

碱性酚醛树脂砂在大型铸钢件上的应用及质量控制

福士科铸造材料（中国）有限公司 宋会宗

The application and quality control of alkaline phenolic resin in the production of large steel castings

[abstract] More and more foundries have adopted alkaline phenolic resin no-bake process to produce large steel castings. In this paper, benefits and quality control of the new process is discussed and some case studies are demonstrated.

[摘要]越来越多的铸钢厂已采用碱性酚醛树脂自硬砂工艺生产大型铸钢件。本文对该工艺的特点、质量控制方法等进行了讨论，并且给出几个典型实例。

酯硬化碱性酚醛树脂砂从20世纪80年代被发明到现在已有20多年的历史，目前在国内外获得了广泛的应用。特别是最近十年，由于其环保方面的优势及独特的性能，国内越来越多的铸钢厂采用了这一新工艺。目前该工艺在高锰钢、大型或重型铸钢及不锈钢等铸件的生产中已被广泛采用并取得了很好的使用效果。

我国大型铸钢件的生产从20世纪70年代开始一直采用水玻璃砂CO₂工艺。但随着用户对产品质量要求越来越高，老的铸造工艺已很难满足对铸件质量的要求，多数情况下需依靠后续的精整手段来达到铸件所需的质量要求。这不仅增加铸件的制造成本，也延长铸件的生产周期。同时，随着国家对环保要求越来越严，大量铸造废砂排放已成为铸造业非常严峻的问题。目前很多大型铸钢件的生产厂已进行了技术改造，采用了碱性酚醛树脂砂、呋喃树脂砂或酯硬化水玻璃砂。如广重、二重、上汽（宏钢）等企业先后完成了技术改造，已将酯硬化碱性酚醛树脂砂成功地应用于大型甚至特大型铸钢件的生产中，并积累了很多宝贵的经验。而且在这些企业中碱性酚醛树脂砂的应用还在不断扩大。国内越来越多的大型铸钢件生产企业也准备采用这一工艺。大型铸钢件的生产有其自身的特点和规律，对工艺、材料、设备等方面都有一些特殊的要求。本文将针对大型铸钢件生产的特点讨论碱性酚醛树脂砂应用中几个需要关注的问题。

1. 原辅材料

1.1 原砂

1.1.1 硅砂 硅砂来源广、价格低，是最为常用的铸造原砂。原砂的质量关

系到型砂的耐火度、砂型（芯）强度、透气性等性能。大型铸钢件树脂砂生产所用硅砂应具有以下特点：

- SiO₂ 含量高，一般应高于 98%，以保证有足够的耐火度
- 含泥量及细粉含量低，一般含泥量应小于 0.5%，200 目以下细粉量应小于 2%。含泥量及细粉含量对型砂的强度影响很大。
- 粒形圆整，粒形好的原砂有较高的强度，可降低树脂加入量。
- 在循环加热冷却及旧砂再生过程中破碎率低。原砂的破碎倾向影响到旧砂的回用后的质量稳定性。破碎倾向高的原砂经反复再生后型砂中的细砂及微粉含量会大大增加，从而会降低砂型的强度、透气性及耐火度。

人工破碎的硅砂，虽然具有较高的 SiO₂ 含量，但其颗粒呈尖角形，细粉含量一般也较高。另外人工破碎硅砂再生时破碎率较高，因此不适合于树脂砂的生产。目前铸钢厂一般选用粒形较好、SiO₂ 含量较高的天然硅砂。国内用于铸钢的优质硅砂主要来自福建（东山、平潭）。

1. 1. 2 再生硅砂

再生砂的质量控制是碱性酚醛树脂砂工艺的一大关键。与呋喃树脂相比，碱性酚醛树脂砂再生性较差，旧砂中含有一定量的碱性氧化物及有机酯，会明显降低型砂的强度，影响型砂的可使用时间。LOI 值是再生砂质量的重要技术指标，应严格控制。一般旧砂的 LOI 值应控制在 1.8% 以下，最好在 1.5% 以下。另外，硅砂在反复使用及机械再生过程中，一部分砂粒会破碎，引起型砂粒度变细，细砂或粉尘含量增加。旧砂中微粉的含量应控制在 0.8% 以下。可通过加强除尘及补充新砂控制旧砂的粒度及粉尘含量，减轻细砂粉尘对型砂强度及透气性的不良影响。

使用再生砂时砂型的表面安定性较差，在旧砂中加入少量的水(0.2~0.5%)可改善砂型表面安定性。

1. 1. 3 特种砂

大型铸钢件通常要浇注几十吨甚至上百吨重的钢水，壁厚可达 200~500mm 甚至更厚。某些砂芯处在大量的铁水包围中。钢水对造型材料的热作用时间很长、静压头也很高，工作条件极其苛刻。因此在大型铸钢件的生产中大量使用铬铁矿砂作面砂。目前质量较好的铬铁矿砂是从南非进口的优质铸

造级铬铁矿砂。在某些极端情况下（如某些薄皮或盲孔砂芯），即使铬铁矿砂也很难清理出来。此时可采用刚玉砂、人造镁质球形砂或铬铁矿/锆砂复合砂。呋喃树脂用于刚玉或碱性特种砂时不能固化。而碱性树脂可用于各种特种砂，这是碱性树脂用于大型铸钢件的一个突出的优点。

1. 2 碱性酚醛树脂及固化剂

铸造用碱性酚醛树脂是一种水溶性热固性酚醛树脂，树脂呈强碱性。该树脂与某些有机酯（如多元醇醋酸酯、环内酯、多元酸酯等）混合后可产生交联固化反应。这种交联反应在常温下进行得不完全，在进一步加热时可继续固化，因而表现出特有的二次硬化现象。

用于大型铸钢件的碱性酚醛树脂应具有强度高、可使用时间长、气味低等特点。福士科公司生产的 FENOTEC810 碱性酚醛树脂与 H20 及 H240 等固化剂配合，可使用时间可通过调整快慢酯的比例在几分钟到 100 分钟内任意调节。在大型铸钢件的生产当中，造型制芯操作比较复杂，往往需要很长的操作时间以完成浇注系统、冷铁的摆放以及被覆面砂，因此足够长的可使用时间是大型铸钢件生产的关键之一。因而具有超长可使用时间的特慢酯也成为大型铸钢件生产的关键材料之一。H240 是福士科公司开发的一种特慢酯，单独使用时在春秋季节可使用时间可达 100 分钟以上，夏季时亦可达一小时。根据砂温或气温的高低，H240 可以和其他快酯（如 H20）或慢酯（或 H90）配合使用，以达到需要的可使用时间。

大型铸钢件生产时，造型制芯是在地坑里进行，工人站在混好的型砂或芯砂上操作，对树脂砂的气味非常敏感。因此大型铸钢件的生产对树脂及固化剂的气味提出了更严格的要求。碱性酚醛树脂砂在造型制芯时气味主要来自三个方面：一是树脂中游离甲醛，二是混砂时树脂和固化剂反应释放出的二次甲醛，三是固化剂中的具有刺激性气味的有机酸或醇等杂质成分。树脂中的游离甲醛及二次甲醛都取决于树脂的合成工艺。固化剂的气味与有机酯的纯度有关。一般来说，固化剂纯度越高，气味就越小。

总之，在选择树脂及固化剂时应综合考虑树脂砂的强度、可使用时间、气味及质量稳定性等因素。

2. 混砂及旧砂再生设备

碱性酚醛树脂砂混砂设备一般都选用高效连续式混砂机。生产大型铸钢件所用的混砂设备应具备面背砂切换和快慢酯自动混合功能。面背砂工艺是大型铸钢件生产的典型工艺，既能保证铸件的质量，又能节约成本。快慢酯自动混合则是为了适应大型铸钢件生产过程中不同阶段对可使用时间的要求不同的特点。一般在造型的早期，浇注系统和冷铁的摆放需要很长的时间，这时大量使用慢酯以保证足够的可使用时间。而在造型的后期，工艺操作较少，需要快速、大量的填砂并希望在较短的时间内固化，这时应调高快酯的比例。

旧砂再生设备是碱性酚醛树脂砂工艺中非常关键的设备之一。碱性酚醛树脂砂的再生性较差，而再生砂的质量对型砂的强度等工艺性能影响较大。因此在选择再生设备时应选择强力再生机。热法再生效果最好，但成本较高。实际上，采用碱性酚醛树脂砂生产大型铸钢件具有得天独厚的条件。因为大型铸钢件浇注时会产生大量热能，且铸件需要很长的保温时间。因此大型铸钢件在浇注和长时间的保温过程实际上已有相当多的型砂自动完成了热法再生。这也是碱性酚醛树脂砂能够在大型铸钢件上成功应用的一个原因。

在生产大型铸钢件时要消耗大量的铬铁矿砂，而铬铁矿砂的价格远高于硅砂，而且近年来涨价幅度很大，因此铬铁矿砂回收设备便应运而生。铬铁矿砂的回收率可达到 80~90%。其经济效益是十分可观的。

3. 型砂工艺性能

3.1 硬化特性及强度

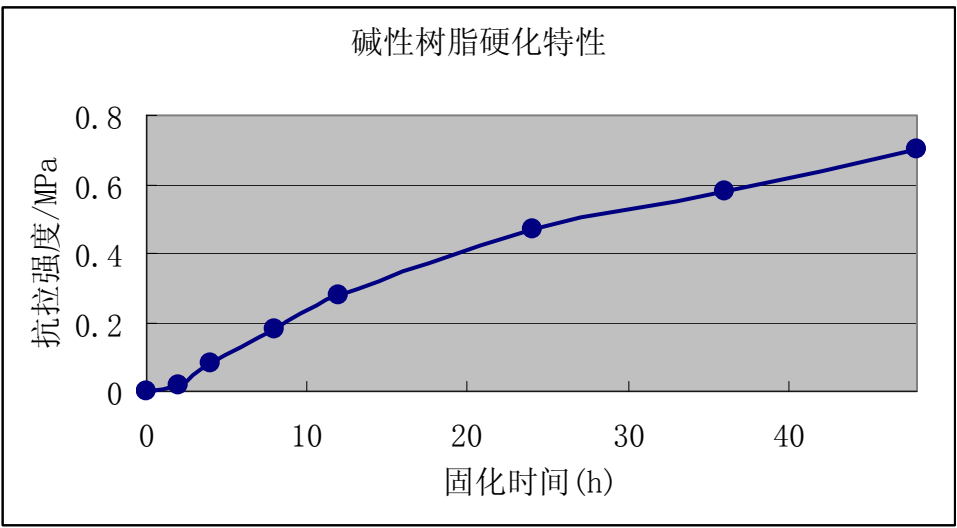


图 1 碱性树脂砂硬化特性曲线
FENOTEC810/H240, 福建硅砂, 25℃/RH70

图 1 为碱性酚醛树脂砂硬化特性曲线。从图中可看出，H240（特慢酯）固化速度很慢，硬化 24 小时后强度仍未达到最高值。硬化 48 小时后基本达到最高强度。可使用时间越长，硬化时间也会越长。

3.2 可使用时间

型砂的可使用时间主要取决于固化剂的种类和砂温。图 2 是 FENOTEC810 树脂砂系统可使用时间与砂温及固化剂成分之间的关系图。利用该图可以更好地控制型砂的可使用时间。生产中可根据实际需要的可使用时间及砂温从该图上查出并确定 H240 与 H20 的比例。

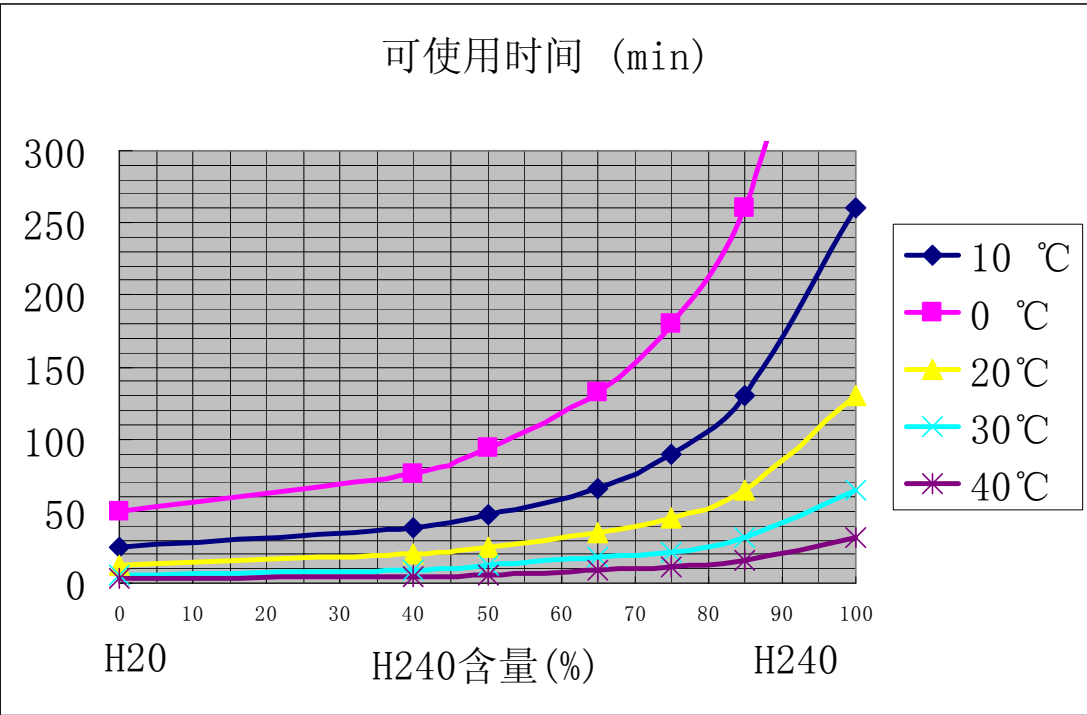


图 2 可使用时间与固化剂成分及砂温的关系

3.3 硬透性及蠕变

大型铸钢件生产中砂芯和铸型的尺寸及重量都很大，砂块厚度有时高达 2m，因此必须考虑到型砂内部与表层硬化程度的差异即硬透性以及由此引起的蠕变现象。实践表明，与酯硬化水玻璃砂相比，碱性酚醛树脂砂具有较好的硬透性和防止蠕变的性能。

4. 应用实例

碱性酚醛树脂砂从 2002 年起陆续在广重、二重及上海宏钢等企业大型铸钢件的生产中得到推广应用并已成功地生产出汽轮机缸体、不锈钢上冠及下环、轧钢机架等重要铸件。与原水玻璃砂工艺相比，铸件质量明显提高。铸件表面平整

光洁、轮廓清晰、铸件裂纹、气孔倾向降低；造型制芯效率明显提高；由于溃散性显著改善，铸件落砂时间成倍降低；铸件清理及精整工作量大大降低。图 3、图 4 为 FENOTEC810 碱性酚醛树脂砂生产的砂型及铸件。



图 3 FENOTEC810 碱性酚醛树脂砂型



图 4 用 FENOTEC810 碱性酚醛树脂砂生产的铸件

5. 结束语

碱性酚醛树脂砂不含 N、P、S 等有害元素，高温退让性好，硬透性好，对特种砂适应性强，因此非常适合于大型铸钢件的生产。经过几家知名企业多年的应用探索，该工艺已成为生产大型铸钢件的成熟工艺并且在铸件内在及表面质量、尺寸精度、生产效率等方面显示出很大的优势，代表了大型铸钢件生产工艺的发展方向。