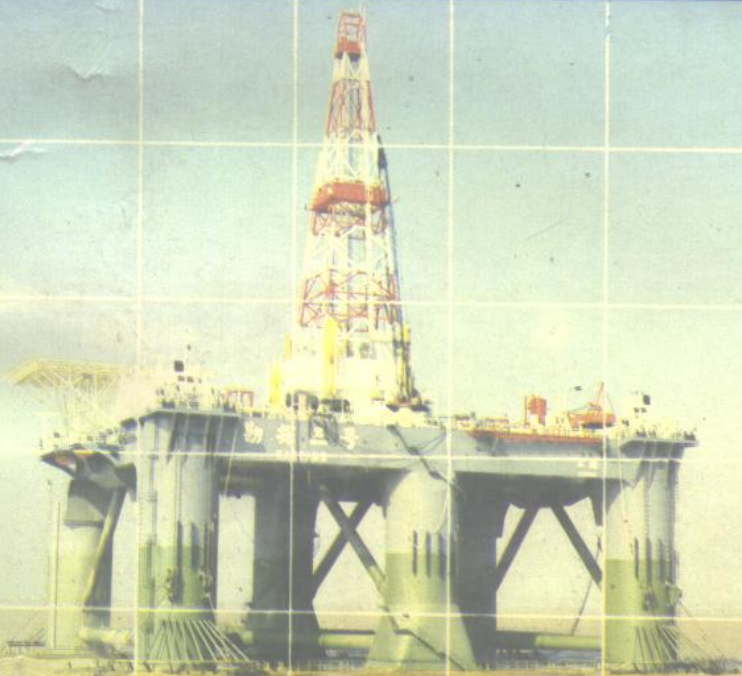


方华灿 著

海洋石油钢结构 的疲劳寿命

● 模糊概率断裂
与损伤力学的应用

● 石油大学出版社



石油大学出版社

内 容 提 要

本书系石油大学机械系海洋石油钻采设备研究室多年来围绕海洋石油钢结构构件的疲劳寿命估算问题的试验与研究成果的总结。

本书较系统地介绍了应用断裂力学方法、损伤力学方法及局部应力—应变法估算疲劳寿命的理论与工程实例。此外，还对疲劳可靠性及模糊疲劳可靠性做了初步分析。

海洋石油钢结构承受的是不确定性的海洋环境载荷。不仅是随机的，而且还具有模糊性。为此，本书进行疲劳分析时，不仅运用了随机数学(概率论，随机过程等)，而且引用了模糊数学。

本书可供海洋、石油、机械工程以及力学等方面的科技人员自修之用；也可作为有关高等院校的研究生课教材和本科生的选修课教材。

海洋石油钢结构的疲劳寿命

——模糊概率断裂与损伤力学的应用

方华灿 著

石油工业出版社出版

山东省 东营市

山东省新华书店发行

山东电子工业印刷厂印刷

(淄博市周村)

*

开本850×1168 1/32 12.5印张 320千字

1990年4月第1版 1990年4月第1次印刷

印数：平装 1—2000 精装 1—100

ISBN 7-5636-0088-4/TE·17

定价：平装3.18元(压膜) 精装6.18元

前 言

海洋石油钻井、采油平台等钢结构均系由构件焊接而成，不仅焊缝处常常含有焊接缺陷及残余应力，而且结构几何形状复杂，应力集中问题严重。海洋石油钢结构在工作期限内，一直承受着来自随机海浪的波浪力等多种海洋环境载荷的交变作用，因而在海水腐蚀介质中，迫切需要解决海洋石油钢结构的腐蚀疲劳寿命估算问题。

为了解决这一问题，石油大学机械系海洋石油钻采设备研究室，自1983年开始围绕国家经委下达的经机海83049国家科技攻关项目“海上平台T型管节点疲劳断裂强度的研究”课题，进行了海洋石油钢结构构件的腐蚀疲劳寿命估算问题的试验与研究。这本书就是近五年多来，本研究室对此问题科研成果的总结，也是本室全体同志集体智慧的结晶。

本书主要应用断裂力学与损伤力学来研究海洋石油钢结构的疲劳寿命估算问题，故本书定名为“海洋石油钢结构的疲劳寿命”。海洋石油钢结构所承受的海洋环境载荷主要是随机变幅载荷，再加上考虑其它多种随机因素，因此估算疲劳寿命需要应用概率断裂力学。又因为这些不确定交变载荷以及材料等其它方面不仅具有随机性，而且还包含着一些模糊因素，因而还需要应用模糊数学来解决构件及结构的模糊疲劳问题，故本书又名“模糊概率断裂与损伤力学的应用”。

断裂力学是五十年代发展起来的一门新兴学科，它主要是研究含裂纹固体的强度以及裂纹在固体中扩展的规律。为了研究影响带裂纹的固体强度及裂纹扩展规律的随机因素的需要，运用统计学从随机性中寻求规律的统计力学，作为断裂力学的一

个分支，近年来发展起来了。而在不确定性之中，除了随机性之外，将模糊性考虑在内的模糊概率断裂力学，则更是刚刚起步，还是一个崭新的领域。本书的主要内容就是应用模糊概率断裂力学来解决海洋石油钢结构的腐蚀疲劳寿命估算和疲劳可靠性分析问题。因此，这本书只能说是应用新兴的模糊概率断裂力学的初步尝试，还不成熟，不少地方还需要进一步探讨。我热诚地希望能得到读者的宝贵意见，以便今后进一步修改、补充和完善。

由于本书主要是围绕海洋石油钢结构的疲劳寿命估算和疲劳可靠性分析问题研究模糊概率断裂力学的应用，因此，可作为海洋工程、石油工程、机械工程以及力学等学科研究生的选修教材，也可作为有关专业大学本科生的参考书，并可供有关海洋、石油、机械、力学等方面的工程技术人员、科研工作人员自修之用。

先后参加本书有关科研工作并撰写科研论文的有：石油大学石油机械工程硕士学位研究生董守平、马汝建、陈振鑫、张来斌、陈国明、高国华、贾星兰、陈宏程、赵勇、樊晓东等，他们均为本书内容的形成做出了贡献。整个科研工作过程中，石油大学机械系力学教研室及其实验室，金属工艺学教研室等单位的有关同志都给予了很大的支持和帮助。本书在完稿过程中，石油大学海洋石油钻采设备研究室的一些同志，还在书稿的抄写和制图等方面做了大量工作。渤海石油公司、南海西部石油公司、上海海洋地质局等单位都曾为本书提供了不少有关海洋石油工程实际的资料与数据。为此，笔者谨向这些有关单位和同志致以诚挚的感谢！

本书完稿后，特请原教育部力学教材编审委员会委员蔡强康教授对本书进行了审查。蔡教授在百忙中，不仅对本书做了详尽地审查，而且还热情地为本书作序，在此再次表示衷心地谢意！

方华灿

一九八九年二月

序 言

海洋石油钢结构长期承受海水的腐蚀和海浪等随机载荷的作用，由于裂纹的萌生和扩展，有可能突然疲劳断裂。钢结构的疲劳断裂有很大的危险性，往往造成生命和财产的严重损失。因此，估算海洋石油钢结构的疲劳寿命及其可靠性分析是一个十分重要的课题。本书就是阐述这个课题的专门著作。全书共分六章。

第一章是总论。首先，说明了自然现象中的不确定性可分为随机性和模糊性，以及研究海洋石油钢结构的疲劳寿命问题时，分析其随机性和模糊性的重要性。其次，介绍了断裂力学和损伤力学在海洋石油钢结构疲劳寿命问题方面的应用及二者的异同。阐述了石油大学海洋石油钻采设备研究室(以后简称研究室)通过试验取得的适用于我国海洋用钢 16Mn 的修正的 Paris 公式和应用此公式估算海洋石油钢结构在随机载荷作用下疲劳寿命的方法和程序。指出根据研究室所进行的表面裂纹试件的试验结果，应用损伤力学的夏波希模型，进行海洋石油钢结构的疲劳寿命估算时，可以交变应力幅值的均方根值作为等效的常应力幅。还介绍了估算疲劳寿命的各种模式和模型。最后，阐述了疲劳失效与疲劳可靠性分析的意义，疲劳有关参数的统计分布。指出要计算疲劳失效概率，必须建立疲劳失效模型，并由之建立疲劳失效函数。

第二章是不确定性载荷的模糊统计处理。首先，以海洋石油钢结构为例，说明了在疲劳分析中，不确定因素有环境载荷方面的，有动力响应和局部应力分析方面的，也有结构疲劳模型及材料疲劳性能方面的。模糊性因素有海况观测资料等方面的，有载

荷计算方面的,有动力响应分析方面的,也有疲劳损伤分析方面的。其次,阐述了对时间历程进行统计处理的循环计数法及功率谱法,并详细介绍了研究室所提出的幅度—载荷比两参数计数法和雨流两参数计数法及相应的程序,以及适用于我国指定海域的风速单参数随机海浪谱及程序。除此以外,还介绍了研究室提出的随机载荷谱直接两参数计数法的基本原理和计算步骤。最后,阐述了运用模糊集合理论,进行模糊分级统计处理,形成模糊随机载荷谱的原理和方法。计算表明,根据模糊随机海浪谱所得到的最可能的谱与我国所采用的经验随机海浪谱是比较一致的。

第三章是应用断裂力学估算不确定载荷下的疲劳寿命。首先,介绍了考虑载荷相互作用和不相互作用的模型。指出了研究室通过大量疲劳裂纹扩展试验,得出在七种应力强度因子的统计特征值中,以幅均值作为基本控制参数是最适当的。详细阐述了对随机载荷作用下的疲劳裂纹扩展试验数据进行分析处理,得到用以估算疲劳裂纹扩展寿命的,平均裂纹扩展速率的较精确方法和相应的程序。其次,详细介绍了半潜式钻井平台立柱的腐蚀疲劳剩余寿命的估算,包括力学模型的建立、载荷分析、应力分析,对随机载荷和应力的统计处理、根据试验得到 C 、 m 等系数和由基本控制参数估算疲劳寿命。最后,既考虑随机性,又考虑模糊性,详细论述了自升式钻井平台桩腿的模糊疲劳寿命估算问题;确定了桩腿的模糊疲劳损伤,桩腿的最可能疲劳损伤和最可能疲劳寿命。

第四章是应用损伤力学估算随机载荷作用下的疲劳寿命。首先,介绍了基本原理和方法,疲劳损伤的几种数学模型和石油大学提出的数学模型。比较详细地论述了应用夏波希数学模型和石油大学数学模型,在等幅交变载荷或随机载荷作用下,估算裂纹萌生和扩展寿命的方法及试验结果。其次,介绍了损伤因子的几种表达式及其测量方法、疲劳裂纹扩展尺寸的确定的以及前述两种数学模型中材料损伤特性参数的确定。最后,以自升式平台的圆

柱形桩腿为例，详细阐述了应用损伤力学估算疲劳寿命的步骤和方法。应用研究室编制的程序，输入桩腿参数、海水参数、材料损伤特性参数及一年内海况分布统计资料，即可得到估算的疲劳寿命。

第五章是应用局部应力—应变法估算随机载荷作用下的疲劳寿命。首先，说明本法是借助于分析结构危险部位的应力—应变关系，以计算整个结构的疲劳寿命；介绍了本法的基本概念，如应力—应变迟滞回线，名义应力—应变到真实应力—应变的转换，应变寿命曲线以及由海浪谱入手获得应力—时间历程的数学模拟方法。其次，阐述了研究室应用两种间接法，即四点相关法和广义斜率法，计算应变疲劳参数和通过控制应变的等幅疲劳试验，直接求出应变疲劳参数的方法，并对两种方法所得结果加以对比。最后，详细论述了采用局部应力—应变法估算裂纹萌生寿命和采用断裂力学方法估算裂纹扩展寿命，以取得疲劳全寿命的方法，并与研究室所做试验对比。

第六章是不确定载荷作用下构件的疲劳可靠性分析。首先，说明了受许多随机因素的影响，疲劳寿命是一个随机函数，再介绍了应用数值模拟法，即 Monte Carlo 法，产生任意分布随机数序列的方法和程序，及以最小二乘法决定疲劳寿命的 Weibull 分布参数的方法和程序。详细分析了各种因素对焊接构件和管节点的疲劳寿命分布的影响后，研究室提出了两步正交试验法进行焊接构件疲劳寿命分布的数值模拟法，编制了管节点结构的疲劳全寿命数值模拟的程序。阐述和分析了两种失效模式，即贯穿壁厚的疲劳失效和极大载荷作用下的脆断破坏，及其疲劳可靠性和失效概率。其次，讨论了确定疲劳许用应力及裂纹容限值问题，研究室提出了寿命分布函数法，绘制了疲劳许用应力选用曲线和裂纹容限值选用曲线；对临近使用期的构件和整体结构提出了疲劳损伤评价方法。最后，论述了材料力学和断裂力学模式估算疲劳寿命的模糊性和模糊概率分布以及疲劳模糊可靠性分

析。

石油大学机械系海洋钻采设备研究室自1983年以来，在方华灿教授主持下，培养研究生和从事海洋石油钢结构疲劳寿命的试验和研究，取得了丰硕的成果。本书除对疲劳寿命估算问题有系统的介绍外，主要内容是研究室近数年来的研究总结。自本世纪五、六十年代以来，由于断裂力学、模糊数学、可靠性分析等学科的问世和发展，再加上高速电子计算机的普及和应用，使构件疲劳寿命估算和试验取得相应的飞速发展。本书体现了国内在这一领域的工作和水平。

蔡强康

1989年5月于北京

目 录

第一章 总论	(1)
第一节 随机性与模糊性	(1)
第二节 断裂力学与损伤力学	(6)
第三节 估算疲劳寿命的模式与模型	(17)
第四节 疲劳失效与疲劳可靠性	(40)
第二章 不确定性载荷的模糊统计处理	(50)
第一节 疲劳分析的随机与模糊因素	(50)
第二节 随机交变载荷的循环计数	(57)
第三节 随机载荷谱	(63)
第四节 随机载荷谱直接两参数计数	(74)
第五节 模糊随机载荷谱	(81)
第三章 应用断裂力学估算不确定性载荷 作用下的疲劳寿命	(105)
第一节 随机载荷作用下疲劳裂纹扩展寿命的估算	(105)
第二节 半潜式钻井平台的立柱的腐蚀 疲劳剩余寿命的估算	(130)
第三节 自升式钻井平台的桩腿的模糊 疲劳寿命估算	(158)
第四章 应用损伤力学估算随机载荷作用下的疲劳寿命	(189)
第一节 损伤力学估算疲劳寿命的基本原理与方法	(189)

第二节	疲劳损伤因子及材料损伤特性参数的确定	(197)
第三节	自升式平台的圆柱形桩腿的疲劳寿命估算	(215)
第五章	局部应力—应变法及疲劳全寿命的估算	(229)
第一节	局部应力—应变法的基本理论	(229)
第二节	应变疲劳参数的确定	(243)
第三节	海洋石油钢结构的疲劳全寿命估算	(265)
第六章	不确定性载荷作用下构件的疲劳可靠性分析	(303)
第一节	疲劳寿命的分布规律及疲劳失效概率	(303)
第二节	疲劳许用应力及裂纹容限值	(336)
第三节	模糊疲劳可靠性	(351)
第四节	检测维修周期与疲劳可靠性	(366)
参考文献		(381)

第一章 总 论

第一节 随机性与模糊性

一、确定性与不确定性

自然现象中，从现象的初始状态就可以断定在以后的任意时刻的状态，便称做确定性现象。例如，人们借助牛顿运动定律，可以表达运动质点的位置与力之间的关系，通常称做运动微分方程式。这样，如果知道质点在某一确定时刻的位置，就可以由运动微分方程式解出位置随时间变化的函数表达式，从而确定出以后任意时刻运动质点的位置。因此，从数学上来讲，自然现象的基本规律可以用变量之间相互依赖的函数关系表达出来，即称做确定性现象。经典数学建立于集合论的基础上，其中普通集合是指“具有某种性质的、确定的、彼此可以区别的事物的总汇”，而“构成集合的事物，则称为该集合的元素”。对于普通集合来讲，元素 a 与集合 A 之间的关系，只有两种可能，即 a 属于 A ($a \in A$)，或 a 不属于 A ($a \notin A$)，非此即彼，这也叫做确定性。它在数学上可以用特征函数 $x_A(a)$ 来表达，即只能取值 $x_A(a) = 0$ ，或 $x_A(a) = 1$ 。前者表示 a 不属于 A ；后者表示 a 属于 A 。即

$$x_A(a) = \begin{cases} 0 & a \notin A \\ 1 & a \in A. \end{cases}$$

然而，在实际中所遇到的自然界考察对象，并非都是那样清晰明确，其中许多都是似是而非的模糊概念。例如，在海上进行目测波高时，通常是凭经验判断的。一般常说“波高在几米左右”，或“大约是几米”，而不是某一个精确的数字。还有一些

自然现象，影响它的基本规律的因素很多，由于包括的已知的和未知的变量很多，列出相应的微分方程式很困难，求解运动微分方程式也往往是不可能的。因此，这时可以把每一时刻每个个体所处的状态看做是“偶然的”或“随机的”，称这类现象为随机现象。上面所说的模糊概念和随机现象均叫做不确定性。它包括有模糊性及随机性两个方面。为了解决这两方面的不确定性，在经典数学的基础上，模糊数学及随机数学（包括概率论、数理统计、随机过程等）便应运而生了。

二、模糊性

在实际中，由于客观条件的限制和人为的主观影响，使得人们对于客观事物的某些方面的认识受到局限，从而形成了一些模糊的概念和范畴，就叫做模糊性。例如在海洋石油工程上，常遇到的提法“海上的风6级左右”，“海浪的波高3米上下”等等，都是具有模糊性的概念。

客观世界中存在着大量具有模糊性的现象，常称做模糊现象，不仅如上面举出的“6级左右”、“3米上下”，表现出语言中有模糊性；而且在人的思维中也存在着模糊的东西。如“老年人”、“高个子”等许多概念的内涵与外延都是不明确的；还有人们的所谓“经验”，往往也是模糊的东西。一个人能以恰如其分的力量握住杯子，并不需要进行精确地计算，而是凭“经验”，这正是人脑的思维控制作用所具有的模糊特色。此外，客观事物之间的关系也常具有模糊性。海洋设备用钢的试件的试验结果用于海洋钢结构原型尺寸的结构上，这两者之间的关系也属于一种模糊关系。

模糊性属于不确定性的一个方面。这种不确定性表现为客观事物本身含义的不确定。因此，模糊性与随机性虽同属于不确定性，但它们的表现是有区别的。也就是说，具有随机性的客观事物，其事物本身的含义是确定的，只不过发生事件的可能性是不确定的。

解决客观世界大量存在着的模糊现象的数学工具是模糊数学。模糊概念用数学语言表达就是模糊集合,因此模糊集合是模糊数学的理论基础。自从1965年L. A. Zadeh首次提出模糊集合的概念以来,其理论已日趋完善,而且发展迅速,应用也相当广泛,并取得了很大成就。迄今,模糊集合理论,无论在心理学、医学、经济、气象科学、环境科学、人文科学以及工程设计方面的应用,都使得人们对客观事物的本质的认识提高了一步。模糊集合是普通集合概念的拓广;普通集合是抛弃了事物本身所具有的模糊性而被抽象出来的。描述模糊现象的模糊集合可以把普通集合中的特征函数 $X_A(x)$ 拓广为描述模糊集合的隶属函数 μ , μ 不仅可以取0, 1值,而且可以取0, 1之间的任何值。对于普通集合 A , 特征函数 $X_A(a)$ 表达了元素 a 是否属于集合 A 。同样,对于一个模糊集合 \tilde{A} , 其隶属函数 $\mu_{\tilde{A}}(a)$ 可以用来表达元素 a 隶属于 \tilde{A} 的程度。若 $\mu_{\tilde{A}}(a) = 1$, 则 a 完全属于 \tilde{A} ; 若 $\mu_{\tilde{A}}(a) = 0$, 则 a 完全不属于 \tilde{A} ; 若 $0 < \mu_{\tilde{A}}(a) < 1$, 则 a 并不完全属于 \tilde{A} , 而且 $\mu_{\tilde{A}}(a)$ 越大, a 从属于 \tilde{A} 的程度也就越大。总之, 描述模糊现象的模糊集合, 允许“亦此亦彼”的中间状态存在, 而不象普通集合那样“非此即彼”。例如, 在海洋石油工程中常常需要目测波高, 都是凭经验判断的。一般常说波高在“几米左右”、或是“大约是几米”, 而不是某一个精确的数字。再如, 比较两个海域的海况时, 常常是根据已有的统计资料, 说: “两种海况差不多”, 或是“相差很大”。总之, 所有这些, 都是模糊的概念, 都应该用模糊集合来描述。

对于海洋石油钢结构来说, 模糊性的分析并采用模糊数学描述具有特殊的重要性。这是由于:

(一) 可靠性要求高, 结构庞大复杂, 要对其做出精确的分析很困难, 不得不采用模糊描述。

(二) 所处的工作环境非常复杂。例如, 对于复杂的海浪,

尽管在运用随机性描述海浪过程方面已取得很大进展，但在某些方面仍存在问题，有待采用模糊性的描述来解决。

(三) 在海洋钢结构材料性能的研究过程中需要进行模糊性的分析。例如，近年来，虽然从宏观的断裂力学到微观的损伤力学等方面都已取得了许多成果，但所有这些成果都是在一定的近似假设和简化条件下得到的，而这些条件的简化和近似假设也必然会给分析结果带来模糊性。

三、随机性

随机性是不确定性的另一种表现形式。因为它表现出可能是这样，也可能是那样，即随着情况和时机而变化，故常将这种不确定性称做随机性。随机是复杂的，但是复杂不一定是随机的。随机的本质是概率的意思，而不是复杂的意思。随机的意思是“或然”，即可能是这样，也可能是那样，因此它可以而且必须用概率来描述。

客观事物的随机性有两种表现形式：

(一) 总体中存在大量的个体的现象

在这种情况下，如果人们的不是去了解每个个体所呈现出来的状态，而是要了解由这些大量个体所合成的总体所呈现出来的状态，则人们可以将每一时刻每个个体所处的状态看做是“偶然的”、“随机的”，因而称这类现象为随机现象，称表现出来的这种大量个体本身处于各种不同状态的特性为随机性。值得指出的是，这类随机现象并不是毫无规律的，而统计数学，即随机数学的任务，就是要从这种表面的偶然性中寻找出规律来，也就是要从大量个体所形成的总体中找出规律。例如在海洋石油工程中，观测海浪时，在一个固定观测站每次用20分钟观测一次波高随时间变化的全过程，但长时期重复多次进行观测时，其结果是不同的，因而将这种现象称做海浪的随机性的表现。

(二) 个体为数很少，甚至只有一个，但却本身重复多次的现象

这种现象又可称做“实验”，它的特点是虽然个别实验的结果是随机的，但大量地试验，其结果却可呈现出一定的规律性。例如在海洋石油工程中，观测及实验结果表明，充分成长的海浪，其波面高度的平均值为零，方差值可看成为常数，自相关函数仅仅是单变量(时间)的函数，完全满足广义平稳随机过程定义的要求，因此可将随机海浪看成是一个平稳的随机过程。

上述两种随机性的表现形式，前者在总体中的每个个体在某一时刻的状态有种种可能；后者在重复多次时，每次出现的可能也是多种的。既然有多种可能，那么某一种可能出现的可能性究竟如何确定呢？为了解决这一问题，产生了专门研究度量事件发生可能性大小的数学工具“概率论”，而且在概率论的基础上，又发展产生了数理统计、随机过程等数学新分支，并逐步形成了“随机数学”。

四、随机性与模糊性的异同

从上述可以看出：随机性和模糊性都反映了事物的不确定性，这是两者的共性。但是它们是以不同的两个方面描述同一事物。两者的区别是：

(一) 随机性是指事件的发生与否而言，但事件本身的含义是确定的。由于条件的不充分，使得事件的发生与否有多种可能性，在 $[0, 1]$ 间取值的概率分布函数就是描述这种随机性的。模糊性是指元素对集合的隶属关系而言，其事件本身的含义是不确定的，但事件发生与否是可以确定的。因而，元素对集合的隶属关系是不确定的，在 $[0, 1]$ 上取值的隶属函数就是描述这种模糊性的。

(二) 描述随机性的统计数学摒弃了“因果决定论”，反映了一因多果的随机性。因此，它是由于因果律的破缺所造成的一种不确定性，它所依赖存在的基石——集合论是满足互补律的。而模糊数学摆脱了“非此即彼”的确定性，反映了“亦此亦彼”的模糊性，因此它是互补律破缺所造成的一种不确定性。

(三) 统计数学把数学的应用范围从必然现象扩大到偶然现象的领域；模糊数学则把应用范围从清晰现象扩大到乏晰现象的领域。

(四) 在同一事物的内部，随机性与模糊性常是共存的；在一些情况下，二者又是相互渗透和相互联系的。如模糊事件的概率、模糊的随机过程、事件的模糊概率等。

无论分析什么问题常常都要用到数学这个有力的工具。往往需要根据物理模型建立与之相应的数学模型。综合上述客观事物的确定性、随机性与模糊性，在分析问题、建立数学模型时，可以划分为如下三类：

1. 确定性数学模型

这类模型的研究对象具有确定性，对象间又相互具有必然的联系。

2. 随机性数学模型

这类模型的研究对象具有或然性或随机性。

3. 模糊性数学模型

这类模型的研究对象具有模糊性，而且对象间的相互关系也是模糊的。

第二节 断裂力学与损伤力学

一、材料力学与断裂力学

在相当长的一段时间内，材料力学是作为一门以防止断裂为主要任务的学科而存在的。材料力学要求对每种材料要测定屈服强度、强度极限、延伸率和冲击值等主要机械性能指标。然后，规定材料必须具有足够的强度和韧性。对于脆性材料，峰值应力超过了材料的强度极限，即造成断裂；对韧性材料，峰值应力首先造成局部屈服，使应力重新分配，然后使峰值应力抑制在不超过

材料的强度极限，才能避免断裂。

但是，按照上述常规的材料力学方法设计的工程构件或机械零部件，有时并不能保证安全使用。常常在低于设计应力条件下发生脆断事故，即所谓低应力脆断。对此，材料力学已不可能做出解释，因为，这种低应力脆断是由于材料中存在的初始裂纹，并在特定条件下扩展失稳所导致的。材料力学假设材料是各向同性的均匀介质，但实际上材料的微观组织，不仅非均匀，也不可能各向同性；而且组织中有微裂纹，甚至宏观裂纹等缺陷存在。这样，就产生了断裂力学。断裂力学认为材料断裂的发生是由于材料的微裂纹及缺陷的存在以及材料对缺陷的敏感性。

断裂力学是一门新兴的强度学科，它扬弃了常规的传统强度理论中关于材料不存在裂纹的假设，而把构件或零件看成是连续和间断的统一体，把材料看成是有微裂纹或缺陷存在的，提出了按照裂纹扩展速率计算疲劳断裂的新方法和设计原则。因此，断裂力学是一门主要研究带裂纹材料的强度和裂纹在材料中扩展规律的学科。也可以说，断裂力学实质上是有关材料裂纹的力学。

海洋石油钢结构在海上的每一次断裂事故都会带来严重的灾难，造成巨大的生命财产损失。因而，寿命问题，可靠性设计问题便成了海洋石油钢结构研究与设计中的主要矛盾。于是，断裂力学在海洋石油钢结构中的应用，也主要是用以估算构件的疲劳寿命或可靠性分析。断裂力学中用以描述裂纹扩展速率 da/dN 的帕里斯(P. C. Paris)公式，已为国际上广泛承认，因而以帕里斯公式和疲劳损伤累积的迈内尔(Miner)法则相结合来估算构件的疲劳寿命，在海洋石油钢结构的研究设计方面已得到了广泛的应用。

帕里斯公式可表达为

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m \quad (1-1)$$

因而，构件的疲劳寿命，按照迈内尔法则，若以循环次数 N 来表