

# 浅析坐床式大圆筒码头结构设计

连长秋

(广东省航运规划设计院有限公司, 广东 广州 510050)

**摘要:** 由于大圆筒码头结构土压力计算理论、相互作用的机理尚不明确, 目前在现行规范中还没有可信赖的计算公式, 本文结合工程实例, 通过现有规范和 staad 软件空间建模, 分析大圆筒结构受力及配筋, 可供同类码头结构设计参考。

**关键词:** 大直径圆筒; 临时底板; 土压力; 有限元

**中图分类号:** U656.1      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1006—7973 (2021) 10—0134—03

## 1 引言

坐床式大圆筒结构与其他常见的重力式码头结构型式相比具有一定优势, 受力条件好, 曲面上的主动土压力在理论上会比库伦土压力计算值小, 但因该结构与土体之间互相作用的机理非常复杂, 还没有成熟的经验, 目前在现行规范中还没有可信赖的计算公式, 本文结合钦州港某工程实例, 通过现行规范和 staad 软件空间建模分析, 较好地完成了大圆筒结构内力计算及配筋, 已顺利通过专家评审。同矩形沉箱方案比较, 混凝土量可减少 35% 以上, 码头工程费用仅为沉箱方案的 75%, 具有较好的技术和经济效益。

## 2 工程概况

本工程由南向北布置 3 个 5 万吨级通用泊位, 泊位总长 757m, 陆域总面积 79hm<sup>2</sup>, 陆域纵深约 1100m, 码头面高程 6.30m。在规划已确定其水、陆域位置的基础上, 综合考虑与后续工程的衔接、装卸工艺特点及工程地质条件, 本水工建筑物采用坐床式钢筋砼大直径圆筒结构。本工程南端与旁边码头衔接处已建有 82.8m 的延长段, 该延长段共安放圆筒 4 个, 该延长段卸荷板范围内铺面已施工, 同时在本工程北端需预留 73.1m 过渡段, 因此本次需新建水工结构长度为 747.3m。

大圆筒外径为 18m, 圆筒壁厚为 0.34m, 圆筒坐落在 1m 厚的抛石基床上, 持力层选在中风化岩层。圆筒底标高为 -13.60m, 圆筒顶标高为 3.0m, 圆筒外趾悬挑长度为 0.80m, 圆筒设有临时底板, 底板与圆筒之间采用螺栓连接, 待圆筒安装就位后, 由潜水员水下对称拆开螺栓。圆筒内要求回填砂及砾卵石反滤料, 并且进行振冲达到中密及以上。圆筒上为现浇钢筋砼卸荷板、胸墙和轨道梁, 卸荷板为梁肋式结构, 连系梁横向布置,

正交连接胸墙、前后轨道梁等纵向构件, 每块卸荷板设两道横向连系梁, 间距为 11.0m, 梁宽 0.8m, 梁高 3.3m。现浇胸墙底标高为 3.0m, 顶标高为 6.3m, 顶底宽度为 4.9m, 胸墙临水悬宽 0.8m, 悬宽底高程下设置至 +1.8m, 以供护舷安装, 胸墙内部设置管沟, 用于放置为船舶和工艺设备等供水、供电而铺设的水管和电缆。每个圆筒上设置一段钢筋混凝土胸墙, 即胸墙的分段长度为 18.98m, 段间设 20mm 沉降缝, 沉降缝采用泡沫板填充。

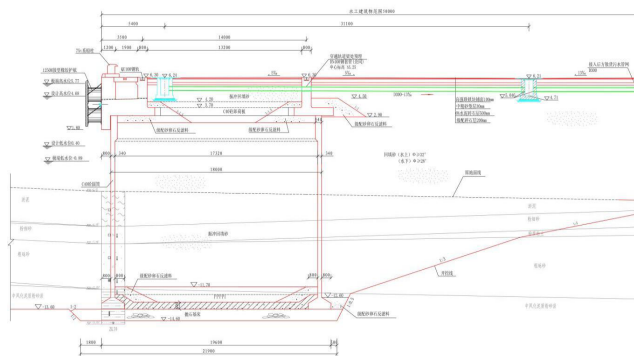


图 1 码头结构断面示意图

## 3 设计条件

### 3.1 自然条件

#### 3.1.1 设计水位

设计高水位: 4.68m; 设计低水位: 0.40m; 极端高水位: 5.77m; 极端低水位: -0.89m。

#### 3.1.2 设计波浪

除台风影响期间外, 本工程水域波浪很小, 主要影响为小风区风成波和船行波。

#### 3.1.3 设计风速

按瞬时 9 级风, 设计风速  $V = 22\text{m/s}$ 。码头装卸机

械设备对水工结构的影响按照台风期间的最大设计风速  $V = 55\text{m/s}$  考虑。

### 3.1.4 水流流速

本码头处落潮时最大流速为  $0.7\text{m/s}$ ，涨潮时最大流速为  $0.54\text{m/s}$ 。

### 3.1.5 地质条件

根据钻探结果分析，基岩上覆土层为人工填土、第四系全新统晚期海相沉积层为淤泥土、第四系全新统早期海陆相沉积层为淤泥质粉质粘土、砂类土及晚更新统残积土为粘质粉土，下伏基岩为白垩系棕红色泥质粉砂岩。本工程抛石基床位于中风化岩层上，抛石基床底面与地基土顶面摩擦系数设计值取  $0.55$ 。

## 3.2 设计荷载

### 3.2.1 永久作用

主要建筑物自重力、填料自重、填料土压力等。

### 3.2.2 可变作用

#### 3.2.2.1 均布荷载

码头前沿：标准值  $q_1=20\text{kPa}$ （码头前沿  $25\text{m}$  范围内）。

前方堆场：标准值  $q_2=120\text{kPa}$ （码头前沿  $25\text{m}$  范围外）。

#### 3.2.2.2 机械荷载

流动机械：ZL50 装载机、25t 轮胎式起重机、20t 自卸车、Q25 牵引车和平板车等。

25t-33m 门机：4 腿 × 8 轮，轨距 × 基距 =  $14\text{m} \times 10.5\text{m}$ ，最大轮压 25t。

#### 3.2.2.3 船舶荷载

## 4 计算方法及结果分析

### 4.1 贮仓压力<sup>[1]</sup>

圆筒高度与直径之比接近 1，圆筒内填料为砂石时，沿圆筒壁深度各点的垂直压力和侧压力值可按式（1）至（4）计算：

$$\sigma_z = \frac{\gamma}{A} [1 - e^{-Az}] + qe^{-Az} \quad (1)$$

$$\sigma_x = \sigma_z K \quad (2)$$

$$A = \frac{4K \tan \delta}{D} \quad (3)$$

$$K = 1 - \sin \phi \quad (4)$$

式中：

$\sigma_z$ ——垂直压力标准值（kpa）；

$\sigma_x$ ——侧压力标准值（kpa）；

$Z$ ——计算点距填料顶面的深度（m）；

$q$ ——填料顶面均布荷载（kpa）；

$\phi$ ——填料内摩擦角（°）；

$\delta$ ——筒壁与填料间的外摩擦角标准值（°），取  $\delta = 2/3 \phi$ ；

$D$ ——圆筒内直径（m）。

### 4.2 土压力

作用于圆筒外的土压力，土压力沿筒周边或高度方向的分布性质和大小，与直立面墙有所不同。依据现行规范，圆筒墙后的主动土压力，可按墙背为平面简化计算，土与墙背之间的摩擦角可取  $1/3$  倍填料内摩擦角标准值。一般是通过假定一个垂直平面来代替直径  $D$  范围内的曲面上的计算。周锡初<sup>[2]</sup>等通过一系列试验研究对筒体外土压力的计算进行了总结，该平面与圆筒轴线的距离  $x$  是根据圆筒曲面上的总侧向土压力与此假定垂直平面所作用的侧向土压力，两者相等的原则推算而得  $x = (0.35 \sim 0.38) D$ 。另外，由于圆筒的曲面效应，曲面上的土压力理论值比库伦土压力要小，且径向土压力沿着圆周逐渐递增（或递减）。在本实例计算中，认为筒后土压力分布基本上呈三角形的分布趋势，按库伦土压力理论值乘以一个折减系数  $k_1$ ，近似在  $0.60 \sim 0.80$  范围内；地面均布荷载按矩形分布计算，均载产生的附加土压力按库伦土压力理论值乘以一个折减系数  $k_2$ ，近似在  $0.40 \sim 0.60$  范围内。

主动土压力可按式（5）计算：

$$e_a = k_1 (\sum \gamma h) K_a \quad (5)$$

墙后均载产生的土压力可按式（6）计算：

$$e_q = k_2 q K_a \quad (6)$$

$$K_a = \frac{\cos^2 \phi}{\cos \delta \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin \phi \sin (\phi + \delta)}{\cos \delta}} \right]^2} \quad (7)$$

### 4.3 计算结果

码头结构采用临时有底的钢筋砼薄壁大圆筒结构。临时底板是本实例中比较特别的一个设计思路，使得圆筒可利用浮船坞运输至预定位置安装，在缺少大型浮吊设备情况下很有优势。

码头结构抗倾、抗滑、地基应力等验算采用丰海软件计算，结果详见表 1 至表 2。圆筒结构内力计算则采用 staad 软件进行模拟计算（如图 2），筒体用板壳单元表示，筒底与抛石基床边界条件简化为水平向和竖向只添加位移约束，结果详见表 3。各作用效应按《码头

# 钢板桩在内河航道护岸工程中的应用

沈旭鸿

(华设设计集团股份有限公司, 江苏南京 210014)

**摘要:** 钢板桩作为一种柔性、快捷、可重复利用的绿色建材, 广泛应用于码头、船坞、水闸、围堰支护等工程领域, 有着较好的综合经济效益。本文结合京杭运河苏南段三级航道整治工程阐述钢板桩护岸的适用范围, 并对设计、施工、防腐等方面进行分析。通过工程应用为钢板桩护岸在江苏省干线航道网乃至长三角地区高等级航道建设中的推广和应用积累经验。

**关键词:** 钢板桩; 航道; 护岸

**中图分类号:** U617.8      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1006—7973 (2021) 10—0136—03

## 1 引言

为贯彻落实科学发展观的要求, 实现交通运输行业可持续发展, 构建和谐环保、节能减排的内河运输环境将成为航道建设的必然要求之一。目前, 国内航道工程

挡墙护岸的结构型式普遍采用现浇混凝土、浆砌块石等刚性结构, 以抵御水流冲刷、船舶撞击。随着社会发展, 航道工程建设与周边环境、人文景观相协调, 结构尽量采用柔性结构的设计理念逐步得到推广。钢板桩在

结构设计规范》(JTS167-2018)等相关的规范条文, 对实际可能在码头结构上同时出现的作用, 按不同水位情况下相应的持久状况、短暂状况予以考虑组合。

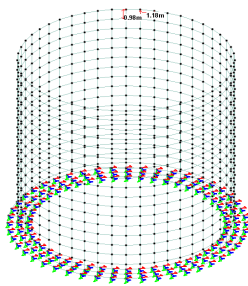


图2 建模分析简图

表1 码头抗滑、抗倾稳定计算结果表

计算项目	最不利水位	水平推力 Sd(kN)	水平阻力 Rd(kN)	Rd / Sd	备注
沿基床顶抗滑	设计高水位	1697.3	2139.6	1.26	满足
沿基床底抗滑	设计高水位	1831.6	2092.0	1.14	满足
计算项目	最不利水位	倾覆力矩 Sd(kN·m)	稳定力矩 Rd(kN·m)	Rd / Sd	备注
抗倾稳定	设计高水位	13139.4	23748.8	1.80	满足

表2 基床和地基承载力计算结果表

最不利水位 计算项目	基床顶面			基床底面		
	最大应力 (kpa)	基床承载力 (kpa)	备注	最大应力 (kpa)	地基容许承载力 (kpa)	备注
极端低水位	525	800	满足	483	600	满足

表3 圆筒内力及裂缝计算结果表

计算项目	最大内力值 (kN·m/m)	设计配筋	裂缝宽度 / 最大裂缝宽度限值 (mm)	是否满足要求
环向弯矩	208.0	Φ 20@125	0.17/0.25	是
纵向弯矩	129.8	Φ 20@200 和 Φ 22@200 间隔布置	0.14/0.30	是

通过计算分析可知, 在外部荷载作用下, 本文上述圆筒结构尺寸满足抗滑、抗倾覆、地基承载力等要求, 并对钢筋砼大圆筒受力较大的区域加强配筋, 而不仅仅是满足构造配筋的要求, 使得配筋更加合理, 兼顾考虑安全性和经济性。

## 5 结语

本文结合工程实例, 通过空间有限元软件对圆筒结构受力分析, 得出圆筒环向和纵向的弯曲应力均较小, 且筒体的控制性弯矩是环向弯矩。圆筒结构最大特点是曲壳结构, 筒内无需设置隔墙, 预制方便, 可以做成大直径, 安装工程量少, 稳定性能好, 经济效益明显, 在港口工程建设中具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] JTS167-2018, 码头结构设计规范 [S].
- [2] 周锡初, 王晖, 韩桂军. 大直径薄壳圆筒结构的设计与计算 [J]. 港工技术, 1995(02):22-30.
- [3] JTS151-2011, 水运工程混凝土结构设计规范 [S].