

# 考虑天线罩瞄准线误差补偿的 制导控制回路分析与设计<sup>\*</sup>

王守斌,龚云鹏

(中国航天科工集团公司二院二部,北京 100854)

**摘要** 以某型号导弹为背景,针对天线罩瞄准线误差斜率严重影响制导控制系统稳定性这一关键问题,通过对控制系统的分析,提出了一种解决办法,并通过数学仿真加以验证。

**关键词** 天线罩瞄准线误差斜率,制导控制回路,数学仿真

中图分类号:TJ765 文献标识码:A 文章编号:1009-086X(2002)06-0027-04

## The analysis and design of the guidance and control loop for a certain missile on the basis of radome compensation

WANG Shou-bin, GONG Yun-peng

(The Second System Design Department of the Second Research Academy of CASIC, Beijing 100854, China)

**Abstract** A method based on the guidance and control loop design is presented to solve the problem that the radome slope seriously affects the stability of guidance and control system for a certain missile. In order to check the performance of the design, a mathematical simulation is conducted.

**Key words** Radome aiming error slope; Guidance control loop; Mathematical simulation

## 1 引言

天线罩误差斜率影响制导控制系统的稳定性,对于天线罩壁厚小于十分之一波长的反辐射导弹,这一问题尤为突出,而本文正是对处于特定波段的地空反辐射导弹的制导控制系统进行设计,故解决天线罩误差斜率影响导弹制导控制系统稳定性这一关键问题。

## 2 制导回路分析与设计

### 2.1 耦合回路稳定性分析与天线罩瞄准线误差斜率限制范围的确定

引入天线罩误差斜率后耦合回路简化框图如图1所示<sup>[1,2]</sup>。

图中: $\varphi_e$  为天线俯仰角; $q$  为导弹视线角; $\Delta\dot{R}$  为导弹与目标相对速度; $v$  为导弹速度; $n_I$  为导弹 I 回路过载; $\dot{\theta}_{SL}$  为导引头测量的俯仰角变化率; $k$  为常系数; $U_q$  为导引头测量的视线转率; $T_1$  为滤波时间常数; $T_{qd}$  为弹体时间常数; $\dot{\vartheta}$  为导弹俯仰角变化

\* 收稿日期 2002-01-14

基金项目:有

作者简介:王守斌(1974—),男,河北平泉人,工程师,硕士,主要从事导弹控制系统设计。

通信地址:100854 北京 142 信箱 30 分箱 电话(010)68387457(0)

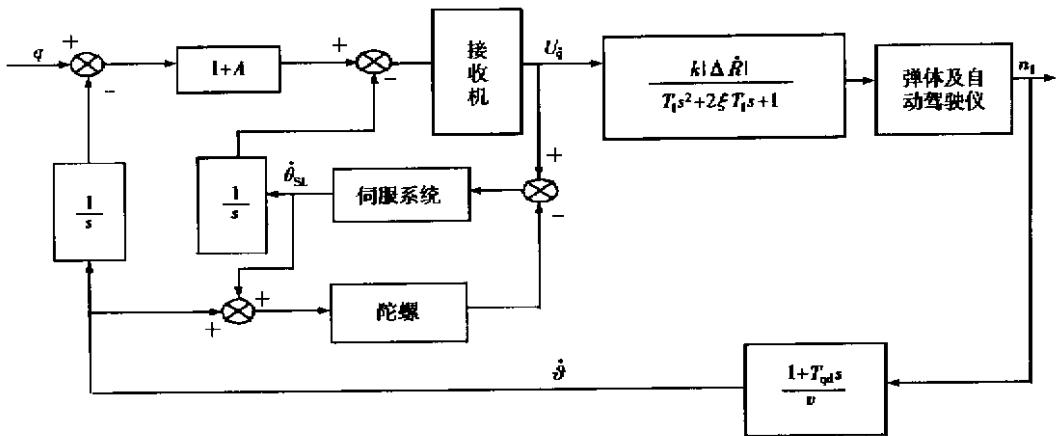


图 1 引入天线罩误差斜率后耦合回路简化方框图

Fig. 1 Simplified block diagram of coupling loop based on the radome slope

率  $\gamma A$  为天线罩误差斜率。

当天线罩误差斜率为零时,对耦合回路稳定性进行频域分析,其分析结果如表 1 所示。

考虑天线罩误差斜率影响,利用根轨迹方法确定出保持耦合回路稳定时天线罩瞄准线误差斜率所限的范围,其结果见表 2。

表 1 耦合回路频域分析结果

Table 1 Frequency analysis results of coupling loop

特征点 /s	幅值裕度 /dB	相位交界频率 (rad·s <sup>-1</sup> )	相位裕度 /°	剪切频率 (rad·s <sup>-1</sup> )
6	17.99	64.04	85.24	8.47
8	18.06	64.31	85.23	8.46
15	18.25	65.19	85.42	8.43
27	18.27	65.42	86.16	8.40
31.36	18.29	65.52	86.74	8.42

表 2 保持耦合回路稳定时天线罩误差斜率范围

Table 2 Range of radome slope keeping the stability of coupling loop

特征点	T = 6 s	T = 8 s	T = 15 s
A 的范围('/°)	-1.8 ≤ A ≤ 7.2	-1.8 ≤ A ≤ 7.8	-1.8 ≤ A ≤ 6
不补偿时对应的静态测试 A 值('/°)	俯仰 : -4.47 方位 : -4.12	俯仰 : -3.90 方位 : -3.03	俯仰 : -5.66 方位 : -1.70
特征点	T = 27 s	T = 31.36 s	
A 的范围('/°)	-1.7 ≤ A ≤ 4.8	-1.5 ≤ A ≤ 4.2	
不补偿时对应的静态测试 A 值('/°)	俯仰 : -6.10 方位 : -0.71	俯仰 : -5.25 方位 : -1.57	

从表中数据可以看出,天线罩实际瞄准线误差斜率已超出限定范围,这将影响到制导控制系统的稳定性。为保证飞行试验的成功就必须采取措施,消除天线罩瞄准线误差斜率的影响。

## 2.2 天线罩瞄准线误差补偿方案与补偿效果分析

采取天线罩瞄准线误差补偿措施后的耦合回路框图如图 2 所示。

图中:  $\varphi_\beta$  为天线方位角。

导弹飞行中,导引头实时测得天线俯仰角  $\varphi_\epsilon$ 、天线方位角  $\varphi_\beta$ ,利用预先存入导引头信号处理器存储单元的函数表,即

$$\Delta\sigma_{r_\epsilon} = f(\varphi_\epsilon, \varphi_\beta);$$

$$\Delta\sigma_{r_\beta} = g(\varphi_\epsilon, \varphi_\beta),$$

查得  $\Delta\sigma_{r_\epsilon}$ 、 $\Delta\sigma_{r_\beta}$ ,并从导引头接收机测得的跟踪误差角中实时予以扣除。这不仅减小了天线罩瞄准线误

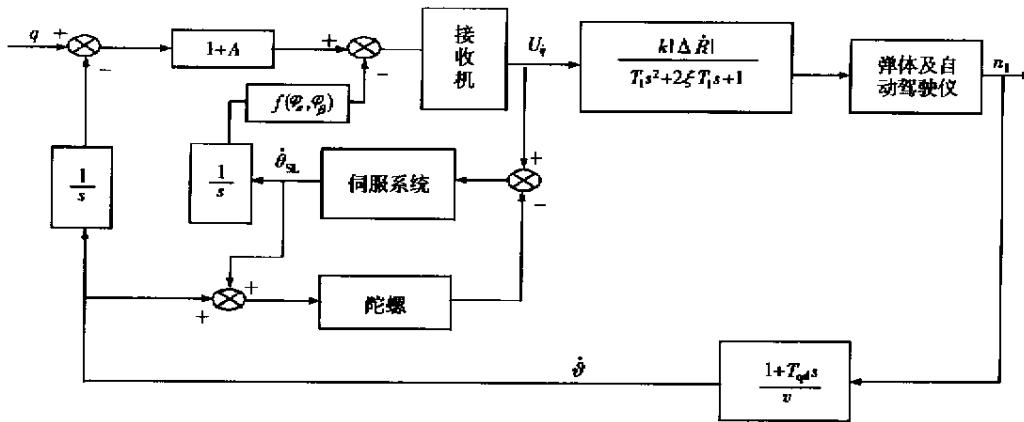


图 2 引入天线罩误差补偿后耦合回路简化方框图

Fig.2 Simplified block diagram of coupling loop based on the radome compensation

差斜率对输出视线转率的影响,而且明显削弱了天线罩瞄准线误差斜率对耦合回路的不利影响。

图 3~图 5 给出了在理想情况下(及  $A = 0$ )不采取补偿措施和采取补偿措施 3 种情况下数学仿真导弹攻角曲线。

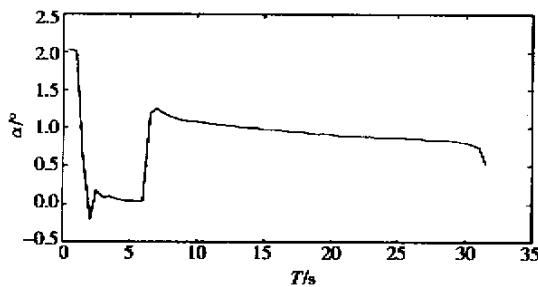


图 3 理想情况下的导弹攻角曲线

Fig.3 Theory attack-angle curve

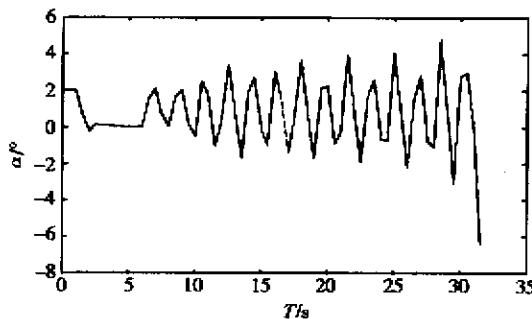


图 4 未采取补偿措施情况下的导弹攻角曲线

Fig.4 Attack-angle curve without the compensation

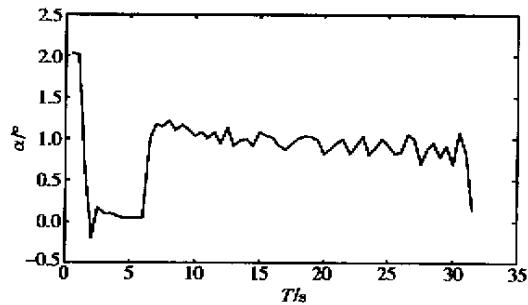


图 5 采取补偿措施情况下的导弹攻角曲线

Fig.5 Attack-angle curve with the compensation

通过曲线可以看出,采取补偿措施后的与理想情况下(及  $A = 0$ )仿真结果相近,这说明补偿效果是明显的,它是解决天线罩误差影响的技术途径之一。

## [参 考 文 献]

- [1] 郭长栋. 导弹防空导弹总体设计[M]. 北京:宇航出版社,1991.
- [2] 汪树和. 导弹自动控制系统分析设计[M]. 哈尔滨:哈尔滨船舶工程学院,1987.

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…

---



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

---

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>

---



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com))，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>