

梁 思 礼 文 集

中国宇航出版社

图书在版编目(CIP)数据

梁思礼文集/梁思礼著. —北京:中国宇航出版社, 2004. 10

ISBN 7-80144-845-6

I. 梁... II. 梁... III. ①梁思礼-文集②航天学-文集 IV. V4-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 099917 号

责任编辑 张卉竹

出版 中国宇航出版社

地址 北京市阜成路 8 号 邮编 100830
(010)68768548

网址 www.caphbook.com/ www.caphbook.com.cn

经销 新华书店

发行部 (010)68371900 (010)88530478(传真)
(010)68768541 (010)68767294(传真)

零售店 读者服务部 北京宇航文苑
北京市阜成路 8 号 北京市海淀区海淀大街 31 号
(010)68371105 (010)62529336(传真)

承印 北京智力达印刷有限公司

版次 2004 年 10 月第 1 版
2004 年 10 月第 1 次印刷

开本 1 / 16

规格 787 × 1092

印张 20.25 彩页 0.5

字数 418 千字

书号 ISBN 7-80144-845-6

定价 68.00 元

本书如有印装质量问题可与发行部调换



序

我很乐意为思礼同志这本书作序。这不仅仅因为思礼同志和我是 40 多年的航天战线的老战友,而且是因为列入书中的文章本身。

全世界都承认中国航天事业取得了巨大的成就,这个成就的取得完全依赖于全体航天人积极的努力,靠的是“自力更生、艰苦奋斗、大力协同、无私奉献、严谨务实、勇于攀登”的航天精神。一句话,靠的是对我们伟大祖国的热爱。这些话并不是简单的政治口号,而是从我们实践工作中一点一滴地总结出来的。思礼同志用他朴实的语言,用他亲身的体会,用不长的篇幅,从失败中杀出血路来,让人们能感觉到这种精神的威力。

思礼同志是控制系统专家,但他从不局限于控制系统,他对新鲜事物具有很强的敏感性而且经常考虑很多与航天事业发展有关的全局性问题,认真调查研究,提出建议,并参与这些建议的落实工作,有的还亲自领导完成。给我印象较深并在文集中有所反映的有,提出采用 CAMAC 国际标准接口作为航天系统通用自动化测试系统,抓紧了硬件制造,提高了可靠性,还推广了相应软件的应用。1996 年他亲自到美国波音公司考察并行工程的情况,回国后写了考察报告《并行工程的实践》并大力宣传和推广并行工程的做法。这种做法能使信息资源充分共享,发挥信息社会的长处;提倡技术上一体化(CAX)协同工作(Team Work)。事实上在他 1992 年的文章《增强 CAD/CAM 意识》中,特别是有关航天飞行器一体化设计与制造系统(AVIDM)的论述中就已经涉及并行工程的想法。他在导弹控制系统研制工作的质量和可靠性管理方面发展了一套适用于整个航天产品的管理办法,他明确地提出可靠性和质量是设计出来的、生产出来的、管理出来的,而不是试验出来的、检验出来的、统计分析出来的。他一贯重视加强技术基础,特别在 1998 年提出要“三出”即出成果、出人才、出技术基础,明确指出“能用落后的工艺产出先进的产品”这种艰苦奋斗的精神虽然可嘉但事实证明不能持久。



思礼同志这本文集涉及的方面很多,还包括裁军、教育等方面,在序言里不可能都涉及到。但是你能细细地读一下,就可从这位航天人笔下见到他的赤子之心,这是很值得我们学习的!

庄逢甘

2003年9月26日



目 录

导弹控制系统研制工作的质量和可靠性管理·····	(1)
1982 年所长质量工作会议总结·····	(19)
美国技术改造的主要领域——CAD 的现状·····	(34)
在航天部内全面推广贯彻 CAMAC 系统标准·····	(49)
关于加速发展中国航天事业的建议·····	(52)
Application of CAMAC System in the Measurement of Launching Rocket·····	(56)
参加联合国基辅裁军研讨会的报告·····	(70)
远程火箭研制片断·····	(76)
科技委应多研究技术发展方向方面的问题·····	(81)
专用集成电路及系统集成·····	(87)
关于载人航天的可靠性与安全性考虑·····	(96)
事先控制 预防为主——自动控制专家梁思礼谈质量与可靠性工作·····	(102)
关于军备控制和裁军·····	(105)
增强 CAD/CAM 意识·····	(108)
容错技术在航天领域中的应用·····	(113)
关于软件工程向领导汇报内容概要·····	(117)
从 CAX 到并行工程——在中国科学院大会上的报告·····	(128)
在 AVIDM50/52 演示汇报会上的讲话·····	(133)
第二届北京国际可靠性、可维性及安全会议主题发言·····	(142)
并行工程的实践——对波音 777 和 737 - X 研制过程的考察·····	(146)
电子系统小型化与系统集成·····	(216)
牢记落后就要挨打的历史教训——在总公司庆祝香港回归大会上的发言·····	(227)
从微电子技术发展看电子系统小型化与系统集成·····	(230)
谈素质教育——在某中学的报告·····	(235)
苟利国家生死以 岂因祸福避趋之——中国科学院院士梁思礼·····	(238)
吃一堑 长一智——12 所建所 40 周年纪念·····	(247)
论加强技术基础·····	(250)
“自力更生”是航天精神的根本·····	(258)
回顾与展望——中国航天控制与电子信息的一个侧面·····	(260)
太阳最红 祖国最亲——回忆我的青少年时代·····	(269)
南开精神与我·····	(274)
Reliability Engineering and Quality Management of Aerospace Systems·····	(276)
天津梁启超故居回忆片段·····	(287)
在中组部座谈会上的发言·····	(289)



在航天科技集团公司 AVIDM 专题工作上的讲话·····	(291)
经历失败·····	(294)
Some Considerations about NMD ·····	(297)
中国航天精神·····	(302)
梁思礼院士谈制造技术·····	(315)



导弹控制系统研制工作的质量和可靠性管理^①

第一部分

一、对可靠性工作本质的理解

日本的可靠性专家指出：“质量是生产出来的，不是检验出来的”。这句话很有道理，但不够全面。全面地看，可靠性和质量是设计出来的、生产出来的、管理出来的，而不是试验出来的、检验出来的、统计分析出来的。过去人们往往只把可靠性工作与概率统计、可靠性预测和评估、抽检等可靠性数学联系起来。我认为，可靠性工作不是一个学术问题，而是一个工程实践的问题。它在本质上是一个管理问题，在具体实施上又是要在整个型号研制全过程中解决一系列的工程技术问题。可靠性工作只有渗透到每一个研制阶段，渗透到每一项科研、设计、生产任务中去，才能真正奏效。各种试验、工厂检验、质量复查，都是可靠性工作的必要手段，今后必须加强，但它们只能说明产品可靠性的现状。同样，可靠性数学的应用和普及推广也是必要的，但我们只能用它作为一种工具，定量地预测或评估产品的可靠性。它只能比较定量地说明产品的可靠性达到多少，靠它不能提高可靠性。要想从根本上提高产品的固有可靠性，只能通过周密的设计、精心的生产和严格的管理。

二、为了保证产品的可靠性，必须贯彻“从头抓，在研制过程中不间断地抓”的原则

产品固有可靠性的增长是一个不断积累的过程，必须从型号方案论证开始就要抓可靠性，甚至在单项预先研究阶段就要打好可靠性的基础。而后在整个研制过程中要一步一步地，一个环节一个环节地，一道一道工序地，不间断地抓质量，才能保证最后的可靠性。研制第一代武器的经验教训就是在型号开始时和整个研制过程中对质量和可靠性重视不够，直到遥测弹开始总装齐套时才强调质量。在总装测试之前，甚至在出总装厂之前，才搞群众运动式的质量复查，有时在靶场

① 发表于七机部第一届科技委第一次会议文集(1982年5月)，选入《中国科学技术文库》(院士卷)。



即将试射时还要复查质量,这种最后算总账的办法实际上是一种“不得已而为之”的办法。当然做比不做要好,但它是不能从根本上解决问题的。因为,如果没有做到“从头抓,不间断地抓质量”,到总装测试时,设计和生产都木已成舟,即使在复查中发现了质量问题,改也困难。一是时间太紧;二是大量拆换虽然可能解决了发现的问题,但又可能带来其他方面的质量问题。过去质量复查往往只能补补漏洞,小修小改,不能从根本上消除隐患。在更多的情况下,只是判断一下质量问题可能带来的后果,如后果不严重,就只好带着问题上天。

“从头抓”首先要从单项预研工作抓起。第一代武器许多质量问题的“病根”在于有些新技术在预研工作不充分的情况下就仓促上马,边研制边攻关。但型号产品有时间要求,没有充分时间去彻底解决技术关键,只好带着问题进入以后的研制阶段。“中远程导弹”和“远程导弹”虽已进入定型阶段,却仍存在着不少遗留问题。我们过去也有成功的经验,如“ $\times \times - 3$ ”,在 20 世纪 60 年代初期,当时是按专业分院,比较认真地贯彻了聂总的“预研、型号研制和小批生产”三步棋的方针。在“ $\times \times - 3$ ”上马之前,发动机、惯性器件、控制系统等都有了比较充分的预研储备。某些关键元器件的技术关键问题均已突破,新的制导系统已通过“实验弹”的系统试验。因此,“ $\times \times - 3$ ”从方案设计到第一发飞行试验,仅用 1 年 9 个月的时间,而且质量一直比较好。

根据第一代武器的经验教训,今后必须加强预研工作,要像抓型号工作那样去抓预研工作。建议将全部的科研经费按一定比例(如 20% ~ 30%)分配给预研工作。如果经费不足,型号和预研可按同等比例压缩,不能单独压缩预研经费。总之,要从各方面促进专业性预研工作的开展,增加技术储备。在这种条件下,新技术在技术关键未彻底突破前只能作为预研项目,不应上型号。只有这样才能从“根”上把住质量关。

在第一代武器的研制中,缺少方案可行性论证,对战略指导思想和战术指标要求论证不充分。方案多变,批组状态多,而且每个批组的技术状态变化很大,相当于大部分研制工作要重做一遍。这不但大大地拖长了研制周期,而且由于每个批组给的研制周期很短,质量也得不到保证。这里既有上级领导和使用部门方面的原因,也有具体技术工作者方面的原因。在型号上马之前,往往由具体设计部门提出方案和战术技术指标,上级批准后型号就上马了。在型号研制出来后,又感觉不够满意,于是又提出新的要求,再重新搞新方案。而有些具体搞技术设计的同志往往喜欢搞新花样,既然上级提出新的要求,方案要重新做起,就不愿意沿用老的技术,而借搞新方案或新的批组之机搞新技术,致使各个批组技术状态变化很大。在第一代武器中“ $\times \times - 3$ ”方案论证比较成功,在方案定下来以后一直没有作大的变动,经过 01 批试射略加修改后 02 批就定型,从 03 批起就装备部队。



研制第一代武器的经验告诉我们:一个型号的战术技术指标和方案确定得正确与否,对整个型号的研制周期和质量影响极大。在论证战术指标(即可行性)时,一定要科学地从研究我国自己的核战略出发,根据我国的国情(包括工业发展水平、经济能力、技术储备等情况)实事求是地制定出合理的战术技术要求。切不可单独地凭着主观愿望,提出过高的不切实际的要求。方案论证要慎重周密,一旦方案和战术技术要求定下来就不要再改变,把已定的方案一直做到底。研制周期不能太长,一般应在五六年以内,切忌中途又提出新的要求或新的设想。方案不应多变,批组要少。技术方案要在一个已定方案上精益求精,在可靠性和精度上不断提高,把工作做细。最好在制订出方案后,在研制的前几个阶段(如方案设计阶段、初步设计阶段)多进行几个回合,把技术关键问题解决彻底。试样阶段以后,技术状态要趋于稳定。01 批试射成功后 02 批就定型,不要在“批”下面再分“组”。总的想法是批次要少,每批的时间可以拉长,把工作做细。这样,研制周期可以缩短,而质量一定会大为提高。要做到这一点,领导、使用部门和设计人员都必须做到“少变”,稳定基本技术状态。

三、为了保证产品的可靠性必须加强基础工作

导弹研制是一门综合性很强的科学。从技术层次上看有如一座金字塔,全弹是塔尖,然后逐层往下是分系统、整机、组合件、电子元器件和原材料。金字塔的基础是多方面的,除了元器件、原材料外,试验手段、生产工艺、标准化工作、计量工作等也属于基础的范畴。从第一代武器的研制经验来看,比较重视全弹,而对基础工作重视不够。加上“文化大革命”10 年的破坏,使各方面的基础工作濒于瓦解。由于基础不牢,第一代武器的研制工作,特别是在“文化大革命”期间,漏洞百出,各级领导和机关疲于奔命,到处堵漏洞、“救火”,这样就更加没有精力和时间去加强基础,形成了一个恶性循环,经常是处于被动挨打的地位。事实证明没有坚实的基础工作,就不可能有全弹的高质量。

以电子元器件的质量为例,第一代武器质量不高,原因是多方面的,但电子元器件可靠性不高是主要原因之一。在远程导弹和中远程导弹的 200 小时整机老练试验中,由于元器件失效的整机故障数占总故障数的 81.8%(共统计 1500 多台设备,30 万台时数)。如果从元器件筛选和调试工序算起,元器件故障数就更大。过去各级领导和机关对元器件质量问题也确实费了不少精力,有时甚至由部院领导亲自“跑元件”、求援。但过去的做法,只是就事论事,零打碎敲,一旦卡壳的问题解决了,型号工作能够进行下去了,就不再去研究如何从根本上解决元器件质量问题了。一院在发射远程导弹全程弹以前曾向科委和七机部送过一个《关于远



程导弹元器件质量的紧急报告》，引起了各级领导和四机部对元器件质量的重视，起到很大的推动作用。由此，科委下了很大决心，扶持四机部开展“七专”元器件工作。应该说，这是重视基础工作的一个很好的开端。“七专”的主要作用在于固定了使用方和元器件生产厂的定点协作关系，明确了生产厂的责任和义务。鉴于过去大部分元器件故障是由文明生产不好、管理不善引起的，“七专”首先在管理上提出了要求。其次，过去工艺上出现的问题也较多，“七专”根据以往出现的故障模式有针对性地提出了工艺改进的要求，尽量在生产线上消除故障产生的根源。其三，由于是定点专线生产，就有可能建立质量问题反馈的渠道，通过失效分析和采取纠正措施，使可靠性不断提高。其四，由于责任制明确，元器件出了批次质量问题，生产厂要负责任，避免了过去生产厂对质量问题无责任的状况。由于比较认真地抓了元器件基础工作，开展“七专”工作，元器件可靠性水平提高了近10倍。

整机(如平台、变换放大器等)的可靠性是全弹可靠性的基础。过去，对初样的生产和试验重视不够。在试样生产出来后，往往优先保证总装全弹，而不是优先保证整机设计单位。例如远程导弹平台和伺服机构试样一生产出来就首先保证系统综合试验，接着转到总装厂装弹测试，出厂试射；第二套出来后给系统设计部门；第三套做试验弹备份；原设计部门拿到试样实物最晚。在以后出现质量问题要求设计所查原因解决问题时，设计所根本没有实物。建议今后把上述交付顺序倒过来。试样产品首先给原设计所，要求他们作好各种考核试验，尽量把问题暴露在前面。在综合试验、总装测试和靶场试验中再发现问题时也就心中有数，有备无患了。除交付顺序外，在给设计单位的实物数量上也最好尽量满足。我们研制的目的是使型号达到所要求的战术技术指标。全弹试射是对型号全面的最后的考核，固然是非常重要的试验，但它并不是惟一的试验，只有各个整机和分系统都通过了充分的地面试验，才能保证全弹试射的成功。多作地面试验少作飞行试验才是最大的节约。要做到这一点就必须给各整机设计单位必要的试验对象和试验时间，让他们把工作做充分，这是加强基础的体现。

基础工作还包括试验设施和手段、生产工艺手段、计量手段等。“工欲善其事，必先利其器”，应考虑适当增加用于加强试验、工艺、计量、计算、分析等基本手段方面的费用，即使在科研经费比较紧张的情况下也应该这样做。

四、在计划安排中一定要贯彻“质量第一”的思想

安排计划进度要按科研规律和科研程序办事。每一个阶段的工作要在本阶段内做完，质量达到标准后才能进入下一阶段，不带着问题进入下一阶段。在第



一代武器的研制过程中,各级领导虽然经常强调质量第一,但在计划安排上却往往形成进度第一。进度和数量是硬指标,质量是软指标。质量和进度是一对矛盾,矛盾的主要方面是质量。计划进度不能按期完成的原因往往是由于质量问题,相反,如果上一段工作的质量过硬,下一段的进度必然会快,这是一种“瓜熟蒂落”、按自然规律办事的科学必然。在远程导弹的研制中,两种不同的做法带来两种不同的结果:01批第一发弹的试样综合试验计划只给1个月时间,因为是第一次设计,暴露的质量问题很多,为了赶进度,许多问题未彻底解决,就催着齐套总装。结果总装测试用了100天才勉强出了厂,但问题还是解决得不彻底,到靶场后又用了100天测试,最后才打出去。相反,向太平洋发射的试验弹在以前各阶段工作做得比较细,以后的综合试验、总装测试、靶场测试都很快,没有出什么大问题,工作都是比计划提前完成了。这两个例子从正反两方面说明一定不能违反科研规律,不能跨越阶段。

“倒排计划”是影响产品质量的原因之一。过去编制计划进度往往是根据外界需要,预先定了一个完成日期,然后由后往前排。每个研制阶段分配的时间多少不是由它本身需要决定,而是取决于最后期限。在安排计划时往往是以以后的阶段时间多留一些,以备一旦出现难题还不至于推迟最后期限。这种安排势必使前面的几个阶段,特别是方案、初样阶段的周期压缩得很短,致使在方案论证不透、初样技术关键未突破情况下就不得不转入以后阶段。因为有些计划不符合客观规律,结果往往是完不成任务,需要调整。调整计划也往往不是根据实际需要调整进度,而是先给一点儿时间,完不成时再给一点儿,形成多次调整。如果把总的调整时间一次给足,倒有可能把问题解决得彻底些。分几次调整,每次时间很短,只能做些小修小补,问题还是遗留在那里。

事先预定一个完成日期作为一个总奋斗目标是有必要的。有这样一个奋斗目标可以鼓舞斗志,使所有力量汇集在一起去实现这个总目标,使每个参加者具有紧迫感。但这个最后期限必须是科学地计算出来的,也就是要按科研程序办事,考虑到逐个阶段不折不扣地完成质量指标的工作量,从前往后排出最后期限。特别是对一些未知因素很多、许多新技术尚未突破的型号更应如此,因为不可能科学地有根据地定出这个日期。美国航天飞机最初定于1979年发射,后因几个关键问题未解决,一再推迟,到1981年才发射。由于技术问题解决得彻底,一次发射成功。对于我们一些技术复杂、周期长的型号同样存在这个问题,宁可把质量问题解决扎实点,争取一次成功,不要单纯赶进度。强调质量第一绝不意味着可以放松进度,相反,每个研制阶段必须在保质量前提下尽量加快速度,但如果尽最大努力仍达不到质量要求,进度就要服从质量。



五、要贯彻“尽早告警,切实纠正”的原则

一个型号(或产品)的可靠性增长是一个不断对这个型号(或产品)认识加深的过程,加深认识的方法就是理论—实践—理论—实践反复多次循环。在导弹研制中也就是设计、生产—实验,发现问题—分析原因,改进设计,修改样机—再试验,反复循环。国外所谓的 PDCA 循环也是这个意思。为了使产品可靠性增长得更快,我们应尽量早一些通过各种试验暴露产品的质量问题和产品的薄弱环节,这就是“尽早告警”原则。发现质量问题后就应该抓住不放,分析故障原因,采取纠正措施,切实加以改进。这就是“切实纠正”原则。改进一次,产品固有可靠性提高一步。上述循环愈早,愈快,次数愈多,产品的固有可靠性就增长得愈快。质量问题发现得愈迟,改进得愈迟,所花的代价就愈大。有时质量问题发现得太迟,以至时间进度不允许彻底改进。例如远程导弹的平台在方案设计时没有采用保温和保压方案,致使在低气压和温度变化情况下难以保证精度。

对控制系统来说,应该把初样设计阶段作为整个研制过程中最重要的一个阶段,因为它是把预研成果和型号要求在工程设计上结合起来做出最初样机的一个阶段。它距试射还有较长的时间,大量的试验工作还刚开始,这正是贯彻“尽早告警,切实纠正”原则的最好时间。在这个阶段应该充分进行各种必要的试验,尽早暴露设计缺陷和薄弱环节,把技术关键全部攻克了,然后加以改进。这样就可以避免过去边试射边攻关,甚至到定型时还遗留不少问题的那种情况发生。在第一代武器的研制中,我们没有足够重视初样设计阶段,认为初样仅仅是在地面作试验,不上天,因此在生产和元器件保证方面都不如试样那样重视。今后应把初样的地位提高到“工程考核样机”的位置。初样要比上天的试样经过更严酷的考验,必要时经过几个回合的反复修改,通过了各种超应力试验后才能进入试样阶段。这样就可以把问题暴露在前面,解决在前面。为此,必须像对试样一样地进行生产验收,并在计划上给足够的试验和修改的时间。

贯彻“尽早告警”原则的另一方法就是要在每个设计阶段完成后进行一次详尽的质量评审或质量答辩,检查出来的问题要落实在设计改进上,只有通过了质量评审才能进入下一个设计阶段。

六、要制定各项技术工作的质量标准

产品的高质量要靠每一项具体技术和生产工作的“工作质量”来保证。过去执行计划时进度是硬指标,质量是软指标。原因之一是因为进度时间是死的,容



易考核,而质量则因为没有明确提出标准和要求,比较抽象,难以考核。为了贯彻在研制的全过程中确保质量第一的指导思想,必须对各项主要技术工作和每个研制阶段要求达到的质量标准作出明确的规定,这些质量标准必须具体到可以考核的程度。在检查计划完成情况时,既要检查进度指标,又要检查质量是否达到标准。如质量未达到标准,不算完成计划。所谓质量标准就是在每项主要任务完成后必须拿出的具体成果(包括试验数据的统计分析,质量答辩报告等),通过这些材料可以反映出工作质量的好坏。例如整机设计在模型、初样、试样各阶段都应有各自具体的质量标准。对初样系统综合试验、试样验收性综合试验、系统模拟试验、地面测试发控设备验收试验、单机和系统考核摸底试验等都应规定质量标准。这些质量标准过去没有搞过,较难制定,需要组织在第一线有丰富实践经验的工作技术人员,通过总结多年的实际经验制定出来。

第二部分

根据上述“可靠性要从头抓起”、“加强基础”和“尽早告警,切实纠正”等原则,为了提高产品的固有可靠性,我们必须在可靠性设计、元器件和原材料的质量、生产过程中的质量控制 3 个环节上狠下功夫。

一、可靠性设计

(一) 可靠性设计的指导思想

1. 可靠性应作为型号研制的一项重要指标

在射程、威力、精度、生存能力、发射时间、可靠性等指标中,可靠性应放在首位。因为它是基础,可靠性不高,其他指标都无从谈起。

2. 尽量采用成熟的、经过考验的设计方案

采用新技术和新方案必须经过充分的预先研究和充分的试验,经鉴定后才能用于型号设计上。应规定没有过关的技术只能作为预研课题,过关后才能用于型号。

3. 设计应力求简单

系统和线路愈简单,元器件用得愈少,可靠性愈高。最好的设计应是使用最简单的线路、最少最成熟的元器件就能够完成任务的设计。片面追求所谓“先进技术”,把产品搞得非常复杂,而未能在性能方面获得较大的本质上的提高,反而降低了可靠性,增加了成本,这种设计是华而不实的,是不可取的。



4. 在选择设计方案时要深思熟虑

一旦方案确定后,就要坚持搞下去。这样可以积累经验,不断改进,固有可靠性也会不断提高。切忌朝秦暮楚、中途换马,一切又从头做起,这样基础永远不牢,可靠性也提不高。

(二) 要尽早摸清设计的前提

尽早摸清设计的前提条件如下:

1) 要摸清弹上、地面和贮存环境条件。可靠性的定义就是产品在规定条件下和规定时间内完成规定功能的能力。规定条件的主要内容就是使用环境条件,它是可靠性设计的前提。前提不清楚就无从谈起在什么条件下的可靠性。25年来,我们研制了第一代战略武器的几个型号,试射上百发弹,但对弹上的振动和冲击环境还是没彻底搞清楚。今后要把取得弹上振动冲击参数作为每次飞行试验的硬指标,同时还要在全弹试车和地面模拟振动试验中取得数据,使所提的振动条件更符合实际。

2) 对使用方提出的要求要进行合理性论证。

3) 通过理论分析和充分的地面试验,加深对弹体特性的认识。避免在提设计要求时由于认识不充分,总体、系统、整机设计各单位层层留有过的余量,以致造成许多“人为”的紧张现象,并对整机生产提出过苛的公差要求。

(三) 方案设计中的可靠性考虑

在方案设计一开始就应提出系统和各整机的可靠性指标及可靠性保证计划。选择方案时应同等重视可靠性、使用维护性应和其他性能指标。

在系统方案设计中,应尽量在理论上想办法使整机设计简单。如远程导弹制导方案从理论上解决了用增量式弹上计算机代替原来的全量制导计算机,使弹上计算机大为简化(由原 1200 块组件减为 700 多块),大大地提高了计算机的可靠性。又如调零装置由于设计方案的改进,01 批使用上百个元器件而 02 批降到十几个,也改善了可靠性。两个例子说明在方案设计这个根子上采取措施是可以大幅度提高可靠性的。

在稳定系统设计中保持较大的稳定余度,对全弹可靠性可以起很大作用。远程导弹,01 批第一发弹由于钽电容瞬间短路使 I 级发动机偏摆到极限,但仍能保持稳定,跨过声障。但单纯考虑加大稳定余度把系统通频带设计得过宽而忽视干扰问题也会带来问题,甚至失败。如“ $\times \times - 2$ ”第一发弹飞行失败,原因很多,抗干扰性能差也是原因之一。

在总体和系统方案设计中应从全局出发统筹兼顾,避免使难点过于集中在某



个系统或整机。要使各方面负担比较均匀,否则研制过程就会出现突出的短线和薄弱环节,对全弹的可靠性不利。

总体部和系统所要特别注意系统之间的结合部位,结合部位往往处于“几不管”状态,是最容易出问题的地方。如远程导弹Ⅱ级游动发动机的安装支架上的4个紧固螺钉拧的松紧,对游动发动机并无特殊要求,但发动机作为Ⅱ级伺服机构的负载,4个螺钉拧的松紧程度对伺服机构动态特性影响很大,直接影响Ⅱ级稳定系统的稳定余量和全弹可靠性。因此必须对螺钉松紧提出专门要求。又如平台减振器的线振动和角振动的交连会在稳定系统引入一个附加振荡环节,因此,对平台减振系统的动态特性要提出要求,并要进行充分试验。

应统筹考虑弹体、控制系统和各整机结合在一起的共振问题。一旦引起共振,振幅很大,会引起一系列可靠性问题。今后应从总体和系统角度防止多个共振点重叠的情况发生。应把仪器舱、仪器支架和仪器当作一个复合的大振荡系统进行研究并进行必要的试验。

(四) 系统线路设计和整机设计中的可靠性考虑

应在总结每代武器经验的基础上制定出一套可靠性设计规范,从设计上保证整机和系统的固有可靠性。下面列出一些设计规范需要包含的内容:

1) 设计整机线路时应进行深入的理论分析和计算。应考虑元器件在各种环境条件下参数偏差所造成整机性能变化,线路的实验要充分。

2) 要合理使用元器件。不应超出手册规定的技术参数范围再提出额外要求,使得供应困难和在以后使用中对参数变化过于敏感。

3) 要提倡“结实”的设计,即对各种变化条件的适应性要强,不怕“折腾”。无论电子设备还是精密机械设备都应搞“结实”的设计,而不是“脆弱”的设计。这也是可靠性设计的一个目标。

4) 今后无论是弹上还是地面设备,一律要采用定点生产“七专”元器件。如没有“七专”产品,在使用前一律按“七专”条件筛选。使用的元器件品种和厂家要尽量压缩,要采用优选系列的元器件。

5) 对采用的元器件一定要降额使用。在设计规范中要规定各种元器件参数的降额的百分比,在各级设计审核和设计答辩中要检查元器件降额使用的情况。使用元器件时恰当的降额可以成倍地提高整机固有可靠性,因此降额使用元器件必须形成制度。

6) 整机、设计者对所使用的关键元器件必须有深入的了解,不能停留在元器件手册的参数和技术条件上,要深入到元器件厂了解其生产工艺过程、质量情况和薄弱环节。对关键元器件在作充分的考核试验后方能采用。在发现故障后要



及时反馈到生产厂进行失效分析,采取改进措施。

7) 对一些可靠性不够高的元件(如继电器、接插件等),在设计中应用局部的重复线路以增加可靠性。在使用重复线路时要针对线路的特点和元件的主要失效模式,采用并联方式或串联方式,必要时采用串并联方式。要因地制宜,否则重复线路反而带来不可靠因素。

- 在弹上电缆网和整机内部关键部位的设计中要采用双线并联,接插件上要双点并联。允许采用最小直径导线要有限制。远程导弹 01 批曾经有一发弹由于速率陀螺断了一根信号线而坠毁。另外,曾经多次发现天津某厂生产的导线内部有断点,而外观上检查不出来。因此,双线并联虽增加重量但仍是必要的。

- 弹上供电线路要采用环形供电设计,即使一路断电仍能正常工作。

- 所有弹上要害部位的继电器要采用重复线路。

以上几种局部重复线路设计在远程导弹中都已使用过并证明是有效的。

至于全整机或全系统重复并联设计,从第一代武器的经验来看不一定是可取的。这样做大大增加了线路的复杂性和重量,有时还会带来其他方面的不可靠因素。最根本的还是要加强元器件和整机本身的可靠性,重复技术最好只用到元件或组合件一级。

8) 整机设计中必须包括热设计,特别是大功率的整机如电源等。

- 在设计中必须考虑在最高环境温度下的机器最大温升。在长时间运行情况下机器内部最高温度不得接近所用元器件的最高温度要求,要留够温度余量。

- 对大功率半导体器件要控制结温,这样可以大大提高其可靠性。

- 惯性平台的设计必须考虑恒温问题。远程导弹经验证明温度变化是影响精度的因素之一。

9) 针对环境条件的设计是:

- 高低温环境对半导体器件、伺服阀、伺服机构的密封性、惯性元件的精度等都产生影响,因此,在设计和原材料选择上都必须采取措施。

- 低气压环境对气浮平台影响很大,气压低到一定程度,气浮轴承就会产生自振,元件的性能将会被破坏。因此,气浮平台必须保压,保证平台内部压力在 1 个大气压左右。

- 应改革减振器的设计,跳出 1059 老框框,采用阻尼减振,通过阻尼把振动机械能消耗掉,减弱减振器的共振振幅。

- “三防”——防潮、防霉、防腐蚀。首先要合理地选用元器件和原材料,如对元器件的密封要有要求等。整块印制板喷防潮漆是行之有效的措施,以往在印制板上加硅橡胶的设计是不可取的,除了增加质量、更换元件困难等弊病外,还有一定的腐蚀性,影响使用寿命。遥测系统“大容量”遥测设备就是一例。所以,还要