DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.04.013

虚拟检验技术在大型厚壁耐高温球墨铸铁件的应用

苏少静,宋　亮,何　媛
(共享装备股份有限公司,宁夏 银川 750021)

摘　要:中压缸是蒸汽轮机火电机组的关键部件,对材料、力学性能、无损检测均有很高要求。为了生产出合格的中压缸铸件,介绍了通过虚拟检验技术进行合理的浇注系统设计、冒口计算和材料控制的方法,成功生产出力学性能达标、无损检测合格的高质量铸件。

关键词:厚壁球墨铸铁;中压外缸;工艺设计
中图分类号:TG255　　文献标识码:A　　文章编号:1000-8365(2019)04-0384-04

Application of Virtual Inspection Technology in Large Thick-wall High Temperature Resistant Ductile Iron Castings

SU Shaojing, SONG Liang, HE Yuan
(Kocel Machinery Co. Ltd., Yinchuan 750021, China)

Abstract: Medium pressure cylinder is a key component of steam turbine thermal power unit, which has high requirements for materials, mechanical properties and nondestructive testing. In order to produce qualified medium pressure cylinder castings, the rational design of casting system, riser calculation and material control method were introduced by means of virtual inspection technology. The high quality castings with qualified mechanical properties and nondestructive testing are successfully produced.

Key words: thick walled ductile iron; medium pressure outer cylinder; process design

我国“富煤、贫油、少气”的资源特点导致能源消费以煤为主，其中燃煤电站能源比例高于60%,煤炭的清洁高效利用对我国能源战略具有极为重要的意义,作为“十三五”规划百大重点项目,也将是我国能源体制改革的主要内容[1]。高效蒸汽轮机,与常规蒸汽轮机不同,含有中压外缸部分。常规蒸汽轮机,由于高压气体含有大量的热能,直接由高压缸进入低压缸后，这部分热能并不能有效利用,造成能源浪费。通过设立中压缸,就可以有效利用这部分热能,高压气体进入中压缸后,可以将一部分高压气体输出,加热水蒸气,同时冷却下来的高压气体通过减压后再回到低压缸，可以继续做功,这样就达到了提高能量利用的目的。本文对中压缸铸造工艺作一研究。

1　中压缸铸件技术要求

蒸汽轮机火电机组的关键大型部件，如高压缸、中压缸等,是制约现代重大装备制造业发展的瓶颈[2],因其在高温(>600 ℃)、高压(>30 MPa)的环境中工作,对材料、力学性能、组织无损检测要求高，传统设计采用低合金钢铸造，其生产成本高,研发周期长。

我公司生产的中压外缸铸件，牌号为EN-GJS-400-15U，上部铸件重18.3 t，下部铸件重19.2 t,轮廓尺寸均为5 370 mm×3 195 mm×1 535 mm,主体壁厚50 mm,最大壁厚290 mm,高温冲击性能要求:120 ℃冲击值平均值12 kJ,最小值9 kJ,形状见图1。产品力学性能见表1,金相组织见表2。

表1 力学性能要求
Tab.1 Mechanical properties requirements

屈服强度 /(N/mm²)	抗拉强度 /(N/mm²)	伸长率 (%)	断面收缩率 Z(%)	硬度 (HB)	冲击功 /J 20 ℃	冲击功 /J 120 ℃
≥290	≥420	≥9	实测值	≥170	≥5①	≥16①

注:①3个夏比V形冲击试样的平均值

铸件进行100%磁粉(MT)探伤和100%超声波(UT)探伤。探伤等级要求:结合法兰、猫爪、抽气口法兰为1级(局部要求为1级),其余部位均要求满

收稿日期:2018-10-19
作者简介:苏少静(1980-),宁夏银川人,高级工程师.主要从事铸造新产品开发及技术质量管理工作.
电话:13709500812,E-mail:shaojing.su@kocel.com

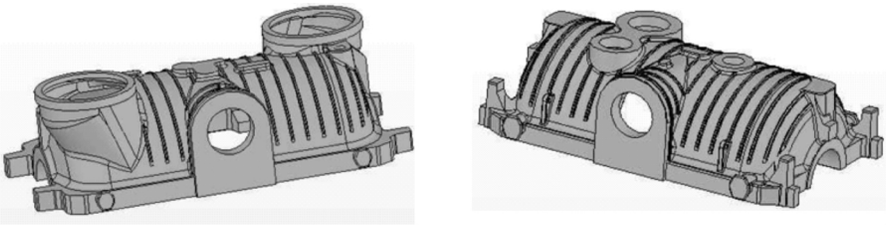


图 1　中压外缸铸件图
Fig.1　Medium pressure cylinder casting

表2 金相组织要求
Tab.2 Microstructure requirements

项目	石墨形态	石墨级别	组织
要求	≥Ⅲ级	5-8 级	P≤10%

足 2 级。

2　中压缸铸件技术要求工艺设计

2.1　铸件结构分析及整体工艺方案确定

分型方案的选择。根据铸件结构以及顾客规范要求，将重要加工面，厚大断面朝下，选择结合法兰朝下的分型方案（如图 2）。采用这种方案一方面能保证厚大法兰不出现缩松缺陷，降低使用冒口风险；另一方面顾客对缸壁上的筋外观要求低，这样大大降低缸壁重要面上浮渣问题。中间内腔结构采用砂芯形成，使用芯盒生产，为了保证合箱时操作简单，不会造成合箱蹭砂掉入型腔，需要三开箱，保证在合箱中圈的时候，可以看到砂芯，不会造成砂芯的损坏，同时可看到型腔内部的情况，质量控制。

2.2　浇注系统设计

由于球墨铸铁中的 Mg 的存在，导致了铁液本身就含有杂质，为了最大程度的减小杂质进入型腔，降低 Mg 的二次造渣，我们创新性的选择了开放式的浇注系统。开放式浇注系统能大大降低内浇道及内浇道的铁液流速，从而减小紊流引起的造渣，开放式浇注系统能将大量的铁液中的渣子浮于横浇道顶部，能有效阻止渣子进入型腔[3]。内浇道分别设置在铸件底部的法兰底面，保证铸件充型平稳，在内浇道数量上我们采用分散多点进流方式，尽量使温度场均匀分布。

横浇道设置在中间大芯下，并设计浇道砂芯，横浇道使用封闭式形式，开放式比例，位于铸件最下方，内浇道位于横浇道侧面下方，此设计可以保证横浇道快速充满，封闭式的横浇道使得铁液内的熔渣上浮，聚集在横浇道上方，同时在横浇道前方设计挡渣结构，加强挡渣作用；设计的浇注系统如图3。

2.3　补缩系统设计

冷铁、冒口的正确设计是球墨铸铁工艺设计中的关键，冒口和冷铁设置不当，将会导致铸件产生严重的缩松缺陷。由于缸体主体壁厚 50 mm，与其连接的结合法兰厚 290 mm，我们选择的法兰朝下的分型方案将导致缸壁铁液对法兰进行补缩，而顶部冒口因为补缩距离不够对缸壁底部无法进行补缩，这将导致缸壁上出现超级缩松。

经过计算，法兰处模数 7.2，完全满足自补缩条件，故将铸件分为两个单独的区域，如图 4。在 M1 与 M2 交界处铺设冷铁，使法兰与缸壁的连接在浇注前期就凝固断开，M1 法兰区域实现自补缩。对于 M2 缸壁区域，其图纸壁厚 50 mm，工艺补贴 10 mm，也满足自补缩条件，同样的能够运用自补缩。但是考虑到铸件轮廓大，砂箱及砂型的强度不够的问题，还是决定在铸件顶部放置冒口，降低缸壁缩松风险。另外在“T”“十”结构处铺设冷铁来消除热节。

此类大型蒸汽轮机的工艺设计需要正确合理的使用冒口、冷铁及浇注系统，且砂型的强度对铸件的缩松及尺寸缺陷有很大影响。铸型强度不够会产生型壁位移，造成铸件出现缩松缺陷；同时铸型膨胀会使缸壁厚度增加，导致尺寸不合格，无法满足顾客需求，此处需要特别重视。

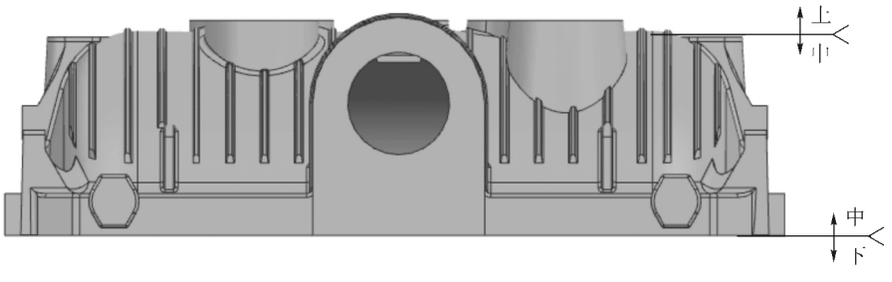


图 2　铸造分型方案示意图
Fig.2　Schematic diagram of casting parting scheme

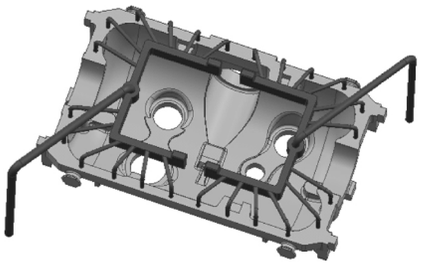


图 3 浇注系统结构图
Fig.3 Pouring system structure drawing

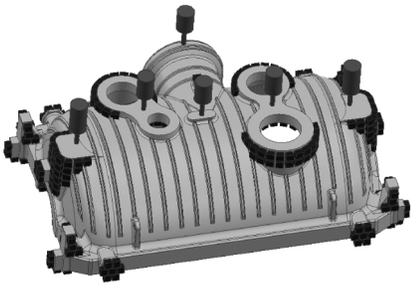


图 4 冒口冷铁布置图
Fig.4 The chills and feeders

2.4 浇注温度确定

在浇注温度的选择上综合考虑了以下两点。

(1)浇注温度高,有利于冒口补缩,同时增加液态收缩量,反而对消除缩孔、缩松不利。

(2)浇注温度低时,金属液内的金属氧化物等因金属液的粘度太高,不易上浮至表面而残留在金属液内;选择合适的浇注温度对此类铸件的生产同样非常重要。最终我们选择浇注温度的控制为1 325～1 335 ℃。

2.5 材料控制

由于该件要求很高,所以必须保证铁液足够的纯净,因此在原材料的选择上要求生铁的纯度要高,并且要求生铁的加入比例较高,以保证原铁液的形核能力。同时要严格控制反球化元素少、微量有害元素(如 Ti)以及 Mg 消耗元素的含量。球化剂必须控制其中氧化镁含量不能超标,否则会出现蠕虫状石墨、铁液收缩倾向增大。鉴于此件局部壁厚较大,因此球化剂中必须含有一定量重稀土,以减小厚壁部位的球化衰退。选择三级孕育,孕育剂选择长效孕育剂与速效孕育剂搭配使用,以保证石墨球的数量。

化学成分控制不当,会导致铸件出现缩孔和缩松、力学性能不合格甚至表面质量不合格等缺陷,归纳起来有以下几个方面。

(1)碳当量　通过控制碳当量,使在铸件凝固过程中产生石墨化膨胀,可减少缩孔缩松。但是当碳当量太高时,会使铸件产生石墨漂浮等缺陷。

(2)含磷量　如果球铁液中含磷量偏高,会使凝固范围扩大,同时低熔点磷共晶在最后凝固时得不到补给,以及使铸件外壳变弱,因此有增大缩孔、缩松产生的倾向。

(3)Mn、Si 和一些影响综合力学性能强烈的元素,要严格控制。

(4)S 是消耗 Mg 元素,影响球化效果和铸件表面质量,但一定量的硫化物又为石墨生成提供形核。因此,硫含量应该控制在一定的范围。

(5)微量有害元素(主要代表元素为 Ti)主要严重影响石墨形态和冲击值。应该严格控制。

3 虚拟检验技术的应用

虚拟检验技术是运用流体力学、热力学和有限元等数值分析理论,对铸造过程的充型、凝固、冷却、应力分布等进行整体的仿真分析,使铸造过程变得形象化、可视化,铸造变成“睁眼浇注”,方便工艺技术的改进和提升[4]。

充型流速结果如图 5,从充型流速来看,内浇道的铁液进入型腔后,流速缓慢,无飞溅紊流等现象,液面平稳上升。

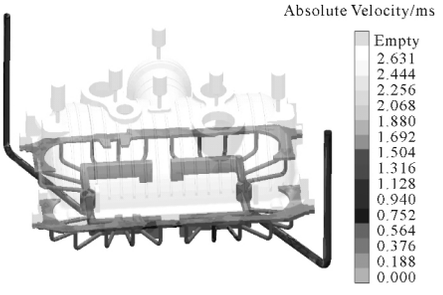


图 5 充型模拟结果
Fig.5 Simulation results of mold filling

凝固缩松结果:如图 6,结合法兰、猫爪、抽气口法兰无缩松显示,其余区域缩松均很小,符合 UT 要求。

对于现场实际的生产状况进行充分的考虑和模拟,在计算机中,建立铸件、厂房、车间、吊车、电炉等全部 1:1 的三维模型组态,通过 CAE 运动力学的仿真,人脑+电脑的方式,从质量、效率、安全、设备等各方面进行细致的仿真。对于后续的吊运总重、翻箱操作、流砂紧实操作、起模、混砂机机头高度及浇包浇注所需高度等进行了全面的策划和虚拟检验,保证现场生产过程的顺利进行。

4 结语

中压缸是蒸汽轮机火电机组的关键铸件部件,本文通过介绍中压外缸的工艺设计和生产过程,通过虚拟检验技术,设计出合理的浇注系统、冒口计算和材料控制,成功生产出高质量的产品,满足顾

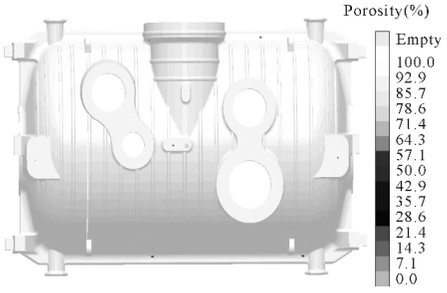


图 6　凝固模拟缩松结果

Fig.6　Solidification simulation of shrinkage loss

客质量要求，为此类铸件的生产提供了技术基础。

利用虚拟检验技术，结合公司知识库，中压外缸铸件生产使用树脂砂三箱造型，将铸件整体放置在中圈中，利于现场的操作；浇注系统设置在中间大芯下，使用封闭式形式+开放式比例，可以有效降低内浇道流速，阻挡铁液中的熔渣；厚壁件使用液态补缩冒口，配合冷铁激冷，铸件内部组织符合顾客质量要求，同时实现高出品率；熔炼原材料严格控制，做好孕育、球化和成分控制，提升产品材质水平。

参考文献：

[1]　王强，吴铁明，蒋毓良，等. 1 000 MW 二次再热汽轮机特大型球墨铸铁件中压外缸的铸造[J]. 铸造，2016，65(7)：424-426.

[2]　蒋毓良. 铸态高韧性球铁中压外缸厚大铸件的生产 [J]. 现代铸铁，2011(5)：46-48.

[3]　徐德明. 大型球墨铸铁中压外缸铸件的生产控制 [J]. 现代铸铁，2017(3)：29-33.

[4]　张云鹏，杨秉俭，苏俊义，等. 铸件凝固过程数值模拟的新进展[J]. 铸造技术，1998，19(1)：34-36.

《熔模铸造缺陷图册》简介

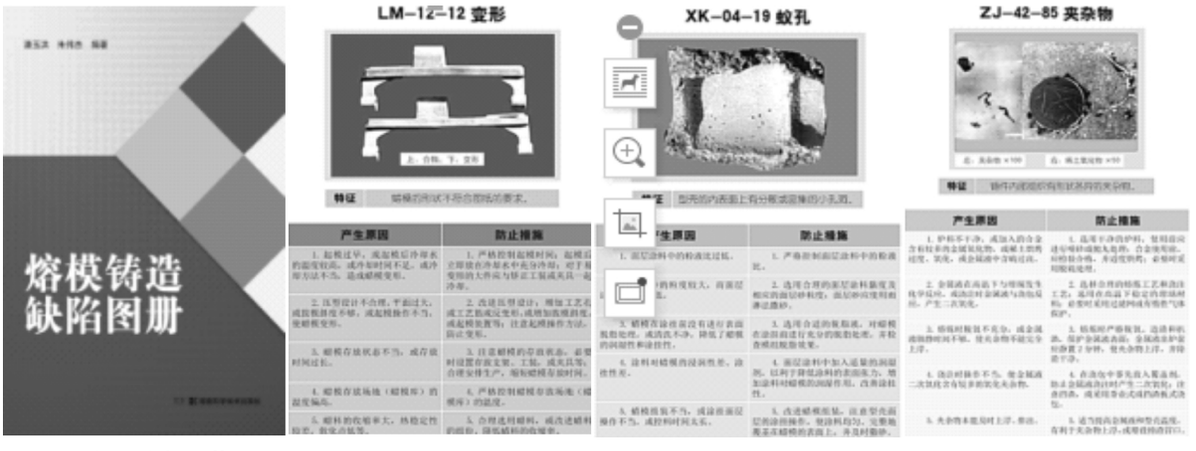
《熔模铸造缺陷图册》(简称《图册》)是作者根据自己数十年在生产现场积累的实际经验和知识，参阅了国内外大量资料后精心编著而成的。

《图册》收录了典型的蜡模(也称“熔模”)缺陷 15 例、型壳缺陷 28 例、铸件缺陷 42 例共 105 幅图片，直观呈现了缺陷，描述了缺陷特征，具体分析了缺陷产生的原因，同时还给出了防止缺陷的有效措施，使读者能从中得到宝贵的资料和启迪，提高解决生产实际问题的能力。

《图册》覆盖面广，适用于中低温蜡料(也称“模料”)，水玻璃型壳与硅溶胶型壳，以及碳钢、低合金钢、不锈钢以及高合金钢等铸件。

《图册》参考价值大，附录收集了适用于低温蜡料与水玻璃型壳、低温蜡料与硅溶胶型壳、低温蜡料与复合型壳以及中温蜡料与硅溶胶型壳等四种方案的压制蜡模工艺参数、型壳制造工艺参数。

总之，《图册》图文并茂、通俗易懂，是熔模铸造缺陷分析方面的资料库；可供熔模铸造生产现场、工艺设计、技术服务与研究等方面的人员使用。



联系人：潘玉洪　13509655192　pyhsz@163.com