

铸造粘土旧砂 完全再生技术

孙清洲 许荣福 张普庆 著



*Total Reclamation of
Foundry Used Green Sand*



国内第一部粘土旧砂完全再生专业著作



来自专业研究团队的第一手资料

内容全面
实用性强



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



铸造粘土旧砂 完全再生技术

孙清洲 许荣福 张普庆 著



机械工业出版社

本书在对粘土旧砂性能进行深入分析的基础上,对粘土旧砂完全再生技术进行了深入研究。通过系统试验和理论分析,阐明了粘土旧砂完全再生的工艺路线、适宜的再生方法、脆化旧砂冷却方法、再生砂微粉分离方法及相关工艺参数;揭示了粘土完全再生砂在不变体系和变体系条件下混制化学粘结剂型(芯)砂时的工艺适应性。从对粘土完全再生砂表面物理化学特性的深入分析入手,对含冷芯盒树脂砂芯砂粘土砂的完全再生砂进行了改性研究,探索了一条提高粘土完全再生砂铸造工艺性能的方法和途径。介绍了粘土旧砂完全再生成套工艺设备的设计方法。

本书直面铸造生产中大量粘土废砂排放所带来的污染问题,探索了一条通过粘土旧砂完全再生以减少废砂排放的方法,可以指导铸造工作者开展粘土旧砂再生工作,也可作为高等学校和科研院所的教学参考书和技术参考书。

图书在版编目(CIP)数据

铸造粘土旧砂完全再生技术/孙清洲,许荣福,张普庆著. —北京:机械工业出版社,2015.12
ISBN 978-7-111-52345-1

I. ①铸… II. ①孙… ②许… ③张… III. ①铸造-粘土砂-废物综合利用 IV. ①X757.05

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第301097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:何月秋 责任编辑:何月秋 王彦青

版式设计:霍永明 责任校对:刘志文

责任印制:乔宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2016年1月第1版第1次印刷

148mm×210mm·4.625印张·1插页·114千字

0001—2000册

标准书号:ISBN 978-7-111-52345-1

定价:39.00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

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

序

铸造是机械零件生产的重要方法，铸造行业在国民经济发展中扮演着重要角色。铸造行业在对国民经济发展做出贡献的同时，其生产过程中产生的固体废弃物污染、烟尘污染、噪声污染等问题也倍受政府及行业内部的关注。

粘土砂铸造是目前应用最广泛的铸件生产方法，除生产出了占我国铸件总产量 60% 左右的铸件之外也产生了大量的粘土废砂，成为铸造车间固体废弃物的主要组成部分。解决粘土旧砂的再生问题对于减少铸造生产过程中固体废弃物的排放量和新砂的用量、保护自然资源和环境，具有重要的现实意义。

山东建筑大学孙清洲教授带领的课题组长期从事铸造旧砂再生技术的研究，取得了一系列重要成果，现将其研究成果写成《铸造粘土旧砂完全再生技术》出版，宣传粘土旧砂再生技术，和广大铸造工作者共享粘土旧砂再生的研究成果，对粘土旧砂再生技术在铸造行业的推广应用具有积极的意义。

中国科学院院士、中国材料研究学会副理事长

魏炳波

前 言

铸造是机械零件制造最基本的方法，是装备制造业重要的组成部分，在国民经济发展中扮演着重要的角色。新中国成立以来，特别是改革开放以来，我国的铸造技术及铸造装备水平得到了迅速提高，铸件年产量不断增长，已连续十余年成为世界第一铸件生产大国，2013 年我国铸件年产量达到了 4450 万 t。同时也必须清醒地看到，我国的吨铸件能耗、吨铸件固体废弃物排放量、单位面积铸件产量、工作人员劳动生产率等技术经济指标和发达国家相比还有一定的差距，从铸件生产大国到铸造强国仍有一段路要走，因此作为一名多年从事铸造专业教学及科研工作的教育工作者，有义务对铸造行业普遍关注的一些热点及难点问题开展研究工作，为推动铸造行业的技术进步尽一份微薄之力。

粘土砂工艺、树脂砂工艺和水玻璃砂工艺通称为三大砂型铸造工艺。由砂型铸造工艺生产的铸件约占我国铸件总产量的 80% ~ 90%。砂型铸造过程中所产生的废砂成为铸造固体废弃物的主要来源。20 世纪末，作者选择了铸造行业关注度较高的铸造旧砂再生问题作为科研工作的重要研究方向之一，先后对树脂旧砂热法再生技术、水玻璃旧砂加热脆化机械再生技术及粘土旧砂完全再生技术进行了较系统的研究。本书将粘土旧砂完全再生技术领域所取得的研究成果结集出版，希望和广大铸造工作者及从事铸造教学及科研工作的学者共享。

本书共分为7章。第1章绪论,介绍了粘土砂铸造、粘土旧砂的性能及特点、粘土旧砂再生技术的发展、粘土旧砂再生的意义。

第2章粘土旧砂完全再生的工艺方法及工艺参数,介绍了脆化温度、脆化时间对粘土再生砂微粉去除率的影响规律,冷却方法对砂子粒度及粒形的影响规律,磨轮再生、逆流转子再生、气流再生、振动再生对粘土旧砂完全再生工艺的适应性及磨轮再生、逆流转子再生和粘土再生砂微粉分离的工艺参数。

第3章不变体系条件下粘土完全再生砂的铸造工艺性能,介绍了在不变体系条件下,用粘土完全再生砂混制覆膜砂、热芯盒树脂砂、冷芯盒树脂砂、酸固化自硬树脂砂、酯硬化水玻璃砂时的铸造工艺性能。

第4章变体系条件下粘土完全再生砂的铸造工艺性能,介绍了在变体系条件下,用粘土完全再生砂混制覆膜砂、热芯盒树脂砂、冷芯盒树脂砂、酸固化自硬树脂砂、酯硬化水玻璃砂时的铸造工艺性能。

第5章粘土完全再生砂改性技术初探,介绍了影响粘土完全再生砂铸造工艺性能的因素,粘土完全再生砂的改性、粘土完全再生砂改性后的铸造工艺性能。

第6章粘土旧砂高温脆化装置设计和第7章粘土旧砂完全再生其他工艺设备设计,介绍了粘土旧砂高温脆化装置、脆化旧砂冷却装置、多排磨轮再生机及微粉分离装置的工作原理、设计步骤及设计计算。

本书在写作过程中参考了大量资料,已在参考文献中予以列出。作者对粘土旧砂完全再生技术的研究历经十余年,三次得到了山东省科技发展计划(2005GG3206092、2010GSF10611、2014GSF116022)

的支持，先后培养硕士研究生 8 名，本科生 30 多名，张艳、张维义、许荣福、井建、王健、靳立、闫敬光、杜航、郝学杰等在读研期间做了大量的研究工作，对粘土旧砂完全再生技术的研究做出了贡献，在此一并表示感谢。

由于著者写作水平有限，错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

目 录

序

前言

第1章 绪论	1
1.1 粘土砂铸造	1
1.2 粘土旧砂的性能及特点	4
1.3 粘土旧砂再生技术的发展	9
1.3.1 粘土旧砂再生技术在国外的发展	9
1.3.2 粘土旧砂再生技术在国内外的发展	12
1.4 粘土旧砂再生的意义	13
参考文献	14
第2章 粘土旧砂完全再生的工艺方法及工艺参数	17
2.1 再生前粘土旧砂的脆化处理	18
2.1.1 烘干对粘土再生砂微粉去除率的影响	20
2.1.2 低温脆化对粘土再生砂微粉去除率的影响	22
2.1.3 高温脆化对粘土再生砂微粉去除率的影响	23
2.1.4 脆化时间对粘土再生砂微粉去除率的影响	23
2.1.5 粘土旧砂再生前脆化温度和脆化时间	24
2.2 脆化旧砂的冷却	25
2.3 粘土旧砂的完全再生	30
2.4 粘土再生砂的微粉分离	34
2.5 逆流转子再生机的工作参数	35

2.5.1 滚筒的回转速度	35
2.5.2 转子的回转速度	37
2.6 磨轮再生机及负压流化床的工作参数	41
2.6.1 磨轮再生机的工作参数	41
2.6.2 负压流化床的工作参数	42
参考文献	44
第3章 不变体系条件下粘土完全再生砂的铸造工艺性能	47
3.1 不变体系条件下含覆膜砂芯砂粘土砂的再生砂铸造工艺性能	47
3.2 不变体系条件下含冷芯盒树脂砂芯砂粘土砂的再生砂铸造工艺性能	52
3.3 不变体系条件下含热芯盒树脂砂芯砂粘土砂的再生砂铸造工艺性能	57
3.4 不变体系条件下含酸固化自硬树脂砂芯砂粘土砂的再生砂铸造工艺性能	60
3.5 不变体系条件下含酯硬化水玻璃砂芯砂粘土砂的再生砂铸造工艺性能	64
参考文献	67
第4章 变体系条件下粘土完全再生砂的铸造工艺性能	69
4.1 变体系条件下含酸固化自硬树脂砂芯砂粘土砂的再生砂铸造工艺性能	70
4.2 变体系条件下含酯硬化水玻璃砂芯砂粘土砂的再生砂铸造工艺性能	72
4.3 变体系条件下含热芯盒树脂砂芯砂粘土砂的再生砂铸造工艺性能	74
4.4 变体系条件下含冷芯盒树脂砂芯砂粘土砂的再生砂	

铸造工艺性能	76
4.5 变体系条件下含覆膜砂芯砂粘土砂的再生砂铸造工艺性能	78
参考文献	80
第5章 粘土完全再生砂改性技术初探	82
5.1 影响粘土完全再生砂铸造工艺性能的因素	82
5.2 粘土完全再生砂的改性	88
5.2.1 粘土完全再生砂改性处理的技术路线	88
5.2.2 粘土完全再生砂的化学改性	89
5.3 粘土完全再生砂改性后的铸造工艺性能	90
参考文献	93
第6章 粘土旧砂高温脆化装置设计	94
6.1 粘土旧砂高温脆化装置设计方案	95
6.2 粘土旧砂高温脆化装置流化床工作参数	98
6.2.1 临界流化速度 u_{mf}	98
6.2.2 带出速度 u_t	99
6.2.3 操作速度 u_0	100
6.2.4 流化床膨胀比 R	100
6.2.5 流化床压力降 Δp	101
6.3 粘土旧砂高温脆化装置流化床结构参数	102
6.3.1 流化床的基本尺寸	102
6.3.2 流化床结构设计的一般要求	103
6.3.3 流化床分布板开孔排列方式和孔间距	104
6.3.4 流化床加料口及卸料口尺寸	104
6.4 粘土旧砂高温脆化装置热平衡计算	105
6.5 粘土旧砂高温脆化装置烟气换热器设计	112

6.5.1 粘土旧砂高温脆化装置所产烟气量 V_z	112
6.5.2 粘土旧砂高温脆化装置烟气换热器基本参数	113
6.6 炉架设计	116
6.7 风机选择	119
参考文献	120
第7章 粘土旧砂完全再生其他工艺设备设计	122
7.1 脆化旧砂冷却装置设计	122
7.1.1 脆化旧砂冷却装置工作原理	122
7.1.2 脆化旧砂冷却装置流化床类型及面积的确定	123
7.1.3 脆化旧砂冷却装置换热器结构形式的确定	124
7.1.4 脆化旧砂冷却装置换热计算	126
7.2 多排磨轮再生机设计	131
7.2.1 多排磨轮再生机设计方案	131
7.2.2 磨轮工作所消耗的功率	132
7.3 粘土再生砂微粉分离装置	136
参考文献	138

第 1 章

绪 论

1.1 粘土砂铸造

根据出土文物考证和文献记载,我国的铸造技术已有 6000 余年的悠久历史,是世界上较早掌握铸造技术的文明古国之一^[1]。现阶段的铸造行业已经成为机械制造业必不可少的基础行业,铸造技术的成就推动了机械制造、航空航天、兵器制造、交通运输、石油化工等领域的科技进步。据美国铸造杂志《Modern Casting》公布的数据,2013 年我国各类铸件总产量为 4450 万吨^[2],已连续十余年位居世界铸件年产量第一,并有大量的铸件出口,成为名副其实的铸件生产大国。纵览铸件生产的各种工艺方法,砂型铸造仍然是最常用的铸造工艺方法,由砂型铸造工艺生产的铸件约占我国铸件总产量的 80%~90%^[3]。粘土砂铸造工艺、树脂砂铸造工艺和水玻璃砂铸造工艺通称为三大砂型铸造工艺。在三大砂型铸造工艺中,由粘土砂铸造工艺生产的铸件超过由树脂砂铸造工艺及水玻璃砂铸造工艺生产铸件的总和,成为最常用的砂型铸造工艺方法。

粘土砂铸造工艺是由粘土型砂为造型材料的铸造工艺方法。型砂由砂、粘土、水和附加材料按照一定比例混制而成。砂子为耐火骨料,粘土(膨润土)为粘结剂,和水结合发挥粘结作用,

附加材料用于改善型砂的某些铸造工艺性能。粘土砂的性能要求、应用条件与造型方法有密切关系,按照是否烘烤铸型,粘土砂铸造工艺可分为粘土砂干型铸造工艺、粘土砂表面干型铸造工艺和粘土砂湿型铸造工艺,其所应用的型砂分别称为干型砂、表面干型砂和湿型砂^[4,5]。

粘土砂干型铸造工艺所用砂型需要经过烘干,干型砂和湿型砂相比湿态强度可以稍低一些,含水量可以稍高一些,以使型砂达到较高的干强度。干型砂对原砂化学成分和耐火度要求不是很高,一般采用粒度较粗的原砂,用涂料保证提高铸件表面质量,型砂有较高的透气性,烘干后具有较高的强度,不易产生冲砂、粘砂、气孔等铸造缺陷,主要用于浇注中、大型铸件。粘土砂干型铸造工艺所用砂型需要有专门的烘干设备烘干,生产周期长、能耗大、工作环境恶劣、铸件尺寸精度低,随着树脂砂及水玻璃砂铸造工艺的广泛应用,粘土砂干型铸造工艺在铸造生产中已很少应用。

粘土砂表面干型铸造工艺所用砂型需在浇注前对型腔表面进行烘烤,得到具有一定厚度型腔表面(15~20mm)干燥层的铸型。表面干型砂的性能及配制兼有湿型砂和干型砂的要求,原砂的粒度较粗,常用12/30、20/40及30/50的石英长石砂,采用活化膨润土作为粘结剂并加入木屑,型砂的透气性和湿强度要求高,铸型表面需刷涂料以提高抗粘砂能力。与粘土砂干型铸造工艺相比,表面干型砂的砂型不需进窑烘干,可减少燃料和电力消耗,生产周期短,铸件的落砂性能提高,清砂比较容易,工作环境较好,但对型砂性能和工艺操作要求提高。粘土砂表面干型铸造工艺主要用于浇注中大型铸件,最大铸件可达十几吨重,因树脂砂及水玻璃砂铸造工艺的应用,其应用有逐渐减少的趋势,铸造生产中只有少数企业在应用。

粘土砂湿型铸造工艺和粘土砂干型铸造工艺及粘土砂表面干

型铸造工艺相比,砂型不需烘干就可直接进行合箱浇注并生产出合格的铸件,去掉了烘干环节,节省了烘干费用,缩短了生产周期,方便了生产组织,易于实现铸造生产的机械化及自动化,且铸型的落砂性好,工作过程扬尘少,环境得到了改善,铸件的表面精度和尺寸精度高,清理工作量少,生产成本降低。和粘土砂干型、表面干型铸造工艺相比,粘土砂湿型铸造工艺也存在一些不足,主要表现在铸型的强度低,型砂的流动性差,含有水分,发气量大,铸件易产生砂眼、气孔、夹砂等铸造缺陷。严格的型砂质量控制及铸造生产过程的管理可以有效解决粘土砂湿型铸造工艺生产中存在的问题,因此,目前大部分中小型铸铁件生产多采用粘土砂湿型铸造工艺,特别是汽车、拖拉机、内燃机、轻纺机械等行业。机械化生产铸铁件以粘土砂湿型铸造工艺为主。

湿型粘土砂的主要组成为砂、粘土(膨润土)、煤粉和水,少数还有重油、渣油或淀粉等附加物。原砂为湿型粘土砂的耐火骨料,主要为石英砂或石英长石砂,粒度多为50/100、70/140或100/200,质量及尺寸较小的铸件选用粒度较细的原砂,质量及尺寸较大的铸件选用粒度略粗的原砂,以保证铸件获得光洁的表面。为了提高型砂的湿强度,增强抗夹砂、粘砂及抗脉纹缺陷的能力,也可将两种粒度的原砂混合使用。膨润土多为湿型砂的粘结剂,和水分结合发挥粘结作用。膨润土被水湿润后具有粘结性和可塑性,失去水分后硬结,而硬结的膨润土加水后又能恢复粘结性能和可塑性,因而具有很好的复用性,但如果膨润土受到高温烘烤而失去结晶水^[6],再遇水将无法恢复其粘结性能,这时的膨润土在型砂中将不再是粘结剂,而成为泥分。煤粉是砂型铸造铸铁件生产不可或缺的附加材料,具有防止铸件表面粘砂、抑制膨胀类缺陷发生,减少气孔类缺陷等作用,并可改善铸件的表面质量。

粘土砂铸造工艺的用量能够位居三大砂型铸造之首,是因为

粘土砂铸造工艺和树脂砂铸造工艺、水玻璃砂铸造工艺相比有其独特的优点：其一，可用于铸钢件、铸铁件及有色合金铸件的生产，对合金的适应性强；其二，可采用手工、半机械、机械化或自动化生产方式，生产的管理和组织灵活，特别是随着现代化高速造型及下芯技术的应用，生产效率在三大砂型中明显占据优势；其三，泥分含量、芯砂含量较低的粘土旧砂，经过磁选、破碎、筛分、冷却等工艺过程的处理就可直接使用，而无需像树脂砂旧砂、水玻璃砂旧砂那样每次都必须进行再生处理后才能应用；其四，对原砂泥分含量、水分含量及耗酸值的要求低，原砂和粘结剂的价格便宜，铸造生产的综合成本低，经济性好。正因为粘土砂铸造工艺具有上述独特的优点，因此在铸造生产中获得了广泛的应用，并且可以预计，随着铸造行业的发展，粘土砂铸造工艺在未来的机械行业仍将扮演重要的角色。

1.2 粘土旧砂的性能及特点

粘土砂铸型经浇注、冷却、落砂后所得到型砂和芯砂的混合物称为粘土旧砂。粘土砂铸型在浇注过程中，型腔内表层会受到高温金属液的强烈热作用，靠近铸件表面型砂中的粘土在高温作用下会失去结晶水，丧失粘结能力而变为死粘土^[7-10]，型砂中的煤粉、有机物质等附加物在高温作用下，或烧损或烧结或形成微小颗粒和灰分。粘土砂所用原砂主要为石英砂或石英长石砂，石英在受热过程中会发生膨胀，这种膨胀包括温度升高而产生的热膨胀和石英因同质异晶转变而产生的膨胀^[11]，随后随着砂子的冷却，石英颗粒会产生收缩，在反复的冷热作用下会造成个别砂粒的破碎，破碎的细小砂粒混在旧砂中也成为泥分的一部分。另外在型砂的混制及旧砂的处理过程中，砂粒和各工艺设备之间，砂粒和

砂粒之间的碰撞和搓擦也会造成个别砂粒的破碎，而增加旧砂中的泥分。

铸造生产中芯子用于形成铸件的内腔，对于具有内腔的铸件芯子的使用不可避免。在铸造生产过程中，芯砂会通过落砂过程混入粘土砂中，最终成为型砂的一部分。当芯砂含量达到一定程度，特别是当泥分和芯砂同时存在于旧砂中时，将共同对型砂的性能产生影响。泥分及芯砂共同存在条件下对型砂湿压强度、热湿拉强度和透气性的影响如图 1-1 ~ 图 1-6 所示^[12,13]。

图 1-1 所示为泥分和树脂砂芯砂共同存在条件下泥分含量、树脂砂芯砂含量和粘土型砂透气性的关系；图 1-2 所示为泥分和水玻璃砂芯砂共同存在条件下泥分含量、水玻璃芯砂含量与粘土型砂透气性的关系。由图 1-1 和图 1-2 可知，在芯砂含量一定的情况下，随型砂中泥分含量的提高，型砂的透气性降低。对于含树脂芯砂的粘土砂，在泥分含量一定的情况下，随芯砂含量的增加型砂的透气性先增加后降低，在芯砂的质量分数为 4%~6% 时出现透

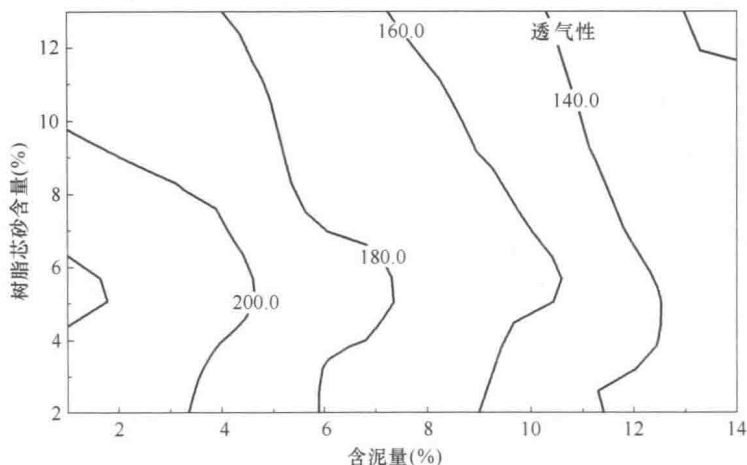


图 1-1 泥分及树脂砂芯砂含量与型砂透气性的关系

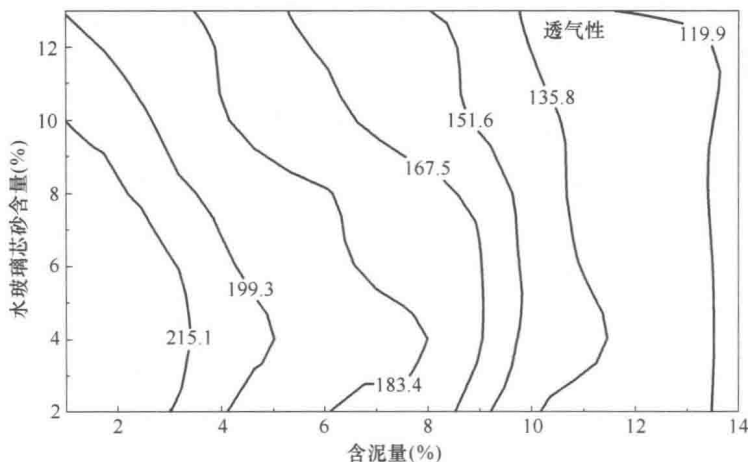


图 1-2 泥分及水玻璃砂芯砂含量与型砂透气性的关系

气性的最大值。对含水玻璃芯砂的粘土砂，在泥分质量分数低于 13.5% 时，随芯砂含量的增加，型砂的透气性先增加后降低，其最大值出现在水玻璃芯砂质量分数 4% 左右。对于含树脂芯砂和水玻璃芯砂的粘土砂，在芯砂质量分数达 13%，泥分的质量分数达 14% 时，其透气性仍能满足铸造生产的需要。

图 1-3 所示为泥分和树脂砂芯砂共同存在条件下泥分含量、树脂砂芯砂含量和粘土型砂湿压强度的关系，图 1-4 所示为泥分和水玻璃砂芯砂共同存在条件下泥分含量、水玻璃砂芯砂含量与粘土型砂湿压强度的关系。由图 1-3 和图 1-4 可知，对于含树脂砂芯砂的粘土砂，泥分的质量分数低于 5%~6%，芯砂的质量分数低于 8%~9%，对于含水玻璃砂芯砂的粘土砂，泥分和芯砂的质量分数均低于 4%~5% 时，型砂的湿压强度高且较稳定，然后随型砂中泥分及芯砂含量的增加，型砂的湿压强度从大于 $1.1 \times 10^5 \sim 1.2 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，降低到 $0.7 \times 10^5 \text{ Pa}$ 以下。从型砂对工艺适应性的方面考虑，型砂从可用于高压或静压造型变为仅可用于单机造型或手工造型，甚至到了需要报废的程度。