



· 讲座 ·

《高桩码头设计与施工规范》(JTJ291-98)介绍

王炳煌

(中文第三航务工程勘察设计院, 上海 200032)

摘要: 本讲座主要介绍规范重点修订内容。

关键词: 高桩码头; 设计与施工; 规范

《高桩码头设计与施工规范》(JTJ291-98)(以下简称新规范)是根据交通部(1990)交函工字 210 号文通知,对《港口工程技术规范》第五篇第二册《高桩码头》(JTJ216-87)(以下简称原规范)修订而成。

原规范颁布以来,我国港口工程建设发展很快。在沿海,高桩码头向离岸远、无掩护和停靠船舶大型化发展,已建成可停靠 10 万~20 万吨级大型码头,码头离岸距离达到 2~3km;在内河,为提高码头装卸效率,高桩码头不断向大水位差地区延伸。建造高桩码头的自然环境(水深、波浪、水流等)发生了很大变化,码头装卸设备的类型多样化,并对安装精度提出更高要求。在修订规范时,认真总结经验,进行了单向板、双向板、空心板、桩帽等多项试验和专题研究工作,吸收国内外科研成果。同时,根据《港口工程结构可靠度设计统一标准》(GB50158-92)规定,采用以概率论为基础的极限状态设计法取代定值设计法。对原规范进行了大幅度修改和补充,经审查定稿。

本规范主要修订内容有:实现以可靠度理论为基础、以分项系数表达的概率极限状态设计方法的转轨;为适应外海环境,改进码头结构型式,提出增加码头耐久性措施,修改补充外海工程施工控制标准;提出减少大面积填土对码头基桩影响的措施;对集中荷载使用下单向板计算作重大修改,对双向板、空心板计算也作了适当修改;增加大水位差码头、柔性靠船桩、双层系靠船的板梁式码头和桩帽设计。本讲座介绍规范重点修订内容。

1 作用与作用效应组合

新规范采用以可靠度理论为基础以分项系数表达的极限状态设计方法。根据《港口工程结构可靠度设计统一标准》规定的原则,结合高桩码头型式多、结构复杂和环境变化大的特点,在规范中对作用、作用效应组合表达式、分项系数取值、两种极限状态设计等作了规定。

(1)根据高桩码头在施工时期和使用时期可能出现的荷载及其特征,将荷载划分为永久作用、可变作用和偶然作用。

(2)高桩码头极限状态设计包括按承载能力极限状态和正常使用极限状态设计,规范对两种极限状态设计的内容作了具体规定。

在正常使用极限状态设计中包含变形计算,如柔性靠船桩、全直桩码头水平位移,装卸机械作业引起结构振动等。

(3)规范对 3 种设计状况需要计算的内容作了规定。

短暂状况是指比持久状况较短的时段,在这一段时间可能发生的荷载,与偶然状况区别在于前者在基准期内可能发生而且一定会发生,后者可能发生但不一定发生。短暂状况发生的荷载应经过论证。高桩码头在施工时期或使用初期可能出现的某些荷载属于短暂状况,如施工时期出现的打桩应力,在岸坡稳定计算中因打桩震动所产生的附加应力,预制构件吊运安装所产生的应力,施工时期可能出现的水流力、冰压力和波浪力等;作用初期可能出现的某些荷载,如电厂、化工厂大型设备需要临时通过码头等情况。

(4)承载能力极限状态作用效应组合分为持久组合、

收稿日期:2000-06-13

作者简介:王炳煌(1934-),男,安徽凤阳人,教授级高级工程师,从事港口及航道工程专业。

短暂组合和偶然组合。

规范中给出了计算公式,其中:①持久状况作用效应的持久组合当作用与作用效应为线性关系时,表达式中 $C_G \cdot G_k$ 为永久作用效应。 G_k 为永久作用标准值; C_G 为永久作用效应系数;②短暂状况作用效应的短暂组合对施工荷载或检修荷载取可能出现的最大值。

(5)持久状况的正常作用极限状态设计,应按短期效应组合或长期效应组合进行验算。

在使用中应注意区别承载能力极限状态作用效应“持久组合”和“长期效应组合”。持久组合是指在整个基准期内对可能出现的最大荷载(一定概率)均应予以考虑,长期效应组合是指基准期内某一较长期有影响的荷载(如沉降计算等)应予以考虑。

2 提高海港码头耐久性的规定

结构可靠度是指结构在规定的时间内,在规定的条件下,具有预定功能的概率。所谓规定的时间即设计基准期。因此对所建造的高桩码头,在正常使用和维护下必须具有足够的耐久性,以确保在设计基准期内具有规定的可靠度。

沿海高桩码头调查表明,钢筋混凝土构件普遍存在锈蚀问题,有的锈蚀严重。

2.1 码头锈蚀情况

(1)华南地区:1981年和1988年中港第四航务工程局科研所和南京水利科学研究所对华南沿海高桩码头进行了调查,不少码头锈蚀严重。锈蚀主要发生在浪溅区。

所调查的15座码头纵梁中有11座发生严重锈蚀或普遍发生顺筋裂缝。7座采用 π 型板的码头有6座板肋破坏严重。白马井某码头建成15a,94块面板中有85块锈裂或混凝土剥落露筋。

华东沿海码头位于浪溅区的板、梁构件大多在20a内发生锈蚀破坏,少数在30a以上。

(2)华东地区:连云港高桩码头锈蚀较严重。1980年以前建造的6个泊位中,4个泊位建成5~6a年发生锈裂,10a锈蚀比较严重。老煤码头建成15a,调查的140根纵梁有83%保护层剥落或纵向发生裂缝。

浙江椒江某码头建成24a,242根纵、横梁主筋严重锈蚀178根,104块面板中有58块开裂或主筋外露。北仑某码头建成7~8a,起重横梁、桩帽和斜撑发生锈蚀,有的较严重。

(3)北方沿海高桩码头同样存在锈蚀问题,但锈蚀程度比南方轻。交通部天津水利科学研究所对新港30座高桩码头进行调查后认为:在设计、施工、使用正常条件下,码头破坏主要原因是钢筋锈蚀。

2.2 本规范对提高码头耐久性的规定

(1)要求简化结构型式,以减少构件暴露面积;同时应避免构件顶面积水,减少氯离子聚集。位于浪溅区的桩帽顶面、下横梁顶面易于积水,造成钢筋锈蚀;预应力混凝土构件具有较好的抗裂性能,在构造设计中有条件应予采用。

(2)要求严格遵守《水运工程混凝土质量控制标准》(JTJ269-96),该标准对混凝土质量要求,混凝土质量初步控制、生产控制和合格控制等作了规定,对保证混凝土质量、提高耐久性有重要作用。

钢筋保护层厚度是增加氯离子渗透距离,对延长使用年限有重要作用,在构件设计中必须严格遵守上述标准规定。华南码头调查发现,面板设计保护层为30~40mm,实测最小23mm,梁设计保护层40mm,实测最小12mm。其他工程有类似情况。施工中应采用有效措施控制保护层厚度。

梁底部钢筋不宜过密。高桩码头钢筋锈蚀最严重的是纵梁底部,纵梁底部多位于浪溅区,而且钢筋密集。白马井某码头 π 型肋钢筋间距仅15mm。调查表明,由于钢筋密集,梁底部混凝土密实性普遍较差。

(3)对锈蚀严重的构件采用涂料或其他有效措施进行保护。天津港湾工程研究所对5种涂料涂覆的钢筋混凝土构件进行20a暴露试验;南京水利科学研究所和连云港港务局,对同一座码头采用环氧沥青漆进行保护和未保护的构件做对比试验;中港第四航务工程局科研所在湛江采用H801云铁环氧防锈漆等涂料对钢筋混凝土进行保护。都证明涂料有显著作用。连云港二突堤高桩码头等工程大面积采用涂料进行保护。除涂料外,其他措施如在混凝土拌合物中掺添加剂,建设部《环氧树脂涂层钢筋》(JG3042-1997)直接对钢筋进行保护,都有显著作用。

(4)对堆放散装盐或其他腐蚀性较强的码头,要求增加码头面板顶层现浇钢筋保护层厚度,采用微膨胀混凝土填充预制构件接头等措施。

(5)桩基防腐蚀在《港口工程桩基规范》(JTJ254-98)另有规定。

2.3 施工质量和 使用管理对高桩码头耐久性的影响

影响高桩码头耐久性的因素较多,除结构设计、混凝土材质外,施工质量和 使用管理也是重要环节。湛江某码头建于 1958 年,使用 30a 基本完好。而同一地区另一座码头建成 7a 锈蚀已较严重,60 根横梁中有 58 根出现锈斑和裂纹,434 根 π 型板肋有 264 根锈裂。现场调查发现,锈蚀严重的码头一般存在着保护层厚度偏小,水灰比过大,梁底混凝土不密实。

使用管理同样影响码头使用年限,浙江某煤码头设计荷载为 20kPa,实际堆煤 50~60kPa。超载引起构件开裂和加大裂缝宽度,加快锈蚀发展速度。

3 伸缩缝间距及构造要求

3.1 伸缩缝间距

原规范规定高桩码头伸缩缝间距为 40~60m。据调查,已建码头伸缩缝间距一般在原规范规定范围之内,但华东和华南地区已有多座码头超过规定。如北仑 10 万吨级矿石中转码头为 78.2m,北仑二期木材码头 95m,上海华栈码头 84m,海南白马井码头 70m。

对码头使用情况进行了调查:北仑 10 万吨级矿石中转码头(建于 1979 年)、北仑木材码头(建于 1990 年)调查时未发现裂缝;上海华栈码头(建于 1973 年)沿码头横向在预制板拼缝处和横梁侧面有裂缝出现。在华东地区早期对预制板拼缝不作处理,伸缩缝间距小于 60m 的码头也普遍存在此类裂缝,因而很难判断裂缝与伸缩缝间距有关;新港码头伸缩缝间距一般不超过 60m,使用情况良好。

工民建《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ10-89)认为对于复杂建筑物,准确计算温度应力是困难的,应以总结实践经验为主。该规范对全国 10 座大城市中 21 座露天钢筋混凝土结构进行调查分析,规定露天钢筋混凝土装配式排架结构伸缩缝最大间距为 70m。

高桩码头多建于岸坡上,桩长短不一且布置形式多样,结构复杂,缺乏温度应力实测资料。而且我国幅员辽阔,各地区温差相差很大,在当前论证不充足的情况下伸缩缝间距不宜放宽太多,新规范规定装配整体式码头伸缩缝间距宜取 60~70m,同时加注说明,当有实践经验或可靠论证时可适当增减。

3.2 构造要求

码头上部结构在伸缩缝和沉降缝分段处,可采用悬

臂式结构或简支结构。在采用简支结构时若处理不当可能造成事故,华东地区十余座码头均采用简支结构,简支梁下用砂浆找平铺三毡两油,由于相邻段码头(长度在 60m 左右)变形影响,简支梁端普遍出现斜裂缝,搁置处混凝土拉裂、露筋,使搁置长度减少影响结构安全,且修复很困难。规范总结修复经验,提出改进措施。

此外,对伸缩缝内要求用泡沫塑料等柔性材料填充的规定应严格执行,否则难以保证结构自由伸缩造成事故。

4 减少大面积填土对码头桩基影响

在软基上建造高桩码头,由于码头后方大面积填土和堆货,前方挖泥等原因,作岸坡土体原有平衡遭到破坏而发生变形。如处理不当常造成码头产生水平位移、前后不均匀沉降,桩基严重损坏,这一类事故数十年屡屡发生,影响码头使用寿命。

4.1 码头损坏情况

损坏事故多发生在满堂式码头。引桥式码头也有发生,如宝钢重件码头等。

(1)码头水平位移:湛江某码头位移 125mm,赤湾某码头位移在 100mm 左右。这些码头后方均进行大面积填土或抛石。湛江老码头位移超过 500mm,除填土外还涉及沉桩工艺和超载。

(2)码头水平错位:上海内河局沙家浜码头,相邻两段码头水平错位 60mm;上海其昌东栈码头水平错位 510mm。

(3)码头不均匀沉降:上海早期建造的码头桩基打入软土层,由于后方填土和堆货引起码头产生不均匀沉降。不均匀沉降一般为 200~300mm,最大 490mm。桩端打入硬土层有明显改善。

(4)桩基损坏:收集桩基损坏工程 12 项,其中上海 8 项,天津 2 项,湛江 2 项。

叉桩(主要是向岸斜桩)损坏有 10 项工程。上海某工程 50 对叉桩中有 56% 的向岸斜桩断裂;宝钢某码头较严重;湛江、天津新港也发现向岸斜断裂或不起作用的情况。

叉桩桩帽开裂有 4 项工程。湛江南油码头叉桩桩帽开裂达 78%,上海内河局沙家浜码头开裂 71%,天津新港二港池某码头开裂 80%。叉桩桩帽开裂是由于叉桩受力所引起的。

直桩开裂有 7 项工程,多发生在近岸 1~2 排桩。天



津新港四港边某码头近岸第1排54根直桩全裂,缝宽4~25mm。上海、湛江等地有类似情况。

4.2 规范对减少大面积填土影响所作的规定

(1)当软基较厚或填土厚度较大时,宜先期填土、置换软土或进行软基处理。天津新港和上海等地区工程实践证明,这些措施有明显效果。但费用较贵,应通过技术经济比较确定。

(2)在施工阶段采取措施,减少土体变形对码头影响,这一点十分重要,因为很大一部分变形都发生在施工阶段。如湛江南油码头,随着后方抛填量增加叉桩桩帽出现裂缝,投产前大部分桩帽已经开裂。此类实例较多,因此要求对填土(或抛填块石)或挖泥高度、间隔时间、顺序应作明确规定。在填土(或抛填石)区域内需要清除淤泥时,对清淤要求也应作出明确规定。

(3)对改善叉桩受力作了若干规定。

地基沉降对斜桩的作用力,可分解为垂直斜桩桩轴的分力和平行桩轴的分力。垂直桩轴的分力将使桩产生挠曲和力矩,平行桩轴的分力将产生负摩擦力;地基水平变形对斜桩所产生的侧向压力,同样可分解垂直斜桩桩轴的分力和平行桩轴的分力。对向岸斜桩,地基沉降和水平变形所产生垂直桩轴的分力是叠加的,对向江斜桩则互相抵消,因此向岸斜桩受力最不利。

P. Wenz 在现场进行堆载试验,桩台的桩基由1根直桩和一对叉桩组成,叉桩中两斜桩坡度均为3:1。试验区软粘土层厚15~16m,桩尖穿过软粘土打入砂层,试验场地堆载最大压力为200kPa。实测靠加载一边的内斜桩(相当于码头向岸斜桩)曲率半径最小,直桩次之,外斜桩最大。开挖发现由型钢组成截面为1140mm×600mm内斜桩呈脆性破坏。

码头断桩事故和现场试验都证实大面积填土对向岸斜桩最为不利。

研究地基沉降量与桩斜率之间的关系表明,斜桩与垂线的夹角愈大,桩主筋屈服对应的沉降量愈小。因此,规范规定:当地质条件差时,斜桩宜陡不宜缓;当软土层较厚且码头后方填土高度较大时,宜将向岸斜桩改成直桩,即采用半叉桩。上海某码头大部分向岸斜桩遭到破坏,而少数向岸斜桩因施工困难改为直桩却完好无损。

5 单向板在集中荷载作用下的计算

新规范对单向板在集中荷载作用下的弯矩计算宽

度、弯矩系数、分布筋的配置、剪力计算宽度作了重大修改:

为了修订单向板集中荷载作用下的计算方法,委托南京水利科学研究院进行了72块面板试验,并配合有限元进行分析。本规范着重研究面板计算中前面3个问题,剪力计算宽度以《港口工程混凝土结构设计规范》编写组为主进行研究。

5.1 弯矩计算宽度 b_c

板的厚度远小于平面尺寸,板的最大挠度与板厚比是很小的,可满足小挠度理论的基本假定,可视为弹性薄板按小挠度理论进行分析。为简化计算,应用等效原则,引用弯矩度计算宽度概念,使二维问题简化为一维问题求解。这一方法在国内外得到广泛应用。

原规范规定单向板在集中荷载作用下的有效分布宽度(即弯矩计算宽度)按下式计算:

$$b_c = b_1 + \frac{1}{3}l, \text{但不小于} \frac{2}{3}l \quad (1)$$

由于 b_1 一般小于 $\frac{1}{3}l$, 实际上 b_c 仅与 l 有关,所考虑的因素单一。

通过在集中荷载作用下,二边自由二边支承板试验得出:① b_c 随宽跨比 B/l 、板厚、加载面积增大而增大,其中影响较大的是 B/l ;② b_c 随荷载使用位置而改变,荷载由支座向跨中移动而增大,荷载由跨中向自由边移动而减小。

根据试验中各影响因素相关规律,同时参考大连理工大学和天津大学试验资料,经分析规范规定弯矩计算宽度按下式计算:

$$b_c = \frac{Kl_0}{0.8 + 0.1l_0/l_x} + b_1 + h \quad (2)$$

$$K = \frac{B/l_0}{1.0 + 0.9B/l_0} \quad (3)$$

弯矩计算宽度按上述公式计算与试验值比较 $\bar{X} = 1.036, \sigma = 0.087, C_v = 0.084$ 。

根据试验,当 B/l 接近2.5时, b_c 趋向常数,故在条文中加注予以限制。

新规范与原规范比较,以传递宽度 $b_1 = 0.4m$,板厚 $h = 0.4m$,板宽 $B = 8m$,计算跨度 $l_0 = 3m$ 为例, $b_{c新}/b_{c原} = 1.47$ 。

5.2 弯矩系数 m

为求得 m 值进行四跨连续板、五跨带横梁的连续板试验,试验中考虑两种不同肋高比 h/H' 的影响。试验板



均为叠合板。

试验时实测板 1/2、1/4 处截面钢筋和混凝土应变, 依此推求支座应变, 并按应变与弯矩的关系求 m 值。此外, 还通过理论分析求 m 值, 所得结果较接近。

为研究相邻跨荷载影响, 在纵梁顶埋设 3 排电阻片, 当集中荷载作用在板中时梁顶产生负弯矩而受拉。由于纵梁刚度大, 梁顶拉应变由荷载作用跨到邻跨迅速减少, 邻跨跨中应变接近于零。

试验中两种肋高比为 $h/H' = 5.45$ 和 $h/H' = 3.18$, 试验证明 h/H' 对 m 值有显著影响。

通过对试验资料分析, 并参照中港第三航务工程局科研所 1973 年进行的试板资料, 在规范中给出了新的 m 值。与原规范比较: ①区分中跨、边跨; ② $h/H' < 1/4$ 时, 中跨板支座和跨中的 m 值作适当调整; $h/H' \geq 1/4$ 时, m 值有所减少。

5.3 分布筋的配置

过去单向板分布筋一般取主筋的 10% ~ 15%。

为研究分布筋进行 25 块板试验, 试板分布筋与主筋比 $\mu_y/\mu_x = 15\% \sim 40\%$, 并用有限元进行 150 个组次计算。

集中荷载作用下板的破坏形式随宽跨比 B/l 的改变而不同。当 $B/l = 1.0$ 时, 板的纵向裂缝为破坏裂缝, 与其相应的主筋屈服, 类似梁弯曲破坏; 当 $B/l \geq 1.5$ 时, 实测板主筋和分布筋与荷载关系、板顶混凝土应变与荷载关系, 均呈双向应力状态。

通过试验还得知, 分布筋的增加对横向裂缝开展有明显控制作用。当 $\mu_y/\mu_x \geq 35\%$ 时, 在钢筋屈服时板的最大缝宽小于 0.2mm, 满足港工限裂宽度规定。因此, 新规范规定当 $B/l \geq 1.5$ 时跨中分布筋取主筋的 35%; 由于同一荷载位于 1/4 处产生的应变只有 1/2 处的 0.75 倍, 因而规定从支座边至 1/4 的分布筋可减少为主筋的 $0.75 \times 35\% = 25\%$ 。

6 高桩码头内力计算

高桩码头具有空间结构特征, 新规范规定高桩码头内力可根据具体情况, 按纵、横向两个平面计算, 有条件时也可按空间问题计算。

6.1 按平面假定计算

长期以来, 高桩码头内力沿用按纵、横向两个平面进行计算, 使用中尚未发现问题。新规范根据近年工程实践和有关试验, 对平面计算作了补充规定。

(1) 考虑荷载的空间传递

①作用在码头上的水平集中力应分配到其他排架, 分配系数是通过空间模型试验得出的。

②原规范规定纵梁一般按刚性支承连续梁计算。修订后规定一般应按弹性支承连续梁计算, 使门机等集中荷载沿纵向传递得更远。

(2) 横向排架计算作了较详细规定

①一般情况规定按柔性桩台计算。

②由叉桩和直桩支承的横梁, 是高桩码头普遍采用的结构型式。对该型式横向排架简化计算方法作了规定。

③由于预应力混凝土大直径管桩的出现, 采用全直桩的码头愈来愈多。全直桩码头的横向排架可按桩土共同作用的刚架计算, 或按具有弹性支承的刚架计算。

④双层系靠船板梁式码头(图 1)是我国港工建设一项创新, 使板梁式码头适应水位差由 5m 增加到 8m 左右。过去, 在长江下游从镇江到南京一带(水位差 6 ~ 8m), 多采用框架式码头, 现已为双层系靠船板梁式码头取代, 码头结构大为简化。双层系靠船板梁式码头横向排架计算可按考虑连接板的简化计算方法, 或按考虑各杆件的刚度, 按弹性杆件法计算。

6.2 空间计算

已有多篇论文对高桩码头空间计算进行讨论, 河海大学(1990 年)做过模型试验。

目前, 高桩码头空间计算有 3 种基本假定。

(1) 无面板: 即不考虑码头面板作用, 将纵、横梁连同基桩视为空间网格梁。此种假定只适用于垂直荷载, 有

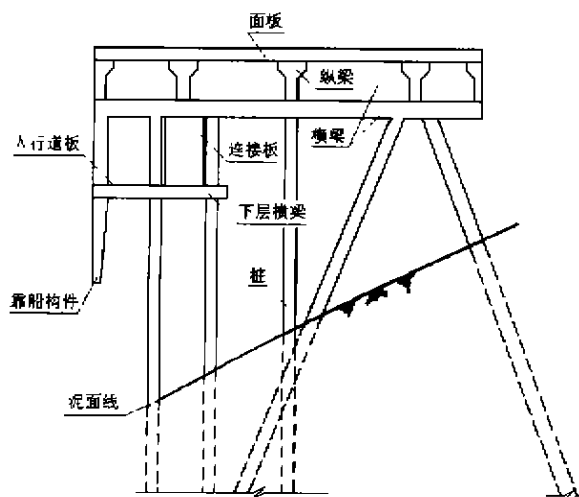


图 1 双层系靠船板梁式码头



水平力作用时不宜采用。

(2) 水平力作用时考虑码头面板刚度, 垂直荷载作用时将纵、横梁连同基桩视为间网格梁。盐田港二期集装箱码头工程采用此基本假定, 用澳大利亚 Microstran 程序进行空间计算。该程序将面板的水平刚度平分给纵梁, 不考虑面板的垂直刚度。

(3) 有面板: 即考虑码头面板、纵横梁和桩基共同作用。河海大学和中交第三航务工程勘察设计院(1992年)以南通某码头为例, 用有面板假定与原规范规定(纵梁按刚性支连续梁计算)比较。作用在码头上的荷载为1000kN水平集中力, 5t和10t门机各1台, 第1~3跨布满25kPa均布荷载。比较结果见表1, 纵、横梁弯矩有较大出入。

目前, 对空间计算的研究还在不断完善之中。

表1 平面方法/有面板法计算内力最大值比较

水平力	桩力 (kN)		纵梁弯矩 (kN·m)		横梁弯矩 (kN·m)	
	门机	均载	门机	均载	门机	均载
0.85	1.24	1.10	2.74	0.82	1.89	1.46

7 桩帽设计

桩帽设计长期处于无章可循状态。对25座码头桩帽进行了统计, 桩帽外包宽度为(0.25~0.90)d(桩宽或桩径), 高宽比为0.31~0.86, 配筋率为0.101%~0.406%, 变化幅度很大。桩帽是桩与上部结构连接重要构件。1座码头桩帽数量很多, 合理设计是十分重要的。

为修订规范, 委托武汉水利电力学院进行72个直桩桩帽和22个叉桩桩帽试验, 并参照其他单位研究成果。

7.1 构造要求

桩帽为空间受力块体, 受力情况复杂, 在构造上必须保证结构具有较好整体性。

桩帽平面尺寸在满足构造要求的情况下宜减少; 高度应满足桩或桩芯钢筋锚固要求, 并由计算确定, 规范还规定桩帽高度不宜小于0.5倍桩帽宽度, 且不得小于600mm。适当增加桩帽高度对提高抗弯、抗剪能力是有益的。

试验表明, 桩帽的纵、横向钢筋宜采用封闭式以增加整体性; 水平箍筋在阻止冲压块体外张和下陷有明显作用, 应作成封闭式并嵌套在纵、横向钢筋外面。

7.2 计算假定

规范对简支梁、连续梁作用在桩帽上的反力分别作

了规定, 主要是根据南京水利科学研究所的光弹试验和武汉水利电力学院二维有限元计算结果。

桩帽支撑于桩顶, 四面悬空, 承受的荷载为空间力系, 呈三维复合应力状态, 简化计算是必要的。

实测桩帽顶在纵、横向钢筋应变与荷载关系。当简支纵梁单独作用时, 纵向钢筋应变随荷载增加而增加, 直至屈服, 而横向钢筋应变很小, 没有参加工作; 当纵、横梁同时搁置时, 两个方向钢筋应变均随荷载增加而增加, 并先后屈服。因此, 桩帽设计可根据顶面受荷情况, 假定按一个或两个平面进行计算。

7.3 桩帽顶面受弯承载力计算

试验表明, 配筋适中的试件一般是钢筋先屈服, 受压区混凝土很少压碎, 受力情况与实腹牛腿相似。

根据试验资料, 经分析规定桩帽顶面受弯承载力按下式计算:

$$F_u \leq M_u \quad (4)$$

$$M_u \leq 0.85A_u f_y h_0 \quad (5)$$

36个直桩桩帽试验结果与计算公式比较, $\bar{X} = 1.121$, $\sigma = 0.158$, $C_v = 0.141$; 7个叉桩桩帽试验结果与计算公式比较, $\bar{X} = 1.230$, $\sigma = 0.166$, $C_v = 0.139$

7.4 桩帽顶面局部受压承载力计算

桩帽顶面局部受压承载力计算公式引自国标《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89), 并根据26个直桩桩帽试验结果乘以系数 ξ 进行修正。局部受压承载力按下式计算:

$$F_{lu} = \frac{1}{\gamma_d} (\beta f_c + 2\rho_{cor} f_y) A_1 \xi \omega \quad (6)$$

$$\beta = \sqrt{A_0/A_1} \quad (7)$$

$$\rho_{cor} = A_{cor}/A_1 \quad (8)$$

$$\xi = 1.205 \frac{h}{B_c} - 0.168 \quad (9)$$

26个直桩桩帽试验结果与计算公式比较, $\bar{X} = 1.034$, $\sigma = 0.147$, $C_v = 0.156$; 10个叉桩桩帽试验结果与计算公式比较, $\bar{X} = 1.528$, $\sigma = 0.188$, $C_v = 0.120$ 。

8 柔性靠船桩

柔性靠船桩适用于液体或其他采用固定机械进行装卸的船舶停靠或系缆。

柔性靠船桩是利用钢管桩变形来吸收船舶停靠所产生的能量, 充分发挥钢材弹性特点, 与固定式墩式码头比

较造价明显减少。浙江某码头停靠2.5万吨级油船,靠船墩采用固定式结构,即按常规布置斜桩和叉桩,1个靠船墩设置26根直径1200mm钢管桩;而镇海石化总厂算山15万吨级油码头,1个柔性靠船墩只用5根直径1500mm钢管桩;卡拉奇港7.5万吨级液品码头柔性靠船墩仅用1根直径2100mm($\delta=26\sim 50\text{mm}$)钢管桩。

我国于60年代开始采用柔性靠船桩,现已建成可靠20~25万吨级油码头。在总结经验的基础上,首次将柔性靠船桩列入规范。

柔性靠船桩在平面布置上必须与装卸平台分离,靠船桩与后面建筑物的距离应满足最大变形要求,并留有足够余量。规范规定最大变形不大于直径1500mm是考虑船舶停靠安全,参照德国《码头岸壁委员会的建议》制定的。

8.1 构造要求

在靠船桩外侧应设防护设施,以对船体和钢管桩进行保护。国外常采用可绕水平轴转动的防护板(图2(a)),国内则采用固定式防护板(图2(b))。防护板的大小应使船与防护板的接触力小于船体承受的压强。

8.2 计算

柔性靠船桩主要承受船舶撞击能量,而靠船速度的平方与撞击能量成正比,因此在确定靠船速度时应十分慎重,应考虑可能出现的最不利因素。大型码头应设靠船速度控制仪,对靠船速度进行监测。

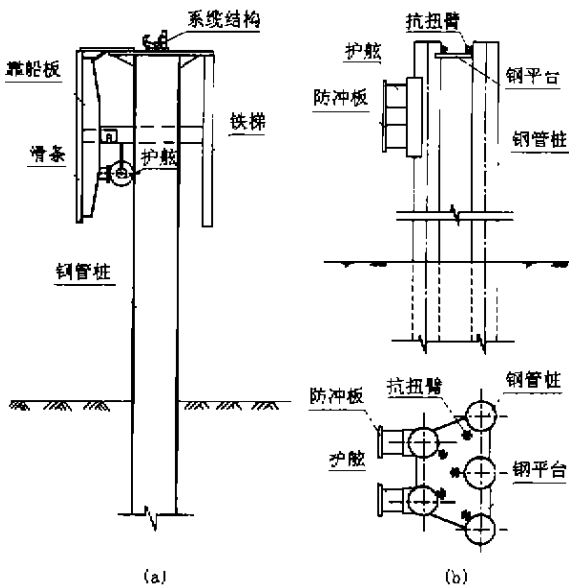


图2 柔性靠船桩

柔性靠船桩一般可采用无锚板桩法计算。1965年南京煤码头首次采用柔性靠船桩即用此法计算,现场实测与计算结果接近。已建的6~7项工程中,除1项采用当地系数法按弹性桩计算外,其余均采用无锚板桩法。

P-Y曲线法适用于桩在泥面变位较大的情况,P-Y曲线计算方法详见《港口工程桩基规范》。

9 大水位差码头

经过设计和施工单位多年探索,创造了不少适应10~17m大水位差的码头结构型式,使高桩码头在内河适用范围不断向上游延伸。

规范中几种适应于大水位差的码头结构型式各具特色,并经过生产实践检验。

(1)设置3~4层系靠船结构的板梁式码头(图3),码头前沿设钢靠船立柱或利用前排钢管桩作靠船立柱。码头基桩直接承受水平力且自由长度大,一般宜采用钢管桩。横向排架过去按不考虑水平横撑的柔性桩台计算,规范推荐考虑各杆件(包括水平横梁)刚度的弹性杆件法计算,使计算结果更符合实际。

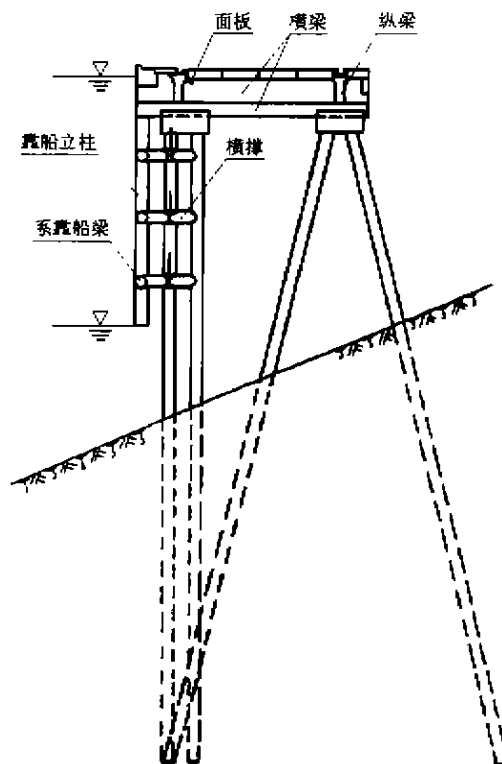


图3 前沿设置3~4层系靠船结构的板梁式码头



(2) 单独设置浮式系靠船设施的板梁式码头(图4), 已成功用于武汉红钢城码头, 船舶撞击力通过钢浮体传给导向桩再传递给横梁及码头桩基, 据实测码头承受船舶撞击能量只有总有效能量的 30% 左右。钢浮体还给大水位差船舶系靠带来方便。

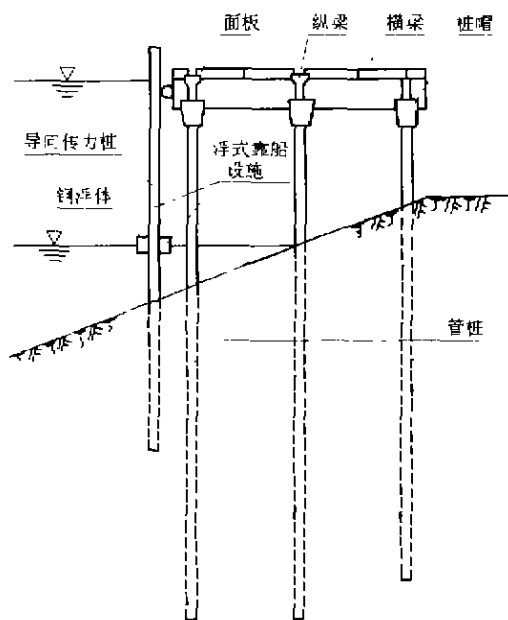


图4 单独设置浮式系靠船设施的板梁式码头

(3) 设置桥式起重机的架的大水位差码头, 都有成功实例, 规范对筒支起重机的计算和构造作了规定。

10 测量定位

原规范对高桩码头施工测量定位适用于近岸工程。随着港口建设迅速发展, 外海大型码头离岸距离达 1~3km, 码头结构复杂, 工作量大, 施工中往往几个工作面同时展开(如有时 3~4 艘工作船同时打桩或安装), 码头装卸设备安装精度高, 因而对测量仪器和控制误差要求愈来愈严格。而《水运工程测量规范》(JTJ203-94) 包括航道、港口工程, 涉及面较广泛, 具体应用于高桩码头施工有一定距离。本规范根据《水运工程测量规范》所制定的原则, 结合高桩码头具体情况, 对原规范作了重大修改。修改后的规范具有以下特点:

- (1) 保持航务工程水上定位、测设(放样)的行业特点, 同时向国家规范靠拢;
- (2) 规定内容跨度大, 适用于小、中、大各种类型码头, 并考虑近岸、远岸的影响;
- (3) 测量方法多, 有导线、三角、边角、三边, 电磁波导线、GPS 等测量作业方法。规范对测量平面控制网的布网形式、等级精度、水准网点的等级精度, 以及适用范围都作了规定。

