

编 号: 0164

内 部

63

科学技术成果报告

大功率柴油机球铁曲轴铁模挂砂铸造

TK 42
zh KQ-3

科学技术文献出版社

刊登国内、外广告启事

我社出版的科技刊物，学科较全，专业较广。为给国内、外各厂矿、企业、科研单位、大专院校等刊登广告提供方便，决定从即日起开辟广告栏，欢迎选用。

有关刊登广告的具体手续、价目及刊物，详见我社的“承办国内广告业务暂行办法”及“承办国外广告业务暂行办法”。此项业务请直接与我社广告组联系，统一办理。

(社址：北京和平街北口 电话：46局4504)

科学技术文献出版社

一九八〇年四月十日

科学技术成果报告

大功率柴油机球铁曲轴铁模挂砂铸造

(内部发行)

编辑者：中国科学技术情报研究所

出版者：科学技术文献出版社

印刷者：中国科学技术情报研究所印刷厂

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

※

开本：787×1092¹/₁₆。印张：2.25 字数：59.2千字

1980年7月北京第一版第一次印刷

印数：1—2,370册

科技新书目：165—33

统一书号：15176·474 定价：0.38元

目 录

前言.....	(1)
一、大断面球铁曲轴内部缩松形成的原因.....	(2)
1. 球铁的凝固特性.....	(2)
2. 砂型铸造工艺的分析.....	(3)
二、铁模挂砂铸造工艺装备设计.....	(4)
1. 金属型厚度和挂砂层厚度.....	(4)
2. 金属型结构.....	(5)
3. 横梁和漏模.....	(7)
三、挂砂层材料.....	(8)
1. 试验方法和要求.....	(8)
2. 矾土水泥流态砂试验.....	(10)
3. 双快水泥流态砂的试验研究.....	(11)
四、铁模挂砂铸造工艺.....	(19)
1. 模型设计.....	(19)
2. 压模成型工艺.....	(20)
3. 泥芯制备和铸型干燥.....	(23)
4. 熔炼和浇注.....	(23)
五、球铁曲轴凝固特性参数的测定.....	(24)
1. 球铁曲轴冷却曲线的测定.....	(24)
2. 球铁曲轴凝固时膨胀力的测定.....	(27)
3. 型壁移动的测定.....	(30)
六、铁模挂砂铸造球铁曲轴的缩松及机械性能.....	(32)
1. 缩松.....	(32)
2. 机械性能和金相组织.....	(34)
结束语.....	(36)
参考资料.....	(36)

大功率柴油机球铁曲轴铁模挂砂铸造

铁道部戚墅堰机车车辆工艺研究所

杨届平 申澎运 许伯兴

前 言

球墨铸铁是一种重要的结构材料,具有优良的铸造性能和使用性能。所以自从球墨铸铁问世以来发展非常迅速,使用日趋广泛,我国采用球墨铸铁生产内燃机车用大功率柴油机曲轴已有近二十年的历史,积累了丰富的经验。随着我国铁路运输事业的发展,柴油机功率的提高及其强化,对球墨铸铁曲轴提出了更高的要求,因此进一步完善生产工艺,提高球墨铸铁曲轴质量已成为内燃机车大功率柴油机生产的当务之急。

大功率柴油机球墨铸铁曲轴的内部缩松是生产中长期存在的关键问题之一。为了减少球铁曲轴内部缩松,过去采用了许多措施,做了大量的工作。但是由于没有深刻认识球墨铸铁的凝固特性,没有找到主要矛盾,措施的针对性不强,所以问题没有从根本上得到解决,根据戚墅堰机车车辆工厂统计^[1],1973年生产的72根二千马力柴油机球铁曲轴中,缩松超过技术条件规定的有23根,占32%。

大断面球墨铸铁曲轴容易产生内部缩松是与球铁的凝固特性密切相关的,国内外进行了大量的试验研究,取得了良好的效果。我们在研究球铁的凝固特性,分析砂型铸造大功率柴油机球铁曲轴缩松产生的原因的基础上,提出了采用铁模挂砂铸造工艺生产大功率柴油机球墨铸铁曲轴,以解决球铁曲轴生产中长期存在的缩松问题。

铁模挂砂铸造法又称“背面金型壳型法”、“覆砂造型壳型法”等,是六十年代末出现的一种新的铸造工艺方法。它是在壳型铸造的基础上发展起来的,兼有金属型铸造和砂型铸造的优点,铸件尺寸精度高,机械性能好,节约人工、造型材料和设备,成本低等。特别是这种方法用于球墨铸铁铸件的生产,由于铸型刚度大、冷却速度快,可以充分利用球铁在凝固过程中石墨化膨胀,以进行球铁铸件的自补缩,从而能够减少以至消除球铁铸件的内部缩松。

铁模挂砂铸造法就是在成形金属型内表面覆挂一层薄的型砂层,并与金属型成为一体的铸型,在没有冒口或很小冒口的情况下获得致密的球铁铸件的一种方法。这一方法首先在日本采用,于1967~1968年开始生产汽车的汽缸体,继而在球铁曲轴上应用,并于1968年8月建成了汽车发动机用球铁曲轴生产流水线,生产排气量从360毫升到2000毫升的十种发动机曲轴。西德福芦库斯瓦根公司于1967年建成了流水线,采用铁模挂砂法生产重量为6.6~10.3公斤的8种汽车制动鼓和制动盘,两条流水线设计生产节拍为15秒,每小时可生产铸件960个,在三班24小时内可生产16000~19000个铸件。在苏联,也对铁模挂砂铸造工艺进行了研究并用于生产球铁曲轴。南亚一些国家也在研究采用此法制造汽车的汽缸体,由于这一方法

所具有的许多优点,虽然研究的时间较短,但发展非常迅速,应用越来越广泛,特别是对于大量生产的情况下,更显示出这一铸造工艺方法的优越性。

铁模挂砂法国外多用于生产重量几公斤至几十公斤的小型铸件,大功率柴油机铁模挂砂铸造国内外尚无先例,戚墅堰机车车辆工艺研究所和戚墅堰机车车辆工厂、西安交通大学等单位从1974年开始对四千马力柴油机球铁曲轴铁模挂砂铸造工艺进行了试验研究,取得了良好效果,在此基础上从1976年开始对二千马力柴油机球铁曲轴铁模挂砂铸造工艺进行了试验研究,经过反复试验,进一步认识了球铁的凝固特性,明确了大断面球铁曲轴内部缩松形成的机理,基本掌握了大功率柴油机球铁曲轴铁模挂砂铸造工艺的规律,浇注出一批合格曲轴,装在内燃机车用柴油机上进行试验,取得了良好的效果。铁道部科学技术委员会于1978年11月组织有关单位对该项成果进行了鉴定,鉴定会议认为,大功率柴油机球铁曲轴铁模挂砂铸造是在球铁凝固过程理论的指导下试验研究成功的一种新的工艺方法,达到了先进水平,这一工艺方法综合了金属型铸造和砂型铸造的优点,对提高球铁铸件的质量具有重大的作用;这一方法工艺简单,操作方便、节约造型材料,减轻工人劳动强度、提高劳动生产率,具有良好的经济效益;这一方法经过大量试验研究工作、解决了大型金属型设计,挂砂层材料、铸造工艺等一系列问题。为大功率柴油机球铁曲轴的生产开辟了一条新的道路。

一、大断面球铁曲轴内部缩松形成的原因

众所周知,球墨铸铁在凝固过程中由于温度的降低和状态的改变要产生体积收缩,与此同时由于石墨的析出要产生体积膨胀,因此球墨铸铁铸件是否形成内部缩松主要取决于液态收缩、凝固收缩和石墨化膨胀等相互叠加的结果。如果工艺措施得当,能够充分利用球铁凝固过程的石墨化膨胀,可以抵消球铁在凝固过程中因状态的改变和温度的降低所产生的体积收缩,即使在无冒口的情况下也可以得到致密的铸件;如果工艺措施不当,石墨化膨胀不仅得不到充分利用,反而造成型壁的移动,再加上球铁凝固过程中的体积收缩,使球铁件形成大面积的内部缩松甚至缩孔。大功率柴油机球铁曲轴由于形状复杂、断面厚、重量大,冷却慢,在凝固过程中能否充分利用石墨化膨胀显得更加突出。

1. 球铁的凝固特性

关于球铁的凝固特性,大量研究证明球铁与灰铁有很大不同。球铁由于共晶温度转变范围较宽,并且其导热系数较低,因此当球铁铁水浇入铸型之后,凝固外壳的形成和生长均较缓慢。资料〔2〕指出,球铁凝固层的增长率仅为灰铁的 $\frac{1}{6}$ 。而在铸件凝固表层内,铁水长时期处在液—固相共存的状态,共晶液体在整个凝固期间均存在于全部断面上,即形成了球铁的所谓“糊状凝固”。灰铁由于共晶温度转变范围较小,导热系数较球铁大,使其凝固层的形成和生长均较快,即形成了灰铁的所谓“层状凝固”。这样,较厚的凝固层外壳便自然形成一种紧固力量,使外壳内部的铁水在凝固过程中由石墨析出而引起的石墨化膨胀引向内部,起到充填补偿铁水凝固收缩的作用。而球铁在凝固过程中,由于外层薄、强度低而内部处于“糊状凝固”状态,凝固始终是在一个刚性较差的塑性固体壳内进行,壳内铁水每析出

1%碳使体积膨胀达2%以上,使固体壳内的铁水产生凝固内压力。球铁在凝固过程中石墨化膨胀力很大(这点在后面叙述的“石墨化膨胀力的测定”中可以看出),在刚度小的铸型中将引起型壁移动,使铸件尺寸增大。与此同时铸件表层内的共晶熔液由于温度的下降也要产生体积收缩,这两者叠加在铸件内部形成的空隙,靠冒口等外来铁水进行补缩是很困难的。

2. 砂型铸造工艺的分析

为了解决大功率柴油机球铁曲轴的内部缩松,除了调整球铁化学成份、控制残留镁量和残留稀土量、加强孕育等措施外,在砂型铸造的基础上进而放置冷铁或采用冒口加压等,但是由于铸型仍为砂型,刚度没有提高,球铁凝固过程中型壁移动比较大,石墨化膨胀仍不能得到充分利用,所以缩松没有得到很好的解决。

(1) 冒口的补缩作用:

大功率柴油机球铁曲轴砂型铸造目前均采用横浇立冷、顺序凝固、冒口补缩的典型工艺。这一工艺从冒口的补缩作用来看,对于液态收缩能够起到一定的作用,但是对于凝固过程中的收缩,如前所述由于球铁呈“糊状凝固”靠冒口中的铁水在凝固过程中进行补缩是非常困难的,同时由于曲轴结构复杂,重叠度小,更增加了铁水在补缩过程中的阻力,生产实践表明,冒口中的铁水是补缩不到曲轴的底部的,能够补缩上面的一二拐就已经很好了。

由于采用的是砂型,尽管是烘模,但比起凝固过程中石墨化膨胀所产生的凝固内压力来,铸型的刚度仍然是不够的,在凝固过程中石墨化膨胀所引起的型壁移动还是很大,使曲轴的外型尺寸胀大,内部形成缩松,同时由于冒口最后凝固,在球铁曲轴凝固过程中石墨化膨胀的压力还可能将部分共晶熔液挤压到冒口中去。

(2) 冷铁的作用:

在原来横浇立冷、冒口补缩砂型铸造工艺的条件下,液态收缩的补缩很大程度上决定于补缩通道的畅通与否,而补缩通道是由主轴颈和连杆颈的重叠度形成的。例如二千马力柴油机球铁曲轴,各连杆颈的分布角度在 $36^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 之间变动(见图22),连杆颈V—IV的交角为 72° ,连杆颈VII—VI交角为 36° ,连杆颈II—I, IV—III、VII—VI、X—IX的交角为 108° ,补缩通道较近。而连杆颈III—II, IX—VIII的交角为 144° ,连杆颈VI—V的交角为 180° ,补缩通道较远,使连杆颈II、V、VIII的补缩比较困难,而V、VIII距冒口较II远更难以得到冒口铁水的补缩。因此在原来砂型铸造的基础上,在V、VIII连杆的过桥泥芯处设置外冷铁,以吸收铁水液态过热,减少部分液态收缩,改善该处的冷却条件,使V、VIII连杆颈的缩松有所减少,有一定的效果。

但是冷铁本身并不能对凝固过程中球铁产生的体收缩提供任何液态铁水的补偿,一般冷铁所以对消除铸件的缩松有一定效果,主要是它使整个铸件加强了指向冒口的顺序凝固,增加了冒口的有效补缩距离,从而提高了冒口的补缩效果。但是对大功率柴油机球铁曲轴来说,冒口的补缩距离是有限的,而又由于球铁的凝固特性在凝固过程中借冒口铁水补缩也是困难的。因此采用外冷铁其作用也不过吸收铁水的部分液态过热,减少部分液态收缩,对凝固过程中的体收缩不会有任何作用。

(3) 冒口加压:

为了减少大功率柴油机球铁曲轴的内部缩松,提高冒口的补缩效果,在砂型铸造的基础

上采用了冒口加压工艺,曲轴浇注之后在冒口顶部通压缩空气或氮气,试验最大压力为8个大气压。采用冒口加压工艺的球铁曲轴,经探伤内部缩松没有多大改变,效果不大。主要原因是,虽然冒口加压之后,增加了冒口的有效补缩距离,但由于铸型是砂型,刚度较低,球铁凝固过程中,外加压力和石墨化膨胀力叠加,引起更大的型壁移动,抵消了冒口加压的补缩作用,所以采用冒口加压工艺在砂型铸造条件下,也不能很好地消除球铁曲轴的内部缩松。

综上所述,球墨铸铁在凝固过程中一方面由于温度下降共晶铁水要产生体积收缩,另一方面由于石墨析出产生体积膨胀。如果这一过程在一刚性外壳内进行,由于两者相互叠加的结果,可以互相抵消而不产生缩松。但是球铁在凝固过程中外壳很薄处于塑性状态,不足以抵抗石墨化膨胀所产生的压力,因此就对铸型提出了比较高的要求,使铸型的刚度成为解决大功率柴油机球铁曲轴内部缩松的关键问题。而砂型铸造满足不了这种曲轴对于铸型的刚度要求,必须寻求更大刚度的铸型以抵抗球铁凝固过程中的石墨化膨胀力,将石墨化而产生的体积膨胀引向铸件内部,从而解决大功率柴油机的内部缩松。不少资料^[3]指出,在铸型具有一定刚度的条件下,充分发挥石墨化时形成的膨胀压力实现自身补缩,在无冒口的情况下完全可以获得致密的铸件。这就是我们研究大功率柴油机球铁曲轴铁模挂砂铸造工艺这一课题所要达到的目的。

二、铁模挂砂铸造工艺装备设计

如前所述,铁模挂砂法是在成形金属型内表面覆挂以薄的砂层并与金属型成为一体,在没有冒口或者很小冒口的情况下,获得健全铸件的方法。因此成形金属型及其附属工艺装备的设计和挂砂层材料及挂砂工艺是这一铸造方法所要研究的两个主要内容。不同铸件的金属型及其附属工艺装备的设计原则基本相同,但金属型的结构依铸件的不同而不同。在大功率柴油机球铁曲轴铁模挂砂铸造工艺试验中,我们首先设计制造了四千马力球铁曲轴的铁模挂砂铸造工艺装备,基本满足了试验的要求,在此基础上,根据已经取得的经验和试验中发现的问题进行了二千马力球铁曲轴铁模挂砂铸造工艺装备的设计制造,满足了试验和生产的要求,经受了生产的考验。

1. 金属型厚度和挂砂层厚度

为了充分利用球铁凝固过程中的石墨化膨胀以进行自补缩,必须提高铸型的刚度。铸型中刚度最大的铸型为金属型,然而这种铸型由于冷却速度过快,可能在球铁曲轴中形成渗碳体或白口,影响曲轴的性能和使用,为了有效地利用金属型的刚度和高的冷却速度,同时又防止由于冷速过快带来的问题,所以采用金属型内表面覆挂薄的砂层与金属型形成一体的铸型。

成形金属型要半永久使用,因此其壁厚和结构应从刚度、耐久性和操作方便来考虑。四千马力柴油机球铁曲轴铁模挂砂工艺试验时采用厚度为50毫米的金属型,铁水浇注后金属型温度最高为330℃,没有发生变形现象,而且型壁移动也很小,表明金属型的壁厚是能够满足要求的,而二千马力球铁曲轴金属型厚度取40毫米。

挂砂层的厚度应从冷却速度和防止激冷并结合金属型的壁厚综合进行考虑。挂砂层过厚,则冷却速度减小,且过厚的砂层将使型壁移动增大。影响整个铸型的刚度;挂砂层过

薄,则热传导显著,并且可能由于金属型的温度升得过高造成金属型的膨胀变形,使型壁移动增大;过薄的挂砂层,使铸件的冷却速度过快,造成碳化物的增多或局部白口;另外挂砂层太薄,对挂砂层型砂的均匀性和紧实度均带来不良影响。因此挂砂层的厚度应结合金属型的厚度综合进行考虑。国外在汽车发动机曲轴铁模挂砂工艺试验中,采用树脂砂、二氧化硅砂、自硬砂、水泥砂等作为挂砂层材料,在金属型的内表面分别覆挂3~15毫米的砂层使之与金属型成为一体,均取得了良好的效果。我们在大功率柴油机球铁曲轴铁模挂砂铸造工艺的试验中,由于铸件重、尺寸大,同小曲轴相比,挂砂层的厚度应该大一些,以防止金属型的温度升得过高而变形,同时由于采用了我们试验研究成功的矾土水泥流态砂或双快水泥流态砂,为了挂砂成型的方便,挂砂层也需要有一定的厚度。我们初步确定挂砂层厚度为15毫米,采用实物曲轴的两拐进行模拟试验,挂砂层成型情况良好,紧实度也比较均匀,浇注出的模拟试样,经探伤内部缩松大大减少。因此在四千马力球铁曲轴铁模挂砂铸造工艺试验中,挂砂层厚度取15毫米,获得了良好效果。而对于二千马力球铁曲轴,考虑到加粗曲轴和加粗曲轴金属型能够通用,所以设计时成型金属型尺寸是按照加粗曲轴确定的,这样挂砂层厚度,对于加粗曲轴均为15毫米,而对于不加粗曲轴主轴颈部分挂砂层厚度为24毫米,其余部分为15毫米。采用这样厚度的挂砂层所浇注出的曲轴没有发现碳化物的增多现象,为了进一步提高球铁曲轴的冷却速度,在新的工艺装备中我们将挂砂层厚度减少为12毫米。

2. 金属型结构

金属型是工艺装备中的关键。铸件的结构不同,金属型的结构也随之不同,因此在金属型的结构设计中根据二千马力和四千马力球铁曲轴的结构特点,设计制造了不同类型的金属型。

(1) 四千马力球铁曲轴金属型结构:

功率为四千马力的16V240Z柴油机球铁曲轴净重约1600公斤,全长3775毫米,有8个连杆颈和9个主轴颈,主轴颈为 $\phi 220$ 毫米,连杆颈为 $\phi 185$ 毫米,均为中空结构,冲程为275毫米,结构见图20。设计要求 $\sigma_b \geq 80$ 公斤/毫米², $\delta_5 \geq 1.0\%$, $\alpha_k \geq 1.5$ 公斤·米/厘米²;毛坯经加工后进行超声波和X射线探伤,以检查内部缩松情况。

根据四千马力球铁曲轴的结构,金属型设计为整体金属型,采用箱式结构,四周和外侧均有加强筋,以提高金属型的刚度。金属型分上型和下型,其内腔与曲轴的外形相同,仅放大一挂砂层厚度,即依曲轴的外形尺寸放大15毫米。内腔部分均匀地钻有 $\phi 10$ 的排气孔多个,由于四千马力球铁曲轴毛坯近5米长,如按线收缩7%计算,则曲轴长度方向总收缩量达30多毫米,而挂砂层厚度仅15毫米,显然靠这些型砂的退让是满足不了收缩的要求的。为了使曲轴在冷却过程中能够比较自由地收缩,减少应力,防止裂纹,因此必须采用活块结构。根据四千马力球铁曲轴的结构,在连杆颈的曲柄颈之间和主轴颈两侧的曲柄颈之间是阻碍曲轴的长度方向自由收缩的部位,因此在整体金属型内这些阻碍收缩的部位采用活块结构,上下金属型各有15块活块。在挂砂成型之前将活块用螺栓紧固在金属型上,金属型上螺栓穿过的孔为椭圆形,当曲轴凝固结束后,松开螺栓使活块在金属型内随曲轴的收缩而移动。

(2) 二千马力球铁曲轴金属型结构:

二千马力柴油机10L207E是一种对置式二冲程中速发动机,每台柴油机装有上下两根曲轴,上曲轴长3740毫米,净重1050公斤,下曲轴长3862毫米,净重1068公斤,上下曲轴均有

12个主轴颈和10个连杆颈，主轴颈直径204毫米，连杆颈直径172毫米，轴颈均为空心结构，曲轴结构见图22。

根据技术条件要求，在球铁曲轴顶端轴颈加长部分截取机械性能试棒，机械性能要求为 $\sigma_b \geq 55$ 公斤/毫米²， $\delta_5 \geq 1\%$ ， $\alpha_k \geq 1.0$ 公斤·米/厘米²，HB=201~302，毛坯经初加工后进行超声波和X射线探伤，以检查内部缩松情况。

根据二千马力球铁曲轴的结构，在曲轴冷却过程中除了主轴颈和连杆颈两侧的曲柄颊之间是阻碍收缩部位外，每个曲拐之间也都相互阻碍收缩，因此再采用四千马力球铁曲轴那样的金属型结构，即整体金属型内带有小活块的结构已经满足不了收缩要求，根据二千马力球铁曲轴的结构特点，设计了金属型本体设置分段活块的结构。

金属型本体采用箱式结构并在背面有很多加强筋以提高刚度，本体内腔为R326⁺¹半圆柱形，底部有 $\phi 30$ 的总排气孔12个，为了抵抗铁水凝固过程中的石墨化膨胀力，上下箱必须强有力地紧固，因此设计中金属型本体采用双层箱耳22只，合箱时用M30螺栓紧固，金属型本体结构如图1。

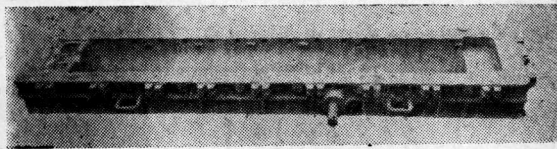
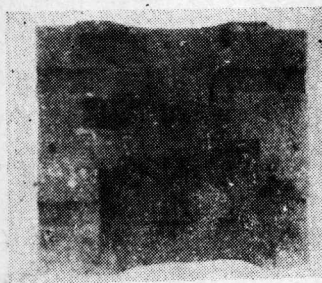
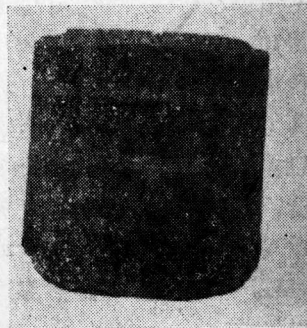


图1 金属型本体

按照二千马力柴油机球铁曲轴的结构特点，每片金属型有六块活块，活块内腔形状与曲轴相似，依曲轴毛坯外形尺寸再放大15毫米挂砂层厚度而成，活块外形尺寸为R326⁻¹的半圆柱形，以与金属型本体相配合。一至五段活块每段形成两个连杆颈和相邻的主轴颈，活块上每隔100~150毫米设置 $\phi 10$ 的排气孔一个，铁水浇注时型腔型砂中的气体经排气孔排出型外。活块结构如图2所示，活块在金属型本体内部组装时，活块之间留有16毫米的间隙。



a) 正面



b) 背面

图2 活块结构

活块与金属型本体的定位：活块与金属型本体分别划线，每段活块有 $\phi 20$ 定位孔2个，相应部位的金属型本体上也有两个 $\phi 20$ 的定位孔，利用卡板将活块和金属型本体定位而置于金属型本体内。

活块与金属型本体的紧固如图3所示，1，2为相邻的两个活块，活节螺栓4通过销子5将两个活块紧固在金属型本体3上，每个活块左右前后共有四处被活节螺栓所紧固。金属

型上箱由于合箱时要翻转180°，为了加强活块与金属型本体紧固的可靠性，防止移动，除采用活节螺栓紧固外，每个活块另加一紧固螺栓从金属型本体背面穿过，而将活块与金属型本体紧固，如图4所示。所有活块的紧固螺栓、活节螺栓通过金属型本体的孔均为椭圆形，以便曲轴浇注后铁水凝固结束，松开紧固螺栓、活节螺栓之后，活块能够在金属型本体中自由移动。

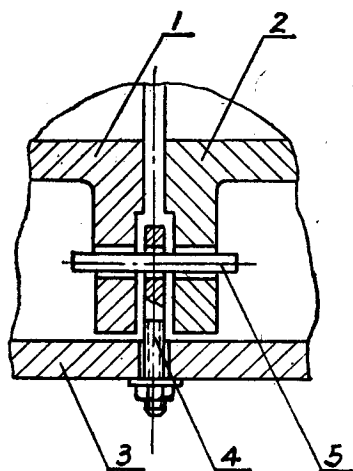


图3 活块的侧面紧固

1, 2—相邻活块；3—金属型本体；4—活节螺栓；5—销子。

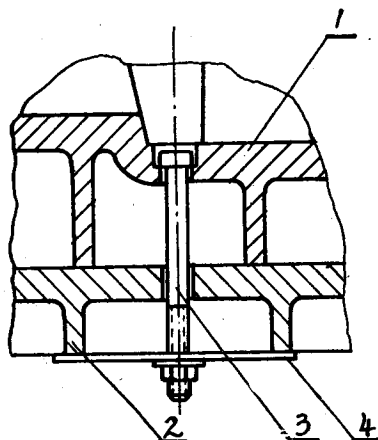


图4 活块的背面紧固

1—活块；2—金属型本体；3—紧固螺栓；4—压板。

上下金属型合箱采用定位销，金属型本体有两个销孔，一个为圆形，一个为椭圆形。

从上述四千马力球铁曲轴和二千马力球铁曲轴金属型的结构可以看出：四千马力球铁曲轴金属型是一种专用结构，仅对象我们试验的四千马力球铁曲轴这样的产品适用，而二千马力球铁曲轴金属型是一种通用结构，对各种类型曲轴均可使用。

通过大功率柴油机球铁曲轴金属型结构的设计和铁模挂砂铸造工艺试验，我们认为金属型设计应考虑以下几个问题。

(1) 金属型设计必须保证铸型的刚度和球铁曲轴凝固结束后在曲轴长度方向能够自由收缩；

(2) 为了抵抗球铁在凝固过程中的石墨化膨胀，铸型必须进行强力紧固。因此金属型的箱耳设计成双耳结构，合箱时用大螺栓紧固是适宜的；

(3) 必须考虑铸型的排气，活块和金属型本体上每隔100~150毫米设置一个排气孔是需要的。

3. 横梁和漏模

由于采用流态砂压模成型工艺，为保证顺利挂砂成型，设计了横梁结构。曲轴组装在横梁上，横梁两端有两个定位销孔，一为圆孔，一为椭圆孔，与金属型之定位销孔相对应，横梁结构见图5。



图5 横梁结构

为保证分型面平整和起模时型腔不被损坏,采用了漏模装置,由漏模框和漏模板组成,漏模板为20毫米厚的铸铁板分段加工而成,用埋头螺栓紧固在漏模框上,由于采用流态砂压模成型工艺,所以在漏模框内侧30毫米处沿长度方向有宽度为30毫米的长孔多个,以便压模时多余的流态砂能够从该孔中溢出,漏模结构见图6,漏模框上也设有两个定位销孔,一为圆孔,一为椭圆孔,与金属型相对应。

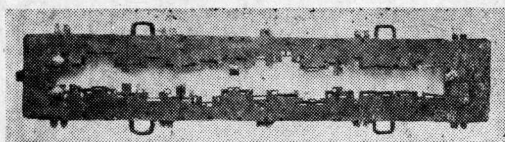


图6 漏模结构

这样,金属型、漏模、横梁均有两定位孔相对应,压模成型及合箱均以此定位,防止错边。

三、挂砂层材料

日本、西德、美国、苏联等国采用铁模挂砂法生产中小型铸件,一般是采用树脂砂射芯成型。但是,对于我们生产的内燃机车用球铁曲轴这样的大型铸件,铸件毛坯长4米多,金属型宽1米,长5米多,如何在金属型内表面覆挂一层薄的型砂层,国内外尚无先例可以借鉴。这样大的金属型如果采用射砂成型,显然在设备和工艺上都是困难很大的,同时为了充分利用球铁在凝固过程中的石墨化膨胀进行自身补缩,减少球铁凝固过程中的型壁移动,对挂砂层材料也提出了一定的工艺性能和高溫性能要求。因此,挂砂材料和挂砂方法的研究是铁模挂砂铸造工艺的主要内容之一。

根据大功率柴油机球铁曲轴的结构特点,我们分析了国外的挂砂材料和挂砂工艺,对矾土水泥流态砂和双快水泥流态砂进行了研究,经过实验室试验和实物试验,确定了矾土水泥流态砂和双快水泥流态砂比较能够满足铁模挂砂铸造工艺的要求。在此基础上,对双快水泥流态砂进行了深入研究,确定了双快水泥流态砂试样的制取方法,选择了合适的发泡剂,确定了双快水泥流态砂的合适配比,掌握了铁模挂砂压模成型的工艺规律,进行了大功率柴油机球铁曲轴铁模挂砂试验,浇注出一批合格曲轴,取得了良好的效果。

1. 试验方法和要求

试验室试验采用10公斤碾轮式混砂机混制流态砂,混砂机转速为30转/分。

(1) 混砂工艺:

原砂+矾土水泥（或双快水泥） $\xrightarrow{\text{干混 2 分钟}}$ 加发泡剂（和促硬剂）的水溶液
 $\xrightarrow{\text{湿混 1.5~2 分钟}}$ 出砂

（2）抗压试样及其成型方法：

抗压试样尺寸为 $\phi 50 \times 50$ ，采用木制芯盒制取。在矾土水泥流态砂试验中，将流态砂注入试样芯盒内，上面刮平，半硬化后取出，每次取两个试样测其小时抗压强度，取其平均值。这种制取抗压试样的方法人为因素影响较大，所以测得的数据波动较大，因而在双快水泥流态砂试验中进行了改进：制作抗压试样时在芯盒上面放置 $\phi 50 \times 10$ 的补砂框，一次将流态砂填满刮平，然后每个试样上加重量为500克的 $\phi 48 \times 70$ 的压铁压15分钟，取下压铁和补砂框，将试样刮平，适时脱模，取样做小时抗压强度，每次做两个试样取其平均值。抗压强度试样制取情况如图7所示。

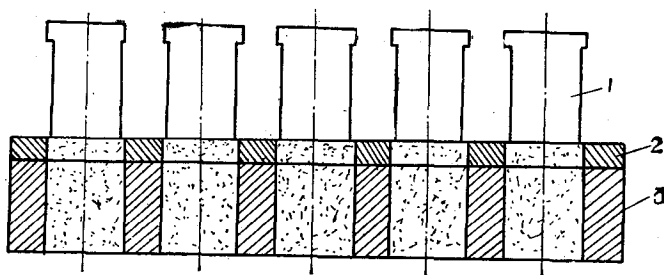


图7 抗压强度试样的制取

1. 压铁 2. 补砂框 3. 芯盒

（3）流动性测定：

流动性是流态砂的主要性能指标之一，它不仅影响流态砂的强度，而且影响到挂砂工艺过程的顺利进行，因此流动性是试验和生产过程中控制的主要参数之一。在矾土水泥流态砂试验中，将流态砂注入如图8所示的模型内，上面刮平并立即拔出模型，测定流态砂下塌值即为流动性。但这种测定方法由于采用人工拔模，影响流动性测定的稳定性，因此在双快水泥流态砂试验中设计了流动性测定仪（如图9所示）。测定时一次将流态砂填满试样盒，上面刮平，然后重锤降落，试样盒提升，流态砂塌下，测其下塌高度即为流动性的读数。

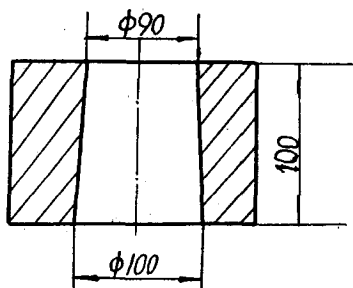


图8 流态砂流动性测定模型

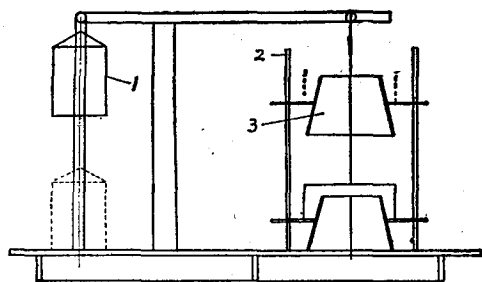


图9 流动性测定仪简图

1. 重锤 2. 导杆 3. 试样盒

$$\text{流动性}(\%) = \frac{\text{试样芯盒的高度(毫米)} - \text{塌下后试样的高度(毫米)}}{\text{试样芯盒的高度(毫米)}}$$

为了充分利用球铁在凝固过程中的石墨化膨胀,减少铸型的型壁移动,并且保证铁模挂砂压模成型工艺的顺利进行,流态砂需满足以下要求:

- ①流动性50~60%;
- ②不粘模,具有良好的表面稳定性;
- ③具有一定的早期强度和高的终强度;
- ④具有较好的高温性能。

2. 矾土水泥流态砂试验

(1) 原材料:

原砂: 广州砂40/70目

矾土水泥: 500号高钙矾土水泥(上海白水泥厂出品),其化学成份和物理性能如表1、表2所示。

表1 矾土水泥的化学成份

成 份	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂
含量(%)	57.14	33.14	3.83	1.77	0.63	3.21

表2 矾土水泥的物理性能

抗压强度(公斤/厘米 ²)			抗拉强度(公斤/厘米 ²)			耐火度
1 天	8 天	28 天	1 天	8 天	28 天	℃
500	590	736	32.6	31.4	30.3	1430

发泡剂: 烷基苯酚环氧乙烷(OP-10), 氧化乙烯脂肪醇(平平加), 仲烷基硫酸钠(Teepol XL) 烷基磺酸钠(M80)

促硬剂: 氯化锂(LiCl·H₂O)

(2) 矾土水泥流态砂的配比:

所谓流态砂就是在型砂中加入一定量的发泡剂水溶液使型砂具有流动性。一般随发泡剂及水量的增加而流动性提高,强度下降。矾土水泥的作用是在型砂中生成水化铝酸钙(CaO·Al₂O₃·10H₂O)起粘结作用。试验中,控制矾土水泥的加入量为12%,在流动性基本相同(约30%)的情况下,发泡剂种类对小时抗压强度的影响如图10所示,相应的流态砂配比如表3所示。

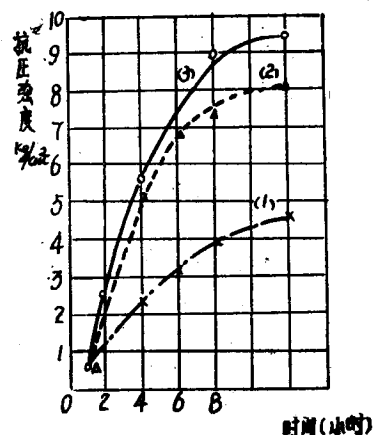


图10 不同发泡剂对矾土水泥流态砂强度的影响

表3 矾土水泥流态砂的配比

序 号	广 州 砂	OP-10	Teepol XL	水	矾土水泥	LiCl·H ₂ O
1	100	0.04		8	12	0.03
2	100	—	0.1	8	12	0.01
3	100	0.015	0.065	8	12	0.008

试验表明, 分子型发泡剂OP-10具有较好的发泡效果, 在达到同一流动性的情况下其用量较少, 但就流态砂的抗压强度而言, 则以阴离子型发泡剂仲烷基硫酸钠Teepol XL为佳。因此, 选用混合发泡剂 (序号3) 20% OP-10+80% Teepol XL获得两者特性相互叠加的效果。

通常水泥的硬化速度是缓慢的, 为了增加流态砂的硬化速度, 试验中加入微量的氯化锂, 以促进早期水化, 提高早期强度。试验表明, 当加入量为0.02%时, 硬化较快, 早期强度较高, 但终强度不高, 最后确定以加入0.01%为宜。

3. 双快水泥流态砂的试验研究

矾土水泥流态砂作为挂砂层材料虽能满足铁模挂砂工艺试验的需要, 但在生产上应用还有一些问题。例如, 虽然加入促硬剂氯化锂提高了硬化速度, 但仍不能满足生产的需要。在实物曲轴试验时流动性约50%的条件下, 起模时间仍需1.5~2小时, 特别是气温较高时硬化速度更慢, 甚至长时间不硬化。这是因为矾土水泥的主要成份水化铝酸钙 ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), 在大于30°C或高的pH值的情况下, 迅速转变为结构较差的立方晶体的水化铝酸三钙 ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), 引起强度下降。为了满足大功率柴油机球铁曲轴铁模挂砂铸造的需要。克服矾土水泥流态砂的缺点, 在矾土水泥流态砂的基础上试验研究了双快水泥流态砂, 获得了良好效果, 满足了生产上的需要。

(1) 原材料:

原砂: 采用40/70目、20/40目广州5[#]、4[#]砂, 其粒度分布如表4。

表4 原 砂 粒 度 分 布

筛 号	6	12	20	30	40	50	70	100	140	200	270	底 盘
4 [#] 留量	—	—	56.18	29.84	11.82	1.42	0.64	0.2	0.1	0.08		
5 [#] 留量	—	—	0.14	13.34	24.50	32.44	22.84	4.92	0.68	—		0.36

双快水泥:

采用吴淞水泥厂生产的17[#]双快水泥, 双快水泥与普通水泥相比具有快凝快硬的特性, 其原因在于其化学成份与矿物组成与普通水泥不同, 以硅酸三钙 ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) 和氟铝酸钙 ($11\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaF}_2$) 为主要成份的双快水泥, 加水后迅速生成水化铝酸盐, 这种水化物与水泥中的石膏起反应, 很快生成32个结晶水的硫铝酸钙 ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$)

和部分低结晶水的硫铝酸钙 ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), 从而较快地获得抗压强度。
17*双快水泥熟料化学成份和矿物组成见表5、表6。

表5 熟料化学成份

编 号	成 份	烧失	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	F	fCaO
17*		0.29	16.8	14.19	1.51	0.58	62.62	0.32	2.84	0.53	0.41	1.68	0.50
普通		—	20.87	6.07	4.83	—	65.19	—	—	—	—	—	0.93

表6 熟料的矿物组成

编 号	成 份	C ₃ S	C ₂ S	C ₁₁ A ₇ CaF ₂	C ₃ A	C ₄ AF	C ₂ F
17*		55.7	6.7	26.0	—	4.6	—
普 通		55.1	18.3	—	7.9	14.7	—

发泡剂:

①OP-10, 烷基苯酚环氧乙烷, 是非离子表面活性剂。

②Teepol XL、仲烷基硫酸钠

③JFC、异辛酸聚乙醇醚($\text{C}_8\text{H}_7\text{O}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_{7-8}\text{H}$)非离子表面活性剂, 它可同各类型表面活性剂混用。发泡快、发泡量大、与水泥不起任何反应, 是较理想的发泡剂之一。

(2) 原材料对双快水泥流态砂性能的影响:

①原砂粒度的影响:

原砂颗粒大小不同对双快水泥流态砂的抗压强度直接产生影响, 为此做了三组试验, 其结果见表7、图11。

表7 原砂粒度对抗压强度的影响

原 砂 (%)		配 比 (%)				流 动 性 (%)	试 验 条 件		常 温 强 度 (公斤/厘米 ²)							
4*	5*	砂	水泥	水	JFC		气温	湿度	0.5小时	1小时	2小时	4小时	6小时	8小时	24小时	48小时
	100	100	12	11	0.2	55	17	87	0.1	0.31	3.5	5.3	7.8	8.4	>9	>9
50	50	100	12	9.75	0.2	60	18	95	0.11	0.45	3.4	5.4	5.6	7.7	>9	>9
100		100	12	8	0.2	60	18	76	0.04	0.2	0.49	3.5	3.9	4.9	5.2	8

从表7和图11可以看出, 在试验条件相同的情况下, 改变砂子的粒度, 其抗压强度明显不同。采用50%4*砂+50%5*砂作原砂, 从抗压强度看能满足要求, 但试样的稳定性较差。采用100%4*砂, 初强和终强均达不到要求。而采用广州5*砂, 无论早期强度、终强度都能满足要求, 并且稳定性较好, 因此, 选用5*广州砂作为原砂。

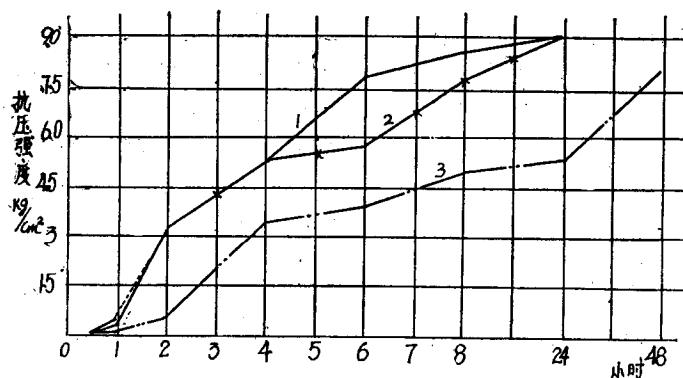


图11 原砂粒度对抗压强度的影响

1. 5*砂 2. 50%5*50%4*砂 3. 4*砂

②双快水泥加入量的影响:

双快水泥加入量直接影响型砂的抗压强度, 在满足流态砂所需抗压强度的情况下, 选择最低的水泥加入量, 为此做了两组试验, 如表 8、表 9、图12、图13所示。

表 8 OP—10为0.15%时不同水泥加入量的抗压强度

配 比 (%)				流动性 (%)	试验条件		抗 压 强 度 (公斤/厘米 ²)							
砂	水泥	OP-10	水		气温 (℃)	湿度 (%)	0.5小时	1小时	2小时	4小时	6小时	8小时	24小时	48小时
100	14	0.15	15	55	22.5	74	0.13	0.79	3.9	5.42	7.1	7.0	>9	>9
100	12	0.15	13	55	22.5	74	0.13	0.61	3.55	6.2	7.2	8.4	>9	>9
100	10	0.15	14	60	22.5	74	0.07	0.32	1.33	2.85	3.2	4.0	—	6.05
100	8	0.15	13	55	22.5	74	0.035	0.20	1.31	1.92	2.3	2.5	3.6	4.8

从表 8 可以看出, 当OP—10的加入量为0.15%的情况下, 水泥加入量为10%时从抗压强度看满足不了型砂性能的要求, 初强、终强均低。当水泥加入量为12~14%时, 其抗压强度均能满足型砂性能的要求, 所以当OP—10加入量为0.15%时选择水泥加入量为12%。

表 9 JFC加入量为0.2%时不同水泥加入量的抗压强度

配 比 (%)				流动性 (%)	试验条件		抗 压 强 度 (公斤/厘米 ²)							
砂	水泥	水	JFC		气温 (℃)	湿度 (%)	0.5小时	1小时	2小时	4小时	6小时	8小时	24小时	48小时
100	10	11.5	0.2	60	20	89	0.08	0.23	2.6	4.7	5.8	6.0	7.6	>9
100	12	11.5	0.2	55	20	89	0.12	0.56	3.7	5.8	7.4	>9	>9	>9
100	14	11.5	0.2	55	20.5	77	0.15	0.63	4.0	8.2	>9	>9		

从表 9 可以看出, 当JFC加入量为0.2%时水泥加入量为10%的情况下, 48小时终强才达到 9 公斤/厘米², 而水泥加入量为12~14%时, 其 8 小时、6 小时的抗压强度超过 9 公斤/厘米², 其表面性能满足型砂性能的要求, 根据生产曲轴要求, 选定水泥量为12%。

③发泡剂种类及加入量的影响:

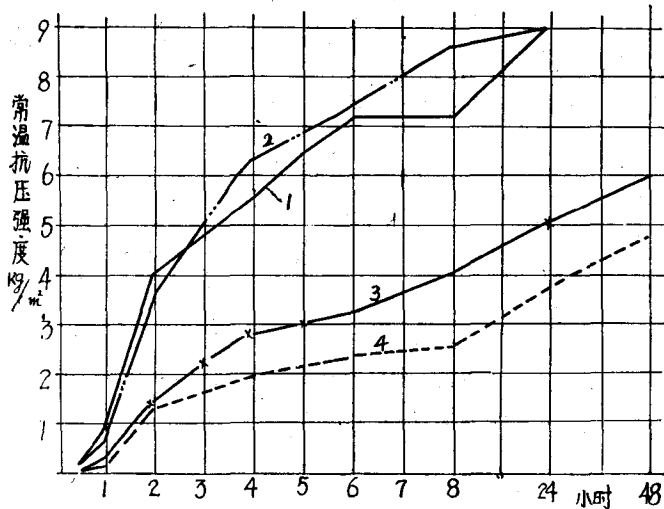


图12 OP—10为0.15%时不同水泥加入量的抗压强度

1. 14%水泥 2. 12%水泥 3. 10%水泥 4. 8%水泥

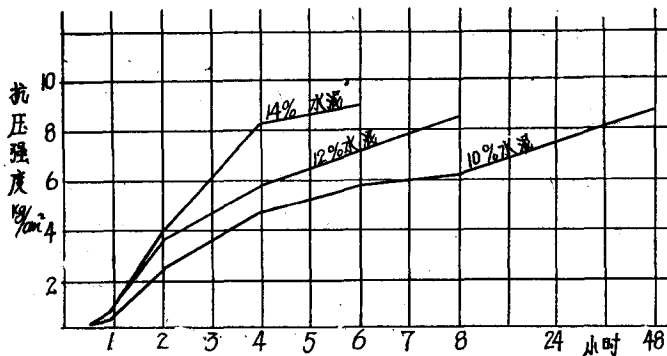


图13 JFC加入量为0.2%时不同水泥加入量的抗压强度

相同配比的流态砂在同一混砂工艺下，其流动性与水份和发泡剂有关，为此分别进行了OP—10和JFC不同发泡剂量和水量的流动性试验，如表10所示。

表10 发泡剂和水加入量对流态砂流动性的影响

发泡剂种类 \ 流动性 (%)		发泡剂加入量 (%)			0.1			0.15			0.2			0.3			0.4		
		加水量 (%)			10	11	12	10	11	12	10	11	12	10	11	12	10	11	12
OP—10					30	43	45	42	49	52	47	48	55	51	53	54			
JFC					50	52	55				55	55	55	57	57	58	58	60	60

从表10可以看出，采用12%水泥配比的流态砂，其流动性随发泡剂量和水量的增加而提高，在同一发泡剂加入量时流动性又随发泡剂品种不同而不同，JFC比OP—10高。而JFC的