



船台工程结构的安全性评估

秦网根, 吉同元, 吴汉震, 赵龙
(江苏省交通规划设计院, 江苏 南京 211100)

摘要: 对达到或超过设计使用年限、擅自提高使用功能的船台, 需对其进行安全性评估, 分析和论证船台的造船和大修能力。安全性评估应在现使用荷载条件下对结构构件进行复核算, 核算内容包括结构的受力、配筋或位移变化情况, 并结合现场调查和检测情况综合分析。结合工程实例对船台工程结构的安全性评估进行阐述, 可作为其它结构物评估的参考依据。

关键词: 船台工程; m 法; 评估; 承载力

中图分类号: U 673.31

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)08-0022-04

Safety assessment of shipway engineering structure

QIN Wang-gen, JI Tong-yuan, WU Han-zhen, ZHAO Long

(Jiangsu Provincial Communication Planning and Design Institute Co., Ltd., Nanjing 211100, China)

Abstract: For the shipway exceeding the design service life, we shall carry out safety assessment to analyze the ship-building and repairing ability of the shipway. The assessment is to conduct checking calculation of the structural members under present working load, including the stress, reinforcement or displacement of the structure, combining with the site investigation and detection to carry out a comprehensive analysis. This paper expounds the safety assessment of shipway based on an example of shipway engineering, which may serve as a reference for the assessment of other structures.

Key words: shipway engineering; m method; assessment; bearing capacity

随着船舶大型化以及已有船舶的长期使用, 船舶建造和大修项目日益增多。为获取巨大的经济效益, 一些船台业主或使用部门对达到或超过设计使用年限的船台仍继续使用, 更有甚者擅自提高船台的使用功能。如果不对这些船台进行安全性评估, 而是任其使用, 必然给生产安全带来巨大的隐患。为及时了解和掌握影响船台结构物的安全和使用因素^[1-2], 规范船台的使用状况, 对荷载使用情况变化、结构功能明显退化、材料劣化严重且存在局部缺陷和施工偏差的, 须进行安全性评估, 并考虑这些因素作用下船台各主要构件的结构受力、配筋或位移情况, 综合分析和论证已有船台的造船和大修能力, 以保障结构的使用安全。

1 评估内容和方法

1.1 评估内容

国内关于船台工程结构检测评估的具体内容尚无规范可循, 对其进行检测都参照JTJ 302—2006《港口水工建筑物检测与评估技术规范》和其它相关设计规范^[3-5]的技术要求执行, 但现有规范主要针对的是高桩码头、板桩码头、重力式码头、护岸工程等^[2]港口工程结构, 对于船台工程结构的安全性评估没有涉及, 结合以往的船台工程检测评估经验, 船台的安全性评估内容主要是对船台底板、轨道梁和基桩的受力、配筋或位移等在现使用荷载条件下的复核算, 核算资料要结合现场调查和检测。调查船台在使用过程中结

收稿日期: 2012-02-14

作者简介: 秦网根(1983—), 男, 硕士, 工程师, 从事结构的检测、评估工作。

构上的使用荷载、造船规模、设备资料、历年使用及修复资料; 检测构件的强度、几何尺寸、变形、变位、裂缝、破损和耐久性损伤等。

1.2 *m*法

船台各主要结构(轨道梁、船台底板、基桩)的复核算应考虑土对结构的反作用, 综合分析结构的受力、配筋或位移变化情况。为简化计算采用*m*法^[6], 假定桩周土为弹性变形介质且具有沿深度成正比增长的线性关系, 不考虑桩与土之间的摩擦力和粘结力, 桩底部约束拟考虑桩的极限承载力, 底板及轨道梁底部通过基床系数替代^[7]。当采用*m*法时, 弹性杆的水平地基反力系数*k*按下式确定:

$$K = mz \quad (1)$$

式中: *K*为水平地基反力系数(kN/m³); *m*为水平地基反力系数随深度增大的比例系数(kN/m⁴); *Z*为计算点距计算水底的深度(m)。

当地基土成层时, *m*采用地面以下1.8*T*深度范围内各土层*m*的加权平均值。如水平位移大于表1中所示的土*m*值时, *m*值应适当降低。

表1 土的*m*值

地基土类别	桩	
	<i>m</i> / (kN·m ⁻⁴)	相应单桩在地面处水平位移/mm
淤泥、淤泥质土	2 000 ~ 4 500	10
流塑 (<i>I_L</i> >1)、软塑 (0.75< <i>I_L</i> ≤1) 状黏性土, <i>e</i> >0.9粉土, 松散粉细砂、松散填土	4 500 ~ 6 000	10
可塑 (0.25< <i>I_L</i> ≤1) 状黏性土, <i>e</i> =0.7~0.9粉土、稍密或中密填土、稍密细砂	6 000 ~ 10 000	10
硬塑 (0< <i>I_L</i> ≤0.25) 坚硬 (<i>I_L</i> ≤0) 状黏性土, <i>e</i> <0.7粉土、中密的中粗砂、密实老填土	10 000 ~ 22 000	10

结构的配筋复核算应对结构的受弯承载力及剪力值来分析计算, 验证结构的实际配筋情况。验算方法应对现有构件按照JTJ 267—1998《港口工程混凝土结构设计规范》进行验算, 具体参照以下公式^[5]进行。

$$A_s = \frac{M}{\rho_s g_f y h_0} \cdot \alpha_s = \frac{M}{f_c b h_0^2} \cdot \gamma_s = \frac{1 + \sqrt{1 - 2\alpha_s}}{2} \quad (2)$$

式中: *A_s*为钢筋的截面面积; *M*为正截面受弯承载

力(N·mm); *H₀*为截面有效高度; *f_y*为抗拉强度设计值, 取310 MPa; *f_c*为轴心抗压强度值, 取15 MPa。

2 工程实例

某船台建于2007年, 船台规模为2万吨级, 建筑物等级为II级水工建筑物, 船台工程采用200 t双梁门式起重机进行吊装作业, 轮压215 kN, 轨距40 m, 轮数32只。船台底板顶部高程6.53 m, 底部高程4.53 m, 坡比为1:80, 底板采用现浇混凝土结构, 板厚为400 mm。轨道梁位于船台两侧, 长度208 m, 桩基采用φ500 PHC桩, 两侧轨道梁下各设49根, 间距3.5 m。工程平面见图1。

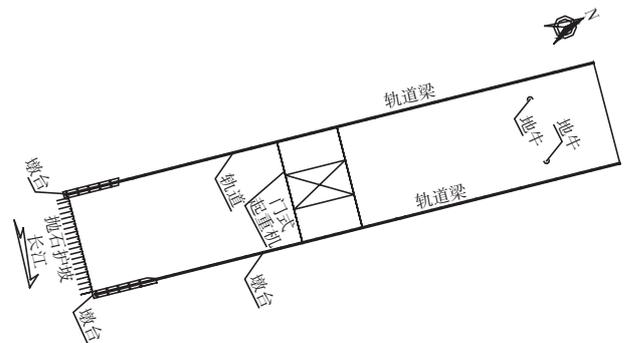


图1 工程平面示意图

根据工程勘察资料该工程范围内土层分布较均匀, 土层性质差别不大。复核算时涉及到的地基土物理力学指标见表2。

为更好地模拟结构与土的相互作用, 简化计算模型, 桩基础可以看成弹性长桩来考虑, 土对桩基及梁和底板的作用均简化为弹簧支座。从表2地基土物理力学指标看, 地基土的孔隙比*e*及液限指数*I_L*基本在0.7以上, *m*值的选取可按表1进行, 底板及梁下的基床系数采用3 000 kN/m³。桩底部弹簧约束拟考虑桩的极限承载力^[3], 经计算轨道梁下桩的极限承载力为1 082 kN, 底板下桩的极限承载力为672 kN。

根据现场调查和检测情况, 除底板混凝土钻芯测厚比设计厚度略大外, 其余均满足设计要求。值得注意的是, 现场对设备资料和使用情况进行调查发现, 目前船台造船规模已超过原设计限制吨级, 历史上造船最大规模已经达到3万 t。如此的超负荷使用, 对结构物的安全性是一种严峻

表2 地基土物理力学指标

土层	天然含水率 W/%	质量密度 $\rho / (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	土粒比重 G_s	孔隙比 e	液限指数 I_l	固结快剪	
						黏聚力 C/kPa	内摩擦角 $\varphi / (^\circ)$
粉质黏土	33.1	1 850	2.72	0.960	0.93	13.64	17.16
粉砂夹砂质粉土	28.1	1 840	2.69	0.873	-	1.80	32.35
粉砂	26.0	1 910	2.69	0.778	-	2.32	34.55
粉砂夹砂质粉土	27.5	1 870	2.69	0.834	-	1.18	33.52
粉质黏土夹粉砂	30.4	1 870	2.72	0.897	0.75	18.39	24.11
粉质黏土夹黏质粉土	31.3	1 870	2.72	0.909	0.94	18.72	20.63
砂质粉土夹粉质黏土	30.8	1 850	2.71	0.914	0.92	5.73	30.79
粉质黏土	31.2	1 870	2.72	0.910	0.91	17.93	20.71
粉质黏土夹砂质粉土	31.0	1 870	2.72	0.906	0.74	18.50	25.17

的考验，须对造船3万吨级的荷载使用情况进行安全性评估分析，复核船台各主要结构的内力、配筋和位移状况，其计算荷载如下：

- 1) 船台：均载：40 kN/m²；
- 2) 吊车道：130 t+70 t×40 m门式起重机；
单侧轨道：2×8=16个走轮；基距：20 m；设计轮压：215 kN。

3 结果分析

3.1 轨道梁的内力及配筋

根据设计图纸及现场检测情况，该轨道梁截面尺寸为1.2 m×0.6 m，其内力计算由图2所示，梁正截面受弯承载力最大值在轨道梁底为927.92 kN·m，梁顶弯矩790.82 kN·m，剪力最大为734.80 kN。

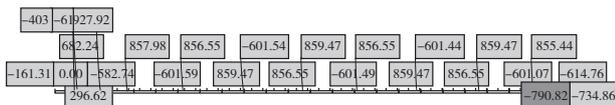


图2 轨道梁正截面受弯承载力

配筋验算前需进行截面配筋面积估算，经计算轨道梁底部的钢筋截面面积需2 713.1 mm²，顶部的钢筋截面面积需2 297.3 mm²，轨道梁承载力极限状态下具体配筋验算结果见表3。

表3 轨道梁承载力极限状态下配筋验算结果

项目	计算最大值	计算配筋	实际配筋	是否满足
梁底正弯矩/(kN·m)	927.92	8φ22/6φ25	9φ22	满足
梁顶负弯矩/(kN·m)	790.82	7φ22或5φ25	8φ22	满足
最大剪力/kN	734.80	2φ@500	12φ@150	满足

由此可见，配筋验算结果可以满足现有荷载要求，但是根据现场构件的耐久性检测情况，轨

道梁部分区域破损比较严重且存在局部开裂现象（图3），如需长期使用建议对这些部位进行修补，以免劣化进一步发展影响结构的承载能力。



图3 轨道梁劣化

3.2 底板的内力及配筋

船台底板在受到外部荷载时，可以看成是弹性变形，本身会沿板的纵向x方向、横向y方向发生内力变化，内力计算值和配筋验算结果见表4，受力情况见图4。

表4 底板承载力极限状态配筋验算结果

项目	计算最大值/ (kN·m)	计算配筋	实际配筋	是否满足
沿船台 底部正弯矩	94.80	3φ22/2φ25	4φ25	满足
纵向 顶部负弯矩	28.18	1φ22/1φ25	3φ25	满足
沿船台 底部正弯矩	97.27	3φ22/2φ25	4φ25	满足
横向 顶部负弯矩	23.99	1φ22/1φ25	3φ25	满足

由表4和图4知：船台沿纵向、横向实际配筋量大于计算所需配筋量，底板受弯承载力呈现间隔分布，在底板桩顶处发生弯矩值较大，中间值较小，整个内力变化比较均匀，承载力符合设计允许要求。

3.3 桩的位移及承载力

受外荷载和自重的影响基桩的受力特性比较复杂，对船台基桩的安全评估要结合桩身的水平向位移和承载力综合判定。

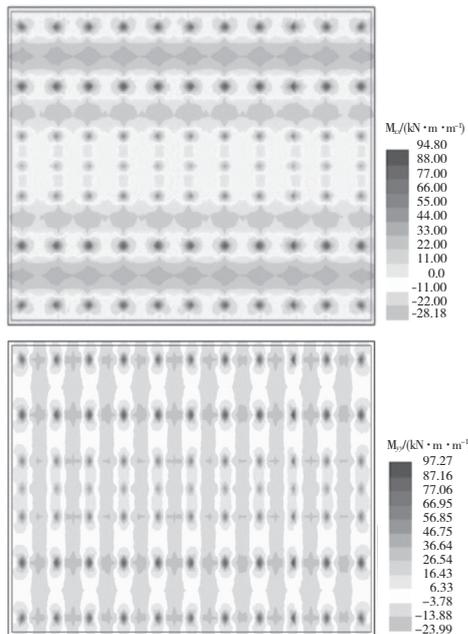


图4 底板 M_{xx} , M_{yy} 方向的受弯承载力

1) 轨道梁下基桩受门机轮压和自重作用, 水平向位移发生值不一, 位移分析选择水平向变化的单个构件作为分析对象。图5为轨道梁下基桩在外荷载和自重的合力作用下发生的位移值。由图5可知轨道梁下基桩的最大位移为6.224 mm且发生在桩顶处。船台底板受均布荷载和自重影响桩身水平位移最大值在桩顶位置且不足1 mm, 结合现场探地雷达对底板下桩基的扫测结果显示, 底板下纵横向桩数布置较多, 且桩间距较小, 且通过位移值可推断群桩的相互协同作用较明显。由基桩的位移值确定, 船台轨道梁及底板下基桩位移的发生不足以影响结构的使用状况。

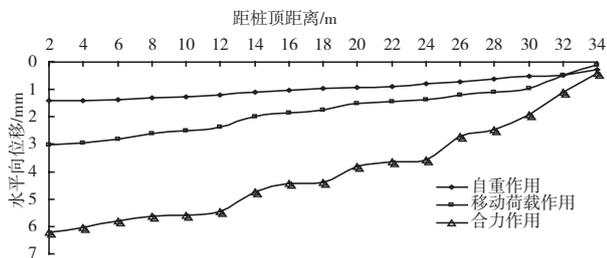


图5 PHC桩的水平向位移

2) 桩基的承载力验算需按承载能力极限状态验算的结果进行, 结构或构件几何参数采用实测值, 并计入材料劣化、局部缺陷和施工偏差等影响, 钢筋混凝土构件则须考虑钢筋截面减小, 屈服强度降低等因素, 由表5知基桩承载力均满足设计要求。

表5 作用效应下基桩承载力极限状态计算结果

项目	承载力极限状态/kN	设计值/kN	是否满足要求
轨道梁下基桩	510.10	1 082	满足
底板下基桩	489.31	672	满足

3.4 安全性评估结论

现场船台各检测指标均满足要求, 船台的安全性评估即对该船台是否达到3万吨级造船规模进行结构安全性分析, 结合现场调查和检测结果, 实际配筋量大于计算所需配筋量, 承载能力满足设计标准要求, 桩身位移值满足设计允许条件, 综合分析该船台达到建造船舶3万吨级的能力。然而对外观调查中发现的劣化问题仍需及时加以修补, 以防止劣化问题的进一步发展影响对结构安全的使用。

4 结论

对达到和超过设计使用年限或擅自提高船台的使用功能, 需及时对船台进行安全性评估, 结合现场调查和检测情况, 对结构的受力、承载力和位移进行验证性分析, 论证船台的造船和大修能力, 为船台结构的规范化经营提供安全保障。另外, 对桩土的相互作用, 本文因结构整体变位较小为简化计算采用的是 m 法, 但该法假定桩周土是一弹性介质, 忽略了桩-土的非线性作用, 当桩身变位比较大时, 采用 m 法计算各参数数值会存在一定的差异, 因此选用计算方法时应根据具体工程而定。

参考文献:

- [1] 吉同元, 方海东, 秦网根. 老旧高桩码头安全性检测评估实例分析[J]. 水运工程, 2011(12): 83-86.
- [2] 王胜年, 潘德强. 港口水工建筑物检测评估与耐久性寿命预测技术[J]. 水运工程, 2011(1): 116-123.
- [3] GB/T 8502—2005 纵向倾斜船台及滑道设计规范[S].
- [4] JTS 254—1998 港口工程桩基规范[S].
- [5] JTJ 267—1998 港口工程混凝土结构设计规范[S].
- [6] 吴峰, 时蓓玲, 卓杨. 水平受荷桩非线性 m 法研究[J]. 岩土工程学报, 2009(9): 1 398-1 401.
- [7] 郑刚, 高喜峰, 任彦华, 等. 承台(基础)-桩-土不同构造形式下的相互作用研究[J]. 岩土工程学报, 2004(3): 307-312.