

TOPSIDE的管廊模块高效吊装吊杠研究

宋雄伟

惠生清洁能源科技集团股份有限公司 江苏 南通 226009

摘要: 本文围绕TOPSIDE管廊模块高效吊装吊杠展开研究,先剖析管廊模块结构、载荷及安装环境特点,明确设计需求。从设计原则、结构形式、关键部件等方面进行吊杠结构设计,并通过有限元分析其静动力学性能。基于分析结果优化设计,经模型与现场试验验证。研究成果为提升TOPSIDE管廊模块吊装效率与安全性提供技术支持。

关键词: TOPSIDE; 管廊模块; 高效吊装; 吊杠研究

1 TOPSIDE 管廊模块特点分析

1.1 结构特征

TOPSIDE管廊模块是海上油气平台的关键部分,其结构关乎平台性能与稳定。整体采用框架式结构,由立柱、横梁和斜撑构成坚固空间框架,可有效承受和传递各类载荷,适应复杂海洋环境。立柱作为主要承重构件,采用高强度钢材,以大截面和厚壁厚确保承载能力;横梁和斜撑连接立柱,增强整体刚度。连接方式上,焊接与螺栓连接结合,兼顾强度和施工效率。管廊模块结构设计充分考虑管道和设备布置,内部多层支架和平台合理规划安装空间,便于维护管理。同时设置防火分隔和防爆设施,提升安全性能,满足海上作业安全要求。

1.2 载荷特性

TOPSIDE管廊模块在海上运行面临多种复杂载荷,其特性直接影响模块安全可靠。重力载荷是基础,涵盖模块自身、管道设备及内部介质重量,经立柱和横梁传至基础,考验结构承载能力。风载荷和波浪载荷同样关键。海上强风产生的水平力和弯矩,尤其在台风时影响显著;波浪通过平台晃动和冲击作用于模块,其周期性、随机性易引发结构疲劳^[1]。虽地震在海上平台发生概率低,但一旦发生,地震载荷引发的剧烈振动会破坏结构连接和薄弱处。因此设计时需充分考量地震载荷,采取抗震措施,保障模块在各类载荷下的安全性。

1.3 安装环境

TOPSIDE管廊模块的海上安装环境独特,对安装和吊装作业提出特殊要求。与陆地相比,海上风大浪高、水流复杂,海浪起伏和水流冲击威胁吊装安全,增加作业难度与风险。天气条件也制约安装,大雾、暴雨等恶劣天气影响作业进度与质量。安装前需详细调查海域气象,选择适宜时机,规避恶劣天气。安装设备要适应海上环境,具备足够起重能力和稳定性,以应对复杂海

况;还需具备良好的抗腐蚀性能,抵御海洋高盐、高湿环境侵蚀,延长使用寿命,确保安装作业顺利完成。

2 TOPSIDE 管廊模块高效吊装吊杠结构设计

2.1 吊杠设计原则

TOPSIDE管廊模块高效吊装吊杠的设计应遵循一系列原则,以确保吊杠在吊装过程中的安全性、可靠性和高效性。首先,安全可靠性是吊杠设计的首要原则。吊杠需要能够承受管廊模块在吊装过程中产生的各种载荷,包括重力载荷、惯性载荷和风力载荷等,并且要具有足够的安全系数,以应对可能出现的意外情况。其次,设计应满足高效性要求。吊杠的结构形式和尺寸应合理优化,以提高吊装作业的效率。吊杠的设计还应考虑与吊装设备的匹配性,确保两者能够协调工作,充分发挥吊装设备的性能。另外,经济性也是吊杠设计需要考虑的重要因素。在保证吊杠性能的前提下,应尽量降低设计和制造成本。可以通过选择合适的材料、优化结构设计和采用标准化部件等方式,降低吊杠的生产成本和维护成本,提高经济效益。

2.2 吊杠结构形式选择与优化

在TOPSIDE管廊模块高效吊装吊杠的设计中,结构形式的选择与优化是关键环节。常见的吊杠结构形式有单梁式、双梁式和桁架式等。单梁式吊杠结构简单,制造和安装成本较低,但承载能力相对有限;双梁式吊杠具有较好的稳定性和承载能力,适用于中等重量的管廊模块吊装;桁架式吊杠则具有较高的强度和刚度,能够承受较大的载荷,适用于大型管廊模块的吊装。在实际设计中,需要根据TOPSIDE管廊模块的重量、尺寸和吊装要求,综合考虑各种因素,选择合适的吊杠结构形式。还可以通过对吊杠结构进行优化设计,进一步提高其性能。例如,采用有限元分析方法对吊杠结构进行力学性能分析,找出结构的薄弱环节,然后对这些部位进行加强或改进,优化结构的应力分布,提高结构的承载

能力和稳定性。还可以在吊杠结构中引入一些创新设计理念,如采用可调节长度的吊杠结构,以适应不同尺寸和重量的管廊模块吊装需求;或者设计具有自平衡功能的吊杠,减少吊装过程中管廊模块的晃动,提高吊装作业的安全性和稳定性。

2.3 吊杠关键部件设计

吊杠的关键部件主要包括吊耳、吊索、连接件和支撑结构等。吊耳是吊杠与管廊模块连接的重要部件,其设计应保证连接的可靠性和安全性。吊耳的材质通常选用高强度合金钢,并且要经过严格的热处理和探伤检测,确保其质量符合要求。吊耳的形状和尺寸应根据管廊模块的结构特点和吊装要求进行设计,保证吊耳能够均匀地传递载荷,避免局部应力集中^[2]。吊索是吊杠传递载荷的重要部件,其性能直接影响吊装作业的安全性。常用的吊索有钢丝绳吊索和合成纤维吊索等。钢丝绳吊索具有较高的强度和耐磨性,但柔韧性相对较差;合成纤维吊索则具有重量轻、柔韧性好等优点,但强度相对较低。在选择吊索时,需要根据管廊模块的重量、吊装高度和环境条件等因素进行综合考虑,选择合适的吊索类型和规格。同时吊索的连接方式也非常重要,应采用可靠的连接方法,如绳卡连接、编结连接等,确保吊索在吊装过程中不会发生脱落或断裂。连接件和支撑结构是保证吊杠结构稳定性和可靠性的重要组成部分。连接件应具有足够的强度和刚度,能够有效地传递载荷,并且要便于安装和拆卸。支撑结构则用于支撑吊杠,保证吊杠在吊装过程中的稳定性。支撑结构的设计应根据吊杠的结构形式和吊装要求进行合理布置,确保支撑结构能够均匀地承受载荷,避免吊杠发生变形或失稳。

3 TOPSIDE 管廊模块高效吊装吊杠力学性能分析

3.1 有限元模型建立

为了准确分析TOPSIDE管廊模块高效吊装吊杠的力学性能,需要建立合理的有限元模型。首先,对吊杠的几何模型进行简化,忽略一些对力学性能影响较小的细节结构,如倒角、小孔等,以提高计算效率。然后,根据吊杠的实际材料特性,赋予模型相应的材料参数,包括弹性模量、泊松比、密度等。在划分网格时,应根据吊杠结构的特点和计算精度要求,选择合适的网格类型和网格尺寸。对于关键部位和应力集中区域,应采用较细的网格进行划分,以提高计算结果的准确性;而对于次要部位,则可以采用较粗的网格,以减少计算量。还需要对网格进行质量检查,确保网格的质量符合计算要求。另外,还需要对模型施加边界条件和载荷。边界条件根据吊杠的实际安装和约束情况进行设置,如固定支

撑、铰接等。载荷则包括重力载荷、惯性载荷、风力载荷等,根据吊装过程中的实际工况进行施加。通过合理设置边界条件和载荷,能够准确模拟吊杠在吊装过程中的受力状态。

3.2 静力学性能分析

在建立有限元模型的基础上,对TOPSIDE管廊模块高效吊装吊杠进行静力学性能分析,以评估吊杠在静态载荷作用下的强度、刚度和稳定性。通过计算可以得到吊杠在不同载荷工况下的应力分布、应变分布和位移分布情况。从应力分布结果可以看出,吊杠的应力集中部位主要出现在连接部位、拐角部位和截面突变部位等。这些部位由于几何形状的变化,容易产生应力集中现象,需要在设计中特别关注,采取相应的加强措施,如增加壁厚、倒圆角等,以降低应力集中程度,提高吊杠的强度。应变分布和位移分布结果则反映了吊杠在载荷作用下的变形情况。通过分析应变和位移分布,可以判断吊杠的刚度是否满足要求。如果吊杠的变形过大,会影响吊装作业的精度和安全性,需要对吊杠的结构进行优化,如增加支撑结构、调整截面尺寸等,以提高吊杠的刚度。还可以通过静力学性能分析,评估吊杠的稳定性。对于细长杆等结构形式的吊杠,需要考虑其屈曲稳定性问题。通过计算临界载荷和屈曲模态,可以判断吊杠是否会发生屈曲失稳,为吊杠的设计和优化提供依据。

3.3 动力学性能分析

除了静力学性能分析外, TOPSIDE管廊模块高效吊装吊杠的动力学性能分析也至关重要。在吊装过程中,吊杠会受到惯性载荷、冲击载荷和振动载荷等动态载荷的作用,这些动态载荷会对吊杠的力学性能产生较大的影响。通过动力学性能分析,可以研究吊杠在动态载荷作用下的响应特性,如振动频率、振幅、应力变化等。首先,对吊杠进行模态分析,计算吊杠的固有频率和振型,了解吊杠的振动特性。固有频率是吊杠的重要动力学参数,当外界激励频率接近吊杠的固有频率时,会发生共振现象,导致吊杠的振动加剧,应力增大,甚至可能造成结构破坏^[3]。因此在设计吊杠时,需要避免外界激励频率与吊杠的固有频率相近,以防止共振的发生。然后对吊杠进行动力学响应分析,模拟吊杠在实际吊装过程中受到的动态载荷作用,计算吊杠在动态载荷下的应力、应变和位移响应。通过分析动力学响应结果,可以评估吊杠在动态载荷作用下的安全性和可靠性,为吊杠的设计和优化提供参考。例如,如果发现吊杠在动态载荷下的应力超过了材料的许用应力,需要对吊杠的结构进行改进,如增加材料厚度、优化结构形式等,以提高

吊杠的承载能力。

4 TOPSIDE 管廊模块高效吊装吊杠优化设计与试验验证

4.1 基于力学性能分析的优化设计

根据TOPSIDE管廊模块高效吊装吊杠的力学性能分析结果,对吊杠进行优化设计。针对静力学性能分析中发现的应力集中和刚度不足等问题,采取相应的优化措施。对于应力集中部位,可以通过改进结构形状、增加过渡圆角、优化连接方式等方法,降低应力集中程度,提高吊杠的强度。例如,将吊杠的直角拐角改为圆角拐角,能够有效地减少应力集中;采用合理的焊接工艺和连接方式,能够提高连接部位的强度和可靠性。对于刚度不足的问题,可以通过增加支撑结构、调整截面尺寸、改变材料特性等方式进行优化。如在吊杠的关键部位增加斜撑或加强筋,能够提高吊杠的整体刚度;增大吊杠的截面尺寸,能够增加吊杠的惯性矩,从而提高吊杠的抗弯和抗扭能力;选择高强度、高弹性模量的材料,也可以提高吊杠的刚度。在动力学性能方面,根据模态分析和动力学响应分析结果,调整吊杠的结构参数,避免共振现象的发生。通过改变吊杠的质量分布、刚度分布等参数,调整吊杠的固有频率,使其远离外界激励频率。优化吊杠的结构形式,减少动态载荷对吊杠的影响,提高吊杠的动力学性能。

4.2 模型试验研究

为了验证优化设计后的TOPSIDE管廊模块高效吊装吊杠的性能,进行模型试验研究。首先,按照一定的比例制作吊杠模型,模型的材料、结构形式和尺寸参数应尽量与实际吊杠保持一致,以保证试验结果的准确性和可靠性。在模型试验中,对吊杠模型施加与实际工况相似的载荷,包括静态载荷和动态载荷。通过测量吊杠模型在载荷作用下的应力、应变、位移等参数,获取吊杠模型的力学性能数据。将试验数据与有限元分析结果进行对比,分析两者之间的差异,验证有限元模型的准确性和优化设计的效果。如果试验数据与有限元分析结果存在较大差异,需要对有限元模型进行修正,重新分析吊杠的力学性能,并对优化设计方案进行调整。通过多

次试验和分析,不断优化吊杠的设计,直到吊杠的性能满足设计要求。

4.3 现场试验验证

在模型试验研究的基础上,进行TOPSIDE管廊模块高效吊装吊杠的现场试验验证。现场试验能够真实地模拟吊杠在实际吊装过程中的工作状态,检验吊杠在实际工程中的性能和可靠性^[4]。在现场试验中,将优化设计后的吊杠应用于TOPSIDE管廊模块的吊装作业中,记录吊装过程中的各项数据,包括吊杠的受力情况、变形情况、吊装时间等。通过对现场试验数据的分析,评估吊杠的实际性能是否满足设计要求,是否能够安全、高效地完成吊装作业。如果现场试验中发现吊杠存在问题,需要及时进行分析 and 处理。根据问题的性质和严重程度,采取相应的改进措施,如对吊杠进行局部修复、调整吊装工艺等。通过现场试验验证,不断完善吊杠的设计和施工工艺,确保TOPSIDE管廊模块高效吊装吊杠在实际工程中的安全可靠应用。

结束语

本文系统完成TOPSIDE管廊模块高效吊装吊杠的研究与实践,优化的吊杠设计经试验验证有效,保障了海上吊装作业安全与效率。未来,随着海上油气开发向深海推进,对吊装技术要求更高,后续可进一步探索新材料、新结构在吊杠中的应用,持续提升其性能,满足复杂海洋工程需求。

参考文献

- [1]霍进珂,邱凯,张满江红,艾鹏飞,刘洋,何高源.大型管道吊装运输技术在综合管廊中的应用[J].建筑技术开发,2022,49(13):72-74.
- [2]范锡涛,谷永军.大型城市综合管廊管道施工技术[J].安装,2022,(05):33-36+42.
- [3]王晓凯,王阳阳.FPSO管廊模块甲板片的吊装工艺研究[J].舰船科学技术,2025,47(2):173-177.DOI:10.3404/j.issn.1672-7649.2025.02.028.
- [4]徐田甜.FPSO管廊模块甲板支墩结构分析[J].石油化工设计,2021,38(2):62-68.DOI:10.3969/j.issn.1005-8168.2021.02.016.