

现代结构系统可靠性分析理论 发展概况及若干应用*

董 聪 杨庆雄

西北工业大学, 西安(邮政编码710072)

提要 本文概述了现代结构系统可靠性分析理论的发展历史、动向和存在的问题。简要分析了 FTA 和 PLSA 两大工程可靠性分析学派所采用的分析方法的属性、特点和适用范围。从实用的角度出发, 对目前欧美各国飞机、船舶、压力容器和民用建筑设计中广泛使用的细节可靠性分析与设计方法作了综合评介, 并根据近年来的发展情况, 对这门新兴学科未来的发展与应用前景作了粗线条的预测。

关键词 结构系统; 可靠性; 界限理论; 优化; 余度理论

1 引言

结构系统可靠性理论是一门新兴的边缘学科。它以概率论、数理统计方法和随机过程理论为基础, 以结构分析的有限元法和网络分析技术为工具, 从系统角度出发, 将结构系统的设计、分析、评价, 检测和维护等融为一体, 作为一种科学分析方法和实用技术, 狭义地讲, 它研究结构系统在规定的使用条件与环境下, 在给定的使用寿命期间, 能有效地承受载荷和耐受环境影响而正常工作的概率; 广义地讲, 它主要研究和处理以下几个方面的问题: ①结构系统可靠性预测; ②结构系统主要设计参数的统计分析方法及分布规律; ③结构系统主要设计参数之间的相关性及其对系统可靠性的影响; ④结构系统可靠性分析的数学模型和计算方法; ⑤结构系统可靠性指标的确定及可靠度分配; ⑥失效模式、影响及风险性分析; ⑦结构系统可靠性实验理论和实验模拟; ⑧结构系统可靠性评价与检测以及维修策略; ⑨以系统可靠性指标为目标函数或约束条件的结构优化设计; ⑩结构系统可靠性分析理论在飞机、船舶、海上石油勘探平台、高层建筑和桥梁等大型结构系统定寿和延寿中的应用。

2 发展历史

将概率论和数理统计方法应用于结构可靠性分析的最早尝试可以追溯到 20 世纪初 Forsell 和 Mayer 等人的工作。尽管这些早期研究工作富有创造性, 但囿于当时的科技发展

* 航空科学基金资助课题。

水平和实际需要, 结构系统可靠性作为一种新的设计思想和分析方法并未引起社会的足够重视。第二次世界大战期间及随后的岁月中, 有关机电设备、船舶、压力容器、飞行装置和海上石油勘探平台等, 在设计使用寿命期限内, 在规定的载荷条件与环境下, 不能预期正常工作的事例不断增多和日趋严重。这说明了以安全系数法为代表的传统设计方法对环境条件和结构特性的决定论假设是不适当的。必须从概率论的观点出发, 对有关的设计参量进行统计分析, 研究它们的分布规律和相关特性, 从而制订出一整套新的合理的设计规范。

Borges^[1]研究了载荷和应力的分布规律。Torroja和Peaz根据载荷和应力分散现象产生的各种原因作了推断其所属分布类型的初步尝试。Freudenthal^[2-5]采用全概率分析方法, 研究了传统的安全系数和结构破坏概率之间的内在关系, 提出了考虑多种因素, 主要是有初始损伤条件下的结构系统可靠性分析的数学模型。正是由于Freudenthal等人的卓越工作, 才促成了结构系统可靠性分析理论由经典向现代的过渡。

Hasofer和Lind^[6]建议根据失效面而不是失效函数定义失效模式的可靠度指标 β 。对于同一失效面, 这样定义的 β 不会由于选择不同的等价失效函数而发生变化。Rackwitz和Fiessler^[7]提出了一种有效的算法使得任何非正态随机变量都能够在设计点处转化为正态随机变量, 从而使计算由非正态随机变量和非线性极限承载状态构成的失效模式的失效概率成为可能。Ditlevsen^[8]通过考虑两个失效模式之间相关特性的影响, 提出了2阶窄可靠度界限理论, 初步解决了大型结构系统综合失效概率上下界的估算问题。

由于Hasofer, Lind和Ditlevsen等人的卓越工作, 80年代以来, 与有限元法、计算机应用技术和实用概率网络分析理论的迅猛发展潮流相呼应, 以一次二阶矩方法为基础的现代结构可靠性分析理论和应用技术开始了由元件级水平向系统级水平的实质性过渡。这一时期, 在理论研究方面, Cornell, Stevensen和Rosenbluth等人都做了不少的工作, 但作为一种实用的、面向大型结构系统的工程可靠性分析方法, 则逐步形成了以Ang和Moses为主要代表的两大学派^[9]。

Ang^[10]等人采用故障树分析方法FTA (fault tree analysis), 借助于网络搜索技术识别结构系统的主要失效模式, 并通过概率网络评估方法PNET (probabilistic network evaluation technique) 综合地给出结构系统的失效概率。FTA方法的优点在于: 能够将领域专家的经验知识和逻辑判断能力融入系统分析程序, 能够考虑人为差错、故意破坏或自然产生的意外损伤等外部因素的作用。从方法的特性讲, 它属于演绎法, 因而便于使用具有推理机制的LISP语言或PROLOG语言等高级语言进行专家系统ES (expert system) 或专家决策支持系统EDSS (expert decision support system) 的建模。通过不断更新知识库, 完善推理机制, 优化搜索策略, 即使在原有模型框架下, 也可以使所建造的ES或EDSS一直保持较高水准。由于FTA方法通常是沿着由根到枝的顺序进行的, 因而便于进行总结性分析, 由此得出的结论是非局域性的。不足之处是, 采用FTA方法编制的结构可靠性分析程序, 实际运行时往往需要太多的搜索运算, 对计算机内存容量的要求也比较高。并且在ES或EDSS建模的时候, 系统的适应性不仅取决于采用的搜索策略和推理机制是否完备, 还密切地依赖于专家经验的合理提纯与适当描述, 因而建造一种实用的结构可靠性分析与设计一体化系统或分系统的难度相当大。一般认为, FTA方法更适合于机电设备和工程结构的功能分析和风险预测。

Moses^[11,12]的方法从网络分析理论的角度看应当归属于失效模式、影响及危险性分析一类。从本质上讲它是传统的极限承载能力分析方法和现代概率论和数理统计观点的某种方式的精致结合。它采用初始刚度增量载荷法,以单元的承力比最大和承力比变化比最大为准则,选取失效历程各阶段进入失效模式的单元。通过分析结构的失效演化历程,可求得系统的一系列主要失效模式。然后,借助于窄可靠度界限理论,由主要失效模式的发生概率综合给出系统的失效概率界限。Moses 学派的方法可总称为概率型的极限状态分析法 PLSA (probabilistic limit state analysis),其重点和难点在于建立合理的准则来识别系统的主要失效模式。一般来讲,PLSA方法对计算机内存容量的要求远远低于FTA方法,并便于进行特定失效模式的失效事件对系统失效总概率所产生影响的分析,因而可为监测和维修策略的实施提供有价值的参考。在确保不遗漏主要失效模式的前提下,PLSA方法比较适合于大中型结构系统的工程可靠性分析和评价^[9]。

现代结构系统可靠性分析理论和应用技术在由元件级水平向系统级水平过渡的过程中,出现了一种称为部分安全因子法的细节可靠性设计方法。国外70年代末和80年代初制订的有关压力容器和民用建筑的许多可靠性设计规范,都是以部分安全因子法为基础的^[14-16]。此法从系统的角度出发,通过对元件进行合理的可靠度分配来确保系统具有近优的初始可靠度和残余可靠度。具体做法是:用若干个部分安全因子代替安全系数设计法中的一个安全系数,通过合理地规定这些部分安全因子值来保证设计出的结构元件具有比较均匀的可靠度分配。部分安全因子设计法是把结构分解为元件后,再针对元件进行可靠性设计。它的设计程序和通常使用的结构设计程序相同,因而普通的结构设计人员和应力分析人员易于接受和使用这种方法。80年代初,美国波音民用运输机公司的Garson等人将这一方法推广应用于飞机结构的耐久性和损伤容限设计,从而形成了广泛应用于飞机结构疲劳寿命可靠性设计的DFR(detail fatigue rating)技术和应用于飞机结构损伤容限设计的DTR(damage tolerance rating)技术^[16-18],这些技术在波音的新型号机种,如Boeing-757和Boeing-767的机体结构设计中得到广泛的应用,目前已成为波音民用运输机公司采用的常规设计方法^[19]。

3 目前的状态和存在的问题

进入80年代之后,结构系统可靠性分析与设计领域呈现出十分活跃的景象。Garson^[20], Parkinson^[21], Ang和Tang^[19]研究了最弱链模型中失效模式发生概率、失效模式间相关性和失效模式排序对Ditlevsen窄可靠度估算区间的影响,认为随着失效模式发生概率和失效模式间相关性的增大,由Ditlevsen二阶可靠度界限理论给出的系统可靠度区间宽度显著增大。Kam^[22]对有初始缺陷结构的可靠性进行了分析,认为几何缺陷对系统失效概率的影响不容忽视。Cran^[23]和Sinha等人^[24]研究了3参数Weibull分布的矩估计和Bayes估计方法,给出了位置参数、尺度参数和形状参数的相应表达式。Andreatta和Romeo^[25]对概率网络中随机最短路径的求解方法进行了研究,这些方法可用来窄化Ditlevsen可靠度估算区间。林富甲等人^[26]对具有单危险部位的机翼主要构件进行了可靠性分析。诸德培^[27]提出了考虑多因素效应、具有单一危险部位的结构系统可靠性分析模型。傅惠民和高领同^[28,29]证明了,疲劳裂纹扩展过程中,超值概率和破坏率相等,建立了一种可综合考虑多因素效应的构件可靠性定寿模型。在结构可靠性近似限估算方法和多台系统可靠性同步增长模型的研究方面,周源泉做了大量的工作^[30-32]。王光远等人^[33-35]建立了普遍型模糊规划理论和相应的

算法, 在采用模糊数学方法研究结构可靠性优化方面, 做了若干开创性的工作。

这一时期, FTA学派和PLSA学派在识别系统主要失效模式算法研究、系统可靠性优化技术、系统可靠性界限理论和结构广义余度理论等方面, 进行了大量的研究与探索。Thoft-Christensen和Sorensen^[30]研究了最弱链模型结构系统中元件强度的相关特性对系统失效概率的影响, 提出了用于识别复杂结构系统主要失效模式的 β 约界法; Melchers和Tang^[37,38]提出了TEM (truncated enumeration method) 法。认为在截取参数选择适当的条件下, 采用TEM法可找出结构系统所有主要失效模式; Murotsu等人^[39-43]提出了自动生成结构系统主要失效模式的分枝-约界法。他们采用这一方法研究了6杆、15杆和25杆桁架结构的静强度可靠性分析与优化问题, 并对刚架结构的可靠性分析理论和计算方法也做了比较深入的探讨。他们成为这一时期FTA学派的颇有影响的人物。为了克服经典的Moses方法容易遗漏主要失效模式的不足, 冯元生^[44]提出了枚举结构系统主要失效模式的优化准则法, 并和笔者一起将其发展成为可考虑载荷反向效应的、面向计算机自动化分析与计算的载荷增量最小原则^[45]。

在结构余度理论、可靠性优化方法和复合材料结构系统可靠性计算方面, 冯元生和羊玲等人做了许多有益的工作, 独自初步建立起了领域里的模型框架^[44-50]。

这一时期, 笔者的工作主要表现在^[45,51-60]: ①先后提出了用于识别大型结构系统主要失效模式的人造外载法、载荷增量最小原则、阶段分枝-约界法和全局分枝-约界法。从理论上严格证明了, 在一级和多级搜索纵深的条件下, 采用全局分枝-约界法可严格确保不遗漏结构系统的主要失效模式, 算法本身具有严格的收敛性和良好的收敛效率。由于全局分枝-约界法的建立, 使原先各自独立的三种形式的可靠性分析与计算方法集聚为统一的普适算法。这三种方法分别是: 适用于韧性材料构成的结构系统的可靠性分析与计算方法; 适用于脆性材料构成的结构系统的可靠性分析与计算方法; 适用于韧性和脆性材料构成的混合结构系统的可靠性分析与计算方法。②建立了以完整结构系统可靠性指标和残余结构系统可靠性指标为参量的广义结构余度概念, 解决了冯元生以完整结构临界强度和残余结构临界强度为参量定义结构余度未能全面反映结构系统综合品质的不足。采用新的余度定义, 对传统优化结构进行了较为系统的可靠性分析。结果表明, 冯元生对传统优化结构所属余度等级的观点是基本正确的。③提出了虚拟极限状态的概念, 探讨了结构拓扑、材料特性、载荷设置水平、单元初始损伤状况和外载及单元强度差异系数等因素对系统失效概率及其估算界宽的综合影响。④提出了用于大型结构系统综合失效概率计算的零界宽理论, 将Ditlevsen的2阶窄可靠度界限理论和冯元生的3阶窄可靠度界限理论提高到一个新的水平, 彻底解决了大型结构系统综合失效概率的精确计算问题。

由于Thoft-Christensen, Melchers, Murotsu, 冯元生, 羊玲和笔者等人的一系列工作, 对于离散型结构系统的静强度和疲劳裂纹形成寿命可靠性分析, 识别主要失效模式的算法基本成熟, 全局分枝-约界法开始在飞机主要受力构件静强度可靠性分析, 海上石油勘探平台总体极限强度和疲劳寿命可靠性分析中得到实际应用。

关于大型结构系统可靠性分析, 目前遗留下来的两个棘手问题是: ①在确保系统综合失效概率估算精度的条件下, 如何有效控制计算规模; ②在失效模式所对应的安全裕量方程严重非线性的条件下, 如何确保模式失效概率及模式间共概率的计算精度。

提出以上两个问题的背景是：①按传统优化方法或可靠性优化方法设计出的结构，其主要失效模式相当多，而计算系统综合失效概率或其上下界所涉及的计算规模和运算量，按失效模式数的平方急剧增加；②疲劳载荷作用下，失效模式所对应的安全裕量方程是严重非线性的。研究工作表明，与静强度失效相比，疲劳失效是结构系统最基本，同时也是最严重的失效方式之一^[54,57]。

4 未来的发展及若干应用

结构系统可靠性分析与设计，作为一种日趋成熟的新兴技术与方法，已经在航空、航海、民用建筑、机电设备、压力容器的设计与维护等各个领域得到了日益广泛的应用^[61-63]。欧美各国相继制订了基于一阶可靠性分析理论的结构系统可靠性设计规范^[19-18]，按新规范设计的结构也都相继问世。由于计算机应用技术、实用概率网络分析技术、小子样分布规律假设检验策略的迅速发展和日趋完善，笔者推测，在今后的一段时间内，以下的研究课题会引起人们的广泛兴趣：

①与结构系统可靠性分析和设计密切相关的设计参数（如外载荷，材料的屈服应力、疲劳强度、疲劳寿命、损伤阈值等）在极小概率尾区中统计分布规律的研究。这项研究直接关系到模式失效概率和系统综合失效概率的计算准确性，对大系统可靠性分析理论有效地应用于工程实践具有重要的现实意义。

②建立考虑各裂纹源相互耦合效应的多裂纹源、多裂纹扩展路径的复杂结构系统疲劳裂纹扩展寿命可靠性分析理论与算法。对于考虑多因素效应的单一主裂纹源结构，目前已建立了不少用于可靠性分析的数学模型^[27,64]；而考虑多裂纹源、多裂纹扩展路径的复杂结构系统可靠性分析，由于各裂纹源在扩展过程中存在明显的交叉耦合作用，这使得建立任何解析形式的数学模型的企图难以实现。利用计算机强大的运算能力，采用逐次逼近的方式建立一套合理的算法却有可能比较满意地解决这一难题。笔者在这方面做了一些初步的尝试^[60]，许多问题还有待于更深入的探索。

③大系统可靠性估界理论。大系统由若干子系统组成，各子系统具有相对独立的功能，子系统之间和子系统内部各构元之间，通常存在多层次相互关联。目前已建立的可靠性估界理论，如 Ditlevsen 的 2 阶理论和冯元生的 3 阶理论，都是以简单串联或并联网络为对象，只能考虑同级水平上不同失效状态间的相互关联；大系统可靠性估界理论，则必须考虑构元级和子系统级，至少两个层次，失效状态集合间的相互关联，因此其难度相对来讲要大些。零界宽可靠性理论的提出，为大系统可靠性估界理论的建立创造了条件。笔者在这方面做了一些探索，许多问题还有待于更深入的研究。

④结构系统可靠性初步评估技术。在飞机、船舶、桥梁和海上石油勘探平台等的方案设计阶段，对多种设计方案的可靠性和完整性进行初步评估可以为合理的方案选择提供有价值的参考。对多种典型结构系统的可靠性分析与计算表明：在方案设计阶段，以上模式失效概率初步评估系统综合失效概率所属等级是可行的。由于已处理过的实际例子不是太多，因而这一结论的普适性还有待于用大量深入细致的研究工作和实验结果进一步证实。值得一提的是，此结论所蕴涵的经济价值十分可观，这一点希望能引起注意。

在将结构系统可靠性分析理论应用于工程实际方面，建立设计-分析-检测-监控-维修一体化综合系统和 EDSS 系统无疑是大势所趋。图 1 给出了某海上石油勘探平台分析-检测-监

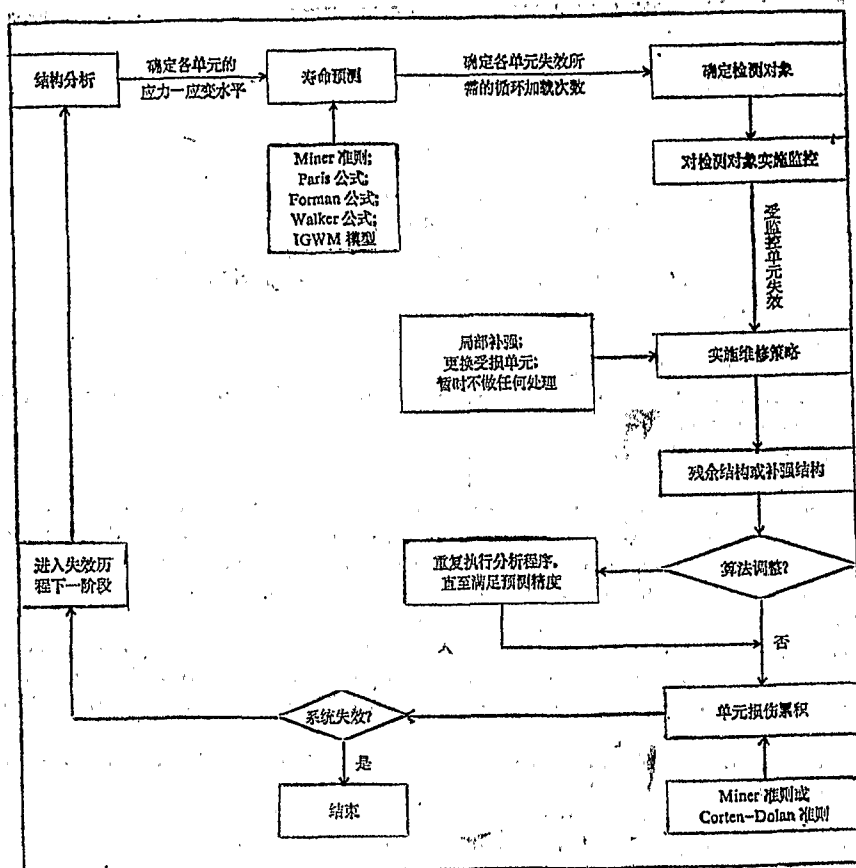


图1 海上石油勘探平台分析-检测-监控-维修一体化系统执行框图

控-维修一体化综合系统的简单执行框图。类似的系统也可用于飞行装置、船舶、压力容器、高层建筑和大跨度桥梁等的设计与例行维护。

总结以上，回顾20世纪初至今，现代结构系统可靠性分析理论的研究取得了非常大的成就，但同时也还有许多值得研究的课题。要想使可靠性分析方法成为有坚实理论基础的实用工程分析方法，还要做许多艰苦的研究工作。

早期研究工作中，笔者之一董聪得益于西北工业大学冯元生教授、李为吉教授、羊玲教授和西安电子科技大学叶尚辉教授的引导和指教；在将大系统可靠性理论应用于工程实践方面，中国船舶总公司结构实验中心石理国高级工程师和他领导的课题组给予了大力的支持和帮助。在此谨表谢意。

参 考 文 献

- 1 Borges F J. Final Report, 4th Cong., Int. Association for Bridge and Struct. Engng, Cambridge (1952)
- 2 Freudenthal A M. *Trans. ASCE*, **112** (1947) : 125—159
- 3 —. *ibid*, **121** (1956) : 1337—1397
- 4 —, et al. *J. Struct. Div., ASCE*, **92**, ST1 (1966) : 267—299
- 5 —. *Aircraft Fatigue*. Pergamon Press, Oxford (1972) : 13—48
- 6 Hasofer A M, Lind N C. *J. Eng. Mech. Div., ASCE*, **100**, 1 (1974) : 111—121
- 7 Rackwitz R, et al. An Algorithm for Calculation of Structural Reliability under Combined Loading. Munchen (1977)
- 8 Ditlevsen O. *J. Struct. Mech.*, **7**, 4 (1979) : 453—472
- 9 冯元生. *航空学报*, **8**, 5 (1987) : 221—229
- 10 Ang A H-S, Tang W H. *Probability Concept in Engineering Planning and Design*. John Wiley & Sons, New York (1984)
- 11 Moses F. *Comput. & Struct.*, **7** (1975) : 291—294
- 12 —. *J. Struct. Safety*, **1** (1982) : 3—13
- 13 National Building Code of Canada. National Research Council of Canada, Ottawa (1977)
- 14 Common Unified Rules for Different Type of Construction and Material. Bulletin D'information, No; 124E, Comite Euro-International du Beton (CEB), Paris (April 1978)
- 15 Development of A Probability Based on Criterion for American National Standard A58, National Bureau of Standard Special Publication 577 (1980)
- 16 Goranson U G, et al. Long life damage tolerant jet transport structures. ASTM, Symp. on Design of Fatigue and Fracture Resistant Structures. Bal Harbour, Florida (November 10—11, 1980)
- 17 —. Damage Tolerance of New and Aging Jet Transports. The Boeing Company Technology Forum (1981)
- 18 —. Element of Damage Tolerance Verification. Boeing Commercial Airplane Company Seattle, Washington D. C., U. S. A. (1980)
- 19 李克唐. *航空学报*, **7**, 6 (1986) : 531—538
- 20 Garson R C. *J. Struct. Div., ASCE*, **106**, ST8 (1980) : 1797—1810
- 21 Parkinson D B. *IEEE Trans. Reliability*, **37**, 1 (1988) : 54—56
- 22 Kam T Y. *Comput. & Struct.*, **25**, 5 (1987) : 695—698
- 23 Cran G W. *IEEE Trans. Reliability*, **37**, 4 (1988) : 360—363
- 24 Sinha S K, Sloan J A. *ibid*, **37**, 4 (1988) : 364—368
- 25 Andreatta G, Romeo L. *Networks*, **18** (1988) : 193—204
- 26 林富甲, 黄玉珊. *航空学报*, **4**, 3 (1983) : 133—138
- 27 诸德培. *同上*, **7**, 4 (1986) : 354—362
- 28 傅惠民, 高镇同. *同上*, **9**, 2 (1988) : 113—118
- 29 —, —. *同上*, **12**, 5 (1991) : 264—271
- 30 周源泉. *机械工程学报*, **22**, 3 (1986) : 67—74
- 31 —. *数学学报*, **23**, 3 (1980) : 359—371
- 32 —. *强度与环境*, **2** (1987) : 1—10
- 33 王光远, 王文泉. *计算结构力学及其应用*, **1**, 2 (1984) : 67—73
- 34 陈树勋, 王光远. *同上*, **8**, 4 (1991) : 413—420
- 35 王光远, 谭东耀. *力学与实践*, **13**, 1 (1991) : 1—7
- 36 Thoft-Christensen P, Sorensen J D. *Appl. Math. Modelling*, **6** (1982) : 171—178
- 37 Melchers R E, Tang L K. *Struct. Safety*, **2** (1984) : 127—143
- 38 Tang L K, Melchers R E. *Reliability Engineering*, **18** (1987) : 101—115
- 39 Murotsu Y, et al. Int. Conf. on Reliability, Stress Analysis and Failure Prevention, San Francisco, U. S. A. (1980) : 81—93
- 40 —, —. *Trans. ASME, J. Mech. Design*, **102**, 4 (1980) : 749—756
- 41 —, —. *Struct. Safety and Reliability*, **2** (1984) : 17—25
- 42 —, —. *ibid*, **1** (1985) : 117—128
- 43 —, —. *Int. J. JSME*, **30**, 260 (1987) : 234—241
- 44 Feng Y S (冯元生). *Comput. & Struct.*, **30**, 5 (1988) : 1153—1157

- 45 冯元生, 董聪. 航空学报, 12, 9 (1991) : 537—541
- 46 Feng Y S, Moses F. *Comput. & Struct.*, 24, 2 (1986) : 239—251
- 47 —, —. *J. Struct. Mech.*, 14, 4 (1986) : 437—453
- 48 —. *Comput. & Struct.*, 28, 1 (1988) : 15—24
- 49 —. *ibid*, 33, 1 (1989) : 1—5
- 50 Yang L (羊玲). *J. Struct. Mech.*, 16, 4 (1988) : 401—414
- 51 董聪. 航空学报, 10, 2 (1989) : 76—78
- 52 —, 冯元生. 西北工业大学学报, 9, 3 (1991) : 284—289
- 53 —, 邢斌, 冯元生. 空军工程学院学报, 3, 3 (1991) : 241—246
- 54 —, 杨庆雄. 西北工业大学学报, 10, 2 (1992) : 252—258
- 55 —, —. 第五届全国疲劳学术会议论文集, 威海 (1991) : 214—219
- 56 童小燕, 董聪, 孙秦, 杨庆雄. 飞机工程, 6, 1 (1992) : 65—69
- 57 董聪, 杨庆雄. 同上, 6, 2 (1992)
- 58 —, —. 冗余桁架结构系统可靠性分析理论与算法. 计算结构力学及其应用, 9, 4 (1992) : 393—398
- 59 —, —. 大型结构系统综合失效概率的精确估算理论. 航空学报, 待发表
- 60 —, —. 大型结构系统疲劳裂纹扩展寿命可靠性分析模型. 宇航学报, 待发表
- 61 Ang A H-S, et al. Final Report, Contract Dot-OS-50238, Washington, D. C., U. S. A. (1979)
- 62 Cornell C A, Newmark N M. Feed Water System Failure Probability Analysis. Contract Dot-OS-70081, California, U. S. A. (1981)
- 63 Multihill R J. *IEEE Trans. Reliability*, 37, 2 (1988) : 149—158
- 64 诸德培. 航空学报, 7, 6 (1986) : 521—530

DEVELOPMENT ON MODERN RELIABILITY ANALYSIS THEORY OF STRUCTURAL SYSTEMS AND ITS APPLICATIONS

Dong Cong Yang Qing-xiong
Northwestern Polytechnical University

Abstract The history, trend and existing difficulty of the modern reliability analysis theory of structural systems are briefly reviewed. Emphasis is laid on the attribution, characteristics and applicable ranges of the FTA method and the PLSA method used in the field of system reliability analysis and design. For the purpose of application, a discussion is made on the detail reliability analysis and design method used for the structural design of aircraft, ship, pressure vessel and civil building. Based on the work over the last decade, a prediction on the future development and application of this new interdisciplinary science is made.

Keywords *structural system; reliability; bounds theory; optimization; redundancy theory*