2 KS-1 (TH) 型温湿度控制器	406
38.3 RD-004 型控制器	406

38.4 UTK-2226P 型浮子液位控制器	407
第 39 章 报警器	408
39.1 可燃气体报警器	408
39.2 SF-B-601 型 LCD 便携式气体检测仪 (燃气报警器)	408
39.3 BT-3G 型独立式可燃气体报警器	408
39.4 HY-KH2808 型红外现场报警器	409

第 3 部分 传感器与执行器技术支持

一、中国	410
1. 北京市	410
2. 天津市	433
3. 河北省	436
4. 山西省	438
5. 内蒙古自治区	438
6. 辽宁省	439
7. 吉林省	442
8. 黑龙江省	443
9. 上海市	444
10. 江苏省	452
11. 浙江省	458
12. 安徽省	461
13. 福建省	463
14. 江西省	464
15. 山东省	465
16. 河南省	467
17. 湖北省	468
18. 湖南省	470
19. 广东省	472
20. 广西壮族自治区	480
21. 海南省	481
22. 重庆市	481
23. 四川省	482
24. 贵州省	485
25. 云南省	485
26. 陕西省	486
27. 甘肃省	489

28. 青海省	490
29. 宁夏回族自治区	490
30. 新疆维吾尔自治区	490
31. 香港特别行政区	491
32. 台湾省	492
二、美国	493
三、日本	596
四、德国	660
五、法国	676
六、意大利	683
七、瑞士	687
八、英国	691
九、荷兰	694
十、瑞典	696
十一、比利时	697
十二、丹麦	698
十三、加拿大	699
十四、奥地利	700
十五、爱尔兰	701
十六、芬兰	701
十七、土耳其	702
十八、挪威	702
十九、以色列	703
二十、斯洛文尼亚	703
二十一、澳大利亚	703
二十二、新加坡	704
二十三、匈牙利	704
二十四、南非	705
二十五、希腊	705
二十六、葡萄牙	705
二十七、白俄罗斯	705
二十八、捷克	706
二十九、新西兰	706
三十、西班牙	706
三十一、克罗地亚	706
三十二、爱沙尼亚	706
三十三、卢森堡	707
三十四、波兰	707

第 1 部分 旋转体用陀螺仪

第 1 篇 转子型振动陀螺仪

序 言

飞行器控制与稳定系统性能的改进,在很大程度上取决于飞行器空间运动测量仪器精度和可靠性的提高。同时,在飞速发展的空间运输工具中,机舱里机载仪器严重拥挤的状态,将有关机电装备微型化问题提到议事日程,而陀螺仪和稳定系统都属于这类仪器。此外,航空和火箭技术的发展,要求解决控制和稳定多个飞行器的问題,为此新型陀螺仪不仅要外形尺寸小,还要求重量轻、能耗低、价格低廉。

振动陀螺仪,在很大程度上能符合上述要求。振动陀螺仪可以理解为含有一些特殊元器件的仪器,它们(元器件)的机座在绝对角速度条件下,作强迫振动。可以说,任何一种振动陀螺仪都有能力对输入的常值角速度加以调制,同时把该角速度变换为调幅的陀螺力矩。如果陀螺力矩变化的频率与机械力学系统的固有频率相重合,该系统将此力矩变换为敏感元器件的角偏移,那么,在仪器中便会发生可使其传递系数提高几个数量级的谐振现象。

音叉陀螺仪属于振子型振动陀螺仪。振子型振动陀螺仪没有旋转状态的质量,在机座角速度存在的条件下,为了产生哥氏加速度,利用了特殊弹性元件的强迫振动。哥氏力的调幅力矩作用于弹性支承,使之与载频调谐以增大仪器的传递系数。

振子型振动陀螺仪具备许多优点,即外形尺寸小、能耗低,以及在敏感机座绝对角速度的高灵敏度基本上可以达到的条件下,具有高可靠性。但是,因为要求振子型振动陀螺仪的高灵敏度,在弹性系统固有振动阻尼系数最小的条件下达到调谐,所以在这些陀螺仪中提出了保证阻尼的稳定性、维持弹性系统固有振动频率和强迫振动频率恒定的特殊要求。

转子型振动陀螺仪中的调幅力矩依靠一个或多个旋转状态的物体产生。这时,在平衡位置力图使系统达到平衡状态的一些力矩,不仅决定于静力学刚度,而且也决定于动力学或称之为离心摆的刚度。在谐振工作状态下,转子型振动陀螺仪的参数选择,一般应当使静力学刚度远小于动力学刚度。这时,弹性系统特性的变化只改变静力学刚度,而对系统总刚度影响不大。转子型振动陀螺仪固有旋转频率的变化,引起作用于陀螺仪力矩的弹性系统的频率发生变化,并使弹性系统的动力学刚度(也可说是总刚度)发生相应的变化。在此情况下,失谐现象表现很少。

在振动陀螺仪领域,最初所研制的产品是比较粗糙的[灵敏度阈值为 $(360^{\circ} \sim 36^{\circ})/h$]可供自动驾驶仪用的振子型振动陀螺仪,随后研制的转子型振动陀螺仪,已构成控制各种飞行器指挥仪的组成部分。前苏联在 20 世纪 40 年代末期和 50 年代发表了许多有关振子型和转子型振动陀螺仪的研究成果。

1963 年动态调谐原理的发现,为振动陀螺仪的应用展现了一幅新的前景,已可利用几种转子型振动陀螺仪取代角速度积分仪。同时,民用航空领域也出现了使用廉价的惯性导航系统的强烈需求。

1960 年 8 月前苏联开始研制旋转状态的单通道火箭,其中就使用了单通道二维角速度测量仪方案。

单通道测量仪就是转子型振动陀螺仪,它的敏感面用于测量垂直于飞行器转动轴的角速度矢量。测量仪敏感元件的振荡变换为交变电信号,其频率与敏感元件旋转的自身频率相对应,而其幅度和相位都带有角速度矢量的信息。

结构简单可靠,摆组件按固有旋转频率成正比地自动调谐的性能,能以最佳形式(交流电压形式)获取输出信号,因此,单通道调制角速度测量仪有广阔的应用前途。

因为在旋转状态下的飞行器中使用转子型振动陀螺仪代替专用于在火箭飞行状态控制通道内产生阻尼的角速度变换器,实现了单通道角速度测量仪方案,从而大大缩小了仪器尺寸,显著简化了仪器的结构和制造工艺流程,所以在旋转状态下的飞行器上,有可能利用飞行器绕其纵轴的旋转速度,代替敏感元件旋转的固有频率,这就可以在仪器中免用产生频率的驱动装置。

供旋转状态飞行器使用的转子型振动陀螺仪的运动力学图如图 0-1 所示。做成框架形式的敏感元件固定连接于仪器机座的轴承座中,而仪器机座又与火箭壳体作硬性连接,从而使框架具有两个自由度。框架与机座和飞行器(火箭)一起以角速度 $\dot{\varphi}_0$ 旋转,并能围绕仪器机座的轴承座中的 OY_1 轴转动。

与陀螺仪敏感元件的固有旋转轴相垂直的平面 OX_1Y_1 ,是仪器的敏感或测量平面。飞行器的旋转运动产生仪器的输出信号,而旋转运动矢量就位于此平面内。例如,设飞行器以角速度 Ω 旋转,其矢量位于 OX_1Y_1 平面内(见图 0-2)。这时产生惯性力矩 $M_{\text{惯性}}$, $M_{\text{惯性}}$ 矢量也位于此平面 OX_1Y_1 内,而其方向却与矢量 Ω 相互垂直。

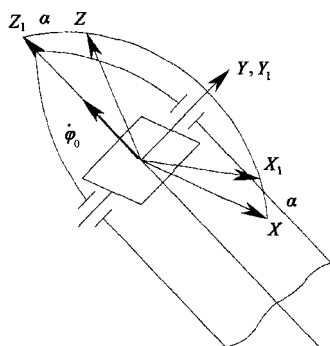


图 0-1 运动力学图

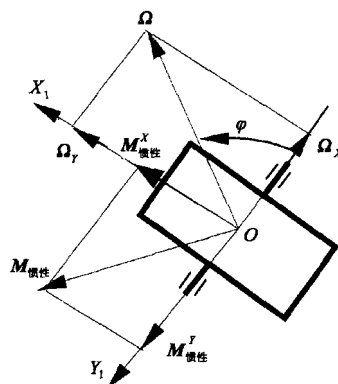


图 0-2 敏感元件产生振荡的示意图

$M_{\text{惯性}}$ 在 OX_1 轴上的投影 ($M_{\text{惯性}}^x$), 被轴承座内的反作用力矩所抵消, 而当 OY_1 轴上有投影 ($M_{\text{惯性}}^y$) 时, 框架就发生围绕 OY_1 轴转动。 $M_{\text{惯性}}^x$ 分量对敏感元件的运动没有影响, 却对轴承座给予附加压力。因此, 在利用弹性支承时, 就必须保证绕测量轴的支承具有大的刚度。所以, 框架与机座和火箭一起按固有角速度 $\dot{\varphi}_0$ 旋转, 力矩 $M_{\text{惯性}}$ 在 OY_1 轴上的投影 ($M_{\text{惯性}}^y$) 随频率 $\dot{\varphi}_0$ 按谐波

规律变化。换句话说,飞行器的旋转调制飞行器(火箭)的常值角速度,该角速度对与火箭坐标系相连的仪器框架产生的谐波,与被测量的火箭角速度成正比。

这样一来,框架将同样以 $\dot{\varphi}_0$ 频率振荡,其振荡幅度与被测量的角速度 Ω 的大小成正比,而相位却由飞行器上舵机位置与仪器的测量轴的位置之间的失调量的角度,以及仪器本身产生的一些相位移所决定。

来自仪器的信息传递给舵机,传递过程在与火箭相连的坐标系中进行。因为飞行器绕自身的纵轴按 $\dot{\varphi}_0$ 角速度旋转,其舵机也参与该旋转,考虑到飞行器这一旋转的调制性能,为补偿绝对空间中的常值角速度 Ω ,必须产生以 $\dot{\varphi}_0$ 为频率的舵机谐波运动。仪器框架的振动也按此规律进行。因而,为了控制舵机,必须使用仪器所测量的瞬时速度。仪器输出信号瞬时值和角速度矢量 Ω 在轴 OX_1 上投影成正比,也就是与仪器的测量轴上的投影成正比的,既由其幅度,又由其相位所决定。为了使仪器框架与火箭舵机两者振荡相位重合,必须将仪器正确地安装在火箭上。当仪器存在常值相位移,而在整个飞行过程中自身大小没有变化的情况下,则仪器安装到火箭体内时,采取仪器偏转一定角度的措施,即可起到补偿作用。

用于现代旋转状态飞行器的等级相似的知名仪器之一(9M390204),就是带有滑动轴承的单自由度框架的敏感元件,而框架的平面与飞行器构成的旋转轴互相垂直。为了提取信号,在仪器中使用了由永久磁铁和绕在敏感元件上的线圈构成的磁系统,线圈在恒定磁场中移动时,线圈中就产生电动势。电动势的振幅和相位与敏感元件振荡的振幅和相位相对应。同一个磁系统和敏感元件的骨架,有短路线圈,用来对仪器敏感元件振荡产生电磁阻尼。

若飞行器绕纵轴旋转的速度(10~20Hz)小,且稳定性差,根据前文曾指出的一些原因,在仪器里存在着比动态刚度大的静态角刚度的情况下,维持谐振状态和保证输出信号稳定就有巨大的困难。因此,9M390204 仪器中用滑动轴承代替弹性支承,使静态刚度远小于动态刚度。

理论研究和实验表明,上述仪器虽然有突出的优点,但还有一些缺陷直接影响着仪器输出信号的精度和稳定性。仪器方案的理论分析可以查明这些缺陷对仪器输出信号精度和稳定性的影响,并可通过实验证明。我们仔细研究了下述两项影响比例系数的重要原因。

1) 提高仪器灵敏度能使调谐原理得到应用。但是,敏感元件的振荡幅度稳定性还决定于仪器阻尼的稳定性。因为现在使用的仪器(例如 9M390204)都有电磁阻尼作用,故这些仪器在宽广的环境介质温度变化范围内,保障不了足够的阻尼稳定性。究其原因,首先是仪器敏感元件所用框架材料的电阻温度性能变化大,而这个敏感元件又参与创建阻尼力矩;其次是恒磁体的磁感应的温度性能不稳定的影响。而框架材料的电阻温度系数不稳定的影响,超过恒磁体磁感应温度不稳定性影响一个数量级。

环境介质温度对电磁阻尼性能稳定性的影响,在工作温度范围内($-40 \sim 75^\circ\text{C}$),使用黄铜制造陀螺仪敏感元件框架时,误差值达到 $\pm 25\%$ 。

2) 旋转状态飞行器用的转子型振动陀螺仪,可通过振荡环节加以说明。陀螺仪的输入端输入的是频率与飞行器旋转的自身频率相等的交变谐波信号。加于仪器的外部作用力的振幅大小与飞行器旋转的自身频率成正比,因为惯性力矩就是作用于仪器的外部作用力矩。由此可以得出的结论是,陀螺仪敏感元件振荡角速度与飞行器绕纵轴的旋转速度成正比,也按该振荡角速度实现输出信号的拾取。

这样,除了上述利用飞行器绕纵轴旋转速度作为陀螺仪自身转速的优点之外,也就存在着同一特性的缺点,即受到飞行器绕纵轴旋转的转速数值小,使不稳定性大的限制(10~20Hz)。

如果仪器敏感元件在转速不大的情况下,就足以使仪器具有陀螺仪的许多性能,从而可以完成同级别仪器的多种任务和要求,那么,飞行器旋转速度的不稳定性就会直接影响输出信号的稳定性。

角速度振荡系统获取信号的研究表明了,输出信号振幅与敏感元件自身的旋转速度存在着明显的关系。在 $10 \sim 20\text{Hz}$ 的范围内飞行器旋转频率不稳定性影响,导致仪器的比例系数不稳定,飞行器绕纵轴旋转频率为 15Hz 时,比例系数的影响为 $\pm 30\%$;当飞行器绕纵轴的旋转频率为 10Hz 和 20Hz 时,输出信号幅度变化两倍。此外,飞行器绕纵轴旋转速度不稳定性影响,在很大程度上还表现在输出信号的相位方面,周围介质温度以及飞行器旋转的自身速度的影响,可使相位误差达到 12° 。

如已指出的那样,在惯性空间,一般依靠舵机实现飞行器飞行的控制,而舵机与惯性空间中旋转的飞行器固定连接,因而也与陀螺仪壳体相连在一起。其输出的谐波信号瞬时值,在这种情况下就是仪器的输入信息。在保证如输出谐波信号的振幅,以及相位的精度和稳定性方面也都有同样要求。

考虑上述情况,我们的目标是:使旋转状态飞行器用的转子型振动陀螺仪的设计制造任务,满足运行条件下技术要求(见第 5 章),确定仪器数学模型及其在飞行中飞行器所有可能发生的运动条件下的运行状态。

将同级现有仪器的特性与第 5 章中引用的技术要求加以比较,就可得出结论,供旋转飞行器使用的转子型振动陀螺仪的设计制作,主要指的就是现有仪器方案的改进型产品,以求在相同的外形尺寸大小和相同的运行条件下,保证飞行器绕横轴旋转的角速度较高的测量精度。为了达到所提出的目标,必须弄清下列问题:

- a) 研究飞行器在飞行中的运行状态。
- b) 建立陀螺仪敏感元件强迫运动的全微分方程,并考虑飞行器飞行中各种可能发生的运动。
- c) 求解应对各种各样干扰因素和飞行器飞行中所有可能发生的运动而获得的方程。
- d) 利用已找到的解决办法,确定构建仪器的新型线路途径,以同样的外形尺寸,做到提高精度,同时又消除了线路的不稳定因素。
- e) 研究供旋转状态飞行器使用的转子型振动陀螺仪新型电路的稳定性和精确度。
- f) 测定仪器的运行状态,并在飞行器飞行中所有可能发生的运动条件下评估其误差。
- g) 详细编制仪器全部线路及其组成部分的设计计算方法。
- h) 为测定仪器精确度,设计制造实验设备。
- i) 按照拟定的方法研制仪器样机,并用专门设计制造的设备进行实验,目的在于检查理论和实际观测效果是否符合。

利用振荡理论、自动调节理论、材料强度理论、理论力学和全微分方程理论,以及自动调节的双自由度系统的方法,使提出的各项课题得以解决。为了建立飞行器绕其质量中心运动的微分方程,利用第二类拉格朗日方程式;为了构建仪器敏感元件运动的微分方程,利用了欧拉动力学非广义性方程;为了研究单通道部分的稳定性,使用古尔维茨方法和对数型振幅—相位的频率特性曲线;为了研究双自由度系统的稳定性,采用带有复合系数的对数型频率特性曲线。

研究工作应紧扣现实需求,努力提高现代对空武器的精度。为此,需要弄清如下问题:

- a) 旋转状态飞行器用的带速度负反馈的转子型振动陀螺仪线路的构建原理。

b) 旋转状态飞行器用的带速度负反馈的转子型振动陀螺仪的数学模型,以敏感元件运动的微分方程、仪器的传递函数及其结构简图的形式表示。

c) 旋转状态飞行器用的带速度负反馈的转子型振动陀螺仪的误差数学模型。

d) 旋转状态飞行器用的带速度负反馈的转子型振动陀螺仪的设计方法。

e) 仪器的输出特性和幅度—频率特性的测试实验设备,其组成包括角振动实验台、调控实验台用的及在个人电子计算机上展示实验结果用的整套程序软件包。

f) 采用实验研究的方法进行实验,并获得实验结果,以供检查数学模型的符合程度。所拟制的数学模型供旋转状态飞行器使用的带速度负反馈的转子型振动陀螺仪用,并以输出特性和振幅—频率特性的形式表达。

上述研究工作有如下新颖性:

a) 对旋转状态飞行器用的转子型振动陀螺仪的各种可能的线路方案进行分析,并在此基础上创建出新的最佳的带负反馈的仪器线路图。

b) 发展适用于带速度负反馈的转子型振动陀螺仪线路的理论,该理论可供具有绕横轴作圆周角振荡而绕纵轴旋转的飞行器上的转子型振动陀螺仪使用。

c) 编制供有速度负反馈的绕纵轴旋转的飞行器用的转子型振动陀螺仪的数学模型。

d) 确定有负反馈的转子型振动陀螺仪误差数学模型,并提出降低仪器方法误差和仪表误差的方法。

e) 制定有负反馈的转子型振动陀螺仪的设计方法。

f) 提出实验测定输出特性的方法。

在分析旋转状态飞行器用转子型振动陀螺仪各种可能的构成线路方案的基础上,研究设计带负反馈的转子型振动陀螺仪线路图,并制订带负反馈的转子型振动陀螺仪数学模型。然后进行仪器设计,加工制造结构件并组装出样机,研制出可测带负反馈的转子型振动陀螺仪输出特性,以及振幅—频率特性的实验装置。最后,实验确认带负反馈的转子型振动陀螺仪线路方案的理论。

根据任务要求,本书第1章中考察了飞行过程中飞行器以其质量中心为参照的各种可能的运动方式,全面详细地阐述了结构方案的选择、绕横轴转动的常值角速度的表现形式,以及飞行器运动中陀螺仪的性能。介绍了如何拟定有仪器敏感元件运动方程以及仪器框图为表现形式的数学模型,获得以仪器测定常值角速度及仪器传递函数条件下的输出信号表达式。在所定的仪器结构图和传递函数的基础上,进一步研究仪器单通道部分的稳定性,并测定相位的稳定储备裕量,标出增加稳定储备裕量的途径。最后,详细考察了测量绕组和力矩绕组补偿互感量影响的可能性,确定反馈线路图和由其产生的阻尼力矩表达式。

第2章中示出了陀螺仪输出信号的完整形式,给出了飞行器以常值角速度绕横轴运动时仪器精度的评估。首先在调研考察基础上,确定最终速度负反馈线路图,确保飞行器角速度的高测量精度;进行仪器输出端积分环节存在和不存在的两种反馈电路精度的分析比较,获得两种电路传递函数的表达式;指出仪器的相位移补偿飞行器自身旋转速度不稳定性的办法。

第3章中介绍了飞行器运动中,绕横轴作交变角振荡的条件下,敏感元件运动方程的完整解算过程,并给出了用仪器测量飞行器交变角速度的精度评价;获得了飞行器作角振荡和圆周振荡情况下,输出信号的振幅和相位的完整的表达式。

在框图和仪器的传递函数基础上,研究了仪器的双通道线路的稳定性,确定了稳定裕量,