

JTJ

中华人民共和国行业标准

JTJ 292—98

板桩码头设计与施工规范

Code for Design and Construction for
Quay Wall of Sheet Pile

1998—04—20 发布

1999—06—01 实施

中华人民共和国交通部发布

中华人民共和国行业标准

板桩码头设计与施工规范

JTJ292—98

主编单位：中交水运规划设计院
交通部第三航务工程局
批准部门：中华人民共和国交通部
施行日期：1999年6月1日

关于发布《板桩码头设计与 施工规范》的通知

交基发 [1998] 220 号

各省、自治区、直辖市交通厅（局、委办），部属及双重领导企事业单位：由我部组织中交水运规划设计院和交通部第三航务工程局等单位制定的《板桩码头设计与施工规范》，业经审查，现批准为强制性行业标准，编号为 JTJ292—98，自 1999 年 6 月 1 日起施行。

本规范的管理和出版组织工作由部基建管理司负责，具体解释工作中交水运规划设计院和交通部第三航务工程局负责。

中华人民共和国交通部
一九九八年四月二十日

前 言

《板桩码头设计与施工规范》属港口工程建设标准之一。规范的编写是在总结国内外现有工程建设实践和科研成果基础上对板桩码头的设计、施工做出的有关规定。

板桩码头由于结构型式多样，结构计算中涉及上与建筑物的相互作用，有些问题尚难一次较好地解决。本次编制的《板桩码头设计与施工规范》内容是以结构型式应用比较广，以往采用比较多的有锚板桩码头的设计、构造和施工为主。对一些在特定条件下可以采用，也有一定建设经验的其他型式板桩码头的计算、构造和施工也作有规定。

本规范共 5 章 4 个附录及条文说明。

本规范的编制，主要依据现行国家标准《港口工程结构可靠度设计统一标准》(GB50158)和现行行业标准《水运工程建设标准编写规定》(JTJ200)等。执行本规范时，尚应遵守国家现行有关标准的规定。

本规范由交通部基建管理司负责管理，具体解释工作由中交水运规划设计院、交通部第三航务工程局负责。请各单位在执行本规范过程中结合工程实际、注意总结经验和积累资料，将发现问题及意见寄中交水运规划设计院和交通部第三航务工程局，以便今后修订时参考。

本规范如进行局部修订，其修订内容将在《水运工程标准与造价管理信息》上刊登。

目 次

| | |
|----------------------------|------|
| 1 总则 | (1) |
| 2 构造设计 | (2) |
| 2.1 板桩 | (2) |
| 2.2 拉杆 | (5) |
| 2.3 锚碇结构 | (6) |
| 2.4 帽梁、导梁及胸墙 | (7) |
| 2.5 斜拉桩式板桩码头 | (9) |
| 2.6 其它 | (9) |
| 3 设计计算 | (11) |
| 3.1 作用和作用效应组合 | (11) |
| 3.2 剩余水压力和土压力 | (12) |
| 3.3 板桩墙计算 | (15) |
| 3.4 锚碇结构计算 | (19) |
| 3.5 斜拉桩式板桩码头计算 | (25) |
| 3.6 整体稳定性验算 | (25) |
| 4 构件设计 | (26) |
| 4.1 板桩 | (26) |
| 4.2 拉杆 | (26) |
| 4.3 锚碇结构 | (27) |
| 4.4 帽梁、导梁和胸墙 | (27) |
| 5 板桩码头施工 | (30) |
| 5.1 一般规定 | (30) |
| 5.2 钢筋混凝土板桩的预制、吊运和堆存 | (30) |
| 5.3 钢板桩验收、制作、吊运和堆存 | (32) |

| | | |
|--------|--------------------------|------|
| 5.4 | 沉桩 | (33) |
| 5.5 | 拉杆的制作及安装 | (34) |
| 5.6 | 锚碇结构的浇筑及其构件的预制、堆存和安装 | (35) |
| 5.7 | 板桩间凹槽、帽梁、导梁和胸墙的浇筑 | (36) |
| 5.8 | 现浇地下墙施工 | (37) |
| 5.9 | 预制地下墙施工 | (41) |
| 5.10 | 桩排式地下墙施工 | (42) |
| 5.11 | 回填和挖泥 | (42) |
| 附录 A | 水平地基反力系数 | (44) |
| 附录 B | 斜拉桩式板桩码头内力计算 | (45) |
| 附录 C | 沉桩记录 | (48) |
| 附录 D | 本规范用词用语说明 | (50) |
| 附加说明 | 本规范主编单位、参加单位和主要起草人 名单 | (51) |
| 附 条文说明 | | (53) |

1 总 则

1.0.1 为使设计和施工板桩码头有所遵循，达到技术先进、经济合理、安全可靠和耐久适用，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于新建、扩建或改建的板桩码头工程的设计和施工。采用板桩结构的船闸闸墙、船坞坞墙、护岸和围堰等，可参照执行。

1.0.3 板桩码头的结构型式应根据自然条件、使用要求、施工条件和工期等因素，通过技术经济比较选定。

当有设置锚碇结构条件时，宜采用有锚板桩结构；当墙较矮、地面荷载不大且对变形要求不高时，可采用无锚板桩结构。

对于码头后方场地狭窄设置锚碇结构有困难或施工期会遭受波浪作用的情况，可采用斜拉桩式板桩结构。

对于具有干地施工条件，需要保护邻近建筑物的安全，或缺乏打桩设备的情况，可采用地下墙式板桩结构。

1.0.4 应在板桩码头的适当位置，设置一定数量的永久观测点，对码头的沉降、位移和倾斜进行定期观测。

1.0.5 板桩码头的设计和施工，除应执行本规范的规定外，尚应遵守国家现行有关强制性标准的规定。

2 构造设计

2.1 板 桩

2.1.1 钢筋混凝土板桩，可采用矩型或 T 型截面，也可采用圆管型或组合型截面。

2.1.2 矩型截面的钢筋混凝土板桩，其厚度应由计算确定，可采用 200mm~500mm。当板桩厚度较大时，宜采用空心板桩。

板桩宽度可采用 500mm~600mm，当施工条件允许时，宜增大板桩宽度，减少板桩和接缝的数量。

2.1.3 矩型截面的钢筋混凝土板桩，宜采取如下构造措施（图 2.1.3）。

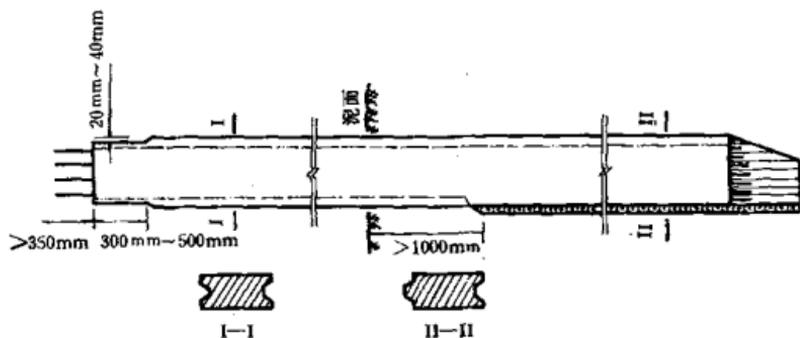


图 2.1.3 钢筋混凝土板桩构造图

2.1.3.1 桩顶的宽度，根据替打尺寸各边缩窄 20mm~40mm，缩窄段的长度取 300mm~500mm。

2.1.3.2 桩顶主筋外伸的长度，不小于 350mm，当板桩厚度较小时，也可留待沉桩后，凿除桩头混凝土露出外伸钢筋。

2.1.3.3 对于施打的板桩，在其一侧自桩尖至设计泥面以下1m范围内做凸榫，在此侧的其余范围和另一侧的全长范围做凹榫。当板桩墙后回填开山石或块石时，可一侧通长做凸榫，另一侧通长做凹槽。凹槽的深度不宜小于50mm。

2.1.3.4 当板桩需打入较硬地基，沉桩较困难时，应对桩顶采取加固措施，一般采取在桩顶设置三层钢筋网。

2.1.3.5 桩尖段在厚度方向应做成楔形，在凹槽一侧应削成斜角。

2.1.4 钢筋混凝土定位桩和转角桩的桩尖应做成对称型，桩长宜比一般桩长2m。转角桩应根据码头转角处的平面布置，设计成异型截面（图2.1.4）。



图 2.1.4 钢筋混凝土
异型板桩截面图

2.1.5 钢筋混凝土板桩之间设计平均缝宽宜采用20mm~30mm。

2.1.6 当墙后回填细颗粒土料或为原土层时，钢筋混凝土板桩之间的接缝，应采取防漏土措施。对于矩形截面的板桩，可采用在凹槽内填充细石混凝土或水泥砂浆；对于其它型式截面的板桩，也可采取其它合适的措施。

2.1.7 T型截面钢筋混凝土板桩的翼板和挡板式板桩墙中的挡板，其底面宜低于板桩墙前设计泥面1m，如泥面可能遭受冲刷时，不应小于冲刷深度。

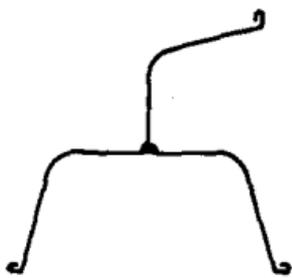


图 2.1.9 钢板桩墙
转角桩截面图

2.1.8 钢板桩可采用U型或Z型截面，当板桩墙弯矩较大时，也可采用圆管型、H型或组合型截面。

2.1.9 钢板桩的转角桩，可用由原钢板桩沿纵向割下的带锁口的肢体焊接而成（图2.1.9）。

2.1.10 钢板桩应根据环境条件、使用年限和墙体的不同部位采取合适的防腐蚀措施。对于海港码头，宜适当将胸

墙底面标高降低。

2.1.11 地下墙可采用现浇或预制的钢筋混凝土结构。现浇地下墙的截面可采用板型，T型和钻孔桩排型等(图2.1.11)。预制地下墙的截面宜采用矩型。

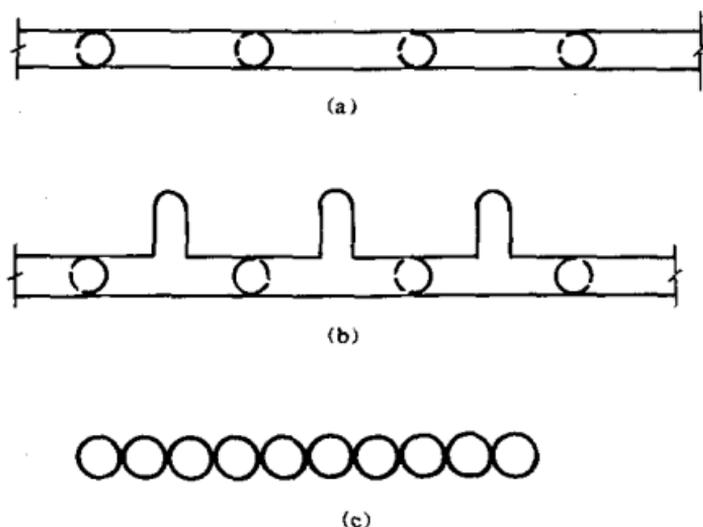


图 2.1.11 现浇地下墙截面型式图

(a)板型;(b)T型;

(c)钻孔桩排型

2.1.12 地下墙的厚度或直径由强度计算确定。现浇下地墙的厚度宜采用 600mm~1000mm; 预制地下墙的厚度宜采用 200mm~500mm; 钻孔桩的直径不宜小于 550mm。

2.1.13 地下墙各施工单元段之间的接头应防止漏土。现浇地下墙段之间可采用接头管连接; 预制地下墙段之间可采用榫接或平接。钻孔桩排式地下墙宜采用一字形排列, 钻孔桩宜靠近, 其缝宽不宜大于 100mm, 墙后应设置水泥搅拌土或旋喷水泥浆帷幕。

2.1.14 现浇地下墙的混凝土和钢筋的设计应符合以下规定:

- (1) 混凝土的设计强度等级不低于 C20;
- (2) 主筋保护层采用 70mm~100mm;
- (3) 受力筋采用 II 级钢筋, 其直径不小于 16mm;

(4) 构造筋采用 I 级钢筋, 板型地下墙不小于 12mm; 钻孔桩排型不小于 8mm;

(5) 钢筋笼的长度应根据单元段的长度、墙段的接头型式和起重设备能力等因素确定, 其端部与接头管和相邻段混凝土接头面之间应留 150mm~200mm 的间隙; 钢筋笼的下部在宽度方向宜适当缩窄; 钢筋笼与墙底之间应留 100mm~200mm 的空隙; 钢筋笼的主筋应伸出墙顶并留有足够的锚固长度。

(6) 钢筋笼的钢筋配置, 除考虑强度需要外, 尚应考虑吊装的要求。

2.2 拉 杆

2.2.1 拉杆应采用钢材制作。钢拉杆应采用焊接质量有保证和延伸率不小于 18% 的钢材。

2.2.2 钢拉杆的直径由强度计算确定, 可采用 40mm~80mm。

2.2.3 拉杆的间距可采用 1.5m~3.0m。对于钢筋混凝土板桩墙, 宜取板桩宽度的整数倍, 对于单设导梁的 U 型和 Z 型钢板桩墙, 应取板桩宽度的偶数倍。

2.2.4 拉杆的位置宜设在标高较低且施工不困难的高程上。

2.2.5 钢拉杆当长度大于 10m 时, 宜采用分节组装, 每节长度不宜大于 10m, 中间用紧张器连接。在靠近板桩墙和锚碇结构的两端各设一个竖向铰, 当拉杆长度小于 10m 时, 可只在靠近板桩墙处设一个铰。

2.2.6 钢拉杆及其附件, 在安装前应除锈涂漆, 可涂两道防锈漆。安装后, 拉杆、紧张器和竖向铰应用两层沥青纤维布缠裹, 垫板和螺母涂以沥青或其它防腐蚀材料。

2.2.7 钢拉杆安装时应施加一定的初始拉力进行预先拉紧。

2.2.8 码头和翼墙的拉杆在高程上应互相错开。

2.2.9 码头一个分段中的所有拉杆, 其长度、间距、材质和构造宜相同。

2.2.10 在系船柱块体上可增设两根八字形布置的副拉杆, 当系

缆力不大且胸墙较矮时，也可不设。

2.2.11 当预计拉杆下填土沉降较大时，宜在拉杆下设支承桩或在拉杆上面安放防压罩。支承桩可采用木桩或钢筋混凝土桩，其间距可采用4m~6m，桩尖宜打入较好的土层内。防压罩与拉杆之间应预留足够的空隙。

2.3 锚碇结构

2.3.1 锚碇结构有锚碇墙（板）、锚碇叉桩和锚碇板桩、锚碇桩等形式。锚碇结构型式应根据码头后方场地条件和拉杆力大小等因素选定，并符合下列规定：

(1) 当码头后方场地宽敞，拉杆力不大时，宜采用锚碇墙或锚碇板；

(2) 当码头后方场地狭窄，拉杆力较大时，宜采用锚碇叉桩；

(3) 当码头后方场地宽敞，且地下水位较高或利用原土层时，宜采用锚碇板桩或锚碇桩。

2.3.2 锚碇墙宜采用现浇钢筋混凝土墙，也可采用由预制钢筋混凝土板安装而成的连续墙，此时需在墙后设置连续导梁。锚碇墙可采用矩型或梯型截面，也可采用L型截面。

2.3.3 锚碇板可采用预制的钢筋混凝土板，现场安装在碎石垫层上。锚碇板可采用平板、双向梯型板或T型板（图2.3.3），T型板可采用横肋或竖肋。

2.3.4 锚碇墙（板）的高度由稳定计算确定，宜采用1.0m~3.5m。锚碇墙（板）的厚度由强度计算确定，宜采用0.2m~0.4m，不宜小于0.15m。

2.3.5 锚碇墙（板）的设置高程，在施工条件允许的情况下，宜适当放低。

2.3.6 锚碇墙（板）应预留拉杆孔，其位置宜与作用在锚碇墙（板）上的土压力合力作用点重合，其斜度应与拉杆方向一致。

2.3.7 锚碇叉桩可采用钢筋混凝土桩或钢桩。桩的斜度宜采用3:1~4:1。两桩在桩顶处的净距，在施工条件允许情况下宜减

少。

2.3.8 叉桩可用现浇钢筋混凝土桩帽连接。

2.3.9 锚碇板桩结构宜与码头板桩结构相适应。

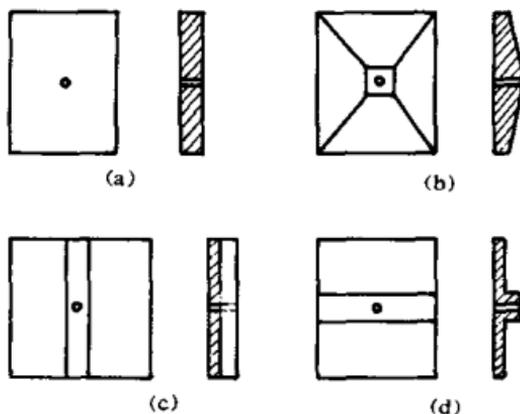


图 2-3-3 锚碇板型式图

(a)平板型；(b)双向梯型；

(c)竖肋 T 型；(d)横肋 T 型

2.3.10 钢筋混凝土锚碇板桩和钢板桩锚碇板桩应设导梁，可在板桩后单设导梁，也可利用板桩顶上的现浇钢筋混凝土帽梁或胸墙作为导梁。对于地下墙式的锚碇板桩，可不设导梁。单设的导梁：对于钢筋混凝土锚碇板桩，采用钢筋混凝土梁；对于钢板桩锚碇板桩，采用由槽钢组成的钢导梁。

2.3.11 锚碇桩可采用钢筋混凝土桩，对于钢板桩码头，也可采用钢桩，一根拉杆可用一根或数根桩锚碇，采用数根桩锚碇应设导梁。

2.3.12 锚碇墙和锚碇板桩的分段长度和变形缝的位置应与板桩墙一致。

2.4 帽梁、导梁及胸墙

2.4.1 有锚板桩墙应设导梁和帽梁。当水位差不大，拉杆距码头面的距离较小时，可采用导梁和帽梁合一的胸墙型式。无锚板桩

墙只设帽梁。

2.4.2 帽梁或胸墙可采用现浇钢筋混凝土结构。对钢筋混凝土板桩墙可采用现浇或预制的钢筋混凝土导梁；钢板桩墙可采用钢导梁。

2.4.3 胸墙的截面可采用矩形、梯型、L型或I型（图 2.4.3）。

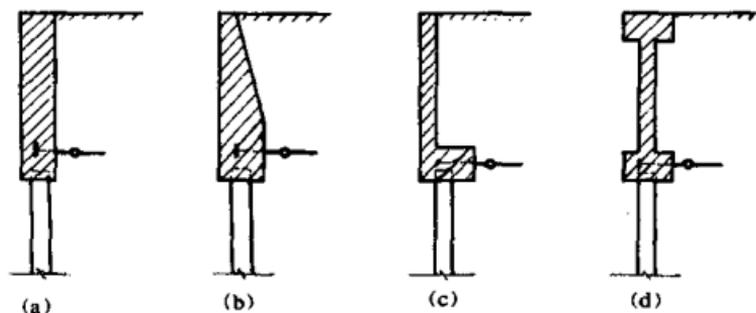


图 2.4.3 胸墙截面型式图

(a)矩形；(b)梯型；

(c)L型；(d)I型

2.4.4 帽梁或胸墙的前后两侧应宽出板桩 150mm 以上。

2.4.5 板桩应伸入帽梁或胸墙内一定深度；对于钢筋混凝土板桩，可取 50mm~70mm；对于钢板桩，可取 200mm。

2.4.6 板桩码头的系船柱块体，宜与帽梁或胸墙整体浇注，其尺寸宜由系缆力和系船柱构造要求确定。

2.4.7 钢导梁可由一对背靠的槽钢组成。导梁的分段长度不宜小于 4 倍的拉杆间距，并与帽梁或胸墙的分段长度一致。

2.4.8 钢导梁及其附件应采取防锈蚀措施，可采用在安装前除锈涂漆，安装后对附件涂沥青。

2.4.9 帽梁和导梁或胸墙的变形缝间距，应根据当地气温变化情况，板桩墙的结构型式和地基情况等因素确定，可采用 15m~30m。在结构形式和水深变化处、地基土质差别较大处及新旧结构的衔接处，必须设置变形缝。

2.4.10 变形缝的宽度宜采用 20mm~30mm，变形缝应用弹性材

料填充。

2.5 斜拉桩式板桩码头

2.5.1 斜拉桩式板桩码头中的板桩可采用钢筋混凝土板桩或钢板桩。板桩可采用垂直或 $8:1 \sim 10:1$ 的斜度，但板桩外表面与设计水底的交点不宜超出码头前沿线。

2.5.2 斜拉桩式板桩码头中的拉桩宜采用钢桩，当无负摩擦情况下也可采用钢筋混凝土桩。钢筋混凝土桩宜采用方型或矩型截面；钢桩宜采用 H 型或圆管型截面。斜拉桩的斜度可采用 $3:1$ 。

2.5.3 斜拉桩与板桩墙在顶部的连接可采用铰接或刚接。铰接适用于钢斜拉桩；刚接适用于钢筋混凝土斜拉桩。板桩墙与斜拉桩的连接宜采用现浇钢筋混凝土桩台，其宽度尽量小。

2.6 其 它

2.6.1 板桩码头前沿港池的挖泥，宜在码头后回填基本完成后进行。

2.6.2 板桩墙后的水下回填，宜采用砂、砾石、开山石和块石等透水性较好的材料。

2.6.3 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。陆上填土应分层压实。

2.6.4 锚碇墙（板）前宜用承载力较大的密实材料换填，可采用块石或灰土，也可采用其它夯实或振实的土料。应考虑从换填料前土体内滑动的可能性，换填范围不宜过小。块石宜采取码砌或用碎石填充空隙。灰土应分层夯实。

2.6.5 对于地震基本烈度六度和六度以上的地震区，板桩墙与锚碇结构之间，不宜采用粉砂、细砂等易液化的材料回填，如原土层为易液化的土，应换填不液化土料并压实或振实。

2.6.6 板桩墙应在设计低水位附近预留排水孔。孔径的大小和孔的间距，应根据板桩墙前水位变化幅度、板桩墙的透水情况和墙

后土质确定。除墙后回填块石的情况外，排水孔均应设置倒滤设施。

2.6.7 当码头水深较大时，为减小作用在板桩墙上的荷载，可采用在板桩墙后设置卸荷平台、遮帘桩或减压棱体等措施。

2.6.8 当板桩墙前冲刷严重时，宜采取护底措施。

2.6.9 板桩码头的端侧宜采用板桩翼墙封堵，在不能打板桩的近岸段，可采用其它合适的结构。

3 设计计算

3.1 作用和作用效应组合

3.1.1 作用在板桩码头上的荷载可分为以下三类：

(1) 永久作用：如由土体本身产生的主动土压力和板桩墙后的剩余水压力；

(2) 可变作用：如由码头地面上各种可变荷载产生的主动土压力、船舶荷载、施工荷载和波浪力等；

(3) 偶然作用：如地震作用等。

3.1.2 设计板桩码头时应考虑以下三种设计状况：

(1) 持久状况：在结构使用期，分别按承载能力极限状态和正常使用极限状态设计；

(2) 短暂状况：施工期、检修期等，按承载能力极限状态设计，必要时，同时按正常使用极限状态设计；

(3) 偶然状况：在使用期遭受地震作用等偶然作用时，仅按承载能力极限状态设计。

3.1.3 板桩墙的“踢脚”稳定性、锚碇结构的稳定性、板桩码头的整体稳定性、桩的承载力和构件强度等应按承载能力极限状态设计。

3.1.4 板桩码头中钢筋混凝土构件的裂缝宽度和抗裂应按正常使用极限状态设计。计算时应遵守现行行业标准《港口工程混凝土结构设计规范》(JTJ267)的有关规定。综合准永久值系数应采用0.85。

3.1.5 板桩码头承载能力极限状态设计时，所取水位及作用效应组合应按下列规定采用。

3.1.5.1 持久组合，计算水位分别采用设计高水位、设计低水位和极端低水位；永久作用包括土体本身产生的主动土压力和墙后剩余水压力；可变作用有码头地面可变荷载产生的主动土压力、船舶系缆力和波吸力等，其中产生作用效应设计值最大者为主导可变作用，其余为非主导可变作用。

注：①不考虑波浪对墙后水位的影响；

②当系船柱块体单独设置锚碇系统时，计算板桩墙时不考虑系缆力；

③码头地面使用荷载应按最不利位置布置。

3.1.5.2 短暂组合，计算水位相应采用设计高水位、设计低水位或施工水位。设计时可考虑以下几种工况：

(1) 施工期，板桩墙已做好，锚碇系统尚不能发挥作用，此时墙后土体本身产生的主动土压力为永久作用；

(2) 施工期，墙后部分回填，遭受波浪作用，此时，墙后土体本身产生的主动土压力为永久作用，墙前波浪力为可变作用；

3.1.5.3 偶然组合，计算水位按现行行业标准《水运工程抗震设计规范》(JTJ225)中规定采用。

3.1.6 计算板桩码头中所有钢筋混凝土和预应力钢筋混凝土构件强度时，作用效应设计值可按有关作用标准值计算的作用效应乘综合分项系数确定。综合分项系数应采用 1.40

3.2 剩余水压力和土压力

3.2.1 计算剩余水压力所采用的剩余水头与潮位变化、板桩墙排水性能、回填土和地基土的渗透性能等因素有关，可根据对附近类似建筑物后的地下水位的调查或观测确定，当无此条件时，可根据经验按以下原则确定：

(1) 对于海港的钢筋混凝土板桩码头，当板桩墙设置排水孔，并且墙后回填粗于细砂颗粒的材料时，可不考虑剩余水头；

(2) 对于海港的钢板桩码头、地下墙式板桩码头及墙后回填细颗粒材料（包括细砂和比细砂颗粒更细的材料）的钢筋混凝土

板桩码头，剩余水头可采用 $1/3 \sim 1/2$ 平均潮差。

注：对于设计高水位计算情况，可不考虑剩余水头。

3.2.2 剩余水压力的分布可按图 3.2.2 采用。

3.2.3 当地面为水平面，墙背为垂直面时，由土体本身产生的主动土压力水平强度标准值和由码头地面均布荷载作用产生的主动土压力水平强度标准值可按下列公式计算：

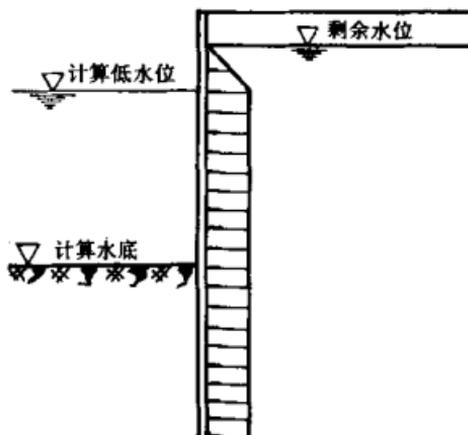


图 3.2.2 剩余水压力图

$$e_{ax} = \left(\sum \gamma_i h_i \right) K_a \cos \delta - 2c \frac{\cos \varphi \cos \delta}{1 + \sin(\varphi + \delta)} \quad (3.2.3-1)$$

$$e_{aqx} = q K_a \cos \delta \quad (3.2.3-2)$$

$$K_a = \frac{\cos^2 \varphi}{\cos \delta \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin \varphi}{\cos \delta}} \right]^2} \quad (3.2.3-3)$$

式中 e_{ax} ——由土体本身产生的主动土压力水平强度标准值 (kN/m^2)，当 $e_{ax} < 0$ 时，取 e_{ax} 为零；

γ_i ——计算面以上各层土的重度 (kN/m^3)；

h_i ——计算面以上各土层的厚度 (m)；

K_a ——计算土层土的主动土压力系数；

δ ——计算土层土与墙面间的摩擦角 ($^\circ$)；

c ——计算土层土的粘聚力 (kN/m^2)；

φ ——计算土层土的内摩擦角 ($^\circ$)；

e_{aqx} ——由码头地面均布荷载作用产生的主动土压力水平强度标准值 (kN/m^2)；

q ——地面上的均布荷载标准值 (kN/m^2)。

3.2.4 当计算水底面为水平、墙面为垂直时，由土体本身产生的

被动土压力水平强度标准值可按下列公式计算：

$$e_{px} = \left(\sum \gamma_i h_i \right) K_p \cos \delta + 2c \frac{\cos \varphi \cos \delta}{1 - \sin(\varphi + \delta)} \quad (3.2.4-1)$$

$$K_p = \frac{\cos^2 \varphi}{\cos \delta \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin \varphi}{\cos \delta}} \right]^2} \quad (3.2.4-2)$$

式中 e_{px} ——被动土压力水平强度标准值 (kN/m²)；

K_p ——计算土层土的被动土压力系数。

3.2.5 土的重度 γ 、内摩擦角 φ 和粘聚力 c 应根据工程地质钻探土样试验资料确定，当板桩墙后地基土固结程度较高时，可采用固结快剪指标计算土压力；当达不到较高固结程度时，宜适当考虑未固结因素的影响。粘性填料的指标可通过试验确定。当无条件进行试验时，可根据当地经验确定。无粘性填料的指标可按现行行业标准《重力式码头设计与施工规范》(JTJ290) 的有关规定采用。

3.2.6 计算土压力时，土和填料的重度可按以下规定采用：

(1) 粘性土，剩余水位以下取浮重度；剩余水位与设计高水位之间取饱和重度，设计高水位以上取天然重度；

(2) 无粘性土，剩余水位以下取浮重度；剩余水位以上取天然重度。

3.2.7 土与墙面的摩擦角 δ 可按以下规定采用：

(1) 计算板桩墙后主动土压力时， δ 取 $(1/3 \sim 1/2) \varphi$ ；

(2) 计算板桩墙前被动土压力时， δ 取 $(2/3 \sim 3/4) \varphi$ ，当计算的 δ 值大于 20° 时，取 20° ；

(3) 计算板桩墙后被动土压力时， δ 取 $\left(-\frac{2}{3} \right) \varphi$ ，当计算的 δ 值小于 -20° 时，取 -20° 。

3.2.8 计算板桩墙时，应考虑码头前沿挖泥超深的影响，码头前沿挖泥超深一般采用 $0.3\text{m} \sim 0.5\text{m}$ 。对于粘性土，应考虑挖泥对它的扰动影响；泥面处土的粘聚力 c 取零，泥面 1m 以下 c 取全值，两者之间按直线过渡。

3.3 板桩墙计算

3.3.1 板桩墙应计算以下内容：

- (1) 板桩墙的入土深度；
- (2) 板桩墙弯矩；
- (3) 拉杆拉力。

3.3.2 设计板桩墙时，可采用底端弹性嵌固工作状态，当有下列情况时，也可采用自由支承工作状态或介于两者之间的工作状态。

- (1) 板桩墙在地基中达不到弹性嵌固工作状态；
- (2) 板桩墙采用钢板桩时，其材料强度有较多富余；
- (3) 板桩墙的刚度较大；
- (4) 地基土质较好。

3.3.3 板桩墙的入土深度应满足式(3.3.3)“踢脚”稳定的要求

$$\gamma_0 \left[\left(\sum \gamma_G M_G + \gamma_{Q1} M_{Q1} + \psi (\gamma_{Q2} M_{Q2} + \gamma_{Q3} M_{Q3} + \dots) \right) \right] \leq \frac{M_R}{\gamma_d} \quad (3.3.3)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数，取 1.0；

γ_G ——永久作用分项系数，按表 3.3.3 采用；

M_G ——永久作用标准值产生的效应，包括板桩墙后土本身产生的主动土压力的标准值和剩余水压力的标准值对拉杆锚碇点的“踢脚”力矩 (kN·m)；

$\gamma_{Q1} \gamma_{Q2} \gamma_{Q3} \dots$ ——可变作用分项系数，按表 3.3.3 采用；

M_{Q1} ——主导可变作用效应，通常是码头地面可变作用产生的主动土压力的标准值或墙前波吸力的标准值对拉杆锚碇点的“踢脚”力矩 (kN·m)；

ψ ——作用组合系数，取 0.7；

$M_{Q2} M_{Q3} \dots$ ——非主导可变作用标准值产生的作用效应 (kN·m)；

M_R ——板桩墙前被动土压力的标准值对拉杆锚碇点的稳定力矩 (kN·m)；

γ_d ——结构系数，根据地基土质情况分别取 1.0 和 1.15，当地基土质差时宜取小值。

作用分项系数

表 3.3.3

| 组合情况 | 永久作用 | | 可变作用 | |
|------|------|-------|------------|------------|
| | 土压力 | 剩余水压力 | 土压力 | 波吸力 |
| 持久组合 | 1.35 | 1.05 | 1.35(1.25) | 1.30(1.20) |
| 短暂组合 | 1.35 | 1.05 | 1.25 | 1.20 |

注：当计算水位采用极端低水位时，取括号内数值。

3.3.4 板桩墙的内力(弯矩)和拉杆力,可根据其不同工作状态,采用弹性线法、竖向弹性地基梁法或自由支承法计算。

弹性线法仅用于单锚板桩墙的弹性嵌固状态;

自由支承法仅用于单锚板桩墙的自由支承工作状态;

竖向弹性地基梁法可适用于单锚和多锚板桩墙的任何工作状态。

注：对于刚度较大的板桩墙(如现浇地下墙等),不宜采用弹性线法。

3.3.5 弹性线法的计算图式可按图 3.3.5,按拉杆锚碇点的位移和板桩墙在底端 E'_p 作用点的线变位和角变位都等于零计算。考虑

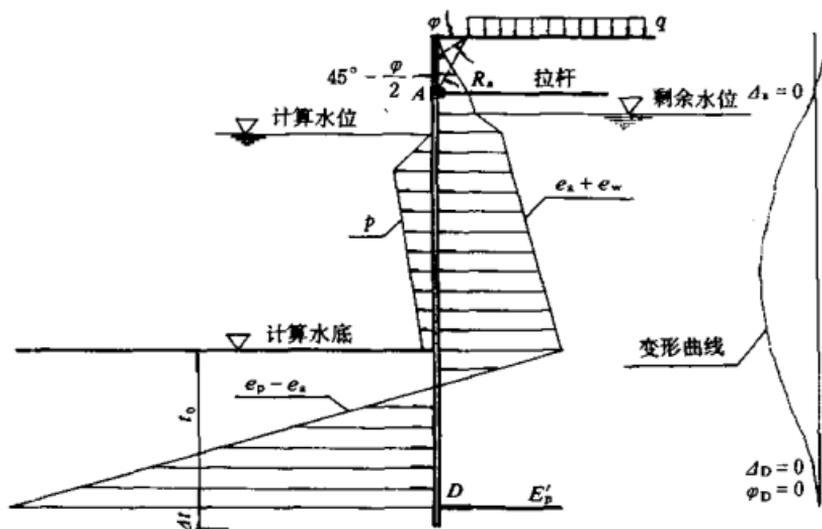


图 3.3.5 弹性线法计算图式

墙后土压力重分布和拉杆锚碇点位移会使板桩墙跨中弯矩减小的影响,计算的跨中最大弯矩应乘以折减系数 ξ 。取 ξ 为 0.7~0.8; 当由此法得出的板桩墙入土深度小于按 (3.3.3) 式算出的入土深

度时，应取后者作为板桩墙的设计入土深度。

3.3.6 采用竖向弹性地基梁法计算时，板桩墙的入土深度应按第 3.3.3 条有关规定确定。板桩墙内力和变位可采用杆系有限元法求解，其计算图式见图 3.3.6。入土段墙后的主动土压力宜考虑由计算水底以上超载（地面荷载加土体重）产生的部分。

此法可考虑拉杆锚碇点的位移。锚碇点位移由拉杆受力变形和锚碇结构位移两部分组成。锚碇结构的位移可按第 3.4 节有关规定计算。

当考虑拉杆锚碇点位移时，计算弯矩不折减；不考虑拉杆锚碇点位移时，计算弯矩应按第 3.3.5 条规定折减。

弹性杆的弹性系数 K_i 由水平地基反力系数乘杆的间距确定。水平地基反力系数，根据地基土的性质和设计经验，可采用 m 法或其他方法，有关参数可按附录 A 选用。

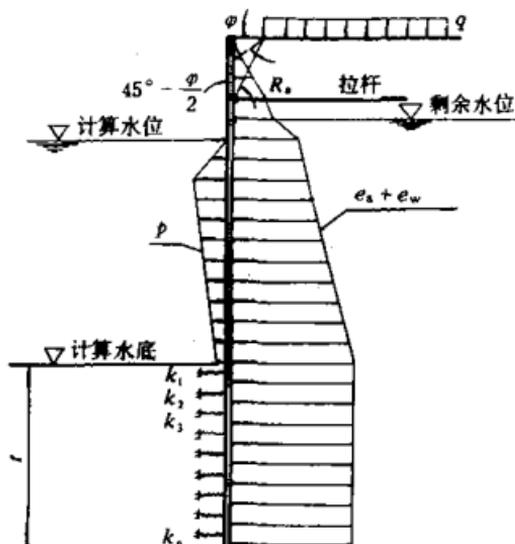


图 3.3.6 竖向弹性地基梁法计算图式

3.3.7 采用自由支承法计算时，板桩墙的入土深度应按第 3.3.3 条规定确定。板桩墙内力的计算图式见图 3.3.7，假定在最小入土深度 t_{\min} 范围内板桩墙前全部出现极限被动土压力， t_{\min} 由力和力矩的平衡求得。按此图式计算的板桩墙弯矩不折减。

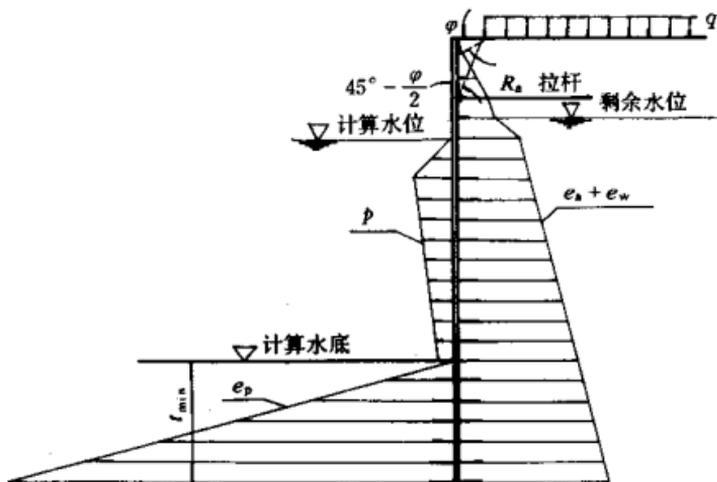


图 3.3.7 自由支承法计算图式

3.3.8 考虑各拉杆受力不均匀，不论采用何种计算方法，均应取计算的拉杆力乘不均匀系数 ξ_R 作为设计拉杆力的标准值， ξ_R 可取 1.35。

3.3.9 无锚板桩墙的入土深度可按第 3.3.3 条规定确定，但式 (3.3.3) 中的 M_G 、 M_{QZ} 和 M_Q 为相应作用标准值对桩尖的力矩。

3.3.10 无锚板桩墙入土段的内力和计算水底处的位移可采用竖

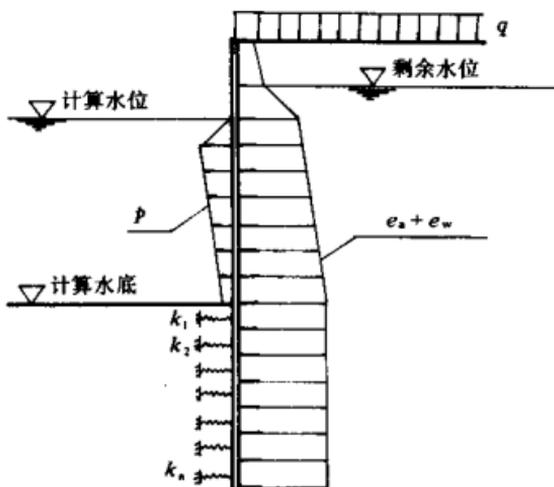


图 3.3.10 无锚板桩墙计算图式

向弹性地基梁法计算，其计算图式见图 3.3.10，计算的弯矩可不折减。

3.4 锚碇结构计算

3.4.1 锚碇墙（板）的稳定性应满足下式：

$$\gamma_0(\gamma_E E_{ax} + \gamma_{RA} R_{Ax} + \psi \gamma_E E_{qx}) \leq \frac{E_{px}}{\gamma_d} \quad (3.4.1)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数，取 1.0；

γ_E ——主动土压力分项系数，取 1.35；

E_{ax} ——锚碇墙（板）后土体本身产生的主动土压力水平分力的标准值（kN），按第 3.2 节有关规定计算，计算时 δ 取零；

γ_{RA} ——拉杆拉力的分项系数，取 1.35；

R_{Ax} ——拉杆拉力水平分力的标准值（kN），按第 4.2.1 条规定计算；

ψ ——作用组合系数，取 0.7；

E_{qx} ——锚碇墙（板）后地面可变作用产生的主动土压力的标准值（kN），按 3.2.3 条有关规定，计算时 δ 取零；

E_{px} ——锚碇墙（板）前被动土压力水平分力的标准值（kN），按第 3.4.2 条规定计算；

γ_d ——结构系数，取 1.15。

3.4.2 锚碇墙（板）前被动土压力可按下式计算：

$$E_{px} = \frac{1}{2} \gamma t_h^2 K_p b_k \rho \cos \delta \quad (3.4.2)$$

式中 E_{px} ——锚碇墙（板）前被动土压力标准值（kN）；

γ ——墙（板）前回填料或土的重度（kN/m³）；

t_h ——锚碇墙（板）底端的埋深（m）；

K_p ——被动土压力系数；

b_k ——锚碇墙（板）的计算宽度（m）；对于连续锚碇墙， b_k 取拉杆间距；对于锚碇板（不连续的锚碇墙）， b_k

取 $k_b b$, b 为锚碇板宽度, K_b 为考虑锚碇板位移带动两侧土体使被动土压力增大的系数;

ρ ——考虑墙(板)顶以上土体不全部参加工作的系数, 可根据墙(板)底端埋深与墙(板)高之比 t_h/h_a 按表 3.4.2 采用;

δ ——填料或土与墙(板)面之间的摩擦角。可取 $\varphi/3$, (φ 为土的内摩擦角) 且不大于 7° 。

ρ 值 表 3.4.2

| t_h/h_a | 1.0 | 1.2 | 1.5 | 1.7 | 2.0 | 3.0 |
|-----------|-----|------|------|------|------|------|
| ρ | 1.0 | 0.95 | 0.88 | 0.86 | 0.83 | 0.78 |

注: 当墙(板)前土质不均匀时, 可分层计算土压力强度, 然后求总被动土压力的水平分力 E_{px} 。

3.4.3 考虑锚碇板位移带动两侧土体使被动土压力增大的系数可按下式计算:

$$K_b = 1 + t_b \frac{\operatorname{tg} \theta_p \operatorname{tg} \varphi_0}{b} - \frac{\left(t_h \operatorname{tg} \theta_p - \frac{l_a - b}{2 \operatorname{tg} \varphi_0} \right)^2 \operatorname{tg} \varphi_0}{b t_h \operatorname{tg} \theta_p} \quad (3.4.3-1)$$

$$\theta_p = 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \quad (3.4.3-2)$$

式中 K_b ——被动土压力增大系数;

θ_p ——墙(板)前土体被动破裂面与垂直面的夹角 ($^\circ$);

φ_0 ——平面扩散角 ($^\circ$), 取 φ_0 为 $\frac{\varphi}{2}$;

φ ——土的内摩擦角。

3.4.4 对锚碇墙(板)的稳定性, 可只需验算设计低水位和设计高水位两种情况, 计算时取相应情况的 R_{Ax} 值。

3.4.5 锚碇墙(板)到板桩墙的最小距离(图 3.4.5)应按下式计算:

$$L = H_0 \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi_1}{2} \right) + t_b \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_2}{2} \right) \quad (3.4.5)$$

式中 L ——锚碇墙（板）到板桩墙的距离（m）；

H_0 ——板桩墙后主动破裂棱体的高度（m）：采用弹性线法时取最大负弯矩点到码头地面的距离；采用竖向弹性地基梁法时取变形第一零点到码头地面的距离；采用自由支承法时取最小入土深度 t_{\min} 处到码头地面的距离；

φ_1 、 φ_2 ——分别为板桩墙后土的内摩擦角（°）和锚碇墙（板）前土或填料的内摩擦角（°），当土体分层时，可采用加权平均值；

t_h ——锚碇墙（板）底端的埋深（m）。

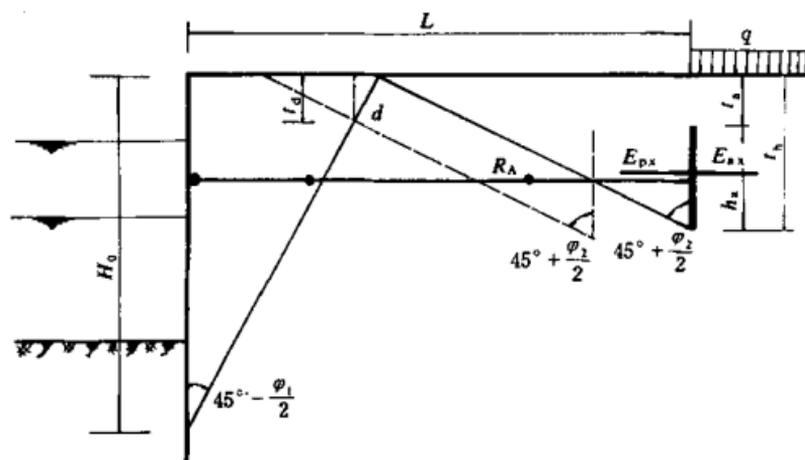


图 3.4.5 锚碇墙（板）至板桩墙最小距离的计算图式

3.4.6 当锚碇墙（板）到板桩墙的距离因某种原因不能满足式（3.4.5）时，式（3.4.1）中的 E_{px} 应减去 ΔE_{px} ， ΔE_{px} 按下式计算：

$$\Delta E_{px} = \frac{\gamma t_d^2 l_a K_p}{2} \quad (3.4.6)$$

式中 ΔE_{px} ——被动土压力标准值的水平分力增量（kN）；

t_d ——板桩墙后土体的主动破裂面和锚碇墙（板）前土体的被动破裂面的交点 d 到码头地面的距离（m）；

γ —— d 点土的重度（ kN/m^3 ）；

l_a ——拉杆间距（m）；

K_p ——被动土压力系数。

3.4.7 锚碇墙（板）的内力可按下列原则确定。

3.4.7.1 现浇的连续钢筋混凝土锚碇墙，其内力按下列规定计算：

水平向可考虑为刚性支承连续梁，其拉杆拉力标准值产生的水平向最大弯矩可按下列式计算：

$$M_H = \frac{R_a l_a^2}{10} \quad (3.4.7-1)$$

式中 M_H ——拉杆拉力标准值产生的水平向最大弯矩 (kN·m)；

R_a ——每米宽板桩墙的拉杆拉力标准值 (kN/m)；

l_a ——拉杆间距 (m)。

竖向可考虑为悬臂板，土抗力沿墙高为均匀分布，拉杆拉力标准值产生的竖向单宽最大弯矩按下列式计算：

$$M_V = \frac{R_a h_a}{8} \quad (3.4.7-2)$$

式中 M_V ——拉杆拉力标准值产生的竖向单宽最大弯矩 (kN·m/m)；

h_a ——锚碇墙的高度 (m)。

3.4.7.2 设有连续导梁的分块预制的锚碇墙导梁最大弯矩按式 (3.4.7-1) 计算；预制板的竖向单宽最大弯矩按式 (3.4.7-2) 计算。

3.4.7.3 双向悬臂的锚碇板由拉杆拉力标准值产生的水平向、竖向最大弯矩可按下列公式计算：

$$M_H = \frac{R_{Ax} b}{8} \quad (3.4.7-3)$$

$$M_V = \frac{R_{Ax} h_a}{8} \quad (3.4.7-4)$$

式中 M_H ——拉杆拉力标准值产生的水平向最大弯矩 (kN·m)；

M_V ——拉杆拉力标准值产生的竖向最大弯矩 (kN·m)；

R_{Ax} ——拉杆拉力水平分力的标准值 (kN)；

b ——锚碇板宽度 (m)；

h_a ——锚碇板高度 (m)。

3.4.8 锚碇墙 (板) 的水平位移可按式计算:

$$\Delta H = \frac{R_a l_a}{h_a b_k k_H} \quad (3.4.8)$$

式中 ΔH ——水平位移 (m);

R_a ——每米宽板桩墙的拉杆拉力标准值 (kN/m);

l_a ——拉杆间距 (m);

h_a ——锚碇墙 (板) 的高度 (m);

b_k ——锚碇墙 (板) 的计算宽度 (m);

k_H ——锚碇墙 (板) 的水平抗力系数 (kN/m³), 锚碇墙 (板) 前采用块石填料时, k_H 可取 3700kN/m³。

3.4.9 锚碇板桩 (桩) 的长度和内力可接受集中水平力 R_a (对于锚碇桩为 R_{AX}) 作用的无锚板桩墙的计算方法计算。

3.4.10 锚碇桩的计算宽度可按式确定:

$$B_k = 1.5nb_z + 0.5 \quad (3.4.10)$$

式中 B_k ——锚碇桩的计算宽度 (m);

n ——组成一个锚碇的桩数 (根);

b_z ——一根桩的宽度 (m)。

3.4.11 锚碇板桩 (桩) 到板桩墙的最小距离应满足式 (3.4.5) 的要求, 式中 t_b 为锚碇板桩 (桩), 变形第一零点到码头地面的距离。

3.4.12 锚碇板桩 (桩) 在拉杆处的水平位移, 可按竖向弹性地基梁法计算, 其值不宜大于 50mm。

3.4.13 计算锚碇叉桩的内力时, 可考虑桩两端为铰接, 不考虑桩周围土体对桩的作用。锚碇叉桩中桩的轴向力的标准值 (图 3.4.13) 可按下列公式计算:

$$N_D = \frac{R_{AX} \cos \alpha_z + W \sin \alpha_z}{\sin(\alpha_D + \alpha_z)} \quad (3.4.13-1)$$

$$N_z = \frac{R_{AX} \cos \alpha_D - W \sin \alpha_D}{\sin(\alpha_D + \alpha_z)} \quad (3.4.13-2)$$

$$W = G_m + \frac{\gamma t_0}{6} [ab + (a + a_1)(b + b_1) + a_1 b_1] + a_1 b_1 q \quad (3.4.13-3)$$

$$a_1 = a + 2t_0 \operatorname{tg} \varphi \quad (3.4.13-4)$$

$$b_1 = b + 2t_0 \operatorname{tg} \varphi \quad (3.4.13-5)$$

式中 N_D 、 N_Z ——分别为压桩 D 和拉桩 Z 的轴向压力和轴向拉力的标准值 (kN);
 α_D 、 α_Z ——分别为桩 D 和桩 Z 与垂线的夹角 ($^\circ$) 皆取正值;

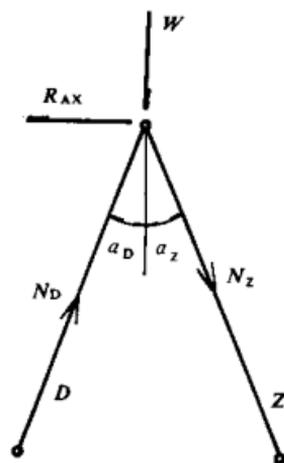


图 3.4.13 叉桩内力
计算图式

R_{AX} ——拉杆拉力水平分力的

标准值 (kN), 按第 4.2.1 条规定计算;

W ——作用在叉桩桩帽上的垂直力标准值 (kN);

G_m ——桩帽自重标准值 (kN);

γ ——桩帽以上土的重度 (kN/m^3);

t_0 ——桩帽顶面到码头地面的距离 (m);

a 、 b ——分别为桩帽的长度和宽度 (m);

q ——码头地面均布荷载标准值 (kN/m^2), 计算拉桩时, 可不考虑。

3.4.14 锚碇叉桩锚碇点的水平位移可按下式计算:

$$\Delta_H = \frac{1}{\sin(\alpha_D + \alpha_Z)} \left(\frac{R_{AX} \cos^2 \alpha_Z + W \sin^2 \alpha_Z}{C_D} + \frac{R_{AX} \cos^2 \alpha_D - W \sin^2 \alpha_D}{C_Z} \right) \quad (3.4.14)$$

式中 Δ_H ——水平位移 (m);

C_D 、 C_Z ——分别为压桩 D 和拉桩 Z 的轴向刚性系数 (kN/m);

可参照现行行业标准《高桩码头设计与施工规范》(JTJ291) 中有关规定确定。

3.4.15 锚碇叉桩的位置应遵守以下规定：

3.4.15.1 叉桩必须位于板桩墙后土体主动破裂面以外；

3.4.15.2 压桩桩尖距板桩墙的距离不得小于 1.0m；

3.5 斜拉桩式板桩码头计算

3.5.1 斜拉桩式板桩码头中板桩墙的入土深度可按第 3.3 节有关规定确定，并应满足板桩轴向承载力要求，板桩墙后的主动力土压力可按附录 B 的规定计算，板桩墙前的被动土压力可按第 3.2 节有关规定计算。

3.5.2 斜拉桩式板桩码头的内力，可按附录 B 假设为弹性嵌固于地基中的平面构架计算。

3.6 整体稳定性验算

3.6.1 板桩码头整体稳定性的验算可采用圆弧滑动法，并应遵守现行行业标准《港口工程地基规范》(JTJ250)中的有关规定。

3.6.2 板桩码头的整体稳定计算可只考虑滑动面通过板桩桩尖的情况，如桩尖以上或以下附近有软土层时，尚应验算滑动面通过软土层的情况，当圆弧从桩尖以上附近软土层中通过时，计算时可不计截桩力的影响。

3.6.3 当滑动面在锚碇结构前通过时，可不计拉杆力对稳定性的影响。

4 构件设计

4.1 板 桩

4.1.1 钢筋混凝土板桩可按受弯构件设计,当轴向力较大时,应按偏心受压构件设计。

4.1.2 钢筋混凝土板桩和预应力混凝土板桩,应按强度进行配筋。对于钢筋混凝土板桩应验算裂缝宽度。对于预应力混凝土板桩应进行抗裂验算。

4.1.3 钢板桩的单宽强度应满足下式:

$$\frac{\gamma_{GQ}}{1000} \left(\frac{N}{A} + \frac{M_{\max}}{W_z} \right) \leq f_t \quad (4.1.3)$$

式中 N ——作用标准值产生的每米轴向力 (kN);

M_{\max} ——作用标准值产生的每米板桩墙最大弯矩 (kN·m);

A ——钢板桩的截面面积 (m²/m);

W_z ——钢板桩的弹性抵抗矩 (m³/m);

f_t ——钢材的强度设计值 (N/mm²);按现行国家标准《钢结构设计规范》(GBJ17)中规定采用;

γ_{GQ} ——综合分项系数取 1.35。

4.1.4 U 型钢板桩的截面惯性矩和弹性抵抗矩,应分别乘折减系数 α 和 β 。对于上部设有钢筋混凝土帽梁的钢板桩墙, α 取 0.9, β 取 1.0。对其他形状钢板桩,折减值宜通过试验确定。

注:焊接的组合钢板桩墙,焊缝长度不得小于 200mm,焊缝间距不得大于 800mm。

4.2 拉 杆

4.2.1 拉杆拉力的标准值应按下式计算:

$$R_A = \xi_R R_a l_a \sec \theta \quad (4.2.1)$$

- 式中 R_A ——拉杆拉力标准值 (kN);
 ξ_R ——拉杆受力不均匀系数, 预先拉紧时, 可采用 1.35;
 R_a ——每米宽板桩墙的拉杆拉力标准值 (kN/m);
 l_a ——拉杆间距 (m);
 θ ——拉杆与水平面的夹角 ($^\circ$).

4.2.2 钢拉杆可按中心受拉构件设计。拉杆直径可按下式计算:

$$d = 2 \sqrt{\frac{1000 R_A \gamma_{RA}}{\pi f_t}} + \Delta d \quad (4.2.2)$$

- 式中 d ——拉杆直径 (mm);
 R_A ——拉杆拉力的标准值 (kN);
 γ_{RA} ——拉杆拉力分项系数取 1.35;
 f_t ——钢材的强度设计值 (N/mm^2);
 Δd ——预留锈蚀量 (mm), 可取 2mm~3mm。

4.3 锚碇结构

- 4.3.1 钢筋混凝土锚碇结构构件应按强度进行配筋。
 4.3.2 锚碇钢板桩的强度可按第 4.1.3 条规定计算。
 4.3.3 锚碇叉桩, 除按强度设计外, 尚应按现行行业标准《港口工程桩基规范》(JTJ254) 有关规定验算其轴向承载力。
 4.3.4 对于无导梁或无肋的锚碇板(墙), 应进行冲切强度的验算。并在预留拉杆孔上下和左右两倍构件厚度的范围内设置加强筋。

4.4 帽梁、导梁和胸墙

4.4.1 钢筋混凝土帽梁可不进行强度计算, 可按构造配筋。

当系船柱块体与帽梁整体浇注而又不单设锚碇系统时, 帽梁应按强度配筋, 并验算裂缝宽度。帽梁的内力可按受船舶系缆力水平分力作用的水平放置的弹性地基梁计算, 宜采用基床系数法,

基床系数可按下式计算：

$$K = \frac{3EI}{l^3bh} \quad (4.4.1)$$

式中 K ——基床系数 (kN/m^3)；
 E ——板桩墙的弹性模量 (KN/m^2)；
 I ——宽度为 b 时板桩墙的截面惯性矩 (m^4)；
 l ——板桩墙在拉杆以上的悬臂长度 (m)；
 b ——板桩墙的计算宽度，取 1.0m ；
 h ——帽梁的高度。

4.4.2 导梁可按刚性支承连续梁计算，拉杆拉力标准值产生的导梁和导梁悬臂段的最大弯矩按下列公式计算：

$$M_{\max} = \frac{1}{10} R_a l_a^2 \quad (4.4.2-1)$$

$$M_b = \frac{1}{2} R_a l_b^2 \quad (4.4.2-2)$$

式中 M_{\max} ——拉杆拉力标准值产生的导梁最大弯矩 ($\text{kN} \cdot \text{m}$)；
 R_a ——每米宽板桩墙的拉杆拉力标准值 (kN/m)；
 M_b ——拉杆拉力标准值产生的导梁悬臂段最大弯矩 ($\text{kN} \cdot \text{m}$)；
 l_a ——拉杆间距 (m)；
 l_b ——导梁悬臂段长度 (m)。

4.4.3 胸墙可按下列规定计算。

4.4.3.1 竖向按悬臂梁设计，取拉杆处为固端。主要荷载为墙后主动土压力。当系船柱块体与胸墙整体浇注而又不设单独锚碇系统时，尚应考虑系缆力的作用，其作用宽度按以 45° 向下扩散到拉杆处的原则确定。对于开敞式码头，还应考虑墙后主动土压力与墙前波吸力的作用组合情况。

4.4.3.2 对工字型截面的胸墙，取下翼板为导梁；L型截面的胸墙，取平台板为导梁；矩型和梯型截面的胸墙，取拉杆附近的 $0.5\text{m} \sim 0.7\text{m}$ 高度部分为导梁。导梁的内力可按第 4.4.2 条的规

定计算。

4.4.4 钢筋混凝土导梁和胸墙应按强度配筋，并验算裂缝宽度。

4.4.5 钢导梁的强度应满足式 (4.4.5) 的条件

$$\frac{\gamma_{GQ} M_{\max}}{1000W} \leq f_i \quad (4.4.5)$$

式中 M_{\max} ——作用标准值产生的导梁最大弯矩 (kN·m)；

W ——导梁的弹性抵抗矩 (m^3)

f_i ——钢材的强度设计值 (N/mm^2)；

γ_{GQ} ——综合分项系数，取 1.35。

5 板桩码头施工

5.1 一般规定

5.1.1 勘测基线(点)及水准点必须按交接手续进行交接,并进行现场复核。

5.1.2 施工基线、桩位控制点及现场水准点均应按勘测基线(点)及水准点测设,其精度应符合现行行业标准《高桩码头设计与施工规范》有关规定,并应定期检查和校核。

5.1.3 对板桩墙轴线上的障碍物应进行探摸和清除。

5.1.4 在岸坡上沉桩时,应控制沉桩速率,对邻近岸坡和建筑物进行监控,如发现异常现象,应及时研究处理。

5.1.5 在沉桩过程中,应及时做好桩位固定措施。台风季节,应按防台措施对桩位进行加固。

5.1.6 地下墙式板桩码头的施工,有陆上和水上两种。

注:本章内容除已注明外,均系适用于陆上施工。

5.1.7 地下墙式板桩码头施工应遵守第五章的有关规定,并参照现行国家标准《地基与基础工程施工及验收规范》(GBJ202)中有关地下墙施工的有关规定。

5.2 钢筋混凝土板桩的预制、吊运和堆存

5.2.1 钢筋混凝土板桩预制的允许偏差应符合表 5.2.1 的规定。

预制板桩允许偏差

表 5.2.1

| 序号 | 项 目 | 允 许 偏 差 (mm) |
|----|-----|--------------|
| 1 | 长度 | ±50 |

续上表

| 序号 | 项 目 | | 允 许 偏 差 (mm) | |
|----|------------|----|------------------|----|
| 2 | 横截面边长 | 宽度 | +10 | -5 |
| | | 厚度 | +10 | -5 |
| 3 | 榫槽中心对桩轴线偏移 | | 7 | |
| 4 | 榫槽表面错牙 | | 3 | |
| 5 | 抹面平整度 | | 10 | |
| 6 | 桩身侧向弯曲矢高 | | $L/1000$ 且不大于 20 | |
| 7 | 桩顶面倾斜 | | ≤ 5 | |
| 8 | 桩尖对桩纵轴线偏移 | | ≤ 10 | |

注：表中 L 为板桩长度 (mm)。

5.2.2 制作板桩的材料和工艺应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTJ268) 有关规定。并满足以下要求：

- (1) 板桩的桩身混凝土应一次浇筑，不得留施工缝；
- (2) 钢箍位置的混凝土表面不得出现规则的裂缝；
- (3) 板桩的凸榫不得有缺角等破损缺陷。

5.2.3 板桩起吊时的混凝土强度应符合设计要求，如设计无规定，起吊时强度应大于设计强度的 70%。

5.2.4 吊点位置的偏差不宜超过 200mm。吊索与桩身轴线的夹角不得小于 45°。

5.2.5 板桩的堆存应符合下列要求：

- (1) 采用多支垫，支垫均匀铺设；
- (2) 多层堆放的每层支垫均在同一垂线上；
- (3) 堆层不超过三层。

5.2.6 板桩装运时应符合下列要求：

- (1) 按沉桩顺序绘制装桩图，按图装船（车）；
- (2) 长途运输时，将支垫用木楔垫实，根据运输条件采取适当的系绑固定措施；
- (3) 按多支垫少垛层原则装运。

5.3 钢板桩验收、制作、吊运和堆存

5.3.1 钢板桩及其配件的材质与规格应符合设计要求与规范的规定，必要时，应抽样检验机械性能和化学组成。

5.3.2 钢板桩接长的焊接和异形钢板桩的制作，可参照现行行业标准《港口工程桩基规范》有关规定，其允许偏差应符合表 5.3.2 的要求。

钢板桩接长和异形钢板桩制作允许偏差 表 5.3.2

| 序号 | 项 目 | 允许偏差(mm) |
|----|-----------|------------------|
| 1 | 钢板桩长度 | ± 100 |
| 2 | 异型钢板桩宽度 | ± 10 |
| 3 | 钢板桩正向弯曲矢高 | $\leq 3L/1000$ |
| 4 | 钢板桩侧向弯曲矢高 | $\leq 2L/1000$ |
| 5 | 接头错牙 | $\leq \delta/10$ |

注：L 为板桩总长度 (mm)； δ 为板桩厚度 (mm)。

5.3.3 制成后的钢板桩锁口必须平直通顺，互相咬合，使用前应进行套锁通过检查。

5.3.4 钢板桩防护层的涂料品种和质量应符合设计要求。

5.3.5 涂料防护层的施工应符合设计要求，并遵守现行行业标准《海港工程钢结构防腐蚀技术规定》(JTJ284)的有关规定。

5.3.6 涂层在吊运和沉桩过程中如有损坏，应及时修补，修补的涂料应与原涂层相同或相配套。受潮水影响部位应采用快干涂料。

5.3.7 钢板桩拼组应符合下列要求：

(1) 拼组的台架能保证钢板桩在拼组过程中的各点、面的平直度符合设计要求；

(2) 拼组钢板桩每组的根数：U 型钢板桩为奇数；Z 型钢板桩为偶数；

(3) 拼组前清除锁口的残渣，涂抹润滑油脂，拼组时钢板桩的顶端齐平，高差不超过 5mm。成组钢板桩的锁口用电焊固定；

(4) 拼组钢板桩相邻板桩的接头互相错开，间距大于 5m，每

根钢板桩的接头不超过一个。

5.3.8 钢板桩堆存应符合下列要求:

(1) 堆存场地平整坚实, 便于起吊运输;

(2) 堆垛按沉桩顺序布置;

(3) 采用多支垫堆存, 支垫间距取 4m~5m, 支垫采用 100mm~150mm 的方木, 堆垛高度不大于 2m, 组合钢板桩堆高不超过三层;

(4) 在岸坡顶部堆存时, 注意加载后的岸坡稳定。

5.3.9 钢板桩吊运可采用两点吊, 不得斜拖起吊。

5.4 沉 桩

5.4.1 打桩船或打桩机应有足够的起重能力和起吊高度。施工水域或场地条件应满足船舶吃水深度或打桩机的接地压力的要求。

5.4.2 应根据地质条件、桩的品种、规格和打入深度选择桩锤。

5.4.3 沉桩施工宜设置导桩和导架等导向装置, 导向装置应具有足够的强度和刚度。

5.4.4 沉桩可采用一次沉桩或多次往复沉桩方法。

5.4.5 沉桩的允许偏差应符合表 5.4.5 的规定。

沉 桩 允 许 偏 差

表 5.4.5

| 序 号 | 项 目 | 允 许 偏 差 (mm) | |
|-----|----------------|--------------|------|
| | | 钢筋混凝土板桩 | 钢板桩 |
| 1 | 桩顶平面位置 | 陆上沉桩 | 100 |
| | | 水上沉桩 | 200 |
| 2 | 垂直板桩墙纵轴线方向的垂直度 | 1.0% | 1.0% |
| 3 | 沿板桩墙轴线方向的垂直度 | 1.5% | 1.5% |
| 4 | 钢筋混凝土板桩间的缝宽 | <25 | — |

5.4.6 对沉桩过程中出现的异常情况, 应采取以下有效的措施:

(1) 沿板桩墙纵轴线方向的垂直度偏差超过规定时, 对于钢筋混凝土板桩, 可采用修凿桩尖斜度的方法逐渐调整或用加楔形板桩进行调整; 对于钢板桩, 可用加楔形钢板桩的方法进行调整;

(2) 板桩偏移轴线产生平面扭转时,可在后沉的板桩中逐根纠正,使墙面平滑过渡;

(3) 下沉的板桩将邻近已沉的板桩“带下”或“上浮”时可根据“带下”的情况重新确定后沉板桩的桩顶标高,对“上浮”的板桩,应复打至设计标高;

(4) 发生脱榫或不联锁等现象时,应与设计单位研究处理。

5.4.7 沉桩应以桩尖设计标高作为控制标准。当桩尖沉至设计标高有困难时,应会同设计单位研究处理。当有承载力要求时,要求沉桩双控。

5.4.8 应在已沉入的桩位处设置明显标志,夜间应挂警示灯。严禁在已沉入的桩上系缆。应防止锚缆碰桩。

5.4.9 沉桩的有关其他要求,可按现行行业标准《港口工程桩基规范》有关规定执行。

5.4.10 沉桩时应按附录 C 填写沉桩记录。

5.5 拉杆的制作及安装

5.5.1 拉杆及其配件的规格和材质应符合设计要求。材料应具有出厂合格证书,并按有关规定抽样对其机械性能和化学成份进行检验。

5.5.2 拉杆接头的焊接及检验应符合设计要求和现行国家标准《手工电弧焊接接头的基本形式与尺寸》(GB985)与《钢结构工程施工和验收规范》(GBJ205)的有关规定。

5.5.3 拉杆防护层的包敷涂料的品种和质量应符合设计要求。

5.5.4 拉杆在堆存和吊运过程中应避免产生永久变形和保护层及丝扣等遭受损伤。

5.5.5 拉杆的安装应符合下列要求:

(1) 如设计对拉杆的安装支垫无具体规定时,可将拉杆搁置在垫平的垫块上,垫块的间距取 5m 左右;

(2) 拉杆连接铰的转动轴线位于水平面上;

(3) 在锚碇结构前回填完成和锚碇结构及板桩墙导梁或胸墙

的现浇混凝土达到设计强度后，方可张紧拉杆；

(4) 张紧拉杆时，使拉杆具有设计要求的初始拉力；

(5) 拉杆的螺母全部旋进，并有不少于 2~3 个丝扣外露；

(6) 拉杆安装后，对防护层进行检查，发现有涂料缺漏和损伤之处，加以修补。

5.5.6 拉杆制作和安装的允许偏差应符合表 5.5.6 的规定。

拉杆制作和安装的允许偏差 表 5.5.6

| 序号 | 项 目 | | 允许偏差 (mm) |
|----|--------|-----------|---------------|
| 1 | 制 作 | 每节拉杆长度 | +20, -10 |
| | | 拉杆接头处轴线偏移 | 5d/100 且不大于 3 |
| 2 | 安 装 | 拉杆间距 | ±100 |
| | | 拉杆标高 | ±50 |

注：d 为拉杆直径 (mm)。

5.6 锚碇结构的浇筑及其构件的预制、堆存和安装

5.6.1 预制锚碇结构构件的允许偏差应符合表 5.6.1 的规定

预制锚碇结构构件的允许偏差 表 5.6.1

| 序号 | 项 目 | 允许偏差 (mm) | |
|----|----------|-----------|--------|
| | | 锚 碇 板 | 锚 碇 桩 |
| 1 | 构件长度 | ±10 | ±50 |
| 2 | 横截面边长 | ±10 | ±5 |
| 3 | 预留孔位置 | 20 | / |
| 4 | 预留孔直径 | +10 -0 | / |
| 5 | 板面对角线 | 30 | / |
| 6 | 侧面弯曲矢高 | 10 | 10 |
| 7 | 桩尖对纵轴线偏差 | / | ≤15 |
| 8 | 桩顶面倾斜 | / | ≤b/100 |

注：b 为桩的边长 (mm)。

5.6.2 预制构件吊运时的混凝土强度应符合设计要求，如设计无

规定，起吊时强度应大于设计强度 70%。

5.6.3 预制构件的吊运及堆存应按第 5.2 节有关规定执行，堆垛高度不宜超过五层。

5.6.4 锚碇板安装的允许偏差应符合表 5.6.4 规定。

锚碇板安装的允许偏差 表 5.6.4

| 序号 | 项 目 | | 允许偏差 (mm) |
|----|------|--------|-----------|
| 1 | 平面位置 | 沿轴线方向 | 100 |
| | | 垂直轴线方向 | 50 |
| 2 | 顶面 | 标高 | ±50 |
| 3 | 竖向倾斜 | 前 倾 | 0 |
| | | 后 倾 | 1.5H/100 |

注：H 为锚碇板高度(mm)。

5.6.5 现浇锚碇墙的允许偏差应符合表 5.6.5 的规定。

现浇锚碇墙的允许偏差 表 5.6.5

| 序号 | 项 目 | 允许偏差 (mm) |
|----|---------|-----------|
| 1 | 轴线位置 | 20 |
| 2 | 厚度 | ±10 |
| 3 | 顶面标高 | ±20 |
| 4 | 相邻段表面错牙 | 10 |
| 5 | 预留孔位置 | 20 |
| 6 | 预留孔直径 | +10 -0 |

5.6.6 锚碇板安装后或现浇锚碇墙拆模后应加临时支撑固定。

5.6.7 锚碇叉桩和锚碇桩的施工可参照现行行业标准《高桩码头设计与施工规范》中有关规定执行。

5.7 板桩间凹槽、帽梁、导梁和胸墙的浇筑

5.7.1 钢筋混凝土板桩间接缝凹槽的空腔，宜采用模袋灌筑。在灌筑前应清除泥土及杂物。

5.7.2 帽梁或胸墙的浇筑应在板桩间凹槽空腔中的混凝土或砂浆强度达到 C15 后进行。浇筑前应先凿除板桩顶部的混凝土。

5.7.3 现浇帽梁或胸墙的允许偏差应符合表 5.7.3 的规定。

现浇钢筋混凝土帽梁或胸墙的允许偏差 表 5.7.3

| 序号 | 项 目 | | 允许偏差(mm) |
|----|---------|----------|----------|
| 1 | 前沿线位置 | | 20 |
| 2 | 顶面标高 | | ±15 |
| 3 | 顶面宽度 | | ±10 |
| 4 | 相邻错牙 | | 10 |
| 5 | 迎水面竖向倾斜 | | 5H/1000 |
| 6 | 迎水面平整度 | | 10 |
| 7 | 顶面平整度 | | 10 |
| 8 | 预留孔位置 | | 20 |
| 9 | 预埋铁件 | 位置 | 20 |
| | | 与混凝土表面错牙 | 5 |

注：H 为胸墙高度 (mm)。

5.7.4 现浇帽梁、导梁或胸墙的混凝土强度未达到 C10 之前，在其 30m 范围内不得进行打桩。

5.7.5 钢导梁上的拉杆孔、连接螺栓和连接板的位置应符合设计要求。连接螺栓应拧紧，并有不少于 2~3 个丝扣外露。钢导梁与钢板桩之间的缝隙应用钢板填塞。

5.8 现浇地下墙施工

5.8.1 现浇地下墙体可按图 5.8.1 所示程序施工。

5.8.2 槽段开挖前，应沿地下墙体两侧设置临时导墙。导墙可采用现浇和预制的混凝土或其他材料。

5.8.3 导墙应具有准确地标示出地下墙体的设计位置，和作为测量基准，为开槽机和灌注混凝土机架导向等功能。并保证在各种

施工荷载作用下有足够的强度和稳定性。

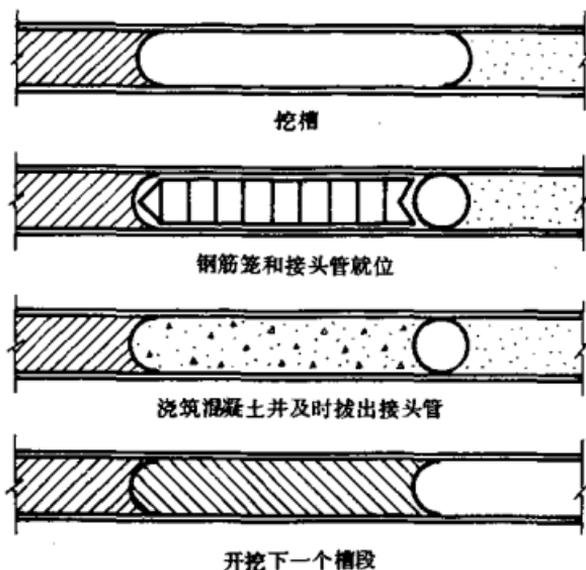


图 5.8.1 现浇地下墙体的施工程序

5.8.4 导墙顶面应高出地面 50mm~100mm, 并应保证槽内泥浆液面高出地下水位不小于 0.5m。水上施工时导墙顶标高应高出施工高水位 0.5m 以上。

5.8.5 导墙应设置在较密实的土层上并保证不漏浆。

5.8.6 导墙的截面尺寸应根据结构型式、施工荷载和地基条件由计算确定。墙高宜采用 1m~2m, 墙顶宽度不宜小于 2m, 内墙面宜采用垂直面。

5.8.7 两导墙墙面间的净距应根据地下墙设计厚度加施工余量确定, 施工余量可取 40mm~60mm。

5.8.8 导墙应设变形缝, 其间距宜采用 20m~40m, 两导墙的变形缝应互相错开。

5.8.9 现浇导梁拆模后应及时加临时支撑。

5.8.10 预制导梁的安装接缝应保证不漏浆。

5.8.11 导墙的允许偏差应符合表 5.8.11 的规定。

导墙的允许偏差

表 5.8.11

| 序号 | 项 目 | 允许偏差(mm) |
|----|-----------|----------|
| 1 | 顶面高程 | ±10 |
| 2 | 导墙面与纵轴线距离 | ±10 |
| 3 | 两导墙墙面间的净距 | ±10 |

5.8.12 挖槽机械应根据工程地质条件、施工环境和墙体尺寸等选用。

5.8.13 挖槽前,应将地下墙划分若干单元槽段,逐段开挖。单元槽段的长度可采用 4m~8m。

5.8.14 挖槽时应加强观测,防止槽壁倾斜和产生较严重的坍塌。

5.8.15 槽段开挖结束后,应对邻段混凝土的端面进行刷洗,清除槽底沉积物,槽内置换泥浆。开挖槽段应达到以下标准:

(1) 沉积物的厚度不大于 200mm;

(2) 置换泥浆结束 1 小时后槽底(设计标高)以上 200mm 处的泥浆重度不大于 12kN/m^3 。

5.8.16 槽段开挖的允许偏差应符合表 5.8.16 的规定。

槽段开挖的允许偏差

表 5.8.16

| 序号 | 项 目 | 允许偏差 (mm) |
|----|--------------------|------------------------------|
| 1 | 深度 | +200 -0 |
| 2 | 宽度 | -0 |
| 3 | 顶面中心线 | 30 |
| 4 | 壁面垂直度 | 1/150 |
| 5 | 相邻槽段的挖槽中心线在任一深度上偏差 | $\leq 1/3\delta$, 且不影响码头前沿线 |

注: δ 为地下墙厚度 (mm)。

5.8.17 地下墙成槽应用泥浆护壁。泥浆可采用以膨润土或粘土为主要成份进行配制。当采用粘土时,宜选用粘粒含量大于 50%、塑性指数大于 20 的粘土。泥浆使用前应取样进行配合比试验。

5.8.18 泥浆的性能指标应经试验确定。在一般软土中成槽时,泥浆的性能指标可参照表 5.8.18 选用。

泥浆性能指标

表 5.8.18

| 序号 | 项 目 | 指 标 |
|----|------|--|
| 1 | 重度 | $1.05\text{kN/m}^3 \sim 1.20\text{kN/m}^3$ |
| 2 | 粘度 | $18'' \sim 25''$ |
| 3 | 失水量 | $< 30\text{mg}/30\text{min}$ |
| 4 | 泥皮厚度 | $1\text{mm}/30\text{min} \sim 3\text{mm}/30\text{min}$ |
| 5 | 稳定性 | $\leq 0.02\text{g}/\text{cm}^3$ |
| 6 | pH 值 | 7~9 |

5.8.19 在泥浆容易渗漏的土中成槽，应适当提高泥浆的粘度和增加泥浆的储备量。

5.8.20 新配制的泥浆，应存放 24 小时以上，或添加分散剂使膨润土或粘土充分水化后，方可使用。

5.8.21 钢筋笼的尺寸应根据单元槽段的尺寸、墙段的接头型式和施工起重设备能力等确定。一个单元槽段的钢筋笼如需分幅分段，应征得设计单位同意。

5.8.22 钢筋笼应具有足够的刚度，可采取加焊钢筋桁架或在主筋平面内加斜拉条等措施。

5.8.23 在钢筋笼的两侧应加焊保护层垫板。

5.8.24 吊装钢筋笼入槽前，应对挖槽进行全面检查，符合质量标准后，方可吊钢筋笼入槽。

5.8.25 钢筋笼吊点的布置，应保证钢筋笼在吊装过程中不致产生永久变形。

5.8.26 钢筋笼应保持垂直入槽，缓慢下放，不得强行冲击下放。钢筋笼入槽后应悬挂在导墙上。

5.8.27 混凝土的配合比应按设计要求通过配合比设计和试验确定。水灰比不得大于 0.6；水泥用量不宜少于 $370\text{kg}/\text{m}^3$ ；坍落度宜为 $200\text{mm} \pm 20\text{mm}$ 。

5.8.28 钢筋笼和接头管就位后，应检查槽底沉淀物的厚度，若超过规定，应重新清槽。应在 4 小时内浇筑混凝土。

5.8.29 槽段混凝土可采用导管法浇筑。开始浇筑时，导管底端距槽底不得大于0.5m；在浇筑过程中，导管宜埋入混凝土2m~4m，混凝土顶面的上升速度不得小于2m/h。

5.8.30 在单元槽段内同时使用两根以上导管时，导管的间距不宜大于3.0m，导管与接头管的距离不宜大于1.5m。在浇筑过程中，各导管处的混凝土表面高差不宜大于0.3m。

5.8.31 混凝土宜浇筑高出墙顶设计标高0.5m~0.8m，凿除涂浆层后，墙顶标高应符合设计要求。

5.8.32 接头管应具有足够的强度和刚度。应按设计位置垂直下放入槽。

5.8.33 接头管随着混凝土浇筑应及时提拔，提拔时应防止接头处混凝土损坏。

5.9 预制地下墙施工

5.9.1 槽段开挖、导墙设计和施工及泥浆护壁应按第5.8节的有关规定执行。

5.9.2 挖槽的宽度应比墙体设计厚度加度100mm~150mm。

5.9.3 地下墙板的预制、吊运和堆存应按第5.2节的规定执行。地下墙板间接缝凹槽的空腔应按第5.7.1条规定处理。

5.9.4 槽段内的护壁泥浆，在安装地下墙板前，应用自凝泥浆置换。置换量可按下式估算：

$$W = KW_1 - W_2 \quad (5.9.4)$$

式中 W ——自凝泥浆置换量 (m^3)；

K ——系数，在粘性土中成槽取1.3，在砂性土中成槽取1.5；

W_1 ——槽段的容积 (m^3)；

W_2 ——地下墙板入泥浆部分的体积 (m^3)。

5.9.5 自凝泥浆终凝后的无侧限抗压强度，不应低于地下墙处原状土的无侧限抗压强度。

5.9.6 预制地下墙板安装的允许偏差应符合表5.9.6的规定。

预制地下墙板安装允许偏差

表 5.9.6

| 序 号 | 项 目 | 允 许 偏 差 (mm) |
|-----|------------|--------------|
| 1 | 顶面高程 | +50 -0 |
| 2 | 纵轴线偏差 | ±30 |
| 3 | 板间缝隙宽度 | ≤25 |
| 4 | 相邻板间纵轴相对偏差 | ≤25 |

5.9.7 板桩墙前方挖泥和后方回填应在自凝泥浆达到设计强度后进行。

5.10 桩排式地下墙施工

5.10.1 桩排式地下墙的施工可按现行行业标准《工业与民用建筑灌注桩基础设计与施工规程》(JGJ4)的有关规定执行。

5.10.2 桩排式地下墙体施工的允许偏差应符合表 5.10.2 的规定。

桩排式地下墙施工允许偏差

表 5.10.2

| 序 号 | 项 目 | 允 许 偏 差 (mm) |
|-----|-----------|--------------|
| 1 | 垂直度 | 1/100 |
| 2 | 孔底沉渣或虚土厚度 | ≤200 |
| 3 | 桩位 | ≤30 |

5.10.3 桩排式地下墙应采取可靠的防漏土措施。

5.11 回填和挖泥

5.11.1 回填顺序应符合设计要求。回填时首先应回填锚碇结构前的区域，待拉杆拉紧后再回填料板桩墙后区域。

5.11.2 锚碇结构前回填时，应按设计要求分层夯实。

5.11.3 板桩墙后回填前应清除回淤后的淤泥。水下回填宜从板桩墙向陆域方向进行。

5.11.4 回填料的品种和质量应符合设计要求。

5.11.5 回填时应防止碰伤拉杆。拉杆下部应填实。

- 5.11.6 拉杆上部的回填应按设计要求分层进行，并使其密实。
- 5.11.7 回填过程中应对板桩墙的沉降和位移进行监测。
- 5.11.8 水上的施工挖泥应按设计要求进行。
- 5.11.9 码头前沿挖泥应符合下列规定：
 - (1) 在码头主体工程完成后进行；
 - (2) 挖泥超深不大于 0.5m，平均超深不大于 0.3m；
 - (3) 分层挖泥，每层厚度不大于 1.5m；
 - (4) 在挖泥过程中对板桩墙的位移加强监测。

附录 A 水平地基反力系数

A.0.1 m 法的水平地基反力系数应按下式确定：

$$K = mZ \quad (\text{A.0.1})$$

式中 K ——水平地基反力系数 (kN/m^3)；

m ——水平地基反力系数随深度增大的比例系数 (kN/m^4)；

Z ——计算点距计算水底的深度 (m)。

A.0.2 m 值可通过水平荷载试验确定，当无试验资料时，可按表 A.0.2 选用。

m 值 表

表 A.0.2

| 地基土质情况 | m 值 (kN/m^4) |
|-------------------------------|----------------------------------|
| $I_L \geq 1$ 的粘性土, 淤泥 | 1000~2000 |
| $1 > I_L \geq 0.5$ 的粘性土, 粉砂 | 2000~4000 |
| $0.5 > I_L \geq 0$ 的粘性土, 中、细砂 | 4000~6000 |
| $I_L < 0$ 的粘性土, 粗砂 | 6000~10000 |
| 砾石、砾砂、碎石、卵石 | 10000~20000 |

注：板桩墙在计算水底处的水平变位大于 10mm 时，取表中较小值。

(1) 计算水底以上:

$$e_a = (q + \Sigma \gamma h) K_a - \frac{2c \cos \varphi}{1 + \sin \varphi} \quad (\text{B. 0. 2-1})$$

式中 e_a ——计算面的主动土压力强度标准值 (kN/m^2);

q ——码头地面上的均布荷载标准值 (kN/m^2);

r ——计算面以上各层土的重度 (kN/m^3);

h ——计算面以上各土层的厚度 (m);

K_a ——计算面的主动土压力系数, 按式 (3. 2. 3-3) 计算时取 $\delta=0$;

C ——计算土层土的粘聚力标准值 (kN/m^2)。

(2) 计算水底以下的土压力强度标准值不变, 其值等于计算水底处的土压力强度标准值 e_{aH} 。

B. 0. 2. 2 将作用在整个结构上的土压力按刚度分配给板桩墙和斜拉桩:

(1) 分配给板桩墙的土压力强度标准值 (kN/m^2):

$$e_{a1} = \omega_1 e_a \quad (\text{B. 0. 2-2})$$

$$\omega_1 = \frac{a E_1 I_1}{a E_1 I_1 + E_2 I_2 \sin^2 a \left[\frac{\sin(a + \varphi)}{\cos \varphi} \right]^3} \quad (\text{B. 0. 2-3})$$

(2) 沿码头纵向每米宽内分配给斜拉桩的土压力强度标准值 (kN/m):

$$e_{a2} = \omega_2 e_a \quad (\text{B. 0. 2-4})$$

$$\omega_2 = \frac{E_2 I_2 \left[\frac{\sin(a + \varphi)}{\cos \varphi} \right]^4 \sin a}{a E_1 I_1 + E_2 I_2 \sin^2 a \left[\frac{\sin(a + \varphi)}{\cos \varphi} \right]^3} \quad (\text{B. 0. 2-5})$$

式中 ω_1 ——对板桩墙的分配系数;

ω_2 ——对斜拉桩的分配系数;

a ——斜拉桩的间距 (m);

E_1 、 I_1 ——板桩墙的弹性模量 (kN/m^2) 和每米宽板桩墙截面惯性矩 (m^4/m);

E_2 、 I_2 ——斜拉桩的弹性模量 (kN/m^2) 和一根斜拉桩的截面惯性矩 (m^4);

α ——斜拉桩轴线与水平面的夹角 ($^\circ$);

φ ——水底处土的内摩擦角 ($^\circ$)。

注: 计算 e_{a2} 、 e_a 时采用自计算位置引平行于假想泥面的直线与板桩墙交点的主动土压力强度值。

B. 0.3 作用在板桩墙上的剩余水压力, 按第 3.2.1 条和第 3.2.2 条规定确定。

B. 0.4 按平面构架计算时, 可不考虑桩尖沉降的影响, 板桩墙和斜拉桩的入土段按竖向弹性地基梁考虑, 可按第 3.3.6 条的规定计算。

B. 0.5 应按现行行业标准《港口工程桩基规范》的有关规定验算板桩墙和斜拉桩的轴向承载力。

B. 0.6 当预计码头后回填土和下卧土层有较大沉降时, 应考虑其对斜拉桩的影响, 此时, 可在沉降土层作用于斜拉桩的 e_{a2} 上加 e'_{a2} (kN/m) 来考虑。 e'_{a2} 可按下式计算:

$$e'_{a2} = (q + \Sigma rh)\omega_3 \cos^2 \alpha \quad (\text{B. 0.6})$$

式中 r 、 h ——计算面以上各沉降土层的重度 (KN/m^3) 和厚度 (m);

ω_3 ——考虑斜拉桩间隔布置的折减系数, 可按表 B. 0.6 规定采用。

折减系数 ω_3

表 B. 0.6

| | | | | | | | |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\frac{B}{a}$ | 0.10 | 0.15 | 0.20 | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.40 |
| ω_3 | 0.40 | 0.55 | 0.66 | 0.74 | 0.80 | 0.85 | 0.88 |

注: B 为桩宽; a 为斜拉桩的间距。

附录C 沉桩记录

沉 桩 记 录

| 工程名称 | | 沉桩日期 | 天气 | 水位 | | |
|----------|----|--------|-----|------|-------|----|
| 本桩位置 | | 锤型(锤重) | 冲程 | 桩型号 | | |
| 编号 | 设计 | 阵次 | 锤击数 | 桩身读数 | 平均贯入度 | 备注 |
| | 施工 | 1 | | | | |
| 开始锤击时间 | | 2 | | | | |
| 停止锤击时间 | | 3 | | | | |
| 小计 | | 4 | | | | |
| 设计倾斜度 | | 5 | | | | |
| 管打长度(cm) | | 6 | | | | |
| 垫层厚度(cm) | | 7 | | | | |
| 水准点标高 | | 8 | | | | |
| 后视 | | 9 | | | | |
| 仪高 | | 10 | | | | |
| 稳桩高读数 | | 11 | | | | |
| 压桩高读数 | | 12 | | | | |
| 泥面标高(m) | | 13 | | | | |
| 桩尖标高 | 设计 | 14 | | | | |
| | 实际 | 15 | | | | |
| 桩顶标高 | 设计 | 16 | | | | |
| | 实际 | 17 | | | | |
| 轴线倾斜 | | 18 | | | | |
| 前后倾斜 | | 19 | | | | |

续上表

| 工程名称 | | | | 沉桩日期 | | | 天气 | | | 水位 | | |
|------------|---|--------|----|--------|--|--|----|--|--|-----|----|--|
| 本桩位置 | | | | 锤型(锤重) | | | 冲程 | | | 桩型号 | | |
| 偏位 (cm) | 内 | | | 20 | | | | | | | | |
| | | | | 21 | | | | | | | | |
| | 外 | | | 22 | | | | | | | | |
| | | | | 23 | | | | | | | | |
| | | 测 量 | 正面 | | | | 记录 | | | | 校核 | |
| | | | 侧面 | | | | 记录 | | | | | |
| | | | 平面 | | | | 记录 | | | | | |

附录 D 本规范用词用语说明

D.0.1 为了便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

- (1) 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”；
反面词采用“严禁”。
- (2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的；
正面词采用“应”；
反面词采用“不应”或“不得”。
- (3) 对表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”或“可”；
反面词采用“不宜”。

D.0.2 条文中指定应按其它有关标准、规范执行时，写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

附加说明

本规范主编单位、参加单位 和主要起草人名单

主编单位：中交水运规划设计院
交通部第三航务工程局

参加单位：天津大学
交通部第一航务工程勘察设计院
交通部第三航务工程勘察设计院
河海大学
交通部第一航务工程局
交通部第二航务工程局
天津港湾工程研究所
中国船舶工业总公司第九设计研究院

主要起草人：傅家猷 陈万佳

(以下按姓氏笔画为序)

| | | | |
|-----|-----|-----|-----|
| 马维汉 | 王浩芬 | 王云球 | 方兆麟 |
| 刘杏忍 | 李乃扬 | 吴宗绅 | 陈川爵 |
| 徐洪涛 | 高秀理 | 高江桥 | |

JTJ 292—98

条文说明

制定说明

本规范是根据交通部（1990）工技字第 124 号文关于印发《水运工程标准规范工作会议》会议纪要的通知和（91）工技字 83 号文关于对《板桩码头技术规范》编制工作安排的批复的要求，编制组于 1990 年下半年开展了工作。规范由主编单位中交水运规划设计院和交通部第三航务工程局；参加编制单位：天津大学、交通部第一、二航务工程局、交通部第一、三航务工程勘察设计院、河海大学、天津港湾工程研究所、中国船舶工业总公司第九设计研究院等单位共同编制完成。

在编制过程中，从我国水运工程建设实际出发，进行了广泛深入的调查研究，总结了我国板桩码头建设的实践经验，经广泛征求意见，反复讨论修改后，1995 年 12 月完成送审稿。

为便于使用，正确理解和掌握规范的条文，在编写条文的同时，编写了条文说明。

本规范各章、附录的编写人员分工如下：

第 1 章 傅家猷

第 2 章 马维汉 李乃杨 陈万佳 傅家猷 高秀理

第 3 章 王浩芬 王云球 陈万佳 刘杏忍

吴宗绅 李乃杨

第 4 章 高江桥 陈万佳 傅家猷 刘杏忍

第 5 章 徐洪涛 陈川爵

附录 A 陈万佳

附录 B 李乃杨

附录 C 徐洪涛

附录 D 傅家猷

规范总校工作领导小组：

组 长：仇伯强

副组长：姜明宝

成 员：杜廷瑞 贺 铮 孙毓华

规范总校组：

组 长：—

副组长：孙毓华

成 员：姜明宝 杜廷瑞 傅家猷 王浩芬

徐洪涛 王小萍

本规范于1997年6月12日通过部审，1998年4月20日发布，1999年6月1日起实施。

目 次

| | |
|--------------------------------|------|
| 1 总则 | (59) |
| 2 构造设计 | (60) |
| 2.1 板桩 | (60) |
| 2.2 拉杆 | (61) |
| 2.3 锚碇结构 | (62) |
| 2.4 帽梁、导梁及胸墙 | (62) |
| 2.5 斜拉桩式板桩码头 | (63) |
| 3 设计计算 | (64) |
| 3.1 作用和作用效应组合 | (64) |
| 3.2 剩余水压力和土压力 | (65) |
| 3.3 板桩墙计算 | (68) |
| 3.4 锚碇结构计算 | (70) |
| 3.5 斜拉桩式板桩码头计算 | (72) |
| 4 构件设计 | (73) |
| 4.1 板桩 | (73) |
| 4.2 拉杆 | (73) |
| 5 板桩码头施工 | (75) |
| 5.1 一般规定 | (75) |
| 5.2 钢筋混凝土板桩的预制、吊运及堆存 | (75) |
| 5.3 钢板桩验收、制作、吊运和堆存 | (75) |
| 5.4 沉桩 | (76) |
| 5.5 拉杆制作及安装 | (77) |
| 5.6 锚碇结构的浇注及其构件的预制、堆存和安装 | (77) |
| 5.7 板桩间凹槽、帽梁、导梁和胸墙的浇筑 | (77) |

| | | |
|------|--------------------|------|
| 5.8 | 现浇地下墙施工 | (77) |
| 5.9 | 预制地下墙施工 | (79) |
| 5.10 | 桩排式地下墙施工 | (80) |
| 5.11 | 回填和挖泥 | (80) |
| 附录 A | 水平地基反力系数 | (82) |
| 附录 B | 斜拉桩式板桩码头内力计算 | (83) |

1 总 则

1.0.6 板桩码头是港口工程中码头的主要结构型式之一,设计和施工板桩码头时,有许多技术要求是与其他码头结构型式相同,本规范仅就板桩码头本身特有的主要技术作出规定,而与其他码头结构型式相同或可参照的技术要求应按现行行业标准《港口工程混凝土结构设计规范》(JTJ267)、《港口工程荷载规范》(JTJ215)、《海港工程钢结构防腐蚀技术规定》(JTJ284)等的有关规定执行。有关地下墙式板桩码头施工还应遵守现行国家标准《地基与基础工程施工及验收规范》(GBJ202)的规定。

2 构造设计

2.1 板 桩

2.1.1 矩型截面的板桩是较常用的，它形状简单、制作方便、容易施打、板桩之间接缝好处理，但它也存在一些缺点如：抗弯能力低，材料用量多等。一般内河码头也可采用 T 型截面，以减少材料用量；深水码头，要求板桩抗弯能力大时，也可采用圆管型或组合型截面的板桩。

2.1.8 目前用于板桩码头的钢板桩多为 U 型和 Z 型。适用于水深 10m 左右的板桩码头工程，当采取某些减载措施则可适用于更大水深的码头。圆管型、H 型或组合型钢板桩其截面模量可增加较多，可适用于较大的深水码头。

2.1.10 现行行业标准《海港工程钢结构防腐蚀技术规定》可适用于钢板桩，并规定对水位变化区以上以涂层方法为主，对水下区着重采用阴极保护与涂层合用的方法。近年来，我国南方建钢板桩码头多采用将导梁底面降低至低水位的方法，减少板桩的暴露长度，并取得效果。

2.1.11 根据调查收集到的资料，我国现有采用地下墙式板桩码头的工程绝大部分是单锚式结构，它除了以地下连续墙墙体取代板桩墙，有时也可取代锚碇墙（或板）外，其结构组成与单锚板桩码头基本一样，即由地下墙墙体、胸墙、拉杆及锚碇墙（或板）组成。

2.1.12 根据目前国内地下墙挖槽机械性能和施工能力，现浇墙段的厚度一般为 600mm~1000mm，预制地下墙墙厚一般不大于 500mm，钻孔桩排式的设计桩径不小于 550mm，地下墙单元墙段

长度一般为 4m~8m。

2.1.13 地下墙施工中，墙段间需要设置垂直接头，为保证接头具有良好的整体性、合理性、防渗漏和经济性。接头形式应按结构的使用和受力要求，以及施工条件确定。接头形式一般有非整体式接头和整体式接头两类。对于单锚式地下墙码头，常采用非整体式接头，即由接头管做成的接头。槽段成槽后，清槽及换浆合格，在端部先吊放入接头管，然后向槽段内吊放钢筋笼，安装导管并进行混凝土浇筑，完成后及时拔出接头管，在进行下一槽段吊放钢筋笼前，应采用特制的接头刷，对先期完成的墙段接头管接头处的壁面泥渣进行清刷，以保证相邻墙段接头部位混凝土的质量和良好接触。

钻孔桩排式地下墙墙体结构，根据目前国内施工条件尚采用一字形连续排列的形式。为防止桩间间隙的土体流失，墙后应设置防渗漏帷幕墙，在考虑墙后排水时，可设置反滤井方法进行接头处理。

2.1.14 现浇地下墙的混凝土由于是在泥浆下浇注的，其强度低于空气中浇筑的混凝土强度。钢筋笼是预先放入有泥浆的槽段内，钢筋与混凝土的握裹力也有所降低，同时混凝土浇筑是采用竖管法，混凝土面自槽段底向上升高，在墙面上的强度分散性较大。因此，除预制地下墙外，为保证地下墙的混凝土质量，并具有足够的安全储备，现浇地下墙的混凝土和钢筋的设计及其构造不同于一般的预制钢筋混凝土板桩。因此在设计地下墙时，混凝土设计强度等级不能过低。且对混凝土设计强度等指标均需适当打折扣后再进入设计计算。具体可参照上海市标准《地基基础设计规范》(DBJ08-11-89)。

2.2 拉 杆

2.2.1 本条规定系根据国内外经验，分析确定的。由于拉杆的直径粗，不易焊接好，为确保受力好，拉杆不断裂，因此对焊接质量和延伸率作了规定。

2.2.7 主要是为了减少拉杆受力不均匀，在安装钢拉杆时，应施加一定的初始应力，以保证拉杆拉紧，并能受力均匀。

2.2.10 在调查中发现，有的板桩码头前沿 15t 系船柱处由于只设单根副拉杆，致使混凝土路面发生八字形的斜裂缝，为解决此问题，条文中规定在系船柱块体处要设八字形副拉杆。

2.3 锚碇结构

2.3.1 锚碇墙和锚碇板的差别为：锚碇墙是沿码头线方向连续的；锚碇板是沿码头线方向不连续的（有一定间距）。

在板桩码头中常用的是锚碇墙（板），它比较经济，结构和施工也简单。当板桩墙后不远处有已建的地上或地下建筑物（或管道），远远满足不了锚碇墙（板）与板桩墙间的最小距离要求时，或者拉杆力很大，可采用锚碇叉桩。当板桩墙后原地面较高而且土质也较好，可以利用这个土层，只开挖到拉杆高程，采用锚碇板桩或锚碇桩可能比较经济。另外，当墙后地下水位较高，浇筑锚碇墙或安装锚碇板需排水施工，如果排水困难，这时可采用锚碇板桩或锚碇桩。

应当指出，锚碇板桩或锚碇桩系受集中力（拉杆力）的无锚结构，承受水平能力有限，位移较大，很不经济，过去只在小码头或护岸中应用。

2.3.6 “锚碇墙上拉杆预留孔的位置应与锚碇墙（板）上土压力合力作用点重合”，这是原则性规定，实际上，锚碇墙（板）前土抗力的分布并不是库伦理论那样，所以设计时，拉杆预留孔的位置常放在锚碇墙（板）高度中间偏下处。

2.4 帽梁、导梁及胸墙

2.4.1 导梁和帽梁合一的形式称为胸墙。这种形式一般在水位差不大的河口港采用，如上海黄浦江和天津海河沿岸的板桩码头。

2.4.2 预制钢筋混凝土导梁，在一些码头中采用过。采用这种导梁，板桩需隔几根作一根带牛腿的（安放导梁用）。因打板桩时很

难把桩顶标高控制准确，给安装拉杆带来较大困难，故很少采用预制导梁，而用现浇导梁代替。

2.5 斜拉桩式板桩码头

2.5.1~2.5.3 系根据已建成的斜拉桩式板桩码头的实际情况，对这种结构的构造方面作出指导性的简述。这种结构中的板桩及斜拉桩，宜采用钢或钢筋混凝土（包括预应力混凝土）。在德国和日本普遍采用前者，在前苏联和我国二者兼有。板桩的截面选取及构造要求与单锚板桩相同。钢质斜拉桩通常采用 H 型或圆管型截面，斜拉桩在工作中受有较大的弯曲应力，对于受力较大、特别是墙后土层可能发生明显沉降者，宜采用钢材，当无负摩擦情况下也可采用钢筋混凝土桩（其截面多为方型）。斜拉桩的间距，在收集到的资料中，最小的仅 1m，最大的达 3.43m，以 1.5m 至 3.0m 者居多。斜拉桩的斜度，除德国多采用 1:1 外，日本、前苏联和我国几乎都采用 3:1。有的文献指出，斜度不宜陡于 3:1，否则会引起码头较大的位移。板桩墙与斜拉桩的连接可采用铰接或刚接。日本和德国常常采用前者以利于斜拉桩在连接处的应力状态，后者一般采用现浇钢筋混凝土帽梁的形式，其中板桩与斜拉桩的距离应尽量减小，以减小桩中的弯曲应力。

3 设计计算

3.1 作用和作用效应组合

3.1.1 本规范根据现行国家标准《港口工程结构可靠度设计统一标准》(GB50158)(以下简称《统标》)采用以分项系数表达的概率极根状态设计法。

3.1.2 结构在施工、使用期间环境条件均不相同,受力类型和大小不同,破坏时影响大小不同,因此必须针对不同状况进行设计。《统标》根据持续时间的长短和出现概率的高低,规定了持久、短暂和偶然三种设计状况。持久状况是最基本的,是指贯穿结构整个使用期的,其可靠度应高于短暂和偶然状况,反映在作用的取值及各分项系数的取值上。

3.1.3~3.1.4 按《统标》规定,分别列出板桩码头应按承载能力极限状态及正常使用极限状态计算和验算的项目。按承载能力极限状态设计时,永久作用和可变作用均取标准值;按正常使用极限状态设计时,永久作用取标准值,可变作用按长期效应组合。根据板桩码头的特点,建议采用综合准永久值系数为 0.85。

3.1.5 承载能力极限状态设计所考虑的三种作用效应组合与《统标》中的规定一致,除永久作用和可变作用参与组合外,并相应地规定了所采用的计算水位。

3.1.6 主动土压力荷载是作用在板桩码头上的主要永久作用和可变作用,有时尚应考虑剩余水压力。主动土压力分项系数均为 1.35,剩余水压力分项系数为 1.05。

目前,有关板桩墙的内力(弯矩)和拉杆力的可靠度分析尚不成熟,是一项待研究的课题。本规范采用以下过渡方法:在计

算板桩墙的弯矩和拉杆力时，作用和抗力（被动土压力）均取标准值，其设计值可采用求算出的标准值乘综合分项系数。按上述所列各作用的主次排列，经校准验算，综合分项系数取为 1.40。

3.2 剩余水压力和土压力

3.2.1 当墙前水位降落，墙后地下水不能及时排出时，便有剩余水头存在，产生剩余水压力。在河港，水位的降落主要是由于洪峰衰减和泄洪造成的。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土及地基土的渗透性大小有关，很难由计算确定。所以，如有条件最好是在实际工程的现场进行观测，或对附近类似建筑物进行调查，然后确定其剩余水位。在不具备上述条件时，可根据国内外设计经验与少数实测资料提供经验数值供设计参考。

对于钢筋混凝土板桩墙，一般来说板桩与板桩的榫头不甚紧密，透水性较大，所以只要设有排水孔就可不考虑剩余水头存在。但对钢板桩情况就不同，板桩间的锁口一般咬得较紧，透水性差，只有填土和地基土为砂性土，并有良好的排水及设施时，才可不考虑剩余水压力；对于墙后填土和地基土为透水性小的粘性土时，则应考虑剩余水压力。根据国内外经验及我国的实际情况剩余水头一般采用 $(1/3 \sim 1/2)$ 平均潮差较为合适。

3.2.2 剩余水压力的分布严格说来是随回填土与地基土的渗透性大小而变化，低水位以下一般呈曲线分布，按矩形分布是偏于保守的，但考虑到水流通过回填土向板桩墙前方流动时与没有水流流动时相比，码头后面的主动土压力要增大，墙前被动土压力则要减小。当剩余水头较大时应考虑墙后地下水渗透对剩余水压力，主动土压力和被动土压力的影响，这种影响可通过流网来确定。从过去的设计经验可知，不考虑地下水的渗流对剩余水压力、主动土压力和被动土压力的影响，采用剩余水压力在低水位以下视为矩形分布还是可行的，使计算大大简化。

3.2.3 现场原型观测与室内模型试验结果都表明了作用于板桩

墙上的土压力分布是随墙体的变化而变化。因此，作用于板桩墙上的实际土压力将视施工方法、锚杆装设处的水平位移、锚杆位置高低、板桩入土深度、板桩刚度与海底地基土性质之间的关系等因素而变化，其土压力分布是十分复杂的。根据国内外研究结果作用于板桩墙上的主动土压力分布形式可归纳为：一种是以顶端位移的为主（如先挖泥后打桩，板桩相对刚度较大，锚杆位移较大等情况），板桩墙后主动土压力视为与刚性墙相同呈三角形分布；另一种是以弯曲变形为主（如先打桩后开挖，板桩相对刚度较小，锚着点位移小等情况），墙后主动土压力视为“R”形分布，其值就将减弱。研究也表明不论土压力分布形式如何，而其土压力大小与按库伦土压力公式计算的数值基本相同。“R”形曲线分布的定量确定目前尚缺乏足够的试验研究资料，有一定困难，锚着点的位移由于锚杆的伸长总是存在，所以本规范推荐作用于板桩墙上的主动土压力按三角形分布，而对以弯曲变形为主的板桩墙考虑了弯矩修正系数。

作用于板桩墙上的主、被动土压力，本规范所采用的公式较之其他公式具有以下明显的优点：

1. 条文中的公式是基于与库伦公式相同的原理，即平面滑动假定的极限平衡原理，所不同的是在推导公式时比库伦公式多考虑了土的粘聚力 C 的作用因素，弥补了库伦公式只能适用于无粘性土，计算公式的详细推导可见有关专题研究报告。所以公式能同时考虑填土表面有坡度 (β) 、墙背倾斜 (α) 、土与墙背的摩擦角 (δ) 以及土的粘聚力 C 等因素，适用于无粘性土与粘性土。

2. 与库伦公式相比，能同时适用于无粘性土与粘性土，在计算粘性土压力时无需再采用经验性的等效内摩擦角法。

3. 与朗金公式相比公式能考虑与墙背间的摩擦角 δ 的作用，所以无需再考虑被动土压力的增减系数，简化了计算。

3.2.5 现行行业标准《港口工程地基规范》中规定土的抗剪强度计算指标应根据土质和工程实际情况确定，“宜选用固结快剪……直剪快剪不宜采用。”

板桩码头施工中，板桩墙后的回填是一个很重要的问题。如果回填速率能满足土的固结要求，则采用固结快剪指标计算土压力是合适的，如果回填速率不能满足土的固结时，宜适当考虑未固结因素的影响，也就是对固结快剪指标可作折减，这样比较接近工程实际，计算出的结果会比较合理。

3.2.7 板桩墙的位移（或变形）在土与墙之间将发生相对移动，因而其间就产生了摩擦力。在极限平衡状态时，墙前破裂土体因向前移动而使墙对土壤产生向下的摩擦力。此摩阻力阻挡破裂棱体的滑动，于是被动土压力则与此相反而产生向上的摩擦力，这样被动土压力的数值将减小。所以计算时墙前外摩擦角 δ 应取正值。墙后外摩擦角 δ 应取负值。由经验可知 δ 取值对主动土压力大小影响不大，一般 $\leq 10\%$ ，但对被动土压力的影响甚大，几倍、十几倍。所以， δ 值的合理选择是十分重要的。本条建议的 δ 取值是考虑了以下几方因素：一是墙背的粗糙程度；二是尽可能使按平面滑动假定的库伦公式或简化公式与按基于滑动面为曲面的方法所得的结果接近，因为一般认为后一种方法是比较正确地反映土体处于极限平衡时的应力状态的。从不同方法计算比较可见被动土压力系数随着内摩擦角 φ 以及相应的外摩擦角 δ 的增大两者差别也在增大；用本公式计算取 $\delta = 2/3\varphi \leq 20^\circ$ 与用索柯洛夫斯基理论计算取 $\delta = \varphi \leq 30^\circ$ 的被动土压力系数比较接近，误差 $\leq 10\%$ 。《水运工程抗震设计规范》(JTJ225) 推荐取 $\delta \leq 15^\circ$ ，本规范推荐取 $\delta \leq 20^\circ$ ；三是吸取弹性线法的设计经验。弹性线法（罗曼尔法）是设计人员最熟悉最普遍的方法，该法在计算被动土压力时采用朗金公式取 $\delta = 0$ ，但为了考虑土与板桩之间实际存在的摩擦力，墙前被动土压力乘以增大系数 K ，墙后被动土压力乘以减小系数 K' 加以修正。如果采用本规范推荐的公式或库伦公式计算板桩墙前、后被动土压力，考虑 δ 影响，则可不再考虑增减修正系数 K 和 K' ，经计算对粘性土取用 $\delta = 3/4\varphi \leq 20^\circ$ ，对砂性土取用 $\delta = 2/3\varphi \leq 20^\circ$ ，其相当增减系数 K 和 K' 与用索柯洛夫斯基计算的相当 K 、 K' 较接近。

主动土压力应分为永久作用和可变作用，前者是由土体本身产生的，其水平强度 e_{ax} 与土体的重度 r 、厚度 h 、内摩擦角 φ ，粘聚力 c 、土与墙间的摩擦角 δ 等有关；后者是由码头地面均布荷载产生的，其水平强度 e_{ax} 与地面上的均布荷载 q 及 φ 、 δ 等有关。在计算土压力标准值时，上述参数应采用标准值。

3.2.8 板桩码头墙前的超挖深度，国外有关资料多数采用 0.3m，但国内实际施工经验发现往往达到 0.5m，甚至更多。对于码头前沿表层粘性土，考虑到码头前沿开挖的扰动作用及挖深的卸荷作用，适当降低粘性土的粘聚力是有必要的，有资料建议在码头前沿底面以下 1m 深度内完全不计其粘聚力，但考虑到码头经较长期期的使用后，土会逐渐恢复原来的状态，部分考虑其粘聚力是经济合理的。所以条文规定泥面处 c 取零，泥面 1m 以下取全值，两者之间按直线过渡。

3.3 板桩墙计算

3.3.2 以往设计板桩码头只采用底端嵌固的这一种工作状态，这对于土质较软的地基是合适的。考虑到地质条件的千差万别，在某些情况下采用底端自由支承状态或介于底端嵌固和底端自由支承两者之间的工作状态可能比较合理，所以本条提出四种情况下可考虑采用自由支承工作状态或介乎两者之间的工作状态。这样比较灵活。

3.3.3 采用弹性线法计算时，板桩墙的入土深度是根据板桩墙底端线变位和角变位都等于零的假定来确定，将一个超静定结构简化为静定结构。近年来，日本、原苏联都提出，板桩墙的入土深度要满足“踢脚”稳定的条件。“踢脚”稳定的概念比较清楚，而且要求板桩墙有足够的稳定性这也是合理的，故本条提出“应”满足“踢脚”稳定的要求。

根据对国内 20 个实际工程计算对比，发现有 7 个工程用“踢脚”稳定求出的入土深度接近和大于用弹性线法求出的入土深度，这多发生在地基土质较差的情况 ($\varphi < 17^\circ$)，条文规定板桩墙的入

土深度应满足“踢脚”稳定的条件。当按弹性线法计算时，入土深度取两者算出的大值。

板桩墙的入土深度应满足“踢脚”稳定的要求是采用以分项系数表达的极限状态设计法。

不考虑波浪力时，可变作用效应是码头面可变作用产生的主动土压力对拉杆锚碇点产生的“踢脚”力矩，考虑波浪力时，可变作用效应是墙前波吸力和可变作用主动土压力对拉杆锚碇点的“踢脚”力矩，两者中取大值作为主导可变作用。

作用分项系数的确定是在校准原来的安全系数水准，经各规范协调之后取用的。列于条文中表 3.3.3 的作用分项系数采用了现行行业标准《重力式码头设计与施工规范》的研究成果，取值与其完全一致。

本规范编制过程中，曾对 20 个工程进行了确定入土深度的校准计算。按条文中式 (3.3.3) 和各码头的有关作用和抗力的标准值求出相应的作用效应组合的设计值 S_d 和结构承载力的设计值 R_d ，按下式求出起调整作用的结构系数 r_d ：

$$S_d \leq \frac{R_d}{r_d} \quad (3.3.3)$$

计算结果表明，当地基土质差时， r_d 取 1.0；当地基土质好时， r_d 取 1.15。

3.3.4 板桩墙的计算方法应根据其工作状态选用，自由工作状态采用自由支承法，底端弹性嵌固状态采用弹性线法。这两种计算方法都是在一定的假定条件下推导出来的，使用有局限性。近年来随着计算机的应用，广泛采用竖向弹性地基梁法，这种方法应用范围较广，可适用于任何工作状态；能计算单锚板桩或多锚板桩，并能考虑锚碇点位移的影响。只是用此法计算时水平地基反力系数的确定要慎重。

按弹性线法计算出的板桩墙内力与板桩墙的刚度无关，实际不然，对于大刚度的板桩墙用弹性线法计算往往偏于危险，为安全计提出对于刚度大的板桩墙，不宜采用弹性线法。

3.3.5 弹性线法即罗迈尔法的基本点是假定板桩墙底端的角变位和线变位都等于零，而拉杆锚碇点的位移也等于零，实际情况与这假定是有出入的，对跨中弯矩的影响有：墙后土压力重分布及锚碇点位移。考虑到这两个因素，条文规定跨中最大弯矩的折减系数采用 0.7~0.8，对刚度较小的板桩墙主要是第一种因素影响。对刚度较大的板桩墙主要是第二种因素影响。

3.3.6 竖向弹性地基梁法是近年来推广采用的方法，可利用计算机计算。板桩墙入土段墙后仅考虑由设计水底以上超载（地面荷载加土体重）产生的主动土压力，不考虑土体本身产生的土压力，因为这部分土压力已反映在土抗力中，这与灌注桩的计算是一致的。

杆系有限元法就是把板桩墙入土段的抗力用一系列弹性杆来代替，弹性杆的弹性系数等于水平地基反力系数乘以杆的间距。

3.3.7 自由支承法只适用单锚板桩墙的自由工作状态。板桩墙的入土深度是按“踢脚”稳定确定的，拉杆力和板桩墙内弯矩是按最小入土深度 T_{\min} 的情况计算。

3.3.8 许多工程原观都发现，各拉杆受力是不均匀的，而且差异很大，因此设计拉杆和锚碇结构时，必须考虑这种情况，所以乘 1.35 倍系数主要是拉杆受力不均匀所致。

3.4 锚碇结构计算

3.4.1 锚碇墙（板）的稳定性是采用以分项系数表达的极限状态设计法。

条文中式（3.4.1），锚碇墙（板）后土体本身产生的主动土压力 E_a 为永久作用，拉杆设计拉力的水平分力 R_{Ax} 为主导可变作用，锚碇墙（板）后地面使用荷载产生的主动土压力 E_q 为非主导可变作用。土压力分项系数与条文中表 3.3.3 的值完全一致，拉杆设计拉力的分项系数取 1.35。

对几座具有典型性的板桩码头在改变锚碇墙后填料的条件下进行了锚碇墙稳定的校准计算，按条文中式（3.4.1）左端项和各

码头的有关作用的标准值求出各自的 S_d ，即

$$S_d = r_d(1.35E_{sx} + 1.35R_{Ax} + 0.7 \times 1.35E_{qx}) \quad (3.4.1-1)$$

同时，

$$R_d = E_{px} \quad (3.4.1-2)$$

按条文中式 (3.4.1) 即可求出起调整作用的结构系数 r_d 。

计算结果表明， r_d 取 1.15，锚碇板的稳定性符合结构设计精度的要求。

3.4.2 条文中表 3.4.2 的 ρ 值是根据国内外试验室模型试验结果和《装配式钢筋混凝土水工建筑物》一书中提供的数值，综合分析给出的。

关于土或填料与锚碇墙（板）间的 δ 取值问题，以前在计算中取 $\delta=0$ ，从 60 年代以后，国内外的大量模型试验和原型观测发现， δ 确实存在，并且对锚碇墙（板）的被动土压力影响很大，所以国内外的技术文献中都主张考虑 δ 。国外有的建议取 $\delta = \frac{\varphi}{3}$ ，国内试验，在保证锚碇墙（板）不“上浮”的情况，也得出 $\delta = \frac{\varphi}{3}$ 的结果。但锚碇板“上浮”是客观存在的，特别是实际工程中锚碇板（板）多采用矩形或梯型截面（很少采用 L 型截面），而且埋深又不大，根据对不约束锚碇板“上浮”的试验，测得不同埋深 δ 才有 $4^\circ \sim 8^\circ$ ，相当于 $\delta = \left\{ \frac{1}{8} \sim \frac{1}{4} \right\} \varphi$ 。综合以上情况，本规范规定：一般取 $\delta = \frac{\varphi}{3}$ ，当 $\delta = \frac{\varphi}{3} \geq 7^\circ$ 时，取 $\delta = 7^\circ$ 。

3.4.3 条文中式 (3.4.3) 是根据空间滑动棱体的体积与平面滑动棱体的体积之比推导出来的。

3.4.4 从调查发现，有些设计，锚碇墙（板）只按设计低水位情况设计，这是错误的，而且是危险的。设计低水位时拉杆力最大，但锚碇墙（板）前土的被动土压力也大，不一定是最危险情况。设计高水位时，虽然拉杆力小一些，但由于锚碇墙前土或填料的重度变成水下重度，被动土压力减小很多，对于锚碇墙的稳定性来

说，常常是设计高水位控制。

3.4.8 锚碇墙（板）的位移计算是为采用竖向弹性地基梁法计算板桩墙提供参数。锚碇墙（板）在拉杆力和墙后主动土压力作用下产生的位移，以前很少研究。为了解决这个问题，在室外进行了接近原型的试验研究，锚碇墙前采用工程中常用的抛石和夯实灰土填料，试验得到了位移计算系数。

3.4.10 条文中式（3.4.10）是《桥梁桩基设计》一书中推荐的。

3.4.12 根据国外对板桩码头工程的观测，板桩码头锚碇点的位移一般为 20mm~40mm，最大达 70mm~80mm。为了使板桩码头的位移不致过大，影响使用，我们在本条中规定：锚碇板桩在拉杆处的水平位移不宜大于 50mm（再加上拉杆受力伸长，使板桩墙锚碇点的位移能控制在 70mm~80mm 以内）。

3.4.13 条文中式（3.4.13）是根据叉桩中压桩和拉桩的轴向变形推导出来的。

3.5 斜拉桩式板桩码头计算

3.5.1 本条目的在于指出斜拉桩式的板桩墙与通常采用水平拉杆的单锚板桩相比，作用在墙上的土压力较小，但受有较大的轴向压力，并在实际工程中曾发生过因地基承载能力不足而造成码头位移过大的事故，以引起设计者的注意。

3.5.2 斜拉桩式板桩码头与一般常用的单锚板桩相比，不仅数量少得多，其受力状态也十分复杂。德国、日本和前苏联在 1960 年前、后即有各自的计算方法，但它们之间还有相当大的出入，直到最近仍未见有什么变化，也未见到它们被引用于他们的国家规范之中。我国自 70 年代以来所建造的 10 座左右这种型式的码头，大体上都是参照或类同于上述方法进行的。虽也曾进行过两次实体观测，但所获资料有限。鉴于目前对于斜拉桩式板桩结构还没有一个普遍公认的较好计算方法，可考虑采用附录 B 的方法进行。建议今后在实际工程中多注意观测，积累资料，为修订工作打下基础。

4 构件设计

4.1 板 桩

4.1.4 不同型式的钢板桩因其锁口位置不同,其截面系数的折减亦不相同。目前常用的 U 型(拉森)钢板桩有一般型式和组合型式两种断面,因其锁口位于断面的中和轴上,受弯时此处剪力最大,如锁口咬合不牢,受力后将发生错动使截面系数降低。在实际工程中对于一般型式钢板桩之间的锁口均不焊接,而只对组合型式钢板桩之间的锁口进行焊接,然后对其截面系数进行适当的折减。关于钢板桩截面的折减系数,目前国内还没有一个统一的规定。四航局 1990 年编写的钢板桩设计施工技术暂行规定中规定:钢板桩的弹性抵抗矩乘以一个折减系数, U 型钢板桩一般乘以 0.9。《港口水工建筑物》一书中提出: U 型钢板桩的断面折减系数 ξ ,板桩顶不设帽梁并打入软土时 $\xi=0.7$,设置刚性帽梁时 $\xi=0.9$ 。锁口焊接时 $\xi=1.0$ 。德国港口工程、土力学和基础工程协会在《码头岸壁建筑物委员会的建议》一书中规定,在确定组合钢板桩的截面系数时,要把所有的板桩都考虑在内。但只在肯定其锁口能承受全部剪力时,才可将组合断面作为一个整体进行计算,锁口焊缝的布置和施工要使它们为不间断地承受剪力提供最佳的条件,为此最好采用一条连续焊缝,如果通过计算而采用间断焊缝,则最小焊缝长度为 200mm,焊缝间距应不大于 800mm。

4.2 拉 杆

4.2.1 每延米拉杆力 R_s 是板桩结构计算中得到的,考虑到施工不均匀的影响,一般都将拉杆力 R_s 乘以受力不均匀系数 $\xi=1.3$

~1.5。上海地基规范规定，当采用连续锚碇板时 $\xi=1.0$ 。国内曾对某些板桩码头的拉杆力进行实测，从实测结果看，拉杆力的分布不均匀性是存在的，因为其影响因素很多，在目前条件下还不可能消除这些影响，因此对拉杆力 R_0 乘以受力不均匀系数 ξ 作为设计拉杆力是比较合理的，设计人员也能接受。

4.2.2 预留锈蚀量 Δd 的取值系参考了国内外资料确定的。

5 板桩码头施工

5.1 一般规定

5.1.1 勘测基线(点)与水准点,是工程施工定位的依据。这方面工作交接的好坏,往往是导致工程中质量事故的原因之一。在以往工程施工中有过此类事故。

5.1.4 在岸坡上沉桩时,由于锤击沉桩对土体的震动和桩的挤土作用,往往会引起土坡失稳与桩位偏移,影响邻近建筑物的安全。对于有失稳的土体,应采取预防措施,设监测点进行监控,对减小桩位偏移,可采用常规的削坡减载等措施,尽量减少板桩内外面的高差,并在沉桩过程中随时纠正桩位。

5.1.5 在施工过程中,由于受水流、风浪等的影响。尤其是当台风来临时,应注意尚未完工的板桩墙有被冲倒的危险,应预先加固免遭损失。

5.2 钢筋混凝土板桩的预制、吊运及堆存

5.2.1 本条规定系经调查并与现行行业标准《港口工程质量检验评定标准》(JTJ242)编写组协调确定。

5.2.3~5.2.6 引自现行行业标准《港口工程桩基规范》(JTJ254)。

5.3 钢板桩验收、制作、吊运和堆存

5.3.1 国产钢板桩因轧钢质量较差,在锤击过程中,发现有分层、卷口和锁口变形等情况。进口钢板桩,由于各国的标准各异,其材质等性能是否符合设计要求,在使用前应有检查,必要时应抽

样进行机械性能和化学成份的检验。

5.3.2 钢板桩接长的焊接、异形钢板桩制作，按现行行业标准《港口工程桩基规范》有关规定执行；其允许偏差是根据调查研究并与现行行业标准《港口工程质量检验评定标准》编写组协调确定的。

5.3.3 本条引自现行行业标准《港口工程质量检验评定标准》。

5.3.4 不同防腐涂料的品种，适用于不同的环境与不同的要求，施工中应严格按设计要求选用。

5.3.7 钢板桩的拼组质量对沉桩影响很大，应按如下要求进行组装：

(1) U型钢板桩组，可采用三根一组，先将二根钢板桩平行安放在已垫平的支墩上，将另一根钢板桩对准锁口插入，用卷扬机拉入，保证钢板桩的平直度。

(2) 拼组根数除按型号规定外，应考虑施工机具的起吊能力，一般U型钢板桩可按三根一组，Z型钢板桩按二根一组进行拼组。

(3) 消除锁口残渣，以利组合和沉桩时顺利插入，为防止钢板桩起吊时错动，锁口处要电焊固定。

(4) 钢板桩接长段的焊缝，只能在腹板及侧板处加焊接，接长处的断面因锁口处不能加焊而受到削弱，故一根钢板桩的接头不能超过一个，相邻组的接头应错开。

5.3.8 对堆存场地的要求，目的在于保证钢板桩堆存时不产生变形和方便吊运。

5.4 沉 桩

5.4.3 根据近年来的一些工程沉桩经验表明，凡设导桩和导架的板桩其偏位值容易控制。

5.4.4 板桩的沉桩方法，由于桩的品种、规格以及施工船、机和施工水位等的不同，采用的方法会有不同，可采用一次沉桩或多次往复沉桩方法。

5.4.5 本条规定系与《港口工程质量检验评定标准》编写组协调后确定。

5.4.7 板桩沉桩不论是在砂性土或粘性土中，一律以设计桩尖标高作为控制标准。否则板桩入土深度不够，会导致失稳，桩顶标高可高出设计标高 100mm，但不允许打低了，因为那样会影响浇筑上部结构。

5.5 拉杆制作及安装

5.5.1~5.5.5 条文的规定均系经调查并与现行行业标准《港口工程质量检验评定标准》编写组协调确定。

5.6 锚碇结构的浇注及其构件的预制、堆存和安装

5.6.1~5.6.6 条文规定均引自现行行业标准《港口工程质量检验评定标准》。

5.7 板桩间凹槽、帽梁、导梁和胸墙的浇筑

5.7.2 由于开凿顶部混凝土时会对新灌的水泥砂浆或细石混凝土的强度及其与空腔壁的粘着力产生影响，故需待水泥砂浆或细石混凝土的强度达到 15MPa 时方可开凿桩顶混凝土。

5.7.5 钢导梁与钢板桩之间的接触，由于受板桩偏位的影响，对有些接触不密之处，需用钢板垫平，以保证钢梁受力均匀。

5.8 现浇地下墙施工

5.8.1~5.8.3 为保证地下墙在设计位置处施工，挖槽前应在板桩墙体的设计位置沿墙体两侧构筑导墙，其用途如第 5.8.3 条中规定，导墙在各种施工荷载作用下，必需具有足够的强度和稳定性，板桩墙混凝土施工完毕，导墙即可拆除，故属临时性构筑物。其结构型式可按第 5.8.1 条所列选用，为确保施工安全，宜优先选用钢筋混凝土结构。

5.8.4~5.8.5 为防止地表水流入导槽，本条规定导墙顶面应高

出施工场地地面 50mm~100mm。为保证泥浆对槽壁具有一定的压力，起到护壁的作用，本条规定泥浆液面高出地下水位不小于 0.5m，为防止导墙产生较大的沉降或漏浆，规定导墙应设置在较密实的土层上。

5.8.6~5.8.10 导墙断面应根据有关条件通过计算确定，条文对导墙的构造要求，施工注意事项提出了具体要求。

5.8.11 根据国内实践经验并参考现行国家标准《地基与基础工程施工及验收规范》的规定，本条对导墙开挖施工允许偏差规定如条文中表 5.8.11。

5.8.12 本条给出了选择挖槽机械设备应考虑的主要因素。

5.8.13 根据国内实践经验及现行国家标准《地基与基础工程及验收规定》的规定，本条给出了单元槽段的一般长度范围，供选定单元槽段长度时参考。

5.8.14 本条规定挖槽施工过程中，应加强观测，若发现槽壁垂直度不符合要求应随时纠正。若槽壁产生坍塌，应及时采取回填粘土或提高泥浆重度、粘度等措施。

5.8.15 槽段开挖结束，其相邻槽段混凝土垂直面上，往往会粘着泥块，本条规定应采用专用工具进行清刷。然后对槽底沉淀物及槽内护壁泥浆进行清除置换。同时本条给出了清槽应达到的标准。

5.8.17 为保证地下墙成槽过程中槽壁的稳定性，需不断地向槽内输入泥浆。本条提出了配制泥浆需采用的主要成份及其有关性能要求，还对泥浆使用前应进行配合比试验做出了规定。

5.8.18 泥浆使用前应结合工程现场的土性进行室内性能试验。条文中表 5.8.18 所列性能指标，是在一般软土层成槽应满足的基本参数，在特殊地质条件下，尚须做适当调整。

5.8.19 在泥浆容易渗漏的土层中成槽，为防止泥浆很快流失，使泥浆液面下降，造成塌方，本条规定应适当提高泥浆的浓度。同时为能及时补充流失的泥浆，使泥浆液面保持预定高度，本条规定应适当提高泥浆的储备量。

5.8.20 膨润土或粘土水化需一定时间,本条规定新配制的泥浆应存放 24 小时以上或添加分散剂,以便使泥浆具有足够的浓度。

5.8.21 本条对如何确定钢筋笼尺寸以及制作吊装等,提出了基本要求。

5.8.22 为保证墙体具有可靠的保护层,本条规定应在钢筋笼两侧加焊保护层垫板。为防止钢筋笼在吊装过程中产生不可恢复的变形,影响顺利入槽,本条提出可采取加焊钢筋桁架及主筋平面斜向拉条等措施来加大笼体的刚度。

5.8.24 为确保钢筋笼能顺利吊装入槽及灌注混凝土质量,本条规定钢筋笼吊装入槽前,必须对挖槽质量进行检查。

5.8.25 为使钢筋笼顺利吊放入槽,钢筋笼吊点布置应使笼体在吊装过程中,不致产生不可恢复的永久变形,笼体吊放入槽应缓慢下放,不得强行冲击下放,以免损伤槽壁造成坍塌,为防止钢筋笼锈蚀,不得将钢筋笼支承在槽底上。

5.8.32~5.8.33 为保证地下墙两相邻槽段混凝土的连接质量。防止在连接部位产生漏土,在该部位应设置施工接头。根据国内施工习惯,一般采用管式接头,也有采用刚性接头的,为防止灌注混凝土时接头管产生变形和上拔时发生断裂,本条规定接头管应具有足够的刚度和强度,并能防止混凝土绕过接头管进入邻近槽段。接头管应垂直下放,以免给拔管时造成困难。拔管时间以不致造成拔不出,并以不损坏槽段混凝土为宜。

5.9 预制地下墙施工

5.9.2 本条指出了预制地下墙的成槽,对导墙及泥浆的要求与现浇地下墙相同,故本条规定可按照现浇地下墙施工要求进行施工,考虑到安插预制墙板的需要,本条规定挖槽宽度,应比墙体设计宽度加宽 100mm~150mm。

5.9.3 地下墙板和钢筋混凝土板桩的预制、吊运及堆存、材料和工艺完全相同,故本条规定,按第 5.2 节中有关规定执行。

同打入式预制钢筋混凝土板桩墙一样,预制地下墙板间的凹

槽空腔，亦应进行灌筑处理，以防止板后土体外溢，本条规定其处理方法，按第 5.7.1 条～5.7.2 条规定执行。

5.9.4 为使预制地下墙体能有效地承受墙体前后的土压力，且不致使墙体下部向外产生较大的位移，墙体背后土体不致产生滑动或位移，应将槽段中的泥浆用自凝泥浆置换出来，本条给出了自凝泥浆置换量的估算公式。

5.9.5 自凝泥浆必须有效地传递作用于地下墙体前后的土压力，本条规定自凝泥浆终凝后的无侧限抗压强度。为使自凝泥浆能有效地发挥作用，本条规定其强度达到设计要求后方可进行地下墙体前后方的开挖与回填。

5.9.6 根据国内实践经验并参考本规范条文中表 5.4.8 的规定编制了预制地下墙板安装允许偏差。

5.10 桩排式地下墙施工

5.10.2 本条规定的允许偏差，系参考现行行业标准《工业与民用建筑灌注桩基础设计与施工规程》(JGJ4) 规定，结合板桩码头工程的特点及国内实践经验制定的。

5.10.3 桩排式地下墙的背后桩间接缝处，容易产生漏土问题，本条规定在地下墙的背后应采取可靠的防漏土措施。

5.11 回填和挖泥

5.11.1 回填顺序对板桩码头受力所产生的变形影响很大，一般设计单位在施工图上有明确规定回填顺序，可按此规定施工，如设计无规定，又无要求时，应先固定锚碇，然后回填。

5.11.2 锚碇结构前部的回填十分重要，如回填质量不保证将产生较大位移。根据工程建设的经验和调查研究收集到的资料，凡按设计要求分层夯实、回填质量有保证的，则锚碇结构位移就小，工程质量就有保证。

5.11.3 回填时，从板桩墙向陆域方向回填，是防止把淤泥积聚在板桩墙边上，对其受力不利。

5.11.4 回填料对板桩受力影响很大,一般以无粘性材料为主,对含有有机物、酸性填料等应禁止使用。

5.11.5 回填料如采用石料时很可能在抛填时将拉杆的包敷层碰坏,影响拉杆的耐久性,因此要特别注意。

5.11.6 拉杆上面的回填,既要填筑密实,又要防止拉杆受损,因此施工中要特别注意。

5.11.7 回填过程实际上是对板桩墙的加荷过程,也是对设计、施工质量的检验,所以条文规定要设点进行沉降、位移观测。

5.11.8 施工挖泥是指先进行挖泥,后进行沉桩,为此对挖泥断面,设计有一定的要求,施工单位应按设计图挖泥或与设计单位商定沉桩区的挖泥断面。

5.11.9 码头前沿挖泥是指先沉桩至工程竣工后再进行码头前沿挖泥。在挖泥过程中因板桩前水深逐渐增加,板桩与拉杆的受力也愈来愈大,因此对挖泥要分层进行,使整个码头保持受力均匀,不使局部受力过大,其间尚应加强观测,以控制挖泥速度。

附录 A 水平地基反力系数

本附录是对常用的几种计算方法中的地基反力系数给出推荐性参考数,这些数值是目前国内工程中常用的一些经验性数据,对重要工程建议应由实验确定,或其他论证办法采用。

附录 B 斜拉桩式板桩码头内力计算

B. 0. 1 现有的斜拉桩式板桩结构的计算方法可分为如下三类：
(1) 按一般单锚板桩的弹性线法，不同的只是将其中的水平拉杆改为陡斜的锚桩；(2) 板桩仍按上述方法，但斜拉桩计入作用于其上的土压力；(3) 考虑斜拉桩对板桩的遮掩作用，由二者共同承受墙后的土压力，然后将整个结构作为一个下部埋入地基中的平面构架求解其中内力。上述方法(3)符合已知的原体观测及模型试验所反映的工作机理，计算的结果也比较经济，因此附录 B 采用了这类方法。

B. 0. 2 已有的一些原体观测表明作用于斜拉桩式板桩结构上的总主动土压力值与一般板桩墙按库伦法的计算结果很接近，现行的日本与前苏联的一些计算也都采取这样的方法。由于土与构件之间的摩擦角 δ 对主动土压力值的影响不大，为了简化计算，取 $\delta=0$ 。

作用于整个结构上的总的土压力如何在板桩与斜拉桩之间进行分配是一个比较复杂的问题，它与桩的刚度、陡度以及符合何种形式的变形协调等有关。本条的式(B. 0. 2-2)及(B. 0. 2-4)系对目前已有的一些方法进行分析比较后提出的。通过一些已建码头的验算，采用以上两式及本附录其它规定所算得的板桩与斜拉桩的最大应力均与允许应力比较接近，表明这些计算结果是比较安全的。

B. 0. 6 墙后土层的沉降将增大斜拉桩的弯曲，亦影响板桩的内力。从现有的一些实际情况来看，当墙后为粗砂以上的粗粒土，上述影响可不予考虑，但若为松软易压缩土层，其影响将很可观。沉降土层作用于斜拉桩上的压力源于其上的土重，但可考虑斜拉桩的间隔布置而乘以折减系数。条文中表 B. 0. 6 所列 ω_3 值系取自有关文献介绍的实验结果的平均值。