

铸造手册

造型材料

第2版

中国机械工程学会铸造分会 编

4



机械工业出版社
China Machine Press

铸造手册

第 4 卷

造型材料

(第 2 版)

中国机械工程学会铸造分会 编



机械工业出版社

《铸造手册》共分铸铁、铸钢、铸造非铁合金、造型材料、铸造工艺和特种铸造 6 卷出版,本书为第 4 卷《造型材料》。

第 2 版在第 1 版基础上,进行了全面修订,更新和完善了许多技术内容。本卷共有绪论;原材料及其性能;型砂、芯砂、涂料及其性能;造型材料检测方法等 4 章。论述了造型材料的发展过程。详细介绍了各种造型原辅材料的来源、性能、产地等。系统而详尽地阐述了粘土砂、水玻璃砂、油砂、合成树脂砂等及砂型(芯)用涂料的工艺要点、配比、性能、应用实例与再生处理等。系统介绍了造型材料的各种检测方法、仪器。附录中列出了各种铸造原材料、造型材料测试仪器的规格型号、主要性能、生产或供应厂商。手册内容反映了当前造型材料技术的最新水平,材料丰富,实用。

本书可供从事铸造生产、科研和工程设计的技术人员使用,也可供高等院校及中等专业学校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

铸造手册·第 4 卷,造型材料/中国机械工程学会铸造分会编.—2 版.—北京:机械工业出版社,2002.6
ISBN 7-111-02875-9

I. 铸… II. 中… III. ①铸造—技术手册 ②造型材料—技术手册
IV. TG2—62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 018538 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:余茂祚 版式设计:冉晓华 责任校对:刘志文

封面设计:姚 毅 责任印制:付方敏

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 5 月第 2 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·11.75 印张·4 插页·706 千字

21 921—26 920 册

定价:38.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、68326677—2527

封面无防伪标均为盗版

铸造手册第2版编委会

顾	问	陶令桓	周尧和	柳百成
主	任	委	员	赵立信
副	主	任	委	员
委	员	房贵如		
		(按姓氏笔画为序)		
		王君卿	刘兆邦	刘伯操
		张伯明	余茂祚	(常务)
		范英俊	钟雪友	姚正耀
		黄天佑		

造型材料卷第2版编委会

主	编	黄天佑		
副	主	编	黄乃瑜	田秀全
编		委	谢方文	顾国涛
主		审	谢明师	关 键
总	策	划	余茂祚	

第 2 版前言

建国以来,我国铸造行业获得很大发展,年产量超过千万吨,位居世界第二;从业人员超过百万人,是世界规模最大的铸造工作者队伍。为满足行业及广大铸造工作者的需要,机械工业出版社于 1991 年编辑出版了《铸造手册》,共 6 卷 610 万字。第 1 版手册自出版发行以来,先后分别重印 3~6 次,深受广大铸造工作者欢迎。两院院士、中国工程院副院长师昌绪教授,科学院院士、上海交通大学周尧和教授,科学院院士、机械科学研究院名誉院长雷天觉教授,工程院院士、中科院沈阳金属研究所胡壮麒教授,工程院院士、西北工业大学张立同教授等许多著名专家、学者都对这套手册的出版给予了高度评价,认为手册内容丰富、数据可靠,具有科学性、先进性、实用性。这套手册的出版发行对跟踪世界先进技术、提高铸件质量、促进我国铸造技术进步起到了积极推进作用,在国内外产生较大影响,取得了显著的经济效益及社会效益。手册 1995 年获机械工业出版社科技进步(暨优秀图书)一等奖,1996 年获中国机械工程学会优秀工作成果奖,1998 年获机械工业部科技进步二等奖。

第 1 版手册出版后的近十年来,科学技术迅猛发展,先进制造技术不断涌现,标准及工艺参数不断更新,特别是高新技术的引入,使铸造行业的产品及技术结构发生很大变化,手册内容已不能适应当前生产实际及技术发展的需要。应广大读者要求,我们对手册进行了修订。第 2 版修订工作由中国机械工程学会铸造分会和机械工业出版社负责组织和协调。

修订后的手册基本保留了第 1 版风格,仍由铸铁、铸钢、铸造非铁合金、造型材料、铸造工艺、特种铸造共 6 卷组成。为我国进入 WTO,与世界铸造技术接轨,并全面反映当代铸造技术水平,第 2 版除对第 1 版已显陈旧落后的内容进行删改外,着重增加了近十几年来国内外涌现出的新技术、新工艺、新材料、新设备的相关内容,并以最新的国内外技术标准替换已作废的旧标准,同时采用新的计量单位,修改内容累计达 40% 以上。第 2 版手册详细介绍了先进实用的铸造技术,数据翔实,图文并茂,基本反应了 20 世纪 90 年代末至 21 世纪初国内外铸造领域的技术现状及发展趋势。新版手册将以崭新的面貌为铸造工作者提供一套完整、先进、实用的技术工具书,对指导生产、推进 21 世纪我国铸造技术进步将发挥积极作用。

第 2 版手册的编写班子实力雄厚,共有来自工厂、研究院所及高等院校 40 多个单位的 109 名专家教授参加编写。各卷主编是:

- 第 1 卷 铸铁 中国农业机械化研究院副院长张伯明研究员。
- 第 2 卷 铸钢 中国第二重型机械集团公司总裁姚正耀研究员级高工。
- 第 3 卷 铸造非铁合金 北京航空材料研究院院长刘伯操研究员。
- 第 4 卷 造型材料 清华大学黄天佑教授。
- 第 5 卷 铸造工艺 沈阳铸造研究所总工程师王君卿研究员。
- 第 6 卷 特种铸造 中国新兴铸管集团公司董事长范英俊研究员级高工。

本书为《铸造手册》的第4卷《造型材料》，在该卷编委会的主持下，经过许多同志辛勤劳动完成的。在主编黄天佑教授全面负责的基础上（并分工负责原砂、无机粘结剂原材料及混合料部分的统稿），与副主编黄乃瑜教授（分工负责有机粘结剂原材料、混合料及涂料部分的统稿）、田秀全高工（分工负责检测方法部分的统稿）共同主持编写、修订工作。参加第2版各章编写、修订工作的分工如下：

第1章 清华大学黄天佑教授，华中科技大学黄乃瑜教授。

第2章 原砂部分：福建省机械科学研究院谢方文研究员级高工。

粘土部分：清华大学黄天佑教授。

水玻璃部分：上海交通大学朱纯熙教授，上海沪东重机公司王红宇高工。

有机粘结剂部分：济南圣泉集团股份有限公司祝建勋高工，华中科技大学徐正达副教授、黄乃瑜教授。

辅助材料部分：一汽铸造有限公司王德茂高工，清华大学黄天佑教授、石晶玉副教授。

第3章 粘土砂部分：清华大学黄天佑教授，石晶玉副教授。

水玻璃砂部分：上海交通大学朱纯熙教授，上海沪东重机公司王红宇高工，华中科技大学樊自田副教授。

有机粘结剂型芯砂部分：华中科技大学黄乃瑜教授、徐正达副教授，北京仁创铸造有限公司秦升益研究员级高工、刘琦高工，柳州第二空压机总厂蔡教战高工，一汽铸造有限公司王德茂高工。

特种型芯砂部分：戚墅堰机车车辆工厂张致洵高工，沈阳铸造研究所谢明师研究员级高工，福建省机械科学研究院谢方文研究员级高工。

涂料部分：上海汽轮机有限公司顾国涛高工。

第4章 沈阳铸造研究所田秀全高工、关键研究员级高工、刘伟华高工。

附录 清华大学黄天佑教授、胡永沂高级实验师。

东风汽车公司研究员级高工彭元享参加了本书的审稿。

本书的最后统稿工作由主编、副主编、责任编辑余茂祚研究员级高工以及石晶玉副教授共同完成。主审为沈阳铸造研究所谢明师研究员级高工。

本书在编写过程中得到清华大学、华中科技大学、沈阳铸造研究所、福建省机械科学研究院、上海交通大学、济南圣泉集团股份有限公司、北京仁创铸造有限公司、广西柳州市柳江造型材料厂、上海汽轮机有限公司、戚墅堰机车车辆工厂、一汽铸造有限公司、柳州第二空压机总厂、上海沪东重机公司等单位的支持和帮助，在此一并表示感谢。由于编者水平有限，不周之处，在所难免，敬请读者指正。

中国机械工程学会铸造分会编译出版工作委员会

铸造手册第1版编委会

顾问	荣科		
主任	陶令桓		
副主任	缪良	周尧和	沈嘉猷
委员	(按姓氏笔画为序)		
	丛勉	刘兆邦	陈金城
	余茂祚	罗志健	姜希尚
	钟雪友	徐人瑞	黄恢元
	谢明师		

造型材料卷第1版编委会

主任	谢明师		
副主任	谢方文	王慕荣	
编委	程宽中	张致洵	李志辉
	周静一	魏光晨	

第 1 版前言

随着科学技术和国民经济的发展，各行各业都对铸造生产提出了新的更高的要求，而铸造技术与物理、化学、冶金、机械等多种学科有关，影响铸件质量和成本的因素又很多。所以正确使用合理的铸造技术，生产质量好、成本低的铸件并非易事。有鉴于此，为了促进铸造生产的发展和技术水平的提高，并给铸造技术工作者提供工作上的方便，我会编辑出版委员会与机械工业出版社组织有关专家编写了由铸钢、铸铁、铸造非铁合金（即有色合金）、造型材料、铸造工艺、特种铸造等六卷组成的《铸造手册》。

手册的内容，从生产需要出发，既总结了国内行之有效的技术经验，也搜集了国内有条件并应推广的国外先进技术。手册以图表数据为主，辅以适当的文字说明。

手册的编写工作由我会编辑出版委员会会同机械工业出版社负责组织和协调。本卷的编写工作在铸造专业学会铸造工艺及造型材料专业委员会的支持下，在《铸造手册》造型材料卷编委会的主持下，经过很多同志的辛勤工作完成的。编写过程中，根据各编委的专长分工起草，按章汇总，主编谢明师对全卷编写工作负责。各章汇总和编写的编委和有关同志如下：

第一章由谢明师（沈阳铸造研究所）编写。

第二章由谢方文（福建省机械科学研究院）、张致洵（戚墅堰机车车辆工厂）、谢明师、王慕荣（浙江大学）、李志辉（上海市机械制造工艺研究所）、程宽中（沈阳工业大学）、魏光晨（长春第一汽车制造厂）、李修文（长春第一汽车制造厂）等编写，并由谢方文汇总。

第三章由王慕荣、程宽中、李志辉、张致洵、魏光晨、谢明师等编写，并由王慕荣汇总。

第四章由周静一（沈阳铸造研究所）、胡清（沈阳铸造研究所）、尚淑珍（沈阳铸造研究所）等编写，并由周静一汇总。

附录部分由谢明师搜集整理。

全卷由主编谢明师汇总。

参加本卷会稿、审稿的有全体编委、责任编辑余茂祚和徐庆柏（安徽工学院）、陈允南（上海市机械制造工艺研究所）、顾国涛（上海汽轮机厂）、李则用（福建省机械科学研究院）等同志。

在本卷的编写过程中得到了沈阳铸造研究所、福建省机械科学研究院、上海市机械制造工艺研究所、浙江大学、沈阳工业大学、安徽工学院、长春第一汽车制造厂、戚墅堰机车车辆工厂、上海汽轮机厂、中国造型材料公司、通辽市大林型砂厂、都昌

县铸造型砂厂、星子县型砂厂、临安县膨润土矿、九台县膨润土矿、鄂州市太和膨润土矿、泸州化工厂、宣化县化工厂、宝鸡县型砂厂等很多工厂、科研院所、大专院校的支持以及许多专家们的帮助，在此一并表示感谢。由于编写的时间比较仓促，工作量又很浩大，难免有不周之处，望读者给予批评指正，以便再版时予以订正。

中国机械工程学会铸造专业学会

目 录

第2版前言

第1版前言

第1章 绪论 1

1.1 造型材料的重要性 1

1.2 我国造型材料的发展概况 1

1.3 造型材料发展趋势与展望 3

参考文献 5

第2章 原材料及其性能 7

2.1 原砂 7

2.1.1 硅砂 7

2.1.2 特种砂 18

2.2 粘结材料 32

2.2.1 粘土 32

2.2.2 水玻璃 38

2.2.3 油类粘结剂 47

2.2.4 合成树脂粘结剂 52

2.2.5 水泥 65

2.2.6 其他铸造用粘结剂 66

2.3 辅助材料 74

2.3.1 煤粉及其复合添加剂 74

2.3.2 重油和渣油 77

2.3.3 淀粉类材料 77

2.3.4 石墨粉 79

2.3.5 氧化铁粉 80

2.3.6 滑石粉 80

2.3.7 脱模剂 80

2.3.8 砂芯粘合剂 86

2.3.9 砂芯修补膏、修补砂 88

2.3.10 有机溶剂 88

参考文献 91

第3章 型砂、芯砂、涂料及其性能 93

3.1 以粘土为粘结剂的型砂和

芯砂 93

3.1.1 湿型砂 93

3.1.2 干型(芯)砂和表面烘干
型砂 112

3.2 以水玻璃为粘结剂的型砂和
芯砂 117

3.2.1 CO₂吹气硬化水玻璃砂 117

3.2.2 水玻璃自硬砂 126

3.2.3 烘干硬化水玻璃砂 129

3.2.4 水玻璃旧砂的再生 130

3.3 以水泥为粘结剂的型砂和
芯砂 133

3.3.1 以水泥为粘结剂的型(芯)砂
的特性 133

3.3.2 几种水泥自硬砂的配比及
性能 133

3.3.3 水泥自硬砂的混制工艺 134

3.4 以油为粘结剂的芯砂 134

3.4.1 植物油砂 134

3.4.2 合脂砂 136

3.4.3 改性渣油砂 137

3.4.4 乳化沥青砂 139

3.5 以树脂为粘结剂的型砂和
芯砂 139

3.5.1 覆膜砂 140

3.5.2 热芯盒砂 145

3.5.3 冷芯盒砂 149

3.5.4 温芯盒砂 155

3.5.5 树脂自硬砂 156

3.5.6 聚乙烯醇砂 180

3.5.7 JD-2型复交芯砂 180

3.6 以特种砂为原砂的型砂和
芯砂 182

3.6.1 以石灰石砂为原砂的型砂和
芯砂 182

3.6.2 以其他特种砂为原砂的型砂和
芯砂 185

3.6.3 以磷酸盐为粘结剂的型(芯)砂	187
3.6.4 可溶性芯砂	190
3.7 涂料	191
3.7.1 涂料的作用	191
3.7.2 涂料的性能	191
3.7.3 涂料的基本组成及其主要原辅材料	194
3.7.4 涂料的分类及其配比	200
3.7.5 涂料的制备	205
3.7.6 涂料的涂敷	206
3.7.7 涂料常见的缺陷及其防止措施	207
参考文献	209

第4章 造型材料测试方法 212

4.1 原材料的测试方法	212
4.1.1 取样规则	212
4.1.2 原砂性能测试方法	213
4.1.3 原砂的化学成分分析	224
4.1.4 粘土和膨润土	234
4.1.5 粘土和膨润土的成分分析	245
4.1.6 桐油、植物油	254
4.1.7 合脂、渣油	259
4.1.8 纸浆废液、亚硫酸盐木浆废液及糖浆	261
4.1.9 淀粉、糊精	262
4.1.10 松香	263
4.1.11 覆膜砂树脂	266
4.1.12 热芯盒树脂	268
4.1.13 三乙胺固化酚尿烷冷芯盒树脂	273
4.1.14 SO ₂ 固化树脂	274
4.1.15 CO ₂ 固化或甲酸甲脂固化酚醛树脂	274
4.1.16 CO ₂ 固化聚丙烯酸树脂或聚乙烯醇树脂	274
4.1.17 自硬砂用呋喃树脂	274
4.1.18 磺酸类固化剂	275

4.1.19 水玻璃粘结剂	277
4.1.20 煤粉及其代用材料	279
4.2 型(芯)砂性能测试方法	286
4.2.1 粘土砂	286
4.2.2 水玻璃砂	302
4.2.3 覆膜砂	304
4.2.4 热芯盒砂	307
4.2.5 冷芯盒树脂砂	308
4.2.6 树脂自硬砂	309
4.3 涂料性能测试方法	312
4.3.1 取样和制备	312
4.3.2 涂料性能测定	312
参考文献	317

附录 318

附录 A 铸造用硅砂一览表	318
附录 B 特种砂一览表	322
附录 C 铸造用膨润土一览表	322
附录 D 水玻璃及有机酯一览表	324
附录 E 铸造用煤粉一览表	325
附录 F 铸造用淀粉一览表	325
附录 G 铸造用树脂一览表	326
附录 H 固化剂一览表	333
附录 I 覆膜砂酚醛树脂一览表	337
附录 J 覆膜砂一览表	339
附录 K 涂料一览表	347
附录 L.1 造型材料测试仪器一览表	356
附录 L.2 造型材料测试仪器生产单位一览表	359
附录 M 液料密度一览表	359
附录 N 常用松散物料堆积密度和安息角一览表	360
附录 O 与造型材料有关的标准一览表	362
附录 P 元素周期表	见插页

第 1 章 绪 论

1.1 造型材料的重要性

造型材料的含义很广,凡是用来制造铸型(包括砂芯)的材料统称为造型材料。铸造生产中使用的铸型有砂型、金属型、陶瓷型、石膏型、石墨型等等,其中最普遍和大量使用的是砂型,在我国或世界范围内,应用砂型生产的铸件占应用各种铸型生产铸件的 80% 以上,因此本卷仅叙述砂型铸造范畴的造型材料。

造型材料在铸造生产中占有重要的地位,其质量好坏直接影响铸件的质量、生产效率和成本。据统计,铸造生产中往往由于造型材料质量低劣或使用不当而造成铸件报废的约占总废品率的 50% 以上。造型、制芯费用占铸件生产总成本的 1/2 左右,金属熔炼占成本 1/4,其余 1/4 的成本要花费在铸件清理及其后处理工序上,其中清理工序的成本的 70% 与造型材料有着密切的关系。由此可见,铸件生产总成本中的 70% 左右和一半以上的质量问题都与造型材料及其应用有关。

一些高效造型、制芯材料和工艺的出现,往往会给铸造车间面貌带来巨大的变化,譬如造船、机床厂采用树脂自硬砂代替原先的粘土干型砂,铸件的尺寸精度可达 CT9~CT10 级,比粘土砂工艺高 2 级;铸件表面粗糙度可达 $R_a = 12.5 \sim 50 \mu\text{m}$,比粘土砂高 1~2 级;铸件废品率稳定在 3% 以下;车间单位面积的铸件产量比粘土砂翻一番;铸件的清砂效率提高 3 倍。杭州机床厂、兰州石油化工机械厂、宁夏银川长城须崎铸造有限公司等已生产出大批出口铸件,其质量可与国外铸件媲美。榆次液压件厂、沈阳水泵厂生产出尺寸精确、流道光滑的水泵过流部件,使水泵效率提高 2%~3%,获得了可喜的经济效益。再如汽车制造厂采用冷芯盒制芯工艺与热法制芯工艺比,能耗约为壳型工艺的 1/7,热芯盒的 1/5、油芯的 1/10;劳动生产率为热法工艺的 1.5 倍,油芯的 10~20 倍;铸件的尺寸精度提高到 CT6~CT8 级。

显然,研究开发造型材料的新品种,生产供应符合铸造生产需要的造型材料,以及合理选用各种造型材料,对于提高铸件质量、降低成本、提高劳动生产率和改变铸造生产面貌有着现实和深远的意义。毛坯精化及近无余量铸造,洁净以及高效生产一直是世界各国铸造工作者追求的共同目标。随着我国机械工业的发展以及越来越多的外国企业将原来在其他国家生产的铸件转移到中国来,使铸件的需求量不断增加,对铸件质量(包括内在质量和表面质量)的要求也越来越高,这必将对造型材料提出更高的要求,并且将进一步显示出造型材料在铸造生产中的重要地位。

21 世纪呼唤“绿色铸造”,保护环境,实现可持续发展是我们的基本国策,造型材料对铸造厂的清洁化生产起着决定性的作用。据统计,每吨铸件需消耗 1t 左右新砂(不锈钢铸件消耗 1.5t 新砂),全国每年消耗新砂千万吨以上。同时,将排出大量的旧砂,如不能对旧砂进行处理回用,必定给周围的环境带来严重污染。此外,砂处理工部产生的灰尘,造型、制芯、浇注过程中树脂等有机物的分解,溶剂的挥发放出的有毒废气,酸碱物质溶解在水中等都是污染的源头,因此,采用少污染和无污染的先进造型材料和工艺,达到国家工业卫生排放标准意义重大,有时甚至会成为铸造厂能否生存的关键。

1.2 我国造型材料的发展概况

我国虽然是一个铸造生产的古国和大国,但过去铸造技术的水平一直比较落后,一直主要采用粘土砂手工造型和进窑烘干的干型工艺,新的、先进的造型制芯工艺占的比例很低。

从 20 世纪 70 年代末开始,随着我国经济的发展以及与国际合作的增加,人们对铸件的质量重视程度不断提高,其中对造型材料的研究、开发和应用也得到大大加强。从国家的第六个五年计划开始,对造型材料主要厂矿进行了技术改造,建立并健全了一些造型材料(包括:原砂、膨润土、树脂粘结剂、固化剂等)的生产基地。

许多科研部门、工厂、高等院校也投入大量人力、物力进行研究,开发成功了一批新的造型材料产品。

我国铸造用硅砂资源丰富,据中国铸造材料公司统计,年生产能力达600万t,但优质的天然硅砂少,加上多数砂矿是由地方农民开采,原砂不经加工,质量满足不了要求。近年来,根据提高铸件质量和发展新的造型、制芯工艺的要求,许多原砂生产企业已经注意对天然硅砂进行加工,建立了一些大型的原砂水洗、擦洗厂(例如内蒙大林型砂厂和江西都昌型砂厂)和几十个中小型水洗砂厂,每年可供应百万吨水洗砂,10多万吨擦洗砂,已形成内蒙地区、鄱阳湖畔和福建沿海等几个天然硅砂基地,基本上满足了这些地区铸铁用砂的需求。并已研究成功天然硅砂浮选精加工工艺,使石英质量分数由90%左右提高到97%以上,为铸钢用树脂砂、水玻璃砂提供了符合要求的原砂。

铸造用粘土和膨润土遍布各大区,年生产能力分别达16万t和35万t,原有黑山、九台、信阳、江宁、余杭、宣化等的钙基膨润土经过活化处理,基本上能满足一般湿型砂铸造的要求。1974年我国首次在浙江省临安县发现和开采了平山钠基膨润土,之后又相继探明了辽宁黑山、吉林刘房子、辽宁凌源、吉林鸡西刘房、新疆托克逊等钠基膨润土矿藏,其中有些膨润土的工艺性能可与美国怀俄明膨润土媲美。优质钠基膨润土在湿型铸造上的应用表明,它在成批大量生产以及一些具有大平面的铸件生产中能有效地防止铸型塌箱和铸件的夹砂缺陷,显著提高铸件的表面质量。目前,由于粘土矿物在许多地方的无序开采,使得粘土质量难于保证,劣质或质量不稳定的粘土使得铸造厂的砂处理系统型砂质量难于控制,常常造成铸件废品和缺陷。令人欣慰的是,近几年来出现了像辽宁红山火山粘土有限公司这样的专业膨润土粉生产厂,能向铸造厂提供各种规格和质量稳定的膨润土粉。

水玻璃是我国自20世纪50年代以来用量仅次于粘土和膨润土的一种无机化学粘结剂,尤其是铸钢行业广泛采用水玻璃 CO_2 砂、水玻璃自硬砂和水玻璃石灰石砂。目前,我国铸钢件年产量120多万t,其中70%以上是采用 CO_2 硬化水玻璃砂工艺,因此,可称是世界上应用水玻璃砂

最多的国家之一。但是,水玻璃的加入量高、落砂性能差和再生困难一直困扰着铸造工作者。近年来对改善水玻璃砂溃散性方面,许多科研院所、大专院校和工厂都做了大量的试验研究工作,并取得了一定的效果,使得水玻璃砂的残留强度大大降低、溃散性明显改善。一批成熟的溃散剂和改性水玻璃已商品化。一些工厂也已采用了酯硬化水玻璃砂造型。近十多年来,人们对水玻璃的基本组成和老化现象认识的深化与新型酯硬化水玻璃砂工艺的开发取得了突破性进展,即水玻璃通过物理和化学改性,消除老化现象,可提高水玻璃砂强度20%~30%;同时采用新的酯硬化工艺,又可提高水玻璃砂强度30%以上。采取上述两项有效措施,可使型、芯砂中水玻璃加入量由传统方法的7.0%~8.0%降低到2.5%~3.5%,从而,水玻璃砂的溃散性得到明显改善,使水玻璃砂进行干法落砂、再生和回用成为可能。大量的生产实践表明,采用优质硅砂、对水玻璃进行改性和采用专用的有机酯,是用好酯硬化水玻璃砂的关键。

20世纪50年代研究成功的一系列取代植物油的有机粘结剂,如亚硫酸盐纸浆残液、渣油和20世纪60年代初我国发明的合脂粘结剂,目前仍在一些中小铸造企业普遍应用。近十年我国在合成树脂粘结剂的试验研究和推广应用方面有了较大的进展。沈阳铸造研究所、上海市机械制造工艺研究所、华中科技大学、济南圣泉集团股份有限公司、北京仁创集团公司、重庆长江覆膜砂厂、沈阳铸造材料厂、江苏兴业树脂厂、广东深圳树脂厂等科研单位、大专院校和工厂都做了大量的试验研究工作。目前我国已经能够系列生产各类自硬砂、冷芯盒、热芯盒、壳型(芯)等工艺所用树脂。

树脂自硬砂工艺已被许多铸铁、铸钢和非铁合金铸造厂广泛采用,已用树脂砂生产了形状复杂、尺寸精度要求很高、表面粗糙度值低、重达50多吨的大型水轮机转子铸钢件;许多机床厂已采用树脂砂生产出口机床铸件。我国现有成套的树脂自硬砂生产线约300多条,已广泛应用在机床、水泵、阀门、船用柴油机、机车车辆等行业中。在树脂砂工艺中目前以呋喃树脂自硬砂为主,但酯硬化碱性酚醛树脂砂和酚尿烷树脂砂(Pep Set)工艺也在20~30家工厂得到应用。但

总的来看,目前我国铸件生产中采用树脂自硬砂的比例还偏低,还有很大的发展空间。

覆膜砂制芯、热芯盒制芯工艺是目前我国铸造厂的主要制芯工艺。三乙胺法冷芯盒和 SO_2 法冷芯盒制芯工艺也在一些工厂中得到应用,同时也出现了一些无污染、低污染的有机粘结剂制芯工艺。目前我国已能生产出高强度、低膨胀、低发气量、速硬、耐热和易溃散的覆膜砂以及离心铸造用覆膜砂等数十个品种。我国的覆膜砂生产已由用户自产自用转变为专业厂集中生产供应,年产量达 300~400t 的覆膜砂专业生产厂已有数百家。覆膜砂不仅用于铸铁件,还用于铸钢件和非铁合金铸件。大批量生产应用的复杂铸件有缸盖、水套、进排气歧管和泵体等。从 20 世纪 90 年代以后,沈阳铸造研究所、济南圣泉集团股份有限公司和华中科技大学等单位,研究开发出一些优质的酚醛树脂,对提高覆膜砂的性能和扩大其品种起了一定的作用。

在涂料方面,近几年来为提高铸件质量和适应树脂砂工艺的要求,国内也加强和重视涂料的试验研究工作,应用流变力学的理论指导,研制和生产了各种适合于铸钢、铸铁、非铁合金铸件以及实型铸造的水基和醇基快干涂料,有些涂料性能和使用效果已接近或达到国际同类涂料的水平,对改善铸件表面粗糙度、减少铸造缺陷起了重要的作用。最先由日本小松制作所发明、近年来引起世界各国普遍重视的转移涂料(又称不占位涂料)是一种与传统涂料不同的新型涂料,它可以使铸件的表面粗糙度接近精密铸造的水平,尺寸精度也有显著提高。国内已成功地将这一技术应用于模具和模样的制造,取得了很好的效果。流涂涂料是适应于树脂砂生产线的一种新型涂料,它的涂敷效率比刷涂提高 10 倍以上,铸件表面质量好,容易实现机械化生产,改善工人劳动条件,在许多用树脂砂的铸造厂得到应用。涂料的效用也由单一的防粘砂作用向多功能化发展。

近年来我国除积极研究开发造型材料及其工艺外,也十分重视引进国外有关造型材料的专有技术。1984 年中国北方工业公司兴安化学材料厂引进美国垒可德化学公司呋喃树脂全套工艺和 SO_2 冷芯盒法,同年,原中国汽车公司长春第一汽车制造厂会同常州有机化工厂引进了美国亚什

兰化学公司三乙胺气雾冷芯盒法及其所用树脂的制造技术。1984 年底,中国铸造材料公司从英国福士科公司引进涂料、水玻璃粘结剂、脱模剂、发热保温冒口和补贴材料等 5 类 42 种规格的产品。上海市机械制造工艺研究所也同时引进了其中的 20 几种产品,从而大大促进了我国造型材料及其相关新工艺的发展,同时还出现了一批造型材料(涂料、改性水玻璃、覆膜砂等)的专业化生产厂。

特别值得提出的是,近 10 年来,一些国际上著名的造型材料生产厂商陆续进入中国市场,在我国合资或独资建立了造型材料生产企业,大大促进了中国造型材料技术水平的提高。例如美国的亚什兰公司、英国的福士科公司和海沃斯公司、德国的欧区爱公司等等。

随着造型材料和工艺的发展,我国造型材料的测试技术也有较大的发展,在清华大学、沈阳铸造研究所、华中科技大学、邯郸市自动化仪表厂等单位的共同努力下,造型材料测试仪器已由原来测试型砂性能的老 8 件发展到近百个品种,而且在仪器的测试精度、可靠性和智能化方面都有了明显改进,基本上满足了造型材料的测试要求。除了实验室的测试仪器之外,还自行开发和引进了一些造型材料在线检测控制系统,例如水分、紧实率的在线检测控制系统,型砂性能的在线检测控制系统。清华大学、华南理工大学、沈阳工业大学、东南大学和青岛天泰铸造设备有限公司等单位在这方面做了许多研究开发工作,取得了可喜的成绩。

1.3 造型材料发展趋势与展望

在本书出版的时候,人类已经跨入 21 世纪。展望新的世纪,我国将在前所未有的广度和深度上向世界开放,随着铸件市场的全球化,竞争更加激烈,对铸件的优质精化将提出更高的要求,需要更广泛采用各种近无余量的精确成形新工艺,因此必须建立与之相适应造型材料体系。21 世纪需要“绿色铸造”,造型材料的产品从生产、使用到回收以及废弃物处理的每一个环节,都应符合环境保护要求,对环境无害,并且最大限度地利用自然资源和节约能源,以实现“既满足当代人需要,又不对子孙后代满足其需求能力构成危害”的可持续发展。

预计今后在中、小铸件大批量流水生产（譬如汽车、内燃机缸体、缸盖、箱体类铸铁件生产）中，将广泛采用射压、气冲、高压和静压造型等高密度湿型砂；在中、大件单件小批生产（如机床、造船、通用机械和重型机械铸件生产）中，将广泛采用树脂自硬砂；而在铸钢件生产中，特别是大件和特大件的生产中，有机酯水玻璃砂有着较好的应用前景。

高密度湿砂型铸造是一种高效的近无余量生产工艺，铸件的尺寸精度可达 CT6~CT8 级，表面粗糙度可达 $R_a = 12.5 \sim 25 \mu\text{m}$ 。同时粘土湿型砂的原材料资源丰富，价格低廉，操作方便，无味、无毒，旧砂容易再生，符合绿色铸造的要求，在世界上工业发达国家例如德国（见表 1-1）也被普遍采用，在我国粘土湿型砂仍然是主要的造型材料。今后进一步加快发展高密度湿型砂研究开发的重点是：①在严格选用蒙脱石含量高的膨润土原矿的基础上，对膨润土进行改性处理，使其分散性、粘结性得到更大限度的发挥，譬如近些年来，美、日、法等工业发达国家对有机物-膨润土复合材料的开发是热点之一。②开发无毒、无味、无腐蚀、颜色浅、含光亮碳高、含硫、灰分低的煤粉代用材料。③开发新一代的型砂性能检测仪器，运用计算机、自动化技术的最新成果，实现砂处理系统的在线检测和型砂质量的智能化控制。

表 1-1 德国造型工艺方法的变化

造型材料		粘土 湿型砂	水泥 砂	水玻 璃砂	树脂 自硬砂	壳型 砂	其 他
所生产 的铸件 (%)	1976 年	60.3	12.4	0.8	19.4	4.8	2.3
	1986 年	66.0	1.0	0.1	30.2	0.4	2.3

今后，树脂自硬砂在大、中型单件小批生产中还将继续扩大应用范围，目前我国树脂砂铸件产量仅占到铸件总产量的 6.7%，而工业发达国家占到 13%~17%。进一步发展我国树脂自硬砂值得重视的问题是：①进一步提高树脂砂的综合性能指标（譬如使树脂加入量下降到 0.8%~0.9%，铁砂比控制在 1:3~1:4，废品率下降到 2% 以下），提高质量，降低成本，使树脂砂的优越性和经济效益充分体现出来。②充分发挥多种

自硬树脂砂的优势和特点，形成呋喃自硬、碱性酚醛、酚尿烷、酯固化酚醛多种自硬砂竞相发展的局面。图 1-1 是我国与工业发达国家各种树脂自硬砂工艺按树脂用量应用的比例。③随着环境保护法的不断完善，对树脂散发的有害气体的限制越来越严格，树脂生产厂家要加大环保投资的力度，开发出少污染和无污染的新材料、新工艺，譬如显著降低现有树脂中游离甲醛、游离酚的含量，开发新的树脂材料，使铸造过程挥发的苯、二甲苯等有毒气体大幅度下降，甚至完全消除。④树脂的性能将向着加快固化速度，降低粘度，增加抗吸湿性，提高常温强度和高温强韧性的方向发展，树脂砂的品种将会更加多样化、系列化，以适应于不同原砂、不同环境条件、不同合金材质、不同形状铸件的特殊要求。为满足铸件“轻量化”的需求，今后专门用于铝、镁合金的分解温度低、易溃散的树脂将会有很大的发展。近年来国外开发的一种树脂自硬砂组芯造型，在可控气氛、可控压力下精确成形的复合工艺和相关材料，可使 800mm 长的薄壁高强度铝合金气缸体的精度达到 $\pm 0.25\text{mm}$ ，铸件内在组织致密，旧砂 98.5% 可回用，值得推广应用。

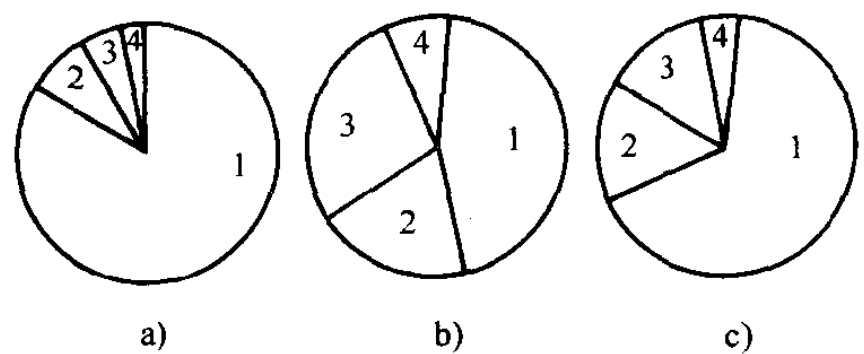


图 1-1 各种树脂自硬砂工艺的应用比例（以树脂用量为准）

a) 中国 b) 发达国家 A c) 发达国家 B

1—呋喃自硬 2—碱性酚醛

3—酚尿烷 4—酯固化酚醛

由于水玻璃砂成本低，污染少，特别是其高温韧性对减少薄壁铸钢件裂纹缺陷十分有利，在铸钢件生产中应用较为普遍。近十多年来，我国在水玻璃基本组成、老化现象和改性等方面的基础研究取得了很大的进展，新型酯硬化工艺和 CO_2 复合硬化工艺的成功应用，使型（芯）砂中水玻璃加入量降低到 2.5%~3.5%，从而使水玻璃砂的溃散性得到明显改善，干法落砂成为可能。如果能进一步努力解决好水玻璃砂的旧砂回

用问题，提高脱膜率和回收率，水玻璃砂在铸钢件中的应用前景将是十分美好的。

在制芯方面目前我国还是以热法为主，冷法占的比重很小。但从节约能源、改善工作条件和提高砂芯精度出发，今后冷法工艺的应用会呈快速上升的趋势，它将逐渐取代热法，与世界先进国家的制芯工艺发展趋势相吻合。譬如德国 1997 年至 1998 年热法制芯只占到 27%，而冷法制芯上升到 70% 以上，其中三乙胺法又占绝对优势（见表 1-2）。为了减少对环境的污染，世界各国致力于改进树脂，改进吹气工艺和尾气净化装置，使三乙胺的排放量控制在工业卫生排放标准范围内（长期接触为 $3 \times 10^{-4}\%$ ，短期接触为 $5 \times 10^{-4}\%$ ）。譬如 HA 公司新近开发一种新的冷芯盒树脂，采用植物油提炼的甲酯代替高沸点芳香烃用于树脂和催化剂，可使铸造过程挥发的苯、二甲苯、二联苯等有毒气体降低 50%，同时大大降低脱膜剂用量，提高生产效率 10% ~ 50%。与此同时，还将大力开发 CO₂ 碱酚醛树脂砂、甲酸甲酯固化酚醛树脂砂等各类新的低毒和无毒冷芯盒气硬制芯工艺。

表 1-2 德国采用各种化学粘结剂制芯方法的用砂量比较（%）

年 份	三乙 胺冷 芯盒	热 芯盒	壳 型	SO ₂ 冷 芯盒	水 玻 璃	CO ₂ 硬化酚 醛树脂	甲酸 甲酯
1993~1994 年	52	19	15	3	7	1	3
1997~1998 年	56	18	9	6	5	4	2

根据我国的现状和发展的需要，热法在今后相当长的一段时期内仍会保持相当的市场规模，特别是覆膜砂由于其流动性好，充型能力强，可生产各种薄壁复杂的砂芯，其强度高，可以制成中空、薄壁、溃散性好的砂芯；可以不上涂料，生产出表面光洁、尺寸精确的铸件，在汽车铸件的生产中应用相当普遍。今后进一步发展方向是提高树脂的强韧性，降低游离酚含量，减少污

染；增加覆膜砂的品种，开发高强度、低膨胀、低发气的覆膜砂，速硬、耐热覆膜砂以及易溃散的覆膜砂，以适应各类近无余量铸件生产的需要。而对于热芯盒树脂砂发展趋势是进一步提高树脂的反应活性，开发价廉的温芯盒催化剂，逐步向温芯盒过渡。

涂料的发展趋势和研究开发的重点是：①开发有机和无机系列的转移涂料，推广应用树脂砂流水线上高效优质的流涂涂料。研制适应于实型铸造的优质涂料，建立与近无余量精确成形技术相适应的新涂料系列。②涂料的效用由单一的防粘砂作用向多功能化发展，进一步开发表面合金化涂料，控制凝固速度的涂料，能阻隔铸型（砂芯）中有害气体侵入铸件的烧结型屏蔽涂料，建立完善的涂料商品系列。③加快涂料绿色化生产，以适应环境保护的要求。涂料的颜色由黑色向浅色转变，由用载液向不用、少用载液或主要用水作为载液转变，尽量不用苯、二甲苯、酒精、甲醇等有害人体健康的挥发性溶剂。先进工业国家水基涂料用量占到 65%，并且，有继续增长的趋势。同时，采用自干、快干和微波干燥方法，以提高水基涂料干燥效率和表面质量。④开发先进的涂料性能检测方法和仪器，使涂料的质量管理建立在科学监控的基础上；加强涂料物性参数、流变特性以及铸型间相互作用的研究，开发复合粘结剂和悬浮剂，探索超细粉和不同级配骨料对涂料性能影响的规律，建立涂料原材料和性能的信息数据库，使涂料的研发工作根深叶茂。⑤开发新的设备，使涂料在存放和涂挂过程中，不断地搅拌，减少沉淀，达到涂挂性能均一化。

先进的型砂性能测试仪器和砂处理设备（包括定量、混砂、再生、除尘、降温等设备）对于保证型砂、砂芯质量至关重要。在新的世纪里，随着计算机技术的进一步发展，这些设备的效率、可靠性必将得到大大提高，柔性化、智能化、网络化技术的应用必将使砂处理、造型、制芯车间完全改变面貌。

参 考 文 献

1 E. Wilms. Form-und Kernherstellung Stand und Trends. Giesserei, 1999 (6): 131~133

2 黄乃瑜，罗吉荣．铸造原辅材料的发展趋势及若干

建议．铸造，1999 年增刊 (276): 32~36

3 宋会宗．21 世纪铸造涂料技术．见：应用先进铸造技术及工艺提高铸件质量研讨会．厦门：1999.11，

29~36

- 4 朱世根. 我国壳型(芯)用覆膜砂的发展. 见: 应用先进铸造技术及工艺提高铸件质量研讨会. 厦门: 1999.11, 36~39
- 5 程宽中. 新中国五十年来的造型材料的发展和展望. 铸造设备研究, 2000 (4): 1~9
- 6 周静一. 展望 21 世纪我国高效造型制芯技术. 见: 应用先进铸造技术及工艺提高铸件质量研讨会. 厦门: 1999.11, 39~43
- 7 祝建勋. 铸造有机化学粘结剂的发展现状与展望. 造型材料, 1992 (2): 5~10