

铸造实用技术丛书

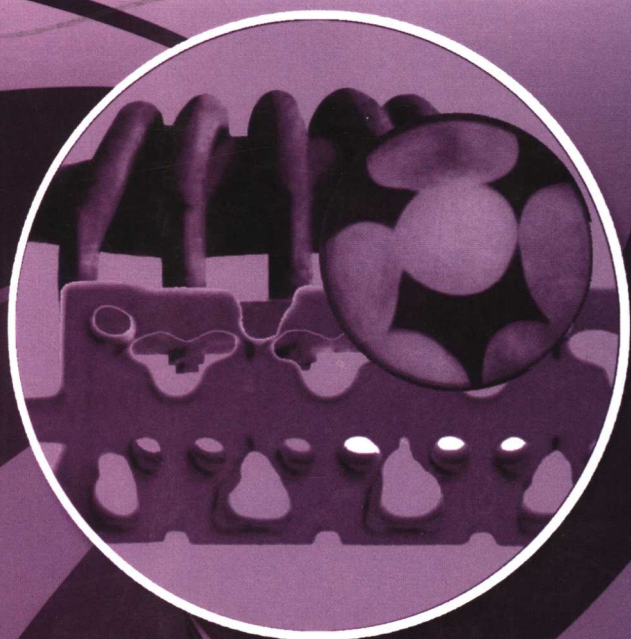
覆膜砂及制型（芯）技术

全国铸造学会

组编

圣泉集团公司

李远才 等编著



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



TG242/3

2008

铸造实用技术丛书

覆膜砂及制型（芯）技术

全国铸造学会 组编
圣泉集团公司
李远才等 编著
王文清 主审

机械工业出版社

本书是国内第一本有关覆膜砂及其应用的专著，在内容上反映了覆膜砂及其制型（芯）（包括壳法铸造）技术的最新成果；在叙述上由浅入深，注重实用。全书共分为8章，第1章为绪言，第2章介绍覆膜砂用原材料，第3章介绍覆膜砂配方、覆膜工艺及设备，第4章阐述覆膜砂的性能及其影响因素，第5章介绍壳型（芯）的制造，第6章介绍系列覆膜砂及其应用，第7章介绍壳型（芯）铸造缺陷及其防止，第8章介绍壳法铸造的劳动安全及防护。

本书是从事铸造生产、管理，铸造原辅材料生产及销售的相关人员的专业用书之一，也可作为高等院校铸造专业或材料成形与控制专业铸造研究方向的本科生、研究生的教学研究用参考书。

图书在版编目（CIP）数据

覆膜砂及制型（芯）技术/李远才等编著. —北京：机械工业出版社，2007.12

（铸造实用技术丛书）

ISBN 978-7-111-22551-5

I. 覆… II. 李… III. 制芯-砂型铸造 IV. TG242.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2007）第 158680 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：邝 鸥 责任校对：魏俊云

封面设计：鞠 杨 责任印制：邓 博

北京京丰印刷厂印刷

2008 年 1 月第 1 版 · 第 1 次印刷

169mm×239mm · 7.875 印张 · 303 千字

0 001—4 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-22551-5

定价：26.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
销售服务热线电话：（010）68326294

购书热线电话：（010）88379639 88379641 88379643

编辑热线电话：（010）68351729

封面无防伪标均为盗版

丛 书 编 委 会

编委会主任：孙国雄

编委会副主任：黄天佑 祝建勋 边秀房

编委会委员（按姓氏笔画排序）：

万仁芳 马顺龙 卢宏远

李远才 李魁盛 李玉顺

苏仕方 杨 华 武炳焕

序

铸造是一个传统产业，已经有 5000 多年的历史，但是至今它仍然是一个充满活力的基础产业，在国民经济及国计民生中有着十分重要的作用。几乎所有的工业部门和人们的日常生活都离不开铸件。有人说，在现代社会中，离你 5m 之内肯定会有铸件。应用如此广泛的产品是不多的。

铸造是这样一个产业，应用简陋、原始的生产条件可以生产铸件，但现代工业和科技发展要求高效化、轻量化、精确化的铸件，它就需要由具有先进技术和管理水平现代铸造企业承担铸件的生产，而且这样的企业正在向绿色生产的方向发展。不少人认为，发达国家将把铸造生产转移到发展中国家，发达国家中的铸造业正在消亡。事实上，近七年来除个别国家（法国）外，发达国家本身的铸件生产量都是在增长的，如果加上它们的铸件进口，发达国家对铸件需求量的增长也是迅速的。可以听到他们的一些铸造厂（老的、低效率的）关闭的消息，但同时也能听到一些新的现代化的铸造厂在兴建。

我国目前是世界上最大的铸件生产国家，2005 年的铸件产量达 2442 万 t，两倍于位居第二的美国，我国的铸造生产还会发展吗？答案是肯定的。发达国家按全国人口平均年铸件耗用量是 60~70kg/(人·年)，而且还在增长中。我国目前约为 20kg/(人·年)，随着我国国民经济的持续高速增长，我国的铸造生产显然还会有很大的发展空间。

我国已经有了一批现代化的铸造企业，但是铸造生产技术总体看来还处于较低水平，不能满足国民经济快速增长的要求，一些高档铸件还需要进口。目前不少铸造企业规模小，铸件质量、技术及管理水平和企业效益都亟待提高。铸造业的发展除了良好的发展环境（目前我们已经有了这样一个得天独厚的环境条件），还需要有一批具有远见卓识的企业家、高水平的科技人员，以及一大批在企业生产一线从事铸造专业生产的技术人员、中高级操作人员和相关领域的工作人员。

“铸造实用技术丛书”就是本着“来自于生产一线，并为生产一线服务”的宗旨，突出“实用”的中等层次的普及性丛书，丛书涵盖铸造材料、工艺、设备、检测、管理等主要铸造技术领域，旨在全面、系统地介绍国内外铸造新技术的应用和发展，以技术实践和应用实例为主，广泛收集一线生产实际应用资料，服务于在企业生产一线从事铸造专业生产的技术人员、中高级操作人员以及相关领域的工作人员。

丛书的编写人员由全国铸造学会推荐铸造行业各相关技术领域的权威专家和企业一线技术人员共同组成,包括清华大学、东南大学、华中科技大学、山东大学等著名高校和一汽、二汽等行业排头兵企业的专家、教授、教师、技术人员等,他们分别在铸造行业某领域有研究成果或建树、有专业技术及生产实践经验。丛书的编写力求做到理论与应用、新颖性和实用性的有机结合,并着力实现语言精练、图文并茂、表达形象,便于读者的阅读和应用。

祝愿丛书的出版能为我国的铸造业在从铸造大国向铸造强国的发展过程中发挥良好的作用,做出一份贡献。

丛书编委会主任 孙国雄

前 言

覆膜砂是将硅砂、锆砂、铬铁矿砂等原砂通过冷法或热法在其表面覆上一层酚醛树脂膜的树脂粘结剂砂，英文名称为 Resin Coating Sand，简称 RCS。在铸造生产中，最初将这种覆膜砂用来制造中空的具有数毫米或十几毫米的壳型或壳芯，因此也称这种造型制芯方法为壳法。至今，使用覆膜砂不仅可以制造壳型、壳芯，也可以制造实体砂芯。

壳法工艺自发明至今，已有 60 余年的历史，我国引进这种工艺也已 50 余年了。随着化学、材料工业的发展和机械装备制造业的进步，我国覆膜砂及其制型（芯）工艺、设备也得到了快速的发展。就覆膜砂而言，目前已形成酚醛树脂及其附加添加剂、原砂、再生砂及混砂设备的产业链，生产厂点达 100 余家、年产量达 120~150 万 t 以上，具有十几个系列几十个品种的覆膜砂的规模。用覆膜砂制造的砂型、砂芯已广泛应用于汽车、拖拉机、柴油机、机床、离心铸造、液压件及泵等行业，可满足各种材料、各种生产条件的复杂精密铸件的生产要求。因此，随着国际铸造行业竞争的日趋激烈，对铸件质量要求的日趋严格，覆膜砂及其壳型（芯）已成为铸造生产中提高铸件质量、生产效率不可或缺的重要造型材料之一。

正是在这样的背景下，作为系列铸造实用技术丛书之一，国内第一本有关覆膜砂及其应用的专著《覆膜砂及制型（芯）技术》一书，在读者的期盼下问世了。

本书涉及有机和无机高分子材料学、矿物学、机械学及材料加工等多门学科的基础或专门知识，作者根据其近年的覆膜砂研究经验与体会，力图通过理论联系实际，从体系到内容上做到通俗易懂，深入浅出。全书首先介绍了壳法工艺在国内外的应用现状，以及我国壳法用酚醛树脂及覆膜砂的开发与应用展望；随后介绍了覆膜砂用原材料的性能及特点，覆膜砂配方、工艺及设备，以及覆膜砂的性能及其影响因素；接着介绍了覆膜砂用于壳型（芯）的制造、系列覆膜砂在制型（芯）中的应用，以及典型壳型（芯）铸造缺陷及其防止等；最后，介绍了壳法铸造的劳动安全及防护方面的内容。

本书第 1 章~第 4 章由李远才撰写，第 5 章由李远才、杜文科撰写，第 6 章由冀运东、李远才撰写，第 7 章由冀运东、李远才、杜文科撰写，第 8 章由李远才撰写。

本书在提出编写大纲及初稿完稿后，承蒙华中科技大学材料学院王文清教授

认真审阅，并提出了诸多修改意见，在此表示衷心感谢。

本书是从事铸造生产、管理，铸造原辅材料生产及销售的相关人员的专业用书之一，也可作为高等院校铸造专业或材料成形与控制专业铸造研究方向的本科生、研究生的教学研究用参考书。

由于作者水平有限，加上时间仓促，书中难免存在错误、疏漏和不足，敬请读者批评指正。

作 者

目 录

序

前言

第1章 绪言	1
1.1 壳法工艺发展及应用状况	1
1.2 壳法用覆膜砂的特点	3
1.2.1 覆膜砂的优点	3
1.2.2 壳法工艺与冷芯盒工艺的比较	4
1.3 壳法工艺在国内外的的发展及应用	5
1.3.1 壳法在国外发达国家的应用概况	5
1.3.2 壳法工艺在我国的发展历程及与国外的差距	8
1.4 我国壳法用酚醛树脂及覆膜砂的开发与应用展望	11
1.4.1 开发高性能的系列壳型(芯)覆膜砂	11
1.4.2 壳法用酚醛树脂及覆膜砂性能检测方法的开发与研究	12
1.4.3 树脂及覆膜砂粘接机理的基础应用研究	12
第2章 覆膜砂用原材料	14
2.1 热塑性酚醛树脂	14
2.1.1 酚醛树脂的发展及应用	14
2.1.2 铸造用酚醛树脂	15
2.1.3 热塑性酚醛树脂的合成	16
2.1.4 壳法覆膜砂用热塑性酚醛树脂的种类	20
2.1.5 酚醛树脂性能的检测	26
2.2 原砂及再生砂	31
2.2.1 硅砂原砂	31
2.2.2 覆膜砂用原砂的预处理	39
2.2.3 锆砂	46
2.2.4 镁橄榄石砂	48
2.2.5 覆膜砂旧砂热法再生	50
2.3 固化剂、润滑剂及附加物	55
2.3.1 固化剂	55
2.3.2 润滑剂	55
2.3.3 附加物	56
第3章 覆膜砂配方、覆膜工艺及设备	57

3.1 覆膜砂配方	57
3.1.1 原砂	57
3.1.2 添加剂	60
3.1.3 配方实例	60
3.2 覆膜工艺	61
3.2.1 覆膜砂生产工艺	61
3.2.2 工艺参数对覆膜砂质量的影响	65
3.3 覆膜装置及设备	67
3.3.1 原砂的加热设备	67
3.3.2 覆膜砂混制设备	68
3.3.3 覆膜设备对覆膜砂性能的影响	72
3.3.4 覆膜砂设备应用现状	74
第4章 覆膜砂性能及其影响因素	82
4.1 树脂性能的影响	82
4.1.1 树脂粘结剂系统的性能	82
4.1.2 树脂相对分子质量对覆膜砂性能的影响	84
4.1.3 树脂软化点、流动性对覆膜砂性能的影响	86
4.1.4 树脂软化点、聚合速度对覆膜砂性能的影响	90
4.2 砂子性能的影响	90
4.2.1 砂子粒度的影响	92
4.2.2 SiO_2 含量的影响	92
4.2.3 特种砂种类的影响	93
4.2.4 砂的组合的影响	93
4.2.5 覆膜砂用硅砂纯度的影响	94
4.2.6 覆膜砂的烧结作用对汽车铸铁件的砂膨胀缺陷的影响	95
4.3 固化剂对覆膜砂性能的影响	96
4.4 附加材料对覆膜砂性能的影响	97
4.4.1 增强增韧附加物	97
4.4.2 抗脉纹附加物	101
4.5 覆膜砂性能的检测	102
4.5.1 覆膜砂的分类	102
4.5.2 覆膜砂检测取样	103
4.5.3 必测的性能指标	103
4.5.4 选测的性能指标	106
4.5.5 有关测定的注意事项	110
第5章 壳型、壳芯的制造	114
5.1 壳型(芯)工艺概述	114
5.1.1 制造壳型(芯)的基本过程	114

X 覆膜砂及制型（芯）技术

5.1.2 覆膜砂的硬化及温度的影响	115
5.1.3 壳造型机及金属模具	116
5.2 壳型的制造	117
5.2.1 翻斗法	117
5.2.2 国内常用壳型机	119
5.3 制作壳芯	120
5.3.1 概述	120
5.3.2 翻转法	120
5.3.3 吹砂法	121
5.3.4 离心力式制芯法	123
5.3.5 大型壳芯的制造	123
5.3.6 国产壳芯设备及制壳芯工艺	124
5.4 制造实体芯	129
5.4.1 GSR2 热芯盒射芯机及工艺参数	130
5.4.2 热芯盒覆膜砂制芯的操作及控制要点	131
5.4.3 国内实体芯制芯应用工艺参数	133
5.5 覆膜砂预热及其装置	134
5.5.1 预热覆膜砂后的壳芯的性能	134
5.5.2 覆膜砂预热后的实际应用效果	136
5.6 壳型的粘接及粘结（胶合）剂	137
5.6.1 粘结（胶合）剂	137
5.6.2 壳型和壳芯的粘接	139
5.7 脱模剂	141
5.7.1 脱模剂的作用机理	142
5.7.2 国内常用脱模剂种类	143
5.7.3 脱模剂的使用方法及注意事项	145
第6章 系列覆膜砂及其应用	147
6.1 覆膜砂的分类	147
6.2 普通覆膜砂	148
6.3 高强度低发气覆膜砂	148
6.3.1 覆膜砂结构和强度机理	148
6.3.2 高强度覆膜砂的特点	149
6.3.3 高强度覆膜砂应用实例	150
6.4 耐高温覆膜砂	150
6.4.1 概述	150
6.4.2 耐高温覆膜砂应用实例	152
6.5 耐高温低膨胀低发气覆膜砂	156
6.6 易溃散覆膜砂	157

6.6.1 提高覆膜砂溃散性的途径	157
6.6.2 用专用树脂混制覆膜砂实例	158
6.7 湿态类覆膜砂	160
6.7.1 概述	160
6.7.2 湿态覆膜砂组成及生产	161
6.7.3 湿态覆膜砂特点及应用	162
6.8 激冷覆膜砂	162
6.8.1 激冷材料	163
6.8.2 激冷覆膜砂的特点及应用	163
6.9 覆膜砂在东风汽车公司的应用概况	164
6.10 几种典型覆膜砂型(芯)	165
6.10.1 凸轮轴用砂芯	165
6.10.2 曲轴的壳型和壳芯	167
6.10.3 刹车片、变速器等砂芯	171
第7章 壳型(芯)铸造缺陷及其防止	173
7.1 脱壳缺陷	173
7.1.1 脱壳缺陷的描述	173
7.1.2 脱壳原因分析及其影响因素	175
7.1.3 4102 柴油机缸体圆棒芯脱壳与铸件起皮缺陷	186
7.1.4 穿芯(或钻芯)缺陷	189
7.2 壳法造型制芯的其他主要缺陷	191
7.2.1 壳型(芯)破损	191
7.2.2 充填不良	192
7.3 脉纹缺陷	192
7.3.1 膨胀类缺陷	192
7.3.2 脉纹	193
7.4 壳型(芯)铸件气孔缺陷	196
7.4.1 气孔缺陷的分类	196
7.4.2 覆膜砂铸件气孔产生的原因及原则性对策	198
7.4.3 壳型(芯)铸铁件侵入性气孔	199
7.4.4 壳型(芯)砂铸钢件皮下气孔	204
7.5 壳型(芯)铸件粘砂缺陷	207
7.5.1 粘砂的类型	207
7.5.2 防止壳型(芯)铸件粘砂的措施	208
7.5.3 壳型(芯)用涂料	210
第8章 壳法铸造的劳动安全及防护	213
8.1 酚醛树脂生产和使用的安全与防护	213
8.1.1 酚醛树脂的原料毒性及安全使用	213

XII 覆膜砂及制型（芯）技术

8.1.2 酚醛树脂生产产生的污染及其治理	214
8.1.3 酚醛树脂的毒性及使用安全	215
8.1.4 酚醛树脂加工中的安全与防护	216
8.2 壳型铸造的安全与防护	217
8.2.1 壳型铸造的劳动安全技术	217
8.2.2 覆膜砂配制时的劳动卫生对策	218
8.2.3 壳型（芯）制造车间产生的气体	218
8.2.4 壳型（芯）制造车间的劳动防护	220
附录 济南圣泉集团股份有限公司及相关产品简介	226
参考文献	235

第 1 章 绪 言

1.1 壳法工艺发展及应用状况

铸造生产中,砂芯(型)直接承受液体金属作用的只是表面一层厚度仅数毫米的砂壳,其余的砂只起支撑这一层砂壳的作用,这就促使了铸造工作者寻求用壳型、壳芯来制造铸件。1940 年第二次世界大战期间,德国 Johannes Carl Adolph Croning 博士发明了用酚醛树脂作粘结剂的壳法工艺(shell molding process),1944 年 2 月在德国获得专利。在战争期间德国人用此法制造迫击炮、大炮的弹壳及其他射弹,以达到既快速又有好的尺寸精度及表面光洁的要求。与其他砂型相比,不论是壁厚的均匀性还是尺寸精度均要好。战后德国人仍企图保守此法的秘密,在 1947 年被审查者发现,认定不受专利保护,作为战利品加以公开,从而为铸造业提供了一种划时代的新型造型工艺,受到全球铸造工作者的普遍重视。到了 20 世纪 50 年代及以后,世界各工业国都竞相采用,用翻斗法造型,即开创了树脂砂在铸造生产中应用的先河。现在世界的许多国家将其称为“Croning 法”,或“C 法”;由于其不仅用于造型,还广泛应用于制芯,因此将过去的壳型造型法改称为壳法,其应用经久不衰。

该法配制的型(芯)砂叫做覆膜砂(Resin Coated Sand,简称 RCS),像干砂一样松散。最初的覆膜砂是原砂与粉状的树脂和化学名称为六亚甲基四胺,俗称乌洛托品的机械混合物,将这种混合砂放在预先加热的模样上,由模样的热来熔解被覆在砂粒表面的树脂,同时使乌洛托品活化,进行树脂化,使砂粒之间粘接起来。当粘接的砂粒达到一定厚度(结壳层)时,将模样反转,部分硬化的砂留在模样上,而未熔融的非活性的砂则落下。然后将半硬化的砂型随同模样一道放入炉子中,在特定的时间硬化后,将坚固硬化的壳型从炉内取出,而未硬化的砂被收集到与模样相连的翻斗里,供回用。

就当初的壳法而言,主要将由砂、树脂和乌洛托品组成的干态混合物,采用翻转倾倒法来造型,或将这种粉状混合物采用手工充填芯盒来制芯。但采用这种方法,一方面由于树脂与砂的密度和颗粒大小均不同,无法均匀混合;另一方面,在混合时,也易引起树脂及乌洛托品粉尘飞扬,所以后来在混合时加入如煤油等润湿剂,较好地解决了上述混合问题。但煤油类润湿剂不能溶解树脂而包覆砂粒,后来发现乙醇能溶解树脂,故采用冷法覆膜工艺。为此,最初阶段的壳法

2 覆膜砂及制型（芯）技术

主要采用干的原砂、树脂及乌洛托品的混合物来制作壳型。

在20世纪50年代的中期，美国ACME公司开发了将粉状树脂用乙醇溶解的液态酚醛树脂，这样铸造厂可采用吹射工艺，可配制出不含粉尘的覆膜砂（RCS），因而其壳型强度很高。后来出现了在混砂机中吹温风，从而促进溶剂的蒸发等的改进方法，结果导致了采用水溶性树脂的热覆膜法和采用水溶性固化剂的热覆膜法。

壳法最大的变革是1955年采用在覆膜砂中添加流动添加剂和脱模剂的金属肥皂（硬脂酸钙）的方法。添加占固体树脂质量2.5%~5%的硬脂酸钙，其覆膜砂的强度几乎提高2倍，密度也明显上升。

在20世纪60年代的后期，开发了使用固化剂水溶液与粉（粒）状壳法树脂的热覆膜法。20世纪70年代初，又开发了不含溶剂的片状树脂的热覆膜法。现在北美铸造厂所使用树脂的80%均是片状树脂。这种壳法用片状热塑性酚醛树脂的优点是：

- 1) 不易燃。
- 2) VOC（挥发性有机物）几乎为零。
- 3) 与粘性高的树脂相比，取用更加方便。
- 4) 可制造流动性更好的覆膜砂，因而高密度的壳型的制造成为可能。

壳法工艺特别适合很经济地制造出大的中空壳芯，比如采用特殊的射芯机可制造出像离心铸管那样的承口砂芯。

壳法的最经济之处就是能较精确地铸造出形状准确的高质量铸件。超群的覆膜砂流动性，卓越的高温强度，以及高的壳型密度，可制造出极高强度的壳型。因此一个较薄壁厚的壳型就可经济地铸造出多个复杂的铸件。其壳型表面保持铸件的形状，在浇注时为固定下半壳型，可用原砂将壳型埋一半，或将壳型垂直放入做成浴槽状的砂箱中，在两个壳型与砂箱之间充填原砂或激冷铁丸后浇注。

壳法覆膜砂的发展历程见表1-1。

表 1-1 壳法覆膜砂的发展历程

年 代	工 艺
1940 年	将原砂、粉状酚醛树脂及乌洛托品的干式混合物制成覆膜砂
20 世纪 50 年代中期	将粉状树脂用乙醇溶解后，再与其他组分混制成覆膜砂
1955 年	在混制覆膜砂过程中加入硬脂酸钙
20 世纪 60 年代后期	采用在加固态酚醛树脂的同时，还加入占固态酚醛树脂 5% ~ 20% 的水溶性酚醛的双混法
20 世纪 70 年代初期至今	热法覆膜法，即用加热装置将硅砂加热至 130℃ ~ 160℃，硅砂的热使固态树脂熔融，同时加入硬化剂

1.2 壳法用覆膜砂的特点

覆膜砂具有良好的流动性和存放性，用它制作的砂芯强度高、尺寸精度高，便于长期存放，用覆膜砂不仅可制作砂型，又可制作砂芯（实体芯和壳芯），覆膜砂的型或芯既可以互相配合使用，又可以与其他砂型（芯）配合使用；覆膜砂适用的铸造方法广，合金种类多（不仅可以用于重力铸造，也适用于特种铸造，如低压铸造、金属型覆砂铸造、热法离心铸造等；不仅可生产钢铁铸件，还可以用于生产非铁金属铸件），显示其具有强劲的生命力。

1.2.1 覆膜砂的优点

覆膜砂的优点如下：

1) 具有适宜的强度性能，可制造出高强度的壳型（芯），中强度的热芯盒实体芯，低强度的非铁合金用砂芯等。

2) 流动性优良，砂芯成形性好、轮廓清晰，能够制造很复杂的砂芯，如缸盖、机体等水套砂芯。

3) 砂芯表面质量好，致密无疏松，即使少施或不施涂涂料，也能获得较好的铸件表面质量。铸件尺寸精度可达 CT7—8 级，表面粗糙度 R_a 值可达 $6.3 \sim 12.5 \mu\text{m}$ 。

4) 溃散性好，有利于铸件清理，提高产品性能。

5) 因为是中空的壳型（芯），透气性好，气孔缺陷少。

6) 砂芯不易吸潮，长时间存放强度不易下降，有利于储存、运输及使用。

7) 覆膜砂可作为商品供应，用户具有较大的选择余地。

8) 废砂排放或丢弃最少：①覆膜砂可使用时间长（几乎是无限的），不存在因超过可使用时间而导致不能使用的型（芯）砂的废弃。②制好的壳型（芯）储存时间长，在高温多湿的环境下也几乎不受影响，不存在因壳型（芯）的存放时导致强度降低而废弃的现象。③中空的壳型（芯）与实体芯相比，砂/铁比低，再生及废砂少。④壳型（芯）在铸造时能激烈燃烧，容易成为湿型系统砂的一部分，即使再生或重新使用也容易。

9) 游离苯酚在浇注时的排放最少：游离苯酚是粘结剂热分解或再组合生成的产物，壳法的砂/铁比低（0.3:1 或 1:1），多为中空型（芯），浇注时，粘结剂完全燃烧，其检测的游离苯酚含量最低（其中壳型的充填密度高，热导率高，起到了快速燃烧的作用）。

表 1-2 是几种树脂砂型（芯）在浇注铸钢和铸铁件时检测到的苯酚含量，从表 1-2 可以看出，不论是将覆膜砂制成壳型还是壳芯，其检测到的型（芯）所放

4 覆膜砂及制型（芯）技术

出的苯酚含量均低于酸硬化的酚醛树脂砂、酚醛尿烷砂、呋喃树脂砂及湿型砂等。

表 1-2 （浇注时）树脂砂中的苯酚量

粘结剂的种类	自硬酚醛/BSA	壳法	壳法	壳法	酚醛尿烷	呋喃苯酚	湿型
砂型或砂芯	砂型及砂芯	砂型	砂型	砂芯	砂型及砂芯	砂型及砂芯	砂型
铸件材质	灰铁	铸钢	灰铸铁	铸钢	铸钢	灰铸铁	铸钢
苯酚量/ $\times 10^{-6}$	0.03 ~ 0.1	0.01	0.01	0.03 ~ 0.09	0.73	0.10	0.26

表 1-3 几种树脂砂制芯成本比较

	壳法	热芯盒法	冷芯盒法	酚醛 β -set 法
砂芯质量/kg	3	10	10	10
粘结剂、固化剂等 加入量（占砂的质量 分数，%）	树脂：3.0 固化剂：0.36 润滑剂：0.12	树脂：2.0 固化剂：0.4	组分 I：0.75 组分 II：0.75 胺：0.10	树脂：1.5 酯：0.75
原材料成本/£	0.27	0.31	0.41	0.44
生产成本/£	0.17	0.17	0.12	0.10
合计成本/£	0.44	0.48	0.53	0.54

注：根据 1990 年 7 月的化工产品及能源价格成本核算。

表 1-3 示出了国外几种树脂砂制芯成本的比较，其价格指数虽是 10 多年前的，但几种树脂粘结剂的相对成本至今仍与当年相当。我国国内虽未作其调查比较工作，但也有其类似的规律。从中可看出，壳法工艺的制芯成本相对最低。

此外，国外的另一项调查表明，作为覆膜砂的主要造型制芯工艺——壳法，对比其他造型工艺，在投资及型（芯）搬运用上也是最省的（见表 1-4）。

表 1-4 各种造型方法成本的比较

	湿型	呋喃树脂/再生砂	酚醛 β -set 法	壳法
设备费/£	960, 000	480, 000	396, 000	420, 000
全年生产成本/£	311, 450	670, 000	667, 000	395, 000
合计成本/£	1, 271, 450	1, 150, 000	1, 063, 000	815, 300
车间面积/sq. ft	5, 000	5, 000	4, 500	4, 000

注：计算基础：生产铸件 2760t，平均铸件单件 5kg（平均单件浇注质量为 7kg），造型生产率为 150 个/h。其中设备包括混砂设备和造型制芯设备。

1.2.2 壳法工艺与冷芯盒工艺的比较

今后与壳法工艺最具有竞争对手的是冷芯盒工艺。覆膜砂壳型（芯）工艺同冷芯盒工艺相比，两者工艺的优缺点是：