

导弹结构可靠性

编著 王 善 何 健

哈尔滨工程大学出版社

前 言

结构可靠性的基本思想和原理,始于 20 世纪 40 年代,到 50 ~60 年代,受到了广泛的关注,其理论得到了迅速发展,日臻完善和成熟,形成了较为完整的体系,逐步达到了工程实用程度,并形成了可靠性工程的一门独立学科。

20 世纪 70 年代以来,在工程结构设计中,国际上已发展和推广以统计数学为基础的结构可靠性理论和极限状态设计法。许多国家和国际组织开始根据结构可靠性理论制定新的设计标准和规范,推广结构可靠性设计。我国从 70 年代中期开始,也已有计划地开展这方面的研究工作,并取得了显著成果。于 1983 年完成了以概率极限状态设计法的《建筑结构设计统一标准》的编制工作。国家技术监督局于 1989 年发布了 GJB10093 - 88《概率极限状态设计》(正态~正态模式)的国家标准,之后,又制定了一些与结构可靠性有关的结构设计标准。这些工作,加速促进了我国结构可靠性设计工作的开展,正逐步实现结构设计由传统的安全系数法设计向结构可靠性的极限状态法设计的转变。

导弹作为一种重要的军工产品,其质量和可靠性问题历来受到高度重视。而导弹体结构,是导弹的一个重要组成部分,其可靠性问题是不容忽视的。国防科工委针对军工产品的可靠性问题发布了一系列可靠性和维修性标准,但军工产品结构可靠性标准一个也没有产生,甚至没有纳入工作日程。考虑到包括导弹结构在内的航空、航天器结构及其它军工产品结构可靠性的重要性,从事这方面工作的科技人员,还需要做许多艰苦细微的工作,付出不懈的努力。

作者从 20 世纪 70 年代从事可靠性的教学和科研工作,为配

合本科生和研究生的教学工作,编写了多种有针对性的结构可靠性教材,并针对飞行器结构设计专业本科生教学的需要,编写了《导弹结构可靠性》讲义。这些工作培养了可靠性方面的人才,也促进了专业可靠性方向的发展。本书就是在这些工作的基础上,进行了全面地综合和总结编写而成的。书中的一些内容,也反映了作者的若干科研成果。希望本书的出版,能在培养服务于国防工业人才方面发挥作用。

本书在编写过程中,得到了梁立孚教授的大力支持和帮助,他对主要公式进行了认真仔细地审阅,提出了许多宝贵意见。另外,黄美英副教授对本书全部文稿进行了反复认真的审校和修改。李双和杨冬梅二人对书中若干算例进行了详细计算和核准。为此,谨向他们表示致谢。

由于作者的学识水平和经验有限,又加之时间仓促,涉及内容较新,书中难免有不妥和错误之处,恳请读者批评指正。

编者

2002.10.10

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 导弹结构	1
1.2 结构分析中的不确定因素	2
1.3 结构可靠性的基本概念	5
1.4 结构可靠性设计与发展	7
1.5 结构可靠性基本假设	10
第 2 章 结构可靠性基本原理	13
2.1 结构功能函数	13
2.2 静态结构可靠度的一般表达式	14
2.3 正态分布的结构可靠性计算	18
2.4 对数正态分布的结构可靠性计算	21
2.5 均值一次二阶矩法	26
2.6 验算点法	29
2.7 等效正态法	39
2.8 蒙特卡洛法	44
2.9 可靠性安全系数	57
2.10 分项系数	63
习题	71
第 3 章 结构元件可靠性	75
3.1 有关结构元件的概念	75
3.2 几种典型结构元件的可靠性分析	78
3.3 用载尾分布计算结构元件的可靠性	87
3.4 构件设计按可靠性的选材原则	96
3.5 构件可靠性计算量概率特征的确定	102

3.6	用随机变量代替随机过程计算结构元件的可靠性	112
3.7	结构元件可靠度计算的一般方法	126
3.8	半随机过程模型的构件可靠性	131
	习题	136
第4章	舱段结构可靠性	140
4.1	舱段结构	140
4.2	舱段结构可靠性概念	141
4.3	由串联联接元件构成的舱段结构可靠性	145
4.4	并联联接元件构成的舱段结构可靠性	154
4.5	混合联接元件构成的舱段结构可靠性	164
4.6	根据极限状态计算舱段结构可靠性	170
4.7	舱段结构可靠性的分析计算方法	175
	习题	182
第5章	弹身结构可靠性	184
5.1	弹身结构	184
5.2	弹身结构可靠性计算	185
5.3	确定相关系数的方法	189
5.4	级分离可靠性	198
	习题	204
第6章	弹翼结构可靠性	207
6.1	弹翼结构	207
6.2	弹翼结构可靠性模型	208
6.3	弹翼结构应力的分析方法	211
6.4	弹翼结构可靠性计算	219
	习题	222
第7章	导弹机构可靠性	223
7.1	导弹机构	223
7.2	机构可靠性概念	225
7.3	机构的运动可靠性	227

7.4 机构参数可靠性	230
7.5 机构可靠性计算	234
7.6 单臂摇杆机构	236
7.7 分离机构可靠性	247
习题	256
第8章 弹身结构可靠性优化	258
8.1 结构可靠性优化概念	258
8.2 结构可靠性优化方法	259
8.3 弹身结构可靠性优化	262
8.4 舱段结构可靠性优化	266
8.5 舱段结构可靠性优化举例	268
8.6 根据经济准则的舱段结构可靠性优化	271
8.7 舱段部件结构的可靠性优化	274
习题	277
标准正态分布表	278
参考文献	284

第 1 章 绪 论

1.1 导弹结构

导弹是一种无人驾驶的飞行器,也是一种武器。由制导系统将其导向目标,再由引爆战斗部起到对目标的毁伤作用。

导弹按分类方法不同有很多类型,各有其特点。但作为武器,它们都具有四个主要组成部分:战斗部、发动机、制导系统和弹体。

本教材中的导弹结构系指导弹的弹体结构。弹体的功能是将导弹各部分牢固地连接成一个有机的整体,使导弹形成一个良好的气动外形,并具有足够的强度、刚度和稳定性,能够承受和传递在导弹整个寿命周期内可能遇到的各种载荷。

有翼导弹的弹体一般包括:弹翼、尾翼、舵面和弹身等部分,弹道式导弹无弹翼和舵面。弹身又可分为战斗部舱、仪器舱、燃料舱和动力装置舱等部分。为了实现舵面的操纵和导弹各级之间的分离,弹身内还装有相应的舵面操纵机构和分离机构。

对导弹弹体,要求其在具有足够的强度、刚度和稳定性条件下,使其重量最轻。导弹在吊装、贮存、运输、发射及飞行过程中,会遇到各种不同形式的载荷作用,尤其在发射和飞行过程中,会遇到很大的载荷,如推力、气动力和惯性力等。所谓具有足够的强度,就是指弹体各构件能够在承受各种载荷作用时,使其破坏的可能性控制在允许的范围之内。所谓具有足够的刚度,是指弹体各构件在所遇各种载荷作用下,其变形不超过允许的数值。导弹结构除了应保证具有足够的强度和刚度之外,还必须具有足够的稳定性。若失去了稳定性,也就丧失了承受载荷的能力。所谓足够的稳定性,即是屈曲载荷不超过临界值。

导弹弹体在其寿命周期内可能遇到的各种载荷作用下,若强度、刚度和稳定性低于所允许的值,就可能使其整体或某些构件产生破坏,或出现过大的变形,发生危险的振动,破坏导弹的气动外形,使飞行性能变坏,会造成严重的事故,导致导弹武器失效。

由于弹体结构质量的限制,弹体结构的强度、刚度和稳定性不可能无限制的增加,因而弹体结构也就不可能有绝对的安全可靠,不遭受破坏。但是可以把这种破坏的可能性控制在一种允许的范围之内,这就是导弹结构可靠性所要研究和解决的问题。

1.2 结构分析中的不确定因素

在结构设计中,或在对结构进行力学分析中,人们一直习惯于把设计或分析中使用的各个量作为确定量,从而得出确定性的结果或结论。虽然有时也承认有不确定性因素存在,但在处理上,仅用一个确定性的系数来代替,例如安全系数。因此,由使用的分析和计算方法精确所取得的效益,终将被粗略的经验性安全指标所淹没。因此可知,充分考虑实际结构的各种不确定因素,对其进行随机力学分析显得十分必要。

从数学角度分类,结构中的不确定因素可分为三类:随机性、模糊性及未确知性。前两类不确定性早已为人们所认识,未确知性是指由于信息、数据的不完全、不完整而导致的不确定性。目前工程中应用较多、研究相对比较成熟的是随机性问题。本教材所提到的不确定性即指随机性,随机性又分为随机变量,随机过程和随机场,随机场是随机量的空间变化。

从工程结构的角度分类,不确定性分为物理不确定性、统计不确定性和模型不确定性。

物理不确定性包括载荷的不确定性、材料参数的不确定性、几何尺寸的不确定性和初始条件及边界条件的不确定性。

导弹在飞行过程中,其推力由于受周围环境、发动机加工精

度,装药或燃料燃烧速度等诸多因素影响,也会在一定的范围内变动;虽然导弹在交付之后其质量是完全确定的,但是涉及到同种弹的每一发,其质量都会有一定的差别,即使同一个零件,安装在不同弹上时,其质量也会有所不同。因而在设计时进行可靠性评估,就应考虑这种不同所引起的重力和惯性力的不确定性或变异。由于大气的扰动及阵风影响等原因,其空气动力载荷及由高速飞行引起的热载荷等也必然存在不确定性。材料参数的不确定性主要体现在材料的屈服强度、极限强度和弹性模量等的变异性。导弹结构中用的铝合金,合金钢等,其材料参数变异性较小,而用的复合材料,其参数的变异性相对较大。对于高速飞行的导弹,还应考虑材料热参数(例如导热系数、散热系数)的变异性。

在相同的条件下,具有不同几何尺寸的结构、结构的响应,诸如应力、位移等也不相同,由于加工精度和装配误差等原因,结构几何尺寸的变异性是客观存在的。在结构的敏感部位,几何尺寸可能存在的微小变异,都会对结构响应带来显著影响。但因几何不确定性问题在有限元计算中的复杂性,结构可靠性分析中,有时忽略这种几何尺寸的不确定性,将其作为确定性量处理。

无论是空气动力的计算,流场的计算还是温度场的计算,都应考虑初始条件和边界条件的影响。在实际计算中,边界条件往往需作一定程度的简化。边界条件的不确定性来源于实际问题的复杂性、边界条件变化的不可预知性、人类认识的局限性及对结构边界处理的简化等。

计算中所采用的数据和参数值,都是根据一定量的样本观察值,用数理统计的方法,由假设检验和参数估计得出。为了确定结构计算中某些物理量的取值,必须通过试验或其它方法搜集该物理量的一组数据,称为观察值,利用其已知的服从某种分布,或根据观察值确定其所服从的分布,再利用数理统计中参数估计的方法,得出分布参数的估计值和这一物理量在结构计算中所需的值。理论上,当样本量无穷大时,通过估计得出的值才是精确值,而实

际应用统计方法时,所取得的样本量总是有限的,对所估计的量除了给出其点估计值外,往往给出该量的区间估计值。计算中,由于某些原因,可能取估计值的上限、下限。同时,也往往根据经验,预先确定所估量的分布形式。由此带来的不确定性称为统计不确定性,这种不确定性是由于信息缺乏而产生的。在实际可靠性计算中,大多数情况是通过标准、手册和已有的统计结果取得计算中各量的数据,从而完成计算。但对于新设计,新材料,其数据仍需自行统计得出。无论何种情况,统计不确定性是不可避免的。

模型的不确定性分为材料模型的不确定性和结构设计与分析计算模型的不确定性。至今,针对不同的材料,人们已提出了许多本构模型和强度准则,不同的模型所反映的侧重点各不相同,例如,复合材料的霍夫曼准则、蔡吴准则及改进的蔡吴准则等。使用不同的准则得出的计算结果有可能差别很大。事实上,不论采用何种本构理论和强度准则,都不能绝对准确地反映材料的本构关系和破坏特性,因为它们都是对材料作了某些假设或进行了某些简化得出的,故都只是相对近似地反映了材料特性。关于结构分析计算中所用的数学模型,也存在同样的情况。把输入量与输出量联系起来的数学模型,是根据对问题深入的力学理解程度建立起来的,也可能根据某些试验结果或经验总结得出来的,故不可能完全精确地反映问题的本质,只是客观情况的一种近似描述。对飞行器结构而言,即使精确地知道了主要的输入量,也难于对输出量,诸如应力、应变和位移等做出精确的推断,这除了载荷和强度变量不确定性引起的不定性外,另一种原因是我们采用的模型不确定性引起的。它也是由简化的假设及边界条件等的确定性引起的,模型中其它变量之间相互关系的未知效应亦是产生模型不确定性的原因之一。

有时,把物理不确定性称为客观不确定性,把模型不确定性称为主观不确定性。考虑变量的随机性比力学中把各量视为确定性量更为合理。

1.3 结构可靠性的基本概念

结构可靠性是在充分考虑各种不确定性因素基础上建立起来的一门工程学科。结构可靠性定义为:结构在规定的条件下和规定的时间内,完成规定功能的能力。可靠性的概率度量称为可靠度。

定义中的结构一词,系指能够承受和传递可能发生的各种载荷作用的工程构造,例如导弹的弹体,飞机的机体等。这里所说的结构,可以是一个零件,也可以是由多个零件构成的部件或系统。

结构可靠性明显地与时间有关。因为我们所研究的任何结构都有使用寿命,有的是几年、几十年或者更长,有的是在几分钟或者几秒钟之内。例如,对于工业和民用建筑,规定的使用时间是 50 年,舰船结构为 30 年,桥梁结构为 100 年,而导弹助推器的任务时间只有几秒钟。超出了规定的时间,结构可靠性会降低到规定的标准以下,不宜继续使用,或者再谈论结构可靠性就毫无意义了,例如弹体结构。定义中的时间是一种广义时间概念,也包括公里数、周期数、次数和发数等这样一些相应于时间的量,例如导弹的发射装置结构,飞机的机体结构等,其时间的概念都可用类似这样一些量度量。

对导弹弹体结构而言,其规定时间包括交付后的吊装运输时间,仓库的贮存时间,发射现场的存放时间及发射和飞行时间,虽然结构在所有这些时间内都可能出现毁损,但我们主要关心的是发射及飞行时间弹体结构的可靠性问题。

与结构可靠性有关的另一个问题是环境条件。诸如外力、温度、冲击、振动、周围介质情况等。相同的结构,在不同的环境条件下,其可靠性可能全然不同。导弹弹体结构,在地面库存条件下,可能会受到氧化,化学腐蚀或老化等作用,但一般其可靠性会很高;而在运输条件下,由于路面及运输工具的影响,由于气象因素的作用,一般会比库存条件下的可靠性低;而在发射和飞行条件下,由

于发动机引起的冲击和振动、大的过载和很强的空气动力作用及高速飞行结构表面高温的影响,这时的结构可靠性会显得更低。某些结构,在恶劣的环境条件下,也许根本不能胜任工作。

任何一种工程结构在设计和建造时,都赋予它一定的功能,导弹弹体的功能是将导弹各部分有机的联系在一起,保证导弹有良好的气动外形,承受发射和飞行过程中的各种载荷,结构可靠性所研究的,正是规定的这些功能的实现情况。

定义中,强调了结构应完成所规定的功能,这实际上暗含着,承认结构有不能完成所规定功能情况的在在,也就是允许结构有故障或失效发生。可靠性和故障是在一个统一体内存在着的事物的两个方面,在分析和评估结构可靠性时,必须对结构故障有充分的了解。

结构故障定义为:结构或结构的一部分不能或将不能完成预定功能的事件或状态。

对于不可修复结构,结构故障称为失效。导弹在贮存和运输期间出现的弹体结构损坏,可以通过维修,对损坏部分进行修复或更换,使弹体结构能够恢复到原来的功能,这种损坏称为故障。导弹在发射和飞行过程中,弹体或弹体的某一部分发生了毁损,在这种情况下不可能对损坏部分进行修复或更换,弹体丧失了其规定的功能,故称之为失效。失效的概率度量称为失效概率或不可靠度。

故障与失效的主要区别在于结构毁损后是否能够进行维修,这里涉及到维修性的问题。上面给定的结构可靠性定义称为狭义可靠性,若考虑狭义可靠性和维修性二者,则称为广义可靠性。广义可靠性是指结构在其寿命周期内完成规定功能的能力。本教材主要介绍导弹在发射和飞行过程中弹体结构的可靠性问题,不涉及维修问题,关于维修性,现已有大量的文献和专著进行介绍。

广义结构可靠性研究的内容包括结构的安全性、适用性、耐久性、维修性、可贮存性及其组合。因此,结构的安全性包括在结构可靠性的研究范围之内,结构可靠性比结构安全性具有更加广泛的

含义,即使狭义可靠性,其内容也较安全性广。

1.4 结构可靠性设计与发展

在材料力学与弹性力学方法得到充分发展之后,据以提出的早期结构设计方法是许用应力法。它假设材料为均匀弹性体,分析结构或构件上所承受的载荷,用结构力学及材料力学或弹性力学的方法计算出构件中的应力分布,确定危险点上的工作应力 σ ,再根据经验及统计资料确定许用应力 $[\sigma]$,以最大应力不超过材料的许用应力作为强度判据,它保证了结构的强度要求,因而认为在工作中不会被破坏。考虑到工作期间的各种不确定因素,由许用应力乘以安全系数后,就得出了结构的设计强度,以此为依据,选用结构材料,确定结构的规格尺寸。这种方法,称为传统设计方法或静强度决定论方法。以往的导弹结构设计,基本上都是用这种方法。作用在弹体结构上的载荷及弹体结构的承载能力,都采用确定的量值,作用于结构上的动载荷,换算成静载荷进行计算。

之后,力学分析考虑了材料的非线性、塑性及各向异性,广泛地应用计算机进行分析计算,在结构试验方面,试验方法和测量技术更趋完善和精确,因而发展了动强度确定论方法。导弹在发射和飞行过程中,由于加速和机动飞行,构件所承受的应力会出现快速变化。导弹弹体易产生弯曲和振动,液体燃料会出现摆动等。这些,都简单地借助于一个动力学系数而给予考虑。这种方法虽比静强度确定论方法有所前进,但还远非完美,因而趋向于用概率设计方法取代它们。

在传统的确定论设计方法中,采用的载荷和材料的性能参数等,多取它们的均值或所谓的最大、最小值,而没有考虑其分散性。在设计中,引入了一个大于1的安全系数。例如在飞机结构设计中,多采用1.5的安全系数,在导弹弹体结构设计中,多采用1.25的安全系数。这一安全系数值,在很大程度上由设计者的经验确

定,具有一定的不确切性或盲目性。当设计者不能确信,他所设计的导弹弹体结构在发射和飞行过程中是会成功还是会失效的时候,往往会选用较大的安全系数。实践证明,采用较大的安全系数是正确的,它能够减少弹体结构出故障的机会,增加导弹在执行任务时弹体结构完成其规定功能的可能性。然而,采用大安全系数设计出来的结构,其质量较大,降低了导弹的效能,显然不是一种优点。

结构可靠性设计是一种概率设计方法。这种方法认为,结构真实的外载荷(应力)和真实的承载能力(强度或抗力)都是概率意义上的量,即为随机变量、随机场或随机过程,它们服从一定的统计分布规律。以此为出发点进行结构设计,能够与客观实际更好地符合。用这种方法进行导弹的结构设计,带来的明显好处是质量的减小,成本的降低及性能的提高。

事实上,即使采用相当大的安全系数进行结构设计,结构的绝对安全可靠也是不可能达到的,这种目标对包括弹体结构在内的工程结构是不合需要的,因为绝对安全可靠只有调用无限多的资源才能达到,因而只是设计者的一种理想,可望而不可及。结构的可靠性设计认为,必须承认结构性能存在不能完成其预定功能的某种风险。结构可靠性设计的主要目标是,保证每一结构在设计使用期间内,将完成规定功能出现的风险控制是可以接受的范围之内。

结构可靠性设计能够解决两方面的问题;根据设计计算确定结构的可靠度或可靠指标;根据结构设计任务提出的结构可靠性目标值确定能够实现该目标值的各构件参数。

结构的概率设计思想可追溯到 20 世纪初始年代。1911 年,卡奇钦提出了用数理统计的方法研究结构载荷及材料强度。在 1926 年—1929 年间,由哈奇诺夫和马日列约夫制定了概率设计的计算方法,但当时提出的方法不够严格,没有摆脱争论的性质,因而未得到广泛地认同,从而也并未付诸结构设计实践。其后,斯特列律

斯基、尼然尔钦和斯奥拉等人的工作,逐渐为这种方法铺平了道路。弗罗伊詹特差不多与尼然尔钦同时开展了对结构可靠性的研究工作。1946年,弗罗伊詹特发表了“结构的安全度”一文,奠定了结构可靠性的理论基础。现在人们普遍认为,结构可靠性研究的起步,就是从该文的发表开始的。1954年,尼然尔钦提出了应力-强度可靠性设计的正态-正态模型,并导出了用正态分布二阶矩表达的结构可靠性中心安全系数的一般形式。美国大力神导弹弹体结构设计就是采用了这种中心安全系数。20世纪50年代,随着导弹技术的发展,可靠性问题越来越引起人们的关注和重视。一些国家成立了专门的可靠性组织,从事这方面的研究,可靠性设计方法也日趋完善并达到了实用程度。在这期间,美国、前苏联和加拿大等国家都制定了相应的设计标准和规范,作为可靠性设计的依据。一些国际组织,也提出了这方面的设计准则。例如,国际标准化组织(ISO)给出了《结构可靠度总原则》,并采用了拉克维茨提出的等效正态方法,国际结构安全度联合委员会(JCSS)亦推荐了这一方法。

我国结构可靠性理论的研究起步相对较晚,20世纪60年代曾广泛开展结构安全度的研究与讨论,70年代开始介绍国外结构可靠性的研究成果,并把半经验半概率的方法(水准 I 法)用于六种结构设计的规范,至80年代,在我国已掀起结构可靠性研究和应用的热潮,出版了一批结构可靠性理论的译著和专著,研究成果被应用于许多大型工程。为了适应结构可靠性设计发展的需要,我国有关部门发布了一系列国家标准。例如,国家计委1984年发布了 GJB68-84《建筑结构设计统一标准》;国家技术监督局1989年发布实施的 GB10093-88《概率极限状态设计(正态-正态模式)》的国家标准,1994年,国家技术监督局和建设部联合发布了 GB50199-94《水利水电工程结构可靠性设计统一标准》。与此同时,国防科工委针对军用产品的可靠性和维修性问题,发布了一系列国家军用标准,如 GJB450-88《装备研制与生产的可靠性通用

大纲》等,并要求新研制的军工产品,都应严格执行这些标准,为此,对有关人员做了大量的培训工作。这期间,国内已出版了大量的结构可靠性专著,每年都有大批论文发表,许多大专院校,也开设了相应的课程,培养一批专业人才。现在,在我国已初步具备了采用结构可靠性设计的条件,许多工程领域,实现了结构设计由传统设计法向可靠性设计法的转变。但对于导弹弹体结构设计,至今尚无这方面的专门军用标准可循,暂时仍需参考其它相关标准。

1.5 结构可靠性基本假设

在结构可靠性的分析计算中,是以分析结构失效的物理原因为出发点的。施于结构上的载荷超出了结构的承受能力,则结构发生失效,这一观点,是从力学概念引伸过来的。基于这种思想所进行的结构可靠性分析方法称为可靠性分析的物理原因法。将施于结构上的载荷称为应力,将结构承受载荷的能力称为强度(抗力)。

在可靠性理论中,赋予了应力和强度比力学中更广的含义。

应力定义为对结构功能有影响的各种外界因素;强度定义为结构承受应力的能力。在结构可靠性问题中,定义中的应力对结构功能影响,一般应理解为倾向于使结构趋于破坏的那些影响;而在很多论著中,又将结构承受应力的能力称为抗力。

引用应力和强度的概念对结构可靠性进行分析所建立的模型称为结构可靠性的应力强度模型。建立在该模型基础上的结构可靠度定义为结构强度大于施于其上应力的概率。但应强调的是,在实际分析计算中,虽然对应力和强度的单位没有特殊的规定,然而要求二者的单位应保持一致。再者,在该模型的分析计算中,所涉及到的变量要求必须是基本变量,而不能用某些中间变量。所谓基本变量是诸如材料的力学性质、尺寸、单位质量及环境载荷等这样一些量。从它们在结构设计中被设计和分析人员公认为是最基本的量而加以使用这个意义上来看,它们是最基本的。从概率意义上

说,选用基本变量的目的是在于使各基本变量之间统计独立,这样就排除了由于各变量之间的相关而带来的分析计算麻烦。

像其它许多学科一样,为了进行更有效地结构可靠性计算,根据对结构分析计算中不确定性因素的讨论,作出如下一些基本假设。

(1) 结构强度为一非负随机变量(随机场)或非负随机过程,用 R 或 $R(t)$ 表示。导弹在高速飞行过程中,由于温度而引起的结构强度改变,结构强度既随时间变化,也随空间变化,这种情况下的结构强度,在空间标度上为随机场,在时间标度上为随机过程。

(2) 施于结构上的应力为一非负随机变量(随机场)或非负随机过程,用 S 或 $S(t)$ 表示。

(3) 当施于结构上的应力不超过结构强度时,结构可靠,否则认为结构失效(破坏或故障)。

(4) 结构失效仅由于应力作用而发生。

(5) 结构只有可靠和失效两种状态。

其中的假设(5)称为结构可靠性的二态模型。实际结构,可能是一种多态模型,或者是一种模糊模型。这里给出这一假设,是对结构功能情况的一种简化描述。

在研究导弹结构可靠性问题时,很多情况下,强度可作为随机变量,而应力作为随机过程处理比较合理。虽然导弹的发射和飞行过程时间相对较短,但作用在结构上的载荷(应力)随时间会有较大的变化。

根据应力和强度的不同情况,结构可靠性归结为三种基本模型:

(1) 随机变量模型。应力和强度二者均为服从一定分布的随机变量。

(2) 半随机过程模型。其中应力和强度二者之一为随机过程,另一为随机变量。

(3) 全随机过程模型。其中应力和强度二者均为随机过程。