

## 板桩码头及高桩码头施工技术

周正兵

(中港第二航务工程局第三工程公司, 江苏 镇江 212003)

**摘要:** 通过上海柘中大型管桩预制厂的板桩出运码头及高桩砂石料码头的施工, 阐述了两种结构码头施工过程中容易出现的一些问题和采取的对策。

**关键词:** 板桩码头; 高桩码头; 施工

**中图分类号:** U656.1\*12; U656.1\*13

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1002-4972(2004)10-0040-05

### Construction Technique of Sheet Pile Wharf and High-Piled Wharf

ZHOU Zheng-bing

(The 3rd Engineering Co. of CHEC-Wuhan Port Construction Cor., Zhenjiang 212003, China)

**Abstract:** Taking sheet pile transportation wharf and high-piled sand & stone wharf of Shanghai Tuozhong Large Pipe Pile Prefabrication Plant as an example, this paper expounds some problems easily occur during construction of wharves of the two types of structures and corresponding countermeasures.

**Key words:** sheet pile wharf; high-piled wharf; construction

#### 1 概述

上海柘中大型管桩有限公司码头工程位于上海市奉贤区邬桥镇, 处于黄浦江上游。该码头是业主投资建设的大型管桩有限公司配套工程, 该公司建成投产以后, 将以生产直径800~1500mm 预应力混凝土管桩为主, 同时生产钢管桩、小直径管桩以及其它混凝土构件。该预制厂厂区占地近20万m<sup>2</sup>, 将是目前上海地区生产同类产品的最大预制厂之一。

该码头工程包括一板桩结构的出桩码头及一高桩梁板式结构砂石料码头。出桩码头长65.5m, 宽26.2m, 其中尺寸为590mm×500mm×15800mm 板桩数量为310根, 尺寸为590mm×500mm×17800mm 的拐角定位桩共5根, 板桩数量共计315根, 出桩码头的轨道梁基础采用φ1200mm 的钻孔灌注桩, 桩长为32m, 共计32根(板桩出桩码头断面图见图1)。砂石料码头和引桥均为高桩梁板工结构, 砂石料码头长150.0m,

宽18m, 砂石料码头上下游15m处各设有1个6m×6m系船墩, 砂石料码头为三个结构段, 横向排架间距为7m, 桩基为600mm×600mm 预应力混凝土方桩, 共168根, 长度34m, 引桥陆上桩基础为9根φ800mm 的钻孔灌注桩, 桩长为24m。

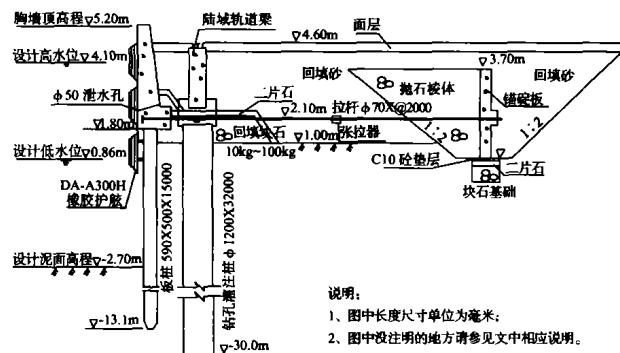


图1 板桩出桩码头断面图

说明:  
1、图中长度尺寸单位为毫米;  
2、图中没注明的地方请参见文中相应说明。

收稿日期: 2004-03-12

作者简介: 周正兵 (1976-), 男, 江苏盐城人, 助工, 从事水运工程施工工作。



## 2 码头施工工艺及主要施工方法

### 2.1 施工工艺流程图

#### 2.1.1 施工工艺流程图

板桩码头施工工艺见图 2。

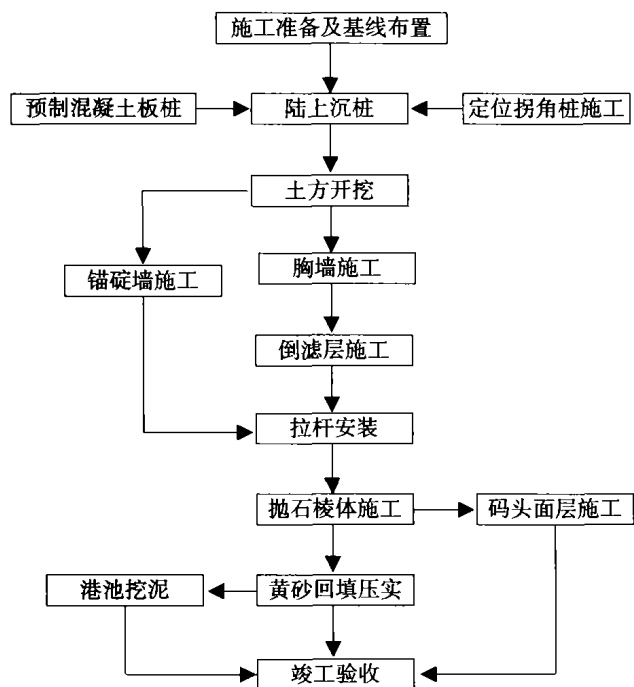


图 2 板桩码头施工工艺

#### 2.1.2 主要施工方法

##### (1) 板桩预制及沉桩

本工程所用板桩为矩形断面的板桩，标准板桩尺寸为 590mm×500mm×15 800mm，拐角板桩尺寸为 590mm×500mm×17 800mm，为了使板桩整齐地打入地基并和各板桩之间紧密结合，在板桩两侧做有阴阳榫。其一侧从板桩顶到桩尖做成通长的阴榫；另一侧从桩顶到水底以下 1m（不小于水底的冲刷深度）作为阴榫，再往下一直到桩尖形成阳榫，如图 3 所示。下段一侧做阴榫另一侧做阳榫的目的是为了打桩时导向；上端两侧都做阴榫的目的是为了形成空腔，当中用塑料袋装细石混凝土填塞，以防漏土或漏砂。板桩的底端为了板桩易于打入地基，在板桩厚度方向做成尖榫形；为了使后施打的板桩与已打的板桩靠得紧密，将桩端阴榫一侧削成斜角，在施打时，地基力对此斜面产生一个推挤力将板桩紧紧靠在一起。

本工程中由于板桩设计尺寸较大，每根桩的重量有 13t 左右，定位拐角桩重量达到了 15t。为减少板桩倒运费，利用靠近拟建码头的空地作为板桩预制场地，并采用三层

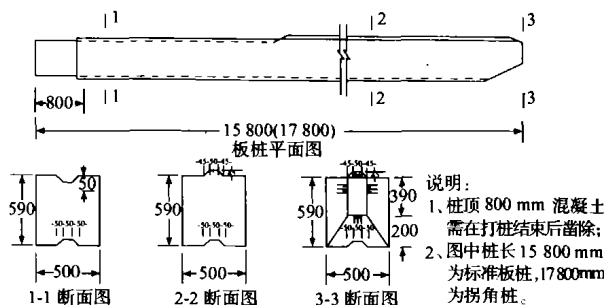


图 3 板桩结构示意图

叠式预制的方法来提高预制场地的利用率。板桩预制过程中必须要保证板桩桩身混凝土一次浇筑，不得留施工缝；板桩的凸榫不得有缺角等破损缺陷。

板桩的沉桩质量好坏直接影响到整个板桩码头的施工质量，因为板桩码头是靠板桩下部的凹凸榫咬合在一起构成连续墙起挡土作用，因此在沉桩前必须做好设计及施工技术交底，安排好沉桩顺序。为控制好板桩墙的轴线位置、减少桩的平面扭曲和提高打桩效率，必须加工好足够强度及刚度的导向架，本工程中所用的导向架如图 4 所示。

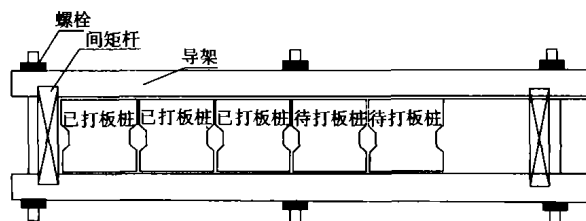


图 4 导向架结构示意图

要根据地质条件、桩的规格及打入深度选择好打桩机及桩锤。本工程选用了 JUS-100 型 50t 履带式配挂 D62-22 型柴油锤进行沉桩施工，为方便桩的移动定位，在沉桩过程中需要 1 台 25t 吊车配合施工。D62-22 型柴油锤性能如表 1 所示。

表 1 D62-22 型柴油锤性能

项目	总重量	总长	直径	冲击次数	每锤打击能量	最大爆发力
D62-22 柴油锤	12.3t	5.9m	0.71m	35~50 击/min	223kJ	1 800kN

本工程沉桩都在陆上进行，因此导向架设在地表面，桩插不了，只能采用单独打方式，这种打桩方式是每 1~2 根板桩一次打至设计高程。这种沉桩方式的优点是：不需要很高的桩架进行插桩，施工较为简单。但缺点也很明显：板桩易沿板桩墙轴线倾斜，榫口易脱开，并且板桩易扭面形成错牙；板桩倾斜如果处理不好，将会造成漏砂等极为

严重的后果。如果在水上沉设板桩时, 由于导向梁离泥面有一定的距离, 能插立桩, 这样就可以采用成排打桩方法, 成排打桩方式是以 20 根桩左右为一批, 预先插在导向架中, 打时, 先打两端头的 1~2 根板桩, 并一直打到设计高程 (或其一半), 后打中间其余板桩, 一次 (或分多次) 按顺序打到设计高程。这种沉桩方式的优缺点刚好和单独打方式相反, 但由于插立后的桩呈壁状, 易受风、浪影响。

因为板桩码头的板桩墙是连续的, 每根桩的正位程度对后续桩的正常施打有很大的影响。因此在施工过程中, 为提高沉桩质量, 应精心施打开始的几根桩。本工程的板桩沉设是从起始定位拐角桩开始, 虽然在沉桩过程中也采用了导向架等措施, 但在打桩过程中, 有些板桩或多或少会沿板桩墙轴线方向向前倾斜, 倾斜较小时 (一般在 5cm 左右), 采用了修凿桩尖斜度的方法逐渐调整和边打边用卷扬机反向施加拉力的方法来进行纠正; 对个别桩由于种种原因造成倾斜较大时, 采用的方法是打入楔形板桩, 楔形板桩沿前一根已倾斜的板桩的斜线打下去, 予以补救。可以根据以往打板桩施工经验, 事先预制好一些斜度不同的钢筋混凝土楔形板备用。

## (2) 锚碇墙施工及拉杆安装

锚碇系统是板桩码头最终承受板桩墙土压力的结构, 板桩墙后回填土除形成码头面外, 还关系到拉杆式锚碇作用的发挥。因此, 锚碇墙施工及拉杆安装是板桩码头施工中极为重要的工序。

本工程的锚碇结构为现浇锚碇墙结构, 基础采用块石及二片石夯实整平后再浇筑 10cm 厚素混凝土垫层, 块石及二片石基础宽 100cm, 高 70cm; 现浇锚碇墙厚度为 35cm, 高度为 290cm, 拉杆安装在距基础 130cm 位置处。具体形状可参见图 1。

锚碇结构是依靠前面回填料的抗力来承受拉杆拉力的, 因此为防止锚碇墙的位移过大, 回填材料必须要选择好。本工程选用 10~100kg 的抛石棱体作为回填材料, 从工程施工中对锚碇墙的位移观测情况来看, 位移较小, 一般均在 2cm 以内。

拉杆是板桩墙和锚碇墙之间的传力构件。不少工程的失事都是由于拉杆断裂而造成的; 有的因为实际拉杆内力大于计算值; 有的因为实际拉杆下面的回填土发生较大沉降, 拉杆在其上面填土重量和地面荷载作用下产生较大的附加应力; 有的因为拉杆生锈使工作断面减小甚至锈断。因此根据以往工程的经验教训, 我们对本工程的拉杆加工安装进行了精心的安排:

① 拉杆直径为 70mm, 材料为优质钢, 在定点工厂加工;

② 每隔 4m 沿各拉杆轴线设混凝土块状基础, 作为拉杆的支承点, 以消除或减少拉杆因自身重量而产生的附加应力;

③ 安装拉杆时, 要防碰坏丝杆的丝扣, 并且在拧拉杆的螺母时, 不要拧得过紧, 否则, 不仅拉杆有附加的预紧力, 而且还会增加土对锚碇墙的压力;

④ 拉杆安装好后, 涂二道红丹再在外面包二层沥青麻袋片防锈。

## (3) 板桩码头板桩墙后材料换填

板桩墙后回填应在拉杆安装好后进行, 原因在于板桩墙后土压力分布有两种形式: 主动土压力和被动土压力, 参见图 5 所示。

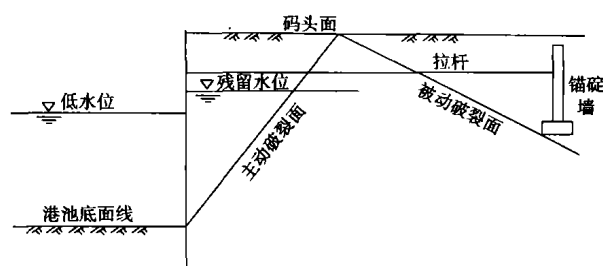


图 5 有锚碇墙的板桩码头土压力分布图

土压力是一个很复杂的问题, 影响因素有: 土的力学性能指标 (主要有重度  $\gamma$ 、内摩擦角  $\psi$  及粘聚力  $c$ )、回填方法、墙背的形状和粗糙程度、墙背的位移和变形、墙身的位移和变形、地面的形状和地面上的荷载、地基的变形等。主动土压力是指板桩墙背向土体一侧位移时土体对墙产生的侧压力。被动土压力是指板桩墙向土体一侧位移时土体对墙压力。

回填顺序先填被动土压区的土, 再回填料板桩墙后土。填时应沿板桩墙纵向均匀地进行。根据《板桩码头设计与施工规范》(JTJ292-98) 要求: 板桩墙后的水下回填, 宜采用砂、石、开山石和块石等透水性较好的材料; 板桩墙后的陆上回填, 除采用砂、石材料外, 也可采用无腐蚀性和无膨胀性的粘性土料, 但不得采用具有腐蚀性的矿渣和炉渣, 不宜采用易于粉碎的珊瑚礁。本工程设计要求锚碇墙前按 1:2 的坡度回填 10~100kg 的抛石棱体, 板桩墙后、锚碇墙前后 (除回填抛石棱体区域外) 回填内摩擦角不小于  $30^\circ$  的中粗砂。该工程处于黄浦江边, 地下水位一般在 1.00m 左右, 因此根据规范要求可以采用无腐蚀性和无膨胀性的粘性土料进行回填, 但设计人员不同意, 因此我们最终按设计要求回填了近 12 000m<sup>3</sup> 的中粗砂。

笔者认为: 全部回填中粗砂是没有必要的。从我国六



十年代以来在天津、上海地区的板桩码头施工情况来看，不少板桩码头的回填材料均采用无腐蚀性和无膨胀性的粘土料，其使用效果还是满足设计要求的。因此建议以后如再有类似的板桩码头施工，水位以下部分可以采用砂回填，水位以上部分可以用无腐蚀性和无膨胀性的粘性土料回填，这样既不影响工程质量，又可以节约工程成本。

(4) 板桩码头土方开挖

板桩码头的土方开挖是一个很重要的工序，因为一旦开挖顺序没安排好，极有可能引起板桩墙前后的土压力不平衡，从而引起板桩墙的位移甚至倾斜，因此在施工中必须重视，注意土压力和剩余水压力的作用，安排好挖泥顺序。

首先考虑主动土压力板桩墙上面由拉杆锚碇，下段嵌固在地基内，上下两端的位移受到约束，而跨中变形较大；在板桩墙的变形过程中墙后土体出现拱现象，跨中一部分土压力通过滑动土条之间的摩擦力传向上两端，造成土压力呈 R 形分布（图 6）。这种 R 形分布的程度，与板桩墙的刚度、拉杆锚碇点的位移和施工程序有关。板桩墙的刚度和锚碇点的位移越小，并采用先填板桩墙后土，后挖港池的施工程序，R 形分布就越明显。相反情况下，R 形分布就不明显，甚至是直线分布。这种现象已被国内外试验室模型试验和原型观测所证实。

其次，考虑被动土压力及剩余水压力的情况。板桩墙入土深度较小时，入土段只会出现向前的变形；入土深度较大时，入土段的下端还将出现向后的变形；前者产生墙

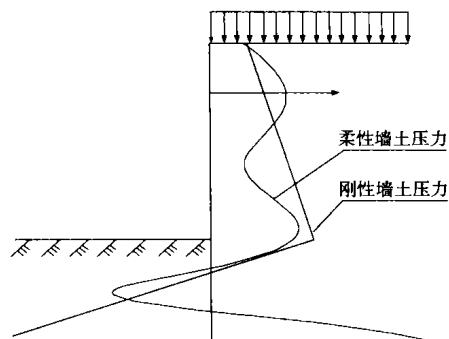


图 6 板桩墙主动土压力的重分布

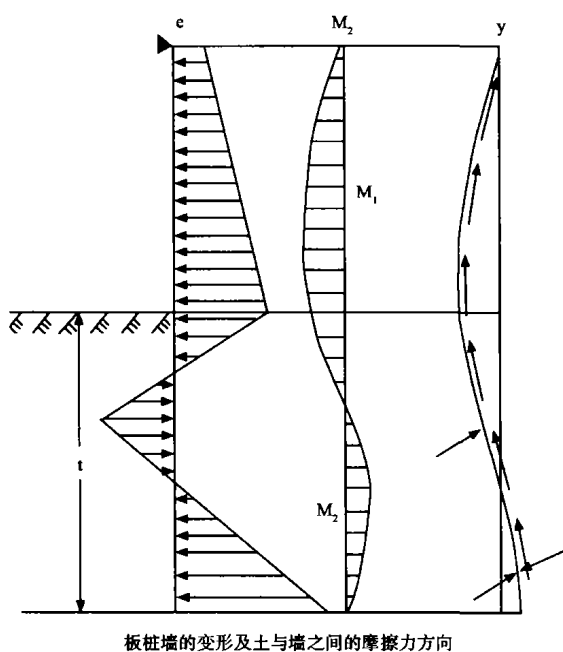
前被动土压力，后者产生墙后被动土压力。本工程的板桩入土深度在 10m 以上，因此工程施工只考虑墙土被动土压力，参见图 7 所示。

国内外大量的试验室模型试验和原型观测发现，墙前实际的被动土压力值要比  $\delta=0$  时的计算值扩大到 2 倍左右，墙后实际的被动土压力值要比  $\delta=0$  时的计算值缩小到 1/2 左右。剩余水头的大小除取决于水位降落幅度和速率外，还与板桩墙排水好坏和回填材料及地基土的渗透系数大小有关，分布见图 7。

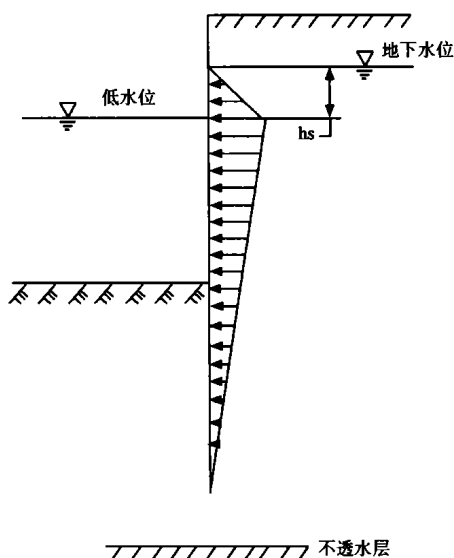
因此根据以上几个方面的分析，本工程的挖土顺序定为：

开挖板桩前后土方至高程 1.00m → 板桩墙施工 → 锚碇系统安装 → 棱体抛筑 → 板桩墙后回填砂至设计高程 → 开挖港池。

在开挖港池时，必须要考虑可能出现的超深和水流对水底的最大冲刷深度。它们虽然不属于荷载，但会使入土



板桩墙的变形及土与墙之间的摩擦力方向



剩余水压力的分布图形

图 7 板桩墙后被动土压力及剩余水压力分布图



表 2 板桩码头超深 1m 时和原设计的主要技术指标

计算情况	水底高程(m)	圆弧滑动安全系数	板桩墙跨中最大弯距(kN·m)	拉杆力(kN)	入土深度(m)	拉杆长度(m)
①原设计	-2.70	1.1053	21.5	110	7.28	11.63
②超深 1m	-3.70	1.0065	50.0	164	11.703	14.85
②/①		0.91	2.33	1.49	1.61	1.28

深度减小和计算跨度增大,降低了板桩墙的稳定性,增大了跨中弯距和拉杆力。上海蕴藻浜下游在 1982 年曾建了 1 座钢筋混凝土板桩驳岸,在挖港池的过程中发生了变形破坏:码头前沿线最大水平位移 18cm,最大沉降 21cm;码头后的混凝土路面在不同距离处出现 4 条纵向裂缝,最大缝宽 8cm。造成破坏的重要原因是挖泥速度过快和超深过大,最大超深达 1.7m,平均超深达 1.0m。根据有关文章计算:板桩码头超深 1m 时和原设计的主要技术指标见表 2。

从表 2 可以看出,水底超深对板桩码头的稳定性和强度的影响是非常大的。因此码头港池挖泥必须安排在码头主体完工后,挖泥应纵向均匀分层进行,挖泥超深不大于 0.5m,平均超深不大于 0.3m,每层挖泥厚度不大于 1.5m,并且在挖泥过程中必须安排专人对板桩墙进行位移观测。本工程的挖泥安排在全部主体工程完工后进行,现用 1.5m<sup>3</sup>的履带式挖掘机将港池内 1.00m 的土挖走,后用小抓斗挖泥船进行水上挖泥至设计高程-2.70m。从挖泥过程中对板桩墙的位移观测来看,还是满足设计及规范要求的。

## 2.2 高桩码头施工工艺及主要施工方法

高桩梁板式码头施工工艺已经很成熟,不再赘述。以下是笔者的两点看法:

### (1) 预应力混凝土方桩的龄期问题

本工程砂石料码头桩基为 168 根 600mm×600mm×34m 预应力混凝土方桩,由于工期紧等原因,有 3 根桩的自然养护龄期只有 24d,没有规范要求的 28d 的龄期。由于这 3 根桩采取了早强措施,因此经检测,这 3 根桩 24d 的混凝土抗压强度均大于设计要求的 50MPa,经与设计、监理商量后将这 3 根没到龄期的桩沉设下去。《港口工程桩基规范》84.6(2)条规定:“预应力混凝土桩在锤击沉桩前,自然养护龄期不得少于 28d。”《建筑桩基技术规范》7.1.8 更是提出了双控要求,即混凝土强度和龄期双控:“锤击预制桩,应在龄期与强度均达到要求后,方可锤击。”沉桩结束后,为了检查桩身混凝土的完整性,我们采用了小应变抽检了部分桩基,其中特别包括了这 3 根桩,检测结果全部是 A 类桩。

所以笔者认为:在工期较紧、地质情况适宜的前提下,

少量预制桩养护龄期因客观原因达不到 28d,但采取了早强措施,桩身混凝土强度能满足设计要求,可以和设计、监理研究后安排沉桩。当然,如没有工期紧等特殊情况,最好还是按现行规范执行。

### (2) 断桩问题

水上打桩船沉桩,有时会碰到断桩情况,分析原因主要有以下几种:①打桩时打桩船走锚;②偏心锤击;③地质原因和桩自身质量问题。本工程在沉桩过程中,曾经断了 1 根桩,该桩在断之前,锤击数已达到了 1 400 击,贯入度小于 5mm,分析断桩原因,是该桩遇到了较密实的粉细砂层。由于本工程桩基是摩擦桩,以高程作为沉桩控制值,但从地质勘察报告上发现有 20 多根桩将碰到粉细砂层,经与设计、监理研究后决定对这种情况下的桩基沉设,当贯入度小于 3mm,锤击数大于 1 400 击,并且桩尖距设计高程小于 1m 时可以停锤。此后采取这样的措施,施打的 20 多根桩无一断桩。这说明,只要设计与施工采取合适的措施,在较密实的粉细砂层中施打预制方桩,可以尽量避免断桩事故。

## 3 体会

通过本工程板桩码头及高桩码头的施工,有以下两点体会:

(1) 板桩码头施工重点是要控制好板桩预制及沉桩施工、锚碇系统施工及港池土方开挖施工这三个重要工序,这三个工序施工质量的好坏直接关系到整个板桩码头的质量,因此在板桩码头施工前必须对这三个工序的施工方案进行认真讨论,做到精益求精,万无一失;施工过程中要做到精心施工,严把质量关;施工后期要注意密切观测码头的位移及沉降,做到有备无患。

(2) 合理的施工方案是工程成功的基础,施工方案的优劣直接关系到工程的质量、进度和成本控制。

### 参考文献:

- [1] 陈万佳. 港口水工建筑物[M]. 北京:人民交通出版社.
- [2] JTJ292—98,板桩码头设计与施工规范[S].