QT500-7射出液压缸座铸件漏油原因分析

金林奎，欧海龙，邹文奇，廖森梁，樊开夫

摘要：对QT500-7射出液压缸座铸件漏油失效件进行检查，通过理化分析结果表明，该失效件在取样检查时就已经发现样件上存宽度5mm以上的残余缩孔，按照标准判定为不合格品。为了查找缩孔缺陷产生的原因，对失效件做进一步的检测和分析。该失效件的球化级别较差，不能满足铸件所需的强度和韧性。基体组织存在密集的针孔状疏松组织，极易造成漏油事故的发生。共晶团晶界处存在严重的二元磷共晶，并已形成粗大孔洞及微裂纹，严重恶化铸件的强度和塑性，材料的脆性进一步增加，铸件的疲劳寿命将会显著缩短。

关键词：球化分级；残余缩孔；针孔组织；二元磷共晶

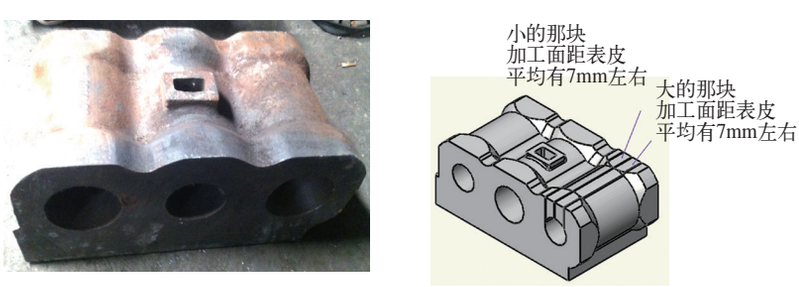
QT500-7球墨铸铁铸件，具有良好的抗拉强度及断后伸长率等力学性能，广泛用于注射机的核心部件，如三大受力模板：射出底盘、射出液压缸座及液压马达座。该零件为大型注射机的射出液压缸座铸件，由于注射机工作状态都是需要承受很高的外壁拉应力和内腔压应力，因而对铸件的品质要求很高。铸件不允许存在裂纹、冷隔、浇不足、缩松、砂孔及球化不良等缺陷，内部组织要求去应力处理，铸件需经过退火处理。

据客户反映，该射出液压缸座产品在机加工过程中，发现铸件表面存在严重的砂眼，而且无法加工清除，用户也抱怨该类铸件经常发生主体漏油事故。为了彻底查找漏油事故产生的原因，对该失效件进行检测分析，并对存在的质量问题进行解决，以便进一步保证产品质量，杜绝该类事故的再次发生。

1. 宏观检查

该射出液压缸座球墨铸铁件的外形尺寸为500mm×270mm×220mm，在液压缸座的中间均匀分布3个直径50mm左右的圆孔形油腔，如图1所示。图1上顶部中心部位有一个边长约30mm的正方形射油孔。经调查核实，在射出液压缸座圆孔端面附近的外表面经常发生漏油事故。经现场调查确认后，在图1右侧的铸件圆孔上分别进行切割取样，截取两块270mm×18mm×18mm的长条形样件，进行理化检测分析。

在截取下来的长条状样件上，发现有一处存在严重的缩孔，其宽度及深度都在5mm以上，依据国家标准GB/T 1348—2009《球墨铸铁件》规定要求，不允许有影响铸件使用性能的铸造缺陷（如裂纹、冷隔、缩孔、夹渣等）存在，因而该射出液压缸座铸件可以判定为不合格品，不允许进一步加工及投入使用[1]（见图2）。



（a）实物　　（b）失效件示意

图1　球墨铸铁失效件

采用体视显微镜对缩孔缺陷部位进行宏观观察，缩孔的表面凹凸不平，在突出的表层分布大量的球状颗粒，这是铸造气孔特征的自由表面和铸造疏松的枝晶露头（见图3a）。缩孔的底部表层同样布满球状颗粒的枝晶露头，这种缺陷组织的存在，是由于铸造工艺不当，造成热节处补缩不足或不及时造成的，出现这种缺陷组织该铸件即予判废（见图3b）。

为进一步分析缩孔缺陷产生的原因，同时查找力学性能及金相组织方面是否存在问题，并策划改进及预防措施方案，为后序生产及加工提供保障。因而需要对失效件做进一步的检测和分析。

在失效件截取的两块长条状样件上分别切割总长150mm的样块，进行机械加工制成拉伸试棒，测试材料的抗拉强度、屈服强度及断后伸长率等力学性能指标，剩余部分用于测试材料的硬度值和金相组织检测。在两个样件剩余部位（包括缩孔缺陷），分别截取20mm×15mm×15mm的样块，经过预磨、抛光和侵蚀后，目测试块浸蚀面的铸造枝晶组织特别粗大。这种低倍组织缺陷，与铸件自身体积过大以及铸件浇注成形后冷却缓慢有很大关联（见图4a）。

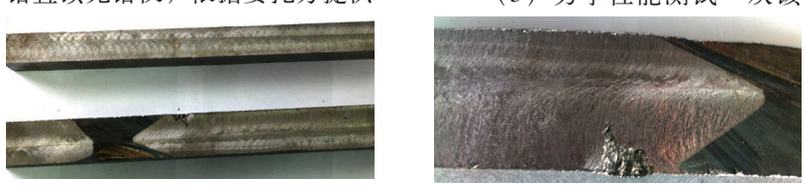
对存在缩孔缺陷的样块浸蚀面进行观察，其铸造状态的枝晶偏析缺陷组织更为严重，粗大的枝晶长度达10mm以上。沿缩孔剖面的边缘可见粗大的圆弧状自由表面，这是铸件缩孔缺陷的特征形貌。圆弧状缩孔边缘存在浅层的灰褐色组织，这种灰褐色组织是铸件缩孔在铸造时高温氧化，或者零件长期存放受潮腐蚀影响造成的[2]（见图4b）。

2. 结果与讨论

（1）化学成分分析　从该失效件上截取样块进行化学成分检测，样块尺寸为25mm×25mm×15mm，检测设备为牛津Foundry-master Pro全谱直读光谱仪，依据委托方提供的材料化学成分规范要求进行检测。检测结果表明，S、P元素含量显著超标，其他元素含量符合规范要求（见表1）。

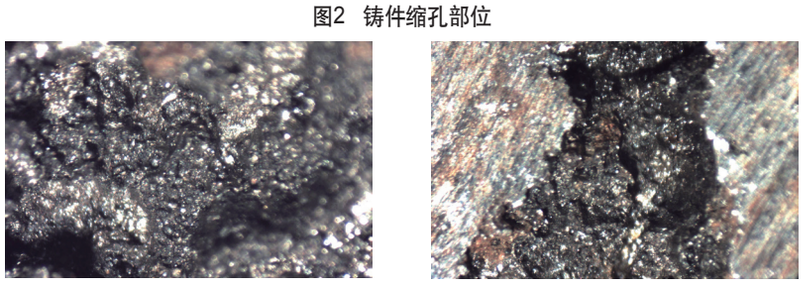
（2）硬度检测　从该失效件上截取样块进行硬度检测，采用奥地利Qness-Q150型全自动数显洛氏硬度计，检测结果表明，实测硬度值全部偏低，不符合标准要求（见表2）。

（3）力学性能测试　从该



(a)　(b)

图2　铸件缩孔部位



(a)　(b)

图3　铸件缩孔表面（实物）

(a)　(b)

图4　缩孔样块剖面（实物）

表1　QT500-7样块化学成分（质量分数）　（%）

元素	C	Si	Mn	P	S
标准值	3.50～3.90	2.20～3.00	≤0.400	≤0.060	≤0.030
实测值	3.552	2.361	0.175	0.201	0.425
单项评价	符合	符合	符合	不符合	不符合

表2　硬度值检测结果　（HBS）

硬度检测点	1	2	3	4	5
实测值	153	163	158	155	160
要求值	170～230				
单项评价	不符合	不符合	不符合	不符合	不符合

失效件上截取样件，按规定要求制成拉伸试棒，进行材料拉伸测试，采用UTM5030型30T电子万能材料试验机，依据国家标准GB/T1348—2009《球墨铸铁件》进行检测（见图5、图6），检测结果表明抗拉强度及断后伸长率偏低，不符合规范要求（见表3）。

（4）金相组织分析　金相检测用Leica DMI3000金相显微镜，该失效件样块在抛光态下检测，石墨球的形态大多数呈Ⅳ类团絮状石墨，以及较多量的Ⅱ类片状和蟹状石墨，而且石墨分布极不均匀，局部呈现聚集或松散分布状态。按照国家标准GB/T 9441—2009《球墨铸铁金相检验》进行检测，依据国家标准GB/T 1348—2009《球墨铸铁件》进行判定，球墨铸铁件试样组织的球化级别评为6级，标准要求1～4级，不合格。同时基体组织中存在密集的针孔状疏松组织，球墨铸铁件的致密性较差，极易造成铸件在高压下漏油[3]（见图7）。

试样经4%硝酸酒精侵蚀，基体组织为铁素体＋珠光体，珠光体含量约占25%。石墨球的形态及球化级别仍很不理想，基体组织的球化级别仍评为6级（标准要求1～4级），不合格（见图8）。

珠光体组织集中在石墨共晶团晶界处，在石墨共晶团晶界处的珠光体组织中，存在明显孔洞的铸造疏松缺陷组织，在铸造应力作用下已经形成多处微裂纹，由此可见，铸件的漏油事故是无法避免的[4]（见图9、图10）。

在宏观目测到的粗大缩孔的

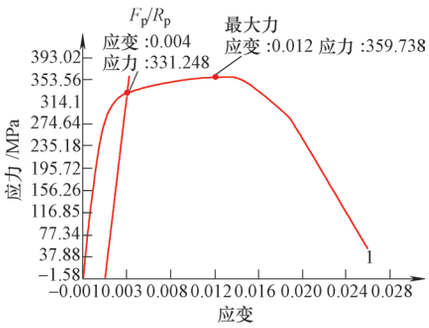


图5　Ⅰ#拉伸试棒测试值

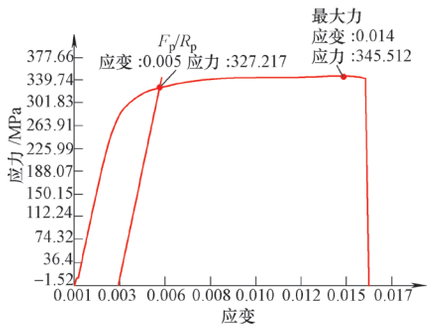
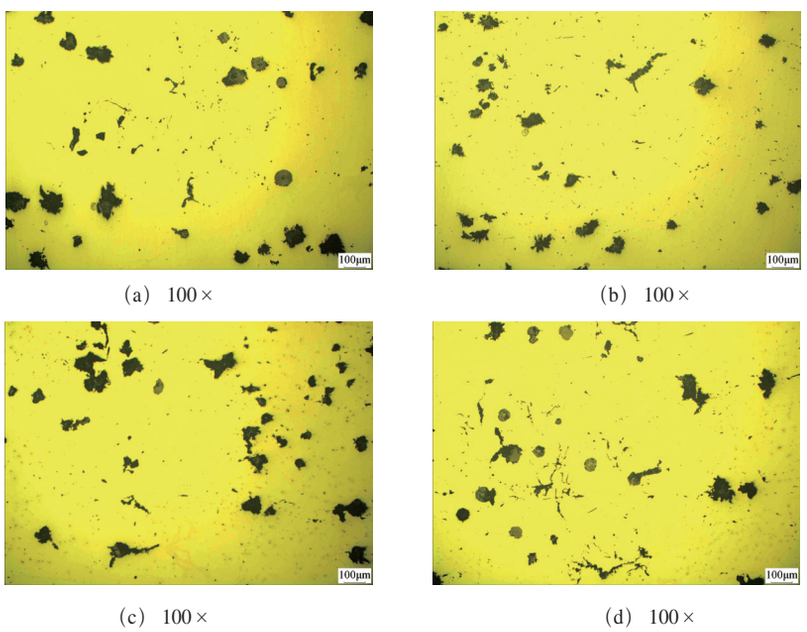


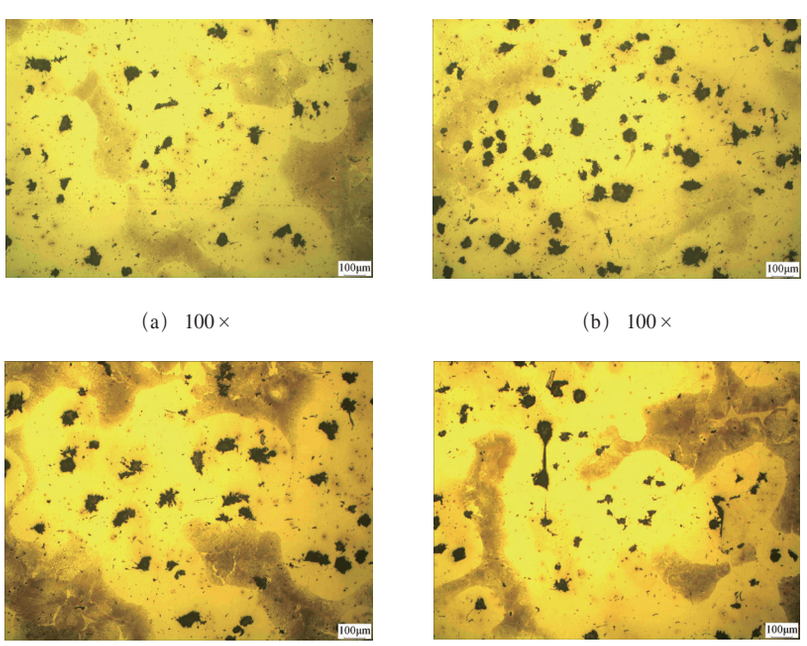
图6　Ⅱ#拉伸试棒测试值



（a）100×　（b）100×

（c）100×　（d）100×

图7　石墨分布形态



（a）100×　（b）100×

（c）100×　（d）100×

图8　基体珠光体含量

底部，沿孔壁表层存在多条裂纹，表层铁素体已开裂成脱落状态。在缩孔底部附近，观察到粗大孔洞的铸造缺陷组织，孔洞的尺寸达长0.50mm×宽0.20mm。孔洞的边缘呈弯曲的圆弧状自由表面，这是气泡保持自由张力的特征形貌。可以断定铸件浇注时存在大型气泡，未能及时排出而留下孔洞。孔洞附近还依附两处椭圆形气孔（见图11）。沿缩孔底部延伸处，连接着一条应力扩展裂纹，该裂纹呈弧形推进线向前延伸，应该属于穿晶疲劳扩展的特征形貌，这是铸件的铸造应力与机械加工的交变载荷共同作用造成的[5]（见图12）。

在共晶团晶界处的珠光体组织中存在大量的二元磷共晶缺陷组织，该缺陷组织脆性大，极大地降低了铸件的强度和韧性[6]（见图13a）。磷共晶组织中依然存在较多的疏松及孔洞，在磷共晶的边界已经产生粗大的网状裂纹。据相关文献资料论证，磷共晶存在的部位产生疏松及孔洞的倾向极大，而磷共晶的强度低且脆性大，极易造成开裂[7]（见图13b）。

3. 结论分析

该射出液压缸座铸件，在取样检查时就已经发现样件上存在宽度及深度都在5mm以上的缩孔，按照国家标准GB/T 1348—2009《球墨铸铁件》进行判定，可以直接判定为不合格品，不允许流转至下道工序。

金相组织检测，铸件基体组织的石墨率评为6级，球化级别非常差，属于不合格级别。大型球墨铸铁的铸件冷却速度较为缓慢，孕育容易衰退或孕育不足，以及阻碍球化的硫夹杂元素严重超标，球状石墨容易发生畸变，从而形成团絮状石墨。该不合格组织不能满足铸件所需的强度和韧性。

基体组织存在密集的针孔状疏松组织，极易造成漏油事故的发生。共晶团晶界处存在严重的二元磷共晶，并已形成粗大孔洞及微裂纹。化学成分检测结果同时表明，硫、磷元素含量显著偏高，远超过标准规要求。磷共晶呈网状分布时，严重恶化铸件的强度和塑性，使铸件材料的脆性进一步增加，强度进一步降低，铸件的疲劳寿命将会显著缩短。

4. 改进建议

目前球墨铸铁铸造使用的球化元素主要为镁和稀土。镁和稀土元素可以中和硫等反球化元素的作用，使石墨按球状生长。在

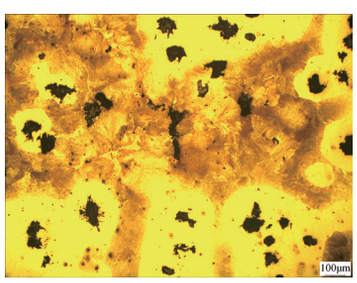


图9 共晶团晶界疏松（100×）

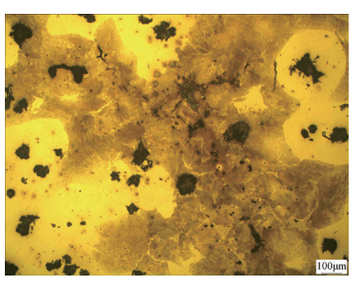


图10 共晶团晶界裂纹（100×）

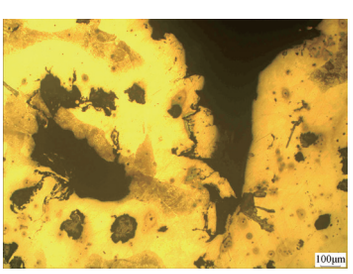


图11 缩孔底部孔洞（100×）

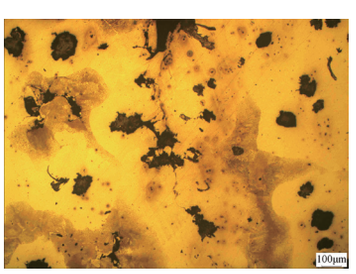
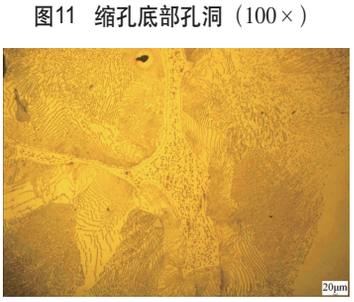
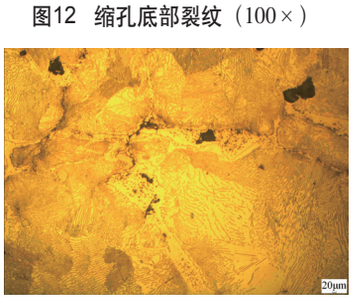


图12 缩孔底部裂纹（100×）



（a） 500×



（b） 500×

图13 二元磷共晶

表3 拉伸试验测试结果

试样编号	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	断后伸长率（%）
标准要求	≥500	≥290	≥7
Ⅰ试棒	360	331	2.40
Ⅱ试棒	346	327	1.54
单项评价	不符合	符合	不符合

中间轴锻件性能不合格的原因分析

赵丽

摘要：针对中间轴锻件热处理后出现的强度不合格现象，通过对热处理生产过程记录、分析、相关检验，解决了性能不合格问题，保证了产品质量。

关键词：中间轴；强度；调质；硬度

我厂生产的中间轴锻件是燃机-蒸汽联合循环机组的重要部件，采用国外牌号26NiCrMoV11-5，要求材料具有较高强度、均匀性，且必须具有较高的冲击韧度、断裂韧度。我公司先后生产了5件中间轴，中间轴调质前尺寸见图1，调质工艺曲线见图2。中间轴调质后，力学性能有两件合格，3件不合格， 3件不合格的锻件中有两件强度偏低，且不合格的部位均在大法兰端，另一件屈服强度超上限。本文针对中间轴锻件热处理后出现的强度不合格问题，从化学成分、相关检验、数据对比及热处理生产过程等方面进行了分析。

铸造过程中，镁和稀土的残留量应根据铁液中硫等反球化元素的含量确定。

控制铸件的夹杂元素硫、磷含量，有利于球墨铸铁基体的石墨化和球化，并能细化共晶团，更大地提高材料的韧性。控制铁液成分，保持较高的碳当量，尽量降低杂质磷的含量。

当铸件表面形成硬壳后，内部的金属液温度越高，液态收缩量就越大，则缩孔、缩松等缺陷组织形成的倾向也越大。在铸件的壁厚突变处，孤立的厚断面不易得到补缩，使产生缩孔缩、松倾向增大，因而应做到壁厚变化部位平稳过渡。

浇注温度高，有利于补缩，但太高会增加液态收缩量，对消除缩孔、缩松缺陷组织不利，所以应根据具体情况合理选择浇注温度，一般以1300～1350℃为宜。另外，合理安排浇注系统、冒口和冷铁装置，以保证金属液顺序凝固。

参考文献

[1]杨溥泉，申建丽，姚毅，等.铸铁件质量的检验[M].北京：机械工业出版社，1978：7-17.

[2]郑学坊，邱允新，唐镇南，等.金相分析技术[M].上海：上海科学技术出版社，1984：245-246.

[3]吴连生.失效分析技术：金相分析技术[M].上海：上海科学技术出版社，1984：245-246.

[4]李炯辉，林德成.金属材料金相图谱[M].北京：机械工业出版社，2006：158-161.

[5]张栋，钟培道，陶春虎，等.失效分析[M].北京：国防工业出版社，2003：168-173.

[6]姜振雄.铸铁热处理[M].北京：机械工业出版社，1978：7-17.

[7]吴振海.球墨铸铁[M].北京：中国水利水电出版社，2006：44-50.

作者简介：金林奎（1966—），男，江苏省泰州人，大学本科，高级工程师，主要从事金属材料失效分析。金林奎、欧海龙、邹文奇、廖森梁、樊开夫，广东省东莞市质量监督检测中心、国家模具产品质量监督检验中心。

MW 20160823