

铁路 20 ft 玻璃平台式集装箱设计及其有限元分析

周宝宪¹, 潘帅², 袁舜³, 袁霞³

(1.兰州局集团公司货运部, 兰州 730000; 2.九江职业技术学院, 江西 九江 332007;

3.兰州交通大学 交通运输学院装载加固中心, 兰州 730070)

摘要: 目的 针对铁路运输玻璃的过程, 存在包装成本高、效率低、破损率高等问题, 设计一种安全稳定、结构简单、可重复循环使用、可拆解的铁路 20 ft (1 ft=0.3028 m) 玻璃平台式集装箱。方法 制定算例装载加固方案, 使用 SolidWorks 软件对玻璃平台式集装箱进行实体建模和有限元分析, 按照集装箱强度和变形量的技术要求, 进行可承载的载荷极限计算。最后, 将平台式集装箱裸包装玻璃分别与木箱包装形式、公路运输方式进行包装成本、运输成本比较。结果 分析得出, 玻璃垂向载荷应力最薄弱环节为 275.0 MPa; 吊起时, 最薄弱环节应力为 254.3 MPa, 纵向载荷应力最薄弱环节为 288.5 MPa; 各方向应力均小于 Q345 低合金钢的许用应力 (345 MPa)。垂向载荷位移最薄弱环节变形量为 5.358 mm; 吊起时, 最薄弱环节变形量为 5.876 mm, 纵向力位移变形量为 5.156 mm, 各方向位移变形量均合理。从经济角度分析, 平台式集装箱裸包装玻璃运输成本最小、包装成本最低。结论 文中设计的铁路 20 ft 玻璃平台式集装箱市场前景可观, 可极大地提高玻璃运输效率, 降低物流成本。

关键词: 铁路运输; 玻璃; 平台式集装箱; 装载加固方案; SolidWorks; 有限元分析

中图分类号: TB482.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)15-0088-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.15.014

Design of Railway 20 ft Glass Platform Container and Its Finite Element Analysis

ZHOU Bao-xian¹, PAN Shuai², YUAN Shun³, YUAN Xia³

(1.Freight Transportation Department, Lanzhou Bureau Group Corporation, Lanzhou 73000, China;

2.Jiujiang Vocational and Technical College, JiuJiang 332007, China;

3.Loading and Reinforcement Center of School of Transportation, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 73000, China)

ABSTRACT: In view of the process of transporting glass by rail, there are problems such as high packaging cost, low efficiency and high damage rate. The work aims to design a kind of safe, stable, reusable and detachable railway 20 ft glass platform container with a simple structure. The loading and reinforcement scheme was formulated. The SolidWorks software was used to perform solid modeling and finite element analysis on the glass platform container, and carry out the load limit calculation according to the technical requirements of the container strength and deformation. Finally, the platform container's bare packaging glass was compared with the wooden box packaging form and the road transportation mode in terms of the packaging cost and transportation cost. The analysis showed that, the weakest link of the vertical load stress of glass was 275.0 MPa; during hoisting, the weakest link stress was 254.3 MPa; the weakest link of longitudinal load stress was 288.5 MPa; and the stress in all directions was less than the allowable stress of Q345 low alloy steel (345 MPa). The weakest link deformation of vertical load displacement was 5.358 mm; during hoisting, the weakest link deformation was 5.876 mm; the deformation of longitudinal force displacement was 5.156 mm; and the displacement de-

formation in all directions was reasonable. From the economic point of view, the platform container's bare packaging glass had the lowest transportation cost and the lowest packaging cost. The railway 20 ft glass platform container designed herein has a promising market prospect, which can greatly improve the glass transportation efficiency and reduce the logistics cost.

KEY WORDS: railway transport; glass; platform container; loading and reinforcement scheme; SolidWorks; finite element analysis

玻璃用途广泛,在我国诸多行业中发挥着关键作用,近几年我国玻璃年产量约 4320 万 t。目前,我国铁路玻璃运输一般采用裸装,并通过敞车、通用集装箱或敞顶集装箱运输,主要包装形式为木箱包装,包装成本高^[1];在发站和到站产生一装一卸,故破损率高,运输效率低。

近年,对于玻璃包装运输的研究多集中在振动冲击特性分析,以及装载加固影响因素等方面。例如李琛等^[2]以钢化玻璃为研究对象,设计安全合理的运输包装,利用 Pro/E 建立钢化玻璃运输包装模型,利用 Ansys Workbench 模型进行有限元分析。黄河^[3]根据挡风玻璃的结构特点,从包装结构和材料考虑,采用上 2、下 2、左 1、右 1 衬垫的分布形式,以刻有固定间隔凹槽的橡胶为固定材料,减少运输过程中玻璃破损的发生。文中基于 GB 50017—2017《钢结构设计规范》^[4],设计了轻质量、多功能、可拆卸、可重复使用的“铁路 20 ft (1 ft=0.3028 m) 玻璃平台式集装箱”(以下简称“平台箱”)。在此基础上,根据《铁路货物装载加固规则》^[5]设计 20 ft 玻璃的装载加固方案,并使用 SolidWorks 软件进行仿真验证。

1 铁路 20 ft 玻璃平台式集装箱设计

玻璃自身带有一定的刚度,属于易碎性板状材料。在运输过程中,怕受到冲击、振动、扭曲等危害^[6-9],因此,该平台箱应具备结构完整性,其设计和制造工艺要保证足够的刚度和强度,即在任何运输情况下,结构都不允许产生晃动和扭曲现象。

1.1 平台箱设计原则

1) 安全性好。运输玻璃时,挡板和挡杆对玻璃起到了固定作用,加以钢丝绳、钢带加固,降低玻璃运输破损率。

2) 可拆卸,便于回送。A 字架、玻璃挡板、玻璃挡杆均可拆卸,回送时将空平台箱多层堆码,拆卸下来的部分另外用空集装箱或敞车运输,降低回送成本。

3) 多功能。可装载玻璃、木材(管状货物)等多种货物,利于实现运输的重去重回,降低平台箱回送成本。

4) 可重复使用。符合可持续交通的理念,经济效益高。

5) 可实现货物“门到门”运输,实现公铁联运、

水铁联运,降低物流成本。

1.2 平台箱结构设计

铁路 20 ft 玻璃平台箱三维立体仿真见图 1,自身质量为 2.83 t,外部尺寸为 6058 mm×2438 mm×400 mm。结构设计主要包括 4 个部分:平台箱底架结构设计,玻璃 A 字架结构设计,玻璃挡板、挡杆、玻璃加固杆部位结构设计,平台箱角件结构设计。在运输玻璃时,需要在平台箱底架上安装 A 字架、挡杆和挡板等部件,并用钢丝绳、钢带等材料辅助以固定玻璃,并苫盖篷布。

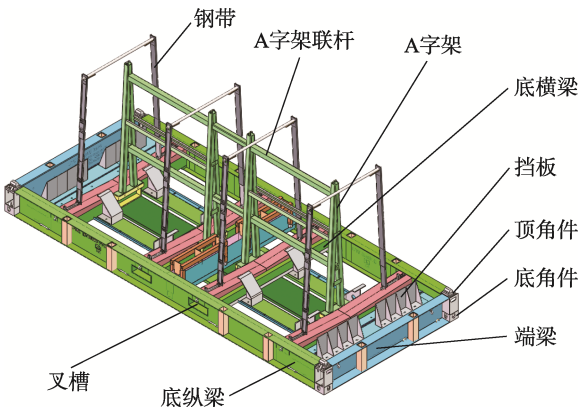


图 1 铁路 20 ft 玻璃平台箱三维立体仿真
Fig.1 Three-dimensional simulation of railway 20 ft glass platform container

1.3 平台箱各部件结构设计

1.3.1 平台箱底架结构设计

平台箱底架结构见图 2,结构主要包括:侧梁、端梁、中间底梁、中间侧梁、叉槽、底侧拉环、篷布加固环、玻璃加固环等。底架的长度、宽度与 20 ft 集装箱的国际标准尺寸相同。

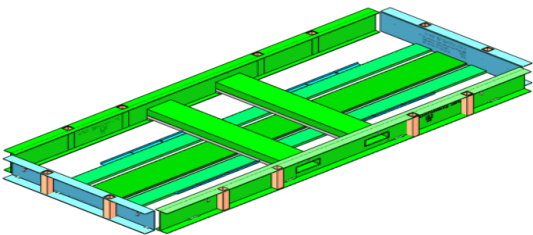


图 2 铁路 20 ft 玻璃平台箱底架结构
Fig.2 Bottom rack structure of railway 20 ft glass platform container

平台箱四周的端梁和侧梁上按照集装箱要求,涂上箱主代号、箱号、核对数字、额定质量和空箱质量、尺寸类型代号(29P6)、国际铁路联盟标记。平台箱四周侧梁、端梁高度均为400 mm,内部空间满足设置玻璃支撑结构的要求,不高出侧梁、端梁顶部,便于实现空平台箱底架多层堆码回送。

1.3.2 玻璃A字架结构设计

玻璃A字架结构见图3,包括4个A字支撑侧架。每个A字支撑侧架顶部设置吊环,每2个A字支撑侧架构成一对子A字架,2个侧架之间用3组横梁固定,2对子A字架之间用2组横梁连接加固。A字架放置在底横梁的侧面,并与底横梁呈90°夹角,底部设支座,使用时将支座放入平台箱底架插槽中,用插销固定即可。在运输过程中,玻璃装在A字架的两侧。

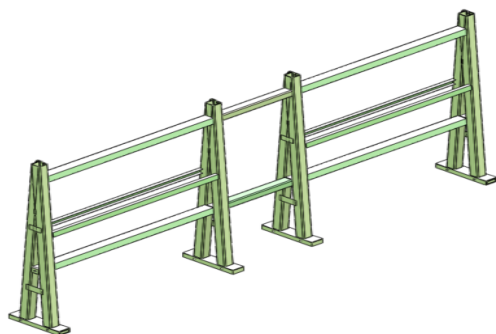


图3 玻璃A字架结构
Fig.3 Glass A-frame structure

1.3.3 玻璃挡板、挡杆、加固杆结构设计

1) 玻璃挡板。玻璃挡板结构见图4,可以阻挡玻璃纵向移动。玻璃挡板利用螺栓固定在平台箱上,位置可以调节,以适应不同宽度的玻璃对其进行阻挡。挡板采用L型设计,每块挡板中间增加4块加强筋,底部开设4个插销孔,用于定位。使用时将玻璃挡板尾部插入玻璃平台箱底架挡板支撑座的卡槽内,实现上下位置固定。

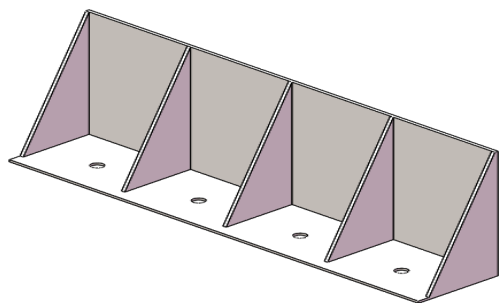


图4 玻璃挡板结构
Fig.4 Structure of glass baffle

2) 中部玻璃挡杆。中部玻璃挡杆结构见图5,2个为一组,中间焊以加强板,放置于平台箱底架中间插槽内,用以阻挡玻璃在运输过程中的纵向移动。

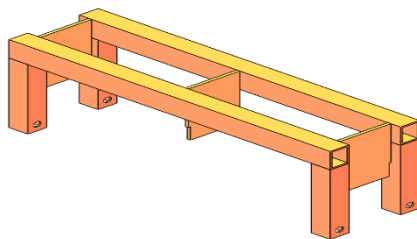


图5 中部玻璃挡杆结构
Fig.5 The structure of middle glass bar

3) 玻璃加固杆。玻璃加固杆结构见图6,采用C型钢、可伸缩结构。玻璃加固杆上部设横向连接杆,用于固定两侧挡杆,起到压死固定玻璃、防止移动的作用;玻璃挡杆中间设2处卡槽,用于捆绑钢带时的钢带定位;玻璃挡杆下半部分设置3个插槽,满足加固不同高度玻璃时的挡杆固定要求;玻璃挡杆底部与平台箱底架用插销连接,平台箱底架设置棘条结构,用于横向移动玻璃挡杆,以适应不同板厚玻璃的加固。

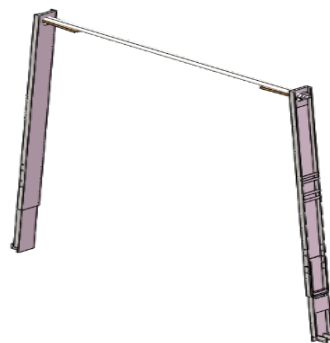


图6 玻璃加固杆结构
Fig.6 Structure of glass reinforcement rod

1.3.4 玻璃平台箱角件结构设计

平台箱角件采用通用箱标准角件结构,见图7。底角件可与铁路平车上蘑菇头连结,使平台箱与平车联为一体。顶角件设有可翻转的蘑菇头,蘑菇头下放时,能够满足正面吊起吊的要求;蘑菇头上翻时,能够实现平台箱空底架的多层堆码。

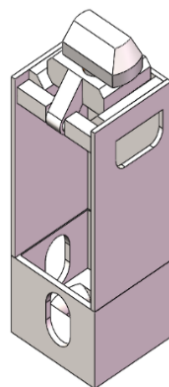


图7 玻璃平台式集装箱角件结构
Fig.7 Structure of corner fittings of glass platform container

2 20 ft 玻璃装载加固方案

2.1 玻璃装载加固方法

已知裸装玻璃外形尺寸，长 2440 mm，高 1650 mm，厚 200 mm，每件玻璃质量为 1.60~2.30 t。加固材料是钢带，钢带厚 1 mm，宽 25 mm。加固装置为端部玻璃挡板，中部玻璃钢挡，玻璃加固杆装置。玻璃的装载方法是每箱装 2 垛，每垛立装 2 组，每组装 3 件，每箱装 12 件；每垛质量差不超过 1 t，相邻 2 组质量差不超过 0.5 t，使货物总重心投影位于箱地板纵中心线上；每箱总质量不超过 30.48 t。每垛安装玻璃加固杆装置 2 组，调节直立挡杆的位置，使其紧贴玻璃；沿玻璃长度方向使用钢带 2 道(上下各 1 道)，将每组玻璃捆绑成一体；每组玻璃两端使用可调节挡板和钢挡，阻止玻璃纵向移动。平台箱装载裸装玻璃示意图 8。

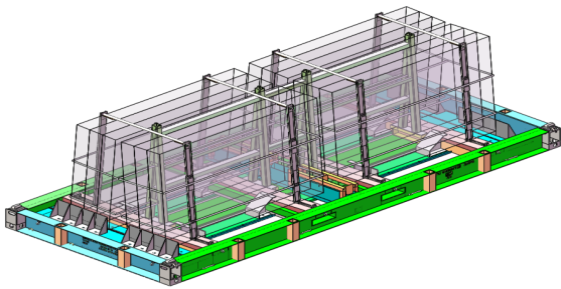


图 8 玻璃平台式集装箱装载玻璃
Fig.8 Glass platform container loading the glass

2.2 玻璃装载加固强度计算

以下计算均按照铁总运[2015]296 号《铁路货物装载加固规则》^[5]的要求进行。

2.2.1 计算重车重心高

$$H = \frac{Q_{\text{车}}h_{\text{车}} + Q_{\text{货}}h_{\text{货}}}{Q_{\text{车}} + Q_{\text{货}}} = 1994 \text{ mm} < 2000 \text{ mm} \text{ , 不限速 (1)}$$

式中： H 为重车由轨面起的总重心高 (mm)； $Q_{\text{车}}$ 为车辆 NX_{17BH} 自身质量，取值 22.8 t； $Q_{\text{货}}$ 为货物质量，取值 61 t； $h_{\text{车}}$ 为空车由轨面起的高度，取值 740 mm； $h_{\text{货}}$ 为货物由轨面起的总重心高度，取值 2462 mm。若 H 大于 2000 mm，则重车重心高度过大，运行起来不稳定，速度较大还有倾覆危险，运行速度要受到限制；反之，正常速度运行即可。

2.3.2 检查货物是否超限

计算点位于“可拆卸 A 字架”顶端，中心高为 3736 mm 处，最大半宽为 1000 mm。查《铁路超限超重货物运输规则》^[10]可知，货物不超限。

2.3.3 计算作用于货物上各种力的数值

纵向惯性力：

$$t_0 = 26.69 - 0.13 \times Q_{\text{总}} = 15.8 \text{ kN/t} \tag{2}$$

$$T = t_0 \times Q = 109.2 \text{ kN} \tag{3}$$

式中： t_0 为单位重量货物的纵向惯性力 (kN/t)； $Q_{\text{总}}$ 为重车总质量，取值 83.76 t； T 为纵向惯性力 (kN)； Q 为货物质量，取值 6.9125 t。

横向惯性力：

$$n_0 = 2.82 + 2.2 \frac{a}{l} = 2.82 \text{ kN/t} \tag{4}$$

$$N = n_0 \times Q = 19.5 \text{ kN/t} \tag{5}$$

式中： a 为货物重心偏离车辆横中心线的距离 (mm)； l 为负重车转向架中心距 (mm)； N 为横向惯性力 (kN)； n_0 为单位重量货物的横向惯性力 (kN/t)。

垂直惯性力：

$$q_{\text{垂}} = 3.54 + 3.78 \frac{a}{l} = 3.54 \text{ kN/t} \tag{6}$$

$$Q_{\text{垂}} = q_{\text{垂}} \times Q = 24.5 \text{ kN} \tag{7}$$

式中： $q_{\text{垂}}$ 为每吨货物的垂直惯性力 (kN/t)； $Q_{\text{垂}}$ 为垂直惯性力 (kN)。

风力：

$$W = q \times F = 2.4 \text{ kN} \tag{8}$$

式中： W 为风力 (kN)； q 为侧向计算风压，由于受风面为平面，故取值为 0.49 kN/m²； F 为侧向迎风面的投影面积 (m²)。

纵向摩擦力与横向摩擦力：

$$F_{\text{纵}} = 9.8 \mu Q = 33.88 \text{ kN} \tag{9}$$

$$F_{\text{横}} = \mu(9.8Q - Q_{\text{垂}}) = 21.63 \text{ kN} \tag{10}$$

式中： μ 为摩擦因数，取值 0.5。

综上，作用于玻璃上各种力值的汇总见表 1。

2.3.4 检查货物的稳定性

在倾覆方面的稳定性和在水平移动方面的稳定性如下所述。

纵向倾覆：

$$\eta = \frac{9.8Qa}{Th} = 0.92 < 1.25 \text{ , 不稳定} \tag{11}$$

式中： a 为货物重心所在横向垂直平面至倾覆点

表 1 作用于玻璃上各种力的数值
Tab.1 Value of various forces acting on the glass

kN					
纵向惯性力 T	横向惯性力 N	垂直惯性力 $Q_{\text{垂}}$	风力 W	纵向摩擦力 $F_{\text{纵}}$	横向摩擦力 $F_{\text{横}}$
109.2	19.5	24.5	2.4	33.88	21.63

之间的距离,取值 1220 mm; h 为货物重心自倾覆点所在水平面起算的高度,取值 826 mm; η 为稳定系数,通常要求稳定系数不低于 1.25,货物才不会发生倾覆。

横向倾覆:

$$\eta = \frac{9.8Qb}{Wh_{\text{风}} + Nh} = 1.083 < 1.25, \text{ 不稳定} \quad (12)$$

式中: b 为货物重心所在纵向垂直平面至倾覆点之间的距离,取值 350 mm。

纵向水平移动:

$$\Delta T = T - F_{\text{纵}} = 75.42 \text{ kN} > 0, \text{ 不稳定} \quad (13)$$

横向水平移动:

$$\Delta N = 1.25(N + W) - F_{\text{横}} = 5.745 \text{ kN} > 0, \text{ 不稳定} \quad (14)$$

2.3.5 确定加固方法、加固材料的数量及规格

在每组货物两侧,使用 40 mm×40 mm×3 mm 的方钢做挡杆,阻止货物纵向移动。设置玻璃立杆阻止货物横向移动。

3 基于 SolidWorks 软件的平台箱有限元强度分析

3.1 SolidWorks 软件简介

SolidWorks 是美国 SolidWorks 公司基于 Windows 平台开发的全参数化三维实体造型软件^[11—13]。Simulation 是 SolidWorks 中的一个设计分析插件,可以分析构件在受力情况下产生的应力分布^[14—17]。

3.2 有限元分析思路

以装运玻璃的垂向力分析为例,在 SolidWorks 中,构造平台箱的等效模型。根据材质,直接在 SolidWorks 材料库中找到对应的材料进行添加,平台箱主要承载材料采用集装箱专用钢材 SPA-H(强度等级同 Q345)及部分橡胶垫缓冲块。在 SolidWorks 中静载和起吊时受力分析的约束部位分别见图 9—10。玻璃重力及垂向惯性力的合力加载到平台箱底横梁上,受力情况见图 11,即平台箱承载玻璃重力及垂向惯性力合力。

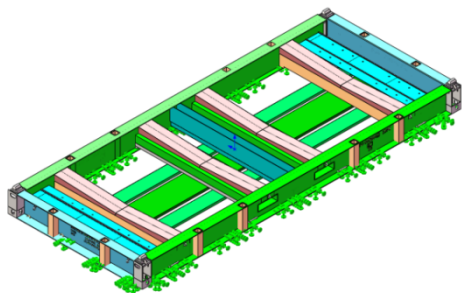


图 9 平台式集装箱静载时受力情况及固定约束
Fig.9 Force condition and fixed constraint of platform container under static load

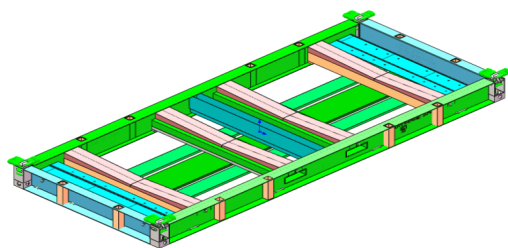


图 10 平台式集装箱起吊时固定约束
Fig.10 Fixed constraint for lifting of platform container

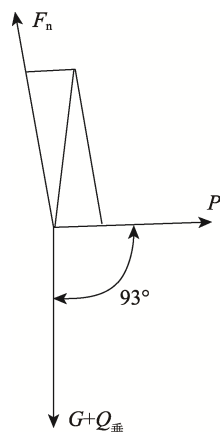


图 11 受力分析
Fig.11 Force analysis

在起吊时,起吊盘与平台箱底架蘑菇头相连;4 根角柱与正面吊连接,垂直吊起,因此无需绳索,也不考虑起吊时的角度问题。根据平台箱装载玻璃的特性,对其施加相应的载荷,见图 12。

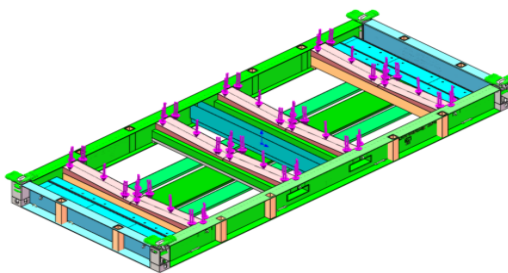


图 12 受力分析时的受载部位
Fig.12 Loaded part during force analysis

对等效模型进行网格化构造。即对接触区域网格细化,对非接触区域网格粗化,达到节约系统运算时间又满足计算精度的目的。可以将平台箱承载货物时所受的力进行准确定量的分析,见图 13。得到结果后,对比平台箱的材料特性,参照 GB 50017—2017《钢结构设计规范》中集装箱应具有强度及位移要求进行分析。

3.3 有限元分析

3.3.1 垂向力分析

根据《铁路货物装载加固规则》^[5]中的垂向力计

算公式, 玻璃垂向惯性力与重力的合力造成支反力, F_n 为 368.851 kN, 有限元分析见图 14。起吊时, 玻璃的垂向载荷应力分析见图 15。

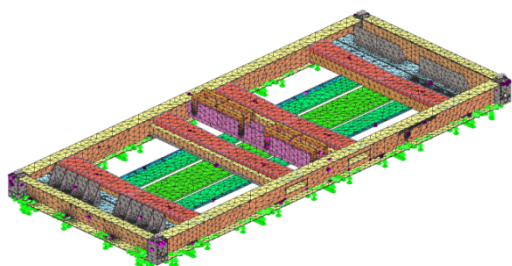


图 13 平台式集装箱网格划分
Fig.13 Grid division of platform container

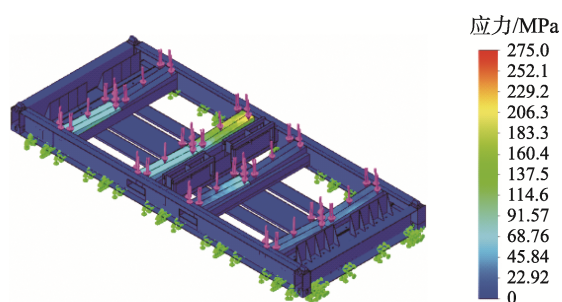


图 14 玻璃垂向载荷应力分析
Fig.14 Analysis on vertical load stress of the glass

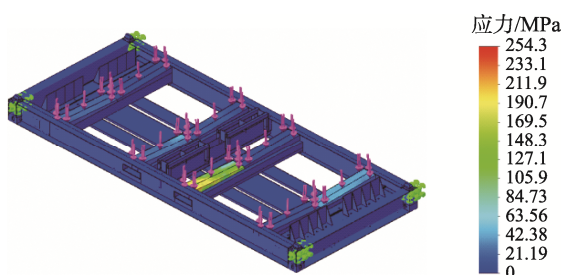


图 15 玻璃起吊垂向载荷应力分析
Fig.15 Analysis on vertical load stress during glass hoisting

由图 14 可知, 玻璃垂向载荷应力由蓝色向红色依次增大, 最薄弱环节的应力为 275.0 MPa, 小于 Q345 低合金钢的许用应力 (345 MPa), 满足强度要求。由图 15 可知, 玻璃起吊时, 最薄弱环节的应力为 254.3 MPa, 小于 Q345 低合金钢的许用应力 (345 MPa), 亦满足强度要求。

根据《铁路货物装载加固规则》, 对于铁路集装箱运输, 规定使用正面吊抓举满载集装箱 5 min, 底架变形量不超过 17 mm 即可。玻璃的垂向载荷位移分析见图 16。起吊时, 玻璃的垂向载荷位移分析见图 17。

由图 16 可知, 玻璃垂向载荷位移变形量由蓝色向红色依次增大, 最薄弱环节变形量为 5.358 mm, 较为合理。由图 17 可知, 起吊时, 玻璃垂向载荷位移变形量由蓝色向红色依次增大, 最薄弱环节变形量为 5.876 mm, 较为合理。

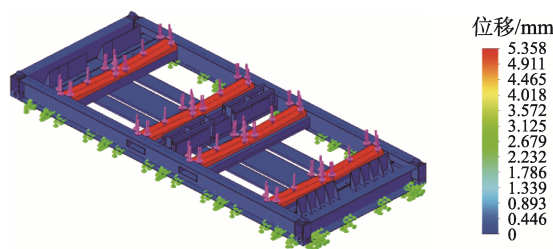


图 16 玻璃垂向载荷位移分析
Fig.16 Analysis on vertical load displacement of the glass

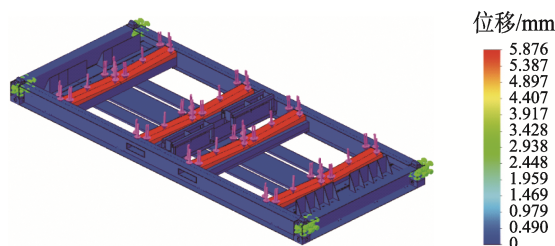


图 17 玻璃起吊垂向载荷位移分析
Fig.17 Analysis on vertical load displacement during glass hoisting

3.3.2 纵向力分析

玻璃纵向力应力分析见图 18, 纵向力位移分析见图 19。

由图 18 可知, 纵向力应力由蓝色向红色依次增大, 最薄弱环节的应力为 288.5 MPa, 小于 Q345 低合金钢的许用应力 (345 MPa), 满足强度要求。由多年实践经验可知, 车辆连挂速度低于 8 km/h, 则反作用于玻璃的力不会对玻璃造成破损。由图 19 可知, 纵向力位移变形量由蓝色向红色依次增大, 最薄弱环节变形量为 5.156 mm, 较为合理。

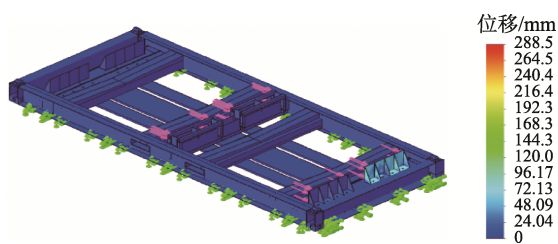


图 18 玻璃纵向力应力分析
Fig.18 Analysis on longitudinal force stress of the glass

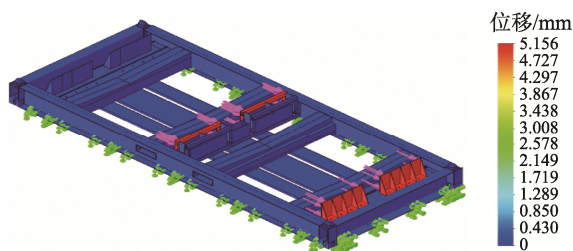


图 19 玻璃纵向力位移分析
Fig.19 Analysis on longitudinal force displacement of the glass

表 2 铁路木箱包装与平台箱裸包装成本对比

Tab.2 Comparison of costs of railway's wooden box packaging and platform container's bare packaging 元/t

包装方式	包装成本	加固材料成本	平台箱租用费	合计	节省
木箱包装	120	5.8	0	125.8	84.8
裸包装	0	11.0	30	41	

表 3 公路与铁路运输裸包装玻璃的运输成本对比

Tab.3 Comparison of transportation costs of bare packaging glass for road and railway transportation 元/t

运输种类	运输工具	装/卸费	铁路/公路运费	上站费	下站费	回送费	合计
公路裸包	汽运	0	650 ~ 750	0	0	0	650 ~ 750
铁路裸包	敞车	73	308.7	10	31	3.6	426.3
	平台箱	35.3	315.6	14.6	18.2	14.6	380.1

《铁路技术管理规程》^[18]明确规定铁路易碎货物运输,需要限速运行;在铁路编组站,需要限速连挂,也可以进行溜放作业。考虑到玻璃属于易碎性板状材料,在货车进行调车作业时,车辆的连挂速度控制在 5 km/h 以内,即可保证玻璃不会因加速或者制动的冲击产生破损。此外,在玻璃挡板、挡杆处,还有厚度为 2 cm 的橡胶垫进行缓冲,因此,不需要考虑车辆在加速或制动时的冲击,对运输玻璃造成不利影响。

4 经济分析及应用前景

文中所介绍的“20 ft 玻璃平台式集装箱”具有安全稳定,结构简单,可重复循环使用,可拆解等特点,解决了集装箱运输裸装玻璃等大件货物无法装箱、掏箱的难题,符合“绿色环保,可持续交通”的理念,因此具有良好的应用前景。

20 ft 玻璃平台式集装箱在海石湾车站、大武口车站等车站应用已有 3 年,大概每天发往拉萨西站 4 车玻璃。据统计,玻璃破损率低于行业破损标准 3%,已累计为青藏铁路公司创造大约 1800 万收益。

4.1 节省包装成本

目前,铁路运输玻璃采用木箱包装,全国每年包装玻璃消耗木材量高达约 115 万 m³,对生态环境造成了不可逆的破坏^[19]。平台箱裸包装玻璃与木箱包装玻璃的包装成本对比见表 2。

由表 2 可知,采用平台箱运输裸包装玻璃每吨可节省 84.8 元,具有良好的社会效益。

4.2 节省运输成本

运输成本包括货物从玻璃厂发站装车至到站卸车,再到收货人仓库产生的全部费用(“门到门”产生的费用)^[20],平台箱可实现装卸作业机械化、减少装卸过程中货损货差,公铁联运、水铁联运中箱内货物无需换装从而缩短换装作业时间、可实现货物的“门

到门”运输。采用公路与铁路运输裸包装玻璃的运输成本对比见表 3(以兰州局张家祠站到拉萨西站为例计算运费)。

由表 3 可知,使用平台箱运输裸装玻璃的运输成本最低,与公路运输、铁路敞车相比,其既节省了发站和到站两端的装卸费与装卸时间,并且可以实现“门到门运输”,具有良好的经济效益。

5 结语

玻璃在装修、建筑等行业有着广泛的应用。铁路在玻璃的中长途运输中有着很高的地位,采用 20 ft 通用箱运输,装箱、掏箱极其困难,稍有不慎便会造成玻璃破损。文中设计的 20 ft 玻璃平台式集装箱在结构设计方面具有安全稳定,结构简单,可重复循环使用,可拆解等优点,利用平台箱装运玻璃,不但能减少木材的消耗,还可以节省在铁路装卸车站装卸玻璃的费用、减少装卸过程中货损货差、降低玻璃生产企业运输成本、实现货物“门到门”运输,实现了安全、节能、环保、可持续发展。

参考文献:

- [1] 刘志海. 我国平板玻璃行业准入及公告制度发展浅析[J]. 玻璃, 2019, 46(3): 7—13.
LIU Zhi-hai. Analysis on Development of the Market Access and Announcement System of Domestic Flat Glass Industry[J]. Glass, 2019, 46(3): 7—13.
- [2] 李琛, 牛美亮, 赵玉松. 钢化玻璃运输包装设计 with 有限元分析[J]. 包装工程, 2018, 39(15): 113—118.
LI Chen, NIU Mei-liang, ZHAO Yu-song. Transportation Package Design and Finite Element Analysis of Tempered Glass[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(15): 113—118.
- [3] 黄河. 汽车挡风玻璃的缓冲包装设计[J]. 中国包装工业, 2015(16): 108—109.

- HUANG He. Buffer Packaging Design for Car Windshield[J]. China Packaging Industry, 2015(16): 108—109.
- [4] GB 50017—2017, 钢结构设计规范[S].
GB 50017—2017, Code for Design of Steel Structures[S].
- [5] 中国铁路总公司. 铁路货物装载加固规则[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2015: 160—168.
China Railway. Railway Freight Loading Reinforcement Rules[M]. Beijing: China Railway Press, 2015: 160—168.
- [6] 缪宏, 奚小波, 左敦稳, 等. 真空平板玻璃动态响应数值计算与试验研究[J]. 建筑材料学报, 2014, 17(1): 153—158.
MIAO Hong, XI Xiao-bo, ZUO Dun-wen, et al. Numerical Calculation and Experimental Research on Dynamic Response of Vacuum Plate Glass[J]. Journal of Building Materials, 2014, 17(1): 153—158.
- [7] 安二峰, 李磊, 杨军. 典型玻璃材料冲击力学性能研究[J]. 北京理工大学学报, 2010, 30(2): 127—130.
AN Er-feng, LI Lei, YANG Jun. A Study on the Impact Properties of Typical Glassy Materials[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2010, 30(2): 127—130.
- [8] 许伟光. 钢化玻璃工艺参数的设定[J]. 玻璃与搪瓷, 2011, 39(4): 25—29.
XU Wei-guang. Process Parameters Setting of Strengthened Glass[J]. Glass & Enamel, 2011, 39(4): 25—29.
- [9] 姚蓬飞. 钢化夹层玻璃的冲击断裂行为研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2019: 36—54.
YAO Peng-fei. The Study on Impact Fracture Behavior of Tempered Laminated Glass[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2019: 36—54.
- [10] 中国铁路总公司. 铁路超限超重货物运输规则[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2016: 27—28.
China Railway. Rules for the Carriage of Railway Over-limit and Over-weight Cargo[M]. Beijing: China Railway Press, 2016: 27—28.
- [11] 汪林, 杜玉祥, 何雪泓. 大型装配体的SolidWorks参数化建模方法[J]. 机械设计与制造, 2018(10): 173—175.
WANG Lin, DU Yu-xiang, HE Xue-hong. Parametric Modeling Method of Large Assemblies Based on the SolidWorks[J]. Machinery Design & Manufacture, 2018(10): 173—175.
- [12] 徐国权, 黄志超. 基于SolidWorks的参数化设计二次开发研究[J]. 机械设计与研究, 2007(1): 68—70.
XU Guo-quan, HUANG Zhi-chao. Research on Parametric Design in its Further Development Based on SolidWorks[J]. Machine Design and Research, 2007(1): 68—70.
- [13] 罗煜峰. 基于Solid Works的参数化特征建模技术研究[J]. 机械设计, 2004(3): 52—54.
LUO Yu-feng. Research on Parametric Feature Modeling Based on Solidworks[J]. Journal of Machine Design, 2004(3): 52—54.
- [14] 陈永当, 鲍志强, 任慧娟, 等. 基于SolidWorks Simulation的产品设计有限元分析[J]. 计算机技术与发展, 2012, 22(9): 177—180.
CHEN Yong-dang, BAO Zhi-qiang, REN Hui-juan, et al. Finite Element Analysis for Product Design Based on SolidWorks Simulation[J]. Computer Technology and Development, 2012, 22(9): 177—180.
- [15] 褚金钱, 徐方. 基于Solidworks与Matlab的码垛机器人动力学仿真[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2013(9): 28—31.
CHU Jin-qian, XU Fang. Solidworks and Matlab based Palletizing Robot Dynamics Simulation[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2013(9): 28—31.
- [16] 董慧慧. 玻璃用钢制包装箱设计及研制[D]. 天津: 天津大学, 2012: 37—59.
DONG Hui-hui. Design and Development of Steel Packing Box for Flat Glass[D]. Tianjin: Tianjin University, 2012: 37—59.
- [17] 李立顺, 李红勋, 孟祥德. 基于Solidworks Simulation的随车吊吊臂整体有限元分析[J]. 制造业自动化, 2011, 33(10): 114—115.
LI Li-shun, LI Hong-xun, MENG Xiang-de. FEA of the Whole Boom of Truck Crane Based on SolidWorks Simulation[J]. Manufacturing Automation, 2011, 33(10): 114—115.
- [18] 中国铁路总公司. 铁路技术管理规程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2006: 55—71.
China Railway. Railway Technology Management Regulations[M]. Beijing: China Railway Press, 2006: 55—71.
- [19] 赵彬. 基于木材包装存在的主要问题及对策研究[J]. 包装工程, 2016, 37(23): 196—202.
ZHAO Bin. Main Problems Existing in Wooden Packaging and Solution[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(23): 196—202.
- [20] 汤银英, 李泽文, 任静茹. 基于Stackelberg模型的铁路门到门运输收益分配优化研究[J]. 交通运输工程与信息学报, 2018, 16(3): 114—118.
TANG Yin-ying, LI Ze-wen, REN Jing-ru. Research on Optimization of Door-to-door Transportation Income Distribution Based on Stackelberg Model[J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2018, 16(3): 114—118.