



# 基于 ANSYS 的高桩码头轨道梁内力分析

陈文, 张玉萍

(中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 430071)

**摘要:** 采用 ANSYS 软件对移动机械荷载作用下轨道梁的刚性支承和弹性支承进行有限元模拟, 得到不同模型下的结构内力以及支座反力。对计算模型的结果进行对比分析, 并探讨支座刚性系数变化对弹性支承轨道梁结构内力的影响。计算结果表明: 分布弹性支承对支座处弯矩有较好的削峰效果, 也能起到减小跨中弯矩的作用, 轨道梁结构内力宜采用分布弹性支承连续梁模型计算; 采用不同桩基时支座刚性系数的变化对结构内力影响较小, 适当增大支座刚性系数对结构安全有利。

**关键词:** 轨道梁; 支承条件; 移动荷载; ANSYS; 计算模型

中图分类号: U 656.1<sup>+</sup>13

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)10-0071-05

## Force analysis for rail beams of high-piled wharf based on ANSYS

CHEN Wen, ZHANG Yu-ping

(CCCC Second Harbor Consultants Co., Ltd., Wuhan 430071, China)

**Abstract:** A finite-element simulation is carried out for the rigid support and elastic support of rail beams under traveling mechanical load with the ANSYS software, deducing the internal forces and the reaction of supports in different calculation models. A comparative analysis is conducted for the results of different models, and the influence from the change of supports' stiffness coefficient on the structural internal forces of rail beams is discussed. The results reveal that the uniformly distributed elastic support has a beneficial effect on the bending moment's peak clipping over the supports' edge, and it is also useful for reducing the mid-span bending moment. The continuous beam model with uniformly distributed elastic support is appropriate for the internal force calculation of rail beam structures. It shows that the change of supports' stiffness coefficients has a relatively weak effect by using different pile foundations for calculation models, and a proper increase of supports' stiffness coefficient is good for the structural safety.

**Keywords:** rail beam; support condition; traveling load; ANSYS; calculation model

为了满足大型化起重运输机械装卸作业的需求, 高桩码头常设支承起重运输机载运行的轨道梁结构。通常, 轨道梁采用预制方式, 搁置在桩帽或倒“T”型下横梁支座上, 再通过现浇混凝土节点或倒“T”型上横梁完成整体连接。根据轨道梁与支座连接情况、支座宽度等结构特点<sup>[1]</sup>, 可将轨道梁内力计算简化为刚性支承多跨梁和弹性支承连接梁计算模型进行内力分析。考虑到轨道

梁与支座的连接效果, 轨道梁与支座的连接可按固结式和铰结式 2 种支承方式进行模拟。按是否考虑支座宽度影响<sup>[2]</sup>, 弹性支承连接梁可采用弹性点支承和分布弹性支承 2 种方式, 其中弹性点支承支座处内力可进行削峰处理。目前, 高桩码头的轨道梁结构形式还在改进和推新, 具体采用哪种支承条件对轨道梁进行内力计算, 仍是工程界有待发展和完善的问题。本文以某高桩码头为

收稿日期: 2014-03-24

作者简介: 陈文 (1987—), 男, 硕士, 助理工程师, 从事港口工程结构设计工作。

例,运用 ANSYS\_ APDL 参数化语言编程<sup>[3-4]</sup>模拟移动机械荷载作用,对轨道梁在不同支承条件下的内力进行计算分析,并探讨采用不同桩基时支座刚性系数变化对弹性支承连续梁模型的影响,以供高桩码头中轨道梁结构设计参考。

### 1 计算模型

#### 1.1 模型参数

本文计算以某高桩码头一处结构段为例,结构段总长 67 m,共 9 榀排架,排架间距 8 m。横梁采用倒“T”型截面,长 17 m,横梁之间搁置 2 根轨道梁,轨距为 10.5 m,为了分析支座刚性系数对弹性支承的影响,桩基采用 3 种桩型,分别为钢管桩、PHC 桩和灌注桩。单榀排架与轨道梁排列如图 1 所示(其它纵向梁图中未表示)。轨道梁截面尺寸为 1.5 m × 0.7 m,材料为混凝土 C50。PHC 桩截面外径为 1 m,壁厚为 0.13 m,材料为混凝土 C80;钢管桩截面外径为 1 m,壁厚为 0.016 m,材料为钢 Q345;灌注桩截面直径为

1 m,材料为混凝土 C30。单排架采用钢管桩或 PHC 桩时,均布置 1 根直桩和 4 根斜度为 5:1 的叉桩,采用灌注桩时布置 4 根直桩,桩基嵌固点以上长度均按  $L = 20\text{ m}$  考虑。根据结构力学的矩阵位移法理论<sup>[5]</sup>,利用 ANSYS 有限元软件建立采用以上钢管桩、PHC 桩和灌注桩的平面排架结构模型,在轨道梁搁置位置处施加单位力 1 kN,求得该处的竖向位移  $S\text{ (m)}$ ,进而可由  $1/S\text{ (kN/m)}$  表示弹性支承支座处竖向刚性系数,采用该方法求得上述 3 种桩基础的支座处刚性系数分别为  $K_1 = 1.038 \times 10^6\text{ kN/m}$ ,  $K_2 = 1.326 \times 10^6\text{ kN/m}$ ,  $K_3 = 1.913 \times 10^6\text{ kN/m}$ 。

使用期的轨道梁主要承受起重运输机荷载作用,该工程考虑一台 Mh-25-30 门座起重机在 2 列轨道梁上行走,其参数见《港口工程荷载规范》<sup>[6]</sup>。该门座起重机有 24 个轮子,本文选取一列轨道梁在 12 个轮子荷载移动工况下进行内力分析。

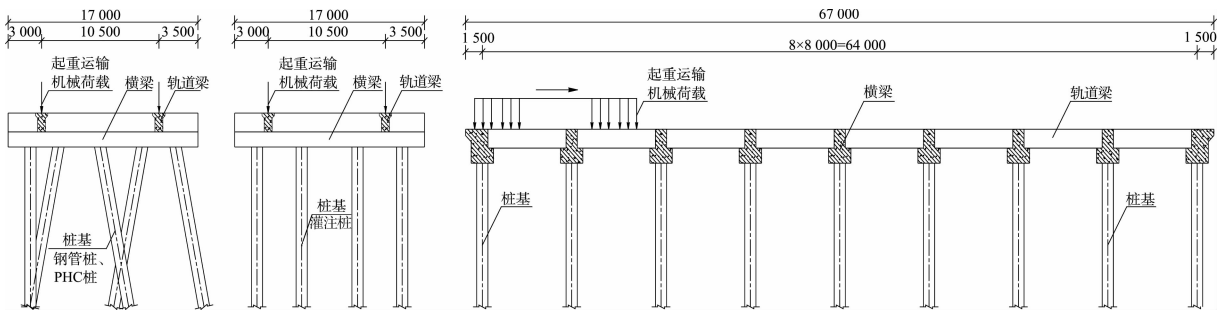


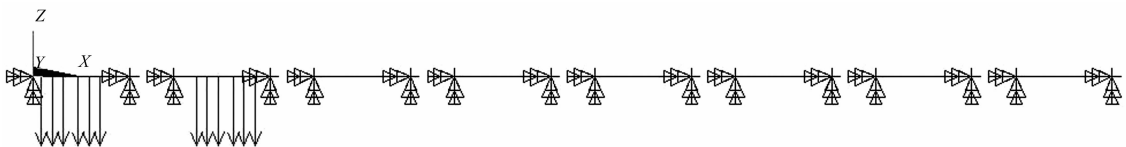
图 1 单榀排架与轨道梁排列 (单位: mm)

#### 1.2 计算模型

##### 1.2.1 固结式支承多跨梁模型

多跨梁可简化为单跨梁计算,对于轨道梁两侧钢筋均外伸入横梁内的结构,可认为轨道梁与

横梁支座达到了固结效果,可采用图 2 所示有限元模型进行内力分析。模型中轨道梁采用梁单元 beam188,支座处节点竖向和转动均约束,取单跨梁弯矩和剪力的计算跨度分别为 6.3 m 和 6.0 m。

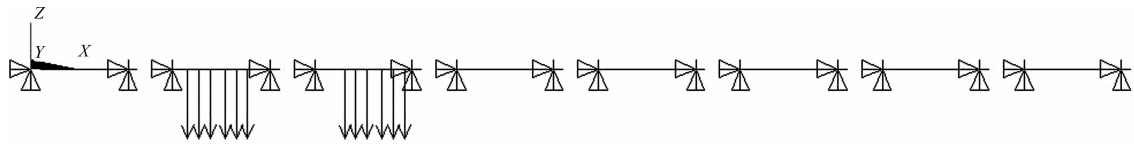


注: 为支座处节点竖向和转动均约束。

图 2 固结式支承多跨梁有限元模型

### 1.2.2 铰结式支承多跨梁模型

对于轨道梁仅两侧底部钢筋外伸入横梁内的结构, 可认为轨道梁与横梁支座只达到了铰结效果, 可采用图 3 所示有限元模型进行内力分析。



注: ▷ 为支座处节点竖向约束、转动均自由。

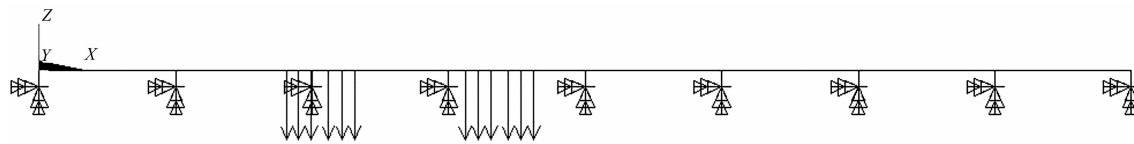
图 3 铰结式支承多跨梁有限元模型

模型中轨道梁采用梁单元 beam188, 支座处节点竖向约束、转动均自由, 取单跨梁弯矩和剪力的计算跨度分别为 6.3 m 和 6.0 m。

### 1.2.3 弹性点支承连续梁模型

对于轨道梁与横梁达到了非常好的固结效果的结构, 当需要分析整个结构段轨道梁的受力特性时, 宜将一系列轨道梁视为连续梁进行计算, 若不考虑横梁宽度影响时支座可简化为弹性点支承, 可采用图 4 所示有限元模型进行内力分析。模型中轨道梁采用梁单元 beam188, 支承处选用弹簧单元 combin14

模拟弹性点支承, 弹簧与梁单元连接点处进行节点耦合, 弹簧底端固定。弹簧常数取支座处刚性系数, 按不同的桩基考虑, 弹簧常数分别为  $K_1 = 1.038 \times 10^6$  kN/m,  $K_2 = 1.326 \times 10^6$  kN/m,  $K_3 = 1.913 \times 10^6$  kN/m。支座处弯矩和剪力结果采用《高桩码头设计与施工规范》4.3.5 条规定进行削峰处理, 取计算值距支座中点 1/4 支座宽度处的数值。



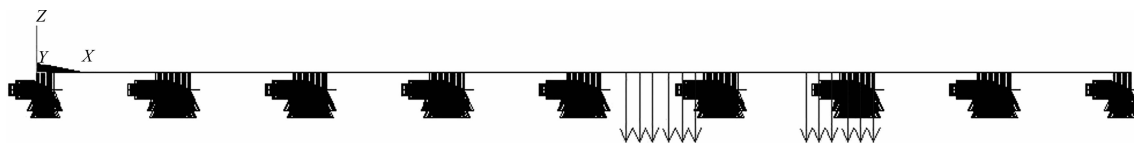
注: ▷ 为弹簧底端固定。

图 4 弹性点支承连续梁有限元模型

### 1.2.4 分布弹性支承连续梁模型

对于弹性支承的连续梁结构, 若考虑支座宽度的影响, 可采用图 5 所示有限元模型进行内力分析。模型中轨道梁采用梁单元 beam188, 在支座宽度范围内用有限个等间距布置弹簧代替均匀分布弹簧, 单个弹簧的刚性系数为:  $k_n = K/n$ 。式中:  $k_n$  为单个弹簧刚性系数,  $K$  为支座竖向刚性系数,  $n$  为支座范围弹簧个数。该

模型选用 25 个弹簧单元 combin14 模拟分布弹性支承, 按不同的桩基取支座竖向刚性系数分别为  $K_1 = 1.038 \times 10^6$  kN/m、 $K_2 = 1.326 \times 10^6$  kN/m、 $K_3 = 1.913 \times 10^6$  kN/m, 则计算取单个弹簧常数分别为  $k_{n,1} = 4.152 \times 10^4$  kN/m、 $k_{n,2} = 5.304 \times 10^4$  kN/m、 $k_{n,3} = 7.652 \times 10^4$  kN/m。弹簧与梁单元连接点处进行节点耦合, 弹簧底端固定。



注: ▷ 为弹簧底端固定。

图 5 分布弹性支承连续梁有限元模型

## 2 计算结果分析

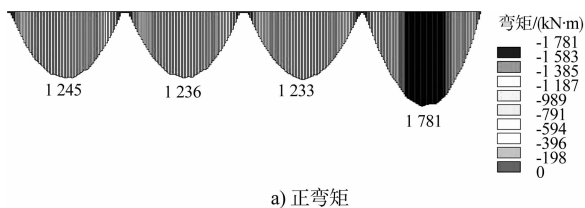
### 2.1 弯矩对比分析

考虑到模型和作用荷载的对称性，表1给出了单跨梁和半跨连续梁的弯矩计算结果，图6、7给出了刚性系数为  $K_1 = 1.038 \times 10^6 \text{ kN/m}$  和  $k_{n,1} = 4.152 \times 10^4 \text{ kN/m}$  的弹性支承连续梁弯矩包络图。可以看出：移动机载荷载作用时，轨道梁在跨中正弯矩最大，在支座处负弯矩最大。分布弹性支承的负弯矩幅值与弹性点支承经削峰的幅值和固结式刚性支承的负弯矩幅值较接近，说明分布弹性支承在支座处对弯矩有削峰效果；而分布弹性支承的正弯矩幅值比弹性点支承和固结式刚性支承相对缩小10%~15%，说明宽支座减小跨中弯矩的作用较明显。对于两种弹性支承结构而言，正负弯矩幅值均在“第1跨中”和“第1支座”处取得。分析表明：轨道梁的弯矩计算按分布弹性支承连续梁建模计算较合理，能起到较好的削峰支座处弯矩和降低跨中弯矩的作用，负弯矩设计值可直接取负弯矩幅值，正弯矩设计值可根据结构安全和重要性按正弯矩幅值适当扩大10%~20%考虑。

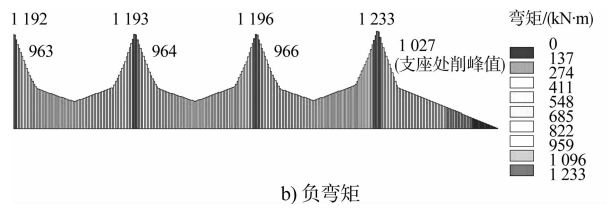
表1 轨道梁弯矩计算结果

名称	固结式 刚支承/ (kN·m)	铰结式 刚支承/ (kN·m)	相对 差/%	弹性点 支承( $K_1$ ) /(kN·m)	分布弹性 支承( $k_{n,1}$ ) /(kN·m)	相对 差/%
第1跨中(+)				1 781	1 535	14.8
第2跨中(+)	501	1 437	96.6	1 233	1 187	3.8
第3跨中(+)				1 236	1 174	5.1
第4跨中(+)				1 245	1 176	5.7
第1支座(-)				1 027	984	4.3
第2支座(-)	957	0		966	885	8.8
第3支座(-)				964	882	8.9
第4支座(-)				963	881	8.9

注：“第1跨中”指最靠近结构端的第一个跨中，“第1支座”指最靠近端支座的第1个支座，第2、3和4依次类推；表中采用弹性点支承计算得到的支座弯矩及剪力值均为削峰处理后的结果；表中仅给出刚性系数为  $K_1 = 1.038 \times 10^6 \text{ kN/m}$  和  $k_{n,1} = 4.152 \times 10^4 \text{ kN/m}$  的计算结果。表2、3同。



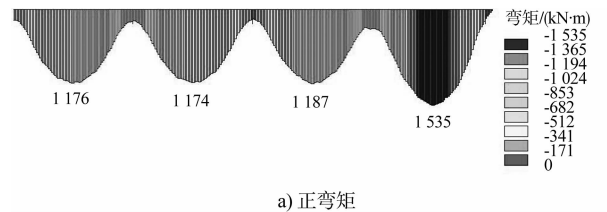
a) 正弯矩



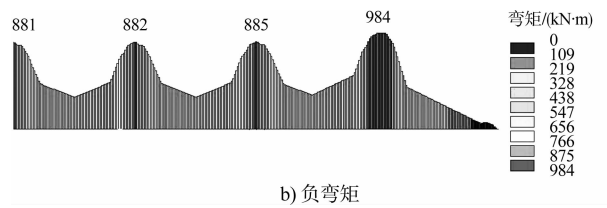
b) 负弯矩

图6 弹性点支承 ( $K_1 = 1.038 \times 10^6 \text{ kN/m}$ )

连续梁模型弯矩包络图



a) 正弯矩



b) 负弯矩

图7 分布弹性支承 ( $k_{n,1} = 4.152 \times 10^4 \text{ kN/m}$ )

连续梁模型弯矩包络图

### 2.2 剪力对比分析

轨道梁的剪力幅值在支座处取得，考虑到对称性表2给出了轨道梁第1~4支座处轨道梁剪力计算结果。结果表明：采用弹性支承时，第1支座剪力值均大于第2、3和4支座剪力值，相对差8.8%，可见采用弹性支承对中间支座剪力削峰作用更明显；采用弹性支承得到的中间支座剪力值与刚支承的支座剪力值相差10%~20%。说明计算跨度的不同会对计算结果有一定影响，建议结构设计采用弹性支承模型计算支座处剪力。

表2 支座处轨道梁剪力计算结果

名称	固结式 刚支承/ kN	铰结式 刚支承/ kN	相对 差/%	弹性点 支承( $K_1$ ) kN	分布弹性 支承( $k_{n,1}$ ) kN	相对 差/%
第1支座				1 128	1 033	8.8
第2支座	891	875	1.8	1 045	971	7.3
第3支座				1 046	972	7.3
第4支座				1 045	970	7.4

### 2.3 支座反力对比分析

表 3 给出了轨道梁第 1~4 支座反力计算结果。结果表明: 采用弹性支承时, 第 2 支座反力值最大, 且采用两种弹性支承同一位置的支座反力值很接近。弹性支承第 1 支座反力与刚支承支座反力相当, 其它支座位置处弹性支承比刚支承的支座反力增大 20%~30%。说明采用刚性支承与弹性支承计算支座反力会有一定差别, 建议结构设计采用弹性支承模型计算支座反力。

表 3 支座反力计算结果

名称	固结式 刚支承/ kN	铰结式 刚支承/ kN	相对 差/%	弹性点 支承( $K_1$ )/ kN	分布弹性 支承( $k_{n,1}$ )/ kN	相对 差/%
第 1 支座				1 051	1 097	4.3
第 2 支座	1 055	1 024	3.0	1 320	1 333	1.0
第 3 支座				1 232	1 293	4.8
第 4 支座				1 232	1 292	4.8

### 2.4 刚性系数的影响分析

表 4 给出了 3 种刚性系数条件下弹性点支承和分布弹性支承的内力和支座反力计算结果。对于弹性点支承模型, 支座的刚性系数越大, 支座负弯矩、剪力和支座反力均有增大, 而跨中正弯矩逐渐减小。对于分布弹性支承模型, 支座的刚性系数越大, 支座剪力和反力均有增大, 而支座负弯矩和跨中正弯矩逐渐减小。综合比较, 支座刚性系数增幅为 84.3%, 结构内力值变化幅度为  $\pm 7\%$ , 可见采用不同桩基引起支座刚性系数变化对结构内力的影响不显著。但适当增大支座刚性系数有助于减小连续梁结构的跨中弯矩。对于大幅度刚性系数(如改变刚性系数的数量级)变化对结构内力的影响, 还需进一步分析研究。

表 4 弯矩、剪力与支座反力计算结果

名称	跨中正弯矩幅值/( $\text{kN}\cdot\text{m}$ )	支座负弯矩幅值/( $\text{kN}\cdot\text{m}$ )	支座剪力幅值/kN	支座反力幅值/kN
弹性点支承	$K_1 = 1.038 \times 10^6$	1 781	1 027	1 128
	$K_2 = 1.326 \times 10^6$	1 753	1 060	1 134
	$K_3 = 1.913 \times 10^6$	1 719	1 097	1 139
相对差/%	63.9	3.5	6.6	1.0
分布弹性支承	$K_{n,1} = 4.152 \times 10^4$	1 535	984	1 033
	$K_{n,2} = 5.304 \times 10^4$	1 501	983	1 037
	$K_{n,3} = 7.652 \times 10^4$	1 450	975	1 042
相对差/%	63.9	5.7	0.9	0.9

### 3 结论

1) 不同支承条件对轨道梁的弯矩结果有较大的影响; 采用两种弹性支承时, 靠近端侧的正负弯矩幅值比靠中间处的幅值均大; 分布弹性支承对支座处弯矩有较好的削峰效果, 也能起到减小跨中弯矩的作用, 弯矩计算宜采用分布弹性支承连续梁模型计算。

2) 不同支承条件对轨道梁中间支座的剪力和反力有一定的影响; 相比刚性支承, 弹性支承的剪力和反力值稍大一些; 建议轨道梁的剪力和支座反力采用弹性支承连续梁模型计算。

3) 采用不同桩基而引起支座刚性系数的变化对结构内力影响较小, 适当增大支座刚性系数有助于降低跨中弯矩, 对结构安全有利。

另外, 本文中的计算模型有较强的适用性,

能模拟计算其他梁系结构在移动荷载和恒荷载作用下的内力, 其计算结果可为工程实际应用和模型实验提供参考依据。

#### 参考文献:

- [1] JTS 167-1—2010 高桩码头设计与施工规范[S].
- [2] 陆东汉. 用宽支承方式计算高桩梁板式码头上的轨道梁[J]. 水运工程, 2003(12): 36-39.
- [3] 龚曙光, 谢桂兰. ANSYS 操作命令与参数化编程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004: 77-444.
- [4] 王新敏. ANSYS 工程结构数值分析[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007: 230-407.
- [5] 龙驭球, 包世华. 结构力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 205-428.
- [6] JTS 144-1—2010 港口工程荷载规范[S].

(本文编辑 郭雪珍)