



油品码头桩基优化设计和施工工艺

张蕊

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 为了节约油品码头的工程投资, 降低施工难度, 缩短建设工期, 针对工程所在区域岩面起伏大且覆盖层薄厚不一的典型海岛近岸地质条件特点, 综合比选传统的嵌岩桩结构、锚岩桩结构以及钢管桩桩芯灌注混凝土的新型组合桩结构等桩基结构方案, 推荐采用钢管桩桩芯灌注混凝土的组合桩方案。介绍该方案的施工工艺、技术创新性和经济效果, 可为类似复杂地质条件下的高桩码头结构设计提供借鉴。

关键词: 高桩码头; 近岸; 桩基; 优化设计

中图分类号: U 641.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)05-0127-06

Optimization design and construction technology of pile foundation of oil wharf

ZHANG Rui

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: To save the project investment of oil terminal, reduce the construction difficulty and shorten the construction period, in view of the typical island near-shore geological conditions with large rock surface undulation and varying thickness of overburden layer, we compare comprehensively the traditional rock embedded pile structure, anchor rock pile structure and new combined pile structures with steel pipe pile core filled with concrete, and recommend the combined pile scheme with steel pipe pile core filled with concrete. The construction technology, technical innovation, and economic effect of this solution are introduced, which may serve as reference for the design of piled quay structures under similar complex geological conditions.

Keywords: piled wharf; nearshore; pile foundation; optimal design

高桩式透空结构由一系列桩基和上部结构组成, 一般适用于软土地基^[1]。因高桩透空结构使用功能明确, 结构简单, 对地质条件的适用性强、码头前沿波浪反射小、技术成熟可靠等特点, 在外海码头结构设计中被广泛应用^[2]。

基桩作为高桩式码头结构的主要受力构件, 按其桩身材料目前主要有钢管桩、混凝土桩和组合桩(两种以上材料)。按成桩方法分主要有打入桩、灌注桩和静压桩。近些年, 随着施工技术的不段提高, 一些新的桩型和施工工艺在工程设计中得到应用和推广, 共同的特点是提高承载力, 降低造价^[3]。

自新中国成立以来, 中国沿海港口的发展大体可划分为恢复发展建设期、快速发展建设期、高速高等级发展建设期、平稳发展建设期 4 个阶段^[4]。目前, 地质条件、水文条件适合的优良港口岸线越来越少, 因此复杂建港条件下的结构设计将成为未来码头结构设计的重要问题。海岛近岸码头结构设计中, 地质条件通常具有如下特点: 岩面总体上由岛屿向海侧向下倾斜, 地质岩面起伏大, 且岩面覆盖层总体较薄。针对该种地质条件的基桩选型、合理布置及桩长的确定是码头结构设计的关键技术问题, 也是决定工程投资、施工进度的决定因素。本文以典型工程为例, 通过

收稿日期: 2020-12-01

作者简介: 张蕊(1985—), 女, 高级工程师, 从事水工结构设计工作。

对比分析和计算，对海岛近岸复杂地质条件下的桩基结构进行优化设计，为类似复杂地质条件下的高桩码头结构设计提供参考。

1 工程概况

浙江石油化工有限公司 4 000 万 t/a 炼化一体化项目配套码头工程(一期)油品及液体化工码头位于鱼山作业区南部岸线西侧，小鱼山岛南端附近，是鱼山作业区南部的核心功能区，主要为后方石化基地服务。

该项目建设 4 个 5 万吨级液体化工泊位(1#~4#泊位)以及 1 个 5 万吨级和 2 个 10 万吨级油品泊位(5#~7#泊位)，平面布置如图 1 所示。码头总长度为 2 175 m，其中 1 850 m 为连片式布置，325 m 为蝶形布置。

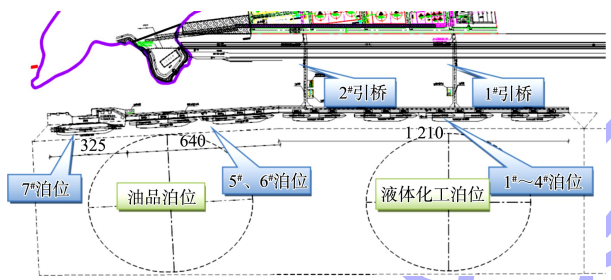


图 1 码头平面布置 (单位: m)

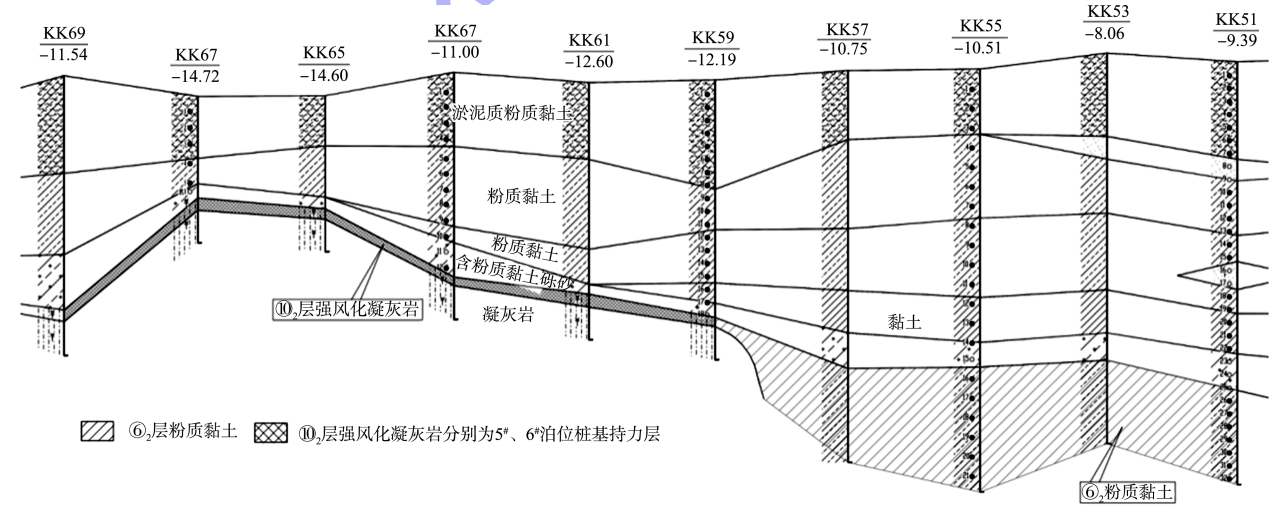
1.1 波浪、水流

工程地区各向波浪均有一定的频率出现，偏北向浪(NW、NNW、N)出现频率高一些，约 30%，其中 NNW 向波浪出现频率最高，为 13.06%； $H_{1/10}$ 波高平均为 0.41 m，最大为 1.34 m；平均波周期 2.4 s，最大 4.6 s；本区极端高水位 50 a 一遇设计波要素 $H_{1\%}$ 最大波高为 3.75 m。

涨潮流速为 1.8 m/s，方向角为 303°~315°；落潮流速为 1.5 m/s，方向角为 126°~132°。

1.2 地质

工程西侧油品码头区域泥面高程-23.90~-8.77 m，表层均为淤泥质粉质黏土层，该土层虽分布厚度较均匀但呈流塑状态，承载力差。土层起伏变化大，且部分土层局部缺失。5#泊位下卧层软土层分布较均匀，覆盖层较厚，埋深大于50 m，下层粉质黏土层物理力学指标较好，可作为桩基持力层。6#~7#泊位所在区域距山体较近(图 1)，工程地质较差，所在区域为典型外海岛礁地质类型，地质岩面起伏大并向海测倾斜，且岩面覆盖层薄厚不一，覆盖层厚度 16~42 m，通常选取基岩作为持力层^[5-6](图 2)。



a) 5#、6#泊位

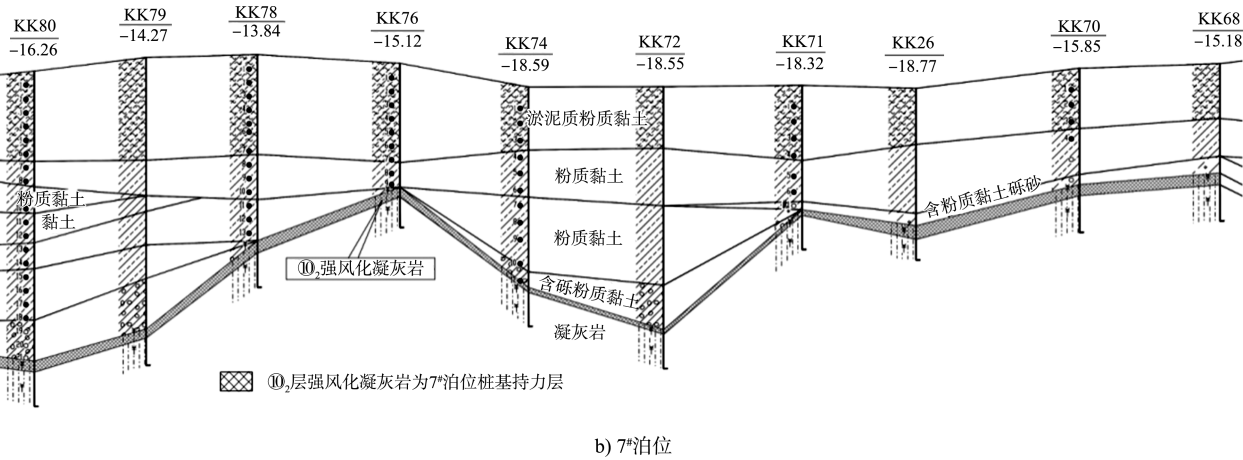


图 2 泊位典型地质剖面 (单位: m)

2 技术难点

2.1 工程规模大

油品及液体化工码头总计 7 个泊位，泊位总长 2 175 m，含 2 座引桥及 4 座平台。其中每个泊位布置有 3 个装卸区，共 21 个装卸区，物料品种逾 50。码头总设计吞吐量 1 793.6 万 t/a，其中液体化工码头设计吞吐量为 798.58 万 t/a，油品码头设计吞吐量为 995.035 万 t/a。统筹兼顾各项使用功能是工程结构设计中需要考虑的首要因素。

2.2 地质条件复杂

本工程地质条件变化较大，并且油品码头地质条件属于典型的外海近岸岛礁地形，具有岩面总体上由岛屿向海侧向下倾斜，地质岩面起伏大，且岩面覆盖层薄厚不一。因此，根据工程区域的水文、地质条件选择合适的桩基结构，是码头结构设计需要考虑的重要因素。

2.3 工期紧

根据鱼山作业区一期总体进度安排，油品及液体化工码头工程总体要求在 2 年内建成投产。本工程水工结构规模大，构件数量多，仅码头部分桩基数量即达 1 773 根，其中地质条件复杂的油品码头区域桩基 855 根，而桩基施工进度是保障高桩码头施工进程的决定因素。故基桩的选型及合理布置是码头结构设计的关键技术问题，也是决定工程投资、施工进度决定因素，是保障工程工期的重点、难点之一。

3 桩基结构方案比选

3.1 桩基结构选型

桩基作为高桩码头最主要的受力构件也是高桩码头工程投资中占比最高的部分，其结构选型合理与否是关系工程投资和施工工期的重要因素，因此在满足使用功能的前提下综合考虑工程区域的水文、地质条件和施工条件等特点进行桩基结构选型，使其满足安全可靠、经济合理、便于施工等要求。本次桩基结构选型及优化主要从以下几个方面分析。

1) 技术性。根据工程所在区域的自然条件和地质条件以及相邻工程经验，5#泊位地质分布均匀，持力层埋深适中采用钢管桩，通过结构计算及桩基承载力计算确定桩长即可满足施工要求；而 6#、7#泊位所在区域，考虑传统的全断面嵌岩桩或锚岩桩，两者均较适用于基岩外露、覆盖层薄的地质条件，对基岩起伏变化亦有良好的适应性，并且以上 2 种桩基结构近年在舟山地区应用广泛，技术上可行。

2) 经济性和施工效率。针对油品码头结构的使用要求和受力特点，危险品码头为确保上部管线的安全，通常对结构水平位移要求较高。全直嵌岩桩利用桩身自身刚度抵抗码头所受的水平荷载，通过增大桩径提高抵抗水平荷载的能力，经计算，嵌岩桩桩基直径难以优化，因而工程造价相对较高；而锚岩桩采用斜桩锚岩对抵抗结构水

平力较好，工程造价相对较便宜。

从施工速度上说，嵌岩桩和锚岩桩施工工艺均较为复杂，并且在施工清孔等过程中存在不确定性，常出现漏浆、蹩钻、卡钻等问题，处理起来均较费时^[7]。因此 2 种传统的桩基结构形式从工期角度看均不尽合理。因而考虑采用钢管桩芯灌注混凝土的组合桩型，通过提高桩身自重满足桩基抗拔承载力要求，并减少结构水平位移，从而满足结构受力要求。

3.2 结构计算分析及结构方案优化

3.2.1 土体指标

桩基参数见表 1。

表 1 桩基参数指标			
层号	岩性名称	钢 管 桩	
		q_f/kPa	q_R/kPa
② ₂	淤泥	15	—
③ ₂	淤泥质粉质黏土	18	—
③ _{2a}	粉砂	60	—

续表 1

层号	岩性名称	钢 管 桩	
		q_f/kPa	q_R/kPa
⑤ ₁	粉质黏土	55	—
⑤ ₃	粉质黏土	50	—
⑤ _{3a}	粉砂	90	—
⑥ ₁	黏土	65	1 600
⑥ _{1c}	含粉质黏土砾砂	110	7 000
⑥ ₂	粉质黏土	70	1 800
⑦ ₁	粉质黏土	75	2 000
⑨ ₃	含砾粉质黏土	80	2 200
⑩ ₂	强风化凝灰岩	240	12 000
⑩ ₃	中等风化凝灰岩	350	20 000

注： q_f 、 q_R 分别为工程区域各土层单位面积极限侧阻力标准值和极限端阻力标准值。

3.2.2 承载力计算结果

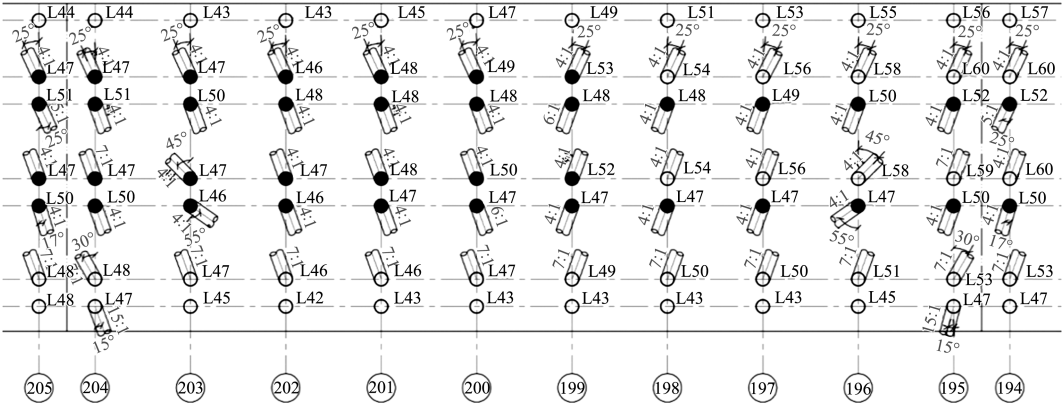
分别对油品码头排架和系缆墩采用平面和空间结构计算，并对工程区域内地质钻孔逐一计算桩基承载力。结构桩力计算结果及桩基承载力对比见表 2。

表 2 结构桩计算结果对比							
位置	桩型	最大位移/ mm	最大桩力/ kN	最小桩力/ kN	垂直极限承载 设计值/kN	抗拔极限承载力 设计值/kN	判断
6#泊位	φ1 200 mm 钢管桩	14.21	6 268	-445	7 263	500	抗拔力偏小
7#泊位工作平台	φ1 400 mm 钢管桩	15.81	5 404	-397	6 821	2 517	满足
1#系缆墩	φ1 400 mm 钢管桩	19.23	3 193	-1 967	6 892	2 639	满足
2#系缆墩	φ1 400 mm 钢管桩	11.53	2 702	-1 200	4 974	1 158	抗拔力不满足
3#系缆墩	φ1 400 mm 钢管桩	12.26	2 594	-1 241	5 627	1 187	抗拔力不满足
4#系缆墩	φ1 400 mm 钢管桩	9.88	3 090	-1 659	7 379	4 639	满足
5#系缆墩	φ1 400 mm 钢管桩	16.51	3 111	-1 795	6 376	4 098	满足
6#系缆墩	φ1 400 mm 钢管桩	20.39	3 743	-1 635	5 999	3 878	满足

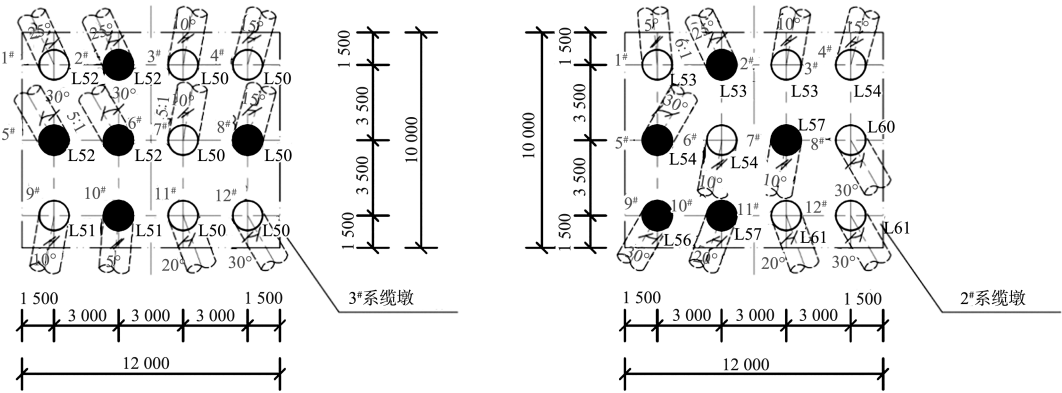
注：此表中判断依据为桩基承载力设计值大于设计桩力时为满足。

由表 2 可知，6 #、7#泊位所在区域桩基竖向承载力及结构位移均可满足设计要求，但部分区域桩基抗拔承载力小于设计桩力，因此在结构设

计中，考虑通过工程措施提高桩基抗拔承载力，以满足要求。典型分段、典型结构桩位布置情况见图 3。



a) 6#泊位典型分段承载力不满足设计桩力要求的桩位布置



b) 7#泊位承载力不满足设计桩力要求的桩位布置

注：涂阴影部分桩基为抗拔承载力不满足设计桩力要求的桩位，为本次优化设计的桩基。

图 3 典型分段、典型结构桩位布置

3.2.3 桩基方案优化

通过计算结果分析可知，6#、7#泊位局部岩面埋深较浅的区域，桩基抗拔承载力不满足设计要求，但竖向承载力和单桩稳定均可满足要求。因此，设计通过在钢管桩桩芯灌注微膨胀混凝土，提拉桩身自重以满足桩基承载力要求，以此来优化传统的锚岩桩方案。经计算确定， $\phi 1\ 200\ \text{mm}$ 钢管桩内灌注微膨胀混凝土约 28 m，可提高桩基抗拔力 384 kN； $\phi 1\ 400\ \text{mm}$ 钢管桩内灌注微膨胀混凝土约 30 m，可提高桩基抗拔力 566 kN，即可满足设计要求。

3.2.4 桩芯灌注微膨胀混凝土混合桩型的施工工艺

根据桩基结构特点，施工工艺中须搭设施工平台，清除桩基内上层海水及淤泥至设计高程，再进行微膨胀混凝土灌注施工。然而，工序的增加势必影响工程进度，增加工程投资。为此，合

理调整施工次序，充分利用施工已有措施，通过计算复核优化独立的施工平台结构。6#泊位码头为排架结构，施工中可按照打入桩完成整樁排架桩基沉桩后，借用搭设的下横梁平台进行桩基内部泥浆清除及注浆施工，再上横梁浇筑。7#泊位 2#、3#系缆墩，通过搭设墩台底模板来进行桩基施工，再进行墩台浇筑。

4 成效

4.1 技术创新性

1) 通过优化计算，6#泊位共有 76 根桩 $\phi 1\ 200\ \text{mm}$ 钢管桩，7#泊位 10 根 $\phi 1\ 400\ \text{mm}$ 钢管桩采用了桩芯灌注微膨胀混凝土混合桩结构，桩基承载力均满足设计要求。

2) 通过施工工艺优化，不仅节省了桩基施工平台费用，而且该施工过程可与现场其他工作面

施工同步进行,间接缩短工期。

3)优化后的桩基方案,较正常工况下锚岩桩施工工期缩短 90 d 以上,并避免了施工期不可遇见的风险,为确保施工进度提供有利保障。

4.2 经济效益

桩芯灌注微膨胀混凝土混合桩结构不仅桩身本身成本远低于传统的嵌岩桩、锚岩桩结构,同时简化施工工艺和工期缩短也为节约工程投资带来明显的经济效益。

5 结语

1)典型近岸海岛地质类型具有岩面总体上由岛屿向海侧向下倾斜、地质岩面起伏大且岩面覆盖层总体较薄的特点。工程建设中桩基的选型及桩长的确定是决定工程造价、施工难度及工期的关键。

2)综合考虑工程建设要求和各种不利条件,提出桩基结构选型的原则并分析各种桩基结构方案的优、缺点。

3)在满足结构安全和使用功能的前提下,采用桩芯灌注微膨胀混凝土优化传统的嵌岩桩、锚岩桩结构,大大缩短了桩基施工的工期,而且避

免了施工期不可预见的风险,取得可观的技术效益和经济效益。

参考文献:

[1] 邱驹.港工建筑物[M].天津:天津大学出版社,2008:1-52.

[2] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司.码头结构设计规范:JTS 167—2018[S].北京:人民交通出版社,2018.

[3] 张雁,刘金波.桩基手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2009:1-11.

[4] 季则舟,杨兴宴,尤再进,等.中国沿海港口建设状况及发展趋势[J].中国科学院院刊,2016,31(10):1211-1217.

[5] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司.浙江石油化工有限公司4000万吨/年炼化一体化项目配套码头工程(一期)液体化工码头施工图[R].上海:中交第三航务工程勘察设计院有限公司,2019.

[6] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司.浙江石油化工有限公司4000万吨/年炼化一体化项目配套码头工程(一期)油品码头施工图[R].上海:中交第三航务工程勘察设计院有限公司,2019.

[7] 蒋丹阳.水域工程钻孔桩施工常见问题及对策[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008(2):48-50,53.

(本文编辑 郭雪珍)

(上接第 126 页)

参考文献:

[1] 中交水运规划设计院有限公司.油气化工码头设计防火规范:JTS 158—2019[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2019.

[2] 公安部天津消防研究所.泡沫灭火系统设计规范:GB 50150—2010[S].北京:中国计划出版社,2010.

[3] 交通部公安局.装卸油品码头防火设计规范:JTJ 237—1999[S].北京:人民交通出版社,1999.

[4] 公安部天津消防研究所.消防给水及消火栓系统技术规

范:GB 50974—2014[S].北京:中国计划出版社,2014.

[5] 杨亚文,张宁,虞文博.化工码头工程消防水量核算方法探讨及相关影响因素分析:某泊位改造项目在安全预评价过程中的消防水量核算[J].宁波化工,2020(3):28-32.

[6] 付博新,刘玉晗,陈刚.液化烃码头设计中的问题分析[J].水运工程,2019(10):61-72.

(本文编辑 武亚庆)