

岸边集装箱起重机整机装卸用分载式轨道系统

朱长玉

(上海振华重工(集团)股份有限公司 200125)

摘要:大型岸边集装箱起重机整机装卸,对码头的承载要求较高,传统直铺式轨道卸船工艺通常适用于重力式和板桩式码头,对于高桩码头,由于码头面板的承载能力较弱,该工艺可能无法适用。分载式轨道系统作为一种新型的装卸工艺,其设计理念在于将装卸荷载转移至码头强结构处,降低设备滚装时对码头面的压力,从而满足整机装卸的需求。

关键词:分载式装卸系统;荷载转移

引言

分载式装卸系统在整机装卸领域中有其特殊的优势,一些高桩码头,不可避免的要依赖该方式以分担整机装卸时的巨大轮压对于码头的影响。

1 分载式轨道系统的传力特点

分载式轨道系统能有效分散、传递岸桥装卸船过程中的载荷,该系统通常由上层分载式轨道梁与下层分载垫梁配合使用,上层轨道梁并不直接和码头接触,而是通过下层分载垫梁,将装卸荷载传递至码头(一般为高桩式)的强结构处,如:桩、横梁等。

在重力式码头装卸时,轨道梁通常采用平铺型式,即指轨道梁底面直接与码头面接触的铺轨方式,只要码头结构强度允许,该种铺轨方式(见图1、2)是最简单、经济的。

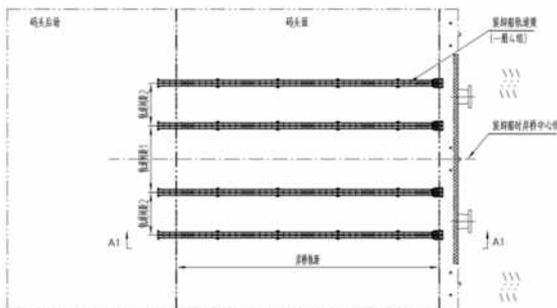


图1 码头铺轨俯视图-普通轨道梁平铺型式

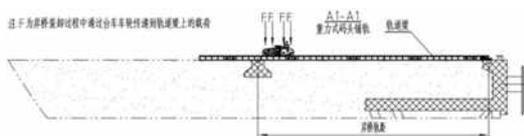


图2 码头铺轨侧视图-普通轨道梁平铺型式

而对于部分只存在横梁而没有纵梁的高桩码头,且4列轨道很难同时正好对准4根横梁,此时需要使用分载式轨道系统的铺轨方式,该方式可将装卸荷载传递到码头强结构处(见图3、4)。

2 分载式轨道系统的设计

分载式轨道系统由上、下两层轨道梁组成,两种梁根据不同的使用要求设计。

2.1 分载式轨道梁(上层)

分载式轨道梁一般由轨道条、面板、底板、腹板以及肋板组成。根据受力工况分析,该梁为上面车轮集中载荷,两端简支工况,设计该梁时应从以下几个方面考虑:

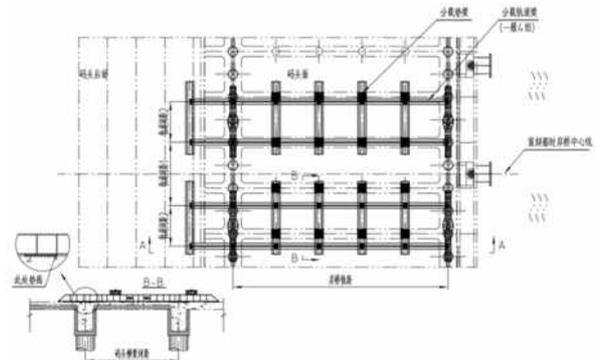


图3 码头铺轨俯视图-分载式轨道梁型式

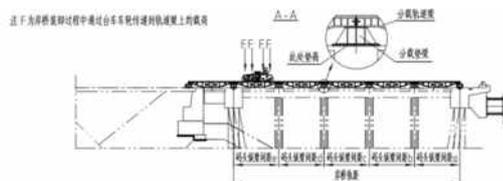


图4 码头铺轨侧视图-分载式轨道梁型式

2.1.1 梁的抗剪能力

分载式轨道梁抗剪能力的校核,主要指的梁的弯曲变形产生的切应力,其强度条件为:

$$\tau = \frac{F_s S_z}{I_z b} \quad (1)$$

式中, F_s 为横截面上的剪力,即轮压, b 为截面宽度, I_z 为整个截面对中性轴的惯性矩, S_z 为截面上距中性轴为 y 的横线以下部分的面积对中性轴的静矩。

2.1.2 梁的抗弯能力

分载式轨道梁抗弯能力的校核强度条件为:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_z} \leq [\sigma] \quad (2)$$

式中, M_{\max} 为最大弯矩, W_z 为抗弯截面模量。

2.1.3 梁的刚度

梁的刚度条件即为最大的挠度小于等于梁的许用挠度，最大的转角小于等于许用转角。

$$w_{\max} \leq [w] \quad \theta_{\max} \leq [\theta] \quad (3)$$

式中， $[w]$ 、 $[\theta]$ 为规定的许可挠度和转角，梁的挠度通常可用积分法和叠加法来进行计算。假设单根轨道上总共有 4 个车轮，求解普通轨道梁的最大挠度和转角时，可以分别考虑梁的自重，以及荷载对梁产生的挠度，即：

$$w_{\max} = w_{\text{车轮1}} + w_{\text{车轮2}} + w_{\text{车轮3}} + w_{\text{车轮4}} + w_{\text{轨道自重}} \quad (4)$$

同理，梁的转角也可以如此求得。

2.1.4 变截面

为节省材料，分载式轨道梁的结构并非采用等截面设计，多为变截面梁，见图 5、6。随着弯矩的增大，相应增大截面尺寸，但考虑到制作工艺的经济性，实际工程设计中，无法完全做到等强设计。

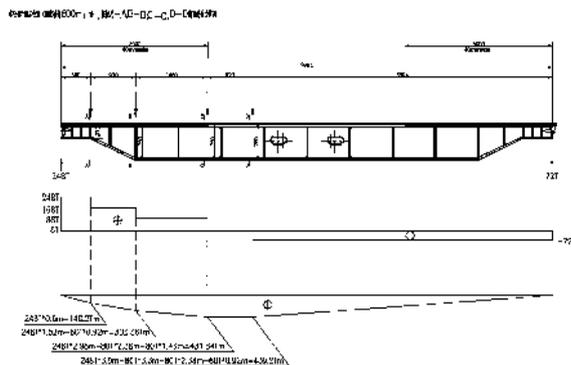


图 5 校核梁截面

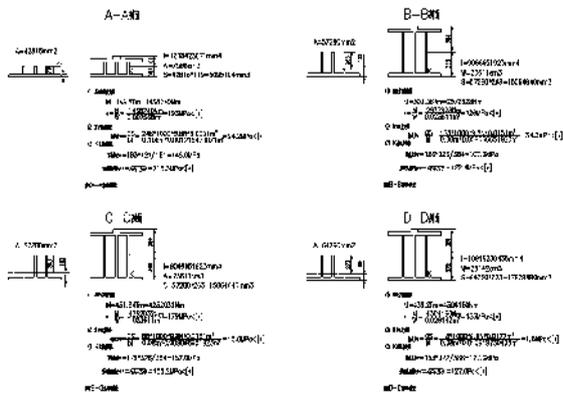


图 6 校核不同截面强度

根据以上设计要点，该梁在岸桥滚动状态下的受力分析：

以下图 7 为例，假设岸桥滚动时，四个车轮的的轮压值为 80T/轮，第一个车轮距离轨道端部距离为 X（如图所示），分载式轨道梁长为 10m。

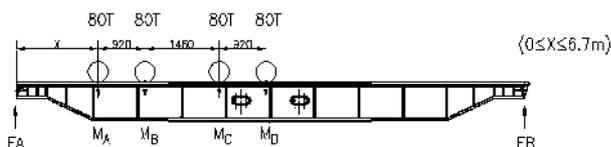


图 7 滚动状态下的弯剪极值分析

根据上述关系分别求得 F_A 、 F_B 的关系式：

$$F_A = 320 - F_B \quad (T)$$

$$F_B = \frac{80x + 80(x + 0.92) + 80(x + 2.38) + 80(x + 3.3)}{10} = 32x + 52.8 \quad (T)$$

对于四个车轮在不同位置所产生的弯矩值：

$$M_A = F_A \cdot x = 267.2x - 32x^2$$

$$M_B = F_A \cdot (x + 0.92) - 80 \times 0.92 = -32x^2 + 237.76x + 172.224$$

$$M_C = F_A \cdot (x + 2.38) - 80 \times 2.38 - 80 \times 1.46 = -32x^2 + 191.04x + 328.736$$

$$M_D = F_B \cdot (6.7 - x) = -32x^2 + 161.6x + 353.76$$

对于 M_A 、 M_B 、 M_C 、 M_D 一阶求导，求得极值：

$$\text{令 } M_A' = 0 \text{ 即 } 267.2 - 64x = 0 \text{ 求得 } x = 4.175 \text{ } M_{A\max} = 557.78 \text{ Tm}$$

$$M_B' = 0 \text{ 即 } -64x + 237.76 = 0 \text{ 求得 } x = 3.715 \text{ } M_{B\max} = 613.86 \text{ Tm}$$

$$M_C' = 0 \text{ 即 } -64x + 191.04 = 0 \text{ 求得 } x = 2.985 \text{ } M_{C\max} = 613.86 \text{ Tm}$$

$$M_D' = 0 \text{ 即 } -64x + 161.6 = 0 \text{ 求得 } x = 2.525 \text{ } M_{D\max} = 557.78 \text{ Tm}$$

通过上述极值求解，我们可以发现对于 10m 轨道，当岸桥的第一个车轮位于轨道的 2.985m 或 3.715m 时，此时有最大弯矩值约 614Tm，分别由第三和第二个车轮所作用产生。

以下为 F_A 、 F_B 在移动的过程中的变化（见图 8）：

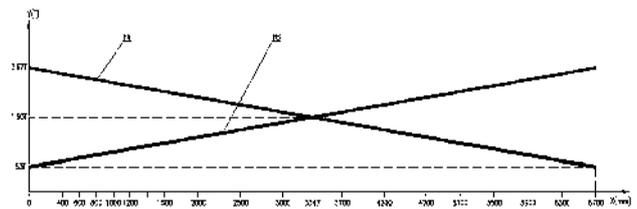


图 8 F_A 、 F_B 在移动的过程中的变化

对于 M_A 、 M_B 、 M_C 、 M_D 在移动过程中的变化（见图 9 至图 12）：

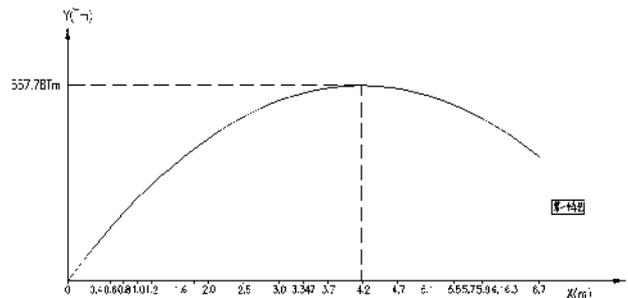


图 9 第一个车轮在移动产生的弯矩的变化

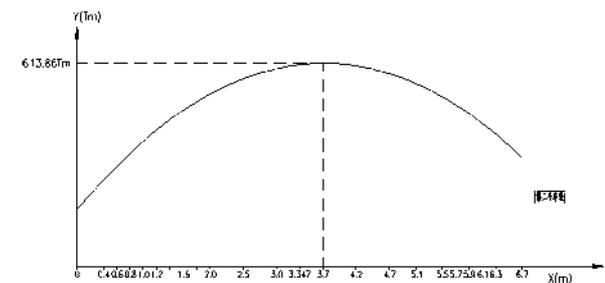


图 10 第二个车轮在移动产生的弯矩的变化

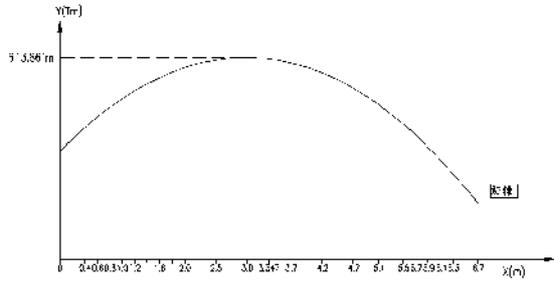


图 11 第三个车轮在移动产生的弯矩的变化

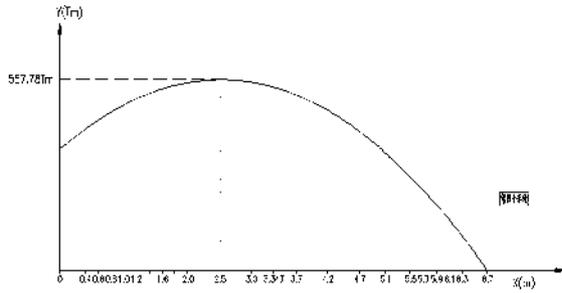


图 12 第四个车轮在移动产生的弯矩的变化

M_A 、 M_B 、 M_C 、 M_D 组合情况 (见图 13):

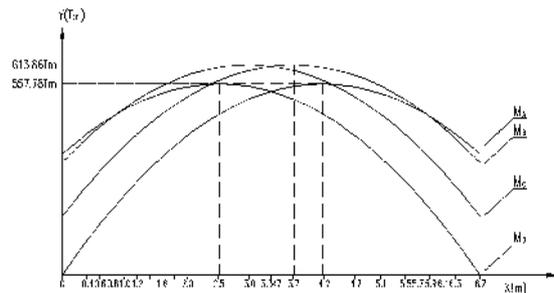


图 13 四个车轮在移动产生的弯矩的变化

包络线 (见图 14):

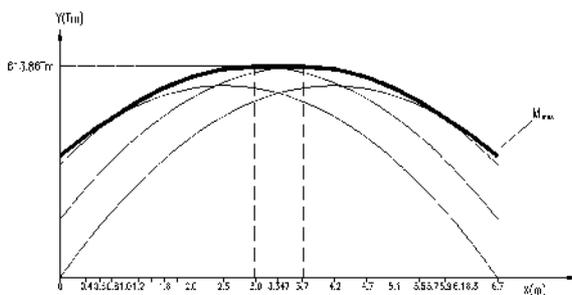


图 14 最大弯矩包络线

滚动状态下的轨道强度分析 (图 15):

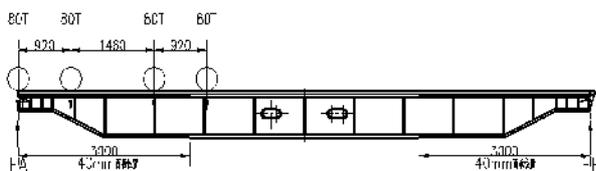


图 15 轨道强度分析

σ 取 295Mpa 安全系数 $n = 1.33$, $[\sigma] = \frac{\sigma}{n} = 220\text{Mpa}$ $[\tau] = \frac{[\sigma]}{\sqrt{3}} = 127\text{Mpa}$

对于车轮在滚动中各个截面的正应力 σ 分布状态 (组合情况) 见下图 16。

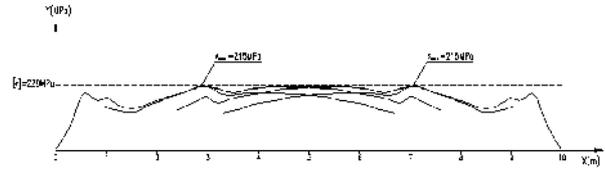


图 16 正应力分布状态

对于车轮在滚动中各个截面的切应力 τ 分布状态 (组合情况) 见下图 17。

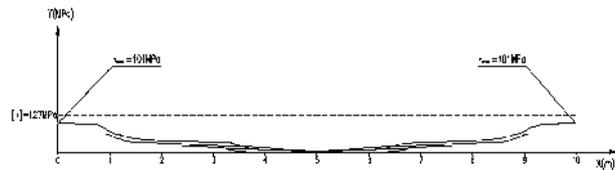


图 17 切应力分布状态

对于车轮在滚动中各个截面的组合应力 σ_r 分布状态 (组合情况) 见下图 18。

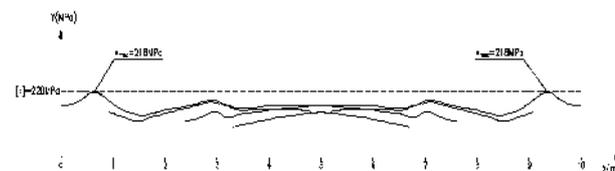


图 18 组合应力分布状态

2.1.5 有限元计算

在轨道梁校核计算时,除了上述简易计算法,通常也采用有限元计算软件,模拟实际工况下的轨道梁受力情况,精确计算出梁的最大正应力、切应力以及挠度值等关键数据。绘制应力云图、位移云图等,以便于直观地了解轨道梁的受力情况,见图 19、20。

根据求解结果,对轨道梁的设计进行评估和优化。如果求解结果不满足设计要求,需要对轨道梁的截面尺寸、加强肋布置等进行调整,并重新进行计算分析。通过不断的迭代和优化,最终得到满足设计要求的轨道梁方案。

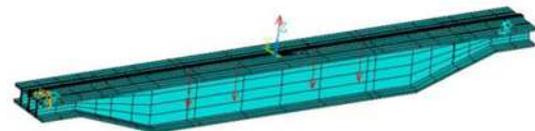


图 19 载荷加载

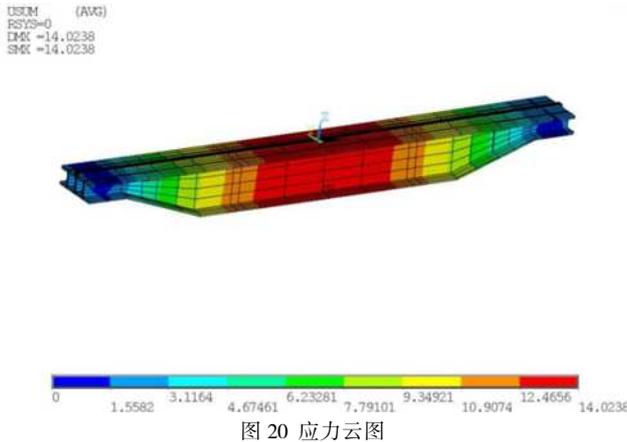


图 20 应力云图

2.2 分载垫梁（下层）

分载垫梁能有效分散、传递岸桥装卸船过程中的载荷，该梁一般由面板、底板、腹板以及肋板组成。根据受力分析，为顶部（轨道）集中载荷，底部简支的情况。其作用是将载荷传递至码头（一般为高桩式）的强结构处，如：桩、横梁等。分载垫梁设计应从以下几个方面考虑：

2.2.1 尺寸、截面设计

底部简支工况下，分载垫梁长度应至少大于 2 根横梁或桩间距，见图 21，确保载荷传递。为增大底部接触面积，其截面应设计成梯形，符合传力特性，在材料利用率方面也更具优势。

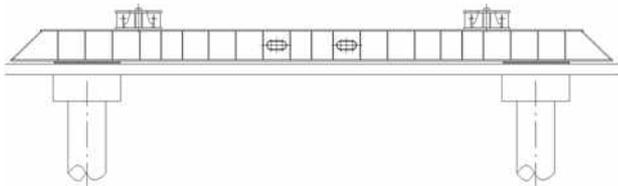


图 21 分载垫梁长度应至少大于 2 根横梁或桩间距

2.2.2 强度、刚度设计

分载垫梁的受力方式不同于普通轨道梁由腹板承受主要荷载，该梁工作荷载作用于上面板，向下传递时，加强肋板承受较大荷载，因此分载垫梁肋板的布置密度需大于普通轨道梁，见图 22。

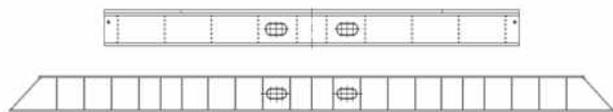


图 22 分载垫梁和普通轨道梁肋板密度对比

2.2.3 有限元计算

利用有限元分析软件对分载垫梁进行模拟分析，以验证其承载能力。通过模拟不同工况下的受力情况，可以计算分载垫梁的变形和应力分布，根据计算结果，对其进行优化和改进。下图 23 及 24 分载垫梁设计及有限元验算示意。

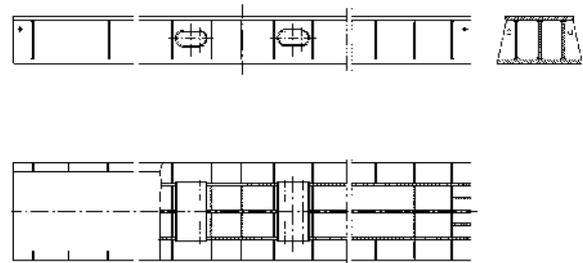


图 23 分载垫梁设计示例

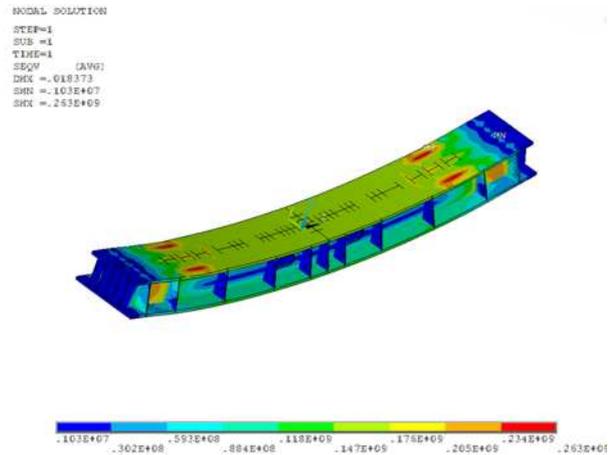


图 24 分载垫梁校核应力云图

结论

通过本文的探讨，分载式卸船轨需充分考虑其承载能力和安全性能。通过极值求解和有限元计算等方法，可精确地计算出轨道梁在不同工况下的受力情况和关键数据，为设计提供可靠依据。分载垫梁作为重要的传力构件，其设计也需要充分考虑其受力特性和传力性能。通过合理的尺寸和截面设计，以及有限元计算验证，可以确保分载垫梁的安全可靠。在实际应用中，还需要根据具体情况对轨道梁和分载垫梁的设计进行优化和改进，以满足不同的使用要求。

参考文献：

- [1] 符敦鉴. 岸边集装箱起重机[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2007.
- [2] 周崎, 张氢, 孙远韬. 浅析双小车岸边集装箱起重机自动装卸集装箱的关键技术[J]. 起重运输机械, 2016, (13): 70-74.
- [3] 金如新, 李时现. 双小车岸边集装箱起重机自动装卸集装箱关键技术的应用[J]. 内燃机与配件, 2018, (15): 207-208.
- [4] 李艳丽. 集装箱码头新型装卸工艺与平面布置关键问题研究[D]. 武汉理工大学, 2015.