

重力式码头论文汇编

交通部港口工程重力式码头规范修订组

1993. 1.

前 言

重力式是港口码头建造中广泛采用的一种结构型式，古典而又传统，设计、施工经验比较成熟。但近十余年来，随着此类码头的大量兴建，技术水平有长足进步，主要表现在：

1. 以往多为掩护水域的万吨级泊位，现已向“开敞、深水”方向发展。已经建成了一批5万、10万、20万吨级泊位，有的水深已达—18m、—21m，其绝对水深有的已达24.5m。所用构件的重量在向大型化发展，沉箱已达3.300t（在马尔他，曾造过6500t的沉箱），方块已达180~200t，梁430t。

2. 软基上建造重力式码头技术，有所突破。除传统的“大挖大填”法外，海上水泥拌和法，分层加载法等已开始在天津港东突堤码头工程等项目运用。

3. 一些新结构，新材料，新施工工艺，新的计算方法，相继出现。诸如大直径钢筋砼圆筒岸壁，服务于消浪、引水、沉淀用的各型开口沉箱，土工织物应用于倒滤层、护面层、垫层，抛石基床的爆夯处理等等。

为了《港口工程重力式码头规范》（1987年版）修订工作的需要；同时，也为了使新的成熟经验能加以推广运用，我们将近十余年来，在国内各有关刊物、技术总结上刊登的部分论文（或科研报告，技术总结）汇编成册，供本规范（1987年版）修订工作有关人员及码头设计、施工、管理和科研、教学人员参考。

在汇编中，我们侧重从修订规范的工作需要出发，限于篇幅，对所选出的166篇，进行了反复筛选，取用了49篇；同时对所选论文，又进行了摘删。对此，谨请作者鉴谅。

在汇编中某些文章在下列文集中已经纳入故未予重汇：

1. 空心方块论文集。全国水运工程标准技术委员会等编（1990年）
2. 沉箱的制造、下水和拖运。交通部第一航务工程局编（1990年）
3. 砼块体与基床及砼块体之间摩擦系数试验资料专辑。（原载《港口工程》1986年增刊2期）交通部第一航务工程局编

4. 爆炸法处理水下软基新技术文集。交通部工程管理司等编（1989年）

为了便于读者查阅，我们已把上述文集内的论文题目，附于本文集之后。

本论文集的主要组编人员有：蔡劭刚、宋爱萍、赵晓岚

责任编辑：蔡劭刚

本文集汇编中，一航局柴长清同志给予了指导；并由《港口工程》编辑部出版，对此，谨致谢意。

交通部港口工程重力式码头规范修订组

目 录

前言

甲、 设 计

●综合

1. 重力式码头设计中的几个问题 靳庆杰 (1)
2. 对重力式码头一些设计问题的看法 张庆坤、赵晓岚 (13)
3. 对重力式码头规范的几点补充意见 葛淑筠 (16)
4. 青岛港八号码头设计和施工中的几个问题 葛淑筠 (22)

●基础、地基

1. 抛石基床容许承载力述评 邢 复 (28)
2. 抛石基床局部极限承载力试验研究 陈宝珠、刘建起 (32)
3. 对港湾工程中抛填砂的探讨 欧阳纯 (38)
4. 在软基上建造重力式码头——烟台西港池一期工程码头设计 吕握南等 (40)
5. 软土地基重力式挡土墙墙背形式浅谈 揭 云 (43)
6. 日本 M. D. M. 技术在天津港东突堤码头工程中的应用 张 瑞 (48)

●墙身与整体稳定

1. 对《重力式码头》规范中土压力问题的建议 朱俊成 (57)
2. 地面局部活载所产生的主动土压力 伍荣官 (59)
3. 贮仓压力公式的推证 历章日 (61)
4. 库仓主动土压力的数解通式 程觉书 (64)
5. 贮仓压力计算分析 毛 开 (69)
6. 重力式码头回填砂、块石的重度和内摩擦角的统计分析 程端华 (74)
7. 预制混凝土或钢筋混凝土结构与抛石基床之间摩擦系数的取值问题 张文仲 (82)
8. 油毡底模对码头(防波堤)滑移稳定的影响 陈 云 (87)

●方块码头

1. 关于空心方块码头在应用中的几个问题的综述 刘万云 (90)
2. 浅谈空心块体在深水码头中的应用 葛淑筠 (98)
3. 关于重力式码头的卸荷板问题——对重力式码头现行规范条文的分析与修改意见
..... 黄小峰 (103)
4. 方块码头卸荷板的卸荷作用与悬臂的合理长度 黄小峰 (106)
5. 方块码头卸荷板的悬臂长度及其位置 许锡宾 (108)

●扶壁码头

1. 扶壁式及 L 型墙模型土压力试验研究 魏元友、费民康 (111)

●沉箱码头

1. 沉箱吊装空间静力有限元分析 支保强等 (117)
2. 吊装沉箱的设计 王行淑 (126)
3. 多种类型沉箱的强度计算 李元音 (128)
4. 圆沉箱筒壁的内力分析 李成岳 (133)

5. 对沉箱式码头胸墙设计的几点看法 吴峻恺、金久椿 (140)

●开敞式墩式码头

1. 对开敞式墩式码头设计工作和结构型式的展望 谢世楞 (142)

2. 重力式墩式码头在港口工程中的应用问题 黄小峰 (148)

3. 石臼港工程中若干技术问题的处理 蔡劭刚 (156)

●其他小型重力式码头

1. 内河重力式码头沉井基础的设计与施工 林永钦 (154)

2. 后倾式码头 关铁城 (158)

乙、施 工

●基础处理

1. 抛石基床夯实施工中的几个问题

..... (摘自一航局技术总结: 方块码头的设计与施工。该书作者: 蔡劭刚 (161))

2. 重锤夯实试验报告 范纯城、邓福志 (167)

3. 抛石基床夯实
..... (摘自一航局技术总结: 某港南防波堤工程。该书作者: 杨学堃等 (170))

4. 关于水下抛石基础的夯实问题 赵敏成 (174)

5. 不同夯锤的水下夯实效果及夯锤阻力理论在水下夯实中的运用探讨 王德利 (178)

6. 水下夯锤的冲击能 王德利 (181)

7. 用爆破夯实法处理水下抛石基床 蔡劭刚 (184)

8. 爆夯法在大连港大窑湾工程的试验及应用 常仲波 (185)

9. 深水海域抛石基床可取消细平工序 蔡劭刚 (195)

●墙身·胸墙

1. 重力式码头施工期间墙身后倾和荷载控制 李兆钧 (197)

2. 锦州港码头胸墙产生较大偏位的初步分析 张华玉 (202)

3. 直立式圬工砌石岸壁码头的施工 谢铁夫 (206)

●倒滤层

1. 用土工织物代替砂石作倒滤层 曾锡庭、李美美 (209)

2. 新型倒滤材料—塑料过滤织物的研究 简显庭等 (213)

●开敞水域作业

1. 外海重力式墩柱结构的施工质量标准问题 黎 波 (220)

2. 石臼港水工工程外海作业天数问题 黎 波 (225)

●后 记

我国重力式码头建设的技术发展——兼谈对现行重力式码头规范(1987年版)的修改浅见
..... 杨运泽 (230)

附: “空心方块码头论文集”等四个文集的论文目录 (242)

重力式码头设计中的几个问题

靳庆杰

重力式码头具有很多优点：施工快、投资省、寿命长、维修简单、对使用荷载的适应性强。在我国现有的码头泊位中重力式码头占半数以上。目前国内重力式码头前沿水深最深已达到19米多。由于今后将要建设水深更大的重力式码头，必定给设计提出不少新问题，为此本文对重力式码头设计中的几个问题作些探讨。

1. 深水码头的卸荷板结构

卸荷板是重力式码头中的一种常用结构形式，采用比较广泛。《重力式码头》规范原则性地提到“对于中、小码头，一般采用悬臂长1.5—2.5米，厚0.8—1.0米。”目前深水泊位采用的卸荷板悬壁长度多超过2.5米，最长达3.2米。并且还有继续加长的趋势。厚度一般为1.2米。一般将卸荷板设置在施工水位处，以便于现浇胸墙的施工。由于码头不断向大型发展，有进一步降低卸荷板标高的趋势。此时为便于胸墙施工，有的在卸荷板和胸墙之间增加一层方块，也有的作成特殊形状卸荷板，以达到提高胸墙底面标高，降低卸荷板悬壁端标高这两个目的。

卸荷板的作用可以分成两部分。其一是由于板上回填料使码头自重增加，稳定力矩也相应增加。其二是由于卸荷板的遮帘作用，板下土压力减小，也就是作用于码头的水平推力减小，倾复力矩相应减小。结果提高断面的安全系数，调整基底压力更趋合理。

如图1所示，卸荷板减少的土压力为图中阴影部分，减少土压力的范围是 $L \tan(90^\circ - \theta)$ ，图中矩形段的土压力强度是 $(W + \gamma h_1) \lambda_a$ ，为便于分析比较，代入前湾工程的具体数值，计算结果卸荷板减少土压力7.16t。

悬壁长： $L = 3.2\text{m}$

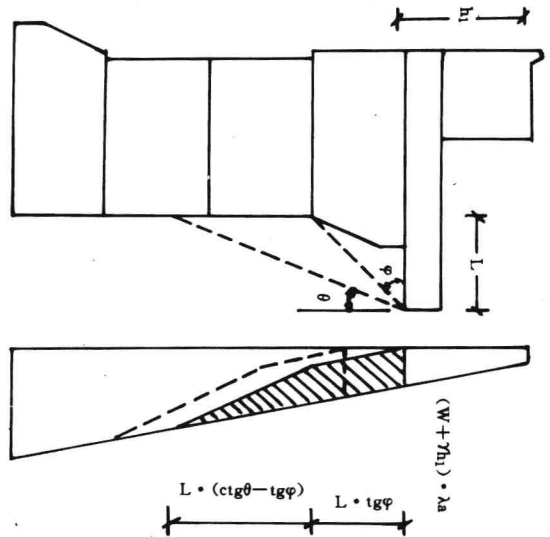


图1

主动土压力系数： $\lambda_a = 0.172$

码头面上均载： $W = 3\text{t/m}^2$

水下回填料容重： $\gamma = 1.1\text{t/m}^3$

填料内摩擦角： $\phi = 45^\circ$

破裂角： $\theta = 22.5^\circ$

卸荷板底面至码头面高度： $h_1 = 4.2\text{m}$

再降低卸荷板标高 Δh ，当卸荷范围不超过码头底标高时，则再减少土压力 $1.034\Delta h$ ，如图中虚线所示。对于倾复力矩来说，情况就比较复杂。上例减少倾复力矩 $73.8\text{t}\cdot\text{m}$ 。再降低卸荷板标高，土压力进一步减少，随之，倾复力矩也有进一步减少的趋势。可是另一方面，卸荷板越低，其减少的土压力的标高也越低，单从这一因素分析，对减少倾复力矩是不利的。降低卸荷板标高，还有一个副作用。卸荷板以下土压力减少，使作用在码头背面的竖向土压力 E_y 也减少，相应减少稳定力矩。综合以上三个因素，从卸荷效

率考虑，如上例再降低卸荷板标高，对倾复力矩影响不大。再降低 0.4 米，又减少倾复力矩 0.18t-m，再降低标高，倾复力矩反而会增大，确定卸荷板标高时，为提高抗滑安全系数，降低卸荷板的标高具有更明显的作用。

以上仅仅从卸荷效率分析，还有一个很重要的作用。降低卸荷板标高，板上回填料增多，自重和稳定力矩都增加。这个因素的影响很明显，因此，除卸荷范围大量低于码头底面的情况之外，一般卸荷板越低对稳定越有利。但是降低卸荷板标高受几个条件的限制。必须方便胸墙施工。卸荷板应满足强度要求。尽量减少工程量。卸荷板越低，板以上码头断面的厚度越大，当其厚度相当于码头断面腰宽时，再降低标高，工程量反而更大。另外还有一个重要控制条件即抗后倾计算。当合力作用位置超过码头底面中线而偏向后方时，码头产生后倾，产生向后的位移，此时后方回填料产生被动土压力，影响卸荷板的卸荷效益，对码头不利，特别是对卸荷板较低的情况，必须进行抗后倾计算。关于卸荷板以上部分的后倾计算，在《码头设计手册》中写得很细致，根据工程实践，一般没有问题，起不到控制作用。关于结构断面的整体稳定性验算，《重力式码头》规范指出：“设计卸荷板时应进行抗后倾稳定性验算。”如何进行抗后倾稳定性验算，各设计者的认识还不完全一致。为了保证卸荷板的作用，应该避免墙后回填料常时间地出现被动土压力，因此计算中也不易采用被动土压力。由于土压力的复杂性，计算以后趾为倾复中心的后倾安全系数意义不大，不如仍以前趾为倾复中心点，和验算对前趾的抗倾稳定性一样的计算方法，仅仅在验算中增加对后倾不利的荷载组合情况。对于这种荷载组合，合力作用位置自然偏后，根据合力位置判定是否符合抗后倾的要求。《重力式码头》规范规定，“合力作用点与前趾的距离，对于非岩石地基一般不小于墙底宽度的 1/4；对于岩石

地基可不受限制。”规范没明确合力作用点与后趾的距离要求，如果采用主动土压力进行计算，合力作用点与后趾的距离可以放宽 1/4 这一条的要求，具体数值还有待进一步研究验证。

2. 胸墙应力分析

胸墙主要指码头、防波堤、护岸等的顶层块体，断面形状很多，图 2 是其中的几种形式。胸墙多为素混凝土块体结构或浆砌块石，也有钢筋混凝土的特殊形状结构。胸墙上设置门机轨道时，往往在块体局部配置适当钢筋。以下主要讨论块体式结构。目前一般按照《重力式码头》规范进行抗倾、抗滑计算，用以控制胸墙的整体稳定性。因为胸墙块体的大小外形尺寸多由稳定计算控制，所以一般不计算块体胸墙的内力。对于深水泊位大型码头，船舶靠撞码头的水平荷载增大，重型装卸机械作用于码头上的荷载增大。一般门机的腿压不过 120 吨左右，而 30—50 吨集装箱装卸桥的腿压可达 300 吨左右，矿石装卸机的腿压甚至可达 500 至 600 吨。因为荷载增大，要求对码头断面进行更深入的强度计算。随着电子计算机的推广普及，计算能力大幅度提高，有条件对胸墙进行应力分析，尽量使其计算更深入一步，使设计更经济合理可靠。

胸墙属于块体结构，必须用弹性理论的方法解决。严格地说来，应该采用弹性理论的空间问题求解，考虑到目前计算胸墙内力的现状，以下按平面问题对胸墙进行应力分析。

分析应力沿胸墙长度方向的分布状况，将整个胸墙视为一个断面，胸墙厚度即为此平面厚度。此时各点都有： $\sigma_x = 0$ ； $\tau_{xz} = \tau_y = 0$ ； $\tau_{xy} = \tau_{yx} = 0$ ，只剩下平行于 yz 面的三个应力分量 τ_z 、 σ_y 、 $\tau_{yz} = \tau_{zy}$ ，这是平面应力问题。

分析应力沿胸墙厚度方向的分布状况，取出胸墙一横断面，近似把纵向长度视为无限长，横断面内各点的纵向位移均为零，有待确定的位移分量只剩下断面内 $u_{(x,y)}$ 、

$v_{(x,y)}$ ，这是平面应变问题。

平面问题的应力函数必须满足双调和方程：

$$\frac{\partial^4 \psi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \psi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \psi}{\partial y^4} = 0$$

这是弹性力学平面问题中所有基本方程的综合表达式。如何确定一个合适的应力函数、使其既满足以上双调和方程，又能满足具体问题的边界条件，目前多采用数值解法，如差分法和有限单元法。

以图 2 (b) 为例进行应力分析。图 1 是码头断面图。图 3 是胸墙单元划分图。胸墙下方是卸荷板，或方块或其他实体结构时，可以将支承条件简化为弹性支承，如图 3 所示。简化成不同支承情况，对支承点附近的应力值有影响，当支承点足够密时，无论对整体还是对于局部都没有什么影响。沉箱上的胸墙如图 5。

作用在胸墙上的外力主要有土压力、波浪力及胸墙顶面上的活荷载。为简化起见，选择几种荷载组合情况进行计算。土压力、波浪力沿码头岸线均匀分布。对于均载，也可以看作沿整个码头岸线分布。起重设备的集中荷载比较短，但是对于门机来说一般支腿

纵距都是 10.5 米，特别是当每支腿的轮子个

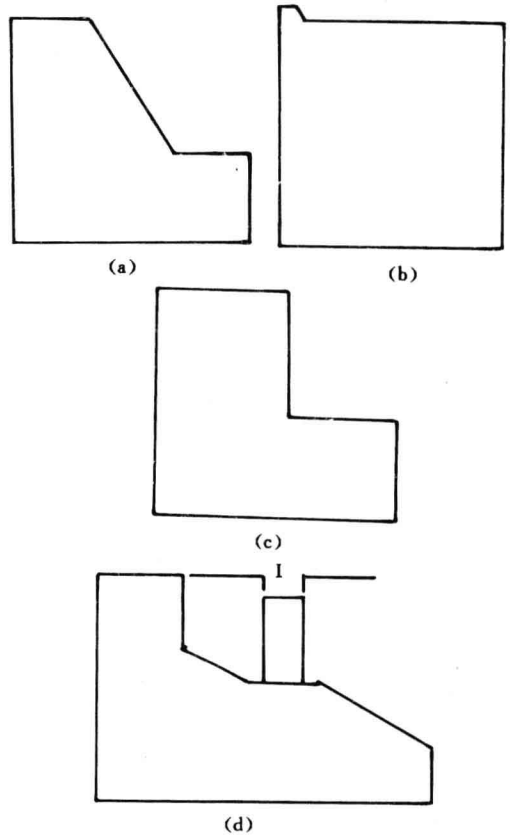


图 2

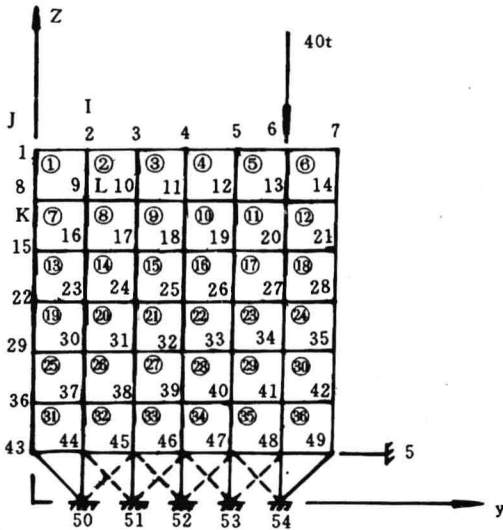


图 3

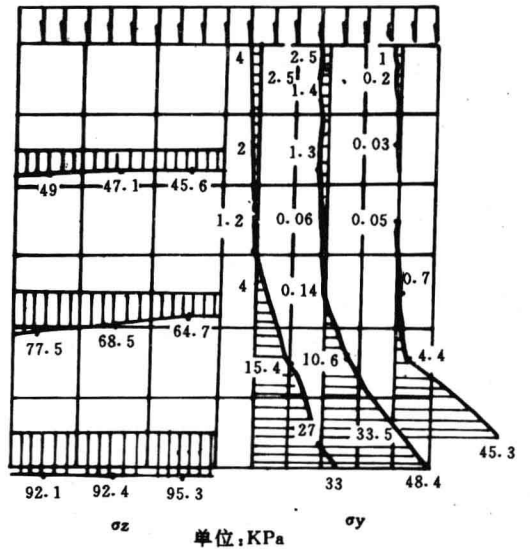
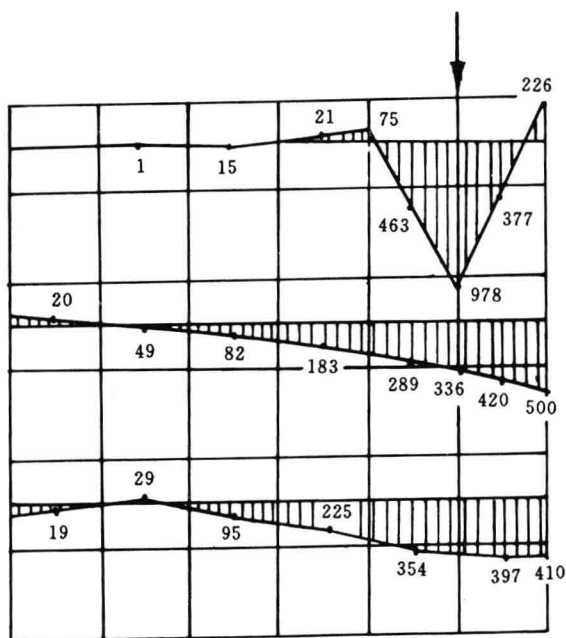
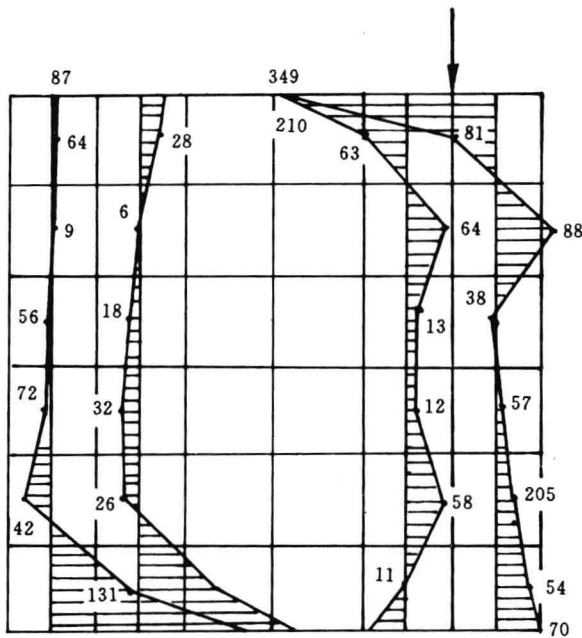


图 4



(a)



(b) (单位:KPa)

图 5

数较多时,为安全起见也可以认为是连续分布。此时截取胸墙横断面,按平面应力进行计算。

图 4 是在自重和均载作用下,胸墙应力分布图。

图 5 是在自重和门机作用下胸墙应力分布图。

图 6 是沉箱上的胸墙在自重和均载作用下应力分布图。

按照许可应力法规定,计算得出的材料最大应力应该不大于材料的许可应力。

它的表达式是: $\sigma \leq [\sigma] = \frac{R}{K}$

式中 σ —计算得出的材料最大应力

$[\sigma]$ —材料的许可应力

R—材料的极限强度

K—安全系数

R_{20} 混凝土极限抗拉强度为 1300Pa,取安全系数 $K = 3.3$,则许可应力 $[\sigma] = 394\text{KPa}$ 。以上计算的最大拉应力,图 4 为 19KPa,图 5 是 350KPa,图 6 中有 143KPa。均小于许可应力值。目前的胸墙多采用 R_{25} 混凝土。根据以上分析,对中小型码头,最好将混凝土标号降至 R_{20} 或 R_{15} 。或者按照《混凝土和钢筋混凝土施工》规范的技术要求,采

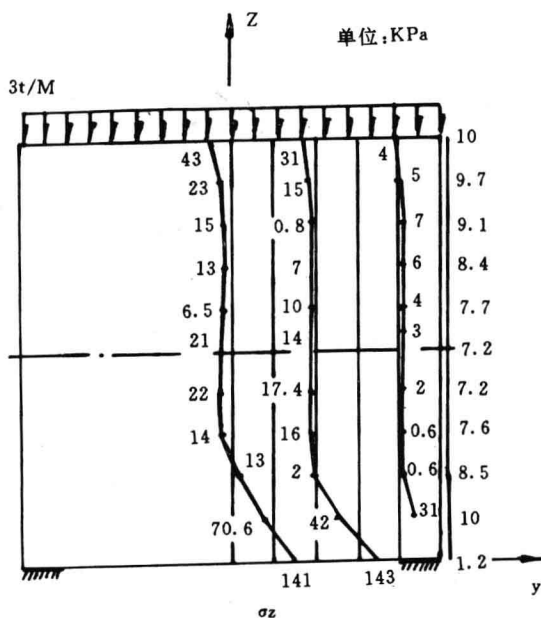


图 6

用掺石混凝土，以降低胸墙造价。

当然在满足稳定要求和强度要求的条件下，还必须充分考虑到耐久性的要求。应根据建筑物的具体使用条件，使其具备所需要的抗冰性、抗渗性、抗蚀性、防止钢筋锈蚀和抵抗冰凌撞击的性能。

对于大中型码头，由于荷载较大，应该严格进行荷载组合，采用平面应力方法计算，确定应力的分布，按照应力值设计胸墙，配置钢筋，以达到经济、合理、可靠的目的。

具有门机轨道的胸墙，为施工方便，往往采用二次浇注混凝土的施工方法。与此相适应，门机轨的局部配筋位置，不是配在胸墙整个断面的底部，而是配在胸墙的中间部位。这一情况与应力分析的结果是一致的。对于有一定高度的混凝土块体，在高度的中间区域，有可能出现较大的应力值。这一点和正常的板、梁不一样。

3. 关于系船块体的计算

《海港码头结构设计手册》明确规定，系船力由系船柱块体开始按 45° 传布角（在平面内）层层向下传播，其大小随构件所在高度而不同，越低强度越小。

在第 n 层的系船力荷重强度为：

$$N_n = \frac{N}{L_n} \quad (\text{吨/米})$$

式中： N —垂直于码头线的系船力分力（ t ）； L_n —系船力在第 n 层方块上的分布长度（米），等于系船力在 $n-1$ 层方块上的分布长度 L_{n-1} 加上扩大长度 $2b_n$ （ b_n 为 n 层构件的高度），见图 7。即 $L_n = L_{n-1} + 2b_n$ 。

如果岸壁有竖直缝，则系船力的传布仅限于两缝之间的长度。

L'_n 及 L''_n 为自 L_{n-1} 至最近缝之距离。 $L'_n + L''_n$ 如小于 $2b_n$ ，则上式为：

$$L_n = L_{n-1} + L'_n + L''_n$$

计算码头整体稳定或者计算下部方块稳定时，这种计算方法基本没有问题。但是计算胸墙稳定时，这种计算方法就不那么理想了。因为一般胸墙高度 2—3 米，系船力的分

布宽度最多达 6 米左右。每米宽度内系船力过大，往往造成胸墙断面局部增大（系船柱处）。增大工程量、增加施工难度。这种计算方法没考虑胸墙断面刚度作用，只限于胸墙局部承担系船力的作用。目前随着码头工程的大型化，胸墙断面刚度很大，所以这种矛盾更为突出。有必要提出这一问题，进行较深入的研究，以便作出合理的设计。

讨论之前首先需说明的是，摩擦力的分布是个复杂的问题，它受各种因素的影响，这里假定胸墙底面和下层的顶面是均匀接触。此时虽然不知道摩擦力的具体分布状况，但是可以通过摩擦力合力的大小，作用位置等可知的条件粗略推导出一些必要的条件。虽然推导比较粗仍然对目前的设计方法有较好的改进。

3.1 系船柱位于胸墙长度的中间部位

为表明摩擦力的分布，胸墙底面的平面图，如图 8 所示，暂时假定摩擦力以直线均匀分布。根据结构静力学的基础知识可知，此时胸墙承受最大弯矩：

$$M_{\max} = \frac{1}{8} Pa$$

摩擦力分布宽度 a 越大，由系船力 p 产生的弯矩越大，而由系船力产生的每米宽度的滑动力越小。按目前所认为的摩擦力分布宽度 L_n 来分析，如果抗滑力不足，胸墙要向前滑动，这样必然要带动宽度以外的断面一起滑动。只要胸墙断面有足够强度，不断不裂，宽度以外断面就必然产生阻滑作用，即摩擦力的分布宽度被迫加宽。所以假定摩擦力分布于整段胸墙上， a 等于胸墙分段长度 L 。此时产生最大弯矩为 $1/8PL$ 。按《混凝土和钢筋混凝土》规范的要求，胸墙断面必须能够承担这一弯矩。这样摩擦力分布宽度也就不再受传播角度的限制。增大分布宽度，使胸墙断面更经济合理。

某工程码头胸墙断面 3 米 \times 3 米， R_{20} 素混凝土能承受弯矩 300 多吨 \cdot 米。胸墙分段长度 20 米，5 万吨载重船系船力产生的最大

弯矩不足 200 吨·米。如采用 2.2×2.2 断面仍能承担 200 多吨·米。目前码头向大型化发展，一般胸墙断面也较大，从刚度方面来讲均能承担水平产生的弯矩，可以加大摩擦力分布宽度，充分发挥胸墙的作用。

前面假定摩擦力以直线均匀分布，再看非直线分布的情况如图 8 (b) 所示，摩擦力呈曲线形分布。因系船力作用于胸墙分段的中间部位，摩擦力对称于系船力作用断面，其合力大小等于系船力。由静力学的知识可知，图 8 (c) 对于中间断面产生的弯矩大于直线分布时产生的弯矩，图 8 (b) 则相反，摩擦力由系船力所产生。当接触均匀时，自然图 8 (b) 的分布更为合理。摩擦力不能无限增大，中间值到一定程度不能再增长，向外传播，出现部分直线段，对中间面的最大弯矩小于 $1/8pa$ ，所以用 $1/8pa$ 验算胸墙断面是完全可以的。

3.2 系船柱位于胸墙分段的端部

当系船柱位于胸墙分段的端部时，胸墙底面将出现负摩擦力，由系船力产生的弯矩也会改变方向。假定摩擦力以直线分布，如图 9 所示。图中摩擦力强度相当于 $f_G - \Delta$ ，反向摩擦力强度相当于 $f_G + \Delta$ 。其中 f_G 是胸墙断面能产生的最大摩擦力， Δ 是土压力、水压力等沿胸墙均匀分布的水平力合力强度。由

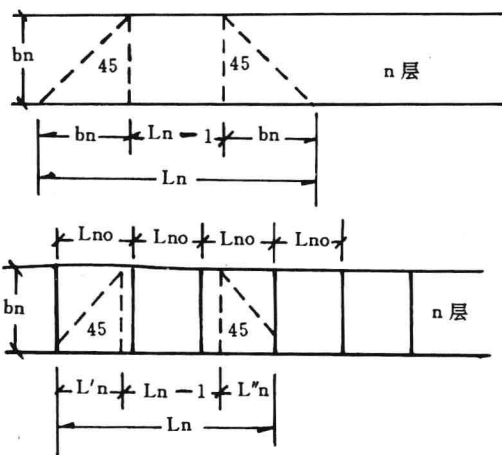


图 7

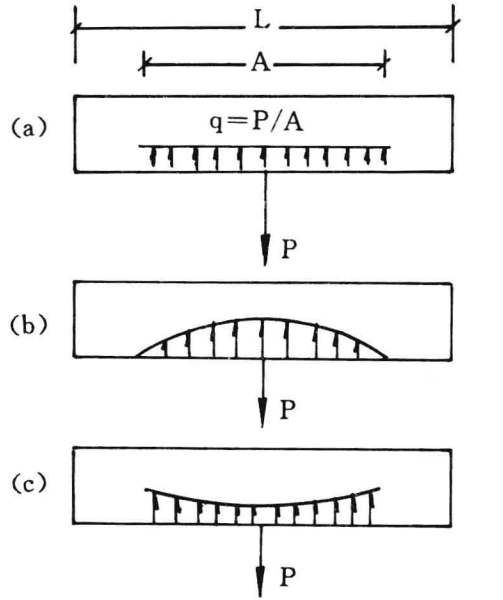


图 8

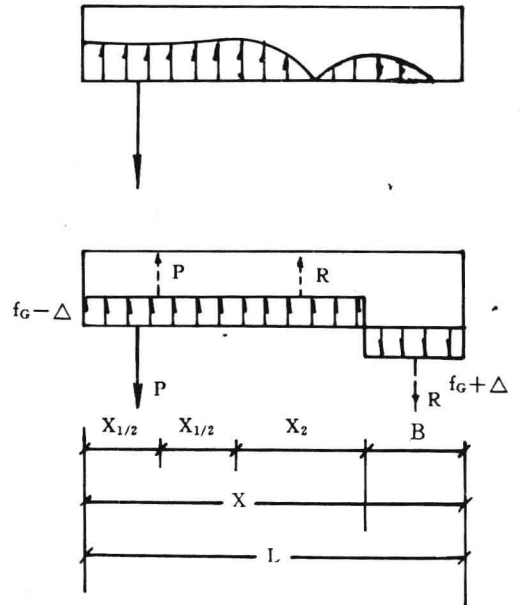


图 9

于反向摩擦力占居一定的长度，根据水平力合力为零的条件，摩擦力中还要有一部分用来抵消负摩擦力，所以系船力的分布长度小于胸墙分段长度。按照上节的分析方法，经分析系船力分布长度约等于 $(0.4 + A)L$ ，其

中 A 是系船力作用点至胸墙端部距离占其全长 L 的比例。

4. 关于卸荷板的强度计算

《重力式码头》规范第 2、3、6 条规定“设计卸荷板时应进行抗后倾稳定性验算、强度计算和裂缝宽度验算。”目前设计卸荷板均按悬臂梁计算。首先计算支点处的固端弯矩，然后进行强度计算和抗裂验算。1975 年出版的《海港码头结构设计手册》指出“计算悬臂支座上的负弯矩时，采用悬臂长度加 10 至 30 厘米。”近些年来码头向大型化变化很快，10 至 30 厘米这一范围是否还适用，何时用大值，何时用小值，为研究这一问题对卸荷板作了应力分析计算。结构图式及单元的划分如图 10。图 11 是卸荷板厚 1.2 米，实际悬臂长度 3.0 米时的电算和手算的计算结果。对于 B—B 和 B—B 以右的断面来说，因为不受下面支承的影响，两种计算结果基本一致。对于 A—A 和 A—A 以左的断面来说，两种计算方法对约束的处理不同，结果自然也不一样。应力分析的结果，固端最大弯矩出现在断面 A₂ 与 A₃ 之间，距实际支承点有 1.0 米左右的距离。通过试算，找出适当位置，使手工计算值等于或略大于电算的最大值，这样需增加悬臂长度 0.25 米，如图 11 中手算的 A 断面。相当于悬臂增长量是臂厚的 1/5 强。

为说明厚度的影响，将上例的厚度改为

0.6 米，其他条件均不变。电算、手算结果列于图 12。与 1.2 米厚卸荷板相比，最大固端弯矩距支承点较近。手算时，将悬臂长度增加 0.1 米其应力值已超过电算结果。即计算中悬臂增长量不足臂厚的 1/5。说明手算中采用的悬臂增加长度受板厚影响很大，近乎平方的关系。

分析悬臂实际长度对计算的影响。将图 10 中悬臂长度 3.0 米改为 2.0 米，其他条件如图 10 均不改变。电算手算结果列于图 13。应力分析的结果最大固端弯矩进入支承点 1.5 米以上，深入支承点之内的距离是相当大的。手算时，将悬臂长度增加 0.4 米，其应力基本等于电算的最大应力值。相当于增长了板厚的 1/3。说明手算中采用的悬臂增加长度受悬臂实际长度的影响，它们之间基本上是反比例关系。

目前大中型码头的卸荷板多为 1.2 米厚，随着码头大型化的发展，有超过 1.2 米的趋势。起卸荷作用的悬臂长度多为 3 米左右。由于卸荷板下层方块的局部支承作用，强度计算中悬臂的实际长度仅 2 米左右，如图 1 所示。图 1 中卸荷板厚 1.2 米，起卸荷作用的悬臂长度 3.2 米，悬臂的实际长度 2.2 米，考虑到以上原因，强度计算中取计算长度 2.6 米，增加 0.4 米，相当于板厚的 1/3。

另外，除以上分析之外还有施工精度的因素。卸荷板以及下面的方块都是予制件，现

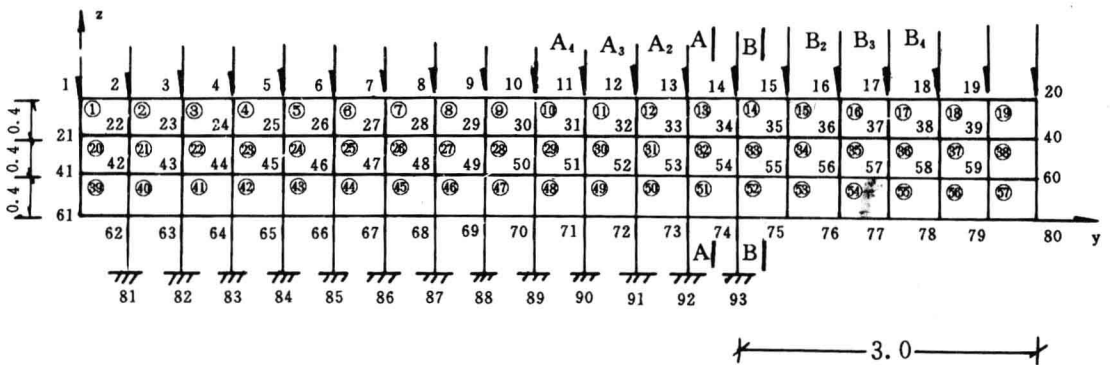


图 10 结构图式

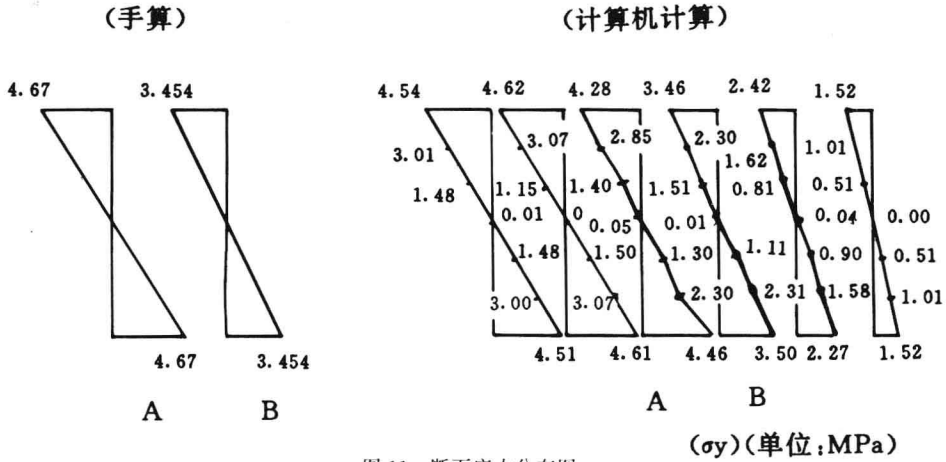


图 11 断面应力分布图

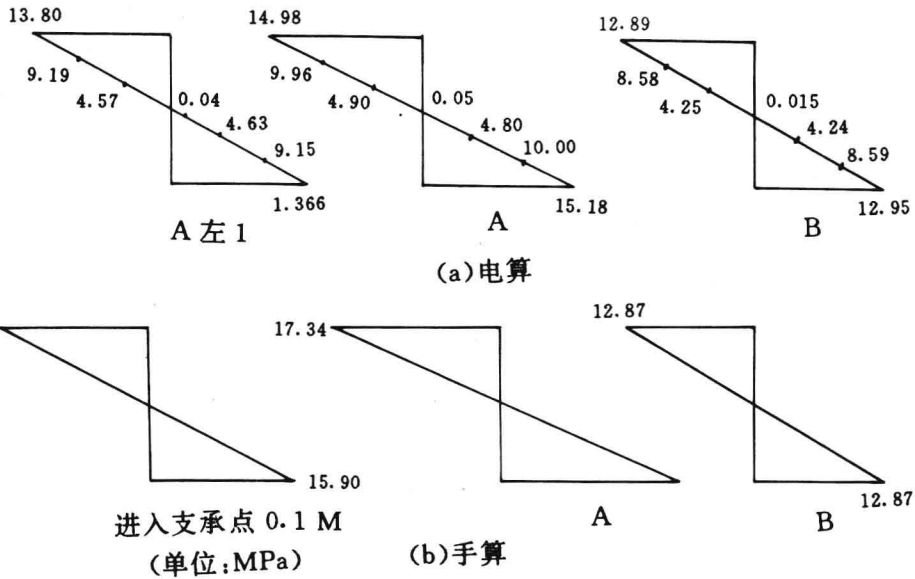


图 12 厚 0.6 米、悬臂长 3.2 米断面应力分布图

场安装时，不可避免会有小量错位，这也要求强度计算中所取悬臂的计算长度大于设计的实际长度。建议增加长度由 10—30 厘米改为 $1/3$ 板厚。

强度配筋中，有时钢筋是通长筋，有时是在支承点以内按照锚固长度截断钢筋。《混凝土和钢筋混凝土》规范规定锚固长度为 30 倍钢筋直径，这样还不足一米，所以当不是通常筋时，按照以上应力分析的结果，一定

要加长锚固长度。手算时仅用正常的锚固长度是不够的。

5. 基础处理

对于碎石土、砂土，因为重力式码头基础都位于水下，其加固措施主要是夯实。经加固后其承载力均可达到每平方米 20 吨以上。配合结构措施以及调整基床厚度、碎石土、砂土比较容易采用重力式码头。根据工程具体情况，碎石土、砂土一般都可以作为

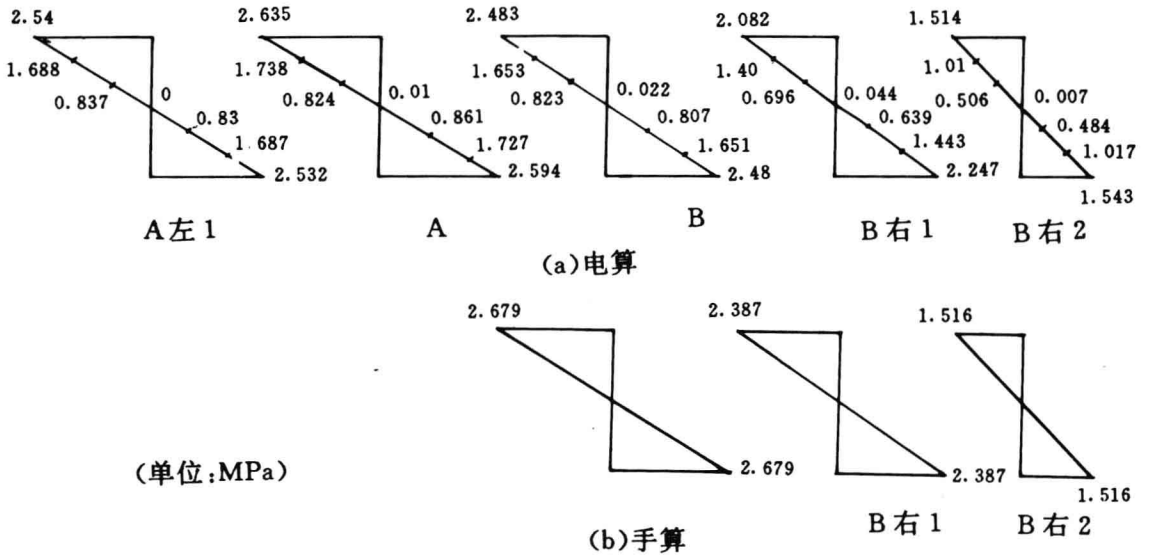


图 13 厚 1.2 米、悬臂长 2 米断面应力分布图

持力层。

粘性土则比较复杂，要视具体情况分别对待，强度较高的粘性土，经过通常的加固措施可以用作持力层。按照《地基》规范的划分方法、淤泥、淤泥质土以及天然强度低、压缩性高、透水性低的一般粘性土统称为软土。不经过彻底处理加固、软土不能作码头的持力层。当码头底面以下软土厚度不超过 2 米时，可以采用抛石挤淤的方法，直接作抛

石基床，厚度不超过 5 米时，最好采用换填的方法，挖除软土，换填土质较好的填料，再加上夯实等措施，这样作比较可靠。

青岛港前湾顺岸码头较长，近千米，码头底面以下粘性土厚度变化较大，最厚处超过 5 米，风化岩面较高处还要开挖风化岩。原地基土大致分为四层，详见图 14，各层土壤指标详见表 1。淤泥质亚粘土层的指标过低，不能作码头的持力层。其标高又较高，所以

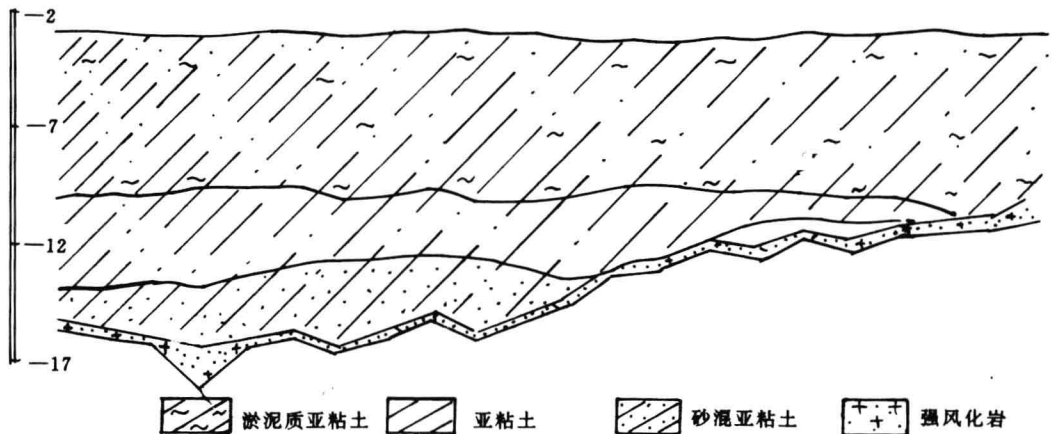


图 14

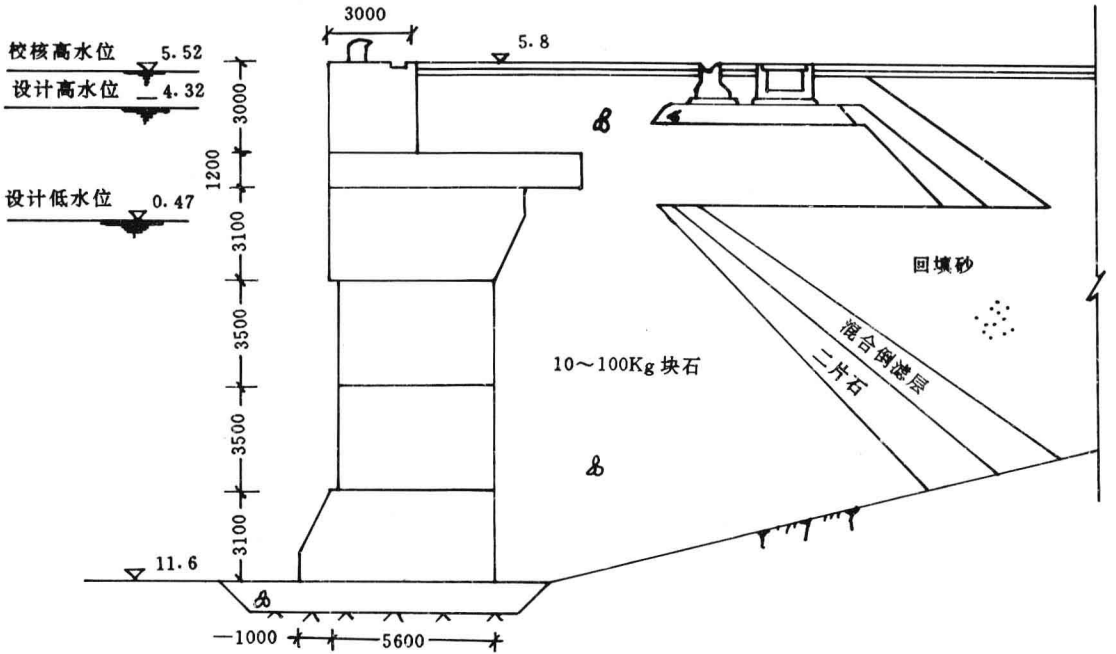


图 15

低于 2.0—3.0, 考虑剩余砂混亚粘土层的厚度较薄, 足以满足沉降要求, 虽然 2.3 略大于允许安全系数的小值, 也是符合规范要求的。

烟台工程地表层之下是 7—16 米厚的淤泥质亚粘土, 呈软塑或中塑状态, 属于高压缩性土。其下是海陆相过渡沉积层, 厚薄不一, 局部地段土壤均一性较差, 灰褐色亚粘土为主, 属于中压缩性土。陆上沉积层为黄褐色亚粘土, 呈中塑或硬塑状态, 此层土可以作为码头持力层。具体物理力学指标详见表 2。设计采用开挖基槽, 清除软弱土层, 置换优质砂石料的方案。黄褐色亚粘土层为主要持力层, 部分地段留有灰褐色亚粘土层。因为两者物理、力学指标不同, 其地基承载力的安全系数控制值也不一样, 前者为 2.5, 后者为 3.0。作为持力层的亚粘土层较厚, 其上面换填砂石料也很厚, 详见图 16。控制最终沉降量也是关键问题, 为此, 要求施工中对回填的砂石料进行分层夯实, 确保码头沉降量不超过 25 厘米。

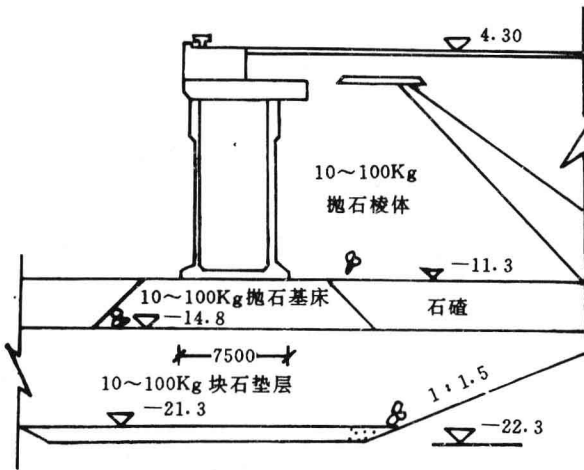


图 16

全部挖除。设计用 3 米厚抛石基床, 码头座在砂混亚粘土层上。码头断面详见图 15。经过整体计算得基底上合力作用线与垂直线间的夹角 $\delta=20^\circ$, 合力作用点与墙前趾的距离等于 0.255 倍码头底面宽度, 符合规范要求。砂混亚粘土层固快指标 $\varphi=25^\circ$, 地基承载力的安全系数为 2.13。规范要求安全系数不得

表 1

土 层	项 目 指 标	含水量 W (%)	容 重 γ g/cm ³	孔隙比 e	液 限 W _L (%)	塑 性 指 数 I _P	液 性 指 数 I _L	快 剪		固结快剪		压缩系数 a ₁₋₂ cm ² /kg	承载力 [R] t/m ²
								φ	C	φ	C		
淤泥质亚粘土		41.7	1.76	1.19	31.0	12.9	1.85	1	0.06	17	0.09	0.086	7
亚粘土海相		28	1.79	0.95	28.3	12.6	0.98	2	0.02	16	0.16	0.092	9
亚粘土陆相		23.1	1.92	0.73	23.7	10.1	0.76	7	0.17	23	0.05	0.032	22
砂混亚粘土		21.1	1.96	0.68	31.3	13.2	0.32	10	0.14	25	0.24	0.042	28
强风化岩													

表 2

土 层	项 目 指 标	含水量 W (%)	容 重 γ g/cm ³	孔隙比 e	液 限 W _L (%)	塑 性 指 数 I _P	液 性 指 数 I _L	快 剪		固结快剪		压缩系数 a ₁₋₂ cm ² /kg	承载力 [R] t/m ²
								φ	C	φ	C		
淤泥质亚粘土		36.9	1.84	1.05	30.6	11.1	1.57	7	0.09	19	0.14	0.064	5—10
海相亚粘土		26.4	1.95	0.76	28.9	11.1	0.75	11	0.17	18	0.2	0.046	20
陆相亚粘土		23	1.98	0.69	29.1	11.6	0.48	20	0.28	23	0.28	0.028	23

6. 结构措施

软基加固的办法很多，有些办法的加固效果也很明显。可是软基加固并非一件容易的事情，特别造价和工期就是两个突出的难题。因此，将重力式码头向软基扩展，除加固地基之外，还应采取结构措施以降低对地基的要求。目前采用的结构措施主要是卸荷板，增加码头底宽等，对于大中型码头并没有采取更多的结构措施。在此介绍陈万佳教

授主编的《港口水工建筑物》一书中提出的一些结构形式，供参考。

我国某港地基土质较差，适宜建高桩或板桩结构码头，但由于施工条件限制采用了轻型重力式结构。地基软土厚 7—8 米，表层换 1.5 米厚的砂，采用轻型结构—钢筋混凝土圆筒，如图 17。结果使地基应力减小到 100KN/m² 以下，满足了地基承载力要求。经多年使用，而且往往是超载工作，码头稳定

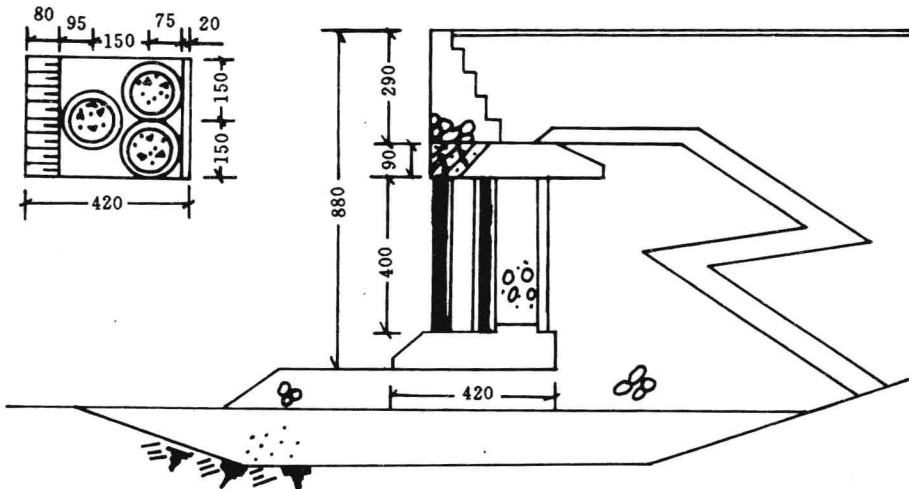


图 17 轻型重力式码头断面图

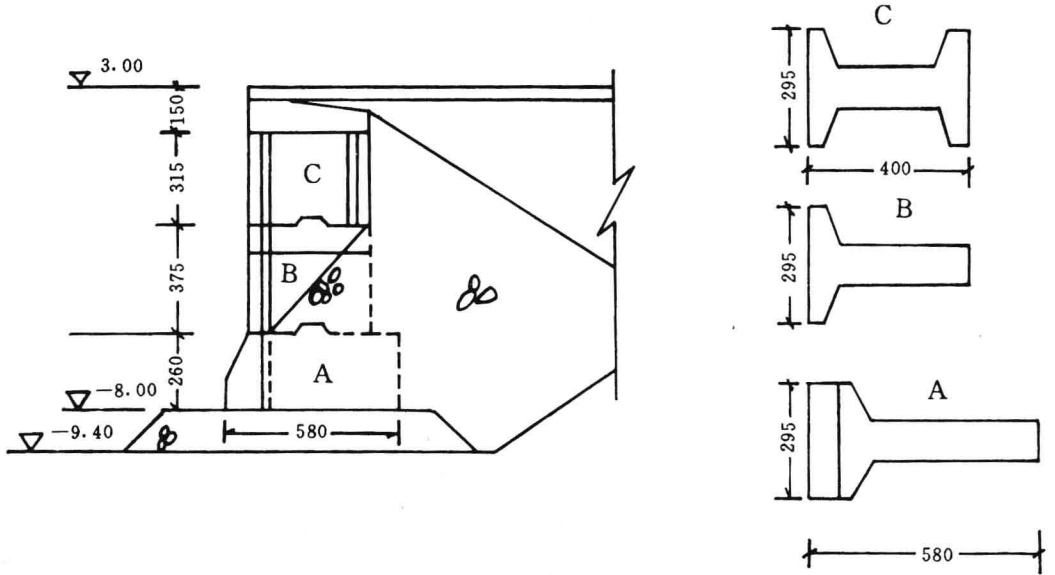


图 18 拉维尔式块体码头

性良好，没有明显沉降，表明这种结构是成功的。

50年代初拉维尔工程师为吉布提港顺岸码头设计了空腔内不完全填满块石的异形块体码头，称为拉维尔式块体码头。它由“T”字形和“I”字形块组成，在“T”字形块腹板之间形成的空腔内不填满块石，如图18。在此提出这种块体结构用意主要在于空腔内具有不填满块石的特点。目前有不少沉箱码头，沉箱内填料均为块石或砂。如果在软基上完全可以考虑改变填料，减轻容重，或部分空腔，作成轻型重力式结构。

大直径圆筒结构主要是由予制的多个大直径薄壁钢筋混凝土无底圆筒组成，直接将圆筒沉入地基中，一个接一个地安放，圆筒内填块石、砂或土。为了不使墙后填料流失，圆筒之间采取堵缝措施。见图19。

这种结构型式首先是法国在50年代初用于建港的。苏联在60年代中期也开始推广。70年代初在英国、加拿大、日本逐渐采用。近两年在我国广东也开始用于建造防波堤和码头。对于码头底面以下有较厚软基的情况，适合采用这一结构形式。直接将圆筒

沉入地基中，至较好的持力层，减少了大开挖、大回填，大大降低工程造价，是一种很有发展前途的结构型式。这一结构需要大型起重设备，另外沉放圆筒也需要施工克服一些困难。

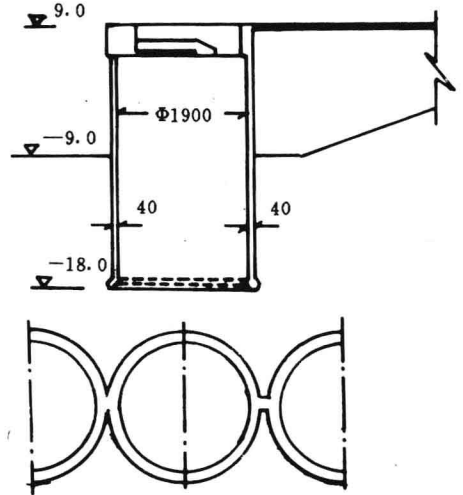


图 19 圆筒码头

(原载“港工技术”1991年4期)

对重力式码头一些设计问题的看法

张庆坤 赵晓岚

前言

重力式码头是港口工程中常见的一种码头结构型式，它一般在地基较好的情况下采用，但根据当地的施工条件，如地基较差仍需采用时，则地基经过妥善处理，也是可行的。

重力式码头就其结构型式来看，最早的是干地施工的现浇混凝土墙（或）浆砌块石墙。随着施工水平的不断提高，发展到预制混凝土方块和砌石方块的水下安装，后来为了节省石料和劳动力，又出现了钢筋混凝土沉箱和钢筋混凝土块壁结构。而就混凝土方块来看又有无底空心方块和有底空心方块以及半空心半实心方块等结构型式。

上述这些结构型式在我国南、北方码头工程中都被采用过，但在实际使用中，有些码头出现了一些问题（南、北方都出现过），例如有的空心方块断裂、有的卸荷板断裂、有的倒滤层没做好，使用中漏砂、漏石。为此，于1984年我们曾对湛江港务局（和指

挥部）、四航院、四航局科研所、广东省交通厅航运规划设计院等单位进行了调查、搜集了资料，同时对我院和一航局过去做的几个重力式码头也进行了分析。现综合起来对重力式码头在设计中遇到的一些问题，提出我们的初步看法。由于掌握的资料不够全面，看法也不完全正确，仅供有关同志参考和探讨。并欢迎批评指正。

1. 关于混凝土空心方块

空心方块是在实心方块的基础上发展起来的，考虑到空心方块比实心的省水泥，省石料，造价便宜，所以在我国南北方的大、中、小码头中都曾采用过，但是近几年来发现应用在深水码头上的空心方块，不论是南方或北方都出现过方块断裂的现象，严重的影响了使用，现介绍如下：

1.1 空心方块码头破坏实例

如南方某码头工字形空心方块的破坏情况（见图1）。本码头为3.5万吨级矿石码头，1976年开工，1977~1978年就发现空心方块

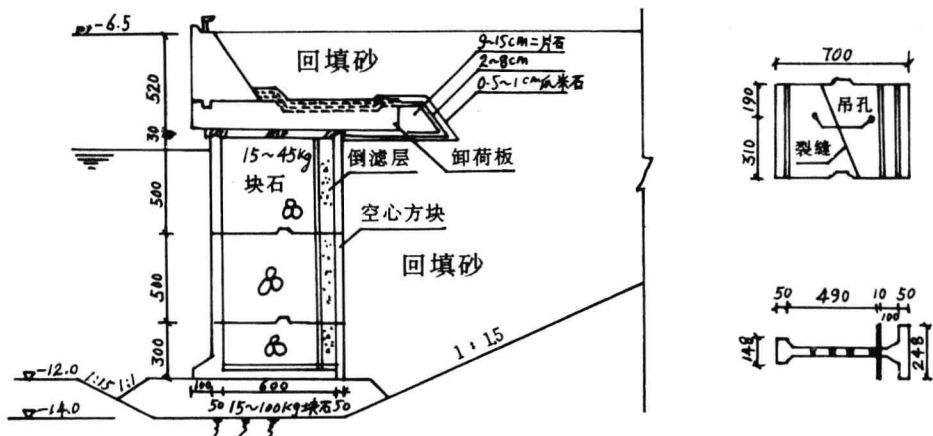


图1 南方某码头断面图