

的相位闭锁环功能。相位突变导致母线环流。母线环流触发系统限流功能导致系统失压。

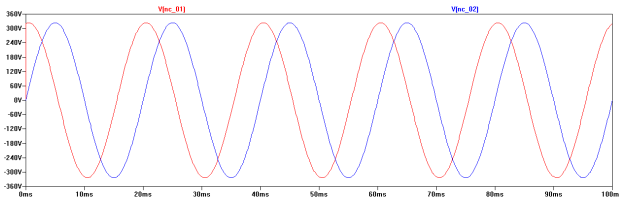


图2 相位延迟波形

### 3.2.3 多重主机的探测

在目前同步控制卡 A024 的设计中，有一个由带定值的模拟元件（有容差）和数字元件（输入门限带有容差）组成的 AD8302 电路。AD8302 电路用于幅度和相位测量的单片集成电路，即用于探测同步母线上是否存在多重主机，能同时测量从低频到 2.7GHz 频率范围内两输入信号之间的幅度和相位差。AD8302 主要由精密匹配的两个宽带对数放大器、一个相位检测器、输出放大器组、一个偏置单元和一个输出参考电压缓冲器组成。该电路元件容差导致电路对相位差的监测范围变宽，主要是数字逻辑元件输入电压门限容差增大，监测门限不足以精确到能让 4.5 毫秒内相位延迟的滞后主机变为从机。仿真电路测试出探测范围偏差在 2.6-4.5 毫秒之间。即只有当滞后主机的频率与超前主机的频率差大于探测极限时，滞后的主机才会被系统探测到。也就是说，由于相关元器件的参数固有偏差，硬件上允许 4.5 毫秒以内的相位延迟。这种情况下滞后主机则不会被强制为从机。

### 3.2.4 结论

根本原因已经确定为逆变器同步控制卡 A024 主从逻辑漏洞。

该逻辑负责选择一个逆变器作为主机，被选为主机后该逆变器会将自身的同步信号上传到同步母线上。其他所有逆变器将会被选择为从机并跟随主机的同步信号。同时所有的从机会调整它们的同步信号以便于随时接替主机。目前的主从选择逻辑允许在同步母线上同时出现多台主机。虽然设计上 A024 卡可以探测同步母线上是否存在多重主机，但探测电路精度不够，不足以让 4.5 毫秒内相位延迟的滞后主机变为从机。同步母线上会出现多台主机。这种情况在逆变器主从式并联系统正常运行时没有问题，所有从机都会跟随超前主机的信号。但是滞后主机并未像其他从机一样调整自身的同步信号，一旦超前主机被隔离，滞后主机会产生了一个相位突变，导致系统输出产生环流。

## 4 解决方案

为了解决根本问题，将同步控制卡 A024 做了硬件优化。

### 4.1 相位差异探测

新设计的相位差异探测电路的探测极限为 0.5 毫秒 ± 10%。它基于一种新型的特殊时钟元件，相较于旧的元器件，有着更小的探测极限。新电路探测同步母线上滞后主机的同步信号，会将滞后主机强制为从机，超前主机不会被误强制为从机。对比之前的电路，最大的潜在相位突变从原先的 4.5 毫秒降到了 0.55 毫秒，如图 3。

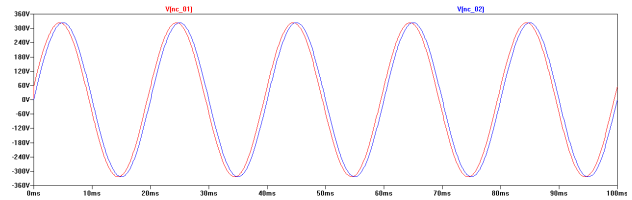


图3 优化后相位延迟波形

### 4.2 逆变器安装更换优化后的同步控制卡 A024

对某核电站的四台逆变器的同步控制卡 A024 进行更换。最终解决并联逆变器正常运行时隔离其中一台逆变器，断掉其上游电源开关和其输出交流开关后，有概率导致系统母线失电的故障。

## 5 结语

本文介绍了并联逆变器系统正常运行时，隔离单台逆变器会闪发母线失电的故障。针对故障现象，对母线环流和逆变器同步控制卡 A024 进行了详细分析，最终确定多台主机运行工况下，隔离超前主机会使滞后主机立刻取代主机的位置产生相位突变导致系统输出产生环流。对逆变器同步控制卡 A024 进行改进，对某核电站在役的逆变器的同步控制卡 A024 进行更换。本文为核电站后续同类型并联逆变器系统出现母线环流故障的处理提供了重要的借鉴和参考价值。

### 参考文献

- [1] 李明成, 林建, 付明星, 许本福, 马培封. 核电厂 1E 级充电器及逆变器设备鉴定方案研究[J]; 大亚湾核电, 2015, 3: 69-72
- [2] 张颖超, 杨贵恒, 常思浩, 徐国家. 《UPS 原理与维修》, 北京; 化学工业出版社, 2011.3: 211-212
- [3] 叶满园, 康力旋. 级联多电平逆变器优化调制策略[J]. 2015, 5: 34-36

# Fault diagnosis and maintenance of small tonnage gear pump shaft head wear

Erkui Ma

Anhui Heili Co., Ltd., Hefei, Anhui, 230601, China

## Abstract

Addressing issues in the aftermarket with a user-first approach, this study conducts an in-depth analysis of small-tonnage gear pump shaft head wear. The investigation verified technical parameters of engine PTO ports, performed theoretical analyses on spline tooth engagement strength between engine PTO ports and hydraulic pump shafts, conducted physical measurements, and surveyed field usage scenarios. The research identified root causes of abnormal wear in small-tonnage gear pump shaft heads. Targeted practical solutions were developed for each identified factor. Through implementation and thorough validation, significant improvements were achieved—effectively reducing wear failure rates to the greatest extent possible. This initiative has not only mitigated economic losses for both customers and our company but also enhanced customer satisfaction.

## Keywords

gear pump; shaft head wear; maintenance; failure rate reduction

# 小吨位齿轮泵轴头磨损故障诊断与维修

马二魁

安徽合力股份有限公司，中国·安徽 合肥 230601

## 摘要

本文针对售后市场出现的问题，本着用户至上的原则，对问题进行了深入分析和研究，调查了小吨位齿轮泵轴头磨损的现状，核查了发动机PTO口技术参数，对发动机PTO口花键齿与液压泵花键轴啮合强度进行了理论分析，对实物进行了测量，调研了用户现场使用情况，得出小吨位齿轮泵轴头异常磨损的真正原因，针对这些真因，一一制定切实可行的措施，通过实施，并经过充分验证，效果明显，最大可能地降低齿轮泵轴头磨损故障率，为顾客和我司均挽回了经济损失，提高了客户满意度。

## 关键词

齿轮泵；轴头磨损；维修；降低故障率

## 1 引言

叉车齿轮泵，是一种通过改变啮合容积大小实现液压油输送的回转泵，作为液压系统的核心动力元件，其可靠性对叉车性能的影响起到至关重要的作用。其失效模式主要有内漏、外漏、轴头磨损等，其中轴头磨损会造成供油不足导致起升速度缓慢，异响，噪音，影响执行元件的精准度，径向力失衡加剧腔内扫膛磨损，进而可能引起液压系统不工作，影响客户作业进度等等<sup>[1]</sup>。

## 2 原因分析

### 2.1 发动机 PTO 口花键齿与液压泵花键轴啮合强度理论分析

载荷：液压泵额定载荷 120Nm，扭转工况；

分析结果：接触根部应力大，应力值 570.37MPa，小于 20CrMnTi 的屈服强度 850MPa。（见图 1、图 2）

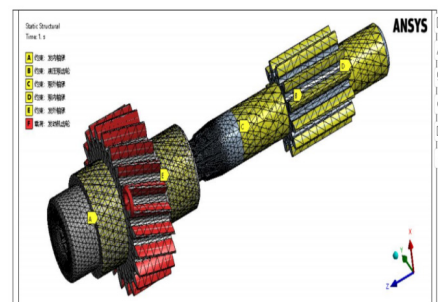


图 1. 齿轮泵轴的有限元模型

【作者简介】马二魁（1983-），男，中国安徽宿州人，本科，助理工程师，从事质量管理研究。

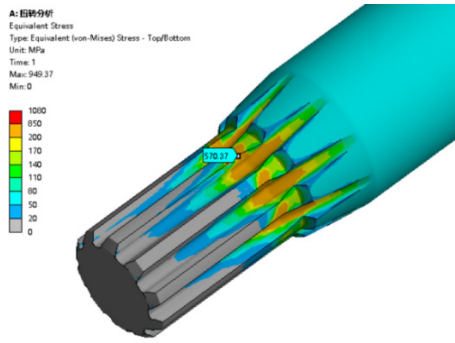


图 2. 齿轮泵轴的应力分布

## 2.2 发动机 PTO 口及花键孔检测表

根据图纸技术参数，核查 Q、XC VP 泵、共轨发动机

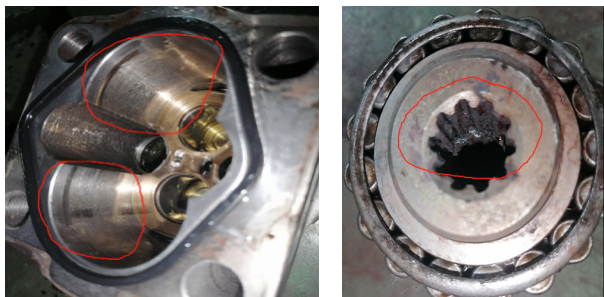
序号	发动机厂家	齿数	材质	数量	花键轴端面平均硬度	齿顶面平均硬度	花键平均长度(mm)	SAE 渐开线内花键与液压泵安装内止口的同轴度	液压泵安装面与内花键轴线平均垂直度
1	Q (VP 泵)	10	20GrMnTi	5	58.5	58.7	35.66	Φ0.12	0.15
2	Q(共轨)			5	58.5	58.22	35.6	Φ0.13	0.15
3	XC (VP 泵)			5	60.00	60.00	29.82	Φ0.13	0.07
4	XC(共轨)			5	60.00	60.00	29.78	Φ0.13	0.07
5	WS1 进口花键		\	\	5	23.70	22.40	56.30	\

序号	泵厂家	齿数	材质	数量	花键轴端面平均硬度	齿顶面平均硬度	花键平均长度 (mm)	泵安装止口平均尺寸公差	花键与止口平均同轴度
1	CY1	10	20GrMnTi	5	61.40	60.20	24.38	82.49	0.08
2	CY2				61.80	60.40	24.25	82.49	0.05
3	CY3				61.00	61.00	24.30	82.50	0.07
4	DJ1				60.60	60.40	25.74	82.53	0.06
5	DJ2				60.80	59.40	25.76	82.53	0.06
6	DJ3				60.60	60.20	25.80	82.53	0.06

例如：

(1) 3.8 吨车配装纸卷夹，使用时间 1431.6h，安全阀压力瞬间超过 25MPa 范围值，齿轮泵和 PTO 花键套已经更换过 2 次，齿轮泵花键轴已磨损，花键表面烧结。

(2) 2.5 吨车配装纸卷夹，1785.1h，安全阀压力瞬间超过 25MPa 范围值，齿轮泵花键轴和 PTO 花键套磨损较严重。



## 2.5 结论

齿轮泵轴头磨损或断轴问题的主要原因是：

①由用户私自调高安全阀系统压力齿轮泵负载过大；

各一款，各取样 5 件，共 20 组数据，在图纸技术参数控制范围内。检测了 WS1 进口发动机 PTO 口花键的硬度情况。

## 2.3 油泵 PTO 及花键轴检测表

实物检测情况。根据图纸技术参数，核查 CY、DJ 泵各三种，各取样五件，共 30 组数据；实测结果与图纸技术参数相符。

## 2.4 用户现场调研

根据售后反馈，安徽某公司 2023 年 2 月购买 8 台 A 系列 3.8t 叉车，有 5 台车陆续出现齿轮泵花键轴磨损及断轴问题。经现场验证该用户 8 台车均加装纸卷夹和抱夹类属具，用户为了夹持有力，8 台车多路阀安全阀压力均不同程度调高<sup>[2]</sup>。

② WS1 发动机 PTO 口内花键齿硬度低（15.8-25.3HRC，其他品牌为 58~62HRC）；

③ Q/XC PTO 口内花键与液压泵安装止口同轴度较大（Q/XC Φ 0.15mm；久保田为 Φ 0.025mm）。

## 3 改进措施

第一，针对用户私自调高多路阀安全阀系统压力导致齿轮泵负载过大而引起齿轮泵轴头磨损或断轴问题，编写了小吨位内燃叉车齿轮泵轴头磨损或断轴检查排除方法，如下：

① A 系列 2-3.8 吨齿轮泵轴头磨损或断轴液压方面的分析判断方法

a. 客户反馈问题后，现场先观察多路阀主安全阀铅封是否完好，如完好，不需要测系统压力；如破坏，需要测系统压力，2-3.5 吨系统压力范围 17.5-18MPa，3.8 吨系统压力范围 19.5-20MPa，超出压力范围，证明客户私自调压，要指导客户校正压力值范围；

b. 连接压力表进行测压，压力表规格最好选 40-60MPa；