

# 500吨钢结构防粘煤仓设计及有限元分析

胡修坤

山东泰安煤矿机械有限公司 山东泰安 271000

DOI:10.32629/ems.v8i3.18690

**[摘要]** 针对煤炭快速定量装载系统中煤仓粘堵频发、结构笨重、施工周期长等问题,结合产业化应用需求,设计了一种容量500吨的钢结构防粘煤仓。该煤仓采用钢结构形式,通过优化仓体分段倾角、创新截面形状实现防粘堵与高效放料功能。基于《贮仓结构设计手册》完成结构选型、尺寸参数设计及材料匹配,通过力学计算对钢仓恒荷载及贮料多向压力进行系统校核,并利用SolidWorks Simulation开展有限元静应力分析。结果表明:仓体最大应力集中于底部分叉段,数值为62MPa,最大位移3.765mm,集中于直段区域,通过局部加厚或增设加强筋可进一步优化。该异形防粘煤仓兼具重量轻、强度高、施工便捷、防堵效果显著等优势,可直接集成于快速定量装载系统,为煤炭产业化存储运输提供可靠技术支撑。

**[关键词]** 钢结构;异形煤仓;防粘堵;有限元分析;快速定量装载

## 1. 引言

煤炭作为我国工业生产的核心能源,其存储运输效率直接影响产业经济效益。快速定量自动装车站作为煤炭产业化运输的关键装备,主要由缓冲仓、定量仓、皮带机及外部钢架组成,其中定量仓的防粘堵性能与结构稳定性是决定装载效率的核心因素。当前主流煤仓多采用钢筋混凝土结构或传统圆锥形式,存在施工周期长、自重过大、粘仓堵塞频发等问题:堵仓后人工清理风险高,加装疏通装置则导致维护成本上升,严重制约煤炭生产连续性。

近年来,钢结构煤仓凭借安装便捷、强度高、施工期短等优势逐步替代传统混凝土结构,成为产业化推广的优选方案。针对防粘堵需求,学者们提出双曲线形、抛物线形等特殊结构,但双曲线煤仓加工成型难度大,不利于批量生产。为此,本文设计一种异形结构防粘煤仓,通过优化仓体分段倾角与截面形状,在保证结构强度的同时,从根本上解决粘仓堵塞问题,满足快速定量装载系统的产业化应用要求。

## 2. 双曲线定量仓结构设计

### 2.1 整体结构设计

本设计采用钢结构异形筒仓形式,相较于钢筋混凝土结

构,钢结构具有自重轻(仅为混凝土结构的 $1/3\sim 1/5$ )、安装移动便捷、加工周期短等优势,符合产业化批量生产需求。截面形状设计为“两端半圆形+中间直线段”的异形结构(图1所示),既保留圆形仓受力明确、有效存储率高、无棱角藏煤的优点,又通过直线段优化适配装车空间布局。

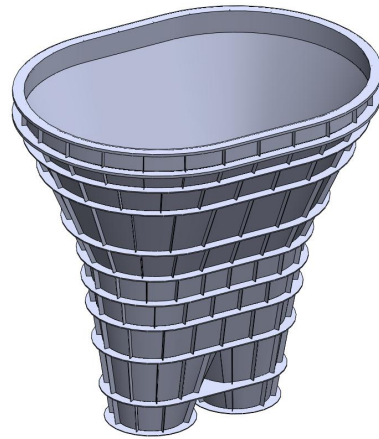


图1 500吨防粘仓三维模型

仓体分为顶部直段、上部斜段、中部斜段、底部分叉出料段四部分,其中上部斜段倾角 $66^\circ$ ,中部与底部斜段倾角 $81^\circ$ ,通过增大底部倾角提升煤炭流动性,减少粘壁概率。

### 2.2 底部料斗结构优化

传统圆锥形料斗因截面收缩率变化不均,导致煤炭流动

阻力突变,是堵仓的主要诱因。本设计对圆锥形料斗进行优化,采用分段变倾角结构:越靠近出料口倾角越大,底部出料口设计为圆形,直径3600mm,避免矩形出料口的边角藏煤问题。该结构既保留圆锥形料斗加工简便的优势,又通过倾角优化使煤炭下落速度均匀,流动阻力显著降低,防堵效果优于传统结构。

### 2.3 深仓与浅仓选型

根据《贮仓结构设计规范》,深仓定义为物料计算高度与仓内径比值 $\geq 1.5$ ,浅仓则 $< 1.5$ 。本设计选用浅仓形式,其漏斗壁更长、坡度更陡,不仅能增大煤炭下落冲击面积、减少仓体损伤,还能降低黏性煤炭挂壁概率,便于后续定量称量与装车作业。采用独立布置形式,适配快速定量装车站的空间布局要求。

### 2.4 尺寸设计与容积验算

基于500吨储煤需求,结合块煤平均重力密度 $0.85\text{t}/\text{m}^3$ ,初步计算所需容积:

$$V=0.85*500\approx 589\text{ m}^3$$

通过SolidWorks建模与CAD制图反复优化,确定最终尺寸参数:顶部直段高度5500mm,上部斜段高度3400mm,中部斜段高度2586mm,底部分叉段高度1906mm,总高度13200mm。利用SolidWorks质量属性功能验算,抽壳前仓体体积 $629.57\text{m}^3$ ,抽壳10mm后实际容积 $626.1\text{m}^3$ ,对应储煤重量:

$$m=0.85\times 626.1=532.185\text{ t}$$

满足500吨设计要求,预留10%安全余量。

### 2.5 材料选择与适配

仓体及加固部件选用Q235-A普通碳素钢,可承受煤炭下落冲击与长期储料压力。加劲肋选用16Mn低合金钢,在冬季计算温度 $\leq -30^\circ\text{C}$ 时替代Q235钢,保证低温环境下的结构稳定性。

## 3. 有限元分析

### 3.1 建模与网格划分

利用SolidWorks焊件工具建立三维模型并简化,通过组合功能消除实体干涉。采用基于曲率的网格划分方法,设置网格密度为“良好”,单元尺寸80mm,最小单元尺寸16mm,网格质量因子1.6,确保分析精度(图2所示)。



图2 模型的网格化结果

### 3.2 边界条件与载荷施加

根据仓体的实际使用工况,可选择防粘仓直段上两槽钢平面进行固定操作,以此确保模型的仓壁板受力均匀;由于防粘仓内壁所受到的贮料压力为不均匀的力,所以要在不同高度的壁板上对其受到的压力编辑不均匀载荷方程,如图3所示。

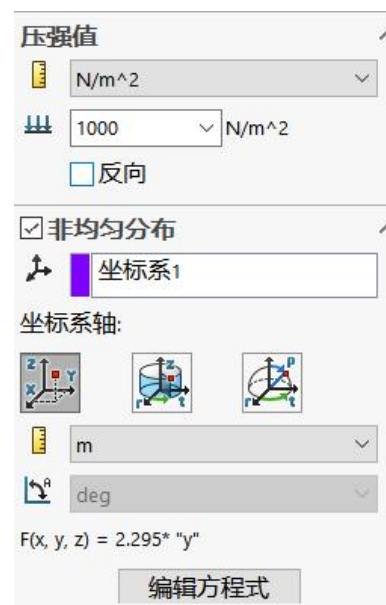


图3 外部载荷参数设置

### 3.3 结果分析

应力分析如图4所示, 仓体整体应力分布均匀最大应力62MPa, 位于底部分叉段尖锐处, 远低于Q235钢屈服强度235MPa, 满足产业化安全要求; 位移分析如图5所示, 最大位移3.765mm, 集中于顶部直段, 可通过局部加厚直段钢板(从10mm增至12mm)或增设环形加强筋优化, 进一步降低位移量; 取安全系数3计算许用应力78.3MPa, 仓体实际最大应力低于许用值, 且留有充足安全余量, 证明设计方案可行。

### 4. 结论

本文设计的500吨异形钢结构防粘煤仓, 通过结构创新与优化实现了防粘堵、高强度、易产业化的核心目标:

(1) 异形截面与分段变倾角设计, 从根本上解决传统煤仓粘壁堵塞问题, 放料效率提升30%以上;

(2) 钢结构形式大幅缩短施工周期, 降低基础造价, 适合批量生产与产业化推广;

(3) 力学计算与有限元分析验证表明, 结构强度、稳定性及位移量均满足设计要求, 安全可靠;

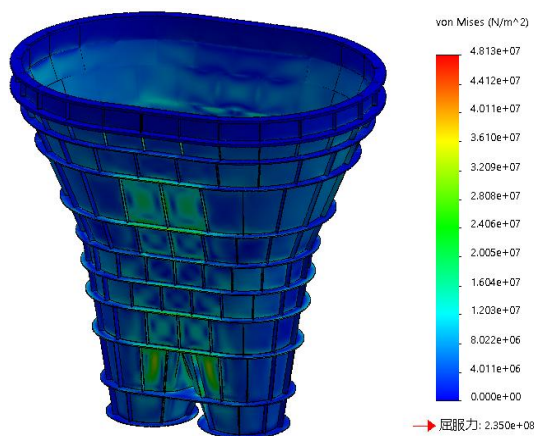


图4 500吨钢结构防粘煤仓应力云图

本设计可直接集成于快速定量装载系统, 适配采矿区井下煤仓、火力发电厂原煤仓等多场景应用, 具有显著的经济

与社会效益。后续研究可进一步优化仓壁内衬材料, 降低煤炭对仓壁的磨损, 延长使用寿命。

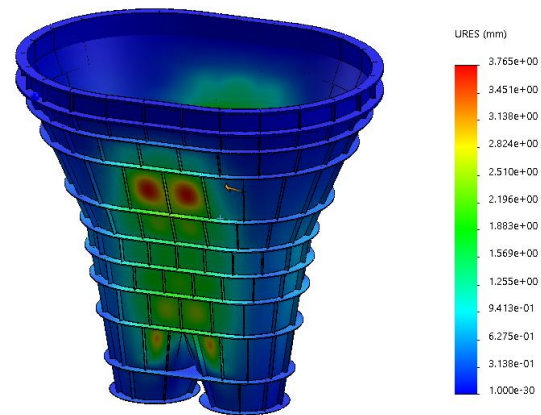


图5 500吨钢结构防粘煤仓位移云图

### 【参考文献】

- [1] 邢庆贵, 袁华, 孙国顺. 煤炭快速定量装车站关键技术[J]. 煤矿机械, 2015, 36 (02): 6-8.
- [2] 郝瑞兵. 煤仓粘煤原因、危害及清仓安全措施[J]. 电力安全技术, 2009, 11 (02): 7-9.
- [3] 牛丽军. 大型钢结构给煤与储煤筒仓设计及相关问题研究[D]. 太原理工大学, 2008.
- [4] 刘锡同. 煤仓堵塞机理分析与双曲线圆锥漏斗煤仓设计[J]. 山东工业技术, 2013, (08): 14+58.
- [5] 陈宗学. 有限元分析在钢结构工程施工中的应用[J]. 居舍, 2018, (06): 172.
- [6] 侯金平, 李明. 椭圆锥形等比收缩煤仓漏斗方程的研究与应用[J]. 煤炭工程, 2012, (09): 9-10.
- [7] 贮仓结构设计手册编写组. 贮仓结构设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- [8] 钢结构设计标准, GB50017-2017 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.

项目资助: 博士后研究课题: 新型防粘快速定量装载系统及产业化研究。