

世界 内燃机 材料与工艺 进展

中国内燃机学会材料与工艺分会
机电部第三设计研究院情报所 编

编 纂 人 员

主 编 陈 铁

副 主 编 张德顺 诸葛增钰

编 辑 曾道金

编 者 (以姓氏笔划为序)

方 艺 王淑云 卢化民

齐金春 何约洁 陈 铁

李璐璐 张德顺 诸葛增钰

隆万田 黄书明

审 核 刘长吉 张鸿飞 朱自惠

孙 峙 吴激扬 贺大镛

审 定 安光辉 艾为学

封面设计 曾 玮

前 言

内燃机作为一种动力装置以其特有的性能被日益广泛的使用。内燃机产品的性能也在不断的完善和发展。随着产品的改进与发展,生产内燃机的材料发生着巨大的变化,相应的生产工艺及其装备也在发生变化。这里收集到国外部分主要产品的材料和工艺发展概况,重点是新材料和新工艺以及国外内燃机企业名录,供本行业人员参考,以促进和推动我国内燃机产品质量的提高和制造技术的发展。

鉴于内燃机产品种类多,型号复杂,产品结构形式及其选用的材料各有差异,很难全面概括。因此,只能重点收集和反映用途最多,用量最大的中小功率活塞式和复合式的内燃机的情况。

内燃机产品零件很多,首次与读者见面的只是部分主要件,其他零件准备以后陆续编辑出版。

参加本集编写的人员:主编陈铁,副主编张德顺,诸葛增钰。各部分的编写人员:陈铁(综述),王淑云(机体、气缸盖、气门座和气门专利),张德顺(曲轴),卢化民(凸轮轴、增压器),黄书明(连杆、齿轮、曲轴毛坯),齐金春(活塞、气门弹簧),诸葛增钰(气缸套、气门摇臂),李璐璐(活塞环),何约洁(气门、活塞销)、方艺(轴瓦)。为节省篇幅,参考文献从略。

参加国外内燃机企业名录编写的人员有:李璐璐(美国),齐金春(日本),方艺(英国),诸葛增钰(苏联),何约洁(德国、法国、意大利等),隆万田(德国、波兰、匈牙利等)。

本资料的编写工作得到机电部第三设计研究院副院长安光辉同志和总工程师艾为学同志的积极支持与指导,请刘长吉,张鸿飞,朱自惠,贺大庸,孙峙,吴激扬等同志进行审阅,曾道金同志担任责任编辑,在此一并表示感谢。

由于我们水平所限,缺点和错误在所难免,恳请读者批评指正。

编者

1991年10月

目 录

第一篇 综述

1.1 内燃机发展概况	(3)
1.2 内燃机材料的应用与开发	(8)
1.3 内燃机制造技术的发展	(17)

第二篇 内燃机主要件材料与工艺

2.1 机体	(39)
2.1.1 机体材料	(39)
2.1.2 国外制造机体毛坯的工艺方法和设备	(45)
2.1.3 机体的机加工	(66)
2.2 气缸盖	(101)
2.2.1 气缸盖材料	(101)
2.2.2 气缸盖的强化法	(112)
2.2.3 国外铸造气缸盖先进工艺方法举例	(113)
2.2.4 气缸盖机加工	(114)
2.2.5 国内对气门座锥面及导管孔的加工、改进及引进情况	(119)
2.2.6 气缸盖柔性制造系统、自动线及工艺过程举例	(125)
2.3 曲轴	(130)
2.3.1 曲轴及其结构	(130)
2.3.2 曲轴的材质	(130)
2.3.3 曲轴的毛坯生产	(141)
2.3.4 曲轴的机械加工	(149)
2.3.5 曲轴的强化工艺	(167)
2.3.6 球铁曲轴的摆差	(178)
2.3.7 曲轴的平衡	(181)
2.3.8 曲轴的检验	(188)
2.4 凸轮轴	(194)
2.4.1 概述	(194)
2.4.2 国内外凸轮轴材料选用的基本情况	(197)
2.4.3 新材料、新工艺的开发应用	(201)
2.4.4 冶金因素对凸轮轴摩擦副特性的影响	(207)
2.4.5 我国有关专业标准对凸轮轴的要求	(212)

2.4.6	凸轮磨削质量问题的理论与实践	(214)
2.4.7	凸轮轴检测	(219)
2.4.8	凸轮轴加工设备	(221)
2.5	连杆	(234)
2.5.1	概述	(234)
2.5.2	国内外材料选用的基本情况	(235)
2.5.3	连杆材料及工艺的研究开发	(235)
2.5.4	产品发展与材料选用	(263)
2.5.5	发展展望	(266)
2.6	齿轮	(268)
2.6.1	概述	(268)
2.6.2	材料选用	(268)
2.6.3	典型工艺及关键工序	(271)
2.6.4	齿轮检测	(292)
2.6.5	产品发展	(295)
2.6.6	发展趋势	(297)

第三篇 内燃机配附件材料与工艺

3.1	活塞	(300)
3.1.1	概述	(300)
3.1.2	国内外材料应用的基本情况	(300)
3.1.3	新材料的开发	(304)
3.1.4	先进的工艺及其装备	(308)
3.1.5	产品开发及新材料的应用	(318)
3.1.6	结语	(320)
3.2	气缸套	(320)
3.2.1	概况	(320)
3.2.2	新材料的开发和利用	(326)
3.2.3	生产工艺和装备的发展	(331)
3.2.4	检测	(349)
3.2.5	技术展望	(351)
3.3	活塞环	(352)
3.3.1	国外活塞环的主要结构形式及环组排列	(352)
3.3.2	国外活塞环材质	(353)
3.3.3	国外主要活塞环制造公司材质简介	(359)
3.3.4	国外活塞环制造工艺	(372)
3.3.5	国外几家主要活塞环制造公司的典型加工技术	(380)
3.3.6	国外典型活塞环加工设备简介	(385)
3.4	气门	(391)

3.4.1	气门概况	(392)
3.4.2	气门制造工艺简介	(400)
3.4.3	气门材料及工艺发展	(409)
3.4.4	气门专利	(417)
3.5	轴瓦	(437)
3.5.1	概述	(437)
3.5.2	开发和利用新材料	(441)
3.5.3	轴瓦制造技术	(452)
3.5.4	轴瓦材料及工艺的发展趋势	(460)
3.6	活塞销	(461)
3.6.1	活塞销的结构及发展	(461)
3.6.2	活塞销材料概况	(463)
3.6.3	活塞销制造工艺简介	(466)
3.7	气门弹簧	(478)
3.7.1	概述	(478)
3.7.2	材料的选用及新材料的开发	(478)
3.7.3	工艺的开发及其装备的完善	(481)
3.8	气门摇臂	(488)
3.8.1	气门摇臂的作用与结构	(488)
3.8.2	气门摇臂的材料	(490)
3.8.3	气门摇臂的制造工艺与装备	(491)
3.8.4	气门摇臂的检测	(499)
3.9	气门座	(500)
3.9.1	前言	(500)
3.9.2	气门与气门座的工况	(500)
3.9.3	气门座的功能	(501)
3.9.4	气门座的磨损特征	(501)
3.9.5	对气门座材料的要求	(503)
3.9.6	气门座材料	(503)
3.9.7	气门及气门座的合理匹配	(525)
3.9.8	气门座专利集	(526)
3.10	增压器	(531)
3.10.1	概述	(531)
3.10.2	涡轮级的结构	(534)
3.10.3	涡轮材料	(536)
3.10.4	陶瓷材料的性能及其在增压器上的应用	(538)
3.10.5	增压器喷嘴环内圈材料选用	(542)
3.10.6	叶片精锻工艺	(543)
3.10.7	叶片成型辊锻	(547)
3.10.8	85 CNC 型双轮爬磨的结构特点	(551)

3.10.9 增压器的检测技术.....	(552)
3.10.10 871合金涡轮叶片振动试验.....	(554)
3.10.11 B12u超速试验机.....	(556)
3.10.12 10TA 2203 型座标测量系统	(557)

附录 国外内燃机企业名录

1 美国	(562)
2 日本	(572)
3 德国	(589)
4 英国	(597)
5 法国	(607)
6 意大利	(611)
7 奥地利	(613)
8 荷兰	(613)
9 西班牙	(614)
10 挪威	(615)
11 丹麦	(615)
12 芬兰	(616)
13 加拿大	(616)
14 瑞典	(617)
15 瑞士	(619)
16 苏联	(620)
17 波兰	(629)
18 匈牙利	(630)
19 南斯拉夫	(631)
20 捷克斯洛伐克	(632)

综 述

1.1 内燃机发展概况

内燃机材料及其工艺的发展,与内燃机行业的发展和内燃机产品的发展是密切相关的。因此,首先简要地介绍一下内燃机的行业发展和内燃机产品发展概况。

1.1.1 内燃机行业发展概况

虽然内燃机是一种作为动力的配套产品,但内燃机的研究与生产已形成一个独立的行业。从世界上来看,生产内燃机的企业绝大多数是独立的专业厂。据80年代初统计,国外生产内燃机的主要企业有269个,其中柴油机企业184个,汽油机企业43个,兼业生产企业42个(见表1.1)。而专门生产各种内燃机零部件的主要企业有195个(见表1.2)。国外生产内燃机主机和零部件的主要企业数总计为464个。

表1.1 国外主要内燃机企业数

产 品	企 业 数 (个)
柴 油 机	184
汽 油 机	43
兼 产	42
总 计	269

表1.2 国外主要零部件企业数

产 品	企业数(个)	产 品	企业数(个)
油泵油嘴	17	曲 轴	10
缸 套	19	凸 轮 轴	21
活塞、活塞环	31	热交换器	40
气 门	19	增 压 器	14
轴 瓦	24	总 计	195

80年代初,世界内燃机年产量在7000万台以上,其中柴油机年产量约1000万台。柴油机在内燃机中所占比例,从70年代到80年代,总的来说是有所增加。柴油机性能的提高和使用的经济性是增长的重要原因。另外,扩大车用柴油机的生产及使用,是80年代柴油机发展的重要特点。据统计,车用柴油发动机约占柴油机生产量的三分之二。其中柴油机轿车也在积极发展,例如1986年西欧国家就出售了近200万辆柴油机轿车,比前一年增长17.8%。日本柴油机轿车也在稳步发展。据对资本主义国家柴油机生产情况统计,80年代前期的生产量见表1.3。

表1.3 资本主义国家柴油机产量(万台)

年 度	1980	1981	1982	1983	1984	1985
产 量	920	960	950	940	1070	1140

目前,世界柴油机产量达到1250万台,预测到1990年将达到1300万台,1995年将达到1400万台。

从1985年统计的数据看,国外柴油机年产量(台数)日本占居首位(日本内燃机的产量也居第一,约占世界总产量的24%),其次是德国、法国、美国、意大利、英国等。详见表1.4。若按功率计算,则美国年产量跃居首位(详见表1.5)。此外,中国和苏联的柴油机产量也排居前列。

国外内燃机主要制造企业约二百余家,其中大多数企业为综合性的垄断公司,兼营汽车、工程机械、农业机械、造船等等,专业性的从事内燃机生产的企业较少,如英国泼金斯公司、美国寇明斯公司、日本洋马柴油机公司、德国MWM公司。这些大型的内燃机生产

表1.4

世界部分国家柴油机产量(万台)

国 名	年 度				
	1982	1983	1984	1985	1986
日 本	228.77	239.56	260.09	289.71	
德 国	135.80	112.01	117.86	134.54	144.42
法 国	62.57	56.61	77.50	87.21	99.31
美 国	65.28	58.6	77.53	67.59	
意 大 利	52.58	57.22	57.53	59.26	58.95
英 国	48.92	42.68	52.50	57.39	58.16

表1.5

世界部分国家柴油机产量 (GW)

国 名	年 度				
	1982	1983	1984	1985	1986
美 国	163	151	210	184	
日 本	143			170	
德 国	110	91	96	109	117
法 国	50	45	62	70	79
英 国	35	31	38	41	42
意 大 利	26	29	29	30	30

注: 1GW=10⁹W=10⁶kW

企业,一般年产量超过10万台。国外主要柴油机生产厂家的年产量见表1.6。

表1.6

国外柴油机生产厂家年产量(万台)

国 别	厂 家	产量 (年度)	国 别	厂 家	产量 (年度)
日 本	洋 马	40 (1984)	德 国	奔 驰	43.6 (1982)
	五十铃	33.3 (1984)		大 众	54.3 (1981)
	久保田	33 (1984)		道依茨	25
	丰 田	35.8 (1984)	意 大 利	菲亚特	34.1 (1982)
	三菱重工	18.1 (1984)		伊凡柯	26 (1983)
	马自达	22.7 (1984)		隆巴迪尼	12.6 (1983)
	日产	19.3 (1984)	法 国	雷诺	15.7 (1982)
美 国	日 野	6.3 (1984)		别儒-雪铁龙	7.5
	通用汽车	35.2 (1982)	奥 地 利	施太尔	10
	寇明斯	13 (1987)		伏尔伏	7.3 (1982)
	万国	10.1 (1987)	苏 联	卡 马	15 (1982)
	约翰·迪尔	8.5 (1982)			
英 国	凯特匹勒	8.5 (1987)			
	泼金斯	42.7 (1981)			

内燃机的用途比较广泛,各国的情况不大一样。据80年代初期统计分析,其主要用途大致比例如下:汽油机用于交通运输73.5%,工业占4%,农业占21%,发电、建筑占1.5%。柴油机用于交通运输占52.3%,工业占9.1%,农业占29.1%,发电和建筑占9.5%。从西欧

地区柴油机用途分类来看，柴油机用于交通运输所占的比例更大，1986年占77%。

由于用途不同，所生产的内燃机单台功率范围也不一样。据1982年的统计资料，全世界生产的柴油机，功率小于50HP(约37kW)的占27%，功率大于500HP(约370kW)的占3%，功率大于50HP而小于500HP的占70%。在西欧情况有所不同，据1985年统计，功率小于37kW的只占13.9%，而大于220kW的占2.5%，在大于37kW和小于220kW之间的占83.6%。其中特别是37kW至74kW的占70%。对于日本来说，生产的小功率内燃机较多，据1985年统计，小于37kW的柴油机占35.5%，大于220kW的占1.5%，而介于两者之间的占63%。在美国，由于汽车制造业中广泛采用更大功率的柴油机，在车用柴油机中，功率小于148kW的占40%。非车用柴油机，功率小于37kW的占2.6%。而大于185kW的柴油机占25%。

虽然内燃机的需求量在不断发生变化，但总的趋势仍在继续增长。内燃机市场竞争也相当激烈。70年代末、80年代初期，内燃机输出量大的有美国、日本、德国和英国。到80年代中期，内燃机进出口贸易的情况发生较大的变化，特别是柴油机，美国的进口量超过出口量一倍多，而法国的出口量有所增长，日本出口量增长更快，详见表1.7。

在较发达的地区，国外内燃机企业一般生产规模较大，专业化、自动化程度也较高，因此，生产效益较好。特别是一部分有名的大型企业，按人均销售额计算，少则几万美元，多达几十万美元(详见表1.8)。

表1.7 各国柴油机进出口数量(万台)

国 名	年 度	出 口 量	进 口 量
美 国	1985	10.3	21.6
日 本	1985	20.2(工业用)	2 以上
联邦德国	1986	35	18
法 国	1986	37	14
意 大 利	1986	13.3	23
英 国	1986	39.9	7.1

表1.8 内燃机企业人均销售额(1983年)

国 名	企 业	职 工 数 (人)	销 售 额 (万美元/人)	主 要 产 品
日 本	丰 田	57800	34.15	汽车、内燃机
日 本	洋 马	5450	22.12	柴油机
日 本	本 田	46238	18.96	摩托车、汽油机
英 国	AE集团	16000	14.50	柴油机零部件
美 国	通 用	691000	10.79	汽车、内燃机
美 国	约翰·迪尔	48372	9.67	拖拉机、柴油机
美 国	寇 明 斯	22788	6.98	柴油机
德 国	大 众	231710	6.77	汽车、内燃机
法 国	雷 诺	210000	6.88	汽车、内燃机
意 大 利	菲 亚 特	243808	5.93	汽车、柴油机
奥 地 利	施 太 尔	15515	5.42	汽车、柴油机

我国内燃机行业在世界内燃机行业中，占有不可忽视的越来越重要的位置。通过近几十年的发展，已具备可观的规模。据统计，现有内燃机企业1071个，其中整机厂289个，零部件厂387个，附件厂395个。主要零件、附件生产企业的数量大致如表1.9所列。

我国内燃机行业，现有职工70多万人，固定资产原值110多亿元。年生产能力7450多万千瓦，1987年产量达6378万千瓦约320万台。基本上为国内使用，只有极少量出口，1986年内燃机出口量约35万千瓦。现有内燃机企业生产规模一般都很小，专业化、自动化程度低，

表1.9

主要内燃机零件、附件生产企业数(个)

产 品	企 业 数	产 品	企 业 数
气 门	43	轴 瓦	37
气 缸 套	44	三 滤	50
活 塞	46	油泵、油嘴	67
活 塞 环	32	机 油 泵	39
活 塞 销	33	冷却水泵	38
曲轴、连杆	57	散 热 器	33

生产效率较低,经济效益也差,人均年销售额一般为2万元/人·年左右。因此,与国外先进地区相比,在产品品种、质量、技术水平、生产效率等方面都有较大的差距,有待我们加倍努力。

1.1.2 内燃机产品发展概况

内燃机作为一种配套的产品,由于采用的燃料不同和使用的条件各异,因此,对内燃机产品的结构和要求也不尽相同。虽然内燃机经过一百多年的发展,技术已相当成熟,但由于配套要求越来越高,使用的环境条件越来越严,从而促进了内燃机产品的不断更新和发展。归纳起来,内燃机产品技术改进和技术发展主要包括以下几个方面:

① 改善输出性能——增加惯性,提高输出功率;扩大功率覆盖面,增加扭矩储备系数,提高配套使用性能;采用“可变技术”,保证在整个转速范围内有理想的动力输出。

② 提高适应性能——采用增压、中冷和提高转速,增加吸入空气量;改进燃烧室,采用陶瓷材料、电子控制喷射泵,提高燃烧效率;减轻运动部分零件重量,缩小活塞环尺寸,减小曲轴轴承直径及宽度,减少活塞环组个数,降低油封滑动阻力,采用多气缸等,以减少机械损耗。

③ 节约能源,降低油耗——广泛采用直喷燃烧室,采用废气涡轮增压,采用高压喷射系统,采用长行程,控制余隙容积,发展绝热技术等。

④ 增强可靠性和耐久性——特别是曲轴轴承、油封、活塞、甩油环、阀等采用新的优质材料和加工处理方法,提高耐磨性;燃烧室、火花塞采用陶瓷材料,采用冲击调节器,提高耐热性;加强零部件的机械性能试验和整机的使用试验并采取相应的措施。

⑤ 推行组装化和轻量化——缩小零件尺寸(如气缸、活塞高度,连杆长度,轴承直径、宽度);改用轻型材料,气缸盖铝合金化,壳、罩树脂化;减少零件的数量,形成独立部件,便于组装。

⑥ 适应环境要求——针对排气污染和噪声采取措施。其方法除采用高压喷射系统、可变涡流比系统以外,改进喷嘴、采用电子控制、EGK(废气再循环)率的最佳化等也是不可少的。为降低噪声,减少振动,需要加强刚性的最佳设计,减少运动件的质量,采用新的防振材料,改进消声器、燃烧室、喷射泵等等。

⑦ 扩大燃料的范围——研究和开发新的机型,可燃用劣质燃料、多种燃料和代用燃料,特别是开发具有充足资源的内燃机更有重要意义。

⑧ 采用电子控制装置——内燃机实现机电一体化正在逐步推进。特别是汽车用内燃机,用电子控制技术控制喷油量、喷油正时、电热塞电流、进气流量、转速、各部位压力、温度以及故障诊断等。

由于内燃机产品的配套要求和使用条件不同，各类产品的技术发展有其各自的特点，以下按用途分类进行简要介绍。

小型内燃机用途十分广泛，发展很快。汽油机和柴油机的发展情况不完全相同。小型通用柴油机的发展趋势大致是：为节约燃料，直喷燃烧室在小型高速柴油机中推广应用，取得节油15~20%的效果；10马力以上的小型机采用多缸的水、风冷得到迅速发展，而单缸机排量减小，并相应发展了微型喷油泵和低惯量喷油器；小型多缸机转速提高，有的达3000~3600转/分，水冷机与风冷机接近；小型汽油机、柴油机在结构、外形上尽量接近，便于组织共线生产和配套使用。

摩托车用小型汽油机在提高性能方面，主要是从提高转速和平均有效压力，减小机械摩擦损失方面着手，促进汽油机向多缸化、多气门化和水冷化发展。同时，降低噪声、控制排放污染、采用电子控制技术是内燃机共同开发的课题。

渔船用小型柴油机有中高速柴油机和低速柴油机。中高速渔船用发动机是在渔船功率限制的范围内求得高功率化，为增加船速而减轻重量。同时，通过降低燃油耗、使用低质油等进一步降低使用成本。此外，研制了V型传动系统及柴油机舷外机。低速柴油机采用将进气管、冷却水主管道、润滑油主管道等布置在机体内，竭力减少零件数量。为了维修方便，较多采用单个进排气门及设置阀盒。

拖拉机用的柴油机分大、中、小马力，要求有所不同。小马力基本上属上述所列的小型通用柴油机范围。大马力拖拉机用柴油机一般指功率100马力（约75 kW）以上，目前使用的机型基本上是60和70年代设计的，通过扩缸、增大行程及采用涡轮增压的方法提高功率。一般以直列六缸四冲程为主，多有两档缸径。独立四轮驱动较多采用V型八缸柴油机。寇明斯公司在四轮驱动拖拉机中采用“等功率”柴油机，在标定转速附近发出的功率近似等于常数，采用涡轮增压，燃油泵带有特殊校正器。中型一般指40~100马力，其柴油机常为四冲程、直列、非增压、直喷式燃烧室，大多数为水冷，多数为四缸、少数为三、六缸。气缸直径集中在80~110mm，转速一般为2200~2600r/min。

作为用量大而且广泛的汽车发动机仍在进一步向前发展，特别是日本、西欧和美国发展更加迅速。1988年维也纳第9届国际汽车发动机学术交流会突出反映了汽车发动机的技术动向，对于汽车发动机的动态工作特性、配气机构、传动机构损失、冷却、绝热、噪声、排气污染等不断进行改进。车用柴油机今后最重要的是环境问题，如何适应愈来愈高排放法规的要求及保持柴油机高的经济性和可靠性。如用大的喷油率来改善燃烧，采用排气颗粒捕集等后处理装置，陶瓷及工程塑料等新材料应用、继续开发应用回收能量、电子控制新技术等。车用汽油机，出现多气门化倾向，双顶置凸轮轴的发动机增长很快，有的采用陶瓷涡轮、空间点火系统(NDIS)、可变进气系统(NICS)、可变定时(NVC)等。为提高汽油机性能，在基础研究、材料开发等方面也有新的进展。

内燃机车用的柴油机有高速和中速的。从传统来看，高速柴油机由于其单位功率较高，常被用于轻型机车，或处于现有轴重和装载界限限制之内的装车功率很高的场合。但铁路工程师一直更喜欢载荷略低一些的中速柴油机，这种柴油机使用寿命长，适合铁路使用。目前典型的中速柴油机的转速为800~1000r/min，缸径250~300mm，单缸额定功率300kW左右。总的趋势是单缸功率不断增加，根据实际的应用场合，采取不同的措施提高功率，这在很大的程度上取决于排气系统和增压器技术的发展。在铁路上使用的柴油机，法国PA4系列认为是最好的机型之一，该机继采用直接喷射方式之后，又设计了可变容积的预燃室

(VG), 该燃烧室保持预燃室的低燃烧压力和低 NO_x 排放的优点, 其燃油消耗率接近于直接喷射式柴油机的水平。

欧洲新型和有重大改进的柴油机的单缸输出正处于阶跃变化中, 而北美的做法倾向于对经过考验的机型进行不断改进, 并注意其整体性, 通过减少辅助载荷提高燃油效率。GF公司和GM公司通过改进增压系统提高单缸功率输出和降低燃油消耗。

在80年代中, 低速柴油机获得了迅速发展。由于二冲程低速柴油机性能优异、可靠性好, 在船用原动机特别是大中型商船主机占主要地位。但是, 四冲程中速柴油机发挥了润滑上的优势以及排气温度较高、排气能量利用率高、能自由选择最佳转速等特点, 并采取大缸径少缸数的方法获得大功率, 用长行程改善燃机节省燃油, 且能适应低质燃油, 因而, 提高了四冲程柴油机的技术水平。日本四冲程柴油机产量较大, 缸径在300mm左右的柴油机广泛用作直接驱动和齿轮驱动的船用主机, 也广泛用作陆上和船舶发电。从瑞士苏尔寿公司的RTA二冲程柴油机的发展目标来看, 反映了这方面的发展趋势。总的来说, 要求进一步提高柴油机的可靠性和燃油的经济性。为了提高可靠性, 要求做到:

- ① 主要零部件(活塞、排气门)的大修间隔时间达到8000~12000h;
- ② 降低磨损率, 如气缸套和活塞环的磨损要求分别小于0.1mm/1000h、0.4mm/1000h;
- ③ 减少要求中间维护的喷油嘴及其他一些零部件的维护次数;
- ④ 开发可靠而有效的工况监控系统。

1.2 内燃机材料的应用与开发

从目前来说, 内燃机使用的材料, 金属仍然占据主导地位, 但也受到了有机高分子材料和无机非金属材料日益严重的挑战。自70年代以来, 金属材料为了保持其竞争地位, 正从以改变合金化设计、创造新牌号为主的发展方向转到以发展新工艺技术提高材料性能为主的方向上来。进入80年代后这种发展趋势更为明显, 其中有代表性的新工艺技术如快速凝固技术, 热等静压、热挤压和超塑性等温模锻工艺技术, 定向凝固技术, 双电极重熔和细晶铸造技术, 新型摩擦焊和液相扩散连接技术等。总的来说, 靠改变成分设计来提高材料性能的潜力已经不大, 在高温材料方面尤其如此, 陶瓷材料和复合材料的发展充分说明了这一特点。

高温结构陶瓷属无机非金属材料, 其主要优点是资源丰富、熔点高、比重小、热膨胀系数小、抗腐蚀与氧化、耐磨损等。其主要缺点是脆性和难加工。用陶瓷代替金属制造发动机被认为是世界发动机的革命。

1.2.1 内燃机材料的使用概况

内燃机上使用的材料种类很多, 而且不同型号、不同用途的内燃机使用的材料也不完全相同。这里, 只能就内燃机主要件常用的、量大的材料选用情况进行一些综合介绍。

内燃机的一些主要零件, 许多国家都规定了选用材料的技术标准, 明确了材料的主要化学性能和物理性能。部分零件的材料标准列于表1.10。虽然规定了产品零件对选用材料的基本要求, 但是, 根据产品的使用特性和用户的具体要求, 仍然可以选用性能较好的其它材料。

在各国标准中, 内燃机所选用的材料一般为常用材料。这些材料包括普通铸铁、合金铸

表 1.10

各国内燃机主要件选用材料一览表

序号	名 称	材 料	标 准	国 别(厂名)	备 注
1	气缸体	非合金片状石墨铸铁	TGL14400	民主德国	
		合金片状石墨铸铁	TQL14414	民主德国	
		CЧ20灰铸铁	ГОСТ 1412-79	苏 联	允许采用孕育铸铁、 高强度铸铁、合金铸铁
		CЧ26灰铸铁		苏联伏尔加汽车厂	
		HT200灰铸铁	GB5675-85	中 国	
2	气缸盖	CЧ20珠光体灰铸铁	ГОСТ 1412-79	苏 联	柴油机用
		HT20-40 灰铸铁或合金铸铁	GB976-67	中 国	柴油机用由NJ14-75 标准规定
		灰铸铁: HT200、HT250 合金灰铸铁 蠕墨铸铁 铸造铝合金: ZL104 ZL105 ZL106		中 国	汽车发动机用 按JB4239-86规定
3	曲 轴	SMCM ₆	JIS G4103	日 本	机车柴油机曲轴
		S40C	JIS G4051	日 本	
		50CrMo ₄		日 本	
		50CrV ₄		日 本	
		锻 钢			
		球墨铸铁	ГОСТ 3443-57	苏 联	柴油机、煤气机用
		合金钢: 45X, 38XC, 45XA, 38XC-III, 40XMΦA, 40XΦA, 40XH 45号碳素钢	ГОСТ 4543-71 ГОСТ 1050-74	苏 联	柴油机锻钢曲轴用 由ГОСТ 24377-80标准 规定
		合金钢: 45Mn2, 35CrMo, 40Cr 45号钢	GB3077-82 GB699-85	中 国	按JB4240-86 NJ24-86标准规定

序号	名 称	材 料	标 准	国 别 (厂名)	备 注
4	连 杆	45号碳素钢	ГОСТ 1050-74	苏 联	柴油机用
		40X合金钢	ГОСТ 4543-71		按ГОСТ 6417-79 标准规定
		40、50 (精选含碳量) 45Mn、40Cr、 35CrMo、42CrMo		中 国	用于汽车发动机 按JB3764-84
5	活 塞	45号钢	GB699-65	中 国	用于拖拉机、汽车、 工程机械等锻钢连杆 按NJ20-85规定
		45Cr、35CrMo	GB3077-82		
		铝合金铸件	JIS H5202 第5或第8种, 或 高硅铝合金	日 本	汽车发动机用, 按JIS D3104-1976 标准规定
		铝 合 金	ГОСТ 2685-75	苏 联	拖拉机及联合收割机 用的柴油机 按ГОСТ 654-81规定
		铸造铝硅合金		中 国	按GB1148-82规定
		一般采用灰铸 铁有的采用球墨铸 铁或 № 420 S45钢 材		英 国	直径 $\leq 200\text{mm}$ 的 整体环用, 按BS 5341/1 -1976
		一般用铸铁有的用铜		美 国	用于直径25~200mm 按SAE J1201-1978
6	活 塞 环	灰 铸 铁 (活塞环铸铁)		联邦德国	用于汽车, 按 DIN 24919/2-1974规定
		一般用未经调 质的灰铸铁 (活塞 环铸铁)		联邦德国	用于机械制造业, 按DIN 34109-1980规定
		有的用调质的 灰铸铁、球墨铸铁			
		非合金片状石墨铸铁	组织按 TGL 8109/02	民主德国	按TGL 8109/01-1979 规定
		一般用灰铸铁 有的用球墨铸铁、 团絮状石墨铸铁和 铜		日 本	用于直径为30~1000mm 按JIS B8032-1979
		合金灰铸铁, 高强度铸铁, 组合 油环用钢带		苏 联	拖拉机及联合收割 机柴油机用 按 ГОСТ 621-79规定