特别策划：CHINAPLAS 2019 特刊

在环保法规日益严苛和劳动力成本日益增长的背景下，汽车制造技术日新月异。汽车内饰零件也在悄悄地发生变化，更高品质、更低成本以及“轻量化”，已经是汽车零部件供应商迫在眉睫的课题。新材料、新工艺的应用在未来车型设计及生产中也将被越来越多使用。

策划人：王琰

工程塑料在发动机及其附件系统中轻量化的创新应用

□ 北京汽车研究总院新技术研究院 / 李文博
□ 华晨汽车工程研究院 / 李智、王磊、徐晶才、于波、李瑞生、韩峰
□ 北汽福田汽车股份有限公司工程研究总院 / 高嵩、宋建新、王国勇

工程塑料主要是指能够用作结构材料的热塑性塑料。工程塑料具有良好的综合性能，刚性大，蠕变小，力学强度高，耐热性好，电绝缘性好，能够在较苛刻的化学、物理环境中长期使用，可作为结构材料使用，是金属材料的理想替代材料。随着材料研究与制造技术的发展，高强度、低密度的塑料材料体系不断完善，其在汽车零部件中应用范围也日益扩大。本文就工程塑料在发动机及其附件系统的应用进行阐述。

发动机由两大机构、五大系统组成。两大机构包括曲柄连杆机构、配气机构；五大系统包括燃油供给系统、润滑系统、冷却系统、点火系统以及起动系统。

汽车设计中的发动机附件主要包含进气系统、排气系统、冷却系统、燃油供给系统。进气系统主要是设计空气滤清器及进气管路。排气系统主要是催化器、消声器的设计。其中进排气涉及到噪声分析，气流场分析、振动分析等仿真。冷却系统主要是散热器、溢水罐及风扇的设计。燃油系统主要是燃油箱、燃油泵、碳罐、电磁阀及燃油滤清器的设计。

应用简介

工程塑料在发动机及其附件系统中的主要应用（见图1和表1），按照

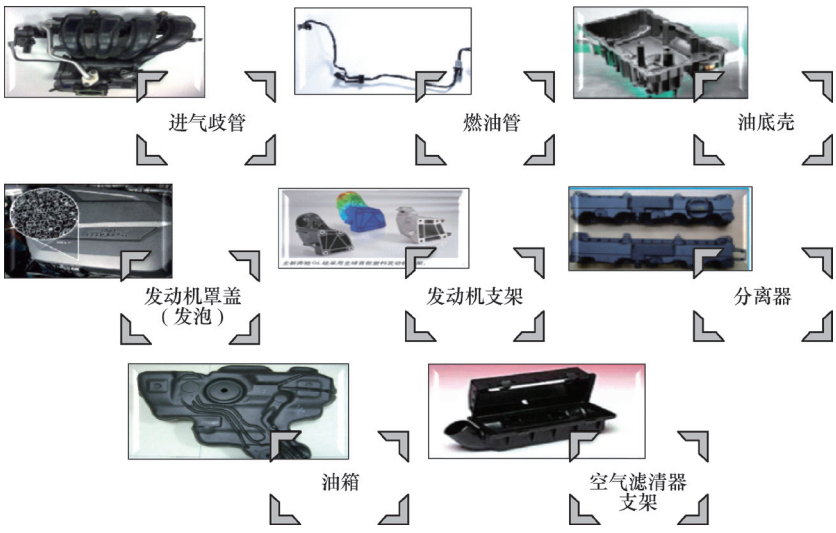


图1　工程塑料在发动机及其附件系统中的主要应用

表1 工程塑料在发动机及其附件系统中的主要应用

系统	零部件	塑料材质
发动机本体	缸体上盖罩	PA（聚氨酯，尼龙）66+（GF+无机矿物粉）、PA66+GF（玻纤）、PA6+GF、SMC（片状模塑料）/BMC（团状模塑料）
	固定支架	PA66+GF
进气系统	进气管（导管）	TPO（聚烯烃类热塑性弹性体）、PP（聚丙烯）+GF、PA6+GF
	空滤器壳	PP+GF、PA6+GF
	缓冲罐	PA66+GF、PA6+GF
	进气歧管	PA66+GF、PA6+GF
	节流阀体	PA66+GF
冷却系统	散热器水室	PA66+GF、PA66/612+GF
	散热器支架	SMC、PA66+GF
	水泵出水管	PA66+GF、芳香族PA+GF
	耐热螺栓衬垫（罩盖）	芳香族PA+GF、PPS+GF
	冷却风扇	PP+GF、PA6+GF、 PA66+GF
	风扇护罩	PP+GH、PA6+GF、 PA66+GF
油路阀门系统	油底壳	PA6+GF、尼龙钢板
	滤油器座	PP+GF
	加油口盖、油面尺	PA66、PBT（聚对苯二甲酸丁二醇酯）+GF、PET（聚对苯二甲酸乙二醇酯）+GF
	同步皮带轮罩	PA66+GF、PA6+GF、PP+GF
	张紧轮	PA66+GF
	链导槽	PA66+GF
	凸轮链轮	PF（苯酚-甲醛树脂）+GF
发动机装饰罩盖	装饰罩盖	PA6+（GF+无机矿物粉）、PA66+无机矿物粉、PA6+无机矿物粉、PA66+（GF+无机矿物粉）
电气系统	点火线圈	PBT+GF
	分电器盖	PPS（聚苯硫醚）+GF、PBT+GF
	蓄电池盖	PP+GF
	自控器盒	PPS+GF、PBT+GF
燃油供给系统	燃油输出管	PA66+GF
	燃油喷射管	PA66+GF
	燃油过滤器盒	PA66+GF
	燃油管	PA11、PA12、氟树脂/PA(内层+粘合层+外层)
	燃油罐	PA66

其包含各系统及机构具有以下应用。

发动机进气歧管

1.发动机进气歧管介绍

进气歧管是发动机进气系统中最重要的部件之一，决定着发动机的进气效率和各缸进气的均匀性，进而进一步影响发动机的动力性、经济性和排放特性。

塑料进气歧管，如图2所示，具有质量轻、成本低和设计自由度高等优点，质量在2～3kg左右， 采用注塑工艺成型，是发动机零件中应用聚酰胺类材料最多的零件，相比传统的铝合金材料，质量可减轻40%～60%，且内腔表面光滑，流动阻力小，有助于提高发动机性能，并在提高燃烧效率、降低油耗及减振降噪方面有一定作用。同时可以进行集成化的设计，将各类阀体（如可变进气道的长短切换阀门、真空阀门等）以及各类支架进行一体化的设计， 可以减少零件的数量，有利于提高主机厂的装配效率。塑料进气歧管在发动机上的应用比例逐步提高，目前已占据市场的主导地位，是汽车在发动机部分最有效和最普遍的轻量化产品。

（常用材料有PA6+GF30，使用PP+SGF35替代PA6+GF30，可以减重13%）

图2　塑料进气歧管

集成模块化的进气歧管将是未来的发展趋势，由常用型进气歧管向系统性（预装其他不同零部件的进气歧管）再向集成模块化进气歧管发展，如图3所示。

（a）常用型进气歧管　（b）空滤、进气歧管集成一体　（c）空滤、进气歧管集成一体、系统连接管、冷却系

图3　集成模块化的进气歧管

2.材料要求

发动机及周边零部件长时间处于发热、振动工作以及经常接触油渍等化学溶剂环境中，因此对材料的机械性能、耐腐蚀以及耐温性能要求较高。

进气歧管是发动机系统“以塑代钢”的典型部件，其对材料的关键技术要求如下：

（1）耐高温。塑料进气歧管与发动机缸盖直接连接，发动机缸盖温度可达130～150℃，要求塑料进气歧管材料能承受180℃的高温。

（2）高强度。塑料歧管安装在发动机上，要承受汽车发动机振动负荷、节气门和传感器惯性力负荷、进气压力脉动负荷等，因此要求所使用的塑料具有很高的强度。

（3）尺寸稳定性。进气歧管与发动机的连接尺寸公差要求很严格。

（4）化学稳定性。塑料进气歧管在工作时直接接触汽油和防冻冷却液，因此对材料化学稳定性要求很高。

（5）热老化稳定性。汽车发动机处于很苛刻的环境温度下工作，工作温度在-30～130℃往复变化，塑料材质必须能保证长期可靠性。

3.创新应用

尼龙材料具有较好的综合性能，经过玻纤增强改性后，其强度、制品精度、尺寸稳定性等指标得到很大的提高，是汽车发动机及周边部件中用量最大的工程塑料，目前国外的汽油机基本已全部采用塑料进气歧管。

与金属材料相比，塑料进气歧管具有以下五个优点：

（1）质量轻。玻纤增强尼龙材料密度约为1.3～1.5g/cm^3，在强度、刚度相近的条件下，塑料进气歧管比金属件可减轻30%～40%。

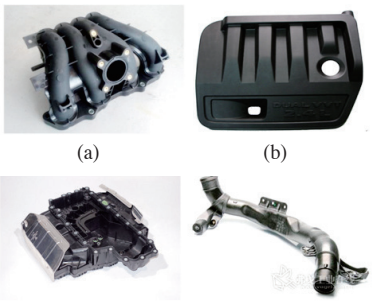
（2）性能提高。塑料进气歧管表面精度优于金属产品，对提高进气充量很有帮助，而且塑料导热性低于金属，使气体受热膨胀率较低，不仅改善了热启动性，还提高了发动机的效率和转矩。

（3）成本降低。尼龙材料成本与铝合金材料相近，但其采用注塑成型、振动摩擦焊接工艺，成型工艺简单，生产效率高，合格率也相对较高。而且其制造模具成本及能耗相对较低，因此其产品成本相对较低，与金属制件相比一般可降低20%以上。

（4）设计自由度大。尼龙材料的成型加工性良好，使得部件壁厚变化、局部加强筋设计、倒扣结构、多重法兰、与其他部件集成为一体化的可能性大大增强，从而减少部件数量，进一步降低整体成本。

（5）强减震、降噪能力。塑料阻尼性能优于金属材料，因此使用塑料进气歧管有利于降低发动机工作整体噪音。

除进气歧管（见图4a）以外，发动机及周边部件中现已成功使用尼龙材料生产的还有发动机气门罩盖（见图4b）、进气歧管、油底壳（见图4c）、进气道（见图4d）、空滤器盖、齿轮室盖、导风罩、进气管护板、风扇叶片、风扇导风圈、加热器盖板、水箱部件、出水口外壳、水泵涡轮及发动机隔音板等。



(a) (b) (c) (d)

图 4

4.塑料进气歧管在柴油机上的应用简述

欧洲、日本和美国塑料进气歧管占进气歧管的市场份额超过50%以上，由于技术封锁，国内对柴油机塑料进气歧管的设计研究几乎是空白。我国柴油机几乎全都使用金属材料进气歧管，如铝制进气歧管和铸铁进气歧管。而塑料进气歧管相比于金属进气歧管，质量轻，动力经济性好，成本低，因此柴油机塑料进气歧管设计研究具有十分重要的意义。

罗孚公司与巴斯夫、宝马公司等联合开发的2L-4缸涡轮柴油发动机进气歧管由尼龙66制造。这种塑料进气歧管及组件采用注射成型工艺和振动焊接制造，该管较铝制进气歧管轻30%。

塑料进气歧管（见图5）的常用制造技术有熔芯法、粘接剂粘合技术，摩擦振动焊接技术，目前后者是制造的主流方向。

图5 塑料进气歧管

发动机舱盖

发动机舱盖的轻量化主要以PA66+(GF+无机矿物粉)、PA66+GF、PA6+GF、SMC/BMC为主，为了减重幅度的提升还有采用PA+GF发泡的工艺，如图6所示。发动机罩盖已实现批量工业化生产。

发动机罩盖的特点：制品壁厚薄、重量轻，表面光洁度高流动性好，注塑压力低，废品率低，集成度高、减少部件数量。

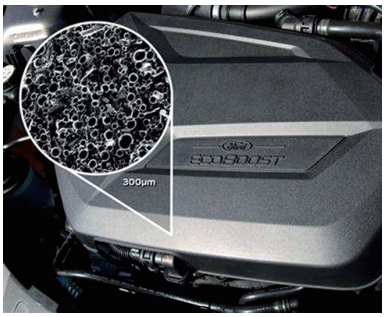


图6 采用发泡工艺成型的发动机罩盖

发动机油底壳

发动机油底壳位于发动机的下部，可拆装，并将曲轴箱密封作为储油槽的外壳。油底壳是曲轴箱的下半部，又称为下曲轴箱。传统油底壳多由薄钢板冲压而成，内部装有稳油挡板，以避免发动机抖动时造成的油面震荡激溅，有利于润滑油杂质的沉淀，侧面装有油尺，用来检查油量。冲压成形的钢制油底壳和压铸成型的铝合金油底壳两种。其中冲压油底壳成本低、重量轻，生产效率比较高，但只适合结构简单的产品，同时NVH（噪声、振动与声振粗糙度）也比较差。压铸油底壳目前主要采用铝合金压铸方式，质量轻，刚度高，适合结构比较复杂的产品。另外成品通过加

工方式实现，目前广泛的应用在发动机行业中。

在零部件重量方面，与铝合金压铸油底壳相比，塑料油底壳的重量会减轻30%～60%。在生产成本方面，塑料油底壳（见图7）不仅可以减少模具制造的费用，而且也省略了铝合金油底壳压铸后的机械加工工序，仅塑料模具一项可以节约的费用就相当可观。塑料模具的使用寿命是铝合金模具使用寿命的10倍，其生产成本比铝合金油底壳低10%～40%。

由于尼龙具有较好的综合性能，并具有品种多，耐化学腐蚀和易回收利用等特性替代钢板制成油底壳可以减轻质量，增加制品精度，提升尺寸稳定性等特点。

如图8所示的全塑发动机油底壳，质量只有900g，能够取代质量为2.2kg的铝合金压铸油底壳。

在模块化设计方面，塑料油底壳还可以集成收集器、机油滤清器座及机油挡板等，进一步减少了空间占用、生产制造费用和装配费用。另外塑料油底壳抗噪声方面，明显优于冲压和压铸油底壳。

图7　雷诺/沃尔沃重型发动机SMC油底壳

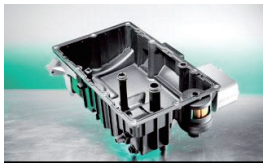


图8　全塑发动机油底壳

发动机支架

发动机支架在车辆中扮演着重要角色，它作为发动机与车辆的连接元件，能够防止发动机的振动传导至车辆其他部位，此外还起到抑制发动机噪声的作用。最重要的一点，它保证发动机运行时位置稳定，尤其在颠簸路况。

发动机支架需要在承受永久荷载，即发动机的重量的同时完全吸收发动机的扭距震动。在此之前，发动机支架只能采用铝合金制造。目前的发动机支架轻量化方案是使用轻质金属铝合金来制造，在欧洲索尔维开发出可以部分替代铝合金的材料制造轻质发动机支架（见图9）。

图9　部分替代铝合金的轻质发动机支架

随着技术的发展，戴姆勒公司的全新 GL 级SUV将为六缸柴油发动机配备全球首款塑料发动机支架，如图10所示。该塑料支架采用了专为高机械负荷优化的巴斯夫高强度特种聚酰胺材料Ultramid A3WG10 CR， 由德国Joma-Polytec公司负责注塑模具的设计和支架的生产。

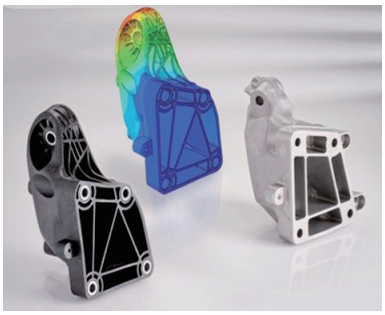


图10　全塑的发动机支架

全塑发动机支架的特点：

（1）相对于铝合金支架，聚酰胺材料具有良好的声学特点是其主要优势之一。得益于塑料特有的阻尼性能，塑料发动机支架可使发动机声音更加平稳。

（2）塑料的另外一个优点在于其传热能力远低于铝合金。因此，塑料发动机支架可在发动机的高温环境下为天然橡胶悬置提供更好的保护，延长其使用寿命。

（3）在CO_2排放方面，塑料支架的重量与铝合金相比减轻了 30%以上，有助于降低排放。

（4）视发动机舱的安装条件而定，塑料发动机支架还必须承受较高的弯曲力矩。支架主要用于与底座一起支撑发动机，塑料支架集成度高，设计自由度好。

（5）与之前的铝合金支架相比，塑料支架的声学性质和隔热性能更出色，质量更轻，承载力却同样出色。

水泵

水泵是发动机里一个重要的装置，其主要由水泵壳体、连接盘或皮带轮、水泵轴及轴承或轴连轴承、水泵叶轮和水封装置等零件构成。水泵叶轮一般是用金属铸铁或铸铝材料制成。而使用PPS来替代，不仅满足高强度、耐高温等特性，还能降低成本及重量。 它是含硫芳香族聚合物，是一种综合性能优异的热塑性特种工程塑料，其突出的特点是耐高温，耐腐蚀和优越的机械性能。金属叶轮存在很多缺点，所以现阶段越来越多的汽车水泵厂家都用开始研发采购塑料叶轮组成水泵。

塑料叶轮有以下优点（见图11）。

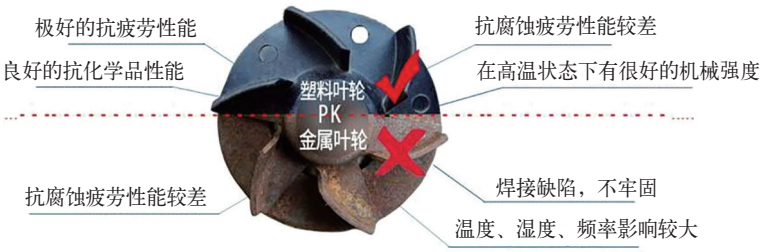


图11　塑料水泵叶轮

（1）性能稳定。叶轮流道的几何形状和尺寸对泵的性能影响最大，塑料叶轮的流道形状有保障，尺寸精度高，因此性能稳定。

（2）流道光洁度高，水力损失小。减少水力损失。特别是低比转速泵，叶轮流道狭长，降低粗糙度对提高泵效率有显著地效果。

（3）平衡性好，运行稳定；质量轻，便于装配和维护等。

（4）大批量生产成本低。采用一次成型工艺，节省了加工等费用。此外，塑料叶轮还有耐腐蚀，对水质污染小等优点。

油箱

油箱由箱体和油箱盖组成，用以储存油料，起着散热、分离油液中的气泡、沉淀杂质等作用。油箱通常是密闭的，这样可防止汽油因激荡而溅出及油箱内汽油蒸气的逸出。箱体一般是铁质或铝制的，用工程塑料(LDPE低密度聚乙烯)来代替，不仅能大幅降低油箱重量，还具有防腐能力强、造型随意、长寿命、安全性高和成本低等特点，如图12所示。比如福田汽车奥铃全系采用塑料油箱，单台降重2.5kg。

（a）铝合金材料　　（b）塑料材料

图12　塑料油箱

空气滤清器

空滤器一般由进气导流管、空滤器盖、空滤器外壳和滤芯等组成。目前空滤器外壳材料主要是铁质，通过对空滤器外壳功性能的研究，在保证空滤器外壳功能正常的条件下，比如福田中重型载货汽车改用塑料空滤器外壳（见图13），单件质量由22kg降至16kg。

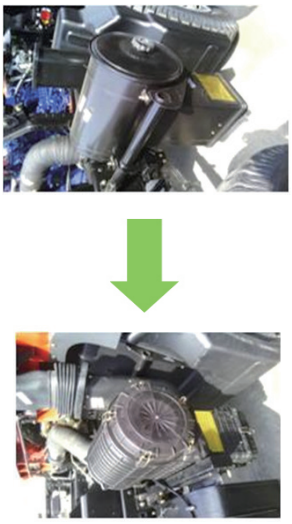
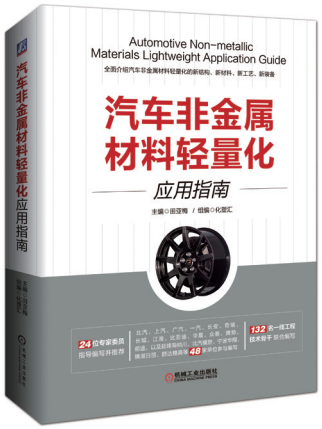


图13　塑料空滤器外壳

AUTO1950

本书节选自图书《汽车非金属材料轻量化应用指南》（田亚梅 主编；化塑汇组编.）——北京：机械工业出版社，2019.1



图书详情及购买链接请扫描二维码