

# CB2 汽轮机缸体铸钢件型砂的使用及控制要点

郑 慧

(上海电气上重铸锻有限公司冶铸分公司, 上海 200245)

**摘要:** 根据CB2汽缸的结构特点、技术要求和碱酚醛树脂自硬砂和有机酯水玻璃自硬砂的特点, 复合使用了这两种自硬砂进行了汽缸钢铸件的浇注试验。实践证明: 两种型砂兼容互补, 复合使用可提高落砂性, 防止粘砂和裂纹, 生产的铸件表面和内在质量良好, 同时成本较低, 是一个方便、实用、高效的方法。

**关键词:** CB2汽缸; 碱酚醛树脂自硬砂; 有机酯水玻璃自硬砂

CB2汽轮机机组在超超临界基础上, 将主蒸汽和再热蒸汽温度由580 ℃提高到620 ℃, 其热效率比超超临界机组高4%~6%左右, 实现新的节能环保的跨越。中压内缸铸钢件是CB2汽轮机机组中的关键件, 其结构复杂、技术要求高。为此我公司对CB2产品进行了开发研究。本文主要介绍我公司在生产CB2汽轮机缸体铸钢件中中型(芯)砂的使用及其在生产过程中的控制要点。

## 1 CB2缸体的结构特点及技术要求

### 1.1 结构特点

中压内缸(见图1)分为上、下半缸, 内有三条环型蒸汽室, 形成上下分层。下半底部有三个排汽管, 两侧有两个进汽管。该处型芯出气、落砂困难, 且该处不能产生粘砂和各种缺陷, 否则难以处理。产品结构复杂, 壁厚变化较大, 裂纹倾向大。中压内缸最大尺寸和设计重量见表1。

### 1.2 技术要求

铸件材质为ZG13Cr9Mo2Co1NiVNbNB, 主要化学成分见表2。该铸件合金元素多、含量高、易氧化, 尤其N元素容易产生气孔、夹杂缺陷, 且铸件结构复杂、浇注温度高, 为1 570~1 580 ℃, 型芯长期处于高温钢液包围中, 铸件表面容易产生粘砂、气孔。

尺寸精度和表面质量要求高。要求100%外观检查, 尺寸精度要求达到CT14, 铸件表面不允许有裂纹、缩孔、夹砂等缺陷。表面粗糙度要求Ra25。要求本体100%超声波和磁粉探伤, 探伤检验等级要求高。

## 2 型砂工艺的确定

根据产品的结构特点、技术要求及环保要求, 与钢液直接接触的型(芯)砂应具有良好的高温性能、抗粘砂性。不与钢液直接接触的型(芯)砂, 则应具有良好的退让性和透气性。型芯砂还应具有良好的存放性、较长的可使用时间、较短的可脱模时间、操作简单并能再生回用。在对目前国内铸钢所用的主流型砂类型进行对比后, 决定充分发挥碱酚醛树脂自硬砂和有机酯水玻璃自硬砂各自的特点, 对两者进行复合使用。由于我公司采用的有机酯水玻璃自硬砂再生(焙烧温度经验值为350 ℃)和碱酚醛树脂自硬砂热法再生焙烧温度一致<sup>[1]</sup>, 且碱酚醛树脂自硬砂主要用

作者简介:

郑 慧(1983-), 女, 工程师, 主要研究方向为造型材料和铸钢工艺。E-mail: zhenghui20200202@163.com

中图分类号: TG24

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2020)05-0490-06

收稿日期:

2020-03-12 收到初稿,  
2020-03-31 收到修订稿。

在表面,占比很少,所以复合砂的使用对再生的影响很小。

## 2.1 性能对比

碱酚醛树脂自硬砂和有机酯水玻璃自硬砂的对比见表3。

## 2.2 原砂的选用及要求

### 2.2.1 面砂的选用

面砂与钢液直接接触,所以选用南非铬矿砂。铬矿砂耐火度高,烧结点一般在 $1\ 100\ ^\circ\text{C}$ <sup>[2]</sup>。在浇注的过程中固相烧结,有利于防止钢液渗透,不易与钢液反应,有很好的抗碱性渣的作用。这些特点都使其抗粘砂能力好。铬矿砂的技术指标耐火度主要看 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 含量。颗粒度取40~100目,减小孔隙。四筛比多筛透气性好,又有利于提高树脂砂的强度<sup>[3]</sup>。微粉含

量、含泥量高了会降低耐火度和强度,增加液料加入量,发气量随之提高。含水量高增加发气量,缩短可使用时间,降低强度。铬矿砂的粒度分布见表4。其 $\text{Cr}_2\text{O}_3 \geq 46\%$ ,含泥量 $\leq 0.2\%$ ,含水量 $\leq 0.2\%$ ,酸耗 $\leq 5.0\ \text{mL}$ 。

### 2.2.2 石英砂的选用

型芯厚大,石英砂作为型芯主体,应多考虑透气性、强度和回用。石英砂耐火度主要看 $\text{SiO}_2$ 含量。颗粒度选择20~40目,以增加大型芯的透气性、硬透性和减少液料加入量,且兼顾原砂的复用性。微粉含量、含泥量高了会降低透气性。干法再生后微粉含量会增加,且容易吸湿。选用经过水擦洗的天然海砂,主要技术指标为 $\text{SiO}_2 \geq 96\%$ ,含泥量 $\leq 0.3\%$ ,含水量 $\leq 0.3\%$ ,角形系数 $\leq 1.3$ 。其粒度分布见表5。

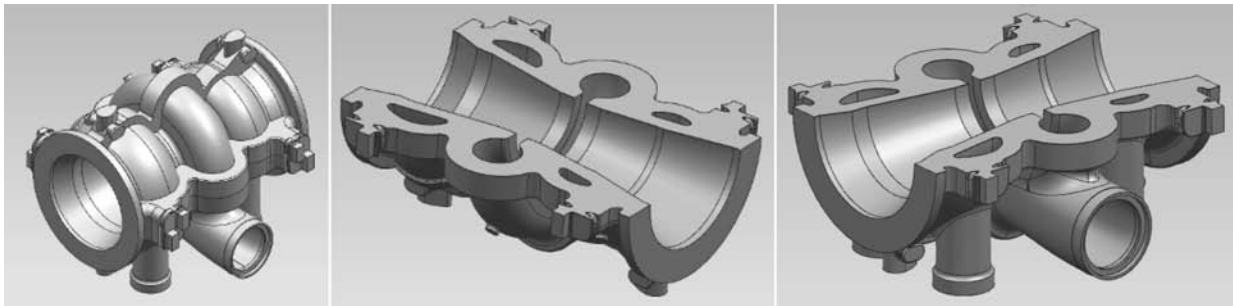


图1 中压内缸三维模型

Fig. 1 3D model of MP inner cylinder

表1 中压内缸最大尺寸和设计重量

Table 1 Maximum size and design weight of MP inner cylinder

| 名称 | 外形尺寸/mm               | 设计重量/t |
|----|-----------------------|--------|
| 上半 | 3 625 × 1 447 × 3 100 | 28.760 |
| 下半 | 3 625 × 1 506 × 3 460 | 30.430 |

表2 铸件的化学成分要求

Table 2 Chemical composition requirements of castings

| C         | Si        | Mn        | P            | S            | Cr        | Mo        | Co        | V         | Nb        | B           | N           | $w_B / \%$ |
|-----------|-----------|-----------|--------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|------------|
| 0.11~0.14 | 0.20~0.30 | 0.80~1.00 | $\leq 0.020$ | $\leq 0.010$ | 9.00~9.60 | 1.40~1.60 | 0.90~1.10 | 0.18~0.23 | 0.05~0.08 | 0.008~0.011 | 0.015~0.022 |            |

表3 两种型砂的优缺点

Table 3 Comparison of two kinds of molding sand

|      | 有机酯水玻璃自硬砂   | 碱酚醛树脂自硬砂                                   |
|------|---|--|
| 共同优点 | 1.强度高; 2.原砂适应性好; 3.流动性好; 4.退让性; 5.切换方便,混砂设备、原砂和操作均可通用兼容 |  |
| 各自优点 | 1.便宜成本低; 2.绿色环保; 3.发气量小                                 | 1.溃散性更好,清理方便; 2.得到的型芯精度、铸件尺寸精度和表面粗糙度比水玻璃砂好 |
| 各自缺点 | 1.相比树脂砂溃散性差,落砂相对困难; 2.有蠕变现象                             | 1.成本较高; 2.发气量相对较高; 3.有一定刺激性气味              |

## 2.3 型砂的配比及性能

配套设备为30 t连续式混砂机、5 t混砂机和热法再生砂处理设备。造型方法为手工造型。型砂的配比见表6。

(1) 可使用时间。可使用时间主要靠调节固化剂的快慢型号实现。生产大型铸件时,型芯大厚且形状复杂,操作时间长,要求可使用时间在40 min左右。经过试验,形成了固化剂的温度-可使用时间对应参照图表,用来指导生产。最要注意的是铬矿砂的可使用时间,因为铬矿砂是用于表面和特殊部位,手工覆砂的难度相对高,操作时间拉得长。两种型砂的可使用时间见表7。

(2) 可脱模时间。脱模时间过早,未硬透;脱模时间过晚,一方面拖慢生产进度,另一方面起模难,影响表面质量。一般来说,起模时间为可使用时间的4~5倍,但考虑到型芯大且厚,所以用4 h强度(冬季6 h强度)作为型芯脱模时间进行操作。可脱模时间主要看酯硬化水玻璃石英砂,因为它是型芯的主体构成。表8为酯硬化水玻璃石英砂4 h强度表。

(3) 24 h强度。几种型砂的24 h抗压强度见表9。

(4) 烘干强度。用酯硬化水玻璃石英砂打三组圆柱形标准试样,每组五只。一组直接测24 h抗压强度,一组用烘箱烘半小时后测24 h抗压强度,第三组放在热风炉烘烤的型腔内(实测型腔内温度为88 ℃)24 h后测抗压强度。试验结果见表10。从表中可见,烘干后强度进一步上升。

(5) 发气量。碱酚醛树脂发气量为10~11 mL/g。两种型砂的发气量见图2<sup>[4]</sup>。

(6) 溃散性。有机酯水玻璃砂的残留强度见表11。

## 3 生产中型砂质量的控制

### 3.1 原材料准备

原材料准备应符合如下要求:①制定原材料的技术标准规范;②按照标准规范选定供应商进行采购、检验和入库;③因原材料对水分都很敏感,所以运输存放均须注意防水;④要确保混砂时的砂温 < 30 ℃(夏季不高于室温),特别是再生砂。

### 3.2 设备

设备维护要求:①混砂前确认设备运转状况良好。②提前打开液料回路。气温低于20 ℃时,应提前装满水玻璃和树脂并进行加热循环,确保水玻璃和树脂恒温在20~30 ℃。③每天在混砂前对液料进行称量并作好记录,称量准确后才能混砂。原砂称量应每月一次并作好记录。称量允许公差:原砂 ± 3%,液

表4 铬矿砂的粒度分布

Table 4 Particle size distribution of chromite sand

| 筛号      | 余留量/%                      |
|---------|----------------------------|
| 40~100目 | ≥85 (其中50~100目≥75; 70目≥25) |
| 200~筛底  | ≤0.5                       |

表5 石英砂的粒度分布

Table 5 Particle size distribution of silica sand

| 筛号      | 石英砂筛余/%                               | 再生砂筛余/%                       |
|---------|---------------------------------------|-------------------------------|
| 20~40目  | ≥80% (其中20+30目<br>≥65%; 30目: 35%~55%) | 20~50目≥85% (其中<br>20~40目≥75%) |
| 140目~底盘 |                                       | ≤0.5                          |

表6 型砂配比

Table 6 Proportioning of molding sand

| 砂类别       | 砂   | 水玻璃     | 有机酯    |             | 固化剂   |
|-----------|-----|---------|--------|-------------|-------|
|           |     |         | (占水玻璃) | 树脂<br>(占树脂) |       |
| 酯硬化水玻璃石英砂 | 100 | 2.4~3   | 12~16  |             |       |
| 酯硬化水玻璃铬矿砂 | 100 | 1.3~1.7 | 12~16  |             |       |
| 碱酚醛树脂铬矿砂  | 100 |         |        | 0.9~1.2     | 19~21 |

表7 两种型砂的可使用时间

Table 7 Working time of two kinds of molding sand /min

| 砂类型      | 固化剂 | 室温/℃ |    |    |    |    |       |
|----------|-----|------|----|----|----|----|-------|
|          |     | 10   | 15 | 20 | 25 | 30 | 35    |
| 酯硬化水玻璃砂  | 中   | 75   | 50 | 30 |    |    |       |
|          | 慢   |      |    | 65 | 40 |    |       |
|          | 特慢  |      |    |    |    | 60 | 40    |
| 碱酚醛树脂铬矿砂 | 慢   | 75   | 60 | 40 |    |    |       |
|          | 特慢  |      |    |    |    | 75 | 65 40 |

表8 4 h抗压强度

Table 8 4 h compressive strength

| 固化剂 | 室温/℃      |           |     |     |      |      |
|-----|-----------|-----------|-----|-----|------|------|
|     | 10        | 15        | 20  | 25  | 30   | 35   |
| 中   | 0.7 (6 h) | 1.1 (6 h) |     |     |      |      |
| 慢   |           | 0.4       | 0.8 | 1.0 |      |      |
| 特慢  |           | 0.8 (6 h) |     |     |      |      |
|     |           |           |     |     | 1.0+ | 1.0+ |

表9 几种型砂的24 h抗压强度

Table 9 24 h compressive strength of several kinds of molding sand

| 砂类别       | 24 h抗压强度/MPa |
|-----------|--------------|
| 酯硬化水玻璃石英砂 | ≥2.5         |
| 酯硬化水玻璃铬矿砂 | ≥3.0         |
| 碱酚醛树脂铬矿砂  | ≥3.0         |
| 酯硬化水玻璃再生砂 | ≥1.8         |

料 $\pm 1.5\%$ 。④混砂时,密切观察原料及型砂的质量情况,发现异常应立即停机进行检查。⑤混砂机务必每班后清理干净并定期检修。

### 3.3 混砂

#### 3.3.1 固化剂的选用

固化剂的选用见表12。

#### 3.3.2 混砂质量的判断

开机后先进行型砂性能检测并做好记录。型砂每天检查水分、4 h强度和24 h强度。型砂水分应符合表13,4 h和24 h强度参考表8、表9。此外,从造型到浇注前这段时间应保持观察,特别注意有无变形塌落的情况。

### 3.4 使用

(1)合理安排生产,操作前做好各项造型准备,操作时控制放砂时间和操作节奏,使型砂在可使用范围内用完,否则影响强度。型砂在使用前已变干、变硬或其性能不合要求的不应使用。

(2)送砂前盛砂桶内的残砂要清除干净,放满后上面用湿麻袋等物盖好。用除尘工具仔细清除型腔中的散砂等杂物。把浇冒口及通气孔盖好,防止掉入砂子或杂物。打大型芯分层分段时时,继续前应将表面的浮砂处理干净。

(3)制好的型芯扎气眼,提高厚大型芯心部的硬透性。

(4)搯砂须紧实均匀。逐层填砂,逐层春实,每层芯砂搯实后的厚度不大于400 mm。近木模表面、腰带型芯、铬矿砂层均应充分紧实。不易搯实处,如竖面、圆角等部位,需要先用手覆紧实。

(5)在起模前应测试样的抗压强度,当强度大于1.0 MPa时方可起模。该铸钢件的型砂工艺见表14。

(6)砂型表面用涂锆英粉醇基涂料。至少上两遍,厚度需均匀。确保每遍燃烧完毕后,方可进行下一次涂刷(图3)。

### 3.5 烘干

为了去除水分,提高强度和透气性,降低型(芯)的发气量,在浇注前盖好浇冒口和出气孔,用热风炉烘烤铸型24 h以上,热风炉出口150~200 $^{\circ}\text{C}$ ,型腔内理论温度100 $^{\circ}\text{C}$ 。

### 3.6 开箱

树脂砂的保温效果好<sup>[5]</sup>,但仅是表面和局部使用。在保温开箱时,充分考虑产品的化学成分和结构特点,采用缓冷开箱。开箱工艺为:浇注36 h后,吊松

表10 酯硬化水玻璃石英砂烘干强度  
Table 10 Drying strength of ester-hardened sodium silicate sand

| 项目                        | 24 h抗压强度/MPa |
|---------------------------|--------------|
| 室温                        | 2.5          |
| 烘箱100 $^{\circ}\text{C}$  | 10           |
| 热风型腔88 $^{\circ}\text{C}$ | 5.4          |

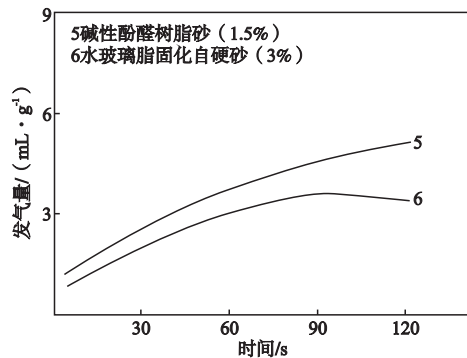


图2 两种型砂的发气量曲线

Fig. 2 The gas evolution curves of two kinds of molding sand

表11 有机酯水玻璃砂的残留强度  
Table 11 Residual strength of organic ester sodium silicate sand

| 温度/ $^{\circ}\text{C}$ | 强度/MPa |
|------------------------|--------|
| 200                    | 1.8    |
| 400                    | 0.5    |
| 600                    | 0.4    |
| 800                    | 0.5    |
| 1 000                  | 0.4    |

表12 固化剂的选用  
Table 12 Selection of curing agent

| 砂类别      | 温度/ $^{\circ}\text{C}$ | 固化剂类别 |
|----------|------------------------|-------|
| 酯硬化水玻璃砂  | < 15                   | 中     |
|          | 15~25                  | 慢     |
|          | $\geq 25$              | 特慢    |
| 碱酚醛树脂铬矿砂 | < 20                   | 慢     |
|          | $\geq 20$              | 特慢    |

表13 型砂水分  
Table 13 Moisture of mold sand

| 砂类别       | 水分/%    |
|-----------|---------|
| 酯硬化水玻璃石英砂 | 1.4~2.0 |
| 酯硬化水玻璃铬矿砂 | 0.7~1.0 |
| 碱酚醛树脂铬矿砂  | 0.5~0.8 |

砂芯主芯骨。浇注120 h后, 挖出冒口吊把。浇注200 h后, 吊松铸件, 以加速各部位的冷却, 但铸件仍在砂型内冷却。铸件在砂型内保温288 h后进行打箱。打箱后的铸件须放在避风处继续缓冷, 砂块脱落较多的大平面用石棉板局部保温。

## 4 铸件外观及内部检查

落砂前后的铸件见图4。铸件表面光洁平整, 几乎没有粘砂、夹砂, 而且尺寸准确。经过精整、打磨和探伤后, 各项指标均满足要求。

表14 型砂工艺  
Table 14 Selection process of mold sand

| 部位         | 型砂工艺  |
|------------|---|
| 外模         | 外模表面全部覆酯硬化水玻璃铬矿砂, 厚度为15~30 mm; 面砂使用酯硬化水玻璃石英砂, 厚度控制在200 mm左右; 背砂用酯硬化水玻璃再生砂             |
| 内腔         | 内腔表面用碱酚醛树脂铬矿砂作为面砂; 背砂为有机酯水玻璃自硬石英砂, 以减少碱酚醛树脂的发气量; 转角处覆20~30 mm厚有机酯水玻璃自硬铬矿砂, 以增加铸件表面致密度 |
| 局部不容易落砂的部位 | 全部采用碱酚醛树脂铬矿砂  |



(a) 型芯

(b) 配电箱

图3 涂料涂刷

Fig. 3 Coating brushing



(a) 落砂

(b) 落砂后

图4 落砂前后的铸件

Fig. 4 Castings before and after shakeout

## 5 结论

通过复合使用碱酚醛树脂砂和酯硬化水玻璃砂, 成功生产了中压内缸。这两种型砂兼容互补, 可根据产品特点灵活复合使用, 其特点如下。

(1) 可提高铸型的落砂性。

(2) 酯硬化水玻璃砂高温热塑性好, 不易产生裂纹。碱性酚醛树脂不含P、S、N等元素, 其高温下砂型热膨胀较小, 具有独特的高温特性即热塑性和二次硬化, 砂型产生的热应力小, 具有较好的退让性, 因此高温塑性好, 热裂倾向小。

(3) 表面用碱酚醛树脂砂, 减少了粘砂, 从而降低了清理表面粘砂时产生的裂纹, 获得良好的表面和内在质量。

(4) 该工艺成本较低, 且方便、实用、高效。



**参考文献:**

- [1] 康文, 孙爱新, 李晓明, 等. 碱性酚醛树脂砂在大型铸钢件上的应用 [J]. 铸造, 2016, 65 (3): 287-289.
- [2] 唐贤其. 碱酚醛树脂砂工艺用原砂的选择及质量控制 [J]. 中国重型装备, 2017 (2): 41-43.
- [3] 于顺阳. 现代铸造设计与生产实用新工艺、新技术、新标准 [M]. 北京: 当代中国音像出版社, 2005: 319-1190.
- [4] 张良. 酯固化碱酚醛树脂砂铸钢件气孔防治技术分析 [J]. 铸造技术, 2010, 31 (5): 544-546.
- [5] 梁向方, 张建, 孙德润, 等. 碱性酚醛树脂砂在特大型厚壁铸钢件上的应用研究 [J]. 大型铸锻件, 2015 (4): 43-45.

---

## Application and Control Key Points of Molding Sand for Steel Castings of CB2 Turbine Cylinder

ZHENG Hui

(Casting Branch of Shanghai Electric SHMP Casting & Forging Co., Ltd., Shanghai 200245, China)

**Abstract:**

According to the structural characteristics and technical requirements of CB2 turbine cylinder, and the characteristics of alkali phenolic resin self-hardening sand and organic ester water glass self-hardening sand, compound use of two kinds of self-hardening sand was determined and CB2 turbine cylinder steel castings were manufactured. The practice testifies that the two kinds of molding sand are compatible and complementary. Compound use of two kinds of self-hardening sand can improve the knockout capability, prevent burning-on and cracks, and the surface and internal quality of the castings are good. Since the cost is also low, the process method is convenient, practical and efficient.

**Key words:**

CB2 turbine cylinder; alkali phenolic resin self-hardening sand; organic ester water glass self-hardening sand

---