

⑤
21-24

港口工程

高桩码头

靠船墩

柔性

第16卷第1期

水利水电科技进展

1996年2月

国内港口工程中柔性靠(系)船簇桩的应用及展望

唐耿星

(河海大学航运及海洋工程系 南京 210098)

U 656.113

摘要 柔性靠(系)船簇桩是最近高桩码头规范修订时新增内容。目前已用在水位差15~17m的河港码头及20万吨级的外海油码头中。本文结合规范修订工作介绍我国柔性靠(系)船簇桩应用的现状、使用特点及主要设计问题,展望这一技术的应用前景。

关键词 港口工程 港工结构 靠(系)船簇桩 柔性

在软土地基上建造码头大都采用高桩码头形式。70年代以前,码头前停靠的船舶一般在万吨级以内;适应的水位差在6~7m以下,大都在有掩护条件的港内。80年代以来,情况有了很大的变化,主要表现为:长江地区,为了提高装卸效率,固定岸壁式高桩码头在九江、武汉等地得到广泛地应用,适应的水位差越来越大,高达15~17m;海港地区开敞式无掩护条件建造高桩码头越来越多,波浪、潮流的影响增大;集装箱码头在件杂货码头中的比例增大,停靠油轮及大型散货船的吨位,从5万吨至20万吨级不等;预应力大管桩技术的开发和应用,使全直桩码头的规模得到很大提高。以上条件的变化给码头设计带来了许多新问题,要解决这些新问题,应用柔性靠船簇桩是很好的办法之一。

1 国内钢簇桩应用情况

1964年以来,国内相继在南京、武汉、上海及镇海等地建造了规模从千吨至15万吨级用途不相同的柔性靠船簇桩系统,一个簇桩的桩数从单桩至5桩不等。使用以来效果良好,费用便宜。

a. 1994~1995年南京港务局煤码头加

固工程:采用3组大的、4组小的钢管桩。大簇桩采用3根直径565mm、厚度16mm钢管桩,小簇桩采用2根直径565mm、厚度16mm的钢管桩,桩长27m。

b. 1979年上海民生路轮渡码头:采用单根直径1050mm、桩长26.2m的钢管桩做靠船墩^[1]。

c. 1983~1984年,上海石化总厂金山海运码头2个1000~5000吨级泊位:8组钢簇桩,每组3根直径1200mm、厚度20mm钢管桩,桩长40m;1989年,西泊位扩建为万吨级泊位,另加2组钢簇桩,每组4根直径1200mm、厚度20mm钢管桩,桩长40m^[2]。

d. 1988~1990年,镇海石化厂算山15万吨级油轮码头:采用4组钢簇桩,大簇桩5根直径1500mm、厚度30mm钢管桩,小簇桩3根直径1500mm、厚度30mm钢管桩,桩长57m^[3]。

e. 1990年,镇海石化总厂算山5万吨级泊位为靠泊万吨级成品油轮另加2组钢簇桩,每组4根直径1200mm、厚度20mm钢管桩,桩长45m^[3]。

f. 1986~1988年南京港35号煤码头5000吨级泊位,6组钢簇桩,每组3根直径

800 mm、厚度 16 mm 钢管桩, 桩长 34 m。

g. 1990 年, 武汉红钢城多用途码头: 靠泊传力及浮箱异向系统, 采用 4 根直径 1000 mm、厚度 16 mm 的钢管桩, 桩长 34.48 m^[2]。

2 钢簇桩的使用特点

钢簇桩下端嵌入土中, 上端较多情况为自由, 也有通过橡胶护舷与桩台连接。靠船时, 除橡胶护舷变形吸收一部分能量外, 主要利用钢管桩的水平变形能来抵销船舶的撞击能量。与以往钢筋混凝土结构利用结构的刚性来承担撞击能量有很大的不同。钢筋混凝土结构不允许有较大的变形, 否则结构就要开裂或破坏, 如结构上采用布置众多的斜桩或叉桩来抵抗撞击力, 则又费用昂贵, 施工困难。

2.1 工程实例 A

上海轮渡码头船舶吨位不大(300 吨级), 靠泊速度较高(100~160 cm/s), 撞击能量不小; 以往设计的钢筋混凝土墩式码头, 从 1958~1978 年发生过数次破损, 经过几次修复, 均未能解决问题。1979 年交通部第三航务工程勘察院设计人员决定采用柔性靠船墩结构。该柔性靠船墩的基础部分为 1 根钢管直桩, 桩直径为 1050 mm, 桩长 26.2 m, 入土深度 17 m。墩体为一钢质浮筒, 由上下两部分组成(图 1); 上部为钢护舷, 由 2 道环形护舷和 10 根竖护舷所组成, 在护舷与钢桩之间的环形间隙内布置 10 根

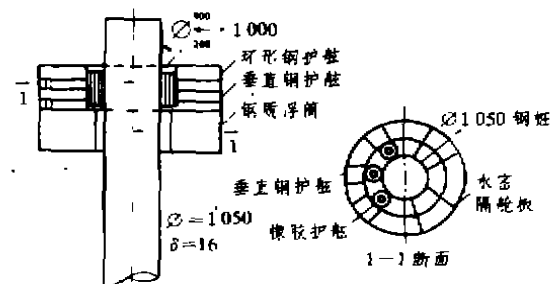


图 1 工程实例 A

直径为 400 mm 的圆筒形橡胶护舷; 下部为一环形钢浮筒, 外径 3500 mm, 内径 1550 mm, 浮箱内部按 36° 圆心角设置 10 道水密隔板。浮箱墩体套在直桩外面, 可随潮位升降而沿桩身上下浮动。渡轮的撞击能量为圆筒形橡胶护舷的压缩及钢管的变位所吸收。该型式结构简单, 吸能量大, 安全可靠, 使用至今效果良好。

2.2 工程实例 B

武汉红钢城港区多用途码头, 设计船型为 1500~2000 t 内河驳船, 兼顾 3000 吨级海轮, 水位差达 15~17 m。码头采用预应力全直桩基础, 设计靠船撞击力为 100 kN。该工程的主要特点是水位差大, 一般需要设置 3~4 层系缆及靠船平台, 结构复杂, 施工水位低, 施工麻烦。本设计在码头装卸平台前面纵向布置 4 根靠船钢桩, 下端嵌入土中, 上端通过筒形橡胶护舷与码头横梁连接, 增加钢管桩的一个支点(图 2)。为了适应各种水位时靠(系)船要求, 在钢管桩外套一个钢

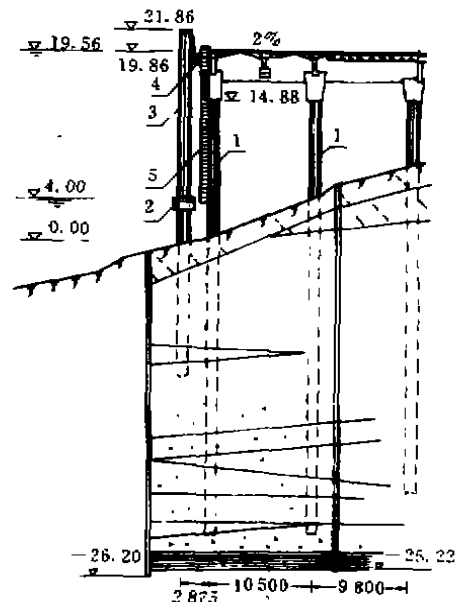


图 2 工程实例 B

1. 预应力大管桩; 2. 浮式钢靠(系)船设施;
3. 钢管桩; 4. 圆筒形橡胶护舷; 5. 竖向楼梯

结构的浮箱,随水位变化而上下浮动,钢浮箱与钢管桩之间内外均布置2个橡胶护舷。船舶在靠码头时,钢浮箱移动及护舷变形吸收一部分能量,钢管桩的变形又吸收一部分能量,然后通过上端筒形护舷再吸收一部分能量,剩下的能量通过筒形护舷传给码头横梁,由预应力大管桩的下端嵌固承受。该工程自1990年投产以来使用效果很好。

2.3 工程实例 C

镇海石化总厂算山15万吨级油码头,设计船型15万t油轮,兼顾船型有10万t、5万t及2.4万t油轮。停靠油轮吨位大且种类多。如设置刚性靠船墩就必须布置主、副靠船墩各两个,投资昂贵,设计靠船力大,达2118kN。根据油轮停泊、装卸工作的特点,把装卸工作平台与靠船墩、系船墩分开布置。码头工作平台两侧前沿设置4组柔性靠船钢簇桩,分别由5根和3根直径1500mm大直径钢管桩组成(图3)。在每组钢簇桩上部设置一个钢平台,钢平台上设有抗扭柱,通过焊接在每根钢桩上的抗扭臂将

各桩联在一起,以保证一组钢簇桩共同受力,一起承受油轮的撞击能量。

此外,对于已建码头如任务需要停靠更大或较小船型,若是采用固定刚性靠船墩结构,常很难处理,甚至无法处理,只好另建泊位。若是采用钢簇桩就很容易处理,只需在原固定靠船墩或钢簇桩的外侧或内侧另加几组钢簇桩即可解决。

3 有关钢簇桩设计的几个问题

a. 码头一般有船舶的停靠、系缆、货物装卸运输等几个主要的功能。而货物的装卸及运输方式与货种及装卸货物的比重有关。所以码头应设置装卸工作平台、靠船及系缆设施。而钢簇桩主要是为船舶的停泊、系缆服务,承受荷载以水平力为主,它并不能代替以垂直荷载作用为主的装卸运输平台。布置上根据船舶的大小,货种的不同,水位差的大小可以设置在装卸平台的前面(如工程实例B),也可以布置在装卸工作平台纵向的两侧(如工程实例C)。

b. 钢簇桩的根数及直径尺寸主要取决于靠船力及系缆力的大小。根据力的大小分别选用单桩至5根桩,桩的外径一般为565~1500mm。桩的中心距在2~5倍钢管桩外径之间。钢桩的壁厚从16~30mm,海港地区应考虑海水锈蚀的因素。

c. 簇桩的计算主要是根据当地地基土壤的分层情况及物理力学指标,通过撞击力、系缆力的大小计算簇桩的变形值来确定钢管桩的根数及布置、桩的断面尺寸和入土深度。船舶的有效撞击能量取决于船舶满载排水量、附加水体、法向靠船速度和撞击点不在船舶重心时的动能折减系数。具体公式可参照港口工程荷载规范。设计速度一旦确定,使用时一定不能超过。所以对于大型船舶应设置测速仪装置,让引航员了解并及时调整靠船速度,以保证在设计速度以

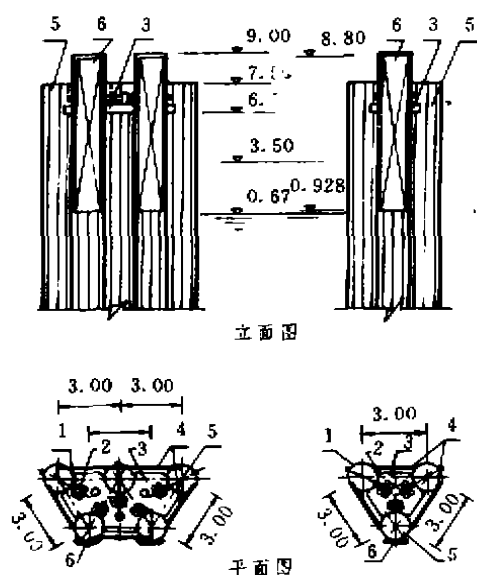


图3 工程实例 C

1. 抗扭臂; 2. 抗扭桩; 3. 钢平台;
4. 防挂杆件; 5. $\varnothing 150$ cm 钢桩; 6. 靠船板

内。簇桩桩顶最大变形量一般不应超过 1.5m ^①,这主要是船舶靠泊的操作过程中,船与簇桩之间的接触撞击如柔性太大,船上驾驶人员将不能正确判断船舶的运动和船舶相对于簇桩的位置。镇海 15 万 t 油码头的靠船簇桩在 2118 kN 力作用下的桩顶变位计算值为 1.45 m ,与 1.5 m 基本相符。预计我国以后大型油码头在 20 万吨级范围,所以基本能控制。即使个别情况超过 20 万 t 时,也可通过加大钢管直径,加厚钢板,调整桩距等措施来提高组合钢桩的抗弯刚度,从而达到限制变形值。因为船舶驾驶操作上的困难,结构设计时也是应该注意的。

簇桩的计算实际上是单桩或群桩承受水平力的问题。长期以来上述工程实例大多采用取垂直受力方向簇桩宽度用无锚板桩的方法计算,考虑土抗力的空间性,即土抗力值应乘一个增大系数,该系数与桩的最大弯矩点深度及簇桩受力面宽度有关,但一般不大于 1.5。这个方法比较古典,但有较成熟的工程经验,通过南京港的现场实测与计算值吻合较好。由于撞击力作用下,桩的水平变位值较大,比较新的计算方法可用地基土的非线性模型的 $P-Y$ 曲线的无量纲迭代法或有限差分法计算,当作用在桩上的水平力为波浪等循环荷载时,可采用循环荷载作用下 $P-Y$ 曲线的无量纲迭代法或有限差分法计算,桩的 $P-Y$ 曲线应根据水平静载试桩确定。

d. 簇桩桩头与传力平台的关系,可以是自由活动的,也有固定焊牢的。根据水位差的大小不同有单层传力平台的,也有多层平台的,还有用浮箱套在钢管桩外的,相互间设置橡胶管接触,浮箱随水位上下浮动。总之为保证簇桩的整体性及各桩受力的合理性,簇桩与传力平台的连接型式可以根据实际情况采用各种合适的形式,也可以有所创新。

e. 钢簇桩防海水腐蚀的问题设计人员

应予以注意,钢管材料应采用耐腐蚀强度高的钢材(如 16MnCu),并应留有一定腐蚀厚度,表层一般采用环氧沥青涂料及阴极保护措施,根据有关单位的经验只需在钢桩外侧包覆玻璃钢即可,不需要阴极保护。

f. 钢簇桩的前沿应设置橡胶防冲设施。船体表面和橡胶护舷表面的接触应力应小于船体能够承受的压强,一般控制在 $100\sim 200\text{ kN/m}^2$ 范围。

4 展 望

柔性靠(系)船簇桩在港口工程中的应用已有 30 年历史,用在不同情况下的码头工程有近 10 个。但由于种种原因,使用得还不广泛,不少设计及使用单位还不了解和熟悉柔性靠船簇桩的有关情况。这次交通部高桩码头规范修订时,正式把这项内容列入规范,必将对它的推广使用起到促进作用。综上所述,我国钢簇桩的应用在设计和施工方面都积累了一定的经验,但是所做的工程数量毕竟还不很多,室内及现场实验为数有限,这个课题以后还有待各方面注意开发、研究总结,以利于这一技术的进步和提高。

参考文献

- 1 洪昌庆. 柔性靠(系)船簇桩的设计和施工. 见: 中国海洋工程学会主编, 第七届海岸工程学术会议论文集. 北京: 海洋出版社, 1993. 1161~1163
- 2 吴慧如等. 长江中下游第一座新型全直桩大管桩高桩梁板码头. 水运工程, 1992(6): 25~31
- 3 李元胤. 镇海算山码头 15 万吨级油轮泊位设计介绍. 水运工程, 1994(7): 18~23

(收稿日期: 1995-08-27)

① 西德港口工程协会, 土力学和基础工程协会, 码头岸壁建筑物委员会的建议, 第七版, 全国水运工程标准技术委员会, 交通部第三航务工程勘察院译, 1975