

Analysis of basic design method of oil drilling rig

Xin Zhang

Four Machine Company, Jingzhou, Hubei, 434000, China

Abstract

The foundation of oil drilling rig is the key structure in oil exploitation engineering. The rationality and stability of its design are directly related to the safety and efficiency of drilling operation. With the rapid development of petroleum industry, the design requirements of drilling rig foundation are more and more high, which not only has to bear the huge dynamic load generated by the drilling rig operation, but also has to adapt to the complex environment under different geological conditions. Therefore, it is of great significance to deeply analyze and study the design method of drilling rig foundation to improve the reliability and economic benefit of drilling operation. This paper aims to analyze the main methods of the foundation design of oil drilling rig. Through in-depth analysis to provide reference for related enterprises and personnel, in order to promote the scientific, standardized and modern basic design of oil drilling rig and drilling table.

Keywords

oil drilling rig; drilling rig foundation; design; importance; method; analysis

石油钻机钻台基础设计方法分析

张欣

四机公司, 中国·湖北荆州 434000

摘要

石油钻机钻台基础是石油开采工程中的关键结构, 其设计的合理性和稳定性直接关系到钻井作业的安全与效率。随着石油工业的快速发展, 对钻台基础的设计要求越来越高, 不仅要承受钻机作业时产生的巨大动载荷, 还要适应不同地质条件下的复杂环境。因此, 深入分析和研究钻台基础的设计方法, 对于提高钻井作业的可靠性和经济效益具有重要意义。本文旨在分析石油钻机钻台基础设计的主要方法。通过深入分析为相关企业及人员提供参考, 以期推动石油钻机钻台基础设计的科学化、标准化和现代化。

关键词

石油钻机; 钻台基础; 设计; 重要性; 方法; 分析

1 引言

支撑石油钻机稳定运行的关键结构在于钻台基础, 这是由于它的设计质量对钻机作业的安全和效率有着直接的影响。由于钻井平台工作过程涉及高频振动、大型设备荷载以及复杂地质条件, 在这种情况下借助于合理的钻台基础设计可以有效降低设备故障风险, 提高钻探工作效率, 延长设备使用寿命^[1]。因此, 钻台基础的设计需要综合考虑地基承载力、荷载分布、结构稳定性、环境影响等因素, 在不同的地质环境和施工条件下, 从而保证石油钻机作业安全可靠。

2 石油钻机钻台基础设计重要性

首先钻机钻台基础设计, 既要起到增强地基承载力的作用, 又要避免地陷或结构不稳情况。石油钻机工作时包括

井架、转盘、顶驱等设备持续向地基产生荷, 此时如果地基承载力不足, 就会造成局部沉降甚至整体不稳定。因此, 在基础设计阶段, 为保证地基的长期稳定性, 需要通过工程勘察和数值分析, 同时充分考虑基础土质的特性情况下, 对基础形式进行优化。其次, 合理设计钻台基础, 有效降低设备振动对石油钻井平台安全的冲击。如基础刚度不足或结构连接不当, 在钻探过程中, 钻杆转动、泥浆循环、动力设备运转等均会产生振动, 可能引起设备损坏或作业安全事故。因此, 在钻台基础设计中, 出于降低动态荷载对设备的冲击影响目的, 需要对结构形式和减振措施进行合理选择。另外, 施工效率提高和维护成本降低可以通过合理的钻台基础设计实现。钻台基础设计中充分考虑荷载分布、环境适应性和施工便捷性等各方面因素, 这不仅能够减少施工时间, 并且有助于提高钻机搬迁效率、减少后期维护费。如在冻土、荒漠或黄土湿陷区, 为保证钻机长时间稳定作业并减少因地基改变而带来的维护工作, 钻台基础设计上需要采取特殊加固措施。

【作者简介】张欣(1994-), 女, 中国河南濮阳人, 本科, 助理工程师, 从事石油钻机钻台设计研发研究。

3 石油钻机钻台基础设计方法

3.1 基础尺寸与形状设计

结构的稳定性、荷载分布和抗变形能力与石油钻机钻台基础尺寸与形状有着紧密联系。基础尺寸的确定需要综合考虑钻机荷载特性、地基承载力、施工条件、环境因素等,以保证荷载的均匀传递,减少局部应力的集中,因此,钻台基础设计中须充分依据钻机支承结构尺寸和荷载分布情况,优化基础长度和宽度,保证有足够大的接地面积,以减轻单位面积的承载压力,从而防止出现局部沉降和变形不均的现象。通常以最大弯矩、剪力和动态荷载为计算依据达到抗弯、抗剪和抗冲击的要求,随后结合材料力学分析确定合理的基础厚度,以防止因刚度不足造成局部失稳或裂纹扩展。在运用高强度的混凝土提升钻台基础抗压能力的情况上,其设计上还可采用钢筋的配置对其抗拉性能进行优化。另外,要综合考虑地质条件和环境因素选择钻台基础形状^[2]。矩形钻台基础适用于大部分工况下,能够有效地增强结构稳定性通过提供较大的承载面积;对风荷载较大区域,多边形或圆形钻台基础更具优势,它们可以较好地应对风压的冲击和具有较高抗倾覆能力。钻台基础底部,为增强抗滑移能力与降低地基剪切破坏风险,可设计加厚区或设置抗剪键。针对软土地基,钻台基础设计中可通过设置桩基、CFG桩或砂石垫层,同时根据沉降控制分析优化桩长和布置方式,以增强钻台基础承载能力。针对钻台基础形状最佳设计参数确定下,设计人员须借助有限元分析软件模拟不同方案受力情况,以准确掌握地基反力分布和基础变形特性。

3.2 基础类型选择

石油钻机钻台基础主要分为刚性、柔性以及复合三种类型,它们优点各异且适用对象不同。因此在设计中要综合考虑地基条件、荷载特性及施工适应性选择适宜的钻台基础。刚性基础主要采用钢筋混凝土结构,适用于承载力较高且地基稳定的区域。在设计时,首先进行地基勘察,确定地基承载力及沉降特性,并依据荷载计算确定刚性基础尺寸及配筋方案。混凝土强度等级应不低于C30,配筋应满足受力及裂缝控制要求,关键受力部位采用双层双向钢筋网,并在混凝土浇筑前预埋锚固螺栓,以确保钻机底座与基础的可靠连接。需特别注意岩质地基上,刚性基础可经膨胀锚栓直接浇筑在原岩面上,钻机结构可通过膨胀锚栓固定,以增强整体稳定性。柔性地基一般采用钢垫梁或高强度垫板,适用于软弱地基或需要快速安装和拆卸的场景。设计中根据钻机荷载计算结果选择适宜规格钢垫梁,同时基于保证荷载均匀分布原则确定它的截面尺寸、材料强度及布置方式,从而实现防止局部应力集中目的^[3]。钢板或加厚橡胶垫等高强度的抗压垫层应在垫梁底部铺设,这样能在提高支撑稳定性的同时有效减小地基沉降的危险。此外对于很软的地基,为了提高整体抗变形能力,设计时钢垫梁之间的连接结构也是需要增加的。复合基础适用于承载力不足、变形控制要求较高的地

基,它集成了上述两种基础的特征。在设计中为了使局部沉降和地基不均匀变形减少,钻机主要受力部位采用钢筋混凝土基础,从而促使整体的承载力提升,同时还须在周围铺设弹性垫板或是高强度钢板等柔性垫层。混凝土部分要开展抗裂和耐久性设计,以保证长期承载力,柔性部分则要对其厚度及材料选择进行有限元分析和优化,以达到合理分配和变形协调控制载荷的目的。

3.3 地基刚度匹配设计

优化荷载传递路径,减少不均匀沉降及附加变形对钻机运行的影响是钻台基础刚度匹配设计中必不可少的一个环节。首先,地基土类别、承载力、压缩模量等应根据地层勘察结果确定,不同荷载条件下的地基变形特性应采用数值分析进行模拟。针对软土地基类型,钻台基础承载力和整体刚度可通过增加基础厚度、设置抗剪桩或采用CFG桩、碎石桩等复合地基技术予以提高,同时辅以预压法或真空固结法降低地基沉降。针对刚性地基出于增强其整体抗弯性能,钻台基础设计中采取高强度钢筋混凝土、配筋率优化和过预应力技术;针对柔性基础,设计上结合砂浆找平层、高强垫层或是减震橡胶等,从而使局部应力集中和振动幅值减小。此外,设计上还可采取设置钢板-混凝土组合基础或梁格基础等多层刚度过渡结构,增强钻台承载面的受力均匀性。钻机基础刚度梯度控制可在不同的基础方案下,利用有限元分析计算应力分布和变形规律,使刚度匹配参数达到最优化,这样一来有助于确保钻台基础和地基协同工作。同时采用钻孔灌注桩结合地基加固技术等桩基联合承载体系,在增强整体稳定性情况下进一步提高抗差异沉降能力。最后,钻台基础地基刚度匹配设计中还可采取设置刚过渡层或采用高模量填充材料,并严格控制基础接缝和接口刚度匹配,从而有效促使应力突变降低。

3.4 基础连接结构设计

石油钻机整体受力均衡和长期稳定运行离不开钻台基础连接结构设计。连接方式的合理选择能改善结构完整性,减少应力集中作用,适应复杂工况条件。结合实践来看,钻台基础连接结构主要有焊接、螺栓和铰接三种方式,其选择需要结合荷载特性、环境因素和施工条件决定。钻台基础焊接连接结构具有较高的刚度和承载力,对动载冲击和振动的影响能够起到很好的抵抗作用,因此,焊接连接适用于固定式钻台基础,刚度高,承载力强。但需要注意,焊接过程中容易引入残余应力,如此一来会导致裂纹扩展和结构疲劳破坏两种情况出现在焊缝区域。因此,钻台基础设计中采用焊接连接结构时可采取预热焊接、后续热处理、超声冲击处理等措施来减少残余应力,同时借助有限元分析对焊接顺序、焊缝布置进行优化处理,从而防止热应力集中^[4]。螺栓连接结构设计通常用在可移动钻机基础,好处是实现现场快拆装且维护方便。但需采用高强度螺栓并施加合理的预紧力,这样才能避免螺栓松动保证连接强度和抗疲劳性能。设计中

一方面为增强抗振动性能须选择双螺母锁紧、弹簧垫圈或楔形防松装置,另一方面须确保螺栓孔精密度达到要求,从而降低装配间隙影响到受力均匀性。同时还须以有限元分析螺栓群连接部位受力分布情况,随后据此对螺栓的排列方式和拧紧力矩进行优化。石油钻机钻台基础采用铰接连接结构设计可以较好地减少约束应力以及增强结构适应性,其通常用在可能发生微量沉降或轻微位移的工况。在设计过程中,为了保证连接部位能在一定的角度范围内自由转动,减少额外的弯矩应力,需要采用球铰或销轴结构。另外,铰接部件的材质要有很高的耐磨性和抗腐蚀性,并且为了增强使用寿命,设计中可采用高强度合金钢同时还需进行表面渗碳或氮化处理。为了避免在极端工况下铰接失稳,设计上除了需要设置限位机构外,还应严格控制连接部件间的间隙,以免出现过度的间隙造成冲击损伤。

3.5 结构优化设计

结构优化设计主要包括材料选择、连接方式优化和应力分布分析三个方面,其是石油钻机钻台基础的重要设计内容之一。首先在材料选用上,钻台基础设计中可大量采用高强度钢材和预应力混凝土,以加强结构承载力,减少变形。钢铁部分采用高强度低合金钢,同时需注意设计中要明确需对其做热处理优化微观组织,一方面有助于增强屈服强度和延展性,另一方面则促使其抗疲劳和抗腐蚀性能提高。预应力混凝土中为降低徐变效应,增强抗剪性能,设计中可选择低收缩高强度水泥同时辅以钢绞线预应力体系。其次,由于钻台基础连接结构主要有焊接、螺栓和铰接三种方式且优点各异,设计中要充分依据现场荷载测试数据、数值仿真结果以及实际环境确定适宜的钻台基础连接结构,随后再辅以拓扑

优化与疲劳寿命预测方法进一步提升连接部位的可靠性^[5]。最后,在应力分布分析对石油钻机钻台基础立柱支撑节点、主梁悬臂端部等关键受力部位的静力和动力响应计算,可以借助于以有限元法为基础的数值模拟。模型需要考虑钻探作业荷载、风荷载、地震作用和施工误差的影响,以及为了改善受力分布和降低局部屈曲风险而增加支肋、优化主梁截面形状等局部加固设计。此外,为保证结构优化设计方案可靠性以及工程适用性,设计人员应按照方案开展全尺度物理实验,验证关键结构参数,同时对数值计算模型予以修正。

4 结语

综上所述,对石油钻井工程而言,钻机钻台基础设计是十分重要的,它的合理性除了对钻机运行的稳定性造成影响外,也会对施工安全、钻井平台后期使用经济性与长期维护费用等方面也带来不小影响。因而这就要求我们必须全面考虑地质条件、荷载特点和环境等各方面因素开展石油钻机钻台基础设计工作。

参考文献

- [1] 耿秀英,齐春明,郝学文,等.石油钻机整机移运装置设计研究[J].中国机械,2020.
- [2] 李聪娟.石油钻机钻台基础的设计方案[J].城市建设理论研究:电子版,2014(21).
- [3] 李世伟,于芬,夏正廷,等.举升式石油钻机猫道机的模块化结构分析与设计[J].中国设备工程,2023(6):149-151.
- [4] 陈祖波.40CZ钻机井架底座设计及有限元分析[D].西南交通大学[2025-03-19].
- [5] 侯敏,李汶东,张友会,等.张力腿平台模块钻机井架设计及风动力学分析[J].石油矿场机械,2021,50(1):7.