



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103810380 A

(43) 申请公布日 2014. 05. 21

(21) 申请号 201410037596. 2

(22) 申请日 2014. 01. 26

(71) 申请人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路 15
号

(72) 发明人 李磊 江文滨 林缅甸

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理
事务所(普通合伙) 11390

代理人 胡剑辉

(51) Int. Cl.

G06F 19/00(2011. 01)

G06F 17/50(2006. 01)

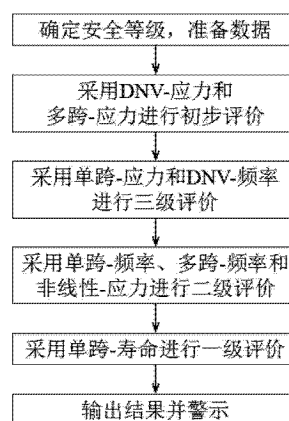
权利要求书2页 说明书8页 附图4页

(54) 发明名称

海底管道悬跨安全等级分级评价方法及装置

(57) 摘要

本发明涉及海洋工程结构物风险管理领域技术领域,特别涉及一种海底管道悬跨安全等级分级评价方法及装置。该方法包括步骤:确定安全需求等级并准备数据;采用 DNV- 应力和多跨- 应力进行初步评价;采用单跨- 应力和 DNV- 频率进行三级评价;采用单跨- 频率、多跨- 频率和非线性- 应力进行二级评价;采用单跨- 寿命指标进行一级评价;输出结果并警示。本发明通过四个安全等级的评价标准来评价悬跨段的安全性,能够在以往凭借单一评价标准识别出的为数众多的“危险”悬跨中甄别出一定数量亟须治理的“高危”悬跨,能够更为合理地利用有限的运维和治理资源,最大化地发挥其保障油气田安全生产的作用。



1. 一种海底管道悬跨安全等级分级评价方法,其特征在于,所述方法包括步骤:

确定当前海底管道的悬跨安全需求的等级,准备所述海底管道的设计参数数据并获取所述海底管道的环境参数数据;

采用 DNV 算法的最大静载应力指标计算方式和多跨算法的最大静载应力指标计算方式的组合,对所述海底管道的悬跨段安全进行初步评价;

对于初步评价不安全的悬跨段或较高级的安全需求,采用单跨算法的最大静载应力指标计算方式和 DNV 算法的动态响应频率指标计算方式的组合,对所述海底管道的悬跨段安全进行三级评价;

对于三级评价不安全的悬跨段或更高级的安全需求,采用单跨算法的动态响应频率指标计算方式、多跨算法的动态响应频率指标计算方式和非线性算法的最大静载应力指标计算方式的组合,对所述海底管道的悬跨段安全进行二级评价;

对于二级评价不安全的悬跨段或最高级的安全需求,采用单跨算法的疲劳寿命指标计算方式,对所述海底管道的悬跨段安全进行一级评价;

输出各级评价超标的悬跨段信息并进行相应的提示或报警。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述方法还包括步骤:对高级别评价超标的悬跨段进行优先报警和 / 或治理。

3. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述方法中采用单跨算法考虑流速分布下涡激振动的有限元分析进行疲劳寿命指标的测算,考虑单跨响应频率与涡脱落频率的接近程度进行动态响应频率指标的测算,考虑水动力作用下的单跨静态承载力进行最大静载应力指标的测算。

4. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述方法中采用多跨算法考虑多跨响应频率与涡脱落频率的接近程度进行动态响应频率指标的测算,考虑多跨耦合效应的静态承载力进行最大静载应力指标的测算。

5. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述方法中采用非线性算法考虑长径比大于 100 悬跨的几何非线性效应进行最大静载应力指标的测算。

6. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述方法中采用 DNV 算法考虑理论分析结合经验公式本征值分析进行动态响应频率指标的测算,考虑理论分析结合经验公式静态承载力进行最大静载应力指标的测算。

7. 一种海底管道悬跨安全等级分级评价装置,其特征在于,所述装置包括:

准备模块,用于确定当前海底管道的悬跨安全需求的等级,准备所述海底管道的设计参数数据并获取所述海底管道的环境参数数据;

初级评价模块,用于采用 DNV 算法的最大静载应力指标计算方式和多跨算法的最大静载应力指标计算方式的组合,对所述海底管道的悬跨段安全进行初步评价;

三级评价模块,用于对于初步评价不安全的悬跨段或较高级的安全需求,采用单跨算法的最大静载应力指标计算方式和 DNV 算法的动态响应频率指标计算方式的组合,对所述海底管道的悬跨段安全进行三级评价;

二级评价模块,用于对于三级评价不安全的悬跨段或更高级的安全需求,采用单跨算法的动态响应频率指标计算方式、多跨算法的动态响应频率指标计算方式和非线性算法的最大静载应力指标计算方式的组合,对所述海底管道的悬跨段安全进行二级评价;

一级评价模块,用于对于二级评价不安全的悬跨段或最高级的安全需求,采用单跨算法的疲劳寿命指标计算方式,对所述海底管道的悬跨段安全进行一级评价;

输出模块,用于输出各级评价超标的悬跨段信息并进行相应的提示或报警。

8. 如权利要求 7 所述的装置,其特征在于,所述输出模块中,对高级别评价超标的悬跨段进行优先报警和 / 或治理。

海底管道悬跨安全等级分级评价方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及海洋工程结构物风险管理领域技术领域,特别涉及一种海底管道悬跨安全等级分级评价方法及装置。

背景技术

[0002] 管道完整性是长距离管道使用过程中评估安全性的关键指标,在管道完整性管理领域,多采用半定量的“肯特打分法”评价管道的安全性,该方法虽然涵盖的风险因素较全面,但具体做法仍较粗糙,打分方式很大程度上依靠经验。即便如此,仅有陆地管道应用该方法,而对于海底管道,尤其是对海管威胁巨大的悬跨段,还没有专门针对之的、系统科学的安全性评价方法。

[0003] 其中,悬跨是海底管道安全运行的主要隐患,海洋油气生产部门每年都要对海管的悬跨段有选择地进行治理,预防断裂破坏事故的发生。现有技术中,判断海管悬跨危险程度主要依据的是 DNV 算法计算出的安全跨长阈值,如果实际悬跨长度大于该阈值,则被看作是危险的、应当采取治理措施的。但实际上,由于我国南海油气田管道附近沙波富集、冲刷严重、地形崎岖,悬空悬跨现象异常频繁和严重,例如有的区段一百公里管线内超过 DNV 安全跨长阈值的悬跨数量往往有百余处,这对于有限的治理投入资源来讲过于庞大。

发明内容

[0004] (一) 本发明所要解决的技术问题:

[0005] 针对现有技术的上述缺陷,本发明所要解决的技术问题是如何科学快速准确进行海管悬跨段安全性评价。

[0006] (二) 技术方案

[0007] 为实现上述目的,一方面,本发明提供了一种海底管道悬跨安全等级分级评价方法,包括步骤:

[0008] 确定当前海底管道的悬跨安全需求的等级,准备所述海底管道的设计参数数据并获取所述海底管道的环境参数数据;

[0009] 采用 DNV 算法的最大静载应力指标计算方式和多跨算法的最大静载应力指标计算方式的组合,对所述海底管道的悬跨段安全进行初步评价;

[0010] 对于初步评价不安全的悬跨段或较高级的安全需求,采用单跨算法的最大静载应力指标计算方式和 DNV 算法的动态响应频率指标计算方式的组合,对所述海底管道的悬跨段安全进行三级评价;

[0011] 对于三级评价不安全的悬跨段或更高级的安全需求,采用单跨算法的动态响应频率指标计算方式、多跨算法的动态响应频率指标计算方式和非线性算法的最大静载应力指标计算方式的组合,对所述海底管道的悬跨段安全进行二级评价;

[0012] 对于二级评价不安全的悬跨段或最高级的安全需求,采用单跨算法的疲劳寿命指标计算方式,对所述海底管道的悬跨段安全进行一级评价;

[0013] 输出各级评价超标的悬跨段信息并进行相应的提示或报警。

[0014] 优选地,所述方法还包括步骤:对高级别评价超标的悬跨段进行优先报警和/或治理。

[0015] 优选地,所述方法中采用单跨算法考虑流速分布下涡激振动的有限元分析进行疲劳寿命指标的测算,考虑单跨响应频率与涡脱落频率的接近程度进行动态响应频率指标的测算,考虑水动力作用下的单跨静态承载力进行最大静载应力指标的测算。

[0016] 优选地,所述方法中采用多跨算法考虑多跨响应频率与涡脱落频率的接近程度进行动态响应频率指标的测算,考虑多跨耦合效应的静态承载力进行最大静载应力指标的测算。

[0017] 优选地,所述方法中采用非线性算法考虑长径比大于 100 悬跨的几何非线性效应进行最大静载应力指标的测算。

[0018] 优选地,所述方法中采用 DNV 算法考虑理论分析结合经验公式本征值分析进行动态响应频率指标的测算,考虑理论分析结合经验公式静态承载力进行最大静载应力指标的测算。

[0019] 另一方面,本发明还同时提供了一种海底管道悬跨安全等级分级评价装置,包括:

[0020] 准备模块,用于确定当前海底管道的悬跨安全需求的等级,准备所述海底管道的设计参数数据并获取所述海底管道的环境参数数据;

[0021] 初级评价模块,用于采用 DNV 算法的最大静载应力指标计算方式和多跨算法的最大静载应力指标计算方式的组合,对所述海底管道的悬跨段安全进行初步评价;

[0022] 三级评价模块,用于对于初步评价不安全的悬跨段或较高级的安全需求,采用单跨算法的最大静载应力指标计算方式和 DNV 算法的动态响应频率指标计算方式的组合,对所述海底管道的悬跨段安全进行三级评价;

[0023] 二级评价模块,用于对于三级评价不安全的悬跨段或更高级的安全需求,采用单跨算法的动态响应频率指标计算方式、多跨算法的动态响应频率指标计算方式和非线性算法的最大静载应力指标计算方式的组合,对所述海底管道的悬跨段安全进行二级评价;

[0024] 一级评价模块,用于对于二级评价不安全的悬跨段或最高级的安全需求,采用单跨算法的疲劳寿命指标计算方式,对所述海底管道的悬跨段安全进行一级评价;

[0025] 输出模块,用于输出各级评价超标的悬跨段信息并进行相应的提示或报警。

[0026] 优选地,所述输出模块中,对高级别评价超标的悬跨段进行优先报警和/或治理。

[0027] (三) 技术效果

[0028] 相对于现有技术,本发明提供了一种海底管道悬跨安全等级分级评价方法及装置,通过四个安全等级的评价标准来评价悬跨段的安全性,能够在以往凭借单一评价标准识别出的为数众多的“危险”悬跨中甄别出一定数量亟须治理的“高危”悬跨,能够更为合理地利用有限的运维和治理资源,最大化地发挥其保障油气田安全生产的作用。

附图说明

[0029] 图 1 是不同流速下同一悬跨段的最大静载挠度和应力变化示意图;

[0030] 图 2 是本发明的一个实施例中海底管道悬跨安全等级分级评价方法的流程示意

图；

[0031] 图 3 是 DNV 算法的最大静载挠度计算结果与独立单跨算法结果对比示意图；

[0032] 图 4 是 DNV 算法的一阶湿模态频率计算结果与独立单跨算法结果对比示意图；

[0033] 图 5 是以两连跨为例考察独立单跨与耦合多跨算法的保守性的示意图；

[0034] 图 6 是一段约 70m 单跨的前三阶模态示意图；

[0035] 图 7 是多跨间的耦合作用示意图；

[0036] 图 8 是对一系列不同长径比的悬跨段、采用线性的独立单跨算法和非线性算法算得的最大静载挠度结果的对比示意图。

具体实施方式

[0037] 下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整的描述，显然，所描述的实施例是本发明的一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动的前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0038] 目前，各种海管悬跨段安全性校核的力学指标主要有最大静载挠度、最大静载应力、动态响应频率和疲劳寿命四个，前两个主要用于考察悬跨段的静态安全性，后两个主要用于考察悬跨段的动态安全性。

[0039] 最大静载挠度用于考察悬跨段的刚度是否符合正常运行的要求，其安全阈值一般取为 0.4% 的悬跨长度，通常认为实际最大挠度超过该值则悬跨段无法正常运行，发生刚度失效，但不至于危及安全运行。

[0040] 最大静载应力用于考察悬跨段的材料强度是否满足安全运行的要求，其安全阈值一般取为海管所用钢材的许用应力，通常认为实际最大应力超过该值则悬跨段无法安全运行，发生强度失效，需采取措施维护其安全性。

[0041] 动态响应频率用于考察悬跨段的动态响应特性是否满足安全运行的要求，在水流的作用下，海管下游产生的涡脱落作为脉动水动力载荷可能会激发悬跨段发生涡激振动，如果悬跨段的固有频率接近涡脱落频率，其导致的动态应力将大幅增加，极大地降低了材料的疲劳寿命。该指标的安全阈值为涡脱落频率范围的极值，通常认为响应频率在该范围内则悬跨段发生涡激振动，即动态失效。但该指标仅能确定悬跨段是否发生涡激振动，而对涡激振动造成的损伤量无法确定。

[0042] 疲劳寿命用于考察悬跨段的材料寿命是否满足安全运行的要求，它是一个相对综合性的指标，该指标可以包含静载和动态响应两方面的影响，其安全阈值一般取为海管设计寿命，通常认为实际计算寿命小于该值则悬跨段无法安全运行，存在发生疲劳失效的可能性，需采取措施维护其安全性。

[0043] 上述力学指标都需要通过对悬跨段建立力学模型，结合其结构、材料的设计参数以及环境参数来计算求得，而计算模型及所需参数与实际的接近程度可用来衡量这些力学指标作为安全性评价标准的可靠程度。相对来讲，静载挠度和应力值与重力和水动力均值有关，并且悬跨的水动力均值相比重力的量值小得多，所以，这两个指标的计算值相对更接近于实际；而动态响应频率和疲劳寿命受海流速度的影响更为直接，而海流速度的测量非常困难，常常缺少实际海流的测量值，在这两个指标的计算中，往往假定流速的值或分布，

这常常造成计算结果与实际情况存在较大偏差。所以从指标本身的可靠性来讲,描述静载安全性的最大静载挠度和应力比动态响应频率和疲劳寿命更加可靠,即动态响应频率和疲劳寿命指标的计算值更具有不确定性。

[0044] 从上述指标所表征的失效形式对海管安全性的危害程度来讲,超过最大静载应力和疲劳寿命意味着海管发生断裂破坏,其危害都是致命的;超过最大静载挠度意味着悬跨段过于弯曲,影响输送效率,可能间接地导致静载应力过大;而动态响应频率属于非直接描述海管破坏或其他形式损伤的指标。从此意义上讲,以静载挠度和动态响应频率来评价悬跨段的安全性比静载应力和疲劳寿命更加偏于保守。

[0045] 图 1 表示的是不同流速下同一悬跨段的最大静载挠度和应力变化,可见相同条件下,挠度指标总是大于应力指标,所以相同条件下更易发生刚度失效。所以,用挠度指标筛选危险悬跨比用应力指标筛选更为严格,即挠度指标更为偏于保守。

[0046] 通过上述分析,四个力学指标的特性分类排序如下表所示:

[0047]

特性	排序
危害程度	应力、寿命 > 频率 > 挠度
发生难易程度	挠度 > 应力
不确定性	寿命、频率 > 应力、挠度
保守性	挠度 > 应力 > 频率 > 寿命

[0048] 理论而言,对于安全性需求来说,保守性越强的指标所能提供的安全裕度越大,但实际情况中悬跨挠度大小对安全生产的影响较小,该指标可选择性忽略。现有的理论研究中,能够用于海管悬跨安全性校核的有四种力学算法,分别是 DNV 算法、独立单跨算法、耦合多跨算法、长跨非线性算法,各算法能够获得的力学指标如下表所示:

[0049]

算法	寿命	应力	频率	挠度
DNV 算法	√	√	√	√
独立单跨算法	√	√	√	√
耦合多跨算法	--	√	√	√
长跨非线性算法	--	√	--	√

[0050] 由于各算法的测算需求、实现难度及评价效果均有着显著的差异,限于安全管理的投入限制,现有技术中往往只采用其中一种算法进行安全评价,比如上述的采用 DNV 算法计算出的安全跨长阈值。但是,即使是最优的 DNV 算法本身也存在很多缺陷,比如其对于水动力载荷取值及分布状况、触底过程的描述、混凝土配重层刚度的处理都与实际有出入,

对于如何计算耦合多跨的力学指标也未给出明确算法,加上其仅适用于长径比 100 以内的悬跨,而对于数量可观的、长径比大于 100 的悬跨段并未给出有针对性的处理方法和算法。因此,单独采用一种算法所得到的安全评价结果效用有限,而同时采用多种算法评价又会使安全管理的投入过大,毕竟安全隐患仅仅是小概率出现,没有目的性的全面评价显然会增加不可想象的工作量并造成资源严重浪费。

[0051] 基于上述考虑,本发明提供了一种海底管道悬跨安全等级分级评价方法,针对不同的需求和状况划分安全等级,随后采用适当的算法部分组合进行分级评价。具体地,如图 2 所示,该方法包括步骤:

[0052] 确定当前海底管道的悬跨安全需求的等级,准备所述海底管道的设计参数数据并获取所述海底管道的环境参数数据;

[0053] 采用 DNV 算法的最大静载应力指标计算方式和多跨算法的最大静载应力指标计算方式的组合,对所述海底管道的悬跨段安全进行初步评价;

[0054] 对于初步评价不安全的悬跨段或较高级的安全需求,采用单跨算法的最大静载应力指标计算方式和 DNV 算法的动态响应频率指标计算方式的组合,对所述海底管道的悬跨段安全进行三级评价;

[0055] 对于三级评价不安全的悬跨段或更高级的安全需求,采用单跨算法的动态响应频率指标计算方式、多跨算法的动态响应频率指标计算方式和非线性算法的最大静载应力指标计算方式的组合,对所述海底管道的悬跨段安全进行二级评价;

[0056] 对于二级评价不安全的悬跨段或最高级的安全需求,采用单跨算法的疲劳寿命指标计算方式,对所述海底管道的悬跨段安全进行一级评价;

[0057] 输出各级评价超标的悬跨段信息并进行相应的提示或报警。

[0058] 采用上述方式,本发明的技术方案中不再依赖于某种单一的算法,而仅在需要时采用算法的一部分或多个算法的部分进行组合,以对有需要的悬跨段进行有针对性的筛选评价,从而在以往凭借单一评价标准识别出的为数众多的“危险”悬跨中甄别出一定数量亟须治理的“高危”悬跨,在有效降低安全评价的工作量的同时保证了评价结果的高安全性。

[0059] 本领域普通技术人员可以理解,实现上述实施例方法中的全部或部分步骤是可以通程序来指令相关的硬件来完成,所述的程序可以存储于一计算机可读取存储介质中,该程序在执行时,包括上述实施例方法的各步骤,而所述的存储介质可以是:ROM/RAM、磁碟、光盘、存储卡等。因此,本领域相关技术人员应能理解,与本发明的方法相对应的,本发明还同时包括一种海底管道悬跨安全等级分级评价装置,与上述方法步骤一一对应地,该装置包括:

[0060] 准备模块,用于确定当前海底管道的悬跨安全需求的等级,准备所述海底管道的设计参数数据并获取所述海底管道的环境参数数据;

[0061] 初级评价模块,用于采用 DNV 算法的最大静载应力指标计算方式和多跨算法的最大静载应力指标计算方式的组合,对所述海底管道的悬跨段安全进行初步评价;

[0062] 三级评价模块,用于对于初步评价不安全的悬跨段或较高级的安全需求,采用单跨算法的最大静载应力指标计算方式和 DNV 算法的动态响应频率指标计算方式的组合,对所述海底管道的悬跨段安全进行三级评价;

[0063] 二级评价模块,用于对于三级评价不安全的悬跨段或更高级的安全需求,采用单

跨算法的动态响应频率指标计算方式、多跨算法的动态响应频率指标计算方式和非线性算法的最大静载应力指标计算方式的组合,对所述海底管道的悬跨段安全进行二级评价;

[0064] 一级评价模块,用于对于二级评价不安全的悬跨段或最高级的安全需求,采用单跨算法的疲劳寿命指标计算方式,对所述海底管道的悬跨段安全进行一级评价;

[0065] 输出模块,用于输出各级评价超标的悬跨段信息并进行相应的提示或报警。

[0066] 其中,四种算法的完整过程是现有技术中已有的理论研究,本发明中仅在适当时候利用其中最有效的部分,以下仅作为示例性的介绍相关算法的部分内容。

[0067] 单跨算法的弯曲方程为:

$$[0068] \quad \rho_e \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(EI \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) = q(x, t);$$

[0069] 其中, ρ_e 为海管的等效密度, w 是垂向位移, E 为海管的等效弹性模量, I 为海管的横截面惯性矩, q 为外载荷, x 为沿管轴线的位置, t 为持续时间。本发明中采用单跨算法考虑流速分布下涡激振动的有限元分析进行疲劳寿命指标的测算,考虑单跨响应频率与涡脱落频率的接近程度进行动态响应频率指标的测算,考虑水动力作用下的单跨静态承载力进行最大静载应力指标的测算。

[0070] 多跨算法的跨间约束条件采用铰支近似,表示为:

$$[0071] \quad \begin{cases} w(0) = w(L) = 0 \\ \left. \frac{\partial w(x)}{\partial x} \right|_{x=0} = \left. \frac{\partial w(x)}{\partial x} \right|_{x=L} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} w(L_{sh_{2k-1}}) = w(L_{sh_{2k}}) = 0 \\ \left. \frac{\partial^2 w(x)}{\partial x^2} \right|_{x=L_{sh_{2k-1}}} = \left. \frac{\partial^2 w(x)}{\partial x^2} \right|_{x=L_{sh_{2k}}} = 0; \quad k = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

[0072] 其中, L 为整个多跨的总长度, $L_{sh_{2k-1}}$ 和 $L_{sh_{2k}}$ 表示第 k 段跨肩的左端和右端分别距多跨起点的距离, k 为多跨中的第 k 段跨肩,其余表示同单跨算法。本发明中采用多跨算法考虑多跨响应频率与涡脱落频率的接近程度进行动态响应频率指标的测算,考虑多跨耦合效应的静态承载力进行最大静载应力指标的测算。

[0073] DNV 算法为挪威船级社的 DNV-RP-F105《Freespanning pipelines》中的规定算法,该算法可得到悬跨的最大静载挠度、最大静载应力、响应频率和疲劳寿命四个力学指标。采用其中的最大静载挠曲位移计算式,根据材料力学梁模型的挠度-应力关系可获知最大静载挠曲应力;DNV 算法中还对悬跨段发生涡激振动时的动态响应频率计算公式做了规范,其响应频率计算考虑了附加质量、轴向张力和静载挠曲度的影响,其中附加质量系数是约化速度的函数,包含了结构自振频率和流速的影响;响应频率结果可以大致确定悬跨段在一定的海流环境载荷下是否发生涡激振动现象,如果要相对准确地确定其剩余寿命还需获知其动态响应的应力(鉴于 DNV 算法的寿命指标并不在本发明中使用,不再展开说明)。

[0074] DNV 算法是将每段悬跨看作独立的结构,基于 Euler-Bernoulli 梁模型和实验中确定的经验系数来计算海管的挠曲、应力和响应频率及疲劳寿命。就该算法本身而言,它考虑的环境因素比较全面,但对于水动力载荷取值及分布状况、触底过程的描述、混凝土配重

层刚度的处理都与实际有出入；独立单跨算法主要弥补了 DNV 算法这些方面的缺陷。

[0075] 另外, DNV 规范中给出了不同性质的底床介质上耦合多跨的判定曲线, 但对于如何计算耦合多跨的力学指标未给出明确算法, 耦合多跨算法在继承了独立单跨算法优点的基础上, 依据 DNV 给出的判据建立了耦合多跨分析模型。

[0076] DNV 规范中对不同长径比的悬跨响应行为进行了分类, 长径比小于 100 的悬跨可以用基于线性理论和小变形假设的梁模型分析, 长径比在 100 ~ 200 间的悬跨兼具有梁和缆的响应特征, 而长径比大于 200 的悬跨应视为缆, 其响应特点取决于静挠曲状态和轴向张力。根据这一分类, DNV 算法仅适用于长径比 100 以内的悬跨, 而对于数量可观的、长径比大于 100 的悬跨段, 采用 DNV 算法得到的结果不符合实际, DNV 也未给出有针对性的处理方法和算法, 长跨非线性算法在继承了独立单跨算法优点的基础上, 能够更加准确地描述长跨悬跨段的力学行为。

[0077] 下面对本发明的方法的实际效果进行试验说明。

[0078] 对于给定参数的一组悬跨段, 将 DNV 算法的最大静载挠度计算结果与独立单跨算法结果对比如图 3。可见 DNV 算法结果偏大, 对于最大静载挠度指标而言, 它相比独立单跨算法偏于保守。

[0079] 对于给定参数的一组悬跨段, 将 DNV 算法的一阶湿模态频率计算结果与独立单跨算法结果对比如图 4。可见 DNV 算法结果偏小, 说明相同的流速条件下, DNV 算法结论中发生涡激振动的悬跨数目更多, 因此对于动态响应频率指标而言, 它相比独立单跨算法也偏于保守。

[0080] 以两连跨为例考察独立单跨与耦合多跨算法的保守性高低。设管总长 120m, 跨中 20m 为跨肩, 左右单跨长度均为 50。图 5 是计算结果, 将单跨的计算结果同时画出来。可以看出, 考虑多跨影响时, 由于跨间约束力比独立单跨的端部约束力小, 所有最大应力比单跨算法高了 13.5%, 最大挠曲比单跨算法高了 27.0%, 说明耦合多跨算法更加趋于保守。

[0081] 图 6 所示为一段约 70m 单跨的前三阶模态。与单跨算法不同, 考虑多跨间的耦合作用时(如图 7, 该单跨与左侧两段单跨构成一段耦合作用的 3 连跨), 长跨段的振动形式受相邻短跨的影响较大, 所以导致多跨段的整体模态频率高于其单跨状态。那么由前文论述可知, 频率越低, 可能发生涡激振动的流速越小, 危险越大, 所以从这一点讲, 单跨算法对模态的计算比多跨偏于保守。

[0082] 图 8 是对一系列不同长径比的悬跨段、采用线性的独立单跨算法和非线性算法算得的最大静载挠度(最大静载应力具有同样的趋势)结果的对比。

[0083] 由以上计算结果可以看出, 当悬跨段的长径比小于 110 时, 非线性和线性结果非常接近; 当长径比大于 110 时, 随着跨长的增加, 线性独立单跨模型结果迅速增大, 非线性结果则逐渐减小, 两者的差距增加。上述结果中, 在大部分的悬跨长度区间中, 相比长跨非线性模型, 基于线性理论和小变形假设的独立单跨算法更偏于保守。

[0084] 可以看出, 本发明的方法中综合考虑了各力学指标和各力学算法的保守程度, 将不同的保守程度与安全需求等级相对应, 从而根据不同的等级进行筛选和评价, 由于分级评价缩小目标, 从众多评价结果中可有效甄选出最不安全的目标进行优先处理。缩小目标再加上每级只采用算法的部分内容, 大大减少了工作量和实现难度, 且对评价结果的科学性和安全性均有可靠保证。

[0085] 相对于现有技术,本发明提供了一种海底管道悬跨安全等级分级评价方法及装置,通过四个安全等级的评价标准来评价悬跨段的安全性,能够在以往凭借单一评价标准识别出的为数众多的“危险”悬跨中甄别出一定数量亟须治理的“高危”悬跨,能够更为合理地利用有限的运维和治理资源,最大化地发挥其保障油气田安全生产的作用。

[0086] 虽然以上结合优选实施例对本发明进行了描述,但本领域的技术人员应该理解,本发明所述的方法和系统并不限于具体实施方式中所述的实施例,在不背离由所附权利要求书限定的本发明精神和范围的情况下,可对本发明作出各种修改、增加、以及替换。

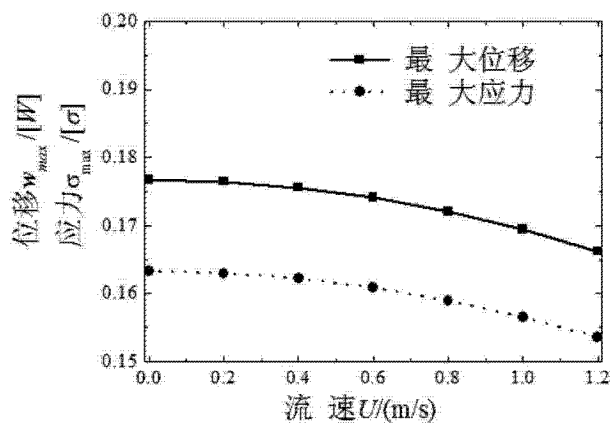


图 1



图 2

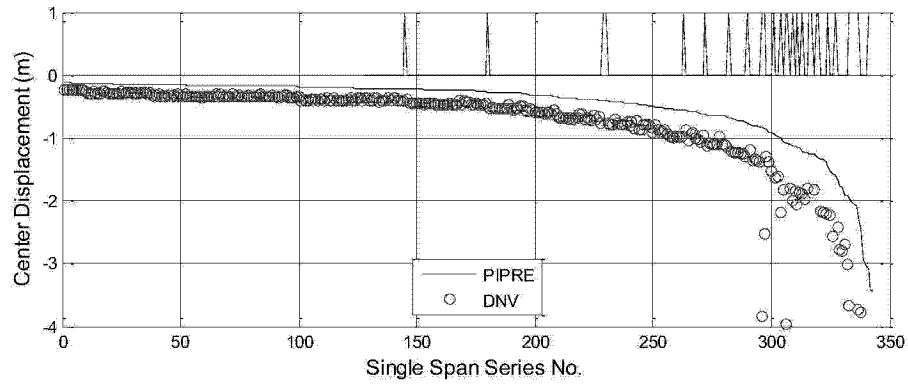


图 3

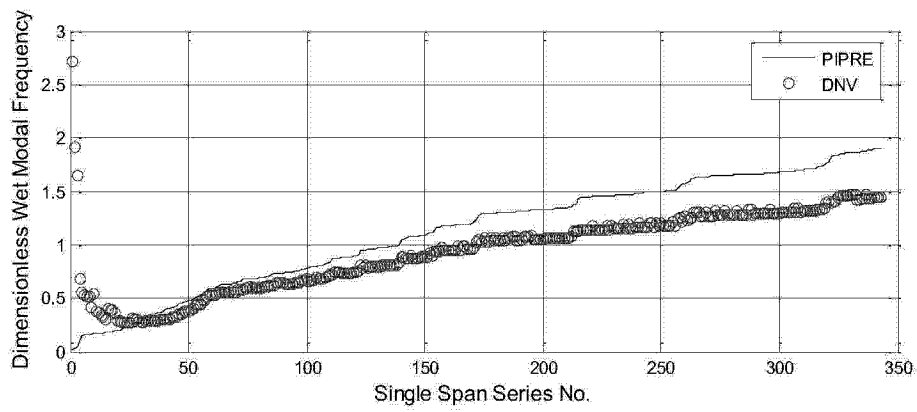


图 4

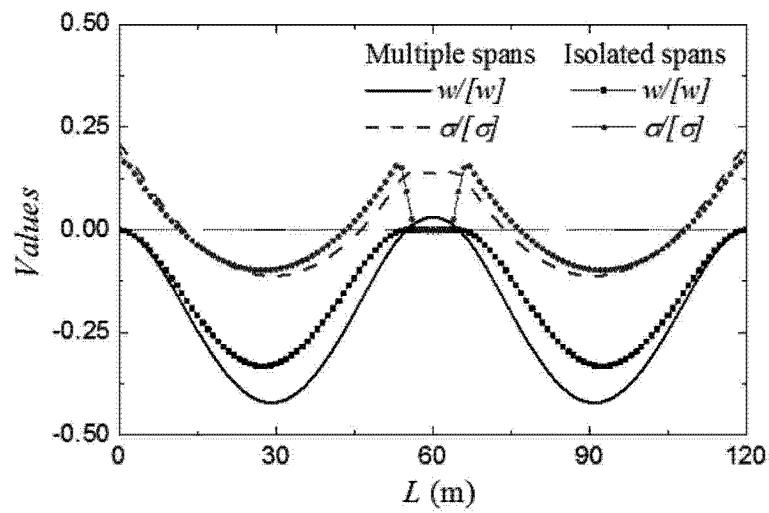


图 5

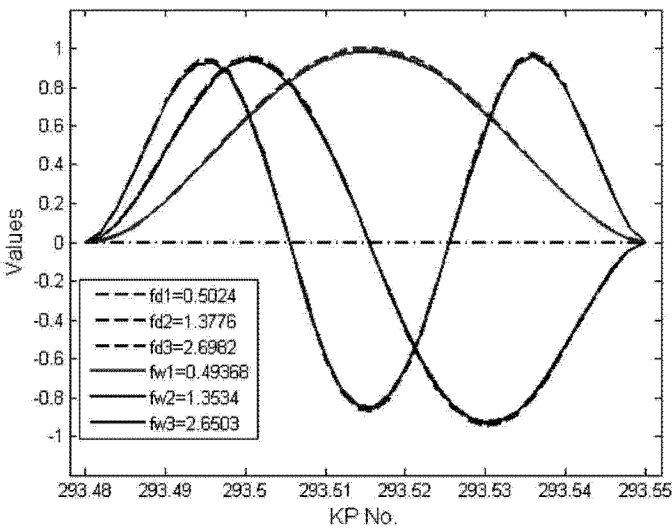


图 6

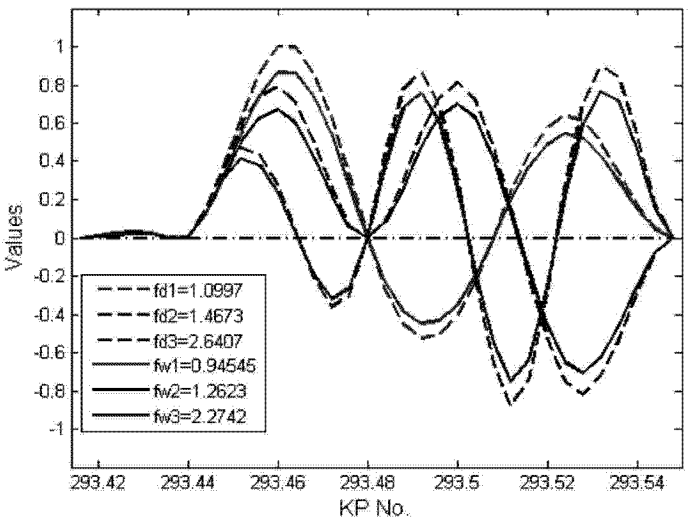


图 7

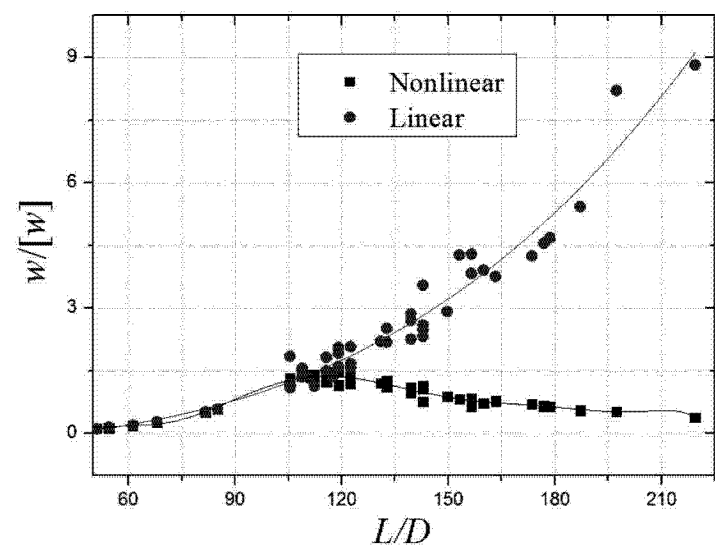


图 8