

## 高桩码头承台结构扩建改造工程

张永金, 王启茂

(中港第一航务工程局第一工程公司, 天津 300456)

**摘要:** 目前, 我国港口的突出问题是设备老化, 装卸效率低下, 不适应国际航运事业的快速发展。因此, 必须对港口进行适应性改造。文章重点介绍了高桩码头承台结构扩建改造的 5 种型式及对天津港码头改造的情况。

**关键词:** 高桩码头; 扩建改造; 承台结构型式; 钢管桩; 基础

**中图分类号:** U656.113      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1003-3688(2004)06-0025-03

## Expansion and Reconstruction of High-Level Deck Supported on Piles

ZHANG Yong-jin, WANG Qi-mao

(No. 1 Eng. Co. of CHEC-Tianjin Port Const. Corp., Tianjin 300456, China)

**Abstract:** Presently the prominent problems in our ports are ageing equipment and low handling efficiency, making the ports unable to adapt themselves to the rapid development of the international shipping industry. It is therefore necessary to reconstruct such ports to make them more adaptable. The paper focuses on the five methods applicable to the expansion and reconstruction of high-level deck structure supported on piles and the works carried out to renovate some wharves in Tianjin Port.

**Key words:** piled wharf; expansion and reconstruction; high-level deck; steel tubular pile; foundation

高桩码头是我国港口建设 50 多年来采用最早、应用最广泛的码头型式, 祖国大陆长达 1.8 万 km 的海岸线上, 在渤海湾西侧、长江三角洲和珠海、湛江等地都建有众多的高桩码头。截止 2002 年底的统计资料, 内河及沿海港口共拥有生产性泊位 33 600 多个, 其中深水泊位 835 个, 高桩码头就占 580 个, 约为总数的 70%。这些建成的高桩码头多数采用钢筋砼基桩, 泊位水深大多在 9.0~10.0 m。这也与国际上第二次世界大战结束后的世界大型港口水深仅 10.7 m 是相一致的。但是在 20 世纪 70 年代后, 世界上大型港口普遍加深到 12 m 以上, 现已有 50 多个港口能接纳吃水 15 m 的 10 万吨级的船舶, 20 多个港口能接纳吃水 18 m 的 20 万吨级船舶。目前国外新建的大型港口, 一般是为各类集装箱服务的枢纽港, 其航道、泊位的水深都具备 16 m 以上; 为大型油轮和散货船服务的, 水深具备 22.5~24 m。航运业竞争十分激烈, 提高竞争力的最有效方法是降低成本、降低运价吸引货主。船舶大型化、专业化, 货物散装化和集装箱化是适应海运量持续增长和航运市场激烈竞争的必然结果, 成为新一轮航运革命的标志。而深水港口和高效专用泊位的建设是航运业竞争的必然要求。近年来, 随着国际航运

事业的快速发展和我国加入 WTO 后, 国内港口建设规模不断扩大, 逐步向大型化、专业化方向发展, 重点建设的上海、宁波、大连、天津、青岛、深圳等主要港口, 无论新建和改扩建的集装箱码头的水深多达到 15 m 以上, 以迎接超巴拿马型集装箱船时代的到来。

目前, 我国港口的突出问题是设施老化, 装卸效率低下, 港口城市的作用减弱, 因此必须进行港口改造才能适应形势的需要。据国外资料介绍, 形成港口改造的主要原因 87% 是因为泊位水深太浅、码头前沿太窄、堆场不足, 尤其是水深太浅、码头前沿太窄更是最重要问题。要增加码头水深, 从国内外码头结构演变历史看, 采用加宽承台增加水深的方法是较为合理的。许多小码头改造成大码头就是如此实施的。

世界海运发展趋势是大型船舶的高效运输, 杂货泊位将逐步被集装箱泊位所代替, 杂货泊位较多的港口, 不可避免也将面临着改造的任务。因为集装箱运输发展很快, 有些大型港口力求在较短时间内改造现有泊位, 以利于第四代、第五代集装箱船靠泊作业。同时, 国家未来燃料需求的发展和能源、钢铁工业结构的改造, 也将带动港口专业泊位的建设和改造工作。

预计改造老码头使港口现代化的发展势头会逐渐强盛起来, 步子会加快。我国“十五”计划期间的港口建设事业要从主要依靠上新项目扩大建设规模转变到新建、改扩建

收稿日期: 2004-09-10

作者简介: 张永金 (1970—), 男, 工程师, 从事港口工程施工工



并重, 就是一个十分明显的告示。

在可行的情况下, 改造码头工程常常比建全新的工程费用低、用时短, 所以应该认为改造老码头、小码头势在必行, 并将迅速发展。

### 1 高桩码头承台结构扩建改造的型式

由于运输船舶的尺度增加, 所以需在已有高桩码头前沿提供更大的水深。在一般情况下, 增大水深都会造成岸坡稳定问题, 如何解决这个问题常有各种方法可供采用。现仅列举 5 种。

#### (1) 新码头结构法

在已有码头前沿增建一座新码头, 即新建一座前方承台, 这种方法可行性要比其他方法可行性大, 且简单易行, 施工速度快, 可使码头前沿增加宽度和面积, 水深增加也大, 多有采用, 但这种方法造价昂贵。

#### (2) CDM 法

在已有码头前沿坡脚的地基土内建造水泥土挡土墙的结构设施, 或者在岸坡处用水泥浆或代用品进行土壤灌浆, 以便获得边坡稳定性。但是这种方法也是费用昂贵, 且施工技术较复杂。

#### (3) 前板桩结构法

在已有码头前沿建造板桩墙。如果采用无锚板桩, 施工时使用潜水液压振动打桩锤或水下打桩的方法, 把桩顶打至泥面处以确保码头岸坡稳定和港池疏浚作业安全; 如果采用有锚板桩, 贴近码头前沿筑打一排钢板桩墙或钢筋混凝土板桩墙, 利用老码头锚碇, 或者采用工字钢锚杆, 斜度 1: 1.3, 由打桩船打入。

1997 年 12 月东莞海腾 5 000 吨级集装箱码头, 高桩梁板结构, 在靠近码头前沿施打一排挡泥钢板桩墙, 板桩顶打至水下, 使码头前沿水深增加和浚深时边坡稳定。

2002 年蛇口港集装箱码头二期工程 3 号泊位与原有 2 号泊位过渡段, 水深由  $-13.2$  m 增至  $-17.0$  m, 采用直径 1.0 m 灌注桩组成一系列锚板桩墙, 墙前后的泥面高差最大处达 3.8 m, 原边坡稳定。

#### (4) 大型浮式护舷法

在保持原有水下地基土坡度的情况下, 船舶和码头之间设置大型浮式护舷, 使前沿水深增加。这种方法投资小, 设施简单, 但是使用时有一定限制, 存在着起重机外伸距增加的问题以及上下船舶的跳板问题。

#### (5) 固定式钢箱体护舷法

在船舶与码头之间加设一固定式箱体, 码头胸墙埋设锚固螺栓固定箱体, 再将橡胶护舷固定在箱体外侧, 意即护舷向外侧平移。秦皇岛港某码头采用此法, 使护舷向外侧平移出 2.2 m, 水深增加 1.5 m, 使 3.5 万吨级码头改造成 5 万吨级泊位。

为增加高桩码头前沿水深, 常常是在原码头岸壁前方设置承台或板桩墙, 这样可以使岸坡达到稳定所要求的安全度。但是国外也不乏对原有岸坡加固处理后直接浚深的工程实例。例如, 塞浦路斯 Larnace 港, 美国罗文兰州 Provi-

dence 港的改造工程都采用这种方法, 使码头前沿水深由 11.7 m, 10.0 m, 9.9 m 分别增加到 14.7 m, 12.0 m, 12.0 m, 这些码头岸坡加固处理的措施是地基灌浆、钻孔灌浆整体固化或设置钻孔灌注桩支护等。在国内尚无这种处理方法的工程实例, 主要仍然采用新码头结构法。

### 2 天津新港码头承台结构扩建改造工程

1999 年 6 月开始进行对天津新港老码头承台结构扩建改造工程, 现已完成 11 个泊位。扩建改造方法均采用加宽承台的新码头结构法, 承台结构多采用钢管桩基础钢筋混凝土梁板式。这 11 个泊位是 25~29 号和 36~41 号, 使用基础钢管桩 2 868 根, 钢材 5.3 万 t, 数量很大, 约为国内第一座钢管桩基础的浙江北仑码头基桩用钢量的 15 倍, 居国内各大港口使用钢管桩数量之首。

天津港地基土层在高程  $-20.0$  m 或  $-23.0$  m 以下为粉细砂层, 最小厚度 7~8 m, 密实状态, 标准贯入击数一般  $\geq 30$  击, 桩端极限承载力 6 000~7 500 kN/m<sup>2</sup>; 在高程  $-20.0$  m、 $-23.0$  m 以上的覆盖层为淤泥质粘土、淤泥质亚粘土、亚粘土、亚砂土, 土质较弱, 较好的亚砂土层桩端极限承载力仅为 3 000 kN/m<sup>2</sup> 左右。船舶大型化, 码头前沿水深增加到 15 m 以上, 为保证桩基承载力和满足弹性长桩最小埋深的要求, 码头承台结构扩建改造工程的桩基必须穿过较厚的密实细砂层进入更深处的持力层。为此采用开口钢管桩自然是一个较好的解决方法, 采用钢筋砼空心方桩、砼管桩配合水冲锤击下沉, 在设计与施工上都会有许多问题, 而且工程进度也无法满足业主要求, 对扩建改造工程的经济效益十分不利。

天津港码头承台结构扩建改造工程, 采用钢管桩基础的 11 个泊位是:

#### (1) 天津港 25 号、26 号泊位

泊位岸线总长度 403 m, 在原有钢筋砼基桩梁板式码头前方扩宽加深, 承台拓宽 36 m, 水深由  $-10.0$  m 增加到  $-19.2$  m, 停靠 10 万~15 万 t 散货船, 并预留发展用于第五代集装箱船泊位。基桩为  $\varnothing 1.2$  m、 $\varnothing 1.0$  m 的开口钢管桩, 桩长 35~39 m, 基桩的极限承载力分别为 12 000 kN、8 000 kN。每个排架 8 根桩, 其中 4 根直桩, 4 根斜桩, 斜桩坡度 3: 1, 排架间距 8.0 m, 桩总数 672 根。承台上设有 30 m 轨距的集装箱装卸桥吊。

#### (2) 天津港集装箱公司 27 号泊位

泊位岸线总长度 450 m, 在原有承台前方增加宽度为 40.5 m 的钢管桩基础钢筋砼承台, 前沿水深达  $-15.2$  m (原承台前沿水深  $-12$  m), 可以停靠 7 万吨级集装箱船或第五代集装箱船, 年通过能力由 10 万 TEU 增加到 30 万 TEU。

钢管桩  $\varnothing 1.2$  m、 $\varnothing 1.0$  m, 桩端标高  $-32.5$ ~ $-37.0$  m, 桩长约 39.5 m, 桩数 834 根。由于地质条件变化, 较大部分基桩打入深度增加 10 m, 桩长达到 47.5 m, 为此曾经在开口桩尖内作成“十字”形铁板分隔, 长度为 2 m、3 m, 以期获得闭塞效应减少桩长, 但无任何效果, 究其原因是在



尖处均为粉细砂层, 近似土性材料不产生闭塞效应。后期又改变方法采用半封闭式桩尖, 其封闭面积为  $0.83 \text{ m}^2$  (桩径  $1.2 \text{ m}$ ) 和  $0.59 \text{ m}^2$  (桩径  $1.0 \text{ m}$ ), 占桩径全部截面积的  $73\%$  和  $75\%$ , 这种半封闭式桩尖的桩一共制作 260 根。试打结果均未能穿透密实砂层达到预定深度, 桩尖仅进入砂层  $2\sim 3 \text{ m}$ , 与一般断面为  $65 \text{ cm} \times 65 \text{ cm}$  的钢筋砼方桩打入情况相同。由于打不下去, 无任何效果, 大多数桩的桩尖只好预先切割下来再打, 造成了许多材料的浪费, 值得吸取教训。

该泊位的承台结构, 每个排架布置 9 根桩, 其中 7 根直桩, 2 根坡度  $3:1$  的斜桩, 排架间距  $8 \text{ m}$ , 承台上设有  $30 \text{ m}$  轨距和  $16 \text{ m}$  轨距的装卸桥吊轨道, 在轨道下增设两根直桩承受垂直荷载, 此处排架间距变成  $4 \text{ m}$ 。

### (3) 天津港集装箱码头 28 号、29 号泊位

天津港集装箱公司于 2001 年对 28 号、29 号泊位进行扩建改造, 码头承台向海侧拓宽  $40.5 \text{ m}$ , 水深由原来  $-12.0 \text{ m}$  增加到  $-15.2 \text{ m}$ , 这两个泊位总长度  $375 \text{ m}$ , 可以停靠第五代集装箱船装卸作业, 设计船型为  $68950 \text{ t}$ 。

拓宽的承台采用开口钢管桩基础, 有少量半封闭式桩尖, 桩径  $1.2 \text{ m}$  和  $1.0 \text{ m}$  两种, 桩端标高为  $-35.0 \text{ m}$ , 桩长约  $37.0 \text{ m}$ , 钢管桩共计 666 根。承台的每个排架 7 根直桩, 1 对坡度  $3:1$  的斜桩, 排架间距  $8.0 \text{ m}$ , 对于  $30 \text{ m}$  轨距装卸桥吊轨道梁下在两排架之间增加一对直桩, 梁下桩距减至  $4.0 \text{ m}$ , 桥吊前轨道距码头前沿线  $7.5 \text{ m}$  用于行车道, 这在天津港首次采用。

### (4) 天津港东突堤北侧 36 号~41 号泊位

天津港东突堤北侧码头承台扩建工程是对原有天津港第一座沉箱重力式、基础为“CDM”方法加固的万吨级深水泊位, 其总长  $1282 \text{ m}$  (包括东西两端的高桩承台梁板结构的工作船码头长度  $80 \text{ m}$  和过渡段长度  $80 \text{ m}$ ), 进行拓宽承台, 浚深港池改造。

扩建改造后, 承台增宽  $52 \text{ m}$ , 港池水深由  $10.0 \text{ m}$  和  $11.5 \text{ m}$  增加到  $15.20 \text{ m}$  (远期港池水深  $17.0 \text{ m}$ ), 码头顶标高  $6.0 \text{ m}$ , 为可供停靠 4 个第六代集装箱船的泊位, 年吞吐能力将达到 150 万 TEU。码头采用高桩梁板结构型式, 码头面均布荷载  $q=30 \text{ kPa}$ ,  $30 \text{ m}$  轨距装卸桥,  $36\sim 40 \text{ t}$  集装箱叉车, 集装箱牵引拖挂车,  $30 \text{ t}$  轮胎式起重机。

由于承台增加的宽度大, 工作性能也不同, 所以把承台分为前后两部分。前承台宽  $36 \text{ m}$ , 采用钢管桩基础, 上部为连续梁板结构; 后承台宽  $16 \text{ m}$ , 采用预应力混凝土桩基, 上部为简支梁板结构。码头全长分为 23 段, 段间设伸缩缝, 一般每段长  $52.57 \text{ m}$ 。纵向 8 个排架, 排架间距  $7.0 \text{ m}$ ; 横向排架内桩距  $7.0\sim 8.0 \text{ m}$ , 共有 9 根桩 (工作船码头部位为 10 根桩, 7 根钢管桩, 2 根或 3 根为砼桩), 每个排架内

前承台设有一对叉桩, 其他均为直桩, 在伸缩缝两侧的两个排架全部为直桩, 没有叉桩。为提高码头结构抗震性能, 保证码头建筑纵向刚度, 在码头的第 1 段、第 2 段、第 9 段、第 16 段各布置纵向叉桩 4 对, 第 23 段布置纵向叉桩 8 对, 码头叉桩的倾斜坡度均为  $4:1$ 。

前承台每个排架内位于码头前沿的两排直桩及一对叉桩, 钢管桩径  $1200 \text{ mm}$ , 共 4 根, 其余桩的直径  $1000 \text{ mm}$ ; 基桩直径  $1200 \text{ mm}$  的 780 根, 直径  $1000 \text{ mm}$  的 525 根, 共 1305 根, 钢材  $22868 \text{ t}$ ; 后承台  $650 \text{ mm} \times 650 \text{ mm}$  预应力混凝土方桩 381 根, 混凝土量  $3821 \text{ m}^3$ 。

钢管桩桩尖设计标高  $-32.0\sim -42.0 \text{ m}$ ; 砼桩设计桩端标高  $-25\sim -35 \text{ m}$ , 入粉砂层  $1.5 \text{ m}$  左右。桩的设计极限承载力为: 钢管桩  $\varnothing 1200 \text{ mm}$  (斜桩)  $820 \text{ t}$ ,  $\varnothing 1000 \text{ mm}$  (直桩)  $530 \text{ t}$ , 砼方桩  $495 \text{ t}$ 。锤击沉桩采用 D-100 型柴油锤, 二挡油门施打, 采用标高和贯入度双控方法, 并以标高为主。最后  $10 \text{ cm}$  贯入度  $e$  值, 钢管桩  $e < 5\sim 8 \text{ mm/击}$ ; 砼方桩  $e < 3\sim 5 \text{ mm/击}$ , 桩端距设计标高不大于  $2 \text{ m}$ 。按照上述两条打桩控制标准, 多数桩桩端标高均能达到设计规定值, 而有较大数量钢管桩的贯入度偏大, 达到  $8\sim 16 \text{ mm/击}$ , 但经高应变检测承载力均符合设计要求。

钢管桩防腐采用防腐涂层加牺牲阳极保护, 防腐涂层采用 725L-H53-9 型环氧重防腐涂料, 设计使用期  $15\sim 20 \text{ a}$ 。

后承台边排砼桩桩位与“CDM”深层水泥拌和体基础的净距离  $1.5 \text{ m}$ , 打桩过程没有发生困难, 但大多数桩均发生向“CDM”块体基础移位  $10\sim 30 \text{ cm}$ 。分析原因是桩贯入过程中前后两个方向土压力不均衡的缘故。在码头西端的连接段 (长  $80 \text{ m}$ ) 内有 3 根直径  $1.0 \text{ m}$ ,  $\delta=14 \text{ mm}$  (桩端内壁加  $\delta=16 \text{ mm}$  钢箍) 的钢管桩, 需穿越“CDM”水泥拌和体, 采用 D-100 型柴油锤, 三挡施打, 在顺利穿越厚  $6.0 \text{ m}$  基床块石层后, 进入其下方厚约  $9 \text{ m}$  的“CDM”水泥拌和体, 打入“CDM”体  $5.0 \text{ m}$  后, 贯入度急剧减少到  $2 \text{ mm/击}$ , 难以再继续贯入, 经高应变动测极限承载力  $480 \text{ t}$ , 桩端阻力很大。后来在钢管桩内岩芯钻取试件, 无侧限抗压强度平均值为  $5.2 \text{ MPa}$ , 这 3 根桩均采用嵌岩灌注砼桩的方法施工。

### 3 结语

进行老码头扩建改造一般会有许多条件制约: 施工期间要保证港区码头正常装卸作业; 改造工程施工工期要求紧; 为追求集装箱吊桥提前到岸, 承台某一部分必须提前竣工等。但是实践证明老码头扩建改造采用新码头结构法是最优方案, 只要优化设计, 采用构件大型化、少品种、空心化、预制装配化方式, 力求减少水上现场浇筑砼数量, 完全可以获得良好效果。