

## 论 MAN L48/60 CR 型柴油机转速控制与检测

于勇鑫

交通运输部北海救助局 山东烟台

**【摘要】**与传统柴油机相比，电喷共轨柴油机之所以可以优化燃油喷射、降低燃油消耗、降低最小排烟量、降低 NOx 排放量，主要是其喷射系统的改进。高共轨喷射压力，微机精确计算喷油量、喷射时间等优化方式，使共轨电喷柴油机无论在高、低负荷时都可以达到喷油雾化好，燃烧充分的效果。然而，电喷共轨柴油机的发展时间不长，对柴油机管理人员来说，需要补充的知识和经验还很多。MAN L48/60CR 型柴油机是一款新型共轨电喷四冲程柴油机，在国内船舶装配较少，对其日常管理和处理故障方面的经验较少。笔者本着学习此型号柴油机的态度，通过与传统四冲程柴油机的比较学习，简单介绍 MAN L48/60CR 型柴油机转速控制与检测，归纳此类设计的优点和不足，以便加深印象并为管理者作借鉴。本文首先，通过简单介绍传统柴油机转速控制与检测过程，了解其主要部件功能；其次，阐述 MAN L48/60CR 型共轨电喷四冲程柴油机转速控制与检测过程，了解相关部件功能；最后，明确 MAN L48/60CR 型共轨电喷四冲程柴油机转速控制与检测部件功能与传统柴油机部件功能替代关系，总结此类设计的优缺点。

**【关键词】**船舶；电喷；共轨；柴油机；转速检测；转速控制；MAN L48/60 CR

### Study On Speed Control And Detection of MAN L48/60 CR Type Diesel Engine

Yongxin Yu

Beihai Rescue Bureau of the Ministry of transport Shandong Yantai

**【Abstract】** Compared with traditional diesel engines, electronic fuel injection common rail diesel engines have advantages including optimizing fuel injection, reducing fuel consumption, reducing the minimum smoke emission and reducing emissions of NOx. All this due to the improvement of its injection system. These optimization methods enable common rail diesel engines to achieve good atomization and full combustion at both high and low loads. However, the development time of common rail diesel engine is not long, and there is still a lot of knowledge and experience to supplement for diesel engine management personnel. MAN L48/60CR diesel engine is a new type of common rail electronic fuel injection four-stroke diesel engine, which is less assembled in domestic ships and less experienced in daily management and troubleshooting. Based on the attitude of learning this type of diesel engine and comparing with the traditional four-stroke diesel engine, the author briefly introduces the speed control and detection of MAN L48/60CR diesel engine, summarizes the advantages and disadvantages of this kind of design, so as to deepen the impression and provide reference for managers First of all, the paper introduces the traditional diesel engine speed control and detection process in order to understand function of main components; Secondly, the speed control and testing process of MAN L48/60CR common rail electronic fuel injection four-stroke diesel engine are described to understand the functions of related components. Finally, the relationship between the function of speed control and detection components of this two types of engines is clarified, and the advantages and disadvantages of this design are summarized.

**【Keywords】** Vessel; Electronic fuel injection; Common rail; Diesel engine; Speed control; Speed detection; MAN L48/60 CR

## 1 传统柴油机转速控制与检测简介

传统柴油机发展较早, 技术相对成熟, 广为熟知。笔者仅对传统柴油机如何判断喷油时间、如何调节喷油量及如何实现速度控制做简单介绍<sup>[1-3]</sup>。

### 1.1 驱动凸轮决定喷油时刻

通常, 活塞到达上止点前一定角度时(喷油提前角), 凸轮轴上凸轮驱动高压油泵将已拥有足够压力的燃油通过喷油器喷入气缸。燃油燃烧产生的热能转化成机械能驱动曲轴转动。在这一过程中, 因为活塞的每个位置都对应着曲轴的固定的相位, 所以活塞的位置可以从通过曲轴相位获得。曲轴与凸轮轴是通过固定比例的齿轮传动, 因此从凸轮轴的相位就可判断活塞的位置。当活塞达到喷油提前角时, 凸轮轴上驱动高压油泵的凸轮正好达到顶部, 喷入气缸的燃油压力达到最高。

### 1.2 高压油泵齿条位置决定喷油量大小

高压油泵的柱塞将进入套筒内的燃油压缩后传入喷油器; 被压缩的燃油量是可以通过柱塞上斜槽位置的变化来决定的; 齿条拉动齿圈可以改变斜槽的位置。因此, 齿条位置的变化决定了喷油量的大小<sup>[4-6]</sup>。

### 1.3 调速器操纵机构实现柴油机速度控制

传统柴油机调速器除了常见的机械调速器或液压调速器外, 还有电子调速器。常见的电子调速器的主机转速(负荷)控制程序集成在主控模块中, 将接收到的转速信号转换为电流信号传送给液压调速器, 液压调速器内的电动力矩马达根据输入控制电流大小驱动力矩马达横杆发生偏转, 使液力喷嘴挡板机构内的压力变化改变伺服阀位置, 实现液力放大输出力矩。但无论是哪种调速器, 最终都是将放大的输出力矩通过机械式操纵机构作用到油门齿条上, 从而实现柴油机速度控制。

### 1.4 转速传感器仅反馈柴油机转速

转速传感器反馈给调速装置的信号仅仅是实际转速值, 调速装置根据这个数值增加或减少油门以改变主机转速, 使转速相对稳定在设定值上。转速测量值是通过速度传感器获得, 转速传感器通过切割齿轮产生脉冲信号, 脉冲信号的频率与转速成一定比例, 鉴于此种方式获得转速信号。

## 2 MAN 48/60CR 电喷共轨柴油机转速控制与检测简介

本节简单介绍了 MAN 48/60CR 电喷共轨柴油

机转速控制与检测系统重要部件的功能。此型号柴油机转速传感器较传统机转速传感器设计上有较大创新, 与缺齿技术配合完成活塞相位的检测。喷油电磁阀组采用电子控制喷射技术有效控制喷油量大小。全新的调速概念, 取消传统调速器实体及操纵机构, 维护修理更方便, 成本也下降。

### 2.1 MAN L48/60CR 共轨电喷柴油机转速传感器及缺齿功能介绍

与传统柴油机相比, MAN L48/60CR 共轨电喷柴油机转速传感器不仅将柴油机转速反馈给调速装置, 而且可以决定喷油器何时喷油。相同之处, MAN L48/60CR 共轨电喷柴油机的转速传感器也是通过切割齿轮产生脉冲信号, 反馈给调速装置; 不同之处, 这种传感器还能随即测得凸轮轴的相位(活塞的位置), 将相位信号也反馈给调速装置(喷射模块)。当活塞达到喷油提前角时, 调速装置提供 90V 直流电开启喷油电磁阀, 使高压燃油通过喷油器进入气缸<sup>[7-10]</sup>。

转速传感器能够测量凸轮轴相位, 归功于齿轮缺齿技术。如图 1 所示, 转速测量齿轮上的部分齿牙被故意磨掉形成缺齿, 齿轮一圈上共 248 个齿位, 但只有 240 个齿, 因为还有 8 个缺齿, 缺齿设计目的就是做标记。图中齿轮一圈的齿数分为 8 组, 分别是 29teeth, 31 teeth, 25teeth, 27 teeth, 41 teeth, 28 teeth, 24 teeth, 35 teeth, 八组齿数不重复。35teeth 的意思是从上一个缺齿位置到下一个缺齿位置之间的齿数是 35 个齿, 这样的设计就可以判断出凸轮轴的相位和每缸活塞的位置。而且每次判断出的数值在主机停止后无需储存, 因为每次启动柴油机时这些数值会很快被测量出来。举例说明, 假设 1, 在柴油机停止时, 转速传感器在 35teeth 组内的某一位置, 启动后凸轮轴顺时针旋转, 传感器经过第一个缺齿(35teeth 末端)时开始计算, 到达第二个缺齿(24teeth 末端)时, 第一个和第二个缺齿之间的数字是 24, 调速装置本应该确定凸轮轴某位置就在第二个缺齿的位置。但调速装置不会马上断定此相位, 因为凸轮轴顺时针转动是假设的。假设 2, 如果柴油机停止时转速传感器在 28teeth 组内的某一位置, 凸轮轴逆时针转动, 那么经过第一个和第二个缺齿之间的数字也是 24, 调速装置接收的数值都是 24, 但凸轮轴的这两个位置完全不一样。只有当凸轮轴继续转下去, 凸轮轴的相位才可以被判断出来。在假

设 1 中，当传感器达到第二个缺齿后继续顺时针转动，达到第三个缺齿时，调速装置又接收到数值为 28；在假设 2 中，当传感器达到第二个缺齿后继续逆时针转动，达到第三个缺齿时，调速装置又接收到数值为 35；这时，凸轮轴的相位才被判定下来，每缸活塞的位置就被判定出来。因此，凸轮轴由静止开始转动，不超过三个缺齿的角度（不超过 145 度），凸轮轴的相位和活塞的位置就可以被确定。曲轴与凸轮轴之间的传动比为 2:1，同理可知，曲轴转动一周之内，这些数值就被确定。

2.2 喷油电磁阀的通电时间决定喷油量大小

MANL48/60CR 共轨电喷柴油机中的调速装置

（喷射模块）计算出所需的喷油量，将高压燃油通过喷油电磁阀组喷入气缸，喷油电磁阀组通电时间越长，喷射量越大，反之亦然。如图 2 所示，高压系统由高压油泵（1）、蓄压器（2）、喷油电磁阀组（3）和喷油器（4）组成。蓄压器 2 内存有待喷射的高压燃油（据负荷大小压力保持在 1000-1600bar 之间），蓄压器两端安装有喷油电磁阀组 3，只要喷油电磁阀组得电，待喷射然后就会经过喷油器 4 进入气缸。调速装置（喷射模块）经过内部程序计算，利用 90V 直流电压控制喷油电磁阀组的开关时刻和开启持续时间，即何时需喷油，何时供电，供电时间越长，喷射量越大。

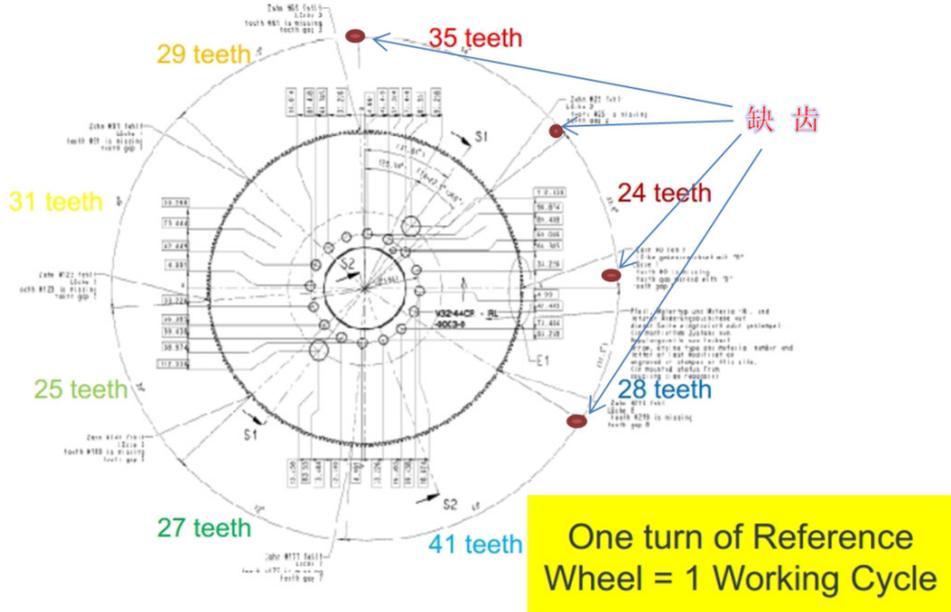


图 1 L48/60 CR 柴油机转速测量齿轮结构图

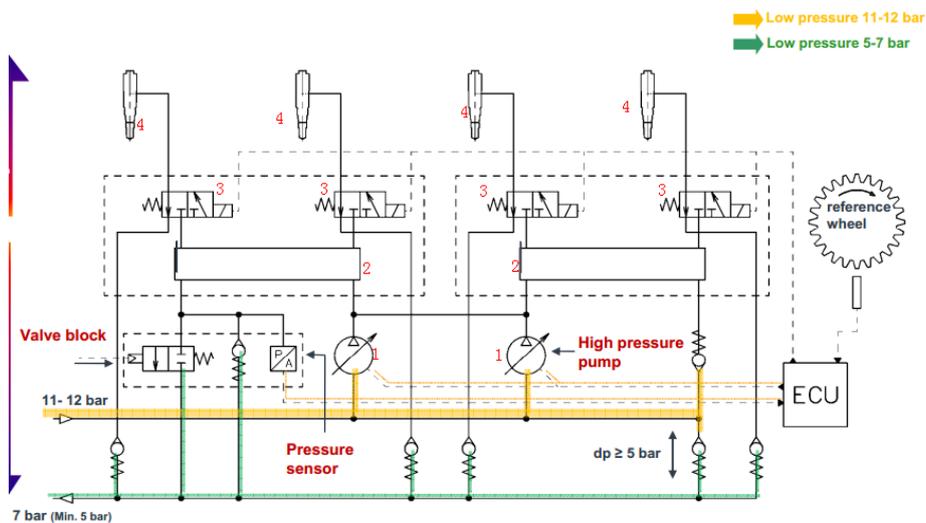


图 2 共轨柴油机燃油系统简图

### 2.3 电喷共轨柴油机通过电信号实现柴油机速度控制

电喷共轨柴油机使用全新的调速概念——取消了机械式调速器实体，但是调速控制逻辑跟传统调速器（如，WOODWARD）的一模一样。如图 3，MAN 48/60CR 电控共轨柴油机的速度调节机构包括转速传感器 1、喷射模块 2，轨压传感器 3，高压油泵节流 4，喷油电磁阀组 5。转速传感器 1 和轨压传

感器 3 分别监测柴油机转速和轨压并实时传输给喷射模块 2，喷射模块会计算出实际转速与设定转速的差值通过 PID 调节方式进行调节。通过高压油泵节流 4 调整特定负荷范围内的共轨压力，并依据事先设定的调速控制逻辑程序，如图 4 中轨压油量比例表、转速油量比例表和废气温度平衡值等，计算出每缸所需喷油量的数值，最后通过喷油电磁阀传到喷油器进入燃烧室。

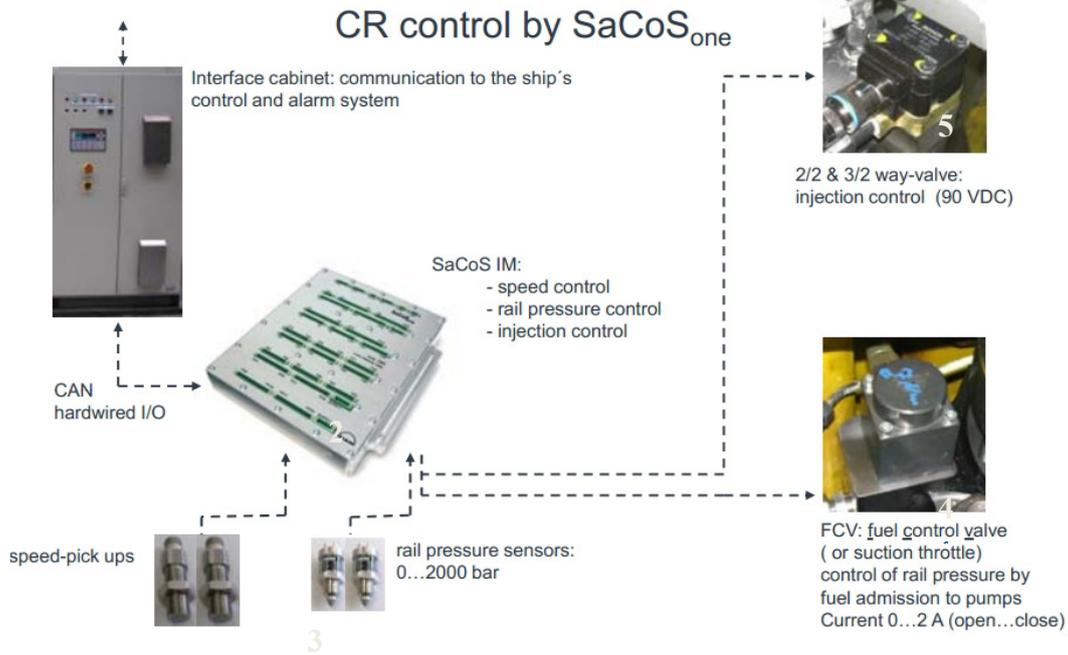


图 3 L48/60 CR 柴油机调速控制机构

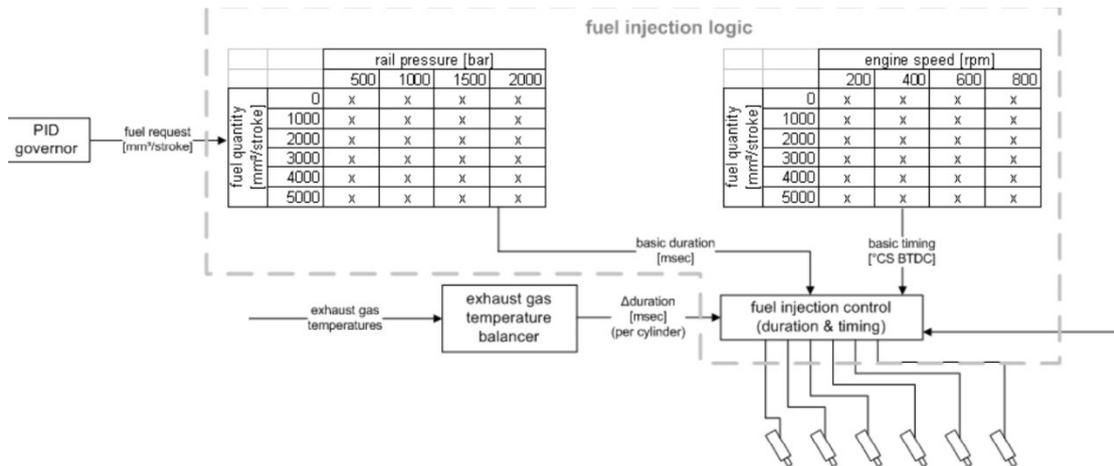


图 4 燃油喷射逻辑图

### 3 MAN L48/60CR 型共轨电喷柴油机转速控制优势和不足

本章节从柴油机转速传感器、喷油量控制方式、

速度控制方式几方面，对比传统柴油机与 MAN L48/60CR 型共轨柴油机，从而明确两者之间设计方面优缺点。

### 3.1 转速传感器功能增加, 喷油定时可灵活改变

传统柴油机转速传感器仅仅测量转速信号, 而 MAN L48/60CR 型共轨电喷柴油机的转速传感器除了测量转速信号外, 还可以将测量齿轮的齿数传递给调速装置, 进而可以得到曲轴、凸轮轴相位和活塞位置的准确信息。相比传统柴油机, 此种设计利用计算机运算速度快的优势, 灵活改变喷油提前角, 优化了柴油机燃烧性能。

### 3.2 喷油量控制方式优势和不足

MAN L48/60CR 型共轨电喷柴油机可综合多种因素计算出喷油量, 快速而精准的喷入燃烧室。与传统柴油机齿条控制喷油量相比, 此种设计可以使喷油量随着柴油机负荷升高(或降低)的变化做出非线性调节, 尤其在低负荷时效果明显, 优化了柴油机燃烧性能。新技术的产生会有一些的设计缺陷, 比如喷油电磁阀组在刚投入使用时就因为线圈插头容易振松而经常损坏, 更换喷油电磁阀组的费用高, 增加了使用者的成本。经厂家设计改造, 将插头与线圈改为一体式后, 其故障率大大减小。

### 3.3 速度控制方式优势

MAN L48/60CR 型共轨电喷柴油机取消了传统柴油机机械式调速器, 也取消了调速器与油门拉杆之间的机械传动; 适应了当今科技时代的发展, 同时大大减小了生产成本。虽然与传统柴油机相比, 两者设计理念不同, 但是其调速控制逻辑基本相同。另外, 此型号电喷共轨机引入排烟温度作为喷油量的一项参考条件, 理论上完全可以使每缸的排烟温度达到相同(厂家已做过试验), 这是传统柴油机无法完成的。传统机械式调速器属于精密仪器, 其设备维修对于管理者来说有一定难度, 而对于共轨电喷柴油机来说, 更换喷射模块就可以达到更换成套调速器的效果。

### 总结

MAN L48/60CR 型共轨电喷柴油机适应了新时代发展。简化了机械构造, 实现了电子自动化控制, 节约了制造成本; 柴油机燃烧性能得到了优化, 减少了能量损失, 在环境保护上做出了贡献。当然, 新生产物设计上的缺陷和部件可靠性只有在长期实践中才能被发现, 并通过不断改进和完善, 得到更多使用者的认可。通过这次学习, 了解了 MAN L48/60CR 型共轨电喷柴油机设计新理念。通过对缺

齿技术的简单介绍, 了解了调速装置如何判断活塞位置; 通过燃油喷射系统简单学习, 明确了决定喷油量的部件; 通过对调速机构各部件功能简单介绍, 知晓了此型号柴油机速度控制基本流程。

### 参考文献

- [1] 李瑶瑶. 基于模糊内模PID控制理论的柴油机转速控制研究[D]. 哈尔滨工程大学, 2017.
- [2] 王蔚鸿, 戚连锁, 高申德. PLC 检测柴油机转速的设计[J]. 机电工程技术, 2015(2):3.
- [3] 王金鑫, 王忠巍, 董佳莹, 等. 基于瞬时转速的柴油机工作均匀性检测研究[C]// 中国内燃机学会学术年会暨材料与工艺分会和昆明内燃机学会联合学术年会. 2014.
- [4] 杨彪. 基于瞬时转速信号的柴油机故障诊断系统的开发[D]. 大连海事大学, 2013.
- [5] 余永华, 陈育成. 基于瞬时转速和机器学习的船用柴油机健康状态评估[J]. 内燃机工程, 2020, 41(6):6.
- [6] 曲兴年. 基于燃烧系统优化和 DOC+POC 匹配控制 YZ4 DA1 柴油机排放的研究[D]. 江苏大学, 2016.
- [7] 杨彪, 于洪亮, 宋玉超. 基于瞬时转速的柴油机故障诊断系统的研究与设计[C]// 中国造船工程学会. 中国造船工程学会, 2012.
- [8] 许小伟. 瞬时转速诊断技术在机车柴油机状态检测中的应用研究[D]. 武汉理工大学, 2010.
- [9] 翟光瑞. 基于瞬时转速和振动信号的柴油机故障诊断研究[D]. 中北大学, 2009.
- [10] 李峰. 基于瞬时转速信号的柴油机故障诊断专家系统的研究[D]. 吉林大学, 2009..

收稿日期: 2022 年 3 月 9 日

出刊日期: 2022 年 5 月 11 日

引用本文: 于勇鑫, 论 MAN L48/60 CR 型柴油机转速控制与检测[J]. 工程学研究, 2022, 1(1): 9-13

DOI: 10.12208/j.jer.20220003

检索信息: 中国知网 (CNKI Scholar)、万方数据 (WANFANG DATA)、Google Scholar 等数据库收录期刊

版权声明: ©2022 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS