



大型沉箱利旧可行性技术要点及风险评估

钱怡杰, 唐 洲

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 针对重力式沉箱码头升级改造、拆除重建的需求, 通过调查收集海域沉箱现状、沉箱托运路径及运距、近岸临时存放场地等基础资料, 开展沉箱利旧方案设计。结合工程实例的建设条件及LNG(液化天然气)码头设计标准高的自身特点, 从设计、施工和经济三大技术要点中提炼6条风险因素, 包括码头平面设计、沉箱检测评估、沉箱起浮或拆除风险、施工工艺、工程进度和工程投资。通过构建风险态势结构模型, 用清晰的量化指标来衡量风险因素, 为推荐方案2提供了重要依据, 即将沉箱内回填料用于LNG码头。该方案风险和投资可控, 施工进度快, 为后续新建码头的如期开工提供稳定的工作面。

关键词: 大型沉箱; 利旧可行性; 技术要点; 风险评估

中图分类号: U65

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)09-0068-05

Technical points and risk assessment of large caisson reuse feasibility

QIAN Yijie, TANG Zhou

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

Abstract: According to the needs of upgrading, demolition and reconstruction of the gravity caisson wharf, the basic data such as the current status of caisson, the transportation path and distance, and the temporary storage site are collected, and the design of the caisson reuse scheme is carried out. Combined with the construction conditions of project example and the characteristics of LNG wharf with high design standards, six risk factors are extracted from the three major technical points of design, construction and economic, including wharf plane design, caisson detection and evaluation, caisson floating or removal risk, construction technology, engineering progress and engineering investment. By constructing the risk situation structure model, the risk factors are measured with clear quantitative indicators, which provides an important basis for recommending scheme 2, namely only the backfill material inside the caisson is used for the LNG wharf. The risk and investment of the scheme are controllable, and the construction progress is fast, which provides a stable working face for the subsequent construction of the new wharf on schedule.

Keywords: large caisson; reuse feasibility; technical points; risk assessment

大型重力式沉箱码头为港口水工建筑物主要结构形式之一, 因其结构简单, 承载力高, 整体稳定性好, 水下施工工程量小, 施工速度快等优势, 为适用地质条件下优先考虑的码头结构形式。此前, 多侧重于沉箱出运码头的研究工作, 李青美^[1]结合马迹山工程分析大型沉箱出运及安装工艺的现状和存在的问题; 张龙强^[2]研究了中大型

沉箱的出运及安装的具体施工工艺; 李善新^[3]提出沉箱偏心浮运的浮游稳定的计算方法, 为长距离沉箱浮运的安全储备评估提供依据。随着水运工程的快速发展, 早期诸多重力式沉箱码头面临升级改造、拆除重建的需求, 而对于既有沉箱利旧可行性的研究成果较少。本文结合龙口某LNG码头工程, 综合设计、施工、投资等技术要点,

收稿日期: 2023-12-16

作者简介: 钱怡杰(1982—), 女, 高级工程师, 从事港口工程设计工作。

对现存沉箱利旧工作进行研究, 并开展风险评估, 旨在为类似工程的设计和施工提供借鉴。

1 项目概况

1.1 工程背景

龙口 LNG 码头工程位于烟台港龙口港区西突堤 LNG 专区, 工程前沿线现存 8 个沉箱, 安装于 2012 年, 总长度 256 m, 与相邻已建泊位前沿线齐平, 沉箱内均已回填^[4]。

LNG 船舶系泊缆绳长度宜为 35~50 m, 等长布置, 若系缆位置距离前沿线太近, 则缆绳对船舶的约束不利, 易导致缆绳受力不均, 发生断缆事故, 因此, LNG 码头常采用蝶形布置, 由工作平

台、靠船墩和系缆墩组成^[5]。根据 JTS 165-5—2021《液化天然气码头设计规范》^[6], LNG 船舶靠泊和离泊时宜配备拖轮协助作业, 本工程最大设计船型为 26.6 万 m³ 大型 LNG 船舶, 结合自然条件, 工程区域受西北风影响较大, 拢风使得船舶离泊更加困难, 需使用拖轮顶船离泊, 若 LNG 泊位岸线内现存 8 个沉箱全部保留, 并原位顺岸利用作为码头结构, 则顺岸式沉箱将挡住拖轮位置, 难以确保安全靠离泊。因此, 为保证 LNG 码头的实施, 现存沉箱无法全部保留。根据节约资源、节省投资的原则, 考虑该段沉箱拆除后尽可能再利旧。工程地理位置见图 1, 现存沉箱位置见图 2。

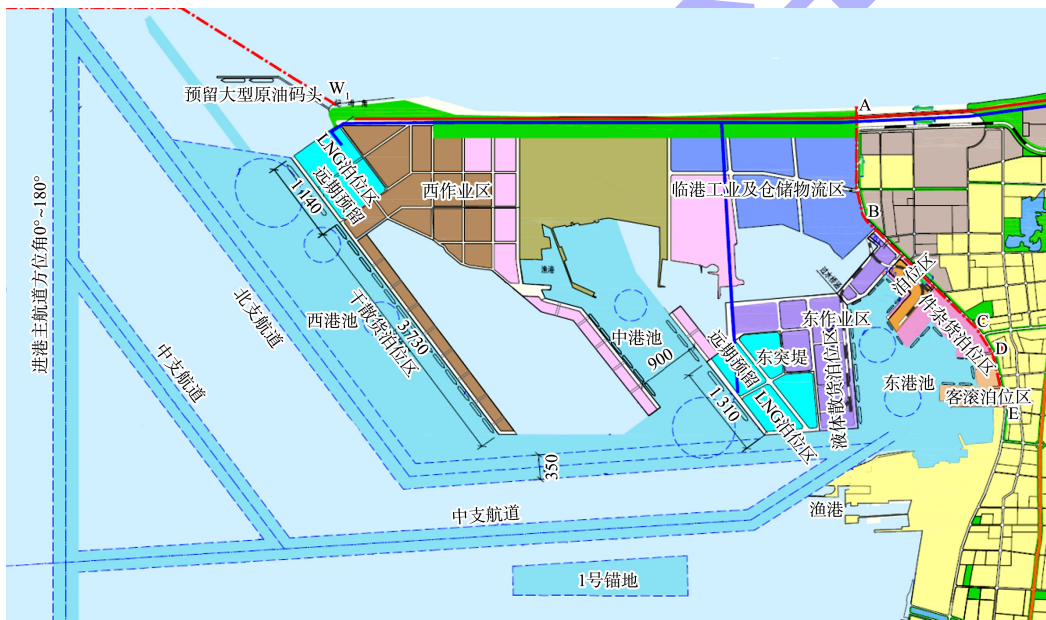


图1 工程地理位置 (单位: m)

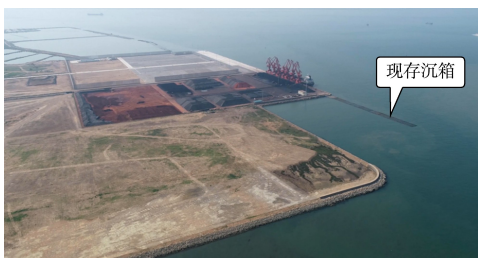


图2 现存沉箱位置

1.2 建设条件

1) 波流条件: 龙口海湾为朝西的半开敞式海湾, 北侧原为长达 8 km 的砣岬岛的连岛沙坝, 砣岬岛以北水域开阔, 工程位于龙口湾北侧, N、NE 向受砣岬岛和北侧防波堤掩护, 因此 NW—NNW 向波浪较大, 并且在无掩护、双百标准下, NW 向 $H_{4\%}$ 为 6.15 m, WNW 向 $H_{4\%}$ 为 6.09 m。

LNG 码头工程位于岬角防波堤南侧，涨潮时受防波堤挑流作用，在 LNG 码头外侧形成大范围环流，实测涨潮最大流速为 1.02 m/s。

2) 地质条件：工程位于水域开阔的深水近岸。岬角岛为岩基岛，是典型的陆连岛地貌，其中上部覆盖土层约 6~7 m，相对偏薄且土质较差；下卧强风化板岩，埋藏适中，岩面起伏较小，地

基承载力达 450 kPa，具有良好的力学性质，工程场地更适合重力式结构。

1.3 LNG 码头平面布置

本工程 LNG 码头采用蝶形布置，包括工作平台 1 座，位于泊位中央，靠船墩 2 座，系缆墩 6 座，均对称布置。LNG 码头平面布置见图 3。

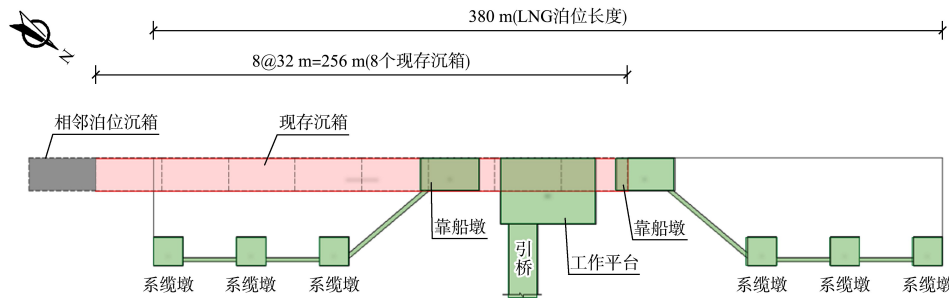


图 3 LNG 码头平面布置

2 沉箱利旧方案

2.1 现存沉箱结构

现存沉箱尺寸为 31.97 m×15.95 (16.95) m×20.8 m (长×宽(加前趾)×高)，前趾宽 1 m、底板厚 650 mm、前墙厚 400 mm、后墙/侧墙厚 350 mm、

隔墙厚 200 mm，共 28 个隔仓，尺寸为 3.65 m×4.21 m，混凝土标号为水下区 C35，水位变动区标号为 C35F300，单个沉箱质量为 4 600 t。8 个沉箱均已完成安装及箱内石碴、10~50 kg 块石回填和倒滤井回填施工。沉箱已实施断面见图 4。

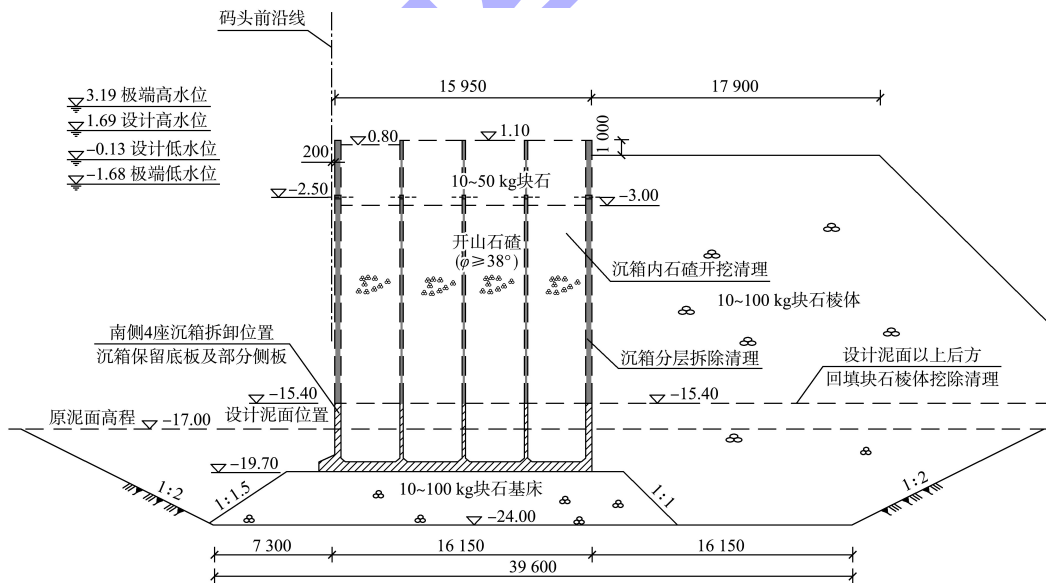


图 4 沉箱已实施断面 (尺寸: mm; 高程: m)

2.2 沉箱利旧方案 1

方案 1 为沉箱本体及内填料再利用。将沉箱本体及内填料用于 LNG 码头的工作平台和靠船墩结构，剩余沉箱起浮后拖航至指定弃废点进行爆

破丢弃，沉箱内回填料可作为新沉箱内填料或用于码头后方的驳岸加固工程。此方案沉箱需先通过技术检测评估。

根据现场实际情况，由于沉箱安放位置紧密，

若从中间沉箱开始起浮,施工过程中易与两侧沉箱发生碰撞,导致结构损坏且存在安全风险,因此无法原位利用。平面布置方案为:移位利用现存沉箱4个+拆除现存沉箱4个,沉箱拆除平面布

置见图5。工作平台位于泊位中央,尺寸46 m×32 m,利旧2个沉箱,沉箱需平面转90°放置,沉箱之间通过空心板连接。2座靠船墩利旧2个沉箱,系缆墩为新建沉箱。

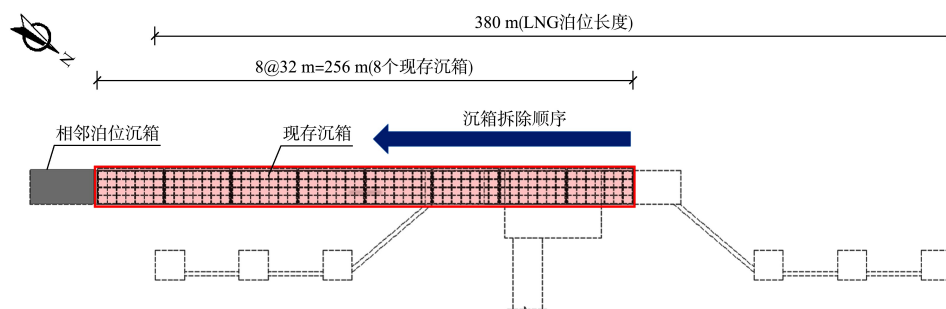


图5 沉箱拆除平面布置

2.3 沉箱利旧方案2

方案2为沉箱内填料再利用。现存8个沉箱全部拆除,仅利用沉箱内回填料作为新沉箱内填料或用于码头后方的驳岸加固工程,此方案无需检测评估。新建码头沉箱尺寸不受现存沉箱限制,平面布置更经济合理。

考虑到工序少、费用低,对沉箱使用原地机械拆除,破碎后再运至指定废弃点。使用重力斧破碎沉箱内外壁,抓斗抓除破碎物和沉箱填充物,通过驳船将破碎物等运至倾废点。

3 沉箱利旧可行性技术要点

3.1 新建码头平面方案设计

项目拟将现存沉箱再利用于LNG码头,作为LNG码头的工作平台和靠船墩。

采用方案1,利旧前需对已有沉箱进行技术检测评估,通过探摸、检测查清原沉箱水下基础、主体结构安全性、使用性及耐久性,为沉箱利用提供技术依据。沉箱起浮后,在近岸海域铺设临时基床,将沉箱放置在基床上进行二次复检,检测沉箱起吊、回填料清理过程中的受损情况,并出具检测和评估报告。若沉箱未通过技术检测评估,则沉箱本体不考虑再利用。采用方案2,仅对

内填料再利用。

3.2 施工工艺及工期

方案1为起浮旧沉箱后再利用,前期需对水域进行测量扫海及水下探摸,确定开挖范围。沉箱起浮前,首先原地第1次检测评估,沉箱内石碴开挖后,于近岸海域铺设临时基床,将沉箱起浮拖运并放置在陆上安放点;第2次对沉箱检测评估、结构加固修补,再将沉箱重新拖运到码头安放,剩余沉箱拖运至弃废点爆破拆除,如此再进行下一循环。由于沉箱仓格的统一尺寸为4.21 m×3.65 m,深度为20.15 m,无法使用大型抓斗,且石料为块石及石碴,需配备小型梅花抓进行开挖,开挖难度增大,施工效率低,部分施工还需赶潮作业,延长了施工工期,总工期约10个月。

方案2采用机械拆除沉箱,首先对沉箱周边水深测量及外围淤积物探摸,工程船使用重力斧对沉箱拆解,若沉箱内填充物影响沉箱拆解,则工程船吊机先挂抓斗抓除箱内填充物;再挂重力斧击打沉箱内外壁,将沉箱破碎成适宜的大小,使用夯锤整平拆解后的破碎物及原填充物,驳船运走破碎物,因工程进度不受拆除沉箱影响,工期略短,总工期约8个月。

3.3 工程投资

方案1的单项工程较多,但是总费用略低。

沉箱利用方案的投资对比见表1。可以看出,

表1 沉箱利用方案投资对比

方案	估算价值/万元								工程费用 (合计)
	旧沉箱起浮 托运施工	旧沉箱 拆除丢弃	旧沉箱 检测评估	旧沉箱 结构加固	旧沉箱 重新安装	旧沉箱拖运至 弃废点爆破拆除	4个新建沉箱预制安装 (用于工作平台和靠船墩)	回填料 利用	
1	3 616	-	60	360	2 360	1 852	-	-646	7 602
2	-	3 964	-	-	-	-	5 070	-646	8 388

4 沉箱利旧风险评估

工程 LNG 码头自身特点: 1) 采用蝶形或一字形布置; 2) 设计指标高, 结构安全等级为一级; 3) 现存沉箱结构尺寸较大, 内部仓格较小; 4) 港池水深, 且受岬岛岬角防波堤挑流作用, 波流较大; 5) 新建码头建设时间紧, 现存沉

箱数量较多。

根据利旧可行性技术要点, 从设计、施工和经济三大方面提炼6条风险因素, 并结合本工程 LNG 码头自身特点, 通过构建风险态势结构模型量化风险指数, 对沉箱利旧可行性做风险评估对比。两方案风险评估对比见表2。

表2 两方案风险评估对比

方案	风险指数					方案平均 风险指数	
	码头平面布置	沉箱检测评估	沉箱起浮或拆除风险	施工工艺	工程进度		工程投资
1	★★ 需结合现存沉箱尺度及位置综合考虑	★★★ 水下较难检测完整, 较难判定沉箱的耐久性及使用年限, 需起浮上岸进行二次复测	★★★ 沉箱在内填料开挖及起浮过程中可能受损, 沉箱质量难以保证	★★★ 水上施工潮流影响较大, 需要配备船型稳定的施工船舶进行施工, 沉箱起浮后, 需配备大功率拖轮进行拖运	★★ 沉箱拆除量多, 施工工期较长	★★ 若沉箱检查后无法使用, 或沉箱若因透水无法起浮, 将调整方案, 并额外增加费用	2.5★
2	★ 布置经济合理, 不受现存沉箱尺度及位置的限制	★ 无需检查评估	★★ 沉箱结构较强, 重力斧难以完全击碎沉箱, 且沉箱被击碎后, 存在不易挖除的情况	★★ 沉箱无带缆位置, 只能在沉箱外侧抛锚, 施工船舶就位存在一定困难	★ 不受拆除沉箱影响, 新建沉箱可与拆除沉箱同步进行	★★★ 新建沉箱费用略高	1.7★

注: “★”的数量代表风险的高低。

综上所述, 方案1在经济上略有优势, 但设计和施工中风险性均较高。沉箱经检测评估后还可能无法使用, 或沉箱因漏水或贯通性裂缝导致无法起浮, 使得方案不可行, 因此方案1的平均风险指数远高于方案2。

通过从不同角度全面分析风险因素, 探求利旧可行性, 对利旧风险进行整体把握, 综合比较风险可控程度, 推荐采用方案2。

5 结语

1) 若沉箱已安放多年, 其安全性和耐久性受

到一定影响, 利旧前需先进行技术检测评估; 若现有沉箱无法实现上岸二次复测, 沉箱裂缝宽度及深度在水下较难检测完整, 检测结果可能影响沉箱的耐久性及使用年限, 也存在起浮后经检测评估无法使用的风险。

2) 沉箱起浮有一定难度和风险, 甚至可能因漏水或贯通性裂缝的存在, 导致沉箱无法起浮, 且沉箱仓格内回填料开挖过程中难以保证沉箱不受损伤, 修整、鉴定有难度。

(下转第85页)