

船舶导航仪器设计手册

万德钧 主编

国防工业出版社

编辑委员会

主 编 万德钧

副主编 丁先华 汪顺亭 周光霁

审 定 梁民桓 高寿祖

委 员 (以姓氏笔划为序)

丁先华 万德钧 王广存 孙世生 汪顺亭 宋美纹 邹桂根

林明邦 林松德 周光霁 周百令 张瑞明 梁民桓 高寿祖

徐春举 秦曾庆 翟羽健

秘 书 周百令

编写人员

第一篇 导航仪器常用零部件

责任编辑委 林明邦 高寿祖 丁先华 张瑞明
编者 丁先华 王寿荣 李西林 李宝章 邹桂根 苏德洋 余新英 张瑞明 黄建远
傅雄刚

第二篇 陀螺导航仪器常用零部件

责任编辑委 万德钧 周光霁 孙世生
编者 万德钧 王承瑶 王寿荣 孙世生 任天民 吴简彤 周百令 谈振藩 翟羽健

第三篇 典型导航仪器

责任编辑委 丁先华 翟羽健 徐春举 宋美纹
编者 陈训铨 陈长发 林忠尧 郭恒泰 郝燕玲 袁赣南 徐春举 鄢天金 隋绍崑
黄国栋 董家有 翟羽健

第四篇 现代设计方法应用

责任编辑委 汪顺亭 高寿祖 万德钧
编者 王寿荣 李滋刚 汪顺亭 颜顺娣

第五篇 导航仪器设计有关标准与常用资料

责任编辑委 周百令 秦曾庆 王广存 林松德
编者 张燕娥 秦曾庆

全文校核 贾伯年

责任编辑委 朱 静 林松德

前 言

我国自五十年代末开始仿制、生产船舶导航仪器，经广大科技人员三十年来的努力，已使国产导航仪器从仿制走向自行设计，从单机发展到系统，从简单的磁罗经提高到技术密集的惯性导航系统。目前，许多自行研制的产品已成批生产，不仅装备了各种大、中、小型普通军民船，还装上了核潜艇和远洋考察船。有些产品已销售到了国外。各科研设计单位、工厂和用户都积累了丰富的技术资料与经验。

认真总结国产导航仪器的设计、制造经验，介绍可供借鉴的国外先进技术，将船舶导航仪器设计所需的常用资料与标准、公式、结构汇集成册，为专业人员提供一本实用的工具书，必将有利于发展我国新一代导航仪器和进一步推动标准化、通用化、系列化工作。《船舶导航仪器设计手册》正是为了适应上述需要而组织编写的。

本手册汇集了目前国内外较常见的陀螺导航仪器、普航仪器、天文导航仪器和组合导航系统的设计资料，并以陀螺导航仪器为重点和以结构设计为主。考虑到导航仪器种类繁多，但其中许多零部件可以归类，故将导航仪器的通用零部件和陀螺导航仪器的常用零部件分别单独列篇。现代设计方法这门新兴学科，在导航仪器设计中的应用已日趋广泛，在本手册中以一定的篇幅作了介绍。最后一篇提供了导航仪器设计中常用的标准、规定和技术资料。

手册中选编的内容力求正确、可靠、先进和实用。它可供具有一定专业知识基础、从事船舶导航技术工作的专业人员和航海工作者与大学高年级学生、教师使用，对从事航空导航技术、制导技术和其它各种机电一体化仪器设计的专业人员也有一定参考价值。

参加本书编写工作的编委与编者多数为从事导航仪器技术工作多年的专家、学者。

在编写过程中，有关领导机关、部队、工厂、研究所和高等院校曾给予了大力支持和帮助，在此一并表示谢忱。

王盛水、张占基、孟庆福和罗海福等同志为本手册提供了许多很有价值的资料，谨表示衷心的感谢。

本手册的编审出版工作自始至终是在中国船舶工业总公司的指导和支持下进行的。

由于初次组织编写船舶导航仪器设计手册，缺乏经验，工作量大，时间仓促，故本书一定有许多不足之处，诚恳地希望广大读者提出批评和指正。

《船舶导航仪器设计手册》编辑委员会

目 录

第一篇 导航仪器常用零部件

第1章 弹性元件..... 1	1.7 膜片、膜盒55
1.1 片簧.....1	一、典型结构.....55
一、片簧的典型结构和计算..... 1	二、线性位移膜片的选用.....55
二、片簧的材料和许用应力.....11	
1.2 平面涡卷弹簧11	第2章 精密联轴器.....61
一、游丝的分类及设计要求.....12	2.1 固定式联轴器61
二、游丝的典型结构.....12	一、典型结构.....61
三、游丝的选用和计算.....14	二、主要尺寸的决定.....62
1.3 圆柱螺旋弹簧24	2.2 可移式联轴器62
一、圆柱螺旋弹簧的类型.....24	一、典型结构.....62
二、螺旋弹簧材料及其抗拉强度极限	二、主要尺寸的决定.....64
和许用应力.....24	三、拨销联轴器回差及传动误差
三、弹簧丝直径系列.....26	计算.....64
四、圆柱压缩螺旋弹簧的设计.....27	2.3 薄膜式联轴器65
五、圆柱拉伸螺旋弹簧的设计.....35	一、典型结构.....65
六、圆柱扭转螺旋弹簧的设计.....38	二、主要尺寸的决定.....66
1.4 碟形弹簧41	三、薄膜式联轴器回差计算.....66
一、碟形弹簧的形式和特性曲线.....41	2.4 弹性拨销联轴器67
二、碟簧的尺寸系列和标记示例.....41	一、典型结构.....67
三、碟簧的计算和材料.....43	二、主要尺寸的决定.....67
1.5 热敏双金属弹性元件45	2.5 弹性管联轴器68
一、热敏双金属片材料的物理性能.....45	一、典型结构.....68
二、热敏双金属片的类型及主要	二、主要尺寸的决定.....69
性能.....46	2.6 十字形联轴器70
三、热敏双金属片的规格.....49	一、典型结构.....70
四、热敏双金属元件的计算.....49	二、主要尺寸的决定.....71
1.6 波纹管50	2.7 簧片式精密联轴器73
一、波纹管的材料和工作温度及其结	2.8 万向联轴器74
构型式.....50	一、典型结构.....74
二、波纹管的基本性能参数.....52	二、主要尺寸的决定.....75
三、波纹管的技术要求.....53	三、传动精度计算.....77
四、波纹管的计算.....53	2.9 安全联轴器78
	一、典型结构.....78
	二、主要尺寸的决定.....80

2.10 单向联轴器.....80	二、谐波齿轮传动的设计计算205
一、典型结构.....80	三、谐波齿轮传动主要零件的材料及结构设计207
二、单向联轴器的计算.....83	4.6 带传动.....212
第3章 精密导轨.....84	一、同步齿形带传动212
3.1 滑动摩擦导轨84	二、钢带传动220
一、滑动摩擦导轨的结构设计.....84	第5章 精密轴系222
二、滑动导轨的设计计算.....87	5.1 精度.....222
三、滑动摩擦导轨工作图示例.....95	5.2 精密轴系的结构和计算.....223
3.2 滚动摩擦导轨98	一、标准圆柱形轴系223
一、滚动摩擦导轨的结构设计.....98	二、圆锥形轴系227
二、滚动摩擦导轨的设计计算103	三、平面轴系230
三、滚动摩擦导轨工作图示例108	四、半运动式圆柱形轴系232
3.3 高精度导轨.....110	第6章 滑动支承和弹性支承236
第4章 精密传动.....114	6.1 滑动支承.....236
4.1 小模数齿轮传动的几何尺寸计算114	一、滑动支承的分类236
一、小模数渐开线圆柱齿轮的基准齿式、模数系列及齿数选择.....114	二、圆柱支承236
二、小模数齿轮传动的几何尺寸计算116	三、圆锥支承252
三、直齿圆锥齿轮传动几何尺寸计算126	四、轴尖支承255
四、蜗轮蜗杆传动几何尺寸计算132	6.2 弹性摩擦支承.....262
4.2 小模数齿轮传动系统的设计与计算139	一、弹性摩擦支承的分类262
一、小模数齿轮传动系统的设计要求139	二、十字弹簧支承263
二、传动链总传动比、级数和各级传动比142	三、张丝和吊丝268
4.3 小模数齿轮传动链的精度计算.....146	第7章 流体静压支承272
一、传动链的回差计算146	7.1 液体静压轴承.....273
二、传动链的单向传动误差计算161	一、系统组成和分类273
三、传动链综合传动误差计算162	二、结构设计273
四、控制齿轮传动精度的设计方法.....163	三、液体静压轴承的设计计算280
4.4 小模数圆柱齿轮传动公差.....173	四、液体静压轴承设计举例290
4.5 谐波齿轮传动.....202	7.2 气体静压轴承.....292
一、基本原理及运动学计算202	一、分类292
	二、结构设计293
	三、气体静压轴承的设计计算296
	四、气体静压轴承设计举例302
	第8章 滚动支承305
	8.1 滚动轴承的分类, 结构特性和代

号	305	9.3 锁紧机构	387
一、滚动轴承的分类	305	一、手控锁紧机构	388
二、常用滚动轴承的类型、特点及适用条件	306	二、远距离控制锁紧机构	390
三、滚动轴承的代号	308	三、径向锁紧机构	391
8.2 滚动轴承的使用性能	314	四、轴向锁紧机构	396
一、精度	314	第10章 限位机构和定位机构	398
二、游隙	314	10.1 限位机构	398
三、极限转速	315	一、直线运动限位机构	398
四、摩擦力矩	316	二、小转角限位机构	399
五、振动和噪声	320	三、螺旋限位机构	401
8.3 滚动轴承的载荷与寿命	324	四、垫圈限位机构	404
一、额定寿命	324	五、齿轮凸块限位机构	410
二、滚动轴承的载荷	328	六、不带凸块的齿轮限位机构	414
三、按载荷选择轴承	329	七、蜗轮限位机构	416
四、常用滚动轴承的尺寸和主要性能	332	10.2 定位机构	417
8.4 滚动轴承支承的结构设计	348	一、刚性定位机构	417
一、滚动轴承支承结构	348	二、弹性定位机构	420
二、支承结构的调整	350	第11章 密封装置	425
三、滚动轴承的预紧	351	11.1 胶粘密封	425
四、滚动轴承的配合	352	一、密封蜡	425
五、与轴承配合的零件的精度	353	二、室温硫化硅橡胶	425
六、滚动轴承的润滑	356	三、环氧树脂密封胶	425
8.5 刀口支承简介	360	11.2 橡胶密封	426
一、摩擦力矩计算	360	一、橡胶的一般特性	426
二、刀子、刀承的结构尺寸	361	二、矩形真空密封槽的设计	432
三、刀口支承的技术要求	367	三、橡胶密封槽的结构与尺寸	434
第9章 调节机构与锁紧机构	369	11.3 真空接头	442
9.1 平衡调节机构	369	11.4 真空规管接头	445
一、加重平衡装置	369	11.5 电极密封结构	447
二、弹簧平衡机构	373	一、玻璃—金属封接电极	447
三、扭杆平衡调节机构	375	二、陶瓷—金属封接电极	448
9.2 微量调节机构	376	三、真空用低压电极	448
一、水平调节机构	376	四、真空用高压电极	449
二、间隙微调机构	378	第12章 导电装置	451
三、位移微调机构	382	12.1 软导线	451
四、摩擦微调机构	387	一、金属丝软导线	451

二、金属带软导体	453	15.1 阻尼器	507
12.2 接触式导电装置	454	一、液体阻尼器	507
一、中心触点式导电装置	454	二、空气阻尼器	509
二、滑环式导电装置	457	三、磁感应阻尼器	512
三、水银导电装置	463	四、摩擦阻尼器	514
12.3 导电液	464	15.2 减振器	516
12.4 密封接线柱	465	一、橡胶减振器	517
第13章 基准装置	468	二、弹簧减振器	543
13.1 水准器	468	三、无转角减振器	544
一、水准器的结构型式	468	四、导向防转装置	549
二、水准泡	469	第16章 壳体 and 机箱	550
三、水准泡座	476	16.1 外壳 and 底座	550
13.2 磁针装置	477	一、外壳	550
一、典型结构	477	二、底座	553
二、磁针装置的总体要求	480	16.2 机箱机柜	556
13.3 平面反射镜	480	一、机箱机柜的设计要求	557
一、平面反射镜的技术要求	480	二、台式机箱	557
二、平面反射镜的表面镀膜	483	三、型材结构机架机柜	558
三、平面反射镜的固紧	484	16.3 面板设计	568
第14章 示数装置	487	一、面板造型设计要求	568
14.1 游标的计算	487	二、面板结构型式	568
一、游标读数原理	487	三、指示装置和控制部分的设计要求	568
二、游标计算举例	488		568
14.2 分划与刻度	488	四、面板标示方法	569
一、分划间隔 e 的分组型式	488	参考文献	569
二、最小分划间隔 e_{min}	489		
三、分划线间隔公差及分划要素的公差	490	第二篇 陀螺导航仪器常用零部件	
四、分划线长度 l	490	第17章 陀螺电机	575
五、分划线的宽度、深度、截面	490	17.1 典型结构	575
14.3 金属分划元件的表面精饰和填料	492	一、钟形转子滚动轴承陀螺电机	575
14.4 数字的标注	493	二、对称转子陀螺电机	577
14.5 数字、汉字、字母的字型及符号	495	三、双电动机单转子体和单电动机双转 子体陀螺电机	577
第15章 阻尼器和减振器	507	17.2 转子体	580
		一、设计原则	580
		二、结构形状	581
		三、材料及其特性	583
		四、气体介质	585

五、转动惯量计算	586	三、电磁摆的输出特性及其灵敏度	707
六、强度计算	587	四、电磁摆参数选择	707
七、风阻力矩计算	590	18.3 液体摆	710
17.3 球轴承	591	一、液体摆结构	710
一、球轴承类型	591	二、液体摆输出特性及特点	712
二、球轴承润滑	598		
三、球轴承的刚度	601	第19章 惯性仪表支承装置	713
四、高速球轴承摩擦力矩的计算	611	19.1 框架用球轴承	713
17.4 气体动压轴承	612	一、结构类型	713
一、结构类型	612	二、安装方式	717
二、材料	619	三、框架球轴承摩擦力矩的计算	717
三、设计原则	621	四、套圈作强迫运动的球轴承	719
四、圆柱形气体动压轴承的设计	622	19.2 宝石轴承	720
五、螺旋槽气体动压轴承的设计——准不可压缩窄槽理论设计方法	632	一、结构类型	720
17.5 转子轴	657	二、材料及其特性	721
一、强度和刚度校核	657	三、接触应力与摩擦力矩的计算	723
二、临界转速校核	659	19.3 弹性支承	723
17.6 陀螺房	664	一、结构类型	723
一、结构与材料	664	二、弹性零件的材料	729
二、陀螺房的弹性变形	667	三、弹性力矩和扭转刚度的计算	730
17.7 陀螺电动机	668	四、应力的计算	733
一、鼠笼式感应电动机	668	19.4 液浮支承	735
二、同步磁滞电动机	684	一、浮液	735
三、永磁电动机	696	二、结构类型	739
第18章 摆元件	699	三、液浮支承粘滞力矩与圆盘支承阻力矩的计算	742
18.1 接触式机械摆	699	19.5 磁浮支承	743
一、接触式机械摆的结构和特点	699	一、结构类型与特点	743
二、接点压力	701	二、无源型单轴磁浮支承的计算	745
三、接点的温升计算	701	三、无源型单轴磁浮支承的四种调谐电路	750
四、接点间的电弧	701	四、无源型双轴磁浮支承	750
五、接点间的火花及其消除	703	五、有源型磁浮支承的类型	753
六、接点材料	704	六、交直流型有源径向磁浮支承	754
七、减小接触式机械摆的非灵敏区的途径	704	19.6 静电支承	755
18.2 电磁摆	704	一、结构类型与特点	755
一、电磁摆的结构和特点	704	二、无源型单轴静电支承	756
二、电磁摆的数学模型及其误差	706	三、双轴静电支承	758

四、三轴静电支承	758	21.5 激光陀螺仪	839
第20章 角度传感器和力矩器	764	一、组成及特点	839
20.1 角度传感器	764	二、参数、误差及设计方案	840
一、变压器式角度传感器	764	三、四频差动激光陀螺仪设计特点	842
二、电感式角度传感器	776	四、磁镜式激光陀螺仪的设计特点	843
三、电容式角度传感器	779	21.6 静电陀螺仪	844
四、软磁材料	783	一、类型、组成及设计要求	844
五、角度传感器的工程设计方法	789	二、结构设计	846
20.2 力矩器	792	三、参数及误差计算	850
一、常用的力矩器	793	第22章 加速度计	853
二、零位力矩	800	22.1 典型的加速度计	853
三、力矩系数的稳定性	801	一、液浮摆式加速度计	853
四、线性度和对称性	803	二、挠性加速度计	860
五、常用的永磁材料	804	三、加速度计的性能指标	866
六、气隙磁导公式	806	22.2 加速度计的设计	867
七、力矩器的工程设计方法	809	一、液浮摆式加速度计的设计	867
八、永磁式力矩器的工程设计举例	811	二、挠性加速度计的设计	872
第21章 陀螺仪	816	22.3 加速度计的实验	872
21.1 类型、功能及设计要求	816	一、加速度计重力场实验	873
一、类型	816	二、加速度计的单轴线振动实验	875
二、功能	817	三、加速度计的单轴角振动实验	878
三、性能参数	817	22.4 加速度计的发展趋势	879
四、设计要求	818	一、不断改进传统的加速度计	880
21.2 单自由度液浮陀螺仪	818	二、采用新技术、研制新型加速度计	880
一、组成及类型	818	三、采用多样化的伺服线路	880
二、误差模型及性能参数	819	四、发展多功能一体化加速度计	881
三、参数的确定	820	五、扩大应用领域	881
四、结构设计特点	823	第23章 电气元件	882
21.3 二自由度液浮陀螺仪	825	23.1 多极旋转变压器	882
一、组成、性能参数及误差模型	825	一、类型和结构特点	882
二、动量矩及干扰力矩的确定及计算	826	二、使用环境条件	883
21.4 挠性陀螺仪	833	三、技术数据	883
一、类型及特点	833	四、电气原理图	886
二、参数、误差模型及设计要求	834	五、外形及安装尺寸	886
三、挠性陀螺仪结构设计	836		

23.2 多极感应移相器	891	二、常平架受力偶载荷作用	935
一、使用条件	892	三、常平架受单边载荷作用	936
二、技术数据	892	四、常平架受转矩载荷作用	936
三、电气原理图	892		
四、外形及安装尺寸	893	第25章 惯性平台	937
23.3 力矩电动机	894	25.1 组成、类型及设计要求	937
一、使用条件	895	一、组成	937
二、技术数据	895	二、类型及结构	938
三、电气原理图	899	三、设计要求	939
四、外形及安装尺寸	899	25.2 参数及误差计算	939
23.4 坐标变换器	908	一、传递函数及参数	939
一、XZ系列、XZH系列、XZW系列正余弦旋转变压器	909	二、校正网络的选取	941
二、特制环型坐标变换器	921	三、通频带 W_c 的确定	941
23.5 圆感应同步器	921	25.3 惯性仪表的选用	942
一、GY _Z ^D 系列、GT系列圆感应同步器	921	一、陀螺仪的选用	942
二、320GX-01组装式感应同步器	923	二、加速度计的选用	943
23.6 光电编码器	925	25.4 惯性仪表的布置及取向	943
一、工作条件	925	一、积分陀螺仪的取向	943
二、型号及技术数据	925	二、二自由度陀螺仪的取向	945
三、外形及安装尺寸	926	25.5 惯性仪表的安装及定位	946
第24章 常平架	928	一、安装及定位要求	946
24.1 功能及设计要求	928	二、定位误差模型	946
24.2 类型及配置	929	三、安装面的结构及调整	946
一、二环系统	929		
二、三环系统	929	第26章 再平衡电子回路	948
三、四环系统	930	26.1 再平衡回路的作用和分类	948
24.3 常平架系统误差	930	26.2 直流模拟再平衡电子回路	949
一、载体位置角的确定	930	一、前置放大器电路	949
二、常平架误差	931	二、积分放大器电路	951
24.4 常平架数量及结构形式	933	三、电磁阻尼电路	952
一、常平架数量的选定	933	四、功率放大器电路	952
二、常平架结构形式的选取	934	26.3 交流模拟再平衡电子回路	953
24.5 常平架的刚度计算	935	一、前置放大器电路	953
一、常平架受两个对称载荷作用	935	二、带通滤波器电路	954
		三、交流放大器电路	955
		四、同步解调器电路	955
		五、移相器电路	957
		26.4 脉冲数字式再平衡电路	957
		一、高精度恒流源	958

二、极性开关和驱动器	959
三、锯齿波发生器和比较器	960
四、脉冲发生器和采样器	961
第27章 温控系统	962
27.1 测温元件	962
一、测温方法 with 要求	962
二、热电阻	963
三、测温元件的安装	968
27.2 加温元件	969
一、加热材料	969
二、绝缘材料	971
三、加温元件的计算与安装	973
27.3 典型温控系统	975
一、温控系统数学模型	976
二、温控电路	978
三、数字温控系统	981
第28章 随动系统	985
28.1 传递函数及系统框图变换	985
一、传递函数	985
二、系统框图变换	985
28.2 随动系统及其组成环节	987
一、几种常用的随动系统	987
二、随动系统的组成环节	988
三、主要元件的选择	988
28.3 随动系统的综合与分析	1002
一、系统微分方程	1002
二、系统稳定性分析	1003
三、二阶系统动态分析和设计	1004
四、系统静态分析与计算	1005
五、系统的校正	1006
28.4 随动系统的设计	1020
一、系统设计实施方法步骤	1020
二、设计举例	1021
参考文献	1025

第三篇 典型导航仪器结构

第29章 陀螺方位仪	1029
-------------------------	-------------

29.1 组成及类型	1029
一、组成	1029
二、类型	1030
29.2 误差计算及元件参数的拟定	1030
一、误差计算	1030
二、元件参数的拟定	1031
29.3 陀螺方位仪结构	1032
一、总体结构	1032
二、陀螺仪	1034
三、水平修正装置	1034
四、误差补偿装置	1035
五、随动系统	1035
六、方位匹配装置	1035

第30章 陀螺罗经	1036
------------------------	-------------

30.1 类型及设计方案	1036
一、类型	1036
二、设计方案	1036
30.2 陀螺罗经总体及元件参数的计算	1039
一、总体参数计算	1039
二、元件参数计算	1042
三、陀螺罗经自振周期的确定	1043
30.3 陀螺罗经误差计算及补偿	1045
一、陀螺漂移误差及补偿	1045
二、速纬误差及补偿	1045
三、加速度误差及补偿	1046
四、积分补偿的应用	1047
30.4 结构及设计特点	1049
一、陀螺罗经的组成	1049
二、摆式陀螺罗经结构及设计特点	1049
三、电控陀螺罗经结构及设计特点	1055

第31章 陀螺垂直平台	1062
--------------------------	-------------

31.1 类型及组成	1062
一、类型	1062
二、组成	1063

31.2 参数计算及元件选择.....1064	三、惯导系统的类型.....1092
一、稳定系统框图及参数.....1064	33.2 工程设计.....1094
二、参数计算及元件选择.....1065	一、工程设计内容及要求.....1094
31.3 陀螺垂直平台结构.....1067	二、惯导系统元件的设计要求.....1095
一、陀螺仪.....1067	33.3 误差及参数计算.....1096
二、常平架.....1068	一、惯导系统统一基本数学模型.....1096
三、稳定系统.....1069	二、惯导系统工作状态的选择.....1097
第32章 陀螺平台罗经.....1071	三、惯导系统误差计算.....1099
32.1 结构组成、类型及设计方案.....1071	四、惯导系统的计算机模拟.....1099
一、结构组成.....1071	33.4 设计特点及性能.....1103
二、类型及设计方案.....1073	一、采用单自由度液浮陀螺仪的惯
32.2 平台罗经总体参数计算.....1074	导系统.....1103
一、非惯导式平台罗经总体参数计	二、采用挠性陀螺仪的惯导系统.....1103
算.....1074	三、采用静电陀螺仪的惯导系统.....1103
二、惯导式平台罗经总体参数计算	
.....1074	第34章 磁罗经.....1105
32.3 平台罗经误差计算及补偿.....1077	34.1 磁罗经的分类与组成.....1105
一、非惯导平台罗经误差计算及补	一、分类.....1105
偿.....1077	二、组成.....1105
二、惯导式平台罗经误差计算.....1078	34.2 罗盆.....1106
32.4 平台罗经结构.....1080	34.3 罗盘.....1106
一、惯性仪表.....1080	34.4 罗经柜与校正器.....1108
二、常平架系统.....1081	一、A1型.....1108
三、稳定系统.....1082	二、A2型.....1109
四、控制及补偿系统.....1083	34.5 方位仪.....1109
五、定位系统.....1085	一、方位圈.....1109
六、信号传输系统.....1085	二、方位镜或棱镜装置.....1110
32.5 惯导式平台罗经设计特点及性	34.6 B级磁罗经.....1110
能.....1086	一、罗盆与罗盘.....1111
一、二自由度液浮陀螺仪设计方案	二、罗经柜.....1112
.....1086	三、方位仪.....1112
二、单自由度液浮陀螺仪设计方案	34.7 磁罗经的安装.....1112
.....1088	一、关于船舶结构的最小距离要求
第33章 惯性导航系统.....1090	1112
33.1 组成及类型.....1090	二、磁和电气设备以及电缆的安全
一、组成.....1090	距离.....1113
二、主要参数表示法.....1092	三、安全距离的确定方法.....1113
	第35章 计程仪.....1115

35.1 电磁计程仪.....1115	一、水下甲板坐标系天文导航系统.....1161
一、电磁计程仪传感器.....1115	二、水面地平坐标系天文导航系统.....1168
二、电磁计程仪航速解算系统的设 计.....1118	
三、速度测量误差的修正与电模拟1127	
四、船舶摇摆对仪器指示精度的影 响和抑制方法.....1128	
五、航程的解算.....1129	
六、计程仪的检查和调整.....1131	
七、计程仪器安装位置的选择及使 用注意事项.....1134	
35.2 多卜勒声纳计程仪.....1134	
一、概述.....1134	
二、设计中主要参数的选择.....1135	
三、多卜勒计程仪的典型组成.....1137	
四、误差及其改善途径.....1139	
第36章 回声测深仪.....1141	
36.1 典型结构和组成.....1141	
一、航海助航回声测深仪结构.....1141	
二、航海回声测深仪组成.....1142	
36.2 性能要求.....1142	
36.3 电声设计.....1143	
一、工作频率 f_0 选择.....1143	
二、声速 c 校正.....1143	
三、换能器尺寸.....1143	
四、发射脉冲宽度 t_e 选择.....1144	
五、测深声纳方程.....1144	
36.4 机电设计.....1146	
一、记录纸.....1146	
二、控制电机及其变速调速.....1147	
三、输纸速度控制机构.....1149	
第37章 天文导航仪器.....1151	
37.1 总体设计.....1151	
一、总体设计原则.....1151	
二、总体设计基础知识.....1151	
37.2 单机设计数据.....1161	
	第38章 自动操舵仪.....1169
	38.1 船舶航向自动控制系统.....1169
	一、航向自动控制系统的基本原理 及组成.....1169
	二、船舶航向运动的动态特性.....1170
	三、航向自动操舵仪的分类.....1172
	四、引起船舶偏航的干扰及数学处 理.....1174
	五、自动操舵仪的主要指标及有关 规定.....1176
	38.2 自动操舵仪系统设计.....1177
	一、调节规律和参数的选择.....1177
	二、灵敏度与参数分配.....1180
	三、自动操舵仪的动态稳定性.....1182
	38.3 自动操舵仪的部件设计.....1183
	一、操纵台.....1183
	二、放大器.....1192
	三、伺服机构.....1198
	四、反馈装置.....1202
	五、副操纵台, 简易操纵台、舵角 复示器.....1203
	38.4 自适应自动操舵仪.....1203
	一、自适应自动操舵仪的特点.....1203
	二、自适应自动操舵仪的分类及设 计.....1204
	38.5 自动化航行系统.....1207
	一、航海自动控制系统.....1207
	二、自动避撞系统.....1208
	三、自动化航行系统.....1208
	第39章 组合导航系统.....1210
	39.1 概述.....1210
	39.2 组合导航系统的基本原理.....1213
	一、系统组成.....1213

二、基本方法·····	1213
三、数据处理的方法·····	1214
四、几种导航设备的组合方式·····	1216
39.3 组合导航微机系统·····	1217
一、功能·····	1217
二、结构设计思想·····	1217
三、微机系统的组成·····	1218
四、基本电路的功能·····	1218
五、计算机的软件设计·····	1228
39.4 组合导航系统接口功能与设计原则 ·····	1232
一、接口的功能·····	1232
二、接口的设计原则·····	1233
39.5 组合导航系统模数转换与接口 ·····	1233
一、陀螺罗经模数转换与接口·····	1233
二、平台罗经模数转换与接口·····	1239
三、计程仪模数转换与接口·····	1254
39.6 组合导航系统数字信号传输接口 ·····	1257
一、无线电定位仪—劳兰C接口·····	1257
二、卫导/奥米加组合仪接口·····	1260
三、组合导航系统与卫导仪的接口方法 ·····	1263
四、雷达自动标绘仪 (ARPA) 的接口 ·····	1263
五、航迹绘图仪转换接口·····	1266
参考文献·····	1267

第四篇 现代设计方法

第40章 导航仪器的精度设计·····	1271
40.1 尺寸稳定性·····	1271
一、尺寸稳定性的概念·····	1271
二、材料的稳定化处理·····	1272
三、合金与稳定化加工工艺的选择 ·····	1275
40.2 对称设计和补偿设计技术·····	1285
一、导航仪器精度设计准则·····	1285
二、对称设计·····	1285

三、补偿设计技术·····	1286
四、等刚度设计技术·····	1287
40.3 毫微米加工技术·····	1288
一、毫微米加工技术的应用·····	1288
二、毫微米加工技术基础·····	1289
三、毫微米加工技术·····	1290

第41章 导航仪器的物理设计·····1293

41.1 电磁兼容性设计·····	1293
一、陀螺仪的电磁兼容性设计·····	1293
二、平台的电磁兼容性设计·····	1293
三、电源系统的电磁兼容性设计·····	1295
四、电子设备的电磁兼容性设计·····	1297
五、设备接口的电磁兼容性设计·····	1299
41.2 热设计技术·····	1300
一、基本概念·····	1300
二、惯性仪表的热设计·····	1300
三、平台温控系统的设计·····	1303
四、电子设备的热设计·····	1305

第42章 导航仪器的可靠性设计·····1312

42.1 电子设备的可靠性设计·····	1312
一、可靠性监控程序·····	1312
二、可靠性预计和分配·····	1312
三、故障模式分析技术·····	1331
四、可靠性设计技术·····	1335
42.2 机械设备的可靠性设计·····	1341
一、机械可靠性设计的步骤·····	1341
二、机械失效模式的特征及纠正措施 ·····	1344
三、机械可靠性设计方法·····	1348

第43章 某些设计方法的应用·····1357

43.1 低成本设计技术·····	1357
一、价值工程·····	1357
二、三次设计技术·····	1363
三、导航仪器的低成本设计技术·····	1364
43.2 计算机辅助设计法·····	1366
一、计算机辅助技术的发展·····	1366

二、计算机辅助设计技术及其应用	1368
43.3 冗余信息技术在惯导系统中的应用	1373
一、两套系统输出导航信息的处理	1373
二、利用两套系统的输出信息差值对系统信息误差的监控	1374
三、利用两套系统输出信息差值进行故障检测与诊断	1374
四、三套系统信息差值的处理与使用	1375
五、利用两套系统信息差值实现对系统误差源和误差的计算	1375
参考文献	1376

第五篇 导航仪器设计有关标准与常用资料

第44章 标准代号与有关标准	1381
44.1 导航仪器常用基础标准	1381
一、导航武备常用符号	1381
二、导航设备、仪器型号编制办法	1385
三、导航产品图样和技术文件的分类编号	1392
44.2 我国标准代号	1394
44.3 船舶导航仪器设计与常用标准目录	1397
44.4 外国标准化机构与标准代号	1405
44.5 国际标准、区域性标准代号	1413
第45章 船用导航设备有关规定	1416
45.1 关于船用导航设备的综合要求和建议目录	1416
45.2 各种船用导航设备的标准、规范、建议案等目录	1416
45.3 ISO/TC8/SC18和IEC/TC80正在制定的标准	1418
第46章 使用与运输环境条件	1419

46.1 舰船电子设备环境试验标准	1419
一、高温试验	1419
二、低温试验	1419
三、低温贮存试验	1420
四、恒定湿热试验	1420
五、交变湿热试验	1420
六、振动试验	1420
七、颠簸试验	1422
八、冲击试验	1423
九、日光辐射试验	1423
十、外壳防水试验	1424
十一、霉菌试验	1424
十二、盐雾试验	1425
46.2 定型试验和例行试验	1425
46.3 运输环境条件	1426
49.4 包装技术及方法	1427
一、防潮包装	1427
二、防震包装	1427
三、防锈包装	1428
四、其它包装	1428
46.5 对船用导航仪运输包装的要求	1428
46.6 导航仪器运输包装箱的试验	1429
第47章 常用微电机	1430
47.1 自整角机	1430
一、型号说明	1430
二、使用环境条件	1431
三、技术数据	1432
四、电气原理图	1440
五、系统接线图	1442
六、外形及安装尺寸	1443
47.2 伺服电动机	1450
一、使用环境条件	1451
二、技术数据	1451
三、电气原理图	1459
四、外形及安装尺寸	1461
47.3 步进电动机	1473
一、使用环境条件	1473

二、技术数据.....	1473	一、技术数据.....	1539
三、电气原理图.....	1473	二、外形及安装尺寸.....	1542
四、外形及安装尺寸.....	1481		
47.4 测速发电机.....	1487	第49章 常用的数据处理计算公式和	
一、使用环境条件.....	1487	表格.....	1546
二、技术数据.....	1487	49.1 平均值及其精密度指标.....	1546
三、电气原理图.....	1487	49.2 线性回归.....	1546
四、外形及安装尺寸.....	1487	一、一元线性回归.....	1546
47.5 常用微电机生产单位及其代号		二、二元线性回归.....	1547
.....	1494	三、多元线性回归.....	1548
		49.3 最小二乘估计.....	1550
第48章 常用接插件、开关及音响报警		49.4 线性离散系统的卡尔曼滤波.....	1550
元件.....	1495	一、动态模型.....	1550
48.1 插头插座.....	1495	二、线性最小方差估计.....	1551
一、型号说明及其配套关系.....	1495	三、卡尔曼滤波公式.....	1551
二、技术数据.....	1501	49.5 常用表格.....	1552
三、外形及安装尺寸.....	1501	一、正态概率积分表.....	1552
48.2 开关.....	1526	二、 χ^2 分布表.....	1554
一、使用环境条件.....	1526	三、t分布表.....	1555
二、技术数据.....	1526	四、F分布表.....	1556
三、外形及安装尺寸.....	1529	五、 Γ 函数表.....	1558
48.3 音响报警元件.....	1539	参考文献.....	1561