中小型乘用车发动机灰铸铁汽缸体（汽缸盖）

常见铸造缺陷与对策浅析

气　孔

气孔通常是汽缸体铸件最常见的缺陷，往往占铸件废品的首位。如何防止气孔，是铸造工作者一个永久的课题。

汽缸体的气孔多见于上型面的水套区域对应的外表面（含缸盖面周边），例如出气针底部（这时冒起的气针较短）或凸起的筋条部，以及缸筒加工后的内表面。严重时由于型芯的发气量大而又未能充分排气，使上型面产生呛火现象，导致大面积孔洞与无规律的砂眼。

气　　孔

（侵入性气孔）

- 产生原因

- 型腔排气不充分
- 浇注温度较低。
- 浇注速度太慢；，铁水充型不平稳，有气体卷入。
- 型砂水份偏高；型砂内灰份含量高，型砂透气性差。
- 孕育剂未经干燥且粒度不当；铁液未充分除渣，浇注时未挡渣，由此引起渣气孔。
- 浇注时未及时引火。

气　　孔

（侵入性气孔）

- 对于干式气缸套结构的发动机，水套泥芯工艺不当（如未设置排气系统或排气系统不完善；或因密封不严，使浇注时铁水钻入排气通道而堵死排气道；泥芯砂粒偏细，透气不良；上涂后未充分干燥；泥芯砂与涂料发气量太大，或发气速度不当；涂料的屏蔽性差……）。经验证明，干式缸套的缸体的气孔缺陷，很大程度上与水套工艺因素相关连。

气　　孔

（侵入性气孔）

对　策

- 模型上较高部位设置数量足够、截面恰当的出气针或排气片；而芯头部位设置排气空腔。上述排气系统均应将气体引至型外。通常排气截面应为内浇道总截面积1.5~1.8倍左右。
- 浇注系统按半开放半封闭原则设置为宜，且须具有一定的拦渣功能，这样铁液充型时比较平稳，不会冲击铸型或产生飞溅或卷入气体。而浇注系统的截面大小以8~10kg/s的浇注速度来计算较为适宜。

气　　孔

（侵入性气孔）

- 铁液的熔炼温度应不低于1500℃，而手工浇注时末箱的浇注温度应控制在1400℃左右（视铸件大小与壁厚可适当调整）。最好能采用自动浇注，浇注温度误差应在20℃以内。
- 一个好的适于高压造型的砂处理系统，型砂水分应控制在2.8~3.2%，其时的紧实率应在36~42%之间，而温压强度应达180~220KPa（均指在造型机处取样检测）。为达这些指标，需监控型砂的灰份，辅助材料的添加量，合适的原砂粒度、循环砂的温度及混砂效率。
- 注意做好铁液去渣，浇注时挡渣引火以及孕育剂的干燥等工作。

气　　孔

（侵入性气孔）

- 对于干式汽缸套结构的发动机缸体，至关重要的是要有非常完善到位的水套泥芯工艺：
  - 水套泥芯用砂的平均细度较之其他泥芯要粗一些，以求有良好的透气性。
  - 设置充分的互相连通的排气孔网并使之能排出型外，这些孔网尽可能在制芯时生成，亦可在成型后钻加工形成。对于前者要定期监控检查孔网是否畅通（当心部芯砂固化不良时易将孔网堵塞）。
  - 对泥芯砂性能要综合考虑，不能片面追求强度。当强度太高时，势必要增大树脂用量，从而使芯砂发气量太高；而当水套芯的结构比较复杂纤薄砂厚不均匀，且又能开出排气孔网时，就要求砂芯有较高的强度，即使发气量大些也无妨。
  - 当水套芯有排气孔网时，涂料要有较好的屏蔽性；当水套芯截面不便设置排气孔网时，涂料要有较好的透气性，这时砂的粒度也应更粗些。

气　　孔

（侵入性气孔）

- 对于干式汽缸套结构的发动机缸体，至关重要的是要有非常完善到位的水套坭芯工艺:(续)
  - 当水套芯布有排气孔网，且使用屏蔽性涂料时，在浸涂时要防止涂料液进入排气孔网，更要注意封火措施（可使用封火垫片材料），以免浇注时铁水进入排气孔网，把排气道堵死;
  - 涂料的发气量要低，且施涂后一定要充分干燥。
- 一个成熟的水套芯工艺，可以将缸筒加工后内表面的气孔废品率控制在3‰，甚至更低。
- 与缸体水套芯相类似，对缸体的油道芯、挺杆腔坭芯以及缸盖的水套芯，其工艺方法、工艺措施也可仿照缸体水套芯的工艺思路来考虑。

砂　眼

砂眼也是汽缸体（汽缸盖）铸件的常见缺陷，多见于铸件的上型面，也有在缸筒内表面经加工后暴露出来的。

砂　眼

- 原　因
  - 浇注系统设计不合理。
  - 型砂系统管理不善，型砂性能欠佳。
  - 型腔不洁净。
  - 泥芯表面状况不良或是施涂与干燥不当。

砂　眼

对　策

就浇注系统设置方面来说，为避免或减少砂眼缺陷，应注意以下事项：

- 要有合理的浇注速度。截面太小，则浇注速度太慢，铁液上升速度太慢，上型受铁液高温烘烤时间长，容易使型砂爆裂，严重时会成片状脱落。浇注系统的比例，应使铁水能平稳注入，不得形成紊流或喷射。
- 尽量使铁液流经的整个通道在泥芯内生成，通常泥芯砂（热法覆膜砂或冷芯砂）较之外模粘土砂更耐高温铁液冲刷。而直浇道难以避免设置在外模的粘土砂砂型中通过，这时可在直浇口与横浇口搭接处设置过滤器（最好是泡沫陶瓷质），可以将铁液在直浇道内可能冲刷下来的散砂和铁液夹渣加以过滤，从而可减少砂眼和渣眼。

砂　眼

- 浇道是变截面的，因此变截面处应尽可能圆滑光洁，避免形成易被铁液冲垮的尖角砂。
- 浇道的截面比例宜采用半封闭半开放型式，以降低铁液进入型腔时的流速与冲击，而内浇道位置应尽可能避免直接冲击型壁和型芯，且呈扩张形为好。

为防止铸件的砂眼缺陷，型砂方面的主要措施是：

- 是控制型砂中的微粉含量。型砂在反复使用中，微粉含量会越来越高，这会降低型砂的湿压强度，水分及紧实率则会提高，使型砂发脆。
- 浇注时坭芯溃散后混入旧砂，未燃尽的残留树脂膜，会使型砂的韧性更差，产生砂眼的可能性也增大。为此需要改善型砂的表面稳定性，降低脆性、提高韧性，方法是在型砂中添加适当的α—淀粉，也有的改用FS粉，均可取得良好的效果，也可以在型腔表面施表面安定剂（喷洒）

砂　眼

- 在造型、翻箱，特别是下芯、合箱等各环节容易将砂粒掉入型腔，而又未能清理干净，极易造成铸件砂眼缺陷。为此，一是要选取恰当的芯头间隙和斜度并保证下芯和合箱的工装精度，以免碰坏砂型或损坏型芯而将砂粒散落在型腔内；二是合箱前清理干净型内可能掉入的砂粒（抽吸法好于吹出法）。
- 不能忽视的是，泥芯的飞边毛刺要清理干净，上涂烘干后待用的泥芯表面的砂粒灰尘也要吹净，否则容易被铁水冲刷并富集在铸件某处形成砂眼。同时，需要强调的是，泥芯上涂不能太厚，尤其是当工艺要求个别泥芯的个别部位或全部两次浸渗涂料时，涂料不能太厚，且须等第一次上涂干燥到一定程度后才能上涂第二层，否则浇注时过厚的涂料会爆裂而形成夹砂（渣）。

脉纹（飞翅）

通常在铸件的内表面或热节部位，如缸体缸盖的水套腔内，或是进排气道内，由于浇注时高温铁液的作用，使泥芯硅砂发生相变膨胀引起砂芯表面产生裂缝，液体金属渗入其中，从而导致铸件形成飞翅状凸起的缺陷，即“脉纹”。脉纹一旦出现，难以清理。当水套腔内有脉纹时，轻者会影响内腔的清洁度，重者会影响冷却水的流量，从而降低对发动机的冷却效果，甚至会引起“烧缸”、“拉缸”严重后果；当气道内出现脉纹时，会影响气道涡流特性，最终影响发动机的整机工作性能。

脉纹（飞翅）

- 原　因

- 产生脉搏纹的根本原因是高温铁水作用于砂芯引起硅砂的膨胀裂纹。
- 砂芯材料不具备低膨胀的性能，或者其自身不能吸收这种受热产生的膨胀。
- 砂芯的韧性或高温强度不足以克服膨胀应力导致产生裂纹。
- 所用涂料不能抵御砂芯在高温下产生膨胀裂纹。
- 铁液未能在砂芯产生裂纹前凝固结壳，从而预防脉纹产生。

脉纹（飞翅）

- 对　策

- 在保证能得到健全铸件而又不产生气孔等缺陷的铁液充型温度下，尽可能采取较低的浇注温度以减轻砂芯受热膨胀的程度；同时采用较快的浇注速度，以避免砂芯长时间受到高温烘烤可能产生的膨胀裂纹。
- 用于易产生脉纹泥芯（如水套芯、进排气道芯）的芯砂原砂预先进行消除相变膨胀处理，或者在砂芯材料中添加一些辅助材料，降低砂芯材料的热膨胀率；再就是原砂的颗粒组成以三筛或四筛级配，以求砂芯材料能自身吸收膨胀变形。

脉纹（飞翅）

- 必要时，在砂芯材料中使用一定比例的非石英系列砂（如橄榄石砂、锆英砂等），第一它们的膨胀率极小，第二其导热性好，使铁液结壳时间早于砂芯相变膨胀开裂时间。
- 提高砂芯材料的韧性和高温强度。
- 使用强度、韧性优良，且导热性能好的烧结型涂料，以增强砂芯表面抗膨胀裂纹的能力。

以上这些措施既适用于冷芯砂，也适用于热法覆膜砂（壳型砂）。由此看出，预防或减少脉纹缺陷的主要措施是改善砂芯膨胀性能。

清 洁 度

现代发动机对清洁度的要求十分苛刻。对汽缸体（汽缸盖）铸件而言，水腔、油腔、挺杆室等部位允许残留的砂粒和异物，仅限为数克（g）以内。许多企业尽管采取了二次抛丸、强力抛丸，甚至引进了先进的抛丸设备，如鼠笼或机械手抛丸，要完全达到内腔清洁度要求，仍然较为困难，无论是壳芯或冷芯，情形均一样。

清 洁 度

- 原　因

- 坭芯表面状况不良，如充填不紧实；砂芯表面粗糙；粘模等。
- 施涂不当，如涂料性能差，玻美度不合适，涂层厚度不够等。
- 现有强力抛丸装置对铸件大部分内外表面都能清理得很干净，但对狭窄复杂的水腔、油腔仍显不足。

清 洁 度

对 策

- 改善和提高泥芯表面质量状况，如选用流动性好的制芯材料（安息角＜29°）;合理设置排气塞并加以维护使其畅通；施用品质好的脱模剂防止粘模等，这些措施的目的是得到表面紧实致密的泥芯。
- 通常都要对泥芯施以涂料层。涂料玻美度要合适；涂料要有较强的渗透性；涂料层要有一定厚度（一般要达0.2mm），涂层干燥后不能显见砂粒为宜；选用的涂料防粘砂性能优良，在浇注温度下能在铸件表面形成一低熔点的烧结层，而且在铸件冷却过程中因收缩率的不同能自动剥离下来。

清 洁 度

- 如脉纹所述，要努力避免防止脉纹缺陷的产生。一旦出现脉纹，铸件的内腔清洁度情况，就更加恶化。有关措施参见脉纹对策。
- 对铸件内腔清理，国内外的主流工艺方法是采用强力机械抛丸的方式，其型式有鼠笼抛丸，机械手夹持抛丸等。对这类抛丸设备，要维护达到额定抛丸电流值，要调整最佳抛射角度，对后一种抛丸型式，还可对难以清理的内腔将程序设置在最佳入射角度时适当延长抛射时间。

清 洁 度

此外，还有以下几种改善和提高内腔清洁度的手段:

- 电液压清理，其原理是将待清理铸件置于水池中，在高能量放电过程中，所产生的高压冲击波将粘附在铸件上的砂粒振击脱落。理论上说水能浸入的孔腔内，其粘砂均能清理干净，但这种方法占地面积大、耗能高、流程长（尚要倒空内腔积水并烘干水迹）、维护量大，也有一定的安全问题。
- 先将铸件置于炉内焙烧，再进行抛丸。这种方法提高铸件清洁度的效果还是很明显的，但同样是能耗较高、周期长，如以煤炭作加热炉燃料，则作业环境较差。
- 有的厂家除采用强力抛丸以外，还针对水道腔或油道腔进行喷丸清理。这种方法对提高内腔清洁度最有效，所能达到的清洁度水平最高，但目前仅有此类通用单机产品，尚需人工握持喷丸头伸进密封的工作室对准有关出砂孔喷射，劳动强度大、环境恶劣。期待着专用的自动喷丸设备在汽缸体（汽缸盖）清理生产线上应用。

渗　漏

渗漏是指汽缸体（汽缸盖）在压力试验（水压/气压）时的泄漏现象，多发生在汽缸体（或汽缸盖）的水套腔或是油道腔。

渗　漏

（夹杂引起的渗漏）

原　因

- 泥芯在修芯时未清除飞边、毛刺，或泥芯上有松散粘附的大小不一的砂粒、砂团未清除干净，致使浇注时被铁液冲刷下来并飘浮富集在水套壁或油道壁，形成夹砂（砂眼），使腔壁贯通渗漏。
- 组合好的泥芯被粉尘砂粒污染或型腔内不慎掉入散砂，没有清理干净，也会形成砂眼使腔壁贯通而渗漏。
- 铁液不纯净，而浇道内又无过滤措施或拦渣效果差，使铁液中的夹渣进入型腔，使水腔或油腔的腔壁形成贯通性的渣孔而渗漏。

渗　漏

（夹杂引起的渗漏）

对　策

- 认真清除泥芯的飞边毛刺，并清除泥芯上附着的砂粒砂团，避免在水腔/油腔壁上可能形成的砂眼。
- 吹净砂粒与粉尘污染的组合好的泥芯组，清理掉入型腔的砂粒。
- 直浇道设置高效的过滤器，横浇道应有良好的拦渣功能，并做好铁液净化工作（造渣、除渣），以防腔壁上产生渣眼。

渗　漏

（缩松引起的渗漏）

这种渗漏常发生在水腔（油腔）或喷油嘴等热节部位。

- 原　因
  - 铁液成分不恰当，Si/C过高，石墨片粗大，组织疏松。
  - 孕育过量，致使共晶团数量过多，微晶间隙难以补缩致密。

渗　漏

（夹杂引起的渗漏）

对　策

- 在规定的碳当量保持不变的前提下，限制Si/C在0.5~0.6之间。
- 不得孕育过量，较有效的措施是采用SiSr（含锶）孕育剂，其石墨化能力极强，用量仅FeSi孕育剂的50%，既可充分孕育消除截面敏感性，又可避免产生过多数量的共晶团。
- 在易产生缩松的热节部位，局部刷除碲粉醇基涂料，增加该部位的冷却能力，防止产生缩松。

有报道称[2]，含Pb量达0.0008%，即可造成缩松渗漏，须注意使用的炉料中有否镀Pb材料，或须先行除去镀层。此外影响缩松渗漏的微量元素还有Ti、Al等，它们都会增加铁液的收缩倾向，要严格控制。

收　缩

汽缸体（汽缸盖）铸件结构复杂，壁厚差别较大。园弧曲面凸起的厚大部位，大批大量流水生产时，工艺上又不便采取冒口补缩之类的措施。当其他工艺处置不当时，这些厚大热节处往往会产生集中收缩，严重时会产生较深的缩裂缺陷。

收　缩

- 原　因

- 上述部位的根部，时有造型充填不紧实，该部位铸型硬度/刚度不足的情形。当铁液凝固石墨化膨胀时，发生型壁位移。
- 浇注温度偏高 。
- 铸液收缩倾向较大。

收　缩

对　策

- 提高型砂的流动性，控制合适的型砂紧实率，对气冲造型或气流预紧实的造型方法，模型相应部位增加排气塞，采取这些措施后，可提高缺陷发生部位的铸型硬度/刚度，使高碳当量铁液凝固时不会因为石墨化膨胀产生型壁位移，从而能实现无冒口自补缩。
- 在满足充型要求，不得产生气孔等缺陷的情况下，切勿盲目提高浇注温度。（浇注温度太高，还会引起跑火漏箱和粘砂等缺陷）

收　缩

- 保证铁液有良好的铸造性能，尤其要防止铁液的白口倾向和收缩倾向。
  - 要精确控制碳当量（3.9~4.1%），低于下限时，则铁液的收缩倾向加大，在前述部位出现缩孔缺陷的可能性就增大。
  - 对高碳当量铁液低合金化处理时，要控制可能由此引起收缩增大的倾向。一些增大灰铁白口倾向、收缩倾向的合金元素，要严格用量。如前述Cr，会降低共晶温度扩大凝固温度区间，其用量不得超过0.035%等。
  - 电炉内采用增碳剂调整碳当量（碳量）时，一定要有充分吸收增C的时间，否则会出现增碳假象。这样的铁水浇注的产品，往往会出现收缩。
  - 要控制原铁水中非合金化带来的一些有害元素的含量，如P、Ti、V等也会增加铁液的收缩倾向。

收　缩

原　因

- 来自原材料的微量元素的影响
  - 铁中微量元素超标，如Ti、V、Pb、Be、B等，这些微量元素含量较高时，有的呈游离碳化物，氮化物等硬质点形式存在（碳化钛、氮化钛等）；有的使硬质相索氏体数量明显增加（如V等）。
  - 废钢中混入合金钢（如Ti、V等），或使用了带有镀层的废钢，如镀Pb的废钢板。
  - 有的元素（如Pb、Be）增加铸件的白口倾向。
- 熔炼工艺不当，如在电炉中熔炼时间过长，铁液白口化倾向加大。
- 孕育等工艺不当，即所选用的孕育剂或孕育工艺未能消除铸件断面的敏感性，尤其未能消除5mm薄壁处的显微组织硬质相。

收　缩

对　策

- 选择恰当的生铁，控制生铁中微量元素的含量，Ti＜0.05%，V≤0.01%，采用低碳钢废钢，严禁废钢中混入合金钢。
- 避免合金化过程中产生过多的且分布不均匀的硬质相显微组织。通常为保证良好的铸造性能和达到较高的力学性能，一般都采用高碳当量辅以合金化措施。合金化的目的是增加珠光体量，并细化和稳定珠光体，但要避免产生白口化倾向，避免产生偏析，避免硬质相显微组织出现。这就要合理选择并组合合金化元素，并最好采用孕育方式加入。

收　缩

- 改善切削加工性能十分重要的一环是：采取有效的孕育工艺。一是选用含Ca、Ba的孕育剂要优于传统的75SiFe孕育剂，二是采取随流孕育处理。这样的孕育工艺可获得均匀的组织以及均匀的显微硬度。尤其是对壁厚差较大的汽缸体（汽缸盖）铸件，其最小壁厚5mm处的显微组织与性能更趋均匀。