

镇江大港内河转运板桩码头结构分析

钱玉林¹, 孙群安², 王业明³, 杨鼎久³, 朱红耕³, 张振泉²

(1. 河海大学岩土工程研究所, 江苏 南京 210098; 2. 镇江市港务局, 江苏 镇江 212001;

3. 扬州大学水利与建筑工程学院, 江苏 扬州 225009)

摘要:镇江大港内河板桩码头由于超量堆载, 致使混凝土堆场地面严重下沉并开裂脱空, 码头堆场地基存在严重的沉降稳定问题, 板桩墙存在严重的结构稳定问题。在采用原设计资料和现场勘察资料对板桩墙进行受力计算的基础上, 对板桩墙进行了结构分析, 指出当堆载小于 80 kPa 时, 板桩墙是安全的, 超过 80 kPa 则需进行加固, 并建议采用灌注桩对板桩墙进行加固。

关键词:板桩墙; 码头; 锚杆; 灌注桩

中图分类号: U656.1+12

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2002)01-0028-03

1 工程概况

镇江港大港港区位于镇江市下游大港镇至五峰山之间, 是长江下游江海直达运输和江苏南北内河集散的重要港区。大港内河转运小码头是港区的重要组成部分之一。大港河于 1970 年开挖, 正交于长江, 上无其它河流与之相通, 呈一“盲肠”河段, 除雨季附近丘陵地区有部分径流汇集于河内下泄长江外, 其水源主要来源于长江。

大港河河底高程按照设计为黄海 - 3.0 m, 自建港以来, 每年都有所淤积, 特别是口门处的淤积较严重, 最大淤积厚度超过 4.0 m, 为保证河底设计高程, 每年疏浚方量在 7 万 m³ 左右。造成淤积的原因主要是异重流、潮汐等因素。

鉴于场地工程地质条件, 大港内河转运码头按照钢筋混凝土板桩码头设计施工, 钢筋混凝土板桩岸线长度为 730 m, 其中大港河东岸 530 m, 大港河西岸 200 m。板桩截面为 40 cm × 50 cm, 长度 19.5 m。板桩顶标高 +2.1 m, 底标高 -17.0 m。板桩上部接浇一段 4.0 m 高的钢筋混凝土胸墙, 混凝土锚拉杆中心线标高为 +2.5 m, 拉杆直径为 55 mm 的 16 Mn, 连接用 M40 花篮螺栓, 材质为 A3, 板桩采用 C25 钢筋混凝土预制。采用低水位工况设计, 码头前沿纵深 8 m 范围内按 20 kPa 设计, 纵深 8 m 以外按 40 kPa 设计。机械荷载为 Q161 轮胎起重机和固定 30 kN 吊车。系缆力按重 50 kN 设计, 为降低墙后地下水位, 标高

±1.8 m 处每隔 5 m 设排水孔一个, 码头面层为现浇 20 cm 混凝土, 系船柱重 50 kN, 间距 15.0 m, 系船环重 50 kN, 间距 15 m。

大港内河板桩码头为 20 世纪 80 年代初期建成, 原设计货种分别为煤炭、木材、杂货、粮食、磷矿等, 随着货种的变化, 现主要作业散货。由于场地堆存散货的高度及比重均较大, 远远超过了原设计荷载, 故堆场地表存在严重的下沉并开裂脱空, 最大下沉量达 1 m。为保证正常生产, 采用块石和碎石填筑上部面层现浇混凝土, 分别于 1990 年和 1996 年对堆场进行过两次大面积的修补, 但未能解决堆场地表的沉降问题。针对该码头堆场存在着严重的沉降稳定和板桩墙严重的结构稳定问题, 本文侧重对板桩墙的结构进行分析, 并提出加固方案。

2 场地工程水文地质条件

根据镇江市地质勘察工程公司提供的工程地质勘察报告, 场地地基土层自上而下可分为:

第 I-1 层: 地坪及碎石垫层, 稍湿, 中密 ~ 密实 ~ 坚硬状态, 混凝土地坪厚约 20 cm, 局部较厚, 碎石垫层一般厚 60 cm, 分布较均匀。

第 I-2 层: 灰 ~ 灰黄色杂填土, 较湿 ~ 湿, 稍密, 软塑, 局部可塑, 土质主要为碎石、粉砂及粉质粘土等, 层厚 1.5 ~ 2.0 m。

第 I-3 层: 灰黄色素填土, 较湿 ~ 饱和软塑状态, 主要由粉质粘土、粉土和粉砂等组成, 成分较复

基金项目: 江苏省教委科研基金资助项目 (98KBJ170001)

作者简介: 钱玉林 (1962—), 男, 江苏泰兴人, 副教授, 博士研究生, 主要从事土与结构物的相互作用研究。

杂,地表以下 3.0~4.0 m 处一般含碎石和混凝土块,层厚 1.9~2.6 m。

第 2-1 层:灰黄色~青灰色粉砂,饱和,松散~稍密状态,含细砂、有机质和白云母碎屑片,层厚 1.4~1.7 m。

第 2-2 层:青灰色粉细砂夹粉土,饱和,中密状态,含有机质和白云母碎屑片,层厚 0.6~0.9 m。

第 3-1 层:灰色淤泥质粉质粘土夹粉土,饱和,流塑状态,含有机质,层厚 4.7~5.3 m。

第 3-2 层:灰色淤泥质粉质粘土,饱和,软流塑状态,含有机质,层厚 9.3~9.6 m。

第 4 层:灰色~灰绿色粉质粘土夹砂,饱和,软塑状态,该层未钻穿,探明厚度大于 4.5 m。

场地地下水类型以地表潜水为主,主要赋存在第 1 层填土和第 2 层砂土中,地下水的来源受大气降水和长江水系的补给,勘探期间测得地下水位位于地面以下 3.5 m,地下水对混凝土无侵蚀作用,表 1 列出了各土层的物理力学性质指标。

表 1 各土层的物理力学性质指标

土层编号	层厚/m	密度 $\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	内聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(^{\circ})$
1-2	1.5~2.0	1.93	11.0	3.6
1-3	1.9~2.6	2.02	12.0	1.8
2-1	1.4~1.7	1.98	0.3	10.8
2-2	0.6~0.9	1.99	10.5	29.7
3-1	4.7~5.3	1.84	6.45	10.8
3-2	9.3~9.6	1.82	6.85	10.8

3 板桩受力计算分析

根据交通部第二航务工程勘察设计院板桩码头施工图,大港内河转运码头采用钢筋混凝土板桩,图 1 为板桩码头水工结构示意图。

根据板桩的桩端持力层和支承情况,板桩按下端固定支承情况进行计算,即认为板桩下端在土中嵌固,墙后土压力按朗肯主动土压力计算,墙前土压力按朗肯被动土压力计算;板桩最大剪力 S_c 可根据锚杆处的力矩平衡条件求得;锚杆最大拉力 T 可根据水平向力的平衡条件求得;板桩最大弯矩 $M_{\max}$ 的求解首先是确定最大弯矩的位置,然后计算该截面处的弯矩^[1,2]。图 2 为板桩受力计算简图(用中 k_a 为主动土压力系数; y_0 为土压力为零的点到地面的距离)。计算中分别考虑了荷载 $q=180, 140, 100, 80, 40 \text{ kPa}$ 等 5 种情况。

根据原设计资料,采用低水位工况设计,墙后回填土的内摩擦角采用 $\varphi=20^{\circ}$,土的密度 $\rho=1.8 \text{ g/cm}^3$ 、土的饱和密度 $\rho_{\text{sat}}=2.0 \text{ g/cm}^3$ 。表 2 列出了采用原设计资料各种荷载情况下锚杆最大拉力及

板桩内力计算结果^[3,4]。

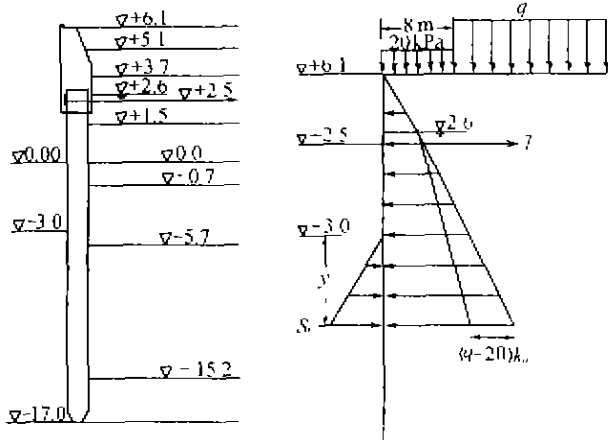


图 1 板桩码头结构

图 2 板桩受力计算简图

表 2 锚杆及板桩内力计算结果(采用原设计资料)

荷载 q/kPa	T/kN	$S_c/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-1})$	$M_{\max}/(\text{kN}\cdot\text{m})$
180	564.26	317.95	227.72
140	533.99	264.92	204.16
100	503.72	211.89	180.60
80	488.58	185.38	168.84
40	458.30	132.36	145.31

根据镇江市地质勘察工程公司提供的勘察资料(见表 1),计算中,采用各土层指标的加权平均数,土压力大小仍按朗肯理论计算;板桩最大剪力、锚杆最大拉力和最大弯矩仍按前述方法求解。表 3 列出了采用现勘察资料各种荷载情况下锚杆最大拉力及板桩内力计算结果。

表 3 锚杆及板桩内力计算结果(采用勘察资料)

荷载 q/kPa	T/kN	$S_c/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-1})$	$M_{\max}/(\text{kN}\cdot\text{m})$
180	656.55	541.22	313.43
140	603.76	467.17	266.72
100	550.96	393.13	219.69
80	513.31	365.11	181.22
40	471.76	282.07	149.58

板桩锚杆受力计算结果表明,当堆载沿纵深有一定距离时,堆载的大小对锚杆拉力的影响不是很大,但堆载的大小对锚杆拉力的影响较大,如根据原设计资料,当荷载 $q=40 \text{ kPa}$ 时,锚杆最大拉力和板桩最大剪力分别为 458.30 kN 和 132.36 kN/m;而当 $q=80 \text{ kPa}$ 时,锚杆最大拉力和板桩最大剪力分别为 488.58 kN 和 185.38 kN/m,堆载增加了 1 倍,板桩锚杆的最大拉力仅增加了 6.61%,而板桩最大剪力却增加了 40.06%。由此可见,堆载的大小对板桩剪力的影响要比对锚杆拉力的影响大得多。

根据原设计资料,已知钢筋抗拉强度设计值 $f_t=310 \text{ MPa}$,混凝土轴心抗压强度设计值 $f_c=12.5 \text{ MPa}$,箍筋的抗拉强度 $f_{\text{wr}}=210 \text{ MPa}$,混凝土弯

曲抗压强度设计值 $f_{cm} = 13.5 \text{ MPa}$ 。锚杆轴向拉力 N 、板桩斜截面的抗剪强度 V_{cs} 和弯矩 M 可分别按下式公式计算^[5]：

$$N \leq f_y A_s \tag{1}$$

$$V_{cs} = 0.07 f_c b h_0 + 1.25 f_{sv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \tag{2}$$

$$\xi = \rho f_y / f_{cm} \tag{3}$$

$$M = f_y A_s h_0 (1 - 0.5 \xi) \tag{4}$$

式中： A_s 为受拉钢筋的截面面积； b 为矩形截面宽度； h_0 为截面有效高度； A_{sv} 为配置在同一截面内箍筋的截面面积； s 为箍筋间距； ρ 为配筋率； ξ 为相对受压区高度。

由式(1)~(4)可分别求得锚杆轴向拉力 $N = 736.51 \text{ kN}$ ，板桩最大剪力为 196.11 kN/m ，板桩最大弯矩 $178.12 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 。结合表 2 和表 3 所列的各种荷载情况下计算结果，不难看出，各种荷载情况下锚杆的轴向拉力均能满足设计要求。当采用原设计资料时，各种荷载情况下板桩最大剪力只有当 $q = 40 \text{ kPa}$ 和 $q = 80 \text{ kPa}$ 两种情况是安全的；而采用快剪指标，各种荷载情况均不安全。同样，当采用原设计资料时，各种荷载情况下板桩最大弯矩只有当 $q = 40 \text{ kPa}$ 和 $q = 80 \text{ kPa}$ 两种情况是安全的；而采用快剪指标，仅当 $q = 40 \text{ kPa}$ 时是安全的。

需要说明的是，表 3 所列的各种荷载情况下锚杆最大拉力、板桩内力计算结果是根据各土层的快剪指标求得的，显然，该计算结果是模拟土体快速破

坏这一状况的，因此，实际锚杆最大拉力和板桩内力值要比表 3 所列的各种荷载情况的计算结果要小。

4 结 语

各种堆载情况下锚杆及板桩受力计算结果表明，当堆载小于 80 kPa 时，板桩墙是安全的，无需对板桩墙进行加固，但一定要严格控制堆场堆载的大小并保持沿纵深的距离 8 m 范围堆载小于 20 kPa 。当堆场地面堆载超过 80 kPa 时，为保证板桩码头的安全，建议采用灌注桩对板桩墙进行加固。考虑到场地中上部土层含有大量的块石和碎石，因此，灌注桩宜采用挖孔与沉管相结合的方法进行施工，即上部采用挖孔进行施工，下部采用沉管法进行施工。设计中可将上端桩体与锚杆浇成一体，以增强板桩和灌注桩的整体性，从而形成新的挡土结构。

参考文献：

- [1] 程良奎,张作诤,杨志银.岩土加固实用技术[M].北京:地震出版社,1994.
- [2] 洪毓康.土质学与土力学[M].北京:人民交通出版社,1989.
- [3] 《地基处理手册》编写委员会.地基处理手册[Z].北京:中国建筑工业出版社,1988.
- [4] 尉希成.支挡结构设计手册[Z].北京:中国建筑工业出版社,1995.
- [5] 庄崑屏.钢筋混凝土基本构件设计[M].北京:地震出版社,1996.52~139.

(收稿日期:2000-10-09 编辑:熊永斌)

·小资料·

红水河 10 个梯级开发现状一览

序号	电站名称	地 点	河 流	坝 型	坝高/m	装机容量 /万 kW	年发电量 /亿 kW·h	库容/亿 m ³	调节性能	开发现状
1	鲁布革	云南罗平 贵州兴义	黄泥河	土石坝	103.5	60	27.5	1.2	不完全季	1991 年建成
2	天生桥一级	广西隆林 贵州安龙	南盘江	面板堆石坝	178	120	56.2	102	不完全多年	2000 年建成
3	天生桥二级	广西隆林 贵州安龙	南盘江	重力坝	58.7	132		0.88	径流式	2000 年建成
4	平 班	广西隆林 贵州册亨	南盘江			40.5	16	2.78	反调节	2001 年开工
5	龙 滩	广西天峨	红水河	碾压混凝土 重力坝	192	420	156.7	162.1	多年	2001 年开工
6	岩 滩	广西巴马 广西都安	红水河	重力坝	110	121	56.6	33.5	年	1995 年建成
7	大 化	广西马山 广西都安	红水河	重力坝	78.5	40	20.6	3.54		1986 年造成
8	百龙滩	广西马山 广西都安	红水河	重力坝	35	19.2	9.5	0.69		1999 年建成
9	恶 滩	广西忻城	红水河	重力坝	32.9	6	3.3	5.96		1981 年建成 拟扩建为 60 万 kW
10	桥 巩		红水河			50	30.6			待建

(吴冀高供稿)