

技术专论

立式钢卷十字型钢托架结构研究与实现

刘海江, 付志鹏, 陈莉云, 周呈呈
(同济大学, 上海 201804)

摘要: **目的** 针对传统木托架在钢卷包装运输过程中存在的适应能力差、强度不足和使用寿命短等缺陷,根据某企业的需求,设计了一种尺寸可调节、可承载不同规格立式钢卷的十字型钢托架结构。**方法** 该结构主要由十字型连接件和4个可伸缩的托架臂构成,通过可伸缩托架臂设计,实现了尺寸的可调节功能。**结果** 对托架进行抗弯强度和刚度计算,得出托架的最大应力和最大变形分别为50.23 MPa和0.54 mm。对托架进行承载钢卷时静态有限元软件验证的结果分别为50 MPa和0.64 mm。**结论** 该托架力学性能的分析计算结果与有限元仿真结果基本相符,表明其承载能力是合格的。

关键词: 钢卷包装; 立式钢卷托架; 结构设计; 有限元分析

中图分类号: TB485.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)17-0039-04

Research and Implementation of Structure for Vertical Roll Cross-shaped Steel Bracket

LIU Hai-jiang, FU Zhi-peng, CHEN Li-yun, ZHOU Cheng-cheng
(Tongji University, Shanghai 201804, China)

ABSTRACT: Objective Aiming at traditional wooden brackets' various defects including poor adaptability, insufficient strength and short lifespan in packaging and transportation of steel coils, and a certain enterprise' s needs an adjustable, a removable, recoverable new structure was designed for vertical roll cross-shaped steel bracket. **Methods** This structure was mainly composed of cross connectors and four retractable bracket arms. The bracket arms could stretch out and draw back freely, and the bracket could adjust its size. **Results** When analyzing the bending strength and rigidity, the maximal stress and maximal deformation of the bracket were 50.23 MPa and 0.54 mm, respectively. The corresponding finite element results were 50 MPa and 0.64 mm, respectively. **Conclusion** The finite element simulation results and theoretical calculation results were basically consistent, so the design of the new cross bracket structure was reasonable.

KEY WORDS: coil packaging; vertical steel coil bracket; structural design; finite element analysis (FEM)

包装是在物流过程中为了保护产品、方便储运、促进销售,按照一定的技术方法采用容器、材料及辅助物等,将物品包封并予以适当装潢和标志的工作总称^[1]。随着国内钢铁行业的蓬勃发展,钢卷包装作为钢铁冷轧生产的最后一道工序,其工艺越来越受到重视。

在冷轧立式钢卷的包装中,其承载的托架一般为木托架。托架尺寸和结构的设计多年来主要依靠经

验,易造成不必要的经济损失和安全隐患。为此,国内外学者越来越重视对包装用木托架的研究。江南大学的刘宝朋^[2]运用有限元分析软件,对用于薄钢板材等运输包装的木托架在吊运工况下的挠度特性进行了分析。刘锋枫^[3]对在均布载荷下木质托盘的抗弯力学性能进行了研究。

随着我国钢铁企业的不断发展和市场不断向外扩张,传统木托架的问题也越来越凸显。木托架的适

收稿日期: 2013-03-16

作者简介: 刘海江(1967—),男,江苏宝应人,博士,同济大学教授、博士生导师,主要研究方向为精密测量方向。

应能力差,1种规格的托架只能运输1种相应直径的钢卷,对于同时生产多种直径钢卷的厂家,则须制作多种规格托架,增加了制造成本。传统木托架只能一次性使用,无法循环利用,并且由于其各部件是固定连接,无法进行拆卸回收,对环保极其不利。木托架也存在强度不足、耐腐蚀性差、无法安全可靠地应对各种复杂工况等问题。为此,设计了一种可调节、可拆卸、可回收、强度高、耐腐蚀性强、安全性好和使用寿命长的立式钢卷包装用托架,以满足某钢铁企业冷轧立式钢卷的包装运输需求。

1 立式钢卷十字型钢托架结构设计

针对木托架存在的问题,以及某企业提出的可调节、可拆卸和可回收要求,新设计的托架应该满足如下功能要求。

1) 必须能安全可靠地承载立式钢卷。

2) 在吊运、叉车等复杂工况下,必须保证该托架能安全地运输钢卷。

3) 应能调节自身尺寸来适应各种直径的钢卷,使得托架具有良好的适应性。

4) 应能拆卸和回收,以获取良好的经济效益和生态效益。

根据托架的功能要求设计托架结构见图1。可见托架的结构设计主要是对托架臂和连接件进行结构设计。十字型连接件的设计考虑到实际工作时钢卷需要进行初步定位,以防止钢卷与托架产生相对滑动,因此把连接件设计成4个连接臂边缘都为圆弧状,其直径尺寸和钢卷内径尺寸相匹配,见图2。在实际工作中,连接件用来连接托架的4个连接臂,且在连接件和托架臂之间设计合理的高度差来对钢卷进行定位。连接件和托架臂之间、托架臂的各部件之间都采用螺栓连接,便于拆卸和可回收。

托架臂的设计考虑到托架需要调节自身尺寸,因此把托架臂设计为由2个可以相对滑动的槽钢上、下放置而成的结构。上层槽钢通过两端的凸起和下层槽钢上的凹槽相配合,使得上层槽钢可在下层槽钢上进行相对滑动。在实际操作时,可通过调节上层槽钢的位置来改变托架臂的尺寸,继而实现托架尺寸的可调节。上层槽钢和下层槽钢具体结构见图3。最终的托架结构见图4。该结构也成功地实现了可调节和可

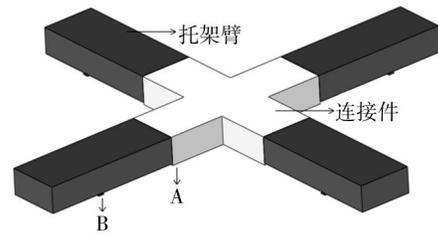
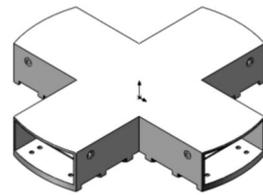


图1 托架结构

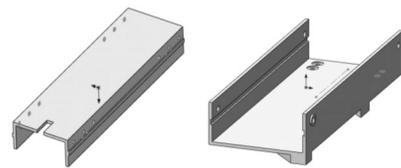
Fig.1 Bracket structure diagram



连接臂截面尺寸:壁厚7 mm

图2 十字型连接件结构

Fig.2 Structure of cross-shaped connecting piece



上、下层槽钢截面尺寸:壁厚7 mm

图3 上下层槽钢结构

Fig.3 Structure of the up-layer and lower-layer of slider beam

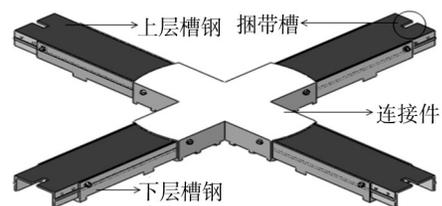


图4 十字型钢托架结构

Fig.4 Structure of vertical roll Cross-shaped steel bracket

拆卸、可回收等功能。

2 立式钢卷十字型钢托架结构计算与有限元仿真分析

托架是用来承载和运输立式钢卷(简称立卷)的,其所受的外力主要来自立卷对它的压力,因此,对托架进行结构计算和有限元仿真之前,有必要对立卷进

行简单分析。为了保证托架能安全可靠地承载立卷,后面的计算都以最大规格立卷为例来进行。立卷规格参数见表1,可计算得出最大规格的立卷重量约为0.2 MN。钢卷存储时会进行堆垛,因而托架最大载重G为最大规格立卷重量的2倍,即0.4 MN。

表1 立卷规格参数

Tab.1 Specification parameters of vertical roll

参数	内径 d/mm	外径 D/mm	宽度 h/mm	密度 $\rho/(kg \cdot m^{-3})$
取值	610/508	800 ~ 1600	800 ~ 1500	7.8×10^{-3}

2.1 结构设计计算

为了解决传统木托架强度不足、耐腐蚀性差等问题,该托架采用普碳钢Q235,其性能见表2^[4]。

表2 Q235材料属性

Tab.2 Q235 properties

弹性模量/ GPa	屈服强度/ MPa	抗拉强度/ MPa	抗弯强度/ MPa	许用 挠度
200	235	375	205	1/300

托架结构的设计计算实质是对托架进行力学能力校核。其中,最主要的是对托架臂进行抗弯能力校核。托架臂的抗弯能力主要是指抗弯强度和刚度。

2.1.1 抗弯强度校核

抗弯强度是衡量托架抵抗弯曲而不断裂的能力。如果托架的抗弯强度不够,托架就容易发生断裂,导致托架承载失效。

对托架进行受力分析。由图1可知,托架主要是由托架臂部承载钢卷,且托架4条臂是对称的,因此对托架进行分析时只需要对托架其中1条臂进行分析即可。托架承受均布载荷后,托架臂受力情况见图5(A、B两点与图1对应)。根据图5,在A点进行分析,可以得出以下方程:

$$F_2 + F_2 = G/4$$

$$F_2 \times (L - L_2) = G \times L/8$$

分析托架臂的弯矩,由材料力学理论得:

$$M = qx^2/2 \quad (0 \leq x \leq L_1)$$

$$M = qx^2/2 - F_2 \times L_1 \quad (L_1 \leq x \leq L)$$

$$q = G/(4L)$$

式中: x 为被研究截面到托架臂边缘的距离。

根据上述公式,均布载荷下托架臂的弯矩见图6。

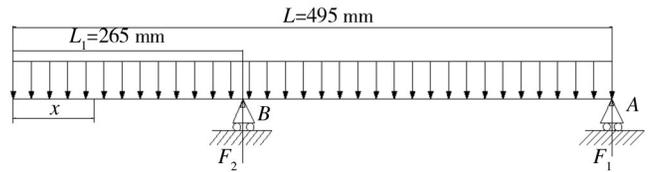


图5 托架臂力学模型

Fig.5 Mechanical model for bracket arms

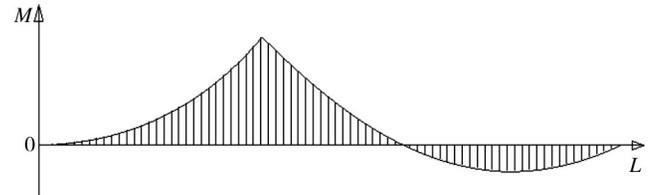


图6 托架臂弯矩

Fig.6 Bending moment diagram of bracket arms

根据图6可知,弯矩最大是在B点处,即最大弯矩:

$$M_{\max} = \frac{1}{2}qL_1^2 = 7083.2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

则托架抗弯强度条件为: $\sigma_{\max} = M_{\max}/W = 50.23 \text{ MPa} < [\sigma]_2$,其中W为托架梁的截面系数,其数值^[4]为141。托架抗弯强度合格。

2.1.2 抗弯刚度校核

抗弯刚度是用来衡量托架抗变形的能力。如果托架的抗弯刚度不足,那么在承载时会发生大的变形,容易引发事故。

对托架梁最大变形进行分析,即要进行挠度计算:

$$f = qL^4/(8EI) = 0.54 \text{ mm}$$

式中, I 为惯性矩,其数值^[4]为1270 cm^4 。

则托架抗弯刚度条件为: $f/L \approx 1/917 < [f/L]$,因此,托架的抗弯刚度合格。

综合抗弯强度和刚度的计算结果,立式钢卷十字型钢托架的承载能力是合格的。

2.2 有限元仿真分析

以承载最大规格立卷的托架为例,建立托架的有限元模型,见图7。对托架底面的凸台面进行6个自由度全约束,并在如图4所示的上层槽钢上表面加均布载荷,数值为1.14 MPa,方向为垂直于该表面向下。

对有限元结果进行分析。托架的应力和形变见图8。由图8a可知,托架最大应力出现在捆带槽处,数

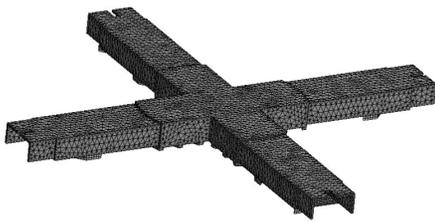


图7 托架有限元模型

Fig. 7 Finite element model of the bracket

值为 184 MPa, 小于托架所用材料的许用压应力。托架最大应力与理论计算有很大差别, 是由于托架在捆带固定槽处存在应力集中。如不考虑应力集中, 只看与图 5 中 B 点对应处的应力, 数值约为 50 MPa, 与理论计算所得 50.23 MPa 基本相符。由图 8b 可知, 托架的最大形变量出现在托架臂的最外端, 数值为 0.64 mm, 与理论计算所得 0.54 mm 基本相符。由此可见, 立式钢卷十字型钢托架的承载能力是合格的。

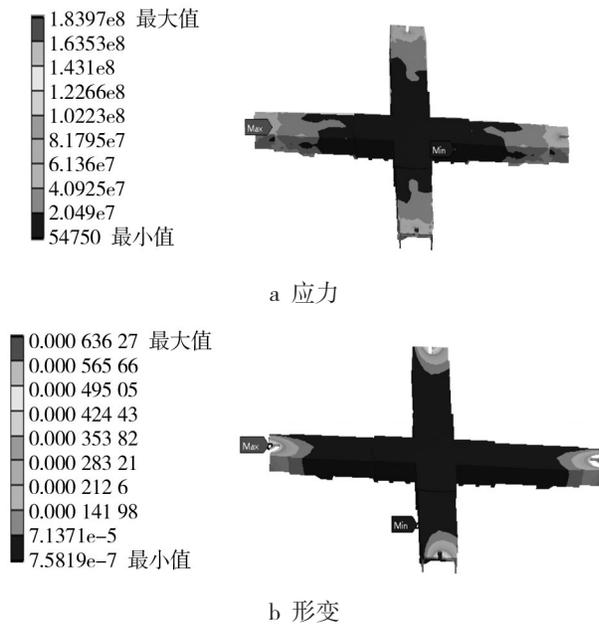


图8 托架应力及形变

Fig.8 Stress and deformation of the bracket

3 结语

针对传统木托架存在的适应能力差、强度不足和使用寿命短等缺陷, 提出了一种立式钢卷十字型钢托架结构。该结构由十字型连接件和 4 个托架臂构成, 通过托架臂可伸缩设计, 实现了可调节功能, 通过托架各个部件间采用螺栓连接设计, 实现了可拆卸和回

收功能。对托架的力学性能进行分析和有限元仿真, 结果表明该托架的承载能力是合格的。该托架不仅能满足钢铁企业对托架承载能力的需求, 而且能实现对托架可调节、可拆卸和可回收等功能。

参考文献:

- [1] 刘明利, 于革刚, 孙瑞涛, 等. 钢卷包装工艺技术研究[J]. 冶金设备, 2005(3): 35—38.
LIU Ming-li, YU Ge-gang, SUN Rui-tao, et al. Research for Process of the Coil Packaging[J]. Metallurgical Equipment, 2005(3): 35—38.
- [2] 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): 5236—5239.
LIU Bao-peng, LU Jia-ping. Based on Ansys Deflection Analysis of Wooden Bracket When Lifting[J]. Science Technology and Engineering, 2010, 10(21): 5236—5239.
- [3] 刘锋枫, 陆佳平. 均布载荷下木质托盘抗弯力学性能研究[J]. 包装工程, 2008, 29(3): 33—35.
LIU Feng-feng, LU Jia-ping. Study on the Anti-bending Mechanical Performance of Wooden Pallets under Uniformly Distributed Load[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(3): 33—35.
- [4] 闻邦椿. 机械设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
WEN Bang-chun. Mechanical Design Handbook[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2009.
- [5] 罗迎社. 材料力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2013.
LUO Ying-she. Mechanics of Materials[M]. Beijing: Higher Education Press, 2013.
- [6] 李兵. Ansys 工程应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
LI Bing. Ansys Engineering Application[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2010.
- [7] 刘宝朋, 陆佳平. 薄钢板材包装用木托架的受力分析和结构优化[J]. 包装工程, 2010, 31(11): 42—45.
LIU Bao-peng, LU Jia-ping. Stress Analysis and Structural Optimization of Wooden Pallet for Distribution Package of Thin Steel Plate[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(11): 42—45.
- [8] 刘海江, 段思斌. Pesimal 全自动钢卷包装生产线工艺研究分析[J]. 包装工程, 2013, 34(21): 61—65.
LIU Hai-jiang, DUAN Si-bin. Pesimal Fully Automatic Coil Packaging Line[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(21): 61—65.

(下转第 47 页)

- of the Corrugated Paper Board[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(1):1—4.
- [3] 张志昆. 瓦楞纸箱抗压性能试验研究[J]. 包装工程, 2012, 33(15):44—47.
ZHANG Zhi-kun. Experiment and Research on Compressive Property of Corrugated Carton[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(15):44—47.
- [4] BENJAMIN F. Corrugated Box Compression—A Literature Survey[J]. Packaging Technology and Science, 2013, 21(1):6—20.
- [5] 马杨晓, 罗毅, 赵友明, 等. 四款纸盒CAD设计软件的对比分析[J]. 印刷技术, 2010(18):46—48.
MA Yang-xiao, LUO Yi, ZHAO You-ming, et al. Comparative Analysis of Four Kinds of Packaging Carton CAD Software [J]. Print Technology, 2010(18):46—48.
- [6] JORIS S, VERGEEST M. The Position of CAD Development in Design Research[J]. Tools and Methods for Concurrent Engineering, 1996, 23:119—129.
- [7] MITCHELL H, ELINOR B, CYNTHIA T, et al. The Use of ArtiosCAD Software in Corrugated Packaging Design Courses [J]. Technology Education Journal, 2011, 101:350—361.
- [8] 陈满儒. TOPS Pro—一个功能强大的包装优化设计软件[J]. 包装工程, 2004, 25(2):135—137.
CHEN Man-ru. TOPS Pro—A Total Optimization Packaging and Palletization Software[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(2):135—137.
- [9] 王璐. 包装魔术师—让包装设计多变有趣[J]. 技术前沿, 2010(12):54—55.
WANG Lu. The Packaging Magician—Make Packaging Design Variable and Interesting[J]. Forefront of the Industry, 2010(12):54—55.
- [10] 王潍, 王劲, 王艳芳, 等. Solid Edge 基础应用与实践[M]. 北京:清华大学出版社, 2011.
WANG Wei, WANG Jin, WANG Yan-fang, et al. Application and Practice of Solid Edge[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2011.
- [11] 何自芬, 张印辉. 基于有限元法的包装箱抗压性能研究[J]. 包装工程, 2009, 30(3):39—41.
HE Zi-fen, ZHANG Yin-hui. Study of Compression Resistance of Packaging Box Based on Finite Element Method[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(3):39—41.
- [12] 段艳健, 钱怡. 基于ANSYS Workbench的瓦楞纸箱抗压性能仿真研究[J]. 包装工程, 2012, 33(9):23—26.
DUAN Yan-jian, QIAN Yi. Simulation Study of Compression Strength of Corrugated Box Based on ANSYS Workbench[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(9):23—26.
- [13] TALBI N, BATTI A, AYAD R, et al. An Analytical Homogenization Model for Finite Element Modelling of Corrugated Cardboard[J]. Composite Structures, 2009(8):280—289.
- [14] ABOURA Z, TALBI N, ALLAOUI S, et al. Elastic Behavior of Corrugated Cardboard: Experiments and Modeling[J]. Composite Structures, 2004(63):53—62.
- [15] 彭国勋. 瓦楞包装设计[M]. 北京:印刷工业出版社, 2013.
PENG Guo-xun. Corrugated Packaging Design[M]. Beijing: The Printing Industry Press, 2013.
- [16] 彭国勋. 物流运输包装设计[M]. 北京:印刷工业出版社, 2012.
PENG Guo-xun. The Packaging Design of Logistics Transport [M]. Beijing: Printing Industry Press, 2012.
-
- (上接第42页)
- [9] 刘海江, 周呈呈. 钢卷包装中周向内捆带及卷眼捆带的力学性能分析[J]. 包装工程, 2013, 34(15):70—74.
LIU Hai-jiang, ZHOU Cheng-cheng. Mechanical Property Analysis of Radial Strap and Inner Circle Strap in Steel Coil Packaging[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(15):70—74.
- [10] 刘海江, 郭瑞玲. 考虑层间作用的冷轧钢卷抗凹性分析[J]. 包装工程, 2012, 33(1):58—61.
LIU Hai-jiang, GUO Rui-ling. Dent Resistance Analysis of Cold Steel Coil Considering Interlayer Effect[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(1):58—61.
- [11] ZHANG Fu-xiang, LI Wen-zhong. Application of Modern Design Methods in the Graduation Designs of Mechanical Engineering Science[J]. Communications in Computer and Information Science, 2011, 243(1):330—336.
- [12] GEDIG M, STIEMER S F. Methods for Selection of Efficient Forms in Conceptual Structural Design[J]. Proceedings, Annual Conference—Canadian Society for Civil Engineering, 2008(2):1204—1213.
- [13] GRIERSON D E. Structural Analysis for Structural Design[J]. Analysis and Computation, 1994:133—144.(余不详)
- [14] ZHOU Ran, SU Shu-qiang, YAN Li-ping, et al. Effect of Transport Vibration Levels on Mechanical Damage and Physiological Responses of Huanghua Pears[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 46(1):20—28.
- [15] BRUCE E. Common Load Factors For Structural Design[J]. Natl Swedish Inst for Building Research, 1983:12—13.(余不详)