

# Finite Element Analysis and Structural Improvement of Slewing Bogie Based on ANSYS\*

Dawei Wang<sup>1</sup>, Jiayu Zhu<sup>2</sup>, Yanjun Xiao<sup>2</sup>, Yuming Guan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tianjin Asset Industrial Equipment Co., Ltd., Tianjin  
<sup>2</sup>Mechanics Institute, Hebei University of Technology, Tianjin  
Email: zhujiaiyu519@126.com

Received: May. 16<sup>th</sup>, 2013; revised: Jun. 20<sup>th</sup>, 2013; accepted: Jun. 27<sup>th</sup>, 2013

Copyright © 2013 Dawei Wang et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Abstract:** The slewing mechanism of stacker reclaimer is an important part of the cantilever rotary action. The role is to drive the superstructure part of the bucket wheel, luffing mechanism as well as weight in the horizontal plane. The slewing ring is the core part of slewing mechanism. The statical (Finite Element Analysis) FEA for slewing bogie based on ANSYS shows the total deformation diagram and the equivalent stress diagram. The comparison between the statical FEA results and the theoretical calculation results can confirm that the structure satisfies the operation requirements. Meanwhile, this paper also presents structural improvement for the slewing bogie which provides the necessary basis for the slewing mechanism design.

**Keywords:** ANSYS; Stacker Reclaimer; Slewing Bogie; Static Analysis

## 基于 ANSYS 的回转台车架的有限元分析与结构改进\*

王大为<sup>1</sup>, 朱嘉钰<sup>2</sup>, 肖艳军<sup>2</sup>, 关玉明<sup>2</sup>

<sup>1</sup>天津福臻工业装备有限公司, 天津  
<sup>2</sup>河北工业大学机械学院, 天津  
Email: zhujiaiyu519@126.com

收稿日期: 2013 年 5 月 16 日; 修回日期: 2013 年 6 月 20 日; 录用日期: 2013 年 6 月 27 日

**摘要:** 堆取料机的回转机构是整机执行悬臂回转动作的重要组成部分, 作用是带动斗轮机构、俯仰机构以及配重等上部结构在水平面内转动, 而回转支承是回转机构的核心部分。本文利用 ANSYS 对回转台车架进行有限元静力分析, 得出总变形图和等效应力图。通过有限元静力分析结果与理论计算比较, 验证了结构满足使用要求。同时, 本文还提出了对回转台车架的结构改进方案, 为回转机构设计提供了必要的参考。

**关键词:** ANSYS; 堆取料机; 回转台车; 静力分析

### 1. 引言

斗轮堆取料机是一种高效、连续的大型散装物料的装卸输送成套设备, 应用于港口、矿山、电厂、冶金等行业。其中, 悬臂式斗轮堆取料机由于具有工作

结构动作较灵活、作业范围更广以及对场地要求较低等优点, 成为了目前应用最为广泛的结构形式<sup>[1]</sup>。

回转机构是整机执行悬臂回转动作的重要组成部分, 将整机的上部结构通过支承装置固定在门座架上, 其作用是带动斗轮机构、俯仰机构以及配重等上部结构在水平面内转动。

\*基金项目: 河北省科学技术研究与发展计划项目(10213947), 河北省科技支撑计划项目(12227109D)。

回转台车的设计是依靠传统的经验，为了保证安全性，会造成尺寸偏大，重量增加。本文以 SolidWorks 为平台，建立回转台车的三维实体模型，并用 ANSYS 对回转台车架进行有限元分析，修复生产前的问题，以提高生产成本。同时，本文还根据回转台车架的受力及变形规律，提出了结构改进方案，为以后的研究打下了基础。

## 2. 回转台车结构

回转台车类似于行走台车，不同的是，台车结构中每对车轮的二只车轮轴线形成一个夹角而不是相互平行，并且通过圆形轨道的中心<sup>[2]</sup>，且台车车轮无轮缘，车轮的踏面比圆形轨道的踏面要略宽一些，如图 1 所示。

回转台车安装于堆取料机回转机构的下部，主要由铰座、台车架、走轮等部分组成，如图 2 所示。台车架是由两侧腹板、上部连接板及筋板等通过焊接而成的箱型结构，它的强度和刚度直接影响了回转台车机构的安全，在堆取料机作业的过程中，主要承受其以上部件的重力。



Figure 1. The slewing bogie  
图 1. 回转台车

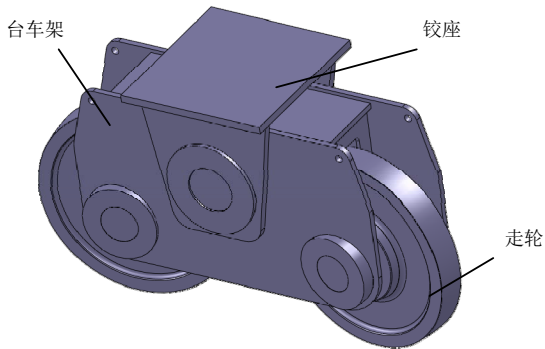


Figure 2. The model diagram of slewing bogie  
图 2. 回转台车模型图

## 3. 回转台车架的有限元静力分析

静力学分析是有限元分析的基础，是用来求解在固定不变的外载荷作用下位移、应力等的变化，适用于求解惯性和阻尼影响不显著的结构的问题<sup>[3]</sup>。通过静力分析可以校核结构的刚度和强度是否满足设计的要求，对结构设计有着十分重要的意义。

本节主要对 4500/7000 t/h 型堆取料机的回转台车架进行分析。

### 3.1. 台车架有限元模型假设与简化

模型合理的假设与简化可提高建模速度，降低解题难度，因此对台车架做如下假设与简化：假定材料均匀分布，台车架的各个板块为实体单元，忽略焊接应力以及螺栓对台车架的影响。

### 3.2. 基本失效理论及强度评价标准

该结构采用了合金钢 Q345，主要失效形式为材料屈服破坏，采用第四强度理论进行评价。第四强度理论的意义在任何给定应力下材料不发生材料屈服破坏的条件为<sup>[4]</sup>：

$$\sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \leq [\sigma]$$

式中， $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ——主力方向上的应力； $[\sigma]$ ——许用应力。

但计算式有个安全系数  $n$ ，即有公式：

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{n}$$

斗轮堆取料机的回转机构在轨道上运动，但运行速度缓慢且匀速，所以说台车架的强度计算主要是对其进行静强度计算，根据机械标准 JB/T8849-2005 规范，对于台车架的静力学分析采用的许用应力按 I 类载荷进行计算，Q345 材料许用应力表如表 1 所示，

Table 1. The allowable stress table of Q345  
表 1. Q345 材料许用应力表

钢号	厚度(mm)	$\sigma$ (MPa)	$[\tau]$ (MPa)	安全系数
Q345	$e \leq 16$	345	133	$n = 1.5$
	$16 < e \leq 35$	325	121	
	$35 < e \leq 50$	315	114	

即台车架的最大许用应力为  $[\sigma] = \sigma_s / 1.5 = 217 \text{ MPa}$ ，允许的最大变形量为 1.5 mm。

### 3.3. 模型的建立与导入

利用 SolidWorks 与 ANSYS 之间良好的接口，可以实现它们之间的无缝连接，避免数据丢失，同时能有效弥补 ANSYS 建模功能的不足<sup>[5]</sup>。因此，本文先利用 SolidWorks 软件对设计的回转台车架进行建模，如图 3 所示，并相应保存为 Parasolid 类型文件；然后在 ANSYS 软件中导入其 SolidWorks 模型。在此模型转换过程中，必须进行相应的 ANSYS 布尔运算，只有布尔运算操作成功后方可进行下一步操作<sup>[6]</sup>。

### 3.4. 定义单元类型

有限元分析的单元类型有很多，对台车架分析所利用的单元类型是 SOLID95，此单元类型容许不规则形状并且不会降低精度，兼容性很好<sup>[7]</sup>。由于台车架存在局部受力，在网格划分的过程中，对局部受力的部分进行了网格细化，以提高最终的求解精度，网格划分如图 4 所示，单元总数为 9010，节点总数为 17,189。

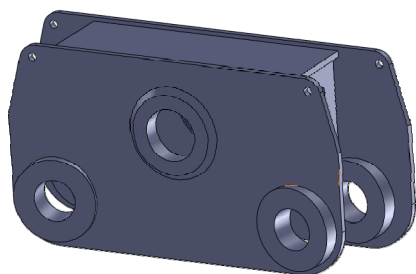


Figure 3. The model diagram of the frame of the bogie  
图 3. 台车架模型图

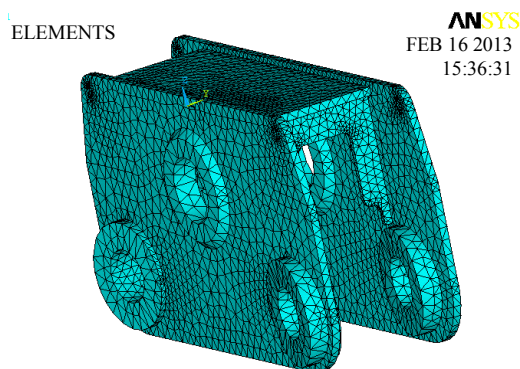


Figure 4. The grid division of the bogie frame  
图 4. 台车架网格划分

回转机构的台车架选用了焊接性能好的低合金钢 Q345B，其性能参数为：弹性模量为  $2.07 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ ，泊松比为 0.29，密度为  $7.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。

### 3.5. 施加约束和载荷

回转机构运行速度缓慢且匀速，只能实现轨道方向的移动，且因轨道为圆形轨道，故假设车轮静止，在台车架板上的车轮轴孔面施加 x、y、z 三个方向的约束。

台车架由两个相同的走轮支撑，而且它还支撑着上部金属平台结构，在施加载荷时考虑这两个方面的力。由于取料时回转上部结构总载荷(最大载荷)为 504.21 t，四组台车共八个走轮，每个走轮所承受的最大轮压为 63.03 t，约为 618 kN。按照最大轮压进行计算  $F = 618 \text{ kN}$ ，将车轮轴对台车架的支撑力作用台车架轴座圆弧面上且均布， $F_{支} = 618,000 \text{ N}$ ；将上部对台车架的压力按照轮压的 0.3 倍进行计算，得出  $F_{压} = 185,000 \text{ N}$ ，作用在台车架板与铰座轴相连接的圆面上且均布。根据如上分析，对台车架施加载荷。

### 3.6. 刚度和强度结果分析

台车架的两侧腹板基本相同，故为使分析简便，只取其中一侧进行分析。

施加约束和载荷后进行求解，得到台车架受力及变形情况如图 5，图 6，图 7 所示。

由分析结果可知，台车架的最大变形量为 0.252205 mm，满足最大变形量的设计要求；最大应力值为 147.016 MPa，也小于了最大许用应力，故设计合理。

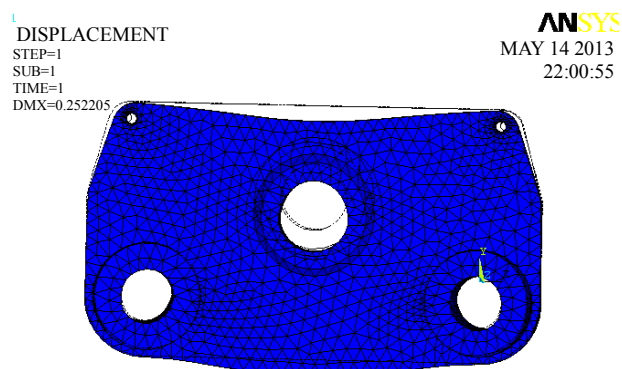


Figure 5. The deformation diagram of bogie frame  
图 5. 台车架变形图

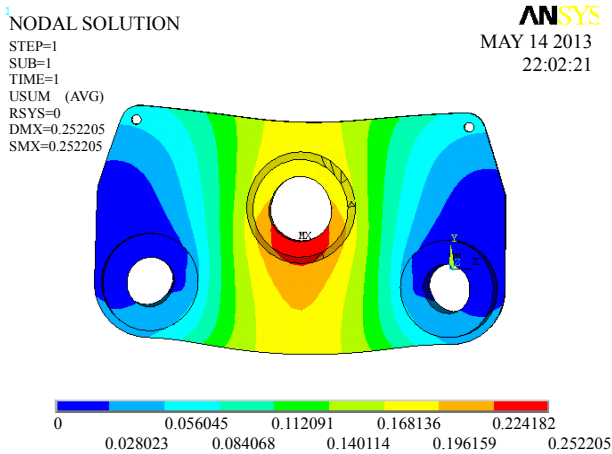


Figure 6. The displacement diagram of bogie frame  
图 6. 台车架位移图

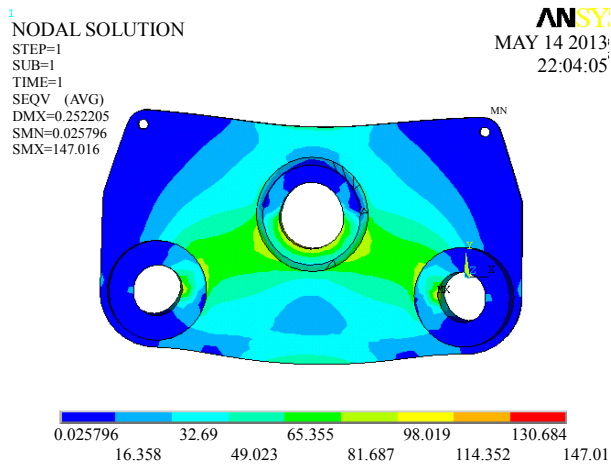


Figure 7. The equivalent stress diagram of bogie frame  
图 7. 台车架等效应力图

#### 4. 回转台车架的结构改进

由上文分析可知，台车架的最大应力值出现在走轮轴座孔与铰座销轴孔相连的部位，约成  $120^\circ$ 。说明台车架受力主要来自于上回转上部结构作用在台车架铰座销轴上的压力。由此，在进行回转台车架的设计时，可在走轮轴孔与铰座销轴孔之间的薄弱部位设计加强筋，以减小台车架的变形；还可在台车架两侧腹板下方设计连接板防断裂。

对改进后的回转台车架结构再次用 SolidWorks 软件建立三维模型，如图 8 所示，并用上文所述方法导入 ANSYS 软件中进行有限元分析，如图 9 所示。

由于所做改进仅针对结构，并未改变台车架材料与工艺，因此在改进后的有限元分析中，材料属性设置、约束及载荷的施加过程均与改进前一样。

结构改变之后的台车架变形位移图如图 10 所示，可以看出，台车架的最大变形量为  $0.039116 \text{ mm}$ ，与改变结构之前相比，变形量明显减小。

结构改变之后的等效应力图如图 11 所示。与结构改变之前的等效应力图对比可以发现，改进后的回

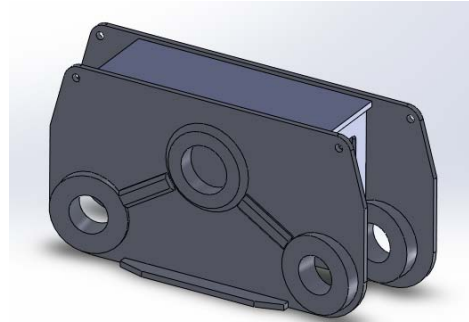


Figure 8. The model diagram of the improved bogie frame  
图 8. 改进后的回转台车架模型图

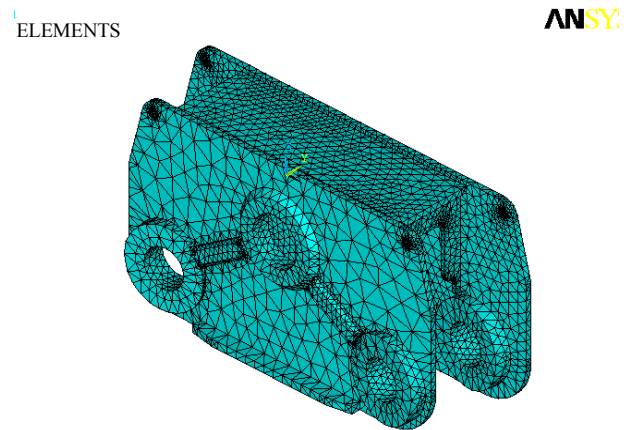


Figure 9. The finite element model of the improved bogie frame  
图 9. 改进后的回转台车架有限元模型

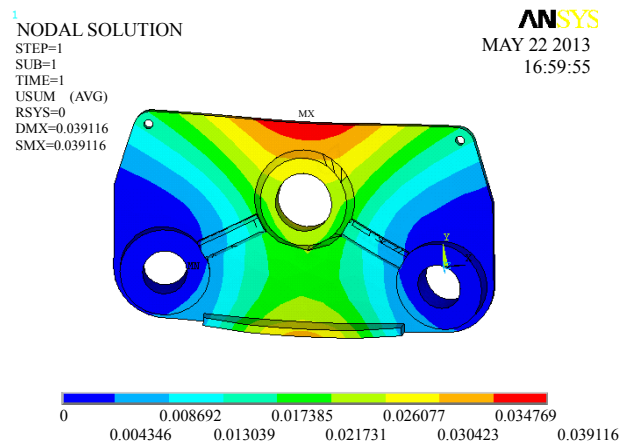


Figure 10. The displacement diagram of the improved bogie frame  
图 10. 改进后的回转台车架位移图

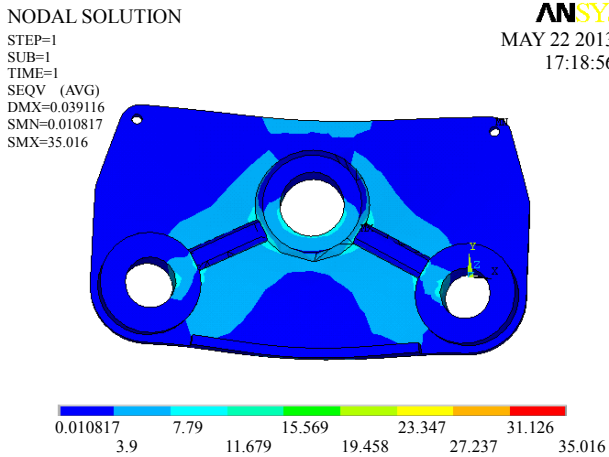


Figure 11. The equivalent stress diagram of the improved bogie frame

图 11. 改进后的台车架等效应力图

转台车架变形情况明显得到改善，改进前回转台车架中间部位的变形较大区域分布面积较大，而改进后回转台车的变形值明显减小，最大应力值仅为 35.016 MPa，同时，大变形的分布面积也变得非常小，回转台车的刚度得到很大的提高。

此外，改进后的回转台车架侧壁的应力集中情况也得到明显的改善，高应力集中的分布区域几乎消失。最为重要的是，改进后，原来应力最大的区域变为应力最小的区域。由此可见，改进后回转台车的强

度得到了提高。

## 5. 结论

本文对堆取料机回转台车的台车架进行了有限元静力分析，经过模型简化、网格的划分、施加约束和载荷、后处理等，得出总变形图和等效力图，验证了结构满足使用要求，设计具有可行性。同时，在得出分析结果后，提出了对结构的改进方案，使得设计的回转台车结构在实际应用中提高了刚度与强度，延长了使用寿命。

## 参考文献 (References)

- [1] 王玉兴, 唐艳芹, 魏民祥等. 悬臂式斗轮堆取料机的发展及研究动向[J]. 建筑机械, 1999, 8: 25-29.
- [2] 吕顺, 闵振东, 甘绍敏. 臂式斗轮机回转机构的工作原理及特点分析[J]. 机械工程师, 2010, 9: 161-163.
- [3] 张应迁, 张洪才. ANSYS 有限元分析从入门到精通[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010: 8-9.
- [4] 王社. 材料力学[M]. 西安: 西北工业大学出版社. 2008: 169-170.
- [5] 夏连明, 刘波, 陶文秀. 基于 SolidWorks 与 AYSYS 的挖掘机动臂有限元分析[J]. 矿山机械, 2012, 4: 32-35.
- [6] 时公贺, 梁岗. 基于 SolidWorks 和 ANSYS 的大型全回转架梁起重机结构强度分析[J]. 计算机辅助工程, 2009, 1: 60-65.
- [7] 宋剑峰. ANSYS 有限元分析[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2012: 88-89.