

内镶式滴灌带配方优化研究 及防老化母料的研究

新疆大学化学与化工学院

2014年1月11日

第一部分 文献综述

缺水是我国农业和国民经济发展的瓶颈,传统的灌溉方式使灌区的地下水位日益升高,以次生盐碱化为主的中低产田面积日益扩大,土壤有机质和肥力降低。为增加土地产出,不得不大量使用化肥和农药,恶化了土壤结构,使得农业投入产出比日渐下降,效益越来越差,农业的发展一直处在恶性循环之中。节水灌溉是当代兴起的农业高效用水的一项新理论、新技术,对世界范围内的农业现代化起到了有力的推动作用。我国水资源短缺,特别是我国西北干旱半干旱地区严重缺水,农业用水更加不足,农业缺水问题在很大程度上要靠节水解决。目前我国灌溉水的有效利用率只有 30~40%左右,而以色列等发达国家灌溉水利用率达到 70~80%,如果将农业灌溉水利用率提高 10 个百分点,那就意味着每年可节水 419 亿 m^3 ,相当于南水北调东线、中线调水量的总和。所以从可持续发展的角度出发,利用先进的科学技术手段,发展节水灌溉是解决我国水资源紧缺的必由之路,世界农业灌溉发展状况表明,滴灌技术是节水灌溉中最行之有效的节水新技术。

节水灌溉就是要改变千百年来人们浇地的传统习惯,按照作物的最佳需水量进行灌溉,用少量的水取得较高的经济效益,是使传统农业向高产、优质、高效的现代农业转变的必要措施。旱田节水灌溉不仅节约水源,而且带来的相关效益也比较显著。主要表现为:水分的生产率提高、单产产量提高、作物品质提高、病虫害减少、施肥量节省、电力能源节省、生产用工大量节省、耕地节省及环境效益提升。由此可见农业旱田节水灌溉潜力很大,大力普及旱田节水灌溉技术,提高灌溉水利用率是解决农业用水危机的最有效途径。现在我国采用过的和正在研究或推广使用的旱田节水灌溉技术有数十种之多。各种技术都各有利弊,各有不同的适用条件。只不过有些技术成熟一些,有些技术还有待进一步研究,有些技术优点更多些,适用范围更广些。

节水灌溉中滴灌占据了很重要的一部分,现在生产和销售滴灌带的企业多,生产的产品种类繁多,但每年在大田中的运用会出现各种各样的问题,给农业经济带来了很大的影响,怎样合理的设计和生滴灌带成了我们需要面对的问题。

1.1 国外节水灌溉发展历程

滴灌技术最初源于人们对有孔管道灌溉的设想与研究,最早出现于 19 世纪 40 年代的英国,此后德国人维斯本(Wiesben)于 1860 年首次利用排水瓦管进行滴水灌溉试验;洛贝纳(Loebener)于 1866 年做过用多孔排水管进行灌溉的试验美国加利福尼亚州的 CharlesLee 在 1920 年申请了一个多孔瓦管灌溉的专利,其特点是灌溉水只润湿瓦管周围的部分土壤,可视为滴灌的原始模型。1920 年德国首次采用穿孔管灌溉,水流可从沿程孔眼中流出,这就是孔口式滴头的雏形;1934

年 Robey 在其研究中利用帆布管渗水灌溉，成为滴灌的另一种形式，二战后塑料工业的发展为滴灌技术应用带来新的机遇，塑料材料的问世使这种新型的灌溉技术设备得到飞速发展 并得以广泛推广。

世界上滴灌最有代表性的国家首推以色列，其温室种植全部采用微灌，以滴灌为主。以色列拥有 NetafimPlastro 等多家世界著名灌溉公司美国是目前世界上微灌面积推广最多的国家占世界总微灌面积的 27.9%发展十分迅速此外印度微灌面积占世界总微灌面积的 8%。南非从 1986 年到 2000 年间微灌面积增加 114%。日本、泰国、台湾在近 9 年间，微灌面积都增加了近一倍左右。

1.2 我国节水灌溉发展的历程

我国发展节水灌溉技术的历史几乎与我国农业灌溉的历史一样长，因为只要灌溉就应当考虑节水。秦汉以前的期思娄灌区以及芍坡灌区工程的修建及运用标志着我国摆脱靠天祈雨的灌溉方式。早期的郑国渠、径惠渠、渭惠渠和洛惠渠等老灌区就在优化地面灌溉技术要素方面做了许多有益的探索，取得了一些宝贵的经验。20 世纪 60-70 年代，江浙一带就开始推广三合土和混凝土地下渠道。但是发展缓慢，1974 年才开始引进国外微灌技术并进行研制开发与应用，对新的灌溉技术应用才有了较大的发展，喷、滴灌等技术应用才有了一定的规模，由于科技含量高，制造成本高，仍未能大面积推广，到年我国微灌面积仅有 73 万亩。80 年代以后，又创造性地研究和推广应用了低压输入水管道灌溉技术和地膜覆盖灌溉技术等，由于现代先进节水灌溉技术具有明显的节水、增产和低能耗等特点，进一步普及推广应用的潜力很大。2000 年底节水灌溉面积已达 2.46 亿亩，约占全国有效灌溉面积的 30%，其中管道输出灌溉面积为 5352 万亩，喷、滴、微灌面积为 3426 万亩，渠道防渗控制面积 9542 万亩和其他 6263 万亩。但就总体而言，节水器材的生产和发展还是不能满足节水灌溉发展的需要，到目前为止，生产厂家有 40 多家，我国已出现一批年产在 3000 吨以上微灌产品的企业，以满足每年 30 万公顷微灌面积的需求。

1.3 滴灌技术的基本介绍

滴灌带通过对水分的需求，通过低压管道系统、机泵或高差对水加压，经过压力输水系统，输送到安装到田间的末端管道上的末端节水器，由滴头将作物生长所需的水分和养料以较小的流量均匀缓慢，而又准确的直接输送到作物的根部附近的土壤中，使作物根系活动的地区经常保持在最佳的水、肥、气含量状态，是一种局部灌溉的方式。滴灌集灌溉、施肥于一体，能适时、适量地向作物提供水、施肥、为作物生长提供适宜的水土环境，具有节水、节能、省肥和抑制杂草生长的优点，为实现精细耕作和农业的高产、优质、高效提供了条件。因此，发展灌溉技术的意义不仅在于节水，更重要的是促进我国精确农业的发展。

它是目前干旱缺水地区最有效的一种节水灌溉方式，其水的利用率可

达 95%。滴灌较喷灌具有更高的节水增产效果，同时可以结合施肥，提高肥效一倍以上。可适用于果树、蔬菜、经济作物以及温室大棚灌溉，在干旱缺水的地方也可用于大田作物灌溉。

1.4 滴灌带的分类

滴灌带是滴头与毛管制成一体，兼有配水和滴水功能，按其构造可以分为片式、内镶式滴灌带、薄壁单一迷宫式滴灌带等。

1) 薄壁单一迷宫式滴灌带

如图 1 所示滴灌带是一种厚 0.11~0.6 mm 的薄壁塑料带，充水时胀满管形，泄水时为带状，运输、储藏都十分方便。单侧压边迷宫式滴灌带，具有紊流流态，压力补偿特性，迷宫流道及滴孔一次真空整体热压成型，制造精度高、多个进口，能有效地防止堵塞，出水量一致，可使用于温室、大棚、大田，沿作物植行铺设，平地最大铺设长度 194 m。

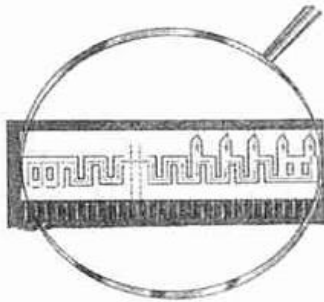


图 1-1 薄壁单一迷宫式滴灌带结构



图 1-2 内镶式滴灌带滴头

2) 薄壁内镶式滴灌带

如图 1-2 内镶式滴灌带也称内镶贴片式滴灌带，是每隔一定距离在塑料管内镶上一有弯弯小流道贴片，水由流道口流到土壤进行农作物的灌溉。滴头有自过滤窗，抗堵塞性能好。采用迷宫式流道，具有一定的压力补偿作用，滴头间距可根据用户要求而定。广泛应用于温室大棚，大田经济作物的灌溉。工作压力一般为 0.02~0.25MPa。

1.5 内镶式滴灌带配方的设计原理

滴灌的生产配方，通过加入高密度聚乙烯，低密度聚乙烯，线性低密度聚乙烯，抗老化剂，炭黑等原料，通过一定的配比，使滴灌带在达到国标的要求内，具有一定强度和韧性，在大田的使用过程中有良好的抗压能力和抗老化能力，各种原料在其中占的比例不同，所起到的作用也各不相同，以下就是各种原料在配方中的作用：

高密度聚乙烯为无毒、无味、无臭的白色颗粒，熔点约为 130℃，相对密度为 0.941~0.960。它具有良好的耐热性和耐寒性，化学稳定性好，还具有较高的刚性和韧性，机械强度好。介电性能，耐环境应力开裂性亦较好。

熔化温度 220~260℃。对于分子较大的材料,建议熔化温度范围在 200~250℃ 之间。有具有韧性,较低流动性和具有可加工性的较高流动性,高抗环境应力开裂。此原料的屈服强度较大,弹性模量小,具有良好的拉伸性能,在滴灌带的生产过程中,使滴灌具有较好的韧性,不易变形。配方中能增加产品的强度,提高抗冲击性的能力,使滴灌带使用时,在水泵的增压过程中,能在额定压力下正常的工作。

低密度聚乙烯无毒、无味、无臭,呈乳白色颗粒。与 LDPE 相比具有强度高、韧性好、刚性强、耐热、耐寒等优点,还具有良好的耐环境应力开裂、耐撕裂强度等性能,并可耐酸、碱、有机溶剂等,能增加滴灌带的各项性能,使滴灌带在自然环境中使用时具有更好的耐热、抗压性能。

防老化剂主要成份为抗光剂和抗氧剂,减慢滴灌带使用过程中材料的老化速度,保证滴灌带在滴灌期能良好的工作,减慢在紫外线的照射下出现光降解和氧降解,使滴灌带能具有长期稳定的抗压能力,保证滴灌带在滴灌期能良好的工作。

炭黑在塑料工业中用途之一是防紫外光老化,由于炭黑有较高的吸光性,因而能有效的防止塑料受阳光照射而产生光氧化降解。炭黑作为紫外光稳定剂在塑料中所起的作用有:把光能转化为热能;保护塑料表面而免遭一定波长的射线照射;截取原子团而产生防老化作用,从而阻止催化降解。紫外线对聚烯烃特别有害,试验证明当一定细度的炭黑的浓度为百分之二时可以达到完美的紫外线屏蔽作用。

1.6 本论文意义及目的

设计和优化内镶式滴灌带的配方,自主研制滴灌带防老化母料,为企业以后的生产创造更好的选择性,同时在大量的实验中,采用合理的原料,降低内镶式滴灌带的生产成本。

本文通过大量的实验与参考资料,在实验室条件下,通过运用双螺杆挤出机,注塑剂,万能拉伸测试仪,熔体流动速率仪,对所有 LLDPE0209、LDPE15803、HDPE5410、2426H、HDPE6070、HDPE5000s、HDPE60550 性能进行分析,作出优良的滴灌带配方。然后通过内镶式滴灌带的生产设备生产出滴灌带成品。确定配方的可行性,然后投入企业生产。

第二部分 实验部分

2.1 原料与设备仪器

2.1.1 原料及药品

HD5410、HD6070EA、LL0209AA：中国石油独山子石化；5000S：中国石油兰州石化公司；15803；2426H：扬子石化-巴斯夫有限责任公司；TA 215 抗氧化剂、受阻胺光稳定剂 622：上海金海雅宝精细化工有限公司。

2.1.2 实验设备

同向双螺杆挤出机：中国江苏（南京）科亚公司；塑料注塑成型机 XL-400VI：宁波高新协力机申液有限公司；微机控制电子万能试验机，CMT6104，深圳新三思计量公司；简支梁冲击试验仪，承德市金建仪器有限公司；WDG5882 内镶式滴灌带生产设备：廊坊盛源有限责任公司；熔体流动速率仪，承德市金建仪器有限公司。

2.2 配方的制作过程

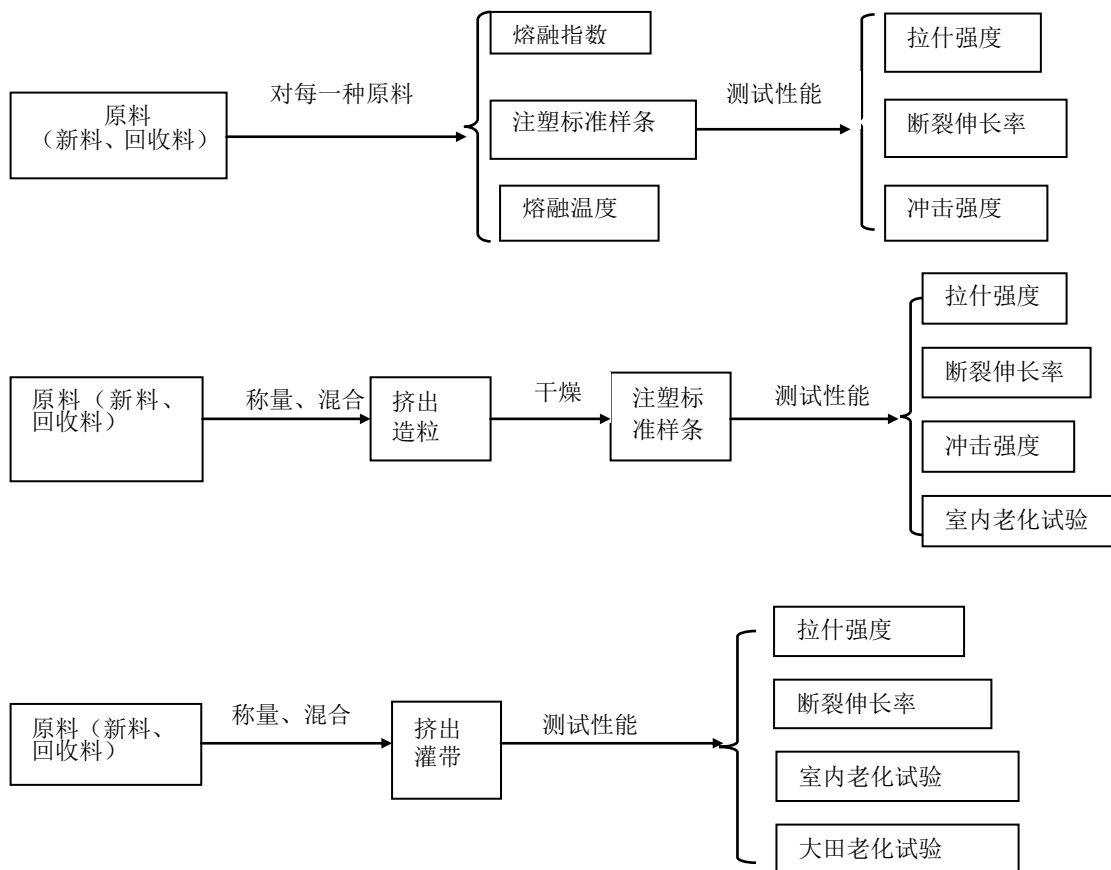


图 2-1 原料性能及内镶式滴灌带配方设计工艺过程

2.3 原料的预处理

将原料按照一公斤的比例进行称量，充分搅拌，使原料进行均匀的混合，然后进行备用。

2.4 挤出造粒

打开挤出机电源和循环水系统，启动水泵。预热升温，按工艺要求对各加热区温度仪表进行参数设定，各段加热温度达到设定温度后，继续恒温 20 分钟。启动润滑油泵，检查油泵系统，看是否有泄漏。用手盘动主电机联轴器，保证螺杆沿正常转向至少转动三转。启动主电机，首先使螺杆在低转速下空转，转速不超过 20r/min。启动鼓风机和造粒机，把经过干燥过的混合料放入料斗，调整主机频率与喂料频率到合适的范围。待挤出机机头出料后进行拉条，调整造粒机转速与出条速度相匹配，造粒机转速随主机产量大小而升降。最后，把造粒料放到恒温干燥箱中烘干至少 24 小时，以备注塑。本实验工艺条件如表 2-1 所示：

表 2-1 滴灌带配方挤出造粒工艺条件

机头/°C	一段/°C	二段/°C	三段/°C	四段/°C	熔温/°C	主机频率/Hz	喂料频率/Hz
190	200	195	195	215	178	6.0	4.0

2.5 标准样条的注塑成型

预热升温，按工艺要求对各加热区温度仪表进行参数设定，各加热区温度达到设定值后，继续恒温 20 分钟。首先使用手动模式试车，调试注塑系统，在低压低速下注射，检查各部分是否运行正常。按工艺要求设定其它参数后，把预先经过干燥，冷却后的挤出粒料放入料斗。换为半自动模式下操作，开关一次安全门，机器就自动打样一次，重复操作即可。注塑成型后样条须在自然条件下冷却至少 24 小时，冷却后进行各种测试。本实验工艺条件如表 2-2 所示：

表 2-2 标准样条的注塑成型工艺条件

喷嘴/°C	一段/°C	二段/°C	射胶压力/bar	冷却时间/S	冷却介质
25	230	210	80	16	空气

2.6 塑料拉伸试验

拉伸试验测试：按照 GB/T1040-92 用微机控制电子万能试验机对选好的五条不同处理的 PE 注塑标准样条进行测试，取平均值。样条的拉伸过程中设定参数：拉伸速度 100mm/min；温度 25℃；样条的形状为哑铃型；样条间距 30mm；宽度 4mm；厚度 2mm。

2.7 原料熔融指数值的测定

首先设定熔体流动速率仪实验参数，滴灌带的配方中主要用原料是聚乙烯，一般对于聚乙烯的设定温度为 190℃，压力为 2.16 千克，切割时间为 60 秒，设

定到质量法 KFM，然后开始加温，当温度恒定以后，设备自动提示，可以开始实验，用台秤称量 5 克通过挤出机造粒的实验配方，然后放入设备的料筒内，加上实验前选着的负荷，使温度恒定四分钟，当砝码杆到取样的最低刻度时，开始用切刀取样，取出的样条在分析天平上进行称量，然后放进公式进行计算。

2.8 内镶式滴灌带中试试验

将实验室设计的配方，在生产设备中进行实验，测试配方在工业化生产的过程中可能存在的问题以及配方的可行性。打开挤出机电源和循环水系统，启动水泵。预热升温，按工艺要求对各加热区温按仪表进行参数设定^[9]，各段加热温度达到设定温度后，等温度恒定一定的时间，检查设备的参数是否正确，启动主电机，开始加料，起初设备的挤出转速和牵引速度较小，当料开始挤出时，用滴灌带成品进行牵引，当牵引顺利后，逐渐增加挤出机转速和牵引速度，内镶式滴灌带生产工艺流程图 2-2 所示：

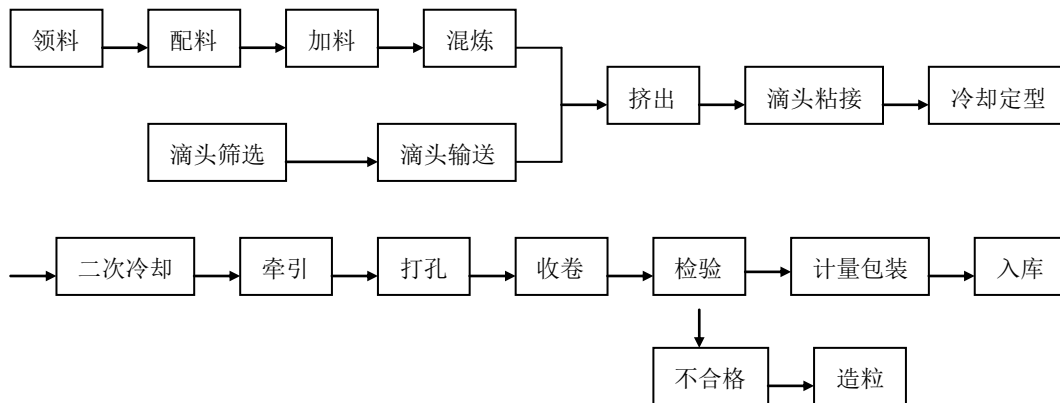


图 2-2 内镶式滴灌带生产工艺流程图

表 2-3 内镶式滴灌带设备生产参数

温度℃	一段	二段	三段	四段	挤出机转速	牵引速度 1
设定温度	279	280	275	161	1138r/s	120.264 米/分
实际温度	280	280	275	160		

2.9 内镶式滴灌带测压实验

爆破压力实验：GB/T19812.3-2008 安装两条相同的滴灌带样品在冲压头上，在 30 秒钟内，将压力逐渐增大，直到将实验滴灌带压爆为止，此时立刻关闭加压设备，读取试样被冲爆时的压力。

静压压力实验：GB/T19812.3-2008 两条相同的滴灌带样品在冲压头上，在压力为 2.0MPa 时停止加压，在此压力下持续两个小时，观察滴灌带的抗压能力，记录滴灌带在两个小时内的滴水情况，观察是否出现鼓包或爆裂的情况。

第三部分 结果与讨论

3.1 各种原料的力学性能比较

通过双螺杆挤出机、注塑机和万能拉伸测试仪，将各种内镶式滴灌的专用料进行了分析，通过原料分析来选择适合配方的 PE 原料，以下就是各种原料力学性能。

表 3-1 内镶式滴灌带原料力学性能对比

原料名称	熔融指数 g/10min	屈服强度 MPa	拉伸强度 MPa	断裂伸长率 %	弹性模量
LLHPE0209	0.931	10.6	21.6	413.8	81.4
LDPE15803	1.736	19.33	20.26	131.3	48.24
LDPE2426H	1.830	25.27	25.29	224.8	69.19
HDPE5410	0.948	27.42	28.16	421.6	348.6
HDPE 5000S	0.855	22.16	28.42	418.2	231.9
HDPE6070	7.42	23.96	24.01	441.0	472.8
HDPE60550	6.736	27.38	27.48	711.3	323.6
HDPE276-73		30.25	30.93	506.1	328.9
外购老化母料	0.918	11.91	21.91	576	42.25
自制老化母料	0.979	10.69	21.64	675	77.33

3.1.1 线性低密度聚乙烯

首先对 LLDPE0209 的力学性能进行分析，通过表 3-1 与图 3-1 数据显示

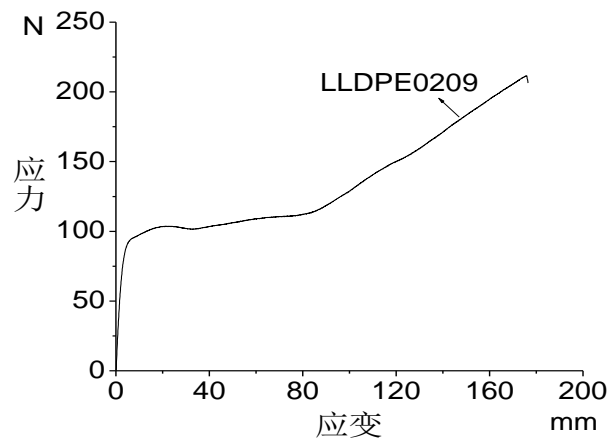


图 3-1 LLDPE0209 的拉伸曲线

，LLDPE0209 的熔融指数较低，加工性能好，屈服强度 10.6 MPa 左右，拉伸强度 21.6 MPa 左右，断裂伸长率为 413.8%，此原料在拉伸时韧性较好，在生产运用中，此原料适用于制作农用地膜，除此之外，由于 LLDPE0209 的弹性模量比其他原料的小，说明原料韧性较大，同时具有良好的耐环境应力开裂性，耐冲击强度、耐撕裂强度等性能，为内镶式滴灌带的配方中的

重要原料，在加工过程中能很好的与高密度聚乙烯进行成型加工。

3.1.2 低密度聚乙烯

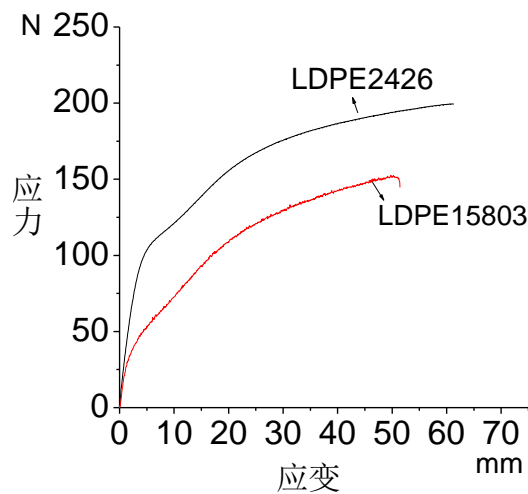


图 3-2 LDPE2426 与 LDPE15803 曲线对比

通过表 3-1 和图 3-2 对低密度聚乙烯 LDPE2426 和 LDPE15803 进行比较，数据显示，熔融指数 LDPE15803 比 LDPE2426 略小点，在拉伸测试中，LDPE2426 比 LDPE15803 的屈服强度，拉伸强度、断裂伸长率大很多，在内镶式滴灌带的配方中占有更多的优势，在测试内镶式滴灌带的回缩率时，屈服强度是一个很重要的指标，如果滴灌带的屈服强度过低，导致滴灌带在检测时回缩率达不到标准，就会出现次品或废品。同时 LDPE2426 的弹性模量也比 LDPE15803 的大，刚性也较大。因此选择 LLDPE2426 为内镶式滴灌带配方的低密度聚乙烯用料。

3.1.3 高密度聚乙烯

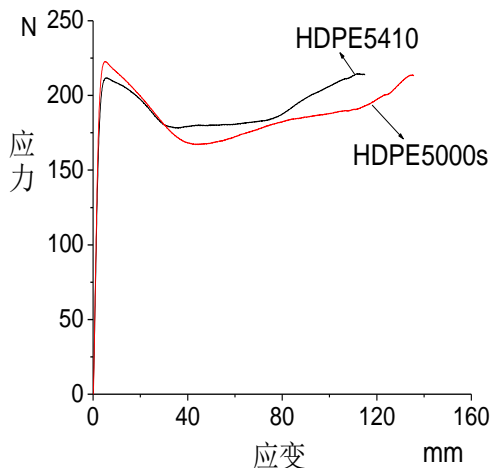


图 3-3 HDPE5410 与 HDPE5000S 拉伸曲线

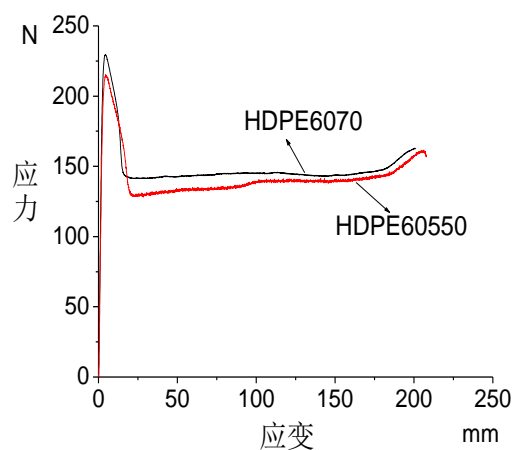


图 3-4 HDPE6070 与 HDPE60550 拉伸曲线

通过表 3-1 与图 3-3 曲线，可以对比出原料 HDPE5000S 的熔融指数最小，5000S 为高密度聚乙烯，在滴灌带的设计配方中，能够增加滴灌的强度和抗冲击

强度，在一定的温度范围内能使管带具有抗寒的性能。同时在进行抗冲击强度的实验中，5000S 和 5410 的抗冲击性能较好，但是断裂伸长率较小。增加滴灌带在大田中使用，抵抗超出正常水压时的压力，不至于滴灌带在超压的情况中出现瞬间爆裂的情况，从而提高滴灌带的使用寿命，通过拉伸曲线分析，HDPE5000S 比 HDPE5410 的屈服强度大，内镶式滴灌带的标准中要求滴灌带在 130N 弛拉测试，滴灌带的屈服强度对此项要求有一定的作用，所以选择 HDPE5000S 作为内镶式滴灌带的配方用料。

通过表 3-1 与图 3-4 曲线，对比 HDPE60550 和 HDPE6070 两种高密度聚乙烯的原料的力学性能，HDPE60550 的断裂伸长率比 HDPE6070 的大，在内镶式滴灌带的测试要求中，滴灌带具有一定的韧性，HDPE60550 比 HDPE6070 的在一定的负荷下，形变能力更强，韧性也较大。在内镶式滴灌带进行静水水压测试时，滴灌带的韧性究其很大的作用，如果滴灌带的持续抗压能力弱，将会出现鼓包或破裂。在大田的使用中，滴灌带的在压力情况下输水时间较长，一旦达不到所需的韧性，就会出现破裂报废，无法正常使用。通过对比，在配方中加入的高密度聚乙烯，选择了 HDPE60550 和 HDPE5000S 为最佳。

3.2 防老化助剂的设计

3.2.1 外购防老化母料与自制防老化母料的比较

内镶式滴灌带的防老化母料在滴灌带的配方中占很重要的部分，但是在滴灌带的老化方面，很多地方存在盲点，而且市面上母料的价格也比较贵，一般在二万元左右，如果通过企业自我研发，将会节省很大的一笔成本，而且也能对企业自己产品的抗老化性能有清楚的把握。

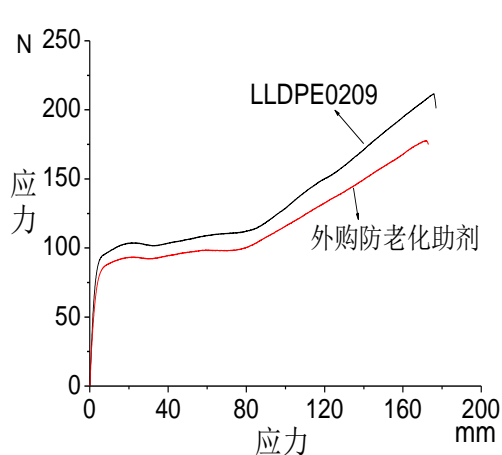


图 3-5 外购防老化母料与 LL02029 的拉伸曲线

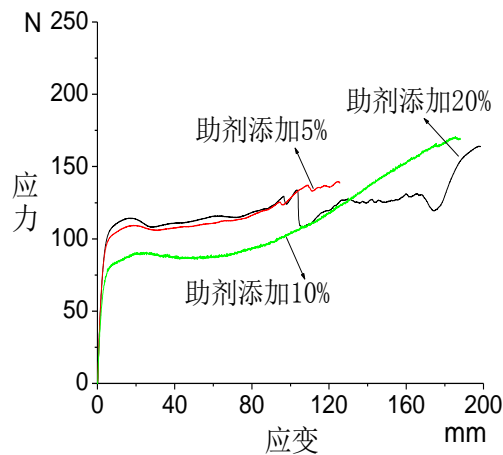


图 3-6 自制防老化母料拉伸曲线

对图 3-5 分析, LLDPE0209 的拉伸曲线和外购防老化母料的拉伸曲线的对比, 可以看出, 两条曲线的走势相似, 点的变化率也相似, 可以推断出外购防老化母料的设计载体是 LLDPE0209。

图 3-6 为自制的防老化助剂的拉伸曲线对比, 以 LLDPE0209 为载体, 添加复合抗氧剂 AT215 和受阻胺类光稳定剂 (YS-622), 其配比为 AT 215:YS-622=1:1, 添加的含量分别为 20%、10%和 5%, 通过应力-应变曲线可以看出, 老化助剂添加量为 10%的自制防老化助剂与纯 LLDPE0209 树脂的各项力学性能比较相似, LLDPE0209 的熔融指数、屈服强度、拉伸强度、断裂伸长率, 分别为 0.931g/10min、10.6Mpa、21.6Mpa、413.8%。自制防老化助剂的熔融指数、屈服强度、拉伸强度、断裂伸长率, 分别为 0.979g/10min、10.69 Mpa、21.64Mpa、675%。说明老化助剂添加量 10%时与基料有很好的相容性。

3.2.2 自制防老化母料的制备工艺

LLDPE0209 为防老化母料的载体, 选侧上海金海雅宝精细化工有限公司产品受阻胺光稳定剂 622 和复合型抗氧剂 AT215 为防老化母料的抗光剂和抗氧剂, 以科学的方法配置及精确的称量混合分散, 再通过挤出机挤出造粒烘干制得。防老化母料制备工艺见图 3-7 所示。

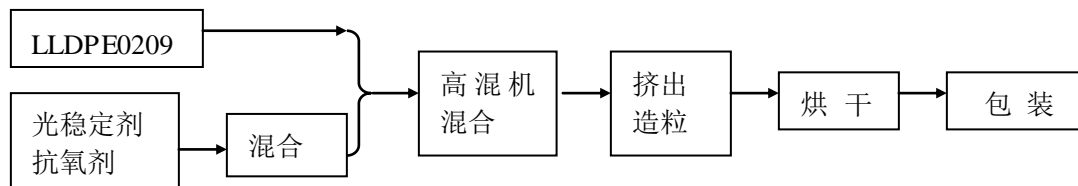


图 3-7 防老化母料制备工艺

工艺的注意事项:

- 1、准确称取光稳定剂和抗氧剂, 以 YS-622:AT215 =1:1 配置, 并混合均匀;
- 2、先倒入 LLDPE0209A 原料, 在高速混合机缓慢搅拌过程中, 再逐步加入混合好的光氧稳定剂, 然后提高搅拌速度, 釜内温度控制在 60℃~70℃, 有助于光氧稳定剂吸附在 0209A 原料中, 提高光氧稳定剂的分散效果;
- 3、挤出造粒时螺杆温度控制在 250℃~270℃左右, 柱状颗粒, 大小约为 3~4mm。挤出时加少量的特征标识剂颜料, 有助于直接目视观察判定混合效果;
- 4、烘干后防老化母料水分控制在 0.3%~0.5%左右最佳。

3.3 内镶式滴灌带的配方设计

3.3.1 2013 年 5 月 9 日新大实验室配方

在内镶式滴灌带配方的设计过程中, 对内镶式滴灌的各种专用料进行分析,

力学性能比较,选择最佳的配方原料,为HDPE5000S、LDPE2426H、HDPE60550、LLDPE0209A,并参考企业提供内镶式滴灌带配方数据,以及多年的生产经验,将高密度聚乙烯的比例设为30%~60%左右,低密度聚乙烯和线性低密度聚乙烯的比例设为30%~60%左右,炭黑占2%,防老化母料占1%,对内镶式滴灌带配方进行设计,确定了4个配方,见表3-2所示。

表 3-2 内镶式滴灌带配方列表/(%) (2009年5月9日)

原料	5000S	2426H	60550	LL0209	炭黑	老化母料
配方一 (A)	23.3	30	11.7	32	2	1
配方二 (B)	30	11.7	32	23.3	2	1
配方三 (C)	10	24	23	40	2	1
配方四 (D)	20	27	20	35	2	1

备注: ① 在实验室进行配方的设计时, 设定每个配方为 1kg

准确称取各项原料混合均匀,用双螺杆挤出机进行挤出造粒,然后放在 80℃ 烘箱烘干,并用注塑机注塑成型标准样条,测定每个配方的各项力学性能。

表 3-3 配方的各项力学性能测试结果 (2009年5月9日)

力学性能	熔融指数 (g/10min)	屈服强度 MPa	拉伸强度 MPa	断裂伸长率 MPa	弹性模量
配方一(A)	0.975	20.73	30.02	473.6	147.7
配方二(B)	1.322	20.05	30.89	558.8	147.3
配方三(C)	1.531	21.64	33.60	686.8	234.0
配方四(D)	1.187	18.48	31.28	607.5	158.5

四个配方的拉伸曲线对比如图 3-8 所示:

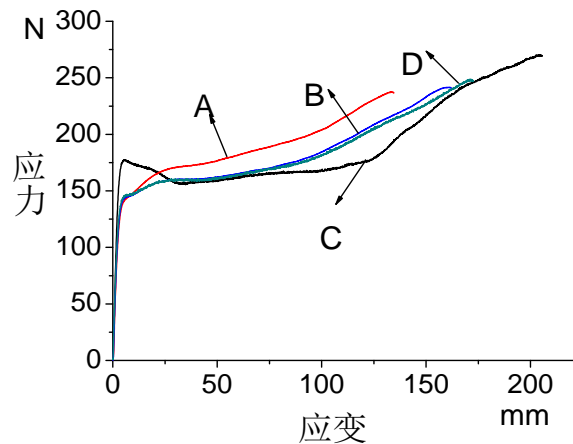


图 3-8 四种配方的拉伸曲线对比

从表 3-3 和图 3-8 拉伸曲线可以看出,配方一、配方二和配方四的屈服强度

与配方三的屈服强度有一定的差距，配方三屈服强度为 21.64MPa，这可以提高滴灌带在 130N 负荷做拉伸持拉实验时的回缩率。配方三的拉伸强度、断裂伸长率也比其他配方高，分别为 33.6MPa、686.4%，这说明配方三具有更高抵抗破毁能力和更好的韧性，所以生产出来的滴灌带也比其它配方生产出来的滴灌带具有抗水压能力强，同时良好的韧性，不易使管带在使用时出现爆裂的情况。所以选择三号配方为最佳内镶式滴灌带生产配方。

3.3.2 2009 年 5 月 11 日方兴塑化中试

在企业的内镶式滴灌带生产车间，用 WDG5882 型号内镶式滴灌带生产设备 4 号机对内镶式滴灌带配方进行中试，对三号配方进行中试生产，设计了两个试验配方，1[#]是添加的外购防老化母料，2[#]是自制的防老化母料。各自配了 50kg 原料并混合均匀。

表 3-4 内镶式滴灌带中试配方/%

原料	HDPE5000S	LLDPE0209	LDPE2426	HDPE60550	炭黑	老化剂
1 [#]	10	40	24	23	2	1（外购）
2 [#]	10	40	24	23	2	1（自制）

注：自制：新疆大学与企业共同开发（光稳定剂 622:抗氧剂 AT215=1:2）

通过 WDG5882 内镶式滴灌带生产设备生产出来的内镶式滴灌带，遵照国标 BG/T 19812.3-2008、GB13021-91、GB/T 18251-2000、GB/T 6673-2001 进行滴灌带各项性能测试，测试结果如表 3-5 所示。

表 3-5 加入外购防老化剂的配方（2009 年 5 月 11 日）

工艺参数							
项目	一段温度	二段温度	三段温度	四段温度	水温	生产速度	
设定温度	275	280	275	150	29	120 米/分	
实际温度	273	280	276	146	29	钟	
检测数据							
	每米重(g)	壁厚(mm)			爆破压力(Mp)	折径(mm)	
一次测量	9.4	0.215	0.185	0.210	0.235	0.260	24.0
二次测量	9.2	0.200	0.185	0.215	0.225	0.245	24.0
三次测量	8.6	0.195	0.185	0.220	0.215	0.220	25.0
炭黑含量分析(%)							
	炭黑含量	0.827	矿物质	0.158	填料	0.986	

滴灌带质量分析：管壁表面光洁度较好，壁厚不均匀，四点壁厚最大相差 0.05mm，最小相差 0.035mm；生产速度降至 100m/min 时，管壁出现真空不稳现象，提速后正常。管壁背面滴头处压痕轻重不等，重处测压洒水，轻处管壁表面

受伤；耐静水压测试均合格，爆破压力 0.245MPa。

表 3-6 加入自制防老化剂生产的滴灌带的试制情况（2009 年 5 月 11 日）

工艺参数								
项目	一段温度	二段温度	三段温度	四段温度	水温	生产速度		
设定温度	285	290	285	160	29	120 米/分		
实际温度	283	290	285	163	29	钟		
检测数据								
	每米重 (g)	壁厚(mm)				爆破压力 (Mp)	折径 (mm)	
一次测量	9.4	0.235	0.215	0.235	0.255	0.270	24.5	
二次测量	9.2	0.220	0.195	0.220	0.210	0.260	25.0	
三次测量	8.6	0.220	0.170	0.205	0.200	0.225	24.5	
生产速度 100 米/分钟								
	每米重 (g)	壁厚(mm)				爆破压力	折径(mm)	
单次测量	9.0	0.210	0.245	0.250	0.230	0.275	23.8	
炭黑含量分析(%)								
	炭黑含量	0.765	矿物质	0.109	填料	0.874		

滴灌带质量分析：管壁表面光洁度较好，壁厚不均匀，四点壁厚最大相差 0.05mm，最小相差 0.025mm；管壁背面滴头处压痕轻重不等，重处测压泄水，轻处管壁表面受伤；耐静水压测试均合格，爆破压力 0.255MPa；生产速度降至 100m/min 时，管壁偶尔出现轻微真空不稳现象。

当牵引速度 120 米/分钟，每米重 8.6 克时，挤出机转速为 970 转；每米重 9.0 克时，挤出机转速为 1010 转；每米重 9.4 克时，挤出机转速为 1040 转。

3.3.3 2013 年 6 月 2 日新大实验室配方

在内镶式滴灌带配方的设计过程中用前面研究的配方三为主，以 HDPE5000S、LDPE2426H、LLDPE0209A 等原料作为基准料，用 HDPE5410 和 HDPE6070 原料代替 HDPE60550，研究配方的各项力学性能和老化性能，讨论不同原料对内镶式滴灌带配方的影响，判定它们的作用，并为内镶式滴灌带生产原料配方的选侧提供实验依据。以配方三为主，设计了两个试验配方，A 是 HDPE5410 原料代替 HDPE60550，B 是 HDPE6070 原料代替 HDPE60550。

表 3-7 内镶式滴灌带配方列表/%（2009 年 6 月 2 日）

原料	5000S	2426H	60550	LL0209	5410	6070	炭黑	老化母料
内镶 68-1	10	24	23	40			2	1
内镶 68-2	10	24		40	23		2	1
内镶 68-3	10	24		40		23	2	1

备注：①在实验室进行配方的设计时，设定每个配方为 1kg

②自制老化母料（光稳定剂 622:抗氧剂 AT215=1:1）

准确称取各项原料混合均匀，用双螺杆挤出机进行挤出造粒，然后放在 80℃

烘箱烘干，并用注塑机注塑成型标准样条，测定每个配方的各项力学性能。

表 3-8 配方的各项力学性能测试结果（2009 年 6 月 2 日）

力学性能	熔融指数 (g/10min)	屈服强度 MPa	拉伸强度 MPa	断裂伸长率 %	弹性模量
内镶 68-1	1.531	21.59	33.60	686.8	247.7
内镶 68-2	1.322	20.82	23.88	361.8	159.2
内镶 68-3	1.591	18.47	30.61	608.6	140.0

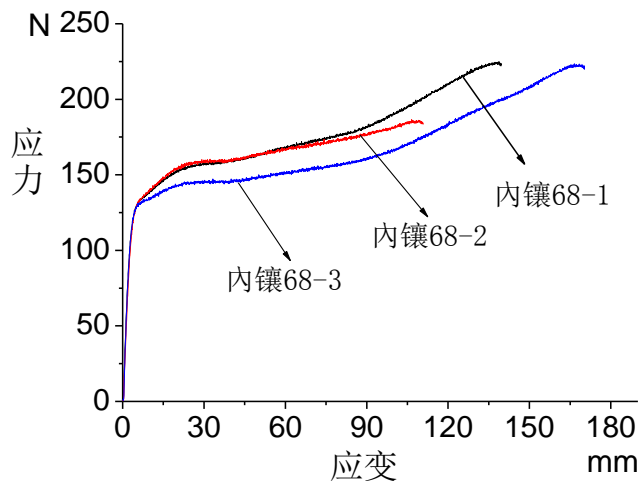


图 3-9 三种配方的拉伸曲线对比

从表 3-8 和图 3-9 拉伸曲线可以看出，用 HDPE5410 原料代替 HDPE60550，内镶 68-2 配方的屈服强度接近内镶 68-1 配方的屈服强度，屈服强度为 20.82MPa，可以满足滴灌带在 130N 负荷做拉伸持拉实验时的回缩率要求。用 HDPE6070 原料代替 HDPE60550 配方 B 的屈服强度小于内镶 68-1 配方的屈服强度，而拉伸强度、断裂伸长率接近配方的数据三，分别为 30.61MPa、608.6%，说明内镶 68-1 配方也具有高抵抗破毁能力和好的韧性，但 HDPE6070 原料结晶度较高，生产出来的滴灌带在使用时受热会产生二次结晶现象，导致产品收缩影响使用寿命。

3.3.4 2013 年 6 月 8 日方兴塑化中试

在企业的内镶式滴灌带生产车间，用 WDG5882 型号内镶式滴灌带生产设备 4 号机对内镶式滴灌带配方进行中试，对内镶 68-1 配方和内镶 68-2 配方进行中试生产，防老化母料用自制的防老化母料，光稳定剂 622:抗氧剂 AT215=1:1。各自配了 50kg 原料并混合均匀。

表 3-9 内镶式滴灌带中试配方/%

原料	5000S	LL0209	2426	60550	5410	炭黑	老化剂
内镶 68-1	10	40	24	23		2	1
内镶 68-2	10	40	24		23	2	1

注：自制：（光稳定剂 622:抗氧化剂 AT215=1:1）

通过 WDG5882 内镶式滴灌带成产设备生产出来的内镶式滴灌带，遵照国标 BG/T 19812.3-2008 、GB13021-91 、GB/T 18251-2000、 GB/T 6673-2001，进行滴灌带各项性能测试，测试结果如表 3-10 所示。

表 3-10 加入自制防老化剂生产的滴灌带的试制情况（2009 年 6 月 8 日内镶式滴灌带配方试制记录）

配方编号	内镶式滴灌带配方比率 (%)						工艺参数(°C)						
	5000s	60550	0209	2426	老化	炭黑	项目	一段	二段	三段	四段	水温	生产速度
1#	10	23	40	24	1(内)	2	设定	270	280	280	140	34	100 米/分钟
							实际	271	281	281	155		
检测数据	每米重:9.0 克		壁厚 mm: 0.20、0.19、0.18、0.17				爆破压力 Mpa: 0.225			折径 mm:24.5			
	<p>试制过程：管壁表面光洁度较好，壁厚均匀，四点壁厚最大相差 0.03mm，最小相差 0.01mm；爆破压力较小；耐静水压测试均合格；生产速度 100m/min,挤出机转速数 923 转.</p>												
配方编号	内镶式滴灌带配方比率 (%)						工艺参数(°C)						
	5000s	5410	0209	2426	老化	炭黑	项目	一段	二段	三段	四段	水温	生产速度
2#	10	23	40	24	1(内)	2	设定	275	280	280	150	29	100 米/分钟
							实际	276	280	281	156		
检测数据	每米重: 9.0 克		壁厚 mm: 0.25、0.19、0.23、0.21				爆破压力 Mpa: 0.23			折径 mm:24.5			
	<p>试制过程：管壁表面光洁度较好，壁厚不均匀，四点壁厚最大相差 0.06mm，最小相差 0.02mm；爆破压力较小；耐静水压测试均合格；生产速度 100m/min,挤出机转速数 920 转.</p>												

3.4 滴灌带产品老化前后各项性能分析

3.4.1 人工老化试验

参照紫外线老化试验国际及国内测试标准：ASTM D4329、ISO 4892-3 以及 GB/T14522-93 所有现行标准，我们设计制作适用于农用滴灌带产品人工老化试验检测设备标准型-BR-UVT 紫外光老化试验箱。

设备技术参数：

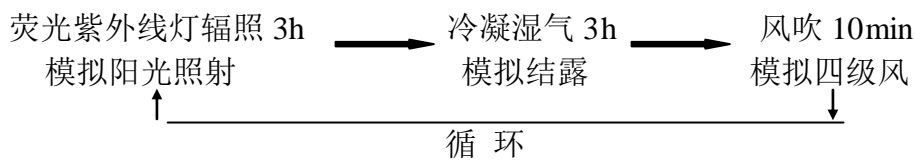
1) 荧光紫外灯：选用美国原装进口 UVA-340 荧光紫外灯管（UVA-340 荧光紫外灯辐照度控制在 $0.68\text{W}/\text{m}^2/340\text{nm}$ 时，大致相当于赤道夏日正午 12:00 时平均阳光强度）。

2) 黑板温度：也是被测试样的表面温度，设定范围 $30\sim 80^\circ\text{C}$ ；

3) 冷凝温度：利用冷凝湿气模拟结露效果，水槽温度控制范围： $40\sim 60^\circ\text{C}$ ；

4) 试样夹：共有 6 各试样夹，每个试样夹可辐照 2m 滴灌带（含 6 个滴头）；

人工老化试验工艺：



3.4.2 自然老化试验

自然气候暴露试验就是把试验滴灌带模拟大田农作物种植铺设，观察试验滴灌带适用情况，并连续记录膜下和膜上温度、湿度、太阳总辐射量以及保压给水时间与标准型紫外光老化试验箱各项试验参数比较。为自然气候暴露试验顺利进行，方便观测和记录我们把滴灌带自然气候暴露试验田设在企业有代表性的沙土试验地。以下就是自然气候暴露试验内镶式滴灌带产品。

内镶 68-1 加自制防老化母料配比生产的内镶式滴灌带产品；

内镶 68-1（未加）未加任何防老化母料配比生产的内镶式滴灌带产品；

内镶 68-2 加自制防老化母料配比生产的内镶式滴灌带产品。

3.4.3 夏季每天平均日光辐照强度值计算

我们设计制作了可测太阳光照全波段阳光辐照强度的辐照度测试仪。以企业有代表性的沙土试验地为检测点，每天 09:30、12:30、16:00、17:30 四个时间段检测阳光辐照强度（均为北京时间），检测结果见表 3-11。

表 3-11 老化仪和日光全波段光辐照强度测试结果

测试月	6月	7月	8月	9月	晚上	测试每日日光辐照强度，并统计月平均值； 夏季晚 9 点至凌晨 7 点辐照度为 $0\text{W}/\text{m}^2$ ； 雨天、阴天日光辐照强度非常低；
平均辐照度 W/m^2	613.05	550.6	617.8	485.5	0	
老化仪紫外灯辐照度 $0.68\text{W}/\text{m}^2$ 时大致相当于赤道夏日正午 12:00 时平均阳光强度						用日光全波段光辐照强度测试仪测试紫外灯辐照度 $0.68\text{W}/\text{m}^2$ 时老化仪内光辐照强度为 $1368\text{W}/\text{m}^2$

从表 3-11 测试结果看，用日光全波段光辐照强度测试仪测试紫外灯辐照度 $0.68\text{W}/\text{m}^2$ 时老化仪内光辐照强度为 $1368\text{W}/\text{m}^2$ ，而日光全波段光辐照强度测试，要考虑测试每日日光辐照强度，并统计月平均值；夏季晚 9 点至凌晨 7 点辐照度

为 $0\text{W}/\text{m}^2$ ；雨天、阴天日光辐照强度非常低。所以夏季每天平均日光辐照强度值可按下式计算，单位： W/m^2

$$\text{夏季日光辐照强度} = \frac{\text{日光辐照度测试数据之和}}{\text{测试次数}} \times 70\%$$

按以上公式估算夏季每天平均日光辐照强度值为 $317\text{W}/\text{m}^2$ ，老化仪辐照室内光辐照强度为 $1368\text{W}/\text{m}^2$ ，是平均日光辐照强度的 5 倍左右，所以我们认为用标准型-BR-UVT 紫外光老化试验箱做老化试验 24h(1 天)，相当于自然暴露老化试验的 120h(5 天左右)。

3.4.4 温度及吹风对农用滴灌带老化性能的影响

有代表性的沙土试验地为检测点，完全模仿大田棉花种植要求铺膜，每天检测膜上和膜下温度及室外环境温度与紫外光老化试验箱工作温度比较，检测结果见表 3-12。

表 3-12 老化仪和大田老化实验温度统计

测试月	6 月	7 月	8 月	9 月	四个月室外平均气温：28.5℃
膜上下平均温度	39.13	39.2	35.6	30.55	四个月膜上下平均温度：36.2℃
紫外光老化试验箱黑板温度：设定范围 30~80℃； 冷凝温度：水槽温度 40~60℃；					紫外光老化试验箱工作时始终保持的温度 黑板温度为 60~70℃；冷凝温度为 60℃

自然暴露老化试验地夏季四个月室外平均气温为 28.5℃，膜上下平均温度为 36.2℃，而紫外光老化试验箱工作时始终保持黑板温度为 60~70℃；冷凝温度为 60℃，是自然暴露老化试验田膜下、膜上平均温度的 2 倍左右。同时，紫外光老化试验箱工作时在箱内温度 60℃左右、滴灌带表面有冷凝湿气结露情况下，每 6h 进行一次吹风，加速试样热氧化老化速度。

结论：从标准型-BR-UVT 紫外光老化试验箱连续工作时室内光辐照强度、黑板温度、冷凝温度及风吹，对试样的光及热氧加速老化试验综合考虑，试验 24h(1 天)，相当于自然暴露老化试验的 192h~240h(9 天~10 天)。

3.4.5 滴灌带产品老化试验结果及分析

为检验研发的内镶式滴灌带配方和自制防老化母料老化性能，对内镶滴灌带 68-1、内镶滴灌带 68-1（未加）和内镶滴灌带 68-2 产品，进行老化前后横向和纵向拉伸试验，分析老化前后力学性能的变化。测试结果见表 3-13、表 3-14、图 3-10、图 3-11、图 3-12。表中试样说明：

未老化：为内镶式滴灌带未进行任何老化试验的试样；

紫外老化 7 天：为内镶式滴灌带在紫外光老化试验箱老化试验 7 天的试样；

自然老化 140 天：为内镶式滴灌带在自然暴露老化试验 140 天的试样；

表 3-13 内镶滴灌带 68-1 老化前后各项力学性能测试结果统计

试验方向	纵向拉伸			横向拉伸		
	屈服强度 MPa	拉伸强度 MPa	断裂伸长率 %	屈服强度 MPa	拉伸强度 MPa	断裂伸长率 %
未老化	12.25	14.89	224.7	10.48	15.59	1346
紫外老化 7 天	11.25	12.85	164.6	10.85	16.5	1466
自然老化 140 天	11.01	13.00	159.9	11.25	16.91	1824
极差值	0.9	0.87	0.71	1.07	1.08	1.35

备注：极差值为自然老化 140 天试样数据与未老化试样数据的比值。

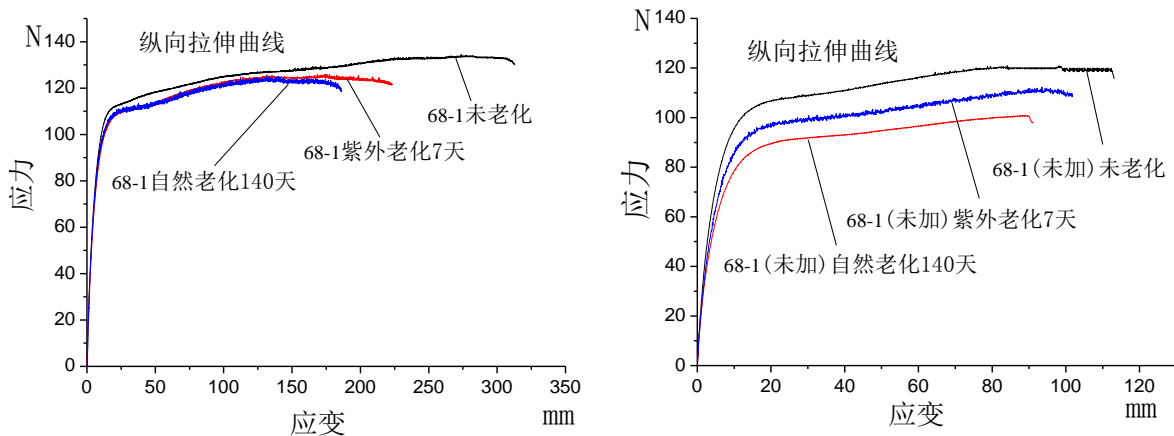


图 3-10 内镶 68-1 和内镶 68-1（未加）两种配方老化前后力学性能的比较

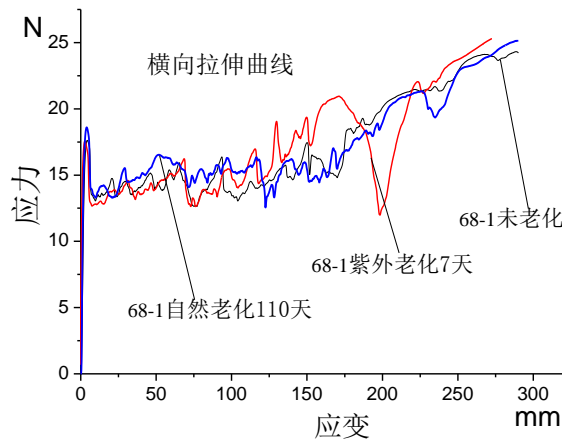


图 3-11 内镶 68-1 配方老化前后横向拉伸曲线

从表 3-13、图 3-10 及图 3-11 可以得知，内镶 68-1 配方滴灌带产品老化前后纵向和横向力学性能变化不大，自然老化 140 天试样屈服强度与未老化试样屈服强度比值，纵向拉伸为 0.9，而横向拉伸为 1.07。自然老化 140 天试样断裂伸长率与未老化试样断裂伸长率比值，纵向拉伸为 0.71，而横向拉伸为 1.35，说明内镶 68-1 配方滴灌带产品自然老化 140 天后没有老化。同时，在大田模拟种植棉

花试验 140 天中共给水 7 次，也没有出现任何裂口和变形现象。

表 3-14 内镶滴灌带 68-2 老化前后各项力学性能测试结果统计

试验方向	纵向拉伸			横向拉伸		
	屈服强度 MPa	拉伸强度 MPa	断裂伸长率 %	屈服强度 MPa	拉伸强度 MPa	断裂伸长率 %
未老化	12.24	13.71	106.4	10.48	15.59	1346
紫外老化 7 天	10.47	12.33	144.6	10.85	16.5	1466
自然老化 140 天	12.41	13.25	93.4	11.25	14.47	1595
极差值	1.01	0.97	0.88	1.07	0.93	1.2

备注：极差值为自然老化 140 天试样数据与未老化试样数据的比值。

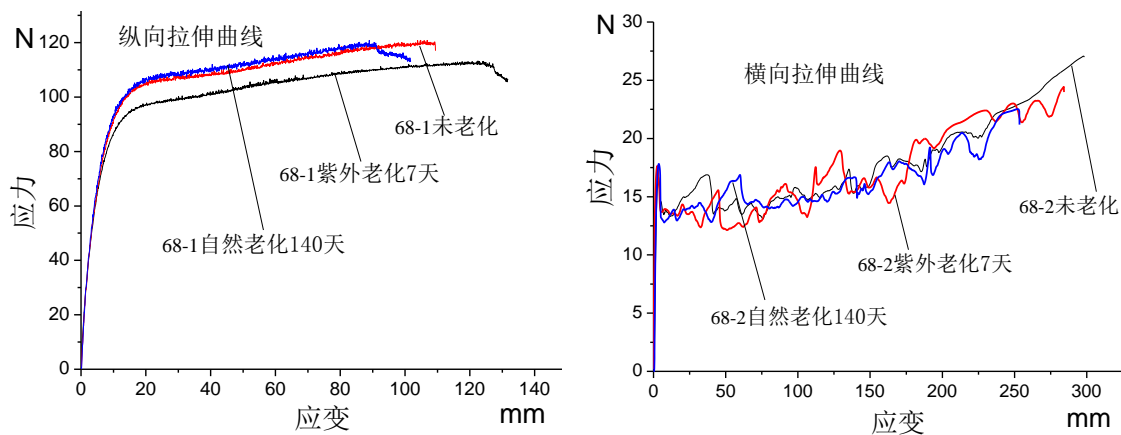


图 3-12 内镶 68-2 配方老化前后力学性能的比较

从表 3-14、图 3-12 可以得知，内镶 68-2 配方滴灌带产品老化前后纵向和横向力学性能变化不大，自然老化 140 天试样屈服强度与未老化试样屈服强度比值，纵向拉伸为 1.01，而横向拉伸为 1.07，自然老化 140 天试样断裂伸长率与未老化试样断裂伸长率比值，纵向拉伸为 0.88，而横向拉伸为 1.2，说明内镶 68-2 配方滴灌带产品自然老化 140 天后没有老化。同时，在大田模拟种植棉花试验 140 天中共给水 7 次，也没有出现任何裂口和变形现象。

3.5 滴灌带产品成本核算

表 3-8 2008 下半年原料价格表

原料牌号	购入价格 (元/t)	原料牌号	购入价格 (元/t)
HDPE5000S	9020	TR144	11140
HDPE5410	9071	LDPE15803	8460
HDPE2480	10200	LDPE2426	9260
HDPE6070	10500	LLDPE0209	9447
HDPE60550	8550	防老化母料	20000
HDPE276-73	10800		

成本核算

	原料牌号	比例%	价格(元)		原料牌号	比例%	价格(元)
	原 配 方	5000s	23.3		2.1	现 配 方	5000s
5410		11.7	1.06	60550	23		1.97
0209		32	3.02	0209	40		3.78
15803		30	2.54	15804	24		2.03
外购防老化母料		1	0.2	外购防老化母料	1		0.15
炭黑		2		炭黑	2		
			8.92				8.83

第四部分 结 论

- 4.1 本文通过大量的实验与参考资料,对 LLDPE0209、HDPE6070、HDPE60550、HDPE5140、HDPE5000S、LDPE15803、LDPE2426 原料的力学性能进行分析以后,确定了 LLDPE0209、HDPE60550、HDPE5000S、LDPE2426、LDPE15803 各项力学性能较好,确定这四种原料为内镶式滴灌带的配方用料。
- 4.2 自制的防老化母料,以 LLDPE0209 为载体,添加复合抗氧剂 AT215 和受阻胺类光稳定剂 (YS-622),其配比为 AT 215:YS-622=1:1,通过应力-应变曲线可以看出,老化助剂添加量为 10%的自制防老化助剂与纯 LLDPE0209 树脂的各项力学性能比较相似,LLDPE0209 的熔融指数、屈服强度、拉伸强度、断裂伸长率,分别为 0.931g/10min、10.6Mpa、21.6Mpa、413.8%。自制防老化助剂的熔融指数、屈服强度、拉伸强度、断裂伸长率,分别为 0.979g/10min、10.69 Mpa、21.64Mpa、675%。说明老化助剂添加量 10%时与基料有很好的相容性。
- 4.3 确定了防老化母料制备工艺及工艺的注意事项:
- 1) 准确称取光稳定剂和抗氧剂,以 YS-622:AT215 =1:1 配置,并混合均匀;
 - 2) 先倒入 LLDPE0209A 原料,在高速混合机缓慢搅拌过程中,再逐步加入混合好的光氧稳定剂,然后提高搅拌速度,釜内温度控制在 60℃~70℃,有助于光氧稳定剂吸附在 0209A 原料中,提高光氧稳定剂的分散效果;
 - 3) 挤出造粒时螺杆温度控制在 250℃~270℃左右,柱状颗粒,大小约为 3~4mm。挤出时加少量的特征标识剂颜料,有助于直接目视观察判定混合效果;
 - 4) 烘干后防老化母料水分控制在 0.3%~0.5%左右最佳。
- 4.4 通过对各种原料性能分析后,确定了内镶式滴灌带的配方:HDPE5000S 的含量占 10%,LDPE15803 的含量占 24%,LLDPE0209 的含量占 40%,HDPE60550 的含量占 23%,炭黑的含量占 2%,防老化剂的含量占 1%。
- 4.5 在进行内镶式滴灌带的配方中试,生产温度参数为一段 285℃、二段 290℃、三段 285℃、四段 160℃,生产速度为 120 米/分,平均每米重量为 9.06g/m,管壁表面光洁度较好,壁厚不均匀,四点壁厚最大相差 0.05mm,最小相差 0.025mm;耐静水压测试均合格,爆破压力 0.225MPa ~ 0.255MPa;折径为 24.5mm,炭黑的含量为 0.765%。
- 4.6 自制的防老化母料每吨 14000 元~15000 元左右,市上购置的防老化母料每吨为 19000 元~20000 元左右,极差为-5000 元左右。
- 4.7 内镶 68-1 配方滴灌带产品老化前后纵向和横向力学性能变化不大,自然老化 140 天试样屈服强度与未老化试样屈服强度比值,纵向拉伸为 0.9,而横向拉

伸为 1.07。自然老化 140 天试样断裂伸长率与未老化试样断裂伸长率比值，纵向拉伸为 0.71，而横向拉伸为 1.35，说明内镶 68-1 配方滴灌带产品自然老化 140 天后没有老化。同时，在大田模拟种植棉花试验 140 天中共给水 7 次，也没有出现任何裂口和变形现象。

内镶 68-2 配方滴灌带产品老化前后纵向和横向力学性能变化不大，自然老化 140 天试样屈服强度与未老化试样屈服强度比值，纵向拉伸为 1.01，而横向拉伸为 1.07，自然老化 140 天试样断裂伸长率与未老化试样断裂伸长率比值，纵向拉伸为 0.88，而横向拉伸为 1.2，说明内镶 68-2 配方滴灌带产品自然老化 140 天后没有老化。同时，在大田模拟种植棉花试验 140 天中共给水 7 次，也没有出现任何裂口和变形现象。