

三纵木钢板材托架弯曲强度分析与应用设计

刘晓庆, 陆佳平

(江南大学, 无锡 214122)

摘要: 木托架由纵横木交错组合而成, 主要用于冷轧薄钢板材的堆码和起吊, 并且在起吊工况中易损坏。以冷轧薄钢板材的起吊工况为启示, 分析了起吊工况下的三纵木冷轧薄钢钢板材托架的受力情况, 论述了起吊动载荷对木托架弯曲强度的影响, 在此基础上, 得出了不同横木情况下, 纵木的最大弯曲强度理论公式。为不同规格和载重的冷轧薄钢板木托架结构设计提供理论依据。

关键词: 木托架; 弯曲强度; 钢板材包装; 结构设计

中图分类号: TB485.3; TS484.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)15-0082-03

Strength Analysis and Application Design of Three Stringers Wooden Pallet

LIU Xiao-qing, LU Jia-ping

(Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Wooden pallet is made of with stringer and beam and mainly used for stacking and lifting of cold rolled steel. It is easily to be damaged in lifting condition. The force of three stringers wooden pallet for cold roller steel under working condition was analyzed. The influence of lifting dynamic load on the bending strength of wooden pallet was discussed. Theoretical formula of maximum intensity of stringers under different number of beam was deducted. The purpose was to provide theoretical basis for structure design of wooden pallet for cold rolled steel of different specifications and load.

Key words: wooden pallet; bending strength; cold roller steel package; structural design

木托架由纵横木交错组合而成, 主要用于冷轧薄钢板的堆码和起吊。在冷轧薄钢板材的起吊过程中, 由于薄钢板载重大, 钢绳和木托架的接触面积小, 木托架承受的载荷大, 容易损坏^[1]。目前各大主要钢铁企业针对不同载重和规格的冷轧薄钢板材木托架结构选择主要依据经验。木托架在结构选择过程中, 如果横木的数量选择不足, 则在起吊过程中易发生挠度过大或强度不足而断裂, 反之则会增大成本, 造成浪费。因此, 需要通过合理的力学性能分析, 建立木托架在起吊工况下的力学模型, 为不同规格和载重的钢板材选择合适结构的木托架提供理论依据。

1 钢板材木托架

木托架定义类似于托盘, 是一种放置单元冷轧薄钢板材的木质水平平台装置, 主要用于产品集装堆

放、搬运和运输。它由纵木和横木组成井字型结构, 见图 1。

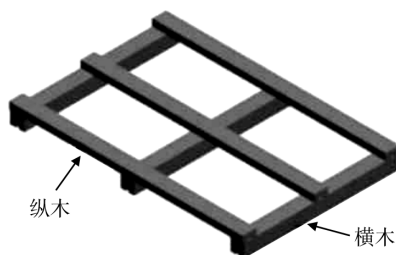


图 1 木托架结构

Fig. 1 The structure diagram of wood pallet

木托架用途与托盘基本相同, 但和托盘又有明显区别:

1) 制作工艺上, 托盘先加工成型, 然后用于货物运输, 但是木托架未使用前以单根木材形式放置, 最后在钢板材包装车间成型, 见图 2。

收稿日期: 2011-06-10

作者简介: 刘晓庆(1987—), 女, 湖北人, 江南大学硕士生, 主攻运输包装。



图2 包装好的冷轧薄钢板材

Fig. 2 Packaged cold rolled thin steel sheet

2) 搬运方式上,托盘搬运多以叉车叉举为主,木托架多以起吊为主。

3) 尺寸种类上,托盘种类较多,但各类尺寸基本固定,木托架种类单一,但是由于钢板材规格繁多,规格尺寸非常灵活。

2 起吊工况

冷轧薄钢板材的装卸和移动主要采用起重机的起吊装卸作业,并采用钢绳吊装运输^[4]。冷轧薄钢板材由纵、横向钢制捆带固定在木托架上,钢板主要与纵木的上表面接触。横木并不直接与钢板接触,而是通过钉联接和钢带的捆扎同纵木连接,加强木托架结构的稳定性。在起吊过程中,横木主要受到钢绳和捆扎带的挤压力作用。薄钢板的起吊工况见图3。

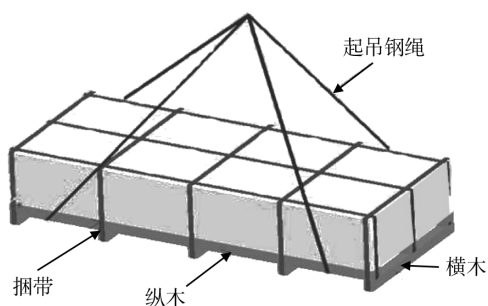


图3 薄钢板的起吊工况

Fig. 3 Cold rolled steel in lifting conditions

起吊过程中,钢绳施加在纵木上,此时钢绳和纵木受力大、接触面积小,纵木易产生大挠度而引起弯曲过大发生断裂破坏,造成板材的价值降低或失效。在装卸过程中,由于钢板材自重,起重机的运行速度缓慢变化小,可以看作是静载;但是在起吊开始和结束阶段,起吊速度突然改变产生的冲击加速度会影响纵木弯曲强度。综上所述,钢板材在起吊过程中,

对木托架纵木损坏最大,因此需要分析起吊工况中不同横木数量情况下纵木的最大弯曲强度,合理设计不同载重钢板材木托架的结构。

3 等间距横木条件下纵木弯曲强度分析

3.1 纵木弯曲强度静态分析

在起吊工况下3根纵木的受力情况相同,因此只需分析其中一根纵木的受力情况。木托架的纵横木和钢板材由钢带捆扎在一起,纵横木交接处的位移与钢板变形相耦合。严格上讲,纵木在这些点处的约束是介于自由端和固定铰支之间,主要取决于多张钢板材料参数,这里考虑一种极端情况,假设钢板刚度足够大,将纵横木交接处的位置都看成是固定铰支^[1]。

在力学分析中,纵木等效为受均布载荷的简支梁^[2]。设 G 为薄钢板的质量, L 为纵木的长度,单根纵木上的均布载荷 $q=G/(3L)$ 。

3.1.1 3根横木等间距分布

此时纵木的受力情况属于一次静不定,利用结构力学中的力矩分配法^[5]来求解这种静不定问题,见图4。

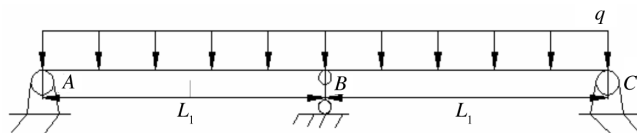


图4 三横木等间距分布的纵木受力

Fig. 4 Three beam uniformly spaced stringer's force diagram

1) 锁定节点,先在节点 B 加钢臂约束结点的转动,计算由载荷引起的固端弯矩(顺时针转向为正号),即: $M_{BA}^F = \frac{qL_1^2}{8}$, $M_{BC}^F = -\frac{qL_1^2}{8}$ 。

节点 B 处各端弯矩总和为:

$$M_B = M_{BA}^F + M_{BC}^F = 0$$

其中: M_B 为结点 B 的约束力矩,它等于各杆固端弯矩的代数和。

2) 放松结点 B ,即取消刚臂。

转动刚度:

$$S_{BA} = 3 \times \frac{EI}{l} = 3i, S_{BC} = 3 \times \frac{EI}{l} = 3i$$

分配系数:

$$\mu_{BA} = \frac{3i}{3i+3i} = \frac{1}{2}, \mu_{BC} = \frac{3i}{3i+3i} = \frac{1}{2}$$

校核:

$$\mu_{BA} + \mu_{BC} = 1$$

3) 效应叠加, 绘制弯矩图, 见图 5。

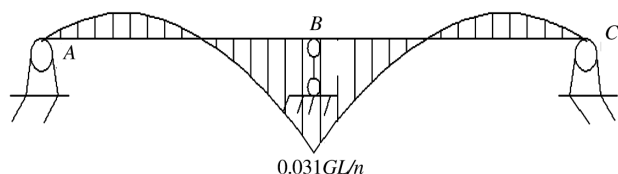


图 5 三横木等间距分布的纵木弯矩

Fig. 5 Three beam uniformly spaced stringer's bending moment diagram

一次静不定纵木的力矩分配法计算过程见表 1,

表 1 一次静不定纵木的力矩分配法计算过程

Tab.1 Calculation process of first static indeterminacy stringer's moment distribution

节点		A	B	C
分配系数			$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
固端弯矩		0	$\frac{qL_1^2}{8}$	$-\frac{qL_1^2}{8}$
1	放松 B	0	0	0
杆端弯矩		0	$\frac{qL_1^2}{8}$	$-\frac{qL_1^2}{8}$

由表 1 可知 $M_{\max} = \frac{qL_1^2}{8} = 0.01GL$, $\sigma = \frac{M_{\max}}{W_z} = \frac{0.01GL}{1/6b_1h_1^2} = 0.062 \frac{GL}{b_1h_1^2} \leq [\sigma]_{\text{纵木抗弯}}$, 式中 b_1 为纵木截面宽, h_1 为纵木截面高。

3.1.2 其它情况

4~6 根等距分布横木的情况下纵木的最大弯曲强度的计算方法, 和 3 根横木的情况类似, 同样利用结构力学中的力矩分配法来求解, 见表 2。

表 2 不同横木数情况下纵木的最大弯曲强度公式

Tab.2 The stringer's maximum strength formula in different number of beam

横木数	3	4	5	6
纵木强度	$\frac{0.062GL}{b_1h_1^2}$	$\frac{0.022GL}{b_1h_1^2}$	$\frac{0.014GL}{b_1h_1^2}$	$\frac{0.008GL}{b_1h_1^2}$

3.2 起吊动载荷对纵木弯曲强度的影响

冷轧薄钢板板包重量大, 其在车间中的转移主要依靠桥梁起重机。在起吊开始和结束阶段, 由于起吊速度的突然改变, 产生冲击加速度, 而加速度主要由

钢绳对木托架的作用力提供, 产生的冲击力作用于木托架, 这时就要考虑这种动载情况对木托架弯曲性能的影响。采用动载系数法来计算起吊动载荷对木托架的影响, 用钢板重量乘以动载系数加大静载, 将动态问题转换为静态问题。

根据《起重机设计规范》起升无约束的地面荷重, 当起升吊具将荷重吊离地面的瞬间, 其产生的动载效应, 用动载系数 ϕ_2 乘以起升荷重。动载系数 ϕ_2 根据起升速度和起重机型号来选取, 由于冷轧薄钢板用户使用的桥梁式起重机型号和起升速度并不统一, 为了保证在不同起重机型号和起升速度情况下木托架结构的稳定性, 在考虑动载影响时选取动载系数的最大值 $\phi_{2\max} = 1.9$ [8]。

4 实例分析与设计

以宽为 1200 mm, 长为 3000 mm, 载重为 8 t 的冷轧薄钢板为例, 设计其整体包装中使用的木托架结构。

1) 由于落叶松木材重而坚实, 抗压和抗弯曲强度大, 耐腐蚀性强, 这里选择落叶松为托架纵横木材料。在冷轧产品包装实际中, 木托架纵横木的截面尺寸分别为 120 mm×80 mm, 80 mm×80 mm。对某钢铁厂使用的木托架纵木进行抗弯试验, 得出 120 mm×80 mm 落叶松纵木的抗弯强度 $\sigma_{\text{纵木抗弯}} = 39.12$ MPa, 由于木材存在缺陷, 一般选用木材的安全系数 $k = 0.245$ [6]。那么 $[\sigma]_{\text{纵木抗弯}} = \sigma_{\text{纵木抗弯}} k = 39.12 \times 0.245 = 9.58$ MPa。

2) 假设选用 5 根等间距分布横木结构的木托架, 验算其能承受的载重。

由表 2 可知, 此时纵木的最大弯曲强度 $\sigma_{\max} = \frac{0.014GL}{b_1h_1^2}$, 考虑起吊动载荷的影响, 即 $\phi_2\sigma_{\max} = \frac{0.014\phi_2GL}{b_1h_1^2} \leq [\sigma]_{\text{纵木抗弯}}$ 。式中 $\phi_2 = 1.9$, $L = 3000$ mm, $b_1 = 120$ mm, $h_1 = 80$ mm, $[\sigma]_{\text{纵木抗弯}} = 9.58$ MPa, 可得木托架的承重 ≤ 9 t。

3) 假设选用 4 根等间距分布横木结构的木托架, 验算其能承受的载重。

此时纵木的最大弯曲强度 $\sigma_{\max} = \frac{0.022GL}{b_1h_1^2}$, 即 $\phi_2\sigma_{\max} = \frac{0.022\phi_2GL}{b_1h_1^2} \leq [\sigma]_{\text{纵木抗弯}}$, 将各参数值代入公式

(下转第 105 页)

量优化方法是可行的。分析结果对研究高速筒类旋转体时更具有实际工程意义。

3 结论

1) 使用 ANSYS 有限元分析软件解决传统的模态分析问题,作为一种新的设计手段,从动态特性上为静态优化结果提供了支持。

2) 通过对已有优化设计的纸箱印刷机滚筒进行模态分析,获得了纸箱印刷机滚筒优化前后的前 4 阶振型和固有频率。振型云图显示滚筒中梁的弯曲变形,可在优化设计过程中对薄弱环节进行考虑。得知滚筒的固有频率后,获得了各阶临界转速,可以避免由于其他同频干扰或激振造成的共振,提高了滚筒的强度和运行稳定性。

3) 验证了适当减小滚筒厚度和内梁直径并增加侧壁厚度的质量优化方法是可行的。

参考文献:

[1] 黄颖为,薛凤梅.印刷机滚筒动态性能的研究[J].包装

工程,2007,28(8):34—39.

[2] 丁兵,姜玲莲,吕文阁,等.基于 ANSYS 的印刷机滚筒结构优化[J].机电工程技术,2009(38):28—93.

[3] 曾台英,方立英,隋立明.印刷机工作平稳性影响因素的影响程度研究[J].包装工程,2011,32(5):65—68.

[4] ZHANG Li, ZU Xiao-yuan, GONG Yan-yue. Modal Analysis of Self-repairing Composite Gear Based on ANSYS[J]. Manufacturing Process Technology, 2011(189—193):2067—2070.

[5] 张庆山,刘其洪.基于 Workbench 的模切机印刷滚筒的模态分析及优化设计[J].包装工程,2011,32(3):60—62.

[6] 李晓丽,张安宁,潘先锋.基于 ANSYS11.0 的蜂窝纸芯静压特性研究[J].包装工程,2010,31(11):46—48.

[7] 张媛,刘玉德,刘斌.基于 FEM 的聚酯碳酸饮料包装瓶强度和结构分析[J].包装工程,2010,31(1):42—44.

[8] ZHANG Ya-wei, ZHANG Wei-min. Modal Analysis of Ball Screw Drive System by Finite Element Method[J]. Functional Manufacturing Technologies and Ceeusro II, 2011(464):285—288.

(上接第 84 页)

可得木托架的承重 ≤ 5.4 t。

4) 纵木长度同钢板长度,横木长度同钢板宽度。宽度为 1 200 mm、长度为 3 000 mm、载重为 8 t 的薄钢板木托架纵木的规格为 3 000 mm $\times$ 120 mm $\times$ 80 mm,横木的规格为 1 200 mm $\times$ 80 mm $\times$ 80 mm,木托架结构为 3 根纵木、5 根横木等间距分布,其结构见图 6。

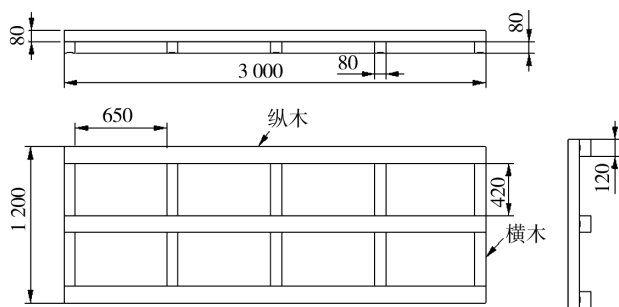


图 6 木托架结构

Fig. 6 The wooden pallet's structure chart

5 结语

对起吊工况下的三纵钢板材托架进行了受力分析,并考虑了起吊动载荷对木托架弯曲强度的影响,

得出了不同横木情况下纵木的最大弯曲强度理论公式。在冷轧薄钢板材木托架结构设计时,先根据薄钢板的规格确定纵横木的长度,然后根据纵木的最大弯曲强度公式为不同载重的冷轧薄钢板包选择合适数量的横木。通过建立冷轧薄钢板载重和横木数量之间的理论关系,从一定程度上减少了木材的浪费。

参考文献:

[1] 刘宝朋,陆佳平.钢板材木托架的受力分析和结构优化[J].包装工程,2010,26(11):60—62.

[2] 何为宏,卢立新.木质托盘铺板的受力分析与设计[J].包装工程,2008,29(2):70—72.

[3] 李玲,李大纲.竹木复合材料托盘力学性能的研究[J].包装工程,2005,26(3):8—9.

[4] 刘宝朋,陆佳平.基于 ANSYS 的木托架吊运工况的挠度分析[J].科学技术与工程,2010,10(21):36—39.

[5] 杨天祥.结构力学[M].北京:高等教育出版社,1983.

[6] 张景良.木材知识[M].北京:中国林业出版社,1983.

[7] 彭国勋.运输包装[M].北京:北京印刷工业出版社,2004.

[8] GB 3811—2005,起重机设计规范[S].