

深水码头桩基结构优化设计与建设成本关联性研究

吴君辉

宁波亚洲浆纸业有限公司 浙江 宁波 315803

摘要：本研究聚焦深水码头桩基结构优化设计与建设成本的关联。通过对多种桩型在不同地质、水文条件下的力学性能分析，运用专业软件模拟桩土相互作用，结合工程实例对比不同设计方案下的建设成本。研究发现，合理选择桩型、优化桩长与桩径、改进施工工艺等措施，可在保障结构安全与稳定性的前提下有效降低建设成本，如精准确定桩长和桩径，避免过度设计造成的成本浪费。本研究成果为深水码头桩基工程在设计阶段提供成本控制和决策依据，促进港口建设行业的可持续发展。

关键词：深水码头；桩基结构；优化设计；建设成本

引言

随着全球贸易的不断增长，港口作为货物运输的关键枢纽，其重要性日益凸显。深水码头能够接纳大型船舶，提高港口的吞吐能力，是现代港口发展的重要方向。桩基作为深水码头的基础结构，承担着整个码头的荷载，其设计的合理性直接影响到码头的安全性、稳定性以及建设成本。因此，研究深水码头桩基结构优化设计与建设成本的关联性，对于在保证码头工程质量和安全的前提下，降低建设成本，提高经济效益，具有重要的现实意义。

1 码头桩基结构类型及特点

1.1 钢管桩：钢管桩具有强度高、耐腐蚀性较好、施工速度快等优点。其截面形状多为圆形，在深水环境中能有效抵抗水平力与竖向荷载。由于钢管桩采用工厂预制，质量易于控制，现场施工主要通过锤击方式沉入地基，施工效率高。具有强度高、重量轻、施工速度快等优点，适用于各种复杂地质条件，但耐腐蚀性较差，后期维护成本较高。

1.2 灌注桩：灌注桩是码头桩基结构常用类型，施工时先在地基成孔，再灌注混凝土成桩。它优势明显，能根据码头地质条件与荷载灵活调整桩长、桩径，适应性强。像遇到复杂地质，能更好匹配不同地层情况。而且灌注桩无需大型预制和吊运设备，施工对现场空间要求低，成本相对可控。不过，施工中需严格把控泥浆制备、清孔及混凝土灌注环节，防止断桩、缩颈等问题，确保成桩质量，保障码头桩基稳定与安全。可根据不同的地质条件和设计要求进行灵活设计，适应性强，但施工工艺相对复杂，施工质量不易控制，成本相对较高^[1]。

1.3 预应力混凝土管桩：预应力混凝土管桩在工厂化预制，生产工艺成熟，质量稳定可靠，桩身混凝土强度

高，单桩承载力高，且具有较好的耐久性。可根据不同的地质条件，在桩尖设置桩靴以适应不同土层的要求。一般桩身在工厂进行拼接再运至现场，主要采用锤击方式进行沉桩，施工效率高，能缩短基础工程的施工工期，在一定条件下可有效降低建设成本。同时预制混凝土管桩自身重量较大，对海上沉桩设备要求较高，在沉桩过程中会对周围土体产生挤压，可能导致周围土体隆起、地面位移，对周边建筑物、地下管线等产生不利影响。

2 桩基结构优化设计方法

2.1 桩型选择优化

根据地质勘察报告，对不同桩型在特定地质条件下的适用性进行分析对比。在地质条件复杂区域，如软土地层深厚、存在硬夹层或岩溶发育地区，桩型的适用性直接影响成桩难度与成功率，进而影响成本和工期。

考虑桩型的材料成本、制作工艺、运输安装费用。钢管桩强度高、施工速度快，但钢材价格昂贵，防腐成本高；而预制混凝土桩原材料成本相对较低，但自重较大，吊运、沉桩设备要求高；灌注桩则可以根据现场的地质条件进行灵活调整，适用于一些特殊的地质情况。

考虑施工条件和环境因素，选择易于施工、对周围环境影响小的桩型。在海上施工，需要考虑风浪等因素，选择抗风浪能力强、施工便捷的桩型。

2.2 桩长优化

桩长的确定主要取决于码头的设计荷载、地质条件和桩基的承载能力。合理的桩长既能满足码头的承载要求，又能避免过长的桩造成材料浪费和成本增加。在设计时，需要通过地质勘察获取详细的地质资料，结合桩基的承载计算方法，确定合适的桩长。

2.3 桩径优化

桩径的大小直接影响桩基的承载能力和刚度。较大

的桩径可以提供更高的承载能力,但同时也会增加材料用量和施工难度。在选择桩径时,需要综合考虑码头的荷载大小、地质条件、施工设备和成本等因素,通过技术经济比较确定最优的桩径^[2]。

2.4 桩基布置优化

桩间距过小,群桩效应显著,桩间土体应力叠加,导致单桩承载能力降低,需增加桩数来满足设计要求,增加了桩基材料与施工成本;桩间距过大,虽然单桩受力条件改善,但上部梁板结构跨度增大,梁、板尺寸与配筋量需加大,同样会提高成本。

码头桩基布置形式应根据码头平面形状、结构受力特点及地质条件综合确定。斜桩、叉桩在不同的扭角和俯仰角布置方式下,桩与桩、桩与土的相互作用不同,对整体结构稳定性及成本影响各异。例如,对于承受较大水平荷载的码头前沿区域,采用斜桩与直桩组合的群桩布置,可有效抵抗水平力,但斜桩施工难度大,成本较高。

2.5 施工工艺优化

施工工艺是影响深水码头桩基结构设计的重要因素之一。不同的施工工艺对桩基结构的要求不同,在设计过程中需要充分考虑施工工艺的特点和要求,以确保桩基结构的可施工性和施工质量。例如,锤击法施工对桩身的强度和刚度要求较高,在设计时需要适当增加桩身的配筋和壁厚;振动法施工对周围环境的影响较大,在设计时需要考虑振动对周围建筑物和地下管线的影响,并采取相应的防护措施;灌注桩施工对成孔质量和混凝土灌注质量要求较高,在设计时需要合理选择成孔设备,采用先进的钻孔工艺,如旋挖钻孔、冲击钻孔等,可提高钻孔效率和质量,减少施工时间和成本^[3]。

3 桩基结构优化设计与建设成本关联性分析

3.1 材料成本

材料成本是建设成本的主要组成部分,包括桩基材料、承台材料、连接材料等。不同类型的桩基材料,如钢管桩、混凝土管桩、灌注桩、复合桩等,价格差异较大。此外,材料的质量、规格和产地、运输等因素也会影响材料成本。在选择材料时,需要综合考虑材料的性能、价格和供应情况,通过优化桩型选择,可直接降低材料成本。

3.2 施工成本

施工成本包括施工设备租赁费用、施工人员工资、施工场地费用等。不同的施工工艺和施工设备,其施工成本也不同。例如,采用大型打桩设备进行锤击沉桩施工,设备租赁费用较高,但施工效率也较高;采用小型

设备进行灌注桩施工,设备租赁费用相对较低,但施工周期较长,人工成本可能增加。此外,施工场地的条件和地理位置也会影响施工成本,如在海上施工,需要搭建施工平台,增加了施工成本。合理的桩型选择和施工方案可降低施工难度和风险,减少施工成本。

3.3 维护成本

桩基结构的耐久性与维护成本密切相关。选择耐久性好的桩型和材料,可减少后期维护和修复的次数和成本。例如,钢管桩需要进行防腐处理,而预应力混凝土管桩的耐久性较好,维护成本相对较低。

3.4 建立建设成本模型,量化关联性

为了更准确地研究深水码头桩基结构优化设计与建设成本之间的关联性,可以运用定额计价法和清单计价法分析材料成本和施工成本,结合维护成本和使用寿命等多个因素,可以建立建设成本模型,对各项成本因素进行量化分析。

通过建立建设成本模型,可以对不同的桩基结构优化设计方案进行成本比较和分析,找出最优的设计方案,实现桩基结构优化设计与建设成本的最佳平衡。

4 工程案例分

4.1 项目概况

某深水码头工程,设计年吞吐量为185万吨,码头泊位长度为315米,采用高桩梁板式结构,该码头位于沿海地区,水文和地质条件复杂。

4.2 原设计方案及成本分析

原设计方案中,高桩码头桩基采用 $\Phi 1200\text{mm}$ 钢筋混凝土管桩和 $\Phi 2500\text{mm}$ 大直径桩灌注桩,部分大直径桩灌注桩区域土层覆盖较薄,原设计方案采用抛填人工基床,用打桩船锤击打入 2500mm 钢护筒,并搭设钢平台,完成大直径灌注桩后挖除人工基床。通过对原设计方案的成本估算,桩基建设成本主要包括人工基床抛填和挖除、钢护筒打桩成本、桩基工程成本、钢平台搭设成本、施工设备租赁成本、施工人员工资等。其中,桩基工程成本占比较大,主要是由于桩径较大、钢护筒壁厚较厚、人工基床方案设计过于保守,导致材料成本和施工成本较高。

4.3 优化设计方案及成本对比

针对原设计方案存在的问题,对桩基结构进行优化设计。通过对地质条件的详细研究和进一步力学分析,取消了部分锚岩桩,适当缩短了部分钢筋混凝土管桩桩长,将 $\Phi 2500\text{mm}$ 大直径桩灌注桩调整至 2200mm 直径,相应调整钢护筒直径和壁厚,并优化了桩的布置和间距;通过优化施工工艺取消了人工基床 3.7 万方,提高了施工

效率,降低了施工成本。通过优化设计,新方案在满足码头力学性能和使用要求的前提下,建设成本得到了显著降低,工期提前3个月完成。经过成本对比分析,优化后的设计方案相比原方案直接成本节省2千万多元,建设成本降低了14.6%,取得了良好的经济效益^[4]。

4.4 优化设计方案的实施效果

优化设计方案实施后,经过一段时间的运营监测,码头结构稳定,各项性能指标均满足设计要求。同时,由于建设成本的降低,项目的投资回报率得到了提高,为业主带来了可观的经济效益。此外,优化后的设计方案在施工过程中更加顺利,施工周期缩短,减少了对周边环境的影响,取得了良好的社会效益和环境效益。

5 结论与展望

5.1 研究结论

本文通过对深水码头桩基结构优化设计与建设成本关联性的研究,得出以下结论:

5.1.1 不同的桩基结构形式具有各自的特点和适用范围,设计方案应根据码头的工程特点、地质条件和可施工性等因素进行合理选择。

5.1.2 桩基结构的设计参数,如桩长、桩径、桩间距等对建设成本有显著影响,通过优化设计可以在满足结构力学性能的前提下,有效降低建设成本。

5.1.3 桩基结构优化设计对建设成本的影响因素主要包括材料成本、施工成本和维护成本,通过建立建设成本模型,可以量化分析两者之间的关联性,为优化设计提供科学依据。

5.1.4 通过案例分析验证了桩基结构优化设计与建设成本关联性研究的重要性和实际应用价值,合理的优化设计可以显著降低建设成本,提高项目的经济效益。

5.2 研究展望

本研究虽然取得了一定的成果,但仍存在一些不足之处,需要在今后的研究中进一步完善和深化。未来的研究可以从以下几个方面展开:

5.2.1 进一步研究新型桩基结构形式和材料,探索更加高效、经济、环保的桩基设计方案。

5.2.2 加强对桩基结构优化设计与施工过程的协同研究,提高设计方案的可施工性和施工质量。

5.2.3 结合人工智能、大数据等新技术,建立更加智能化的建设成本模型,对深水码头桩基结构的设计和建设成本进行更加精准的预测和优化,为我国深水码头的建设和发展提供更有力的技术支持。

5.2.4 开展更多的实际工程案例研究,验证和完善研究成果,为深水码头的建设提供更加全面、可靠的技术支持。

6 结语

综上所述,深水码头桩基结构的优化设计与建设成本之间存在着密切的关联性。通过合理选择桩基结构形式、优化桩基设计参数、采用先进的设计方法和技术,能够在确保码头工程安全可靠的前提下,有效降低建设成本。在实际工程中,应充分考虑地质条件、码头功能需求、施工条件等因素,综合运用各种优化手段,实现桩基结构的经济、高效设计。同时,加强对桩基结构全寿命周期成本的研究和管理,对于提高港口工程的整体经济效益具有重要意义。未来,随着材料科学、施工技术和计算机技术的不断发展,深水码头桩基结构优化设计将有更大的发展空间,为港口建设行业带来更多的创新和突破。

参考文献

- [1] 孙子宇,谢世楞,田俊峰,等.离岸深水港建设关键技术[J].中国港湾建设.2010,(z1).1-11.DOI:10.3969/j.issn.1003-3688.2010.z1.002.
- [2] 孔丹丹,赵颖华,王萍,等.仿真计算中钢筋混凝土材料的等效模量[J].沈阳建筑工程学院学报(自然科学版).2003,(3).DOI:10.3969/j.issn.2095-1922.2003.03.002.
- [3] 张蕊.油品码头桩基优化设计和施工工艺[J].水运工程,2021.DOI:10.3969/j.issn.1002-4972.2021.05.025.
- [4] 朱彦鹏,王秀丽,王文达.大直径灌注桩桩身强度设计研究[C]//第九届全国结构工程学术会议.0[2025-03-25].DOI:ConferenceArticle/5aa6b620c095d72220f1cbfd.