

# 一起 MAN B&W ME 主机角度编码器故障原因分析及排除

李金明<sup>1</sup>, 李福海<sup>2</sup>

(1. 山东省海丰船舶管理有限公司, 山东 青岛 266100; 2. 青岛远洋船员职业学院, 山东 青岛 266427)

**摘要:** MAN B&W ME 系列电喷柴油机利用曲轴角度编码器实现燃油喷射、排气阀开关定时等精准控制。本文复盘了一起 ME 主机角度编码器的故障排除过程, 提出了加强角度编码器日常管理维护的措施, 为船舶轮机部管理人员提供参考。

**关键词:** 电喷柴油机; 角度编码器; 故障; 排除

**中图分类号:** U664 **文献标识码:** A

## 1 故障经过

某轮主机型号 HYUNDAI MAN B&W 6S60ME-C8.2, 主机最大服务转速 105RPM, 最大功率 12050KW。某日从青岛开往温州港途中, 21:00 左右主机突然出现 TACHO SET A FAILURE(编码器故障)、Delta TACHO B too big(角度编码器 A 与 B 偏差过大)、TACHO Alignment Err(角度编码器对中错误)等一系列报警, 复位后恢复正常。但是过一两个小时又出现了报警。在观察一段时间后确认此报警不影响主机正常运转, 将报警临时锁闭。航行两天靠泊温州港前, 将报警点解锁, 并进行观察, 发现主机转速在 HALF 及以下转速运转时一切正常, 但主机加速至 FULL 以后报警再次断续出现。

## 2 故障原因分析及排除过程

### 2.1 角度编码器工作原理

角度编码器是电喷柴油机控制系统的一部分。电控柴油机的燃油精准喷射、排气阀开关定时, 都是通过角度编码器传输过来的曲轴角度信号来实现的。可以说角度编码器是电喷主机控制系统的核心部件之一。

为保证电喷柴油机的可靠运转, MAN B&W ME 系列电喷柴油机安装了两套相互冗余的角度

编码器 (Angle Encoder), 即 Angle Encoder-A 和 Angle Encoder-B。每个 Angle Encoder 系统各有 4 个固定的探头: Q1A、Q2A、MMA、MSA 和 Q1B、Q2B、MMB、MSB (如图 1 所示), 另外在飞轮端 NO.1 缸正车方向上止点后 90° 的位置还有一个机械固定的参考探头 MSA。信号放大器 A 上 MSA 的接线接在了飞轮端 MSA 上, 而 Angle Encoder-A 内部的 MSA 探头没有接线。Angle Encoder-B 内部 4 个探头都接在了 TSA-B 上。以 Angle Encoder-A 为例介绍其工作原理。Q1A、Q2A 探头检测主机转速、转向和曲轴的运转角度; MMA 是标记探头, 标记 No.1 缸的上止点位置; MSA 是参考探头。角度编码器内部有一个随空心轴转动的带有 360 个齿的圆盘。当主机运转时圆盘同主机曲轴一起转动, 每通过一个齿 Q1A、Q2A 探头就得到一个脉冲信号, TSA-A 内部的计数器就记录一个数, 通过记录脉冲次数计算出主机曲轴的运转 (已经转过的) 角度值 (360 个齿, 精确到 1 度)。如果 Q1A 比 Q2A 先得到信号, 说明主机的运转方向是图 1 所示的逆时针方向; 如果 Q2A 比 Q1A 先得到信号, 则主机的运转方向是图 1 所示的顺时针方向, 从而得出主机的正倒车方向。圆盘上固定有一个半圆的导磁环 (图 1 所示的深颜色半环) 随圆盘一起转动。

收稿日期: 2022-07-27

第一作者简介: 李金明 (1977—), 男, 轮机长

当半圆环转到 MMA 位置时, MMA 探头得到一个脉冲信号标记主机 1 号缸的上止点。系统根据 Q1A、Q2A 和 MMA 的信号输入, 计算出实时的曲轴角度。主机在运转过程中作用在曲轴上的扭转力矩很大, 会产生比较大的扭转振动。为防止 Angle Encoder-A 的空心轴与其连接轴产生滑移而影响 Angle Encoder-A 的准确性, 在主机飞轮上安装了一个机械固定的 180° 曲轴转角的导磁环。当导磁环到达参考探头 MSA 位置时, MSA 得到一个脉冲信号, 持续 180° 曲轴转角, 与系统计算出的主机曲轴转角进行比较来判断 Angle Encoder-A 的运行状态是否正常。正常情况下主机选择 Angle Encoder-A 来运转。当两套 Angle Encoder 系统出现偏差时, 系统会以飞轮端参考探头 MSA 为基准, 来判断 Angle Encoder-A 的准确性。如果系统判断 Angle Encoder-A 故障, 系统会自动选择 Angle Encoder-B 系统。

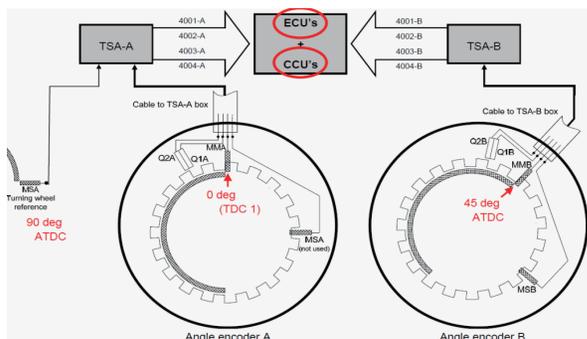


图 1 角度编码器工作原理图

## 2.2 故障原因分析及排除

根据角度编码器工作原理和厂家提供的 TACHO 故障分析技术资料分析, 当编码器同时出现多个报警时, 应该首先解决 TACHO SET A FAILURE 这个警报。引起这个报警的原因有:

### 2.2.1 单缸 MPC (Multi Purpose Controller 多功能控制器) 故障

MPC 通道损坏会引起角度编码器故障报警, 但一般情况下只能引起某个单缸的角度编码器故障报警。本次报警是所有缸的 TACHO SET A FAILURE 全部报警, 可以排除是由单缸 MPC 通道损坏引起的编码器故障报警。

### 2.2.2 角度编码器接线松动、固定支架松动、飞轮端 MSA 探头松动

如果角度编码器本身有问题, 主机在所有的转速区间运转时都会发出报警。但本次故障现象是低负荷、低转速时角度编码器显示正常。主机

只有在高负荷、高转速区运行, 振动加剧的时候, 才会发生断续报警。可以确定角度编码器本身没有问题。

若角度编码器接线松动造成接触不良或角度编码器固定支架松动或者飞轮端 MSA 探头松动也会造成传输信号误差加大。若偏差处在临界值, 主机高速运转、振动剧烈时会造成断续报警。完工后检查角度编码器和飞轮端探头接线状况及固定螺栓的紧固情况以及 Angle Encoder-A、Angle Encoder-B 的固定支架和固定螺栓紧固情况, 发现一切正常。

### 2.2.3 角度编码器空心轴滑移

主机在高负荷时曲轴扭转力矩大, 曲轴会产生扭转变形。如果角度编码器空心轴存在轻微滑移, 再加上曲轴扭转变形, 可导致角度编码器 A 测量的数据与飞轮端 MSA 探头测量的数据之间偏差 (一般要求不超过 1°) 处于临界值, 从而引起故障断续报警。

对 Angle Encoder-A 和 Angle Encoder-B 进行检查: 正车盘车找到指示灯由熄灭到刚点亮的位置。此时观察飞轮刻度指示, No.1 缸已经基本处在上止点位置, 存在轻微偏差 (正常范围)。打开主机 NO.1 缸曲轴箱道门, 用专用工具校准, 查看是否能够对准曲轴和机体上红色的标识点 (如图 2 所示)。此时 NO.1 缸虽然没有在上止点位置, 但偏差没有超限, 不会触发 TACHO 故障报警。考虑到主机高速运转时扭转力矩增大, 主机曲轴连接轴扭转变形加剧, 如果再加上这个偏差值, 可能会导致 TACHO 系统计算出的曲轴角度与飞轮端参考探头 MSA 测量出的曲轴角度之间的偏差超限, 而引起 TACHO 系统报警。于是决定重新调整角度编码器。首先校准 Angle Encoder-A, 盘车将主机 NO.1 缸正车方向盘车至上止点位置 (图 2 所示专用工具两头刚好对准曲轴和机体上的红色标识点), 观察此时主机飞轮端指针实际指示与上止点零点的偏差位置 (校准 Angle Encoder-B 时会用到), 对 Angle Encoder-A 进行调节。松开锁紧环, 用直径 5mm 的钻头或者铁棒转动编码器空心轴 (如图 3 所示), 找准 LED 灯由熄灭到刚点亮的最佳时机。经过多次调整确定最佳位置后上紧锁紧环。校准完 Angle Encoder-A 后, 如果不校准 Angle Encoder-B 可能导致 Angle Encoder-A 和

Angle Encoder-B 偏差超限, 引起 Delta TACHO B too big 报警。校准 Angle Encoder-B: 在校准完 Angle Encoder-A 的基础上, 正车方向盘车 45° (修正调整角度编码器 A 时飞轮端指针的实际指示偏差), 按照调整 A 的方法调整好 Angle Encoder-B。调整完毕, 在 MOP 上进行了功能测试, 显示一切正常。测试界面如图 4.1 和 4.2 所示。



图 2 专用工具标识 NO.1 缸上止点



图 3 编码器转动示意图

若飞轮端探头 MSA 与导磁性半圆环之间的间隙过大, 可能会导致探头 MSA 不能被触发, 系统误认为探头失效, 也会引起报警。对此间隙进行测量, 因为主轴承间隙磨损等多个因素会导致曲轴角度变化时探头 MSA 与导磁性半圆环之间的间隙不一样, 所以应多测量几个位置。测量数据如表 1 所示。本设备要求的正常范围为 1.5~3.0mm, 间隙值符合要求。开始测试探头的功能性, 正向盘车当盘车至 NO.1 缸上止点后 90°, 导磁性半圆环到达 MSA 探头下方时, 探头指示灯刚好亮; 继续盘车, 当盘至 270° 离开半圆环时刚好不亮。从指示灯指示状态来看飞轮端 MSA 探头正常, 探头 MSA 也处在半圆环的正上方, 位置和间隙检查正常。

表 1 探头 MSA 与导磁性半圆环的间隙

曲轴角度 (°)	90	135	180	225	270
测量间隙值 (mm)	2.0	2.5	2.5	2.5	2.0



图 5 放大器 TSA-A

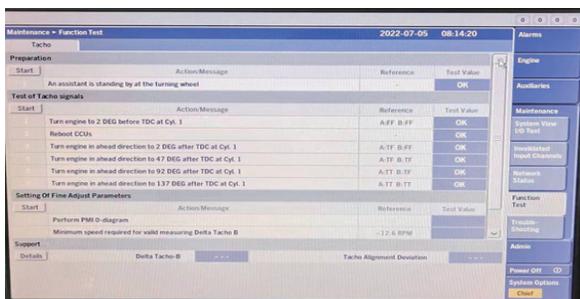


图 4.1 功能测试界面 1



图 4.2 功能测试界面 2

2.2.4 探头 MSA 与导磁性半圆环之间的间隙不符合要求或位置发生偏移

### 2.2.5 飞轮端 MSA 探头故障

主机在完车状况下检查、调试、测试角度编码器一切正常没有报警。离港后, 当主机加速至 FULL 时, 又开始断续出现角度编码器故障报警, 说明此次故障不是 2.2.3 和 2.2.4 原因所致。

从 MOP 控制屏上检查 Angle Encoder-A 和 Angle Encoder-B 的数据正常, 怀疑飞轮端 MSA 探头故障。为确认故障原因, 将放大器 TSA-A 内来自飞轮端探头 MSA 的接线 J4 拔下 (图 5 中 ①), 插上来自 Angle Encoder-A 探头 MSA 的接线 (图 5 中 ②), 报警消失。主机正常启动后, 在主机从停车到海速多种工况下进行测试, 角度编码器没有故障报警, 主机运转正常。靠港后将飞轮端 MSA 探头换新, 放大器 TSA-A 内部接线恢复正常。离港后主机加速到 FULL 以上后再次出现 TACHO 故障报警。由于探头刚换新, 排除飞轮端 MSA 探头问题。

### 2.2.6 飞轮端 MSA 探头与角度编码器放大器

TSA-A 之间的连接线路破损

最后将故障原因锁定在飞轮端 MSA 探头与角度编码器放大器 TSA-A 之间的连接线路上。对这段线路进行彻底检查,发现有一段线路由于固定线卡安装距离过长,造成电缆抖动,长期与机体产生摩擦,造成线缆破损露出铜线。更换电缆后故障消失。

### 2.2.7 故障原因

主机低速运转时振动轻,电缆振幅小,电缆破损处不会触碰机体,没有干扰到信号传输,没有触发报警。当主机高速运转时,主机振动加剧使电缆振幅加大,破损处接触到柴油机本体,影响到信号传输质量,出现主机角度编码器故障报警现象,于是出现了主机低速运转时角度编码器正常,高速运转时报警断续出现的现象。

## 3 加强角度编码器日常管理对策

角度编码器的各个探头安装在主机自由端和飞轮端,此处主机振动较大,工作环境恶劣。根据此次编码器故障原因情况,建议:

3.1 在角度编码器的固定支架、飞轮端 MSA 探头支架、探头紧固螺栓、空心轴与传动轴连接处等位置,用醒目的马克笔做好位置标记,在机舱日常巡视时,可以清楚地观察到角度编码器的固定支架及飞轮端的 MSA 探头支架等连接处有

没有异常松动情况;

3.2 平时通过 MOP 观察 TACHO-A 和 TACHO-B 数据指示,发现偏差异常及时校准;

3.3 在检修探头和放大器后,松开过的线缆要及时固定,避免因为振动而造成电缆磨损,影响信号传输;

3.4 每三个月,打开角度编码器的接线盒,检查各接线柱的紧固情况,检查测量飞轮端 MSA 探头与半圆环之间的间隙;打开主机曲轴室,用专用卡规检查角度编码器的偏差,必要时按照 2.2.3 步骤重新校准 Angle Encoder-A 和 Angle Encoder-B。

## 4 结束语

随着船舶智能化程度的日益提高,船舶轮机管理人员要加强电气自动化方面的培训,熟练掌握电子电器方面的知识,转变故障查找思路。同时船上应制定详细的控制系统维护保养计划,加强电子电器元件的维护,保证设备的正常运转,确保航行安全。

## 参考文献:

- [1] 马川等.电喷柴油机曲柄转角系统工作原理与故障处理[J].世界海运,2022,45(09):32-36.

# A Case of Analysis and Troubleshooting of Angle Encoder Failure about MAN B&W ME Engine

LI Jin—ming<sup>1</sup>, LI Fu—hai<sup>2</sup>

(1.SITC Ships Mangement Co.LTD, Qingdao266100, China; 2.Qingdao Ocean Shipping Mariners College, Qingdao266427, China)

**Abstract:** MAN B&W ME series EFI diesel engines use crankshaft angle encoder to achieve precise control of fuel injection, exhaust valve opening and closing timing, etc.This paper reviews the troubleshooting process of an angle encoder of ME engine, puts forward the daily management precautions for the angle encoder, which provides a reference for the managers of the marine engine department.

**Keywords:** EFI diesel engine;angle encoder; failure; troubleshooting