

多层共挤出复合膜简析

——升辉新材料股份有限公司

一、概述

共挤出复合是指采用多层共挤工艺生产聚合物薄膜，具有优异的阻隔性能、机械性能、成型性能，热封性能，其加工过程中不需要另外进行胶水复合工艺，不涉及油墨、粘合剂、助剂等溶剂的残留问题，因此共挤出复合工艺的应用范围越来越广泛。多层共挤是一种绿色生产工艺，尤其是对于目前食品包装行业，所有的原料一般采用经过美国食品和卫生机构认证，原料由专门的输料管道集中进行供料，无原料暴露现象，且无环境污染。其粘结层采用食品级原料，对环境、食品和人体无毒害，无传统复合工艺涉及的溶剂残留现象。

1.1 定义

共挤出复合是采用 3 台或 3 台以上的单螺杆挤出机，将不同功能的树脂原料如聚乙烯（PE）、聚丙烯（PP）、尼龙（PA）、乙烯-乙烯醇共聚物（EVOH）等，分别熔融挤出，通过各自的流道在多层模头中汇合，再经过吹胀成型，冷却后粘合在一起制得多层共挤出复合薄膜。多层共挤常见的加工方式分为上吹风冷吹膜、下吹水冷吹膜和流延法三种。

任何一种塑料原材料都不能同时兼具各种性能特点，而多层共挤膜将各种不同的树脂组合在一起，将不同树脂的优点进行集合与设计，从而可以制出性能全面，可满足不同包装要求的薄膜，这是共挤出复合薄膜最主要的特点之一。多层共挤出薄膜是 20 世纪 60 年代开发出的塑料加工技术，我国在 80 年代中期开始引进德国、加拿大的多层共挤膜技术，目前我国的技术已经取得了飞速发展，国内拥有德国 W&H，莱芬豪舍，加拿大宾顿，意大利 GAP 等进口生产线数百台，国内的金明精机、武汉轻机等也占有较高的市场份额。

1.2 特点

共挤出复合加工工艺具有以下特点：

（1）共挤出复合薄膜的结构由于可根据需要，将不同性能的材料进行组合，使其同时具有多种功能。例如，对于热封和包装机械来说，需要薄膜具有良好的机械加工性能，可在

多层结构中采用 MDPE 或 HDPE，可提高薄膜的强度和坚挺度，确保其有良好的机械加工性能，在内层采用热封性能更好的 PE，使目标薄膜产品同时具有好的热封性能和机械性能，更好满足包装要求，还可采用 PA 和 EVOH 作为阻隔层，生产高阻隔和中阻隔性能的薄膜，有效延长包装物的保质期。

(2) 降低成本：多层共挤技术为多层共挤一次性成型工艺，无需传统的复合、涂覆等后加工工艺，可有效降低原料费用和生产费用。还可在满足客户要求的前提下，将所需的树脂原料减至最小厚度，单层厚度最薄可达 2-3 μm ，可达到减量化目的和降低材料成本。

(3) 可通过结构设计多种结构组合的薄膜，适应不同的包装需求。通过结构设计，将多种材料进行不同组合的搭配，充分发挥不同原料的性能，根据客户需要进行设计，有效的满足不同包装用途的需要，层数越多、结构的可设计性越灵活。比如通过阻隔性设计，可生产高阻隔性、中阻隔性、无阻隔性等不同系列的产品，且可通过结构设计，在多层共挤结构中加入色母粒，实现共挤薄膜颜色的变化，生产颜色各异的薄膜。

(4) 使用范围广。共挤出复合薄膜材料适合于所有的包装领域：食品、日化、饮料、医药、电子产品、保护膜等。随着多层共挤技术的发展，使用范围也将会越来越广泛。

1.3 结构

共挤出复合薄膜的结构上可分两大类：对称结构（即 A/B/A 或 A/B/C/B/A）和非对称结构（即 A/B/C 类）。大部分以 3-11 层居多，以 5 层共挤膜为例介绍其结构，典型的 5 层共挤膜结构如图 1 所示：



图 1 典型的 5 层共挤膜结构图

据图可知，多层复合膜的对称结构层由三种类型的功能层组成：阻隔层、粘结层以及支撑层。

阻隔层：阻隔层起阻氧阻水或阻油防渗透等作用，通过阻隔层厚度的控制，保证薄膜材料的阻隔性能，适用不同的包装需要。阻隔材料常使用 EVOH、PVDC、PA 等。各种阻

隔材料可以单独使用，形成高阻隔、中阻隔系列包装薄膜，而 PA 和 EVOH 还可以组合使用，发挥两种材料的优势。

支撑层：一般对称结构材料有两个支撑层，内层用于热封，称热封层，外层直接作为包装薄膜的外层或者用于印刷称印刷层。支撑层要求有良好的机械强度、热封性、水汽阻隔性、透明性和印刷性，这层一般选用 LDPE 或 LDPE/LLDPE 共混材料较多。支撑层一般选用不同类型的聚烯烃的组合，主要根据包装物对于包装薄膜的不同需求。

粘结层：粘结层的作用是粘合阻隔层和支撑层，以保证层间剥离力，粘合层材料及厚度的选择一般根据支撑层合阻隔层的材料以及需要达到的粘合强度。

常见的结构还有 7 层、9 层、11 层等。以 PE 代表支撑层材料，PA 代表阻隔层材料，进行多层共挤膜的结构说明。

对称结构的主要代表结构有：

PE/Tie/PA/Tie/PE 5 层及以上机器才可生产

PE/Tie/EVOH/Tie/PE 5 层及以上机器才可生产

PE/Tie/PA/EVOH/PA/Tie/PE 7 层及以上机器才可生产

对称结构的主要代表结构有：

PA/Tie/PE/Tie/PA/Tie/PE 7 层及以上机器才可生产

PA/Tie/PP/Tie/PA/Tie/PP 7 层及以上机器才可生产

PA/Tie/PE/Tie /PA/EVOH/PA/Tie/PE 9 层及以上机器才可生产

PA/Tie/PP/Tie /PA/EVOH/PA/Tie/PP 9 层及以上机器才可生产

从中也可以看出，9 层及以上的吹膜共挤结构具备很大的灵活性。比如用 9 层机来生产非对称的 PA/PE 膜，由于比 7 层机可以多用 2 层挤出 PE，因此可以通过添加不同的添加剂或者色母，实现功能或者色彩的多样性。不过由于层数越多，工艺加工难度越大，所以多层共挤一般都是 5~11 层。

二、分类，加工设备与工艺

共挤出复合薄膜主要采用吹塑成型工艺，而共挤出复合薄膜的吹膜设备的制造技术被国外几家大公司掌握，如 Battentfeld Gloucester、Davis-standard、Reifenhauser、W&H、BE 等。国内设备厂家主要有金明精机，捷乐，武汉轻机等。

2.1 共挤出复合膜分类

按照不同的冷却工艺，多层共挤膜的生产方式可以分为上吹，下吹，流延三种生产方式。

上吹工艺采用空气作为冷却介质，整体的冷却速率相对较低。由于高分子材料在缓慢冷却过程中结晶比较完善，因此上吹工艺生产的材料，由于结晶的球晶尺寸较大，易与光发生漫反射与散射，所以整体材料的雾度较高，表现为透明度比较差(相较于流延与下吹工艺)。上吹共挤膜最常用的包装领域为真空袋/膜。



图2 上吹法生产多层共挤设备

下吹工艺采用经过过滤、灭菌的冷却水作为冷却介质，由于水具有远高于空气的比热容，下吹法生产的薄膜在冷却效率上远超上吹法，冷却速率快导致结晶率低、晶粒的尺寸较小，对光的传导影响效果小，因此下吹法生产的薄膜具有非常优异的透明度。下吹共挤膜最常用的包装领域为热成型材料。



图3 下吹法生产多层共挤设备

流延法生产共挤膜，其工艺与下吹法一样均为骤冷的冷却方式。生产的材料也都是高透明，最常用于热成型包装的拉伸膜材料。



图 4 流延法生产多层共挤设备

以下列举了流延法与下吹法的一些不同点：

与下吹法有所区别的是：第一，流延法的模具为长条形的模具，而上吹与下吹均为环形的模具；第二，是流延法使用经冷却水冷却的钢辊来进行冷却，而下吹法为冷却水直接接触冷却；第三，流延法使用的树脂材料与吹膜法有所差异，原则上上吹法与下吹法的材料可以通用，而流延法需要使用流动性更好的树脂材料；第四，流延法与下吹法相比，两者的工艺也有所不同，例如流延工艺的加工温度较吹膜工艺更高、取向的一些差异等。虽然流延法与下吹法有诸多差异，但同结构流延法生产的材料与下吹法相比，在使用上基本不存在明显的差异，下吹的工艺难度要大于流延法。

2.2 共挤出复合膜生产核心设备

多层共挤吹膜设备的主要核心设备部件为：螺杆、多层共挤的模头。

螺杆：螺杆是多层共挤吹膜设备的塑化部件，主要影响设备的产量和薄膜的外观质量。

示意图如图 5 所示：

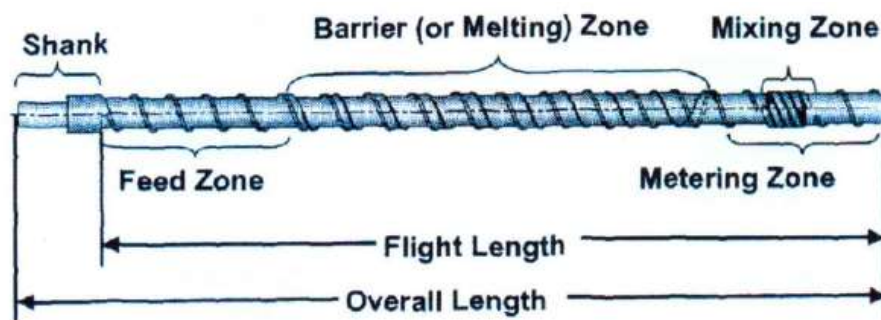


图 5 分离型螺杆示意图

多层共挤模头：多层模头是多层薄膜的成型部件，是多层共挤吹膜设备的最重要组成

部分。现主要采用的挤出机头有两种，为管套式圆柱体多层共挤出机头和叠加型共挤出机头。

(1) 管套式圆柱体多层共挤出机头

管套式共挤复合机头是每层流道同芯装在一起，即每层流道是并联的，管套式复合机头的主要特点是结构紧凑，流道长度小，熔体停留时间短。缺点是各层温度难以单独控制，每层流道的流量、压力、速度的平衡性设计较困难。管套式共挤复合机头示意图如图 6 所示：

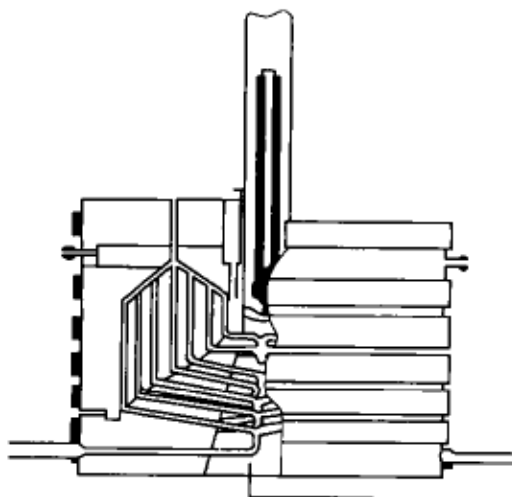
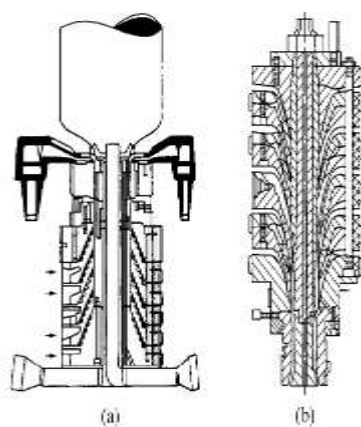


图 6 套管式圆柱体机头示意图

(2) 叠加型共挤出机头

叠加型共挤出机头一般采用侧进料，熔体以中心轴对称，在每层的叠加面(平面和锥面)流动，而不是传统的筒状流动。叠加型机头的最大优点是机头层数可以任意组合，而且每层温度可以单独控制，这样可以根据不同的需要分别控制每层的温度，而且物料的停留时间较常规的机头要短而且均匀，所以可以有效防止物料降解。叠加型共挤出机头示意图如图 7 所示：



(a) 上斜叠加型机头 (b) 下斜叠加型机头



图 7 叠加吹膜模头

2.3 共挤出复合膜加工工艺

共挤出复合薄膜的加工工艺流程简图如图 8 所示：

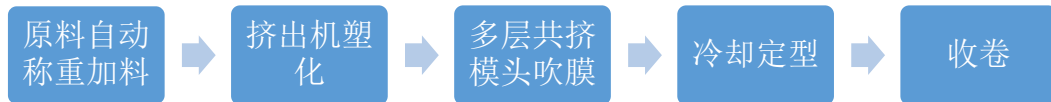


图 8 共挤出复合薄膜的加工工艺流程简图

原料自动称重加料系统：按照配方的比例，原料自动称重加料，提高生产效率。

挤出机塑化：粒料经料斗进入挤出机内，树脂熔化而呈熔融滚流动状态，在螺杆的推动作用下，塑料熔体以旋转流动方式通过滤网，并滤去未塑化的物粒和不熔的杂质，变熔体旋转为平直流动。

多层共挤模头吹膜：不同原料的熔体通过各自的流道，以相同的速率，不同的排列顺序，平衡地导入模头复合成型，经过可以调节的模唇流出。

冷却定型：由模唇流出的薄膜至冷却辊或风环冷却定型或水环冷却，再经过牵引系统以一定的速度引出。共挤出复合薄膜生产中，冷却对产量及产品质量影响很大。冷却不均匀，会影响薄膜的厚度、透明度、表面光泽等。共挤膜在冷却成型后，自动测厚系统对其进行厚度测定，将信息反馈给执行机构，调整挤出机螺杆转速及牵引速度，以控制成膜的质量。

收卷：收卷之后包装入库，即为多层共挤薄膜产品。

2.4 共挤出复合膜的原料介绍

用于生产共挤出复合薄膜的多层共挤材料，按照功能性的分类的类别：

1、聚烯烃类（PO）

按大类分一般可以分为聚乙烯 PE 和聚丙烯 PP。

聚烯烃类的材料在多层共挤膜中一般起到以下作用：

1.1 由于聚烯烃易于热封焊接，绝大多数的多层共挤膜使用聚烯烃作为热封层。一般相对低温的应用（如冷冻、水煮等）使用聚乙烯作为热封层，而相对高温的应用（如微波、高温蒸煮等）使用聚丙烯作为热封层。

1.2 由于聚烯烃的疏水特性，在多层共挤膜中聚烯烃起到对水汽的阻隔作用。

1.3 由于聚烯烃相对成本较低，在多层共挤膜中可以用于除功能层、结构层、粘结层之外的填充层。

2、聚酰胺(PA)

聚酰胺又名尼龙，具有优异的韧性与强度，在多层共挤膜中一般作为结构层使用。同时聚酰胺本身对氧气具有中等的阻隔能力，在一些使用条件不是非常严苛的应用中也可直接作为阻隔层来使用。

聚酰胺是亲水的材料，在吸水后（例如水浴、蒸汽灭菌）材料性质会有很明显的改变，这一点在使用时必须注意，以避免引起不必要的损失。

3、乙烯-乙醇共聚物(EVOH)

EVOH 是非常优异的氧气阻隔性材料，在通常的使用条件下具有塑料中最优异的氧气阻隔性。EVOH 是一种共聚物，按照共聚物中乙烯的含量一般分为 29mol% 的 EVOH, 32mol% 的 EVOH, 38mol% 的 EVOH 与 44mol% 的 EVOH。乙烯的含量越低，EVOH 的氧气阻隔能力越强，同时也越难以加工。在肉制品包装中使用最大量的 EVOH 是 38mol% 的 EVOH。

| Sample | OTR | |
|------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | cc·20 μ / cm ² ·day·atm | cc·mil/100in ² ·day·atm |
| Soarnol D,DT(29mol%) | 0.23 | 0.012 |
| Soarnol DC(32mol%) | 0.30 | 0.015 |
| Soarnol E,ET(38mol%) | 0.53 | 0.027 |
| Soarnol A,AT(44mol%) | 1.20 | 0.061 |
| LDPE | 7,900 | 400 |
| HDPE | 3,600 | 182 |
| Polypropylene(PP) | 3,900 | 197 |
| Biaxially Oriented PP | 2,300 | 116 |
| Biaxially Oriented PS | 3,900 | 197 |
| Polycarbonate(PC) | 4,500 | 228 |
| PVC :Rigid | 130 | 6.6 |
| PVC :DOP=30% | 2,000 | 100 |
| Extrudable high barrier PVDC | 3.0 | 0.15 |
| PET | 69 | 3.5 |
| Polyamide(Nylon6) | 76 | 3.8 |
| Biaxially Oriented Nylon | 23 | 1.2 |
| Modified Polyacrylonitrile | 16 | 0.81 |
| Biaxially Oriented PVA | <0.10 | <0.005 |

图9 各种材料的 OTR 对比（相对湿度为 0）

EVOH 与 PA 一样，也是一种非常容易吸湿的材料。EVOH 在吸湿后的 OTR 会有很明显的上升。这种上升如果是由于水煮或蒸煮灭菌所导致的，那么一般会在数天时间内恢复，

如果长期使用在高温高湿的环境下，那么 EVOH 的阻隔性会打折扣。

一般行业内以 $10 \text{ cc/m}^2 \cdot \text{day} \cdot \text{bar}$ 作为高阻隔与中阻隔的分界线，常规属于高阻隔的材料是 EVOH 与 PVdC，PA 属于中阻隔材料。

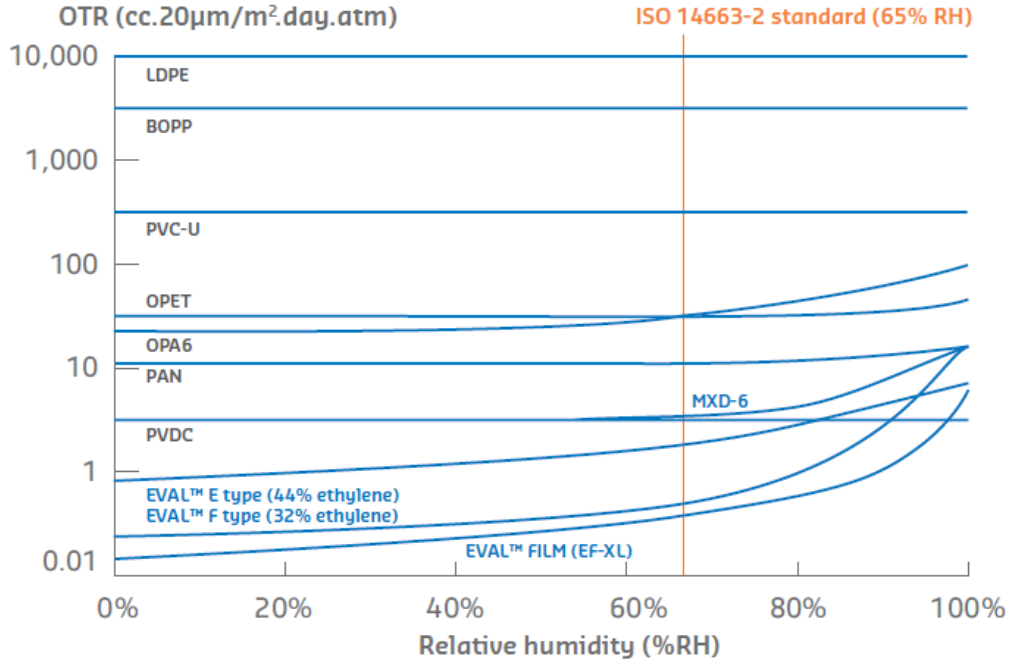


图 10 常见材料的 OTR 随湿度的变化

4、聚偏二氯乙烯 (PVdC)

PVdC 也是一种很好地氧气阻隔材料，虽然在通常情况下它的氧气的阻隔能力不如 EVOH。但 PVdC 对氧气的阻隔性比较稳定，几乎不随湿度的变化而变化。

PVdC 在肉制品的包装中一半用于火腿肠外包装，收缩包装的阻隔层等。

5、粘合树脂 (Tie)

聚烯烃材料是非极性（油性）的，而功能性材料如 PA 或 EVOH 都是极性（水性）的，极性与非极性的材料一般的相容性都不太好（油水不溶），所以如果直接将这些材料进行共挤，那么会有很严重的分层问题。

因此在进行多层共挤生产时，需要在层间加入粘合层来起到层间粘结的作用。粘合层的材料按照 PE 粘结 PA 或 EVOH 以及 PP 粘结 PA 或 EVOH 的区别，一般大致可以分为 PE 基的粘合树脂与 PP 基的粘合树脂。无论是哪种粘合树脂，均为在载体树脂上做一些增加酸酐类结构的接枝改性，在多层共挤加工时，这些接枝改性的部分与相邻层进行反应，形成稳定、牢固的界面。

6、加工助剂

在多层共挤加工中，还需要一些加工助剂来使得整个加工过程更顺畅，或起到其他一些功能性的作用。加工助剂根据需要可以在加工时进行添加，也有很多牌号的原料树脂本身就带有相当的加工助剂。

最广泛应用的加工助剂是爽滑剂与开口剂。

爽滑剂一般用于改善薄膜的摩擦阻力。根据不同的包装形式，对材料本身或材料与设备之间的摩擦阻力有不同的要求，比如高速的垂直灌注在线包装设备中，一般需要材料的摩擦系数要低一些，而在拉伸膜应用中，摩擦系数就不需要这么低了。共挤加工中的爽滑剂最常用的是芥酸酰胺，油酸酰胺，硬脂酰胺等酰胺类物质。

开口剂又称为防粘剂，最大的作用是防止膜/袋粘结，最常用的开口剂一般为二氧化硅类物质。

除此之外，一些功能性的添加剂如防雾剂、抗静电剂、抗 UV 剂、抗氧剂以及一些颜色的色母粒也会根据需要而经常使用。