



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109163855 A

(43)申请公布日 2019.01.08

(21)申请号 201811188103.X

G01N 3/12(2006.01)

(22)申请日 2018.10.12

(71)申请人 中国石油天然气集团有限公司

地址 100007 北京市东城区东直门北大街9号

申请人 宝鸡石油钢管有限责任公司

(72)发明人 牛爱军 毕宗岳 刘云 牛辉

赵勇 黄晓辉 焦炜 杨耀彬

田磊 张万鹏 刘斌 席敏敏

赵红波 包志刚 李超

(74)专利代理机构 北京科亿知识产权代理事务

所(普通合伙) 11350

代理人 汤东风

(51)Int.Cl.

G01M 3/04(2006.01)

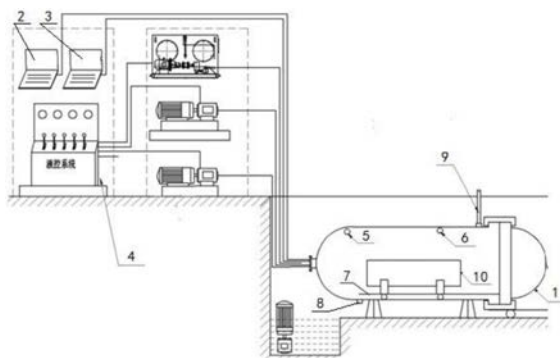
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种深海管道用钢管的抗外压性能测试方法

(57)摘要

本发明公开了一种海底管道用钢管的抗外压性能测试方法,该测试方法主要包括选择试验设备、钢管试件的设计、钢管试件密封性能的测试、钢管试件抗外压性能测试以及对钢管试件抗外压性能的评价。该测试方法主要适用于海底管道用钢管在处于周围环境水的外压载荷下的钢管的抗外压性能测试,尤其适用于水深在3500米以内的深海管道用高强度厚壁钢管的抗外压性能测试,该方法可实现对深海管道用钢管的抗外压能力的实物验证及试验分析,是对海底管道用钢管的力学性能及外观几何尺寸等指标的综合性能考察评价,测试结果对海底管道工程用钢管在材质、壁厚、力学性能及外观尺寸等指标的设计及控制具有重要指导作用。



1. 一种深海管道用钢管的抗外压性能测试方法,其特征在于:包括以下步骤:

(1) 选择试验设备

试验设备为深海高压模拟试验舱,与试验舱连接的有数据采集系统、视频监控系统和液压控制系统;

(2) 钢管试件设计

采用盲板将钢管试件的两端焊接封堵,在盲板上设计有用于内压试验的注水口和排气口;

(3) 钢管试件密封性能的测试

采用静水压试验装置进行钢管试件内部加压,内压试验的最大压力不得大于钢管试件材料的屈服强度,否则导致材料塑性变形,影响后续的试验与检测;通过视频监控系统监控钢管试件在内压试验期间管体和端部盲板是否出现渗漏现象,如果没有出现渗漏,则进行抗外压性能测试;

(4) 钢管试件抗外压性能测试

在钢管试件的管壁上粘贴横向应变片和纵向应变片;在深海高压模拟试验舱中进行钢管试件抗外压性能测试,以水为介质,试件在不承受内压的条件下,按照分级加压逐步向试验舱内加压,最终使试验舱内钢管试件承受的外部压力载荷达到海底管道的设计压力或试验舱可承受的最大外压;通过视频监控系统监控钢管试件在外压试验期间管体是否出现渗漏现象、凹陷或压溃现象;通过数据采集系统实时采集高压舱内钢管试件管壁的应力数据,进行钢管抗外压性能评价。

2. 根据权利要求1所述的一种深海管道用钢管的抗外压性能测试方法,其特征在于:深海高压模拟试验舱可用于3500米以内水深的深海管道用钢管的内压和外压试验,最大外压可达到35MPa,压力控制精度在 $\pm 2\%$,试验舱内腔尺寸可满足最大直径为2500mm、长度为5000mm的钢管试件。

3. 根据权利要求1所述的一种深海管道用钢管的抗外压性能测试方法,其特征在于:结合试验舱的最大容量和钢管的尺寸规格,钢管试件的长径比约为(4.0~7.5):1。

4. 根据权利要求1所述的一种深海管道用钢管的抗外压性能测试方法,其特征在于:盲板采用的材料为30CrMoA合金结构钢。

5. 根据权利要求1所述的一种深海管道用钢管的抗外压性能测试方法,其特征在于:钢管试件密封性能的测试的试验介质为水,采用分级加压方式逐级向钢管试件内部打水压,每级间的压力为等幅值增加,分级压力至少分为3个等级,每个压力等级保压时间约2~3分钟。

6. 根据权利要求1所述的一种深海管道用钢管的抗外压性能测试方法,其特征在于:钢管试件抗外压性能测试中分级加压至少分为6个等级,每级间的压力为等幅值增加,每级之间保压时间为3~5分钟,加压到最高压力值后,保压15~30分钟,在稳压期内,压降不超过3%。

7. 根据权利要求1所述的一种深海管道用钢管的抗外压性能测试方法,其特征在于:应变片采用耐压防水带引线的应变片,并使用硅橡胶对应变片进行防护处理。

一种深海管道用钢管的抗外压性能测试方法

技术领域：

[0001] 本发明属于海底管道用钢管的安全可靠性能测试技术，主要涉及一种深海管道用钢管的抗外压性能测试方法，该测试方法主要适用于海底管道用钢管在处于周围环境水的外压载荷下的抗外压性能测试，尤其适用于水深在3500米以内的深海管道用高强度厚壁钢管的抗外压性能测试。

背景技术：

[0002] 全球海洋油气资源丰富。海洋油气资源主要分布在大陆架，约占全球海洋油气资源的60%。在探明储量中，目前浅海仍占主导地位，但随着石油勘探技术的进步，近年来世界石油勘探重点已由陆地转向海洋，由浅海转向深海，深水和超深水的油气资源的勘探开发已经成为世界油气开采的重点领域。

[0003] 在世界范围内，海洋油田的产量正在增加，并逐渐成为填补供需缺口的重要部分。海底管线作为一种安全、高效、经济的油气输运手段，在海上油气工程中有着广泛的应用。自从20世纪50年代美国在墨西哥湾铺设第一条海底管道以来，当前全世界开发的深海油气田普遍是在水深2000-3000米的水域，海底管道铺设深度已经超过3052米，而最深的钻井水域及采油井水深已达6000米以上。随着海洋油气资源勘探开发迈向深水和超深水海域，深海油气资源勘探开发技术在持续进步，管线设计输送压力的不断提高，深海管道用钢管向着高钢级、大管径、厚壁厚方向发展，并对钢管的性能及外观尺寸等提出了更高的技术要求，这将日益凸显出深海油气管道开发和建设的重要性。

[0004] 由于海洋环境的特殊性以及海上油气生产的复杂性，服役在低温、高压、强腐蚀的海洋环境中的海底管道，不仅承受着内外压力、轴向力、弯矩等静载荷和温度荷载的联合作用，而且还要承受交变的外压、腐蚀、波浪、海流等动载荷的作用，使管道承受着多种载荷的联合作用并引发多种形式的破坏。尤其是深海管道在处于周围环境水的高压下，管道在受外压作用下会产生压溃屈曲及屈曲传播现象，同时在管道敷设时还会受到弯曲。研究表明，管道在深海极端环境中的稳定性失效是其破坏的主要模式，一旦发生局部压溃，将诱发屈曲传播，导致管线整体失效，后果十分严重。近年来，深海管线发展迅速，深度不断增加，为了避免深海管线的压溃，采用较小的径厚比(D/t)，要求钢管具有极高的可靠性、良好的圆度和均匀的力学性能。

[0005] 随着中国海洋石油工业的发展，越来越多的油气资源在深水区域被发现。深水管道是深海油气开发工程的重要组成部分，由于其所处的特殊海洋环境以及海上油气生产的复杂性使管道受到腐蚀、波浪、海流等的联合作用，甚至一些突发性事件等，都有可能管道发生压溃屈曲及屈曲扩展破坏而带来巨大的经济损失。因此，针对深水管道的压溃屈曲开展钢管的抗外压性能试验研究具有重要的工程意义。

[0006] 针对管线钢管的抗外压性能测试，目前国内外多是基于从钢管的结构设计、管线钢材料设计、钢管制造工艺技术及有限元模拟方面开展一些试验及研究工作。中国专利201220368244.1提及了一种抗压钢管，主要是通过管体上设置抗压环，抗压环均匀套在

管体上的方法提高钢管对内部气压或液压的承受力,进而提高了管体的整体强度。中国专利201020585596.3提及了一种油气井用高抗挤毁套管,所述的管体材料为Mn-V钢,管体的壁厚为6.20~7.50mm,通过利用Mn-V钢所具有的良好热处理性能,同时控制管体壁厚和椭圆度,减低套管在矫直过程中产生的残余应力,提高了套管的抗挤毁性能。中国专利201610465710.0提及了一种抗深水压溃海洋钻井隔水管及其制造方法,主要涉及到管材的成分、组织设计及钢管的制造工艺。文献“海洋非粘结柔性管抗压溃设计和实验验证的研究”为了研究非粘接柔性管的综合的抗压溃性能,对压溃模拟实验装置进行了初步设计,并对管道的复杂受力形式进行了系统的分析。以上相关专利均未涉及到针对海底管道用钢管的抗外压性能测试,并且未见对管线钢管外压试验的手段及方法上的相关陈述。

[0007] 本发明专利涉及到一种深海管道用钢管的抗外压性能测试方法,该测试方法主要从试验设备的选择、试件模型的设计、试件密封性能的测试、试件外压试验压力的方式及管壁应力数据的采集等方面进行了具体陈述,实现对海底管道用钢管的抗外压性能测试,保障海底管道的安全运行。

发明内容:

[0008] 本发明的目的在于提供一种深海管道用钢管的抗外压性能测试方法,通过该方法实现对深海管道用钢管的抗外压能力进行验证及试验分析,为深海管道用钢管的在材质、壁厚、性能指标等方面的优化设计提供指导性依据。

[0009] 本发明的目的是通过以下技术方案来解决的:一种深海管道用钢管的抗外压性能测试方法,包括以下步骤:

[0010] (1) 选择试验设备

[0011] 试验设备为深海高压模拟试验舱,与试验舱连接的有数据采集系统、视频监控系统和液压控制系统;

[0012] (2) 钢管试件设计

[0013] 采用盲板将钢管试件的两端焊接封堵,在盲板上设计有用于内压试验的注水口和排气口;

[0014] (3) 钢管试件密封性能的测试

[0015] 采用静水压试验装置进行钢管试件内部加压,内压试验的最大压力不得大于钢管试件材料的屈服强度,否则导致材料塑性变形,影响后续的试验与检测;通过视频监控系统监控钢管试件在内压试验期间管体和端部盲板是否出现渗漏现象,如果没有出现渗漏,则进行抗外压性能测试;

[0016] (4) 钢管试件抗外压性能测试

[0017] 在钢管试件的管壁上粘贴横向应变片和纵向应变片;在深海高压模拟试验舱中进行钢管试件抗外压性能测试,以水为介质,试件在不承受内压的条件下,按照分级加压逐步向试验舱内加压,最终使试验舱内钢管试件承受的外部压力载荷达到海底管道的设计压力或试验舱可承受的最大外压;通过视频监控系统监控钢管试件在外压试验期间管体是否出现渗漏现象、凹陷或压溃现象;通过数据采集系统实时采集高压舱内钢管试件管壁的应力数据,进行钢管抗外压性能的评价。

[0018] 进一步,深海高压模拟试验舱可用于3500米以内水深的深海管道用钢管的内压和

外压试验,最大外压可达到35MPa,压力控制精度在 $\pm 2\%$,试验舱内腔尺寸可满足最大直径为2500mm、长度为5000mm的钢管试件;

[0019] 为了降低两端盲板对钢管试件抗外压能力的影响,更真实的测试钢管试件的抗外压性能,并结合试验舱的最大容量和钢管的尺寸规格,钢管试件的长径比约为(4.0~7.5):1。

[0020] 进一步,上述盲板采用的材料为具有高强度、高塑性的30CrMoA合金结构钢。

[0021] 进一步,钢管试件密封性能的测试的试验介质为水,采用分级加压方式逐级向钢管试件内部打水压,每级间的压力为等幅值增加,分级压力至少分为3个等级,每个压力等级保压时间约2~3分钟。

[0022] 进一步,钢管试件抗外压性能测试中分级加压至少分为6个等级,每级间的压力为等幅值增加,每级之间保压时间为3~5分钟,加压到最高压力值后,保压15~30分钟,在稳压期内,压降不超过3%。

[0023] 为了保证应变测试数据的准确性,上述步骤(4)中应变片采用耐压防水带引线的应变片,并使用硅橡胶对应变片进行防护处理;数据采集系统的应变采集通道数可达到32通道。

[0024] 本发明的有益效果在于:

[0025] (1) 本发明通过采用深海高压模拟试验舱,可通过实物模型模拟海底管道用钢管在3500米以内水深的抗外压性能测试试验,可以有效评估海底管道设计用钢管的抗外压性能,优化海底管道用钢管的设计规范。

[0026] (2) 本发明通过采用盲板与管件两端焊接封堵的方式,盲板所采用的材料为具有高强度、高塑性的30CrMoA合金结构钢,有效保证了钢管试件的强度。并结合设备能力和测试钢管的尺寸规格优化设计了钢管测试件的长径比,提高了设备使用能力和测试试验的真实性。

[0027] (3) 本发明通过对钢管试件的内压测试,验证了试件的密封性能,通过测试钢管试件在不承受内压的条件下的抗外压能力,验证了钢管可承受的最大外在设计压力,对钢管在海底管道工程中的应用提供了保障基础。在对钢管试件的密封性和抗外压能力的测试过程中采用了分级施压和保压的方式,保证了试件在整个测试过程中受压的均匀性,提高了试验的准确性。

[0028] (4) 本发明通过采用耐压防水带引线应变片,并利用硅橡胶对应变片进行了防护处理,实现了应变测试数据的有效采集。通过在钢管测试试件外壁特定位置粘贴应变片的布置设计,应变采集通道数最多可达到32通道,可以实现对试件轴向应变和周向应变应力数据的全面采集。

[0029] (5) 本发明既可以通过试验观测钢管试件在内压及外压试验期间试件管体及端部封板均是否出现任何渗漏现象,试件在规定的保压时间段内无失稳、凹陷或压溃现象的宏观观测角度判定测试钢管的抗压性能,也可以通过钢管测试试件管壁粘贴的应变采集的试件管壁的应变数据的理性的判定测试钢管的抗压性能。

[0030] (6) 本发明所涉及的海底管道用钢管的抗外压性能测试方法是对海底管道用钢管力学性能及外观几何尺寸等指标的一项综合性能考察评价,该测试方法及测试结果对海底管道用钢管的性能及外观尺寸指标的设计及控制具有重要的指导作用。

附图说明：

[0031] 图1是深海高压模拟试验舱示意图。

[0032] 图2为钢管试件管壁应变片分布示意图。

[0033] 附图标记说明：1深海高压模拟试验舱、2数据采集系统、3视频监控系统、4液压控制系统、5高压摄像头、6高压照明灯、7舱内滑轨、8放水口、9排气口安全阀、10钢管试件、L为钢管试件长度、S为钢管试件外圆周长， $a_1 \sim a_{12}$ 为12等分圆弧长；A为焊缝，B为横向应变片，C为纵向应变片，M为1/4钢管试件长度。

具体实施方式：

[0034] 下面结合附图对本发明做进一步详细描述：

[0035] 本发明采用在深海管线用X70 $\phi 914 \times 36.5\text{mm}$ 直缝埋弧焊接钢管在35MPa的外部压力下的抗压性能测试为例。

[0036] (1) 选择试验设备

[0037] 试验设备为深海高压模拟试验舱1，与试验舱连接的有数据采集系统2、视频监控系统3和液压控制系统4；从图1可以看出，深海高压模拟试验舱1放置在试验地坑中，深海高压模拟试验舱1的顶部安装有高压摄像头5和高压照明灯6，底部设置有用于安装钢管试件的舱内滑轨7和放水口8，外侧安装有排气口安全阀9。

[0038] 本次试验的最大测试压力为35MPa，达到了试验设备的最大能力，压力控制精度为 $\pm 2\%$ ，舱体内腔最大容量为 $\Phi 2500\text{mm} \times 5000\text{mm}$ 。

[0039] (2) 钢管试件设计

[0040] 采用壁厚为220mm的30CrMoA合金结构钢盲板与钢管试件10两端进行焊接封堵，在盲板上设计有用于内压试验的1个注水口和1个排气口，结合试验设备的最大容量和钢管的尺寸规格，钢管试件10的长度设计为4200mm，钢管试件的长径比约为4.6:1。

[0041] (3) 钢管试件密封性能的测试

[0042] 采用400MPa静水压试验装置进行钢管试件内部加压，通过计算分析，内压试验的最大压力为21MPa，试验介质为水，采用三级加压方式逐级向试件内部打水压，每级间的压力按照7MPa递增，分别为7MPa、14MPa、21MPa，每级保压时间均为3分钟；通过视频监控系统监控钢管试件在内压试验期间管体和端部盲板无明显渗漏，证明了钢管试件、两端封板和焊缝的强度及密封性能满足要求，可进行抗外压性能测试。

[0043] (4) 钢管试件抗外压性能测试

[0044] 在钢管试件的管壁上粘贴横向应变片B和纵向应变片C，试验所采用的应变采集仪型号为MX1615，采用120欧姆耐压防水带引线应变片，并采用703硅橡胶对应变片进行防护处理；在钢管试件的3个截面上的焊缝A、管体的不同位置进行了设计，布置了12组横向应变片B和12组纵向应变片C（如图2所示，首先将钢管试件外圆周长S分成12等分圆弧长 $a_1 \sim a_{12}$ ，然后在钢管试件长度L的中心位置以及两侧距中心位置1/4钢管试件长度M处，并与圆弧长 $a_1 \sim a_{12}$ 相交处粘贴应变片），分别对试验过程中管壁的应变情况进行实时监测；

[0045] 在深海高压模拟试验舱中进行钢管试件抗外压性能测试，以水为介质，试件在不承受内压的条件下，按照6级加压逐步向高压舱内加压，分别为5MPa、10MPa、20MPa、25MPa、30MPa、35MPa，每级之间保压时间为3分钟，加压到最高压力35MPa后，保压15分钟，要求在稳

压期内,压降不超过3%;通过视频监控系统监控钢管试件在外压试验期间管体是否出现渗漏现象、凹陷或压溃现象;数据采集系统通过试件管壁上的应变片实时采集高压舱内钢管试件管壁的应力数据。实验结果表明:一、在保压期间,最大压降为0.05MPa,仅有1%,充分证明了加压的准确性;二、试件在不承受内压的条件下,最大外压加载至35MPa,并保压15分钟,试件无失稳、凹陷或压溃现象,管体测点处的变形均属于弹性变形,试件在承受外压期间的应变在弹性应变范围内;三、宏观观测结果和采集的应变数据结果均表明,钢管试件能够承受35MPa的静态外压载荷,其强度满足3500米水深的要求。

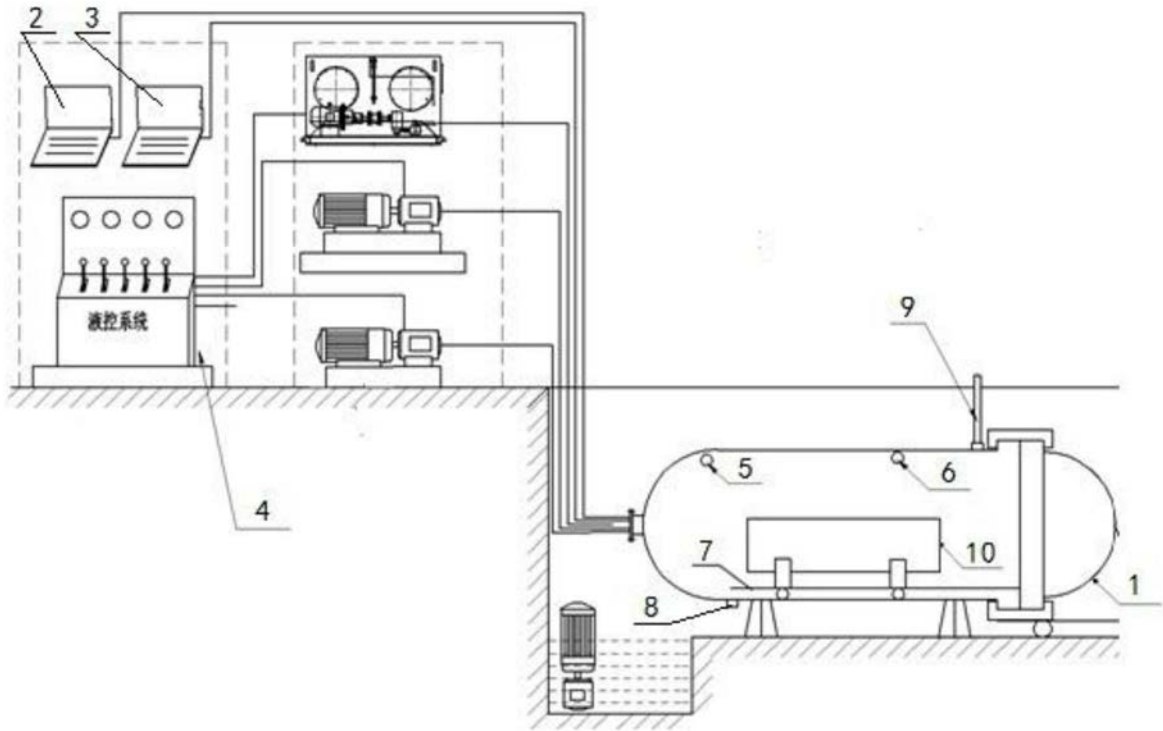


图1

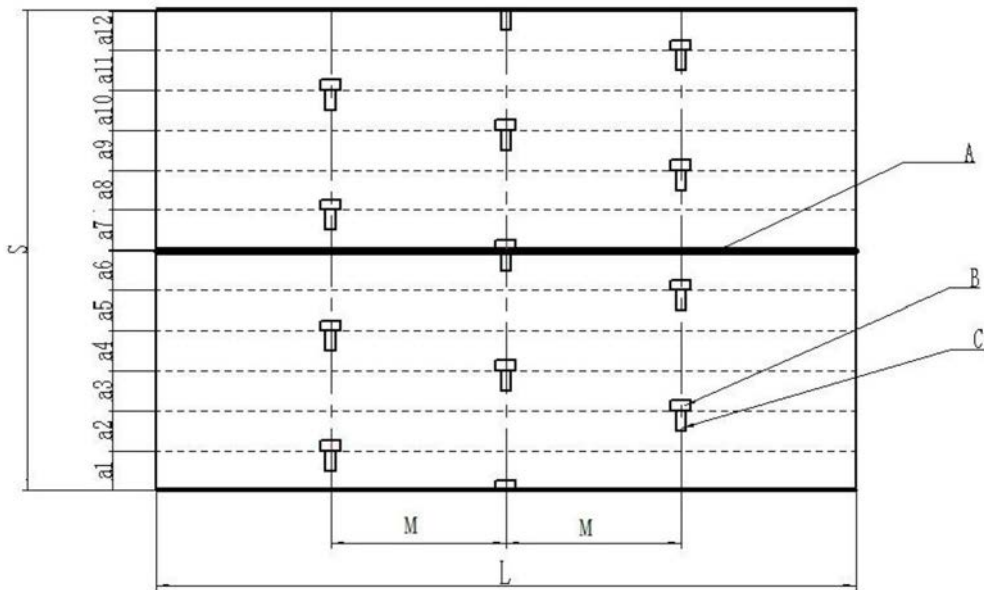


图2