

普通高等教育“十二五”规划教材



铸造设备及其自动化

王录才 宋延沛 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”规划教材

铸造设备及其自动化

主 编 (按姓氏笔画为序)

王录才 宋延沛

副主编 (按姓氏笔画为序)

孙清洲 贾 鲁

参 编 (按姓氏笔画为序)

王建民 向青春 李立新 武建国

主 审 姜青河



机械工业出版社

本书共分九章,内容包括造型和制芯设备的工艺基础、粘土砂造型设备及生产线、树脂砂与水玻璃砂造型设备及生产线、消失模与真空密封造型设备及生产线、制芯设备、熔炼与浇注设备、型砂处理系统及其自动化、落砂与清理设备以及铸造车间的环境保护。

本书适用于材料成形及控制工程专业或其铸造方向本科教学,也可供从事铸造技术和研发的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

铸造设备及其自动化/王录才,宋延沛主编. —北京:机械工业出版社, 2013. 8

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-43631-7

I. ①铸… II. ①王…②宋… III. ①铸造设备-自动化-高等学校-教材 IV. ①TG23

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第185297号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:冯春生 责任编辑:冯春生

版式设计:霍永明 责任校对:张媛

封面设计:张静 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2013年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·23.25印张·574千字

标准书号:ISBN 978-7-111-43631-7

定价:46.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

普通高等教育“十二五”规划教材 编审委员会

主任委员 李荣德 沈阳工业大学

副主任委员 (按姓氏笔画排序)

方洪渊 哈尔滨工业大学
朱世根 东华大学
邢建东 西安交通大学
李永堂 太原科技大学
聂绍珉 燕山大学

王智平 兰州理工大学
许并社 太原理工大学
李大勇 哈尔滨理工大学
周 荣 昆明理工大学
葛继平 大连交通大学

委员 (按姓氏笔画排序)

丁雨田 兰州理工大学
王卫卫 哈尔滨工业大学 (威海)
邓子玉 沈阳理工大学
刘金合 西北工业大学
毕大森 天津理工大学
闫久春 哈尔滨工业大学
张建勋 西安交通大学
李 桓 天津大学
李亚江 山东大学
周文龙 大连理工大学
侯英玮 大连交通大学
赵 军 燕山大学
黄 放 贵州大学
薛克敏 合肥工业大学

文九巴 河南科技大学
计伟志 上海工程技术大学
刘永长 天津大学
华 林 武汉理工大学
许映秋 东南大学
何国球 同济大学
李 尧 江汉大学
李 强 福州大学
邹家生 江苏科技大学
武晓雷 中国科学院
姜启川 吉林大学
梁 伟 太原理工大学
蒋百灵 西安理工大学
戴 虹 西南交通大学

秘书长 袁晓光 沈阳工业大学

秘书 冯春生 机械工业出版社

铸造方向教材编委会

主任委员 李荣德 沈阳工业大学

副主任委员 (按姓氏笔画排序)

王智平 兰州理工大学
李大勇 哈尔滨理工大学
陈维平 华南理工大学
孟祥才 佳木斯大学
傅高升 福州大学

朱世根 东华大学
李元元 华南理工大学
周 荣 昆明理工大学
黄 放 贵州大学
翟启杰 上海大学

委员 (按姓氏笔画排序)

丁雨田 兰州理工大学
孙清洲 山东建筑大学
许春香 太原理工大学
李秋书 太原科技大学
苏 勇 合肥工业大学
荣守范 佳木斯大学
赵占西 河海大学
徐 瑞 燕山大学
梁维中 黑龙江科技大学
樊自田 华中科技大学

刘敬福 辽宁工程技术大学
米国发 河南理工大学
宋延沛 河南科技大学
李培耀 上海工程技术大学
陈美玲 大连交通大学
祖方遒 合肥工业大学
赵玉华 沈阳航空航天大学
袁晓光 沈阳工业大学
曾大新 湖北汽车工业学院
潘 冶 东南大学

秘书长 李润霞 沈阳工业大学
秘书 冯春生 机械工业出版社

前言

我国铸件产量已连续多年居于世界第一，2010年铸件总量为3950万t，占到全世界铸件总量的近40%，是名副其实的铸造大国。然而，我国生产的铸件中高档铸件（技术难度大、附加值高）比例少、铸造厂生产率低、铸件质量不高，总体大而不强也是不争的事实。随着我国国民经济的发展方式向调整优化结构、注重效益环保、提升产业层次方向的转变，铸造行业的转型跨越发展也势在必行，基于循环经济模式的绿色、环保、节能型铸造企业将是今后的发展方向。与此相适应，铸造装备将向着以自动化、数字化、智能化、轻量化、集成化等为技术特征的低碳节能方向发展，工业机器人的应用范围也将迅速增加，铸造装备在整个行业发展中将发挥更为重要的作用，成为提高企业竞争力的关键因素。

根据行业发展的需要和普通高等院校人才培养目标，按照中国机械工业教育协会铸造学科教学分委员会2009工作会议精神，编写了《铸造设备及其自动化》这本教材。本书在内容上力图反映近年来国内外铸造设备发展的新技术，着重讲述当前铸造生产中的主要设备的基本原理、结构特点及其在生产系统中的作用等内容。本书内容新颖、丰富，既概括了铸造生产中传统的主要设备，也反映了铸造设备的最新进展。为了便于学生自学并使学生到工厂实习时有所参考，本书篇幅相对于课程讲授学时是偏多的，插图亦较多。本书注重铸造设备的系统性，和原有教材相比，增加了树脂砂、水玻璃砂及真空负压工艺的内容；熔炼设备内容也有所增加。全书共分九章，即造型和制芯设备的工艺基础、粘土砂造型设备及生产线、树脂砂与水玻璃砂造型设备及生产线、消失模与真空密封造型设备及生产线、制芯设备、熔炼与浇注设备、型砂处理系统及其自动化、落砂与清理设备以及铸造车间的环境保护。

本书第1章、第6章由太原科技大学王录才和武建国编写；第2章2.1~2.7.3由河南科技大学宋延沛编写，2.7.4由太原科技大学王录才编写；第3章由山东建筑大学孙清洲编写；第4章由河北科技大学李立新编写；第5章由内蒙古工业大学王建民编写；第7章由沈阳工业大学向青春和内蒙古工业大学王建民编写；第8章由河北科技大学李立新和合肥工业大学贾鲁编写；第9章由合肥工业大学贾鲁和山东建筑大学孙清洲编写。全书由王录才和宋延沛任并列主编，孙清洲和贾鲁任并列副主编。山东大学姜青河教授对全书进行了仔细审阅。

由于我们理论水平和经验有限，时间仓促，书中难免存在不少错误和不妥之处，恳切希望读者批评指正。

编者

目 录

前言

第1章 造型和制芯设备的工艺基础 1

1.1 型砂紧实的工艺基础 1

1.1.1 型砂的紧实过程 1

1.1.2 型砂紧实度及其测量方法 1

1.1.3 对型砂紧实的工艺要求 3

1.1.4 型(芯)砂紧实方法的分类 3

1.2 压实紧实 4

1.2.1 压实过程 4

1.2.2 砂箱和模样对压实的影响 7

1.2.3 压实比压对压实的影响 9

1.2.4 使压实实砂均匀化的方法 10

1.2.5 其他压实实砂方法 14

1.3 震击及微震实砂 15

1.3.1 震击实砂 15

1.3.2 微震实砂 16

1.4 射砂法实砂 19

1.4.1 射砂过程 19

1.4.2 射砂时砂粒在芯盒中的紧实 23

1.4.3 射砂法实砂的应用 25

1.5 气流实砂法 25

1.5.1 气流渗透实砂法 26

1.5.2 气流冲击实砂法 28

1.6 其他实砂方法 31

1.6.1 真空负压造型 31

1.6.2 化学硬化法实砂 32

1.7 填砂及起模 34

1.7.1 填砂 34

1.7.2 起模 35

复习思考题 38

第2章 粘土砂造型设备及生产线 40

2.1 震击及震压造型机 40

2.1.1 Z145 震压造型机 40

2.1.2 其他震击和震压造型机 46

2.2 低压微震压实造型机 47

2.2.1 ZB148A 气动微震压实造型机 47

2.2.2 四立柱气动微震压实造型机 53

2.3 多触头高压造型机 56

2.3.1 高压多触头造型机特点 56

2.3.2 多触头高压造型机的结构 56

2.3.3 多触头高压造型机基本部件 57

2.4 气流实砂造型机 65

2.4.1 气冲造型机 66

2.4.2 静压造型机 73

2.4.3 真空填砂压实造型机 77

2.5 垂直分型无箱造型机 77

2.5.1 垂直分型无箱造型机的结构 77

2.5.2 垂直分型无箱造型机的工作原理及特点 82

2.5.3 垂直分型无箱射压造型生产线 87

2.6 水平分型脱箱造型机 89

2.6.1 水平分型脱箱射压造型机 89

2.6.2 水平分型机械加砂压实脱箱造型机 91

2.6.3 水平分型脱箱造型生产线 94

2.7 造型生产线 94

2.7.1 生产线的组成、布置原则及类型 94

2.7.2 生产线上的辅机 99

2.7.3 铸型输送机 108



2.7.4 自动化造型生产线实例	118	5.3.1 单工位热芯盒射芯机	164
复习思考题	120	5.3.2 多工位热芯盒射芯机	169
第3章 树脂砂与水玻璃砂造型设备		5.4 冷芯盒射芯机	170
及生产线	122	5.5 多用途射芯机	172
3.1 树脂砂、水玻璃砂的特点及振		5.6 壳芯机	173
动紧实台	122	5.6.1 壳芯机的原理	173
3.1.1 树脂砂、水玻璃砂的特点	122	5.6.2 壳芯机的类型	174
3.1.2 振动紧实台	122	5.7 制芯中心	178
3.2 树脂砂、水玻璃砂造型线辅助		5.7.1 概述	178
机械及运输设备	123	5.7.2 自动化制芯中心实例	179
3.3 自硬树脂砂造型生产线	129	复习思考题	184
3.4 水玻璃砂造型生产线	132	第6章 熔炼与浇注设备	185
复习思考题	135	6.1 概述	185
第4章 消失模与真空密封造型设备		6.2 冲天炉	185
及生产线	136	6.2.1 冲天炉的分类	185
4.1 消失模铸造设备	136	6.2.2 冲天炉结构及熔炼系统	186
4.1.1 预发泡机	137	6.2.3 冲天炉配套设备	187
4.1.2 成型设备	140	6.2.4 冲天炉熔炼的自动化系统	192
4.1.3 涂料制备设备	143	6.3 感应电炉	195
4.1.4 造型设备	144	6.3.1 感应电炉的分类	195
4.1.5 其他消失模铸造设备	147	6.3.2 感应电炉熔炼的特点	196
4.2 消失模铸造生产线	149	6.4 电弧炉	196
4.2.1 白区平面布置	149	6.5 浇注设备及自动化	197
4.2.2 消失模生产线	150	6.5.1 浇注设备的类型和结构	197
4.2.3 砂处理系统	152	6.5.2 浇注自动化的基本技术	200
4.3 真空密封造型设备	153	6.5.3 自动化浇注机的控制系统	203
4.3.1 真空负压系统	155	复习思考题	205
4.3.2 振动紧实台	156	第7章 型砂处理系统及其自动化	206
4.3.3 塑料薄膜烘烤器	157	7.1 湿型砂制备系统	207
4.3.4 模板	157	7.1.1 湿型砂处理系统和工艺特点	207
4.3.5 砂箱	158	7.1.2 混砂机	209
4.4 真空密封造型生产线	159	7.1.3 松砂机	219
复习思考题	159	7.1.4 磁分离设备	220
第5章 制芯设备	161	7.1.5 破碎设备	222
5.1 概述	161	7.1.6 筛分设备	223
5.2 制芯设备基础	161	7.1.7 冷却设备	225
5.2.1 制芯设备的分类和选用	161	7.1.8 新砂烘干设备	228
5.2.2 制芯设备的计算	163	7.1.9 湿型砂制备过程的检测与控制	231
5.2.3 砂芯后处理设备的选择	163	7.2 树脂自硬砂和水玻璃自硬砂制	
5.3 热芯盒射芯机	164	备系统	238
		7.2.1 自硬砂处理系统和工艺特点	238



7.2.2 自硬砂混砂设备	239	8.7 浇冒口和飞边毛刺清理设备	322
7.2.3 自硬砂再生系统设备	241	8.7.1 去除浇冒口设备	322
7.2.4 自硬砂制备过程的检测与控制 ...	251	8.7.2 飞边毛刺清理设备	324
7.3 砂处理系统的运输设备和辅助 装置	254	8.7.3 铸件清理自动化	326
7.3.1 机械化运输设备	254	复习思考题	329
7.3.2 气力输送设备	264	第9章 铸造车间的环境保护	330
7.3.3 料斗、给料机及定量器	267	9.1 概述	330
7.4 砂处理系统的布置及自动化	272	9.2 铸造生产的环境要求	331
7.4.1 砂处理系统的布置	272	9.3 通风除尘设备	334
7.4.2 砂处理系统的自动化	276	9.3.1 除尘器的种类	334
复习思考题	281	9.3.2 铸造车间常用除尘器	334
第8章 落砂与清理设备	282	9.3.3 除尘系统管网的布置	339
8.1 落砂设备的分类	282	9.3.4 除尘系统管网的计算	340
8.2 振动落砂机	283	9.4 废气净化设备	342
8.2.1 偏心振动落砂机	283	9.4.1 铸造车间对空气净化化的要求	342
8.2.2 单轴惯性振动落砂机	284	9.4.2 废气净化的基本方法	344
8.2.3 单轴惯性撞击式落砂机	285	9.4.3 铸造车间废气净化的实例	347
8.2.4 双轴惯性振动落砂机	285	9.5 污水处理设备	349
8.2.5 双质体共振落砂机	287	9.5.1 铸造车间污水来源与特征	349
8.2.6 落砂机的工作过程和参数计算 ...	288	9.5.2 铸造车间的污水治理特点	349
8.3 滚筒落砂机	297	9.5.3 铸造污水净化设备	349
8.4 清理设备的分类	297	9.6 铸造车间噪声防治设备	351
8.5 除芯机械	298	9.6.1 噪声的危害及噪声标准	352
8.5.1 风动型芯落砂机	298	9.6.2 铸造车间的噪声污染	353
8.5.2 电液压清理设备	298	9.6.3 铸造车间噪声的控制措施及 设备	354
8.6 表面清理设备	301	9.7 固体废弃物治理设备	357
8.6.1 抛丸清理设备	301	复习思考题	357
8.6.2 抛丸清砂设备	313	附录 铸造设备型号的编制方法	358
8.6.3 喷丸清理	315	参考文献	360
8.6.4 其他清理设备和清理方法	319		

第 1 章 造型和制芯设备的工艺基础

1.1 型砂紧实的工艺基础

1.1.1 型砂的紧实过程

型砂是包裹着粘结剂膜的砂粒。由于砂粒表面的粘结剂膜，使型砂成为具有粘性、塑性和弹性的散体。型砂的紧实过程就是在外力作用下砂粒不断靠近而形成紧实状态，使包裹型砂颗粒的粘结剂膜形成粘结剂桥的过程。

1.1.2 型砂紧实度及其测量方法

1. 紧实度

型砂紧实的目的就是使型砂具有一定的强度。型砂被紧实的程度称为紧实度，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 为型砂的紧实度 (g/cm^3)； m 为型砂的质量 (g)； V 为型砂的体积 (cm^3)。

下面是几个常见的型砂紧实度的数值：十分松散的型砂， $0.6 \sim 1.0 \text{g}/\text{cm}^3$ ；从砂斗填到砂箱的松散砂， $1.2 \sim 1.3 \text{g}/\text{cm}^3$ ；一般紧实后的型砂， $1.55 \sim 1.7 \text{g}/\text{cm}^3$ ；高压紧实后的型砂， $1.6 \sim 1.8 \text{g}/\text{cm}^3$ 。

型砂紧实前后体积的变化率为紧实率，可用 Δ 来表示，即

$$\Delta = \frac{V - V_0}{V} \quad (1-2)$$

式中， Δ 为紧实率； V 为型砂紧实前的体积； V_0 为型砂紧实后的体积。

紧实率为混制后型砂的本质属性，与型砂的含水量有密切的关系。

2. 紧实度的测量

(1) 砂型硬度计 型砂的紧实度可以用硬度、容重、砂型强度来表示。硬度是用砂型硬度计在砂型表面直接测量而读取的数值。砂型硬度计如图 1-1 所示，有 A、B、C 三种型号，其中 A、B 型的压头为球形，用以测量一般的砂型，C 型硬度计的压头为圆锥形，用于测量硬度很高的砂型。硬度计测头如图 1-2 所示。使用时，将硬度计下平面贴在砂型上，压头由于砂型的阻力而上升，推动齿条齿轮，使指针转动。当硬度计下面的压头和砂型表面接触时，压头由于弹簧的压力使砂型表面产生变形。当与压头接触的砂型表面的反作用力与弹簧

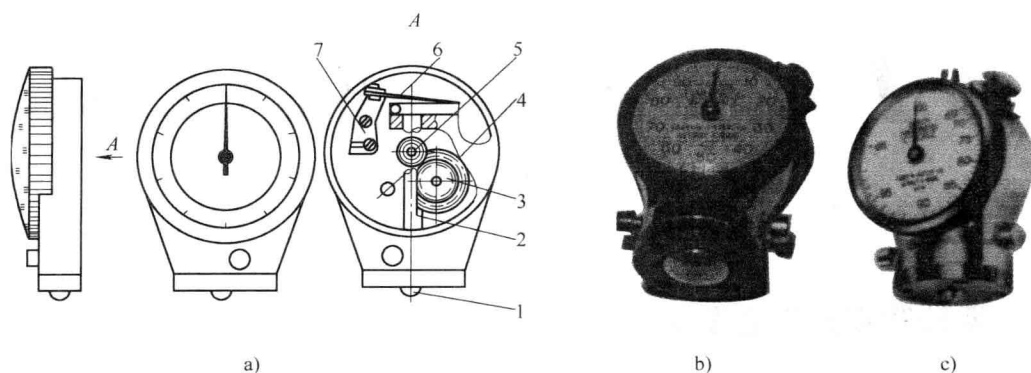


图 1-1 砂型硬度计

a) A 型硬度计 b) B 型硬度计 c) C 型硬度计

1—压头 2—齿条 3—小齿轮 4—大齿轮 5—小齿轮 6—弹簧片 7—调整螺钉

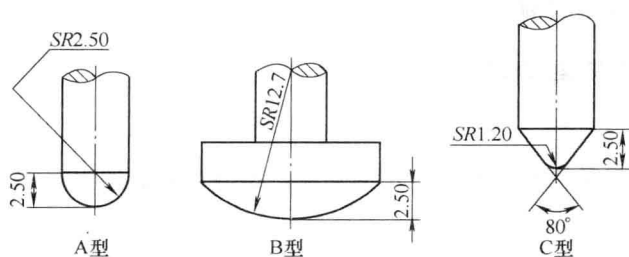


图 1-2 砂型硬度计测头

压力达到平衡时钢珠就不再下陷。上述硬度计压头的最大上升距离为 2.54 mm，相应的指针读数为 100 单位。一般砂型的表面硬度为 60~80 单位，高压造型可达 90 单位以上。硬度值实质上反映了相应的砂型表面单位面积所能承受的壓力。砂型硬度计使用比较方便，测量值重复性好，应用广泛。

(2) 容重测量法 容重是指单位体积内所包含的型砂重量。在砂型上要测定紧实度的部位，用带刀口薄壁钢管插入铸型中，取出一定长度砂柱后称重，可得出这一部位砂型的紧实度。由于该测量方法须破坏砂型，所以在生产中使用较少。

(3) 砂型强度计 砂型强度计（图 1-3）是一种针入式测力计，它是将直径为 3.2mm 的测头压入砂型 9.2mm 的深度所需的压力在表盘上显示的数值作为砂型的强度值（ $1\text{N}/\text{cm}^2 = 10\text{kPa}$ ）。20 世纪 80 年代瑞士 Georg Fischer 公司开发出电子式砂型强度计（图 1-4）。其结构紧凑、使用方便，得到了广泛的应用。

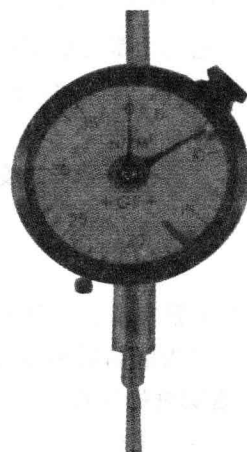


图 1-3 砂型强度计

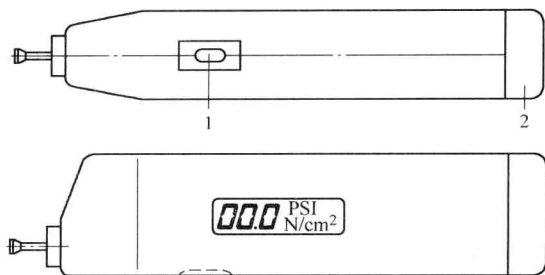


图 1-4 电子式砂型强度计

1—按钮 2—电池盖

1.1.3 对型砂紧实的工艺要求

为保证铸件的质量和成品率，砂型的紧实度应满足如下要求：

1) 紧实后砂型的强度首先要抵抗住起模时模板的摩擦力和真空吸阻力，保证在起模时，铸型薄弱部位及边角处不发生损坏、裂纹及脱落等现象。砂型紧实度不易过大，过大会造成起模困难，回弹力大，难以保证铸型的尺寸精度。

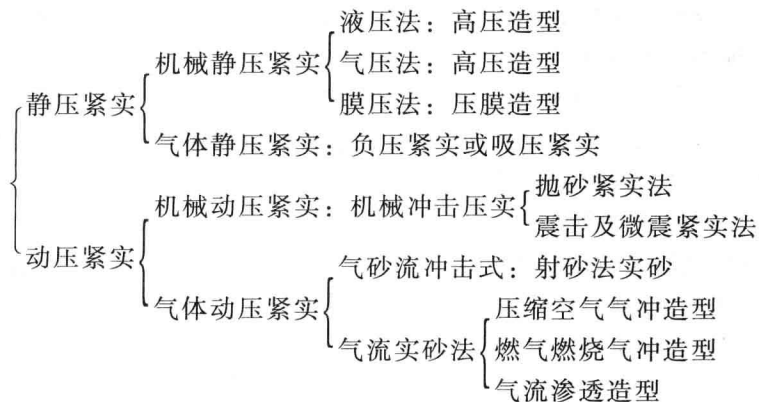
2) 紧实后砂型的强度除了能经受运输、翻转及合型过程中的振动和碰撞而不致损坏外，还要经得住浇注时金属液的冲击、冲刷以及静压力。在铸件凝固过程中，某些合金（如球墨铸铁）由于石墨化膨胀会对砂型内壁产生较大的膨胀压力，如果砂型紧实度不够大，就会引起型壁移动，从而影响铸件的尺寸精度和内部致密度。

3) 紧实后的砂型应具备必要的透气性，以防止铸件产生气孔类缺陷。

现代造型方法的目标，就是要获得一个紧实度满足铸造工艺要求而且分布均匀的砂型。

1.1.4 型（芯）砂紧实方法的分类

现代铸造生产中，砂型的紧实方法有很多种，前苏联学者 Matbeehko 研究了加载速度对紧实效果的影响后发现，紧实砂型时，紧实度增幅和大小受加载速度的影响很大。当加载速度超过 2m/s 后，紧实度增加很快，最大紧实度比稳定的最终紧实度高 $1.3 \sim 1.5$ 倍，而且紧实度是变化的，并有明显的凹谷区，这种压实力相当于冲击载荷。因此就以加载速度为标准对紧实方法进行了分类。当加载速度 $> 2\text{m/s}$ ，称为动压紧实；当加载速度 $< 2\text{m/s}$ ，称为静压紧实。按此标准，现代造型方法可以作如下分类：



1.2 压实紧实

1.2.1 压实过程

1. 压实实砂

压实实砂就是用直接加压的方法使型砂得到紧实（图 1-5）。压实时，压板在压力 p 作用下，压入辅助框中，砂柱高度降低而得到紧实。根据紧实前后型砂的质量不变可得到

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

式中， H_0 、 H 为砂柱紧实前与紧实后的高度； δ_0 、 δ 为砂柱紧实前与紧实后的紧实度。

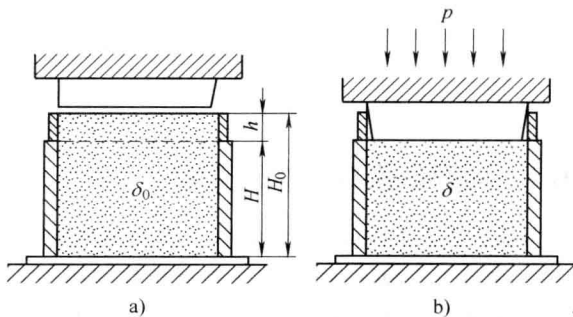


图 1-5 压实实砂原理

为使紧实后的型砂达到预定指标，辅助框的高度 h 可由压实前后型砂质量不变来确定，即压板的压下量可由下式得出

$$h = H \left(\frac{\delta}{\delta_0} - 1 \right) \quad (1-4)$$

2. 紧实度与压实比压的关系

压实实砂的一个主要技术指标为压实比压，压实比压为砂型单位面积所受的压实力，单位为 MPa。以一个简单的压实造型机为例（图 1-6），其压实比压可按式计算

$$p = \frac{p_0 A - Qg - R}{A_{\text{型}}} \quad (1-5)$$

式中， p_0 为压实行程结束时压实缸中的压力（MPa）； A 为压实活塞的面积（ mm^2 ）； Q 为造型机上升部分及砂箱、模板、型砂的质量（kg）； R 为摩擦力（N）； $A_{\text{型}}$ 为砂型面积（ mm^2 ）。

压实比压对型砂紧实度的影响如图 1-7 所示，图 1-7 中三条曲线表示性能不同的型砂压实时的紧实度变化。三条曲线的共同特征为：压实初始阶段，紧实度随压实比压的提高快速增加；但压实比压增加到某一定值时，紧实度增加速度趋缓；继续增加压实比压，紧实度趋于恒定值。这个关系与压实过程有关。

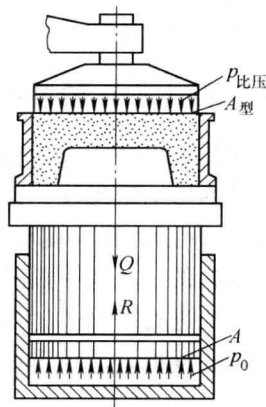


图 1-6 压实造型机受力示意图

压实过程一般分为三个阶段：

- 1) 松散的砂粒之间大的孔隙被压合，这一阶段压实比压增加不大，但紧实度增加很快。
- 2) 砂粒表面基本接触后，通过砂粒之间的互相移位，变成较紧密的排列方式而使紧实度增加。这一阶段压实比压需要克服砂粒之间的粘结力与摩擦力。
- 3) 压实比压进一步增加，砂粒由于应力过大而引起破碎，破碎的粉末填充了砂粒之间



的缝隙,使紧实度产生微小增加,但型砂的回收率降低,增加了生产成本。

一般情况下,压实比压小于 0.4MPa 时,为低压压实;压实比压在 $0.4 \sim 0.7\text{MPa}$ 之间时,为中压压实;压实比压超过 0.7MPa 时,为高压压实。

3. 压实速度对紧实度分布的影响

(1) 低速压实 低速压实即静压紧实。当压板压入速度小于 0.01m/s 时,所得紧实度分布情况如图 1-8 所示。低速压实时,砂箱壁对砂粒移动的摩擦阻力较大。压实开始时,砂箱上部边角处的砂粒因受箱壁和压板的摩擦阻力而使应力升高,因此在砂型上部沿砂箱壁形成一个高紧实度环形区。由于型砂的内摩擦力 V 与压板的向下推力 W 形成一个斜向下指向中心的合力 T ,并在中心点 G 交汇,成为一个倒弓形高紧实度区。

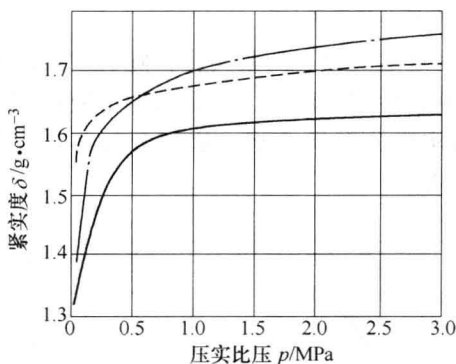


图 1-7 压实比压对型砂紧实度的影响

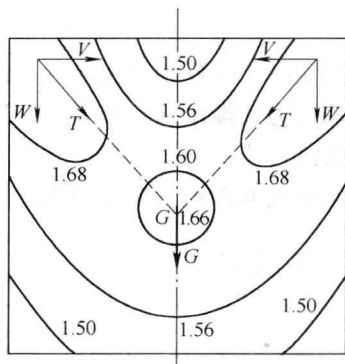


图 1-8 低速压实时砂型内紧实度分布情况
(曲线为等紧实度线,单位为 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)

低速压实时,紧实度在砂型纵向中心部分基本一致,在大约相当于砂型宽度 $2/3$ 的深度上,出现极大值,砂箱壁上则是上高下低,砂箱下边角紧实度最低;在砂型横向断面紧实度分布为:上部是边角上紧实度高,而下部是中心紧实度高。

(2) 高速压实 高速压实即动压紧实。当压板压入速度 $> 7\text{m/s}$ 时,压板的作用力主要是向下的,对砂粒的横向摩擦力很弱,弓形高紧实区不能形成。其压实过程大致可分为三个阶段:

1) 型砂初紧实层形成并向下加速运动阶段。紧实开始时,砂型顶部的砂层一方面被初步紧实,另一方面被推动向下加速运动(图 1-9a)。初紧实层的紧实度主要由压板的速度、填砂的紧实度决定。初紧实层经加速后,立即推动它下面的砂层,同样使其得到紧实并向下加速运动。这样由上而下层层紧实形成一种紧实波。这种紧实波向下移动速度很快,可以达到压板速度的好几倍。图 1-9b 所示为这一紧实波到达模板前的情况。

2) 砂层的冲击紧实阶段。当上述砂层紧实波到达模板表面时,高速运动的砂层与模板产生很高的冲击力,使型砂进一步紧实,达到很高紧实度(图 1-9c)。模板上的砂层紧实后,它上面的砂层受到更上层砂层的冲击,也得到冲击紧实。如此,冲击由下层层向上,砂层也层层得到紧实(图 1-9d)。

3) 压板的冲击紧实阶段。砂层冲击将近结束时,砂层与高速运动的压板产生较大的冲击力,使砂型上部的砂层被充分紧实(图 1-9e),压板的质量越大,产生的冲击力也越大。

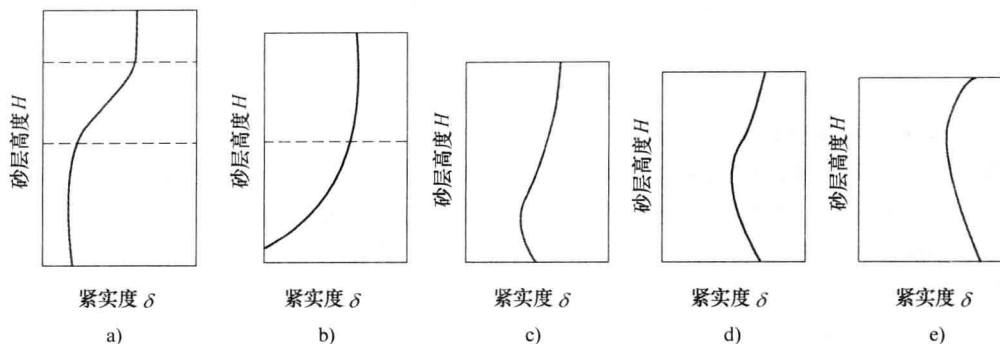


图 1-9 高速压实过程中紧实度变化情况

高速压实时，在砂型中由于砂层的冲击使模板附近达到很高的紧实度，随着砂层高度向上，砂层冲击力逐渐减低，使紧实度逐渐降低，但到达砂型顶面时，压板的冲击使砂型顶部的紧实度会进一步上升。所以总的说来，砂型的紧实度分布呈 C 形，底部及顶部高，中部较低。压实速度对砂型紧实度分布的影响如图 1-10 所示。

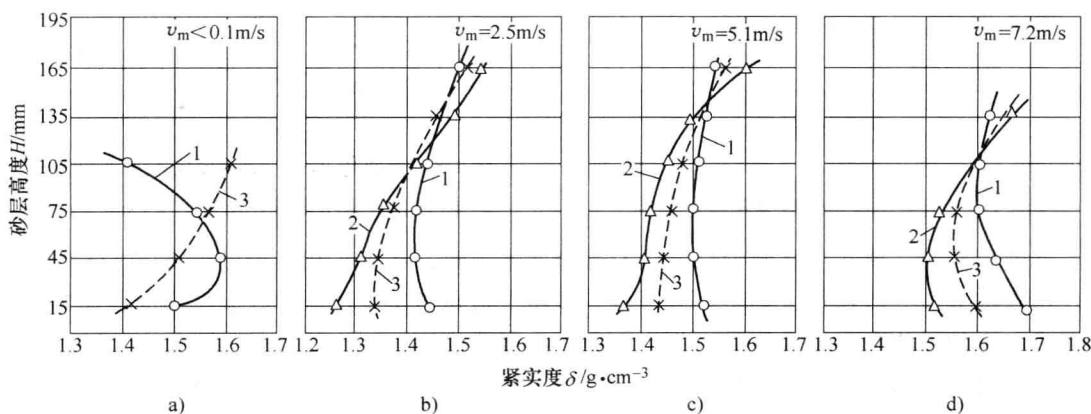


图 1-10 压实速度对砂型紧实度分布的影响

a) 压实比压 1000kPa, 填砂高度 250mm b)、c)、d) 型砂紧实率为 45%，

粘土砂含量 5%，填砂高度 270mm

1—砂型中心紧实度 2—砂型角上紧实度 3—砂型边上紧实度

(3) 通常压实 通常压实是指在一般的低压压实造型机上的压实过程。如压入速度为 0.5 ~ 1m/s，不属于高速压实，但和一般的低速压实也有所不同。这种压实方法中，压板不动，而模板、型砂及砂箱等受工作台下面的气缸推动，由下向上运动，压向压板，将型砂压实。

1) 通常压实其压实过程大致可以分为四个阶段：①压实开始时，工作台推动模板、砂箱、型砂等向上运动，型砂速度由零变大，增大至与工作台等的速度相同。这一阶段是型砂的加速及初步紧实运动阶段，所达到的速度和初紧实度都不高（速度约 0.5 ~ 1m/s）。②当型砂顶部碰到压板时，型砂的运动受阻，发生碰撞，先是最顶上一层型砂紧实，接着是它下面一层，这样型砂一层层由上向下被紧实，顶上部分受冲击力最大，紧实度最高，砂层由顶



部向下，紧实度逐渐降低。③在上述型砂冲击紧实末了，砂箱、模板等尚具有较大的速度，因而紧跟着向砂型冲击，这一冲击力比较大，可以提高模板附近砂层的紧实度。④如果压实机构的压实力很大，这一压实力也可能将砂型进一步压实，但这只有当压实压力很高，或在冲击紧实阶段（阶段②或③）的冲击力都不大时才有可能。

2) 通常压实紧实度分布如图 1-11 所示，呈现出上高下低，底部又有所提高，中间最小。这是砂粒流由下向上冲击作用的结果。在砂型底部模板附近，紧实度又有所提高，这是阶段③模板冲击的结果。

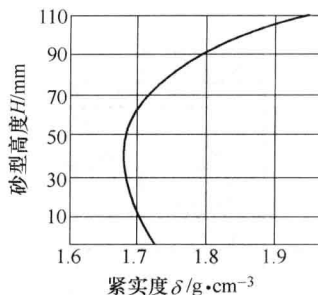


图 1-11 通常压实紧实度分布曲线

1.2.2 砂箱和模样对压实的影响

1. 砂箱高度的影响

砂箱高度增加时，由于砂箱壁上摩擦力的增加，在砂箱下部，压实力逐渐减小，型砂紧实度也逐渐降低。图 1-12 所示的砂箱尺寸为 100mm × 100mm，砂箱高度不同时，压实后砂型中心部分紧实度的分布情况。当 $H = 120\text{mm}$ 时（图 1-12 中线 3），砂型上、下紧实度基本上是均匀的。当 $H = 250\text{mm}$ 时（图 1-12 中线 2），只有距离压板 100mm 左右高度上紧实度是均匀的，再往下，紧实度迅速降低。若 $H = 400\text{mm}$ 时（图 1-12 中线 1），则曲线分成三段，离压板处 120mm 左右紧实度尚高；再往下则紧实度直线下降，而在接近模板的一段，紧实度很低，型砂基本上没有得到紧实。

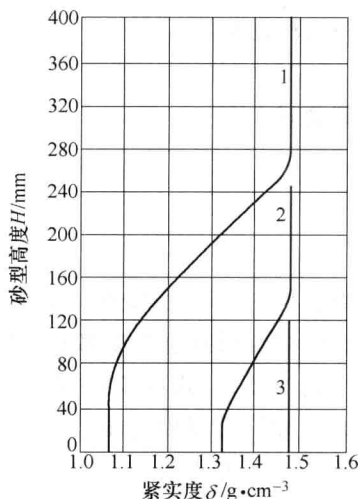


图 1-12 砂箱高度不同时砂型紧实度分布曲线

1— $H = 400\text{mm}$ 2— $H = 250\text{mm}$
3— $H = 120\text{mm}$

2. 模样高度对紧实度分布的影响

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，情况将变得复杂。如图 1-13 所示，其模样深凹处底部的点，如 1、2、3 处的型砂就不容易得到紧实，因为除了型砂内部的阻力以及型砂与砂箱间的摩擦阻力外，还有模样与型砂间的摩擦力在起着阻碍紧实的作用。

(1) 深凹比 深凹处型砂的紧实同砂型压实一样，只是模样壁上的摩擦力代替了砂箱壁上的摩擦力。深凹处的高与宽之比对该处型砂的紧实有影响，其影响程度可用深凹比(A)表示

$$A = \frac{\text{深凹处的高度 (模样高度)}}{\text{深凹处短边宽度}} = \frac{H_M}{B_{\min}}$$

深凹比 A 越大，则深凹处底部型砂越不容易紧实。根据试验，对于粘土砂的压实， $A < 0.8$ 时，深凹处尚容易紧实；若 $A > 0.8$ 时，则深凹处底部的紧实度就难以得到保证。

(2) 压缩比 如图 1-14 所示，若把型砂分成模样顶部和模样四周两个部分，假定在压实过程中型砂无侧向移动，各自独立受压，则：

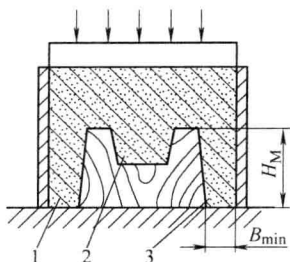


图 1-13 带高模样的砂型

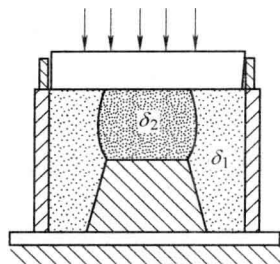
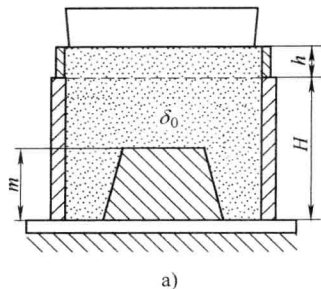


图 1-14 压实实砂紧实度不均匀性的分析

a) 压实前 b) 压实后

对于模样四周有

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

对于模样顶部有

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

得到公式

$$\delta_1 = \delta_0 + \frac{h}{H}\delta_0 \quad (1-6)$$

$$\delta_2 = \delta_0 + \frac{h}{H - H_M}\delta_0 \quad (1-7)$$

式中, H 、 h 、 H_M 为砂箱、辅助框及模样的高度; δ_0 、 δ_1 、 δ_2 为压实前型砂的紧实度以及压实后模样四周及模样顶部的型砂平均紧实度。

式(1-6)、式(1-7)中的 h/H 及 $h/(H - H_M)$ 可以视为砂柱的压缩比, 在 h 相同的情况下, 模样顶部型砂的压缩比大, δ_2 增长就快, 对压实的阻力迅速增加。尤其在 m 较大时, 压实的作用力主要通过高紧实度的 δ_2 区传到模样顶部而被抵消掉, 这时 δ_1 有可能还很低。

(3) 模样顶部的型砂向四周填充的可能性 以上分析中假定模样顶部和四周的砂柱独立受压, 彼此没有联系。但实际上, 压实过程中的确会有一些模样顶面砂柱的型砂向四周流动, 填入四周深凹处, 使四周的型砂量增加, 使 δ_1 与 δ_2 的差值减小。但试验表明: 除了油脂砂及流态砂等湿强度很低的型砂外, 一般的粘土砂在压实过程中并没有显著的横向流动, 不能过高地估计这种流动对紧实度均匀化的作用。模样顶部砂柱受压变形如图 1-15 所示。压实前, 用不同颜色型砂分格填砂, 每一方格最初呈正方形。图 1-15 所示是用 1MPa 的比压压实后方格的变形情况。

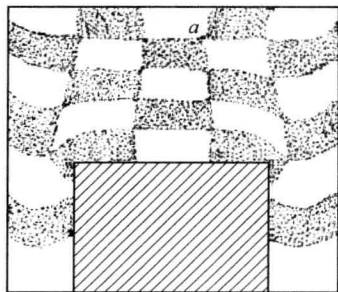


图 1-15 压实时型砂块的变形

由图 1-15 可见: 在模样的转角上, 有一部分型砂滑过模样转角被挤入模样四周区域中, 模样顶面砂柱的下部, 向外稍稍凸出, 但总的说来, 凸出量并不大, 而且在砂柱上部 a 处, 因受拱形高紧实区斜向中心力的作用, 砂柱甚至向中心方向挤进。