



国家出版基金资助项目 · “十二五”国家重点图书

航天科学与工程专著系列

THREE STAGES DESIGN OF AEROSPACE ELECTROMAGNETIC RELAY

航天电磁继电器三次设计

● 梁慧敏 翟国富 著 ● 谢国强 主审



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



国家出版基金资助项目 · “十二五”

航天科学与工程专著系列

THREE STAGES DESIGN OF AEROSPACE ELECTROMAGNETIC RELAY

航天电磁继电器三次设计

• 梁慧敏 翟国富 著 • 谢国强 主审



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内容提要

本书共分8章。首先介绍航天电磁继电器电磁系统、触簧系统及继电器动态特性的基本计算方法与分析方法,包括磁路法、磁场法计算电磁系统的静态吸力特性,等效网络法计算触簧系统的静态反力特性,修正系数法计算动态特性,基于虚拟样机的动态特性仿真法等;然后讲述继电器产品在总体设计、参数设计、容差设计过程中用到的基本理论与计算方法,包括电磁系统、触簧系统总体设计步骤、参数设计方法,动态特性的优化方法,基于静态特性、动态特性的容差设计方法,继电器关键工艺过程能力控制方法等;最后介绍在设计电磁继电器产品过程中需要用到的测试设备及用于评价继电器可靠性的相关试验设备与技术,包括电磁继电器静态吸反力测试分析系统、动态特性测试分析系统、综合时间参数测试分析系统、电弧试验分析系统及继电器可靠性评价与寿命试验系统等。

本书可作为高等学校电气工程、自动化等专业的研究生教材,也可供科研人员及工程技术人员进行相关产品设计时参考。

图书在版编目(CIP)数据

航天电磁继电器三次设计/梁慧敏,翟国富著. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2014.3

ISBN 978-7-5603-4009-8

国家出版基金资助项目·“十二五”国家重点图书·航天科学与工程专著系列

I. ①航… II. ①梁…②翟… III. ①航空继电器-电磁继电器 IV. ①V242.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第025813号

策划编辑 王桂芝

责任编辑 李长波 李子江

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街10号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨市工大节能印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 20.75 字数 516千字

版 次 2014年3月第1版 2014年3月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-4009-8

定 价 48.00元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

目前,关于电磁继电器设计的论著很少,而且出版年代较早,不能满足继电器设计人员的需求。我国航天继电器目前分析与研究方法存在许多问题,使得所设计出的产品性能参数分散性较大,质量难以控制,可靠性指标难以提高。因此,为了使设计人员能够设计出高质量(高性能、高可靠性、高稳健性)的新产品,尤其对于性能和可靠性指标要求较高的航天用继电器来说,实现产品由经验设计走向理论化、系统化、规范化设计,出版航天电磁继电器产品设计方面的论著迫在眉睫。

哈尔滨工业大学军用电器研究所自 20 世纪 90 年代以来,一直从事电磁继电器设计基础理论及其应用技术方面的研究工作,在国家自然科学基金(编号:51177021, 51207028, 51277038, 51307030)、国家 863、总装预研、国防基础科研、航天科技创新基金等项目的大力支持下,同多家继电器生产企业合作,取得了很多既有较高学术价值又有工程应用背景的重要研究成果。本书是上述研究成果的总结和提升,并吸收了研究所部分已毕业的博士生和硕士生的研究成果,他们是王其亚、樊薇薇、邓杰、余琼、张玉成、李孝臣、王文龙、尹英姬等。可以说,本书的出版是著者所在研究所全体教师和学生的集体创造与智慧的结晶。

本书以航天电磁继电器三次设计(总体设计、参数设计、容差设计)为主线,共分 8 章。第 1 章为绪论,介绍电磁继电器的基础知识、国内外发展现状,以及产品设计的总原则;第 2~4 章介绍在设计过程中将要使用到的电磁系统、触簧系统、继电器动态特性的基本计算方法与分析方法,并应用于某些型号的电磁继电器产品,分析关键参数对吸力特性、反力特性、动态特性所产生的影响;第 5~7 章介绍总体设计、参数设计、容差设计过程中用到的基本理论与计算方法;第 8 章介绍在设计电磁继电器产品过程中需要用到的测试设备及用于评价继电器可靠性的相关试验技术与设备。书中介绍的设计与计算方法均与实际电磁继电器产品设计过程紧密结合,深入浅出,使读者能够较快掌握继电器产品设计的相关知识。

本书由哈尔滨工业大学梁慧敏、翟国富教授共同撰写,参加撰写的还有叶雪荣、杨文英、周学、徐乐、任万滨等。本书由原航天科技集团公司第九研究院 165 厂总师谢国强研究员主审,并提出了许多宝贵意见,作者在此深表谢意。

由于作者水平有限,书中难免存在疏漏和不足之处,恳请广大读者批评指正。

作 者

2013 年 5 月

于哈尔滨工业大学

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 电磁继电器的定义和结构原理	1
1.2 电磁继电器结构分类	4
1.3 电磁继电器可靠性研究现状	6
1.4 电磁继电器产品设计原则	7
第2章 电磁系统计算与分析	11
2.1 引 言	11
2.2 电磁系统分类	11
2.3 极化磁系统简化磁路统一数学模型	13
2.3.1 极化磁系统典型结构与简化等效磁路数学模型	14
2.3.2 极化磁系统力与力矩	19
2.3.3 极化磁系统判别准则	21
2.4 磁路法计算电磁系统静态吸力特性	25
2.4.1 传统电磁系统	25
2.4.2 Balance Force 磁系统	29
2.4.3 极化磁系统	33
2.5 磁场法计算电磁系统静态吸力特性	37
2.5.1 传统电磁系统	37
2.5.2 Balance Force 磁系统	39
2.5.3 桥式极化磁系统	47
2.6 电磁系统关键参数对吸力特性的影响	51
2.6.1 永磁尺寸参数对极化磁系统力矩特性的影响分析	51
2.6.2 极面面积对力矩特性的影响分析	53
2.6.3 形状系数对永磁力矩特性的影响分析	59
2.7 本章小结	62
第3章 触簧系统计算与分析	63
3.1 引 言	63
3.2 触簧系统结构特征分类	64
3.3 触簧系统的原理结构及其反力特性	66

3.4 簧片柔度计算模型	70
3.4.1 子柔度	71
3.4.2 数学模型	71
3.5 触簧系统的等效网络模型	74
3.5.1 双力作用簧片的等效网络	74
3.5.2 一组转换触点的等效网络模型	75
3.5.3 桥接(先合后断)触点的等效网络模型	77
3.5.4 转换触点与桥接触点的统一等效模型	79
3.5.5 网络求解	81
3.6 触簧系统静态特性的数学模型	81
3.6.1 簧片装配位置与结构尺寸计算	82
3.6.2 簧片柔度计算	84
3.6.3 静态反力特性的归算	85
3.6.4 调试参数的归算	87
3.6.5 实验验证	87
3.7 触簧系统静态特性的约束条件	88
3.7.1 触点压力的约束条件	88
3.7.2 触点间隙的约束条件	89
3.7.3 触点超程的约束条件	90
3.7.4 触点与簧片尺寸的约束条件	90
3.7.5 反力特性的约束条件	91
3.8 触簧系统静态特性的影响因素分析	91
3.8.1 尺寸参数对触簧系统静态特性的影响	92
3.8.2 弹性模量对静态特性的影响	94
3.8.3 安装角对静态反力特性的影响	94
3.9 本章小结	96
第4章 动态特性计算与分析	98
4.1 引言	98
4.2 动态特性数学模型及求解方法	98
4.2.1 基于静态数据的数值求解法	99
4.2.2 多软件联合仿真法	100
4.2.3 有限元瞬态求解法	102
4.3 动态特性修正系数算法	103
4.3.1 基本思想	103
4.3.2 修正系数的求取	104
4.3.3 静态特性的快速计算	104
4.3.4 动态特性的快速计算	107

4.4 调整参数对动态特性的影响	110
4.4.1 基于正交试验设计的关键调整参数确定	110
4.4.2 调整参数的优化	118
4.5 基于虚拟样机的航天电磁继电器动态特性仿真	121
4.5.1 机械系统虚拟样机的建立	122
4.5.2 动态特性的联合仿真	124
4.6 本章小结	130
第5章 总体设计	132
5.1 引 言	132
5.2 静态吸反力特性配合	132
5.2.1 典型吸反力特性配合曲线	133
5.2.2 吸反力特性的改善	134
5.2.3 吸反力特性曲线偏移技术	135
5.3 推动点位置对静态吸反力特性的影响	138
5.3.1 簧片系统与电磁系统之间的基本关系	138
5.3.2 平直形动簧片分析举例	141
5.4 产品失效模式	147
5.4.1 密封电磁继电器的 FMECA 分析表	147
5.4.2 磁保持继电器的中间位置	147
5.5 总体构思及步骤	155
5.6 触簧系统总体设计	156
5.6.1 触点参数的确定	156
5.6.2 反力系统设计	157
5.7 电磁系统总体设计	157
5.8 本章小结	158
第6章 参数设计	159
6.1 引 言	159
6.2 参数设计的原理和流程	160
6.2.1 参数设计的原理	160
6.2.2 参数设计流程	161
6.3 电磁系统参数设计	162
6.3.1 目标函数的确定	163
6.3.2 关键参数的确定	163
6.3.3 试验设计及仿真计算	166
6.3.4 数据分析	169
6.3.5 结果验证及结论	175

6.4 触簧系统参数设计	177
6.4.1 试验因素及水平	177
6.4.2 正交试验的目标函数	178
6.4.3 各目标函数权重的确定	178
6.4.4 试验结果分析	180
6.5 以调整参数为变量的动态特性优化	182
6.5.1 优化方法	183
6.5.2 调整参数取值范围的确定	185
6.5.3 多变量多目标优化	186
6.5.4 优化结果	187
6.6 以电磁系统几何尺寸为变量的动态特性优化	191
6.6.1 动态特性的快速计算	191
6.6.2 吸合过程优化	192
6.6.3 优化前后对比	192
6.7 基于虚拟样机的动态特性优化	194
6.7.1 优化思路	194
6.7.2 目标函数的建立	198
6.7.3 优化结果及分析	199
6.8 基于均匀试验设计的触点滑移长度优化方法	201
6.8.1 触点滑移长度计算模型	202
6.8.2 触点滑移长度的优化模型	204
6.8.3 基于均匀试验设计的触点结构参数优化方法	205
6.9 本章小结	207
第7章 容差设计	209
7.1 引言	209
7.2 可靠性判别准则	209
7.2.1 基于静态特性的可靠性判别准则	209
7.2.2 基于动态特性的可靠性判别准则	210
7.3 电磁继电器可靠度分析	211
7.3.1 应力-强度干涉模型	212
7.3.2 可靠度的计算	213
7.4 基于静态特性的容差设计	214
7.4.1 基本原理	214
7.4.2 吸反力特性容差带	215
7.4.3 可靠度计算	217
7.4.4 磁间隙对可靠度的影响	220
7.4.5 容差分配	221

7.5 基于动态特性的容差设计	229
7.5.1 基本原理及方法	229
7.5.2 容差设计流程	230
7.5.3 电磁系统容差设计	230
7.5.4 触簧系统容差设计	236
7.5.5 容差的优化分配	242
7.6 航天电磁继电器产品一致性工艺控制技术	247
7.6.1 继电器产品批生产关键工艺的确定及优化	247
7.6.2 继电器产品统计过程控制(SPC)技术	249
7.6.3 免调率设计	255
7.7 本章小结	267
第8章 电磁继电器参数测试与可靠性试验技术	268
8.1 引 言	268
8.2 电磁继电器静态吸反力测试分析系统	268
8.2.1 电磁继电器静态吸反力测试分析系统工作原理	268
8.2.2 继电器静态吸反力测试分析系统的功能特点和主要技术指标	269
8.2.3 电磁继电器静态吸反力测试实例	270
8.3 电磁继电器动态特性测试分析系统	271
8.3.1 电磁继电器动态特性测试分析系统工作原理	271
8.3.2 电磁继电器动态特性测试分析系统的主要技术指标	273
8.3.3 电磁继电器动态特性测试实例	273
8.4 电磁继电器综合时间参数测试分析系统	274
8.4.1 继电器时间参数定义	274
8.4.2 继电器综合时间参数测试分析系统工作原理	276
8.4.3 电磁继电器综合时间参数测试分析系统软件框图	279
8.4.4 电磁继电器综合时间参数测试分析系统主要功能和技术指标	279
8.4.5 电磁继电器综合时间参数测试分析系统应用实例	280
8.5 电磁继电器电弧试验分析系统	283
8.5.1 电弧试验分析系统工作原理	284
8.5.2 电弧试验分析系统功能特点及技术指标	286
8.5.3 电弧试验结果及分析	287
8.6 永磁继电器永磁体测试分析系统	290
8.6.1 电磁继电器永磁体测试分析系统	290
8.6.2 永磁体测试分析系统的控制流程和功能实现	291
8.6.3 永磁体测试分析系统的主要技术指标	294
8.6.4 永磁体测试结果与分析	294
8.7 电磁继电器可靠性评价及寿命试验系统	299

8.7.1	系统总体方案	299
8.7.2	系统硬件电路	300
8.7.3	系统下位机软件	302
8.7.4	系统上位机软件	303
8.7.5	系统技术指标及功能	306
8.7.6	航天继电器可靠性评价及寿命试验系统实物图	307
8.7.7	航天继电器可靠性评价及寿命试验系统分析实例	308
8.8	本章小结	312
参考文献		314
名词索引		319

第 1 章 绪 论

电磁继电器在控制电路中有独特的电气、物理特性,具有转换深度高、可多路同步切换、输入输出比大、抗干扰能力强等一系列固体电子器件不能替代的优点,因此广泛应用于工业、国防及航天自动控制系统中完成信号传递、执行控制、系统配电、电路隔离、电压或负载转换等功能。

航天电磁继电器在航天自动控制系统的电能传输、信息控制与传递中发挥着重要作用,其技术水平代表了电磁继电器的最高水平。据不完全统计,一发战略导弹中的运载自控系统就需用电磁继电器近 500 只;一枚运载火箭控制系统使用的电磁继电器可达 300 余只;一颗大型卫星需用继电器 4 000 只左右,品种达几十个之多。可见航天电磁继电器的可靠性将直接影响整个航天系统工程的性能和可靠性。

航天事业的发展,对继电器等元器件提出了更高的要求,而如何提高继电器的可靠性则属于世界性难题。我国航天继电器产品已成功应用于航天工程,几十年的使用情况表明,还没有因为继电器失效造成整个系统的失效。从已有的通信卫星来看,继电器还在正常使用,说明我国航天继电器已达到航天可靠性要求。这种可靠性的获得是与航天继电器生产厂家采用一系列可靠性设计、可靠性生产、可靠性试验等工作分不开的。继电器长寿命、高可靠性的要求,必须通过可靠性工程来保证。

可靠性设计是可靠性工程的关键环节,是实现可靠性从设计源头抓起的重要工作。2000 年,由航天 165 厂谢国强研究员与哈尔滨工业大学刘茂恺教授主持编写完成的《航天继电器设计规范》是我国第一部为保证航天继电器可靠性设计的设计规范。该设计规范用于约束设计人员的设计过程,保证产品固有可靠性的获得。

航天电磁继电器产品设计分总体设计、参数设计和容差设计三个阶段进行,简称为三次设计,三者缺一不可。总体设计是三次设计的第一步,有了好的总体设计方案,才有可能设计出一个好的产品;总体设计方案不佳,即使参数设计与容差设计做得再好,产品指标也不可能有质的飞跃,产品不可能具有“长寿命”。参数设计是在总体设计的基础上,寻求最佳参数水平组合,使所设计的产品功能波动小、稳定性好。容差设计的主要目标是根据可靠性指标确定设计参数的容差,从而合理控制生产成本、保证产品性能及可靠性。通过三次设计,才能从设计源头保证所设计的产品具有长寿命、高可靠性的特点,使产品在接下来的制造过程中处于受控状态,生产一致性好。

1.1 电磁继电器的定义和结构原理

1. 电磁继电器定义与分类

根据国家标准 GB/T 2900.17—94,与电磁继电器相关的术语定义如下。

1) 电气继电器 (Electrical Relay)

电气继电器是当控制其电气输入电路满足某些条件时,能在一个或多个电气输出电路中产生预定跃变的一种器件。

2) 电磁继电器 (Electromagnetic Relay)

电磁继电器是利用输入电路内电流在电磁铁铁芯与衔铁间产生的吸力作用而工作的一种电气继电器。

• 按照作用原理,电磁继电器分为直流电磁继电器、交流电磁继电器、磁保持继电器、极化继电器及舌簧继电器。

(1) 直流电磁继电器。输入电路中的控制电流为直流的电磁继电器。

(2) 交流电磁继电器。输入电路中的控制电流为交流的电磁继电器。

(3) 磁保持继电器。将永磁(也称磁钢)引入磁回路,继电器线圈断电后,继电器的衔铁仍能保持在线圈通电时的状态,具有两个稳定状态。

(4) 极化继电器。状态改变取决于输入激励量极性的一种直流继电器。

(5) 舌簧继电器。利用密封在管内,具有触点簧片和衔铁磁路双重作用的舌簧的动作来开、闭或转换线路的继电器。

• 按照外形尺寸,电磁继电器分为以下三类。

(1) 微型继电器。最长边尺寸不大于 10 mm 的继电器。

(2) 超小型继电器。最长边尺寸大于 10 mm,但不大于 25 mm 的继电器。

(3) 小型继电器。最长边尺寸大于 25 mm,但不大于 50 mm 的继电器。

• 按照触点负载,电磁继电器分为以下四类。

(1) 微功率继电器。当触点开路电压为直流 28 V 时,触点额定负载电流(阻性)小于等于 0.2 A 的继电器。

(2) 弱功率继电器。当触点开路电压为直流 28 V 时,触点额定负载电流(阻性)在 0.2 ~ 2 A 之间的继电器。

(3) 中功率继电器。当触点开路电压为直流 28 V 时,触点额定负载电流(阻性)在 2 ~ 10 A 之间的继电器。

(4) 大功率继电器。当触点开路电压为直流 28 V 时,触点额定负载电流(阻性)为 10 A 以上的继电器。

• 按照防护特征,电磁继电器分为以下四类。

(1) 密封继电器。采用焊接或其他方法,将触点和线圈等密封在金属罩内,其泄漏率较低的继电器。

(2) 塑封继电器。采用封胶的方法,将触点和线圈等密封在塑料罩内,其泄漏率较高的继电器。

(3) 防尘罩继电器。用罩壳将触点和线圈等封闭加以防护的继电器。

(4) 敞开继电器。不用防护罩来保护触点和线圈等的继电器。

2. 电磁继电器结构原理

继电器的作用是通过触点的闭合、断开实现信号的传递。触点一般由簧片支承,簧片在电磁力的作用下带动触点,实现触点的分与合。因此,电磁继电器主要由两部分组成:

触簧系统和电磁系统,完成继电器基本功能的是触点,电磁系统提供电磁驱动力,起到辅助作用。

图 1.1 为某型号电磁继电器去掉外壳后的整机结构图,图 1.2 为电磁系统与部分触簧系统的结构示意图。其触点结构属于电磁继电器中常见的转换型触点组,由一个动触点(转换型触点)和两个静触点组成,两个静触点分别称为静合触点(又称常闭触点)和动合触点(又称常开触点)。该型号电磁继电器工作过程如下:线圈不通电时,动触点与静合触点闭合且与动合触点断开;当线圈通电时,衔铁受到电磁吸力作用而运动,带动推动器,推动动簧片移动,使动触点与静合触点断开,继而与动合触点闭合;当线圈再次断电时,衔铁在返簧与触簧系统共同作用下返回,动触点与动合触点分离,与静合触点再次闭合。推动器起到了电磁系统与触簧系统之间力的传递作用。

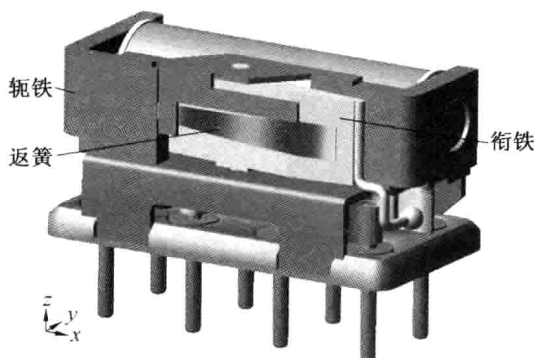


图 1.1 某型号电磁继电器整机结构图(不带外壳)

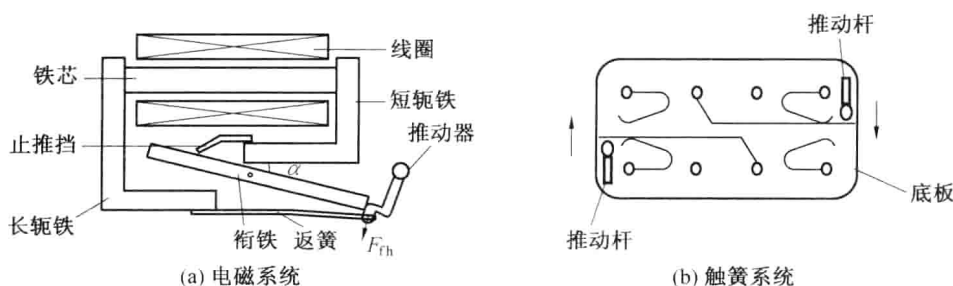


图 1.2 某型号电磁继电器结构示意图

电磁继电器中还有一种常见的结构,即在电磁系统中含有永磁,图 1.3 为某型号含永磁继电器的电磁系统结构示意图。这种类型电磁继电器的工作过程与不含永磁电磁继电器的工作过程类似,不同之处在于:永磁所产生的力也参与衔铁的吸合与释放过程。

3. 继电器正常工作的判断准则

继电器是一种受电压(或电流)控制的开关。继电器的动作过程是:在线圈上加上额定电压后,触点闭合,开关呈现接通状态;去掉线圈上的电压,触点打开,开关呈现断开状态。再进一步分析继电器的动作过程,就是当线圈加上电压后,电磁系统产生电磁吸力,该力大于维持触点打开状态的反力时,触点才能闭合;同理,维持触点打开状态的反力,大于电磁系统产生的电磁吸力时,触点则被打开。因此,维持继电器正常工作的判断准则是:

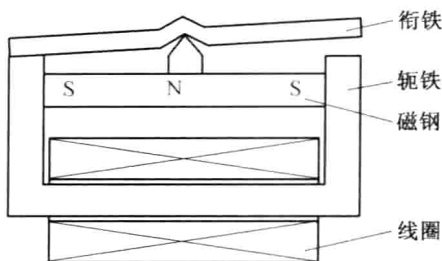


图 1.3 某型号含永磁继电器的电磁系统结构示意图

- (1) 吸力大于反力,继电器吸合,使触点闭合,完成开关的导通功能;
- (2) 反力大于吸力,继电器释放,使触点断开,完成开关的断开功能。

以上两条准则是确定继电器功能界限的重要依据。如果在给定的动作和返回控制条件下,以上准则不成立,则判为继电器工作不正常。如果继电器在规定的各种环境条件下,在规定的寿命期内,加上自身的各种变化的影响,以上两条准则都能得到保证,则认为继电器的工作是可靠的。

1.2 电磁继电器结构分类

从第一台继电器问世以来,继电器的发展史已有一百多年了,在这期间经历了许许多多的演变,种类繁多。为了便于掌握军用电磁继电器的结构与特点,下面从结构层次和衔铁返回方式两个角度对其结构进行分类与比较。

1. 结构层次

我国自 20 世纪 50 年代自行设计、生产军用及航天用电磁继电器以来,其结构按照层次可分为三种:一层、两层、三层。三层的典型代表产品如图 1.4 所示,其簧片、衔铁、线圈各占一层,这是军用继电器较早出现的结构形式。随着航天事业的发展,用户为继电器产品预留的空间减小,为了降低继电器的高度,生产厂家将衔铁和线圈做到同一层,从而出现两层结构,这种结构的典型代表是半个晶体罩规格的产品,如图 1.5 所示。目前,为了能够将继电器表面直接贴装在印刷线路板上,需要进一步降低继电器的高度,所以,一层结构必将随着市场需求而出现,即簧片、衔铁、线圈同层。

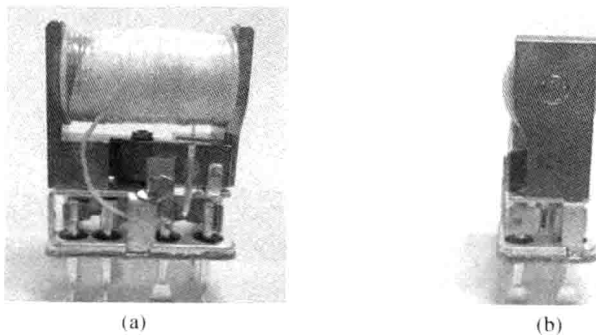


图 1.4 三层结构电磁继电器

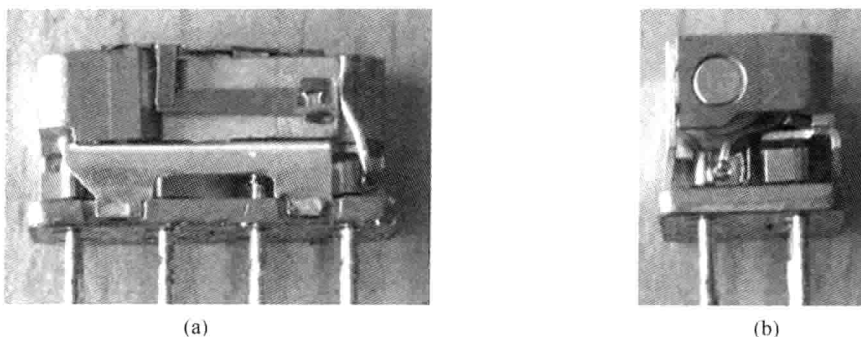


图 1.5 两层结构电磁继电器

2. 衔铁返回方式

军用电磁继电器按照衔铁返回方式可分为簧片返回、永磁返回(也称为磁钢返回)、永磁回路返回和极化磁路返回四种结构。

拍合式继电器一般都利用返簧使衔铁返回,属于簧片返回式结构。

平衡衔铁结构继电器存在簧片返回和永磁返回两种方式。最初采用簧片返回(见图 1.6),为了满足耐振性要求,将返回簧片改成永磁(也称为“磁钢”,见图 1.7),其永磁磁路属于独立的开式磁路,磁效率较低。永磁返回与簧片返回比较而言,永磁返回的优点是衔铁在释放稳定位置下保持力大,缺点是衔铁在开始释放一段时间内,由于衔铁与永磁间距较大,永磁力较小,所以衔铁运动速度较慢;簧片返回的优缺点正好与永磁返回相反。

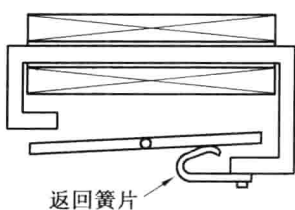


图 1.6 簧片返回示意图

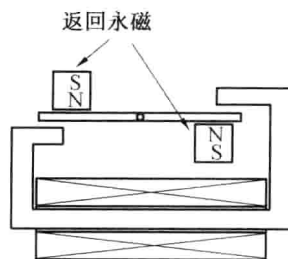


图 1.7 永磁返回示意图

采用永磁返回的结构虽然可以适当提高继电器耐力学环境指标,但其永磁磁路属于独立的开式结构,衔铁返回速度慢,造成触点烧蚀严重。因此,为了提高衔铁返回速度,将平衡衔铁结构中开式永磁磁路演变成闭式磁路,即永磁回路返回式结构,如图 1.8 所示。

图 1.9 为极化磁路返回式结构,衔铁返回由吸力特性与反力特性的配合关系决定,吸力特性由极化磁路决定,反力特性由触簧系统决定。

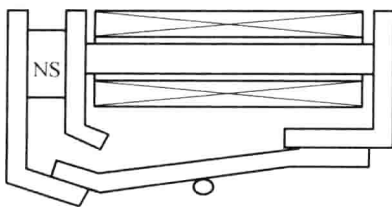


图 1.8 永磁回路返回示意图

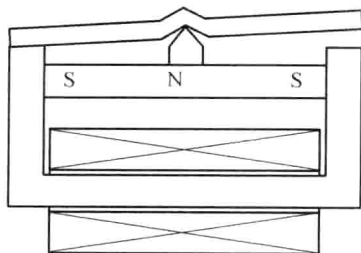


图 1.9 极化磁路返回示意图

1.3 电磁继电器可靠性研究现状

产品的可靠性是指产品在规定的条件下、规定的时间(或操作次数)内完成规定功能的能力。可靠性技术是以概率论为理论基础、以数理统计为基本方法的一门新技术,它包括可靠性设计、可靠性制造、可靠性管理、可靠性试验及失效分析等内容。

继电器作为自动控制系统的关键组成部分,其可靠性的重要程度毋庸置疑。数年来,国内外学者也围绕继电器的可靠性问题进行了大量研究,其主要研究内容包括可靠性设计、可靠性分析、可靠性测试及可靠性试验等多个方面。

上述继电器可靠性相关领域的各方面研究工作对于继电器的可靠性均十分重要,然而,只有可靠性设计才有可能从源头上提高继电器产品的可靠性,根本解决继电器的可靠性问题。

在学术界最早进行电磁继电器可靠性设计研究的是我国继电器可靠性领域的著名学者陆俭国,他于1988年在第36届美国继电器年会上以继电器吸合电压为随机变量,基于应力-强度干涉法建立了继电器产品不合格概率的计算模型,同时给出了当给定不合格概率时,吸合电压均值的计算方法,并提出可将此均值作为设计继电器电磁系统线圈电压的依据。此后,苏秀苹等提出了继电器吸合可靠性理论,指定工作电压的最小值为“强度”,实测吸合电压为“应力”,建立了小型继电器电磁系统可靠性优化设计的数学模型。同样是针对电磁系统,哈尔滨工业大学翟国富等采用正交试验设计方法分析了设计参数水平差异及波动对继电器电磁力特性所带来的影响。针对触簧系统,有学者将应力松弛、触点压力及舌簧尺寸等均作为随机变量考虑,对其概率分布进行了推导,并采用单纯形法进行了等截面任意形状舌簧的可靠性优化研究。考虑到电磁继电器能否正常工作取决于电磁系统和触簧系统的共同作用,翟国富等基于静态吸反力特性的配合提出了一种电磁继电器可靠性容差设计的新方法,并对吸反力特性呈现分布特性时电磁继电器的静态可靠度进行了计算。孙立军等则采用两极模糊模式优化模型对电磁继电器的可靠度进行了计算,并采用实时测试装置的测试结果对其进行了验证。

继电器可靠性测试方面,翟国富提出采用继电器的动合触点运动时间和超程时间研究触点的性能和工作可靠性,并以实测数据分析验证了该方法的有效性。河北工业大学李奎等采用脉冲电流法进行接触电阻的测试,并根据接触电阻的变化规律及其变化值的大小对触点接触可靠性进行了评价。姚芳等则通过对继电器触点静态接触电阻、闭合过程的接触电阻峰值和弹跳时间等的测试及统计分析,对继电器接触可靠性进行了研究。李奎还对某型号电磁继电器进行了可靠性测试,并根据测试结果对继电器可靠性进行了预计,分析了失效模式。根据对失效触点表面观察分析了失效机理,给出了改进措施。在可靠性测试装置的研制方面,国内外学者也进行了大量的研究工作。

继电器可靠性试验方面,有许多学者对可靠性试验装置、可靠性试验方法进行了研究。传统的寿命试验成本高,耗时长,W. J. Fontana等设计了寿命试验方案,并根据寿命试验数据,采用Weibull分析方法对继电器的可靠性进行预计。W. F. Rieder等根据寿命试验结果,分析了电应力对信号和功率继电器的接触电阻的影响。王志兵等则在其发表

的论文中阐述了如何利用可靠性强化试验技术对继电器失效机理进行分析。

继电器可靠性分析方面,梁慧敏等采用故障树方法进行了继电器可靠性分析,并针对各故障原因给出相应的改进措施。郑南昌以 FMEA 和 FTA 方法对某控制系统用继电器进行了失效分析,并根据分析结果给出了相应的对策与措施。隋文英首先根据国军标制定了寿命试验方案,然后基于试验结果进行了继电器失效模式和失效机理的分析。雷祖圣针对军用继电器的基本失效现象,分析了继电器主要失效原因,并给出质量控制和分析方法。C. Wang 等基于电力系统故障信息处理系统中的数据,利用马尔可夫概率模型和状态空间分析方法对保护继电器的可靠性进行了分析。

在继电器的其他可靠性研究领域,马存宝等根据继电器基本失效率模型和工作失效率模型,利用国军标元器件基本失效率数据,分析了质量等级、结构类型、触点形式及外界环境等各种因素对继电器可靠性的影响。Terutaka Tamai 研究了硅树脂蒸气和水汽对微小型继电器触点接触可靠性的影响。王淑娟等针对航天电磁继电器“小子样、零失效”的特点,给出了工作寿命可靠度的点估计方法。郑天丕、周志敏等根据实际经验,总结了提高继电器使用可靠性的有效方法。

综上所述,电磁继电器的可靠性问题一直以来备受关注,国内外学者通过可靠性测试、可靠性试验、可靠性分析等方面的研究以提高电磁继电器的可靠性。还有部分来自企业的专家结合其实际经验,或从结构设计,或从参数设计,或从加工工艺,对电磁继电器的可靠性设计问题进行了总结与研究。所有这些研究对电磁继电器可靠性的提高都起到了非常积极的作用,但若想从根本上解决电磁继电器的可靠性问题,必须研究如何进行产品的可靠性设计,从设计源头提高产品的可靠性。

1.4 电磁继电器产品设计原则

什么是“设计”?从字面上理解就是先“设”后“计”。“设”是指先假设一个对象;“计”是指计算,即对假设的对象进行计算。继电器产品设计分为三个阶段进行,即总体设计(或称为系统设计)、参数设计和容差设计,简称三次设计。总体设计的任务是提供能够满足功能要求的假想产品;参数设计的任务是根据性能指标要求,确定该假想产品的关键参数中心值;容差设计的任务是根据可靠性指标要求,确定该假想产品各组成部件的容差或公差。

要设计出好的电磁继电器产品,在设计过程中需要遵循以下设计原则。

1. 方案优选原则

在总体设计阶段,一般根据设计任务要求,给出两个以上的总体方案,然后对这些总体方案进行优选,获得一最佳方案。总体方案的优选原则如下:

1) 标准化、系列化、模块化原则

标准化原则是指所设计产品应符合国军标或其他国际标准,以满足进入国内和国际市场的要求。系列化原则是指在设计产品时,应严格按相关标准进行系列化设计。设计的产品结构由标准件、通用件和专用件构成。专用件种类不应超过零件总数的 40%。模块化原则是指航天电磁继电器由电磁系统模块、触簧系统模块和外壳组件三大模块组成。