

L' Orange 电控共轨喷射系统在 Win GD 二冲程发动机上的应用

Alexander C. Kaiser, Horst Ressel, Clemens Senghaas

(L' Orange GmbH, Stuttgart 70435)

摘要: 介绍了 L' Orange 电控共轨喷射系统的研发思路及经验, 并就其在 Win GD 二冲程发动机上的应用做了说明。L' Orange 喷油器部件可为新一代二冲程发动机配置喷油器提供更大的自由空间, 以此来满足现在及未来更加严格的排放法规, 并大幅降低油耗。

关键词: 电控共轨喷射系统; 二冲程发动机; 研发

中图分类号: TK421⁺.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2016)04-0020-04

Application of L' Orange Electronically Controlled Common Rail Injection System on Win GD Two Stroke Engine

Alexander C. Kaiser, Horst Ressel, Clemens Senghaas

(L' Orange GmbH, Stuttgart 70435)

Abstract: The research and development ideas and experience of L' Orange electronically controlled common rail, injection system are introduced, as well as its application on Win GD two stroke engine. L' Orange fuel injector components could provide a larger free space for the new generation of two stroke engine in order to meet current and future strict emission regulations, and significantly reduce fuel consumption.

Key words: electronically controlled common rail injection system; two stroke engine; research and development

1 概述

德国罗润有限公司 (L' Orange GmbH) 拥有 80 多年研发、制造大型四冲程和二冲程非道路用发动机燃油喷射系统的经验。2009 年, 罗润供油设备贸易 (苏州) 有限公司在中国苏州成立。2013 年, 罗润供油设备 (宁波) 有限公司在中国宁波成立。

2008 年底, 罗润有限公司与温特图尔发动机有限公司 (Win GD, 中国船舶工业集团和 Wärsilä 合资) 携手开发用于 Win GD 大型二冲程发动机 (缸径 35 ~ 92 cm) 用共轨喷油器和高压油泵。该

燃油系统的开发面临巨大挑战: 1) 设计三种不同尺寸的喷油器即可满足七种不同气缸尺寸要求; 2) 动力涵盖 870 ~ 6 130 (kW · cyl⁻¹); 3) 发动机满负荷运行时, 单次燃油喷射量覆盖 9 000 ~ 90 000 mm³。这三种喷油器均可用于重油, 其中约 80% 的部件为通用部件, 并在各自适用领域内满足其对应的大型发动机的喷油量要求, 唯一区别在于: 只更换能决定喷油量的油嘴就可用于较小型发动机应用; 同时, 针对同台发动机不同的应用要求时, 仅通过使用不同的油嘴即可实现节油的目的。

2012 年初, Win GD 率先发布了大型双燃料二冲程发动机系列产品, 该系列发动机的开发基于其

收稿日期: 2016-02-01; 修回日期: 2016-03-25

作者简介: Alexander C. Kaiser(1975-), 男, 工程硕士, 主要研究方向为二冲程柴油机燃油系统, E-mail: alexander.kaiser@lorange.com。

原有的二冲程发动机系列。L'Orange 为该系列发动机设计了适用于气体模式工作的共轨喷油器。其主要精髓是: 只使用一类喷油器来满足气缸尺寸为 52 ~ 92 cm 的整个发动机系列的需求; 每个工作循环精确微量喷射的最大值约为 250 mm^3 。该喷油器的研发基于 L'Orange 第二代批产产品及成熟的重油喷射技术。

L'Orange 燃油喷射系统及相关产品的不断成功推出, 使得 Win GD 发动机能更自由地配置喷射率。而喷射率的合理配置恰恰是达到已有及未来排放法规要求的重要方法和途径。现代喷射技术的运用还为二冲程发动机提供了降低油耗的可能, 尤其是当今油耗对发动机运行成本有重要的影响。

2 Win GD 新型二冲程 X 系列发动机

2008 年起, Win GD 公司开始研发新一代 X 发动机系列中的 W-X35 型 (图 1) 和 W-X40 型二冲程发动机。该系列发动机缸径为 35 ~ 92 cm, 动力范围 $870 \sim 6\,130 (\text{kW} \cdot \text{cyl}^{-1})$, 油耗约为 $160 \sim 175 (\text{g} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1})$, 可使用柴油或重油。

借鉴 W-X35 型和 W-X40 型发动机研发中获得的经验, Win GD 研发了更大型的二冲程发动机。继首台 W-X35 型发动机于 2012 年初试制成功, 两年后, 首台 W-X72 型发动机成功起动。2015 年, 第二种 X 发动机系列——双燃料发动机将推向市场。该发动机系列以目前的 W-X 发动机系列为基础, 可使用液体燃料, 如重油, 也可使用燃气。在气体模式, 气体将以较低的压力注入燃烧室, 通过预燃室中的预喷射引燃气体。

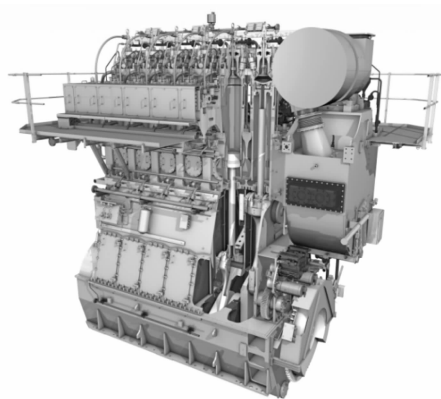


图 1 Win GD W-X35 发动机
(来源: 温特图尔发动机有限公司)

3 共轨喷油器系列

目前, 用于 Win GD 二冲程 X 型发动机的喷油

器系列 (图 2) 由三种设计上类似的共轨喷油器组成。所有这些喷油器目前正使用于或将使用于七种不同尺寸的 X 型发动机 (W-X35、W-X40、W-X52、W-X62、W-X72、W-X82 和 W-X92)。第三种共轨喷油器目前正在研发中, 该喷油器将使用在两种最大机型 (W-X82 和 W-X92) 上。从 2015 年起, 该喷油器系列作为主要喷油器用于 Win GD 新一代双燃料发动机。同时, L'Orange 还开发了用于双燃料发动机燃气用的预喷射器。该喷油器将液体燃油喷入, 引燃气体; 适用于所有尺寸的发动机。

2008 年末, L'Orange 与 Win GD 携手开发用于 X 发动机系列中最小的 W-X35 型发动机的共轨喷油系统, 包括两个主要部件: 共轨喷油器和共轨高压油泵。喷油器部件的系统工作压力为 100 MPa。小型 X 发动机的每个气缸中有两个喷油器, 在适当的时间喷射最多 $9\,000 (\text{mm}^3 \cdot \text{str}^{-1})$ 的油量, 可实现多次喷油, 单次喷射可持续 20 ms。高压油泵的供油能力可满足 W-X35 型和 W-X40 型最大缸数的燃油需求; 两台高压油泵以并联方式安装, 这样, 即使一台高压油泵发生故障, 发动机仍可持续运行。这些产品在终端客户上的运行已经超过 15 000 h (截至 2015 年 12 月)。

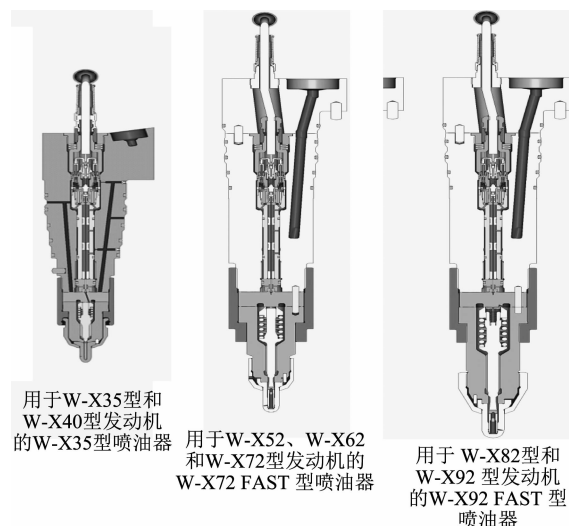


图 2 L'Orange 喷油器系列

喷射系统研发过程中的另一项策略是尽可能采用标准化通用部件。W-X40 型和 W-X35 型发动机喷射系统的主要区别在于喷油器上的喷嘴头配置不同; 而喷油器采用通用部件, 以实现一套喷油系统适用于几种发动机的目的, 以此控制制造成本。

喷油器系列中共轨喷油器的工作原理 (图 3) 相同, 均采用单回路形式, 顶部电磁阀加电后, 衔

铁在电磁力作用下克服电磁弹簧力,进而控制部分的出口限流阀被打开;油嘴针阀上方控制腔的压力下降,使得针阀上移,针阀密封面打开,喷射开始;电磁阀加电结束后,电磁阀弹簧推动控制部分顶杆下移,关闭出口限流阀,油嘴针阀密封面关闭,针阀上方控制腔压力通过进口限流阀重新建立系统压力。在此过程中,润滑油冷却电磁阀及机械运动部件,这种采用特殊材料冷却油嘴技术在 L'Orange 的其他四冲程重油喷射系统中已得到充分验证。

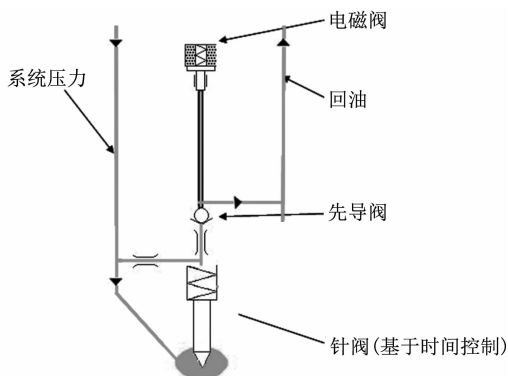


图3 重油共轨喷油器原理

罗润公司为 Win GD 二冲程发动机开发的共轨喷油系统具有许多显著的优点。该系统可以在规定的时间间隔里,按照设定的喷射压力,将所需的燃油以极其细小的雾化状态喷入燃烧室。同时,该系统还能实现更低排放和极低油耗。当然喷油器件还具有其他优点,如应用重燃油时优良的可靠性及耐用性。

对客户而言,喷嘴头与喷嘴元件分开设计,易于拆除是它的另一大显著优势。采用合适的喷油头可以降低油耗,操作者也可根据负载特点经济有效地运行发动机。

在开发 W-X35 型喷油器时,采用了一些久经考验的重油四冲程系统组件,如用于重油的导向阀,实际应用验证的控制单元和多次应用的电磁阀。在研发二冲程发动机重油高压油泵时采用了同样的开发程序,即尽量采用通用的标准化部件,并借鉴四冲程重油和柴油发动机方面的应用经验。

用于 W-X35 型和 W-X40 型发动机的高压油泵(图4)基于带低速凸轮传动器的直列泵开发。众所周知,直列泵常用于四冲程发动机,考虑冗余需求,每台发动机可安装两台四柱塞的直列泵,高压油泵固定在机体上,由发动机通过齿轮系驱动。通过电磁阀控制低压油进口节流阀来控制高压油泵的供油量及系统压力。

对喷油器部件进行模拟安装布置、设计和计算后,在 Win GD 和 L'Orange 的系统试验台上试运行几千小时,然后做进一步开发。针对这个项目,Win GD 公司为喷油器部件开发了测试台架,可选用重油、柴油和其他燃料工作。前期针对承受高压的部件进行了精确的磨损和穴蚀模拟,从而使单个部件及设计结构得到优化。

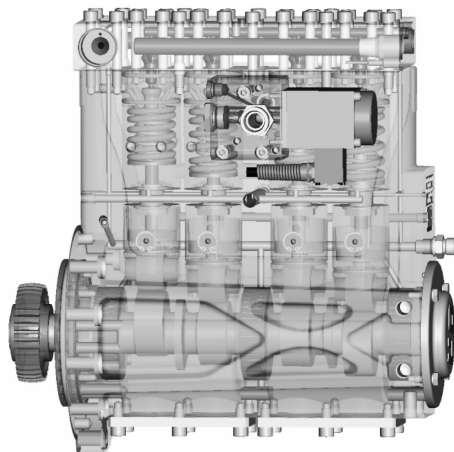


图4 重油高压共轨泵

2011 年底,在 W-X35 型共轨喷油器的基础上,L'Orange 又与 Win GD 共同开发了 W-X72 FAST (FAST 意为燃料驱动无害化技术)型喷油器。Win GD 设计了具有细长针形特征的 FAST 喷嘴元件(图5),长针可到达喷嘴头的最下端;它还利用一个滑动密封座来防止喷头喷孔内的油滴进入燃烧室;喷孔体积的减小使 HC 和 PM 的排放量降低。喷油器液压部分的布局也同时完成。

该喷油器内部部件,如导向阀、控制元件、电磁阀和连接装置均采用 W-X35 型喷油器部件,如此,通用部件占已使用部件的 80% 左右。喷油器本体可适用于不同尺寸发动机的有限空间。高压孔专为最大的 W-X92 型发动机所需油量而设计,并且阀座在结构上可与 Win GD 的 FAST 喷嘴元件相连。

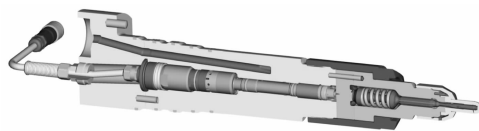


图5 L'Orange W-X72 FAST 喷油器

目前,W-X72 FAST 型喷油器的系统压力为 100 MPa,与 W-X35 型喷油器的完全相同。W-X72 FAST 型喷油器的系统压力设计为 160 MPa,以便能达到后续排放法规的要求。W-X72 FAST 型喷油器可实现多次喷射,并且在 35 ms 时长内,每冲程

喷油量可达 $50\,000\text{ mm}^3$ 左右 (图 6)。它还可用于 W-X62 型发动机, 以及后续的 W-X52 型发动机, 与 W-X35 型发动机相似, 可以通过更换喷嘴头实现。W-X62 型及以后的发动机每个气缸均装配三支喷油器。

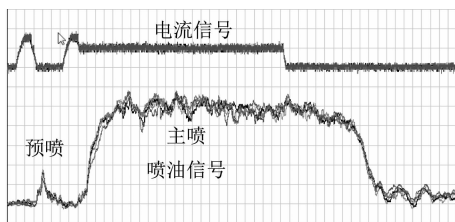


图 6 W-X72 带微喷的 FAST 喷油器

W-X82 型和 W-X92 型发动机喷油器的进一步研发工作于 2013 年底启动。该喷油器已纳入上述喷油器系列, 并且除喷嘴和阀座外, 均采用与 W-X72 FAST 型喷油器相同的部件。其中利用触发片的工作原理来满足此大型喷油器液压方面对喷嘴针阀快速关闭的时间要求。通过触发片释放附加的入口节流阀, 即可更迅速地关闭喷嘴针阀。为验证用于重油的触发片的工作原理, 先在另一台 W-X72 FAST 型喷油器上进行试验, 并在重油试验台上成功运行 $1\,000\text{ h}$ 以上。

针对 W-X35 B 和 W-X40 B 类型发动机 (也称为 W-X35-B 和 W-X40-B) 的 FAST 喷油器的开发工作从 2015 年中期开始, 由 Win GD 设计, 这种 FAST 喷油器将延用之前喷油器的上部零件和一个新的 FAST 油嘴; FAST 油嘴喷孔体积减小可进一步降低 HC 和 PM 的排放。

2012 年, W-X 双燃料发动机系列喷油器 (图 7) 的研发工作启动。该喷油器系列命名为 2-s GT, 其中, 2-s 代表二冲程, GT 代表燃气技术。研发目的在于将该款喷油器用于 Win GD 二冲程双燃料发动机系列的所有发动机。每个气缸配备两台 2-s GT 喷油器, 安装在两个预燃室中。发动机在气体模式下, 喷油器可使用柴油或重油进行工作。2-s GT 型喷油器的喷射量最大可达每次 250 mm^3 , 系统压力最大为 130 MPa 。2-s GT 型喷油器属于第二代共轨喷油器, 采用模块化设计, 通过采用内置蓄压腔来

防止喷射过程中的压力损失。该款喷油器的开发充分采用了四冲程发动机喷油器开发所积累的大量经验, 同时以最大程度使用尽可能多的通用部件为原则。

2-s GT 型喷油器在 L'Orange 测试台上进行了预测试, 并且进行了长时间耐久测试。2013 年初, 该喷油器在 Win GD 的 RT-fex50DF 发动机上进行测试, 取得成功。

从 2015 年开始, 首批 RT-fex50DF 型发动机直接配置在客户船舶上运行。



图 7 用于 Win GD DF 发动机的 2-s GT 型喷油器

4 总 结

L'Orange 喷油器部件的成功研发及运用, 为 Win GD 公司在新一代二冲程发动机上配置喷油器提供了更大的自由空间, 以此来满足现在及未来更加严格的排放法规, 并大幅降低油耗。

L'Orange 的喷油器系列产品兼具系统高压下的耐用性、长寿命和喷射准确性等优点。至今, L'Orange 喷射系统 (配置在 W-X35 型发动机上) 的累计运行时间已超过 $135\,000\text{ h}$ 。其中两台发动机的最长运行时间约 $15\,000\text{ h}$ 。

基于丰富的市场经验及积累, L'Orange 进一步开发了二冲程发动机喷射系统, 由此, L'Orange 开始向二冲程业务领域强力迈进。