

序 言

综观世界内燃机技术的发展历程，大致可分为三个阶段，即喷射燃烧技术、增压技术和目前正方兴未艾的电控技术。由于这些里程碑式技术的出现和发展，促使内燃机的性能发生了巨大的变化，促进了内燃机由低级到高级，由机械化向自动化、智能化，由高污染向低污染、少污染的过渡，才会有内燃机行业今天欣欣向荣的局面。可以毫不夸张地说，科学技术特别是高科技是内燃机的生命线。“科学技术是第一生产力”的英明论断，在内燃机的发展史上又一次得到充分有力的印证。

《车辆发动机电子控制与交通管理系统》译文集，是一本反映世界内燃机电控技术最新成就的信息资料。众所周知，内燃机电控技术是六十年代中期从美国开始发展起来的高技术，特别是世界进入七十年代以来，以内燃机电子控制技术为核心的汽车电控高科技得到了迅猛的发展。由于该技术的发展，致使内燃机在降低油耗、改善性能、减少排放、保护环境、改善车辆运行可靠性、舒适性、提高操纵自动化以及改善道路交通管理等方面取得了很大的进步，以致于进入八、九十年代以来，发达国家生产的轿车几乎都装置了电控系统。由于电控技术的出现和发展，在发达国家一度被视为“夕阳工业”的内燃机行业重新焕发了青春和活力，并一举跃入机电一体化的高科技领域，为内燃机行业的发展创造了美好的未来。

何谓电控技术，内燃机电控技术主要是以电子调速、定时、油量控制、改变机液特性、实现合理的机电一体化控制为手段，实现改变供油规律、提高喷射压力、实行性能优化、监测、控制、报警及保护的功能，以达到高效低污染内燃机的目的。还值得一提的是，由于电控技术的发展，使得车辆及交通管理的电子系统成为可能，并为社会和人类带来极大的社会效益和经济效益。

目前，我国正在经受改革开放大潮的洗礼，随着“科学技术是第一生产力”的英明论断日益为人们所接受，随着全国第二次科学大会的召开，随着《中共中央国务院关于加速科学技术进步的决定》的颁布，我国迎来了又一个科学的春天。本译文集的出版，将为我国内燃机行业的高等院校、科研单位和工厂的教师、学生和科技人员提供世界上有关内燃机电控成就的最新信息，以资交流和沟通，如能对我国内燃机电控事业的发展有所促进，则为本译文集出版之所幸也。

山西车用发动机研究所副所长兼总工程师
研究员级高级工程师

车辆发动机电子控制与交通管理系统(译文集)

目 录

综 述

电子控制系统对车辆发动机和道路交通管理的重大作用	(1)
--------------------------	-------

车辆发动机电子控制系统

1. 汽油机部分

Bosch 公司 Lambda 闭环控制汽油电子喷射系统(Bosch 公司)	(7)
未来低排放汽油机概念设计对发动机控制系统的要求(AVL 研究所)	(27)
满足未来经济性和排放要求的发动机电控系统(Siemens 公司)	(36)
汽油机增压及电控(根据‘内燃机’1988 年英文版编译)	(45)
二冲程摩托车发动机电控的可能性(奥地利 Graz 大学)	(51)

2. 柴油机部分

低排放柴油机的新电控喷油系统 ECD-U2(日本 Nippondenso 公司)	(61)
柴油机发展对电子系统的要求(AVL 研究所)	(72)
电控柴油机喷油系统对改善载重汽车排放的贡献(Bosch 公司)	(82)
降低排放和提高舒适性的柴油机电控系统(BMW 公司)	(88)
CDS —— 一种先进的柴油机管理用电控系统(MTU 公司)	(98)

交通管理系统

戴姆勒 - 本茨公司的 '普罗米修斯' 计划 (MB 公司) (104)

'普罗米修斯' 计划的发展状况 (Fiat 公司) (114)

美英车辆信息和导驶系统 (英国 Aviation Literary Services) (125)

驾驶员电子信息系统 (奥地利 Steyr-Daimler-Puch 汽车工程公司) (130)

综 述

电子控制系统对车辆发动机和道路交通管理的重大作用

华 觉 源

前 言

随着国民经济的迅速发展,以汽车车辆为主的地面运输工具的作用越来越重要。与此同时,能源紧张、污染加剧、交通堵塞、事故频繁的情况也更加咄咄逼人,已经成为当今发达国家和发展中国家必须正视的严重问题。

《1994年中国环境状况公报》表明,我国以城市为中心的环境污染仍在发展,并逐渐向农村蔓延,生态破坏的范围仍在扩大,环境问题已成为制约经济发展和影响人体健康的重要因素。地球作为人类生存的空间,遭受严重污染,不能忽视的因素之一是车辆的有害排放物 CO 、 HC 、 NO_x 、 SO_2 ……,造成温度效应、酸雨、气候反常,导致人类呼吸系统、神经系统的功能破坏、致癌率剧增等。与车辆剧增的同时,道路建设远远跟不上需要,造成交通拥挤、堵塞、撞车事故频频发生。据美国和欧共体国家90年代初的统计,每年因交通事故死亡人数均为5~6万人,受伤人数总计500多万人,总经济损失高达1400亿美元,约为年车辆行驶耗资的十分之一。

幸运的是,矛与盾的发展总是互相对立而又互相促进的。近15年来,由于电子学、信息学、计算机技术、传感器及遥测技术、执行器技术、控制技术等的迅猛发展,为汽车及发动机的电子化,为道路交通管理的电子化,提供了非常有利的发展前景。

人们常说,汽车工业水平是衡量国家工业化、现代化水平的重要标准之一。从80年代中期以来,人们又把汽车电子化程度作为衡量汽车现代化和质量水平的重要指标,认为汽车电子化是汽车技术发展进程中的一项革命。据统计,1993年全球汽车电子产品销售额已达到135亿美元,单车平均消耗费用为1400美元;据美国汽车工业协会预测,至本世纪末,全球汽车电子产品总销售额将增至600亿美元,占汽车总成本的20%~70%。

目前,发达国家的汽车电子产品包括发动机电子控制系统、动力传动电控系统、车载电脑信息咨询系统、安全保障系统、城市交通安全管制系统、夜视及灯光照明系统、车辆废气排放和噪声检测系统,以及影视音响娱乐系统等。今年3月,人民日报记者报导了“汽车长脑”出现在巴黎街道,这是第一代实用的智能汽车,在仪表盘旁有一小荧光屏,可显示交通地图和最佳行驶路线,并且报导这类电脑系统即将在奔驰、雷诺、大众、雪铁龙等欧洲大汽车厂家应用。

当前汽车电子化的发展包括了发动机电控的发展,对汽车发动机的要求,不仅要有良好的动力性能、省油、更着眼于满足日益严格的排放法规,“全世界人民拥有一个地球”的同心

愿和强烈呼声,对于发动机厂家既是压力,又是借助电控系统这一高新技术在激烈竞争中抢占市场的巨大推动力,车辆发动机电子系统的应运而生,赋予它十分艰巨的使命,它既要取代传统机械式或液力式调节系统的旧功能,还要凭借电子系统特有的长处开发新功能,更要采用改进的控制对策来完善发动机各项性能,所有这些努力,旨在使发动机工作过程(从喷入燃油,到完成排气过程)以及废气后处理过程,在车辆和发动机各种工况下都具有最佳管理、最优参数,因此,对发动机电子系统要求十分苛刻,主要集中在研究或选用具有足够精度、动力特性、抗干扰性,尺寸紧凑,能耗小的传感器和执行器,以及先进的控制模式,电控系统适应车辆发展,其发展趋向是:智能化传感器、自控执行器和多路(总线)通讯联络系统,当然也包括这些电子元器件的降低成本。

与此同时,解决道路交通拥挤、堵塞、事故频繁的问题,也不再是采用“头疼医头”的应付办法,而是立足于系统工程和总体全方位的治本措施,欧共体国家于1986年开始实施的“高效率、高安全欧洲交通管理系统计划”(简称“普罗米修斯计划”)就是一个范例,它是把欧洲作为一个整体对象,依靠高新技术电控系统装备车辆和道路设施,以提高交通流量和实行安全行驶为目的的现代欧洲交通管理系统的宏伟计划。

我国在本世纪及下世纪初汽车工业和交通运输事业将有一个大发展,提高汽车电子化程度和革新交通管理制度已成为当务之急,不过国外当前已经开发的有关高新技术产品在我国尚处于空白状态,为此,电子工业部已把汽车电子技术、交通安全管理信息系统、高速公路收费系统、车载通讯系统等正式列为“九五”重点发展产业。

本译文集共搜集90年代初发表的文章14篇,简要和重点地反映出电控系统在车辆发动机和交通管理方面的世界最新水平,旨在为国内从事和关心车辆、发动机和交通运输行业发展的同仁们提供一册技术性强、内容新颖,图文并茂的专业参考书,以促进我国在此领域的工作,缩小与世界发达国家水平的差距。

1 车辆发动机电子控制系统

1.1 汽油机的电子控制系统

当今轿车用发动机仍然以汽油机为主,不过,近15年来,在发达国家普遍采用汽油喷射装置而取消了传统的化油器,普遍采用无铅汽油为燃料而取代了含铅汽油。

在车辆用汽油机上采用电子控制系统,最早是60年代中期,开始于美国,80年代则是电控化汽油机在发达国家发展的重要时期,以日本为例,1985年约有三分之一轿车装上了电控系统,到80年代末则超过了半数,进入90年代,几乎发达国家的轿车都装上了电控系统。

汽油机电控技术的发展,走过了一条由简到繁,由单功能到多功能的路子,即从“单点喷射”(只在进气管上设置一个喷油器),发展到“多点喷射”(在各缸进气阀前分别设置喷油器);从只控制喷油量的单功能,发展到同时控制点火定时、怠速、废气再循环、防止爆燃,直至车辆传动装置的多功能;从采用开式循环控制模式,发展到复杂、精确的反馈型闭式循环控制模式。

汽油机电控技术的上述发展途径,正是反映着15年来车辆迅速发展对发动机要求不断提高的过程,这些要求不仅包括要有良好的燃油经济性,而且要有在各种工况都尽量减小排放

对大气污染的环境适应性,还要确保发动机工作可靠性和车辆行驶的安全和舒适性。

本译文集详细介绍了德国 Bosch 公司的“带 λ (Lambda) 闭环控制的电控汽油喷射系统”,因为它可以作为当今汽油机电控系统最高水平的一个典型实例。由于这种系统具有监控反馈功能,且无后滞性,可以严格控制 $\lambda=1.00$,以优化各种运行工况,明显优越于开环控制,使作为废气后处理的三元催化器发挥最佳功能,得到最低的有害排放物。要严格控制 $\lambda=1.00$,是因为 λ 的偏差值即使只有 1% (± 0.01),也会使排放明显恶化,使催化器偏离有效工作区。严格控制 λ 是十分艰难的,必须使喷油量随运行工况进行快速修正,也就是说各缸喷油量的精确确定不仅取决于主变量(转速、空气量),还要根据补偿变量(发动机水温、表示负载的节气门开度、起动和热车“加浓”工况以及加速过渡工况)进行精确补偿。所以必须有赖于一系列性能良好的传感器(空气流量传感器、节气门开度传感器、转速传感器、曲轴转角传感器、温度传感器、爆震传感器等)。控制过程没有后滞性,是过程控制的又一个难点,它要求改进各缸工作均匀性(在这方面多点喷射明显优于单点喷射),优化进气,避免汽油因在进气管壁上冷凝或积取而引起混合与燃烧的滞迟与不均匀。所以, Bosch 公司的专家们指出,减少排放的出路在于首先尽量组织好缸内过程,燃烧完全时有害排放物也少;对于发动机排出的少量有害气体,最后还要靠催化器使之转换成无害气体(CO_2 , N_2 , H_2O 等)。该公司的这种系统,工作范围为 $\lambda=1.0\pm 0.2$,控制精度为 $\lambda=1.00\pm 0.01(1\%)$ 。

奥地利 AVL LIST 研究所的专家们,提出了未来低排放汽油机的设计观点,为满足美国低排放标准,应当从发动机电控系统和发动机燃烧过程自身两个方面来解决。根据 1990 年车辆排放的统计数据 $\text{HC}-0.16\text{g/km}$, $\text{NO}_x-0.19\text{g/km}$ 。要达到美国低排放标准,HC 必须降低三分之二到六分之五, NO_x 也要降低三分之一。美国 FTP 试验结果表明,发动机起动后的 200s 内产生总有害排放量的 80%。奥地利专家们提出,降低排放的对策应是缩短起动后高排放的持续期和大幅度降低其排放绝对值,主张装上起动旁通催化器,同时也应进一步改善主催化器的工作条件。

德国西门子的专家们提出了模块式电控系统作为发动机和驾驶的管理系统,认为微机技术的发展(提供了更高的存储能力和集成度)和控制器的小型化都是发展这种管理系统极为有利的条件。专家们的看法是,采用 λ 闭环控制三元催化器技术,可减少污染 90%,德国到 2005 年可望油耗降低 25%, CO_2 也有所减少;采用自适应爆燃控制,可使发动机尽量在高压缩比下工作;采用空气助力喷射阀,可使油粒细化;采用可变气阀定时,可使低工况改善油耗;采用废气再循环比率控制、点火定时控制、催化器加热控制等都有利于改善性能和排放。总之,随着系统复杂化,功能也越完善,高技术成分增加将降低发动机运行成本。

汽油机进行涡轮增压是提高功率、降低油耗、改善排放的一条技术途径。但是它的难度要比柴油机增压大。英国内燃机专家们指出,汽油机涡轮增压存在四个方面的问题,即受爆燃的限制;在整个运行范围内气量变化大,不易匹配好增压器;排温高,给耐久性、成本带来问题;涡轮迟滞现象较严重。采用电控系统是解决上述难点的一项关键措施。它可以通过爆震传感器的监测实现发动机的动态调节;采用小涡轮加放气阀的方案,由电控系统实现放气阀的动态调节;由电控系统来调节增压压力、点火定时和空燃比等重要参数。因此,电控系统的开发也促进了汽油机增压的开发。

电控系统能否用于摩托车改善工作状况,也已成为当今探讨的问题。奥地利格拉茨大学的学者们认为,摩托车发动机转速和油量的变化范围大,用来调节的时间短,调节难度大;但是要求进一步改善部分工况性能和排放,电子元器件小型化、价格下降,为摩托车电控化提供了必要性和可能性。

1.2 柴油机的电子控制系统

当今,商用卡车、特种车辆的动力都采用直喷式柴油机,为了满足日益严格的动力性能、燃油经济性和排放法规要求,最根本的技术对策是完善缸内燃烧,为了得到良好的油气混合和燃烧放热,抑制有害排放物的产生,应当采用喷射峰值压力 100 ~ 120 MPa 的喷油系统,并能在整个运行工况实现喷油量、喷油定时、甚至喷油率图型的最佳控制,电控系统具有调节精度高的优点,以喷油始点调节为例,机械式为 $\pm 2^\circ \text{CA}$,而电控式仅为 $\pm 0.5^\circ \text{CA}$ 。因此电控喷油系统是理想的方案。近 15 年来,发达国家研制了电控单体泵、电控泵喷嘴和蓄压式电控喷油器,还有电控可变进气系统、电控可变几何涡轮增压器等,为优化工况参数的新型柴油机的问世奠定了基础。电控柴油机优于机械式或液力式调节,还表现在电控的自由度大、功能齐全,不仅随转速还可随负载改变喷油定时,还可随其它参数(如发动机水温、充量压力与温度、燃油温度等)改变喷油量和喷油定时,还可调节其它可变系统(如进气涡流比、涡轮喷嘴环几何截面等,实现整个运行范围内参数优化,所以也有效地改善了低速性能和降低排放。

日本电装公司研制的柴油机用 ECD-U2 电控喷油系统是一种蓄压式电控喷油器方案,电控阀是关键的控制部件,油泵只起到压力源的作用,共用管可作为压力调节部件,喷射压力可达 120 MPa,喷油定时为柔性调节,通过选择喷油器内节流孔径尺寸和共用管压力可以改变喷油率图型,这些对改善燃油经济性,排放性能和低速特性都起到了明显效果。

奥地利 AVL LIST 研究所的专家们认为,由于市场需求和排放法规的推动,电控系统已成为当今汽车和发动机技术中发展最快的部分,指出,电控系统在解决柴油机加速冒烟时可以摒弃传统的思路(根据充量压力来限制喷油量的做法),而采用加速时另把空气喷入进气歧管的办法,达到同时优化加速性和颗粒排放的目的。试验表明,可降低烟度 60%、总颗粒排放 30%;如果颗粒排放保持原值,则可改善扭矩 65%。显然,电控新措施对改善性能十分有利。

在增强环保意识同时,人们对轿车消费的取向,除了追求燃油经济性,也向高舒适性发展。BMW 公司从 1987 年开始把电控技术引入轿车发动机,克服了采用机械调节带来的局限性,例如为改善冷起动性能,通过电控系统对喷油始点进行预调节,并视冷却水温情况补偿喷油量,改善了低温暖车时的怠速性能,消除了敲缸,降低了噪声。关于行驶舒适性,装柴油机不如汽油机,易震颤、产生怠速抖动、变换载荷时反应也较强,该公司借助电控系统采用油门踏板信号滤波器,可以减少震颤、抖动,改善舒适性。又如,借助电控系统采用海拔高度油量校正装置,可使高海拔全负荷加速时烟度减少三分之二。

电控系统作为发动机管理部件,甚至整个推进装置的管理部件,从设计工作开始阶段就结合成为一个完整的体系,这是德国 MTU 公司及其他一些公司的成熟做法,该公司的 CDS 电子控制和诊断系统是 880 系列柴油机的一个集成部件,为军车动力带来了极大好处,整

机紧凑性为 $1000\text{kW}/\text{m}^3$ ，减少了附件传动、接口和部件，简化了结构，减少了安装空间，改善了机动性、可靠性、经济性和使用方便性，在运行中可以进行自检试验、通话联络等。

总之，柴油机引入电控技术，是柴油机技术上的又一次飞跃，经过 15 年的发展，国际上已进入商业化实用阶段。我国从事军、民品柴油机研制的有些工厂、研究所和高等院校，从 80 年代中、末期开始跟踪发达国家的信息，设立课题、或购进样机、或自行研制，初步摸索到一些经验，已经意识到电控技术的引入在我国同样意味着柴油机技术的发展进入一个新的里程碑。

2 交通管理的电子系统

车辆、运输的发展，与道路相应基础设施的发展之间的不平衡，造成一系列严重后果：交通拥挤、堵车、事故频繁，浪费燃料和时间，加剧了环境污染和噪声。专家们认为，这种威胁人们生活的状况，不应以仅仅修筑更多道路的办法来解决，对策应当是采用先进的信息——通讯技术、系统研究的方法，探索一整套综合措施，优化各种运输手段，协调运输中的供需关系和经济、安全、环保等问题。

正是在这种背景下，由德国戴姆勒-本茨公司于 1986 年提出了“普罗米修斯”计划，“普罗米修斯 (PROMETHEUS)”是 PROgramme for European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety 的缩写，意为“实现高效率、高安全的欧洲交通系统的计划”，它是把欧洲作为一个交通整体，综合采用电子学、信息学和遥测技术等高、新技术，来解决交通管理。该计划的工程浩大，欧洲 14 个主要汽车生产厂家（包括 BMW 宝马、Daimler-Benz 戴姆勒-本茨、Fiat 菲亚特、Ford 福特、Opel 欧宝、Renault 雷诺、Steyr 斯太尔、Volvo 伏尔伏等）和 70 多家电子、零部件、远程通讯厂家和 120 个大学、研究所参与，1987 年开始了技术-经济条件的确定阶段，1988 年进入了执行阶段。在 1992 年预估到 1994 年计划总预算约 6.5 亿欧洲货币单位，约合 8.1 亿美元。对计划进行评估及初步预测其效果为：在重要和特定场合，提高运输效率 20%，提高安全性 30%；平均提高效率 10%，提高安全性 8%。计划预定时间为 8 年完成。计划要求在驾驶员、车辆、交通环境（基础设施）和运输系统之间建立必要的通讯联系；司机可以依据数字化交通图和实时交通情况选择最佳行车路线；司机还可以采用自主智能导航系统检测相近车辆的速度和距离，实行导航控制；车载系统向司机提供忠告、报警，还可利用道路基础设备所支持的“路线导引系统”；交通部门通过监控系统实现安全均衡的交通流量。1991 年，已宣布计划取得了阶段成果，开发了一些产品。

戴姆勒-本茨公司在规划这项计划时，提出了两个项目——“安全驾驶”和“交通系统管理”。前者研究车辆与行驶环境的关系，后者研究如何利用交通空间和使用车辆。

在“安全驾驶”方面，设立了“影象技术应用 (VITA)”和“自主智能导航控制 (AICC)”两个研究课题。前者研究司机助理系统，在车内装摄像机，分析、识别前方道路状况并检测障碍状况，研制智能接口使计算机接受油门踏板、刹车、转向等传感器的数据。后者考虑到常因追尾造成撞车，研制车距控制器，以提高安全性和驾驶舒适性，车距传感器采用红外线原理，测距 150m，精度视远近而定，远距为 1m，近距为 0.1m。

在“交通系统管理”方面，研究了“双式路线导航系统”，借助简单易懂的数字化交通图，

可由司机或由通讯系统传递给司机优选行车路线,由于欧共体内部及与东欧国家之间贸易情况十分兴旺,还研究了“商业车队管理”,以减少空车行程和动用车辆数。

美国和英国对发展车辆信息和导航系统方面也是十分重视的。美国的 Etak 公司早在 1983 年研制出第一台电子导航仪,应用电子道路图,在车内计算机屏幕上显示行驶中车辆位置。1990 年底,工业集团、政府和大学联合建议成立“美国智能车辆公路协会(U. S. IVHS)”,以促进车辆公路系统的研究开发。据美国联邦公路管理局(U. S. FHA)公告,美国 1988 年发生撞车事故 660 万起,死亡 5 万人,受伤 350 万人,造成经济损失 700 亿美元,因交通拥挤,估计年生产率损失 1900 亿美元,浪费燃料约 66 亿升,正是由于这些惊人的数字,引起各方对解决交通管理的极大关注。美国灰猎狗运输公司(Greyhound Lines)已在 2400 辆公共汽车上安装了车载雷达系统,价值 500 万美元,用来监视车距,可及时发出音响报警信号,交通事故发生率为降低。FHA 和 IVHS 合作项目中有一项交通通讯计划 TRANSCOM,要在 1000 辆商用车上安装脉冲转发器,提供一系列实时交通数据(如车速、行驶时间等),旨在加强对事故的反应能力。IVHS 认为,制订一个覆盖全美的系统结构开发计划是一项重大基础工作,要求运输部承担一项为期 2 年、耗资 2000 万美元的项目,当时(1992 年)计划,到 1994 年,每年为 IVHS 耗资 1 亿美元。

英国在 1989 年 7 月宣布运输部有自动导航(Autoguide)项目,政府与英国通用电气公司商定在伦敦某些地区安装和使用电子道路导引系统,包括动用 1000 辆车装上车内显示器,并有 300 个路边信标。DRIVE 计划则是欧洲“普罗米修斯计划”的配套项目,旨在引入遥测技术用于道路和运输环境。交通管理系统在伦敦最繁忙路区试行后,现已推广使用。1992 年时预计,到 1995 年每辆车的硬件费不超过 500 英镑,用户每年开支约 70 英镑。

欧共体、美国拨出巨资改进交通管理,可知电子系统的重大作用。

“普罗米修斯计划”所研究的一些技术途径与方法、设备,经过现场试验,已经接近市场化,展望前景较为乐观。美欧国家的试验性尝试,可为我国解决交通及污染问题提供一些启示:要发展交通管理系统,需要在车辆和道路基础设施上分别装设传感器、计算机屏幕显示器等光电或机械式检测装置,通过计算机联网进行通讯联络,这也许是一条实现道路交通流量监控调节和安全保障的成功之路。借鉴国际成功经验,分析我国现状和特点,为自己开出根治交通病的处方,作好规划,少走弯路,这就是为什么在介绍发动机电子系统的同时要介绍欧美做法的用意。

致 谢

本译文集得到了中国兵器总公司发动机处何长贵处长和诸桂明高级工程师的大力支持,得到了山西车用发动机研究所吴培基所长和吴光夏总工程师的积极鼓励,谨向他们表示衷心的感谢!

本译文集部分取材自“92AVL 发动机与环境会议论文集”,承蒙 AVL LIST 研究所驻北京办事处负责人吴吉湘先生的赞同,我们才有可能将这些优秀文章供国内同行们共同消化吸收,谨向吴先生致谢,并祝 AVL 在中国事业兴旺。

参加本译文集工作的有华觉源、任继文、陈永锴、张树勇、张然治、张强、王自禹、牛宏才。正是由于上述同仁们的共同努力、细心认真,才使译文集问世,谢谢各位同仁的合作。

最后,由于时间紧迫和水平所限,疏忽和谬误之处敬请有识同行不吝斧正,非常感谢!

带 λ (Lambda) 闭环控制的电控汽油喷射系统

前言

自从采用汽油喷射系统以来，经过大量的在苛刻条件下的行驶使用证明其自身的价值。控制单元及传感器的不断发展导致由 D 方式喷射进到 L 方式喷射，使这种燃油喷射系统变得更加精确和可靠。新的用于接收传感器信号的电路使发动机的工作特性更加经济和完善。由于采用 λ 传感器和在控制单元中采用 λ 集成闭环控制，L 方式喷射完全适应未来的排放法规。本文介绍有关 L 方式电控汽油喷射的最新发展。

1 点燃式发动机

1.1 过量空气系统

为表示实际可行的空气 - 燃油混合比与理想值 (14.7:1) 的比例，选用过量空气系数 λ 的概念：

$$\lambda = \frac{\text{进 气 量}}{\text{理论需要的空气量}}$$

- $\lambda = 1$ 进气量与理论上必须的空气量相等；
- $\lambda < 1$ 空气较少或富混合，可增加输出功率；
- $\lambda > 1$ 空气过量或稀薄混合，可降低油耗，减少输出功率；
- $\lambda > 1.3$ 混合气过稀，以致燃烧不能进行。

图 1 示出点燃式发动机过量空气系数对输出功率和燃油消耗率的影响。

1.2 进油系统

不论是化油器或是燃油喷射系统，其作用就是产生最佳的油气混合气。在点燃式发动机上，进油系统采用的是化油器或燃油喷射系统。尽管化油器仍然是最常用的进油方式，但目前采用进气管喷射系统已成为一个明显的趋势。这一趋势的增强是由于采用汽油喷射可带来与下述要求有关的好处。这些要求包括经济性、效率以及最后但并非不重要的低排放污染。

进气管喷射燃油之所以有这些好处，是由于它可以根据发动机的运行及负荷工况，同时考虑环境影响，精确地计量燃油量。这样，混合气的组成可保持在一个恰当的水平，使废

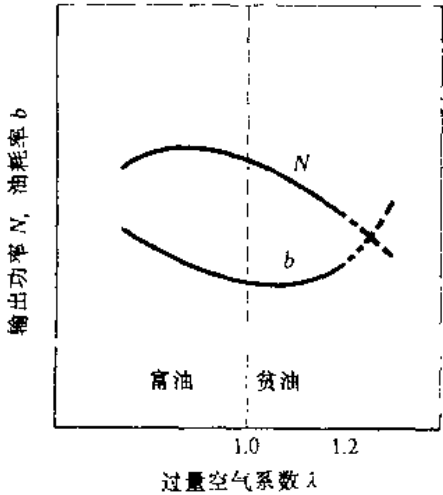


图 1 一台点燃式发动机过量空气系数对输出功率 N 和油耗率 b 的影响

气中的污染成分相对减少。此外,每缸布置一个喷油阀可以改善混合气的分配,由于不用化油器,可以更好地设计进气通道,因而改善气缸的充量,导致扭矩的改善。

1.2.1 机械系统

当今广泛使用的汽油喷射系统是K方式的机械喷射系统,这一系统不需要任何方式的驱动而可以连续地喷射燃油,有关这一系统的详细介绍参见Bosch公司技术资料中的《K-汽油喷射》说明书(VDT-U3/1)。

1.2.2 电子系统

L型喷射系统是一个电子控制的燃油喷射系统,它是由D系统发展而来的,每隔一定时间燃油由电子控制通过喷油阀喷入进气道,本文将进一步详述这一系统。

2 L型喷射系统

L型喷射系统是一个电控燃油喷射系统,它间歇地将燃油喷入进气歧管而不需要任何形式的驱动。

2.1 任务

汽油喷射的任务是在发动机工作的某一特定时间向每个汽缸提供正好适量的燃油,完成这一任务的前提是要尽可能调整好与供油有关的诸多因素,由于发动机的工作状态经常急剧变化,在任何给定瞬间快速适应行驶状况而修正供油量是最重要的,这时采用电控汽油喷射是最合适的,通过各种传感器可将车上各部位的各种运行参数进行检测并转换成电信号,然后再将这些信号送到喷射系统的控制单元,控制单元处理这些信号,计算出精确的喷油量。

2.2 优点

2.2.1 高输出功率(图2)

由于省去了化油器,可使进气道设计最优化,并由于气缸充量的改善可以得到更高的扭矩,燃油直接喷射到进气阀的前面,通过进气管进入发动机的只是空气,这就可以设计成最大限度地利用进气气流,实现空气分配和气缸充量的最佳化,用这种方法可以得到较高的比功率以及更加适用的扭矩曲线。

2.2.2 省油(图3)

采用L型喷射系统,发动机只吸入正好实际需要的燃油量,并且在所有工况下每个气缸都得到相同的燃油量,而在采用化油器的进油系统时,由于在进气歧管中的分凝作用,发动机各个气缸会出现油气混合气不均匀的情况,如果形成的油气混合气在最贫油的气缸是合适的话,那么其它缸就不会得到最佳的燃油分配,这会导致油耗增加和气缸应力不均匀,而在汽油喷射系统中,每个气缸有它自己的喷油阀,全部喷油阀集中控制,保证每个气缸精确地吸入完全相同的油量,即最佳油量,在任何特定的时间及任何特定负荷工况下,仅有必需的油量喷入,绝不会多喷。

2.2.3 及时

L型喷射系统几乎可以毫不迟延地去适应负荷工况的变化,控制单元可在几毫秒的时间

内计算出所需油量，这些燃油通过喷油阀直接喷到发动机进气阀的前部。

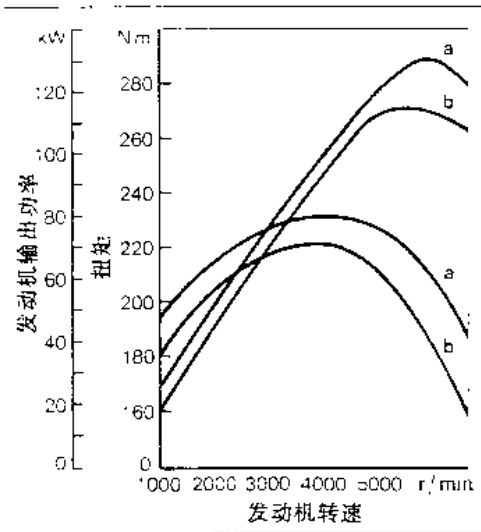


图2 功率和扭矩曲线

a——用汽油喷射；b——用化油器

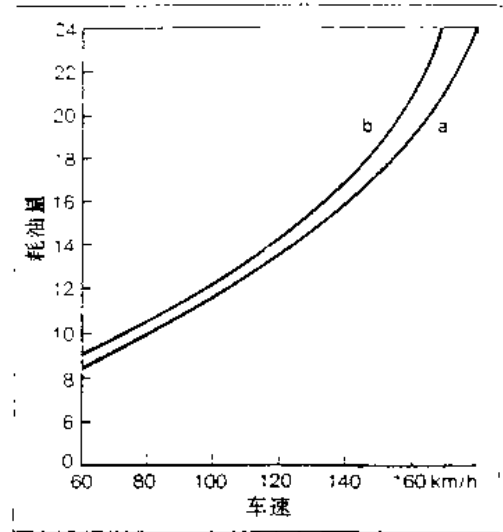


图3 耗油量

a——用汽油喷射；b——用化油器

2.2.4 低排放污染

排气污染的程度直接与空燃比有关。要使排气污染降到最低，就必须采用一个可以保持一定空燃比的进油系统。

L型喷射系统可以保持所需的精确的混合气形成以遵守现有的排放法规。

2.3 原理(见图4)

一台输油泵向发动机输送燃油，并产生喷射所需的压力。喷油阀将燃油喷入各缸的进气管，喷油阀由控制单元控制。L型喷射系统大体上包含下述功能块：

2.3.1 进气系统

进气系统向发动机提供适量的燃油，它由空气滤、进气歧管、节流阀及各缸独立的进气管道组成。

2.3.2 传感器

传感器(测头)检测出那些表征发动机工作状态的变量。最重要的一个变量是发动机吸入的空气量。这个变量由空气流量传感器测得。还有其它传感器负责检测节流阀开度、发动机转速以及空气和发动机的温度。

2.3.3 控制单元

由传感器送出的信号在电子控制单元中整理，并由这些信号产生出控制喷油阀的相应脉冲。

2.3.4 燃油系统

燃油系统从油箱向喷油阀传送燃油，产生喷射所需的压力并使其保持恒定。燃油系统还

包括输油泵、燃油滤、分配管压力调节器、喷油阀以及冷启动阀。

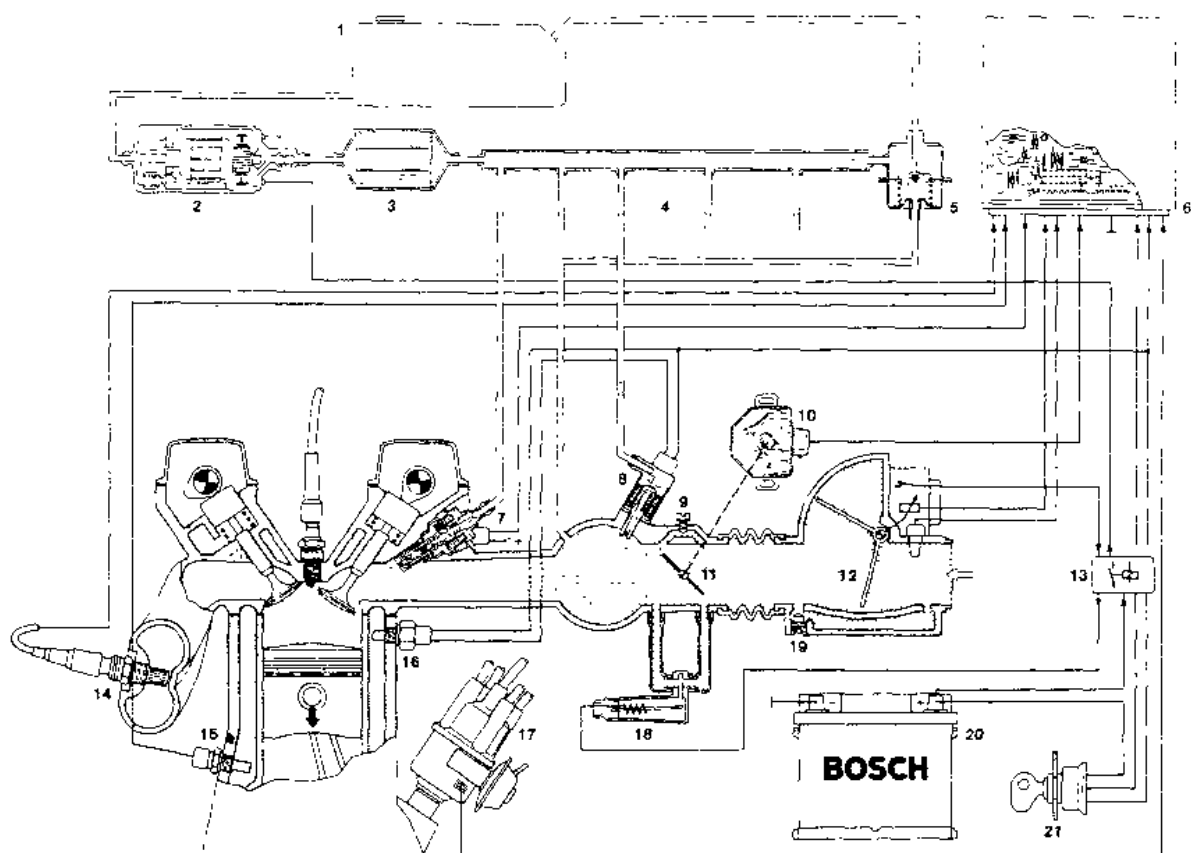


图4 L型喷射系统总图

- 1——燃油箱， 2——电动输油泵； 3——燃油滤； 4——分配管； 5——调压器， 6——控制单元；
 7——喷油阀； 8——起动阀； 9——怠速调整螺钉； 10——节流阀开关； 11——节流阀；
 12——空气流量传感器； 13——继电器组成； 14—— λ 传感器(用于某些国家)； 15——发动机温度传感器；
 16——温度-时间开关； 17——点火分配器； 18——补气装置； 19——怠速混合气调整螺钉；
 20——蓄电池； 21——点火起动开关

3 燃油系统

燃油系统能够在所有工况下向发动机提供一定压力的所需燃油量。燃油由一个电动滚子式泵从油箱泵出，以大约0.25 MPa的压力通过油滤并供入分配管，由分配管的燃油道再分送到各个喷油阀。在分配管的末端有一个压力调节器，该调节器使喷射压力保持恒定。即使在最极端条件下，都会有超出发动机所需燃油量在系统内循环，超出部分通过调压器返回油箱，但这部分燃油已经没有压力。燃油在系统内的流动能使系统始终供给冷的燃油，这样就可以避免燃油产生气泡，并保持好的热起动特性。

3.1 燃油泵(图4, 5)

以一台电动滚子泵作为输油泵，泵与电机都在同一壳体内，并一直在燃油包围之中，因

此，密封失效及润滑问题都可避免；同时，电机也可得到很好的冷却。由于电机与泵在壳体内永远不会产生可点燃的混合气，因此不会有爆炸的危险。油泵输出油量超过发动机内部燃烧所需的最大油量，这就可以保持在所有工况下保持燃油系统的压力。

滚子泵本身由一个圆柱形空腔及一个转子盘组成。偏心安装的转子盘在空腔内旋转，在转子盘圆周上开的槽内装有金属滚子。当转子盘转动时，滚子由于离心力的作用向外飞出，起周向密封的作用。这个周向密封的作用周期性地在进油口形成容积的增加，而在出油口形成容积的减小，从而产生泵吸效应。

当起动时，只要接通开关，泵就运转。一旦发动机起动后，泵就一直运转。有一个安全回路可防止在点火开关接通后而发动机不转动时喷入燃油（例如出现故障后）。

输油泵装在紧靠燃油箱附近，它不需要任何维护保养。

3.2 燃油滤

燃油滤的作用是阻止燃油中的杂质通过。在油路中输油泵的后而布置一个油滤。油滤内有一个纸滤芯，滤纸微孔的平均尺寸为 $10\text{ }\mu\text{m}$ 。滤芯由一个粗滤围着，粗滤可挡住任何松纸碎片。因此，必须严格按照油滤上指示的流动方向安装。一块支承板在滤壳内托住油滤芯。滤壳是金属制成的。油滤可整个部件更换，其使用寿命取决于燃油中尘土的含量以及单个滤的容积，约为 $30\,000 \sim 80\,000\text{ km}$ 。

3.3 压力调节器(图 6)

调压器控制燃油系统的油压。它装在油道的末端，是一个膜片控制的溢流阀。对于各种不同的系统，它能保持油压在 0.25 或 0.3 MPa 。调压器由金属壳体构成，壳体内部被一个带珠子的膜片分成两个腔：一个弹簧腔，其中装有一个预压在膜片上的螺旋弹簧；另一个是油腔。当油压超过设定值时，由膜片控制的阀打开一个通到溢流道的进口，多余的燃油通过这个溢流道无压力地返回油箱。调压器的弹簧腔由一个真空管连到节流阀后面发动机进气歧管上，使燃油系统的压力由进气歧管的绝对压力来决定，从而使通过喷油阀的压力降在每一个节流阀位置都保持恒定。

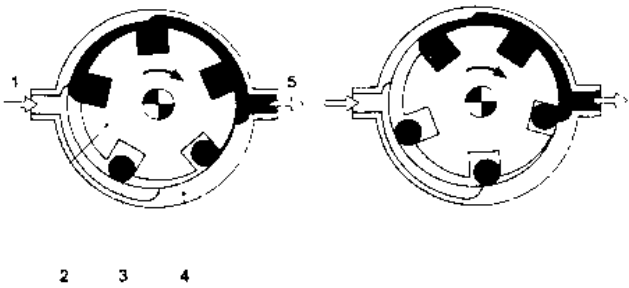


图 5 滚子泵的泵油过程

- 1——进油(吸油)； 2——转子盘； 3——滚子；
4——泵体； 5——压油端；
□ 无压力燃油； ■ 有压力燃油

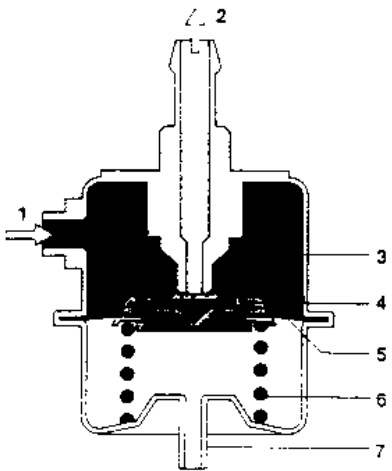


图 6 调压器

- 1——进油接头， 2——回油接头；
3——阀板； 4——阀座； 5——膜片，
6——压缩弹簧； 7——真空接头

3.4 燃油路

燃油路保证在每个喷油阀上有相同的油压，燃油路有储存功能，其容积与发动机每个工作循环喷油量相比足够的大，因此可防止油压的波动，与燃油路相连的各个喷油阀前的压力也是相同的，燃油路同时也为喷油阀的安装提供了便利。

3.5 喷油阀(图7)

喷油阀将燃油喷到发动机各缸进气阀前面的进气道中。发动机每个气缸都有一个喷油阀，喷油阀由电磁阀操纵，从控制单元来的电子脉冲控制阀的打开或关闭。喷油阀由阀体及带衔铁的针阀组成，阀体内装有电磁阀绕组并作为针阀的导向，当电磁阀绕组中没有电流时，针阀由一根螺旋弹簧压在阀出口的座面上；而当电磁阀绕组有磁场产生时，针阀升起约 0.1 mm，燃油可以通过一标定了的环形喷孔流出，针阀的前端磨成一个特殊的销状以使汽油雾化，阀的提升和回落时间在 1 ~ 1.5 ms 的范围内，为实现好的燃油分配以及减少冷凝损失，应尽量避免喷湿进气管壁，因此，对于特定的发动机，必须保持一个特定的喷注角度以及特定的喷油阀到进气阀的距离，喷油阀装在一个专用支座上的模压橡胶圈内(图8)，这可以达到隔热的效果，防止汽油汽化产生气泡，从而保持好的热起动特性，模压橡胶件也可保证喷油阀不承受过大的震动。

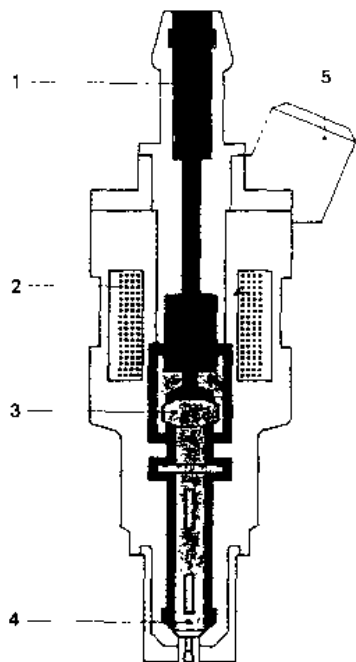


图7 喷油阀

- 1— 滤；2— 电磁阀绕组；
3— 电磁阀衔铁；4— 针阀；
5— 电线接头

4 控制系统

发动机工作温度由传感器检测到后以电信号形式送到控制单元，控制单元与各种传感器构成控制系统。

4.1 变量与工况

表征发动机工况的各种变量可按下列系统分类：① 主变量；② 补偿变量；③ 精确补偿变量。

主变量 发动机转速和进入发动机的空气量，这两个变量确定了每循环的空气量，而空气量是作为发动机负荷状况的直接度量。

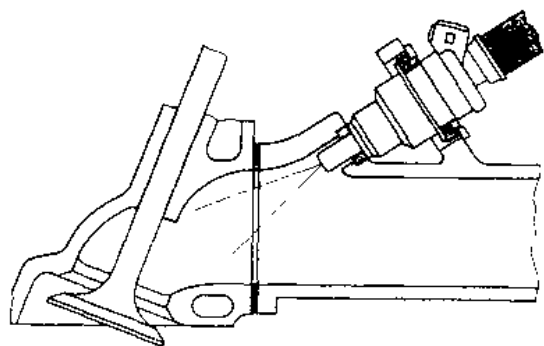


图8 喷油阀的安装

补偿变量 当发动机工况偏离标定工况时，混合气必须相应地改变以适应这一改变后的工况，我们关注的是下列工况：起动、发动机热车、负荷匹配，传感器传送发动机的温度到控制单元，进行起动和热车工况的计算，而对不同负荷工况的补偿则通过节流阀开关将负荷的变化(空载、部分负荷、满负荷)传送到控制单元(见图9)。

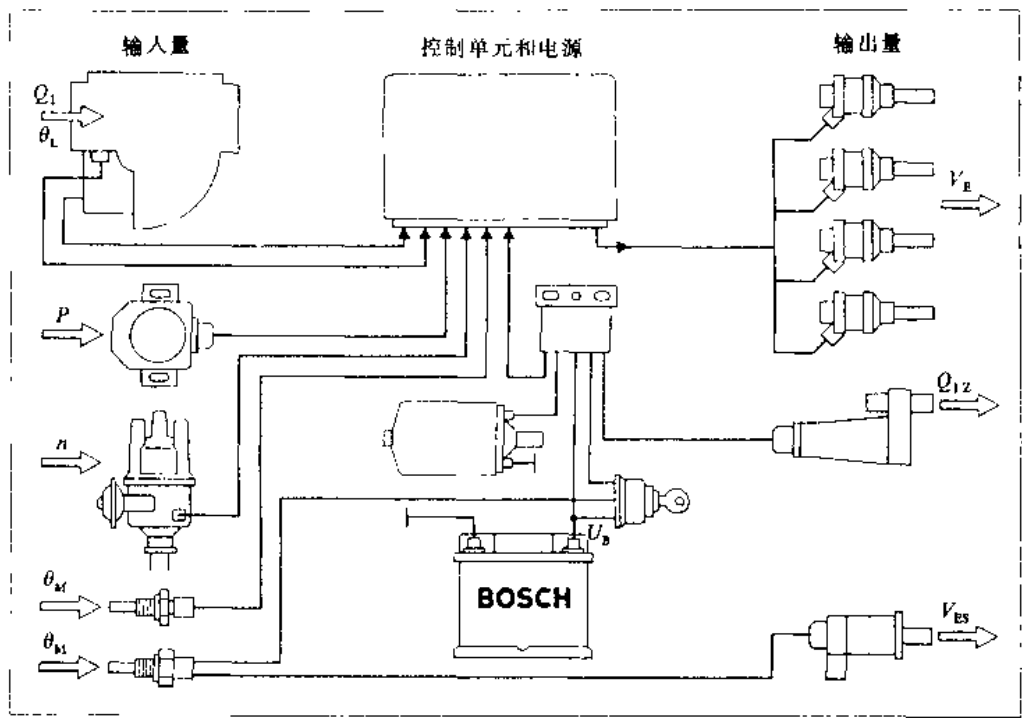


图9 送入控制单元的信号及控制参量

Q_1 —— 进气量； θ_L —— 进气温度； n —— 发动机转速； P —— 发动机负荷； θ_M —— 发动机温度；
 V_E —— 喷油量； Q_{1z} —— 补偿空气； V_{Es} —— 起动机加浓油量； U_B —— 车辆供电系统电压

精确补偿变量 为了达到最佳行驶性能，可以考虑更大范围的影响因素：加速工况的过渡特性，发动机最高转速限制以及超速工况等都可由上面得到的传感器进行计算，在这些工况范围内，传感器的信号具有特殊的相互关系，这种关系可由控制单元确认，并据此影响发往喷油阀的控制信号。

变量的综合效应 控制单元综合处理所有变量，使供给发动机的油量总是在发动机特定瞬时工况下所必须的油量，从而得到最佳行驶性能。

4.2 发动机转速的计算

发动机转速与喷油始点信号是从断路触发器式点火系统中的点火分配器接触器触点传送给L型喷射系统控制单元。在无断路式点火系统时，信号从点火线圈的端子引出。

4.2.1 脉冲的处理 (图 10)

点火系统发出的脉冲由控制单元进行处理。这些以衰减振荡形式传送的信号首先通过一个脉冲整形电路形成矩形波脉冲，再将这些矩形波脉冲送到一个分频器中，分频器按点火顺序对脉冲频率按下述方法进行分频：每一个工作循环产生两个脉冲而且与气缸序号无关，脉冲始点时间与全部喷油阀开始喷射的时间相同，曲轴一转喷油阀喷射一次，而与进气阀的位置无关，如果喷油时进气阀处于关闭状态，燃油就暂存在进气管内，到进气阀下次再打开时，燃油与空气一起进入燃烧室，喷射的持续时间则取决于空气量和发动机转速。

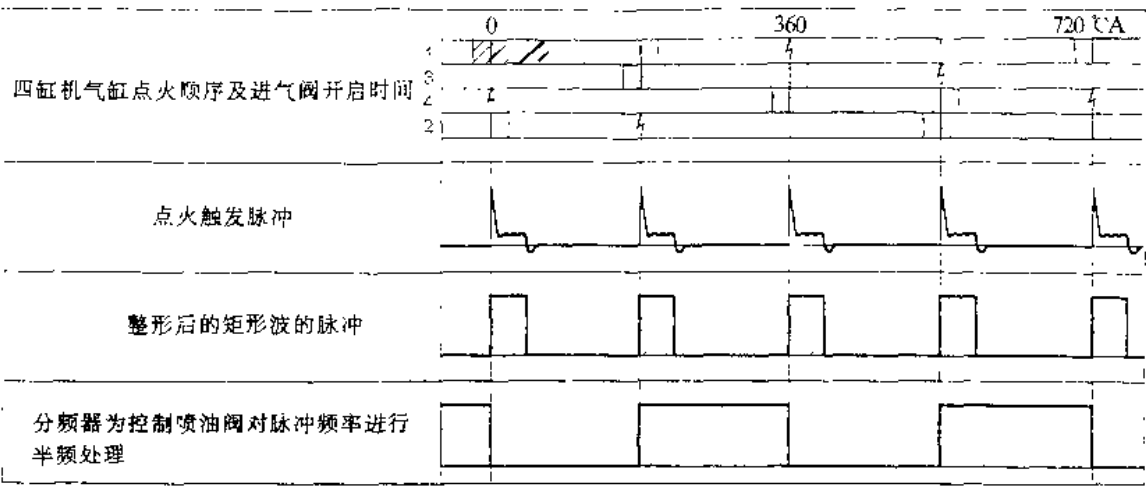


图 10 在控制单元中处理点火脉冲

4.3 空气流量的测量

吸人气缸的空气流量是发动机负荷工况的度量。

所有进入发动机的空气量都被测出并作为燃油分配的一个主变量，由空气流量传感器的输出信号和发动机转速两者确定的燃油量叫作基本油量。

空气流量可以指示出车辆使用寿命期间中发动机发生的任何变化，如磨损、燃烧室积炭、气阀调整的变化等。由于吸入的空气在进入发动机之前必须首先通过空气流量传感器，也就是说，加速过程中，在空气实际进入气缸之前，传感器信号就已先期发出，这样就可提前供给更多的燃油，从而实现加速过程中的加浓要求(图 11)。

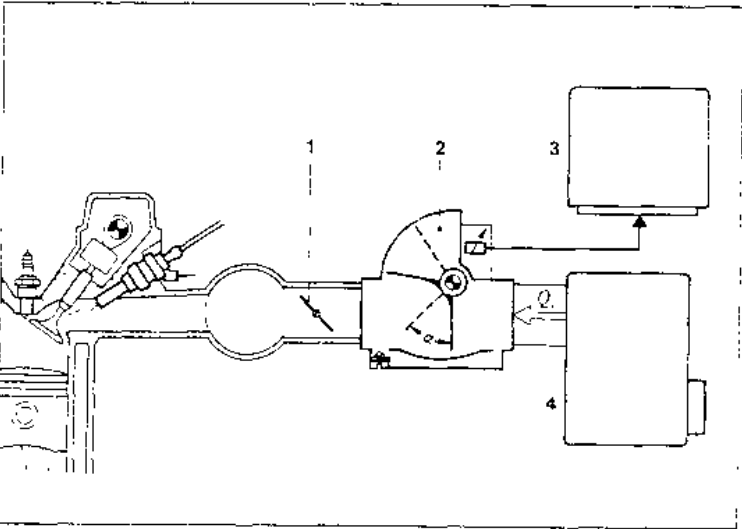


图 11 进气系统中的空气流量传感器

1——节流阀；2——空气流量传感器；3——控制单元；4——空气滤； Q_1 ——吸入的空气量

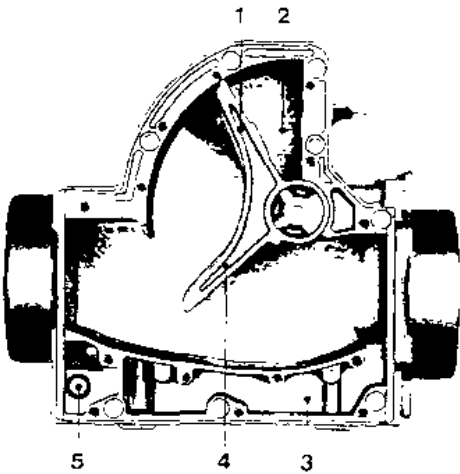


图 12 空气流量传感器(气流测)

1——补偿活门；2——缓冲室；3——旁通气路；4——传感器活门；5——怠速混合气调整螺钉(旁通)