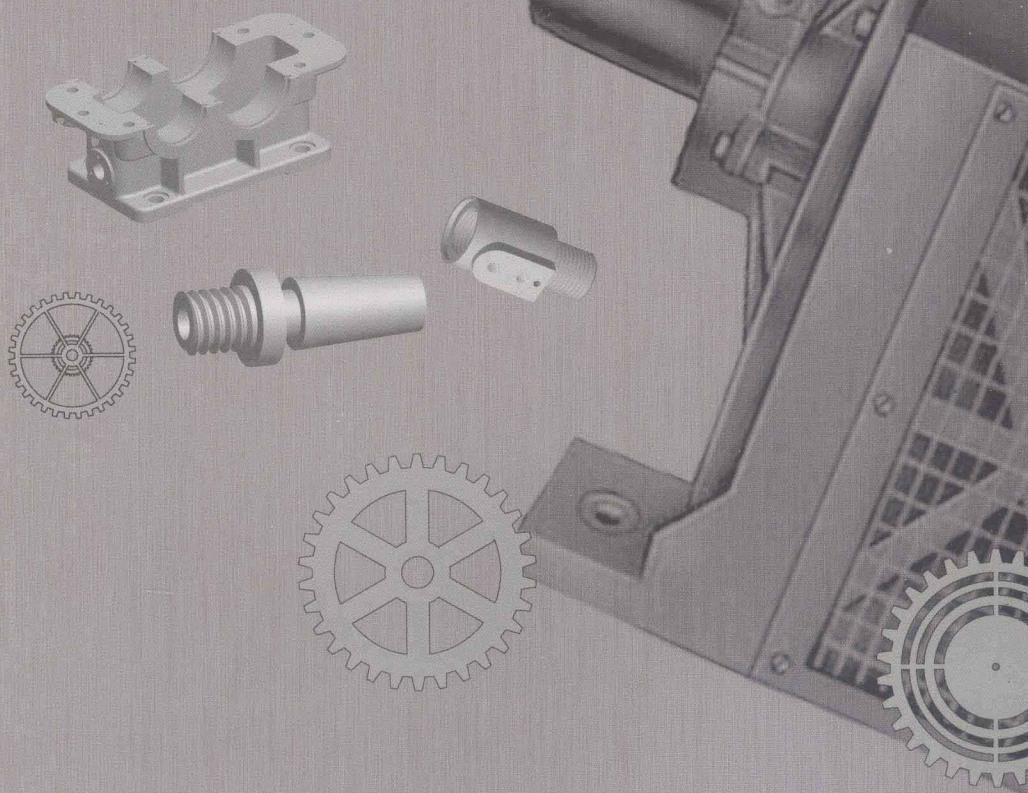


● 高等学校材料成形类专业规划教材 ●

铸造机械

ZHUZAO JIXIE

● 张琳 主编 姜青河 主审



化学工业出版社

高等学校材料成形类专业规划教材

铸造机械

张琳 主编
姜青河 主审



化学工业出版社

本书内容分常规铸造机械和特种铸造机械两大部分,共十二章,系统地介绍了黏土砂、树脂砂、水玻璃砂以及特种铸造等铸造生产中使用的主要机械的工作原理、结构特点、生产线,并涵盖了目前国内外铸造机械生产企业及铸造行业的产品,图文并茂,内容新颖、丰富。

本书可作为高等学校材料成形及控制工程铸造方向或铸造专业的本科生教材,也可供从事相关专业生产与科研的工程技术人员参考,或作为企业继续教育的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

铸造机械/张琳主编. —北京:化学工业出版社,
2013.5

高等学校材料成形类专业规划教材

ISBN 978-7-122-16828-3

I. ①铸… II. ①张… III. ①铸造设备-教材

IV. TG23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 057879 号

责任编辑:陶艳玲

文字编辑:陈喆

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:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张17 字数421千字 2013年7月北京第1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:34.00 元

版权所有 违者必究

前 言

铸造作为基础产业，在国民经济中有着十分重要的作用。改革开放以来，铸造作为装备制造业的基础，得到了蓬勃发展，铸造业的发展有力地推动着机械工业、航空航天工业、国防工业等的进步。我国铸件总产量自 2000 年起连续十余年居世界首位，是名副其实的铸造大国。但是我国还不是铸造强国，自主创新能力薄弱、铸件总体质量差、人才匮乏、无序竞争等问题制约着我国铸造业的持续健康发展，铸造在机械工业中属于能耗较高、环境污染较严重的行业。

“工欲善其事，必先利其器”，铸造机械化与自动化是铸造生产现代化的一个十分重要的标志，它是保证铸件质量、提高劳动生产率、降低铸件成本、改善劳动条件的根本性措施。虽然我国已经有了一批现代化的铸造企业，但是仍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。铸造业的发展除了良好的发展环境外，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。为了适应现代铸造工业技术发展的需要，满足大中专院校和企业对工程应用型人才的培养要求，特编写此书。

本书除了系统全面地介绍黏土砂、树脂砂、水玻璃砂等常规铸造生产中的主要设备的工作原理、结构特点、生产线及典型的产品实例以外，还涉及特种铸造设备，以达到内容上的“广、全、深”，让读者了解到主流的和前沿的铸造设备原理和结构，学习到黑色和有色金属的铸造设备。另外，本书中涵盖了目前国内外铸造设备生产企业及铸造行业的产品，图文并茂，反映 21 世纪铸造装备的最新进展。

本书由山东大学张琳副教授主编，于化顺教授、闵光辉教授参编，姜清河教授主审，赵国庆、王镇、万海云、宋召丁等研究生参加了资料的收集工作，在此表示感谢。由于涉及的内容繁多，加之编者水平有限，书中难免有不足之处，敬请读者批评指正。

编者

2013 年 2 月

目 录

第一部分 常规铸造机械及生产线

第一章 造型方法及设备	1	六、压铁机	79
第一节 填砂、实砂及起模	1	七、自动落砂装置	80
一、填砂	1	八、分箱机	81
二、实砂	1	第三节 铸型输送机	82
三、起模	3	一、水平连续式铸型输送机	82
第二节 压实造型机	5	二、脉动式铸型输送机	83
一、压实紧实法	5	三、间歇式铸型输送机	86
二、中低压压实造型机	12	四、辊式输送机	86
三、多触头高压造型机	13	五、其他地面铸型输送机	87
第三节 震击和低压微震压实造型机	23	六、悬挂输送机	88
一、震击实砂法	23	第四节 造型生产线的类型及选择原则	89
二、微震实砂法	25	一、影响造型生产线布置的因素	89
三、震击造型机	26	二、造型生产线布置的原则	90
四、震压造型机	26	三、造型生产线的分类	90
五、低压微震压实造型机	30	第五节 典型生产线的布置形式及特点	94
第四节 射压造型机	32	一、有箱射压造型线	94
一、射砂法	32	二、多触头高压造型线	95
二、有箱射压造型机	36	三、空气冲击造型线	95
三、垂直分型无箱射压造型机	36	四、垂直分型无箱射压造型线	96
四、水平分型脱箱造型机	47	五、静压自动造型线	96
第五节 气流造型机	53	思考题及习题	97
一、气流实砂法	53	第三章 树脂砂与水玻璃砂造型设备	
二、静压造型机	57	及自动化	98
三、气冲造型机	62	第一节 树脂砂紧实的特点及振动紧	
第六节 制芯设备	65	实台	98
一、射芯机	65	一、树脂砂紧实的特点	98
二、壳芯机	70	二、振动紧实台	98
思考题及习题	72	第二节 树脂砂造型生产线	98
第二章 黏土砂造型生产线	74	第三节 水玻璃砂生产线	100
第一节 生产线的组成	74	一、酯硬化水玻璃砂生产线	100
第二节 生产线上的主要辅机	75	二、普通 CO ₂ 水玻璃砂生产线	100
一、刮砂机、铣浇冒口机和扎气孔机	75	三、VRH-CO ₂ 水玻璃砂生产线	101
二、翻箱机	75	思考题及习题	103
三、落箱机	76	第四章 熔炼与浇注设备	105
四、合型机	77	第一节 冲天炉	105
五、下芯设备	78	一、冲天炉的分类	105

二、冲天炉结构及系统组成	105	第六章 落砂与清理设备	167
三、冲天炉配套设备	106	第一节 落砂设备	167
四、冲天炉熔化自动控制系统	114	一、常用落砂设备的分类	167
第二节 感应电炉	115	二、振动落砂机	167
一、感应电炉结构原理	115	三、滚筒落砂机	171
二、感应电炉熔炼的自动控制系统	116	第二节 除芯机械	172
第三节 电弧炉	117	一、振动落芯机	172
一、电弧炉结构原理	117	二、水力清砂设备	172
二、电弧炉熔炼的自动控制系统	117	三、电液压清砂设备	173
第四节 浇注设备及自动化	118	第三节 表面清理机械	176
一、浇注设备的类型和结构	118	一、抛丸清理机	177
二、浇注自动化的有关问题	122	二、喷丸清理机	183
思考题及习题	126	三、其他清理机械和清理方法	184
第五章 砂处理生产线	127	第四节 浇冒口及飞边毛刺清理设备	186
第一节 黏土砂制备系统	127	一、浇冒口清理气冲锤	187
一、黏土砂制备的特点和要求	127	二、浇冒口液压分离器	187
二、黏土砂制备的关键	127	三、气割法去除浇冒口	188
三、砂处理系统的组成和设计依据	128	四、飞边毛刺清理设备	188
第二节 黏土砂处理系统的工艺设备	129	第五节 操作机和机械手	192
一、新砂烘干设备	129	一、操作机、机械手和机器人的区别及 其在铸件清理上的应用	192
二、磁分离设备	130	二、操作机和机械手的分类和应用	193
三、筛分设备	132	三、常用机械手及性能	194
四、回用砂冷却和冷却设备	134	第六节 清理机械化生产线	195
五、混砂设备	137	思考题及习题	196
六、松砂机	142	第七章 铸造车间的环境保护	198
第三节 黏土砂制备过程的检测与调节	143	第一节 通风除尘设备	198
一、回用砂检测	143	一、除尘设备的种类	198
二、混砂过程的水分调节	144	二、常用除尘器	199
三、型砂主要性能的在线检测	145	三、除尘系统设计	201
第四节 树脂自硬砂制备系统	147	四、常用的除尘设备及性能特点	203
一、树脂自硬砂制备和砂处理系统	147	第二节 废气净化设备	204
二、砂再生装置	147	一、废气净化方法	204
三、树脂砂混砂机	153	二、常用的废气处理设备及性能	204
第五节 机械化运输设备和辅助装置	154	第三节 污水处理设备	205
一、砂处理系统的运输设备	154	第四节 噪声防治设备	206
二、料斗、给料机和定量器	161	思考题及习题	207
思考题及习题	165		

第二部分 特种铸造设备及生产线

第八章 消失模铸造设备及生产线	208	三、雨淋式加砂器	215
第一节 铸造工艺过程及特点	208	四、真空负压系统	215
第二节 消失模铸造关键技术及设备	210	五、旧砂的冷却设备	217
一、泡沫塑料模样的成形装备	211	六、其他消失模铸造设备	219
二、振动紧实及其装备	212	第三节 典型消失模铸造生产线	220

思考题及习题	224	思考题及习题	245
第九章 压力铸造装备及自动化	225	第十一章 金属型铸造工艺及设备	246
第一节 压力铸造原理及工艺过程	225	第一节 金属型铸造原理及工艺过程	246
第二节 压铸机分类及结构	226	一、铸造原理	246
一、热室压铸机	226	二、铸件的成形特点	246
二、冷室压铸机	227	第二节 工艺特点及其应用范围	247
三、压铸机的主要机构	227	一、工艺特点	247
第三节 压力铸造生产线及自动化	232	二、工艺过程	247
一、自动浇注装置	232	三、金属型铸造应用范围	249
二、自动取件装置	233	第三节 金属型铸造设备	249
三、自动喷涂料装置	234	一、单工位金属型铸造机	250
思考题及习题	234	二、转台式多工位金属型铸造机	251
第十章 低压铸造装备及自动化	235	第四节 常用金属型铸造机及其性能特点	251
第一节 低压铸造原理及工艺过程	235	一、J31 系列金属型重力铸造机	251
一、低压铸造原理及设备结构	235	二、倾转式金属型重力铸造机	252
二、工艺过程	235	第五节 金属型铸造生产线	253
第二节 工艺特点及其应用范围	238	思考题及习题	255
一、低压铸造工艺特点	238	第十二章 离心铸造设备	256
二、低压铸造工艺设计特点	239	第一节 离心铸造原理及工艺过程	256
三、低压铸造应用范围	239	一、分类	256
第三节 低压铸造设备结构	240	二、基本原理	256
一、低压铸造设备的结构组成	240	三、铸造工艺	257
二、低压铸造机的类型及构造	240	第二节 离心机结构	258
第四节 常用低压铸造机及其性能特点	241	一、卧式悬臂离心铸造机	258
一、J455 型低压铸造机	241	二、卧式滚筒离心铸造机	258
二、J458 型低压铸造机	242	第三节 常用离心铸造机及其性能特点	260
三、J459 型低压铸造机	242	一、悬臂式离心铸造机	260
第五节 低压铸造生产线	243	二、卧式离心铸造机	260
一、生产线的布局和特点	243	三、立式离心铸造机	261
二、工艺流程	244	思考题及习题	262
三、生产线主要技术参数	244		

参 考 文 献

第一部分 常规铸造机械及生产线

第一章 造型方法及设备

在我国，按铸造生产产量计算，砂型铸造占整个铸造产量的80%~90%，砂型铸造又分黏土砂型铸造、树脂砂型铸造和水玻璃砂型铸造，而其中的黏土砂型铸造又占砂型铸造的80%以上。黏土型砂是由“原砂和回用砂+膨润土+其他附加物（煤粉、水等）”混合而成的，它们经紧实而成砂型或砂芯。

本章主要介绍黏土砂造型用的造型机和造芯机，它们的作用主要是三个：填砂、实砂和起模。其中，实砂是关键的一环。

第一节 填砂、实砂及起模

一、填砂

造型机上，用机械填砂时，有一些问题值得注意。

1. 均匀填砂

填砂时最好在模样顶上少填一些砂，而在深凹部多填一些砂，压实后能达到紧实均匀。但实际生产中，一般要求填砂后，砂型顶面齐平。

2. 型砂松散

砂团由于具有一定的强度，在实砂时会妨碍它下面的型砂的紧实。因此要求型砂在加入砂箱前，先要经过松砂，有的造型机的加砂斗下部装有松砂转子（图1-1）。

3. 提高填砂紧实度

提高填砂紧实度，能增加紧实的均匀性。

可采用如下方法。

（1）重力加砂法 将型砂提升到一定高度，然后因其重力下落，使型砂以一定速度落入砂箱，所填的砂因冲击力得到一定的紧实度（图1-2）。

（2）真空加砂法 真空加砂的原理见图1-3。真空除了预紧实作用外，尚有松砂作用，型砂从中间砂斗落入砂箱的过程中，砂粒之间间隙中原有空气，在真空中四散逸开，可以使型砂得到松散。

二、实砂

实砂就是使型砂紧实，赋予一定的强度和刚度。实砂的程度常用紧实度表示。

1. 紧实度及紧实程度的测量

砂粒之间相互排列和堆积紧密的程度称为紧实度，通常用单位体积内型砂的质量表示，即

$$\delta = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

式中 δ ——型砂的紧实度, g/cm^3 ;

m ——型砂的质量, g ;

V ——型砂的体积, cm^3 。

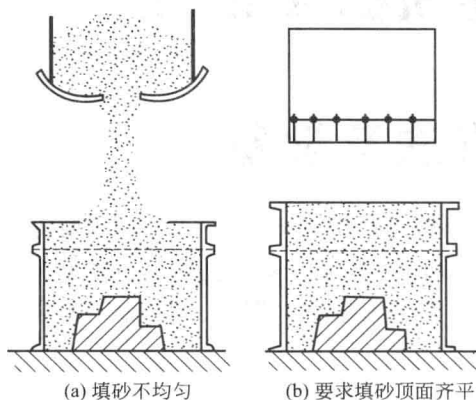


图 1-1 填砂的均匀性

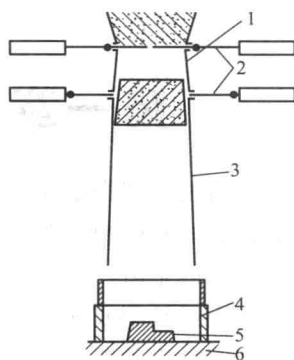


图 1-2 一种重力加砂装置

1—中间加料斗; 2—闸门; 3—导料套;

4—砂箱; 5—模样; 6—模板

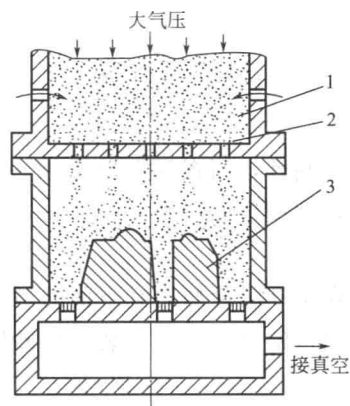


图 1-3 真空加砂

1—砂斗; 2—射孔; 3—模板

通常, 十分松散的型砂, $\delta = 0.6 \sim 1.0 \text{g}/\text{cm}^3$; 从砂斗填到砂箱的松散砂, $\delta = 1.2 \sim 1.3 \text{g}/\text{cm}^3$; 一般紧实的型砂, $\delta = 1.55 \sim 1.7 \text{g}/\text{cm}^3$; 高压紧实后的型砂, $\delta = 1.6 \sim 1.8 \text{g}/\text{cm}^3$; 非常紧实的型砂, $\delta = 1.8 \sim 1.9 \text{g}/\text{cm}^3$ 。

实际生产中, 常用砂型硬度计来测量型砂的紧实度。硬度值反映了相应的砂型表面单位面积所能承受的压强, 砂型的表面硬度越大, 其砂型的紧实度越高。一般紧实的砂型的表面硬度在 60~80 单位之间, 高压造型可达 90 单位以上。

2. 紧实率

压实前后型砂减少的体积与型砂压前体积的比值为型砂的紧实率, 即:

$$\Delta = \frac{\Delta V}{V + \Delta V} \quad (1-2)$$

式中 Δ ——紧实率；

ΔV ——紧实前后型砂体积差；

V ——紧实后型砂体积。

紧实率为混制好的型砂的本质属性，与型砂的含水量有密切关系。紧实率小的型砂在松态时，砂粒互相堆积比较紧密，因此其初始紧实度比紧实率大的型砂要大。

3. 对砂型紧实的工艺要求

从铸造工艺上说，对紧实后的砂型有以下几点要求。

(1) 砂型紧实后要具有足够的紧实度，除了要使砂型能经受住搬运或翻转过程中的震动而不损毁外，更重要的是要使砂型型腔表面能抵抗住浇注时金属熔液的压力。

(2) 紧实后的砂型应起模容易，回弹力小，起模后能保持铸型精度，不发生损坏、脱落现象。

(3) 砂型应具备必要的透气性，避免浇注时产生气孔等缺陷。

三、起模

1. 起模时砂胎受力的分析

机械起模，虽然比手工起模平稳，保证了起模的精确度，但是在模样有较大砂胎的情况下，顺利起模仍然是值得加以研究的问题。

图 1-4 所示砂型中， $CDEF$ 是一个砂胎。起模时，要将 $CDEF$ 起出，需要克服有关阻力：模样垂直平面 CD 及 EF 等上的摩擦阻力、模样水平表面 DE 上对型砂的附着力以及砂胎起模时，在深凹部形成的真空吸阻力。如果砂胎沿 CF 平面的黏结力（加上或减去砂胎 $CDEF$ 的重力，视起模方式而定）大于这些阻力的总和，就可以顺利起模；如果小于这些阻力的总和，砂胎就会在 CF 面上断裂，使起模发生困难。

2. 回弹

砂型压实后，当外界压力除去时，原来的变形有微小的回复，这种回复叫做回弹。回弹使起模力增大，影响型腔的精度，严重时，甚至能使砂型开裂损坏。

型腔的回弹可分为砂箱回弹和型砂回弹两部分，见图 1-5。其中型砂回弹的主要影响因素为压实比压，比压越高，则型砂的回弹越大，因此高压造型的比压不能过高。为了尽量减少砂箱回弹，高压造型的砂箱要求做成刚性大的结构，如框形结构。

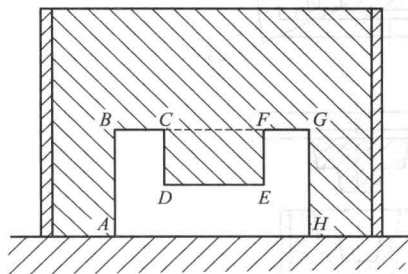


图 1-4 对起模阻力的分析

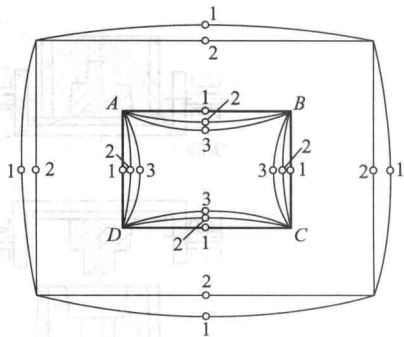


图 1-5 砂箱的回弹及型砂的回弹

3. 起模机构和起模方式

为了保证起模平稳而且精确，要求起模动作平稳、无冲击，起模的速度可以调节，同时对起模机构的运动精度要求较高，在起模过程中不发生歪斜，所以起模机构大多数采用液压

或气压传动。

起模的方式有顶箱起模及翻转起模两种。

(1) 顶箱起模 在造型紧实完毕后，砂型不经翻转，将模样自砂型中起出，可以有顶杆和托箱两种方法。

① 顶杆法 在砂型紧实完毕后，用四根顶杆顶着砂箱的四个角垂直上升，与模板分离(图 1-6)。

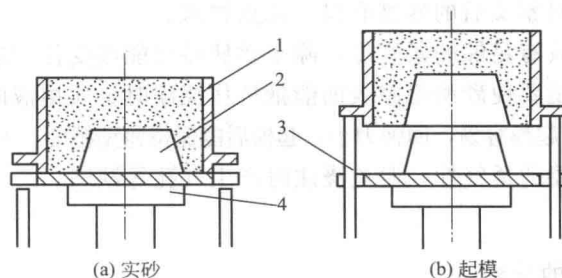


图 1-6 顶杆法起模

1—砂箱；2—模板；3—顶杆；4—造型机工作台

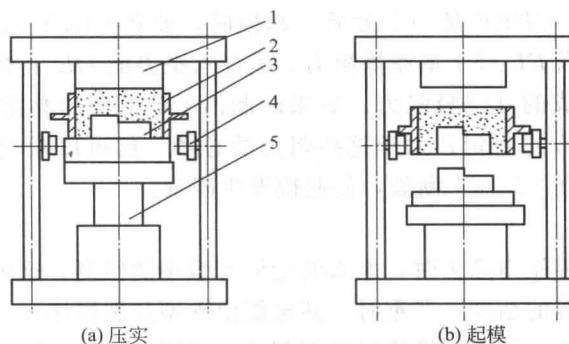


图 1-7 托箱法起模

1—压头；2—砂型；3—模样；4—边辊道；5—压实机构

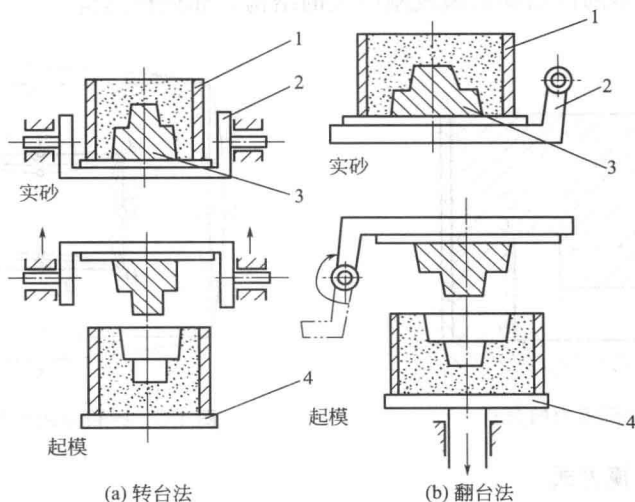


图 1-8 翻转起模

1—砂型；2—转台(或翻台)；3—模板；4—工作台

② 托箱法 又叫回程起模法，空砂箱由边辊道送入，压实时砂箱上行顶住压头，压实完毕后，砂箱及工作台在下落过程中，砂箱被边辊托住，模板及工作台继续下落而起模（图 1-7）。

（2）翻转起模 对于有大的砂胎的砂型，常用翻转起模法，有助于起模。翻转起模按结构分为转台法及翻台法（图 1-8）。

第二节 压实造型机

一、压实紧实法

1. 压实过程

压实实砂就是直接加压使型砂紧实（图 1-9）。

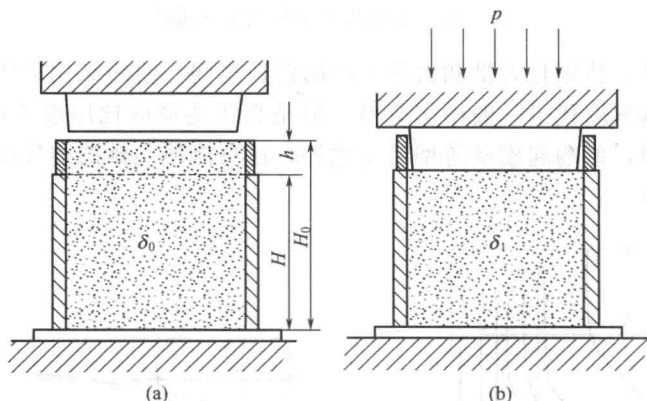


图 1-9 压实实砂

压实时，压板压入辅助框中，砂柱高度降低，型砂紧实。因紧实前后型砂的质量不变，可得

$$H_0 \delta_0 = H \delta \quad (1-3)$$

式中 H_0 , H ——砂柱初始高度及紧实后的高度；

δ_0 , δ ——型砂的紧实前及紧实后的紧实度。

2. 影响紧实度的因素

（1）压实比压 砂型单位面积上受的压实力称为压实比压。压实时，砂型的平均紧实度与压实比压有关。图 1-10 是三条性能不同型砂的压实紧实曲线。由图可见，不论哪一种型砂，在压实开始时 p 增加很少，就引起 δ 很大的变化；但当压实比压逐渐增高时， δ 的增大减慢；在高比压阶段，虽然 p 增大很多，然而 δ 的增加很微小。

压实比压除了可以提高紧实度之外，还可使砂型内紧实度分布更均匀。图 1-11 是一组不同比压对砂型内紧实度分布影响的曲线，其砂箱内尺寸为 $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ ，初始高度为 400mm 。由图可见：压实比压提高时，靠近模板一面的紧实度逐渐提高。提高比压还可以使深凹部和砂型侧壁的紧实度提高，如图 1-12 所示。

提高比压，提高了砂型紧实度，减小浇注时的型壁移动，从而可提高铸件的尺寸精确度和表面光洁度，尺寸精确度可达 5~7 级，表面粗糙度可降低至 $12.5 \sim 25 \mu\text{m}$ 。另外，由于砂型紧实度高，强度大，砂型受震动或冲击而塌落的危险性小，可以减少铸型缺陷，所以近年

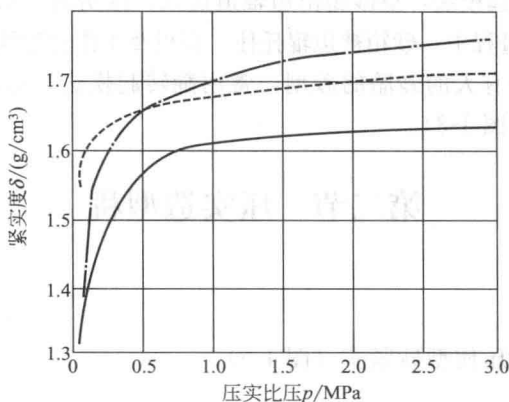
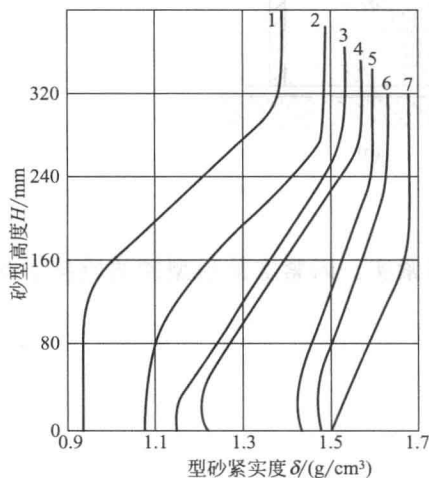
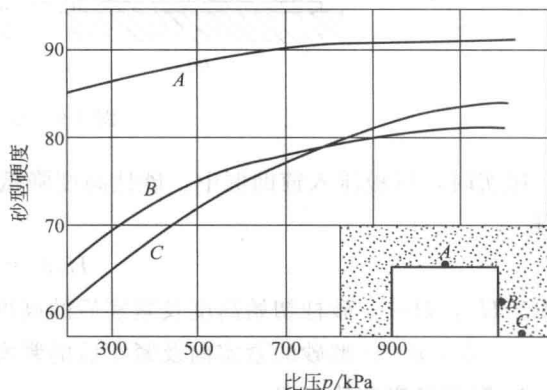


图 1-10 不同型砂的压实紧实曲线

来高压造型逐渐发展，特别是大批和大量生产的铸造车间，纷纷采用高压造型。在工业发达国家，高压造型已基本取代了一般压实造型。但是高压造型的比压也不能过高。过高比压，除了能引起砂型回弹，影响起模及铸型精度之外，还可能使型砂的透气性降低，铸件容易产生气孔、夹砂等缺陷。

图 1-11 比压大小对紧实度分布的影响
1~7—压实比压 ($\times 100\text{kPa}$)图 1-12 比压大小对模样顶部和
砂型深凹处硬度的影响

(2) 压实速度 压实时，砂箱内砂粒移动及紧实度的变化与压板压入的相对速度有关。

① 慢速压实 加压速度很低 ($< 0.01\text{m/s}$) 时，砂箱壁上的摩擦阻力对砂粒移动的作用较大。型砂的内摩擦力 V 与压板的向下推力 W 结合，形成一个向下向中心的作用力 T 。随着压实过程的进行，高紧实区在砂型的中心 G 点 (即大约相当于砂型宽度 $2/3$ 的深度上) 交汇，成为一个倒拱形高紧实度区 (见图 1-13)。

② 高速压实 当压板压向砂型的速度很高时 ($> 7\text{m/s}$)，压板的作用力主要是向下的，横向的作用力相对很弱，拱形高紧实度区不能形成。压实过程可分为三个阶段。

a. 型砂初步紧实并向下加速运动阶段，紧实开始，压板高速拍击型砂，使型砂顶部的砂层一方面被初步紧实，另一方面被推动向下运动 [图 1-14(a)]，这样由上而下形成一种紧

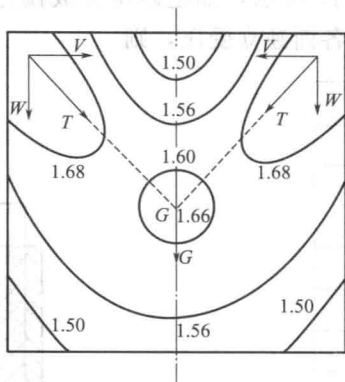


图 1-13 低速压实时砂型内的高紧实度区
(曲线表示等紧实度曲线)

实波。图 1-14(b) 为这一紧实波到达模板前的情况。

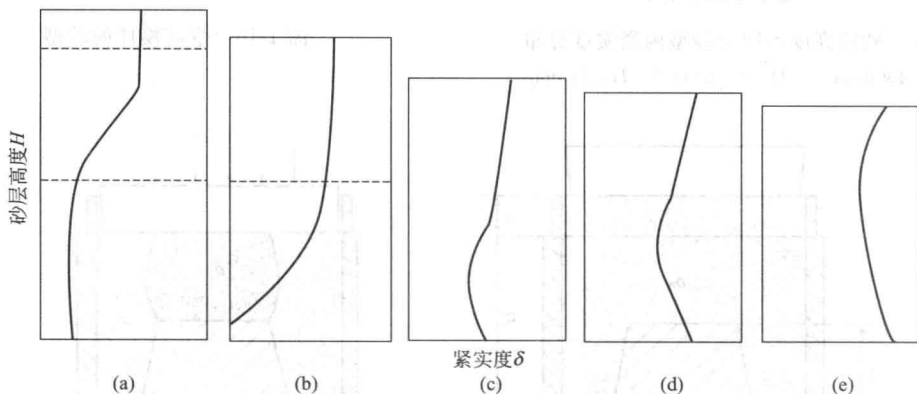


图 1-14 高速压实过程中砂型内紧实度变化情况

b. 砂层的冲击紧实阶段。当紧实波到达模板表面时，高速运动的砂层产生很高的冲击力，使型砂进一步紧实，达到很高的紧实度 [图 1-14(c)]。冲击由下层向上，砂层也层层得到紧实 [图 1-14(d)]。

c. 压板的冲击紧实阶段。砂层冲击将近结束时，高速运动的压板受阻滞止，产生较大的冲击力，使砂型背面的砂层被充分紧实 [图 1-14(e)]，压板的质量大时，产生的冲击力也大。

(3) 砂箱高度的影响 砂箱增高时，由于箱壁上摩擦阻力的增加，在砂箱下部，压实应力逐渐减小，型砂紧实度也逐渐降低。图 1-15 所示是砂箱的内尺寸为 $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 、砂箱高度不同时，压实后砂型中心的紧实度分布情况。

(4) 模样高度的影响 以上所述是砂箱中没有模样或模样很矮时的情况。若砂箱内模样较高，情况更为复杂。如图 1-16 所示，设模样深凹处的高与宽之比，用深凹比 A 表示：

$$A = \frac{\text{深凹处的高度 (或深度)}}{\text{深凹处短边宽度}} = \frac{H}{B_{\min}} \quad (1-4)$$

A 越大，则深凹处底部型砂越不容易紧实。根据试验，对于黏土砂， A 小于 0.8 时，平均紧实度尚无明显下降；若 A 大于 0.8 时，则深凹处底部的紧实度就难以得到保证。

(5) 压缩比的影响 如图 1-17 所示, 如把砂型分成模样顶上和模样四周两个部分, 假定在压实过程中, 无侧向移动, 各面独立受压, 则

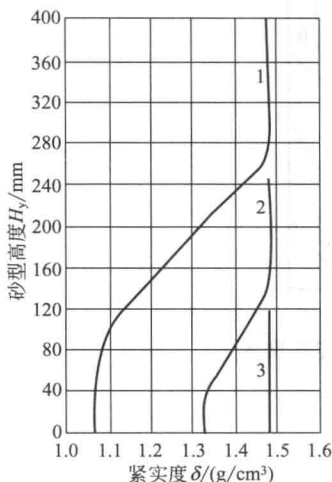


图 1-15 砂箱高度不同时砂型内紧实度分布
1— $H=400\text{mm}$; 2— $H=250\text{mm}$; 3— $H=120\text{mm}$

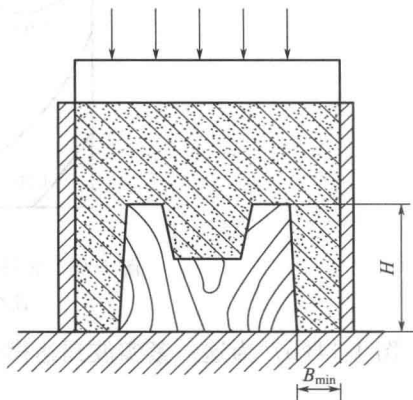


图 1-16 带高模样的砂型

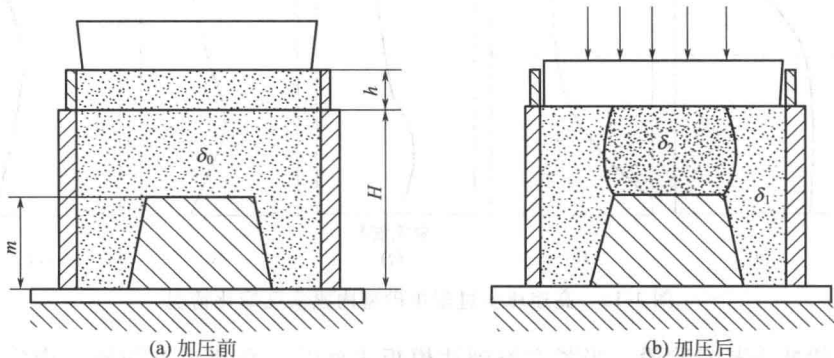


图 1-17 压实砂紧实度不均匀性的分析

对模样四周, 有:

$$(H+h)\delta_0 = H\delta_1$$

对模样顶上, 有:

$$(H+h-m)\delta_0 = (H-m)\delta_2$$

得

$$\delta_1 = \delta_0 + \frac{h}{H}\delta_0 \quad (1-5)$$

$$\delta_2 = \delta_0 + \frac{h}{H-m}\delta_0 \quad (1-6)$$

式中 H, h, m ——砂箱、辅助框和模样的高度;

$\delta_0, \delta_1, \delta_2$ ——压实前型砂的紧实度和压实后模样四周及模样顶上的型砂平均紧实度。

上两式中的 $\frac{h}{H}$ 及 $\frac{h}{H-m}$ 可以视为砂柱的压缩比, 在 h 相同的情况下, 模样顶上型砂的压缩比大, δ_2 增长很快, 对压实的阻力迅速增长。尤其在 m 大时, 压实的作用力主要通过高紧实度的 δ_2 区传到模样顶上而被抵消掉, 这时 δ_1 有可能还很低。

(6) 高宽比的影响 模样顶上的型砂在压实过程中, 能否向四周移动使紧实均匀化, 模样顶上砂柱的高宽比

$$B = \frac{\text{模样顶上砂柱高度}}{\text{模样顶上窄边宽度}} = \frac{h_s}{B_{\min}} \quad (1-7)$$

有相当大的影响。当 B 值很小时（如 $0.3 \sim 0.7$ ），模样顶上的扁平砂柱由于砂粒间互相啮合，无论多大的压力，只能把砂粒压碎却不能使型砂像黏土浆团那样从四周挤出来（图 1-18）；若 B 为 $1 \sim 1.25$ 时，模样顶上砂柱很容易变形，受挤滑出，补充到模样四周深凹处的砂量就比较大，有利于紧实度分布均匀化。

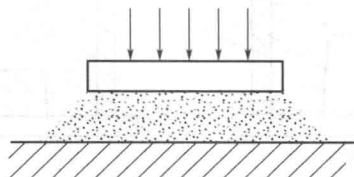


图 1-18 扁平砂柱的压实

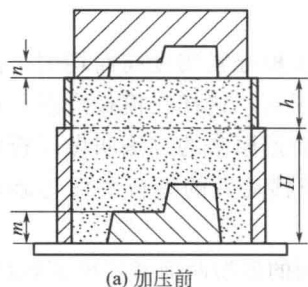
3. 使压实砂紧实度均匀

(1) 减小压缩比的差别化的方法 高模样引起压缩比的差别是紧实度不均匀的一个主要原因，所以很多造型机就设法尽量减小压缩比的差别，使紧实度均匀化。

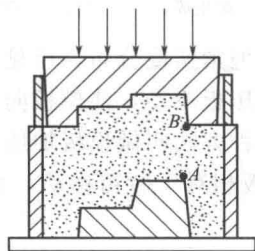
① 应用成形压板 成形压板是按照模样形状而变化（图 1-19），相应于模样高度 m 处，压板的深度为 n 。为使整个砂型的压缩比相同，则有

$$\frac{n}{m} = \frac{h}{H+h}$$

可使压实后砂型的紧实度基本均匀。很多工厂在平压板的边上作出凸棱，这种带凸棱的压板也是一种成形压板（图 1-20），它的作用在于提高砂型四周靠近砂箱壁部分的紧实度，避免这些部位紧实度过低。



(a) 加压前



(b) 加压后

图 1-19 用成形压板压实

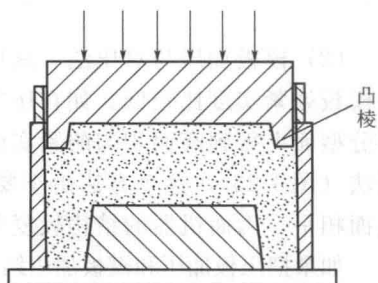


图 1-20 用带凸棱的压板实砂

② 应用多触头压头 整块的平压板不能适应模样上不同的压缩比，所以将它分成许多小压板，称作多触头压头（图 1-21）。每个小压头的后面是一个液压缸，液压缸的油路是互相连通的。因此在压砂型时，每个小压头的压力大致相等，这样即使对应于模样高点的一些压头被顶住，也不妨碍其他压头继续下压。所以压实时，各个触头能随着模样的高低，压入不同的深度，使砂型各部分的压缩比均匀化。而对于比较复杂的模样，多触头压头一次压实可以得到紧实度大体均匀的砂型。

③ 压膜造型 压膜造型是用一块弹性的橡皮膜作压头，压缩空气作用于橡皮膜的内部，对型砂进行压实（图 1-22）。这种橡皮膜可以视作能自动适应模样形状的成形压头，使各处

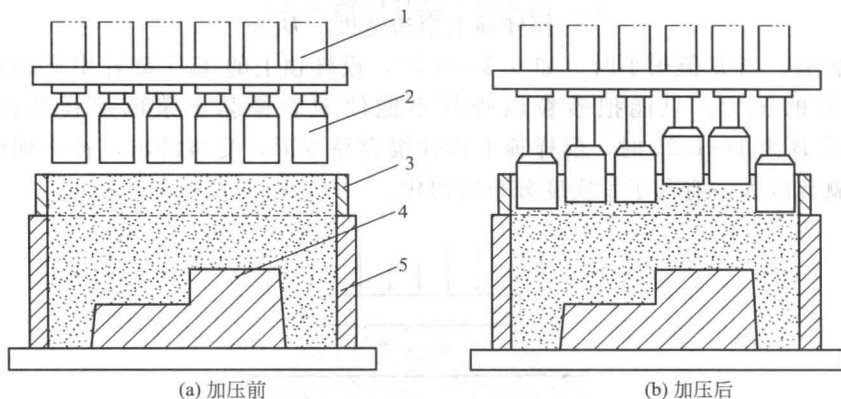


图 1-21 多触头压头的实砂原理

1—小液压缸；2—多触头；3—辅助框；4—模样；5—砂箱

的实砂力量相等，从而使紧实度均匀化。

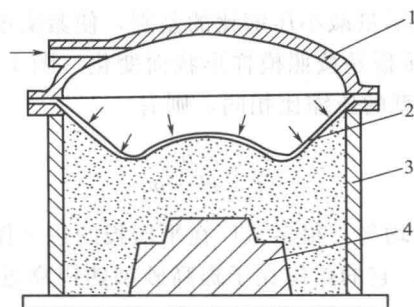


图 1-22 压膜造型原理

1—压头；2—橡皮膜；3—砂箱；4—模样

(2) 模板加压与对压法 从压实砂型紧实度分布，可见靠近压板处紧实度高而均匀，而在模板处紧实度比较低。如在压实时，压板不动，使模板向砂箱压入，这样在模板附近，亦即分型面上得到高而均匀的紧实度。这种方法叫做模板加压法，而把原来的方法叫做压板加压法（图 1-23）。这个方法由于要使模板相对于砂箱移动，又要使移动后的模板平面与砂箱底面相平，因而机器的结构较复杂。

如果把压板加压和模板加压结合起来，从砂型的两面加压，得到的砂型两面紧实度都较高，这种方法叫做对压法（图 1-24），图 1-24(a) 是垂直分型的对压法，图 1-24(b)、图 1-24(c) 是水平分型的对压法。如果在对压时，分别控制压板和模板的加压距离，或先压板加压，后模板加压，或使模样做一定的退缩运动，以期达到所需的紧实度分布，这些加压方法统称差动加压法。

(3) 提高压前的型砂紧实度 如果型砂在压实前紧实度较大一些，则压实后的砂型紧实度也均匀一些。

① 控制型砂紧实率 通常紧实率小的型砂，松态时，砂粒互相堆积比较紧密，初始紧实度比较大，所以控制型砂紧实率，采用紧实率比较小的型砂，就可以提高型砂的压前紧实度。因此，高压造型通常规定型砂的紧实率应在 40%~45% 之间；对于一些深凹部较深，难以造型的模样，有的甚至规定更低的紧实率，例如 35%~38%，其目的在于获得紧实比