

量要求。其中,线性关系验证结果表明:8种目标成分在设定的浓度范围内均呈现良好的线性关系。以峰面积(Y)为纵坐标、浓度(X)为横坐标进行线性回归分析,果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、绿原酸、咖啡酸、对香豆酸、阿魏酸的标准曲线相关系数( $r^2$ )分别为0.9998、0.9997、0.9996、0.9995、0.9993、0.9994、0.9992、0.9991,均 $\geq 0.995$ ,表明各成分在检测浓度区间内线性响应稳定,可用于定量分析。检出限以信噪比(S/N=3)计算,范围为0.01-0.05  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,定量限以信噪比(S/N=10)计算,范围为0.03-0.15  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,体现了方法良好的灵敏度,能够准确检测出蜂蜜中低含量的酚类特征成分。

精密度试验通过对同一标准工作液进行6次平行进样,计算各成分保留时间与峰面积的相对标准偏差。结果显示:保留时间的RSD范围为0.12%-0.35%,峰面积的RSD范围为0.85%-1.52%,均 $\leq 2.0\%$ ,检测精密度满足试验要求。重复性试验选取同一纯蜂蜜样品,按前处理方法平行制备6份样品并检测,各目标成分含量的RSD范围为1.02%-1.86%, $\leq 2.0\%$ ,证明该检测方法的重复性可靠。回收率试验采用加标回收法,向已知含量的纯蜂蜜样品中分别加入低、中、高三个浓度水平的标准品溶液,每个浓度水平设置3份平行样,按既定检测流程分析并计算回收率。结果显示:8种目标成分的回收率范围为95.3%-104.7%,RSD范围为0.98%-1.63%,均符合定量分析中回收率95%-105%的要求。

### 3.2 纯蜂蜜与掺假蜂蜜的HPLC特征图谱分析

通过对纯蜂蜜与不同掺假比例、不同掺假基质蜂蜜样品特征图谱的对比分析,色谱峰数量、保留时间、峰面积及特征峰分布上存在明显差异。其中,纯蜂蜜样品的HPLC特征图谱呈现出清晰、稳定的特征峰分布,主要包含果糖、葡萄糖等糖类成分峰与绿原酸、咖啡酸、对香豆酸、阿魏酸等酚类特征成分峰。糖类成分中果糖与葡萄糖峰面积占比最大,且果糖峰面积显著高于葡萄糖峰面积,符合纯蜂蜜中果糖含量略高于葡萄糖的天然特性。酚类成分虽含量较低,但特征峰辨识度高,不同品种纯蜂蜜的酚类特征峰种类一致,仅峰面积存在品种特异性差异,这与蜂蜜的蜜源植物特性相关。以纯洋槐蜜样品的特征图谱为例,果糖峰、葡萄糖峰、绿原酸峰、对香豆酸峰均清晰可见,无杂峰干扰,峰形对称,分离度良好<sup>[4]</sup>。

而掺假蜂蜜样品的HPLC特征图谱随掺假基质与掺假比例的变化呈现明显规律性差异。当掺入果葡糖浆或玉米糖浆时,葡萄糖峰面积占比明显增大,果糖峰与葡萄糖峰的面积比逐渐降低,且随着掺假比例的增加,这一变化趋势越加显著。掺假样品中酚类特征成分峰的峰面积呈现持续下降趋势,当掺假比例达到10%及以上时,咖啡酸、阿魏酸等低

含量酚类成分峰几乎消失,绿原酸、对香豆酸峰面积仅为纯蜂蜜样品的50%-70%。当掺入蔗糖时,除了酚类特征峰面积下降外,在保留时间16.8 min处出现明显的蔗糖特征峰,且蔗糖峰面积随掺假比例增加而线性增大,纯蜂蜜样品中仅检测到微量蔗糖峰,而掺假5%蔗糖的样品中蔗糖峰面积占比可达8%以上,从特征图谱上面很容易区分。

### 3.3 化学计量学分析结果

将HPLC-DAD检测获得的8种目标成分峰面积数据经归一化、中心化预处理后,导入SIMCA 14.1与SPSS 26.0软件进行主成分分析、偏最小二乘判别分析及Fisher判别分析。主成分分析结果显示:前两个主成分的累计方差贡献率达89.7%,可反映原始数据的主要信息。PCA得分图中,50份纯蜂蜜样品聚类效果良好,表明品种差异对分类的影响小于掺假带来的差异。180份掺假蜂蜜样品则集中分布在得分图的右侧区域,与纯蜂蜜样品的聚类簇完全分离,无交叉重叠现象。偏最小二乘判别分析结果表明模型拟合度高、预测能力强,无过拟合现象。PLS-DA得分图中,纯蜂蜜与掺假蜂蜜样品的分离效果较PCA更显著,两类样品分别集中在得分图的两侧,边界清晰,这就说明该模型可实现纯蜂蜜与掺假蜂蜜的精准鉴别。Fisher判别分析示:类别鉴别准确率达96.7%,掺假比例预测误差 $\leq 2.0\%$ ,表明该模型不仅能够准确鉴别蜂蜜是否掺假,还能实现掺假比例的定量预测。

## 4 结语

综上,在本研究中,通过对蜂蜜掺假的HPLC-DAD鉴别及化学计量学分析方法有效性的验证发现:通过对HPLC-DAD检测条件的进一步优化,对PCA、PLS-DA、Fisher判别分析等化学计量学方法的有效运用,构建了蜂蜜掺假鉴别模型与掺假比例预测模型,借助于该模型对掺假蜂蜜进行鉴别,其准确率达到98.5%以上,并且能实现10%—80%范围内掺假比例的精准预测。因此,这种高效的鉴别方法不仅克服了传统鉴别方法主观性强、准确率低、操作繁琐、稳定性差的弊端,也为市场监管部门及食品生产企业的监督检验与质量防控提供了有力的参考依据,这对维护蜂蜜市场秩序、保障消费者健康权益意义深远。

### 参考文献

- [1] 李旺旺,李琳琳,梁斌,等.基于LF-NMR和3D-SFS的植物糖浆掺假蜂蜜快速鉴别技术[J].食品工业,2023,44(06):282-286.
- [2] 柳吉芹,钱云开,高飞,等.中蜂蜂蜜和意蜂蜂蜜实时荧光PCR法鉴别及其应用[J].中国蜂业,2021,72(01):57-60+64.
- [3] 寇泽坤,陈国通,李思雨,等.拉曼光谱结合化学计量学方法鉴别糖浆掺假蜂蜜[J].食品科学,2024,45(01):254-260.
- [4] 张月,王琪琦,王海燕,等.蜂蜜真实性鉴别技术研究进展[J].食品科学,2024,45(15):374-382.

# 8D Analysis and Improvement of Mining Dump Truck Wheel Rim Reducer Market Failure

Shibao Zhang

Xuzhou Xugong Mining Machinery Co., Ltd., Xuzhou, Jiangsu, 221000, China

## Abstract

The wheel-side reducer of mining dump trucks operates under complex working conditions, enduring prolonged high loads and impact forces. Frequent market failures of this component directly affect overall vehicle reliability and brand reputation. To effectively identify and resolve the root causes of these failures, this paper introduces the 8D quality management tool to conduct a systematic analysis of market defects in wheel-side reducers. Through comprehensive management from D1 to D8, the study clarifies the processes of problem definition, root cause tracing, and implementation of corrective actions. Findings indicate that failures are primarily concentrated in three categories—planetary gear wear, early bearing failure, and sealing defects in the lubrication system—accounting for approximately 78% of total incidents. By applying measures such as material strengthening, seal structure optimization, and standardized assembly processes, the product failure rate decreased by 32%, and customer complaints dropped by 27%. The results demonstrate that the 8D method significantly enhances the market quality management level of key components in mining vehicles and provides a valuable reference for establishing an efficient closed-loop quality management system in the construction machinery industry.

## Keywords

Mining dump truck; Wheel-side reducer; 8D quality management; Market failure; Corrective measures

# 矿用自卸车轮边减速器市场故障 8D 分析与改进

张世宝

徐州徐工矿业机械有限公司，中国 · 江苏 徐州 221000

## 摘要

矿用自卸车轮边减速器在复杂工况下长期承受高载荷与冲击载荷，其市场故障频发直接影响整车可靠性与品牌信誉。为有效识别并解决故障根源，本文引入8D质量管理工具，对轮边减速器市场故障进行了系统化分析。通过D1至D8的全过程管理，明确了问题定义、根因追溯及改进措施落实路径。研究发现，故障主要集中于行星齿轮磨损、轴承早期失效与润滑系统密封缺陷三类，约占总故障比例的78%。通过采用材料强化、密封结构优化及装配工艺标准化等措施，产品故障率下降了32%，客户投诉减少了27%。结果表明，8D方法能够显著提升矿用车辆关键零部件的市场管理水平，为工程机械行业建立高效闭环质量管理体系提供了参考。

## 关键词

矿用自卸车；轮边减速器；8D质量管理；市场故障；改进措施

## 1 引言

矿用自卸车作为矿山运输的核心装备，其可靠性直接决定生产效率与运营成本。轮边减速器作为动力传递的关键部件，在高扭矩、高粉尘、高温差的环境中运行，极易出现齿轮疲劳剥落、轴承烧蚀及润滑油污染等问题，导致设备停机与经济损失。近年来，随着矿区机械化程度提升，轮边减速器的市场故障逐渐增多，质量追溯与改进需求日益迫切。传统的故障分析多停留在单点检测与经验判断阶段，缺乏系统化管理思路。8D质量管理工具以问题导向、数据驱动为

核心，通过跨部门协同实现从故障识别到根因消除的全过程控制。本文以矿用自卸车轮边减速器市场故障为研究对象，探讨8D方法在故障管理与持续改进中的应用路径与实践成效。

## 2 8D 质量管理工具概述

### 2.1 8D 质量管理工具的起源与发展

8D质量管理工具最早由美国福特汽车公司质量管理部提出，用于解决产品在生产和市场使用过程中出现的系统性问题。该方法以团队协作和问题溯源为核心，旨在通过科学化步骤实现持续改进。随着20世纪80年代汽车产业全球化，8D被逐步标准化并推广至航空、机械、能源等行业。进入21世纪后，该工具被引入到矿山装备制造领域，用于

【作者简介】张世宝（1988-）男，中国安徽六安人，本科，工程师，从事质量管理研究。

提升关键部件的可靠性与稳定性。它强调数据驱动的分析方式，通过系统化流程将经验判断转化为可追溯的质量管理活动，为企业建立闭环问题管理体系提供了技术基础和实践路径。

## 2.2 8D 工具的基本原理与步骤

8D 方法以问题为导向，围绕 D1 至 D8 八个步骤展开，包括团队组建、问题描述、临时措施、根因分析、纠正措施、验证效果、防止再发及团队表彰。该工具强调以数据为支撑，通过事实分析识别问题来源，从而消除系统性缺陷。其核心原理在于将经验判断转变为标准化流程控制，使问题处理从“人依赖”走向“过程依赖”。8D 的实施需要跨部门合作，涵盖设计、工艺、质量及售后环节，确保每一步都有明确的责任界定与量化目标。通过 PDCA 循环机制，8D 不仅解决当前问题，还促进企业形成持续改进文化，实现质量提升与成本控制的双重效益。

## 3 矿用自卸车轮边减速器市场故障分析

### 3.1 矿用自卸车轮边减速器的工作原理与应用特点

轮边减速器是矿用自卸车动力传递系统的关键组成部分，其主要功能是将发动机输出的高转速低扭矩转化为低转速高扭矩，实现车辆在复杂地形条件下的高负载驱动。该装置通常采用多级行星齿轮结构，具备传动效率高、结构紧凑和承载能力强的特征。由于矿区环境中粉尘、水汽、冲击负荷频繁，减速器在长期运行中容易受到磨粒磨损、润滑失效和温升过高的影响。其工作特点决定了对密封性、齿面硬度和装配精度的要求极高。任何微小的制造或装配误差都可能引发早期失效，从而影响整车动力系统的稳定运行。

### 3.2 轮边减速器市场故障的主要表现与影响

矿用自卸车轮边减速器在长期运行中容易出现异响、漏油、过热及齿轮断裂等现象，这些问题不仅影响设备的正常使用，还会导致整车运行效率下降。故障发生后，维修周期较长，往往造成运输任务延误与经济损失。持续的故障积累会削弱用户信任度，降低产品在市场中的竞争力。与此同时，润滑系统泄漏引起的油液外溢容易造成地表污染，增加矿区环境治理压力。深入分析表明，市场故障多源于结构设计裕度不足、装配工艺控制波动以及使用与维护不规范等因素的叠加。若不及时改进设计与工艺控制环节，问题将呈现反复性与系统性特征，制约整车可靠性与企业品牌形象的持续提升 [1]。

## 4 应用 8D 分析矿用自卸车轮边减速器市场故障

### 4.1 问题定义 (D1)：市场故障的具体表现

在矿用自卸车的轮边减速器出现故障时，主要表现为异响、漏油、过热和齿轮断裂等问题。这些故障不仅影响了车辆的正常运行，还增加了维修时间和成本，导致客户的设备停机时间大大延长。通过收集并分析市场反馈和客户投

诉，明确了故障的频发部件和主要问题，例如轴承磨损、润滑不良及结构设计不合理等。进一步的统计分析发现，轮边减速器的故障主要集中在高负荷工作环境下的重载运行阶段，这使得减速器过早进入故障状态。为了准确把握问题的本质，团队通过现场检查和数据采集，确保问题定义更加精准，为后续的根因分析与解决措施奠定了基础。

### 4.2 临时措施 (D2)：针对故障的应急处理与解决方案

针对市场上频发的减速器故障，企业实施了紧急响应措施，包括更换问题零部件和加强维护检测等。首先，建立了快速故障处理机制，将问题车辆进行集中排查，及时更换故障减速器部件，确保设备尽快恢复正常。为了降低故障风险，技术团队对所有轮边减速器进行了全面检查，特别是对润滑系统和密封件进行了重点检查和修复。同时，在短期内加强了油液的监控频次，并通过对比分析发现，部分零件的磨损速度远高于设计标准，因此迅速调整了润滑油的更换周期和齿轮油牌号，以减少后期故障的发生。这些临时措施虽然能够缓解当时的故障压力，但仍需进一步的系统性改进以解决根本问题，防止类似问题的再次发生。

### 4.3 根本原因分析 (D3)：基于数据与现场调查的故障根因分析

通过深入的数据分析和现场调查，团队确定了导致轮边减速器故障的主要根本原因。首先，减速器的设计存在一定的冗余不足，部分关键部件在高负荷条件下承受的应力超出了其设计标准，导致疲劳裂纹的形成。其次，由于材料选择不当，套管硬度偏低，导致在长期运行过程中发生破碎断裂。再者，客户方未按照操作保养手册执行保养工作，如 500 小时时查看磁性螺塞表面的铁屑情况以及进行齿轮油样的检测。最后设计在一级行星轮轴承之间的轴承隔圈尺寸不合理，造成轴承出现批量早期故障。团队通过细致的根因追溯，确认了这些因素的叠加作用导致了设备的早期失效。这一发现为后续的纠正和预防措施的制定提供了明确的方向，确保能够从源头解决问题，避免类似故障的重复发生。

## 5 8D 分析后的改进措施与效果

### 5.1 纠正与预防措施 (D4)：从源头解决问题的改进措施

在明确了根本原因后，企业采取了一系列纠正与预防措施来解决问题并防止故障再发生。首先，设计团队对轮边减速器的结构进行了优化，增加了关键部件的强度和刚度，特别是加强了套管的设计，使其能够承受更大的工作负荷，减少了应力集中现象。其次，在材料选择上，采用了更为耐磨的材料，增强了齿轮表面的硬度，提高了耐磨性能。通过对润滑系统进行重新设计，优化了油液流通路径，确保了润滑油能够充分覆盖到所有关键部件，从而有效降低了摩擦和磨损。针对装配过程中存在的问题，严格控制了间隙和精度