



1 | 一拍即合，做中国人自己的聚乳酸生产线

陈学思面前的白骅不太像“大老板”，身为浙江海正集团董事长的他背着一个小包，出差连助理都不带。陈学思被他干事的魅力吸引了。

而白骅眼中的长春应化所研究员陈学思，思维活跃、衣着简单，丝毫没有“派头”，与刻板印象里的科学家相去甚远。

1999年10月，在时任长春应化所副所长董丽松的牵线下，两人一见如故，聊了很久。他们聊的话题是一种“明星”环保材料——聚乳酸。它看起来就像一颗颗晶莹、略发白的米粒，与普通的塑料颗粒并无二致。可就是它，把“从自然中来，到自然中去”的特性发挥得淋漓尽致，从源头上切断了一次性包装塑料带来“白色污染”的可能性。

聚乳酸是一种绿色塑料，取材自玉米、木薯、纤维素等，在一定化学工艺下变为树脂原材料，可制成果吸管、餐具、地膜、手术缝合线、骨钉、骨板等。将它们埋在土里或嵌入人体，经过几个月到几年时间，便会降解为小分子，最终成为水和二氧化碳，消失得无影无踪。而且，其生产过程排放的二氧化碳量仅为传统塑料的一半甚至更低，对环境、人体影响甚小。

这样的“明星”环保材料谁不渴望得到？然而，在科技发展史上，科研人员竟一次次与它擦肩而过。

1913年，法国科学家通过缩聚方法首次合成聚乳酸，但其产量低、分子量小、力学性能差，几乎没有实用价值。

1932年，美国杜邦公司科学家卡罗瑟斯间接制备出高分子量的聚乳酸。然而，他想得到的是一种高熔点、具有出色耐久性的聚酯纤维材料，因此聚乳酸被过早放弃。

直到1962年，美国一家公司发现用聚乳酸做成的手术缝合线可被机体吸收，才正式打开了聚乳酸的医用大门。

从此，聚乳酸就像一颗冉冉升起的新星，备受科研界、环保界、资本界瞩目。这其中就包括一拍即合的陈学思、白骅。两人志向不小，“我们要做中国人自己的聚乳酸生产线”。

白骅此前找过不少大学、研究机构，可几乎每次都无功而返。问题的关键在于，聚乳酸的单体丙交酯当时在中国没有人能做出来，更不用说下一步的聚合了。遇到陈学思，他算找对了人。

经过3年摸索，陈学思带领团队筛选百余种催化剂、探索上千种实验条件，提出了具有工业化前景的技术总体方案，使丙交酯的产量从几克达到几十克、几百克，产率达到95%以上，实现了百克级丙交酯的稳定制备。这是中国在生物可降解塑料领域迈出的关键一步，为生物可降解塑料的产业化奠定了坚实的基础。

21世纪初，丙交酯1公斤市场售价为1万元左右，即便如此高价，市场上依然供不应求。长春应化所实现了丙交酯国产化、填补国内空白后，丙交酯的价格一下子“被打下来”，如今1公斤仅售15元左右，与当初的万元天价相差数百倍。

2 | 允许失败，挑战“不可能完成的任务”

边新超是陈学思团队的第一名成员。2000年，陈学思推着自行车把他接到了所里。

边新超回忆说，21世纪初，化工界的口号是，石油只能再用50年，煤炭只能再用100年，急需生物基材料、生物降解材料进行替代。但当时市场对这类材料的接受度仍然不高，大多数企业持观望态度。

陈学思最初瞄准的是文具市场。边新超扛着一个装着原材料的麻袋，去了浙江宁波一家知名文具厂。他当场用注塑机做了一把聚乳酸尺子，老板夸了一句“东西真好”，就再也没有下文了。

2003年，把实验室内的工艺条件基本摸



聚乳酸生产车间。

合过程却会释放出水分子。产业界的通行做法虽然可以彻底除去水分，但无法做到高效合成丙交酯，这一难题制约了整个聚乳酸产业链的发展。

低聚乳酸的分子量多少合适？裂解



聚乳酸制作的餐具。

温度多高？如何防止裂解结焦？能否把裂解产率提升至90%以上？裂解残渣如何高效回收利用？这些问题始终困扰着研发人员。

经过3年摸索，陈学思带领团队筛选百余种催化剂、探索上千种实验条件，提出了具有工业化前景的技术总体方案，使丙交酯的产量从几克达到几十克、几百克，产率达到95%以上，实现了百克级丙交酯的稳定制备。这是中国在生物可降解塑料领域迈出的关键一步，为生物可降解塑料的产业化奠定了坚实的基础。

21世纪初，丙交酯1公斤市场售价为1万元左右，即便如此高价，市场上依然供不应求。长春应化所实现了丙交酯国产化、填补国内空白后，丙交酯的价格一下子“被打下来”，如今1公斤仅售15元左右，与当初的万元天价相差数百倍。

索清楚后，陈学思又派边新超到浙江省台州市建设30吨中试生产线。那一年是边新超工作的第三年，他带领的8人团队中，部分同事比他还年轻、有经验。

从实验室技术到产业化技术，中间过程不是简单放大。在很多科研人眼中，这一环节最艰难。当时的台州天气闷热，车间温度达50℃，技术人员极度疲劳。为了激励自己，边新超把手机铃声设置成了电影《碟中谍》的主题曲《不可能完成的任务》。

陈学思的父亲陈启是长春应化所的研究员，也是搞合成研究的能手，退休后返聘加入聚乳酸研发团队。为了顺利完成中试，当时年近80岁的“老陈老师”特地去台州指导生产，一待就是两个多月。

边新超最担心的是示范生产线出问题，可是怕什么来什么。2007年2月，示范生产线突然因不明原因停工，管道堵塞、找不到堵点。“每天相当于烧掉一辆帕萨特”，这样的状况整整持续了3个月。

“快倒闭了吧？”在食堂吃饭时，有人揶揄道。

虽然陈学思、白骅一次次鼓励自己“不要退缩”，可眼看真金白银不断往里投，边新超的内心久久



聚乳酸树脂。

久不能平静。将所有设备检查了一遍又一遍后，他发现真空度下降得厉害，怀疑是齿轮泵漏气导致了失败。来不及多想，他和同事赶紧把重约300斤的齿轮泵拆下来抬上了大巴。边新超独自一人坐了一天一夜的长途车来到河北沧州，找到厂家，终于发现了问题所在，并快速拿出了解决方案。

那阵子，大家都觉得边新超的举止有些怪异，总是用手捂着脸。原来在一次试车中，边新超发现工人排料操作不当存在生产风险，于是抢先一步关闭阀门，可是部分高温熔体还是喷溅出来，落到地面又弹起来，把他的脸和手都烫伤了。彼时，边新超刚结婚4个月，他不敢告诉妻子，怕她担心，更怕她把自己叫回去。

就是通过这样忘我的努力，长春应化所与企业终于在2007年建成了5000吨/年产能的示范线。这是国内第一条聚乳酸示范线，也是全球第二条聚乳酸生产线。

其间还有一个小插曲：原本对我国技术保密的日本帝人株式会社，看到陈学思团队的成熟样品后，彻底公开了中试生产线的工艺。

陈学思团队在进行技术改进的同时，把这条生产线扩产至1.5万吨/年，使得这项技术真正成熟。

至此，长春应化所帮助企业首次在国内实现了万吨级聚乳酸稳定生产，2004年到2015年累计产值超过10亿元。随着中国的加入，美国、中国、欧洲在全球聚乳酸行业形成了三足鼎立的态势。

70%。广东、浙江是接收“洋垃圾”的大省，当地许多居民靠拆解洋垃圾过活，镇上的河水、井水也因此变成黑水。

在报纸上看到“洋垃圾”的新闻时，还在美国宾夕法尼亚大学从事生物物理与生物化学专业博士后工

作的陈学思心痛不已，想通过自己的科研工作，为祖国消除“洋垃圾”中的“白色污染”尽一份力。

1999年，陈学思归国加入中国科学院长春应用化学研究所（以下简称长春应化所）。通过20多年的不懈努力，他离自己当时设定的科研目标越来越近。

3 | 迭代升级，拿捏聚乳酸的“小脾气”

用聚乳酸制作的杯子一般用手掰不断，但从桌面掉到地面却极有可能被摔碎。用聚乳酸制作的运动T恤，抑菌、抑制汗臭的效果好，但由于可降解性弱，腋下总是最先破口……早期的聚乳酸产品的确存在各种问题。

面对方方面面的挑战，团队始终坚持工程化与基础研究“两条腿走路”。

化学制品的生成离不开催化剂。之前设计催化剂的思路是，让它拥有所需要的所有活性位点，但这样往往导致活性位点数量不够多，催化效率很低。

有一天，团队成员、长春应化所研究员庞炬突然从电视剧中的狙击小分队获得科研灵感，激动得直拍大腿：“狙击小分队由一名狙击手、一名观察手、一名随队负责警戒保卫的步枪手组成，大家各司其职。借用到催化剂活性位点上，就是把1个活性位点变成3个，一个负责把单体吸引过来，一个负责把环打开，一个负责把它接上链，这样效率一下子就上去了。”

陈学思向来鼓励有科学依据的奇思妙想，这一次也不例外。大家说干就干。

一开始合成确实困难，庞炬反复试验，不仅要使3个活性位点之间的距离合适，而且要证明它们确实能按照预期各司其职、分工协作。随着问题被逐一破解，实验结果让庞炬十分惊讶——效率提升远不止之前估计的3倍，而是200倍！

改进催化剂的直观效果就是，将聚乳酸的熔点做到全球最高，可达179℃，这非常接近理论上的最高温度。过去聚乳酸制造的婴儿奶瓶，连一次蒸汽消毒都扛不过去；改进催化剂后生产的聚乳酸耐热温度升至120℃以上，制成奶瓶后进行蒸汽消毒完全不在话下。

针对聚乳酸产品不耐摔的问题，团队通过提升缺口冲击强度，把聚乳酸杯子的韧性提升了30倍，稳稳当当通过了1.5米跌落试验。

“在聚乳酸使用寿命方面，通过加入抗水解剂，我们做到了聚乳酸寿命长短可控。”团队成员、

长春应化所研究员刘焱龙表示。

地膜保水、增温、除草，在我国大面积推广使用。过去6微米以下的超薄地膜被疾风一吹便成了白条，回收难度极大。通过控制可降解的速度，聚乳酸地膜3到6个月内便会自动消失，无须动用大型拖拉机专门回收。汽车后视镜等塑料配件的使用周期一般是15年，聚乳酸原本达不到这么长的寿命，但团队经过努力，将这一不可能完成的任务变为现实，有望减少大量汽车报废后的污染。

2019年1月，中国石油和化学工业联合会组织的专家组鉴定认为，长春应化所团队研发的“万吨级聚乳酸产业化成套技术及系列产品开发”整体技术处于国际领先水平。

该团队突破了聚乳酸产业化过程中的系列关键技术，获授权中国发明专利46件，开发了乳酸低聚、裂解、丙交酯聚合3种高效催化剂，研制了导流管卧式乳酸脱水、低聚乳酸膜式裂解、塔式丙交酯聚合反应器等关键设备，开发了高效的聚乳酸成核剂、增容剂、扩链剂等助剂，突破了系列改性和加工关键技术，产品具有优异的耐热和力学性能。



陈学思（左）在聚乳酸生产线出料间作技术讲解。

4 | 不惜代价，一定要做好产业化

作为一个强政策驱动的产业，究竟政策颁布与聚乳酸产业发展是“先有鸡后有蛋”，还是“先有蛋后有鸡”？

2015年，吉林省在全国范围内率先颁布禁塑令。随后，海南、河南等多个省份纷纷颁布禁塑令。2018年，我国全面禁止进口固体废物，国外向我国倾销“洋垃圾”的时代彻底结束。

禁塑令“洋垃圾”禁令执行后，“可消失的塑料”——聚乳酸一度供不应求，单价从每吨1.8万元飙升至4万元。找边新超要材料的厂商，可谓络绎不绝。有人羡慕他们，“不用干别的，光倒腾原材料就可以实现财富自由”。陈学思听了，只是笑笑：“这种事情，我们不会去做，也不能做。”

随着碳减排、碳中和等理念和政策的提出，陈学思笃信绿色环保是大势所趋，同时也对团队的科技创新成果非常有信心：“这一次，我们一定不能受制于他国。”

2021年，边新超再次领命，去安徽芜湖创办普立思生物技术有限公司，一期项目7.5万吨乳酸和5万吨聚乳酸连续生产线已稳定投产，产

品应用于一次性吸管、一次性纸杯、生物降解胶带、无纺布等领域，下一步将朝着国家制定的30万吨聚乳酸目标进发。

在聚乳酸的高端应用上，在长春莲花山产业园，陈学思一口气布局了可吸收敷料、鼻腔止血材料、可吸收缝合线等六个医用产品，一期厂房建设已完成，设备正在安装，预计2024年内陆续投产。

一步步走来并不容易。“产业化验证阶段最需要经费支持，可此时外界对项目往往有诸多质疑，导致最需要经费时却拿不到，让人很头疼。”陈学思说。

陈学思为在中国科学院工作而感到幸运。在聚乳酸顺利产业化过程中，长春应化所每年持续提供的项目经费、中国科学院“科技服务网络计划”以及科技部、吉林省多个专项的支持，都为成果转化提供了坚强保障。

“一定要做好产业化。”陈学思内心笃定。从小目睹父亲为显影剂、合成橡胶、尼龙-11等项目产业化不断忙碌的陈学思，决心继承包括父亲在内的老一辈科学家的优良传统，怀着家国情怀带领团队接续奋斗，为中国创造一个更加绿色的未来。



聚乳酸生产厂房。

长春应化所供图 郭刚制版