

包装机械

一种新型可伸缩调节托盘的设计与实现

杨菊花, 刘林忠, 陈光武
(兰州交通大学, 兰州 730070)

摘要: **目的** 研究并解决托盘尺寸与铁路运输常用运载工具规格不匹配的问题。**方法** 设计了一种新型的托盘, 在常规托盘的基础上增加可移动部分, 以实现托盘尺寸规格的可调节。**结果** 对比计算表明, 在绝大多数情况下, 尺寸调节后的托盘在铁路运输常用运载工具上装载后, 载盘效率会随着托盘拉伸长度的增加而增加。为了进一步说明托盘拉伸后的允许载荷量, 运用 SolidWorks 软件针对 3 种常用材质的托盘进行了有限元分析, 在托盘拉伸 100 mm 后其载荷仍可达 1.5 t 左右。**结论** 尺寸规格可调节的新型托盘较之常规托盘, 在与运载工具匹配性和载荷量两方面都具有优越性。

关键词: 托盘; 可伸缩; 铁路运输; 匹配; 有限元分析

中图分类号: TB485.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)11-0115-07

Design and Implementation of a New Kind of Extensible Pallet

YANG Ju-hua, LIU Lin-zhong, CHEN Guang-wu
(Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

ABSTRACT: The main purpose was to research and solve the specification mismatching between pallet and railway carrier. A new kind of pallet was designed through adding extensive parts on the conventional pallet so as to realize the specification adjustment. Through comparing the pallet capacity before and after specification adjustment, it was clear that the pallet capacity in railway carrier could be improved with the increased extension length. In order to further determine the allowed load of the extensible pallet, finite element analysis using SolidWorks was conducted, and the data showed that the load could reach 1.5 ton as the extension length reached 100 mm. All the above results verified the superiority of the new extensible pallet in matching with railway carrier and loading capacity as compared with the ordinary pallet.

KEY WORDS: pallet; extensible; railway transportation; matching; finite element analysis

托盘是全世界范围内使用最为广泛的一种集装器具, 铁路货物运输小件货物集装化过程中常用的集装器具主要为托盘。在兰州铁路局管内多个货场托盘使用现状的调研中发现存在诸多问题, 如托盘的规格较多, 木质托盘的数量占绝大多数, 托盘的一贯化程度不高等。存在这些问题深层次的原因在于生产企业往往根据自己产品的包装设计和订制托盘, 这是一种本末倒置的现象, 使现有托盘规

格混乱, 难以统一^[1], 严重阻碍了我国托盘标准化的进程。

国外已经实现了托盘的标准化, 很多经济发达国家建立了托盘的共用系统, 并成功运作了很多年。托盘已经渗入到装卸搬运、保管、运输和包装等各个物流环节, 因此托盘的规格尺寸是产品尺寸、集装单元尺寸、运载工具尺寸的核心^[2]。针对托盘标准化的研究较多, 大多集中在宏观和微观两方面。

收稿日期: 2015-10-27

基金项目: 国家自然科学基金 (71361018); 教育部人文社科基金 (15YJCZH200); 甘肃省自然科学基金 (1506RJZA079)

作者简介: 杨菊花 (1978—), 女, 甘肃甘谷人, 博士研究生, 兰州交通大学副教授, 主要研究方向为交通运输规划与管理。

宏观上主要从托盘标准化与整个物流系统运作及其效率方面展开探讨^[3-4],微观上主要研究某个区域或某种类型的托盘使用现状中存在的问题及标准化的举措^[5-6]。可以看出,当前针对托盘标准化的主流研究方向为如何使产品尺寸和运载工具的尺寸适应标准托盘的规格,这种标准化的进程在我国短期内难以实现。

文中针对当前货物运输包装规格与当前国家标准托盘不匹配的问题,通过参考当前国内外托盘设计中考虑的载荷量和铺面标准等因素^[7-8],设计一种规格可伸缩调节的托盘,提高对多种货物运输包装和不同运载工具的适应性。运用伸缩前后载盘效率的对比,进行托盘与铁路运输常用运载工具的匹配性分析,并运用 SolidWorks 软件对这种新型托盘在长度拉伸后的允许载荷进行分析,验证其可行性。

1 可伸缩调节托盘结构设计

目前我国国家标准托盘共有两种,尺寸为 1200 mm×1000 mm 和 1100 mm×1100 mm,设计的新型可伸缩托盘的设计以 1100 mm×1100 mm 规格为基础。

新型可伸缩托盘的结构设计主要包括托盘主体部分、托盘可移动部分和滑道导轨的设计三部分。托盘的主体部分是托盘承重的基础,极大地影响托盘的稳定性和安全性,是影响托盘最大载荷的重要因素;托盘的移动部分和滑道导轨是实现托盘可伸缩的前提,也是整个托盘设计的核心。

1.1 托盘底部的设计

新型可调节托盘底部共设计 9 个立方体底柱,每个底柱都是 100 mm×100 mm×90 mm 的立方体,按 3×3 的方阵排列,底柱在长度方向上以 350 mm 间距排列,在宽度方向上以 400 mm 间距排列,整体构成了一个大小为 1000 mm×1100 mm 的方阵,见图 1。

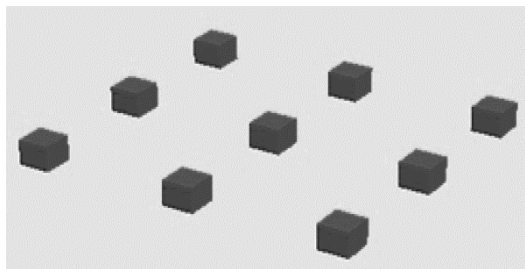


图 1 托盘底柱示意

Fig.1 Pillar arrangement of the pallet

1.2 托盘纵梁和铺板的设计

托盘设计 4 条纵梁,其中 3 条为固定纵梁,1 条为可移动纵梁。固定纵梁沿长度为 1100 mm 方向等宽分布于 3 个底柱之上,可移动纵梁设计在托盘沿长度 1000 mm 一侧。在固定纵梁之上设计 6 条规格相同的不可移动铺板,令它们与固定纵梁垂直等宽分布,其规格均为 1000 mm×100 mm×20 mm,见图 2;设置 5 根可移动铺板,与可移动纵梁连接成整体,见图 3,其规格比不可移动铺板略小,为 1000 mm×90 mm×20 mm,使得铺板之间保留 5 mm 的间隙,以保证托盘可移动部分进行拉伸时的顺畅。

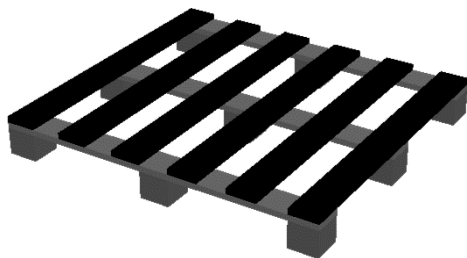


图 2 托盘不可移动部分

Fig.2 Immovable part arrangement of the pallet

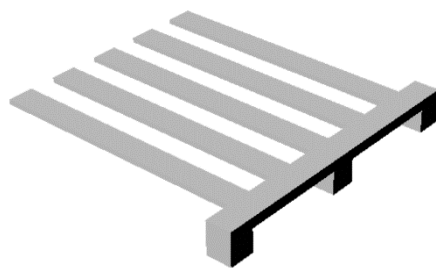


图 3 托盘可移动部分

Fig.3 Movable part arrangement of the pallet

1.3 托盘滑道导轨的设计

托盘的滑道导轨设计为钢制滚珠滑轨,安置在铺板一侧或两侧,见图 4。可调节滑道导轨的调节功能,是通过设置在可移动铺板两端外侧的卡扣和设置在不可移动铺板两端内侧的卡槽实现的。首先,在可移动铺板两端外侧设置 7 个可凸出和缩进的弹性钢制卡扣,令其两两相间 50 mm,其中最后一个卡扣为预留卡扣,一般不使用;其次在不可移动铺板两端内侧设置卡槽,卡槽固定设置,不可缩进或凸出。当移动滑轨上的卡扣经过卡槽时就会被卡在槽内,以此固定住托盘的可移动部分,从而实现托盘的准确调节,见图 5。托盘的总体设计见图 6。

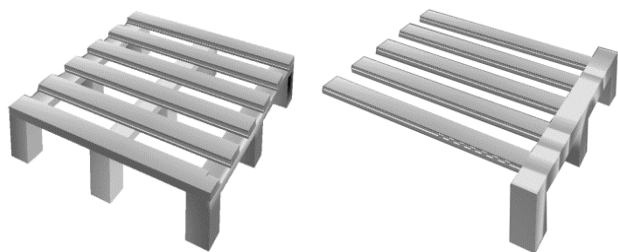


图 4 滑道导轨的安置
Fig.4 The arrangement of sliding guide

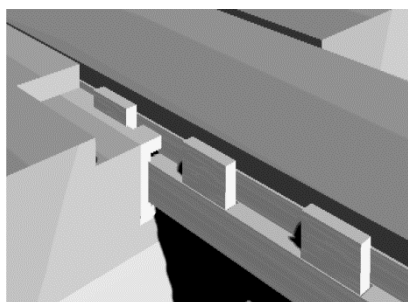


图 5 卡扣和卡槽
Fig.5 The layout for clip and groove

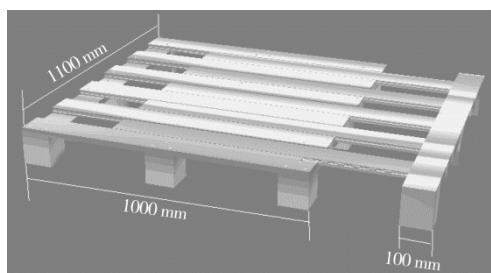


图 6 新型可伸缩调节托盘总体
Fig.6 The overall arrangement of the new type of size-adjustable pallet

2 可伸缩调节托盘的其他说明

2.1 拉伸尺寸说明

托盘未拉伸时,为 $1100\text{ mm}\times 1100\text{ mm}$ 的方形,移动部分拉伸之后,托盘的规格则会变大,通过将托盘的可移动部分拉出 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300 mm,可得到规格逐渐增大的托盘,分别为 $1100\text{ mm}\times 1100\text{ mm}$, $1100\text{ mm}\times 1150\text{ mm}$, $1100\text{ mm}\times 1200\text{ mm}$, $1100\text{ mm}\times 1250\text{ mm}$, $1100\text{ mm}\times 1300\text{ mm}$, $1100\text{ mm}\times 1350\text{ mm}$, $1100\text{ mm}\times 1400\text{ mm}$ 。

2.2 叉孔的位置说明

可伸缩调节托盘为单面四向进托盘,叉孔的位置在托盘的四侧,叉孔 2 和叉孔 4 的大小为 350

$\text{mm}\times 110\text{ mm}$,叉孔 1 和叉孔 3 的大小为 $400\text{ mm}\times 90\text{ mm}$,见图 7。

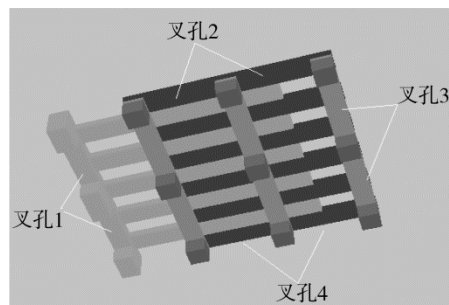


图 7 叉孔的位置
Fig.7 Position diagram of pallet entry

3 与运载工具的匹配性分析

可伸缩调节托盘与运载工具的匹配性可用载盘效率来表示。载盘效率是指某一运载工具能够装载同一规格托盘的最大数量和每只托盘的载货面积之积,占该运载工具货台面积的比例,一般用百分比来表示,载盘效率越高,表示载货效率越高^[9]。

在我国的铁路运输中,通常按照运输包装的形态来选择运载工具。托盘适合集装成件包装货物,托盘化的集装单元可以采用整车和集装箱两种办理方式,整车运输常用的运载车辆类型为棚车,集装箱主要采用 20 英尺和 40 英尺(1 英尺=0.3048 m),配合叉车实现托盘的机械化装卸。以棚车和集装箱两种类型的运载工具为准,对托盘规格的调节与运载工具载盘效率之间的关系进行分析。以 P_{64} 型棚车为例,说明托盘的规格调节与运载工具载盘效率之间的关系。

P_{64} 型棚车的内部长和宽为 $15500\text{ mm}\times 2796\text{ mm}$,故在其宽度方向上可放置 2 个方形托盘。此时,宽度方向上剩余 596 mm ,载盘效率为 78.18%;当托盘拉伸长度为 150 mm 时,宽度方向上的剩余为 296 mm ,载盘效率为 88.84%;当托盘拉伸长度为 250 mm 时,宽度方向上的剩余为 96 mm ,见图 8。此时的载盘效率达到最大,为 95.94%。

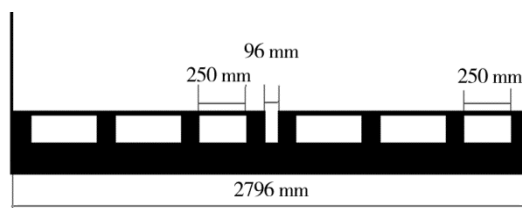


图 8 托盘拉伸长度为 250 mm 时的棚车装载截面
Fig.8 Loading section of box wagon when the pallet was stretched by 250 mm

同理, 计算不同型号的棚车和集装箱在托盘不同拉伸长度下的载盘个数和载盘效率, 见表 1 和 2。

表 1 不同拉伸长度下常见铁路棚车的载盘效率
Tab.1 Pallet capacities in common railway box wagons with different elongation %

车型 (车 内 长 × 宽 / mm)	拉伸长度 / mm						
	0	50	100	150	200	250	300
P ₁₃ (15470×2830)	77.39	81.00	84.42	87.84	91.46	94.97	98.49
P ₆₀ (15470×2830)	77.39	81.00	84.42	87.84	91.46	94.97	98.49
P ₆₁ (15140×2830)	73.43	76.76	80.10	93.44	86.78	90.11	93.45
P ₆₂ (15495×2820)	77.54	81.06	84.58	88.11	91.63	95.16	98.68
P _{62n} (15495×2820)	77.54	81.06	84.58	88.11	91.63	95.16	98.68
P ₆₄ (15500×2796)	78.18	81.73	85.28	88.48	92.39	95.94	88.40
P _{64a} (15500×2796)	78.18	81.73	85.28	88.48	92.39	95.94	88.40
P ₇₀ (16087×2793)	75.40	78.83	82.26	85.69	89.11	92.54	89.11

表 2 不同拉伸长度下铁路常用集装箱的载盘效率
Tab.2 Pallet capacities in common railway containers with different elongation %

箱型(箱内长 × 宽 / mm)	拉伸长度 / mm						
	0	50	100	150	200	250	300
20 英尺(5867 × 2330)	88.51	92.54	86.90	80.47	83.69	86.90	90.12
40 英尺(12062 × 2330)	85.37	89.26	93.14	87.31	90.81	83.82	86.93

从表 1 可以看出, P₆₄, P_{64A}, P₇₀ 在托盘拉伸长度为 300 mm 时除外, 铁路常用棚车的载盘效率均随着托盘拉伸长度的增大而增大, 且均大于使用方形托盘时的载盘效率。从表 2 可以看出, 20 英尺集装箱在托盘伸出长度为 50, 100 mm 时, 其载盘效率大于使用方形托盘时的载盘效率; 40 英尺集装箱除托盘拉伸长度为 250 mm 外, 其载盘效率均大于使用方形托盘时的载盘效率。可见, 可调节托盘能够增加铁路常用棚车和集装箱的载盘效率, 有利于铁路的运输生产。

4 基于 SolidWorks 的载荷量分析

为了验证新型可伸缩调节托盘在长度拉伸后的允许载荷, 找出拉伸量与载荷之间的关系, 需对托盘进行受力分析。目前对托盘载荷的受力分析, 主要考虑均布载荷和集中载荷 2 种方式, 在验证时多考虑了托盘的静载荷, 所采用的工具包括 Anasys 和 SolidWorks 等^[10-11]。为了充分验证托盘长度拉伸对允许载荷量的影响, 保证运输安全, 不仅验证了均布静载荷, 也利用 SolidWorks 软件对使用叉车等搬运设备时托盘在动态作业中的动载荷进行了有限元分析。

为了提高该新型托盘的实用性, 通过调研兰州

铁路局管内主要装车站采用的托盘材质, 以及新型环保材质的引入, 在利用 SolidWorks 软件对托盘进行静载荷和动载荷分析时, 选用了轻木、PE 高密度塑料和塑木等 3 种流通中常见的材质。各种材质在 SolidWorks 软件中的属性定义见图 9。

属性	数值	单位
弹性模量	1070	牛顿/mm ²
中泊松比	0.4101	不适用
中抗剪模量	377.2	牛顿/mm ²
质量密度	952	kg/m ³
张力强度	22.1	牛顿/mm ²
压缩强度		牛顿/mm ²
屈服强度	27	牛顿/mm ²
热膨胀系数		/K
热导率	0.461	W/(m·K)
比热	1796	J/(kg·K)
材料阻尼比率		不适用

a 轻木的属性

属性	数值	单位
弹性模量	3000	牛顿/mm ²
中泊松比	0.29	不适用
中抗剪模量	300	牛顿/mm ²
质量密度	159.99	kg/m ³
张力强度		牛顿/mm ²
压缩强度		牛顿/mm ²
屈服强度	20	牛顿/mm ²
热膨胀系数		/K
热导率	0.05	W/(m·K)
比热		J/(kg·K)
材料阻尼比率		不适用

b PE 高密度塑料的属性

属性	数值	单位
弹性模量	1800	牛顿/mm ²
中泊松比	0.4	不适用
中抗剪模量		牛顿/mm ²
质量密度	1000	kg/m ³
张力强度		牛顿/mm ²
压缩强度		牛顿/mm ²
屈服强度	20	牛顿/mm ²
热膨胀系数		/K
热导率		W/(m·K)
比热		J/(kg·K)
材料阻尼比率		不适用

c 塑木的属性

图 9 3 种材质的属性定义

Fig.9 Property definition for the three kind of materials

4.1 静载荷实验分析

运用 SolidWorks 对托盘静载荷的分析主要包括构造等效的构件模型、定义构件模型的材料、确定约束部位、添加相应载荷、网络化并运行、分析构件并查看分析结果等步骤^[13-14]，见图 10。

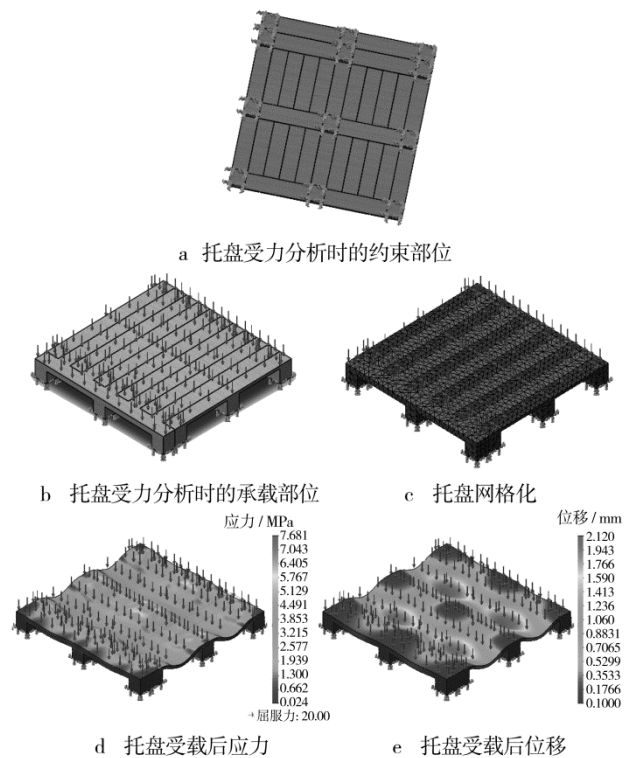


图 10 托盘静载荷分析步骤
Fig.10 Static load analysis steps of pallet

通过以上步骤，可得到这 3 种不同材质托盘在不同拉伸长度时的静载荷，见表 3。

表 3 不同伸长量及材质对应的静载荷
Tab.3 Static load for pallets with different elongation and different materials

伸长量/mm	轻木	PE 高密度塑料	塑木
0	6.408	7.459	6.693
50	5.724	5.857	5.846
100	3.887	4.581	4.057
150	3.714	4.357	3.846
200	4.408	5.142	4.551
250	4.979	5.744	5.091
300	4.000	4.459	3.969

可以看出，3 种材质托盘的变化趋势相近，初始随着拉伸量的增大静载荷减小，拉伸量为 150 ~ 250 mm 时，静载荷逐渐增大，拉伸量超过 250 mm 后，静载荷逐渐减小。

4.2 动载荷实验分析

托盘在流通中通常使用叉车等机械进行装卸

和搬运作业。在 SolidWorks 中研究托盘的动载荷，就相当于在托盘的底部加 2 个约束，这 2 个约束就是叉车的货叉。叉车货叉的材质通常为 40Cr^[12]，对托盘进行动载荷分析时，需自定义材料，属性采用 40Cr 的属性。在进行叉车货叉模拟的过程中，货叉进入叉孔的方向有 3 个。不可拉伸方向相对的 2 个叉孔受力分析一致，只分析一侧，见图 11a；可拉伸方向相对的 2 个叉孔需分别分析其受力情况，见图 11b 和图 11c。

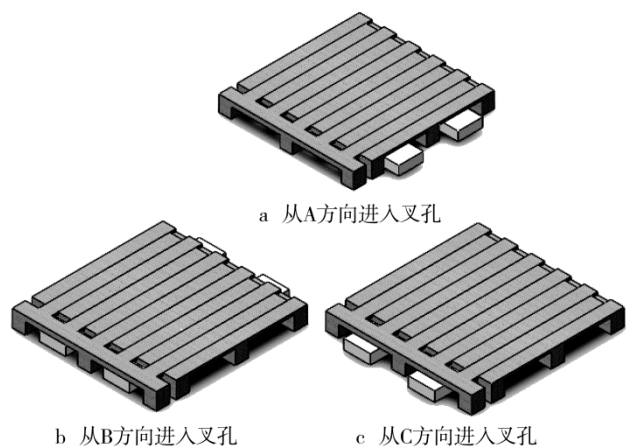


图 11 货叉进入托盘叉孔方向示意
Fig.11 The direction map for forklift fork getting into pallet

货叉从 3 个方向进入叉孔，拉伸量从 0 变化到 300 mm，可分别得出这 3 个方向的动载荷，据此绘制出托盘动载荷随着伸长量变化而变化的趋势图，见图 12。

为保证运输安全，托盘的动载荷应取 3 个方向的最小值，具体数值见表 4。

表 4 3 种托盘不同拉伸量下的动载荷
Tab.4 Dynamic Load under different elongation for three kinds of pallets

伸长量/mm	轻木	PE 高密度塑料	塑木
0	3.693	3.704	3.897
50	2.724	3.224	2.846
100	1.775	1.561	1.826
150	1.193	0.326	0.989
200	0.918	0.387	0.938
250	0.704	0.224	0.693
300	0.571	0.142	0.438

通过表 4 可以看出，3 种不同材质的可伸缩调节托盘在未拉伸时的载荷大于常规托盘的载荷；拉伸量为 100 mm 时，与常规托盘的标记载荷相当。拉伸后的动载荷随着伸长量的变化而减小，趋势明显，但其中轻木和塑木材质的托盘拉伸量超过 100

mm 时动载荷减小的程度,要小于塑料材质托盘动载荷的减小程度,因此轻木和塑木材质托盘拉伸后的载荷要优于塑料托盘。

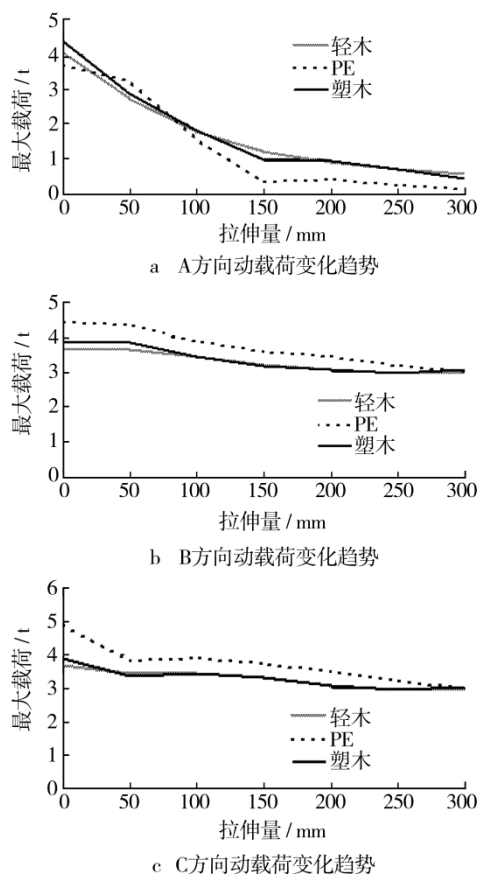


图 12 不同方向、不同拉伸量托盘动载载荷量变化趋势
Fig.12 Variations of dynamic load under different elongation in different direction

5 结语

针对铁路货物运输中的成件包装货物规格多样化导致托盘规格繁多的具体情况,为提高运载工具的载盘效率,设计了新型可伸缩调节托盘,具有以下优越性。

1) 结构设计突破常规托盘规格固定的缺陷,增加可移动纵梁和可移动铺板,并将滑道导轨、卡扣和卡槽运用于托盘铺板两侧,使托盘实现可伸缩调节,以此来提高对多规格货物和多种运载工具的适应性。

2) 在设计托盘可伸缩部的拉伸量时,重点考虑了目前铁路货物运输中装载托盘化集装单元常用的棚车与集装箱两种类型运载工具的内部尺寸,使拉伸后的托盘尺寸能够提高运载工具的载盘效率,并分车种和箱型找出了最有利的托盘拉伸尺寸,计算出了相应的载盘个数和载盘效率。

3) 基于 SolidWorks 的有限元分析,计算了不同拉伸尺寸下的静载荷和动载荷,分材质得到了不同承载面长度的最大载荷,为新型托盘的实际使用提供了详尽的理论分析和实验数据。此外,根据实验数据可知,当托盘拉伸 100 mm 后仍然与现有托盘的载荷相当,表明新型可伸缩调节托盘所能承载的对象范围,在货物的载荷还是尺寸方面都将得到很大的提升。

4) 虽然新型托盘增加了可拉伸部分,从制造成本上会比普通托盘高出 20% 左右,但由于其尺寸拉伸后载盘个数和载盘效率的提高,将使得新型托盘集装化单元较普通托盘集装化单元的铁路运输成本大为降低,且由于新型托盘承载货物尺寸范围的增加,企业也可节省不同规格托盘的购置和维修费用,因此具有广阔的市场应用前景。此外,设计了 50 mm 的基准拉伸尺寸,主要考虑了铁路常用运载工具的内部尺寸,如若应用于公路、水路和航空运输中,则应按照不同运输方式常用运载工具的内部尺寸另行设计基准调节尺寸。

参考文献:

- [1] 周康,何世伟,游玲君. 基于铁路运输的托盘共用模式研究[J]. 铁路运输与经济, 2013, 35(10):83—87.
ZHOU Kang, HE Shi-wei, YOU Ling-jun. Study on Palletized Share Mode based on Railway Transportation[J]. Railway Transportation and Economy, 2013, 35(10):83—87.
- [2] 吴清一. 托盘标准化是实现国际供应链无缝对接的起点[J]. 物流技术, 2010, 27(14):29—33.
WU Qing-yi. Pallet Standardization is the Origination for the Seamless Docking of International Supply Chain[J]. Logistics Technology, 2010, 27(14):29—33.
- [3] 吴清一. 托盘标准化是“大物流”的起点[J]. 物流时代, 2008, 25(9):64.
WU Qing-yi. Pallet Standardization is the Origination for the ‘Large Logistics’[J]. Logistics Era, 2008, 25(9):64.
- [4] SHU R C, GUO R C, XUAN Z. Research on the Size Design of Corrugated Box Based on the Standard Pallet Dimension[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 469:205—208.
- [5] ALESSANDRO T, ELEONORA I, ANGELO F, et al. Pallet Standards in Agri-food Sector: a Brief Survey[J]. Journal of Agricultural Engineering, 2014, 45(2):90—95.
- [6] 杨涛. 关于塑料箱式托盘标准化及应用试验研究[J]. 上海物流, 2012, 28(5):11—18.
YANG Tao. Experimental Study about Plastic Box Pallets Standardization and Application[J]. Shanghai

- Logistics, 2012, 28(5):11—18.
- [7] CLAUDIO B, ARMANDO G, GIAMMARIA G, et al. Unbraced Pallet Rack Design in Accordance with European Practice—Part 1: Selection of the Method of Analysis[J]. Thin-Walled Structures, 2015, 86:185—207.
- [8] 赵凡, 计宏伟, 王怀文, 等. 纸浆模塑托盘构型三维设计及支腿结构 cae 分析[J]. 包装工程, 2013, 34(7): 13—16.
- ZHAO Fan, JI Hong-wei, WANG Huai-wen, et al. Three-dimension Design for the Molded Pulp Pallet and Cea Analysis of the Outtrigger Unit[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(7):13—16.
- [9] 李太平. 论我国物流托盘标准的选择—基于货运列车载盘效率角度[J]. 物流技术, 2007, 24(3):93—95.
- LI Tai-pin. Which Pallet Standard should be Selected in China-based on Pallet Capacity Efficiency of Railway Freight Cargo[J]. Logistics Technology, 2007, 24(3):93—95.
- [10] 韩变玲, 卢立新, 余渡元, 等. 塑料托盘的有限元分析及实验验证[J]. 包装工程, 2014, 35(9):52—55.
- HAN Bian-lin, LU Li-xin, YU Du-yuan, et al. Finite Element Analysis and Experimental Verification of Plastics Pallets[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(9): 52—55.
- [11] 王艳菊, 陆佳平. 基于 Ansys 的托盘弯曲承载特性分析及试验验证[J]. 包装工程, 2012, 33(17):23—26.
- WANG Yan-ju, LU Jia-pin. Ansys-Based Analysis of Pallet Bending Performance and Its Experimental Verification[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(17): 23—26.
- [12] 范永斌, 尹明德, 丁奇. 基于 Ansys/workbench 的叉车货叉疲劳寿命研究[J]. 煤矿机械, 2015, 36(1):105—106.
- FAN Yong-bin, YIN Ming-de, DING Qi. Research on Fatigue Life for Forklift Fork Based on Anasys/Workbench[J]. Coal Mine Machinery, 2015, 36(1):105—106.
- [13] 丁源, 周文华. SolidWorks 从入门到精通[M]. 北京:清华大学出版社, 2014.
- DING Yuan, ZHOU Wen-hua. SolidWorks form the Introduction to the Master[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2014.
- [14] 东方志敏. SolidWorks 一本通[M]. 北京:电子工业出版社, 2014.
- DONGFANG Zhi-min. A General SolidWorks[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2014.
- [15] 中华标准件网. 叉车主要技术参数[EB/OL]. <http://www.qianyan.biz/qy-264565.html>.
- Forklift Main Technical Parameters[EB/OL]. <http://www.qianyan.biz/qy-264565.html>.