

文章编号:1001-4500(2007)05-0001-05

深水立管的若干结构力学研究进展

陈云水,王德禹

(上海交通大学,200030 上海)

摘 要:针对海洋深水立管的碰撞、疲劳、断裂失效和安全可靠性问题,评述了近5年来国内的研究成果,给出了一些用于深水立管碰撞和安全可靠性评估的实用理论和计算方法,特别是求解两根立管相互碰撞的动力响应时,介绍了新的概念——碰撞参与质量(collision participating masses),通过评估参与质量,从而求解出各种响应。

关键词:深水立管;碰撞;参与质量;疲劳;断裂;可靠性

中图分类号:PT756

文献标识码:A

海洋立管是现代海洋工程结构系统中的重要组成部分之一,同时也是薄弱易损的构件之一。海洋立管内部一般有高压的油或气流通过,外部承受波浪、海流荷载的作用。由于立管所处的海洋环境的复杂性,其影响因素也较多。立管在内部流体和外部环境荷载的作用下会发生碰撞、疲劳损伤和断裂失效,造成破坏,不仅工程本身遭受损失,而且可能造成严重的次生灾害。因此对立管结构力学的研究是具有重要意义的。

1 立管的碰撞研究

立管之间相互作用研究从上世纪80年代后期开始。Rajabi(1989)第一次指出立管之间或立管和锚索之间潜在的相互碰撞,然而主要的关注还是放在了波浪激励碰撞和立管或锚索的单个个体的不匹配移动阶段。这种现象Niedzwecki在1993年做了进一步研究。Hose在1993和1996年从试验的角度阐述了波浪诱导的碰撞。在Hose的1996年的试验中做出了高频的涡激振动的现象,顺流中立管的这一振动具有不规则的特性和30到40倍直径距离的大振幅。1999年以来一些论文研究的尾迹诱导立管碰撞是基于一个稳定的途径开展的,为不稳定情况下的特征速度值的确定开发了一种数值方法。

在深水海洋石油生产平台的立管设计中,立管碰撞已经是一个不得不考虑的重要因素。这种情况在墨西哥湾尤其突出,这是因为在墨西哥湾存在强大的回流和水下潮流。一般可以接受的立管碰撞和撞击的设计原则都是考虑在极端海流的情况下能够避免突发事件的发生;在特殊的海况下,如果立管上在某种环境载荷下没有出现破坏的话,允许有轻微的碰撞。对于设计原则,也需要能够准确地预测在极端的海流下发生哪一种碰撞^[1]。

Huang Shan^[2]等人通过建立立管碰撞的数学模型,讨论了在均匀流中控制尾迹诱导立管碰撞的一些重要的无因次参数。阐明在二维情况下起关键作用的参数是质量参数和诱导流速平方的乘积,而在三维情况下与顶部固紧水平有关的附加参数也是非常重要的。在深水立管碰撞的模型实验中也发现上述的两个参数起着至关重要的作用。

Li Yousun^[3]等人提出了一种算法,这种算法建立在时间域上解决立管多处碰撞问题,算法中强调接触约束,并把每对接触力都加到整体控制方程上,这些接触力要么足够大以穿透管壁,要么随着接触的分开而消失,这种算法称之为“拟穿透”(virtual penetration),基于这种思想可以通过迭代算出接触力。

Wilmschurst S R.^[4]等人利用有限元软件ABAQUS建立立管局部碰撞的有限元模型,得出局部碰撞区

收稿日期:2007-07-12

基金项目:上海市科委重大基础研究课题(编号:05DJ14001)

作者简介:陈云水(1981-),男,研究生。

域的接触力、应力和应变等一些结构响应。并通过试验验证了这个三维的有限元模型计算的结果与试验结果相吻合。而在试验和有限元模型中,他们不仅考虑了不同的立管碰撞的相对速度,还考虑了立管碰撞时的不同角度。

陈云水^[5]等人以 SPAR 平台中立管与立管碰撞为研究对象,采用三维有限元模拟碰撞过程,并采用显示动力求解结构的最大碰撞力及最大碰撞应力,计算且讨论了内压、碰撞时立管之间的夹角、夹角及摩擦对立管碰撞的影响。结果表明一定的内压值可以使立管在径向更不容易破坏,对于带有保护层的立管,不同角度碰撞对立管的影响相对较小,当碰撞角为 45°,最大碰撞应力比较小,摩擦对立管碰撞影响不是很大。

Euclides Trovato Neto^[6]等人探讨了在立管碰撞时计算立管参与质量(collision participating masses)的方法,这是一种数值方法,用来计算相邻两根立管碰撞的作用质量(interaction masses),不过这方法是建立在两个力学系统之间的循环作用能够用特征质量(representative masses)来描述,而这种特征质量与碰撞过程中消耗的能量息息相关。其参与质量的表达式为:

$$M = \int_{\Omega} \rho(q) d\Omega = \int_{\Omega} \rho_q d\Omega \quad (1)$$

式中: M 表示立管碰撞的参与质量; Ω 表示两根立管的碰撞区域; ρ_q 表示在碰撞区域内立管的广义密度,可写成表达式:

$$\rho_q = [\zeta_A f_A + \zeta_B f_B] \quad (2)$$

这里: $\zeta_r, r = A, B$, 是与每个立管系统的离散特性有关的独立系数; $f_r, r = A, B$, 是与每个立管系统的局部循环质量相关的作用系数,可写成表达式: $f_r = \rho_r \Lambda_r, r = A, B, \Lambda_r$ 是碰撞的相对幅值。

通过 3D 模型的有限元计算,可评估结构离散系数 ζ_r 和相对幅值 Λ_r :

$$\zeta_r = \left| \frac{\Pi'_T}{\Pi'_{EL}} \right| = \frac{|\Pi'_{PL} + \Pi'_{EL}|}{|\Pi'_{EL}|} \quad r = A, B \quad (3)$$

Π'_T 指单个立管系统在碰撞载荷作用下的总变形能,包括弹性变形能 Π'_{EL} 和塑性变形能 Π'_{PL} 。

$$\Lambda_r = \frac{\Delta X^k}{X_r^k} \quad r = A, B \quad (4)$$

立管在碰撞区域内的结点 k 在做谐和运动,并且立管 A, B 的幅值分别为 X_A^k 和 X_B^k , 而 $\Delta X^k = X_A^k - X_B^k$ 为局部副值差。

Huse^[7]采用不同的立管模型做了大量的测试,大尺寸的测试已经提供大量的试验数据作为半经验公式用以预测立管碰撞,并且用数值的方法计算出不同工况下立管碰撞的参与质量,并与由群变换理论推倒出来的公式进行对比,得出碰撞参与质量占总质量的 8.5%~9.5%;

Denby Morrison^[8]等人在前人的基础上提出了一种计算立管碰撞力的近似表达式 $P = \sqrt{k_c \frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2}} \Delta V$, 式中: k_c 为立管局部横截面刚度; ΔV 为碰撞瞬间的相对速度; M_i 为立管的参与质量。并用模型试验验证其准确性。

对于深水立管阵列的设计,一定要考虑到不同的立管之间可能发生的碰撞。不管是碰撞的预定频率还是在管道内所产生的压力都要进行考虑。碰撞分析是通过合成程序系统 HYBER 来实现,而计算立管碰撞力的公式是基于一种面与面之间的接触搜索/接触力的理论基础上,并通过迭代响应分析,得到在不同流速时立管碰撞压力大小的概率分布及损伤曲线^[9]。而 Bernt J. Leira^[10]等人通过 CFD 模型计算出两立管的水动力载荷,再通过有限元模型计算出立管碰撞的响应,得出在深水中立管碰撞的区域是相对稳定的。

2 立管的疲劳损伤

对于近海建筑物,由波浪、风以及现场作业等因素引起的动载荷是非常复杂的,对管节点或其他焊接部位的疲劳寿命计算,受对环境力、结构的局部和整体响应、疲劳强度和损伤积累等计算的不确定性的制

约^[11]。

Denby Morrison 等人通过模型试验考虑了钢质悬链线立管(SCR)由涡激振动(VIV)引起的疲劳损伤,这里的疲劳损伤包括两个部分,即由 VIV 本身引起的疲劳和立管由于 VIV 发生碰撞而引起的疲劳。得到了流速、立管的间距对立管的疲劳损伤的影响比较大的结论。

Basim B. Mekha^[12]对 SCR 在波浪和 VIV 的作用下进行疲劳寿命计算,其中考虑两个重要的部位:柔性接头和触地点(TDP),并指出在计算其疲劳寿命时,柔性接头刚度因子、SHEAR7 程序中模式参数的选择及触地点的模态曲率对立管疲劳寿命影响比较大。然而,平台的涡激运动(VIM)也能导致 SCR 疲劳。Bai Y.^[13]等人探讨了在 Spar 平台的 SCR 立管在 VIM 作用下的累积损伤,提出了计算此类疲劳损伤的详细过程,根据 Palmgren-Miner 线性准则算出立管的累积疲劳损伤,并给出了立管在各种因素共同作用下的累积疲劳损伤计算公式,最后对具体的工程实例做了敏感性试验,表明立管疲劳损伤对柔性接头处的倾斜角度比较敏感。

Martins^[14]等针对钢质悬链式深水立管,研究了着地点(touch down point, TDP)附近的疲劳行为,其分析中采用了简化模型、线性近似、渐进表示及频率范围解等方法。利用现有的线性问题的频率范围解,给出 TDP 的运动渐进计算公式,并利用 S-N 曲线表示材料的疲劳行为,求得立管在 TDP 附近的疲劳寿命及总的积累损伤。

Teigen 和 Karunakaran^[15]对张力腿平台(TLP)上自由悬挂和受拉伸张的两种立管进行了疲劳寿命计算,其中关键问题是研究波浪衍射如何影响作用于立管上的载荷,并指出与一个“标准的”工程方法相比,当考虑波浪衍射时,立管的疲劳寿命将会明显减少。对于立管疲劳的计算,最主要的是流体速度的描述,而不是波浪的计算。

Grant 等^[16]针对高柔度深水立管,给出了一个时间域涡激振动程序,用于计算深水立管的 VIV,并将计算结果与大尺寸模拟试验数据进行比较。作者使用时间域方法模拟任意管结构对波浪诱导运动的动力响应,分析结果可用于评定立管的强度和疲劳积累。

Trond Stokka Meling 等^[17]研究了由 VIV 引起的立管疲劳损伤计算,其在参数处理中采用了经验正交化的方法,该方法利用矩阵的奇异值分解进行转化,其矩阵运算如下: $A = U\lambda V^T$,式中:矩阵 U 的列表示的是矩阵 AA^T 的特征向量,矩阵 V 的列表示的是矩阵 $A^T A$ 的特征向量, λ 的对角线的元素表示的是 AA^T 和 $A^T A$ 的特征值的平方根。由于 U 和 V 是正交的,所以有 $U^T U = I, V^T V = I$ 。根据处理后的数据计算出立管的疲劳损伤。

3 立管的断裂失效

用断裂力学方法对构件的疲劳寿命进行评估分析,一是裂纹扩展模拟分析,二是裂纹非稳定分析,以确定构件在操作载荷下裂纹的临界尺寸。这是断裂力学方法与传统的 SON 曲线方法本质的不同。对深水立管系统的可靠性断裂评估,应根据结构和环境情况,选取适当的评估方法。

结构发生断裂时有两种失效形式,柔性撕开型和非稳定断裂。引起后一种断裂的原因是由循环载荷而造成的裂纹扩展或由材料降级而造成的韧性减小^[18]。

Matteo Chiesa 等^[19]采用非线性的有限元分析的方法,研究了深水管道存在大裂缝的情况。并提出了两参数的断裂评估的方法,这种评估方法可以得到裂缝应力和相应的断裂韧度。

Leira 等^[20]研究了深水立管系统在高拉伸与弯曲应力作用下的脆性断裂与塑性失效问题,以及失效概率与局部安全系数之间的关系,讨论了基于 S-N 公式的疲劳估算相对于裂纹扩展计算的关系,利用前一种方法计算了一个特殊情况下的疲劳寿命,并将其转化为等效裂纹尺寸。

C. A. Martins 和 C. P. Pesce^[21]讨论了柔性立管的疲劳损伤,并提出了一种简化模型的方法计算其疲劳损伤。由于立管在流的作用下,不同材料层之间会发生相对滑动,文献考虑了这种滑动带来的磨损和立管的累积磨损,并通过工程实例证明了这种简化方法的可行性。

4 立管的安全可靠性

Karunakaran 等^[22]描述了基于响应表面和 FORM/SORM 方法开发出的柔性立管系统的可靠性分析程序,并将其应用于 ULS 条件下的深水立管系统,文中仅考虑了柔性立管顶端的失效准则。Bjorset 等^[23]利用概率响应表面方法研究了钛材料管的局部屈曲及可靠性,首先利用 Von-Mises 屈服准则及非线性有限元法进行了局部屈曲计算,然后根据数值失效分析进行了可靠性分析。

Stahl B. 等^[24]考虑了深水立管在波浪和 VIV 作用下的结构安全可靠性,通过建立疲劳可靠性模型,进行了可靠性和敏感性研究,描述一些不确定性因素的影响,得出 VIV 引起的失效概率要比波浪引起的失效概率大得多的结论。

对于长的悬链式深水立管,具有非线性应力波等动力响应特征。Souza 和 Goncalves^[25]用概率统计学方法研究了深海刚性立管的疲劳评估问题。为进行疲劳损伤评估,做了两个基本假定,第一个基本假定是在常幅载荷作用下表征疲劳行为的曲线;第二个基本假定是应用 Palmgren-Miner 规律,忽略载荷顺序对疲劳过程的影响。考虑到应力范围通常描述为一个随机变量,基于作用于结构上应力范围充分大的假定,给出了用应力循环的数学期望等值表示的积累损伤。考虑到作用于立管上的长期应力是由环境载荷引起的,可以描述为若干个稳定的短期海况,因而,总的疲劳损伤可以由所有海况下的积累损伤的和获得。

Bernt J. Leira 等^[26]概述了深水立管结构在断裂及可靠性方面的研究进展,建议在设计过程中考虑载荷影响模型的不确定性和统计特征。并提出了立管在涡激振动作用下的结构安全可靠性的计算公式:

$$g(X) = X_{\text{Fail}} - D(T_{\text{op}}, X_2, X_3, \dots, X_N) = X_{\text{Fail}} - D_{\text{Tref}}(X_2, X_3, \dots, X_N) \cdot (T_{\text{op}}/T_{\text{ref}}) \quad (5)$$

式中: $X_{\text{Fail}} = X_1$ 为代表线性累积失效的一个随机变量; X_2, X_3, \dots, X_N 为立管中的各个随机变量; T_{op} 为立管系统的工作寿命; T_{ref} 为一个给定的时间,在立管工作过程中这种给定时间有所不同。可以得到 one-slope 的 S-N 曲线的表达式: $N \cdot \Delta S^m = C$, 从而得到:

$$D_{\text{Tref}}(X_2, X_3, \dots, X_N) = (N_{\text{ref}}/C)(S)^m \Gamma(1 + (m/\eta)) \quad (6)$$

式中的应力循环 ΔS 满足 Weibull 分布,其参数为 S 和 η ; N_{ref} 为失效循环次数。假设随机变量 X_2, X_3, \dots, X_N 相互独立,并在各个离散点中建立响应面(response surface),而响应面用多项式来表示,其每个多项式表示一个随机变量,等式(6)可写成:

$$\begin{aligned} D_{\text{Tref}}(X_2, X_3, \dots, X_N) &= (N_{\text{ref}}/C)(S_{\text{Basecase}})^m \Gamma(1 + (m/\eta_{\text{Basecase}})) \cdot f(X_1, X_2, \dots, X_N) \\ &= D_{\text{Tref}}(N_{\text{ref}}) \cdot f(X_1, X_2, \dots, X_N) \end{aligned} \quad (7)$$

式中的下标 Basecase 表示所有的输入参数的基础案例值的尺度和形状参数。建立新的随机变量:

$$Y_1 = (X_1/X_{1,\text{Basecase}}), Y_2 = (X_2/X_{2,\text{Basecase}}), \dots, Y_N = (X_N/X_{N,\text{Basecase}}) \quad (8)$$

其相对应的设计等式:

$$1/(SF) = D_{\text{Tref,Basecase}}(N_{\text{ref}}) \cdot (T_{\text{op}}/T_{\text{ref}})$$

之中 SF 为疲劳安全因子(safety factor)。

最终可将等式(5)写成:

$$g(X) = Y_1 - (1/SF) \cdot f(Y_2, Y_3, \dots, Y_N) \quad (10)$$

5 结论

(1)介绍了几种立管碰撞的分析方法和计算公式,并着重介绍了立管碰撞时计算立管参与质量的方法,从而计算出立管碰撞后的各种响应,而对于立管参与质量的计算一般用有限元的方法。

(2)在对立管的斜碰撞研究中,对于带有保护层的立管,碰撞的角度对碰撞的影响相对较小,一定的内压值可以使立管在径向更不容易破坏,以及摩擦对立管碰撞影响不是很大。

(3)对于悬链线立管(SCR),在波浪和 VIV 的作用下进行疲劳寿命计算时,其中考虑两个重要的部位:柔性接头和触地点(TDP)。根据 Palmgren-Miner 线性准则算出立管的累积疲劳损伤,并给出了立管在各

种因素共同作用下的累积疲劳损伤计算公式。

(4)对于深水立管在波浪和VIV作用下的结构安全可靠, VIV引起的失效概率要比波浪引起的失效概率大得多。

参考文献

- [1] Kostas F Lambropoulos, Rupak Ghosh. Verification of an Analysis Methodology for Risers Interference[R]. Houston Texas U. S. A, 5~8 May 2003.
- [2] Huang Shan, Wu Wusheng, Non-Dimensional Parameters Governing the Onset of Wake-Induced Marine Riser Collision [R]. Mexico OMAE, June 8-13, 2003.
- [3] Li Yousun. The Concept of Virtual Penetration and its Application in Risers With Multiple Contacts[R]. Oslo, Norway. OMAE. 02 June 23-28, 2002.
- [4] Wilmschurst S R, Chan H H, Ellinas CP, Mott MacDonald Ltd. Local Riser Impact: F. E. Model Validation Using Laboratory Impact Tests[R]. IOPEC2001, Stavanger, Norway, June 17-22, 2001; 254-260.
- [5] 陈云水, 王德禹. SPAR 平台立管相互碰撞的有限元分析[J]. 振动与冲击, 2007. 9(18).
- [6] Euclides Trovato Neto, Claudio Ruggieri. Numerical Representation of the Collision Interaction Mass for Dual Risers Systems. Oslo, Norway OMAE. 02 June 23-28, 2002.
- [7] Huse, Erling. Flow Interference and Clashing in Deep Sea Riser Arrays. Workshop on Vortex Induced Vibrations of Off-shore Structures-WVIVOS -Escola Politécnica Universidade de São Paulo-Brazil, 2000.
- [8] Denby Morrison, WanJun Kim, Li Yousun, Doug McMullen, Dean Henning, Joe Haws. Advances in Designing For Riser Impacts Resulting From VIV. Oslo, Norway, OMAE June 23-28, 2002.
- [9] Bernt J Leira. Probabilistic Analysis and Design in Relation to Riser-Riser Collision. Kitakyushu Japan, IOPEC, May 26-31, 2002.
- [10] Bernt J. Leira, Tore Holmas, Kjell Herfjord. Probabilistic modeling and Analysis of Riser Collision[R]. Rio de Janeiro Brazil. OMAE2001, June 3-8, 2001.
- [11] 谢彬, 段梦兰等. 海洋深水立管的疲劳断裂与可靠性评估研究进展[J]. 石油学报, 2004. 5(25).
- [12] Basim B. Mekha. On the Wave and VIV Fatigue of Steel Catenary Risers Connected to Floating Structures[R]. Oslo, Norway OMAE. 02 June 23-28, 2002.
- [13] Bai Y, Tang A, Sullivan E O', Uppu K C, S. Ramakrishnan. Steel Catenary Riser Fatigue Due to Vortex Induced Spar Motions[R]. Houston, Texas U. S. A, 3-6 May 2004.
- [14] Martins C A, Higashi E, Silva R M C. A parametric analysis of steel catenary risers: fatigue behavior near the top. Proc. of the 10th International Offshore and Polar Engineering Conference[R]. Seattle, USA, 2000. II. 54-59.
- [15] Teigen P, Karunakaran D. A consistent approach to riser fatigue analysis including diffraction [R]. 17th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 1998.
- [16] Grant R, Litton R. Highly compliant rigid risers: field test benchmarking a time domain VIV algorithm [R]. OCT11995, 2000; 5470555.
- [17] Trond Stokka Meling, Kenneth Johannessen Eik. An Assessment of EOF current Scatter Diagrams With Respect to Riser VIV Fatigue Damage[R]. Oslo, Norway, OMAE June 23-28, 2002.
- [18] 秦太验, 李杰等. 深海立管的断裂与可靠性评估进展[J]. 机械强度, 2004, 26(S): 063-066.
- [19] Matteo Chiesa, Bjorn Skallerud, Tore Holmas. Integrated Local and Global Analysis And Fracture Assessment of Pipelines with Defects[R]. Rio de Janeiro, Brazil, OMAE2003 June 03-08.
- [20] Leira B J, Karunakaran D, Bjorset A. Fracture and fatigue reliability assessment of deep-water risers. 17th OMAE, Lisbon, Portugal, ASME, 1998, 98-1365, 1-9.
- [21] C. A. Martins, C. P. Pesce. A Simplified Procedure to Assess the Fatigue-Life of Flexible Risers[R]. Kitakyushu, Japan, IOPEC, May 26-31, 2002.
- [22] Karunakaran D, Olufsen A. Reliability analysis of a deep water flexible riser system[A]. Proc. of the Fifth International Offshore and Polar Engineering Conference[C], 1995, Vol. IV, 3650372. (下转第9页)

- [2] 王亦工,陈华辉,裴嵩峰,张婷. 水性无机硅酸锌防腐涂料的研究进展[J]. 腐蚀科学与防护技术,2006,18(1):41-45.
- [3] Mitchell M J. Progress in offshore coatings[A]. Corrosion/2004[C], Houston: NACE, 2004.
- [4] 黄月文,刘伟区. 含硅(甲基)丙烯酸酯在涂料工业中的研究和应用进展[J]. 涂料工业,2006,36(11):57-60.
- [5] Weinmann D J. New epoxy resin technologies to meet the tough demands of offshore platform coatings[A]. Corrosion/2004[C], Houston: NACE, 2004.
- [6] Bayliss D A, Deacon D H. Steelwork Corrosion Control[M], Second edition, London: Spon Press, 2002.
- [7] Andrews A F. Polysiloxane topcoats—a step too far? [A]. Corrosion/2005[C], Houston: NACE, 2005.
- [8] Mohei-Eldin M S. Splash/tidal zone active shielding spiral sleeve[P]. Can Pat Appl, 2005-2494608, 2006.
- [9] Smith M, Bowley C. In situ protection of splash zones—30 years on[A], Corrosion/2002[C], Houston: NACE, 2002.
- [10] Greenwood-Sole G, Watkinson C J. New glassflack coating technology for offshore applications[A]. Corrosion/2004[C], Houston: NACE, 2004.
- [11] Clayton P. Antifouling compositions comprising polymers with ammonium and/or phosphonium salt groups[P]. WO 2005075581, 2005.
- [12] Mohseni M, Mirabedini M, Hashemi M, Thompson G E. Adhesion performance of an epoxy clear coat on aluminum alloy in the presence of vinyl and amino-silane primers[J]. Progress in Organic Coatings, 2006, 57(4):307-313.
- [13] Chambers L D, Stokes K R, Walsh F C, Wood R J K. Modern approaches to marine antifouling coatings[J]. Surface and Coatings Technology, 2006, 201:3642-3652.
- [14] Britton J. Early coating failures on offshore platforms[A], Corrosion/2004[C], Houston: NACE, 2004.

PROGRESS OF THE ANTICORROSIVE COATINGS FOR OFFSHORE PLATFORM

SHAO Huaqi, HAN Wenli, WANG Xueying, XU Zhongping, LI Aigui
(CNPC Research Institute of Engineering Technology, Tianjin 300451, China)

Abstract: The rule of steel corrosion, in different zones of offshore platform anticorrosive coatings progress and coating failure reasons are discussed. The selection of anticorrosive coating for offshore platform is presented.

Key words: offshore platform, corrosion, coating, failure

(上接第5页)

- [23] Bjorset A, Leiira B J, Remseth S. Local buckling analysis of Titanium pipes by probability response on methods[R]. 17th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 1998;1487.
- [24] Stahl B, Banon H. Fatigue Safety Factors For Deepwater Risers[R]. Oslo, Norway OMAE. 2002 June 23—28, 2002.
- [25] Souza GFM, Concalves E. Fatigue performance of deep water rigid marine risers[R]. 7th International Offshore and Polar Engineering Conference, Honolulu, USA, 1997; 144~151.
- [26] Bernt J. Leira, Trond Stokka Meling, Carl M. Larsen. Assessment of Fatigue Safety Factors for Deep—water Risers in Relation to VIV[R]. Cancun, Mexico OMAE2003 June 8—13, 2003.

SOME ADVANCE OF RESEARCH ON STRUCTURAL MECHANICS OF DEEPWATER RISERS

CHEN Yunshui, WANG Deyu
(Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: The researches on the collision of the deepwater risers, assessment of fracture, fatigue and reliability of risers in recent five years are reviewed. Some practical analytical theories and numerical techniques for reliability assessment and collision between risers for deepwater risers are introduced. More attention is paid to a new concept—collision participating masses when dynamic response to the collision between the risers is obtained.

Key words: deepwater riser, collision, collision participating masses, fatigue, fracture, reliability