

初探轮胎移动式制砖机的设计

姜兑群

(长沙中联重科环境产业有限公司 湖南 长沙 410000)

摘要: 随着我国城市发展水平的不断提高,对城中村及老旧建筑的改建项目越来越多,造成大量的建筑垃圾无法就近消纳。与此同时,因环保要求越来越高,导致黏土红砖和天然砂石越来越少,但是城市建设对砖块等建材的需求有增无减。轮胎移动式制砖机应运而生。本文阐述了轮胎移动式制砖机的设计特点与性能,对建筑垃圾的资源化利用进行了有益的探索。

关键词: 移动式;制砖机;设计特点;性能

1 概述

1.1 简介

轮胎移动式制砖机是利用各种固体废弃物(经处理的建筑废弃物)配以少量的水泥生产出各种建筑用砖的移动式设备,产品包括外墙砌块、内墙砌块、花墙砌块、楼板块、护堤块、铺地砖、水工砖等,广泛应用于房屋建筑、铁路和公路路沿、桥梁、码头、引排水工程以及人行道路、广场、园林、水土保持等市政工程建设。该设备可满足大规模固体废弃物处理和利用的需要,实现固体废弃物处理的资源化、减量化、无害化。

1.2 设计依据

- ① 《建筑废弃物处理技术规范》(CJJ 134-2009);
- ② 《小型砌块成型机》(GB/T 8533-2008);
- ③ 《混凝土搅拌机》(GB/T 9142-2000);
- ④ 《带式输送机》(GB/T 10595-2009);
- ⑤ 《再生骨料应用技术规程》(JGJ/T 240-2011);
- ⑥ 《通用用电设备配电设计规范》(GB 50055-2011);
- ⑦ 《低压成套开关设备和控制设备》(GB 7251-2005);

⑧ 《系统接地的型式及安全技术要求》(GB 14050-2008)。

1.3 整机组成及说明

轮胎移动式制砖机主要由砌块成型机、托盘输送机、叠砖旋转升降机、缠绕打包机、半挂车、电气系统和液压系统等组成,如图 1 所示。

1.3.1 砌块成型机

砌块成型机包括压头、振动平台(模箱)、布料小车等。该机构通过布料小车往复运动将混合好的料送入模具,振动平台连带模具振动,上压头压下,将模具中的料在振动的同时压实成型。

1.3.2 托盘输送机

托盘输送机是生砌块的承载体,一般用钢制托盘,可承载五模砖块。

1.3.3 叠砖旋转升降机

叠砖旋转升降机是既可以旋转又可以升降的叠砖机。它托举托盘承接压实成型的砖块,转动 90° 后承接下一模砖块。

1.3.4 缠绕打包机

缠绕打包机是将塑料薄膜缠绕到码垛的砖块上的装

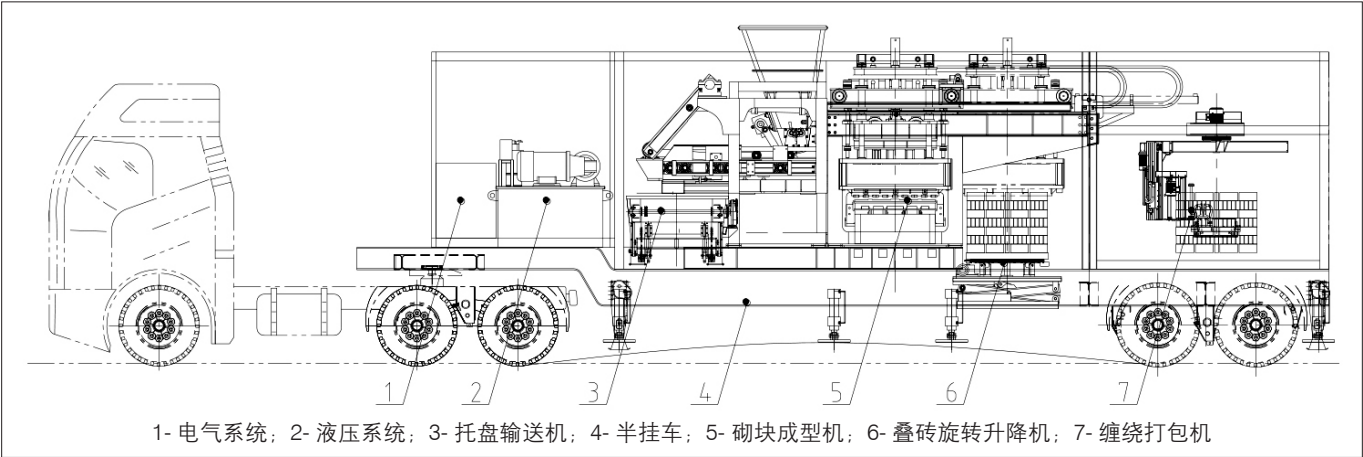


图 1 轮胎移动式制砖机

置，主要包括缠绕悬臂、旋转机构和薄膜剪刀等。

1.3.5 半挂车

半挂车作为轮胎移动式制砖机的载体，满足公路道路的运输条件。同时，满足该制砖机工作时的支撑平台要求。

1.3.6 电气系统

电气系统包括配电柜、变频器、控制台等，可为轮胎移动式制砖机提供一键式自动控制。

1.3.7 液压系统

液压系统由电机、液压泵、阀组等组成，为砌块成型机、叠砖旋转升降机、半挂车液压支腿等工作机构提供动力。

1.4 现有问题

目前，国内许多城中村和棚户区拆除改造工程产生了大量建筑废弃物。而这类拆除场所不适合建设传统的固定式制砖生产线。由于当前的固定式制砖生产线多数是大产量的大型全自动制砖生产线，并且还包括养护和码垛环节，占地很大。因此，固定式制砖生产线不适合在城市成片拆除区就地制备再生砖。

1.5 设计目的及预期效果

1.5.1 设计目的

设计一台能在建筑物拆除现场使用的移动式制砖装备，为实现建筑废弃物的资源化利用提供强有力的装备。

1.5.2 预期效果

该装备的成功开发，可以更好地解决国内建筑废弃物占用场地、污染环境的问题，将建筑废弃物变废为宝，实现良好的经济效益和社会效益。

2 设计指标

2.1 技术指标

轮胎移动式制砖机设计技术指标见表 1。

表 1 轮胎移动式制砖机设计技术指标

序号	设计技术指标	
1	标砖产量	1.6 万块 /h
2	砖的强度	MU10
3	砌块的尺寸和外观质量合格率	≥ 95%
4	外形尺寸（符合道路运输法规要求）	≤ 13×2.5×4.2（m）

2.2 功能指标

轮胎移动式制砖机设计功能指标见表 2。

3 砌块成型机的设计

3.1 砌块成型机的结构及工作原理

国家标准 GB/T 8533-2008 小型砌块成型机对砌块成型机的定义为：以振动成型为主生产普通混凝土小型砌块的设备，按照机架的安装形式分为固定式

表 2 轮胎移动式制砖机设计功能指标

序号	设计功能指标	
1	自动配料	选配
2	搅拌	选配
3	皮带输送	选配
4	砌块成型主机	●
5	叠砖旋转升降	●
6	送砖	●
7	缠绕膜打包	●
8	气囊减振系统	●
9	抑尘	●
10	无线遥控操作	选配
11	误操作及故障提示、保护	●
12	自带发电机组	选配

注：●为标配。

和移动式，按成型振动方式分为台振式和模振式，按布料方式分为分层布料式和普通布料式（单层布料式）。成型机的主参数为每次成型公称块数（规格为 390mm×190mm×190mm）和成型周期。每次成型公称块数为 3、4、5、6、8、9、10、12、15、18 几种。移动式、机动供料、液压脱模的 8～12 型机的成型周期≤50s。图 2 为传统砌块成型机结构示意图，包括成型主机、送板机、送砖机、侧向提板机、电控系统和液压系统等。其中，成型主机包括压头、振动平台（模箱）、布料小车等。

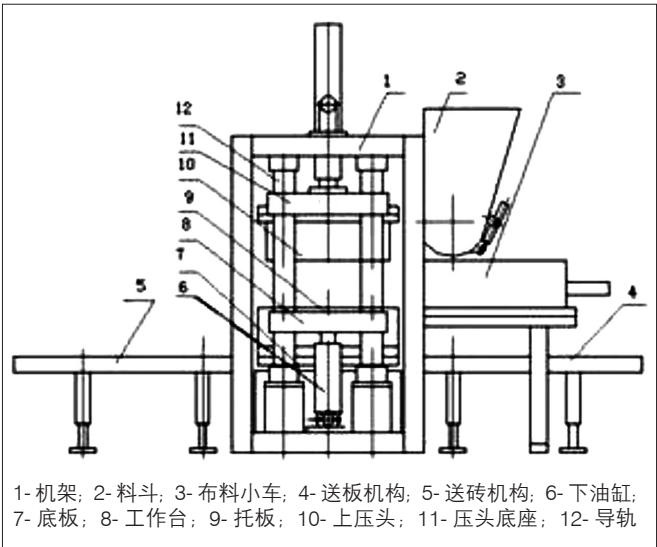


图 2 传统砌块成型机结构示意图

传统砌块成型机工作过程描述如下：将托板送到模具下部的底板上，底板上升至模具底部，布料小车通过往复运动将混合好的料送入模具。模具振动，上压头压下，将模具中的料在振动的同时压实成型；上压头下压少许，底板随上压头下降，底板带动托板和成型砌块下降至最底部；由送板机构将托板和成型砌块一起推出到

送砖机构，完成砌块生产工作。

本文探讨的移动式制砖机不方便携带 1000 ~ 2000 块木质或竹制托板，所以采用新型的免托板制砖机，只需携带 200 ~ 300 个钢制托盘即可。

3.2 砌块成型机的工艺参数计算

砌块成型机的参数有很多，这里主要计算该机的振动工艺参数。原因是免托板制砖机对砖块生坯的成型强度要求很高，只有这样才能在移模和脱模时保持生坯不破碎，才可以在一个钢托盘上连续放置五模砖块生坯。

3.2.1 确定振动加速度范围

根据免托板制砖机的特性，其最佳振动加速度在 30 ~ 60g，即 300 ~ 600m/s²。

3.2.2 计算最大振幅

根据成型制品种类，按成型制品混合物中颗粒的大小选择振动频率，按成型制品的种类选择振动加速度，可按下式计算最大振幅。

$$A=a/(2\pi f)^2$$

式中：

A——振幅；

a——加速度，一般取 300 ~ 600m/s²；

f——频率，一般取 50 ~ 75Hz。

计算 $A=a/(2\pi f)^2=600/(2\times 3.14\times 65)^2=0.0036\text{m}$ ，即最大振幅取 3.6mm。

3.2.3 确定振动台台面尺寸

设计振动台台面尺寸跟移动式成型机的外形尺寸限制有关，也与成型制品的产量有关。标砖尺寸为 240mm×115mm×53mm，参考已有标砖模具，摆放形式见图 3，数量为 84.5 块。因此，确定振动台台面尺寸为 1.2m×1.2m。

3.2.4 确定振动时间

一般振动时间为 0 ~ 10s，参考已有成型机的设计，确定振动时间为 5s。由标砖产量 16000 块/h 测算每模周期需小于 18.9s。参考已有成型机的设计，一般布料时间为 5s，移模、脱模和复模为 5s，每模周期为 15s，小于 18.9s，满足设计要求。

3.3 砌块成型机的设计

3.3.1 总体设计要求

为了满足道路法规要求，轮胎移动式制砖机对外形尺寸和重量均有严格要求。尺寸要求如下：除了

液压系统和电控系统在前段箱体，其余组成部分的外形尺寸为 9.55m×2.42m×2.95m(长×宽×高)。其中，叠砖旋转升降机的升降部分宽度应控制在 0.7m 以内。重量要求如下：前段（液压系统和电控系统）重量为 4.5t 左右，中段（托盘输送机、砌块成型机、叠砖旋转升降机）重量为 16.9t 左右，后段（出砖输送机、缠绕打包机）重量为 2t 左右；总重量不超过 26.4t。同时，轮胎移动式制砖机振动力很大，要求有强度高的底架。除了运输时能满足道路法规要求，在工作时要能够承受很强的振动力，保证制砖机结实耐用。

3.3.2 主要设计参数

总功率：118kW；

供电：380VAC-50Hz，三相；

入料粒度：≤10mm；

振动模式：台振；

成型周期：15s；

托盘尺寸：1180mm×1180mm×800mm。

3.3.3 底架的有限元分析

3.3.3.1 底架的有限元模型

底架的有限元模型见图 4。

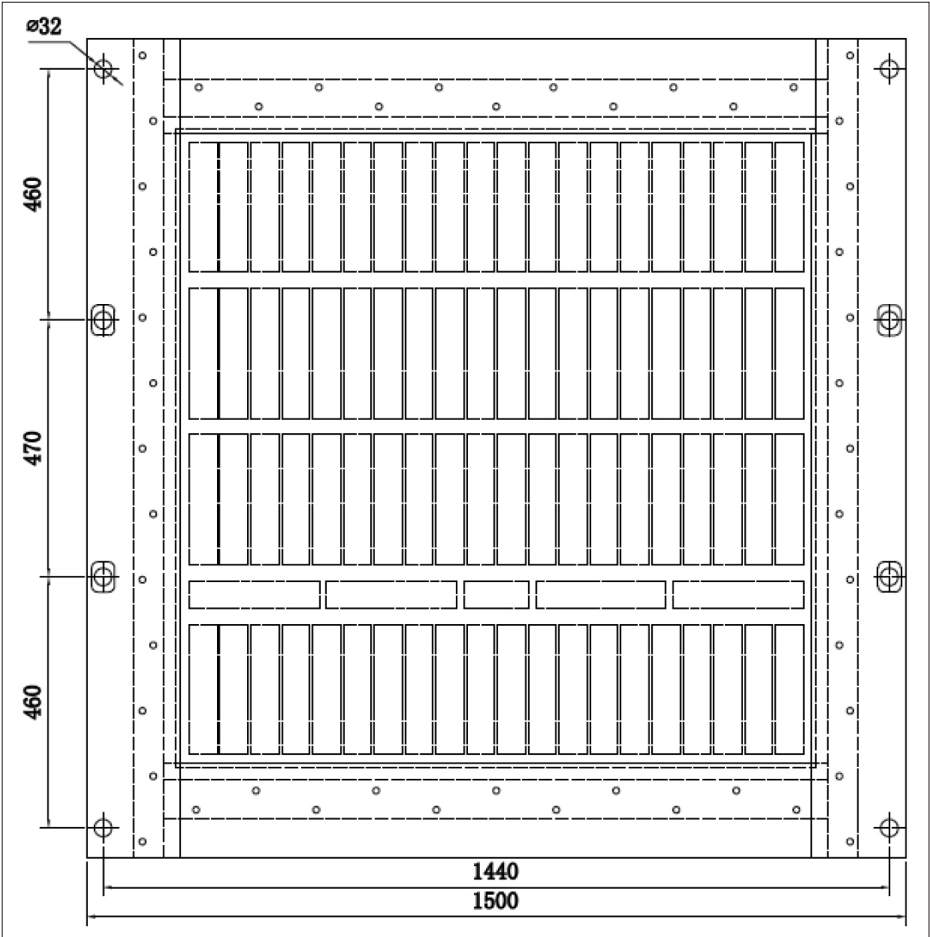


图 3 标砖模具摆放示意图

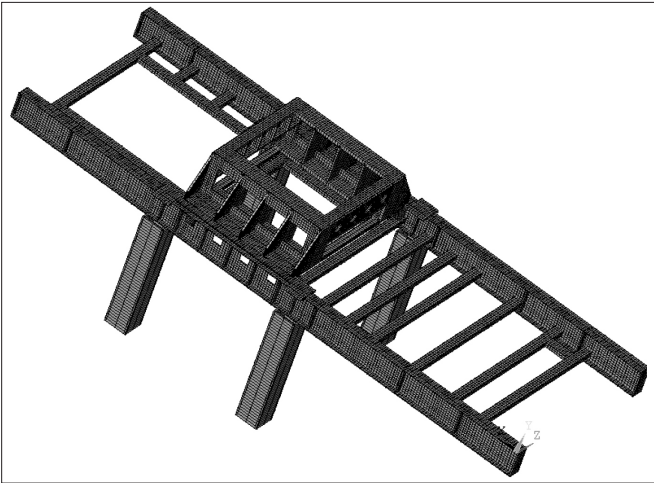


图 4 底架有限元模型

3.3.3.2 底架的有限元计算模型

为方便清楚地描述模型及其计算结果，模型坐标如图 4 中模型所示，所有板均采用 shell63 号单元和 BEAM189 模拟。

(1) 计算模型基本量纲以及材料常数，基本单位如下：

- 长度：mm；
- 质量：T；
- 时间：s。
- (2) 导出单位。
- 荷载：N；
- 应力 / 模量：MPa；
- 密度：T/mm³；
- 加速度：mm/s²。

- (3) 重力加速度取值：9810mm/s²。
- (4) 所分析结构材料为 Q355B，基本参数如下：
- 弹性模量：EX=2.06 × 10⁵MPa；
- 泊松比：NUXY=0.3；
- 密度：DENS=7.85 × 10⁻⁹kg/mm³；
- 屈服极限：δ s=355MPa。

(5) 约束情况。

该筛分车架为六腿车架，其约束方式为前支腿 A、B 的约束为 Ux，Uz，Uy；后支腿 C、D 的约束为 Ux，Uz，Uy（图 5）。

3.3.3.3 工况及载荷

对于底架所受载荷经计算为：振动台重 4t，移动成型机和机架重 8.3t，再加动载荷 26t × 3=78t，方向均向下。加载受力图如图 6 所示。

3.3.3.4 计算结果及分析

该移动式制砖机底架取振动时候最危险工况计算见图 7。

经应力分析可知，高应力区域部位发生在腿与

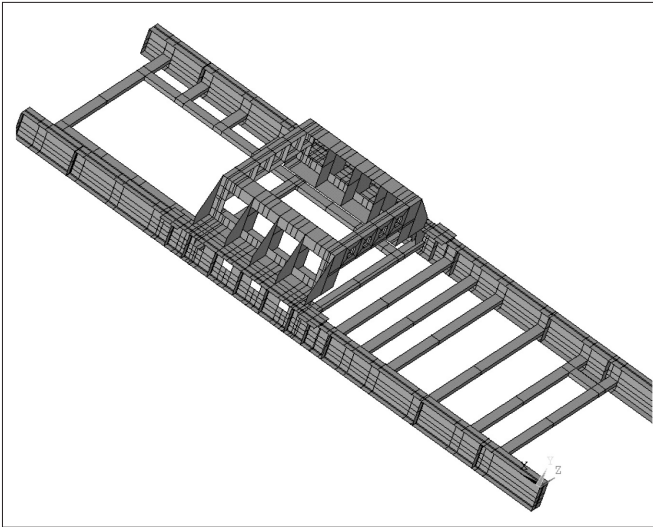


图 5 底架有限元结构约束图

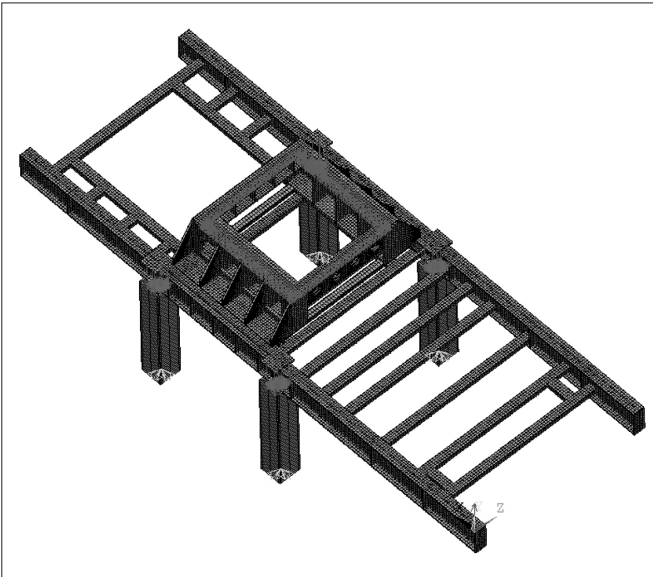


图 6 底架有限元结构加载图

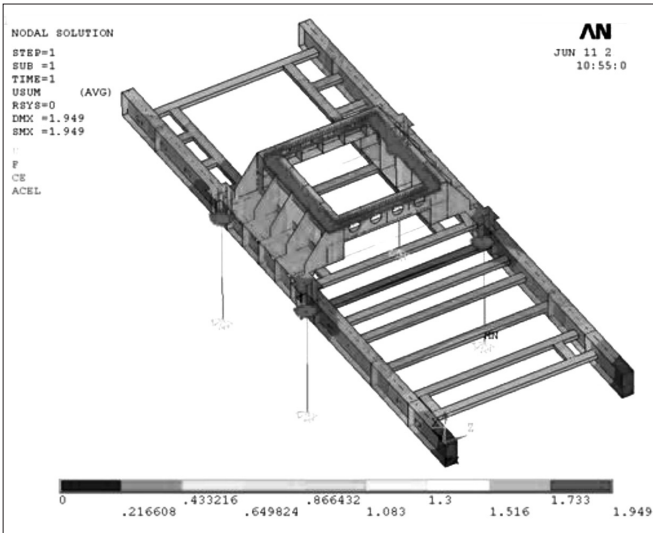


图 7 底架整体位移图 δ_{smax}=1.949mm

车架的连接部位，存在应力集中，最大应力达到 279.092MPa（图 8），需要进行局部加强；底架整体受力较为合理，最大应力均在 167.774 以下（图 9，应力集中区域除外）。

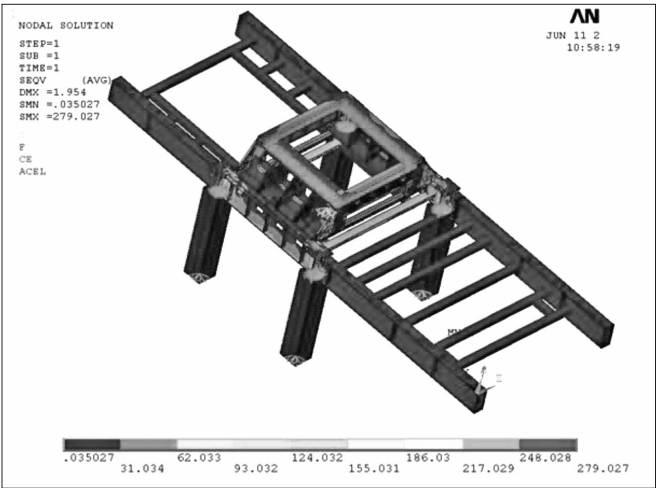


图 8 底架 Von Mises 应力云图

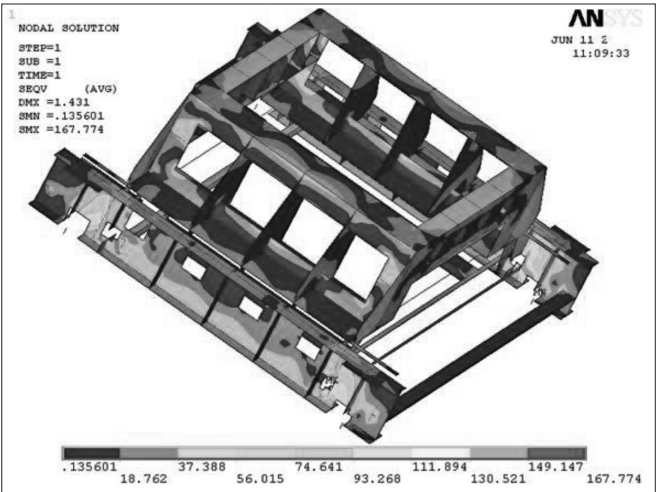


图 9 去除应力集中底架受振动部分主梁 von Mises 应力云图

分析应力集中产生原因主要有两种：（1）有限元模型不够合理，力的加载导致应力集中；（2）结构设计不够合理，导致力的传递不够合理，从而产生应力集中。应力集中处应考虑局部加强，尽量避免这种应力集中出现。

3.3.3.5 结构强度与刚度评定

按照钢结构规范，许用应力与钢材的厚度直接相关，底架材料厚度不等，但主要部分均在 20mm 以下，属于钢材尺寸分组中的第二组。根据《低合金高强度结构钢》GB/T 1591-2018 进行取值。

（1）许用应力及刚度。

- 钢板材料： $\sigma_s=355\text{MPa}$ ；
- 安全系数： $n=1.5$ ；
- 许用应力： $[\sigma] = \sigma_s/n=236.7\text{MPa}$ 。

变形对结构运行影响较大的钢结构其刚度要求为： $[Z] < L/800$ ；

最佳为

$[Z] < L/1000$ 。

式中， Z —许用刚度； L —钢结构跨度。

（2）强度条件和刚度条件。

强度按材料力学中的强度理论进行校核。强度条件为：

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma]$$

底架主结构所用材料为 Q355，底架的主梁的主要应力在 167.774MPa 左右，小于许用应力符合设计要求。

根据重型机械设计规定对刚度的要求：

$Z < [Z]$

底架的跨度为 1600mm，其 $[Z]=L/800=2\text{mm}$ 。

如上计算结果，底架的变形为 $Y=1.949\text{mm}$ ，刚度符合设计要求；对比底架的许用刚度 $[Z] < L/1000$ 公式时，刚度也能满足要求。

3.3.3.6 计算结论

对该车架进行三维有限元分析的结果、强度校核以及刚度校核表明：该车架的整体强度满足设计要求；刚度满足设计要求；应力集中部位应采用加厚或者改进设计结构处理。

3.3.4 砌块成型机设计

砌块成型机设计示意图见图 10。

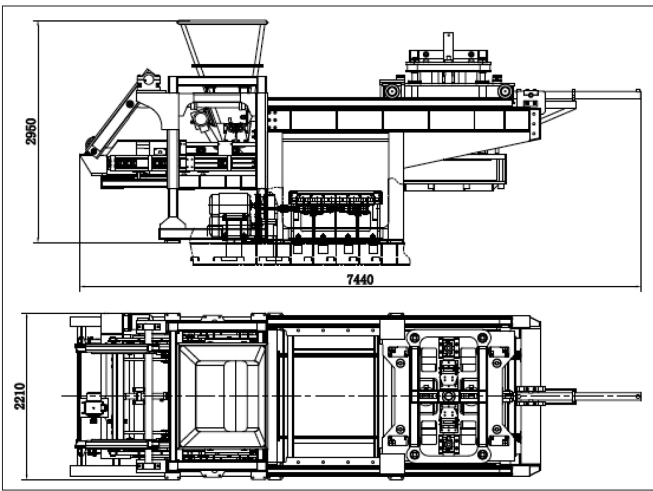


图 10 砌块成型机设计图

4 半挂车的设计

4.1 半挂车的概念及结构配置

半挂车是车轴置于车辆重心（当车辆均匀受载时）后面，并且装有可将水平和垂直力传递到牵引车的联结装置的挂车，本身无动力，通过牵引销与牵引车的牵引座连接，依靠主车牵引行驶。

轮胎移动式制砖机的半挂车结构形式为大鹅颈式。纵梁采用 500mm 高、20mm 厚、146mm 宽的 Q355B 钢

板焊接成工字形；轮胎为双钱 11.00R20、8 只；车轴为广东富华 13t，2 根；板簧为 10 片，90mm 宽，4 架；悬挂为中集华骏标准型反装式；支腿为 JOSTA400 单动，1 副；牵引销为 90° 可拆卸式。备胎架放在支腿后纵梁侧面。

4.2 半挂车的性能参数

半挂车的性能参数见表 3。

4.3 半挂车的设计

半挂车的设计示意图见图 11。

表 3 半挂车的性能参数表

名称	参数	备注
运输长度 /mm	13000	
运输宽度 /mm	2500	
运输高度 /mm	4200	
重量 /t	40	
牵引销	90 号	可拆卸式
结构形式	大鹅颈式	
轮胎配置	并装双轴	

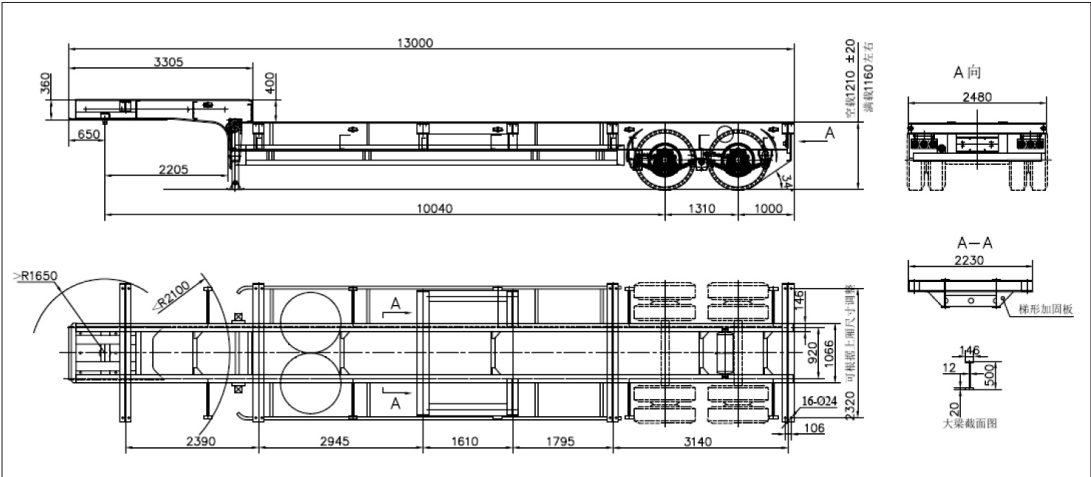


图 11 半挂车设计示意图

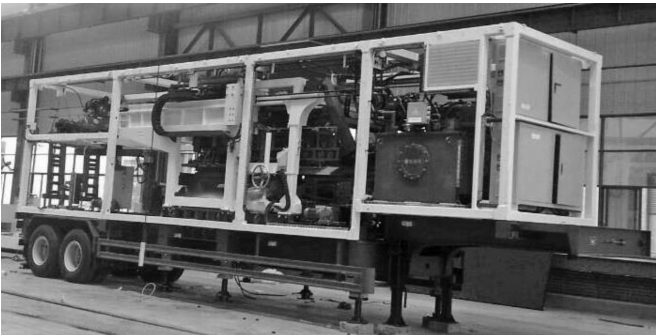


图 12 轮胎移动式制砖机组装



图 13 轮胎移动式制砖机砖块的试压

5 结语

5.1 突破的技术

5.1.1 免托板振动技术

砌块成型机的关键技术就是布料和振动技术。传统的成型机已经可以使混和料更均匀、更快速地分布在每个模腔中，达到免托板成型机对布料机构的性能要求。而振动效果的好坏直接影响到砖块的品质及能否免托板（采用

可多层码垛生坯的钢托盘）。本次设计通过变频控制振动器和伺服液压系统控制移模，保证模箱各部位振动的相位一致，使其产生垂直定向振动，达到混合料振实，满足免托板的需要。

5.1.2 轻量化半挂车设计

设计了满足公路运输要求并且灵活的半挂车，成功将砌块成型机和打包机等多种设备合理布置在轻量化的半挂车上。

5.2 设计结果验证

轮胎移动式制砖机组装见图 12。

轮胎移动式制砖机砖块的试压见图 13。

参考文献：

[1] 刘茜，卞学良．专用汽车结构与设计（第 2 版）[M]．北京：机械工业出版社，2019.
[2] 路雨祥．液压气动技术手册 [M]．北京：机械工业出版社，2002.
[3] 夏志斌，姚谏．钢结构——原理与设计 [M]．北京：中国建筑工业出版社，2004.

作者简介：姜兑群（1987-），男，汉族，湖南长沙人，本科，研究方向：生活垃圾转运站装备开发。