

柴油机共轨式电控燃油喷射新技术与环境保护

New Electronically Controlled Common Rail Fuel Injection Technology for Diesel Engines and Environmental Protection

施光林¹ 钟廷修²

(上海交通大学机电控制研究所, 博士后¹; 教授² 上海 200030)

人类虽已跨入了 21 世纪, 但环境问题始终是人们最为忧虑的问题之一。这是因为随着世界范围经济的发展, 人们一方面在生产对自身生存与发展有用的东西, 而另一方面也在大量排放破坏人类居住环境的有害物质, 如有毒的气体、液体和固体物质等。尤其是随着世界各国城市交通运输车辆、船舶的急剧增加, 柴油机排放的尾气已经成为对地球环境的主要污染源。

据美国的一份资料报道, 现在地球大气中 77.3% 的一氧化碳 (CO)、55.3% 的碳氢化物 (HC)、50.9% 的氮氧化物 (NO_x) 均来自以柴油机为动力的汽车排放。特别是在城市, 由于人口密集、缺少绿地, 而汽车排气口一般都离地面 60~70 厘米, 低空排放恰好易于各种有害物质经呼吸系统进入人体内部, 从而对人体的健康造成极大的危害。

在我国, 伴随着经济建设的快速发展, 环境问题也日趋严峻。目前在我国许多城市, 大气污染已从煤烟型向煤烟—石油混合型或机动车污染型转变, 甚至在有些大城市已出现了光化学烟雾。仅以上海为例, 据环保部门的监测, 现在机动车尾气污染已成为上海地区大气污染的主要来源, 其中尾气中的 CO、HC、NO_x 等分别占中心城区污染量的 90%、92% 和 23%。在交通干线附近, 行人呼吸到的 CO、HC 和 NO_x 浓度均超过国家二级大气环境质量标准。上述事实充分说明, 人类居住的地球环境已经开始遭到严重破坏, 如何采取措施保护人类赖以生存的地球环境已是当务之急。为此, 世界各国, 如美国、日本和欧共体等国从 20 世纪 60 年代就开始相继制订出有关尾气排放法规, 对在各种场合使用的柴油机、汽油机的尾气排放加以限制, 以减少对大气的污染。这几年又先后有欧洲 II、欧洲 III 等更加严厉的尾气排放限制法规出台。我国从 80 年代起也相应制订了有关的标准, 将环境保护作为大事

牧、散居状态, 输电无法实现, 因此, 又需要进行社区重建重构, 实现牧民定居, 这又是一个庞大的社会系统工程。总之, 长江上游生态环境建设不仅应

来抓。与此同时, 世界各国业已开始寻找和探究其他方法和采取其他有效的技术措施主动地减少和控制污染物的排放。柴油机共轨式电控燃油喷射技术正是从众多方法和措施中脱颖而出的一项较为成功的控制污染排放的新技术。

一、共轨式电控燃油喷射技术的原理

熟知柴油机的人都知道, 燃烧过程是其工作的“核心”, 而喷油系统对燃烧过程及其工作品质, 特别是对排放的污染物种类及数量起着重要的作用。因此, 对柴油机喷油系统的研究一直成为研究者的关注热点。一般认为, 柴油机喷油技术经历了传统的纯机械操纵式喷油和现代的电控操纵式喷油这两个发展阶段。而现代电控喷油技术的崛起, 则应归功于计算机技术和传感检测技术的迅猛发展。目前电控喷油技术已从初期的位置控制型发展到时间控制型。共轨式电控燃油喷射技术正是属于后者。该技术不再采用传统的柱塞泵脉动供油的原理, 而是通过共轨直接或间接地形成恒定的高压燃油, 分送到每个喷油器, 并借助于集成在每个喷油器上的高速电磁开关阀的开启与闭合, 定时、定量地控制喷油器喷射至柴油机燃烧室的油量, 从而保证柴油机达到最佳的燃烧比和良好的雾化, 以及最佳的点火时间、足够的点火能量和最少的污染排放。图 1 是柴油机共轨式电控燃油喷射系统的原理框图。

这一系统主要由电控输油泵、共轨 (恒压蓄油箱)、高速电磁开关阀、喷油器、电子控制装置 (ECU) 及各类传感器等组成。按照喷油高压形成的不同, 目前共轨式电控燃油喷射系统有两种基本形式, 即高压共轨式和中压共轨式。在高压共轨系统中, 输油泵为高压泵 (压力在 120MPa 以上), 它直接产生

该作为生态环境保护的历史转折点, 而且应该作为该区社会经济建设的一个转折点, 只有协调发展, 方能见效。
(责任编辑 蔡德诚)

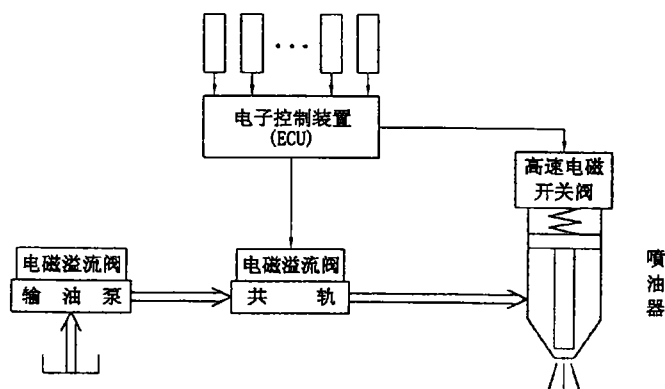


图1 共轨式电控燃油喷射系统原理框图

高压燃油后输送至共轨中消除压力的脉动，再分送到各个喷油器。当电子控制装置按需要发出指令信号后，高速电磁阀（响应在 $200\mu\text{s}$ 左右）迅速打开或关闭，进而控制喷油器工作，即按设定的要求把高压燃油喷出或停喷。与之相比，在中压共轨系统中，输油泵则为中压输油泵（压力在 $10\sim 13\text{MPa}$ ），它是将产生的中压燃油送至共轨中消除压力的脉动，再分送至带有增压柱塞的喷油器中。当高速电磁开关阀接受到电子控制装置发送的指令信号后，就迅速开启或关闭，从而控制喷油器工作，迅即通过增压柱塞的增压作用，把从共轨中来的中压燃油加压至高压（ $120\sim 150\text{MPa}$ ）后喷出或停喷。

可见，高压共轨系统与中压共轨系统的主要差别在于高压燃油的获得方式不同。前者由高压燃油泵直接提供，而后者则借助于增压柱塞增压后获得。

由于共轨式电控燃油喷射技术较其他技术相比，具有明显的优点，近 10 年来在世界发达国家，如美国、德国、日本和英国发展都十分迅速。现在该项新技术已开始在国外以柴油机提供动力的汽车上投入使用。这是世界汽车工业为满足日益严格的废气排放标准的必然趋势。

二、共轨式电控燃油喷射技术的特点与现状

柴油机共轨式电控燃油喷射技术是一种全新的技术，因为它集成了计算机控制技术、现代传感检测技术以及先进的喷油结构于一身。它不仅能达到较高的喷射压力、实现喷射压力和喷油量的控制，而且能实现预喷射和后喷，从而优化喷油特性形状，降低柴油机噪声和大大减少废气的排放量。该技术的主要特点是：

1. 采用先进的电子控制装置及配有高速电磁开关阀，使得喷油过程的控制十分方便，并且可控参数多，益于柴油机燃烧过程的全程优化。

2. 采用共轨方式供油，喷油系统压力波动小，各喷油嘴间相互影响小，喷射压力控制精度较高，喷油量控制较准确。

3. 高速电磁开关阀频响高，控制灵活，使得喷油系统的喷射压力可调范围大，并且能方便地实现预喷射、后喷等功能，为优化柴油机喷油规律、改善其性能和降低废气排放提供了有效手段。

4. 系统结构移植方便，适应范围宽，不像其它的几种电控喷油系统，对柴油机的结构形式有专门要求；尤其是高压共轨系统，均能与目前的小型、中型及重型柴油机很好匹配，因而市场前景看好。

正是由于共轨式电控燃油喷射技术具有上述的特点，所以该技术一经问世，就得到世界上大多数柴油机制造厂商的青睐，其中，高压共轨系统被认为是 20 世纪内燃机技术的 3 大突破之一。现在国内外许多内燃机方面的专家学者都在致力于该项新技术的研究，并着手开发新一代的高压共轨系统产品及其与之配套的产品。特别是由于世界上像德国 Bosch 公司、Daimler-Benz 公司；美国 BKM 公司、Caterpillar 公司；日本 Denso 公司和英国 Lucas 公司这些有影响力的大公司的积极投入，近几年来共轨式电控燃油喷射技术的研究与开发又有了新进展。目前，这一技术的研究与开发热点在于：（1）如何解决高压共轨系统的恒高压密封问题；（2）如何解决高压共轨系统中共轨压力的微小波动所造成的喷油量不均匀问题；（3）如何解决高压共轨系统的多 MAP（三维控制数据表）优化问题；（4）如何解决微结构、高频响电磁开关阀设计与制造过程中的关键技术问题。

三、共轨式电控燃油喷射技术对环境保护的促进作用

如上所述，柴油机所排放的废气对人居环境的破坏作用是非常之大的。这主要表现为柴油机所排放的尾气中的几种主要成份，如 CO 、 HC 、 NO_x 及碳黑颗粒对人的健康的危害作用，同时也严重影响到整个生态环境的平衡。因此要有效减少柴油机的废气排放及净化问题，就必须对其燃烧过程加以精确的控制。这也是人们开发柴油机共轨式燃油喷射技术的初衷。

共轨式燃油喷射技术的现有研究结果表明：喷油压力越高，燃油雾化后颗粒就越细，排放的有害气体和颗粒就越少；预喷射油量的可控是达到噪声和尾气排放水平要求的关键，因为在主喷射之前某一定时精确喷入的 $1\sim 2\text{mm}^3$ 的预喷油量，会使燃烧室迅速加热，可缩短随后开始的主喷射的着火延迟期，于是温度与压力上升减缓，从而降低了燃烧噪声水平和 NO_x 的量；喷油速率是柴油机燃烧的最重

21 世纪的民用飞机

徐德康

(《国际航空》杂志社, 主编 北京 100029)

“冷战”结束后,随着军用飞机市场萎缩,世界民用飞机的销售已经超过军用机。以 1997 年为例,民机的销售额达到 386 亿美元,而军机只有 305 亿美元。到 1999 年,世界民用运输飞机的数量已达 14 000 架。按全球客运量年均增长 5% 的估计,到 2018 年民用运输机的数量将翻一番,达到 28 000 架以上。在新增飞机中,70 座以上的将占绝大多数。

民用机制造业一直是风险最大的行业之一,不仅项目投资大(动辄几十亿美元)、生产规模大、科技含量高,而且需要有一个完善的、遍布全球的销售和售后服务网络。正因为如此,目前世界上具有生产飞机能力的国家不少,但真正能生产民机,并能在市场上站住脚的国家屈指可数,现在生产大型民机的制造商只剩下美国的波音公司和欧洲的空中客车工业公司两家,呈双强抗争之势,竞争空前激烈。

近 30 年来波音公司一直是世界民用飞机制造业中的老大。它在 70 年代推出了世界上最大的 400 座级宽体客机波音 747,波音飞机几乎霸占了世界民航飞机市场的 70% 份额,排挤了洛克希德公司并兼并了麦道公司,但是,90 年代后期以来,它一直面临欧洲空中客车工业公司的严重挑战。

欧洲的英、法、德、意、西等国合资成立于 1970 年的欧洲空中客车工业公司,经过近 30 年的发展已从默默无闻的单品种民用飞机企业,逐步上升为世界上仅次于波音公司的大型民用飞机企业。该公司通过不断地先于波音公司引入先进技术,如电传操纵、侧驾驶杆、玻璃驾驶舱和复合材料等,以塑造全新一代产品的形象,步步为营地蚕食一直被波音公司垄断的民用飞机市场。1999 年它的新机订单首次超过了波音公司,正在向与波音平分天

下的目标挺进。在 400 座级以上宽体客机领域,它以四发的 A340 直接挑战波音 747,并结合其姐妹机双发的 A330 挑战波音 777;在 250 座级双发窄体客机上,用 A320/A321 挑战波音 757/767;针对波音推出的 100 座级的波音 717,它也推出了 A318(见封二图)。可以说是针锋相对,步步紧逼。该公司产品的另一个特点是,所有级别飞机之间保持高度通用性,从而给用户在经营上、飞行员培训上、使用及维护上带来诸多好处。现在它的产品已成功打入了美国市场。

在更大级别民航机的竞争方面,空客公司打算推出一种可在 2005 年投入使用的 A3XX 超大型客机(见封面图),一次载运 550~650 名乘客,最大起飞重量达 500 吨,机身高度近 10 米,飞机有两层客舱和一层货舱,客舱内设有卧室、包间和会议室,它几乎是一座空中四星级宾馆(见封二图)。据称,该机的研制费用高达 120 亿美元。

而波音公司认为,500 座以上的客机的市场十分有限,不足以支撑研制全新机型,因此倾向于发展波音 747 的加长/加重衍生型——波音 747-400X,载客量也可达 500 座以上,最大起飞总重将近 480 吨,争取能先于 A3XX 推向市场。此外,波音公司正在与美国航空航天局(NASA)对一种可载运 800 名旅客的“飞翼”式超大型客机进行可行性研究。飞机翼展达 75 米,由三台涡扇发动机作动力,航程 13 000 公里。“飞翼”布局彻底改变了传统民机布局,波音和 NASA 将从明年开始进行缩比“飞翼”客机模型的飞行试验。

近年来,随着西方许多国家对航空运输放松管制,支线航空运输发展极快,支线飞机制造业呈现日益繁荣景象。世界支线飞机制造业经过激烈的竞争与重组,已从 10 年前的 11 家减少到 1997 年的 5 家。进入新千年时,传统

要的参数之一,利用预喷射可以获得初期较低的喷油速率以及平缓的喷油起动,这是降低 NO_x 所必须的;后喷能降低碳黑颗粒的形成量,因为后喷可以提高燃烧室内的气体温度,增强对碳黑的烧除能力。

显然,共轨式燃油喷射技术有助于减少柴油机的尾气排放量,以及改善噪声、燃油消耗等方面的综合性能;它在有利于地球环境保护的同时,也必将促进柴油机工业、汽车工业及与之相关工业的向前发展。

参 考 文 献

[1] 曹跃芳. 能源、环境与气体燃料汽车. 山东内燃机, 1997(3): 1~6

[2] 松林. 上海液化汽车绿色工程启动. 汽车与安全, 1998(3): 16~17

[3] Kenji Funai 等. 共轨喷油系统(ECD—U2)的喷油率形状控制技术. 内燃机燃油喷射和控制, 1998(3): 29~34, 52

[4] Klaus Krieger. 轿车用柴油机电控喷油技术——电控喷油方式及其效果综述. 内燃机燃油喷射和控制, 1999(3): 10~15, 42

[5] 李绍安. 国内外共轨系统的开发进展和所面临的问题. 内燃机燃油喷射和控制, 1999(4): 5~8, 55

[6] Franz G. Chmela 等. 通过改变喷油特性曲线形状降低直喷式柴油机的废气排放. 内燃机燃油喷射和控制, 1999(4): 17~23, 57

(删去外文参考文献 4 篇) (责任编辑 肖庆山)