

加快发展我国光固化涂料的生产和应用

Further Development of Domestic UV Curable Coatings and Its Applications

金养智(北京化工大学材料科学与工程学院, 北京 100102)

摘要:介绍了我国光固化涂料的生产现状,建议加快光固化涂料向光电子产品生产、汽车和航空航天器制造、食品包装印刷、建筑材料加工等行业进军,扩大应用领域。

关键词:光固化涂料; 塑料涂料; 光引发剂; UV光源

0 引言

光固化(UV)涂料是一种重要的辐射固化产品,它也是最早商品化的辐射固化产品。1968年德国拜耳公司首先研发了以不饱和聚酯和苯乙烯体系为材料的第一代光固化木器涂料,开创了辐射固化技术的产业化新时代。UV涂料作为涂料大家族中的一员新兵,具有众多的优点:

- (1) 节省能源,耗能约为热固化涂料的1/5~1/10;
- (2) 无溶剂排放,既安全又不污染环境;
- (3) 固化速度快(0.1~10 s),生产效率高,适合流水线生产;
- (4) 可涂装对热敏感的基材;
- (5) 涂层性能优异,如高光泽、硬度大、耐磨性好、耐刮伤性优异;
- (6) 所需设备体积小、占地面积少、投资较低等。

UV涂料作为一种节能、环保型的涂料,完全符合我国正在大力推行的节能降耗的低碳经济和环保减排的绿色经济政策,也是涂料行业积极鼓励和推广的环境友好、资源节约型涂料品种之一。因此,近年来UV涂料得到快速的发展,产量不断提高,品种不断增加,应用领域越来越广。

1 我国 UV 涂料生产现状

我国UV涂料产业产生和发展得益于改革开放。虽然20世纪70年代初,上海、天津、北京有关企业和高校曾经开展了光固化木器涂料的研发,但因UV涂料所用原材料缺乏,UV光源又未工业生产,所以没有实现产业化。进入80年代建材工业和印刷包装工业发展迅速,引进了多条地板加工、家具加工、PVC扣板加工和纸张上光生产线,都需要使用光固化涂料或光固化纸张上光油,由此推动了国内企业和科研院所、高等院校对UV涂料的研究研发。90年代,由于光固化原材料活性稀释剂、低聚物和光引发剂国内都开始生产,UV光源国内也已生产,使得UV涂料生产有了可靠的物质基础。跨进21世纪,随着我国国民经济进入高速、持续发展,我国UV涂料产业也同步快速发展,UV涂料年产量从2001年的15 245 t增加到2012年的55 367 t,12年间产量翻了2.67倍,表1为2001~2012年我国UV涂料生产统计。

从表1中可看到,国内光固化木器涂料仍是产量最大的UV涂料品种,2012年为23 190 t,占当年UV涂料总量的41.9%。这是因为我国已成为世界上最大的家具和地板生产国和出口国,家具和地板的涂装数量相应快速增加。同时,涂料行业在2010年制定了“涂料行业结构调整指导意见”,提出了涂料行业要重点发展水性涂料、粉末涂料、高固体分涂料、辐射固化涂料等环境友好型产品。2011年6月家具、地板行业10多家主要生产企业在北京钓鱼台国宾馆发表了“北京宣言”,提出要逐步减少使用溶剂型木器漆(当时家具行业溶剂涂料占95%,而环保型的水性涂料和UV涂料仅占5%),逐步用环保型水性涂料和UV涂料来替代溶剂型涂料,以减少VOC排放,降低对环境的污染。深圳等地还出台了改造溶剂型涂装生产线,上水性

表 1 2001~2012 年国内 UV 涂料产量统计

单位: t

应用领域	年份											
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
竹木	7 705	8 955	10 868	14 490	13 543	13 795	16 815	17 370	17 080	22 340	3 5105	23 190
纸张	4527	4 462	3 143	4 316	5 812	6 863	5 891	3 977	5 125	5374	6774	5 310
PVC	1 399	1 456	1 470	1 325	1 757	2 052	1 804	1 615	2 876	3 406	3 679	1 870
塑料	605	908	2 218	1 919	2 342	3 517	4 042	4 475	5 482	7 754	10 621	9 980
摩托车	592	380	760	800	666	860	768	657	725	760	1 083	1 000
家电	97	50	276	190	322	395	770	866	1 180	1 677	1 040	1 161
金属	320	80	222	33	71	121	490	332	610	1 275	763	650
手机				44	281	520	1 150	1 786	5 230	7 270	8 400	8 076
光盘				120	100	150	550	800	150	50	50	60
石材				20	30	36	30	30				
汽车					100	176					2 520	500
建筑						4	120	150	420	700		
光纤										81	1 952	2 900
其他		450	50	43				320	100	300	2 300	380
总计	15 245	16 741	19 007	23 300	25 024	29 027	32 530	31 938	38 978	51 987	75 187	55 367
产值/万元	51 707	50 402	65 634	88 285	91 407	106 982	129 749	132 077	175 320	243 343	312 781	304 567
统计企业数量	34	34	39	44	51	43	51	49	40	45	47	37

涂装生产线或 UV 涂装生产线。国家实施了在财政上给予补贴支持的政策,以加快淘汰污染环境的溶剂型涂料,推动环保型的水性涂料和光固化涂料的使用。光固化木器涂料也从早期单一用于木器涂装,发展到目前在木材、竹材、复合板材和各种人造纤维板材等基材上都能进行涂装;涂装工艺上已可以进行辊涂、淋涂和喷涂等各种涂装,并获得优良的涂膜性能,还可以进行彩色涂装;应用领域也从地板、板式家具,发展到木门、楼梯、厨柜、雕花家具等;加上涂装工艺又适合流水线生产,生产效率高,因此光固化木器涂料用量一直在增加。

光固化塑料涂料近年来增长较快,手机、家电、电脑部件、摩托车(包括电动自行车)、汽车部件等涂装都可以采用不同品种的光固化塑料涂料。2012 年各种光固化塑料涂料生产了 21 067 t, 占当年 UV 涂料总量的 38.0%, 仅次于光固化竹木涂料。我国手机、家电、电脑的产量现都为世界第一, 这些产品大多在生产线上涂装, 使用的材料又是对热敏感的各种塑料, 特别适合 UV 涂料的涂装。像手机涂料不仅要求美观, 由于使用频率高, 更需要耐磨性好, 而这正是 UV 涂料的特色, 所以手机表面涂装现在几乎都是使用光固化涂料。2012 年光固化手机涂料生产了 8 076 t, 占当年 UV 涂料总量的 14.6%。液晶电视、洗衣机、空调等家电和笔记本电脑的外壳, 不少都用光固化家电涂料涂装保护。这几年国内汽车和摩托车(包括电动自行车)生产发

展特别快速, 尤其是作为国家支柱产业之一的汽车工业所需的零部件, 如汽车车灯反光罩、灯罩、车内各种塑料件、保险杠、轮毂等涂装, 摩托车油箱、摩托车和电动自行车档风板的涂装, 都是 UV 涂料大显身手的地方。这几年车灯反光罩的工程塑料由 ABS 改为耐高温的 BMC 树脂(一种由玻璃纤维增强的不饱和聚酯复合材料), 原用的光固化反光罩涂料出现附着力不好的弊病, 经科研人员攻关改进提高后, 新的光固化反光罩涂料对 BMC 附着力优异, 取得了突破。为适应汽车数量增加而产生的碰撞、擦伤现象增加, 又研发了光固化汽车修补涂料, 具有修复时间短、性能好、价格低于热固型修补涂料等优点, 简单的碰伤与擦伤可实现当场修补、即时用车。目前也在积极推广中。UV 真空镀膜涂料是目前发展较快的 UV 塑料涂料品种之一, 不少化妆品金光闪闪的包装, 酒瓶瓶盖漂亮的装饰, 都是在 PC、ABS 等塑料上涂装光固化底漆, 经真空镀膜后, 再涂装光固化面漆而制得。由于光固化塑料涂料广泛的应用领域, 它的增长是必然的, 也是今后重点发展的品种。

光固化纸张涂料是国内最早研发应用的品种之一, 2012 年生产了 5 310 t, 占当年 UV 涂料总量的 9.6%。随着印刷包装工业的发展, 人们对产品包装美观的提高, 以及包装材料对耐水和耐刮伤性能的要求, 所以印刷品 UV 上光数量也在逐步增加, 高档的书刊封面、请柬、贺卡、挂历、画张和礼品、工艺品的包装大多采用 UV 上光或 UV

局部上光,以达到美化的效果;出口的纸质包装材料不少也要求 UV 上光,以提高抗水、抗潮性能。因此光固化纸张涂料需求量逐年上升,这也是推动 UV 涂料增长的一个重要品种。

光固化金属涂料也是国内正在研发和推广的品种,2012 年光固化金属涂料生产 650 t,仅占当年 UV 涂料总量的 1.2%。但金属也是当今社会应用最广泛的材料之一,大多数金属存在易腐蚀问题;有些金属的耐磨、抗划伤性能较差。因此采用涂料涂装,达到既美观又可以保护金属表面的双重目的。而光固化金属涂料作为金属涂料的重要品种,主要应用于钢材防腐、预涂金属卷材、印铁制罐、易拉罐加工、金属标牌装饰、金属装饰板制造、铝合金门窗保护、钢管的涂装保护等。以往钢管外表面的临时防锈一直使用以醇酸树脂等为基础的溶剂型防锈涂料,但它完全干燥需要 2 d 至一周的时间。钢管厂一般在钢管表面涂漆膜没有完全干燥时进行打包、搬运,容易对漆膜造成损伤,以致钢管在储运过程中生锈。而且由于涂料溶剂的挥发,不仅污染环境,还对生产工人造成健康伤害。国内部分企业已采用光固化钢管防锈涂料,既实现了对钢管的快速自动涂装,又无溶剂挥发,达到低碳、环保、安全、高效的目的。不久前,在中俄原油管道黑龙江穿越工程中,对几种新型管道防腐层保护措施进行了探讨,最终确定采用了光固化套外保护方案。

随着人民生活水平的不断提高,我国房地产获得迅猛的发展,需要大量优质的建筑材料,这也是 UV 涂料大有作为的地方。最早使用的 UV 罩光的 PVC 扣板,在城市里已很少应用,但因价廉物美,在广大的农村还很受欢迎,所以光固化 PVC 罩光清漆还有一定数量。2012 年光固化 PVC 罩光清漆生产了 1 870 t,占当年 UV 涂料总量的 3.4%。这几年 UV 涂料在石材、陶瓷、玻璃等建材上得到应用,开拓了 UV 涂料应用的新领域。石材、瓷砖、玻璃大多为平板材,特别适合 UV 涂装和 UV 固化。光固化石材涂料在抛光前作填充、修补、平整用,在抛光后作装饰、保护用,同时也可作修补涂料使用。陶瓷制品进行 UV 高光涂装,可产生釉质般的视觉效果,提高了陶瓷制品的档次。陶瓷地砖经 UV 涂装,可提高其耐磨、抗刮和防滑等性能。玻璃的 UV 涂装可赋予其许多功能:彩色涂装的玻璃是优良的装饰材料,用于建筑物的门窗、幕墙的装饰;隔热涂料涂装玻璃,可阻挡热量的传递,成为节能保温的窗玻璃材料;涂装耐磨涂料,可以增加玻璃容器的耐磨性和减少爆裂。现在,光固化石材、陶瓷、玻璃涂料国内都有生产。过去 UV 涂料由于有光引发剂存在,UV 固化后会有光引发剂残留在涂层内,不耐老化,易发生黄变,因此不能用于户外涂装。最近国内研发了光固化氟碳涂料,采用耐老化性能优异的 UV

含氟低聚物作主体树脂,光引发体系则以耐黄变光引发剂配合紫外吸收剂和受阻胺光稳定剂组合,达到了户外使用的要求,使 UV 涂料实现了从室内到户外应用,开辟了新的应用领域。

光纤涂料是 UV 涂料应用最成功、也是光固化速度最快的品种,快速的生产效率、优异的保护性能和光学性能,对光纤生产和使用发挥了重要作用。光纤的生产是将 2 000 °C 高温下熔融的石英拉丝成纤,降温至 150 °C 以下,马上涂覆 UV 光纤软涂料,经环形 UV 光源辐照固化,再涂覆 UV 光纤硬涂料并 UV 固化,达到保护光纤作用,最后涂覆 UV 光纤彩色涂料(有 12 种颜色),固化成一根光纤。由不同颜色的光纤用 UV 并带涂料结合成并带,再由几个并带组成光纤管,最后由光纤管组合成光缆。石英拉丝速度高达 1 000~3 000 m/min,因此 UV 固化采用惰性气体保护,以保证 UV 涂料完全固化。过去由于国内不能生产这几种光固化光纤涂料,光纤生产所用涂料全部依赖进口,近年来国内已成功研制生产出各种光固化光纤涂料,2012 年生产了 2 900 t,占当年 UV 涂料总量的 5.2%,正逐步替代进口产品。

2009 年国内烟草行业出台了烟包印刷不得含有苯系化合物的强制性标准,而烟包印刷大量使用多种 UV 涂料和油墨,当时生产烟包印刷用的 UV 涂料和油墨的原材料如活性稀释剂、低聚物和光引发剂都或多或少含有苯系化合物,无法达到标准的要求。为此,国内光固化原材料生产企业全面改进生产工艺,严格控制原料的苯系化合物含量,强化中间产物和最终产品的提纯,当年就研发并生产出了无苯活性稀释剂、无苯低聚物、无苯光引发剂,从而使 UV 涂料和油墨生产企业顺利地生产出无苯 UV 涂料和油墨,满足了烟包印刷的需要。烟包印刷用的无苯 UV 涂料和油墨生产,不仅使光固化原材料和光固化产品的质量提高到了一个新的水平,更反映了生产水平达到了一个新的高度,也为 UV 涂料和油墨今后向食品和药品包装印刷进军打下了牢固的基础。

虽然国内 UV 涂料生产发展很快,但应该看到 UV 涂料在国内涂料生产总量上所占比例还是很小,最多时的 2011 年 UV 涂料产量也只占国内涂料总量的 0.696%,相比国际上辐射固化产品占涂料总量比例一般在 1.7%~2.0%之间,还有很大差距(见表 2)。这一方面说明国内 UV 涂料的品种还较少,另一方面也反映了在推广应用上不足。因此我国 UV 涂料发展还有很大的潜力,很多品种还需要努力研发,现有的产品还需要不断提高质量,积极推广应用,使节能、环保、高效、优质的 UV 涂料能为国民经济高速发展和人民生活美满幸福发挥更大的作用。

国内 UV 涂料生产企业分布不均衡,主要集中在华东的江浙沪地区和华南的粤湘地区。2012 年统计的 37 家 UV

表2 我国 UV 涂料占涂料总产量的比例

产量	年份							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
涂料产量/万 t	404	507.8	597.2	638	755.4	966.6	1 079.5	1 271.9
UV 涂料产量/万 t	2.502	2.903	3.253	3.194	3.898	5.198	7.518	5.537
UV 涂料产量/涂料产量/%	0.619	0.572	0.545	0.501	0.516	0.538	0.696	0.435

涂料生产企业中,江浙沪二省一市有 14 家,占 37.8%,粤湘二省有 17 家,占 45.9%,北方和西部地区仅有 6 家,只占 16.2%。而且国内 UV 涂料生产企业绝大多数为民营企业,由于起步较晚,资金投入较小,所以规模和实力还不大。但这几年经过努力拼搏,加大投入,更新设备,创新研发,已经出现了近 10 家产值过亿元、产量达 2 000~3 000 t 的有一定生产规模和研发力量的生产企业,如惠州长润发涂料公司(木器)、佛山希贵光固化材料公司(木器、塑料)、江苏海田技术公司(木器)、苏州明大高分子科技材料公司(木器)、恒昌涂料(惠阳)公司(纸张、塑料)、湖南松井新材料公司(塑料)、上海飞凯光电材料公司(光纤)、上海长悦涂料公司(木器)、浙江上虞佑谦特种材料公司(塑料)、浙江龙游新迪高分子材料公司(塑料)等。

2 加快发展我国的 UV 涂料的生产和应用

在改革开放的国策指导下,我国国民经济获得高速发展,先后超过德国、日本,成为仅次于美国的世界第二大经济体。为了不牺牲环境,保持国民经济健康、快速、可持续的发展,国家出台了许多政策,坚决关停并转重污染企业和耗能大户,特别倡导环保减排的绿色经济和节能降耗的低碳经济,这也为节能环保型的 UV 涂料发展提供了机遇。

光固化技术的发展促进了光固化原材料和光固化产品的研发,新的 UV 光源、新的光固化技术和光固化涂装新工艺的使用,使 UV 涂料的新品种不断增加,UV 涂料的应用领域不断拓宽,因此,加快发展我国的 UV 涂料的生产和应用势在必行。除了在 UV 涂料传统的品种,如光固化木器涂料、光固化塑料涂料、光固化纸张涂料等领域继续扩大生产和应用外,还需在以下领域研发新产品,拓展新的应用途径,实现新的突破。

IT 产业、信息产业、影像技术产业是 UV 涂料首先进军的领域。因为光固化技术特别适合流水线生产,快速固化,生产效率高;又特别适合对热敏感的光电子产品加工,固化时温度低、时间短,使光电子元器件不受损害;作光电子产品的表面保护涂装时,硬度高,耐磨性优异,绝缘性和耐刮伤性又好。现在平板显示器(如液晶显示器 LCD、

等离子显示器 PDP)制造中的各种光学功能膜(如防反射膜、防眩光膜、背光源的扩散膜、触摸屏的抗划伤膜等),印制电路板 PCB 三防保护用的保形涂料,发光二极管 LED 和有机发光二极管 OLED、柔性太阳能电池的制造和保护都大量使用各种 UV 涂料。已研发的光固化有机-无机杂化纳米涂料透明度好、硬度高、耐磨,非常适合用在光电子产品的薄膜涂层上。正在兴起的印刷电子将是 UV 涂料新的增长点,采用印刷方式将 UV 涂料或油墨印刷到光电子器件上,实现绝缘、保护或功能化,提高了生产效率,降低了生产成本。此外,采用光与热、湿气、氧化还原等双重固化体系,解决了厚涂层、立体涂装涂层难以完全固化的弊病,使 UV 涂料更能适应光电子产品涂装的要求。由于光电子产品性能要求高,又是国外光固化产品掌控的领域,国内研发和生产的光固化产品要介入的难度很大,还需要做大量的工作。

汽车工业和航空航天工业是 UV 涂料今后发展的又一重要领域。汽车工业作为我国的支柱产业之一,近年来发展迅猛,我国的汽车生产量、销售量和保有量都名列世界前茅,UV 涂料已在汽车零部件加工中大量使用,并已在修补漆中开始应用。而国外现正向着飞机和航天器的涂装以及零部件加工和修补方向发展,采用机械手涂装和固化,充分发挥 UV 涂料涂装快速固化、性能优异、节能环保等特点。这也是国内光固化行业努力的目标。

民以食为本,我国 13 亿人口的食品和药品的需求是一个巨大的市场。目前市场上五彩缤纷、琳琅满目的食品包装都是通过不同的涂料和油墨印制而成。但食品和药品的包装印刷一直是 UV 涂料难易进入的领域,主要是因为 UV 涂料中的光引发剂在光固化后的残留与光引发剂的分解产物都为有机小分子物质,有的有气味,有的会迁移到涂层表面,造成对食品和药品的污染。2005 年在欧洲发生雀巢奶粉污染事件,就是因为包装用的 UV 印刷油墨中光引发剂 ITX 残留迁移而造成的。后经改用 IGM 公司和北京英力科技发展有限公司合作研发的大分子 ITX 作光引发剂制作的 UV 印刷油墨,进行雀巢奶粉包装印刷,就克服了以上弊病,使问题得到圆满的解决。2006 年美国食品药品监督管理局认定以大分子光引发剂的 UV 涂料和油墨,可用于食品药品的包

装印刷,这就为 UV 涂料和油墨开辟了一个崭新的、广阔的应用市场。现在国内外光引发剂生产企业纷纷推出大分子光引发剂、可聚合光引发剂,使生产的 UV 涂料和油墨能应用在食品和药品包装印刷中。2009 年,为适应国内烟草行业出台的烟包和食品包装印刷不得含有苯系化合物的强制性标准要求,国内光固化原材料生产企业全面研发并生产出了无苯活性稀释剂、无苯低聚物、无苯光引发剂,满足了烟包和食品包装印刷用 UV 涂料和油墨的需要。国内 UV 涂料生产企业应该在生产无苯 UV 涂料的基础上,选用大分子光引发剂或可聚合光引发剂,生产出符合食品药品包装印刷要求的 UV 涂料和油墨,实现向食品和药品包装印刷这个大市场的进军。另外,目前国内饮料用易拉罐和食品罐已有多条光固化涂装生产线,但主要使用进口 UV 涂料和油墨,因此逐步实现这一领域的国产化,也是今后向食品包装印刷进军的一个任务。

房地产研发作为国民经济又一个支柱产业势头迅猛,人们对居住条件要求越来越高,需用各种性能不同的建筑材料,而这些建材(塑料型材、玻璃、石材、陶瓷、水泥)等的表面装饰和保护,正是 UV 涂料发挥作用的领域,耐磨、耐污、隔热保温、防滑等性能都可用涂装 UV 涂料来实现。另外,UV 涂料向户外装饰用的建材涂装,也是一个新的应用领域。户外建材涂装的面积巨大,而且每隔 5~10 a 还要重新涂装一次,若采用光固化户外涂料,在白天阳光下涂装甚至可以不用 UV 光源,这也是一个很大的市场。在涂装工艺上,国内推出一种光固化涂层加热转印的新工艺来涂装建材。即把需要的图像采用 UV 涂料印刷在塑料薄膜上,然后用热转印的方式转移到建材上,完成建材的涂装。这样建材生产企业不用投资价格较贵的印刷设备,只要使用价格低廉的转印机就可进行涂装。而 UV 涂料生产企业除了生产 UV 涂料外,还可生产印有图案的光固化涂层塑料薄膜卷材。这几年国外推出一种“UV 固化现场施工”的新理念,将 UV 固化现有的机械流水作业生产方式向现场生产作业方式过渡。由于适应现场施工的涂装设备和移动式 UV 固化光源不断完善,使 UV 固化现场施工已从试用阶段进展到商业化应用。这种现场施工的生产方式,不但可以在新铺的石材、水泥、塑料地砖上涂装,还可以对破损的石材、水泥、塑料地砖进行修复,使 UV 涂料又有了一个新的应用领域。

“3D 打印”新技术给 UV 涂料带来了另一个发展机遇。3D 打印实际上就是快速立体成形技术和喷墨打印技术的结合,采用计算机控制喷墨打印方式把材料喷射出来,并逐层叠加立体成形,是一种数字化的“加成式”制造新技

术,而光固化 3D 打印是 3D 打印的一种最佳、最方便的方式。光固化 3D 打印技术类似于 UV 喷墨打印,是采用液滴喷射成形的快速成形技术。它需有二组喷头,在成形过程中,使用一组喷头喷射 UV 涂料,随即利用紫外光照射固化,逐层堆积成实体,另一组喷头喷射支撑材料,打印完毕后,去除支撑材料,得到需要的成品。该技术将喷射成形和光固化成形的优点结合在一起,提高了成形效率和精度,降低了成本。这里 UV 涂料不单纯是一种涂层材料,而是叠加成的实体材料,由原来的二维涂装发展成三维成形,拓宽了它的应用领域。虽然 3D 打印要实现真正的产业化还有一个较长的过程,但这种数字化的制造技术快捷方便、节省资源,符合制造业发展方向,具有巨大的生命力,应该引起人们的关注和重视。

最后,要提到一个新的 UV 光源——UV-LED 光源,这是一种半导体发光的 UV 新光源,可直接将电能转化为紫外光,具有体积小、质量轻、效率高、电压低、发热小、使用寿命长、安全性好、无臭氧产生、无汞污染等优点,是一种节能、环保型光源,也是 UV 光源的后起之秀。最早用于点光源,现在组合使用已有线光源和面光源,但输出功率达不到 UV 汞弧灯。而且 UV-LED 灯发射的 UV 光谱分布集中在一个窄带,目前主打产品最大吸收峰在 395 nm,带宽约 40 nm,因此与现有的许多光引发剂不匹配(它们的吸收峰主要在 254~330 nm 之间),影响了推广应用,现在主要用于光固化胶粘剂和油墨中,在 UV 涂料领域较少使用。但从节能环保角度考虑,UV-LED 比常用的 UV 光源(汞弧灯、金属卤素灯和无极灯)更优越,所以加快研发与 UV-LED 相匹配的 UV 涂料也是当务之急。

加快发展我国 UV 涂料的生产和应用任重而道远,也是我国光固化行业的一项义不容辞的任务,让我们齐心协力、开拓创新,为打造我国 UV 涂料生产和应用的一个崭新时代而努力奋斗。

参考文献

- [1] 辐射固化专业委员会. 2012 年辐射固化产品信息统计[J]. 辐射固化通讯, 2013, 68(3): 3-11.
- [2] 金养智. 2012 我国光固化涂料生产概况及发展[R]. 2012 中国涂料工业年鉴, 北京: 中国涂料工业协会, 2013: 169-172.
- [3] 施文芳. UV/EB 技术在中国的发展及其挑战[C]. 第二届国际辐射固化产业发展论坛, 合肥: 中国感光学会辐射固化专业委员会, 2012: 150-154.
- [4] 金养智. 光固化材料性能及应用手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010: 506-507.