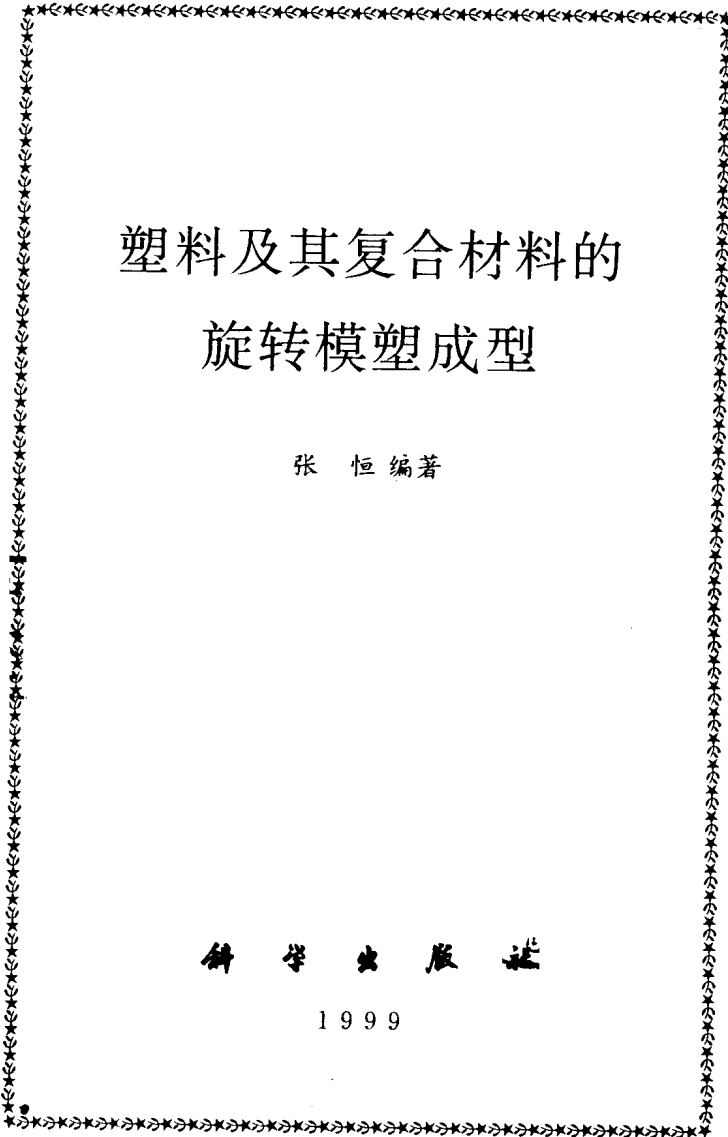




塑料及其复合材料的 旋转模塑成型

● 张 恒 编著
● 科 学 出 版 社



塑料及其复合材料的 旋转模塑成型

张 恒 编著

科 学 出 版 社

1 9 9 9

内 容 简 介

本书比较详细地阐述了旋转模塑工艺的成型原理、成型设备、模具设计与制造、原材料、制品结构设计和工艺过程控制等方面的技术和知识。全书既重视工艺过程的理论分析,又重视生产实践中的经验技术介绍。

本书可供塑料及其复合材料加工行业的技术人员、工程师,高校和研究院所的教师、学生及研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

塑料及其复合材料的旋转模塑成型/张恒编著.-北京:
科学出版社,1999.3
ISBN 7-03-007079-8

I. 塑… II. 张… III. 塑料成型-旋转模型 IV. TQ320.66

中国版本图书馆CIP数据核字(98)第31629号

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717

中 国 科 学 院 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1999年3月第一版 开本:850×1168 1/32

1999年3月第一次印刷 印张:5 1/8

印数:1-2700 字数:129000

定价:10.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

前 言

塑料及其复合材料的成型工艺有很多种,包括压缩模塑、挤出成型、注射模塑、传递模塑、吹塑、铸塑、层压、压延、涂层、热成型、反应注射模塑和旋转模塑等等。在各类有关塑料及其复合材料的成型工艺的书籍中,已对除旋转模塑以外的各种工艺进行了较详尽的论述,而对于旋转模塑工艺,至今仅在极少数的书中见到不足几页的描述。然而,对于中、小批量的塑料及其复合材料制品的生产和大型、超大型塑料及其复合材料制品的生产来说,旋转模塑却是一种投资少、生产周期短、利润高的生产方法。旋转模塑工艺的适应性很强,从最小的塑料玩具、注射器到 10 万升储量的超大型水罐,从最简单的球形到形状极其复杂的工艺美术制品,都可以采用这种工艺。

旋转模塑工艺是一种古老而独特的工艺,原理简单,设备也简单。正由于此原因,很多塑料成型工艺研究者均未给予足够的重视,导致旋转模塑工艺在我国的发展和运用进展迟缓。实际上,这一工艺在发达国家已经获得较广泛的应用。遍及 50 个国家的塑料加工业成立了专门的旋转模塑协会(ARM),致力于这一工艺的新产品研究开发、学术交流和推广。我国则刚刚开始有个别厂家引进旋转模塑设备,从事大型和超大型塑料制品的加工。

本书在作者多年从事塑料及其复合材料工艺的基础上,汇集国外有关文献,从成型原理、原材料、成型设备、模具设计和制造、工艺过程控制及制品结构设计等各方面对旋转模塑工艺进行了详细的论述。书中既有工艺过程的理论分析,又有设计和制造方面的经验数据资料,同时还给出各种复杂工艺技术的处理方法。作者希望本书的出版可以增进塑料工业技术工作者对旋转模塑工艺的理解,为在我国进一步推广旋转模塑工艺起到促进作用,为旋转模塑工艺的研究和发展起到抛砖引玉的效果。

目 录

第一章 旋转模塑概论	1
1-1 引言	1
1-1-1 旋转模塑工艺的优点	3
1-1-2 旋转模塑工艺的缺点	3
1-2 旋转模塑用原材料	4
1-2-1 聚烯烃塑料	5
1-2-2 乙烯基塑料	5
1-2-3 反应树脂	6
1-2-4 其他塑料	6
1-3 旋转模塑设备	7
1-4 模具	9
1-5 旋转模塑制品设计	10
第二章 旋转模塑工艺原理分析	14
2-1 模具的热传导	14
2-2 旋转模塑过程中塑料粉末的熔融	16
2-2-1 模具形状	16
2-2-2 模具旋转速度	17
2-2-3 粉末颗粒几何特征	18
2-2-4 粉末熔融特性	20
2-2-5 塑料粉末熔融过程的基本假定	21
2-2-6 塑料熔融过程分析	22
2-2-7 粉末的翻滚下落运动	24
2-2-8 计算结果分析	25
2-3 旋转模塑过程熔体的流动	27
2-3-1 塑料熔体的流动特性	27

2-3-2	塑料熔体的速度分布	27
2-3-3	毛细管作用	29
2-3-4	表面浸润	30
2-4	烧结合融	32
2-4-1	烧结模型	32
2-4-2	熔融致密化	33
2-4-3	旋转模塑制品的表面质量	34
2-5	塑料降解	36
2-6	旋转模塑的实验室模拟	37
2-6-1	材料实验	38
2-6-2	旋转模塑实验	39
第三章	旋转模塑设备	42
3-1	引言	42
3-2	摆动旋转模塑设备	43
3-3	蛤壳型旋转模塑机	45
3-4	转台式旋转模塑机	46
3-5	穿梭型旋转模塑机	49
3-6	垂直转台旋转模塑机	50
第四章	旋转模塑制品设计	52
4-1	引言	52
4-2	旋转模塑制品的外载荷	53
4-2-1	土载荷	53
4-2-2	风载荷	54
4-2-3	温度载荷	56
4-3	设计标准	57
4-3-1	极限强度的确定	57
4-3-2	安全系数的确定	59
4-4	圆筒类容器应力和变形计算	60
4-4-1	立式圆筒类容器	61
4-4-2	卧式圆筒类容器应力计算	63

4-5	旋转模塑制品结构设计	64
4-5-1	壁厚	66
4-5-2	双层结构	67
4-5-3	加强筋	67
4-5-4	吻合增强结构	69
4-5-5	脱模斜度	70
4-5-6	表面光洁度和表面装饰纹理	71
4-5-7	利用弹性变形脱模	72
4-5-8	孔洞结构设计	73
4-5-9	圆角曲率半径	74
4-5-10	制品尺寸公差	75
4-5-11	螺纹	77
4-5-12	内埋件	77
4-6	旋转模塑制品基本参数计算	78
4-6-1	制品体积和装料体积	78
4-6-2	制品冷却收缩量计算	79
4-6-3	制品壁厚估算	80
4-6-4	制品变形量估算	80
4-6-5	制品表面积计算	81
4-7	旋转模塑制品强度和刚度的数值分析方法	81
第五章	旋转模塑模具的设计与制造	90
5-1	引言	90
5-2	钢板焊接模	92
5-2-1	模具结构成型方法	92
5-2-2	分型面的制做	93
5-2-3	模具的夹紧	95
5-2-4	嵌件	95
5-2-5	表面处理	99
5-2-6	通风	99
5-3	铝合金铸造模	100

5-3-1	模型制做	100
5-3-2	模具结构设计	100
第六章	旋转模塑工艺过程控制	106
6-1	引言	106
6-2	旋转模塑工艺过程控制原理	106
6-2-1	模具材料的影响	109
6-2-2	制品厚度的影响	109
6-2-3	制品材料的影响	110
6-3	制品性能控制	113
6-3-1	冲击强度	114
6-3-2	熔体流动指数(熔融指数)	115
6-3-3	气泡	115
6-4	工艺控制技术	116
6-4-1	模具平衡技术	116
6-4-2	填料调整技术	118
6-4-3	复层技术	119
6-4-4	液体物料	120
6-4-5	设备的改进	122
第七章	聚乙烯及其复合材料的旋转模塑	124
7-1	聚乙烯的性能	124
7-1-1	机械性能	124
7-1-2	热性能	124
7-1-3	环境影响	125
7-2	聚乙烯粉末	127
7-2-1	聚乙烯粒料的磨碎	127
7-2-2	聚乙烯粉末的几何特性	130
7-2-3	聚乙烯粉末的添加剂	132
7-3	聚乙烯的旋转模塑工艺过程	134
7-3-1	脱模剂	134
7-3-2	温度控制	134

7-3-3	冷却过程	135
7-4	聚乙烯基复合材料的旋转模塑	136
7-4-1	用于聚乙烯的填料	136
7-4-2	聚乙烯的活化处理	137
第八章	尼龙及其复合材料的旋转模塑	139
8-1	尼龙的性能	139
8-1-1	尼龙的机械性能	139
8-1-2	尼龙的吸水性	140
8-1-3	旋转模塑用尼龙的性能	140
8-2	尼龙旋转模塑设备	144
8-2-1	惰性气体输入装置	144
8-2-2	尼龙用旋转模塑模具	146
8-3	尼龙的旋转模塑工艺过程	147
8-3-1	尼龙粉末的干燥处理	147
8-3-2	加热过程	147
8-3-3	冷却过程	148
8-4	多层复合材料制品的旋转模塑	150
8-4-1	多层旋转模塑制品概述	150
8-4-2	两步法多层旋转模塑	150
8-4-3	一步法多层旋转模塑	152
8-4-4	含有尼龙的多层旋转模塑设计	152
	参考文献	153

第一章 旋转模塑概论

1-1 引言

旋转模塑是生产中空塑料制品的工艺方法之一。这种方法早在本世纪 40 年代就出现了,但由于生产效率低,一直限于小批量塑料制品的生产。最早采用旋转模塑工艺加工的塑料是乙烯基塑料溶胶,它以液态注入模具,然后加热固化成型。早期主要用于生产玩具、皮球、瓶和罐等小型制品。1963 年美国 USI 化学工业公司首次推出采用低密度聚乙烯粉末为原材料的旋转模塑工艺,随后尼龙 11 和聚苯乙烯等塑料粉末的旋转模塑也相继进入工业应用。发展至今,聚乙烯、聚苯乙烯、聚酰胺、聚碳酸酯和纤维素塑料粉末都已成功地用于旋转模塑,各种新型的旋转模塑设备陆续开发出来,且工艺控制过程取得了较大的进步,使得这种古老的工艺方法越来越受到工业界的重视。相对于注射和吹塑成型工艺,旋转模塑突出的优点表现在设备和模具投资少,适用于中大型及形状复杂的塑料制品的生产,产品几乎无内应力及不易产生凹陷和变形等。目前,采用旋转模塑生产的塑料制品有城市公用垃圾桶、储水箱、储油桶、游艇、运输箱、沙发底座、医疗设备、娱乐场设备、其它大型容器,车、船及飞机壳体等,品种繁多,应用领域极其广泛。

随着旋转模塑制品尺寸的增大,塑料在强度和刚度等材料性能方面已不能满足制品工作的要求。从 1970 年开始,M. W. Sowa 和 W. K. Neidinger 等人开始研究纤维增强塑料复合材料的旋转模塑。迄今,玻璃纤维增强聚乙烯、玻璃纤维增强聚酰胺及玻璃纤维增强聚酯等复合材料制品的旋转模塑都已用于生产。正像压缩模塑和注射模塑等传统的塑料加工工艺发展成纤维增强塑料制品的制造工艺那样,旋转模塑已成为重要的短纤维增强塑料复合材

料产品的制造工艺之一。

在各种塑料成型工艺中,旋转模塑是一种非常独特的方法,它的加热、成型和冷却过程全部在同一个没有压力作用的模具中进行。它的成型原理非常简单,如图 1-1 所示:首先把定量的塑料粉末或短纤维与塑料粉末的混合料装入铁制或铝制的模具型腔内。把模具闭合,对模具加热,同时使模具绕两个相互垂直的轴线旋转。当金属模具被加热到一定的温度时,模内的塑料熔融并根据模具型腔的形状形成涂层。待所有塑料熔融后,模具开始被冷却并继续旋转,直到塑料完全硬化。打开模具,取出制品;然后装料,进入下一个循环。

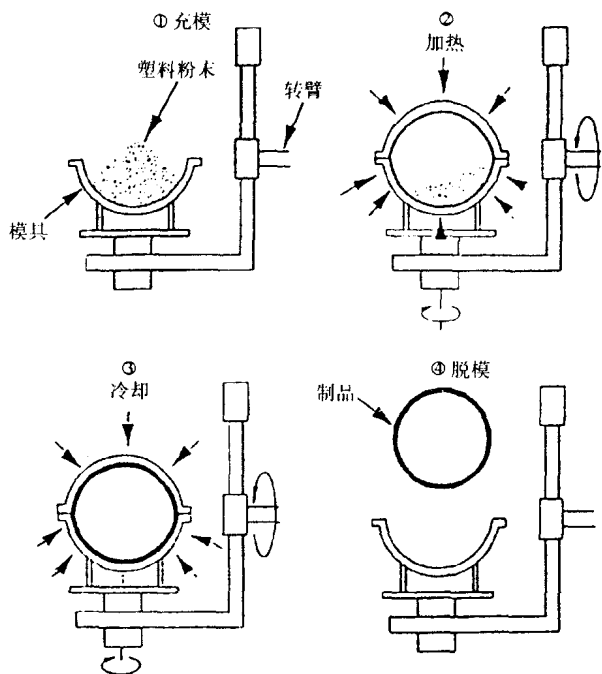


图 1-1 旋转模塑原理

1-1-1 旋转模塑工艺的优点

和其他的塑料加工工艺相比,旋转模塑具有如下优点:

1. 由于旋转模塑的模具不承受高压,不需要很高的强度和刚度,因此其结构很简单,成本比较低。通常模具制造周期在2~4周以内。

2. 不同大小的模具可以一起装在同一旋转模塑机上工作,提高生产效率。

3. 很多注射和吹塑成型工艺难以实现的形状复杂的制品,像底部内凹的薄壁件、双层的薄壁件、特殊形状外凸内凹结构的部件等都可以很方便地采用旋转模塑工艺制成。特别是一些超大型的复杂结构件,其他任何塑料加工工艺都无法实施,可以以较低的模具成本由旋转模塑工艺制造。

4. 由于工艺原理上的特点,吹塑和热成型(吸塑)制品的壁厚的均匀性很难控制,而对于旋转模塑制品,壁厚的均匀性及厚度易于控制。

5. 旋转模塑制品基本上无内应力,不易发生变形。

旋转模塑最突出的优点是对其制品在形状和尺寸方面的广泛的适应性。从最小的注射器到10万升储量的超大型水罐或油罐,从最简单的球形沙滩浮子到异常复杂形状的各类艺术品,都可以采用旋转模塑工艺。各种镶嵌物可以很容易地置入,各种表面花纹如木纹、皮革的纹理都可以很容易地形成。旋转模塑是一种生产周期短、见效快、实用而经济的塑料和复合材料制品的加工工艺。

1-1-2 旋转模塑工艺的缺点

旋转模塑工艺由于其自身的特点而存在如下缺点:

1. 由于绝大多数的塑料原材料是以粒料的形式供给的,而粒料不适用于旋转模塑,因此必须把它们进一步磨碎成粉末状,这将增加旋转模塑原材料的成本。通常粉料的粒度对旋转模塑制品的质量有重要的影响。在很多情况下,自己拥有磨碎工序的配套设备

将有利于控制粉料的粒度,同时还可以在在一定程度上降低原材料的成本。

2. 相对于注射和吹塑成型工艺,旋转模塑的生产效率比较低,因而不适用于小型制品的大批量生产。这是因为每一个生产周期都必须把模具和其中的塑料粉末由室温加热到塑料的熔融温度,然后再冷却到室温,从而导致生产周期的延长。多工位旋转模塑机的出现,以及采用大小不同的多模具同机旋转的方法在一定程度上可以改善这一缺点的影响。

3. 尽管经过了许多年的研究开发工作,目前适合于旋转模塑的塑料及其复合材料的种类仍然是有限的。

4. 由于模具结构简单,难以实现脱模和装料的自动化,这两个工序的人工操作难以避免。对于形状较复杂的制品,脱模工序要占用较长的时间。

5. 旋转模塑工艺难以形成用以增加制品结构强度和刚度的实体的凸台和加强筋结构。设计者必须巧妙地设计旋转模塑制品的结构,从而满足制品对强度和刚度的要求,或者必须采用短纤维或颗粒状填料加入塑料粉末中,以成型强度和刚度较高的复合材料制品。

1-2 旋转模塑用原材料

可以用作旋转模塑原材料的塑料必须具备以下几个基本特征:

1. 塑料粉末在模具旋转时应能易于借自身重力作用向下翻滚流动,并布满模具型腔表面。

2. 塑料的熔融物易于流入模具的局部复杂形状区域,并形成均匀的壁厚。

3. 塑料必须具有一定的热稳定性以承受一定时间的高温作用。

4. 当用旋转模塑工艺制造短纤维复合材料制品时,所选用的

塑料应能在无压力作用的条件下浸润纤维。尽管在某种程度上很多塑料都具备上述特征,但从经济实用的角度考虑,目前尚只有有限的几类塑料适用于旋转模塑。

1-2-1 聚烯烃塑料

聚烯烃塑料包括含有 C_2, C_3, C_4, C_5 不饱和烯烃的聚合物及其共聚物等。主要品种有聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯,以及苯乙烯的共聚物 ABS、聚丁烯、聚 4-甲基戊烯-1、离子聚合物、异质同晶聚合物等。其中用量最大的当数聚乙烯。

聚乙烯塑料是白色蜡状半透明材料,柔而韧,比水轻,无毒。聚乙烯根据密度大小的不同分为高密度聚乙烯、中密度聚乙烯和低密度聚乙烯三类,其密度范围分别为 $940 \sim 965 \text{kg/m}^3$, $930 \sim 939 \text{kg/m}^3$ 和 $915 \sim 929 \text{kg/m}^3$,其结晶度分别为 $75\% \sim 90\%$, $65\% \sim 75\%$ 和 $45\% \sim 65\%$ 。随着密度的增加,聚乙烯塑料的刚度、抗拉强度、硬度、耐化学腐蚀性能、耐磨性能、耐渗透性及长期负荷能力都随之提高,但另外一些性能如耐冲击性能、透明度及耐环境应力开裂性能等却会随之降低。高密度聚乙烯的收缩率可高达 5% ,而低密度聚乙烯的收缩率较低,在 $2\% \sim 3\%$ 范围内。聚乙烯熔融时易于流动,这使得它非常适合于旋转模塑工艺。

交联聚乙烯是通过化学或辐射的方法在聚乙烯分子链间相互交联,先是形成凝胶态,进而成为三向结构的热塑性塑料。不论是高密度聚乙烯还是低密度聚乙烯,都可以交联。交联后可以提高聚乙烯的拉伸强度、热强度、抗老化性能、尺寸稳定性。由此交联聚乙烯用于旋转模塑越来越普遍。

1-2-2 乙烯基塑料

自从 19 世纪 40 年代旋转模塑工艺问世以后,约有 20 年之久,乙烯基塑料熔胶一直是唯一的一种适用于该工艺的材料。即使发展到今天,乙烯基塑料仍然是旋转模塑最重要的原材料之一。乙烯基塑料中,应用最广泛的是聚氯乙烯(PVC)。

聚氯乙烯是一种多组分塑料,根据不同的用途可以加入不同的添加剂,因此随其成分不同,聚氯乙烯制品有不同的性能。总起来说聚氯乙烯具有耐化学腐蚀性、耐磨、耐焰自熄、消声消震、电绝缘性较好、强度较高及成本低廉等特点。其主要缺点是热稳定性差、对应变敏感、易发生塑性变形及软质制品的增塑剂易外迁等等。聚氯乙烯是一种无定形高聚物,没有明显的熔点,加热到 120~150℃时具有可塑性。

1-2-3 反应树脂

某些反应树脂可用于旋转模塑,例如聚酯、硅橡胶、MC 尼龙、聚氨酯和发泡塑料等。上述树脂在性能方面有很大的差异,但在旋转模塑工艺上有一个共同的特点:原材料是以低粘度的液态倒入模具中,从液态树脂向固态制品的转化是依靠树脂的化学反应而不是单纯的加热和冷却。对于聚酯等热固性树脂,模具只需绕两相互垂直的轴转动,无须对其加热。对于 MC 尼龙,模具则需加热到一定的温度并保持恒温以提供化学反应的条件。

由于反应树脂粘度很低,渗透性较强,一种把纤维预制体事先放入模具而后倒入树脂进行旋转模塑的复合材料制品成型工艺受到很多研究者的重视。

1-2-4 其他塑料

除了上述几类塑料之外,尚有许多其他种类的塑料,如热塑性聚酯、聚碳酸酯、尼龙 6、尼龙 11、尼龙 12、聚偏二氯乙烯和某些氟塑料等都可用于旋转模塑。其中热塑性聚酯,由于有较好的韧性和隔水性能,因此主要用于生产储水罐类制品;聚碳酸酯由于具有较高的刚度、韧性和抗蠕变性能,主要用于制造发动机盖和硬型储存箱等制品;尼龙类塑料由于具有较好的强度、刚度、韧性和耐化学腐蚀性,主要用于制造油箱类制品。为了防止氧化,尼龙类塑料在旋转模塑的加热过程中需要通入惰性保护气体。

1-3 旋转模塑设备

对旋转模塑设备的基本要求是能使模具绕两个相互垂直的轴旋转,同时能被加热和冷却。根据传动系统的不同设计及加热和冷却方法的不同,旋转模塑机有不同的形式。

最早的旋转模塑机被称为“摇滚机”,因为模具绕一个转轴旋转,而这个转轴又支承在一个前后摆动着的支架上。摇滚机的摆动角可以根据制品的形状进行调整。通常采用多个液化气喷头喷射火焰的方法直接加热模具,采用喷水或吹风的方法冷却模具。摇滚机不适用于某些形状比较复杂,需要模具绕两个轴线作 360° 旋转的制品的加工。

图 1-2 所示的两种传动机构可以实现使模具同时绕两个相互垂直的轴线作 360° 旋转。其中(a)所示的机构称为直臂旋转,(b)所示的机构称为曲臂旋转。为了把模具加热,上述旋转机构需要置于一个加热炉中。通常采用燃油或电作为加热炉的热源。燃油加热污染较大并需要定期维护,但效率高且操作方便。电加热比较干净,但效率较低。为了把模具冷却,需要把旋转着的模具从加热炉

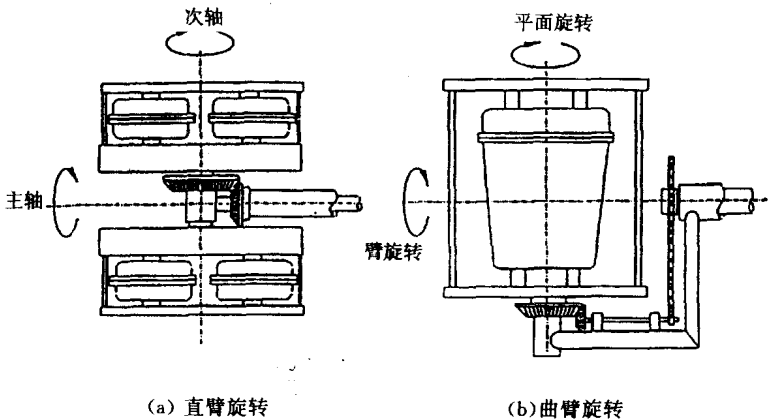


图 1-2 两种旋转模塑机

中移出以便喷水或吹风使其降温。一种方法是把模具旋转轴固定在一个可移动的小车上(图 1-3), 小车把模具从加热炉运送到冷却室。这种旋转模塑机称为穿梭型。另外一种方法是把模具旋转轴固定在一个可转动的转臂上(图 1-4), 转臂旋转时就把模具由加热炉送到冷却室。待冷却完毕, 转臂继续旋转, 把模具送到第三个工位以使卸下制品并重新装料。这种旋转模塑机称为固定转臂型。为了提高生产效率, 可设置多个转臂, 加热、冷却和加料工序同

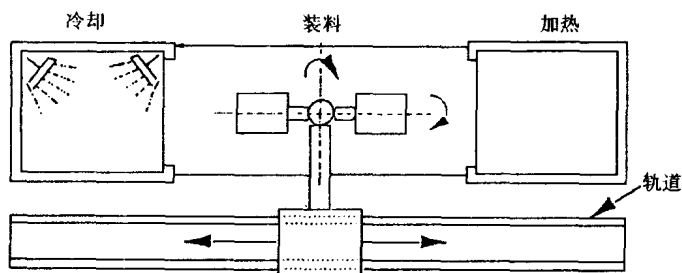


图 1-3 穿梭车

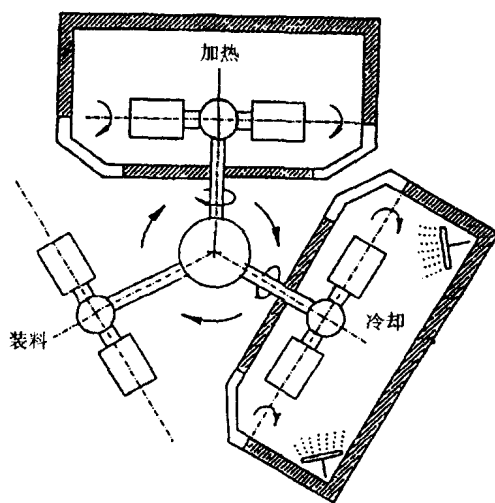


图 1-4 固定转臂