

· 讲 座 ·

《板桩码头设计与施工规范》(JTJ292-98)介绍

傅家歆

(中交水运规划设计院,北京 100007)

摘 要:介绍《板桩码头设计与施工规范》(JTJ292-98)的内容及有关问题的说明。

关键词:板桩码头;设计与施工;规范

中图分类号:U656.1 12

文献标识码:E

文章编号:1002-4972(2001)12-0058-05

1 编制工作概况

根据交通部标准规范工作计划的安排,1990年决定组织编制《板桩码头设计与施工规范》。规范主编单位为中交水运规划设计院和中港第三航务工程局;参加编制单位为天津大学,中交第一航务工程勘察设计院,中交第三航务工程勘察设计院,中港第一航务工程局,中港第二航务工程局,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。编制组在深入调查研究、收集资料、进行专题研究的基础上编写了初稿、征求意见稿,经广泛征求意见之后,修改完成了送审稿,并进行了试设计。1997年6月经交通部组织专家审查通过部审。1999年6月1日正式颁布执行。

板桩码头由于结构型式多样,结构计算中涉及土与建筑物的相互作用,有些问题如关于作用机理、采用的计算模式、地基系数等尚难一次较好地解决。本次编制属首次,主要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采用也有一定建设经验的其他型式板桩码头(如斜拉桩式板桩码头、地下墙式板桩码头)的设计包括计算、构造和施工也作了规定。本次编制的《板桩码头设计与施工规范》内容:总则、构造设计、设计计算、构件设计、板桩码头施工等5章和水平地基反力系数,斜拉桩式板桩码头内力计算及沉桩记录等3个附录,同时还编写了条文说明。

2 编制工作的重点及特点

本次编制工作本着先解决有无,把在结构型式上已成熟的经验做出总结,写成条文,照顾面上的一些特殊的或带有普遍意义和推广价值的部分内容反映在条文中。工作的重点主要就放在一般构造要求、单锚板桩墙的计算等方面,对斜拉桩式板桩码头、地下墙式板桩码头等只作简要介绍。对板桩码头的施工也只是在总结我国现有工程实践,对常规性的施工方法和标准作了规定。这些内容主要反映以下几个特点:

(1)通过总结已建板桩码头的工程经验,在结构型式上不但着重反映单锚板桩码头的设计与施工,还就斜拉桩式板桩码头、地下墙式板桩码头的设计和施工作了有关规定。

(2)板桩码头的土压力计算涉及粘性土的土压力问题,以往所用的库伦压力计算公式只适用于砂性土,不考虑土的粘聚力 c 的影响,而采用朗金公式计算时,不能考虑墙背外摩擦角 δ 的影响,而 δ 对被动土压力的影响是巨大的。经大量的对比计算和研究探讨,规范中采用新的土压力计算公式,其表现形式似与朗金公式一样,但它不同于朗金公式,既考虑粘聚力 c ,又考虑墙土摩擦角 δ 的影响,较好地解决了板桩墙土压力计算问题。

(3)规范编写中考虑了结构计算按可靠度理论转换的问题,在板桩墙的“踢脚”稳定,锚碇稳定等计算方面均采用了按分项系数表达的概率极限状态设计方法,通过校准、分析,采用的有关设计表达式和系数的取值,既照

收稿日期:2000-06-12

作者简介:傅家歆(1938-),男,福建福州人,高级工程师,从事港口规范技术与管理工作。

顾设计人员习惯,又便于应用。

(4)对板桩墙的计算国内外研究的很多,但由于试验和原始资料尚不够全面,仍有待更多工程实践总结。本次规范中将 3 种常用的方法同时提出,作提示性表达,便于设计人员选择和判断,为今后进一步修订规范打下基础。

(5)以往各航务工程局对板桩码头的施工均按各自的经验进行,没有统一的规定,本次通过总结将常规性的要求作统一规定,对板桩码头施工质量的提高将起重要作用。

3 板桩码头设计计算及几个需要说明的问题

3.1 作用的考虑

进行板桩码头设计计算时,首先要考虑作用在板桩码头上的荷载,主要有:由土体本身产生的主动土压力和板桩墙后的剩余水压力的永久作用;

码头地面上各种可变荷载(堆货、门机等)产生的主动土压力、船舶荷载、施工荷载和波浪力等可变作用;

如考虑地震还应计及偶然作用。

不同性质的作用,其变异情况不同,采用的分项系数也就不相同。

3.2 设计状况的考虑

规范中规定的 3 种设计状况,考虑结构在使用、施工和维修时环境条件均不相同,必须针对不同状况进行设计,根据持续时间的长短和出现概率的大小,将设计状况分为持久、短暂和偶然等 3 种:

(1)持久状况:在结构使用期分别按承载能力极限状态(板桩墙踢脚稳定、锚碇结构稳定、板桩码头整体稳定、桩的承载力和构件强度等)和正常使用极限状态(钢筋混凝土构件的裂缝宽度和抗裂等)设计;

(2)短暂状况:施工期或检修期按承载能力极限状态设计,施工期波浪力一般按重现期 2~5a 考虑;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。

3.3 作用效应组合

应根据 2 种极限状态、3 种设计状况,按照实际可能发生的作用进行效应组合。

(1)持久组合计算水位可分别用设计高水位、设计低水位和极端低水位考虑。这时考虑的作用有:土体本身

产生的主动土压力和墙后剩余水压力作为永久作用;码头顶面可变荷载产生的主动土压力,船舶系缆力和波谷力等作为可变作用,而产生作用效应(如弯矩)为最大者视为主导可变作用,其余为非主导可变作用,它反映在设计表达式中非主导可变作用前需乘以小于 1 的组合系数。在计算中还需注意:不考虑波浪对墙后水位的影响;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,码头顶面使用荷载要按最不利位置布置。

(2)短暂组合:计算水位采用设计高水位、设计低水位等。

(3)偶然组合:水位的采用按《水运工程抗震设计规范》(JTJ225-98)规定。

这样取代了过去人为规定的 3 种设计组合。极限状态和设计状况,明确并理顺了作用主次,便于合理考虑作用分项系数。需要说明的是这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(计算钢筋混凝土板桩的裂缝)仅按长期效应组合计算,永久作用和可变作用均取标准值,采用综合准永久值系数乘总作用效应标准值,即可求出总作用效应设计值。综合准永久值系数取 0.85。这是板桩码头的特殊处理办法。

另外应特别强调指出,在板桩墙内力的计算中,作用均采用标准值,其所得作用效应(如弯矩、拉力等)也应是标准值,而进行配筋计算时,需应用《港口工程混凝土结构设计规范》(JTJ277-98),它的设计表达式中,作用效应为设计值,于是计算板桩码头中的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以综合分项系数 1.4 取得。

3.4 剩余水压力和土压力

3.4.1 剩余水压力

剩余水压力是永久作用,它的大小是与潮位变化、板桩墙本身的排水性能、回填土和地基土的渗透性能等因素有关。一般是根据附近建筑物后的地下水位调查,观测确定,也可根据经验确定。经反复研究,在总结了以往工程经验的基础上,规范规定:对海港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,不考虑剩余水压力;对海港钢板桩码头,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,剩余水头按 1/3~1/2 平均潮差考虑。对设计高水位计算情况,不考

虑剩余水头。剩余水压力的分布按剩余水位 ~ 计算低水位之间为三角形, 计算低水位以下按矩形考虑。

3.4.2 土压力

板桩墙土压力的计算, 涉及粘性土与建筑物的相互作用问题, 计算中既要考虑 c 、 φ , 同时还要考虑墙背外摩擦角 δ 的影响。以往各种公式计算土压力都有一定的局限性, 这次编制组经大量计算分析, 推导出较为满意的土压力计算公式, 它既能用于计算砂性土同时也可用于粘性土, 方便适用, 也有较高的精度。

(1) 当地面为水平, 墙背为垂直时, 永久作用主动土压力水平强度标准计算公式:

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

可变作用主动土压力水平强度标准值计算公式:

$$e_{axk} = q K_a \cos \delta \quad (2)$$

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

(2) 当计算水底面为水平, 墙面为垂直时, 被动土压力水平强度标准值计算公式为:

$$e_{px} = (\sum \gamma_i h_i) K_p \left(\cos \delta + 2c \frac{\cos \varphi \cos \delta}{1 - \sin(\varphi + \delta)} \right) \quad (4)$$

$$K_p = \frac{\cos^2 \varphi}{\cos \delta \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin \varphi}{\cos \delta}} \right]^2} \quad (5)$$

式中: e_{ax} —土体本身产生的主动土压力水平强度标准值,

当 $e_{ax} < 0$ 时, 取 $e_{ax} = 0$;

γ_i —计算面以上各层土的重度;

h_i —计算面以上各土层的厚度;

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;

c —计算土层土的粘聚力;

φ —计算土层土的摩擦角;

e_{axk} —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;

q —地面上的均布荷载标准值;

e_{px} —被动土压力水平强度标准值;

K_p —计算土层土的被动土压力系数。

(3) φ 、 c 、 δ 的取值

计算中对粘性土的指标 φ 、 c , 应根据工程地质钻探资料确定。一般采用固结快剪指标计算土压力, 当墙后地

基土达不到较高固结程度时, 可适当考虑未固结因素的影响, 如对固结快剪指标打折扣等, 使计算结果比较合理。土与墙面的摩擦角 δ , 规范规定: 计算板桩墙后主动土压力时, $\delta = (1/3 \sim 1/2)\varphi$; 计算板桩墙前被动土压力时, $\delta = (2/3 \sim 3/4)\varphi$ 。当计算的 δ 值大于 20° , 取 20° , 一般对粘性土取大值, 砂性土取小值。计算板桩墙后被动土压力时, δ 取 $-2/3\varphi$, 当计算的 δ 值小于 -20° 时, 取 -20° 。

3.5 单锚板桩墙、锚碇结构计算

3.5.1 板桩墙计算

板桩墙计算需要确定板桩墙的入土深度、板桩墙的内力(弯矩、拉杆力)。计算时, 需先确定其工作状态, 即可采用板桩底端弹性嵌固、自由支承或介于两者之间的 3 种工作状态。不同的工作状态, 可采用相应的方法计算。

(1) 板桩墙的入土深度可通过两种方法求得:

①弹性线法: 可采用一种计算图式同时求出入土深度、弯矩和拉杆力。它是假定板桩墙入土段弹性嵌固在地基中, 设入土段前面的土抗力全部达到被动土压力, 底端墙后的土抗力用集中力 E'_p 代替, 这时计算图式中有 3 个需求解的未知数: 入土深度 l_0 、拉杆拉力 R_a 和底端土抗力 E'_p 。求解时需要有变形条件, 即假定板桩墙底端的角变位、线变位和锚碇点的位移都等于零。用试作板桩墙变形曲线的方法求解, 用计算机求解是很容易的。过去习惯上多用力多边形推平行线得索多边形, 使跨中最大正弯矩为入土段最大负弯矩 1.10 ~ 1.15 倍的条件近似取代变形条件, 也能得到较好的结果。

②满足“踢脚”稳定: 板桩墙在荷载作用下入土段表层土首先进入极限状态, 随着荷载的增大, 土体极限状态区逐渐向下扩展, 当增加到破坏荷载时, 入土段前面的土体从上到下将全部达到极限状态, 即土抗力沿整个入土深度都达到极限值—被动土压力。荷载再大, 板桩墙将发生“踢脚”稳定性破坏, 即发生板桩墙绕锚碇点 A 的转动。本次经过工作对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, 其表达式为:

$$\gamma_0 [\sum \gamma_G M_{Gc} + \gamma_Q M_{Q1} + \psi (\gamma_{Q2} M_{Q2} + \gamma_{Q3} M_{Q3} + \dots)] \leq \frac{M_R}{\gamma_d} \quad (6)$$

式中: γ_0 —结构重要性系数, 取 1.0;

γ_G —永久作用分项系数;

M_G —永久作用标准值产生的效应, 包括板桩墙后土

体本身产生的主动土压力标准值和剩余水压力标准值对拉杆锚锭点的“踢脚”力矩;

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

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标准值或墙前波吸力标准值对拉杆锚锭点的“踢脚”力矩;

ψ —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;

M_R —板桩墙前被动土压力标准值对拉杆锚锭点的稳定力矩;

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。

式(6)考虑了永久作用标准值产生的弯矩、主导可变作用标准值产生的力矩和非主导可变作用标准值产生的力矩与板桩墙前被动土压力标准值,对拉杆锚锭点的稳定力矩,经校准计算,并与各规范协调后,取用相应的作用分项系数 γ_G, γ_Q 和结构系数 γ_d 。

需特别说明的是起调整作用的结构系数 γ_d 计算结果表明,当地基土质差时, γ_d 取 1.0,当地基土质好时 γ_d 取 1.15。

在编制规范过程中曾采用各种方法对收集到的国内 20 多个实际工程作了计算,有的工程用“踢脚”稳定求出的入土深度接近或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。规范规定板桩墙的入土深度应满足“踢脚”稳定的要求。若按弹性线法计算时,还应用“踢脚”稳定要求作校核,入土深度取两种方法算出的大值。

(2)板桩墙弯矩、拉杆拉力标准值可根据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:

①弹性线法(略)。

②竖向弹性地基梁法: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。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。该方法可考虑拉杆锚锭点的位移。锚锭点位移由拉杆受力变形和锚锭结构位移两部分组成。当考虑拉杆锚锭点位移时,计算弯矩不折

减;不考虑拉杆锚锭点位移时,计算弯矩应按规定折减。水平地基反力系数,根据地基土的性质和设计经验,一般采用此法计算,m法的水平地基反力系数 $K = mZ$,m值可通过水平荷载试验确定。当无试验资料时,可按规范的附录 A 中表的数值选用。需注意的是当板桩墙在计算水底处的水平位移大于 10mm 时,取表中较小值。

③自由支承法(略)。

3.5.2 锚锭结构的计算

锚锭墙和锚锭板的稳定计算,只需验算设计高水位和设计低水位 2 种情况,计算时取相应情况的拉杆拉力水平分力标准值 R_{AX} 。

(1)锚锭墙或锚锭板的稳定性采用以分项系数表达的极限状态设计法,设计表达式为:

$$\gamma_0[\gamma_E E_{ax} + \gamma_{RA} R_{AX} + \psi \gamma_E E_{qx}] \leq \frac{E_{px}}{\gamma_d \gamma_k} \quad (7)$$

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} —锚锭墙或锚锭板后土体本身产生的主动土压力水平分力标准值,按推荐的土压力公式计算,只是在计算中 δ 取零;

γ_{RA} —拉杆拉力的分项系数,取 1.35;

R_{AX} —拉杆拉力水平分力标准值;

ψ —作用组合系数,取 0.7;

E_{qx} —锚锭墙前被动土压力水平合力标准值;

γ_R —抗力分项系数;

γ_d —结构系数,取 1.15。

(2)拉杆拉力标准值的计算:

$$R_A = \xi_R R_0 L_n \sec \theta \quad (8)$$

式中: R_A —拉杆拉力标准值;

ξ_R —拉杆受力不均匀系数,预先拉紧时可采用 1.35;

R_0 —每米宽板桩墙的拉杆拉力标准值;

L_n —拉杆间距;

θ —拉杆与水平面的夹角。

(3)锚锭墙前被动土压力水平分力标准值的计算:

$$E_{px} = \frac{1}{2} \gamma_0^2 K_p b_0 c \cos \delta \quad (9)$$

式中: E_{px} —锚锭墙(板)前被动土压力标准值;

γ —墙(板)前回填料或土的重度;

b_0 —锚锭墙(板)底端的埋深;

K_p —被动土压力系数;

b_k —锚碇墙(板)的计算宽度,对连续锚碇墙, b_k 取拉杆间距;对锚碇板(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)顶以上土体不参加工作的系数,可根据墙(板)底端埋深与墙(板)高之比 t_0/h_0 按规范规定取用;

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

(4) 结构系数 γ_d 的确定

锚碇墙后土体本身产生的主动土压力 E_a 为永久作用,拉杆拉力水平分力 R_{Ax} 为主导可变作用,锚碇墙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、拉杆拉力的分项系数均为 1.35,在对几座具有典型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,计算式左端:

$$S_d = \gamma_0(1.35E_{ax} + 1.35R_{Ax} + 0.7 \times 1.35E_{qr}) \quad (10)$$

式右端: $R_d = E_{px}/\gamma_R$, 因为 $\gamma_R = 1.0$, 所以 $R_d = E_{px}$

故有 $S_d \leq R_d/\gamma_d$

式中: S_d —作用效应组合的设计值;

R_d —结构抗力设计值;

γ_d —结构系数,取 1.15。这时锚碇墙的稳定性符合结构设计精度要求;

γ_R —抗力分项系数,取 1.0。

4 几个需要说明的问题

4.1 确定单锚板桩墙入土深度的研究分析

因为以往没有板桩码头设计规范,对板桩码头的稳

定性没有明文规定安全度值。根据国内工程实践,并参考国外有关技术规定,分析得出其安全度 K_0 可采用 1.35 ~ 1.55,地基土质好时,取大值,地基土质差时取小值。

在计算中可见:大多数码头按“踢脚”稳定极限状态法求出的人土深度比弹性线法求出的小,但有些工程按弹性线法求出的人土深度较小,其人土段土质较差。因此板桩墙入土深度应满足“踢脚”稳定的要求,与按弹性线法计算时,入土深度应取两种方法算出的大值。

结构系数 γ_d 的取值为:地基土质差时,宜取 1.0,地基土质好时,宜取 1.15。

“踢脚”稳定分析时,作用分项系数按规范表 3.3.3 取用。

4.2 板桩墙弯矩、拉杆力计算图式

板桩墙的计算,可有多种方法,采用计算图式也不相同,规范分别对弹性线法、竖向弹性地基梁法、自由支承法所采用的计算图式作了规定。

4.3 关于其他分项系数

(1) 锚碇墙(板)稳定验算和拉杆构件设计时,拉杆拉力分项系数 γ_{RA} 取 1.35;

(2) 钢板桩、钢导梁构件计算中,作用效应综合分项系数取 1.35;

(3) 钢筋混凝土和预应力钢筋混凝土的构件计算时,作用效应综合分项系数取 1.40;

(4) 锚碇墙(板)稳定验算时,计算被动土压力时 δ 限值的确定;锚碇墙(板)稳定验算中被动土压力是抗力,它是锚碇墙(板)稳定的关键因素,而理论计算往往偏大,编制规范时进行了试验研究,曾建议计算中 δ 取小于 10° 较为合理,又经过试设计,最终编写组研究决定取 $\delta = 7^\circ$ 较为妥当。

