

■ 汽车制造与装配技术重点专业建设规划教材

发动机铸造工艺及 装备调试 >>>

FADONGJI ZHUZAO
GONGYI JI ZHUANGBEI TIAOSHI

刘云溥 董显明◎主编
黄先琪◎主审



西南交通大学出版社

文轨车书 交通天下

<http://www.xnjdcbs.com>

责任编辑 孟苏成

封面设计  H.C. CULTURE

发动机铸造工艺及

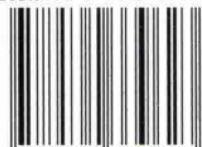


装备调试 I

FADONGJI ZHUZAO
GONGYI JI ZHUANGBEI TIAOSHI



ISBN 978-7-5643-3962-3



9 787564 339623 >

定价: 39.00元

汽车制造与装配技术重点专业建设规划教材

发动机铸造工艺及装备调试

主编 刘云溥 董显明

主审 黄先琪

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

发动机铸造工艺及装备调试 / 刘云溥, 董显明主编.

—成都: 西南交通大学出版社, 2015.6

汽车制造与装配技术重点专业建设规划教材

ISBN 978-7-5643-3962-3

I. ①发… II. ①刘… ②董… III. ①汽车-发动机
-铸造-高等教育-教材②汽车-发动机-调试方法
-高等教育-教材 IV. ①U464②U472.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 132110 号

汽车制造与装配技术重点专业建设规划教材

发动机铸造工艺及装备调试

主编 刘云溥 董显明

责任编辑	孟苏成
封面设计	墨创文化
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区交大路 146 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	成都中铁二局永经堂印务有限责任公司
成 品 尺 寸	185 mm × 260 mm
印 张	17.75
字 数	443 千
版 次	2015 年 6 月第 1 版
印 次	2015 年 6 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-3962-3
定 价	39.00 元

课件咨询电话: 028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

《发动机铸造工艺及装备调试》是汽车制造与装配技术重点专业建设规划教材之一，编写和设计面向高职，针对了职业院校该专业学生的普遍认知规律和铸造企业实际岗位作业标准。

教材编写立足于国内汽车发动机铸造工艺实际情况，以气缸体、气缸盖、气缸套、曲轴、凸轮轴、活塞、活塞环、进气歧管、排气歧管等为载体，结合典型发动机铸件对汽车发动机铸造工艺进行了介绍。内容包括：绪论、铸造工艺基础、铸件处理及质量控制、汽车发动机典型零件铸造工艺、汽车发动机铸造设备调试等。在介绍通用铸造工艺技术的同时也兼顾到发动机铸造的一些前沿知识，把汽车铸造企业的一些现场实例和经验灵活融入到教材之中。全书整体上以发动机铸造生产过程—基本原理—实际应用为主线，增强内容与职业岗位能力要求的相关性，按照相关职业资格的基本要求，注重突出职业技能和职业素养方面的知识点。各章设有学习目标和思考与练习题，引导学生有重点地对所学内容进行检查，以巩固和提高所学内容。

本书也可作为材料成型与控制技术、机械设计与制造、材料工程技术等专业教学使用，也可供从事铸造工艺管理的技术人员学习参考。

参加本教材编写工作的有：四川交通职业技术学院王健（第三章）、刘云溥（第四章），西南交通大学希望学院杨波（第二章），一汽铸造有限公司成都有色铸造分公司董显明、陈成志、王跃松、蹇超、周刚（第一章、第五章）。全书由刘云溥、董显明担任主编，四川交通职业技术学院黄先琪教授担任主审。

由于编写人员水平有限，教材涉及面较宽，内容难以覆盖各地的实际情况，书中疏忽之处在所难免，敬请读者给予批评指正，及时提出宝贵意见和建议，以便我们不断改进和提高，不胜感激。

编 者

2015年5月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 汽车铸造业现状	1
1.2 我国汽车铸造业面临的问题	3
1.3 汽车铸造技术发展趋势	4
思考与练习	9
第 2 章 铸造工艺基础	10
2.1 金属的铸造	11
2.2 铸造造型工艺	34
2.3 铸造工艺设计	54
2.4 铸造结构的工艺性	65
思考与练习	73
第 3 章 铸件处理及质量控制	76
3.1 铸件的清理	76
3.2 铸件后处理	82
3.3 铸造企业质量管理	88
思考与练习	114
第 4 章 汽车发动机典型零件铸造工艺	115
4.1 气缸体	116
4.2 气缸盖	135
4.3 曲轴及凸轮轴	147
4.4 气缸套	173
4.5 活 塞	177
4.6 活塞环	186
4.7 进气歧管	191
4.8 排气歧管	200
思考与练习	204
第 5 章 汽车发动机铸造设备调试	205
5.1 铝合金重力铸造装备调试	205

5.2 压力铸造装备调试..... 217

5.3 熔炼设备..... 228

5.4 铸造铝合金热处理设备..... 233

思考与练习..... 252

附件一 铸造标准..... 253

附件二 铸造工国家职业标准..... 268

参考文献..... 278

第1章 绪论

【知识目标】

1. 汽车发动机铸造业现状；
2. 我国汽车铸造业面临的问题；
3. 汽车铸造技术发展趋势。

【能力目标】

1. 能正确认识发动机铸造技术现状及发展趋势；
2. 加强对铸造业的了解，增强对专业的热爱，激发学习兴趣。

汽车铸件大部分是发动机上的基础零件和主要部件，如缸体、缸盖、活塞、活塞环、气缸套、曲轴、凸轮轴、进气歧管、排气歧管等均可采用铸造成型。发动机是汽车的核心装置，发动机的质量决定了整车的性能与品质。因此，发动机主要零件优良的铸造质量是发动机整性能的重要保障，发动机的铸造技术直接关系到汽车工业的发展。

1.1 汽车铸造业现状

据统计，2013年我国各类铸件总产量为4 450万t，较2012年增长4.7%，产值约5 500亿元。2001—2010年这10年，中国铸件产量年均增速11%。进入“十二五”，我国铸造行业增速显著放缓，2011年增长4.8%、2012年增长2.4%。从铸造材质结构变化情况看，2013年铝合金铸件、球墨铸铁件占比继续增加。其中，铝合金铸件产量占比11.7%（2012年为10.5%），球墨铸铁/灰铸铁占比1:1.77（2012年为1:1.84）。

2013年，汽车、农机等行业的快速发展带动了相关领域铸件需求量的增长。其中，乘用车产量增长高达16.5%，带动铝合金铸件需求高速增长。从各类行业铸件需求比例上看，汽车铸件超过1/4，达到26.5%，汽车产量及结构的变化对铸件总产量的影响非常大；铸管及管件占比达12.6%。

我国汽车产业近年来发展迅速，主要汽车企业2011年形成整车产能1 841万辆，相应发动机产能已达到1 671万台。随着社会经济快速发展和人民生活水平不断提高，我国汽车国产化进程不断加快，汽车消费需求旺盛，汽车保有量保持快速增长趋势。2014年国内汽车保有量将近1.4亿辆。2013年全国汽车保有量已达到1.37亿辆，从2003年的2 400万辆增长到1.37亿辆，近10年汽车年均增加1 100多万辆，是2003年汽车数量的5.7倍，占全部机动车比率达到54.9%，比10年前提高了29.9%。预计到2020年将达到2亿辆，考虑到汽车报废等因素，每年净增量将在2 000万辆左右。巨大的汽车市场保有量必将促进

汽车发动机铸造零部件市场的大发展。表 1-1 为 2007—2020 年国内汽车发动机缸体铸件生产及预测情况。

表 1-1 2007—2020 年国内汽车发动机缸体铸件生产量及预测

年份	汽车年产量/万辆	发动机年产量/万台	汽车保有量/万辆	发动机缸体铸件/万 t
2007	888	847	5 696	25.41
2009	1 379	1 315	7 619	39.45
2011	1 841	1 671	10 047	50.13
2015	2 500	2 300	15 000	69.00
2020	3 000 以上	2 800	20 000	84.00

国内汽车行业的快速发展，有力推动了作为核心支撑的铸造业发展。铸造毛坯企业是动力总成公司的核心资源，越来越受到高度重视——发动机铸造企业的建设风起云涌。例如，上汽集团参股（25% 股份）华东泰克西汽车铸造有限公司，年生产铸铁缸体 100 万件；参股（50% 股份）上海皮尔博格有色零部件有限公司，生产缸盖、进气歧管和转向器壳等铝合金铸件；参股上海圣德曼铸造有限公司，生产曲轴、凸轮轴、排气管等；参股上海镁镁合金压铸有限公司，生产仪表盘骨架、变速箱壳等镁合金压铸件。济南重汽集团动力有限公司对铸造中心投资 2 亿元，生产豪沃（HOWO）发动机缸体、缸盖和桥壳 10 万套，8 万 t 铸件，销售收入 10 亿元；收购的杭州发动机新公司在浙江萧山兴建，铸造厂投资 5.7 亿元，年生产能力 10 万套缸体、缸盖，7 万 t 铸件。潍柴铸造厂近期发展势头迅猛，用于发展的投资额度较大，投资额近 30 亿，产量预计 35 万 t 左右。广西玉柴股份有限公司投资建设铸造中心，投资 17 亿元，项目建成投产后生产黑色铸件 30 万 t，铝合金铸件 25 万台套。奇瑞汽车公司规划投资逾 20 亿人民币，启动铸锻公司建设项目，产品涵盖乘用车发动机缸体、下缸体、曲轴、排气管等典型铸件。北汽福田公司收购沈阳柴油机铸造厂以后，开始在承德规划建设新厂，设备投资 5 亿元，生产铸铁缸体毛坯。

国外大型汽车企业都拥有自己的汽车铸造厂。近年来，虽受原材料、环境保护和劳动力成本等因素的影响，国外大型汽车公司纷纷关闭在本土的铸造厂，寻求在发展中国家建铸造厂或加入全球化采购行列。但出于对市场竞争、产品开发和成本控制等考虑，大型汽车企业仍掌控一些有竞争优势的核心铸造资源。例如，丰田汽车发动机厂同步配套建设铸造车间，生产缸体、缸盖、曲轴等核心铸件；大众汽车集团保留了卡塞尔压铸厂（生产铝缸体和铝车门框架）和汉诺威铝铸造厂（生产铝缸盖和进气管）；通用汽车公司在美国的肯塔基州、密歇根州和俄亥俄州分别保留了生产铝合金缸体、缸盖的工厂；宝马汽车公司在德国的慕尼黑有铝铸造厂，生产铝缸盖和镁合金压铸缸体；福特汽车公司保留对尼马克（NEMAK）公司 20% 的股份（主要生产铝缸体、缸盖）。同时，由于资本追求规模效益，铸造业产品专业化分工越来越细化，一大批产品专业化、市场多元化的适应于市场竞争需求的专业化铸造企业快速发展壮大起来。例如，德国 EB 公司有 80 多年的历史，专门生产轻、轿车发动机的铸铁缸体，员工 1 500 人，年生产规模达到 500 万件，销售收入 3.3 亿欧元。客户分布：大众汽车（VW）占 18%，奥迪（AUDI）占 14%，美国通用（GM）

占 33%，克莱斯勒 (Chrysler) 占 11%，美国福特 (FORD) 占 22%。德国哈尔伯格 (Halberg) 铸造集团有 4 个铸造厂，年生产卡车缸体 20 万件、卡车缸盖 2 万件、轿车缸体 270 万件、曲轴 180 万件、制动钳体 2 600 万件、铝压铸件 5 000 t，总计 25 万 t 铸件，年销售收入 2.7 亿欧元，员工 2 150 人。客户分布：大众汽车 (VW) 占 40%，美国通用 (GM) 占 17%，美国福特 (FORD) 占 8%，宝马 (BMW) 占 4%。英国达卡斯 (Darcas) 曲轴公司，历史近百年，专业化生产曲轴铸件，年生产 200 万件曲轴，为各大汽车公司配套。墨西哥尼玛克 (NEMAK) 公司是阿尔法集团 (80% 股份) 和美国福特公司 (20% 股份) 的合资企业，是全球最大的生产铝缸体、缸盖的企业集团，分别在墨西哥、加拿大、捷克、德国和中国等许多国家设立工厂，年生产能力为 1 440 万件铝缸盖和 320 万件铝缸体，销售收入 12 亿美元，为北美、南美、欧洲和亚太地区的 8 个汽车公司、23 个发动机厂配套。这些专业化的铸造公司具有较强的产品开发能力，在铸件开发方面以联合开发方式为主，即整车企业提供产品功能、主要配合尺寸等约束条件，由铸造企业进行铸件的具体结构设计，铸件的知识产权由汽车企业和铸造企业共同享有。

1.2 我国汽车铸造业面临的问题

我国的汽车铸造业在经过“计划经济”转入“市场经济”的过程中，经历了起步、稳定、发展、成熟阶段，取得了令世人瞩目的成绩。但是，我们必须清醒地认识汽车铸造业自己的历史重任和与发达国家的现实差距，牢牢把握国内外铸造技术的发展趋势，适时适宜采用先进的铸造技术，实施铸造可持续发展战略。

我国铸造行业的技术水平比发达国家落后约 20 年，无法满足国民经济快速发展的需要。技术落后、设备陈旧、能耗和原材料消耗高、环境污染严重以及工人作业环境恶劣等问题，已经成为行业的共识。

铸造企业平均规模与经济规模和国外比有较大差距。我国的铸件产量虽然已经连续 5 年位居世界首位，有一批产量较高的大中型企业，但大多数铸造企业规模偏小。就整个铸造行业而言，其现状仍然是厂点散，从业人员多，效益低下，只相当于美、日、德、法、意等工业发达国家的 1/9 ~ 1/4。

铸造企业整体技术装备水平和国外比有较大差距。技术装备水平企业间差距较大。少数企业的个别生产车间的技术装备水平，已接近或达到国际先进水平，但是整体水平不高。据统计，我国已从国外进口自动造型线 210 多条，还有国产造型生产线 250 多条，这些生产线主要集中在汽车、内燃机件的大批量生产企业中。

我国铸造企业的研发与创新能力与国外比差距较大，从整体来看，铸件的技术含量和附加值较低。据统计，全球有 30 多项重大的铸造发明中没有一项是中国的。我国生产高技术含量、高附加值、具有自主知识产权、享有国际声誉的铸件产品寥寥无几，而每年都要花费一定费用进口工业生产中技术要求高的铸件产品。

我国铸造企业普遍存在劳动强度高、能耗高、资源消耗高、环境污染程度高的现象。铸造是一个劳动力密集的行业，国内一些企业在生产过程中，如熔化过程中加料、浇注过程中人工浇注、铸件落砂清理过程中的搬运等不采用设备，因而人工操作劳动强度很大。铸造是

耗能大户,铸件制造成本高的原因之一就是铸造的能耗过高。我国平均水平的能耗约是工业发达国家的2倍或更多一些。铸造行业也是环境污染大户,据测算每年的 SO_2 等废气排放约 165 m^3 ,粉尘90万t,废砂1800万~2250万t,废渣530万t。

铸造企业工程技术人员和技术工人严重断层,研发人员匮乏。由于铸造行业的环境差、劳动强度高、人员待遇低等原因,使得一些工程技术人员和技术工人流失。而在铸造生产线上工作的相关人员许多是没有经过系统培训的,满足不了现代化生产的要求。随着我国高校铸造专业减少,今后的铸造技术人才,特别是具有创新能力的高级技术人才的短缺状况将更加严重。

1.3 汽车铸造技术发展趋势

汽车技术正向轻量化、数值化、环保化方面发展。据有关资料报道,汽车自重每减少10%,油耗可减少5.5%,燃料经济性可提高3%~5%,同时降低排放10%左右。铸件轻量化主要有两个途径,一是采用铝、镁等非铁合金铸件。二是减小铸件壁厚、设计多零件组合铸件,生产薄壁高强度复合铸件,并减少加工余量,生产近终形铸件。

随着汽车技术的快速发展,为缩短铸件生产准备周期和降低新产品开发的风险,采用快速制模技术、计算机仿真模拟、三维建模、数控技术也是对铸造行业的重要要求。清洁生产、废物再生是发展趋势,降低能耗是持续发展的主题。我国汽车铸造业必须走高效、节能、节材、环保和绿色铸造之路,以利改善铸造行业员工的劳动环境。

铸造是最古老的金属成形方法之一,汽车零件中有15%~20%为采用不同铸造方法生产的铸件,这些铸件主要为动力系统关键部件和重要的结构部件。目前,欧美汽车工业发达国家的汽车铸件生产技术先进,产品质量好,生产效率高,环境污染小。铸造原辅材料已形成系列化和标准化,整个生产过程已经实现了机械化、自动化和智能化。这些国家普遍采用数字化技术提升铸造工艺设计水平,铸件废品率为2%~5%,并且已经建立跨国服务系统并实现网络技术支持。与之相比,我国的汽车铸件虽然产量较大,但大多数都是附加值和技术含量较低、结构相对简单的黑色铸件,与国外水平差距较大。

1. 汽车铸件的发展方向

1) 汽车铸件的集成化设计

随着汽车节能环保以及降低生产成本的要求不断增加,充分利用铸造成形的优势,将原有冲压、焊接、锻造和铸造成形的数个零件,通过合理的设计以及结构优化,实现集成零件的铸造成形,可以有效地降低零件的质量和减少不必要的加工工艺过程,从而实现零件的轻量化和高性能化。

汽车铸件集成化的发展趋势在有色合金铸件方面的发展更为明显。为了充分利用铸造工艺能够实现复杂结构铸件生产的特点,出现了集成设计的高压铸件,其尺寸显著大于目前生产的铸件,需要4000~5000t甚至更大吨位的压铸机进行生产。

2) 汽车铸件的轻量化

在保证汽车的强度和安全性能的前提下,尽可能地降低汽车的整备质量,实现轻量化,从而提高汽车的动力性,减少燃料消耗,降低排气污染。汽车整备质量每减少 100 kg,百公里油耗可降低 0.3 ~ 0.6 L,若汽车整车质量降低 10%,燃油效率可提高 6% ~ 8%。随着环保和节能的需要,汽车的轻量化已经成为世界汽车发展的潮流,汽车铸件的轻量化也成为汽车铸件的重要发展方向之一。

(1) 汽车铸件的轻量化设计。

出于铸件整体安全系数的需要,等厚度设计是汽车铸件的主要设计方法之一。然而等厚设计的主要弊端是无法充分发挥结构性能,并导致铸件质量的增加。采用 CAE 分析、拓扑优化等手段,对零部件进行优化设计,使零部件各个部位的应力值接近,即各个部位的壁厚不一致,受力小的部位减薄料厚,从而减轻零件的质量。考虑到铸造成形可以实现复杂结构铸件的成形,从而实现各种不规则的异型截面。设计时,采用 CAE 或拓扑优化等手段,对零部件进行应力分析。根据力的分布,确定零部件的形状和具体局部的材料厚度。通过对铸件加筋、挖孔和改变截面,可使零部件的质量大大降低。

(2) 轻合金汽车铸件。

使用铝镁等轻合金材料是目前各国汽车制造商的主要减重措施。铝的密度仅为钢的 1/3,且有优良的耐蚀性和延展性。镁的密度更小,只有铝的 2/3,在高压铸造条件下流动性优异。铝和镁的比强度(强度与质量之比)都相当高,对减轻自重,提高燃油效率有举足轻重的作用。美国汽车业近两年竞争力提高,与其大幅度采用铝镁结构铸件和集成铸件具有密切关系。

德国宝马公司推出的新 5 系列由于搭载了最新一代镁铝复合直列六缸发动机缸体,质量较上一代减少了 10 kg,大幅提高了性能与油耗经济性。但需要注意的是,由于铝镁等轻合金的原材料价格要远远高于钢铁材料,限制了其在汽车工业中更广泛的应用。但是尽管原材料价格较高,目前镁、铝铸件的单车用量却连年上升。这一方面是通过技术进步弥补了成本增加,另一方面则是市场竞争迫使汽车厂商降低利润而采用更多的轻合金。然而,要使轻合金用量得到大幅度提高,降低镁铝锭的采购价格,开发先进成形技术是关键之一。

(3) 汽车铸件材料的高性能化。

提高材料的性能,使得单位质量的零件能够承受更高的载荷,是有效降低铸件质量的方法之一。支架类结构铸件占汽车铸件相当大的比例,因而其铸件的开发也成为关注的重点之一。通过热处理等措施,使材料显微组织改变,从而提高零件的强度、刚度或韧性,可以有效地降低零件质量。等温淬火球墨铸铁,不仅强度比普通铸钢材料有所提高,而且密度比钢要低,其密度为 7.1 g/cm^3 ,而铸钢的密度为 7.8 g/cm^3 ,是近年来广泛推荐采用的材料。采用等温淬火球墨铸铁,在铸件尺寸相同的条件下,比铸钢件轻 10%。东风汽车公司在某型商用车上进行了采用等温淬火球墨铸铁替代铸钢件的轻量化验证工作,并针对等温淬火球墨铸铁件高强度的特点,对部分零件进行重新设计。采用等温淬火球墨铸铁材料替代后的轻量化效果,总质量减轻近 40%,效果显著。

一般来说,汽车铸件的材料替换往往伴随着零件的轻量化设计。在铝合金和镁合金铸件

方面也采用了高强、高韧的材料进行替代,在原有轻合金减重的基础上,应用高性能材料进行进一步减重。美国通用汽车公司采用高性能的 AE44 合金取代原有的铝合金,在铝合金减重的基础上进一步减重,效果显著。轻量化效果不仅仅是材料替代产生的,还包括轻量化设计的贡献。

3) 汽车铸件开发数字化

汽车铸件开发与数字技术的全面结合可以显著地提升铸造技术水平,缩短产品的设计和试制周期。目前,数字制造技术已经广泛应用于汽车铸件的开发。在铸件结构设计及铸造工艺设计阶段,Pro/E, CATIA 和 UG 等三维设计软件已经获得了广泛的应用,部分先进的铸造企业已经实现了无纸化设计。MAGMA, ProCAST 以及华铸 CAE 等软件已经被广泛用于汽车铸件凝固过程、显微组织、成分偏析和材质性能等方面的模拟,还可以对铸造过程中的速度场、浓度场、温度场、相场、应力场等方面进行模拟,能够确保在批量生产前使工艺方案得到优化。

为适应汽车铸件快速开发的需求,在 CAD/CAE 的设计与开发的基础上,RP(快速原型技术)已经被广泛用于汽车铸件的快速试制。在获得 CAD/CAE 原始数据后,采用逐层堆积的方法,通过黏结、熔结或烧结的方式获得铸件原型或形成铸件所需模具的原型。前者可用熔模铸造、石膏型铸造等方法试制铸件样件,后者可直接作为模具制造砂芯,通过组芯造型而浇注出铸件。此外,还可以用粉料激光烧结法(SLS),直接完成砂芯和砂型的制作,从而获得铸件试制所需要的砂型。对于结构相对简单的外模,还可以采用数控机床,用可加工塑料进行 CAM 加工,从而获得铸件试制所需的芯盒和模样,或是直接对砂块进行加工,直接获得外模的砂型。

总体上说,数字化技术已经贯穿铸件的设计、开发以及试制的各个环节,有效提高了铸件的开发速度和效率。目前主要存在的问题是设计、分析和快速制造等方面的数字化技术各自独立,当开发过程由一个阶段向另一个阶段转化时,还需要进行相当繁琐的数据转换工作。希望在将来能够针对铸件开发各个环节所应用的数字化技术开发出统一的数据接口平台,建立标准化的数据转换标准,实现不同软件之间数据的无缝转换,从而更进一步地提高铸件的开发速度。

2. 汽车铸造技术的发展方向

1) 薄壁复杂结构铸件的生产技术

随着汽车工业的发展和节能减排的需求,汽车零件日趋轻量化。通过薄壁化设计,实现轻量化是发动机缸体的重要发展方向。以一汽铸造有限公司为一汽大众公司生产铸铁缸体为例,早期生产的 06A 缸体壁厚(4.5 ± 1.5) mm, EA111 缸体壁厚(4 ± 1) mm,目前批量生产的 EA888Evo2 缸体壁厚(3.5 ± 0.8) mm,下一代 EA888Gen.3 缸体产品结构则更为复杂,其壁厚仅为(3 ± 0.5) mm,是目前最薄的灰口铸铁缸体。尽管批量生产中存在着断芯、漂芯以及壁厚尺寸波动较大的问题,但是通过控制砂芯和型砂的质量,采用目前广泛使用的水平卧浇工艺还是能够满足 EA888Evo2 缸体的生产要求,但无法满足 EA888Gen.3 缸体的生产要求,必须采用整体组芯立浇工艺。

图 1-1 所示为水平卧浇和组芯立浇示意图。针对缸体 3 mm 薄壁特点,组芯立浇工艺对

制芯和组芯都提出了苛刻的要求。制芯中心可实现制芯生产的高度智能化、自动化。从原砂、树脂的加入,混砂、制芯、修芯、组芯、涂料和烘干到造型以及组下芯全过程均可以实现高度自动化,使砂芯制芯质量、组芯质量即尺寸精度和涂料烘干质量等得到了稳定的保证,从而避免了因人为因素而造成的质量和尺寸风险,适应大批量气缸体制芯生产的需要。能够有效解决大批量生产时,废品率不稳定和居高不下的问题,同时由于砂芯尺寸精度的提高,也极大地降低了清理工作量和成本,并且完全能够有效保证 3 mm 壁厚尺寸要求。

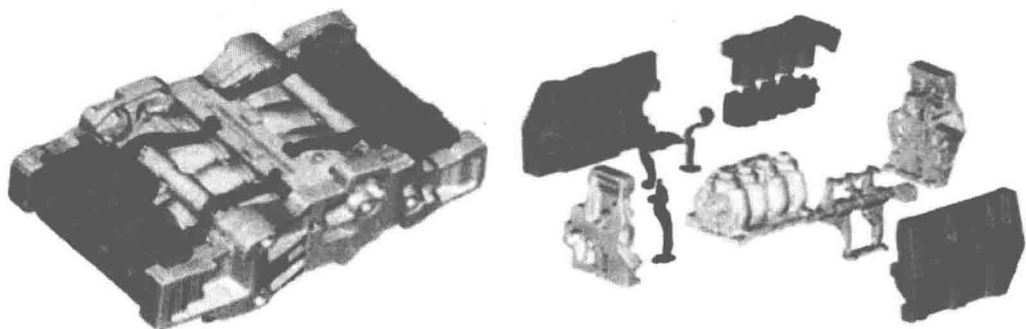


图 1-1 水平卧浇和组芯立浇示意图

2) 铝镁合金大型结构件的制造技术

随着节能、环保以及降低部件成本的要求不断提高,铝镁合金大型结构铸件的生产已经成为汽车铸件的发展趋势,其制造技术也成为目前的开发热点。目前,铝镁合金大型结构件的主要生产技术有高压铸造、挤压铸造和低压铸造。由于高压铸造生产效率高、产品质量好,高压铸造已经成为目前汽车铸件生产主要的生产工艺,其制造技术的开发主要集中在对高压铸造过程中容易卷气、铸件内部容易形成气孔、不能进行热处理等问题的改进。

德国富来公司开发了真空负压吸铸工艺,整个压铸过程都在高真空状态下(低于 30 mbar)进行。金属液通过真空状态下的模具、压室和吸管在无氧化情况下由吸管从熔炉中吸入,脱模剂的蒸汽也由真空系统排出。上述真空负压吸铸工艺的主要特点是:在开始定量浇注时,整个系统就处于高真空状态下;在定量浇注过程中,可有效地排出型腔和金属熔体中的气体;浇注过程中金属熔体无氧化;浇注过程中无热损失,可以采用更低的浇注温度进行浇注,并在实时监控下进行无扰动层流充填。上述工艺已经成功地应用于汽车结构铸件的批量生产,为高质量的轻合金铸件的应用提供了先进的成形方法与工艺。

瑞士的布勒公司开发了用于结构铸件生产的双回路真空系统,该生产技术称为结构件生产技术,如图 1-2 所示。采用结构件生产技术可以提高抽真空的速度,从而获得稳定的生产条件,显著提高压铸件的质量。双回路真空系统中的一个回路的抽气口设置在压室的上端,主要用于压室内的空气抽出。当压射冲头前行封住浇料口时启动,在冲头即将封住抽气口的瞬间关闭。另一个回路设置与传统的真空工艺相同,主要用于型腔内的空气抽出。目前,该技术已经成功地应用于乘用车的铝合金集成减振塔、车门内板和车身纵梁等部件的制造。

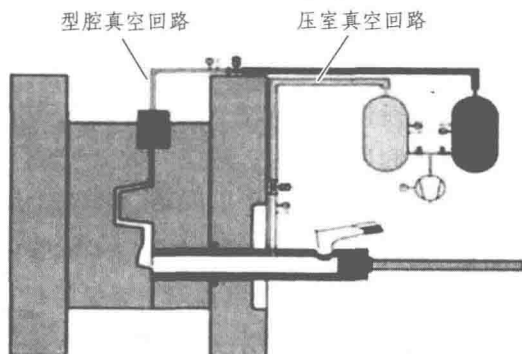


图 1-2 双回路真空系统示意图

3) 铸件精确铸造成形技术

通常所说的汽车铸件精确铸造成形主要是指消失模和熔模铸造技术。随着汽车铸件成形技术的发展，铸造精确成形是指一类铸造成形方法。通过这一类成形方法生产出的铸件无需经过切削或是少切削即可直接使用。随着对铸件尺寸精度要求的提高，铸造精确成形技术近年来得到了迅速发展，出现了精确砂型铸造、消失模铸造、可控压力铸造、压力铸造等一系列新的铸造成形方法。

Cosworth 铸造方法是由英国开发的一种采用铅砂砂芯组合并用电磁泵控制浇注的方法，已经成功用于铝合金缸体的批量生产，并已经出现了许多工艺变种，如采用低压浇注取代电磁泵浇注等工艺。采用该类铸造方法可以生产壁厚为 3.5 ~ 4.0 mm 的铝合金缸体，是目前精确砂型铸造的代表工艺。

消失模铸造工艺自 1965 年发明至今，主要生产的汽车铸件为缸体、缸盖、进排气管等产品，并形成了规模生产。我国自 20 世纪 90 年代引进消失模铸造技术，目前已粗具规模，并被国家重点推广而成为改造传统铸造业应用最为广泛的高新技术。目前，我国有水玻璃制壳、复合制壳和硅溶胶制壳 3 种熔模精密铸造工艺，其中用于汽车产品生产硅溶胶制壳工艺的铸件表面质量可以达到 $R_a 1.6 \mu\text{m}$ ，尺寸精度可达 CT4 级，最小壁厚可以做到 0.5 ~ 1.5 mm。东风汽车精密铸造有限公司采用硅溶胶+水玻璃复合型制壳工艺生产复杂结构集成铸件，显著降低了生产成本。熔模精密铸造技术成形工艺的发展趋势是铸件离最终产品的距离越来越近，产品的复杂程度和质量档次越来越高，CAD、CAM 和 CAE 的应用成为产品开发主要技术，专业化协作开始显现。

在高压铸造工艺基础上开发的真空铸造、充氧压铸、半固态金属流变或触变压铸等工艺方法，旨在消除铸件缺陷，提高内部质量，并扩大压铸件的应用范围。挤压铸造过程中，熔体在压力下充型和凝固，具有平稳、无金属飞溅、金属液氧化损失少、节能、操作安全和减少铸件孔洞类缺陷等优点，在铝合金副车架等高性能铝合金铸件的开发与应用方面获得了广泛的应用。

汽车产量的不断增长迫切要求铸造生产向高质量、优性能、近净形、多品种、低消耗、低成本的方向发展。由于一辆整车 15% ~ 20% 的零件是铸件，这就要求铸造行业要不断应用各种新技术、新材料来提升铸造整体水平。铸件精确铸造成形技术能够满足汽车铸件的上述要求，其应用也将涵盖汽车铸件的不同铸造生产过程。

为适应日益严格的环保法规的要求,汽车正在向轻量化方向发展。应用铝镁等有色金属铸件,开发大型复杂结构集成铸件以及广泛应用铸件精确成形技术是实现汽车铸件轻量化的主要途径。因而要求在广泛采用数字技术的基础上,通过高性能铸造材料、自动化设备的广泛应用等手段实现汽车铸件的研发与生产,满足现代汽车工业的需求。

思考与练习

1. 简述我国汽车铸造业发展现状。
2. 简述我国汽车铸造业面临的主要问题。
3. 何谓“绿色铸造”?
4. 铝气缸盖成形工艺主要有哪些?并举例说明。
5. 国内外铸铁熔炼技术的主要方式是什么?
6. 镁合金是汽车减轻质量的理想材料的说法正确吗?为什么?
7. 铸铁材料在发动机铸件上应用的优缺点是什么?
8. 现代汽车铸造中常并行采用的主要工艺有哪些?
9. 汽车铸件实现轻量化的主要途径有哪些?

第2章 铸造工艺基础

【知识目标】

1. 合金的铸造性能及常见的铸造合金材料铸造性能分析；
2. 砂型铸造造型、制芯开设浇、冒口系统和放置冷铁等工艺；
3. 金属型、压力、离心、实型、低压、挤压等特种铸造工艺及铸造方法的选择；
4. 铸造工艺、方法对铸件结构的要求；
5. 铸造工艺设计概念、设计依据、设计内容，砂型铸造工艺流程，铸造工艺图的绘制。

【能力目标】

1. 会按铸造工艺要求进行较复杂的造型与制芯操作；
2. 会进行各型、芯间的装配；
3. 会进行铸件的多箱造型操作；
4. 会进行机械化、自动化造型、制芯操作；
5. 能按控制文件调整装备工艺参数，保证造型、制芯质量；
6. 能根据较复杂铸件的材质、结构和技术要求，合理设计浇、冒口系统，放置冷铁。

将液态金属浇入与零件形状、尺寸相适应的铸型型腔中，待其冷却凝固，以获得毛坯或零件的工艺方法，通常称为金属液态成形或铸造。其区别于其他成形方法的基本特点是利用液态金属的流动性来成形。

铸造在机械制造业中占有重要的地位，它是制造毛坯、零件的重要方法之一。就质量而论，铸件在一般机械设备中占45%~90%，在金属切削机床中占70%~80%，在汽车及农业机械中占40%~70%。铸造之所以能获得如此广泛的应用，是因为它具有如下优点：

(1) 铸造最适合制造形状复杂，特别是具有复杂内腔的毛坯，如各种箱体、床身、机架、车轮、阀体、泵体、叶轮、气缸体、螺旋桨等。

(2) 铸造适应性广，既可用于单件、小批生产，也可用于成批、大量生产；小到重几克的钟表零件，大到重数百吨的重型机架，铸件的大小几乎不受限制；工业中常用的合金都可采用铸造来制造毛坯或零件。

(3) 铸造的成本低，所用原材料来源广泛，价格低廉，一般不需要昂贵的设备。

(4) 对于某些塑性很差的材料，如铸铁等，铸造是制造其零件或毛坯的唯一成形工艺。

但是，铸造的零件，其内部组织的均匀性、致密性一般较差。铸造过程比较复杂，一些工艺过程还难以控制，铸件容易出现缩孔、缩松、气孔、砂眼等铸造缺陷，产品质量不够稳定；由于铸件内部晶粒粗大，组织不均匀，且常伴有缺陷，其力学性能比同类材料的塑性成形件低。这些缺陷对铸件质量有着严重的影响。

随着科学技术的不断进步，铸造技术也获得了飞速发展。现代铸造技术是集计算机技