

空空导弹弹体结构三防设计浅析

Research on Three-Prevention Design of Airborne Missile Body Structure

中国空空导弹研究院 蔡培培 胡凯征 胡晓辉

[摘要] 空空导弹的三防密封设计是提高其可靠性的重要环节。本文主要讨论了弹体结构设计中的三防结构设计技术,主要从设计准则、密封方法、防腐蚀方法以及典型工艺几个方面进行综合论述。通过对多种腐蚀形式的分析,结合目前空空导弹弹体结构的现状,提出了系统进行三防设计的思路。

关键词: 三防设计 密封 腐蚀

[ABSTRACT] The design of three-prevention is a key to enhance the reliability of airborne missile. A short review of three-prevention design is presented based on design rules, sealing method, corrosion prevention method and typical process. After detailed analysis of corrosion damage, combining airborne missile body structure, three-prevention design ideas is proposed.

Keywords: Three-prevention design Seal Corrosion

三防设计是指产品的防湿热、盐雾的大气环境及抗霉菌生长能力的设计。美国空军总部对沿海基地使用的产品进行故障调查与分析,结果表明,损坏或有故障的产品中 52% 是由环境因素造成的。其中由温度引起的故障占各环境因素引起故障的 40%; 振动(含冲击)引起的故障占 27%; 潮湿引起的故障占 19%; 盐雾、砂尘、霉菌引起的故障占 14%。我国大陆沿海及台湾海峡的很多军事区域属海洋气候环境,高温、高湿、空气中的腐蚀性物质、盐雾和各种霉菌对设备具有极大的破坏性,在这些地区服役的机载武器的三防性能不容忽视。现代三防技术已不是简单的“工艺防护”,而是发展为一项涉及材料、工艺、结构设计及保障方法的综合性技术。

1 空空导弹结构使用环境分类

导弹系统结构使用环境是选材设计、结构设计、表面防护设计等防腐蚀设计的前提和依据,可按其分类采用相应的防腐蚀措施,其分类如表 1 所示。

2 结构三防设计的必要性与原则

2.1 必要性

表1 空空导弹系统结构使用环境分类

环境	使用环境特征	举例
良好	相对湿度不大于 70%,不直接暴露在大气条件下,也无工业气体、燃料废气和其他腐蚀介质的影响	导弹密封舱段(导引头和引信舱)内部结构件
一般	相对湿度不大于 95%,不受阳光、雨水、雪和海水直接影响,但有少量工业气体、燃料废气或海雾的一般大气条件	导弹非密封舱段、电路盒、发射装置内部大部分零件,一般室内使用的测试仪、存弹架、对接台等
较差	相对湿度大于 95%,受风沙、盐雾、阳光、雨和雪直接影响,有工业气体、燃料废气和其他腐蚀介质的影响,但不浸泡在海水等腐蚀性介质中	导弹和发射装置结构外部零件,运弹车、挂弹车等
海上	长期与海水接触或经常处于饱和盐雾中	舰载导弹和发射装置以及沿海等海洋环境中使用的武器装备的外部结构件
特殊	除要求防护和装饰外,还要求具有某些特殊性能	要求耐磨、减摩、导电、隔热、绝缘、防高温粘结、防氧化、粘橡胶等

对于空空导弹这个庞大的系统来讲,要使其所有结构材料、电气材料的三防性能都达到预定的标准几乎是不可能的,必须采取必要的三防设计措施,在无法保证所有设备材料三防性能都达标的情况下应优先考虑三防密封设计。密封设计的基本思想是控制密封体内器件的工作环境,如果空空导弹弹体结构的三防密封设计不足,将会有大量的潮气、盐雾、霉菌侵入弹体内部,这

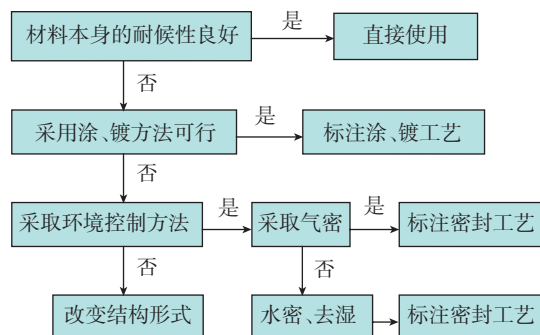


图1 三防设计的一般工作流程

Fig.1 General workflow for three-prevention design

无疑会对导弹本身的可靠性产生诸多不利影响。因此,进行密封设计是十分必要的。

2.2 原则

三防密封设计总的原则是:应综合考虑被密封件的三防要求及其他性能要求以求实现最优化设计。有一些基本原则在设计的过程中应尽量遵循^[1]。

2.2.1 密封材料

密封材料的选择应综合考虑被密封件及材料自身的特点。密封材料质量的好坏、可靠性的高低直接影响到设备的密封能力和可靠性,选好密封材料是进行密封设计的第1步。三防密封设计所选用的密封材料除了必须具有传统密封材料应具备的性能外,还要有优良的三防性能,同时还要求密封材料能适应被密封件的工作环境。

2.2.2 密封工艺

尽可能选用成熟的密封工艺方法,在应用新工艺时,需在理论和实践上确认其可行性。工艺方法选用是否合理将直接决定三防密封设计的成败,因此应尽量选用科学可靠的工艺方法。

2.2.3 优化设计

三防密封设计的目的是为了控制密封体内的器件工作环境,但有些时候却恰恰因为密封设计而给密封体内的器件带来新的不利环境。这种情况应该尽量避免。

针对使用环境的不同,具体设计方法的形成还要根据具体的密封件和密封形式来综合分析。

3 结构与三防设计

结构设计的物质体现是金属或非金属材料所形成的结构形式,材料及结构本身的性能是决定该产品耐候性的主要因素之一。环境因素对结构耐候性的重要影响之一是腐蚀,其主要因素为水、盐雾、氧气、温度、污染物和光照等。带来的不良影响有积水、腐蚀和老化等,防止方法主要有选用耐候材料、良好的结构形式、表面处理、密封和改善环境等^[2]。

因此,在进行设备结构设计时,可按以下方法进行设计:

(1) 结构件的选择应便于检查、维修或更换。

(2) 尽量减少积水积污的间隙、死角和空间,易积水的部位应设置足够的排水孔。

(3) 尽量将内腔和盲孔设计成通孔,便于排水和排除湿气。

(4) 避免不同金属的相互接触,以防电化偶腐蚀。不可避免时,应选用允许接触的金属材料或镀层。

(5) 电镀和氧化件要避免深凹、盲孔及积水结构,深凹槽底部和盲孔内很难有镀层,在前处理时,盲孔内

会截留腐蚀性液体而不易清除。设计时应避免夹缝结构,以防储留腐蚀液。要避免凸出的棱角和尖锐的切边(应打磨成圆角再进行防护处理)。

(6) 安装件的折弯半径应是板厚的1倍以上,以避免应力太大而产生应力腐蚀。

(7) 避免缝隙腐蚀,采用连续焊,在焊接部位需喷二道底漆及二道面漆,从而尽量降低针孔率。

4 空空导弹弹体结构的主要防护方法

4.1 选材设计

(1) 根据零部件使用部位全面考虑材料的强度、疲劳性能、断裂韧性、耐蚀性、工艺性等,在满足必要的力学、工艺和结构要求的前提下,优先选用抗腐蚀性能优良的材料,如导弹壳体、舵翼面采用钛合金,舵轴采用不锈钢等。

(2) 舱段外部各种金属材料采取表面处理和喷漆的防护措施,做到无裸露状态使用。

(3) 不同材料接触时,尽可能选用相同或相容的材料,否则应按GJB1720进行防护。

(4) 易腐蚀部位和不易维护的部位应选用耐腐蚀性能好的合金。

(5) 要特别注意有关热处理的规定和防腐蚀要求,避免选择会引起应力腐蚀和氢脆的表面加工。

(6) 外露零件不推荐采用镁合金。

(7) 绝缘和密封材料不吸湿和不含对周围金属结构产生腐蚀作用的氯化物、硫酸盐等,所有非金属材料均具有足够的强度和使用寿命。

(8) 润滑剂与密封圈之间相容,不会发生溶胀现象。

4.2 结构密封设计

三防设计中密封设计的重要性不言而喻。优良的密封设计有利于控制密封体内器件的工作环境,阻止或延缓潮气、盐雾、霉菌侵入弹体内部,这其中大量的工作在缝隙问题的处理。

缝隙腐蚀在武器类产品上最为严重,一旦形成很难根治。实际上,金属制件用铆、焊、螺钉等方法连接,在金属与金属或金属与非金属之间都存在缝隙,若缝隙宽度足以使水等介质滞留其中,就会加剧腐蚀,如图2所示。

空空导弹弹体结构的密封设计总体上可归为如下几个方面:

(1) 全弹密封包括舱段密封设计和舱段接口密封设计。

(2) 舱段在结构密封设计中,主要是舱段壳体和内部设备的连接孔位的密封,在连接螺钉处壁厚加厚,采用密封剂进行螺钉孔位密封。

(3) 弹体舱段接口采用密封圈密封结构,径向连接

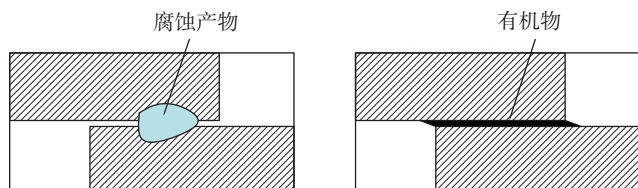


图2 缝隙腐蚀及密封方法示意图

Fig.2 Diagram of crack-corrosion and method to prevent it

螺钉均涂密封剂实现防水密封。

(4) 对密封有特殊要求的部件,如对部件自身结构进行气密设计,部件与壳体采用密封圈进行水密设计。

(5) 弹体上的口盖密封,采用密封剂和密封垫与弹体粘接,具有较好的耐水、耐油、耐老化性能。

(6) 密封的结构间隙宽度恰当,使密封剂能填满缝隙。

(7) 密封的结构边缘设计能使密封剂粘结牢靠。

(8) 弹体外部采用耐蚀性好、强度高、氢脆和应力腐蚀敏感性低的,并经钝化不锈钢紧固件。紧固件采用螺纹胶湿装配,装在弹体外部的紧固件的埋头部分采用密封胶密封。

连接结构常用的密封形式如图 3~ 图 5 所示。

4.3 表面防护

表面防护技术是针对于弹体舱段壳体金属表面上发生的比较均匀的大面积腐蚀而采取的防护技术。

目前采取的主要防护方法为:

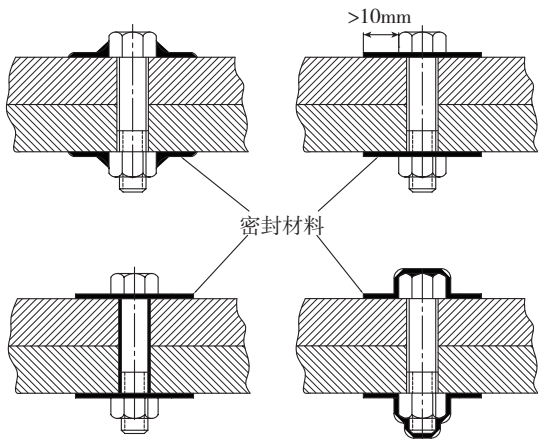


图3 螺栓连接的密封示意图

Fig.3 Diagram of seal for bolted connection

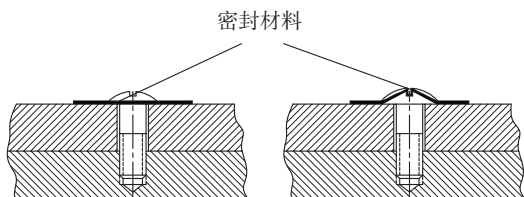


图4 螺钉连接的密封示意图

Fig.4 Diagram of seal for screw fastening

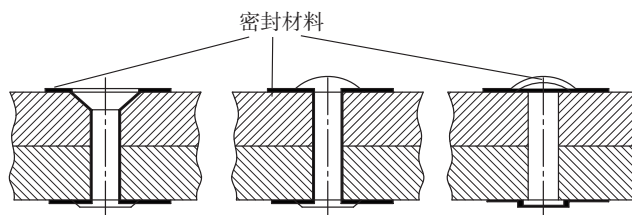


图5 铆接件的密封示意图

Fig.5 Diagram of seal for rivet joint

(1) 采用满足产品工作环境、结构形状、公差配合要求、热处理状态、加工工艺、连接方法、材料特性等要求的金属镀覆层与化学覆盖层。

(2) 根据使用部位选择有机涂层,综合考虑了涂镀层之间及与基体的附着力,涂层的耐蚀性能,耐大气老化性能,耐湿热、盐雾、霉菌的“三防”性能以及涂层系统各层之间的适配性和工艺性。

(3) 充分考虑涂镀层寿命与产品寿命匹配性。

4.4 异金属接触

(1) 舱段外部相互接触的材料,尽量选用同一种金属材料,如舱段壳体尽量统一选用钛合金。

(2) 当 2 种材料电位差相差较大时,采用硅橡胶将金属连接面绝缘或将连接件的所有表面涂敷涂料涂层,避免直接接触,如连接槽的密封。

(3) 舱段外部所有暴露的连接面和缝隙边缘均使用密封剂填充、隔离,如弹体舱段壳体对接面。

(4) 碳纤维或金属填充的树脂材料等,能够和与其连接的金属发生电偶腐蚀,对与其连接的金属进行防护。

5 三防设计与技术管理

三防是一项系统工程,涉及到总体、电气、结构、工艺、质检、生产等多个环节,只有各个方面有效配合,才能切实有效地落实三防设计,实现三防设计的目标。因此,在以下几个方面需着重考虑^[3]:

(1) 系统设计时要把三防考虑在内。

(2) 需要结构、电气、工艺密切配合。

(3) 理顺计划与质量的关系,给三防实施留有足够的时间。

(4) 质量检验严格把关。

6 结论

此外,空空导弹弹体结构还存在着诸如氢脆、摩擦腐蚀、疲劳腐蚀、冲刷腐蚀、烧蚀、晶间腐蚀、点蚀等多种腐蚀形式。针对这些问题都需要从选材、加工、使用、环境控制等多个方面系统考虑,然后选择优良的结构形式和防腐措施以期达到良好的防腐效果。

(下转第 78 页)

表1 某台设备按照传统排产的任务计划

零件品种	数量 / 件	单件工时 / h	准结工时 / h	完成时间 / 周															
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	50	4	12	→															
B	50	3	8						→										
C	50	5	10										→						

表2 改进后排产

零件品种	根据拉动需要每周为后道工序完成任务 / 件
A	5
B	3
C	2

的高柔性,正好可以解决变换和调整的及时性问题。

例,某台设备按照传统排产的任务计划如表1所示,改进后排产如表2所示。

完成5件A零件的加工后,快速换装成B零件,进行3件的加工,再快速换装成C零件,进行2件的加工,周期为一周。

原来3种零件要到第10周后才能开始齐套装配;改进排产后,第2周即可开始装配,均衡化生产水平得以大大提升。

(2)用以消除生产中的等待时间。

现有生产形式中,零件的首件检验等待、程序调整后确认的等待都是制约生产效率提高的因素,实现可插入制造后,完全可以利用这种等待时间去完成后续其他零件的加工。如有需要,还可以倒班的方式,由同种设备、不同人员完成追加订单任务,提高设备利用率。

(3)促进工艺的不断改进。

产品定型后,如果进行技术改进,须完成足够的工艺试验,证实改进有效且无不良影响,方可采纳。但在现有状况下,工艺改进试验受制约,通常不能被安排。如果实现可插入式制造,就能促进持续改进活动的开展。

(4)为新产品的研发试制提供保障。

生产计划一经制定,产品的交付任务就面临严峻的形势,不要说新产品研制的插入,就是计划任务本身,总是处于“抢”的状态。航天企业对于这点,认识颇深,而引入可插入式制造,一切就变得简单了。在不打乱正常计划的前提下,只要安排适当的加班,通过可插入式制造,新产品研发的任务就很容易得以解决。

4 结束语

精益生产方式是航空航天领域多品种小批量制造

企业可参照并且可以立见成效的生产组织方式,可插入制造是践行精益生产方式的准时化生产的重要手段。通过精益生产所倡导的永无止境的自我完善、自我改进,我们的企业在激烈的市场竞争中就将永远立于不败之地。

参考文献

- [1] 樊明喜,徐道峰,黄阿兰,等.多品种小批量条件下的生产管理初探.航天工业管理,2009(5):31-35.
- [2] 胡燕海,叶飞帆.基于成组技术的精益生产方式及实例.宁波大学学报(理工版),2002,15(4):59-61. (责编 亦非)

(上接第69页)

基于ANFIS的轴向钻削力预测方法。以钻头转速和进给量为输入,轴向钻削力为输出,通过9组试验数据训练ANFIS系统,实现轴向钻削力的系统仿真,并通过2组检验数据验证了该预测方法的有效性。

参考文献

- [1] 张厚江,樊锐,陈五一,等.高速钻削碳纤维复合材料钻削力的研究.航空制造技术,2006(12):76-79.
- [2] 张厚江.碳纤维复合材料(CFRP)钻削加工技术的研究[D].北京:北京航空航天大学,1998.
- [3] 陈继光.MATLAB与自适应神经网络模糊推理系统.济南:山东省地图出版社,2002:161-175.
- [4] Samhouri M S, Surgenor B W. Surface roughness in grinding: on-line prediction with adaptive neuro-fuzzy inference system. Transactions of NAMRI/SME, 2005, 33: 57-64.
- [5] Dubey A K. Performance optimization control of ECH using fuzzy inference application. Journal of Advanced Mechanical Design, Systems and Manufacturing, 2009, 3(1): 22-34.
- [6] 颜振萍,艾剑良. ANFIS在飞机稳定控制系统中的应用.复旦学报(自然科学版),2010,49(4):532-534.
- [7] 吴晓莉,林哲辉. MATLAB辅助模糊系统设计.西安:西安电子科技大学出版社,2002:130-150. (责编 深蓝)

(上接第75页)

空空导弹弹体结构三防设计是一项系统工程,需要多方面密切配合。恰当的三防定位、合理的电气设计、良好的结构形式、先进的三防工艺、有效的管理方式,是达到三防设计目标、提高导弹三防性能的根本保证。

参考文献

- [1] (德)H·E·毕勒,(德)D·维斯腾贝格.合理的防腐蚀设计.北京:化学工业出版社,1990.
- [2] 陈克忠.金属表面防腐蚀工艺.北京:化学工业出版社,2011.
- [3] 龚光福.雷达产品三防设计初探.现代电子,2001(1):54-62. (责编 夏宛)