



装配式劲性混凝土结构 在外海码头水上逃生通道设计中的应用

来 俞¹, 张 蕊², 郭兆珈²

(1. 上海三航奔腾海洋工程有限公司, 上海 200441; 2. 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 针对现行规范中危险品码头逃生通道设计标准不明确, 已建工程中逃生通道位置设置不尽合理、无法确保紧急情况下实现多人次安全快速逃生等问题, 对劲性混凝土结构的受力特点及其在外海水工结构设计中的适应性等要素进行研究。提出了一种基于劲性混凝土结构的装配式水上逃生通道结构, 并应用于码头结构设计中, 总结出该结构的特点、重点难点问题及应对措施。结果表明: 该结构较好地解决了水上逃生通道的设置空间和施工水位等问题, 并且质量可控、安装方便、安全可靠, 可将其作为码头水上逃生通道设计的补充和替代方式, 使外海码头安全设施设置更完备。

关键词: 劲性混凝土; 危险品码头; 水上逃生通道; 装配式

中图分类号: U 656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)05-0161-06

Application of prefabricated steel-reinforced concrete structures in design of water escape passages at offshore wharfs

LAI Yu¹, ZHANG Rui², GUO Zhaojia²

(1. Shanghai Third Harbor Benteng Maritime Engineering Co., Ltd., Shanghai 200441, China;

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

Abstract: The design criteria of escape passages at dangerous goods wharfs are ambiguous in the prevailing specifications, and the locations of escape passages in existing projects are unreasonable and fail to ensure the safe and rapid escape of people in emergencies. Considering these problems, this study investigates the stress characteristics of the steel-reinforced concrete structure and its adaptability in offshore engineering structure design. As a result, it introduces a structure for water escape passages on the basis of the prefabricated steel-reinforced concrete structure and applies it in the design of the wharf structure. Furthermore, by summarizing the features of this structure, the paper also put forward countermeasures to tackle the major difficulties. The results show that the structure can remove the obstacles in the setting space and construction water level of water escape passages, featuring controllable quality, convenient installation, and assured safety and reliability. Hence, it is a supplement and alternative to the design of water escape passages at wharfs and is conducive to enriching the safety facilities of offshore wharfs.

Keywords: steel-reinforced concrete; dangerous goods wharfs; water escape passage; prefabricated

近年来, 随着“以人为本”的理念提出, 保护身心健康、尊重生命、实现人的安全价值文化不断深入人心, 安全问题也引起人们越来越多的关注。交通运输部印发《交通运输领域新型基础

设施建设行动方案(2021—2025年)》中指出: 标准支撑, 安全发展, 筑牢安全防线, 强化安全发展意识。交通基础设施运行效率、安全水平等有效提升, 并将水上交通安全应急保障技术攻坚工

收稿日期: 2022-11-15

作者简介: 来俞(1981—), 男, 工程师, 从事港口与航道工程管理、施工工作。

程作为“交通创新基础设施建设行动”的重点内容之一。码头作为重要的水上交通基础设施,根据装卸物料物理和化学性质的不同可分为普通码头和危险品码头。危险品货物通常具有易燃、易爆、有毒、污染等特点,危险性高。针对危险品码头“高危”的特点,加之外海码头通常离岸较远,一旦出现事故,现场人员安全逃生难度较大,也是早年码头设计中常被忽视的问题。

本文通过分析传统码头结构设计中应急逃生通道设计的现状和存在的问题,提出一种基于劲性结构的装配式外海码头水上逃生通道结构,以典型工程为例,总结该结构设计中的重点难点问题及应对措施,并将其作为传统逃生通道设计的补充和替代方式,使外海码头安全设施设置更完备。可为类似工程的建设提供参考。

1 现状及面临的问题

1) 现行规范对危险品码头逃生通道设计标准不明确。现行 JTS 165—2013《海港总体设计规范》^[1]中要求“危险品码头的主要出入口不宜少于2个,且宜位于不同方位”,该要求仅规定了接入码头的出入口,并未规定逃生通道设置,包括位置、形式等;而 JTS 158—2019《油气化工码头防火设计规范》^[2]中仅规定“油气化工码头应设置疏散通道以及疏散通道的设置要以码头出现火灾事故时人员能够安全快速撤离为基本要求,可以为水上疏散通道或陆上疏散通道”,同样仅仅是定性要求,未做详细规定。因此,在实际操作中,应急逃生疏散通道的设计往往依靠设计人员的个人认知,成果差异较大。

2) 已建外海码头逃生通道设计方式及局限性。目前已建的码头结构中针对逃生通道的设置通常有两种做法:其一,离岸连片式码头通常在码头后沿通过引桥设置与后方陆域连接,兼做疏散逃生通道。按照总平面设计规范要求,需设置2座以上引桥与后方陆域连接,作为陆上疏散逃生通道。然而,受使用要求的限制引桥并未布置在

码头两端,因此无法满足着火点在任何位置人员都能通过引桥安全撤离。另外,在满足功能使用的条件下,设置2座引桥作为逃生通道将增加工程投资,距离码头较远时,也为逃生带来困难,安全度降低。其二,墩式码头通常1座码头只设置1座与陆域连接的引桥。考虑逃生需求,常用的做法是在码头前沿两端头放置救生软梯,特点是使用寿命较短、限制载重人数较少、使用方便性差,当现场人数较多时,很难实现安全、快速的逃生。

2 劲性混凝土结构的适应性分析

2.1 结构特点及其应用现状

劲性混凝土结构是钢-混凝土组合结构的一种主要形式,是在钢筋混凝土内部加入型钢连成整体共同受力所形成的特殊复合材料。由于型钢芯犹如骨骼一般,可有效改善混凝土的延性,大大提高其抗震性能,越来越多地应用于大跨结构和地震区的高层以及超高层建筑。

2.1.1 劲性混凝土结构特点

1) 劲性混凝土是混凝土和钢结构的组合结构,其性能优于二者简单叠加^[3]。通常劲性混凝土结构的断面大于钢结构,截面刚度增大。外部包附的混凝土对内部钢结构的弯矩变形产生一定的限位约束,克服了钢结构易屈曲失稳的特性,可提高钢结构的防腐性能,在耐久性大幅提高的同时,也使钢结构承载力得到充分发挥。

2) 截面长度小,抗剪强度高。与传统钢筋混凝土结构相比,型钢的配置大幅提高了结构的承载力和刚度,因而截面尺度相对较小,构件含钢量更高,使得结构本身具有更好的延性,不会因超筋引起脆性破坏。

3) 钢材用量少,降低工程投资。在满足相同受力要求的情况下,劲性结构较纯钢结构可节约钢材约50%,经济性更佳。

4) 结构轻、体积小、便于整体预制和吊运安装。劲性混凝土结构与传统钢筋混凝土结构相比,

所含混凝土与钢材比例的差异使得其结构更轻, 体积更小, 因此为结构吊运和安装提供一定的优势。该结构的应用大大减少混凝土现浇量, 有效缩短工期。在码头结构装配式设计中, 解决了大体积混凝土因体积大、质量大导致吊运和安装难的技术问题。

2.1.2 劲性混凝土结构的发展和应用现状

劲性混凝土结构起源于 20 世纪初, 以其独特的抗震和耐火性在日本得到研究和迅速发展, 并广泛应用。20 世纪 80 年代后我国工程界开始进行探索, 并在随后的 10 a 间进行了系统的试验和理论研究。目前, 劲性混凝土结构多应用在高层、超高层建筑和桥梁工程中。并以“质量小、强度高、跨度大、装配化程度高、施工速度快”等优点实现了桥梁工程中的重大技术突破^[4]。

2.2 适应性

基于外海码头离岸较远的地理位置特点, 为便于现场人员在紧急情况下快速逃生, 通常需要考虑紧急水上逃离方式。劲性混凝土结构在外海水工建筑物设计中的优点:

1) 对外海自然条件适应性强。外海码头常常具有风大、浪大、流急、水位变化大等特点, 结构常年承受风、浪、流的联合作用, 且海水及空气中的氯离子含量高, 腐蚀性强, 因此对结构的强度和耐久性要求高。劲性混凝土结构结合了钢结构强度高、延性好和混凝土结构抗腐蚀、耐久性好的特点, 对外海自然条件具有较强的适应性。

2) 质量和体积小对安装位置的适应性强。码头使用特点对逃生通道设置的要求: ①逃生通道不能设置在影响船舶靠泊作业的范围, 但要求人员在危险情况下水上撤离, 因此逃生通道只能设置在码头两端, 且不突出码头前沿线的位置; ②要保证全作业水位均形成可靠通道, 因此结构受到安装位置、现场浇筑施工水位等的限制。针对上述特点, 劲性混凝土的大部分结构可工厂整体预制, 体积小、吊运、安装方便。

3) 耐高温、防火性能好, 火灾安全适应性

高。危险品码头具有易燃、易爆的特点, 火灾安全要求高, 劲性混凝土结构具有耐高温、防火性能好的特点, 在危险品码头水工建筑物构件设计中具有较高适应性。

4) 预制化程度高、工程质量可控。以外海逃生通道为例, 所有构件可全部工厂整体预制、安装, 质量可控, 一定程度上提高了逃生通道在紧急情况下的安全性。

3 工程实例

3.1 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油品及液体化工码头分两期建设, 位于鱼山作业区南部岸线西侧, 小鱼山南端附近, 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^[5-6]。

一期建设 4 个 5 万吨级液体化工泊位(1[#]~4[#]泊位)、1 个 5 万吨级和 3 个 10 万吨级油品泊位(5[#]~7[#]泊位), 二期建设 5 个 2 000 吨级泊位(结构按 1 万吨级设计)(8[#]~12[#]泊位), 码头总长 2 789 m, 其中 2 464 m 为连片式布置, 325 m 为蝶形布置, 通过 2 座引桥与后方陆域连接。码头总平面布置见图 1。

该工程码头规模大, 码头总长近 3 km, 虽然总体布局上满足海港总体设计规范中“出入口不宜少于 2 个”的要求, 但码头端部距离引桥均较远, 其中 7[#]泊位的最西端距 2[#]引桥约 1 075 m, 12[#]泊位东端距 1[#]引桥约 1 083 m。因此, 提出了在码头结构设计中需增设固定式应急逃生通道设计的建议。

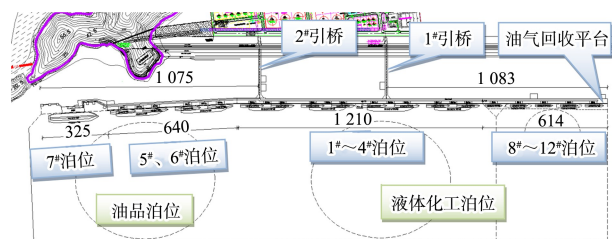


图 1 码头总平面布置 (单位: m)

3.2 方案设计

3.2.1 设计难点

1) 码头规模大, 但可设置水上逃生通道的空间位置少。本工程码头为大型炼化一体化项目配套码头, 主要承担着后方炼厂的产品出运任务。从平面位置上看, 码头装卸区采用“一大兼两小”的布置方式, 每个泊位布置 3 个装卸区, 充分兼顾大、小船靠泊需求, 因此工程靠泊船只具有船型跨度大、船舶数量多、靠泊频次高的特点。为兼顾任意着火点位置均有逃生通道, 在码头前沿泊位两端设置固定式水上逃生通道较为适合。但 12[#]泊位东端码头后沿设有油气回收平台, 平台上

布置有大量的油气回收设备和管线, 紧急情况下人员通行不畅且危险性高。因此, 在 12[#]泊位码头东端前沿设置水上逃生通道较为合理。从纵向空间来看, 采用常规的钢筋混凝土踏步结构, 将逃生通道设置在码头 80[#]排架西侧 (位置 1), 将结构下部与水平撑连接, 结构下方与下横梁底边和侧边距离均较近, 难以实现紧急情况下较多人员的救援需求, 因此该位置的选择不合理; 若将其设置在码头 80[#]排架东侧 (位置 2), 常规的混凝土踏步将超出码头前沿东侧边线, 占用岸线, 因此须大幅调整踏步的倾斜角来满足岸线需求。逃生通道设置位置对比见图 2。

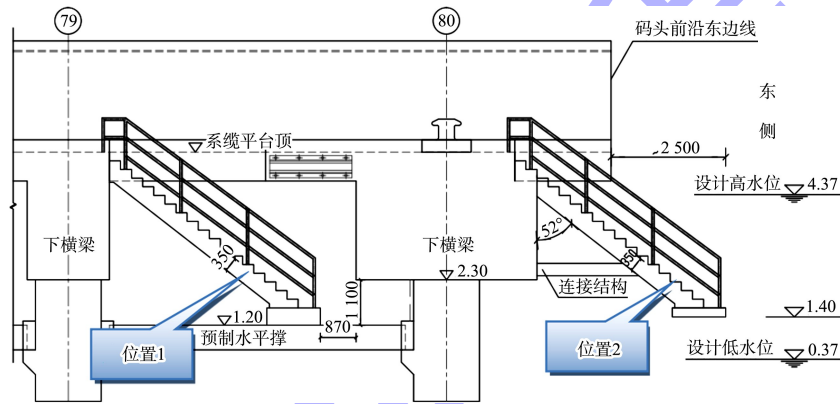


图 2 逃生通道设置位置 (高程: m; 尺寸: mm)

2) 受施工水位限制, 结构设计难度大。本工程为高桩梁板式结构, 上部为现浇横梁、预制纵向梁系及叠合面板结构。12[#]泊位东端 80[#]为刚性双桩排架, 横梁较常规排架横梁在结构上有所放大, 但现浇横梁底高程为 2.30 m (施工水位),

设计高、低水位差 4.00 m, 设计低水位高程为 0.37 m, 在满足安全作业条件下的人员逃生, 逃生通道结构底高程应在 1.40 m 左右, 采用常规现浇混凝土踏步结构 (图 2) 难以满足施工水位要求。码头东端前沿立面见图 3。

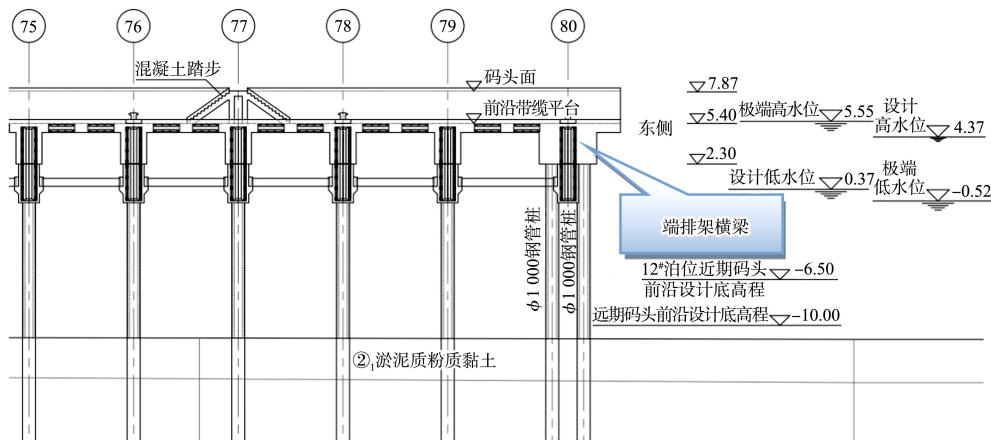


图 3 码头东端前沿立面 (高程: m; 尺寸: mm)

3) 外海风、浪、流联合往复作用, 结构受力难以保证。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, 涨潮流为 1.8 m/s, 落潮流为 1.5 m/s。若采用预制钢筋混凝土踏步结构, 在同时满足逃生通道宽度、构造需求以及全作业水位逃生使用需求情况下, 势必带来结构质量过大的问题。另外, 结构底面高程与下横梁底高差约 1 m, 较长的悬臂结构在外海风、浪、流联合往复作用下, 混凝土结构易出现疲劳破坏现象, 因此结构受力要求难以保证。

3.2.2 设计要点

针对工程特点难点, 为满足紧急情况下现场作业人员水上逃生需求, 采用基于劲性混凝土结构的整体预制装配式结构, 其设计方案及关键技术问题包括:

1) 满足全作业条件下人员安全水上逃离, 结构需满足设计高、低水位之间任意水位条件下的人员登船需求。

2) 逃生通道需要兼有实体踏步一样的尺寸宽度, 避免紧急情况下人员拥挤出现安全隐患。

3) 该逃生通道位于码头前沿, 且满足使用条件下, 结构底高程较低, 因此设计中逃生通道踏步须采用透空结构, 大幅减小结构所受的波浪力和水流量, 确保结构安全使用。

4) 逃生通道采用整体预制装配式结构, 包括: 逃生通道主梁、逃生通道踏步、栏杆、连接结构等主要构件。其中通道主梁、踏步、以及连接结构为主要受力构件, 均采用劲性混凝土结构。连接结构一端与逃生通道主梁焊接 (与逃生通道主体结构一同工厂预制), 另一端与码头结构上的预埋钢板焊接, 为结构提供支持, 满足受力需求。逃生通道上的栏杆焊接在通道主梁上, 工厂预制。但因栏杆刚度相对较小, 运输过程中应进行临时防护^[7]。逃生通道结构见图 4, 码头东端前沿应急

逃生通道安装立面见图 5。

5) 逃生通道主体结构需要通道预埋钢板焊接与主体结构连接, 因此预埋钢板位置的设置需满足施工水位要求, 同时焊接完成后需采取防腐措施。

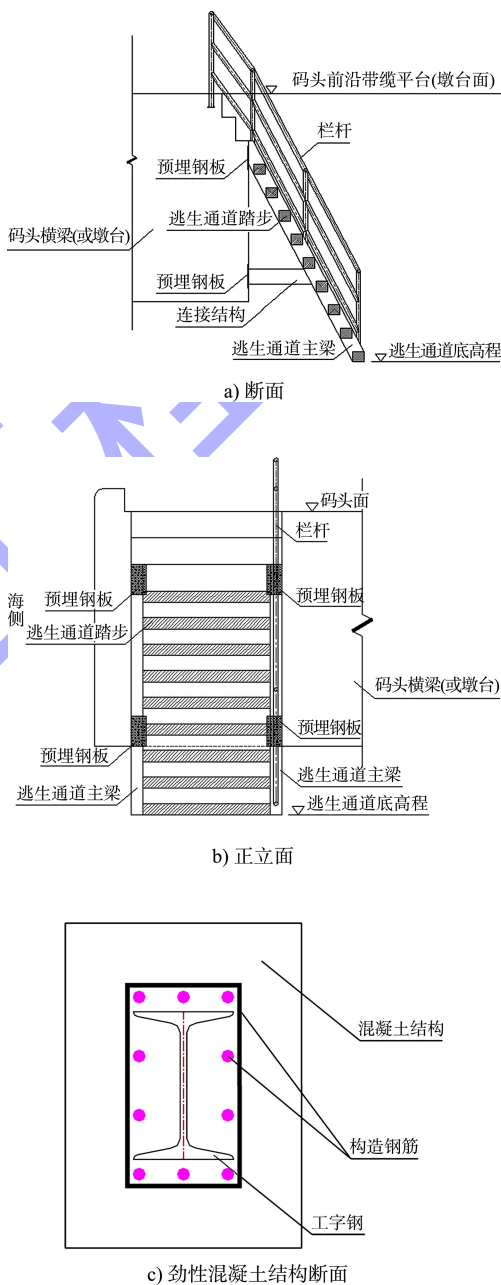


图 4 逃生通道结构

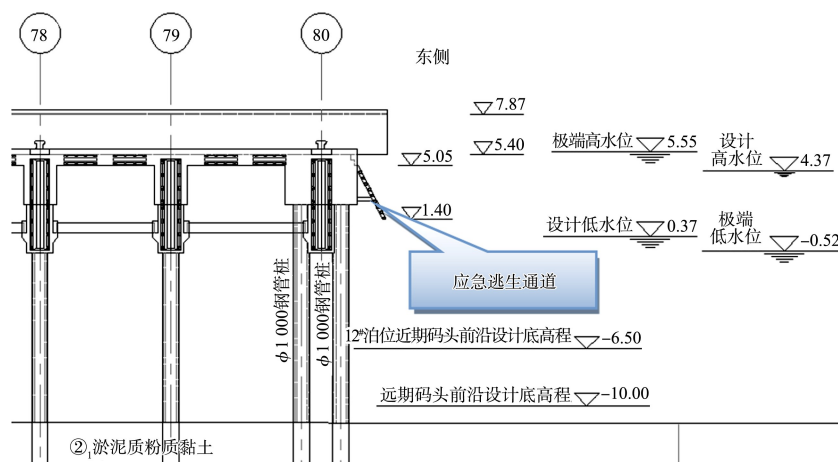


图5 码头东端前沿应急逃生通道安装立面 (高程: m; 尺寸: mm)

4 结语

1) 提出现行规范中对于危险品码头逃生通道设置存在的弊端,总结传统危险品码头设计中存在两个主要问题:一是因使用功能和投资限制,逃生通道位置设置不尽合理;二是常用软梯结构耐久性差、载重低、使用不便等特点,无法确保紧急情况下实现多人次安全快速逃生需求。

2) 利用劲性混凝土结构质量和体积小、强度高、耐火及耐久性好的特点,应用于外海水工建筑物设计中具有一定的适应性。

3) 将劲性混凝土结构的装配式外海码头水上逃生通道结构用于工程,很好地解决了逃生通道设置空间和施工水位问题,同时满足全作业水位条件人员安全逃生需求,可作为传统逃生通道设计的补充和替代方式,为类似工程的建设提供参考。

参考文献:

[1] 中交水运规划设计院有限公司,中交第一航务工程勘

察设计院有限公司.海港总体设计规范:JTS 165—2013[S].北京:人民交通出版社,2014.

[2] 中交水运规划设计院有限公司,交通运输部公安局.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.

[3] 刘灿.劲性混凝土粘结性能的试验研究[D].长沙:湖南大学,2002.

[4] 林元培.南浦大桥与扬浦大桥[J].土木工程学报,1995(6):3-10.

[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,2018.

[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,2018.

[7] 张蕊,冯浩,朱忠余,等.基于劲性结构的外海码头水上逃生通道:202110756867.X[P].2021-09-28.

(本文编辑 赵娟)

编辑部声明

近期不断发现有人冒用《水运工程》编辑部名义进行非法活动,他们建立伪网站,利用代理投稿和承诺上刊等手段进行诈骗活动。《水运工程》编辑部郑重声明,从未委托第三方为本编辑部约稿、投稿和审稿。《水运工程》编辑部唯一投稿网址:www.sygcc.com.cn,敬请广大读者和作者周知并相互转告。