

# 高桩码头在横向集中水平力作用下 齿槽的受力计算

曹称宇<sup>1</sup>, 伍荣官<sup>2</sup>

(1. 中交第三航务工程勘察设计院, 上海 200032; 2. 中港第三航务工程局, 上海 200032)

**摘要:** 文章中论述了高桩码头在横向集中水平力作用下齿槽受力计算的方法; 根据大量计算的结果, 对各影响因素进行了分析; 提出可在设计中采用的简便计算方法。

**关键词:** 高桩码头; 齿槽; 受力

**中图分类号:** U656.113; **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-3688(2004)02-0033-02

## Calculation of Force Bearing on Tongue-grooved Section Joints of Piled Wharves under Action of Concentrated Transverse Force

CAO Cheng-yu<sup>1</sup>, WU Rong-guan<sup>2</sup>

(1. CTE Shanghai Design & Consulting Corp. Shanghai, 200032, China;

2. CHEC-Shanghai Port Const. Corp., Shanghai, 200032, China)

**Abstract:** The calculation methods for the force bearing on tongue-grooved section joints of piled wharves under the action of concentrated transverse force are discussed. The influential factors are analysed based on a lot of calculation results. A simple calculation method which can be used in design is suggested.

**Key words:** piled wharf; tongue-grooved section joint; force bearing

### 1 问题的提出

由于船舶大型化的发展极为迅速, 大型散货船舶的 DWT 已达 20~25 万吨级; 集装箱船舶的 DWT 已达 8 万吨级或更大。船舶靠岸时的撞击力可达 2 000kN, 系缆力可达 1 500~2 000 kN 甚至更大, 相应的高桩码头分段齿槽处受力较以往码头也有较大增加。《高桩码头设计与施工规范》(JTJ291-98) 规定, 当水平力较大时, 凹凸缝的齿高应由计算确定。为进行该计算, 首先须解决码头在横向集中水平力作用下, 凹凸缝处水平力的计算问题。本文将就此问题进行讨论, 在大量计算的基础上, 进行分析研究, 给出进行工程设计时采用的计算系数。

### 2 计算方法

对于设有齿槽的码头, 由于齿槽可传递水平力, 当码头上某一排架处受水平集中力作用时, 整个码头结构各分段的排架将共同承受。严格地说, 高桩码头属于空间结构, 齿槽处传递水平力的大小、各排架所承受水平力的大小应按

空间结构计算确定。但为减少工作量, 希望能在满足工程计算精度要求的前提下, 将这些计算近似地简化为平面问题。原高桩码头规范编写组在研究水平横向分力在单个分段中各排架上的分配时, 对计算图式做过大量的研究, 对单个分段的计算采用了满足工程要求的合理的计算图式。本文参考原规范组和其他研究人员对单分段计算图式的研究成果, 增加考虑分段间凹凸齿槽传递横向水平力的作用, 以确定多分段齿槽相连的码头结构计算图式。计算假定如下:

(1) 计算平面取通过面板和纵向梁系组合截面的形心的水平面, 集中力近似认为作用在该平面;

(2) 假定面板和纵向梁系为该计算平面中的梁, 每一分段为一根梁;

(3) 排架为该计算平面中梁的弹性支座, 各弹性支座的刚性系数近似取排架计算平面中排架的水平向刚度, 即排架产生单位位移所需的水平力;

(4) 各分段间的齿槽作为各梁间的铰考虑。

这些假定将码头齿槽处受力计算问题简化为由铰相连的弹性支撑连续梁的计算问题, 铰的剪力即为齿槽所受的水平力。可以用有限元软件方便地进行计算。

收稿日期: 2004-03-04

作者简介: 曹称宇 (1962-), 男, 高级工程师, 国家一级注册结构工程师, 水工建筑力学、港口工程专业。



### 3 计算结果讨论

#### 3.1 发生最大剪力的铰和最不利集中力作用位置

大量的计算表明，当各分段结构基本相同时，不论由铰相连的分段数是多少，发生最大剪力的铰总是端部分段与其相邻分段之间的铰，最不利集中力作用位置在端部分段中紧邻铰的排架处。

#### 3.2 码头水平面抗弯刚度和排架水平向刚度的影响

##### (1) 码头水平面抗弯刚度的影响

码头水平面抗弯刚度为  $EI$ ，其中  $E$  为混凝土弹性模量，不同的码头相差不大； $I$  为惯性矩，与码头宽度、面板厚度、纵向梁形状和尺寸等有关，各码头有所不同。故考虑码头水平面抗弯刚度的影响主要是考虑  $I$  的影响。为此，给定排架水平刚度  $K$ ，计算不同  $I$  时的剪力。当  $K$  取相当小和相当大的数值（实际工程码头通常在这二者之间），码头为三分段相连，悬臂长与跨度的比值（以下称悬臂系数）等于 0.25，各分段均为 5 跨，集中水平力作用于最不利位置时，计算所得的剪力与集中水平力的比值（以下称剪力系数  $\xi$ ）见表 1。

表 1 不同惯性矩时集中水平力作用下的剪力系数  $\xi$

$K(10^5 \text{kN/m})$	$I(m^4)$								
	20	50	100	500	1 000	2 000	3 000	3 400	4 000
0.354	0.468	0.480	0.485	0.490	0.491	0.491	0.491	0.491	0.491
1.290	0.443	0.462	0.473	0.487	0.489	0.490	0.491	0.491	0.491

由表 1 可见，铰的剪力随码头水平面抗弯刚度的增大而增大，但变化不明显；当码头水平面抗弯刚度增大到一定值，剪力将不再随之增大，这一值的大小与  $K$  值大小有关， $K$  值大则相应码头水平面抗弯刚度也大。

##### (2) 排架水平向刚度的影响

若给定  $I$ ， $K$  取不同的数值进行计算，可得排架水平向刚度增减对剪力的影响。当码头为三分段相连，悬臂系数等于 0.25，各分段均为 5 跨，单位集中水平力作用于最不利位置时，计算所得的剪力系数  $\xi$  见表 2。

表 2 不同排架水平向刚度时集中水平力作用下的剪力系数  $\xi$

$I(m^4)$	$K(10^5 \text{kN/m})$						
	0.354	0.400	0.600	0.800	1.000	1.200	1.290
50	0.480	0.479	0.474	0.470	0.466	0.463	0.461
100	0.485	0.485	0.481	0.479	0.477	0.474	0.473

由表 2 可见，当  $I$  一定时，剪力随  $K$  的增大而减小，但变化不明显； $I$  较大时， $K$  的影响较小。理论上说，当码头水平面抗弯刚度为无穷大时，剪力与  $K$  的大小无关，只是与各排架间  $K$  的比例有关。

二分段相连和四分段相连时，同样有上述规律。

#### 3.3 影响剪力的主要因素分析

一般来说，撞击力或系缆力大的码头往往较宽， $I$  较大，故根据上面的讨论， $I$  值的变化不是影响剪力的主要因素；当各排架之间  $K$  的比例确定后， $K$  值的变化也不是影响剪力的主要因素。

在工程设计中，假定各码头分段结构相同，每一分段中跨度相同，每一排架的水平向刚度相同，分段两端的悬臂长度相等，则影响剪力的主要因素为相连的分段数、悬臂系数和每一分段的跨数。现将部分计算结果列于表 3，以分析这些因素的影响。

表 3 集中力作用下剪力系数  $\xi$

跨数	每分段 5 跨				每分段 10 跨				
	0.15	0.20	0.25	0.30	0.15	0.20	0.25	0.30	
相连分段	2	0.480	0.473	0.467	0.461	0.488	0.485	0.481	0.477
	3	0.501	0.496	0.491	0.486	0.510	0.507	0.504	0.500
	4	0.502	0.497	0.492	0.487	0.511	0.508	0.505	0.501

由表 3 可见：

(1) 相连分段数越多剪力越大，当其它因素不变时，三分段较二分段剪力大 4%~5%，但四分段较三分段剪力仅大 0.2% 左右。分段数大于 3 时，分段数对剪力的影响不大。

(2) 悬臂长度越大剪力越小，但影响不明显。当其它因素不变，分段跨数为 5 跨时，悬臂系数每增加 0.05，剪力则减小 1.00%~1.40%；分段跨数为 10 跨时，悬臂系数每增加 0.05，剪力则减小 0.60%~0.70%。本项讨论中跨度不变，跨数多即分段长度大，因此，由上述数据可见，分段越长悬臂长度对剪力的影响越小。对于工程实际情况，取悬臂系数为 0.20 时的剪力值，一般是足够安全的。

(3) 当其它因素不变时，每一分段中排架个数越多，即分段长度越大，则剪力越大。事实上，这也是由于悬臂长占整个分段长的比例减小所引起的。排架个数的影响很不明显。工程实际的码头分段一般为 5~10 跨，而 5 跨与 10 跨之相应的剪力仅相差 1.00% 左右。

#### 4 结论

高桩码头在横向集中水平力作用下齿槽受力的计算可简化为由铰相连的弹性支撑连续梁进行计算。当码头分段结构相同，每一分段中跨度相同，排架的水平向刚度相同，分段两端的悬臂长度相等时，可采用以计算系数  $\xi$  乘以集中水平力的公式进行计算。二分段相连时， $\xi$  可取 0.48~0.49；三分段或多于三分段相连时， $\xi$  可取 0.50~0.51，悬臂系数小则  $\xi$  取大值，反之取小值。

致谢：本课题的研究得到中交第三航务工程勘察设计院陆东汉教授级高工的帮助，得到中港三航科研所叶万灵高工及《大管桩上部结构技术规程》编写组的支持，在此一并表示感谢。