

高密度紧实造型对型砂制备 及砂处理系统设计

刘玉孟

(山东大学)

随着汽车及拖运机械制造业的快速发展,对粘土砂湿型造型的铸件尺寸精度、几何形状及位置误差和表面粗糙度等提出了更高的要求。与此相适应的是包括有箱和无箱的高压造型、空气冲击有箱造型及气流+压实有箱造型等高密度紧实造型线在大批大量铸件生产中占了主导地位。仅在最近的15年期间,我国新建和改造的高密度紧实的造型线就有100多条,这将对提高我国铸件生产的水平起着关键的作用。

生产实践的经济表明,先进的造型线能否充分发挥其性能优势和获取好的经济效益,最关键的问题和先决条件之一是其砂处理系统能否向它提供性能稳定的型砂。综观我国造型线使用的实际状况,砂处理不能适应于造型要求的问题还十分突出。从引进铸造设备的角度来看,前面提到的100多条造型线中引进的造型线有70多条,而在这同一时期在砂处理设备方面只引进了30台左右的混砂机及个别的旧砂冷却机和混砂系统。这虽然与国内砂处理设备的配套能力强一些的因素有关,但是与造型线相比砂处理的薄弱环境乃是十分明显的。另外,由于在高密度紧实造型对型砂性能要求的特点方面认识不足,致使在砂处理工艺设计上薄弱环节多、型砂质量检测和措施不力,导致型砂的质量满足不了造型线的使用要求,严重地影响了造型线效能的发挥。

1 高密度紧实造型对型砂的要求

不同的砂型紧实造型线对型砂的要求是不同的,手工造型与机械造型、低中压造型与高压造型其砂型的紧实特性差异很大,对型砂质量和性能的要求差别也很大。在过去的某些砂处理技术改造中由于对这一问题的研究和重视不够,且缺乏严格的检测和控制手段,其后果是型砂性能不稳定而困扰着造型线效能的正常发挥。据统计,我国的铸造生产中由于型砂质量原因而造成的铸件废品占全部铸件废品的50%以上。

根据造型机种类不同,高密度紧实造型的紧实比压在0.7~1.4MPa,其型砂的紧实过程是在高比压和快速中进行的,这与低中压紧实造型差别很大,因而对型砂的质量及性能要求方面有质的差别。

1 要求比较高的湿态强度

对高密度紧实造型,不仅要求型砂有较高的湿压强度而且要求常温下有较高的湿拉强度。

1 湿压强度 高密度紧实造型的型砂必须具有较高的湿压强度以获得尺寸精度高的铸件。但湿压强度也不是越高越好,若湿压强度过高将会使浇注后砂型的残留强度高、溃散性差,这将影响铸件的落砂清理和旧砂的处理。

一般情况下,高压造型要求型砂的湿压强度 $>0.1\sim 0.14\text{MPa}$ 。

2 常温下的湿拉强度

常温下型砂的湿拉强度标志着型砂韧性的优劣。因为高压造型砂型的紧实度高、起模阻力大、模样的拔模斜度小,所以要求型砂在常温下有好的湿拉强度,否则起模时容易损坏砂型。

湿压强度与型砂中粘土的总含量有关。而常湿下型砂的湿拉强度既与型砂中有效粘土的含量有关,也与失效粘土(死粘土)有关。当失效粘土的含量增加时其湿压强度提高,但其常温下的湿拉强度降低,导致起模性能变坏。

常温下型砂的湿拉强度应大于 $20\text{KPa}(0.02\sim 0.025\text{MPa})$ 。

2 透气性

高压造型的砂型密度高、气体通过砂型的阻力大,因而型砂的水分要低以减少发气量。另一方面应选用不易破碎的原砂、定期检查回用砂粒度分布的变化和控制微粉的含量,保证型砂良好的透气性。但透气性不宜过高,否则会影响铸件表面的粗糙度。一般控制在 $80\sim 120$ 左右。

3 流动性

一般来说,高压造型的型腔比较复杂,且型砂紧实的速度快,因而高压造型对型砂的流动性要求高。为保证良好的流动性,除了控制新砂的颗粒形状、型砂的组分及水分外,加入适宜的辅助添加剂既能提高型砂的流动性又可提高型砂的高温经度和透气性。

4 严格的水分控制范围

水分是影响型砂性能最敏感而又是最关键的因素,水分几乎对型砂的各种性能都有影响,但影响的趋势并不一致。高压造型对型砂的最基本也是最重要的要求就是型砂的性能要稳定。因此要严格控制型砂的水分使它处于最适宜的范围,也就是使型砂的各种性能都达到符合高压造型使用要求时的水分范围。

最适宜的水分范围与型砂的组分特别是粘土的含量关系很大,因此单纯地测量型砂的水分不能确切判断型砂性能的优劣。采用测量紧实率的方法来控制型砂的最适宜的水分是最简便而有效的途径。

紧实率能表征加水后型砂的混合程度,且非常容易对紧实试样时的位移量进行检测和量化显示。生产中可以通过选择符合于本厂造型要求的紧实率控制目标值来控制型砂最适宜的水分范围。

高密度紧实造型的紧实率在 $40\pm 3\%$ 左右比较合适。

2 高压造型对回用旧砂的要求

旧砂的品质对高压造型来说非常重要,它的好坏是决定型砂性能是否稳定的最关键的因素。

评价旧砂品质的好坏主要是看其组分和状态(温度、湿度和团块粒度等)是否稳定。组分主要是控制含泥量,状态主要是控制旧砂的温度和湿度。

1 含泥量

旧砂中含泥量对混砂时的加水量、粘土补充量及型砂的各项性能均有影响。在铸件产品比较固定或铁砂比变化不大的造型线上,失效粘土的比率变化比较稳定。若旧砂中含泥量过高,特别是失效的死粘土含量不断增高,这对型砂性能的控制带来很大的困难。因为用加大新砂加入量和不断调整粘土的补充加入量来达到型砂组分和性能稳定的作法既不经济,也给混砂工

艺控制带来很多麻烦。尤其是高压造型线上选用的混砂机其混砂效率都比较高,混砂周期也比较短。要想在短的混砂过程中调节型砂的组分是不现实的。

由于旧砂占型砂组分的90%以上,要想保证型砂的性能稳定其前提条件之一是旧砂的组分要稳定。而控制旧砂组分稳定的关键又在于控制旧砂的含泥量稳定且在允许的范围。

建议旧砂的含泥量最好控制在12%左右。其中失效的死粘土含量不要超过4%。

2 旧砂的温度

控制好旧砂的温度是确保型砂性能稳定的另一关键条件。

在高效率的造型线上旧砂的循环周期比较短。经浇注铁水高温的烘烤,几个循环之后旧砂的温度就会达到很高,有时达100℃左右。旧砂的温度居高不下,型砂的温度也就降不下来,这就出现所谓热砂问题,一般情况砂温超过环境温度15℃就称谓热砂。热砂问题会使混好的型砂脱水而导致型砂的性能变坏及型砂斗和模样粘砂等弊病,严重影响造型的正常进行。

对热旧砂进行冷却的最有效方法就是利用旧砂中水分蒸发吸收热量的原理对旧砂进行强制冷却。由于高压造型的型砂水分本来就不高,其旧砂没有足够的水分蒸发以吸取其热量。因此,需要向旧砂喷入一定的水,即向旧砂增湿。从理论上计算,旧砂蒸发1%的水分可使其温度下降25℃。这样就可以根据旧砂的流量、冷却前旧砂的温度和湿度及冷却后温度和湿度控制的目标值计算出增湿所需的水量。但实际上由于加水的方式、旧砂的含泥量、冷却机的冷却性能、环境空气的湿度、鼓(抽)风量等因素的影响,冷却的实际效果与理论计算值有差异。但其遵循的基本原则是:增湿的水量既要保证有足够的水分汽化吸热使旧砂冷却后的温度达到目标值,又要保证冷却后旧砂的水分控制在适宜的范围。

冷却后的旧砂温度最好控制在低于环境温度10℃以内。

3 旧砂的湿度

高压造型其型砂的水分比较低且控制范围比较严格,因而旧砂的水分不允许太高和波动太大。但旧砂的水分也不宜太低,否则会影响旧砂的冷却效果,且会造成输送过程中粉尘飞扬严重,污染环境。

冷却后的旧砂应保持水分稳定,特别是在砂铁比发生变化的造型线上,要特别注意控制其旧砂的水分稳定的问题。旧砂的水分最好控制在低于型砂水分的1%左右。

3 砂处理系统工艺设计问题

砂处理系统的基本任务是向造型线提供符合造型机紧实特性要求和性能稳定的型砂。有的砂处理线尽管在设备布置、机械化程度和电控方面都是好的,但由于对造型机的紧实特性、型砂性能要求、砂处理系统工艺处理目标值和检测控制措施等问题分析得不够而导致工艺设计不合理,造成型砂性能不稳定,严重地影响了铸件质量的提高和造型线能力的发挥。

不同类型的造型线对型砂性能的要求是不同的。由于砂处理系统中各个工艺处理过程都需由某一特定的工艺设备来实现的,所以砂处理工艺过程一旦被确定并实施后,若再进行修改和变动是非常困难的。因此,在砂处理的设计中应根据造型线的特点,高度重视砂处理系统的工艺分析和工艺设计问题。

1 旧砂的处理

整个砂处理系统是一个造型混合料的动态平衡系统。由于旧砂在整个系统中占的比例最大,所以旧砂处理得好与差是砂处理成败的关键。旧砂的处理过程主要包括磁分、破碎、筛分、

冷却和排除一部分微粉,确保为混砂机提供性能均衡而稳定的旧砂。

1 磁分

为保证铁杂物的去除比较彻底,砂处理系统最好设两道磁分。每一道磁分各由一台悬挂式磁分机和一个磁分皮带轮组成,且每一道磁分的两台磁分设备要安装在同一条皮带机上。第一道磁分设在旧砂破碎之前作为大铁杂物的分离,第二道磁分设在旧砂破碎之后以去除细小的铁杂物。

2 旧砂的破碎和筛分

确定旧砂的破碎和筛分工艺时要充分考虑落砂时是否有过多的芯头混入旧砂中去。型芯多采用有机粘结剂。若过多的有机物进入型砂,将增加型砂的发气量,这对砂型排气性较差的高压造型来说是不利的。目前国内的砂处理多采用一级破碎和一级筛分的处理工艺,因为所采用的工艺设备不同,结果出现或者是过多的旧砂团和芯头一起被筛出而作为废砂排走,或者过多的芯头被破碎后进入了回用的旧砂,这都是不利的。建议采用两级破碎和两级筛分的处理工艺。第一级采用网孔较大的破碎滚筒筛,这时块状物料在冲量不大的碰撞下,大部分大旧砂团得到破碎,而芯头基本上不被破碎,这样第一道筛分主要是去除混入旧砂的芯头。第二道采用强力破碎和筛孔尺寸较小的筛子进行筛分,经过两道破碎和筛分处理,既可除去过多的芯头,又可使小的旧砂团得到很好的破碎而获得颗粒度好的旧砂。

3 旧砂的冷却

在旧砂的冷却工艺过程中,要保证冷却后的旧砂不仅要求温度和水分达到目标控制的范围,而且应使旧砂的组分稳定。

事实上旧砂在输送、转卸和储存的过程中均有冷却的作用,但对高效率的造型线来说这种自然冷却是满足不了旧砂的回用要求,因而都采用了强迫冷却措施。从冷却原理和冷却设备的种类上看,国内外在旧砂冷却问题上的差异并不大,都是采用增湿汽化吸热的原理对旧砂进行冷却。但相比之下,国外的一些砂处理在旧砂冷却的工艺环节和检查控制方面考虑得比较细,使冷却后的旧砂品质比较稳定。

设计旧砂的冷却工艺不仅要考虑造型线的特点,还应考虑热旧砂自身的冷却特性、地域特点、环境温度和空气湿度以及环境保护等问题。以旧砂冷却特性来看,砂温与环境温度相差越大,冷却的效率就越高;砂温越接近于环境温度则冷却的效率越低,其单位降温所消耗的能量也高。国内的砂处理系统不论上述条件有何差异,一般都采用一级增湿冷却。这对旧砂的砂温、水分及环境温度和空气湿度都发生很大波动的情况下,仅通过一级冷却而欲得到温度、湿度和组分稳定的旧砂是非常困难的。因此,国外对型砂性能要求高的砂处理系统对旧砂往往采用两级或三级冷却工艺。

落砂后的旧砂温度很高,有时达 100℃ 以上,这不仅影响皮带的使用寿命,且容易大量析出含 SiO_2 的粉尘,恶化工作环境。所以第一或第一、二级冷却尽量安排在旧砂磁分和破碎后的高温区段进行,称谓初级冷却。初级冷却主要是向旧砂喷洒一定的水量并辅助以搅拌和排风,使旧砂的温度大幅度地下降。最后一级冷却一般与予混结合在一起进行,这在选用双盘冷却机作为末级冷却设备的情况下很容易实现。最末一级冷却主要是把回用旧砂的温度和水分稳定地控制在目标值以内。

旧砂的增湿汽化冷却过程是在动态下进行的,其工艺过程不可能时间太长。这就要求冷却

的过程中具有良好的热交换条件;即增湿的水分迅速分散并与热砂搅拌均匀以利于水分的蒸发;有足够的新鲜空气与砂粒充分接触并把汽化的热量带走。这里,风量也是一个很关键的参数,风量太小将会影响冷却效果;风量过大会把过多的有效粘土抽走。风量一般在 $180\sim 200\text{m}^3/\text{T}$ 砂比较合适。但目前国内的砂处理线不管造型线类型和工作制度、型砂的要求以及作环境有何区别,风量一般在 $100\sim 120\text{m}^3/\text{T}$ 砂左右。由于风量偏低,当造型线在两班工作制且满负荷运转的情况下,旧砂的冷却效果达不到使用的要求。

在旧砂的处理过程中,必须适当地去除一部分微粉方可保持旧砂的含泥量稳定。微粉的排除主要靠系统的抽风除尘。一般来讲,严格地控制微粉的排除量是困难的。在机械化输送旧砂的系统中含泥量是逐渐增加的,因此在通风除尘的设计中要合理地选用各扬尘点的排风量、尘流诱导方向和排尘管网的布置。对冷却设备的排风除尘系统应专用,这既是保证冷却工艺的要求业也有利于泥分的排除。另外,旧砂斗上方的卸砂皮带机最好把头部延伸到斗外而不采用头部卸料,这可避免将沉积在皮带表面上的微粉卸入砂斗。

2 新砂

有些砂处理线由于旧砂的处理不完善而造成含泥量偏高,有的含泥量高达18%以上。这时往往采用加大新砂的加入量和定期报废一部分旧砂的作法来调节型砂的组分,这是不经济的。事实上在旧砂处理比较完善的砂处理线上,旧砂的回用率达95%以上,其性能足以达到混制品质好的型砂的需要。新砂仅是作为旧砂损失的补充和防止鱼卵石化对旧砂性能的影响(有的砂处理其新砂的加入量仅占2~3%左右)。在这种情况下新砂不需要烘干,在冷却机之前按比例将新砂加入旧砂内。这样有利于旧砂的冷却并使新旧砂得以提前混合,又可使设备的布量大为简化。

3 旧砂及粉料的定量

旧砂应采用重量定量。若采用皮带给料机以给料时间定量虽然设备和布置可以简化,但其定量精度受皮带的紧张程度、仓内物料压力的变化、皮带的老化和磨损程度及旧砂湿度等因素的影响,其定量精度在95%左右。对高密度紧实造型的旧砂还是采用重量定量比较好。

粘土的含量对型砂的性能及加水量的影响很大。在回用旧砂组分稳定的情况下,混砂时粘土的补充加入量比较少,一般在2%左右。采用螺旋给料机按时间控制粉料的定量给料是可以满足使用要求的(据测量其定量精度可以达到98%以上)且有利于粉料的迅速分散。粉料采用重量定量从理论上讲其精度高一些,为了使粉料迅速分散可采用气力压送将粉料压入混砂机。

4 混砂工艺

制定混砂工艺时对粉料和水的加入顺序问题应进行考虑和分析。

对于粉料的加入顺序问题,大多数砂处理是在混砂机中加入旧砂之后,再加入粘土和煤粉。但近年来有的砂处理线采用粘土和煤粉提前加入的工艺,即把粘土和煤粉加入到双盘冷却机或予混混砂机中。其考虑的出发点是钠膨润土吸水速度慢,提前加入有利于缩短混砂时间并提高型砂的湿压强度。但从实际使用情况来看其效果并不明显。这主要是由于旧砂的水分低难以形成粘胶化膜,相反这会给工艺和设备带来一些麻烦。首先要求向双盘冷却机加旧砂的流量要稳定,加粉料的螺旋给料机需无级调速以保证粉料加入的比例稳定。其次双盘冷却机的平均截面风速达 $0.8\sim 1.2\text{m/s}$,局部风速达 $3\sim 4\text{m/s}$,这样就很容易将新加入的一部分粉料抽

走。

另外,粘土提前加入使冷却后的旧砂粘结性提高了,将造成储存旧砂混合料的砂仓排料困难,且旧砂仓越大,问题越突出。在这种情况下,最好采用仓壁倾斜角小且底盘旋转或仓筒旋转的旧砂仓,或者旧砂仓下方用振动活化给料斗进行排料。所以,是否采用粉料提前加入的工艺方案,需对上述情况进行认真地分析。

传统的混砂工艺为:加砂→加粉料→干混→加水→湿混→卸砂

这种混砂工艺的缺点:

- 1 干混过程中,一部分新加入的粉料被除尘系统抽走,造成浪费;
- 2 若干混时间短,在粘土尚未充分扩散的情况下加水,易形成小粘土团;
- 3 型砂强度提高慢,在混制水分低的型砂时型砂中易出现部分干砂粒。

实践证明,采用:加砂→加水→湿混→加粉料→混砂→卸料的混砂工艺,型砂强度提高得快,混砂时间可以缩短且可减少粉料的损失。特别是对转子式混砂机,采用这种混砂工艺可以充分发挥其混制的型砂性能好和混砂周期短的特点。

4 型砂质量的检测及控制

砂处理的工艺处理过程是一个半封闭的循环系统,型砂的质量要靠系统的各个工艺环节的检测和控制来保证。其中型砂性能的检测和控制是确保型砂质量最关键也是最后的一环。由于高密度紧实造型其适用型砂的主要性能波动范围比较窄,这就要求检测的方法不但要准确、简便、速度快,而且要在混砂过程中进行动态实时地检测,即在线检测。由于计算机软件开发水平的提高和工业微机的普及应用,这种在线检测装置的功能日趋完善。显然,通常采用的定量加水 and 试验室内检测试样的方法是不能满足高密度紧实造型对型砂性能检测和控制的要求。

在各种混砂物料品质得到保证的基础上,型砂的主要性能是湿压强度和水分。由于水分几乎对型砂的各种性能都产生影响且其稍许变化都将引起型砂性能的波动,所以在混砂的过程中都以直接或间接检测和控制型砂的水分为目标。目前使用的检测装置基本上有3种型式:

1 型砂水分自动控制装置

这是一种直接控制型砂加水量的装置。这种型砂水分自动控制仪一般有三种传感器:分别用于测量旧砂和型砂的温度传感器和湿度传感器,以及测量加水量的流量传感器。测得的温度和湿度信号输入计算机进行处理和计算,计算出的理论加水量与设定的水分值相比较再计入环境温度等补偿水量即可得出总的加水量。加水时由流量传感器对实际加水量进行反馈监控,从而实现型砂水分的自动控制。加水过程分为粗加水和精加水,其粗加水为定量加水,精加水用于使型砂的水分逐渐达到设定的目标值。加水精度误差(实际值与设定值之间的差)在 $\pm 0.2\% \sim 0.3\%$ 左右。

这种水分控制仪不能直接反映型砂的造型性能。当调整型砂的配比(新、旧砂的比例,粘土的加入量等)需要作大量的试验方能确定材料不同配比时的水分设定值。另外,这种装置不能反映出型砂组分中泥分变化时对型砂性能的影响。

2 筛法成型性水分自动控制装置

这种装置的水分控制原理是基于混砂时随着加水量的增加,吸水后粘土对砂粒的粘结力增强,型砂的过筛能力下降。型砂水分不同其过筛性不同,且对水分变化的效应很敏感,即型砂

一定的过筛能力就对应于该状态下的最适宜的水分。这样可根据选定的过筛能力来控制加水系统的加水量,从而实现水分的自动控制。

这种装置对型砂性能的控制与型砂实际造型性能的适用性比较接近。但它不能对型砂的性能进行量化检测和显示,也不能记录和打印出型砂的性能。

3 紧实率型砂性能控制仪

目前这是世界上开发速度最快和应用较多的一种在线型砂性能检测控制装置。尽管仪器的功能、控制仪表和结构形式各异,但其基本原理都是通过检测型砂紧实率这一比较综合反映型砂品质优劣的指标来控制型砂的最适宜加水范围。瑞士GF公司的SMC Sand Multicontroller,日本新东公司的MIE型砂控制装置,青岛天泰机械公司的C1814型砂性能自动控制仪和济南铸造锻压机械研究所的CB1型紧实率控制装置都是这一类型的型砂性能在线检测和控制装置。其中,GF公司的SMC和青岛天泰机械公司的C1814型砂性能自动控制装置能够检测型砂的湿压强度和紧实率,该仪器采用PLC和工业计算机联合控制,设有检测过程的动态模拟显示和型砂性能检测结果统计及打印等功能;新东的MIE和济南铸锻机械研究所的CB1型砂紧实率控制仪只测量紧实率,由旋转编码器将紧实试样时的位移量转换为开关量输出,前者采用微型计算机控制,CB1采用PLC控制。紧实率自动检测控制仪的加水也是分为粗加水和精加水两挡进行,粗加水的量要控制在紧实率低于目标值5%~10%。精加水使紧实率逐渐接近和达到所要控制的目标值,达到控制目标值时停止加水。

采用在线型砂紧实率检测控制的优点是:

1 当原材料配比和组分发生变化时,仍能保证型砂在最适宜的水分范围而获得性能良好的型砂。

2 当型砂的材料配比不变时,通过相同紧实率下加水量的变化可间接反映出旧砂中含泥量的变化。

3 由于采用了标准的试样筒,其测得的紧实率和湿压强度同常规的锤击式制备试样的测量结果有非常近似的一致性,且由于它的控制精度高和排除了人为因素的影响,所以它的重复精度高,能够对型砂的性能进行稳定地控制。

实际使用经验表明,采用紧实率检测控制仪在混砂的过程中实时地检测型砂的紧实率可以有效地控制型砂的最适宜水分。再结合试验室定期的辅助测试(如含泥量、有效粘土含量、常温湿拉强度及热湿拉强度、砂子粒度分布的变化等)能够很好地保证高密度紧实造型对型砂组分稳定和性能稳定的使用要求。