



长江上游码头系靠泊设施研究*

杨洋¹, 王多垠², 翁珍燕², 吴德勇³

(1. 福建省交通规划设计院, 福建福州 350004; 2. 重庆交通大学, 重庆 400074;
3. 中交二航局第五工程分公司, 湖北武汉 430012)

摘要: 分析长江上游码头传统系靠泊结构的不足, 结合重庆纳溪沟码头工程, 提出了靠船排墩的系靠泊结构形式。分析表明, 采用靠船排墩增大了排架间距, 从而减少水下工作量, 能较好地解决因三峡成库后库区水位抬高导致建设时可作业天数减少的问题, 改变了传统码头“小桩密排”的现象, 随着排架跨度的增大和桩数量的减少, 较好地解决了码头附近河流淤积问题。对靠船排墩进行有限元分析表明: 靠船排墩结构设置合理, 减少了其它排架的分配荷载。

关键词: 长江上游; 系靠泊结构; 靠船排墩

中图分类号: U 656

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)09-0087-06

On wharf mooring berthing facilities in upstream of the Yangtze River

YANG Yang¹, WANG Duo-yin², WENG Zhen-yan², WU De-yong³

(1. Fujian Communications Planning & Design institute, Fuzhou 350004, China; 2. Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China; 3. CCCC Second Harbor Engineering Co., Ltd. No.5 Branch, Wuhan 430012, China)

Abstract: This paper analyzes the shortage of traditional wharf mooring berthing facilities in upstream of the Yangtze River and proposes the berthing row pier structure based on Chongqing Naxigou wharf project. It is shown that the berthing row pier increases the bent spacing and reduces the underwater workload, thus it can solve the problem of tight operating days because of the raising of reservoir elevation and change the traditional “close-row piles”. It also solves the problem of river siltation near the wharf. The finite element analysis result on the berthing row pier shows that the berthing row piers are set reasonably and reduce the distribution loads on other bents.

Key words: upstream of the Yangtze River; mooring berthing facilities; berthing row pier

在港口工程中, 船舶停靠时会以一定的速度驶向码头构筑物, 从而给码头建筑物一个冲击能量。设计人员在设计码头时, 除了需要在码头前沿布置适当的缓冲设备之外, 往往还须确定合理的系泊结构形式来承受船舶的撞击能, 使码头构筑物安全正常工作。

1 三峡成库前采用的系泊结构

1.1 斜坡码头

长江上游河段具有典型的山区河流的特

点——水位差大、水流流速大、地质构造复杂、地质灾害频发^[1]。正是由于山区河流水文、地质、地形特点以及装卸工艺和经济条件等因素限制, 在20世纪80年代以前, 在长江上游码头主要采用了斜坡码头的形式, 据统计, 四川省内河码头中, 斜坡码头占到2/3^[2]。斜坡码头将在岸坡处设置固定的无动力装置的趸船作为停靠船舶、上下旅客和装卸货物的场地, 如图1所示。趸船一般采用钢筋混凝土结构, 由于山区河流的水位差较大, 一般采用锚链将趸船系定^[3]。船舶靠泊时,

收稿日期: 2012-03-29

*基金项目: 重庆市重大科技专项——“交通基础设施”(CSTC, 2009AA6029)

作者简介: 杨洋(1986—), 男, 硕士, 主要从事港航设计工作。

不明确,较难选择计算简图进行计算^[6];2)这种连片式码头结构形式,水下工作量较大,抢枯水期施工现象较严重,从上面水位变化分析发现,三峡水库蓄水以后此现象更为严重,从而延长工期;3)根据规范,这种固定分层系缆高度一般为3~5 m,三峡蓄水以后,日变幅水位可以达到5m以上,这无疑给水手带缆以及工作人员上下检修带来不便,当下层梁被淹没时更为突出;4)其依靠码头的整体变形来吸收船舶的撞击能,对码头整体刚度要求大,排架间距较小,从而使得码头不利于向大跨度方向发展,增加码头造价,还容易导致码头附近河流淤积。

因此,有必要提出一种新型的系泊结构形式来适用库区的水位变化,解决目前库区系泊结构存在的问题。

3 浮式系靠船设施

浮式系靠船设施是一种较新颖的用于大水位差码头的靠船设施,其基本原理是利用水的浮力作为依托,靠船设施随水位能够自由升降,解决大水位差码头的分层系缆问题,从而改善码头的受力性能,使施工更加简单、方便,码头平台承受较小的荷载,有利于增大排架间距或减小构件尺寸。浮式系靠船设施一般主要是由5部分组成:钢管桩(或预应力桩),承受船舶荷载的承力结构、钢浮箱、橡胶护舷和人员上下的钢爬梯^[7]。

目前,浮式系靠船设施已经在长江中下游一些大水位差码头中得到运用。通过浮式系靠船设施在大水位差码头实际工程的运用分析,可以发现其与分层固定系缆设施相比,具有以下优点:1)在船舶撞击荷载作用下,吸能效果较好,从而大大减少了作用在码头平台上的荷载;2)水位差仅仅影响桩自由长度,从而为标准化设计和施工创造条件^[6];3)在很大程度上抬高了施工水位:在大水位差码头建设中,抢枯水期施工现象较严重,浮式系靠船设施经过3次吸能之后传替在码头平台的能量较小,可以增加码头平台的预制安装工程量,从而抬高施工水位,缩短施工周期;4)码头结构受力合理、明确,计算简化;

5)降低工程造价。

浮式系靠船设施能否在三峡库区大水位差(30 m以上)码头中得到很好的应用,需要解决以下几个问题:1)桩的自由长度大,其受力情况复杂,需要详细分析其内力和变形情况;2)为了让柔性靠船桩产生较大的位移,往往对码头平台采用缩进布置,这样靠船桩对航道占用宽度较大,同时现有的装卸工艺很难实现安全装卸作业;3)三峡库区地质多为岩石地基,现有的柔性靠船桩规范都是在岩土地基总结出的,柔性靠船钢管桩如何能和岩石地基很好地连接,以及其对应的施工工艺都需要进一步解决。

4 靠船排墩

最初的墩式码头,往往是采用墩台分离式,及将靠船墩与后方码头平台分离,装卸机械一般采用固定吊,这样船舶荷载主要作用于前方墩上,后方平台和引桥不再承受水平荷载。

但是随着码头用途的多样化,在深水泊位前方一般要求布置流动装卸机械,墩式码头逐渐体现出其设计、施工和经济方面的不足,同时各个墩台因为受力状况不一样,需要做大量的空间计算分析;墩台之间在变形上也较难协调,墩台间连接较为困难,特别是前方设有装卸机械轨道,怎样才能保证系、靠泊时轨道正常工作,也成为设计的难点。在高桩梁板式码头结构中,船舶靠泊荷载是由码头排架承受,排架之间由梁板或者框框系统连接成整体,防冲受力点的布置可以不受排架而约束。码头的整体荷载通过各个排架来分配荷载,对于中小型泊位比较实用。由于靠船排架能灵活的布置防冲设施,码头面的使用受下方桩基的布置影响较小,具有施工快捷、方便,一直比较受到设计人员的青睐。但不足的是:排架在承受水平荷载时分配的力较大,尤其是该排架的位置在结构分段边缘时达到最大,如果船舶荷载较大,排架就难以满足承载力的要求^[8]。

4.1 工程实例

基于上面的分析,设计人员在进行纳溪沟码头设计时,采用了将靠船墩与排架相结合的靠船排

墩系泊结构形式。该码头包括2个泊位共233.4 m, 每个泊位111.2 m包含11个排架, 排架间距约11 m, 每个码头泊位包括3个靠船排墩共6个排墩, 靠船排墩断面见图4, 各个靠船排墩之间布置3个靠船排架。第2和第5个靠船墩下桩基采用2根 $\phi 1\ 800$ 和3根 $\phi 1\ 500$ 的钢筋混凝土嵌岩钻孔桩, 对应的后方矩形支撑墩下桩基采用5根 $\phi 1\ 200$ 的钢筋混凝土嵌岩钻孔桩; 其余靠船墩下桩基采用5根 $\phi 1\ 500$ 的钢筋混凝土嵌岩钻孔桩, 对应的后方矩形支撑墩下桩基采用4根 $\phi 1\ 200$ 的钢筋混凝土嵌岩钻孔桩; 墩柱均采用钻孔灌注施工, 直接嵌入中风化基岩。靠船墩上方采用实体结构, 通过承台与下面桩基连接。每个泊位靠船墩间间距为32.6 m, 可以满足3 000吨级的船舶靠泊要求, 兼靠5 000吨级的船舶。

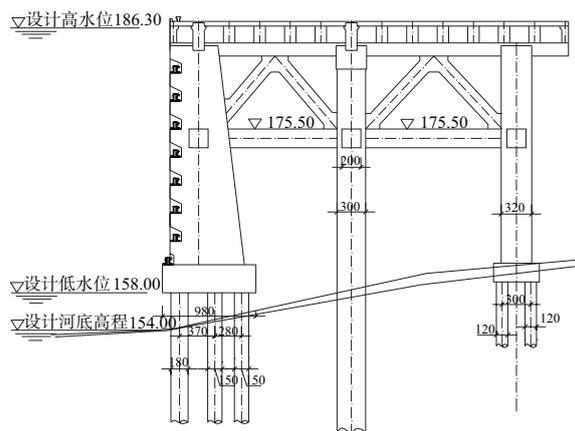


图4 纳溪沟码头靠船排墩断面

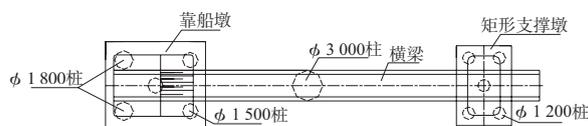


图5 2#和5#靠船排墩平面

4.2 库区运用特点

4.2.1 较好地适应库区水位变化

三峡蓄水以后, 正常蓄水位为175 m, 枯季消落至155 m, 防洪限制水位为145 m。每年5月末到6月初, 水位降低到防洪限制水位145 m, 6—9月为长江河流汛期, 除入库流量大于安全泄流量的超额洪水量使得库区水位抬高外, 这个时间段库区水位基本保持在145 m。10月汛期结束, 水库开始蓄水, 其水位逐渐抬高至175 m。10月至次年4

月底, 为了保证下流的流量以及电站电力, 水位逐渐消落, 但其枯季消落高程不低于155 m, 从而保证上游航道所需的水深。统计了寸滩河段在成库前后的水位变化, 得到了天然情况下各月水位在160 m以下的天数以及成库后各月水位低于165 m与175 m天数, 见表1。

表1 成库前后1 a不同水位天数

月份	成库后小于		
	160 m	165 m	175 m
1	31	0	31
2	28	0	28
3	31	2	31
4	29	30	30
5	27	31	31
6	3	29	30
7	0	5	31
8	0	0	26
9	0	3	30
10	3	3	31
11	5	0	30
12	30	0	31

从表1可以看出, 三峡水库蓄水前, 每年12月到次年5月为传统的枯水期。故在码头施工中, 都是利用这个时间段完成水下工作量, 对于寸滩一期、二期码头, 水下可连续作业天数约6个月, 能够满足水下施工所需的时间。成库后, 如果将施工水位定在165 m, 则一年可连续作业的天数约3个月, 时间主要在4—6月, 如果将施工水位定在175 m, 基本能够实现码头的全天候建设。无论是165 m还是175 m, 在库区码头建设中都面临大水深现象, 由于系泊结构处于码头的最前沿, 伸向河流较远, 在施工中更加困难。

通过前面的分析可知, 三峡成库以后水位大幅度提高, 建设时可作业天数减少, 抢枯水期施工严重, 延长了码头建设周期。为此, 王多垠等^[9]提出了大桩径、大跨度将是三峡库区码头在成库后建设的一个趋势, 而采用靠船排墩正好有利于码头向大桩柱、大跨度方向发展, 一定程度上缓解了抢期施工现象。该码头采用靠船排墩系泊结构形式之后, 码头排架间距达到11 m, 改变了传统架空直立式码头“小桩密排”现象。随着

排架跨度的增大,桩数量的减少,较好地解决了码头附近河流淤积问题。

4.2.2 良好的力学性能

1) 有限元模型建立。

取1#靠船墩对应的靠船排墩建立有限元模型,为了更好的模拟实际工程,前面的靠船墩(简称墩1)和后面的矩形墩(简称墩2)以及下面的承台为实体,采用solid65单元模拟,横梁、横撑、人字撑、桩等采用梁单元(beam189)梁单元与实体单元之间的连接采用约束方程。整个结构构件为钢筋混凝土结构,泊松比取为1/6,弹性模量为 3×10^{10} Pa,密度为 2.45×10^3 kg/m³,有限元模型如图5所示。

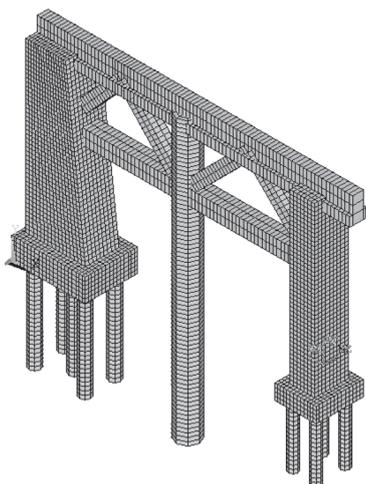


图5 靠船排墩有限元模型

2) 荷载组合。

为了方便研究船舶荷载对整个靠船排墩的性能,只考虑了2种荷载组合方式:1)自重+系缆(主导)+堆荷+门机+其它荷载;2)自重+撞击(主导)+堆荷+门机+其它荷载。系缆力和撞击力又按不同水位,分别考虑低水位、中水位和高水位3种情况,共6种组合工况。

3) 计算结果。

梁单元较方便提取应力,提取了各个构件的内力值,见表2。

分析还表明:1)人字撑不管是撞击和系缆的位置,总会有撞击时第4根(靠近墩2)的轴力最大、系缆时第1根(最靠近墩1)轴力最大的规律;2)桩 $\phi 1\ 500$ 的最大、最小弯矩,最大轴力

表2 各杆件内力值

构件名称	弯矩/(kN·m)		剪力/kN		轴力/kN	
	正	负	正	负	正	负
桩 $\phi 1\ 500$	1 376.6	-877.2		-201		-10 876
桩 $\phi 1\ 200$	722.8	-677.2	32	-30		-7 400
柱 $\phi 3\ 000$	2 328.0	-2 584.0	321	-170		-24 112
横撑	1 487.2	-2 502.7	968	-950	2 849	
人字撑	479.8	-977.1	342	-322		-4 785
横梁	7 613.0	-3 936.0	4 912	-3 777	2 084	-1 374

均是在最高层系缆时产生,并且发生在最前沿的桩上,桩 $\phi 1\ 200$ 、墩柱的最大、最小弯矩以及最大轴力均是在最高层撞击时产生,并且桩 $\phi 1\ 200$ 的以上值均是产生于最后排桩上;3)不论是系缆还是撞击,横撑的轴力始终是拉力,在设计中应予以考虑,主要是由于上部荷载代替给人字撑以后,人字撑给墩1向河方向的推力、墩2向岸方向的一个推力,导致横撑受拉;4)整个排墩在撞击力作用下,位移较小,为5 mm左右;系缆力作用下,最大位移也才13.4 mm,发生在最高层系缆,表明其刚度较大;5)墩1背后设置成倾斜,使得重心后移,增大了整个排墩的稳定力矩,即使在系缆力作用下,也是稳定的,故这种设置方式较为合理;6)上方设置4个“人字撑”,有利于将码头面的荷载已经上方横梁、面板、纵梁等构件的重量代替给前后2个墩,人字撑的设置是合理的。

谢国昂^[8]采用平面问题的方法计算了某码头中,靠船荷载5 000 kN作用在靠船排墩上时,各排架的荷载分配情况,计算结果表明分配在靠船排墩上的荷载达到码头分段总荷载的45.4%,与规范规定的25.6%提高了将近1倍,其它排架的荷载分配系数相应的建少了1/4左右。由此表明,采用靠船排墩的系靠泊结构,较好地保护了其它排架。

5 结论

1)传统的架空直立式码头系靠泊结构存在水下工作量大、难以适应较大的日变幅水位、排架间距小、码头附近容易淤积等缺点。

2)浮式系靠船设施存在吸能效果好、水下工作量少、施工周期短、工程造价低等优点,但由

于其桩自由长度长、布置时对航道占用宽度大、靠船桩与岩石地基连接困难等缺点，较难在三峡库区得到应用。

3) 采用靠船排墩系靠泊结构形式，有利于码头向大跨度方向发展，一定程度上缓解了抢期施工现象，改变了传统架空直立式码头“小桩密排”现象，较好地解决了码头附近河流淤积问题。

4) 通过对靠船排墩有限元计算，发现系靠泊结构形式具有结构设置合理，分配于其它排架的荷载减少，故较好地保护了其它排架。

参考文献：

[1] 周世良, 李丰华, 吴飞桥, 等. 三峡库区大型散货出口码头结构形式和装卸工艺[J]. 中国港湾建设, 2009(5): 21-23.

[2] 许增泽. 四川山区河流港口的码头形式[J]. 中国港口, 2001(4): 16-17.

[3] 邱驹. 港工建筑物[M]. 天津: 天津大学出版社, 2002.

[4] 吴友仁, 王多垠, 吴松仁, 等. 长江上游港口结构形式及其发展趋势[J]. 港工技术, 2005(12): 22-24.

[5] 方育平. 大水位差地区高桩梁板式码头靠船构件的结构形式[J]. 水运工程, 1996(5): 14-16.

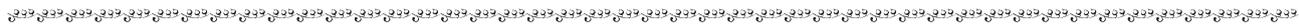
[6] 王晋. 浮式钢系靠船设施结构和计算方法研究[J]. 水运工程, 1998(10): 19-22.

[7] 杨运泽. 单桩靠船设施[J]. 水运工程, 1995 (5): 16-21.

[8] 谢国昂. 大型高桩深水泊位靠船结构的优化设计. 水运工程[J], 2000(9): 29-33.

[9] 王多垠, 周世良, 刘明维, 等. 三峡库区港口码头建设的基本原则探讨[J]. 重庆交通学院学报, 2003(12):107-111.

(本文编辑 郭雪珍)



· 消 息 ·

海南加快海陆空综合交通建设

为适应国际旅游岛建设需要，海南将加快推进海、陆、空综合交通建设，构建安全、畅通、便捷、绿色的综合交通运输体系，全面提升交通运输公共服务能力和安全保障能力。

“十二五”期间，海南计划投资600亿元，开建海口至五指山至乐东、万宁至儋州至洋浦、文昌至琼海共420 km高速公路，全面推进1 000 km国省干线公路改造升级，加快洋浦一小时交通圈和文昌新一代运载火箭发射场等重点项目的配套公路建设。到“十二五”末“十三五”初，力争建成完善的“田”字形高速公路网，建设500 km集自然、生态和人文景观于一体的旅游公路。

水路建设方面，海南今年将投资25亿元，加快推进海口港马村中心港区、洋浦神头港区等港口航道工程建设，进一步完善以洋浦海口组合港为龙头的北部湾区域性航运枢纽港工程和“四方五港”布局，加快海口港新海港区客货滚装轮渡码头一期建设。

航空方面，新建东部琼海博鳌民用机场、海口美兰国际机场二期扩建已获批立项，东部博鳌机场可研报告已上报国家发改委，美兰机场二期扩建正在编制可研报告。

此外，备受关注的琼州海峡跨海工程前期工作正在加紧推进中。

摘编自《中国交通报》