



# 4 000 万 t/a 炼化一体化项目 管道登陆栈桥建设方案对比

蒋腊梅<sup>1</sup>, 冯浩<sup>1</sup>, 熊峰<sup>2</sup>, 徐春<sup>1</sup>

(1. 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032; 2. 浙江海洋大学, 浙江 舟山 316022)

**摘要:** 为研究不同建设方案对于管道登陆栈桥的影响, 结合 4000 万 t/a 炼化一体化项目的工程案例, 对比上部结构采用预应力混凝土箱梁结构与大跨钢管系杆拱桥+预制小箱梁结构两种方案, 从经济性、工程量以及结构耐久性和后期维护等多方面综合考虑, 提出推荐方案及施工技术要点。结果表明: 通常采用的预应力混凝土箱梁结构施工方便、桩基数量多、安全性较高, 且此结构自防腐效果好, 后期维护量较少。综合考虑, 当产品管道需要登陆栈桥时, 对于栈桥方案上部结构设计宜优先使用预应力混凝土箱梁结构。对预应力混凝土箱梁结构进行设计时, 应结合实际工程, 合理控制预应力张拉时间, 准确分析结构的受力特点, 采取适宜的预应力技术能够保证施工作业与实际环境相匹配。

**关键词:** 栈桥建设; 预应力混凝土箱梁; 大跨钢管系杆拱桥; 方案对比

中图分类号: U 653.91; U 658.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)05-0102-06

## Comparison of landing trestle construction schemes of pipelines of 40 million t/a refinery integration project

JIANG La-mei<sup>1</sup>, FENG Hao<sup>1</sup>, XIONG Feng<sup>2</sup>, XU Chun<sup>1</sup>

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

2.Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China)

**Abstract:** To study the influence of different construction schemes on the landing trestle of the pipeline, we combine with the actual engineering case of 40 million t/a refinery integration project, compare the two schemes of the upper structure including the pre-stressed concrete box girder structure and the large-span steel pipe tie-bar arch bridge + prefabricated small box girder structure, carry out the comprehensive consideration from the aspects of economy, the quantity of work, the structural durability, and the late maintenance, and propose the recommended scheme and key points of construction technology. The results show that generally it is convenient to use the pre-stressed concrete box girder structure for construction, and the number of pile foundations is more and safer. Moreover, this structure has a good self-corrosion protection effect and less maintenance in the later period. Considering comprehensively, when the product pipeline needs to land on the trestle, the pre-stressed concrete box girder structure should be preferred for the upper structure design of the trestle scheme. When designing the structure of the pre-stressed concrete box girder, it is necessary to reasonably control the pre-stress tension time, accurately analyze the stress characteristics of the structure and adopt appropriate pre-stress technology to ensure the suitability of construction work and the actual environment.

**Keywords:** trestle construction; prestressed concrete box-beam; long-span steel pipe tied-arch bridge; scheme comparison

收稿日期: 2020-12-01

作者简介: 蒋腊梅(1979—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事港口与航道工程设计。

近年来,我国经济稳定快速增长离不开能源供给的支持,而石油在我国能源消费结构中所占比例约为 25%。随着国民经济的高速发展,对石油资源需求将会持续增加,相应对于油气管道的铺设也会越来越广泛,为进一步加快油气原料传送速率,目前一般选用海底管道的方式进行运输。然而,面对一些地质较复杂、水深较深的地区一般采用栈桥方案登陆。在进行管道登陆时,往往采用不同的栈桥结构,如钢筋混凝土结构、钢结构、成套式模块化新式结构等。针对建设栈桥的方案,学者们也开展了大量的研究:黄莲英等<sup>[1]</sup>针对海上油气田栈桥进行设计,介绍了结构方案以及栈桥固定端、滑动端关键技术的设计;李硕存等<sup>[2]</sup>对海上石油平台栈桥方案的布置特点进行分析,重点指出合理布置埋设管线的重要性;陈晓维<sup>[3]</sup>以北方某石油化工码头为例,提出钢管廊可以满足作业空间狭小、使用要求较高的油品码头工艺布置方案;程志鹏<sup>[4]</sup>提出输煤栈桥的加固方案,包括钢材和混凝土的加固并采用有限元软件加以验证。还有一部分学者就栈桥的上部结构如预应力混凝土箱型结构或大跨钢管系杆拱桥结构设计方案进行单独分析:于翔飞<sup>[5]</sup>、常红星等<sup>[6]</sup>对预应力混凝土箱型结构的施工建设方案、技术要点以及质量控制等方面进行研究发现通过对张拉时间、结构受力特点、压浆控制 3 个方面进行控制以提升预制箱梁施工水平;金崇强<sup>[7]</sup>、葛芸<sup>[8]</sup>就栈桥上部系杆拱桥结构的施工特点、结构方案以及质量监控等方面进行研究,监控混凝土浇筑及预应力张拉过程、吊杆施工张拉索力的过程,并介绍各个关键工序结构变位、拱和系梁应力、吊杆索力的测试方法和测试细则,在施工过程中应予以重点监控。

目前对于栈桥不同建设方案的经济安全性、后期维护工作量以及施工进度综合对比研究较少。本文结合浙江石油化工有限公司 4 000 万 t/a 炼化一体化项目产品管道登陆栈桥工程,从经济安全、

施工难度、进度以及后期维护等多方面综合考虑,研究对比栈桥不同建设方案,分析相应方案的优缺点并进行综合比较,提出推荐方案以及相关技术难点,为后期进行相似工程施工、设计提供参考与指导。

## 1 工程概况

### 1.1 背景

本产品管道登陆栈桥工程作为 4 000 万 t/a 炼化一体化项目配套工程,承担炼化一体化项目部分产品及原料的安全输送。计划在鱼山岛至宁波之间建设 6 条海底管道,用以输送 4 000 万 t/a 炼化一体化项目部分产品及原料。管线起点皆为 4 000 万 t/a 炼化一体化项目所在鱼山岛,乙二醇管线终点为杭州市萧山区。管道在靠近小鱼山登陆区域,水深超过-25 m,并且地质条件很复杂,不宜在海底铺设管道,建议采用栈桥方案登陆。此栈桥工程场地位于舟山市岱山县鱼山乡,所处位置为大鱼山岛东南侧灰鳖洋,位置见图 1。



图 1 拟建场地地理位置

拟建一条产品管道登陆栈桥,栈桥总长约 1 260 m,宽 5.6 m,采用高桩梁板及高桩墩式结构,基础形式采用桩基础,桩型为  $\phi 2\ 000\sim\phi 2\ 500\text{ mm}$  钢管桩或  $\phi 1\ 800\text{ mm}$  嵌岩桩。设计要求

单桩轴向承载力设计值约 9 MN。本工程建筑物安全等级为二级，重要性等级为二级，场地复杂性等级为二级，地基复杂程度等级为二级，根据 GB 50021—2001《岩土工程勘察规范》(2009 年版)综合确定岩土工程勘察等级为乙级。

表 1 岩土层物理力学参数

岩土层	孔隙比 $e$	黏聚力 $c/\text{kPa}$	内摩擦角 $\varphi/(^{\circ})$	压缩系数 $a$	压缩模量 $E/\text{MPa}$	地基容许承载力 $f/\text{kPa}$
淤泥质粉质黏土	1.118	11.4	9.5	0.798	2.70	55
粉质黏土	0.719	25.3	17.4	0.327	5.29	160

注：场地设计基本地震加速度值为 0.10g，设计地震分组为第一组。粉质黏土以下 5 层为砂土和粉质黏土交替层，地基容许承载力为 130~280 kPa，最后 3 层凝灰岩层地基承载力分别为 350、500、3 000 kPa。

1.3 建设方案

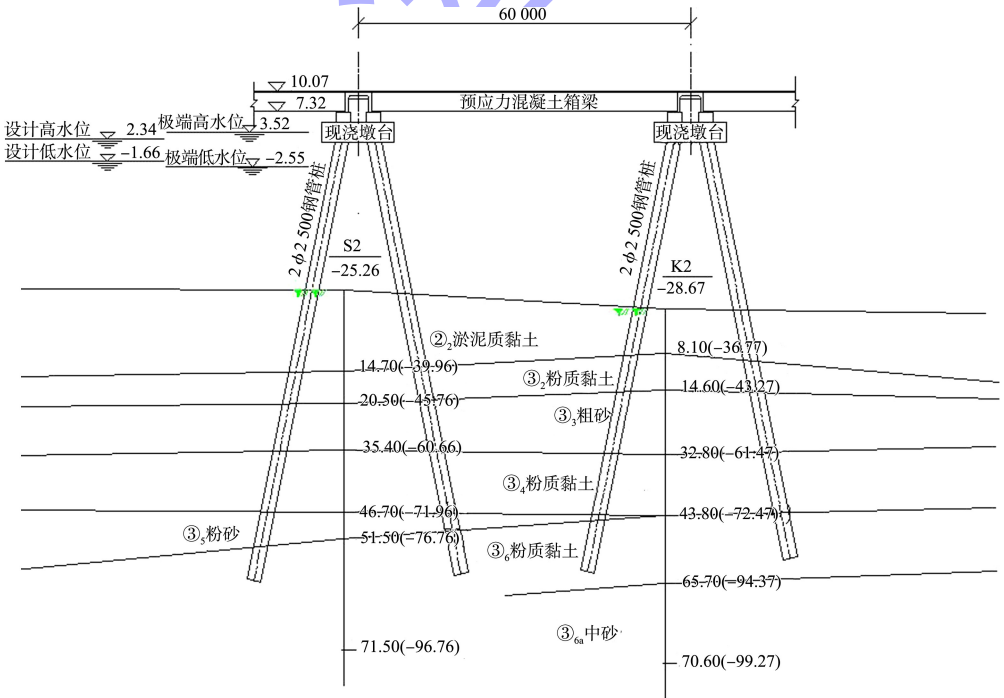
根据实际建设条件，产品管道建设不同栈桥方案主要有两种：方案 1 为上部结构采用预应力混凝土箱梁结构；方案 2 为上部结构采用大跨钢管系杆拱桥+预制小箱梁。

1) 方案 1：栈桥建设长度约 1 260 m，宽 5.6 m。上部结构采用预应力混凝土箱梁，箱梁长约 55.3 m，

1.2 地质条件

本工程位于浙江省舟山市，拟建场地位于鱼山岛小鱼山西南侧灰鳖洋，位于近岸山前滨海区，水域开阔，深水近岸。根据地质勘探信息，栈桥建设场地各岩土层物理、力学参数见表 1。

栈桥梁结构采用简支受力体系，前后两片箱梁之间设置 SPF80 型伸缩缝。箱梁为后张法预应力混凝土结构，采用 C60 高性能混凝土。梁高 3.5 m，箱梁宽度根据桥梁总宽度确定，单片箱梁宽度 5.6 m。单片箱梁截面为单箱单室，顶宽 5.4 m，底宽 3.4 m，梁高 3.5 m。桩基采用圆形现浇混凝土的墩台结构，根据水深不同进行设置。断面如图 2 所示。



a) 立面

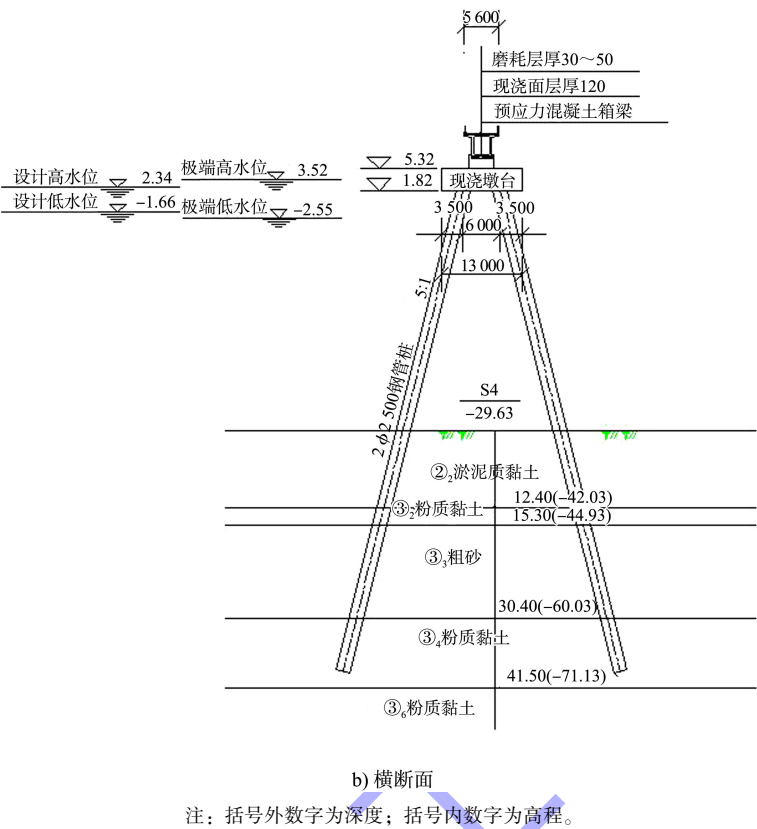
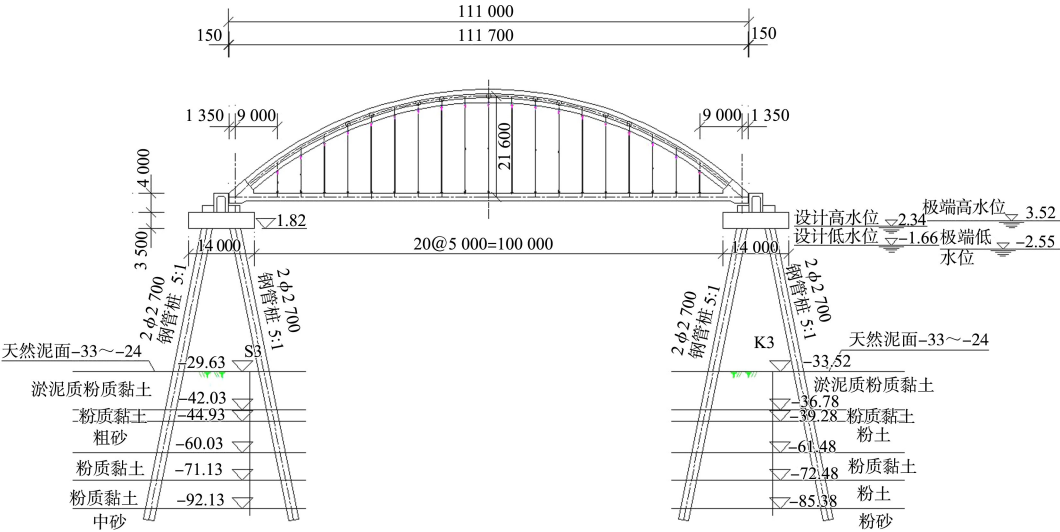


图 2 方案 1 桥梁基础断面 (尺寸: mm; 高程: m)

2) 方案 2: 栈桥建设长度约 1 247.5 m, 宽 12.2 m。桥上部结构采用大跨钢管系杆拱桥+预制小箱梁。上部结构为 111 m 跨钢管系杆拱结构, 拱桥计算跨径为 108 m, 全长 111 m, 矢高为 21.6 m, 矢跨比为 1/5, 拱轴线为拱轴系数  $m = 1.0$  的悬链线。钢管混凝土拱肋为哑铃形断面, 拱肋高 2.8 m, 拱肋上下弦钢管直径为 1 000 mm, 均采用 16 mm 厚钢板卷制, 钢管每隔 2 m 和接头处均设有加劲板。纵梁为矩形断面, 梁高 1.6 m, 梁宽 1.2 m, 内横梁采用高 1.6 m、宽 1 m 的等截面梁, 端横梁采用高 2.0 m、宽 2 m 的等截面梁。两个拱肋间距 11.0 m, 设在桥梁两侧。栈桥在靠近岸侧采用 3 跨 30 m 预制小箱梁, 桥梁断面为 3 片小箱梁预制拼装构成。桩基采用圆形现浇混凝土墩台结构, 根据基础深浅不同进行设置。断面如图 3 所示。



2 方案对比

2.1 工程量对比

栈桥方案的工程量对比见表2。可以看出，方案2的桩基数量和现浇混凝土量较少，但方案2中采用的是大跨钢管系杆拱桥，需要大量钢材。总体来说，方案1的总工程量较大，尤其是桩数

量较多，方案1所选用预应力混凝土箱梁结构主要采用桩基础来传递上部荷载，从安全角度考虑方案1对于整个栈桥设计更加有利。方案2的桩数量及现浇混凝土量少，在保证一定安全情况下施工速度较快。

表 2 栈桥方案主要工程量对比

方案	钢管桩/根		嵌岩桩/根			现浇混凝土/	预制混凝土/	长 L=2 m 钢材/t
	φ2 500 mm	φ2 700 mm	φ3 000 mm	φ2 000 mm	φ1 500 mm	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	
方案 1	32	—	20	32	—	37 974	7 994	—
方案 2	—	16	16	12	4	15 625	597	7 448

2.2 结构耐久性及后期维护方面对比

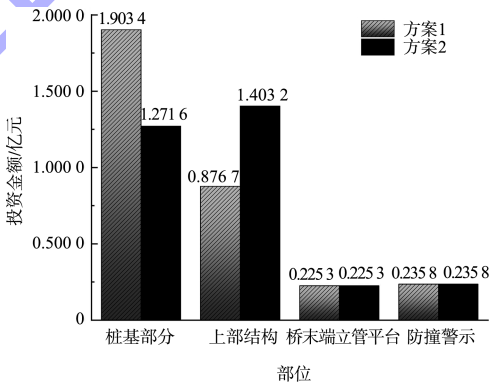
方案1的预应力混凝土箱梁结构采用C60高性能混凝土，墩台结构采用圆形现浇混凝土结构。尤其是预应力混凝土中的预应力钢筋起到至关重要的作用，在结构构件受外力荷载作用前，先对它施加压力，由此产生的预应力状态用以减小或抵消外荷载所引起的拉应力，即借助于混凝土较高的抗压强度来弥补其抗拉强度的不足，达到推迟受拉区混凝土开裂的目的，这种预应力混凝土箱梁结构质量小、承载力高、刚度大，尤其是耐久性好，由于预应力混凝土结构自身具有较好的防腐效果，故对后期维护量要求不高。

方案2所采用大跨钢管系杆拱桥结构，系杆拱桥兼具拱与梁各自的长处，充分发挥梁受弯、拱受压的结构性能，具有拱桥较大跨越能力和梁桥对地基适应能力强的两大特质。但也存在一定的弊端，其结构所需钢材较多，耐海水腐蚀性差，需要对上部钢结构进行相应的防腐措施，其耐久性稍差，后期需要投入较大的工作量进行维护。

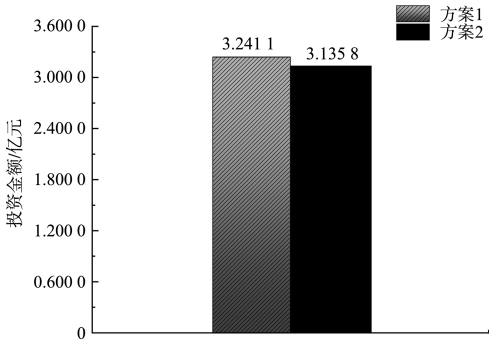
2.3 经济性对比

在对栈桥进行工程预算时，需要考虑结构施工的费用包括桩基部分、上部结构、桥末端立管平台以及防撞警示等。上述两种方案投资对比如图4所示。可看出，两种方案的桥末端立管平台以及防撞警示造价是一致的，最关键的不同在于方案1的桩基部分较方案2投资金额增长了6 317.9万元，然而方案1的上部结构较方案2减

少了5 265万元。进一步分析两种方案，方案1的桩基部分结构费用偏高在于采用的钢管桩数量多且费用高，方案2的上部结构费用偏高主要是由于上部钢结构(含钢拱)数量较多，而方案1没有采用此结构。综合来说，对于工程进度快以及预算总投资较低时，可以优先考虑方案2。



a) 各部位



b) 总投资

图 4 结构投资对比



2.4 方案选择及施工技术要点

2.4.1 方案选择

综合以上分析, 两方案的优缺点见表 3。

表 3 方案优缺点对比

方案	优点	缺点
方案 1	施工方便、后期维护量小; 结构自防腐效果好	造价较高; 施工速度慢
方案 2	造价较低; 桩基数量少、施工速度快	上部钢结构需要严格的防腐措施, 后期维护量大; 管线安装不方便

通过以上分析, 两方案均能满足码头运营及正常使用, 在技术上都是可行的。综合比较, 推荐采用方案 1。

2.4.2 施工技术要点

方案 1 采用预应力混凝土箱梁结构, 施工技术要点如下:

- 1)需要合理控制预应力张拉时间, 根据实际工程特点, 对张拉工艺做适当调整, 应注意尽可能缩短不必要的预应力张拉时间, 兼顾时间与经济效益双重效果, 在施工时可以根据需要掺入一定量的早强剂, 为后续施工做好铺垫。
- 2)需要准确分析整个混凝土箱梁结构, 采用相适应的预应力技术, 对于施工建筑进行合理优化, 使结构的承载力和稳定性有一定程度的提升。在工程中需要对施工结构承载力指标进行参数分析与数据记录以保证工程质量。
- 3)需要进行压浆控制, 回浆口冒浓浆时关阀门, 提高管压至 0.5 MPa 进入稳压阶段, 稳压过程为钢绞线缝隙处产生气泡→冒出浓浆→浆液随时间的延长而逐步变稀→出现清水→清水流出量逐步减少, 锚头钢绞线无清水结束稳压, 释放管压。最后必须以浆体达到初凝状态为前提, 在此条件下方可撤除相应的钢管。

3 结语

- 1)新建登陆栈桥方案选择需要结合工程实际特点进行方案比选, 一般栈桥上部结构选用预应力箱梁结构作为主要结构, 主要是施工方便、桩基数量较多、安全性较好。
- 2)本工程设计使用年限为 50 年, 须对其结构耐久性进行考虑。方案 1 所选用预应力混凝土耐久性较好, 尤其是预应力混凝土结构自防腐效果比较好, 后期维护工作量少。
- 3)经济性方面, 方案 2 从总投资金额以及桩基部分进行的投资都较少, 当工程进度快以及预算总投资较低时, 可以优先考虑方案 2。
- 4)对预应力混凝土箱梁结构进行设计时, 应结合实际工程, 合理控制预应力张拉时间, 进行控制压浆, 准确分析结构的受力特点, 采取适宜的预应力技术保证施工作业与实际环境相匹配。

参考文献:

[1] 黄莲英, 陈实, 许正刚, 等.海上油气田栈桥设计关键技术及运用[J].中国海洋平台, 2015, 30(4): 15-19.

[2] 李硕存, 刘吉飞, 郝孟江, 等.海洋石油平台栈桥管线布置分析[J].石化技术, 2019, 26(6): 343, 342.

[3] 陈晓维.油品码头栈桥钢结构管廊施工技术[J].港口科技, 2016(1): 21-24, 49.

[4] 程志鹏.输煤栈桥加固方案分析[J].山西建筑, 2020, 46(4): 83-85.

[5] 于翔飞.预应力混凝土箱梁施工工艺及质量控制措施[J].交通世界, 2020(32): 141-142.

[6] 常红星, 尚诚立, 朱向阳.现浇预应力混凝土连续箱梁施工工艺[J].河南科学, 2013, 31(7): 1031-1035.

[7] 金崇强.大跨度钢管混凝土系杆拱桥系梁施工技术研究[J].工程技术研究, 2020, 5(3): 99-100.

[8] 葛芸.钢管混凝土系杆拱桥施工控制全过程研究[D].西安: 长安大学, 2017.

( 本文编辑 王璁)