



FUNAN SHUZHISHA  
ZHUZAO SHENGCHAN JI YINGYONG SHILI

# 呋喃树脂砂

## 铸造生产及应用实例

### 第二版

吴殿杰 章舟 编著



化学工业出版社

# 呋喃树脂砂铸造生产及应用实例

第二版

吴殿杰 章 舟 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书密切结合呋喃树脂砂铸件的生产实践,在介绍呋喃树脂砂的工艺原理及原辅材料的基础上,结合作者多年来在树脂砂铸造工艺、装备技术方面的实践经验,重点介绍了呋喃树脂砂的工艺设计特点和要点、专用设备及生产线、铸件缺陷分析及防止措施,列举典型实例说明了呋喃树脂砂铸造工艺在铸铁件、铸钢件、风电铸件、汽车铸件等零部件方面的应用情况和各类型零件的浇注系统设计计算方法。

本书可供从事铸造行业的技术人员、管理人员和一线工人,以及铸造专业院校的师生阅读。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

呋喃树脂砂铸造生产及应用实例/吴殿杰,章舟编著.  
2版. —北京:化学工业出版社,2012.8  
ISBN 978-7-122-14449-2

I. 呋… II. ①吴…②章… III. 呋喃树脂-砂型铸造  
IV. TG242

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 117450 号

---

责任编辑:刘丽宏  
责任校对:边涛

装帧设计:杨北

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:北京云浩印刷有限责任公司

710mm×1000mm 1/16 印张15 字数298千字 2012年9月北京第2版第1次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价:58.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

自硬呋喃树脂砂是以呋喃树脂为黏结剂，并加入催化剂混制出型砂，不需烘烤或通硬化气体，即可在常温下使砂型自行固化的造型方法，通常简称为树脂砂。自硬呋喃树脂砂铸造工艺具有诸多优点：铸件表面光洁、棱角清晰、尺寸精度高；造型效率高，提高了生产率和场地利用率，缩短了生产周期；减轻劳动强度，大大改善了劳动条件和工作环境，尤其是减轻了噪声、硅尘等，减少了环境污染；节约能源，提高了铸件成品率；旧砂回收再生容易等。自 1991 年被列为铸造行业重点推广项目以来，自硬呋喃树脂砂铸造以其实用技术在促进铸造生产发展方面，取得了很大进展。

本书密切结合当前呋喃树脂砂铸件的生产实践和新应用，在介绍呋喃树脂砂的工艺原理及原辅材料的基础上，结合作者多年来在树脂砂铸造工艺、装备技术方面的实践经验和研究成果，重点介绍了呋喃树脂砂的工艺设计特点和要点、专用设备及生产线、铸件缺陷分析及防止措施，列举典型应用实例说明了呋喃树脂砂铸造工艺在铸铁件、铸钢件、风电铸件、汽车铸件等零部件方面的应用情况和各类型零件的浇注系统设计计算方法。希望对铸造行业的技术人员和一线工人，以及铸造专业院校的师生有所帮助。

本书在撰写过程中得到了傅世根、唐德森、朱以松、高瑞丽、洪掌荣、王树成、魏兵、连炜等专家的大力支持，在此表示衷心的感谢！

鉴于编者水平有限，不当之处敬请读者批评指正。

编著者

# 目 录

|                        |    |
|------------------------|----|
| <b>第一章 铸造用呋喃树脂砂概述</b>  | 1  |
| 1.1 自硬呋喃树脂砂的概念         | 1  |
| 1.2 自硬呋喃树脂砂的原辅材料       | 3  |
| 1.2.1 原砂               | 3  |
| 1.2.2 再生砂              | 4  |
| 1.2.3 呋喃树脂             | 4  |
| 1.2.4 固化剂              | 8  |
| 1.2.5 添加剂              | 9  |
| 1.2.6 涂料               | 10 |
| 1.2.7 其他辅助材料           | 13 |
| 1.3 呋喃树脂砂的硬化特性         | 14 |
| 1.4 呋喃树脂砂混制工艺          | 15 |
| 1.5 呋喃树脂砂再生工艺          | 15 |
| 1.5.1 灼烧减量的含义          | 15 |
| 1.5.2 如何控制灼烧减量         | 17 |
| 1.5.3 旧砂再生工艺流程         | 17 |
| <b>第二章 呋喃树脂砂机械设备</b>   | 18 |
| 2.1 中小型呋喃树脂砂生产线及主要设备   | 18 |
| 2.1.1 混砂机              | 19 |
| 2.1.2 振实台              | 21 |
| 2.2 呋喃树脂砂再生系统及设备       | 23 |
| 2.3 呋喃树脂自硬砂干法再生        | 33 |
| 2.4 树脂自硬砂再生设备的选择       | 34 |
| <b>第三章 呋喃树脂砂铸造工艺设计</b> | 37 |
| 3.1 凝固方式               | 37 |
| 3.1.1 分类               | 37 |
| 3.1.2 凝固方式的选择          | 38 |
| 3.2 工艺参数               | 38 |
| 3.2.1 浇注位置的确定          | 38 |

|            |                                 |           |
|------------|---------------------------------|-----------|
| 3.2.2      | 分型面的确定 .....                    | 39        |
| 3.2.3      | 铸件的起模斜度 .....                   | 39        |
| 3.2.4      | 加工余量 .....                      | 39        |
| 3.2.5      | 收缩率 .....                       | 41        |
| 3.2.6      | 铸件模样型芯头参数 .....                 | 41        |
| 3.3        | 浇注系统设计 .....                    | 49        |
| 3.3.1      | 浇注系统各截面积比例 .....                | 49        |
| 3.3.2      | 浇口杯(盆) .....                    | 50        |
| 3.3.3      | 直浇口 .....                       | 50        |
| 3.3.4      | 横浇口 .....                       | 50        |
| 3.3.5      | 内浇口 .....                       | 50        |
| 3.3.6      | 其他 .....                        | 50        |
| 3.3.7      | 铸铁浇注系统的计算(应用大孔出流理论) .....       | 51        |
| 3.3.8      | 铸钢浇注系统的计算 .....                 | 54        |
| 3.3.9      | 有色金属铸件浇注系统的计算 .....             | 55        |
| 3.4        | 冒口 .....                        | 56        |
| 3.4.1      | 铸钢冒口设计方法 .....                  | 56        |
| 3.4.2      | 灰口铸铁和球墨铸铁件冒口设计 .....            | 68        |
| 3.5        | 造型操作 .....                      | 73        |
| 3.5.1      | 准备工作 .....                      | 73        |
| 3.5.2      | 造型 .....                        | 74        |
| 3.5.3      | 涂料 .....                        | 74        |
| 3.5.4      | 配模 .....                        | 75        |
| <b>第四章</b> | <b>铸件浇注系统设计实例 .....</b>         | <b>76</b> |
| 4.1        | 磨床灰铸铁件呋喃树脂砂浇注系统 .....           | 76        |
| 4.2        | 灰铸铁磨齿机床床身底注式浇注系统 .....          | 86        |
| 4.2.1      | 工艺方案的确定 .....                   | 86        |
| 4.2.2      | 浇注系统的设计 .....                   | 87        |
| 4.2.3      | 生产效果 .....                      | 89        |
| 4.3        | 灰铸铁 AV100 轴流压缩机大型中分式机壳的铸造 ..... | 89        |
| 4.3.1      | 铸造工艺设计 .....                    | 89        |
| 4.3.2      | 铁液熔炼浇注 .....                    | 91        |
| 4.3.3      | 生产效果 .....                      | 91        |
| 4.4        | 灰铸铁轮形补缩式雨淋浇注系统 .....            | 91        |
| 4.4.1      | 浇注系统补缩模型 .....                  | 92        |
| 4.4.2      | BA36050 皮带轮工艺及补缩设计 .....        | 92        |
| 4.5        | 轮形灰铸铁件浇注系统与冒口联合补缩设计 .....       | 94        |

|        |                          |     |
|--------|--------------------------|-----|
| 4.5.1  | 轮类铸件均衡凝固工艺 .....         | 95  |
| 4.5.2  | 制动轮工艺及补缩设计 .....         | 95  |
| 4.5.3  | 球铁内齿轮浇注系统和冒口联合补缩实例 ..... | 97  |
| 4.6    | 灰铸铁纸机样板的浇注系统 .....       | 97  |
| 4.6.1  | 工艺方案 .....               | 97  |
| 4.6.2  | 浇注系统的设计计算 .....          | 98  |
| 4.6.3  | 冒口设计 .....               | 99  |
| 4.6.4  | 效果 .....                 | 99  |
| 4.7    | 大型灰铸铁件工作台的生产 .....       | 99  |
| 4.7.1  | 铸件生产工艺设计 .....           | 100 |
| 4.7.2  | 浇注系统及冒口设计 .....          | 100 |
| 4.7.3  | 熔炼浇注工艺 .....             | 102 |
| 4.7.4  | 生产结果 .....               | 102 |
| 4.8    | 球墨铸铁燃气轮机壳体的浇注系统 .....    | 102 |
| 4.8.1  | 原生产工艺及存在问题分析 .....       | 102 |
| 4.8.2  | 按照均衡凝固理论重新设计工艺 .....     | 103 |
| 4.8.3  | 生产验证 .....               | 104 |
| 4.9    | 球墨铸铁厚大断面叶片承缸的浇注系统 .....  | 104 |
| 4.9.1  | 原生产铸造工艺及存在的问题 .....      | 104 |
| 4.9.2  | 对原工艺的分析 .....            | 105 |
| 4.9.3  | 浇冒系统设计改进设想 .....         | 105 |
| 4.9.4  | 叶片承缸铸件均衡凝固工艺的要点及特点 ..... | 105 |
| 4.9.5  | 改进后的效果 .....             | 105 |
| 4.10   | 球墨铸铁活塞浇注系统 .....         | 106 |
| 4.10.1 | 试验机活塞压边浇冒口工艺 .....       | 106 |
| 4.10.2 | 芯片封装机用移动模板 .....         | 107 |
| 4.10.3 | 芯片封装机用连杆支架 .....         | 108 |
| 4.11   | 球墨铸铁锥套浇注系统 .....         | 109 |
| 4.11.1 | 原工艺设计 .....              | 109 |
| 4.11.2 | 工艺分析与改进 .....            | 109 |
| 4.12   | 球墨铸铁摩擦片缸套的浇注系统 .....     | 110 |
| 4.12.1 | 铸件模数与收缩模数计算 .....        | 110 |
| 4.12.2 | 用收缩模数法计算冒口模数 $M_R$ ..... | 112 |
| 4.12.3 | 冒口颈模数 $M_N$ 的计算 .....    | 112 |
| 4.12.4 | 浇注系统设计 .....             | 112 |
| 4.12.5 | 生产效果 .....               | 113 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| <b>第五章 铸件缺陷分析及防止</b>         | 114 |
| 5.1 呋喃树脂砂铸件常见缺陷分析及防止措施       | 114 |
| 5.2 用含氮树脂砂生产铸钢件产生气孔的原因分析     | 117 |
| 5.3 树脂砂铸件产生气孔的原因及防止措施        | 121 |
| 5.4 ZF 箱体铸件气孔、砂眼及粘砂缺陷分析及防止   | 127 |
| 5.5 铸铁件大型平台变形分析及对策           | 129 |
| 5.6 变速箱体后盖翘曲变形的解决            | 131 |
| 5.7 HT300 机床工作台缩松缺陷克服        | 132 |
| 5.8 呋喃树脂砂球墨铸铁件表层球化衰退原因分析     | 134 |
| 5.9 呋喃树脂砂型球铁铸件异常组织分析         | 136 |
| 5.10 呋喃树脂砂汽轮机铸钢件裂纹及预防对策      | 138 |
| 5.11 树脂砂生产 20Mn5V 铸钢件裂纹分析    | 140 |
| <b>第六章 呋喃树脂砂铸造生产及应用实例</b>    | 144 |
| 6.1 呋喃树脂砂用木模结构的特点            | 144 |
| 6.2 呋喃树脂砂铸型涂料                | 148 |
| 6.3 铬铁矿砂铸钢件铸造技术              | 150 |
| 6.3.1 大型铸钢件铸造工艺流程            | 150 |
| 6.3.2 大型铸钢件造型用砂              | 150 |
| 6.3.3 铬铁矿砂在造型中的应用            | 151 |
| 6.3.4 铬铁矿砂型砂特点及配制            | 153 |
| 6.3.5 铬铁矿砂分离装置               | 154 |
| 6.4 Pepset 树脂自硬砂的应用          | 157 |
| 6.5 树脂砂旧砂再生工部的设计与改造          | 160 |
| 6.6 呋喃树脂砂旧砂再生系统              | 163 |
| 6.7 呋喃树脂自硬砂的质量控制             | 168 |
| 6.8 铸钢常用自硬砂工艺的选用             | 173 |
| 6.8.1 几种常用铸钢自硬砂型砂的工艺、再生及环保特性 | 173 |
| 6.8.2 常用铸钢自硬砂工艺的选用及再生设备配置原则  | 177 |
| 6.9 应用树脂自硬砂生产 6t 铸铁件的实践      | 177 |
| 6.10 呋喃树脂砂在高铬铸铁生产中的应用        | 179 |
| 6.11 高温承压铁素体球墨铸铁件生产技术        | 182 |
| 6.12 G32 球墨铸铁汽缸盖的生产          | 187 |
| 6.13 履带拖拉机从动轮轮毂铸造工艺实践        | 190 |
| 6.14 箱体类铸件的生产与质量控制           | 195 |
| 6.15 呋喃树脂砂 EPS 白模实型浇注        | 197 |
| 6.15.1 ZG35CrMo 熔化铅锅铸件       | 197 |
| 6.15.2 EPS 白模呋喃树脂砂实型和空腔铸型浇注  | 199 |



6.16 风电球铁铸件生产实践 ..... 202

6.16.1 风电装备对铸件供应商的技术要求 ..... 202

6.16.2 风电铸造项目建设的一般要求 ..... 202

6.16.3 风电铸件特性说明 ..... 203

6.16.4 风电铸件铸造操作特性 ..... 203

6.16.5 辅助部门以及公用设施的投入要点 ..... 206

6.17 自硬砂铸造工程设计 ..... 208

6.17.1 自硬砂铸造车间的规模 ..... 208

6.17.2 设计原则及主要工艺说明 ..... 210

6.17.3 工作制度和年时基数 ..... 211

6.17.4 自硬砂铸造车间设备 ..... 213

6.18 国内汽车铸造装备与技术概况 ..... 222

6.18.1 熔炼设备 ..... 222

6.18.2 造型线 ..... 223

6.18.3 制芯设备 ..... 224

6.18.4 砂处理设备 ..... 225

6.18.5 清理设备 ..... 225

6.18.6 有色铸造设备 ..... 225

6.19 应用树脂砂的劳动卫生状况 ..... 225

参考文献 ..... 228

# 第一章

## 铸造用呋喃树脂砂概述

### 1.1 自硬呋喃树脂砂的概念

自硬呋喃树脂砂的命名来源于英语的 Furan No-Bake process, 呋喃树脂砂铸造是以呋喃树脂为黏结剂, 并加入催化剂混制出型砂, 不需烘烤或通硬化气体, 即可在常温下使砂型自行固化的造型方法, 通常简称为树脂砂。

自硬呋喃树脂砂具有以下优点。

(1) 铸件表面光洁、棱角清晰、尺寸精度高 这是由于树脂砂造型可以排除许多使型芯变形的因素。如:

① 型砂流动性好, 不需捣固机紧实, 减少了模样(芯盒)的伤损和变形;

② 砂型(芯)固化后起模, 减少了因起模前松动模样和起模时碰坏砂型(芯)引起的变形;

③ 无需修型, 减少了修型时引起的变形;

④ 无需烘烤, 减少了因烘烤造成的铸型(芯)变形;

⑤ 铸型强度高、表面稳定性好, 故芯头间隙小、分型负数小, 减少了下芯、配模过程中铸型的破损和变形, 保证了配模精度;

⑥ 铸型(芯)硬度高, 热稳定性好, 可以有效地抵御浇注时的型壁退让、迁移现象, 减少了铸型的热冲击变形(如胀砂等);

⑦ 型砂的溃散性好, 清理、打磨容易, 从而减少了落砂清铲修整工序中对铸件形状精度的损害。

总之, 由于在各个工序中都最大限度地排除了影响铸型、铸件变形和损坏的因素, 所以树脂砂铸件的铸件表面质量、铸件几何尺寸精度方面比黏土砂可以提高1~2级, 达到CT7-9级精度和1~2mm/600mm的平直度, 表面粗糙度大有改观。

(2) 造型效率高 提高了生产率和场地利用率, 缩短了生产周期。

① 型砂流动性好, 不需捣固机紧实, 节省了大量的捣固工作量, 使造型操作大为简化;

② 铸型强度高, 节约了起模后修型工作量;

③ 型(芯)上醇基涂料点干后可省去烘干工序, 节约了工时和场地;

④ 旧砂回收后干法机械再生, 使砂处理为封闭系统, 便于机械化, 可以节约大量旧砂处理, 型砂混制、运输等辅助劳动;

- ⑤ 型砂的溃散性好，落砂容易，修整工作量少；
- ⑥ 节约了一些造型（芯）前的准备工作量，如插芯固等。

根据一般统计，用自硬呋喃树脂砂代替黏土砂后，生产效率可提高 40%~100%，单位造型面积产量可提高 20%~50%。

(3) 减轻劳动强度 大大改善了劳动条件和工作环境，尤其是减轻了噪声、硅尘等，减少了环境污染。

(4) 节约能源 这表现在取消了烘窑和水力清砂，提高了铁水成品率，大大降低了压缩空气消耗，从而在节水、节电、节煤（焦）等方面效果显著。

(5) 树脂砂型（芯）强度高（含高温强度高）、成型性好 发气量较其他有机铸型低、热稳定性好、透气性好，可以大大减少铸件的粘砂、夹砂、砂眼、气孔、缩孔、裂纹等铸件缺陷，从而降低废品率，可以制造出用黏土砂难以做出的复杂件、关键件。

(6) 旧砂回收再生容易 可以达到 90%~95% 的再生回收率。在节约新砂、减少运输、防止废弃物公害等方面效果显著。

自硬呋喃铸型也存在一些缺点。

- ① 对原砂要求较高，如粒度、粒形、SiO<sub>2</sub> 含量、微粉含量、碱金属盐及黏土含量等都有较严格要求；
- ② 气温和湿度对硬化速度和固化后强度的影响较大；
- ③ 与无机类黏结剂的铸型相比，树脂砂发气量较高，如措施不当，易产生气孔类缺陷；
- ④ 由于硬化机理是脱水缩合型，故硬化反应需一定时间，模样的周转率较低，不易适应于大批量铸件的生产；
- ⑤ 与黏土砂相比，成本仍较高；
- ⑥ 对球铁件或低碳不锈钢等铸件，表面因渗硫或渗碳可能造成球化不良或增碳，薄壁复杂铸钢件上易产生裂纹等缺陷；
- ⑦ 浇注时有刺激性气味及一些有害气体发生，CO 气发生量较大，需有良好的通风条件。

由于自硬砂工艺有一系列优点，主要是投资省、上马快、生产柔性高，便于管理、综合成本低，因而特别适合于大型铸钢（铁）件生产。表 1-1 为自硬砂铸件的典型用途。

表 1-1 自硬砂铸件的典型用途

| 大型铸钢件     | 大型灰口铸铁件 | 球墨铸铁    | 有色合金      |
|-----------|---------|---------|-----------|
| 发电设备铸钢件   | 大型机床床身  | 大型风电轮毂等 | 大型铝电力开关壳体 |
| 船用大型铸钢件   | 工作台、立柱  | 球墨管道及附件 | 大型船用铜螺旋桨  |
| 铁路机车摇枕侧架等 | 天桥铣工作台  | 铁素体车桥铸件 |           |

续表

|            |            |          |      |
|------------|------------|----------|------|
| 大型铸钢件      | 大型灰口铸铁件    | 球墨铸铁     | 有色合金 |
| 水泥回转窑配件    | 横梁、龙门顶、连接梁 | 大型发电设备铸件 |      |
| 矿山及建筑机械铸钢件 | 试验工作台铸铁平板  |          |      |
| 桥梁盆型支架等铸钢件 | 大型柴油发动机缸体  |          |      |

自硬砂工艺及装备的发展，尤其是近几年来我国风电制造技术的引进消化推动了国内自硬砂行业及技术的全面提升。随着各种新型树脂及固化剂相继研发，各种自硬砂新技术不断用于生产，如酯硬化水玻璃法、碱酚醛法、Pepset 工艺、水玻璃砂热法焙烧再生、大型连续混砂机以及大型落砂机等。与此同时，铸型设计、砂温调节、再生过程参数检测控制与自动显示及树脂智能化系统等新技术先后用于自硬砂生产中。另外，可编程序控制器用于自硬砂混砂及旧砂再生工艺参数最佳化配套应用；加上准时化（just in time）概念引入自硬砂造型圈的生产管理，都给自硬砂铸造工程设计以新的内涵。

1.2  自硬呋喃树脂砂的原辅材料

组成自硬呋喃树脂砂的主要原材料有作为型砂骨料的原砂，作为黏结剂用的呋喃树脂，作为催化剂用的酸类固化剂和作为添加剂的硅烷偶联剂等，树脂砂造型中必需的辅助材料有涂料、脱模剂、黏合剂、浇口陶管、分型剂等。原辅材料的好坏对树脂砂铸件质量的影响很大。

1.2.1  原砂

一般仍选用天然石英砂。对于部分高合金钢铸件或特殊需要的情况下，也有选用铬矿砂或锆砂等特殊骨料的。树脂砂对石英砂的要求见表 1-2。

表 1-2  树脂砂对石英砂的要求

| 序号 | 铸件类型      | 材质种类 | SO <sub>2</sub> 含量/% | 粒度组别              | 含泥量/%        | 含水量/%        | 酸耗值/mL | 灼减量/% | 微粒含量/%           |
|----|-----------|------|----------------------|-------------------|--------------|--------------|--------|-------|------------------|
| 1  | 重大型、大型热节件 | 铸钢   | ≥97                  | 30~50<br>40~70    | ≤0.2         | ≤0.1~<br>0.2 | ≤5     | ≤5    | 140 目筛以下≤0.5~1.0 |
| 2  | 大、中型热节件   | 铸钢   | ≥96                  | 40~70             | ≤0.2         | ≤0.1~<br>0.2 | ≤5     | ≤5    | 140 目筛以下≤0.5~1.0 |
| 3  | 中、小薄壁     | 铸钢   | ≥96                  | 50~100            | ≤0.2~<br>0.3 | ≤0.1~<br>0.2 | ≤5     | ≤5    | 200 目筛以下≤0.5~1.0 |
| 4  | 重大及厚壁件    | 铸铁   | ≥90                  | 40~70             | ≤0.2         | ≤0.1~<br>0.2 | ≤5     | ≤5    | 140 目筛以下≤0.5~1.0 |
| 5  | 一般件       | 铸铁   | ≥90                  | 50~100            | ≤0.2~<br>0.3 | ≤0.1~<br>0.2 | ≤5     | ≤5    | 200 目筛以下≤0.5~1.0 |
| 6  | 薄壁小件      | 铸铁   | ≥90                  | 100~200           | ≤0.3         | ≤0.1~<br>0.2 | ≤5     | ≤5    | 270 目筛以下≤0.5~1.0 |
| 7  | 各类型铸件     | 有色金属 | ≥85                  | 70~140<br>100~200 | ≤0.2~<br>0.3 | ≤0.1~<br>0.2 | ≤5     | ≤5    | 270 目筛以下≤0.5~1.0 |

1.2.2 再生砂

对浇注后的树脂砂经砂块破碎后的砂粒，通过机械摩擦等方法将其表面残留的固化树脂层去掉一部分的处理叫树脂砂再生处理。再生砂的质量直接影响着树脂的用量和型砂性能，因此控制再生砂质量指标很有必要。指标值见表 1-3。

表 1-3 树脂砂再生质量控制指标

| 序号 | 树脂种类   | 铸造材质 | 灼减量<br>/%(<) | 酸耗值<br>/mL(<) | pH<br>(<) | 200 目筛的<br>底盘/%(<) | 底盘量<br>/%(<) | 含水量<br>/%(<) | 含氮量<br>/%(<) |
|----|--------|------|--------------|---------------|-----------|--------------------|--------------|--------------|--------------|
| 1  | 酚醛脲烷   | 铸铁   | 3.0          | —             | 8         | 3.0                | 0.5          | 0.2          | —            |
| 2  | 呋喃树脂   | 铸铁   | 3.0          | 2.0           | 5         | 1.0                | 0.2          | 0.2          | 0.1          |
| 3  | 呋喃树脂   | 铸钢   | 1.5          | 2.0           | 5         | 1.0                | 0.2          | 0.2          | 0.03         |
| 4  | 呋喃树脂   | 铸铝   | 4.0          | 1.0           | 6         | 1.0                | 0.2          | 0.2          | —            |
| 5  | 呋喃树脂   | 铸钢   | 2.5          | 1.0           | 6         | 1.0                | 0.2          | 0.2          | —            |
| 6  | 多元醇脲烷类 | 铸铝   | 3.0          | —             | 7         | —                  | 0.4          | 0.2          | —            |

1.2.3 呋喃树脂

1.2.3.1 呋喃树脂分类

目前常用的呋喃树脂，按其原料组分，可分为 6 类。

(1) 脲醛改性呋喃树脂 脲醛改性呋喃树脂是含有尿素甲醛的反应产物——羟甲基脲和糠醇缩合物。羟甲基脲具有很强的活性，并将氮引入树脂中。从理论上讲，脲醛呋喃树脂的含氮量为 1%~15%。含氮量增加即脲醛量增加，糠醇含量减少。脲醛呋喃树脂含氮量与糠醇含量的关系见表 1-4。通常采用测定脲醛呋喃树脂的含氮量来间接得到树脂中糠醇的含量。

表 1-4 呋喃树脂组成分类

| 序号 | 名 称        | 表示方法    | 主 要 组 成                      | 适用范围         |
|----|------------|---------|------------------------------|--------------|
| 1  | 脲醛改性呋喃树脂   | UF/FA   | 羟甲基脲与糠醇的缩聚物                  | 铸钢、铸铁、铸造非铁合金 |
| 2  | 酚醛改性呋喃树脂   | PF/FA   | 甲阶酚醛树脂与糠醇的缩聚物或共聚物            | 铸钢           |
| 3  | 酮醛改性呋喃树脂   | KPF/FA  | 甲阶酚醛树脂与糠醇的缩聚物或共聚物            | 铸钢           |
| 4  | 脲酚醛改性呋喃树脂  | UPF/FA  | 羟甲基脲、甲阶酚醛树脂与糠醇缩聚物或共聚物        | 铸钢、铸铁、铸造非铁合金 |
| 5  | 脲酚酮醛改性呋喃树脂 | UPKF/FA | 羟甲基脲、甲阶酚醛树脂、酮醛缩聚物与糠醇的缩聚物或共聚物 | 铸钢、铸铁、铸造非铁合金 |
| 6  | 甲醛改性呋喃树脂   | F/FA    | 甲醛与糠醇缩聚物                     | 铸钢           |
| 7  | 高呋喃树脂      | FA      | 糠醇自聚物或少量增强剂                  | 铸钢           |

脲醛呋喃树脂具有强度高、韧性好、塑性好、价格便宜、应用范围广等特点，

是应用量最大的一类树脂。但是,在评价脲醛呋喃树脂时还应当注意随着含氮量增加,树脂游离甲醛的含量增加,水分增大。脲醛呋喃树脂会出现混浊沉淀等现象,使树脂性能变差。

(2) 酚醛改性呋喃树脂 它是我们通常说的无氮树脂,含有酚醛的反应物——甲阶酚醛树脂和糠醇的缩聚或共聚物。酚醛中的酚和糠醇都具有芳香环,碳的密度高,在高温下,形成焦值高,具有很好的高温稳定性。酚醛树脂、酚醛改性呋喃树脂、脲醛改性呋喃树脂焦值比较见表 1-5。焦值的大小是衡量树脂高温稳定性的重要综合特性。这就是酚醛呋喃树脂自硬砂用于浇注温度较高的高合金钢和大型铸钢件的原因。酚醛改性呋喃树脂中酚醛的含量会影响型砂常温强度,硬透性等,一般酚醛含量在 30%为宜。

表 1-5 各种树脂的焦值

| 树 脂 种 类        | 催化劑     | 树脂:催化劑 | 焦值/% |
|----------------|---------|--------|------|
| 酚醛树脂           | 苯磺酸甲醇溶液 | 100:40 | 50.5 |
| 酚醛改性呋喃树脂       | 苯磺酸甲醇溶液 | 100:40 | 55.5 |
| 8%含氮量脲醛改性呋喃树脂  | 硫酸      | 100:50 | 41.4 |
| 13%含氮量脲醛改性呋喃树脂 | 硫酸      | 100:50 | 35.5 |

酚醛改性呋喃树脂具有无氮、高温性能好和抗粘砂能力强等优点,是铸钢件普遍采用的一种树脂。其缺点是贮存性差、黏度大、硬透性不好、型砂脆性大和常温强度低。

(3) 酮酚醛改性呋喃树脂 酮酚醛改性呋喃树脂的基本特点与酚醛改性呋喃树脂相同,只是增加了酮醛缩聚物,从而可保证树脂的游离甲醛控制在 5.4%以下。

(4) 脲酚醛改性呋喃树脂和脲酚酮醛改性呋喃树脂 脲酚醛改性呋喃树脂和脲酚酮醛改性呋喃树脂由于含有尿素和苯酚,所以这两类树脂兼有前两种树脂的基本特性,又互补两者的不足,但这两类为含氮树脂。

(5) 甲醛改性呋喃树脂 又称为呋喃聚合物,不含氮和酚,糠醇含量高达 90%以上,这种树脂多用于大型铸钢件上。有些国家要求树脂中不含苯酚,即用甲醛改性呋喃树脂代替酚醛改性呋喃树脂,强度和固化性能比酚醛改性呋喃树脂稍好。我国尚没有这种树脂。

(6) 高呋喃树脂 它是糠醇自身缩合树脂,糠醇含量达 95%以上,不含氮和酚,无醛树脂属于此类,但由于单纯糠醇树脂脆性较大,型砂性能不理想,常加入少量的附加物改善其性能,这类树脂价格昂贵,成本高。

以上所述是采用不同原料进行改性处理的呋喃树脂系列,各自具有某些物化性能以满足铸造工艺的不同要求。了解各类树脂基本特点,对于选用呋喃树脂是十分重要的。应当说明,以上所讲各种呋喃树脂确切地说是树脂的预聚物。当合成时(反应物达到一定技术指标时)反应被人为地加以中断,得到树脂的预聚物。这时的树脂预聚物一般保持相当数量的活性基团或活性粒子,可以在固化剂作用下进一

步形成网状结构的固态树脂。

1.2.3.2 呋喃树脂性能及其对自硬砂工艺性能的影响

(1) 呋喃树脂组分变化与性能的关系 如脲醛改性的呋喃树脂或用酚醛改性的呋喃树脂，变化糠醇、脲醛和酚醛在树脂中的比例，对树脂性能和铸件质量的影响很大，见表 1-6。

表 1-6 树脂组分的变化与性能的关系

| 性 能     | 增 加 糠 醇         | 增加脲醛    | 增加酚醛    |
|---------|-----------------|---------|---------|
| 强度      | 加到酚醛则提高         | 加到酚醛则提高 | 降低      |
| 脆性      | 加到酚醛则减少,加到脲醛则增加 | 减少      | 增加      |
| 固透性     | 增加              | 加到糠醇则减小 | 减少      |
| 发气量     | 减少              | 加到糠醇则增加 | 加到糠醇则增加 |
| 使用适应性   | 增加              | 加到糠醇则减少 | 减少      |
| 脉纹      | 加到脲醛则增加         | 减少      | 加到脲醛则增加 |
| 金属渗入、粘砂 | 减少              | 增加      | 减少      |
| 气孔缺陷    | 减少              | 增加      | 减少      |

呋喃树脂的性能优劣一般以其物化性能指标来表示，物化性能指标一般包括：含氮量、糠醇含量、游离甲醛含量、水分含量、黏度和密度等。而含氮量、糠醇含量、游离甲醛含量是选用树脂的重要技术指标。

(2) 树脂含氮量对工艺性能的影响

① 对常温强度的影响。呋喃树脂随着含氮量增加，用它配制的自硬砂的常温强度相应提高，但抗湿性下降，见表 1-7。但当含氮量高到一定程度时，由于黏度增加而导致包覆砂的树脂薄膜增厚，甚至薄膜分布不均匀以致有缺陷或包裹不完整使强度降低。如果照顾到黏度，减少脱水，则使树脂的含水量增加。虽然黏度相对降低，黏结剂薄膜分布均匀，包裹较好，但由于水分存在，使催化能力减弱，缩聚反应不能达到应有的深度，同时也使分子间的黏结变得疏松，而使强度降低。

表 1-7 自硬呋喃树脂含氮量与常温强度的关系

| 序号 | 自硬呋喃树脂 |       | 65%对甲苯磺酸<br>加入量/% | 抗压强度<br>/MPa(24h) | 附 注                          |
|----|--------|-------|-------------------|-------------------|------------------------------|
|    | 含氮量/%  | 加入量/% |                   |                   |                              |
| 1  | 0      | 1.8   | 0.5               | 4.27              | 树脂中 FA 含量均为 70%，起模时间0.5~1.0h |
| 2  | 1      | 1.8   | 0.5               | 5.18              |                              |
| 3  | 5      | 1.8   | 0.5               | 5.90              |                              |

② 对热强度的影响。含氮量可使树脂砂的常温强度提高，然而对热强度则有相反的影响，会使树脂砂热强度降低。在铸造生产中利用高氮呋喃树脂热强度低的特性，来改善浇注后型（芯）砂溃散性，特别是用来浇注铝合金铸件，一定要使用高氮树脂。实践证明，含氮量 13%的树脂，其高温强度只有氮含量 7%~8%的树脂的 1/2 左右。降低氮含量来提高型（芯）砂热强度是一种有效方法。一般低含氮

量和无氮呋喃树脂热强度约为 0.1~0.3MPa，随着含氮量降低，芳香环化合物的增加，其焦值含量变化速度减慢，即热解进行缓慢。这对树脂砂的热稳定性和钢铁铸件质量均产生有利影响。

③ 对韧性的影响。呋喃树脂含氮量增加，使树脂砂的韧性相对提高，有利于保证型（芯）砂的塑性，减少铸件表面的脉纹缺陷。

④ 易产生铸件气孔。树脂含氮高时，型砂常温强度高、韧性好、溃散性好。但含氮量高的树脂会使铸件产生氮针孔。因此，人们对含氮树脂的要求是既希望树脂中含有一定量的氮，又不希望太高。如铸铁用树脂普遍认为含氮量应控制在 5% 以下为宜。铸件的气孔与树脂中含氮量呈线性函数关系，还与铸件材料种类、铸件的壁厚有关。英国铸铁协会（BCIRA）提出呋喃树脂砂中含氮量极限值见表 1-8。从表中看出，如果按树脂加入量占砂重 1% 计，一般铸铁件用树脂的含氮量只要小于 15% 就可以，显然这是不能接受的。但是值得提出的是，现在使用的呋喃树脂，质量有较大提高，加入量较过去减少 50% 以上，因此型砂中氮量也相应减少。如果含氮量高的树脂在黏度、游离甲醛指标符合使用要求时，选用含氮量稍高的树脂用于铸铁件是完全可行的。

表 1-8  呋喃树脂砂中含氮量极限值

| 允许含氮量/% | 适  用  范  围 |
|---------|------------|
| <0.15   | 一般铸铁件      |
| <0.10   | 球铁件        |
| <0.01   | 合金铸件、铸钢件   |

1.2.3.3  呋喃树脂主要技术指标及适用范围

呋喃树脂的种类很多，如对其物理、化学和使用性能指标加以控制，就可以保证呋喃树脂的质量。

（1）呋喃树脂的主要技术指标见表 1-9。

表 1-9  呋喃树脂的主要技术指标

| 名  称                  |    | 指  标                                 |
|-----------------------|----|--------------------------------------|
| 树  脂  按  含  氮<br>量  分 | 无氮 | 含氮≤0.3%                              |
|                       | 低氮 | 含氮>0.3%~2.0%                         |
|                       | 中氮 | 含氮>2.0%~5.0%                         |
|                       | 高氮 | 含氮>5.0%~13.5%                        |
| 游离甲醛                  |    | A 级≤0.4%；B 级≤0.8%                    |
| 游离酚含量                 |    | ≤5%。                                 |
| 呋喃树脂黏度                |    | 其中无氮、低氮、中氮的均为≤100mPa·s，高氮的为≤200mPa·s |
| 含水量                   |    | 无氮≤2%，低、中氮≤6%，高氮≤12%                 |
| 密度                    |    | 1.15~1.25g/cm <sup>3</sup>           |



续表

| 名 称    | 指 标                                  |            |            |
|--------|--------------------------------------|------------|------------|
| pH 值   | 7.0±0.5                              |            |            |
| 呋喃树脂强度 | 按加入 1.5%呋喃树脂不加硅烷的工艺试样,24h 抗拉强度值分为三级: |            |            |
|        | 无氮                                   | A 级≥0.8MPa | B 级≥0.5MPa |
|        | 低氮                                   | A 级≥1.3MPa | B 级≥0.8MPa |
|        | 中氮                                   | A 级≥2.2MPa | B 级≥1.8MPa |
|        | 高氮                                   | A 级≥1.9MPa | B 级≥1.6MPa |

(2) 各种自硬树脂的主要技术指标及适用范围见表 1-10。

表 1-10 各种自硬树脂的主要技术指标及适用范围

| 树脂类型   | 主 要 技 术 指 标   |              |                 |                 |             | 适用范围     |
|--------|---------------|--------------|-----------------|-----------------|-------------|----------|
|        | 氮(质量分<br>数)/% | 黏度<br>/mPa·s | 游离醛(质量<br>分数)/% | 游离酚(质量<br>分数)/% | 比强度<br>/MPa |          |
| 呋喃自硬树脂 | 5~10          | ≤50          | ≤0.5            | —               | ≥1.0        | 非铁合金     |
|        | 2~4           | ≤30          | ≤0.3            | —               | ≥1.0        | 铸件       |
|        | 1~2           | ≤15          | ≤0.3            | —               | ≥1.0        | 球墨铸铁一般铸钢 |
|        | ≤0.5          | ≤15          | ≤0.3            | —               | ≥0.9        | 各种铸钢     |

1.2.4 固化剂

(1) 对固化剂的要求 酸自硬树脂砂用的固化剂不像热芯盒、温芯盒法那样采用潜伏型催化剂，而是采用活性催化剂，其本身就是强酸或中强酸，与树脂接触后便可激发和加速树脂的缩聚反应。固化剂应能满足下述要求：能满足工艺要求的硬化速度；能促使可使用时间长、起模时间短；能配成或其本身就是低黏度的液体；能长期储存，性能不变、含杂质少；对铸件质量无不良影响；对环境少污染或无污染。

(2) 固化剂的种类 自硬呋喃砂以酸作为固化剂。常用的有机酸固化剂有苯磺酸、对甲苯磺酸、二甲苯磺酸等，无机酸固化剂有磷酸、硫酸乙酯等。当磷酸作固化剂时，制好的型芯吸湿性强，且磷酸在砂中容易蓄水。只有在球铁或低碳不锈钢铸件的情况下，为防止铸件表面渗 S 而少量采用，一般再生回用砂不采用磷酸做固化剂。硫酸的腐蚀性强，配制时也有一定危险，虽然固化速度快，但终强度不高（在自硬树脂砂试验中，常将硬化 24h 的抗拉强度称为终强度，实际上这仅是一个检测的标志，并非真正的最终强度值，也不一定是最大强度值。终强度不高，也有在砂中蓄积的问题，只有在一次性使用的自硬砂中，而且气温太低时才使用终强度），一般都是用有机酸作固化剂。

(3) 固化剂的选用 由于磺酸类有机固化剂易分解，树脂砂的溃散性和旧砂再