

技术对经济发展的推动作用 ——回顾和展望

Dr. R.G. Arnold

(美国杜邦公司高分子产品部主任)

管志斌 孙燕慧 译

(北京大学化学系)

提要 罗伯特·阿诺德博士是美国杜邦公司高分子部的研究主任,主要负责高分子材料研究的长远规划、研究工作及实验中心的管理。阿诺德博士在工业界工作了近40年时间,在高分研究工作、产品开发等方面积累了丰富的经验。在本文中,作者精辟阐述了自工业革命以来技术对经济发展的促进作用,分析了材料科学,特别是高分子材料对经济发展的贡献,总结了作为有效技术的必要条件,提供了许多有价值的意见。

大约200年前的英国工业革命开始以来,欧洲、北美洲、日本的工业经济及太平洋沿岸的新工业化经济突飞猛进地发展,这表明,合理应用的技术将推动经济增长。

如今的经济学家们虽然承认技术的作用很大,他们仍很难真正理解并定量表示技术对经济增长的作用。笔者不是经济学家,所受的是做科学家应受的教育,所从事的事业属于科技领域。因此本文将通过对技术的质量、适应性及其应用途径的全面考察,就我们的工作与经济发展的关系提出一个科学家的看法。下面谈到的不是根据于对经济文献的研究,而是依据本人近40年参与技术开发应用过程的经验。美国可被看作一个人类大实验室,里面进行着许多社会和经济试验。在某种意义上讲,我是技术和经济领域的一名实验员。

笔者定义技术为科学知识在发展对社会有价值的产品或方法中的应用。科学是对化学、生物和物理等现象的研究,它是技术的

基础。有效地应用技术需要宽广的知识,也许更重要的是智慧。

笔者的经验是关于材料科学尤其是高分子科学的。材料科学是技术发展的基础,而我的专业聚合物连同金属、陶瓷一起扮演了主要角色。

历史学家告诉我们,人类可利用的材料已决定了其文明结构和经济模式。事实上,他们正是以人类发展每一特定阶段所使用的主要材料来命名人类不同的时代。如大家所熟悉的旧石器时代和新石器时代、青铜时代、铁器时代等。如今,变化来得太快,人们很难挑选有代表性的材料。笔者建议可称现在为材料科学的时代。

有两个例子说明技术对文明及其经济发展的重大影响。一是,可靠、有效的喷气式飞机的发展,使全球旅行成为现实……;二是,可靠、密集、轻质的固态电子系统的发现,使我们全球通讯网络成为可能。

喷气式引擎在商业航空事业发展中起了

关键作用,因为它有高度可靠性,可以由此设计象波音747这种能在最有效的亚音速速度区间运行的飞机。喷气式引擎这一概念很多年前就有记载,笔者曾发现一份近200年前的有关资料。然而直到发现制造轮机桨叶的高温钴合金以及高分子化学家发现燃料密封及高温运行下润滑系统所必需的氟橡胶之后,引擎的生产才能付诸实行。

现代喷气式飞机对全球经济发展贡献重大,因为它能在世界范围于数小时内将人和货物安全运送到遥远的地方,而这在100年前则需经过数月危险的行程方可。

当今,拥有卫星和光导纤维缆线的全球通讯网络已成为全球经济必不可少的一部份。约100年前,美国建立短途电话的人们就曾设想过这些。他们梦想有一天人们拿起电话拨一下号码就能同地球上任何地方的另一人交谈,今天梦已成为现实。而在当时,实现梦想所必需的技术不存在。1925年贝尔电话实验室成立,目的在于发展这项技术。结果发现了晶体管并发展了固态电子学——一项由材料科学促进的技术。这个发现为发展轻质、使用周期即使达不到几十年也有几年的高效电子系统打开了大门。紧接着,它使电子卫星中转站经济可行。结果,我们现在能在全世界范围内与人们交谈、发送传真文件及转播电视图像。

我用尽可能简单的字句概括上述例子,即现代航空及通讯系统确实依赖于由金属、陶瓷和高分子材料所制得的大量材料。所有这些材料需要在最低成本消耗下达到最佳性能。

图1说明了本文的主要论题——技术与经济发展。这张图很笼统、定性地描述了技术促进经济增长的途径之一——通过提高个体生产力。此图还表明了,能够生产出的商品的质量和复杂性的提高将给新的工业发展开辟道路,而新工业则支持并刺激经济增长。如上所述,喷气式飞机和固态电子学是

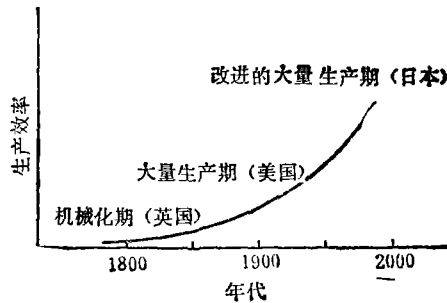


图1 制造技术的演进

两个实例,汽车是下边要讨论的又一个例子。

多少世纪以来,人类用手、脑,有时借助于动物如牛、马和水力、风力等来生产粮食和制造商品。约200年前,生产的机械化开始加速,蒸汽机开始当作多功能的能源使用,铁及后来的钢实际应用,且价格适当。英国,作为一个先行国家开始了所谓的“工业革命”。

约100年前,大量生产的技术在美国得以发展。该技术根源于以低成本大规模生产商品从而满足大量的市场需要的想法。这个想法的成功可以从以下事实得以证明,一是它被广泛地模仿,二是二次大战后美国经济占世界经济的一半。

日本人迈出了下一步。二次大战战败后,日本面临生存问题——出口商品或是灭亡。日本商人和技术专家们在美国顾问的帮助下研究了美国的市场、产品和生产技术,找出每一方面的薄弱环节并寻找途径进行改进。他们重新设计了许多产品,如汽车和电视机,使其使用更加方便;他们还改进了大量生产的技术,以提高产品质量并降低成本。凭着这些优势,日本占据了许多由美、欧企业开辟的市场。

如今日本已成为世界经济强国。美国经

济虽是1950年的3倍,也只占世界经济的27%了。在美、欧经济增长的同时,日本,尤其近年来,增长得更快,因为他们的生产力增长得很快,并且他们许多产品因比美、欧的质量好、功能多而对顾客更有吸引力。

至此,笔者强调了产品与生产技术。然而经济不仅仅是生产单位,它是以下各个机构的组合,如政府机构,提供监督和管理;研究和发展机构,其中包括大学、研究所和工业实验室,负责开发新科学知识及由之派生的新技术;生产机构,负责生产公众使用的具体商品;市场机构,负责研究用户需求和供应商品;服务机构,处理社会、医疗和人事问题;金融机构,掌握货币流通;还有,也许是最重要的,教育学院,它们传授给人们经营和管理所有机构所必需的知识,当然还希望传授智慧。如此纷繁复杂地安排人类活动需要有效而迅速地进行信息处理。

计算机技术使信息处理过程机械化,给该领域生产力带来了巨大发展。简单的机械计算器(如中国的算盘)已用了许多世纪。1940年第一台电子计算机在美国问世。此后,计算机的多功能性及效率迅速发展。制造技术和信息处理技术的结合将带来整体经济生产力的进一步巨大发展(图2)。

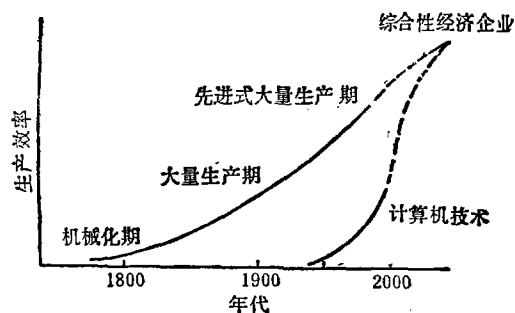


图2 处理生产和信息技术的演进

对于经济企业来说,只有生产对社会有价值的东西,才会成功和发展。为取得成

功,企业必须从多得惊人的数据中提取有用的信息,如图3所示。

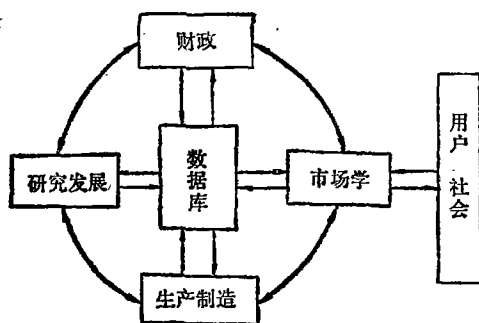


图3 整体化的经济企业

生产力与信息处理速度成正比。企业必须了解社会需求,选择最佳方案来满足这些需求——如发明新技术,最有效地使用资源,最后以最佳途径运送产品或服务于社会。信息处理技术提供了综合考虑构成一个经济企业的各种功能的方法,使企业能快速而准确地对动态社会不断变化的需求和兴趣作出反应。快速、准确地对社会需求作出反应是生产力的关键,后面还要谈到这一点。

一个具体例子是本世纪20年代开始迅速发展的汽车工业。汽车工业刺激了很大范围的工业材料技术的发展,对经济增长有重大影响。汽车是人人都想要的产品,有的是出于经济需要,有的只是为了舒适。

美国的亨利·福特抱着大市场和大规模生产的想法,生产出一种简易适用并以成千上万人能付得起的价格出售的T型汽车——在1908~1927年间该车售出1500万辆以上。汽车改变了美国经济,它带来了大批联合工业并充当了经济发展的催化剂。汽车工业消耗了大量的钢材和合金、织物、玻璃、电线、电池、轮胎及涂料等,同时也带来了汽油、润滑油、改善公路和修理服务行业的大量需求。随旅游的人数增多,旅馆和餐馆

需求量迅速上升。为满足这些扩大的工业,新材料的需求变得更突出而急迫。

在本世纪最初25年内,可用的材料总的说来不能很好地适合汽车的需要。仅以高分子材料为例,那时能用的弹性体只有天然橡胶。天然橡胶不耐烃类燃料和润滑油,并且在室外天气、阳光曝晒下很快老化。而汽车使用汽油和机油并且大部分时间在户外使用。天然橡胶做的皮管、动力传送带、车轮和防风雨密封垫等寿命短,需经常更换,有时费用很高。由天然橡胶和棉纤维做成的轮子不耐磨且经常突发故障。由棉、毛做的车座上的织物和车内的装饰物易脏易损坏。能用的涂料色彩有限,如T型汽车全是黑色的。

美国杜邦公司、英国皇家化学工业及德国法本工业等最先对这些材料需求作出响应。它们开始了宏大的聚合物研究项目并在本世纪30年代初到70年代初之间引入了一系列通用聚合物,这不仅使汽车工业而且使许多新技术和产品的发展成为可能,由此对美、欧及后来的日本等国的经济增长产生重大影响。

杜邦公司于1931年推出的氯丁橡胶是其中一个例子。氯丁橡胶是第一个重要的合成橡胶,其物理性质与天然橡胶相似,另外它还耐汽油、油和风雨。它立即被用于汽车及其它工业领域。例如,因其耐油、热和耐磨性能而成为动力传送带的优越材料,直至现在未被取代。尼龙于1938年由杜邦推出,它最初最主要的是用于服装。后来,因其韧性和耐疲劳性,用来制造轮胎的纤维。丙烯酸类涂料是40年代到50年代推出的,它更经久耐用并能制成各种色泽鲜艳的涂料,至今仍广泛使用。许多应用广泛的通用聚合物是在1930~1970年之间推出的。从图4,5,6中我们可以对那40年中推出的而今天正在使用的通用聚合物的种类有一总的概念。这里列的不全,但大多数主要产品都在内。涉及橡

胶和塑料技术的参考书将有较完整的总结。

如今已有许多种合成橡胶。1987年世界总产量达 9.7×10^6 吨(图4)。其最大用途在制造汽车和卡车轮胎,另外还可用于皮管、

丁二烯-苯乙烯共聚物
丁二烯-丙烯腈共聚物
顺式1,4-聚丁二烯
乙烯-丙烯-二烯共聚物
聚异丁烯共聚物
氯丁二烯橡胶
氯硫化聚乙烯
聚硅
氟弹性橡胶
其它

图4 人造高分子类别——弹性橡胶

(1987年全球总产量为 9.7×10^6 吨)

管道、密封剂、线和电缆的包皮、粘合剂及一般成型商品中。它们的最高使用温度从不饱和烃类橡胶的 100°C 到杜邦公司70年代推出的特种全氟橡胶的 300°C 。耐油和抗化学物质的性能范围较大,烃类橡胶基本上不耐油、不耐腐蚀,而全氟橡胶则几乎完全耐油耐腐蚀。

通用塑料品种比橡胶更多,并被广泛应用。1987年世界总产量达 86.4×10^6 吨(图5,6)。图5所列的约占塑料总产量的80%,它们价廉、易加工并具有良好的性能。

聚乙烯及其共聚物
聚丙烯及其共聚物
聚氯乙烯及其共聚物
聚苯乙烯
丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物

5图 人造高分子类别——塑料

(1987年全球产量为 86.4×10^6 吨)

聚甲基丙烯酸甲酯
聚乙烯和聚丁烯对苯二甲酸酯
聚碳酸酯
聚酰胺
聚缩醛
氟聚合物
环氧树脂
耐高温树脂(聚(酰)亚胺、聚砜、聚醚酮)

图6 人造高分子类别——塑料

图6所示的塑料一般较贵但具更优越的性能。其中许多在建筑、电器、电子及工业应用上找到了特殊应用。有些塑料很韧,许多抗溶剂和化学物质,有些可通过调配在300℃以上使用。

如果你认为高分子科学真是从本世纪20年代开始,笔者则可以将20~70年代划为高分子科学的诞生时期。在此期间,人们发现了大量如今很熟悉也很重要通用橡胶和塑料,并将它们介绍给工业和发明家们。那时,合成高聚物在世界上还是新东西,聚合物行为的理论知识还很有限,实际的试验占主导地位。除橡胶外,共混及复合聚合物应用很少,前者需经化学交联及增强技术处理后方可使用。鉴定高聚物精细结构的分析技术缺乏甚至没有。许多学院的科学家忽视了高分子科学,因为相对说来,高分子主要涉及些麻烦的实验问题。这期间的高分子科学主要在研究实际应用的工业实验室获得发展。

至少在初期,对性能要求很简单——通常只强调二、三种性质。实验室里的成功常带来市场上的成功。用户们急切地等待着新的更好的材料出现。和其它聚合物生产厂家一样,杜邦让其职员、工程师和科学家们与用户一起努力以更好地调整性能或改正材料加工过程中的错误来降低加工费用。某些情形下,发展新的加工成型技术是为了促进不适于现有工艺的新材料的使用。杜邦还发展了许多为有效使用主体聚合物所需的辅助剂,如抗氧剂、热稳定剂、增强填料、橡胶所用的交联剂,还有纤维所需的染料等。总的说来,这一时期产品更新本身就足够引起注意,我们与用户的协作较肤浅。

1920年到1970年期间,能用的材料与许多未满足的需求之间存在许多空白。对某些新材料,如果预想的应用开发失败,也许能找到其它通常没料到的用途。我们的经验是,最初关于应用的预测几乎全是错的。通常,

我们对已有的应用缺乏足够了解,不能预测新材料最可能的用途,而在此期间,许多依赖于新材料的技术发展起来并带来对新材料出乎预料的需求。所以,70年代前,我们发展材料的途径是基于一般意义上的需求,只有很少狭窄而特殊的目标。

到本世纪60年代、70年代,这种方式逐渐失效。许多基本的材料需求已得到填补,简单的应用已满足。渐渐地,对依赖于材料科学的技术提出了越来越特殊、精细的要求。诸如物理强度、抗溶剂和化学物质、耐热、耐气候等基本性能已认为是当然应具备的。新材料必须另外提供特殊的性能,如电或光学性能,柔韧性及耐疲劳性,对气、液及离子的选择透过性能,生物相溶性或控制降解性等等。这些简单的词涉及了复杂高分子科学的很大一部分内容。

从本世纪20年代以来高分子科学已迈出了一大步。如今,表征聚合物结构的分析技术已获很大提高,关于聚合物行为的理论知识也有了重大进展。计算机技术使我们能模拟聚合物的三维结构并可通过少量聚合物样品得出基本数据从而计算聚合物的性能。这样,聚合物科学就能更好地来解答当今用户提出的更难的课题。

现在需要有一个有效的途径来把用户和科学家联系在一起。旧技术按新的关系重新组合可以产生新思想、新技术。美国一些大学为促进创造和发明而成立了多技术研究中心。美国工业部门也开始进行联合研究与发展工作,以便将科学技能与各种应用技术结合起来从而获得大的发展而不是小的改进。这是将来的发展趋势。这将会发现许多具有特殊复合性能的新材料,金属、陶瓷和聚合物等。

聚合物在构造和包装应用上取代金属和玻璃的实例说明,如果一种材料(如塑料)取代一种旧材料(如金属)达10%,那么这一取代将会继续至50%甚至90%,这是一条

有效规则。塑料如今已取代了金属传统用途的10%以上。促使新材料使用的主要动力是经济利益,它可以提供更好的性能、更长的使用寿命或较低的成本,或者是其中几种性能的组合。塑料通常在这些方面优于金属。塑料成型技术常常给产品设计以较大的自由度并且生产成本较低。例如,设计一个金属产品,它通常由多部件经装配、固定(如焊接)而成;而同一产品若用塑料来做,则可经注射或吹塑一次操作而得。许多60年前用木材和金属制造的产品如今用塑料来做,它们既好又便宜。然而,若按预期的那样发展,塑料还必须达到高性能标准以满足精密构造设计需要。

作为结构材料的塑料必须硬且韧——就是说,同金属一样。塑料增强增韧技术已经并将继续取得发展。实验室已取得的结果表明尽管在实际大规模应用中还不可行,这些极限的性能指标是可以达到的。

杜邦及其它供应结构材料的公司,现在与汽车、航空及通用工程公司密切合作开发适合他们特殊要求的材料。他们正开发坚韧、高强的工程塑料和复合材料,这些材料以各种基质树脂(如环氧树脂、聚酰亚胺及聚芳酮等)为基础,与玻璃、碳及“kevlar”芳酰胺纤维复合而成。这些材料较复杂,应用时对性能和可靠性要求也较高。

塑料的第二步大发展是进入关键构件领域,如汽车的底盘或飞机的机翼。这些构件必须在高压下按预测的那样正常运行并高度可靠,任何失败都将会给这些交通工具上的乘客带来伤害甚至死亡。我们需要在受力情况下长时间考察塑料构件的性能,还要进行灵敏的无损检测以确证这些构件的可靠性,然后才能进入使用并在使用中检查性能的损耗。虽然没有理由认为这样的工作不会成功,但我们需要付出很大的努力。

聚合物在其它领域也找到了新的特殊用途。多少年来食品包装总是利用金属、玻璃

的防护性能。传统上,食物被存放于金属听或玻璃瓶中以隔绝光、氧、湿气、污染物并防止挥发损失。如今开发出的塑料材料不仅能满足以上的这些要求,而且因其成型技术成本低,运输时质量轻而给顾客带来很大的方便。这些材料可以作为轻质、柔软的薄膜使用,也可以是重的硬质结构材料。通常特殊屏蔽材料因为贵很少使用。如今许多包装利用专门的生产多层结构的机器来进行,组成包装层重量的主要成份是便宜的结构塑料——聚乙烯或聚丙烯——内层衬一薄层屏蔽塑料。杜邦已开发了一些由结构聚合物和屏蔽聚合物制成的特殊共混聚合物来作这些用途。这些共混物能用于不太复杂的成型仪器,一个有趣的例子是用来制造汽车油箱,它一是要安全——发生事故时不破裂,二能阻止燃料蒸气由于向大气扩散而引起大量损失。

许多其它技术领域也需要特殊设计的聚合物。当电子工业发展其技术能力时,它需要改进的塑料包装材料,如较好的介电性或电活性聚合物以及更好的光导材料。工业上聚合物膜于海水脱盐、河流污染的净化、炼油中气体的分离、氯气及苛性碱生产等方面的应用已开始增加。医疗行业也更多地使用特殊设计的聚合物作以下诸用途,如药物控制释放,病人血液的体外净化以及修复被疾病或伤害所损坏的身体部位等。

这些领域的技术都明确需要特殊设计的聚合物。无论聚合物科学还是这些技术领域都更加尖端化、复杂化。只有通过多学科队伍的密切协作才能取得进步,这种协作将给人类生产力、人类健康和幸福带来巨大收益。

很显然,技术对大家都很重要。英国及后来的欧洲各国、美国、日本等已利用技术取得了成就,并且已成为世界经济发展中的主要力量。但是,技术必须切合经济需要并及时应用才有价值。我们可以引证技术不切

合经济需要的例子。欧洲飞机制造商花费了巨额资金来发展超音速客机——协和式，这在技术上取得了重大成就，但在经济上是失败的，因为没有足够重要的经济用途值得花这么多钱。我们还可引证由于对新技术的重要性不理解而忽略它的情形。美国汽车制造商获悉了制造技术上的日本新方法，这些都不保密。事实上，美国顾问向他们解释了这些新技术。然而他们起初却没能领会到日本新技术的重要性，只到已失去了自己开辟的主要市场后他们才作出反应。最后，我们来看一个技术没有得到适时应用的例子。美国钢产工业旧而庞大。新的钢制造技术虽然知晓却未对其投资，结果这项技术被欧洲和日本采用。面对这些能提供价廉物优的外国对手，美国工业失去了曾经一度强有力的地位。

正如本文开始时所指出的，美国可看作一个大实验室，里面进行着许多社会和经济思想的试验。的确，在应用技术用来扩大并巩固国家经济方面，美国起到了一个开拓者的主要作用。作为一个参与其发展历程近40年的材料科学家，笔者讨论了从中获得的经验和教训。下面是几点结论及一些思考。

• 适用并及时应用的技术对经济增长有巨大影响

• 材料科学是许多技术的基本源泉
• 包括材料科学家在内的多学科科学家共同进行有目的合作才能带来技术上的重大进步

• 一个完整的经济企业必须确定合适的技术目标，发明并应用新技术；这样的企业其生产力将取决于它对来自内部外部信息的有效处理

• 随着全球经济事业的发展，各国经济越来越相互依赖

• 国际经济竞争加剧，但国际合作与协作也同样加强

• 随着经济事业越来越复杂，对受过教育的劳动力需求增加，教育事业的重要性随之提高

可以预料，全球经济事业及其相联的技术网络的进步，将会对社会、政治产生重大影响。

世界各国的经济越来越相互依赖，带来了在更高水平上的建设性的合作与协作。我们将成为努力增加社会财富的贸易伙伴，而不再是为争夺有限资源而竞争的对头。随着这一过程的展开，对受过教育的劳动力的需求变得越来越重要。因而，教育事业必将在将来起到更大作用。

Economic Growth: The Generation and Application of Technology ——Some Personal Reflections

Dr. R. G. Arnold

(Polymer Products Department E. I. du Pont de Nemours & Co., Inc.)

Summary Since the beginning of the Industrial Revolution some 200 years ago, science and technology have progressed at an ever increasing pace and the world's economy has grown remarkably. For the past 40 years as a material scientist I have participated in the generation and application of technology to an industrial economy. My talk will present some of my observations and

thoughts about that process.

Technology drives economic growth. During the past 200 years advances in manufacturing technology have not only increased man's productivity but also his ability to enter new, more complex technologies on a practical scale. Material science is one of technology's fundamental supports. Most technologies are materials dependent, often materials limited. Commercial jet aviation, the growing global communication network of satellites and fiber optics and the worldwide automobile industry depended upon metallurgy, ceramics and polymer science for their growth during the past 30—40 years. While metallurgy and ceramics have been known for centuries, polymer science emerged only in the past 60—70 years. Its effects have been profound and are projected to bring even greater changes in the future.

To be effective technology must be relevant, timely and properly applied. To meet these requirements requires the efficient processing of vast amounts of data in order to integrate society's needs and wants with man's scientific and technological capabilities and his material and human resources. Emerging computer technology is the path to efficiency in this field.

As the economies of the world continue to grow, nations will become more interdependent. While there is powerful and determined competition today in the world's economic arena, science, technology and economics are universal languages which drive increasing levels of cooperation and collaboration among nations.

学会通讯

著名化工专家吴祥龙先生逝世

化工部原科学技术委员会委员、北京橡胶工业研究设计院原副总工程师、高级工程师、中国化学会高分子委员会委员、《高分子通报》顾问吴祥龙先生因病于1989年7月31日九点十五分在北京逝世，享年84岁。吴祥龙先生浙江嘉兴人，1929年毕业于燕京大学化学系。曾在武汉大学、北平大学女子文理学院、河北医学院、北平中国大学担任讲师、副教授、教授等职务。解放后曾任天津橡胶研究所、北京橡胶工业研究设计院副总工程师、中国化学会《高分子通讯》编辑委员会委员、北京化工学会常务理事。1952年加入中国民主同盟并任天津市民盟常务委员会委员，当选为天津市第二、三届人大代表。

吴祥龙先生是老一代知名化工专家，长期从事橡胶科研、生产工作，为我国橡胶工业的发展作出了重要贡献。