

# 陕西省增材制造产业

---

## 专利导航报告

陕西省知识产权局

渭南市食品药品和知识产权服务中心

2023年3月

## 目 录

第 1 章	项目概述.....	1
1.1	技术简介.....	1
1.1.1	技术原理及概念.....	1
1.1.2	技术特点.....	3
1.1.3	重要意义.....	5
1.2	技术发展历程.....	6
1.2.1	国外发展历程.....	6
1.2.2	国内发展历程.....	13
1.3	增材制造产业发展概况.....	21
1.3.1	全球增材制造产业现状.....	21
1.3.2	中国增材制造产业发展状况.....	39
1.4	增材制造产业链.....	46
1.5	增材制造技术链.....	48
1.5.1	产业链上游.....	48
1.5.2	产业链中游.....	49
1.5.3	产业链下游.....	52
1.6	增材制造企业链.....	52
1.7	投资案例.....	56
1.8	增材制造相关政策.....	67
1.9	增材制造产业标准建设情况.....	72
1.9.1	已发布标准.....	72
1.9.2	正在批准.....	75
1.10	增材制造产业人才需求情况.....	76

<b>第 2 章 项目研究思路</b> .....	79
2.1 本项目的研究思路.....	79
2.2 专利检索.....	79
2.2.1 技术分解表.....	79
2.2.2 术语及定义.....	82
2.2.3 数据检索与处理.....	84
2.2.4 数据来源.....	89
2.2.5 数据处理.....	90
2.2.6 标准化申请人表.....	91
<b>第 3 章 增材制造产业专利概览</b> .....	92
3.1 专利申请趋势.....	92
3.1.1 全球专利申请趋势.....	92
3.1.2 中国专利申请趋势.....	94
3.2 专利区域分布.....	96
3.2.1 全球专利区域分布.....	96
3.2.2 中国专利地域分布.....	98
3.3 技术生命周期.....	100
3.4 技术点构成.....	100
3.5 国内外主要申请人.....	102
3.5.1 全球申请人排名.....	102
3.5.2 中国申请人排名.....	103
3.6 小结.....	104
<b>第 4 章 增材制造原材料专利分析</b> .....	105
4.1 增材制造材料分类.....	105
4.2 增材制造专用材料专利分析.....	105

4.2.1 专利申请趋势.....	105
4.2.2 技术点构成.....	107
4.2.3 地域分布.....	109
4.2.4 申请人排名.....	111
4.3 小结.....	113
<b>第5章 工艺及设备技术专利分析.....</b>	<b>114</b>
5.1 光固化成型技术.....	114
5.1.1 技术介绍.....	114
5.1.2 专利申请趋势.....	115
5.1.3 申请人排名.....	116
5.1.4 地域分布.....	118
5.2 选择性激光处理技术.....	120
5.2.1 技术介绍.....	120
5.2.2 专利申请趋势.....	122
5.2.3 申请人排名.....	124
5.2.4 地域分布.....	126
5.3 熔融沉积成型技术.....	127
5.3.1 技术介绍.....	127
5.3.2 专利申请趋势.....	130
5.3.3 申请人排名.....	131
5.3.4 地域分布.....	132
5.4 电子束熔化技术.....	134
5.4.1 技术介绍.....	134
5.4.2 专利申请趋势.....	139
5.4.3 申请人排名.....	140

5.4.4 地域分布.....	142
5.5 电弧增材制造技术.....	143
5.5.1 技术介绍.....	143
5.5.2 专利申请趋势.....	147
5.5.3 申请人排名.....	148
5.5.4 地域分布.....	150
5.6 小结.....	151
<b>第6章 陕西省增材制造现状分析.....</b>	<b>153</b>
6.1 产业基础.....	153
6.2 产业目标.....	153
6.3 产业主体构成.....	154
6.3.1 企业代表.....	154
6.3.2 高校院所.....	156
6.4 技术创新分析.....	159
6.4.1 专利保护情况.....	159
6.4.2 技术成果分布区域.....	161
6.4.3 技术分支.....	163
6.4.4 陕西省增材制造专利申请人排名.....	164
6.4.5 创新研究团队介绍.....	165
6.5 陕西增材制造产业定位分析.....	167
6.5.1 企业数量.....	167
6.5.2 发明人数量.....	169
6.5.3 各技术专利储备量.....	170
6.6 陕西省相关支撑项目.....	172
6.6.1 陕西省推进高质量项目建设行动方案.....	172

6.6.2 西安多举并行发展增材制造产业.....	173
6.6.3 其他陕西省增材制造产业动态.....	173
<b>第7章 结论与建议.....</b>	<b>175</b>
7.1 结论.....	175
7.1.1 欧美技术发源，中国后来居上.....	175
7.1.2 美国主导产业发展，我国仍处于成长期.....	176
7.1.3 激光熔化处理技术为主流，新的应用正在激活市场 .....	177
7.1.4 陕西省发展迅速，产业链更待完善.....	177
(1) 高端人才比较少.....	182
(2) 产业链不完善.....	182
(5) 核心元器件依赖进口.....	183
7.2 建议.....	184
7.2.1 立足现有创新资源，强化金属增材制造技术，加强专 利布局.....	184
7.2.2 加强原材料及核心元器件的研发，弥补产业链短板 .....	185
7.2.3 建立高端人才培养机制，打造增材制造中坚力量...186	
7.2.4 依托产业联盟和孵化基地等组织，强化产学研合作， 以“科技引领”推动产业高质量发展.....	187
7.2.5 加强下游应用拓展，融合产业链条.....	187
7.2.6 打造区域产业集群，培育优质企业.....	188
7.2.7 完善支撑体系，保障产业发展.....	189

## 第 1 章 项目概述

### 1.1 技术简介

#### 1.1.1 技术原理及概念

增材制造 (additive manufacturing, AM) 技术最初称为快速原型 (Rapid Prototyping, RP), 也称快速成型。是通过三维软件设计数据采用材料逐层累加的方法制造实体零件的技术, 相对于传统的材料去除 (切削加工) 技术, 是一种“自下而上”材料累加的制造方法。

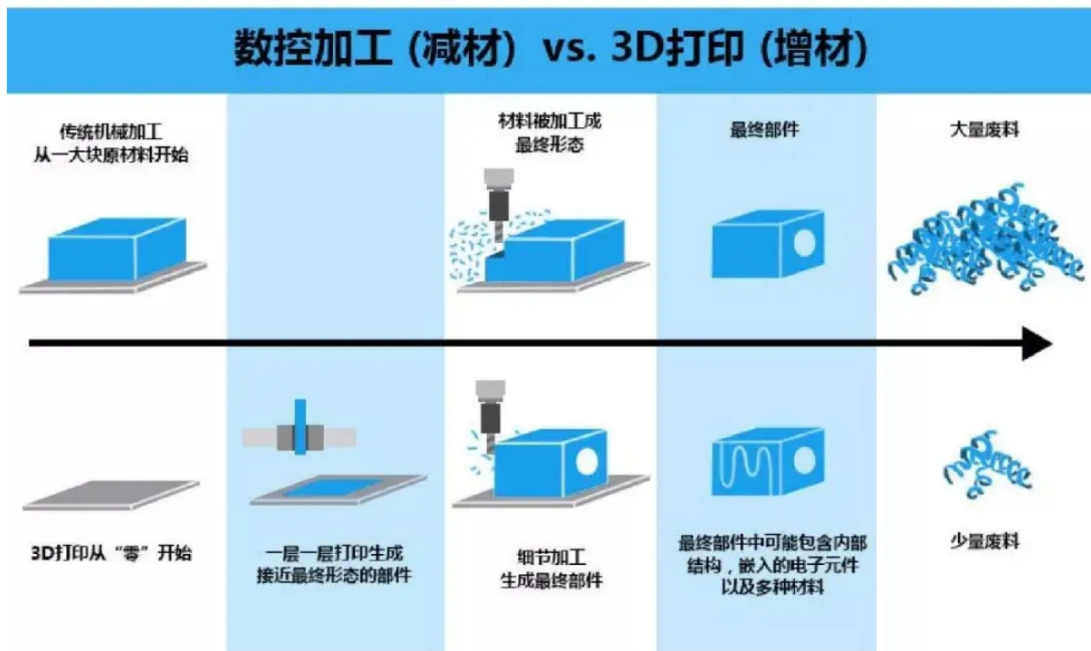


图 1-1 传统制造与增材制造对比

增材制造技术自 20 世纪 80 年代末逐步发展, 期间也被称为“材料累加制造” (material increase manufacturing)、 “快速原型” (rapid prototyping)、 “分层制造” (layered manufacturing)、 “实体自由制造” (solid free - form

fabrication)、“3D 打印技术”(3Dprinting)等。名称各异叫法分别从不同侧面表达了该制造技术的特点。其中,由麻省理工学院在1995年提出的“3D打印”这一通俗形象的表述,成为传播最广泛的一种。因此,在一些常见的研究报告或者新闻报道中,会用“3D打印”技术来指代增材制造技术。

早期的快速原型技术由于受材料、工艺以及设备性能等限制,所擅长处理的材料只限于树脂、蜡、某些工程塑料和纸等几类,所成型的实体强度和精度都与实际应用要求有较大的差距(包括非金属件及金属件),因此一般只应用在产品开发过程,用于制造物理原型件,即RP最初是作为复杂形状构件原型的成型方法出现的,这就是“快速原型”概念的来由。尽管如此,由于该技术能在无需准备任何模具、刀具和工装卡具的情况下,直接根据产品三维数据,快速制造出新产品的样件、模具或模型,从而大大缩短零件的加工周期并降低产品的研制成本,对促进企业产品创新、提高产品竞争力有积极的推动作用,因此,快速原型亦被称为快速成型。



图 1-2 增材制造技术名称演变过程

但是,近年来,随着快速原型设备技术的逐步升级,越来越多的材料能被处理,而且成型件的力学性能越来越好,精度也越来越高,快速原型技术逐渐具备了直接制造功能性零件的能力。于是,采用快速原型这一术语已不足以表达这种制造方法的最新应用了。

2009年，美国材料与试验协会（ASTM）F42国际委员会提出了新的术语，对增材制造和3D打印有明确的概念定义。这一术语就是增材制造（Additive Manufacturing, AM）。

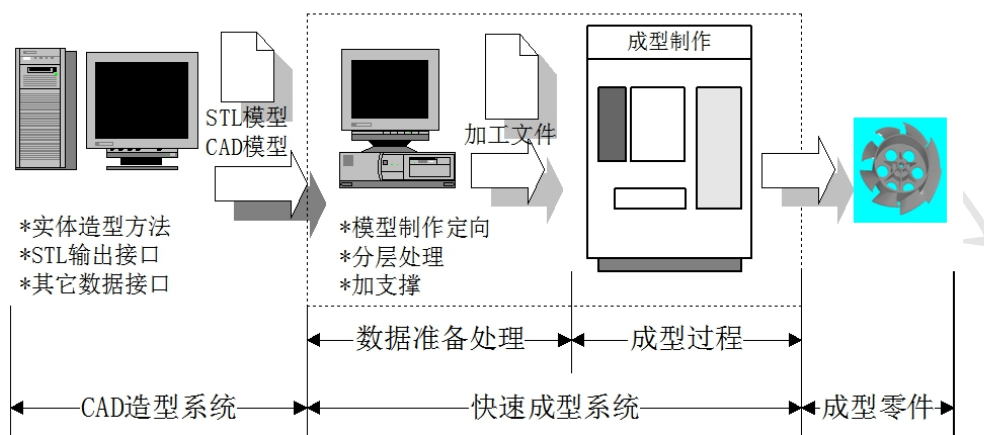


图 1-3 增材制造工艺过程示意图

美国《时代》周刊将增材制造列为“美国十大增长最快的工业”，英国《经济学人》杂志则认为它将“与其他数字化生产模式一起推动实现第三次工业革命”，认为该技术改变未来生产与生活模式，实现社会化制造，每个人都可以成为一个工厂，它将改变制造商品的方式，并改变世界的经济格局，进而改变人类的生活方式。

### 1.1.2 技术特点

增材制造这种以数字模型为基础，将材料逐层堆积制造出实体物品的新兴制造技术，体现了信息技术与先进材料技术、数字制造技术的深度结合，正深刻影响着传统工艺流程、生产线、工厂模式和产业链组合，是先进制造业的重要组成部分，已成为世界各国积极布局未来产业发展新的增长点，其主要具有以下特点：

(1) 无模具快速自由成型，制造周期短，小批量零件生产成本低。

增材制造技术因为只需要有加工原料和加工设备就能够进行产

品加工，不需要机械加工和工装模具，可以实现一次成型，节约了零件的不同工序加工和组装消耗的时间，进行单件小批量的生产时，增材制造的成本低。传统加工制造需要原料采购、准备，并且加工过程中还需要不同工序的轮换加工，加工完后还需要进行零件的组装等等，而这无形之间延长了产品的生产周期，同时也不经济。

### **(2) 零件近净成型，机加余量小，材料利用率高。**

增材制造技术因为是一次成型，“自下而上”的“分层制造、逐层叠加”而成型的，材料的损耗大部分是用于对模型成型的支撑上，而绝大部分材料是应用于模型的成型上。因此，增材制造相比传统减材制造更加的节省原料，也更加的节约能源，因此更经济些，材料利用率也更高些。

### **(3) 激光束能量密度高，可实现传统难加工材料。**

激光具有的相干性好、单色性好、方向性好和亮度高的特点，尤其是其高能量束能够在很短的时间将温度升高到数千度，在此温度下绝大部分的金属都能够被融化加工成型。因此，传统的难加工材料如 38CrMnSiA、TC4 等，都可被加工制造出来。

### **(4) 加工的零件结构性强度更高、加工应力集中更小。**

增材制造技术采用的是一体化制造成型技术，相比由零件间组装成的整体部件具有更强的刚度和稳定性。另外，增材制造采用的分层制造、逐层叠加的成型技术，在每一片层凝结成型时，已经将成型应力释放，因此制造的零件没有应力集中或者应力集中现象很少。当然，增材制造技术还有很多其他方面的优势，比如可实现多种材料任意复合制造、加工效率高、不受零件复杂外形限制等。

**(5) 可实现个性化制造。**理论上，只要是计算机建模设计出的造型，增材制造设备都可以打印出来。一方面，计算机建模不同于

实体制作，可实现尺寸、形状、比例的实施修改，大大方便了个性化产品的制作。另一方面，利用计算机建模能得到一些传统工艺不能得到的曲线，这将使增材制造产品拥有更加个性化的外观。

**(6) 材料加工多样性。**随着增材制造技术的发展，专用材料种类逐渐增多，其多样性满足不同领域的需求，极大地拓宽了增材制造技术的应用领域。

### 1.1.3 重要意义

2013年，美国强调了增材制造的重要性，称其将加速美国经济增长。麦肯锡全球研究院的研究指出，增材制造相对于其他制造技术的独特优势可能会为许多行业带来设计、开发、生产和技术支持方面的深远影响。随着新一代信息技术与制造业的深度融合，新工业革命正在开启经济发展新空间，引领传统产业和新兴产业加速融合。增材制造作为制造业有代表性的颠覆性技术，体现了信息技术与先进材料技术、数字制造技术的深度结合，正对传统的工艺流程、生产线、工厂模式、产业链组合产生深刻影响，催生大量新产业、新业态、新模式，是推动新一轮工业革命的关键性技术。

增材制造理念能够颠覆传统设计制造模式。增材制造技术可将虚拟的数字三维模型直接转化成物理实体，在设计阶段对产品进行“微分”，而在制造阶段进行“积分”。从而摆脱传统制造技术、工艺的限制，无限放大新产品的设计和创意空间，推动实现“设计即生产”“设计即产品”的创成式设计，推动我国制造业从制造导向转为设计导向，实现中国创造的“功能性优先”。

增材制造装备能够打破数字世界和实体世界的界限。随着新一代信息通信、物联网、人工智能与增材制造技术的深度融合，增材

制造装备将成为通信、数字、制造技术的关键节点和集中载体。增材制造装备具备数据收集、分析处理及存储能力，结合工业互联网、云平台等新型工业基础设施，可集成并利用 IT 技术尤其是数字双胞胎技术实现信息物理系统（CPS）与真实物理空间映射，在产品的全生命周期中进行规划与控制，可实现智能制造、绿色制造、分布式制造等新业态、新模式，逐步成为新一轮工业革命中的先进生产力。

大力发展增材制造产业是我国制造业实现换道超车的重要途径。当前我国制造业大而不强、竞争力相对较弱的问题较为突出，在目前复杂的国际环境中处于不利地位。我国制造业应该依托完备的工业体系，基于增材制造思维，推动“增材制造+制造业”融合升级，培育新业态、新模式及新产业，引领新一代工业革命。

## 1.2 技术发展历程

### 1.2.1 国外发展历程

3D 打印起源于 19 世纪末的美国，由美国研究的照相雕塑和地貌成型技术开创的 3D 打印核心思想。1986 年，世界上第一家生产 3D 打印设备的公司 3D Systems 成立，自此，美国开始涌现出多家 3D 打印公司。美国《时代》周刊将增材制造列为“美国十大增长最快的工业”，英国《经济学人》杂志则认为它将“与其他数字化生产模式一起推动实现第三次工业革命”，认为该技术改变未来生产与生活模式，实现社会化制造，每个人都可以成为一个工厂，它将改变制造商品的方式，并改变世界的经济格局，进而改变人类的生活方式。



图 1-4 全球增材制造技术发展历程

如图 1-4 所示为全球增材制造技术的发展历程。

1892 年到 1988 年属于初期阶段。从历史上看, 很早以前就有

“材料叠加”的制造设想，1892年 JE. Blather 在他的美国专利（#473901）中，曾建议用分层制造法构成地形图。这种方法的原理是，将地形图的轮廓线压印在一系列的蜡片上，然后按轮廓线切割蜡片，并将其粘结在一起，熨平表面，从而得到三维地形图。1902年，Carlo Baese 在他的美国专利（#774549）中提出了用光敏聚合物制造塑料件的原理，这是现代第一种增材制造技术—立体平板印刷术（Stereolithography）的初步设想。1940年，Perera 提出了在硬纸板上切割轮廓线，然后将这些纸板粘结成三维地形图的方法。20世纪50年代之后，出现了几百个有关增材制造的专利，其中 Paul Dimatteo 在他1976年的美国专利（#3932923）中，进一步明确地提出：先用轮廓跟踪器将三维物体转化成许多二维廓薄片，然后用激光切割这些薄片成形，再用螺钉、销钉等将一系列薄片连成三维物体。

1988年到1990年属于快速原型技术的阶段。1988年，美国3D Systems公司推出世界上第一台商用快速成型机—立体光刻SLA-1（SLA-Stereolithography Apparatus）机，成为现代增材制造的标志性事件，全球进入增材制造时代。此后，涌现出多种制造工艺，诞生了Helisys、Stratasys、DTM等著名的增材制造企业。

1990年到现在为直接增材制造阶段，主要实现了金属材料的成形，分为同步材料送进成形（LSF）和粉末床选区熔化成形（SLM）。

1991年，美国Helisys公司Michael Feygin研发的叠层实体制造（Laminated Object Manufacturing, LOM）技术获发明专利。同年，Helisys公司售出第一台叠层实体制造系统。

1992年，美国DTM公司基于激光选区烧结（Selected Laser Sintering, SLS）工艺的工业级装备—Sinterstation研发成功，

实现了粉末床熔融工艺的产业化。DTM公司于2001年被3D Systems公司收购。2001年，Stratasys公司Scott Crump申请的熔融沉积成形(Fused Deposition Modeling, FDM)专利-“Apparatus and Method for-Creating Three Dimensional Objects”(专利号US5121329A)获得授权，同年推出第一台基于FDM技术的增材制造设备-3D Modeler，标志着FDM技术步入了商用阶段。

1993年，美国麻省理工学院Emanuel Sachs教授提出的三维立体打印(ThreeDimensional Printing, 3DP)技术获得专利。同年，Emanuel Sachs团队开发出基于3DP技术的增材制造设备。1997年成立Z公司，并结合传统的SLS技术，推出Z系列的3DP设备。Z公司随后成为该领域的领导者。2012年，Z公司被3D Systems公司收购。

1994年，德国EOS公司推出了EOSINTP350系统，成为世界上第一个能够提供SLA和SLS装备系统的公司。

1995年，德国弗朗霍夫激光技术研究所(Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT)提出激光选区熔化(Selected Laser Melting, SLM)技术构想，随后获得专利授权。2003年，英国MCP集团公司下属的德国MCP-HEK分公司(后更名为SLM Solutions)推出第一台SLM设备。SLM技术和直接金属激光烧结(Direct Metal Laser Sintering, DMLS)技术其实是SLS技术的延伸，区别在于SLM技术使用的材料为单一金属粉末，而DMLS技术使用的材料为两种或两种以上混合金属粉末。

1996年，3D Systems公司使用喷墨打印技术制造出第一台3DP装备-Actua2100，同年，美国Z公司发布Z402型3DP装备。

2000年前后，美国克莱姆森大学(Clemson University)、密

苏里大学 (University of Missouri)、德雷塞尔大学 (Drexel University) 等提出“生物 3D 打印”概念。2003 年, V. Mironv 和 T. Boland 在 Trends in Biotechnology 杂志上系统提出“器官 3D 打印”的概念。2015 年 10 月 10 日, 美国 Regenovo 公司推出第三代生物 3D 打印工作站, 成功批量“打印”出肝单元用于药物筛选。

2002 年, 德国成功研制 SLM 增材制造装备, 可成形接近全致密的精细金属零件和模具, 其性能可达到同质锻件水平。同时, 电子束选区熔化 (ElectronBeam Selective Melting, EBSM)、激光近净成形 (Laser Engineered Net Shaping, LENS) 等一系列新技术与装备涌现出来。

2005 年, Z 公司推出全球第一台彩色增材制造设备—Spectrum Z510, 标志着增材制造从单色开始迈向多色时代。

2009 年, 美国材料与试验协会成立增材制造标准委员会 F42, 下设试验方法、设计、材料和工艺、人员、术语等分委员会, 开始进行增材制造技术标准的研究工作。

2010 年, 美国 Organovo 公司研制出全球首台生物 3D 打印设备, 使得 3D 打印人体器官成为可能。同年, 美国 GE 公司开始布局增材制造技术。

2011 年, Stratasys 公司收购 Solidscape; 桌面级增材制造设备收入增速首次超过工业级设备; 全球首例 3D 打印金属下颌骨植入手术成功实施。

2012 年, 英国 The Economist 杂志刊文评价: 增材制造技术将推动第三次工业革命。美国提出“重振制造业”战略, 将“增材制造”列为第一个启动项目, 成立了国家增材制造创新中心

(National Additive Manufacturing Innovation

Institute, NAMII) 同年,

Stratasys 公司和 Objet 公司完成行业内最大规模合并; GE 公司收购增材制造技术公司 Morris Technologies。

2013 年, 美国强调增材制造的重要性, 推动了增材制造的发展。各大企业纷纷加速布局增材制造产业, 扩张势力版图。2013 年, 3D Systems 公司收购法国增材制造企业 Phenix Systems; Stratasys 收购 Makerbot。同年, Solid Concepts 公司设计制造了全球首支增材制造金属枪; Nike 公司推出全球首款增材制造运动鞋。2013 年 2 月美国麻省理工学院成功研发四维打印技术 (Four Dimensional Printing, 4DP), 俗称 4D 打印, 无需打印机器就能让材料增材制造的革命性新技术, 在原来的 3D 打印基础上增加第四维度——时间, 可预先构建模型和时间, 按照产品的设计自动变形成相应的形状, 关键材料是记忆合金, 四维打印具备更大的发展前景。2013 年 2 月美国康奈尔大学打印出可造人体器官。

2014 年, HP 公司发布多射流熔融 (MJF) 技术。

2015 年, 欧盟发布《增材制造标准化路线图》, 规范增材制造技术在发展战略中的位置及方向; Materialise 公司开始为空客 A340 XWB 飞机供应增材制造部件; Stratasys 公司合并 RedEye、Harvest Technologies、Solid Concepts 公司, 布局按需制造服务; 3D Systems 公司收购中国无锡易维模型设计制造有限公司, 创建 3D Systems 中国公司。同年, 佳能、理光、东芝、欧特克、微软等巨头纷纷涉足增材制造领域。

2016 年, GE 公司收购增材制造巨头 Concept Laser 75% 的股份和 Arcam 76.15% 的股份; 以色列 XJet 公司发布纳米颗粒喷射成形金属打印设备; 哈佛大学研发出增材制造肾小管; Carbon 公司

推出首款基于连续液态界面制造技术（Continuous Liquid Interface Production, CLIP）的增材制造设备；医疗行业巨头强生公司与 Carbon 公司合作进军增材制造手术器械市场。

2017 年，美国食品药品监督管理局（Food and Drug Administration, FDA）发布《3D 打印医疗产品技术指导意见》。同年，美国海军部公布使用区块链来控制增材制造设备的计划；HP 公司宣布将“增材制造专业化”（HP Partner First）计划进行扩展，加快增材制造全球布局步伐，抢占增材制造市场。

2018 年，GE 公司发布的增材制造装备成形尺寸达到 1.1mx1.1mx0.3m（Z 轴可扩展至 1m，甚至更长），推动铺粉式金属激光增材制造成形进入“米”级时代；德国 EOS 公司、SLM Solutions 公司等推出四激光系统的新型装备，可大幅提升打印效率。同年 6 月，美国 America Makes 与美国国家标准协会（American National Standard Institute, ANSI）合作发布《增材制造 2.0 新标准化路线》。

2019 年，生物增材制造领域取得全球瞩目的技术进展。以色列特拉维夫大学（Tel Aviv University）增材制造出全球首个含人体组织和血管的 3D 心脏；美国莱斯大学（Rice University）与华盛顿大学（University of Washington）制造了一个水凝胶增材制造肺模型，它具有与人体血管、气管结构相同的网络结构，能够像肺一样向周围的血管输送氧气，完成“呼吸”过程。

2020 年，通用汽车公司（GM）新增加 17 台 Stratasys FDM 增材制造设备，并称“速度、重量减轻和成本效益”是该设备的主要优势。GM 将这些设备均投入生产呼吸机所需的工装夹具的生产当中，以保障 2020 年 9 月前向美国卫生部生产并交付 3 万台重症监护呼吸

机。

2021年1月，Desktop Metal公司以3亿美元收购EnvisionTEC公司；3月，福特与惠普合作，使用回收的3D打印粉末和部件生产注塑汽车部件。同年，大众汽车公司，惠普和西门子将金属粘合剂喷射3D打印技术融合到汽车生产中。

### 1.2.2 国内发展历程

1989年年初，清华大学机械系批准颜永年教授关于开展快速原型制造（Rapid Prototyping Manufacturing, RPM）技术研究的建议和申请，开始了分层（切片）算法的研究，并成立清华大学激光快速成形中心。颜永年教授在1990年和1991年邀请美国德雷塞尔大学（Drexel University）教授Jack Keeverin来华访问讲学，介绍快速原型制造技术，拉开了我国增材制造技术发展的序幕。1994年研制出我国第一台快速成形实验机，实现LOM工艺；1997年研制出我国第一台FDM设备；1995年清华大学主办了第一届全国快速成形制造学术会议；1997年在中国机械工程学会特种加工分会下成立快速成形技术委员会，颜永年为主任委员；1998年，该委员会主办了第一届快速成形国际会议。

1990年，国内第一家增材制造公司—北京殷华快速成形模具技术有限公司成立；1991年，华中科技大学成立快速制造中心；1994年成功研制出国内第一台基于薄材纸的LOM样机；1996年，武汉滨湖机电技术产业有限公司依托华中科技大学成立；1998年，华中科技大学开始开展SLS技术和SLM技术的研究工作。

1992年，西安交通大学卢秉恒教授在美国密歇根大学（University of Michigan）访问期间发现增材制造技术在汽车制

造业中的应用，随后卢秉恒团队在国内开拓光固化快速成形制造系统研究，开发出国际首创的紫外光快速成形设备。

1993年，国内首台工业级 SLS 设备样机研发成功，并于 1994 年获得专利。

1994年，西安交通大学成立先进制造技术研究所。1997年，西安交通大学成立陕西恒通智能机器有限公司（简称恒通），并售出了国内第一台 SLA 增材制造设备。

1995年，西北工业大学提出了基于激光熔覆工艺的增材制造技术构想，并开展相关基础研究。

1996年，北京隆源自动成型系统有限公司的第一台商品化 SLS 增材制造设备 AFS-300 销往北京航空材料研究院，并成功应用于军用航空新产品的开发。

1997年，清华大学研发的 LOM 设备和多功能快速成形设备销往泰国某公司，实现了我国增材制造设备的首次外销。

1998年，清华大学将增材制造技术引入生命科学领域，提出“生物制造工程”学科概念和框架体系，并于 2001 年研制出基于热致相分离的低温沉积成形工艺，实现了具有分级孔隙结构的可降解大段骨修复组织工程支架的增材制造。

2000年，北京航空航天大学瞄准大型飞机、航空发动机等国家重大战略需求，开始攻关激光增材制造技术，随后在国际上首次全面突破相关关键构件激光成形工艺、成套设备和应用关键技术。

2001年，清华大学完成我国第一台双激光大型 LOM 设备和工艺的研究，实现了 1400mm 的汽车保险杠的 LOM 原型制造，开创了我国多激光协同扫描的增材制造技术。同年，清华大学开发的无模铸型制造（PCM）实现了第一个铸造砂型的增材制造。2003年，通过与

佛山水泵厂的合作，实现了增材制造铸造砂型的第一次成功铸造，铸造的零件是一个水泵铸铁叶轮。

2002年，清华大学多功能快速成形制造系统（M-RPMS）获国家科学技术进步奖二等奖。

2003年，清华大学实现了激光直写驱动细胞打印和细胞连续挤出打印，并开始探索细胞三维结构体的打印技术。同年，清华大学开始自主研发电子束选区熔化（EBSM）技术及装备。

2004年，清华大学开发出基于明胶基预凝胶化的分步复合交联工艺和细胞受控组装实验系统，实现了三维细胞结构体的增材制造构建，开创了我国细胞三维打印的先河。

2005年，北京航空航天大学王华明教授团队成功实现三种激光快速成形钛合金结构件在两种飞机上的装机应用，使我国成为世界上第二个掌握飞机钛合金结构件激光快速成形装机应用技术的国家。

2005年6月，在美国国家科学基金会（NSF）和我国国家自然科学基金委员会（NSFC）、中国机械工程学会（CMES）的联合资助下，在清华大学举办了第一届生物制造国际研讨会，邀请中美双方各15名学者，在清华大学交流研讨生物制造这一新兴交叉领域的最新进展，并展望未来的发展。

2010年，北京太尔时代科技有限公司（简称太尔时代）自主开发的桌面型个人三维打印机UP系列实现国内外销售，产品在2012年12月被美国Make杂志评选为年度最佳三维打印设备。

2012年，王华明教授凭借“飞机钛合金大型复杂整体构件激光成形技术”项目获得国家技术发明奖一等奖，我国成为世界上唯一掌握大型结构关键件激光成形技术的国家。

2013年，工业和信息化部开始酝酿增材制造顶层设计和统筹规

划；科技部首次将增材制造纳入《国家高技术研究发展计划（863计划）、国家科技支撑计划制造领域2014年度备选项目征集指南》。

2014年，先临三维科技股份有限公司（简称先临三维）在“新三板”挂牌（股票代码：830978），成为我国第一家在“新三板”上市的增材制造企业。

2015年，国务院印发《中国制造2025》，我国加快增材制造技术和装备的研发、应用，建设增材制造创新中心。同年，工业和信息化部、国家发展改革委、财政部联合发布《国家增材制造产业发展推进计划（2015—2016年）》。

2016年，中国增材制造产业联盟成立，同年，全国增材制造标准化技术委员会获批成立，国家增材制造创新中心批复筹建。科技部“十三五”国家重点研发计划项目“增材制造与激光制造”重点专项启动，第一批项目立项。



图 1-5 中国增材制造产业联盟成立大会

2017年，中国增材制造大会暨展览会在浙江杭州成功举办。同年11月，工业和信息化部、国家发展改革委等十二部门联合印发《增材制造产业发展行动计划（2017—2020年）》，国家政策密集发布，推动增材制造产业发展。

2018年，国家食品药品监督管理总局医疗器械技术审评中心发布《定制式增材制造医疗器械注册技术审查指导原则（征求意见稿）》，增材制造医疗器械临床应用和上市审查提上日程。同年，西安赛隆金属材料有限责任公司的电子束金属增材制造装备与等离子旋转电极制粉装备获得欧盟CE认证；深圳光华伟业股份有限公司（eSUN易生）的eTPU98A线材通过美国FDA认证；飞而康快速制造科技有限公司的齿科用钛合金粉末首获国家食品药品监督管理局产品注册认证及生产许可证等。

2019年，国家药品监督管理局、国家卫生健康委员会发布《定制式医疗器械监督管理规定（试行）》，该规定的发布将进一步鼓励定制式医疗器械的创新研发，规范和促进行业的健康发展，满足临床罕见特殊个性化需求，有力保障公众用械安全。同年6月科创板开板，西安铂力特增材技术股份有限公司（简称铂力特）成为第一家科创板上市的增材制造企业，也是首批“科创板”上市企业中唯一一家增材制造企业。

2020年5月，我国完成首次太空增材制造实验，也是国际上首次在太空开展连续纤维增强复合材料增材制造实验，该实验由我国自主研发的复合材料空间增材制造系统完成蜂窝结构（代表航天器轻量化结构）和CASC（中国航天科技集团有限公司）标志样件打印，该系统自主完成了连续纤维增强复合材料样件打印，验证了微重力环境下复合材料3D打印的科学实验目标。

2021年2月，“增材制造工程”专业列入普通高等学校本科专业目录；《“十四五”智能制造发展规划》（征求意见稿）将增材制造列为“关键核心技术”；中国首座3D打印伸缩桥亮相上海，标志着增材制造技术的应用又有新的进展。

陕西省知识产权中心

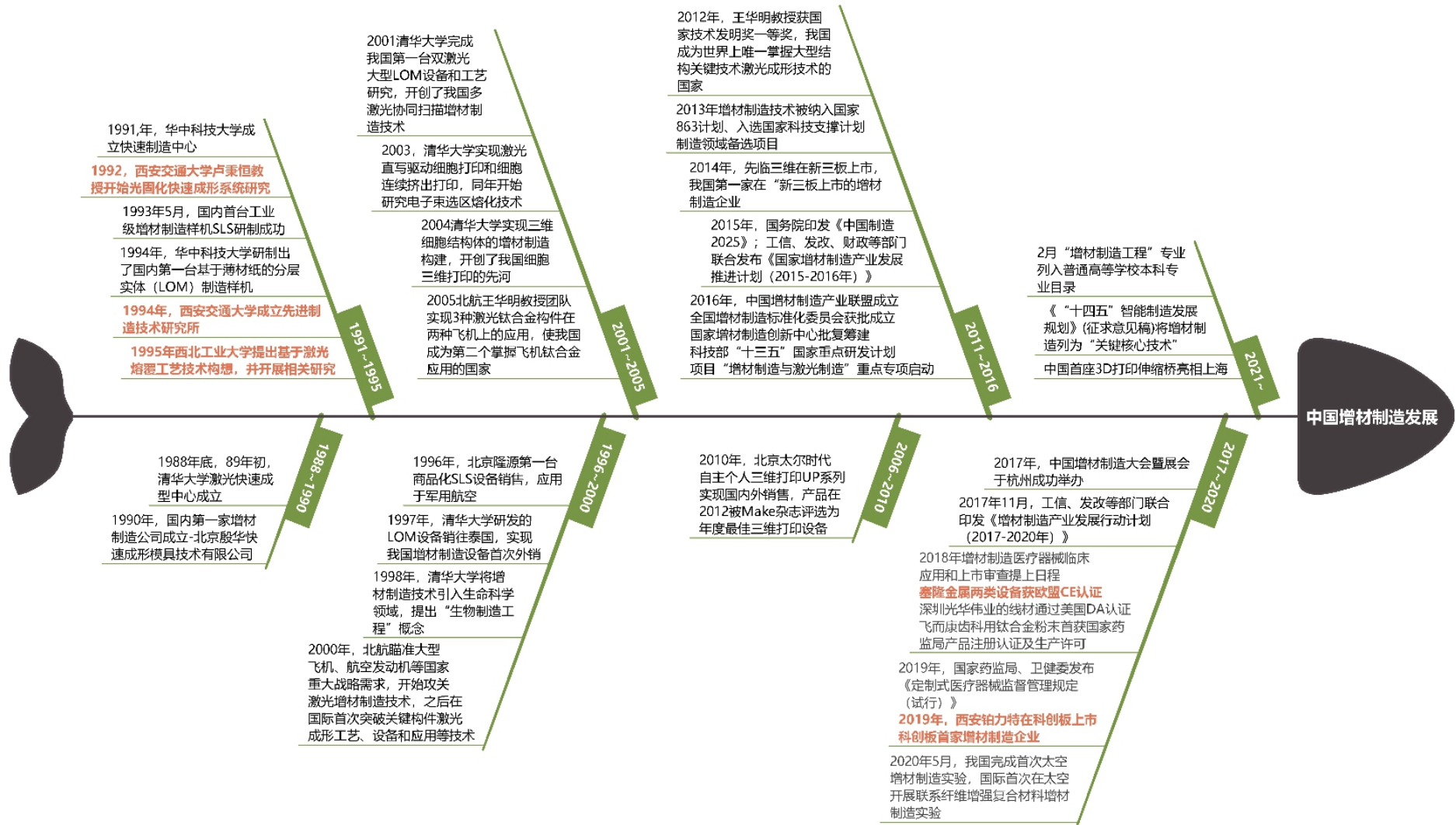


图 1-6 中国增材制造技术发展历程

我国自 20 世纪 90 年代初，在国家科技部等多部门持续支持下，在西安交通大学、华中科技大学、清华大学、北京隆源公司等典型的成形设备、软件、材料等方面研究和产业化方面获得了重大进展。随后国内许多高校和研究机构也开展了相关研究，如西北工业大学、北京航空航天大学、华南理工大学、南京航空航天大学、上海交通大学、大连理工大学、中北大学、中国工程物理研究院等单位都在做探索性的研究和应用工作。我国研发出了一批增材制造装备，在典型成形设备、软件、材料等方面研究和产业化方面获得了重大进展，到 2000 年初步实现的设备产业化，接近国外先进产品水平，改变了该类设备早期仰赖进口的局面。在国家和地方的支持下，在全国建立了多个服务中心，设备用户遍布医疗、航空航天、汽车、军工、模具、电子电器、造船等行业，推动了我国制造技术的发展。近几年国内增材制造市场发展不大，主要还在工业领域应用，没有在消费品领域形成快速发展的市场。另一方面，研发方面投入不足，在产业化技术发展和应用方面落后于美国和欧洲。

近年来，我国高度重视增材制造产业发展，将其作为“中国制造 2025”战略的发展重点，增材制造产业正从起步阶段向高速增长阶段迈进，研究我国增材制造产业的发展现状、趋势及存在的问题，把握产业发展方向，对推动我国增材制造产业健康有序发展意义重大。

### 1.3 增材制造产业发展概况

#### 1.3.1 全球增材制造产业现状

##### 1.3.1.1 产业规模持续扩大，增长态势强劲，依然处于成长期

总部位于科罗拉多州的增材制造咨询公司 Wohlers Associates 在 ASTM International 旗下运营，是权威的全球 3D 产业（增材制造）研究机构，通过总结全球 3D 打印服务提供商、系统制造商和材料生产商的数据，为行业提供最新、最全面的数据。该机构出具的年度报告专注于 3D 打印和增材制造的现状，自 1996 年以来一直向行业专业人士提供 Wohlers 报告，为全球 3D 打印行业的来龙去脉提供专家分析，现已连续 27 年出版。

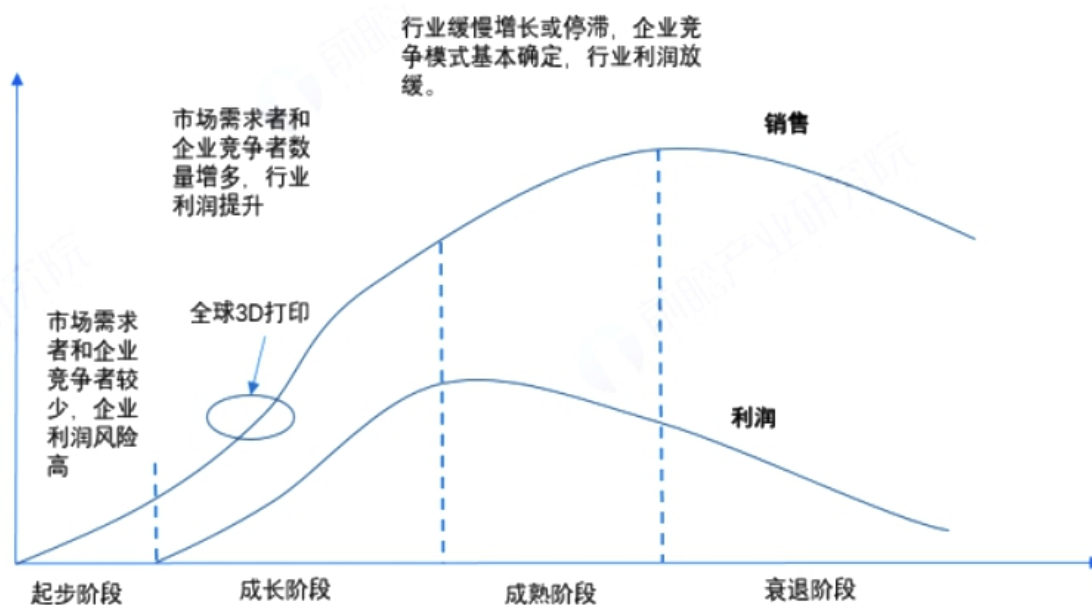


图 1-7 全球增材制造市场发展生命周期

据 Wohlers 数据，增材制造自诞生 30 多年以来，该领域包括设备、材料和服务在内的全球收入平均年增长率为 26.1%，并有 23 年以两位数的速度增长，这个行业具有巨大的未开发潜力，因受疫情

影响，2020年增材制造市场发展虽然放缓，但仍然保持了正向增长。如图2-1所示，从技术的角度来看，增材制造经历过产品新、质量差，专攻研发与技术改进的“负盈利”导入期，目前部分技术较为成熟、销量开始攀升、市场份额不断扩大、竞争者不断涌入，符合成长期的特征。未来还将有一段较长的成长期，最终过渡到成熟期，达到最高的产值和利润总量。

2020年全球爆发新冠疫情，各国医疗防护设备紧缺，此时3D打印（增材制造）扮演了救场的角色。美国、英国等国家的创意团队、网红、大学机构均利用3D打印机制作出口罩、医用面罩、护目镜等防疫设备，缓解了各地医疗防护用品短缺的情况；另外，疫情对全球的供应链造成严重冲击，3月中下旬开始，北美、欧洲各类工厂陆续停产，工业零部件供应受到巨大冲击。除供应链外，层层流通的销售与物流渠道同时受到较大影响，使得不少产品的零部件出现了断供。以快速、小批量、无模具、弹性制造为特征的3D打印（增材制造）绕过这些供应链断点，开辟了一条解决供应难题的新路径。国内最大的B2C跨境电商平台全球速卖通上的数据显示，疫情期间国产3D打印机销售火爆，疫情以来该平台上3D打印机的销售额和2019年比已经翻番。

如图1-8所示，根据《Wohlers Report 2021》指出，2020年全球3D打印（增材制造）市场规模达到127.58亿美元，相比2019年增长7.5%，低于此前21.2%的增长率。全球范围内众多公司受到疫情影响，裁员、削减支出更是普遍，其中以业内最大的两家公司Stratasys和3D Systems最为典型，2020年，两家公司在整个行业所占比重为8.5%，而2019和2018年分别是10.7%和13.8%，呈现逐年下降的趋势，这也意味着，业内其他设备制造商正在崛起。



图 1-8 全球 2015-2021 年增材制造产业规模趋势图

根据《Wohlers Report 2022》指出，增材制造产品和服务的全球需求在 2021 年增长了 19.5%，远高于 2020 年的 7.5%，这主要得益于全球经济从 COVID-19 大流行中持续复苏。报告中至少有一个迹象表明，聚合物粉末的消费量在增加，首次超过了光致聚合物。

据 Wohlers Associates 创始人 Terry Wohlers 称，AM 已经回到了“一个快速发展和适合投资的时期”，扩展到“航空航天、医疗保健、汽车、消费产品、能源和其他行业等领域”。

另外根据 IFI CLAIMS 专利服务公司发布了最新的年度报告，基于美国专利和商标局的数据，3D 打印（增材制造）被列为 2020 年增长最快的第九项技术。据统计，2021 年，国内共有 3D 打印融资案例 34 例，国外 108 例，相比于 2020 年均有所增长，国外投资案例增长 56.5%，与 2019 年和 2020 年对比，全球资本对 3D 打印的投入逐年递增。

因此可以看到全球范围内 3D 打印产业技术仍在快速发展阶段，具有很大的发展空间。

据《Wohlers Report 2021》数据，2020 年，全球 3D 打印（增材制造）产业结构中，来自 3D 打印（增材制造）服务的收入约 74.54 亿美元，占比达 59.29%，同比增长了 20.3%；全球 3D 打印（增材制造）设备实现销售额 30.14 亿美元，占比达 23.97%，与 2019 年的 30.13 亿美元基本持平；全球 3D 打印（增材制造）材料销售额为 21.05 亿美元，相比 2019 年的 19.16 亿美元，增长 9.9%。

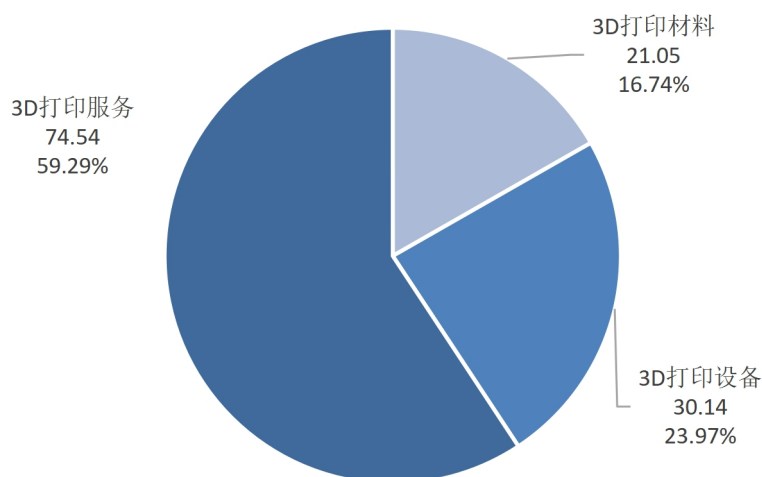


图 1-9 2020 年全球 3D 打印（增材制造）细分产业结构（单位：亿美元，%）

### （1）材料

沃勒斯认为，当系统销售下降时，制造商会把更多的精力投入到增加服务销售上，这一增长与 2020 年材料销售的增长相对应。2020，全球 3D 打印材料市场规模估计为 21.05 亿美元，包括工业和桌面系统的材料，不限于金属和高分子粉末、液态树脂、丝材和粒料等，该市场相比 2019 年的 19.16 亿美元增长 9.9%。

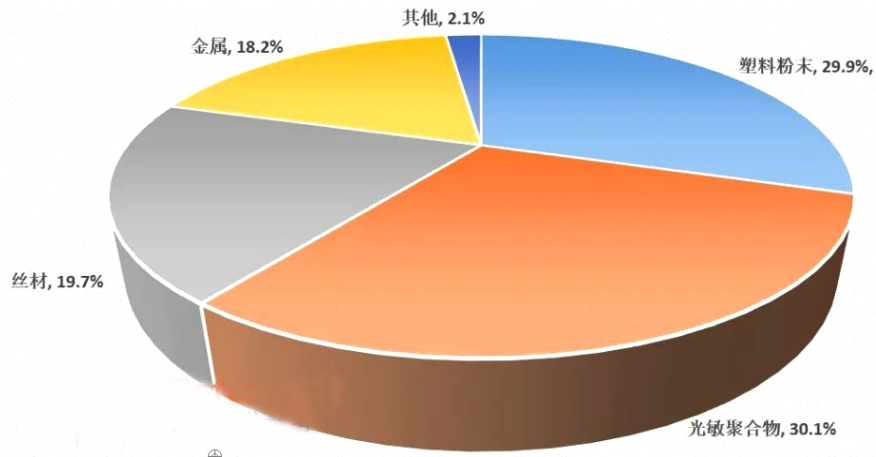


图 1-10 3D 打印材料市场

光敏聚合物的市场为 6.349 亿美元，相比 2019 年增加了 3.8%；用于粉末床的热塑性聚合物市场为 6.292 亿美元，比 2019 年增长 16.7%，这包括用于激光和高温粘结剂喷射成型工艺的粉末。两组数据对比发现，使用最多的 3D 打印材料可能将在未来几年内发生变化，高分子粉末即将超越光敏树脂成为最受欢迎的 3D 打印材料。

热塑性塑料丝材的销售额达到 4.141 亿美元，相比 2019 年的 3.943 亿美元，增长了 5.0%；金属 3D 打印材料的收入增长了 15.2%，达到约 3.834 亿美元，高于 2019 年的 3.327 亿美元。

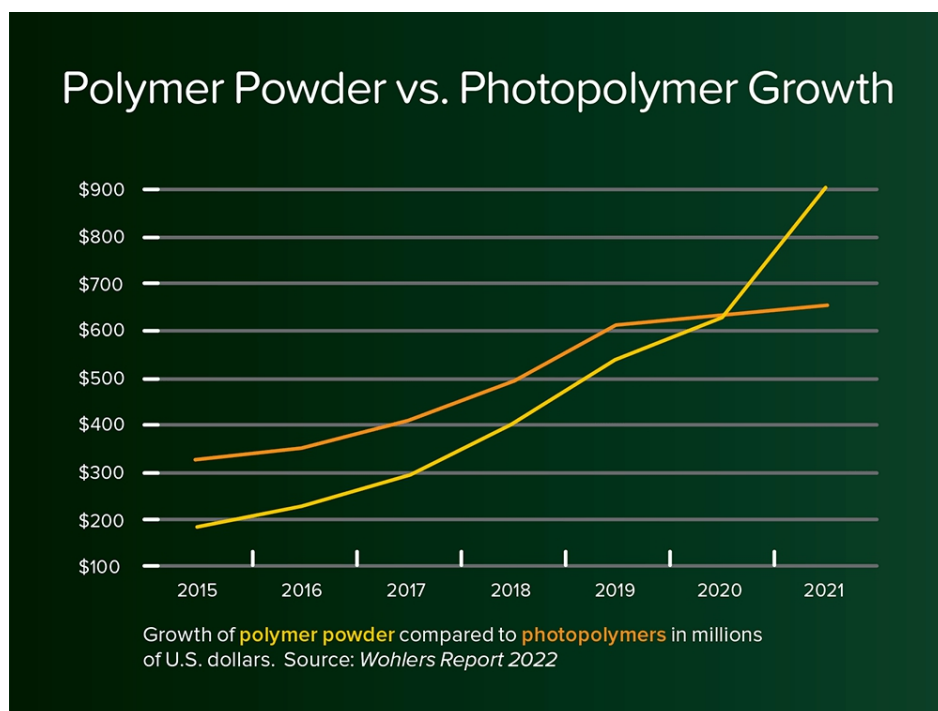


图 1-11 3D 打印材料消耗量变化

根据 2022 年报告，随着 3D 打印行业的成熟，越来越多的公司正在将该技术用于批量生产应用。从历史上看，增材制造的主要应用是功能原型。Wohlers 表示，这一增长的一个标志是整个 2021 年聚合物粉末消耗量的增加，增长了 43.3%，现已超过光敏聚合物树脂成为最常用的 3D 打印材料。

## (2) 设备

近年来，3D 打印设备制造商的数量增长迅速。下图的顶部线显示了工业 3D 打印系统的制造商数量。2020 年，全球有 228 家制造商生产和销售工业 3D 打印系统（价格高于 5000 美元），与 2019 年相比，增加了 15 家；自 2012 年以来，工业系统制造商的数量增长了近 7 倍。底部线显示了每年至少销售 100 台机器的制造商数量，这意味着 2020 年有 37 家公司的工业 3D 打印系统销量超过了 100 套。

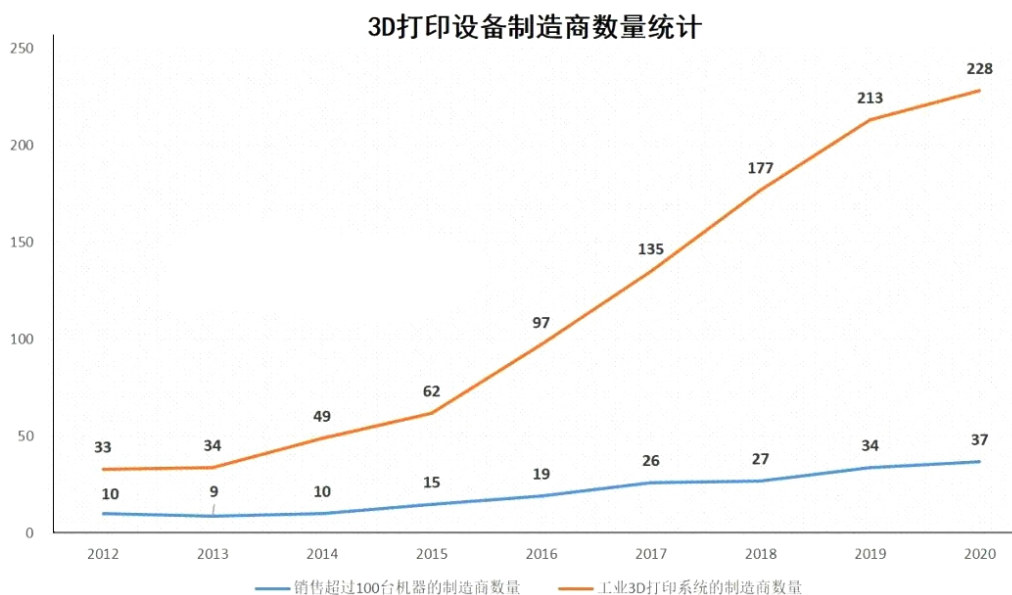


图 1-12 3D 打印设备制造商数量统计

228 个系统制造商分布在全球各地，对比 Wohlers 报告 2020 和 2021 版，美国制造商数量保持 47 家不变，排名第一；德国增加 2 家到 27 家，排名第二；中国制造商的数量则减少 7 家下降至 25 家，排名第三。

2020 年，有 21029 套工业系统售出，相比 2019 年的 22970 套下降 8.5%。美国公司占总销量的 37.8%，高于 2019 年的 35.0%，欧洲和亚洲分别保持在 27.1% 和 19.1%。在所有工业系统中，2020 年共售出 2169 台金属 3D 打印机，较 2019 年的 2333 台下降 7.0%；聚合物工业系统的销量则是金属系统的 8.5 倍，这主要是两者之间的成本差距过大造成的。

工业 3D 打印系统的平均售价在经历 2019 年和 2018 年的飙升后略有上涨，与此同时，低成本桌面 3D 打印机的销量在 2019 年大幅增长后，2020 年出现温和增长。2020 年，台式 3D 打印机的销量增长了 6.7%，估计为 753211 台，而 2019 和 2018 年的增长率分别为 19.4% 和 11.7%。沃勒斯同时指出，中国公司在 2020 年生产了 100

多万台不到 1000 美元的 3D 打印机，其中很多被送往欧洲和美国用于生产个人防护装备及响应其他疫情防护需求。而根据国内创想三维发布的消息，其在 2020 年桌面 3D 打印机出货量超过 100 万台，其中大多数出口至国外。

### (3) 服务

3D 打印服务市场规模约为 74.54 亿美元，比 2019 年的 68.23 亿美元增长了 9.2%，该细分市场在 2019 年增长 20.3%，2018 年增长 35.0%。同时，这一数值相当于整个市场规模的 58.4%，也意味着服务已经成为行业发展的重要推动力量。其中，排除类似 Stratasys 或 3D Systems 等设备商的服务收入后，由专业服务提供商产生的收入为 52.77 亿美元，占服务总收入的 71%。

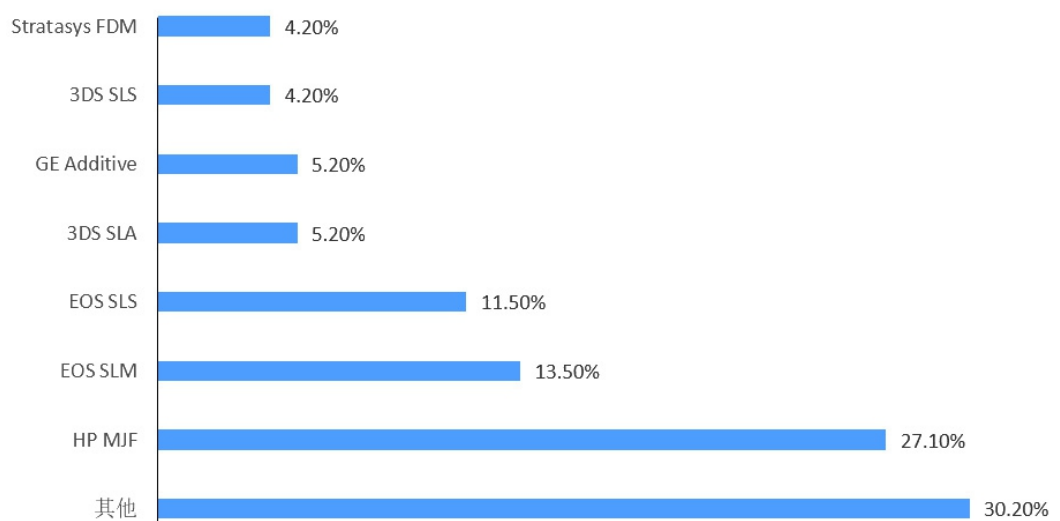


图 1-13 3D 打印服务商扩产优选技术排名

该部分的调查数据来自包含中国在内的 27 个国家的 124 家公司。在所有使用的技术中，来自 3D Systems 的 SLA 打印机占有率最高，达到 301 台；EOS 的 SLS 打印机以 202 台排名第二，惠普的 MJF 打印机以 100 台排名第三。金属 3D 打印机方面，EOS 以 134 台的使用

量排名第一，通用旗下 Concept Laser 打印机以 90 台排名第二。

除此之外，服务商们认为惠普的 MJF 技术盈利能力最强，因此也成为在扩大生产能力时首先选择的技术类型和品牌；其次是 EOS 的 SLM 技术，EOS 的 SLS 技术和 3D Systems 的 SLA 技术紧跟其后。另一方面，服务商通常会选择技术成熟的机器类型，但 2020 年由服务商购买的 404 台设备中，有 312 台打印机来自非顶级品牌，这一比例相比 2019 年的 41.4% 提高很多，这也意味着其他品牌正在逐步获得市场认可。

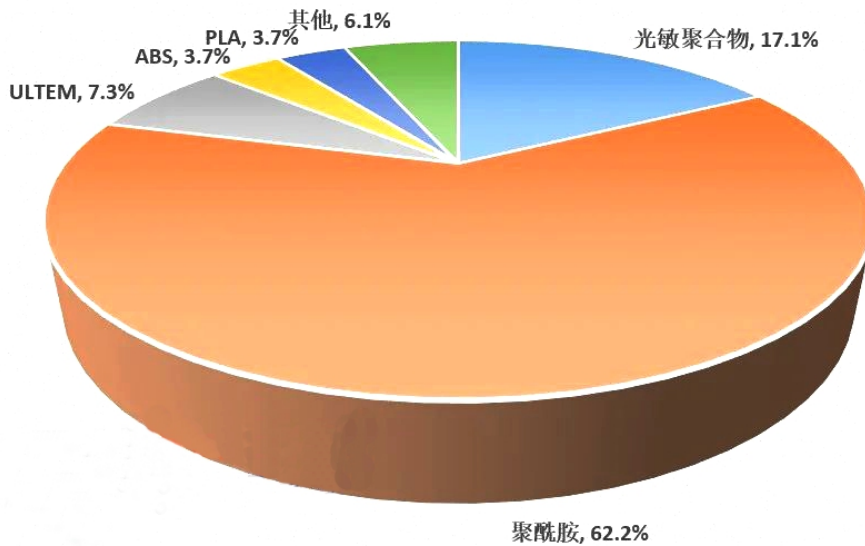


图 1-14 增材制造服务中不同聚合物分布情况

在使用材料方面，光敏树脂长时间以来一直是最主要的 3D 打印材料，而在过去五年里，用于粉末床的聚合物粉末已经赶上光敏树脂，并预计在未来几年内取代其成为主要材料。根据调查，聚合物中的聚酰胺以及金属中的铝合金是用于服务最赚钱的 3D 打印材料。

### 1.3.1.2 美欧引领技术发展，亚洲地区潜力凸显

如图 1-15 所示全球 3D 打印（增材制造）市场规模区域分布，

可以很明显看到，全球 3D 打印（增材制造）市场美国独占 1/3。当前，全球增材制造产业已基本形成了美欧等发达国家和地区主导，亚洲国家和地区后起追赶的发展态势。其中，美国作为全球增材制造技术起源地，引领技术创新和产业发展。近年来，亚洲增材制造市场潜力逐渐显现，全球产业重心逐步向亚太地区转移，产业格局更趋平衡。Wohlers Associates（2020）的统计数据表明，2019 年全球工业级增材制造设备保有量分布格局（见图 1-15）中，美国、中国、日本、德国四国的增材制造设备保有量位居前四位，占有率之和为 64.1%，与 2018 年基本持平。其中，美国设备保有量占有率居首，高达 34.4%，相比 2018 年下降 0.9 个百分点。中国位居第二，其中大陆地区设备保有量占有率为 10.8%，较 2018 年上升 0.2 个百分点，台湾地区设备保有量为 1.4%。其次是日本、德国，设备保有量占有率分别为 9.3% 和 8.2%。此外，韩国设备保有量占有率由 2015 年的 2.9% 上升至 2019 年的 4.0%，增长 1.1 个百分点。

从工业级设备销售量看，2019 年欧美国家占有率为 62.1%，较上年增长 3.4 个百分点。其中，美国占有率为 35.1%，较上年下降 1.1 个百分点，欧洲国家占有率为 27.1%，较上年增长 4.6 个百分点，亚太地区占有率为 19.1%，较上年上升 6 个百分点。可以看出，美国虽然装备销售量占比有所下降，但仍然保持首位，同时亚太地区销售量占比提升明显。

作为 3D 打印（增材制造）起步较晚的中国，近几年，抓紧自主创新和研发，虽然和国外的技术还有一定差距，但也一步步朝着精细化和专业发展。当然，国内巨大的市场潜能，也吸引了不少国外行业巨头的目光和投资，进一步推动了中国 3D 打印（增材制造）产

业的发展。

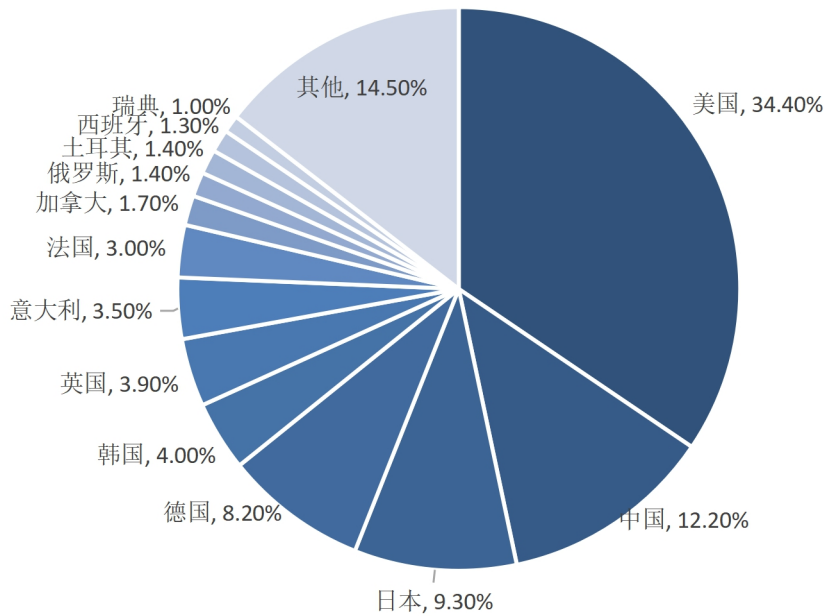


图 1-15 2019 年全球工业级增材制造设备保有量分布

### 1.3.1.3 装备销量稳步增长，市场竞争日趋激烈

2019 年，全球工业级增材制造装备销量达到 22115 台，相比于 2018 年的 19285 台增长 14.7%，增长率较上年下降 3.1 个百分点。其中，金属增材制造装备销量达到 2327 台，同比增长 1.3%，销售额 10.88 亿美元，平均售价 46.76 万美元，同比增长 13.2%，如图 1-16 所示。未来，全球市场装备销售将稳步增长并有所趋缓，而对应的加工服务将会是增材制造市场主要的持续增长点。

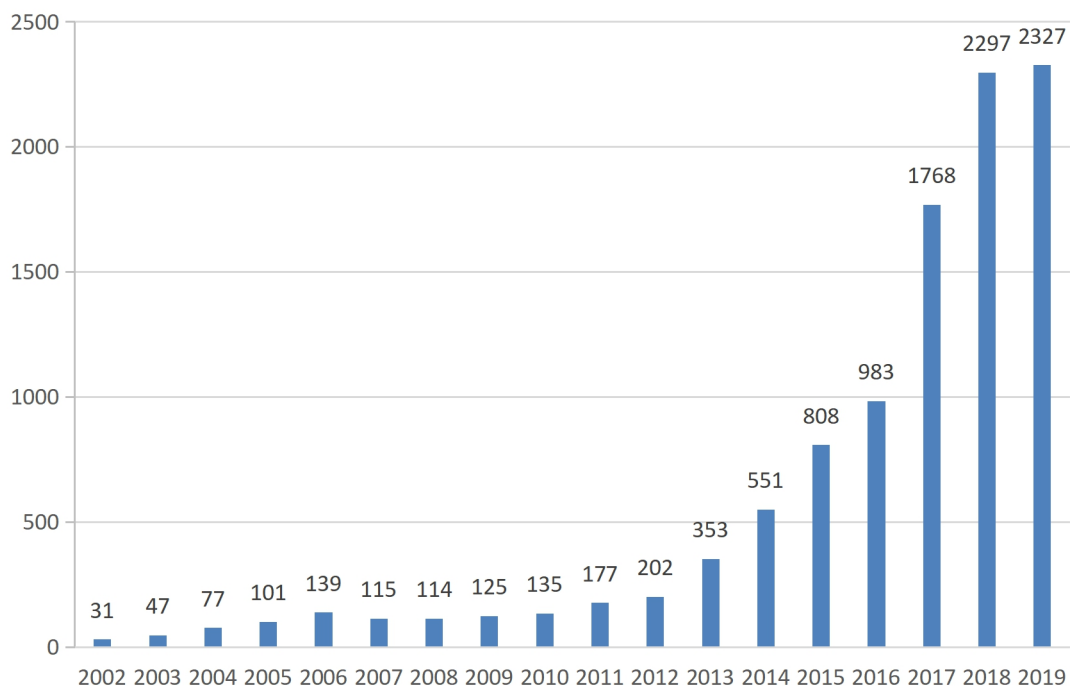


图 1-16 2019 年全球金属增材制造装备销量

从企业市场份额（见图 1-17）来看，Stratasys、Markforged、3D Systems、Envisiontec、Rapidshape 五家公司的工业级增材制造装备市场份额占据前五，分别为 16.6%、12.8%、10.3%、4.9% 和 3.2%，其中，Stratasys 的市场份额近几年一直处于下降趋势，但市场占有率连续 18 年保持第一，截至 2019 年年底累计出货量为 62840 台。Markforged 的市场份额位居第二，累计出货量为 28005 台。3D Systems、Envisiontec 依旧占据第三、四的位置，而 Rapidshape 超过 HP 跃居前五。同时其他企业从 2018 年的 30.3% 上升到 2019 年的 34.1%，这表明在全球范围内有很多新公司进入市场。从系统制造商数量来看，2019 年，全球增材制造系统制造商增长至 213 家，较 2018 年增长 20.3%，超过百套系统的销售厂家达到 34 家，较 2018 年增长 25.9%。

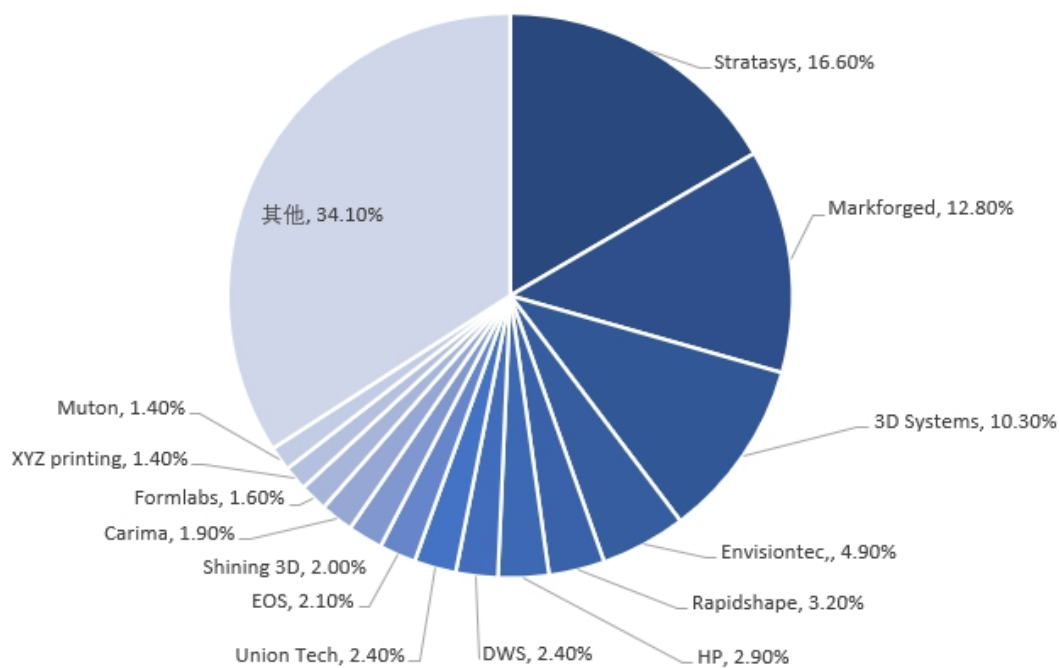


图 1-17 企业市场份额

此外，2019 年，低成本消费级增材制造装备（设备单价低于 5000 美元）的销售量为 705694 台，增长率为 19.4%，较 2018 年上升 7.7 个百分点，平均售价 1196 美元，较 2018 年的 1260 美元有所下降。同时，该类装备的销售量自 2012 年的 35706 台激增到 2019 年的 705694 台，增长近 20 倍。

#### 1.3.1.4 专用材料备受关注，材料种类逐渐增多

增材制造专用材料的品类和品质决定增材制造产品及服务的质量。目前，传统材料行业知名企业及增材制造行业相关企业纷纷布局专用材料领域，材料研发投入和消费支出创纪录增长。2018 年 1 月至今，专用材料厂商研发投入与收购案例统计如图 1-18 所示。德国化学公司赢创（Evonik）、法国化学和材料公司阿科码（Arkema）、金属粉末生产商 Carpenter Technology、加拿大泰克纳（Tekna）公司、强生子公司 DePuy Synthes、英国吉凯恩集团（GKN）等已通过加

大材料研发与生产力度或收购并购等方式，加强自身在材料领域的竞争力。



图 1-18 2018 年至今专用材料厂商研发投入与收购案例统计

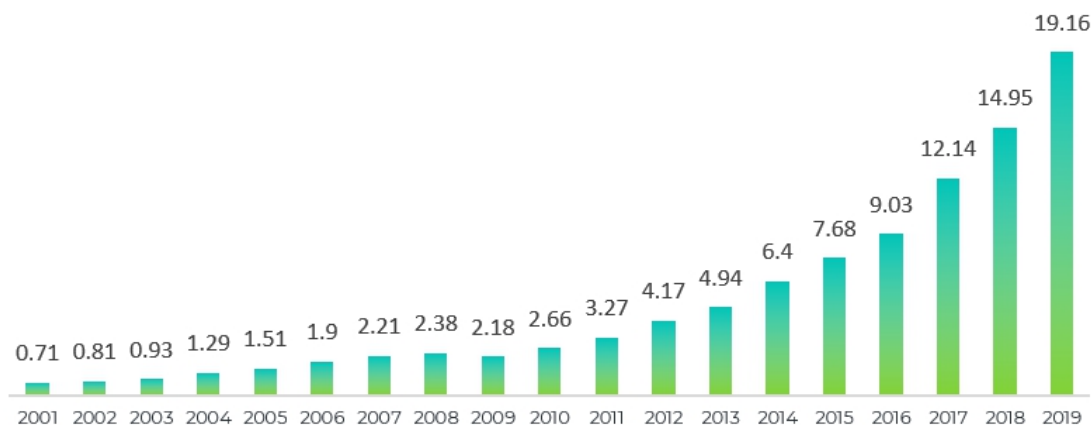


图 1-19 2001-2019 年全球增材制造行业系统专用材料消费支出情况

如图 1-19 所示，2019 年全球增材制造行业系统专用材料消费支出约为 19.16 亿美元，比 2018 年增加 4.21 亿美元，同比增长达到 28.2%，而 2018 年和 2017 年各自比前一年增长 31.9%和 25.5%。

### 1.3.1.5 下游应用领域丰富，直接制造成为主流

据《Wohlers Report 2021》显示，2020 年工业中使用 3D 打印（增材制造）最多的行业是汽车工业，遥遥领先，占比为 16.4%；

消费领域/电子领域和航空航天则紧随其后，分别为 15.4%和 14.7%；图 1-20 中标注为其他领域是指栏目中没有列出的较宽范围的其他工业领域，如矿物加工、化工、水处理、木材/纸张以及其他目前还没有单独列出的行业。

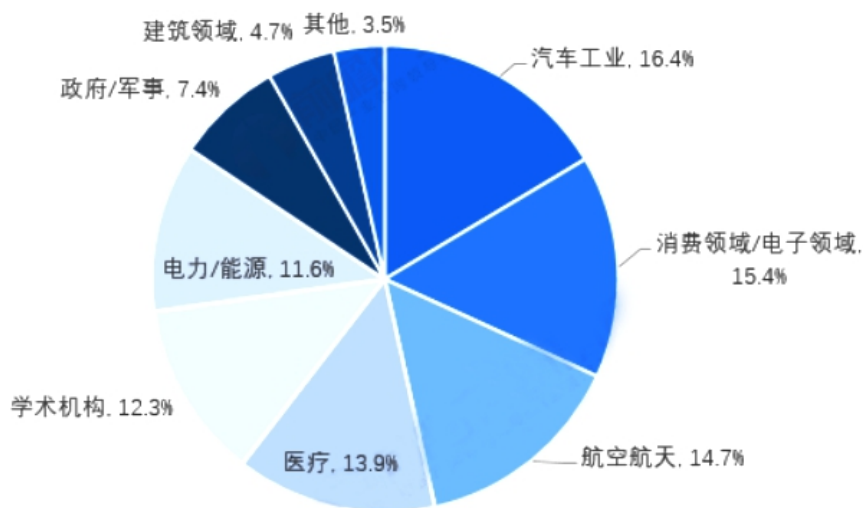


图 1-20 2020 年全球打印机产品在各工业中的应用情况

数据显示，2019 年，增材制造在汽车、消费品 / 电子、航空航天领域的应用占比最高，分别为 16%、15%和 15%，逐步成为产品研发设计制造的工具。2008-2019 年，工业机械、航空航天、汽车和消费品 / 电子领域应用一直处于行业较高水平。2019 年，增材制造在消费品 / 电子领域的应用占比同比增长了 2.4%，该行业通常需要大批量生产零件，产品生命周期相对较短，增材制造为这些行业实现快速设计迭代和优化，加速了产品开发。

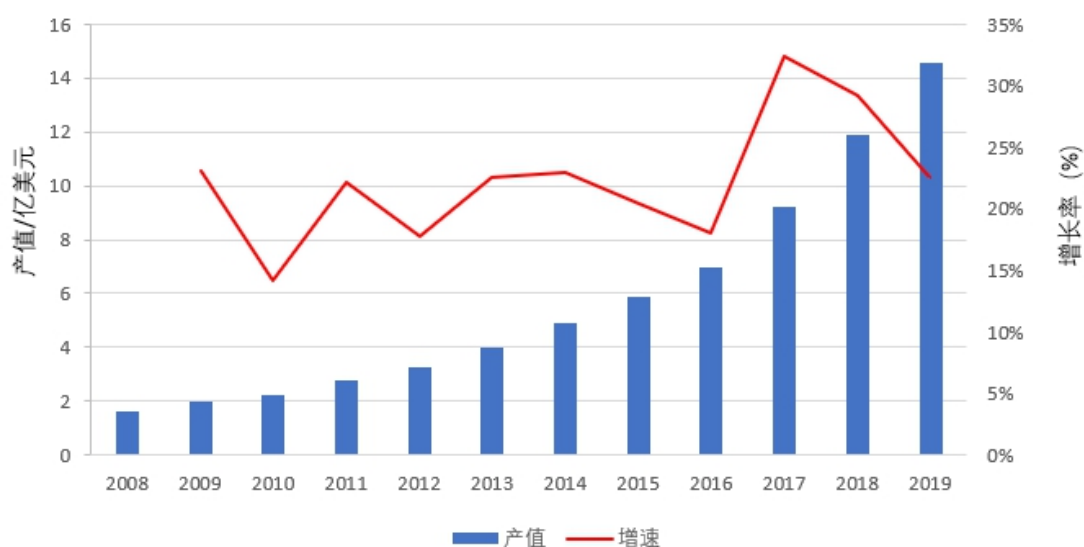


图 1-21 2008-2019 年全球零部件直接制造产值及增速

如图 1-21，增材制造的应用方式逐渐从原型设计走向直接制造，使批量生产成为可能。相较于注塑成型和铸造等传统制造工艺，增材制造摆脱了对模具的依赖，具备缩减成本和交货时间、加快产品的上市周期等优势，可实现柔性制造、分布式制造等制造模式，越来越多的企业将其用于直接制造。2019 年零部件直接制造的产值达到 14.54 亿美元，同比增长 22.5%。

### 1.3.1.6 国际巨头加速布局，持续拓展业务领域

加强伙伴关系和协同合作正成为国际巨头持续布局的重要手段，通过联合高校、科研机构、企业，集中各自核心能力和优势进行联合攻关，推动增材制造应用再深入。2019 年年初，空中客车公司（Airbus）与荷兰增材制造设备制造商 Ultimaker 达成战略合作协议，利用增材制造技术在欧洲区域内实现工具、夹具以及零部件轻量化设计的本地化制造。2019 年 2 月，Carbon 宣布与兰博基尼联合推进汽车零部件智能、高效生产。之后进一步扩展合作关系，兰博

基尼使用 Carbon 数字化制造平台为首款混合动力汽车 Sián FKP 37 生产中央和侧面仪表板通风口。2019 年 3 月 27 日，IDAM 联合项目在德国慕尼黑举行启动仪式，该项目由德国联邦教育和研究部（BMBF）赞助，项目组包括宝马集团、弗劳恩霍夫激光技术研究所、亚琛工业大学（RWTH Aachen）等 12 个合作伙伴，旨在推动金属增材制造技术在汽车领域应用的工业化和数字化进程。2019 年 4 月，西门子与德国独立汽车设计公司 EDAG 集团围绕“下一代空间架构 2.0”（Next Gen Spaceframe 2.0）展开创新合作，其合作伙伴还包括 Constellium、北方激光中心（LZN）、BLM 集团、3M 公司等。2019 年 4 月，奥本大学（Auburn University）Samuel Ginn 工程学院国家增材制造卓越中心（NCAME）获得美国宇航局 520 万美元合同，用于开发增材制造工艺和技术，以提高液体火箭发动机的性能，这份为期三年的合同是奥本大学与美国宇航局马歇尔太空飞行中心之间长期合作的最新扩展。

### 1.3.1.7 新一代信息技术赋能，新模式不断出现

增材制造技术与大数据、人工智能等新一代信息技术的结合，为未来发展带来了无限的可能性。2017 年 6 月，GE 中国智能制造技术中心（AMTC）落户天津空港经济区，AMTC 进行各种智能制造技术的整合研发，包括增材制造技术、增强现实（AR）技术在传统工业领域中的应用以及对于工厂数字化和自动化的改造。2018 年，西门子宣布推出增材制造在线协作平台，旨在为全球制造业提供工业级增材制造的按需设计和工程专业知识、数字工具和生产能力。2019 年 6 月，惠普在巴塞罗那推出增材制造和数字制造卓越中心，面向全球大规模工厂制造市场，集成灵活的交互式布局，打造改变世界设计和制造的方式，赋能第四次工业革命。企业“上云用云”，将打

破虚拟世界和现实世界界限，实现生产系统智能优化和动态分布式装备集群的服务调度，为增材制造可持续、资源功效和有效利用提供新途径，重塑增材制造技术及应用模式。2019年11月，EOS公司与英国软件公司AMFG宣布建立合作伙伴关系，以AMFG制造执行系统（MES）软件实现EOS增材制造装备的数据传输和互联互通，解决增材制造技术用户面临的增材制造 workflow 之间缺乏连通性的问题。

### 1.3.1.8 资本投入趋于理性，应用服务更受青睐

近年来，随着市场监管趋严、行业去伪存真加速、合格投资人教育推进，以及一系列风险事件的发生，资本市场对增材制造企业估值趋于理性。长期投资者更加青睐技术水平高、产业化程度好、应用前景广阔的优质项目，助推产业理性平稳发展。2018年以来，全球增材制造行业投资总额超过200亿元，增材制造技术应用服务提供商更受青睐。2019年2月，美国Rize混合增强沉积增材制造装备制造商获得1500万美元B轮融资，顶级外墙立面生产商NHF已将其技术集成到生产运营中，每年节省20万美元，生产速度提高15%，装配检查次数减少50%。2019年3月，Markforged公司在D轮融资中筹集8200万美元，以帮助加快其产品布局，Summit Partners公司领投，微软、保时捷、西门子等公司跟投。2019年6月，增材制造“独角兽”Carbon公司获E轮融资2.6亿美元，这使得Carbon总筹款额超过6.8亿美元。Carbon公司凭借其开创性的连续液态界面制造（CLIP）技术，正促使增材制造在汽车、医疗和消费品等领域大规模应用。

## 1.3.2 中国增材制造产业发展状况

### 1.3.2.1 中国增材制造产业规模持续增长

党的十九大提出“加快建设制造强国，加快发展先进制造业”的发展战略。增材制造（又称“3D打印”）作为其中一项代表性技术，已纳入国家重点发展领域的规划中。通过推动增材制造产业的发展，建设形成以实体经济、科技创新、现代服务、产业集群协同发展的全产业链体系，进而推动“中国制造”迈向“中国智造”的新高度。

从国内市场规模来看，据统计，国内增材市场规模在2021年达到了265亿元，较2020年增长了27.4%。预计2024年市场规模将达到500亿元，2021-2024年年均复合增速为24.12%。

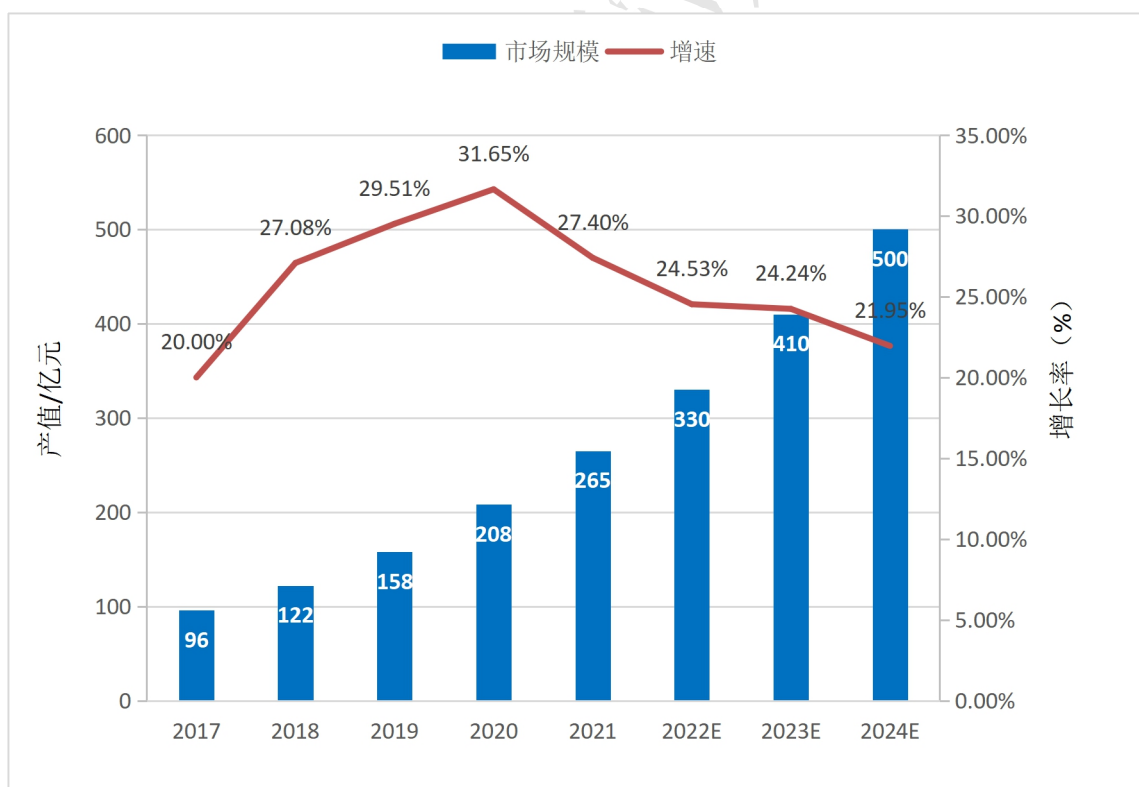


图 1-22 2017-2024 年中国增材制造行业市场规模及增速

中国增材制造行业相对欧美国家起步较晚，在经历了初期产业

链分离、原材料不成熟、技术标准不统一与不完善及成本昂贵等问题后，当前中国增材制造已日趋成熟，市场呈现快速增长趋势。

2017-2021年我国增材制造产业规模年均增速约30%，高于全球增速近10个百分点，预计未来几年，还将保持高速增长的态势。

自2015年以来，中国陆续颁布了全面提升中国制造业发展质量和水平的重大部署文件，其中具有重大意义的当属增材制造技术。与传统“减材”制造过程截然相反，增材制造以三维数字模型为基础，将材料通过分层制造、逐层叠加的方式制造三维实体，是集先进制造、智能制造、绿色制造、新材料、精密控制等技术于一体的新技术。增材制造技术从原理上突破了复杂异型构件的技术瓶颈，实现材料微观组织与宏观结构的可控成形，从根本上改变了传统“制造引导设计、制造性优先设计、经验设计”的设计理念，真正意义上实现了“设计引导制造、功能性优先设计、拓扑优化设计”转变，为全产业技术创新、军民深度融合、新兴产业、国防事业的兴起与发展开辟了巨大空间，近年来中国增材制造产业的发展也取得了一定的成效。

在科学技术部、工业和信息化部、国家国防科技工业局等项目支持下，我国在增材制造成形硬件系统、工艺特性和成形件质量等方面部分达到或接近国际先进水平，形成了与国外齐头并进的局面。如采用增材制造技术制备的高性能金属3D打印构件已在我军多种型号的先进飞机上得到装机应用；采用激光选区熔化增材制造技术有效缩短了某型航空发动机新型空心涡轮叶片的设计周期，一次技术迭代的时间由原来的一年缩短至不到一个月；SLS技术已经广泛应用于汽车领域的缸体、缸盖等复杂结构件的研发设计与快速制造；FDM技术替代电镀，相关成果在再制造领域得到推广应用；SLS技术

应用于生物医疗领域，并取得 2000 余例成功临床案例；在文创教育领域，实现了 3D 打印定制珠宝首饰，满足个性化定制需求等。国内多家单位陆续开展了较为深入的研究，依托高校—企业深度产学研用合作模式，走出了具有中国特色的“3D 打印”之路，形成了西安交通大学增材制造国家研究院、北京航空航天大学大型金属构件增材制造国家工程实验室、湖南华曙高科高分子复杂结构增材制造国家工程实验室等一批高水平创新平台，突破了一批关键技术，研制出一批新装备、新材料、新工艺，并在陕西、北京、江浙、广东、四川等地形成多个 3D 打印战略联盟。

### 1.3.2.2 增材制造产业发展面临的主要问题

增材制造产业在国家政策的大力支持下，发展迅速。在 3D 打印专用材料及装备、增材制造工艺及装备以及与传统制造相结合协同发展，国内均取得了较大的突破。但是与欧美发达国家相比，中国增材制造产业仍处于发展的起步阶段，面临着诸多的问题及挑战。

#### (1) 关键原材料依赖进口

增材制造原料国内研究虽有一定基础，但批次稳定性差，应用有限，大部分尚需依赖进口。目前，增材制造专用原料，特别是军用特种金属或陶瓷原料全部来自进口。以美国为首的西方国家经调查发现我国将这些原料用于军事领域后，马上联合欧洲相关公司停止了向我国出口高质量的增材制造专用原料。国内自主开发的制粉装备技术落后，价格高昂（上千万元）、交期长（2 年以上），不能满足 3D 打印粉体材料的大规模批产。据报道，国内某航空配套企业为 XX 型飞机配套操作杆系统，由于进口粉末受阻导致型号开发延误，开发国产自制的球形金属粉末尤为迫切。开展高质量、低成本增材制造专用原料研制可实现增材制造成形技术关键原料的完全自主保

障，打破受制于人的局面。

## （2）缺乏系统性应用研究

大量关键异型构件因其受传统制造工艺、装配等制约，迫切需要采用增材制造成形技术进行制造。设备方面，国内成熟的工业级激光 3D 打印装备，一方面成形尺寸小于 800mm，很难满足大尺寸零件的制造需求；另一方面还存在成形工艺少、成形效率低、应用成本高等问题；工艺方面，增材制造工艺严格受到国外“闭源”控制，材料与装备采取捆绑式销售；由于增材制造，特别是激光增材制造成形材料及结构的组织、缺陷有其特殊性，常见的气孔、未熔合、裂纹等缺陷的尺寸仅为微米量级，采用常规的方法较难检测；另外，增材制造成形制件的组织特征及缺陷的类型、分布、尺寸等对综合力学性能影响的研究和评价还缺乏系统性应用研究，这些问题严重制约了增材制造成形技术的应用。

## （3）缺乏匹配的热处理技术及装备

金属增材制造构件后续热处理重视程度不高，基础性研究几乎没有。关键构件能够从根本上得到改性，很大程度上取决于热处理技术及装备。国内企业一直是“重冷轻热”，在传统工艺上对热处理的研究不够透彻，尤其针对增材制造构件设计专用的热处理。国内增材制造企业迫切需要开展关乎组织性能调控的增材制造后处理制度及设备标准化建设工作，特别是后续热等静压、开模锻造等致密化处理以及后续热处理工艺，从根本上解决增材制造构件“力学性能达到铸件水平，达不到锻件水平”、“高温持久性能达到锻件要求，达不到铸件要求”的尴尬局面。

## （4）尚未形成全面的行业标准

继 2002 年美国汽车工程师协会发布钛合金标准《退火 Ti-6Al-

4V 钛合金激光沉积产品》以来，美国已经陆续颁布了几十项增材制造相关标准。这些标准几乎涵盖了粉末、打印工艺以及后处理的增材制造全产业链涉及的范围。国内关于增材制造工艺流程中构件组织形貌的表征、控制和认证的依据或标准仍为空白，构件往往只能通过尺寸精度、致密度、力学性能等宏观因素考察打印效果，缺乏微观组织的验证标准。另外，增材制造构件需要进行后续热处理改善综合性能已是行业共识，而目前所有针对增材制造构件的热处理制度依旧是沿用传统铸件或锻件标准，根本无法完全适用于增材制造工艺，致使该技术的大范围推广应用受到限制，没有体现该技术的优势、技术优势和市场优势。

#### （5）创新平台协同发展较弱

早在五年前，美国政府组织 100 余家单位、研究机构联合成立了“国家增材制造创新中心”。国内目前尚未建立有效的国家层面的增材制造产业创新平台。大型企业、高等院校和科研院所各自为战，产业链过于集中在中游（打印设备研发），研发主体单打独斗未能形成合力的态势，不利于增材制造产业链的整体发展，亟待整合全国增材制造研发—生产—应用的产业链资源，实现一体化的规模发展。

#### （6）专业人才匮乏

目前，国内高等院校、职工技校等单位均未设置增材制造专业与相关学科，仅设立了科普性质的“兴趣课”或实习。专业化人才缺乏，科研力量薄弱。人员结构欠合理，综合性人才的缺乏是影响增材制造产业发展的重要因素。中国增材制造领域人才总量不足，高端人才和专业人才偏少，学历、技术职称层次不高，与发达国家之间存在较大差距。

### 1.3.2.3 增材制造产业发展趋势

#### (1) 关键原料替代进口

增材制造专用原料是产业链发展最关键的环节之一，只有解决了原料问题，增材制造产业才能健康有序的发展。着力突破自主可控增材制造专用金属、非金属和医疗专用材料研制、生产和大规模应用亟需解决的关键技术与装备，重点开发新型等离子旋转雾化制粉技术及装备（N-PREP）、真空气体雾化制粉技术及装备（VIGA）和新型溶剂沉淀法等，实现增材制造专用材料整体性能达到国际先进水平，替代进口；完善现有可打印材料的基本性能，评估可用于增材制造工艺的原料范围，解决目前不可打印原料（如7系铝合金）的技术难题，实现材料的真正可用性；开发新的材料及与之适应的增材制造工艺，包括新型复合材料、混合材料、高熔点合金材料、梯度材料、稀贵材料等，尽可能多的实现不同材料的3D打印并建立相关数据库；加快制定增材制造专用原料的行业规范及标准；开发新型绿色环保材料，寻求新的收集、回收与储存方式，降低能耗，减少污染。

#### (2) 打印设备打造国际知名品牌

重点瞄准航空航天、燃气轮机、无人机、武器装备、生物医疗、汽车制造、文化教育等关键行业，构建涵盖选择性激光烧结（SLS）、选择性激光选区熔化（SLM）、激光熔覆（LCD）、光固化成型（SLA）等多元化3D打印系统及装备研发制造体系，面向多应用领域提供可靠稳定的国产自主可控装备，提高产品成型的速度、效率、精度及表面粗糙度等指标，并且需要开拓新的产业模式，与传统的制造工艺相结合，实现优势互补，打造国际知名品牌，占领国际工业级3D打印装备行业制高点。

### （3）建立基础数据库

着力突破计算机辅助设计建模技术、结构拓扑优化与 3D 打印的对接技术、轻量化技术，3D 打印逆向工程技术，优化并拓扑设计战斗部异构件整体结构（包括内部复杂结构），从而更加节省材料和降低本身质量，提升关键构件整体性能；着力突破激光控形控性与后续热处理组织调控关键技术，揭示成形工艺条件与构件尺寸精度、性能指标的关联规律，解决构件成形过程中的精度控制、缺陷控制、性能控制等难题，建立材料-设计-工艺-装备数据库，提升增材制造关键部件国产化水平。

### （4）完善标准化建设

重点瞄准典型增材制造工艺及相关市场标准，探索建立增材制造产业标准“领跑者”工作模式，确定需要评价的增材制造标准主要技术指标内容和分类，制定增材制造“领跑者”标准评价方法，开展“领跑者”试点工作，引导市场优先选择基于“领跑者”标准的增材制造产品和服务，逐步形成正向激励机制，推动形成技术创新—标准研制—产业升级协同发展的正循环。

### （5）推进产业应用规模

加快和推进增材制造全产业链产品的生产和应用规模，产品基本满足航空航天、燃气轮机、无人机、武器装备、生物医药、汽车制造、文化教育等重点领域的使用需求，截至 2020 年，实现 3D 打印关键材料及装备在航空航天、燃气轮机、无人机、武器装备、生物医药、汽车制造、文化教育等行业应用分别逾 1 亿元/a 规模，产业市场经济规模达到百亿级。

### （6）搭建创新服务平台

搭建“互联网+”增材制造创新服务平台，整合产业链资源，吸

引并开发优质客源，以灵活多变的合作方式为全国的重点工业企业提供整体增材制造技术解决方案。依托平台，吸纳一批海外优势企业进驻投资建厂或设立研发中心，初步形成中国增材制造产业集群基础，在国际技术领域和市场上占据重要地位。

#### 1.4 增材制造产业链

增材制造产业上游涵盖三维扫描设备、三维软件、增材制造原材料类及 3D 打印设备零部件制造等企业，中游以 3D 打印设备生产厂商为主，大多亦提供打印服务业务及原材料供应，在整个产业链中占据主导地位，下游行业应用已覆盖航天航空、汽车工业、船舶制造、能源动力、轨道交通、电子工业、模具制造、医疗健康、文化创意、建筑等各领域。增材制造经过三十多年的发展，已经形成了一条完整的产业链。产业链的构成如图 1-23 所示。



图 1-23 增材制造产业链分布图

### （1）3D 打印产业链上游

3D 打印产业链上游主要包括 3D 建模工具和原材料。其中，3D 建模工具包括 3D 建模软件、3D 建模扫描仪和 3D 模型数据平台。与此相对应，聚集在产业链上游的企业包括三维软件开发商以及耗材生产商等。增材制造原材料主要包括金属增材制造材料、无机非金属增材制造材料、有机高分子增材制造材料以及生物增材制造材料等几类。

### （2）3D 打印产业链中游

增材制造设备是牵动增材制造行业发展的关键之一。增材制造设备可分为桌面级打印机和工业级打印机。近年来随着国外桌面级打印机相关专利保护到期，技术壁垒下降，国内桌面级打印机厂家数量急剧增长，新进企业增多，加大了国内桌面级增材制造市场的竞争程度。与桌面级打印机市场相比，工业级打印机技术壁垒高，资本投入大，一直以来发展较为缓慢，但当前工业级增材制造产业受到国家政策大力支持，整个市场目前已开始呈现快速增长形势。3D 打印的核心专利大多被设备厂商掌握，因此在整个产业链中占据主导地位，这些设备生产厂商大多亦提供打印服务业务，近年来，3D 打印行业整合加剧，通过并购 3D 打印软件公司、材料公司、服务提供商等，设备生产企业转变为综合方案提供商，加强了对产业链的整体掌控能力。

### （3）3D 打印产业链下游

增材制造技术的下游应用以航空航天、军工、船舶工业、核工业、汽车工业、轨道交通及医疗为主。目前该技术在下游行业的应用方式主要分为直接制造、设计验证和原型制造。直接制造是指根

据三维模型，直接用增材制造技术生产最终产品，具有产品定制性强与产品精度硬度高的特点，是未来增材制造技术的主要发展趋势。与传统制造相比，采用增材制造技术进行设计验证及原型制造，可节约时间与经济成本。此外，增材制造在维修领域也具有市场，使用增材制造技术不仅能简化维修程序，还可实现传统工艺无法实现的高还原度与制造材料原型匹配的功能。

## 1.5 增材制造技术链

增材制造技术是多学科融合技术，从具体技术链的分布来看，主要包括上游的原材料、核心器件、控制软件，中游的工艺及设备，下游的应用及服务。

### 1.5.1 产业链上游

#### 1.5.1.1 原材料

##### (1) 金属材料

增材制造专用材料是增材制造技术重要的物质基础，它的性能在很大程度上决定了成形零件的综合性能。发展至今，其材料种类已经十分丰富，主要种类包括金属材料、无机非金属材料、聚合物材料。

金属材料主要有钛合金、钴铬合金、不锈钢和铝合金材料等。高温合金因其强度高、化学性质稳定已成为航空工业应用的主要材料。空客和波音都用钛合金 3D 打印机用零件，GE 用铝化钛材料 3D 打印出发动机涡轮叶片，不锈钢是最廉价的金属打印材料，常被 3D 打印成功能构件和小型雕刻品等。

良好的力学强度和导电性使金属 3D 打印成为最为广阔的潜在市

场，3D 打印金属材料需要预先制成专用的金属粉末，要求纯净度高、细球形、粒径分布窄、氧含量低，3D 打印金属粉末价格昂贵，例如 1 kg 钛金属粉末的价格为 200~400 美元，研究廉价新型 3D 打印金属粉末制备方法是金属 3D 打印市场化应用的关键。

### （2）非金属材料

无机非金属材料主要包括塑料类和树脂类，其次还有陶瓷材料、纤维材料等。

### （3）聚合物材料

目前，增材制造聚合物材料主要包括工程塑料、生物塑料、热固性塑料、光敏树脂、高分子凝胶等。

### （4）生物材料

生物材料主要指生物医用高分子材料、无机材料、水凝胶材料或活细胞。

## 1.5.1.2 核心硬件

增材制造技术核心硬件主要包括激光器、振镜、数控系统、伺服电机、喷嘴/喷头、数控系统、高能电子枪、喷涂机器人等。核心器件的性能对于增材制造的效率、工艺难度、产品性能均有较大的影响。

## 1.5.2 产业链中游

### 1.5.2.1 工艺

#### （1）光固化成型（SLA）工艺

以光敏树脂（利用液态光敏材料的特性）为加工材料，在计算机控制下，紫外激光束（紫外光波长：250nm~400nm）按各分层截

面轮廓的轨迹进行逐点扫描，被扫描区内的树脂薄层产生光聚合反应后固化，形成制件的一个薄层截面（由点到线、由线到面）。

每一层固化完毕之后，工作平台移动一个层厚的高度，然后在之前固化的树脂表面再铺上一层新的光敏树脂以便进行循环扫描和固化。如此反复，每形成新的一层均粘附到前一层上，直到完成零件的制作。进行最终固化，再经打光、电镀、喷漆或着色处理即得到要求的产品。

### （2）选择性激光烧结（SLS）工艺

采用高能红外激光作能源，按照计算机输出的产品模型的分层轮廓，在选择区域内扫描和熔融工作台上已均匀铺层的粉末材料，处于扫描区域内的粉末被激光束熔融后，形成一层烧结层。

逐层烧结后，再去掉多余的粉末即获得产品原型。（是利用低熔点金属或粘结剂的熔化将高熔点的金属或非金属粉末粘结在一起）

与其它 3D 打印机技术相比，SLS 最突出的优点在于使用的成型材料十分广泛，从理论上说，任何加热后能够形成原子间粘结的粉末材料都可以作为 SLS 的成型材料。目前，可成功进行 SLS 成型加工的材料有：石蜡、高分子材料（PC，尼龙，PE，PP 等）、金属、陶瓷粉末、复合粉末材料。

### （3）选择性激光熔化（SLM）工艺

利用激光的高能光束对材料有选择地扫描，使金属粉末吸收能量后温度快速升高，发生熔化并接着进行快速固化，实现对金属粉末材料的激光加工。

发展于 SLS 工艺，只是在激光器与粉末原材料的使用上不同，采用金属材料，将金属粉末完全熔化融合，激光功率高于 SLS 技术。

### （4）分层实体制造（LOM）工艺

采用薄片材料(如纸片、塑料薄膜或复合材料)，用激光切割系统按照计算机提取的横截面轮廓线数据，将背面涂有热熔胶的纸用激光切割出工件的内外轮廓。

切割完一层后，送料机构将新的一层纸叠加上去，利用热粘压装置将已切割层粘合在一起，然后再进行切割，一层层地切割、粘合，最终形成三维工件。

#### (5) 熔融沉积制造(FDM)工艺

采用热熔喷头装置，使得熔融状态的塑料丝，在计算机的控制下，按模型分层数据控制的路径从喷头挤出，并在指定的位置沉积和凝固成型，逐层沉积和凝固，从而完成整个零件的加工过程。是最早实现的开源 3D 打印技术，用户普及率高，应用范围很广。成品的表面质量上表面好于下表面、水平面好于垂直面、垂直面好于斜面；强度在水平方向强于垂直方向；垂直高度越高则成型时间越长。

市面上最常见的 3D 打印机就是 FDM 工艺的 3D 打印机。

#### (6) 三维印刷成型(3DP)工艺

首先在工作仓中均匀地铺粉，再用喷头按指定路径将液态的粘结剂喷涂在粉层上的指定区域，随着工作仓的下降逐层铺粉并喷涂粘结剂，待粘结剂固化后，除去多余的粉末材料，即可得到所需的产品原型。

3DP 工艺可分为三种：粉末粘结 3DP 工艺、喷墨光固化 3DP 工艺、粉末粘结与喷墨光固化复合 3DP 工艺。

3DP 成型速度快，成型材料种类多，适合做桌面型的快速成型设备，且成型过程不需要支撑，多余粉末的去除比较方便，特别适合于做内腔复杂的原型，所以 3DP 技术在建筑业，游戏业，玩具和艺术行业等都有广泛的应用。

### 1.5.2.2 设备

增材制造设备主要指增材制造整机设备，主要根据不同的工艺区分，包括立体光固化设备、薄材叠层设备、材料挤出设备、粉末床熔融设备、黏结剂喷射设备、定向能量沉积设备、材料喷射设备等七大类，细分种类更多。

### 1.5.3 产业链下游

增材制造产业链下游主要为应用及服务，涉及航空航天、汽车、医疗、文创教育、建筑等多个具体应用领域。

### 1.6 增材制造企业链

3D 打印行业内部的竞争主要分为技术之间的竞争和公司之间的竞争。行业发展初期，各项技术独立发展，市场也相对独立，企业之间不存在竞争关系。随着技术的发展，应用面扩大，不同技术之间开始竞争。当行业整合加剧，单一技术企业数量减少，技术间的竞争逐渐转变为少数拥有多项技术的企业之间的竞争。目前 3D 打印行业内部的竞争主要集中在设备厂商之间，这些设备厂商同时也提供 3D 打印的相关服务。2018 年，从市场份额来看，Stratasys 和 3D Systems 仍保持前两名。

金属和非金属是 3D 打印材料的两个主要分类，分别对应不同的打印原理和技术，美国企业多集中在非金属材料领域，欧洲企业多集中在金属材料领域。2017 年度，全球专业级 3D 打印设备出货量排名前三的公司都以非金属 3D 打印为主，其中美国 Stratasys 和

3DSystems 两家公司的出货量占行业的近七成，EOS、Concept Laser（被 GE 增材公司收购）、SLM Solutions、Arcam（被 GE 增材公司收购）、Phenix Systems（被 3D Systems 收购）、铂力特等为主要金属 3D 打印设备厂商。由于金属 3D 设备单价远高于非金属，因此出货量方面不及非金属 3D 设备。受专利到期等因素影响，非金属 3D 打印行业竞争逐渐加剧，设备价格出现下降趋势。相比之下，金属 3D 设备的价格仍维持在较高的水平。铂力特专注于金属增材制造领域，除铂力特外，该领域的主要企业有：

#### 1) 德国 EOS

德国 EOS 成立于 1989 年，是金属和高分子材料工业 3D 打印的领导者，EOS 公司现在已经成为全球最大的金属增材制造设备提供商，产品类型覆盖增材制造设备、打印服务、材料、工艺和咨询服务等。

#### 2) 德国 SLM Solutions

德国 SLM Solutions 集团是世界领先的金属激光增材制造设备生产商及服务提供商，法兰克福上市公司，一直以来 SLM 专注于选择性激光熔化（SLM）相关的高新技术研发及产业化，公司同时也是该技术领域的先驱之一，为客户提供具有高自由度形态部件的设计和制造方法，适用于个性化定制及批量的部件生产，产品类型覆盖增材制造设备、原材料、打印及软件服务。

#### 3) 美国 GE 增材

GE 通过全球并购实现从增材制造应用向增材制造装备及服务供应商转变。GE 公司 2010 年开始布局增材制造技术，通过不断并购实现从增材制造用户方到服务提供方的转变。2016 年，GE 公司成功收购瑞典 Arcam 公司和德国 Concept Laser 公司，成为金属增材制

造领域的佼佼者，并在航空发动机领域实现了增材制造零部件的规模化应用。

#### 4) 美国 3D Systems

3D Systems 成立于 1986 年，纽约证券交易所上市企业，全球销售规模最大的 3D 打印解决方案供应商，提供“从设计到制造”全套增材制造解决方案，包括 3D 打印机、打印材料、打印服务和云计算按需定制部件，主要技术路线包括材料挤出、激光烧结、光固化成形及 3DP 等多种，可选材料包括塑料、金属、陶瓷等多种。

#### 5) 雷尼绍公司 (Renishaw)

雷尼绍是世界领先的工程科技公司之一，在精密测量和医疗保健领域拥有专业技术，公司向众多行业和领域提供产品和服务，从飞机引擎、风力涡轮发电机制造，到口腔和脑外科医疗设备等。此外，公司是英国唯一一家设计和制造工业用金属增材制造设备的公司，产品覆盖增材制造设备、金属粉末材料、辅助设备和软件及专业打印和技术服务咨询等。

#### 6) 杭州先临三维

杭州先临三维成立于 2004 年，专注 3D 数字化与 3D 打印技术研发，从 3D 扫描设计技术、3D 打印制造技术到 3D 视觉检测技术，覆盖设计-制造-检测的数字化制造全流程，旗下易加三维专注金属 3D 打印等直接制造 3D 打印技术的研发。

#### 7) 西安铂力特增材

公司是一家专注于工业级金属增材制造（3D 打印）的高新技术企业，为客户提供金属增材制造与再制造技术全套解决方案，业务涵盖金属 3D 打印原材料的研发及生产、金属 3D 打印设备的研发及生产、金属 3D 打印定制化产品服务、金属 3D 打印工艺设计开发及

相关技术服务（含金属 3D 打印定制化工程软件的开发等），构建了较为完整的金属 3D 打印产业生态链，整体实力在国内外金属增材制造领域处于领先地位。产品及服务广泛应用于航空航天、工业机械、能源动力、科研院所、医疗研究、汽车制造及电子工业等领域，尤其在航空航天领域，市场占有率较高。

#### 8) 西安赛隆

西安赛隆增材技术股份有限公司成立于 2013 年，是西北有色金属研究院发起并控股，依托金属多孔材料国家重点实验室科研成果和团队成立的高新技术企业，专业从事粉末床电子束 3D 打印（SEBM）技术与装备、等离子旋转电极雾化制粉（PREP）技术与装备、金属粉末及粉末冶金制品的研发、生产、销售和技术服务。

公司在国内率先推出了商业化 SEBM 设备，开发出针对 3D 打印需求的新一代 PREP 设备，创新的桌面级 PREP 设备电极棒最高转速达 5 万转/分钟；研发出 TiNi、TiTa、TiAl、TiNbZr 和 CoCrMo 等 40 余种牌号的高品质球形金属粉末；研发出数百种 3D 打印复杂金属构件，向国内二十余家权威医院提供 1000 余件定制化骨科植入材料，国际率先实现金属钽植入物的电子束 3D 打印和临床应用。

公司依托重点实验室创新平台，建立金属 3D 打印联合创新中心，与国内外高水平科研机构 and 知名专家联合开展 3D 打印科技创新工作，先后承担工信部工业强基工程项目、科技部中小企业创新基金、国家重点研发计划项目等 80 余项国家和省市科技项目。

公司是中国增材制造产业联盟理事单位、全国增材制造标准化技术委员会委员单位和中国机械工程学会增材制造分会委员单位，在 3D 打印领域申请专利百余项，牵头制定国家和行业标准 8 项、参与修订 10 余项。

## 1.7 投资案例

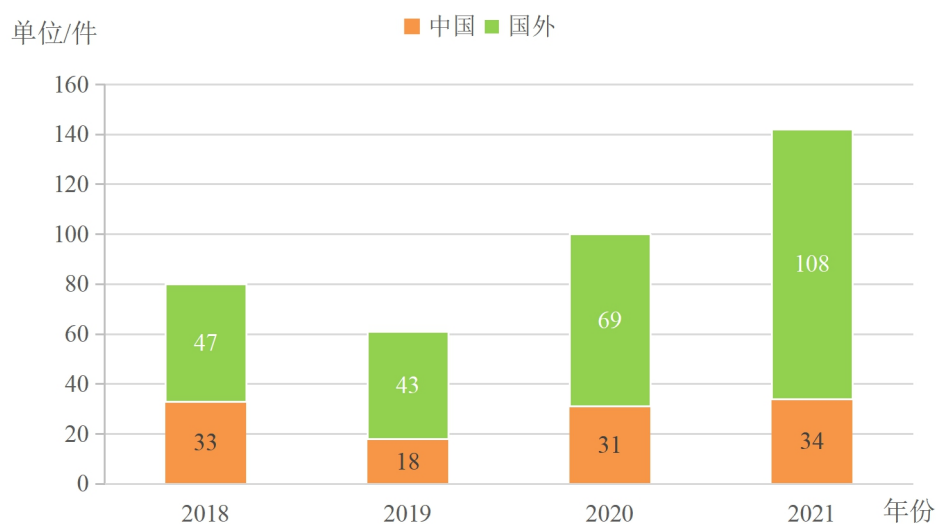


图 1-24 2018-2021 年国内外增材制造投资数量

根据南极熊 3D 打印网发布的数据，2021 年，国内共统计到 3D 打印融资案例 34 例，国外统计到融资案例 108 起，相比于 2020 年均有增长，国外投资案例增长 56.5%。与 2019 年和 2020 年对比，全球资本对 3D 打印的投入逐年递增。

从投资热度来看，国外投资热度较高，国内投资更加偏向于北上广深等一线城市，2019 年，西安铂力特获 6.6 亿融资，在科创板上市。

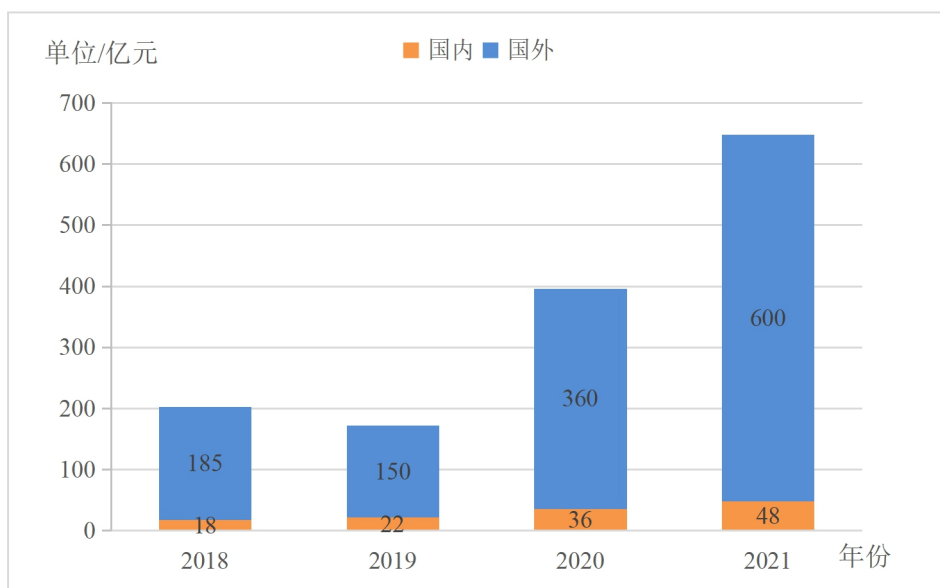


图 1-25 2018-2021 年国内外增材制造投资金额

在投融资总额方面也保持了增长态势，2021 年中国 3D 打印项目融资总额达到 48 亿人民币左右，与 2020 年相比增加了 33.3%。国外 3D 打印项目融资总额则达到 600 亿人民币左右，与 2020 年的融资总额 360 亿元相比增长了 66.7%。

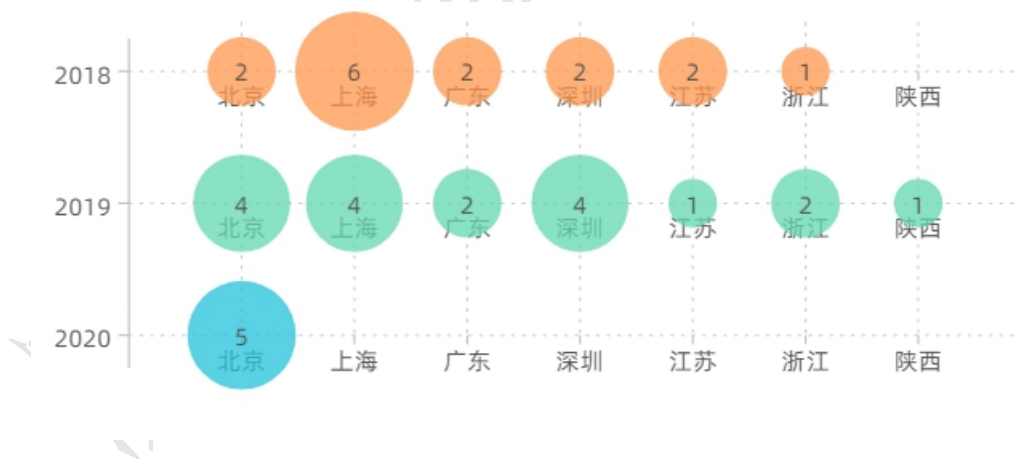


图 1-26 投资地域分布

2018 年至 2020 年国内投资案例如下：

时间	公司	主营业务	投资方	投资金额	轮次
2018年3月	北京十维科技	陶瓷 3D 打印	启迪之星等	千万级	天使轮
2018年4月	上海昕健医疗	医疗 3D 打印 整体解决方案	邻星创投领投	数千万元	A 轮
2018年5月	上海 INTAMSYS	PEEK 3D 打印 机	清水湾资本领 投	未公布	A 轮
2018年6月	南京三迭纪	规模化生产药 物 3D 打印设 备	晨兴创投领投	1 亿元	A 轮
2018年7月	Raise3D	FDM 3D 打印机	顺融资本	未公布	A 轮
2018年7月	北京清锋时代	快速光固化 3D 打印, 鞋业	顺为资本领投	数千万元	Pre-A 轮
2018年8月	云工厂	加工制造云平 台	中科创星、盈 孚资本	数千万元	A+轮
2018年8月	上海幂方科技	微电子打印	上海容恒、上 海硕赛	数千万元	A 轮融资
2018年10 月	上海影为医疗	骨科个性化医 疗器械	上海电气集团	未公布	Pre-A 轮

2018年11月	Polymaker	3D打印高分子材料	赛天资本领投, 协立资本跟投	未公布	C轮
2018年11月	上海普利生	SMS光固化3D打印机	巴斯夫	数千万元	A轮
2018年11月	广州黑格智造	DLP 3D打印机, 齿科	IDG 领投	3.25亿元	A轮
2018年12月	中望软件	CAD软件3D软件	达晨、航天科工	8000万元	
2018年	摩方材料	高精度3D打印	海通证券旗下基金领投	-	A+轮
2018年	时印科技	巧克力3D打印新零售	东方汇富、乾然资本	近千万元	-
2019年2月	北京塑成科技	高速光固化3D打印机、材料	齐河基金	2000万元	A轮
2019年2月	深圳 Snapmaker	桌面级数字制造工具	-	2000万元	Pre-A轮
2019年3月	东莞慧瓷	陶瓷3D打印	中京基金	-	-
2019年3月	南京3D打印研究院	3D打印科研和成果转化	邀为数字	3500万元	控股

2019年4月	杭州先临三维 云打印	定制化生产服 务平台	先临三维	5002万元	增资
2019年6月	联泰科技	SLA 工业机制 造商	联新资本领投	3000万元	—
2019年7月	上海正雅齿科	3D打印隐形牙 套	中金启辰、高 科新浚联合领 投	数亿元	C轮
2019年7月	铂力特	金属3D打印	科创板	6.6亿元	IPO
2019年8月	LuxCreo 清锋 时代	高速光固化3D 打印机	KPCB 领投	3000万美 元	B轮
2019年9月	上海麦递途医 疗	医疗3D打印	德国赢创领投	数百万欧 元	B轮
2019年9月	十维科技	陶瓷3D打印 机	苏州汇伯壹号 投资、天津华 成智远投资合 投	数千万元	Pre-A轮 融资
2019年10 月	Raise3D	FFF 3D打印机	上海长江国弘 投资管理 有限公司	数千万元	B轮

2019年10月	中望 CAD	3D 设计软件	毅达资本和中国互联网投资基金联合领投	1.4 亿元	B 轮
2019年10月	迅实科技	光固化 3D 打印机	辰德资本和远毅资本共同投资	过亿元	B 轮
2019年12月	黑格科技	光固化 3D 打印	阿联酋科技知名企业 G42 集团	6000 万美元	B1 轮
2020年1月	煜鼎增材	金属 3D 打印	乐普医疗等	—	—
2020年3月	鑫精合	金属 3D 打印	达晨投资等	4.3 亿元	C 轮
2020年6月	梦之墨	液态金属电路 3D 打印机	麦星投资、中冀投资	近亿元	A+ 轮
2020年8月	三帝科技	3D 打印设备、康复医疗应用	金科君创	数千万元	B 轮
2020年9月	金橙子科技	3D 打印控制系统	嘉兴哇牛智鑫领投	4600 万元	天使轮

2018 年至 2020 年国外投资案例如下:

时间	公司	主营业务	投资方	投资金额	轮次
2018 年 1 月	美国 Seurat	金属 3D 打印	True Ventures 领投, 保时捷等	1350 万美元	A 轮
2018 年 3 月	英国 OxSyBio	3D 打印人体组织	IP Group 等	1000 万英镑	A 轮
2018 年 3 月	英国 Metalysis	3D 打印金属合金粉末	Woodford Investment Management 等	1200 万英镑	-
2018 年 3 月	Relativity Space	3D 打印火箭	Playground Global 领投	3500 万美元	B 轮
2018 年 3 月	美国 Desktop Metal	金属 3D 打印机	福特	6500 万美元	-
2018 年 4 月	Morf3D	航空航天 3D 打印部件	HorizonX	—	A 轮
2018 年 4 月	美国 Formlabs	SLA 光固化 3D 打印机	Tyche Partners 牵头, 深创投等	3000 万美元	C 轮
2018 年 4 月	美国 Shapeways	3D 打印定制服务平台	Union Square Ventures 等	3000 万美元	E 轮融资
2018 年 5 月	美国 Arevo	3D 打印碳纤维框架的自行车	Japan's Asahi Glass Co Ltd 等	1250 万美元	B 轮
2018 年 5 月	美国 Fictiv	制造业的 Airbnb	创新工场领投	1500 万美元	B 轮
2018 年 6 月	BIOMODEX	3D 打印患病器官	Idinvest Partners 和 InnovAllianz	1500 万美元	A+轮
2018 年 7 月	比利时 Materialise	3D 打印软件	巴斯夫	2500 万美元	—

2018年7月	MakeTime	按需在线制造平台	Xometry	—	收购
2018年7月	Xometry	按需在线制造平台	Foundry Group 领投、 宝马、GE 等	2500 万美元	—
2018年7月	美国 Formlabs	SLA 光固化 3D 打印机	New Enterprise Associates	2000 万美元	D 轮
2018年8月	美国 Digital Alloys	金属 3D 打印机	G20 Ventures	1290 万美元	B 轮
2018年8月	美国 NAKED LABS	3D 健身扫描仪	Founders Fund 领投	1400 万美元	A 轮
2018年9月	荷兰 Luxexcel	3D 打印光学镜片	ET Ventures 等	1390 万美元	C 轮
2018年9月	美国 Formetrix	3D 打印钢合金粉末	Cycad 集团和 SPDG	—	A 轮
2019年1月	Open Bionics	低成本 3D 打印义肢制造商	威廉姆斯车队	466 万英镑	—
2019年1月	美国 Desktop Metal	间接金属 3D 打印机	KDT 领投	1.6 亿美元	E 轮
2019年1月	美国 Essentium	高速 3D 打印机	巴斯夫风险投资公司领投	2220 万美元	A 轮
2019年2月	美国 Adaptive3D	聚合物树脂供应商	DSM Venturing 等	—	A 轮
2019年2月	美国 Vader Systems	金属增材制造	施乐	—	收购
2019年2月	澳大利亚 Aurora Labs	金属 3D 打印机	—	500 万美元	股票配售
2019年2月	美国 Rize	桌面彩色 3D	—	1500 万美元	B 轮

		打印机			
2019年3月	美国 Markforged	碳纤维和金属 3D 打印机	Summit Partners 领投	8200 万美元	D 轮
2019年3月	美国 3D Hubs	3D 打印在线服务平台	Endeit Capital 领投	1800 万美元	C 轮
2019年4月	Baker Industries, Inc	聚合物和金属增材制造服务	林肯电气控股公司	-	收购
2019年4月	美国 Dyndrite Corporation	增材制造软件	Gradient Ventures	1000 万美元	A 轮
2019年5月	Xometry	按需制造平台	Greenspring Associates 领投	5000 万美元	-
2019年5月	Molecule Corp	3D 打印应用解决方案	汉高	-	收购
2019年6月	Elixirgen Scientific	生物 3D 打印技术	理光	-	-
2019年6月	美国 Carbon	高速光固化 3D 打印机	Madrone Capital Partners 和 Baillie Gifford 共同领投	2.6 亿美元	E 轮
2019年6月	德国 AMendate	全自动拓扑优化软件	瑞典 Hexagon AB	-	收购
2019年7月	Fortify	磁性复合 DLP 3D 打印工艺	Accel 领投	1000 万美元	A 轮
2019年9月	以色列 Redefine Meat	肉类 3D 打印	CPT Capital 领投	600 万美元	种子轮
2019年10月	英国 Additive Manufacturing Technologies	3D 打印后处理	DSM Venturing 等	520 万美元	A 轮

2019年10月	Voxel8	多材料全彩色3D打印	DSM Venturing 领投	-	B轮
2019年10月	美国 Link3D	增材制造工作流程软件	AI Capital 领投	700 万美元	-
2019年11月	Inkbit	人工智能 3D 打印	Stratasys 和 DSM Venturing 领投	1200 万美元	-
2019年11月	Aleph Objects	开源 3D 打印机	FAME 3D	—	收购
2019年11月	美国 PostProcess Technologies	3D 打印自动化后处理设备	Grand Oaks Capital 领投	2000 万美元	B轮
2019年12月	澳大利亚 Amaero	航空部件增材制造	澳大利亚证券交易所 (ASX)	800 万美元	IPO
2020年1月	加拿大 Aspect Biosystems	生物 3D 打印技术	Radical Venture 领投	2000 万美元	A轮
2020年1月	德国 SimScale	软件及服务 (SaaS)	Insight Partners 领投	2700 万欧元	C轮
2020年2月	英国 WAAM3D	大型金属 3D 打印技术	Accuron Technologies Ltd	—	A轮
2020年2月	瑞士 9T Labs	碳纤维 3D 打印	Wingman Ventures 等	430 万美元	种子轮
2020年2月	美国 Habitas	3D 打印技术制造建筑板材	Travis Kalanick 等	2000 万美元	—
2020年2月	德国 RepRap	熔丝制造 (FFF) 3D 打印	Arburg 公司的控股股东	—	收购
2020年3月	巴西 SouSmile	3D 打印隐形牙套	Global Founders Capital 等	1000 万美元	A轮
2020年4月	Arris	高性能碳纤	Taiwania Capital	4850 万美元	B轮

	Composites	维 3D 打印	等		
2020 年 4 月	加拿大 Equispheres	铝合金 3D 打印粉末	HG Ventures 领投	3000 万美元	B 轮
2020 年 4 月	Velo3D	直接金属激光 烧结 (DMLS) 增材制造	Piva 等	2800 万美元	D 轮
2020 年 4 月	澳大利亚 AML3D	WAM 金属 3D 打印	澳大利亚证券交易 所	900 万美元	IPO
2020 年 4 月	Fortify	磁性 3D 打 印工艺	Accel 领投	1000 万美元	A 轮
2020 年 5 月	以色列 Nanofabrica	微米级高精 度 3D 打印	M12 和 NextLeap Ventures 领投	400 万美元	—
2020 年 5 月	Prellis Biologics	生物技术	Khosla Ventures 领投	870 万美元	A 轮
2020 年 5 月	德国 Kumovis	高性能聚合 物 3D 打印	High-Tech Gr ü nderfonds 等	360 万欧元	A 轮
2020 年 5 月	美国 Azul	大面积快速 (HARP) 3D 打印	—	540 万美元	种子轮
2020 年 6 月	VELO3D	金属复合 3D 打印技术	—	1200 万美元	—
2020 年 7 月	以色列 SavorEat	3D 打印肉类 替代品	Mor 和 Meitav Dash	300 万美元	—
2020 年 8 月	美国 Azul	大面积快速 (HARP) 3D 打 印	Louis A. Simpson 等	1250 万美元	种子轮
2020 年 8 月	Sintavia	金属增材制 造	美洲住友商事 (SCOA)	—	C 轮
2020 年 8 月	美国 Mighty	3D 打印房屋	Khosla Ventures	3000 万美元	A 轮

	Buildings	建筑	等		
2020年8月	德国 DyeMansion	自动化3D 打印后处理	Nordic Alpha Partners (NAP) 领投	1400万美元	B轮
2020年9月	LightForce Orthodontics	3D打印正畸 托槽	Tyche Partners 领投	1400万美元	B轮
2020年9月	Xometry	按需制造平 台	T. Rowe Price Associates 领投	7500万美元	—
2020年9月	3YOURMIND	3D打印软件	EnBW 领投	550万美元	A+轮

### 1.8 增材制造相关政策

我国高度重视增材制造产业发展，近年来，一系列规划政策密集发布，推动了增材制造产业创新发展。

2015年初，我国3部委联合发布《国家增材制造产业发展推进计划（2015-2016年）》，明确将以钛合金、高温合金等为代表的增材制造专用粉末，以及以激光选区熔化（SLM）、激光选区烧结（SLS）、激光熔融沉积（FDM）等为代表的增材制造专用设备列入重点培育对象，以增材制造新技术抢占新一轮技术变革，加速推动传统制造产业发展；《中国制造2025》明确将增材制造列入发展智能制造装备和产品、推进制造过程智能化、加快关键技术和装备研发的重点领域；《工业强基工程实施指南（2016-2020年）》、国家“十三五”规划发展将增材制造产业列为重点发展对象。毫无疑问，增材制造的发展已经上升至国家战略发展层面，成为助推中国制造2025的利器之一。

2016年11月29日，国务院印发《“十三五”国家战略性新兴产业

产业发展规划》，重点打造增材制造产业链。

2017 年国务院及工业和信息化部、科学技术部等部门发布涉及增材制造的政策多达 20 余项，重点聚焦核心技术攻关与创新示范应用，加大财政支持力度。尤其是在 2017 年 11 月，工业和信息化部、国家发展改革委等十二部门联合印发《增材制造产业发展行动计划（2017—2020 年）》，对全面推动我国增材制造产业发展的意义重大。此外，省级层面（含计划单列市）出台的相关产业政策中，涉及增材制造内容的有 40 余项。

2020 年为最大限度降低新冠肺炎对工业通信企业生产的负面影响，工业和信息化部印发《关于有序推动工业通信业企业复工复产的指导意见》，将增材制造作为重点支持对象。

2021 年 3 月，中央及国务院高度重视增材制造技术发展，发布了《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》，明确了发展增材制造在制造业核心竞争力提升与智能制造技术发展方面的重要性，将增材制造作为未来规划发展的重点领域。

2021 年，各部委及地方政府共发布 23 份增材制造相关政策文件，将增材制造列入智能制造关键发展技术目录，大力扶持本土增材制造关键技术突破及应用推广，推动增材制造产业发展。

发文部门	时间	政策名称	政策内容
工业和信息化部	2021年2月	《医疗装备产业发展规划(2021-2025年)》(征求意见稿)	推进传统医疗装备与增材制造等新技术融合嵌入升级。开发“增材制造+医疗健康”新产品。
科学技术部	2021年2月	《“工程科学与综合交叉重点专项”2021年度项目申报指南》	重大交通工程混凝土高性能制备与应用基础中“研究高性能混凝土3D打印及其装配化与高效智能建造原理”。
科学技术部	2021年2月	《“高端功能与智能材料”重点专项2021年度项目申报指南》	骨组织精准适配功能材料及关键技术(共性关键技术);突破大尺寸类骨无机非金属材料增材制造关键技术及表面后处理技术,阐明骨长入机制,实现骨组织功能重建。开发融合生物材料、医学影像、计算机模拟、增材制造、人工智能的先进骨组织修复与再生成套技术,发展外场驱动的非侵入性材料,促进无生命材料向具有健全功能组织的转化。
科学技术部	2021年2月	《“先进结构与复合材料”重点专项,2021年度项目申报指南》	1. 针对电子束增材制造所需的低氧含量球形TiAl合金粉末; 2. 增材制造所需先进铝合金提升到变形铝合金强度水平,复杂形状碳化硅构件的增材制造等新技术、新工艺突破; 3. 突破增材制造用含金刚石的球形复合粉体关键制备技术和含超硬颗粒的多材料增材制造关键技术; 4. 增材制造用高性能高温合金、全流程模拟仿真技术与机器学习技术; 5. 高性能高温合金的材料基因工程专用数据库; 6. 适合高温合金增材制造工艺特性的机器学习、数据挖掘、可视化模拟; 7. 高温合金高效设计与全流程工艺优化; 8. 高温合金高端精密构件的组织与尺寸精密化控制; 9. 超轻型碳化硅复合材料光学部件,先进金属材料的实时表征技术。
工业和信息化部	2021年5月	《国家支持发展的重大技术装备和产品目录(2021年修订)公示稿》	大型、精密、高速数控设备、数控系统、功能部件与基础制造装备目录下新增工业级增材制造装备分类,具体包括高功率光纤激光器(功率≥20kW)。

工业和信息化部	2021年5月	《进口不予免税的重大技术装备和产品目录（2021年修订）公示稿》	不予免税目录新增粘结剂喷射成形增材制造装备、粉末床激光增材制造装备、高功率光纤激光器、送粉式激光增材制造装备、送丝式电子束增材制造装备。
工业和信息化部	2021年5月	《重大技术装备和产品进口关键零部件、原材料商品目录（2021年修订）公示稿》	大型、精密、高速数控设备、数控系统、功能部件与基础制造装备目录下新增工业级增材制造装备分类，具体包括高功率光纤激光器（功率 $\geq 20\text{kW}$ ，一级部件高功率光纤光栅、掺镜光纤、半导体激光芯片、热沉）。
市场监督管理局	2021年6月	《2021年度实施企业标准“领跑者”重点领域》	将增材制造纳入“企业标准领跑者”重点领域，加速发展增材制造装备。
工业和信息化部、国家发展和改革委员会、教育部、科技部、财政部、人力资源和社会保障部、国家市场监督管理总局、国务院国有资产监督管理委员会	2021年12月	《“十四五”智能制造发展规划》	开发应用增材制造、等先进工艺技术；智能制造技术攻关行动：关键核心技术中包括增材制造；智能制造装备创新发展行动：发展通用智能装备中的激光/电子束高效选区熔化装备、激光选区烧结成形装备等增材制造装备。
工业和信息化部	2021年12月	《国家智能制造标准体系建设指南（2021版）》	明确提出建立增材制造装备标准。主要包括多材料、阵列式增材制造和复合、微纳结构增材制造技术要求等通用技术标准；

图 1-27 国家 2021 年度增材制造产业相关政策

广东、江苏、重庆、浙江、山东、上海、陕西等多地方政府在核心政策文件中明确增材制造在整体高端制造业发展中的重要地位，其中华南，华东地区整体部署更加完善，主体目标把握更加清晰，整体智能制造进程较快，增材制造产业发展相关的政策支持更加完备。

省份	时间	政策名称	政策内容
广东省	2021年1月	《广东省制造业高质量发展“十四五”规划》	茂名重点发展碳纤维、3D打印(增材制造)材料产业;着力推动高性能低成本增材制造材料;重点研制精密激光智能装备、增材制造高端装备等重大装备;加快增材制造在汽车等领域的融合应用;培育战略性新兴产业集群,加快培育激光与增材制造等十大战略性新兴产业集群。
山东省	2021年3月	《2021年全省智能制造工作要点》	提出增强智能制造装备供给能力。重点围绕增材制造核心装备,培育首台(套)重大技术装备。
广东省	2021年4月	《广东省加快先进制造业项目投资建设若干政策措施》	支持激光与增材制造等领域,设立专项资金,对引进、建设企业予以支持和奖励。
浙江省	2021年5月	《浙江省新材料产业发展“十四五”规划》	重点发展增材制造高温合金、钛合金等粉体制备技术;发展增材制造技术、热处理、轻质高强合金结构功能一体化设计技术。围绕增材制造用合金粉体等领域培育家国内领先的新材料企业。
山东省	2021年5月	《山东省建材工业“十四五”发展规划》	政策表明重点发展增材制造技术相关设备。
上海市	2021年6月	《2021年度上海市创新产品推荐目录》	目录中包括了增材制造设备。
陕西省	2021年6月	《陕西省人民政府办公厅关于进一步提升产业链发展水平的实施意见》	明确增材制造产业链为重点产业链。
浙江省	2021年6月	《浙江省经济和信息化厅关于印发浙江省高端装备制造业发展“十四五”规划的通知》	明确提出加强装备核心零部件研制的的需求。
广东省	2021年7月	《广东省制造业数字化转型实施方案(2021-2025)》	重点强调建立激光与增材制造产业集群,促进增材制造产业与各行业的深度结合,打造应用技术与服务等为一体的全流程数字产业链。
上海市	2021年7月	《上海市战略性新兴产业和先导产业发展“十四五”规划》	重点培育生物增材制造方向,努力形成一批具有自主知识产权的国际领先的原创核心技术。
江苏省	2021年8月	《省政府办公厅关于印发江苏省“十四五”制造业高质量发展规划的通知》	强调发展无机材料增材制造和食品增材制造等技术。
重庆市	2021年11月	《重庆市经济和信息化委员会关于印发重庆市装备制造业高质量发展行动计划(2021—2025年)的通知》	主要强调新兴高端增材制造装备和新型原材料的研制,并打造高效增材制造装备产业链。
上海市	2021年12月	《上海市高端装备产业发展“十四五”规划》	强调推动关键装备研制和加快核心零部件国产替代进度,增强本土化供给能力。

图 1-28 2021 年各省市增材制造产业相关政策

## 1.9 增材制造产业标准建设情况

增材制造作为能够带领产业变革的颠覆性技术之一，近年来得到国内外企业的高度重视，以标准促发展更是成为国际共识。2020年2月，国家标准化管理委员会（简称“标委会”）联合工业和信息化部、科学技术部、教育部、国家药品监督管理局、中国工程院共同发布了《增材制造标准领航行动计划（2020—2022年）》，系统规划我国增材制造标准重点方向。在国家标准化管理委员会、工业和信息化部等有关部门的领导下，在相关政策的支持下，近几年我国增材制造标准化工作取得了优异的成绩。

据统计，目前已发布实施25项国家标准，5项行业标准，7项地方标准。

同时国标还有2项正在批准中，1项处于审查中，2项正在征求意见中，8项正在起草中。

信息来源：国家标准化管理委员会及全国标准信息公告服务平台。

### 1.9.1 已发布标准

#### 3D打印（增材制造）国家标准(25)

GB/T 14896.7-2015 特种加工机床 术语 第7部分：增材制造机床

GB/T 34508-2017 粉床电子束增材制造 TC4 合金材料

GB/T 35352-2017 增材制造 文件格式

GB/T 35351-2017 增材制造 术语

GB/T 35022-2018 增材制造 主要特性和测试方法 零件和粉末原材料

- GB/T 35021-2018 增材制造 工艺分类及原材料
- GB/T 37461-2019 增材制造云服务平台模式规范
- GB/T 37463-2019 增材制造 塑料材料粉末床熔融工艺规范
- GB/T 37698-2019 增材制造 设计 要求、指南和建议
- GB/T 38973-2020 增材制造制粉用钛及钛合金棒材
- GB/T 38972-2020 增材制造用硼化钛颗粒增强铝合金粉
- GB/T 38970-2020 增材制造用钼及钼合金粉
- GB/T 38971-2020 增材制造用球形钴铬合金粉
- GB/T 38974-2020 增材制造用铌及铌合金粉
- GB/T 38975-2020 增材制造用钽及钽合金粉
- GB/T 39329-2020 增材制造 测试方法 标准测试件精度检验
- GB/T 39254-2020 增材制造 金属制件机械性能评价通则
- GB/T 39251-2020 增材制造 金属粉末性能表征方法
- GB/T 39331-2020 增材制造 数据处理通则
- GB/T 39328-2020 增材制造 塑料材料挤出成形工艺规范
- GB/T 39247-2020 增材制造 金属制件热处理工艺规范
- GB/T 39253-2020 增材制造 金属材料定向能量沉积工艺规范
- GB/T 39252-2020 增材制造 金属材料粉末床熔融工艺规范
- GB/T 39955-2021 增材制造 材料 粉末床熔融用尼龙 12 及其复  
合粉末
- GB/T 40210-2021 增材制造云服务平台参考体系
- 3D 打印（增材制造）行业标准（6）**
- YS/T 1139-2016 增材制造 TC4 钛合金蜂窝结构零件 有色金属  
行业
- JC/T 2555-2019 用于 3D 打印的木塑复合材料 建材行业

YY/T 1702-2020 牙科学 增材制造 口腔固定和活动修复用激光选区熔化金属材料 医药行业

YY/T 1701-2020 用于增材制造的医用 Ti-6Al-4V/Ti-6Al-4V ELI 粉末 医药行业

YY/T 1809-2021 医用增材制造 粉末床熔融成形工艺金属粉末清洗及清洗效果验证方法 医药行业

YY/T 1802-2021 增材制造医疗产品 3D 打印钛合金植入物金属离子析出评价方法 医药行业

### 3D 打印（增材制造）地方标准（8）

DB61/T 1304-2019 增材制造医疗器械生产质量管理规范 陕西省

DB34/T 3563-2019 增材制造 熔融沉积成形（FDM）零件性能试验方法 安徽省

DB32/T 3597—2019 增材制造 金属材料机械性能测试方法指南 江苏省

DB32/T 3598—2019 增材制造 金属激光熔化沉积制件性能要求及测试方法 江苏省

DB32/T 3599—2019 增材制造 钛合金零件激光选区熔化用粉末通用技术要求 江苏省

DB32/T 3873—2020 增材制造用塑料线材 热熔产生烷烃类物质和醛酮类物质的测定 江苏省

DB35/T 1933-2020 熔融沉积 3D 打印品几何精度评价规范 福建省

DB32/T 4093-2021 增材制造 金属制件孔隙缺陷检测 工业计算机层析成像(CT)法 江苏省

## 1.9.2 正在批准

3D 打印（增材制造）国家标准(2)

20194025-T-604 增材制造 术语 坐标系和测试方法

20194024-T-604 增材制造 通则 增材制造零件采购要求

我国增材制造标准化工作在加强基础共性技术研究的同时，重点面向制约当前产业发展的专用材料、测试方法等核心技术，开展“领航”型标准布局。根据国家标准化管理委员会 2020 年第 17 号公告，《增材制造用钼及钼合金粉》（GB/T 38970—2020）等 6 项增材制造专用材料国家标准发布，即将实施。该 6 项国家标准规定了增材制造用钼及钼合金粉、球形钴铬合金粉、硼化钛颗粒增强铝合金粉、铌及铌合金粉、钽及钽合金粉以及制粉用钛及钛合金棒材的要求、试验方法、检验规则及标志、包装、运输、贮存、质量证明书和合同（或订货单）等内容，对我国增材制造领域所需金属粉末材料的要求更加合理规范，有利于提升这 6 项增材制造专用材料的各项性能指标，使其制备技术和整体性能达到国际先进水平，满足航空航天、国防军工、生物医疗等领域关键原材料需求，并对推进高性能金属粉末材料的发展和应用起到积极的促进作用。

在国际标准制定方面，2018 年立项的我国第一项增材制造国际标准《信息技术 3D 打印和扫描增材制造服务平台框架（AMSP）》（ISO/IEC 23510），经过 10 余次会议的讨论和推动，该标准即将进入 DIS 阶段。该国际标准提案主要包括范围、规范性引用文件、术语和定义、平台架构及要求、典型服务模式等方面内容，将为新建增材制造服务平台或对已有增材制造服务平台进行改进，提供技术指导和依据。

在国际标准预研方面，为做好国际标准预研，推动我国更多的

优势技术、产品和服务转化、上升为国际标准，标委会与安世亚太公司、共享装备集团等单位开展技术研讨，编制形成了《增材制造领域国际标准研究与推进报告》，探索开展增材制造铸造砂型、多孔结构设计、在线监测和仿真等方面国际标准提案研究，近期将逐一推动立项。

### 1.10 增材制造产业人才需求情况

人社部发布 2021 年四季度“最缺工”的 100 个职业排行。其中就包括了 3D 打印领域的“增材制造设备操作员”。

国内增材制造人才的培养主力是高校和职业院校，培养规模较小，供给能力有限。据中国增材制造产业联盟估计，我国增材制造产业从业及科研人员规模约为 2 万人，并呈逐年增加趋势。从从业人员现状来看，除有技术经验的中高级人才短缺之外，复合型、骨干型、工程型和管理型人才供给数量也明显不足。我国增材制造行业从业人才短板主要原因在以下几方面：

#### 1. 人才数量不足

人才短缺正成为制约我国增材制造产业发展的主要短板之一。中国增材制造产业联盟预测，未来数年，增材制造领域研发、工程、设计、应用等方面人才数量短缺将达到 800 万人的规模。造成人才数量短缺的原因主要有：一是我国增材制造人才培养体系尚未完善，各层次人才培养跟不上新技术的快速发展；二是增材制造产业发展尚处于起步阶段，产业规模较小，企业研发能力薄弱，不足以支撑长期自主的人才培养；三是受行业环境、企业管理、薪酬制度及个人职业发展规划等因素的影响，民营企业人才流失问题普遍存在。

#### 2. 培养能力较差

高校方面，学科建设不完善，多学科协同创新及交叉学科科研课题不足，这些都限制了增材制造复合型人才的培养，同时我国在增材制造原创性技术研发方面与先进国家仍存在一定差距，学生创新能力水平有待提升；职业院校方面，课程培养方案尚处于探索阶段，师资力量薄弱，培养模式单一，缺乏切合工程实际的人才培养体系和机制，而且我国职业教育受重视程度不够，暂不具备培养高级技能人才的能力；此外，企业作为人才培养的重要渠道，还未发挥出相应的作用，行业内大部分企业对人才培训认识不够，培训体系不完整，人力资源竞争力不足。

### 3. 管理人才匮乏

当前，我国增材制造管理人才主要依靠国内现有科研团队或企业自身培养，通过实际的增材制造产业链运作和商业模式创新应用等来持续提升管理经验和技能水平，逐步培养出符合增材制造行业特点的复合型管理人才。但是，现有的增材制造管理人才培养模式和渠道过于单一，这使得一方面大多数企业管理人员还是基于传统思维方式去推动增材制造技术应用及服务，未基于增材制造思维的管理模式和方法去推动企业增材制造技术应用及服务，另一方面也会造成我国增材制造管理人才发展出现断层，不利于后续我国增材制造产业链的高品质发展。

### 4. 缺少权威认证

我国增材制造人才认证工作尚处于起步阶段，人才认证方案不规范，培养考核标准不统一，相关认证市场认可度不高，未能形成增材制造行业标准化的技能水平测试和能力证明体系。缺少权威认证使得增材制造人才的培养缺乏指导，培养方向、目标、标准不明晰，人才的遴选、甄别、招聘、晋级缺乏客观指导标准和参考。破解

“缺乏认证导致的人才短板”难题，亟需行业组织联合企业、高校资源，面向社会组织开展增材制造领域不同层次紧缺技能人才的考核与认证，注重学员实际应用能力的评测，打造具有权威性、领先性、实践性的增材制造认证证书，加快推动产业人才的培养与储备进程。

陕西省知识产权研究院

## 第 2 章 项目研究思路

### 2.1 本项目的研究思路

本报告将通过采用非专利文献资料研究、行业协会和合作单位需求调查、合作单位专家意见建议、目标企业现场调研等多种形式，结合多种专利文献分类体系、多个国内外专利文献数据库和专题数据库的优特点，确定研究对象的技术分解表，并据此进行增材制造技术领域及其关键技术的专利检索和法律状态检索；通过对检索到的专利文献数据进一步加工处理，形成专利分析的数据样本；通过对上述数据样本的相关专利信息深入分析，实现：

（1）全面分析增材制造技术全球专利态势和在华专利布局情况，了解掌握主要申请人的重点专利情况；

（2）通过对增材制造技术领域重点技术的专利分析，理清技术发展脉络，明确技术研发的方向和热点问题；

（3）通过对增材制造技术发展趋势、可能的技术空白点和技术突破点，为陕西省增材制造技术行业的产业政策制定以及相关企业的技术研发和专利战略布局提供参考意见；

（4）深入分析增材制造技术领域重要专利诉讼的背景、原因、影响，帮助本区域相关行业和企业提高专利利用水平。

### 2.2 专利检索

#### 2.2.1 技术分解表

本报告基于行业习惯和技术习惯对上述主体进行分解，形成技术分解表，见表 2-1。

表 2-1 技术分解表

一级	二级	三级	四级
材料 (上游)	聚合物	工程塑料	ABS 树脂
			PA (聚酰胺、尼龙)
			PC (聚碳酸酯)
			PPFS (聚丙烯)
			PEEK (聚醚醚酮)
			EP (环氧树脂)
			Endur (类聚丙烯)
		生物塑料	PLA (聚乳酸)
			PETG 透明塑料
			PCL (聚己内酯)
		热固性塑料	环氧树脂
			酚醛树脂
			氨基树脂
			聚氨酯树脂
			有机硅树脂
			芳杂环树脂
			光敏树脂
		高分子凝胶	
	金属	黑色金属	不锈钢
			高温合金
		有色金属	钛
镁铝合金			

			镓
			镓铟合金
			稀贵金属
	陶瓷	硅酸铝	
	复合材料	高强度碳纤维	
工艺、设备 (中游)	激光成型	立体光固化 (SLA)	
		分层实体制造 (LOM)	
		选择性激光熔化 (SLM)	
		选择性激光烧结 (SLS)	
		激光熔覆成型 (LCF)	
		直接光制造 (DLF)	
	电子束	电子束选区熔化 (EBM)	
		电子束熔丝沉积 (EBF)	
	电弧	电弧增材制造 (WAAM)	
	其他	熔融沉积成型 (FDM)	
		数码累积成型 (DBL)	
		挤压成型	
应用/服务 (下游)	航空航天		
	医疗	齿科	
		骨科	
		器官	心脏
			肺
	汽车		
日常消费品			

	文创教育		
	建筑		
	模具制造		

## 2.2.2 术语及定义

表 2-2 术语及定义表

术语	定义
立体光固化 (SLA)	用特定波长与强度的激光聚焦到光固化材料表面,使之由点到线,由线到面顺序凝固,完成一个层面的绘图作业,然后升降台在垂直方向移动一个层片的高度,再固化另一个层面,这样层层叠加构成一个三维实体。
选择性激光熔化 (SLM)	选用激光作为能量源,按照三维 CAD 切片模型中规划好的路径在金属粉末床层进行逐层扫描,扫描过的金属粉末通过熔化、凝固从而达到冶金结合的效果,最终获得模型所设计的金属零件。
选择性激光烧结 (SLS)	选择性激光烧结是 SLS 法采用红外激光器作能源,使用的造型材料多为粉末材料。加工时,首先将粉末预热到稍低于其熔点的温度,然后在刮平棍子的作用下将粉末铺平;激光束在计算机控制下根据分层截面信息进行有选择地烧结,一层完成后再进行下一层烧结,全部烧结完后去掉多余的粉末,则就可以得到一烧结好的零件。

激光熔覆成型 (LCF)	利用具有高能密度的激光束使某种特殊性能的材料熔覆在基体材料表面与基材相互熔合，形成与基体成分和性能完全不同的合金熔覆层。其优点是：激光熔覆的作用不仅仅是提高材料表面层的性能，而是赋予它新的性能，并降低制造成本和能耗，节约有限的战略金属元素。
电子束选区熔化 (EBM)	零件的三维实体模型数据导入 EBM 设备，然后在 EBM 设备的工作舱内平铺一层微细金属粉末薄层，利用高能电子束经偏转聚焦后在焦点所产生的高密度能量使被扫描到的金属粉末层在局部微小区域产生高温，导致金属微粒熔融，电子束连续扫描将使一个个微小的金属熔池相互融合并凝固，连接形成线状和面状金属层。
电弧增材制造 (WAAM)	电弧增材制造技术 (Wire and Arc Additive Manufacture, WAAM) 以电弧为载能束，采用逐层堆焊的方式制造金属实体构件，该技术主要基于 TIG、MIG、PAW 等焊接技术发展而来，成形零件由全焊缝构成，化学成分均匀、致密度高，开放的成形环境对成形件尺寸无限制。
熔融沉积成型 (FDM)	熔融沉积成型，(Fused deposition modeling, FDM)，是一种将各种热熔性的丝状材料（蜡、ABS 和尼龙等）加热融化成型的方法。

## 2.2.3 数据检索与处理

### 2.2.3.1 检索策略

本报告的检索主题是“增材制造”，检索截至日期为2022年3月15日。

本报告的研究对象是“增材制造”，因此检索的目标文献是所有关于增材制造技术的专利文献。

本报告的检索由初步检索、全面检索和补充检索三个阶段构成，针对中文数据库和外文数据库分别单独进行检索，从而避免由于数据库自身特点造成的检索数据遗漏。

**初步检索阶段：**初步选择关键词和分类号对该技术主题进行检索，对检索到的专利文献关键词和分类号进行统计分析，并抽样对相关专利文献进行人工阅读，提炼关键词，随时进行检索策略的调整、反馈，总结各检索要素在检索策略中所处的位置，在上述工作基础上制定全面检索策略。

**全面检索阶段：**选定精确关键词、扩展关键词、精确分类号和扩展分类号作为主要检索要素，合理采用检索策略及其搭配，充分利用截词符和算符，同时利用不同数据库的优势进行适时转库检索，对该技术主题在外文和中文数据库进行全面而准确的检索。

为了提高检索的准确性，本次检索采用总-分-总的方式进行检索，将主题进行总体检索，再将技术分支单独进行检索，同时针对关键词检索可能存在的数据遗漏问题，按照IPC分类号、CPC分类号进行补充检索，最后取各检索结果的并集。

### 2.2.3.2 检索过程

#### (1) 总体检索

(TA-ALL: (增材制造 OR "Additive Manufacturing" OR "increasing manufacturing" OR "material increase" OR "METAL LAMINATING and MODELING" OR 3D 打印 OR 三维打印 OR "3D Printing" OR 立体光固化 OR "Stereo lithography apparatus" OR 选区激光熔化 OR 选择性激光熔化 OR "laser selective melting" OR "selective laser melting" OR "laser zone selection melting" OR 选区激光烧结 OR 选择性激光烧结 OR "selective laser sintering" OR 熔融沉积成型 OR 熔融沉积技术 OR "fusion deposition technology" OR "Fused Deposition Modeling" OR "melt stacking molding" OR "molten deposition" OR 电子束熔化 OR "Electron Beam Melting" OR 激光近净成形 OR "Laser Near Net Shaping" OR 电弧增材制造 OR "Arc Additive Manufacturing" OR "electric arc material increasing manufacturing" OR "electric arc augmentation" OR "increasing manufacturing device" OR "3D printer") AND IPC: (B33Y or B22F10 or B22F12 or B29C64)) OR (TA-ALL: (增材制造 or 激光快速成形 or "Additive Manufacturing" or "AM" or "increasing manufacturing" or "material increase" or "METAL LAMINATING AND MODELING" ))

## (2) 技术分支检索

### (1) 光固化成型技术

((TA-ALL: (立体光固化 or 立体光刻 or 立体印刷 or (光固化 and 成型) or "Stereo lithography apparatus" or "Stereo lithography" or "SLA" )) AND (TACD: (增材制造 or 激光快速成形 or "Additive Manufacturing" or "AM" or

“increasing manufacturing” or “material increase” or  
 “METAL LAMINATING AND MODELING” or 3D 打印 or 三维打印  
 or 快速成型 or “3D Printing” or “3DP” or “three-  
 dimensional” or “three-dimensional printing” or  
 “3DP” ))) OR (TA-ALL: (立体光固化 or 光固化成型 or 光固化快  
 速成型 or “Stereo lithography apparatus” or “SLA” ) NOT  
 MIPC: (A61K or A01 or H04 or H03M or C12N or G06F or G06Q or  
 C07K or C07D or C08F or C12Q or H01L or A01N or G02F or  
 A61B or C07C Or G01R or H03K or G11C or G06K or G07F or  
 B05D or G06N or A23L or G01D or H04R))

## (2) 选区激光熔化

TA-ALL: (((激光 or laser) and (熔化 or 熔融 or melting  
 or metal or fusion) and (成型 or 成形 or form\* or shap\*))  
 or 选区激光熔化 or 选区激光熔化 or 选择性激光熔化 or  
 “laser selective melting” or “selective laser melting”  
 or “laser zone selection melting” or “SLM” ) AND  
 TACD-ALL: (增材制造 OR "Additive Manufacturing" OR "AM" OR  
 "increasing manufacturing" OR "material increase" OR "METAL  
 LAMINATING and MODELING" OR 3D 打印 OR 三维打印 OR 快速成型  
 OR "3D Printing" OR "three-dimensional" or “three-  
 dimensional printing” ) NOT IPC: (B41M5/00 or B32B or  
 B23K26/18 or G11B or H01L or B23K26/14 or H01S5/00 or H04  
 or H05K or G21B or B23Q or E21 or E02 or A61B or C23C14 or  
 F21V or G11B or B41J or H04N or G01M or G08 or H01 or B64C)  
 NOT TA-ALL: (激光切割 or 激光标记 or 激光吸收 or 激光反射 or

激光辐照 or 激光辐射 or 激光强化 or 激光对焊)

### (3) 激光烧结

((TA-ALL: ((激光 and 烧结) or 选区激光烧结 or 选择性激光烧结 or ( laser and sintering) or “SLS” ) AND TACD-ALL: (增材制造 OR "Additive Manufacturing" OR "AM" OR "increasing manufacturing" OR "material increase" OR "METAL LAMINATING and MODELING" OR 3D 打印 OR 三维打印 OR 快速成型 OR "3D Printing")) NOT (TA-ALL: (封装 or 光伏 or (three and dimensional and memory) or (激光器 and 芯片) or “electronic device” or (信号 and “SLS” ))) NOT (IPC: (G02B27/00 or H01L27/11578 or H04M15/04 or B01J23/42 or H01J or G01N21/00 or G06F13/00 or H01L27/08 or H04))

### (4) 熔融沉积

((TA-ALL: (熔融沉积成型 or 熔融沉积技术 or “fusion deposition technology” or “Fused Deposition Modeling” or “FDM” or “melt stacking molding” or “molten deposition” )) AND (TACD: (增材制造 OR "Additive Manufacturing" OR "AM" OR "increasing manufacturing" OR "material increase" OR "METAL LAMINATING and MODELING" OR 3D 打印 OR 三维打印 OR 快速成型 OR "3D Printing" OR "three-dimensional")) not IPC: (H04 or H05K or F21V or G11B or B41J or H04N or G01M or G08 or H01M)

### (5) 电子束熔化

((TA-ALL: ((电子束 OR “Electron beam” ) and (增材制造 or 快速成型 or 快速成形 or 3D 打印 or “Additive

Manufacturing” or “increasing manufacturing” or  
 “material increase” or “METAL LAMINATING AND MODELING”  
 or “3D Printing” or “three-dimensional printing” ))) OR  
 (TA-ALL: ((电子束 and (熔化 or 熔融 or 熔丝)) or (“Electron  
 Beam” and Melt\*) or “EBM” ) AND TACD-ALL: (增材制造 or 快  
 速成型 or 快速成形 or 3D 打印 or “Additive Manufacturing”  
 or “AM” or “increasing manufacturing” or “material  
 increase” or “METAL LAMINATING AND MODELING” or “3D  
 Printing” or “three-dimensional printing” ))) OR  
 ((TA-ALL: ((电子束 OR “Electron beam” ) and (增材制造 or 快  
 速成型 or 快速成形 or “Additive Manufacturing” or “AM”  
 or “increasing manufacturing” or “material increase” or  
 “METAL LAMINATING AND MODELING” ))) OR (TA-ALL: (电子束熔  
 化 or 电子束熔融 or “Electron Beam Melting” or “EBM”)))

#### (6) 电弧增材制造

TAC-ALL: ((电弧 and 增材) OR “Arc Additive  
 Manufacturing” OR “WAAM” OR “electric arc material  
 increasing manufacturing” OR “electric arc augmentation” )  
 AND TACD-ALL: ((增材制造 OR "Additive Manufacturing" OR "AM"  
 OR "increasing manufacturing" OR "material increase" OR  
 "METAL LAMINATING and MODELING" OR 3D 打印 OR 三维打印 OR  
 快速成型 OR "3D Printing" OR "three-dimensional"))

#### (7) 增材制造原材料

(TA-ALL: 聚酰胺 or ABS or 尼龙 or PA or PC or 聚碳酸酯  
 or PPS or 聚丙烯 or PEEK or 聚醚醚酮 or EP or 环氧树脂 or

“epoxy resin” or Endur or 类聚丙烯 or PLA or 聚乳酸 or PETG or PCL or 透明塑料 or 聚己内酯 or 酚醛树脂 or “Phenolic Resin” or 氨基树脂 or “Amino resin” or 聚氨酯树脂 or “Polyurethane resin” or 有机硅树脂 or “Silicone resin” or 芳杂环树脂 or “Aromatic Heterocyclic Resins” or 光敏树脂 or “photosensitive resin” or 高分子凝胶 or “polymer gel” or 不锈钢 or “Stainless steel” or 高温合金 or Superalloy or ((钛 or Ti or titanium) and (合金 or alloy) or 铝合金 or “Aluminum alloy” or 铜合金 or “Copper alloy” or 复合材料 or Composite or 陶瓷 or “Ceramic material” )) AND (CPC: ( B33Y70) OR IPC: (B33Y70 ))

#### (8) 分类号检索

(CPC: (B22F10/85 OR B22F12/00 OR B22F12/82 OR B33 OR G06F2113/10)) OR (IPC: (B33Y or B22F10 or B22F12 or B29C64 or G06F113/10))

### 2.2.4 数据来源

本项目专利数据检索采用 incoPat 科技创新情报平台和智慧芽 patsnap 专利检索平台作为检索平台，本次专利检索截止日期为 2022 年 3 月 15 日，共得到专利数据 176785 件，中文库和外文库的检索结果如表 2-3 所示：

表 2-3 专利检索结果

数据块	检索结果	中文	外文
总样本	176785	65095	111690
光固化成型	6454	2229	4225
激光熔化及激光烧结	12858	5964	6894
熔融沉积成型	2443	1645	798
电子束熔化	2931	808	2123
电弧增材制造	1669	1160	509
材料	40601	18151	22450
设备	37247	22454	14793
元器件	10423	7003	3420

### 2.2.5 数据处理

具体而言：检索结果中必然存在相当数量的数据是噪音文献，因此需要通过数据筛选把与本次研究主题不一致的文献从检索文献中遴选出来。数据筛选是保证专利信息分析数据源准确性的重要环节，也决定着分析报告基础的可靠性。

本报告的筛选工作分三个步骤进行：第一步从技术主题以及各技术分支出发筛选中文数据库中相关目标文献；第二步从外文数据库中扣除含有中文数据库中已经检索到的中文数据的专利族数据，从技术主题以及各技术分支出发筛选外文数据库中相关目标文献；

第三步在主要申请人补充检索结果中扣除上述中外数据库中所述检索结果之后筛选相关目标文献。

## 2.2.6 标准化申请人表

针对本报告中检索的外国申请人及同公司不同名称的情况进行标准化约定，具体见表2-4。

表 2-4 标准化申请人表

约定名称	对应申请人名称
EOS	EOS 电光系统有限责任公司 EOS 有限公司点光学系统 德国易欧司光电技术有限公司 EOS ELECTRO OPTICAL SYST
3D 系统公司	3D Systems、3D SYSTEMS, INC、3D 系统公司、3D 系统-C、DTM
斯特拉塔西斯公司	Stratasys、斯特拉特西斯公司、斯特拉塔系统有限公司、斯特拉塔西斯公司
Helisys	Helisys
铂力特	西安铂力特增材技术股份有限公司陕西增材制造研究院有限责任公司 铂力特(深圳)增材制造有限公司 铂力特(江苏)增材制造有限公司
华中科技大学	华中科技大学 华中理工大学

### 第 3 章 增材制造产业专利概览

增材制造技术使用能源有激光、电子束、电弧等，采用的材料有树脂、塑料、金属、陶瓷、蜡等，因其采用的成型方法和使用的成型材料以及依靠的凝结热源不同，现在主要分为以下几类：光固化成型 (SLA) 技术、选择性激光熔化 (SLM) 技术、选择性激光烧结 (SLS) 技术、熔融沉积成型 (FDM) 工艺技术、电子束熔化 (EBM) 工艺技术、电弧增材制造技术 (WAAM)。

#### 3.1 专利申请趋势

##### 3.1.1 全球专利申请趋势

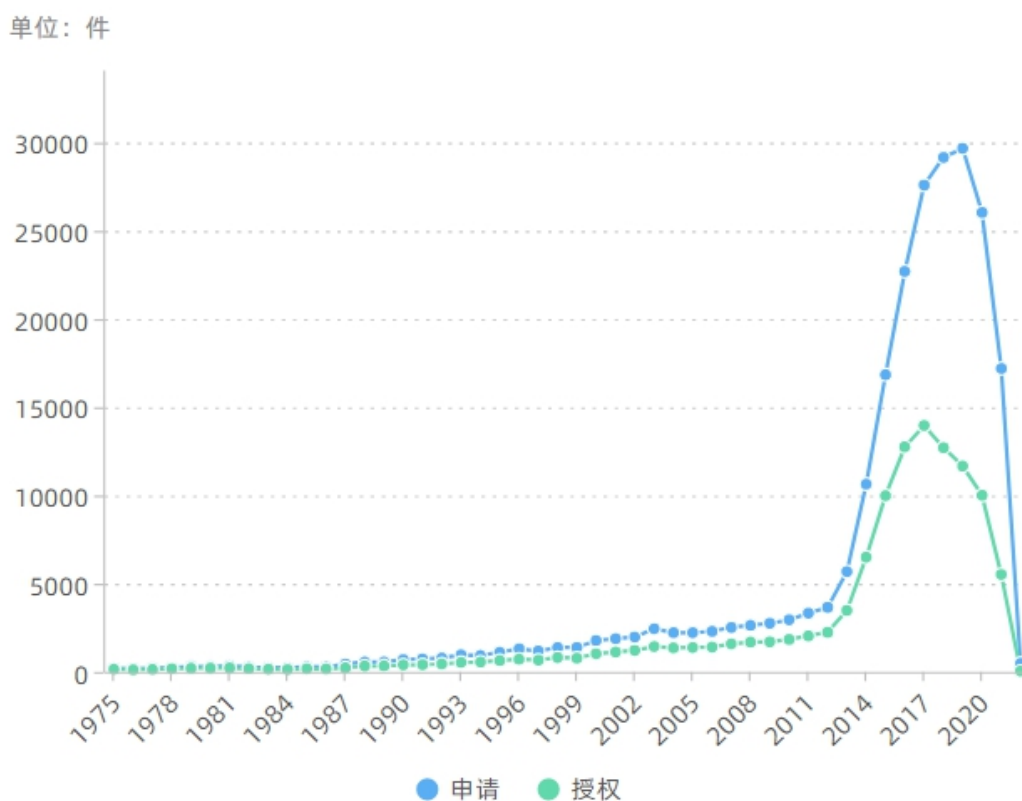


图 3-1 全球增材制造专利申请趋势

如图 3-1 所示为全球增材制造专利申请趋势，可以看到，增材制造技术的发展目前可以分为 3 大阶段。

阶段 1：上世纪 70 年代末期至 80 年代末期，在此阶段，增材制造技术处于研究的起始阶段，有一定的成果产生，总体专利申请数量较少；

阶段 2：上世纪 90 年代至 2011 年，在此阶段，增材制造技术在最开始的光固化立体成型技术之上，产生了更多的研究与发展，从光固化成型技术开始，逐渐形成了激光快速成型技术如选区激光熔化、选区激光烧结、熔融沉积成型等技术，在此阶段处于缓慢发展期；

阶段 3：2011 年至今，处于快速发展期；专利申请数量飞速增长，相关研究企业越来越多，行业呈现蓬勃的发展态势。

### 3.1.2 中国专利申请趋势

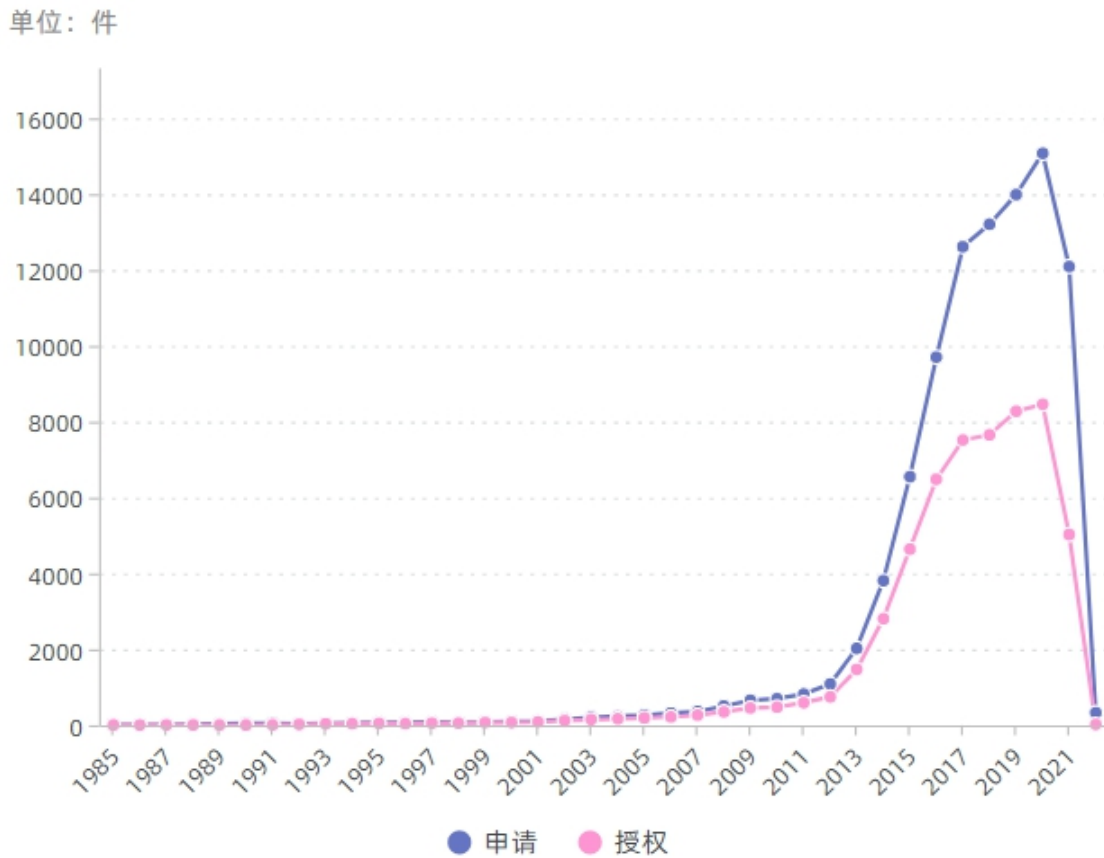


图 3-2 中国增材制造专利申请趋势

如图 3-2 所示为中国增材制造专利申请趋势，可以看到，中国增材制造技术的发展趋势与全球基本同步，中国增材制造技术的发展目前可以分为 3 大阶段。

阶段 1：上世纪 80 年代末期至本世纪初，在此阶段，增材制造技术处于技术引进及研究的起始阶段，有一定的成果产生，总体专利申请数量较少；

阶段 2：本世纪初 2002 年至 2010 年，在此阶段，我国大力发展增材制造技术，产生了显著的技术成果，在此阶段处于缓慢发展期；

阶段 3: 2011 年至今, 处于快速发展期; 在此阶段, 我国技术专家突破技术瓶颈, 国内专利申请数量飞速增长, 逐步缩短了与欧美国家的差距。

根据调查, 增材制造这项兴起于 80 年代末期的技术, 在 2010 年之前的市场上几乎是无人问津。在 2010 年-2020 年期间, 随着专利技术的过期开源、媒体的持续宣传报道、资本的介入助力、人才的不断流入以及政府的大力扶持, 3D 打印行业终于迎来了第一轮幅度较大的增长。

对比图 3-1 和图 3-2 可知, 中国的增材制造技术起步稍晚于发达国家, 在 2003 年前, 申请量均低于 20 件, 尚处于技术萌芽期。这一时期的主要申请来源于外国公司, 特别是美国的公司, 以及中国高校, 例如清华大学、华中理工大学、北京工业大学等。而在 2003 年后, 随着计算机技术的发展以及新材料的出现, 加之政府的大力支持, 中国的增材制造技术专利申请量出现了连续增长, 到 2011 年达到顶峰。与传统技术不同, 增材制造技术是多技术交融的新兴产业, 该技术与传统技术相比, 在全球的起步较晚。随着中国重视增材制造技术的研发, 有多个高校及科研单位同时研究不同技术分支, 近年来发展速度很快, 已经成为全球增材制造领域不可忽视的力量。

## 3.2 专利区域分布

### 3.1.1 全球专利区域分布

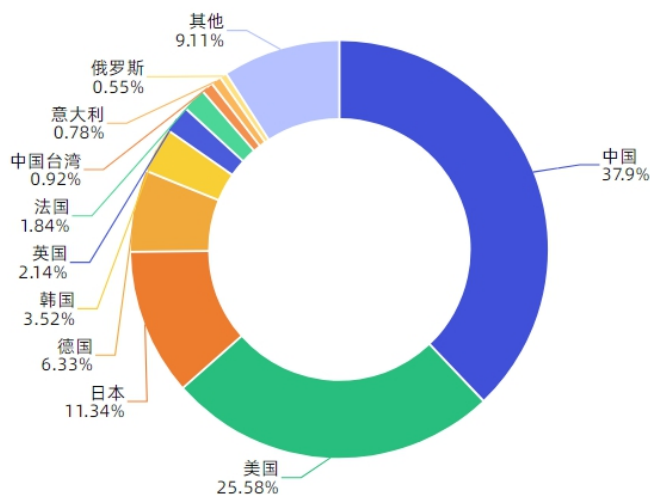


图 3-3 技术来源国分布

技术来源国/地区	中国	美国	日本	德国	韩国	英国	法国	中国台湾	意大利	俄罗斯
专利数量	88671	59841	26525	14810	8247	5000	4303	2149	1831	1285
技术来源国/地区	欧洲专利局	澳大利亚	瑞士	印度	荷兰	瑞典	西班牙	奥地利	丹麦	波兰
专利数量	11201	1150	1039	806	668	608	556	449	379	372

图 3-3 所示为增材制造专利技术来源国分布，可以看到，目前中国是增材制造技术最大的技术来源国，这与我国制造业突飞猛进的发展有着密不可分的关系。中国作为专利技术来源国，专利申请占比超过全球总数量的 1/3，排名第二的是美国，美国是增材制造技术的起源地，相关专利占比为 25.58%；排名第三的是日本，专利申请占比为 11.34%，排名第四、第五、第六的技术来源国分别为德

国、韩国、英国，但相关专利占比较低，均不超过10%。

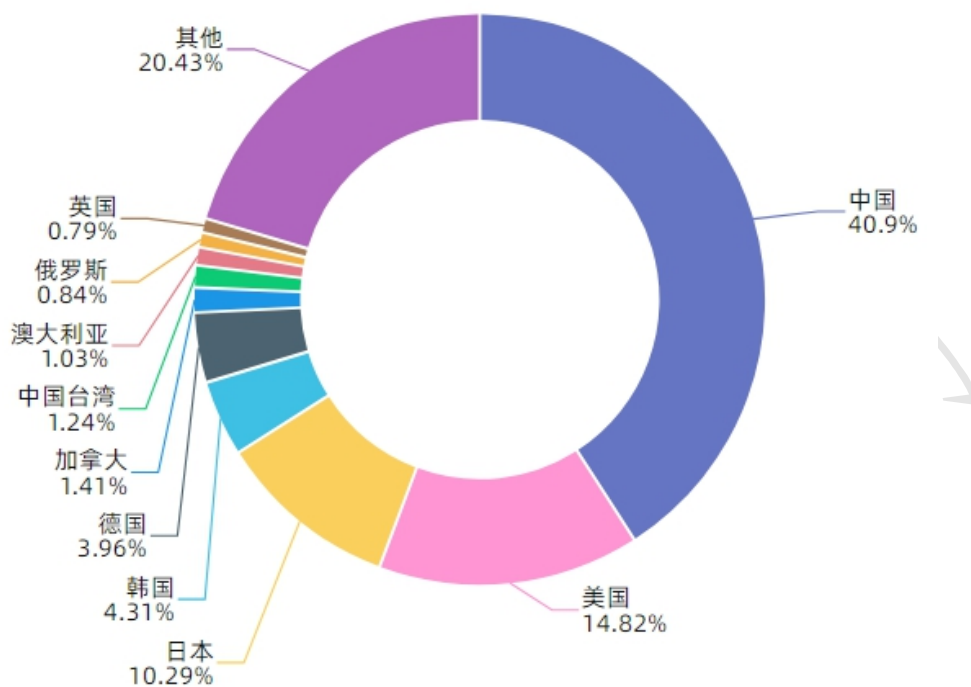


图 3-4 目标市场国/地区分布

目标市场国/地区	中国	美国	日本	韩国	德国	加拿大	中国台湾	澳大利亚	俄罗斯	英国
专利数量	95682	34666	24086	10074	9255	3292	2894	2407	1954	1853
目标市场国/地区	世界知识产权组织	欧洲专利局	印度	西班牙	巴西	法国	奥地利	新加坡	中国香港	墨西哥
专利数量	18698	15515	1602	1414	1297	1266	690	673	672	641

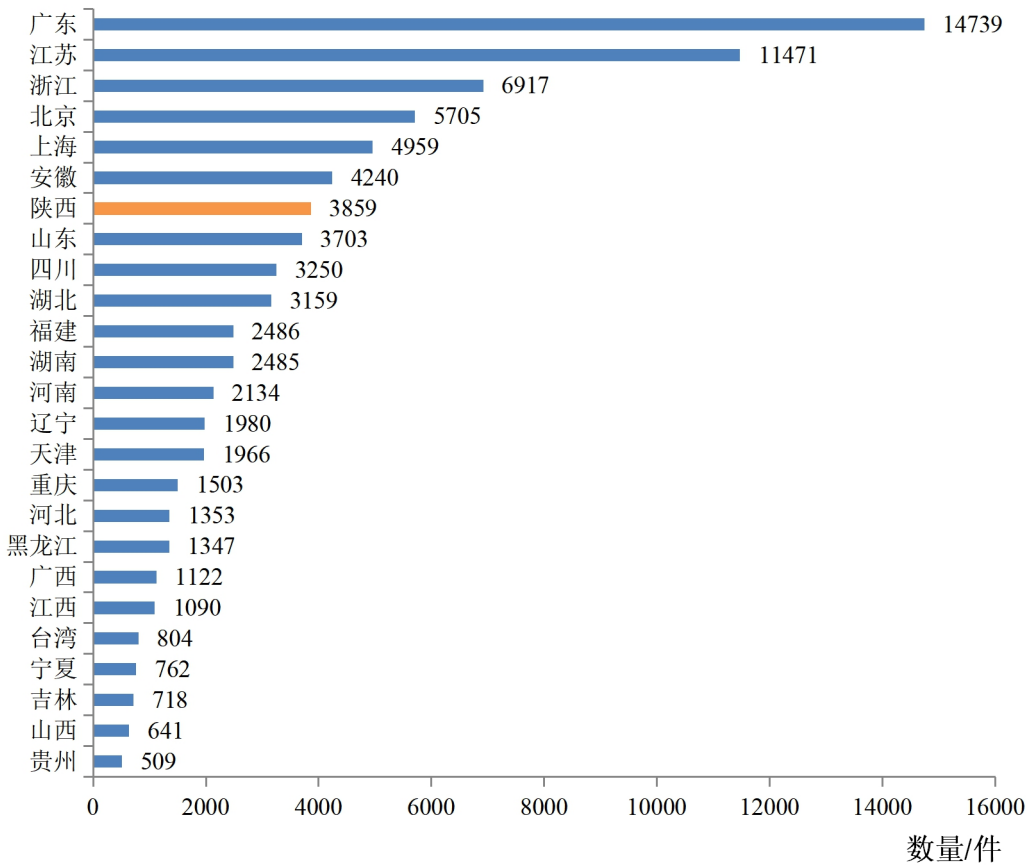
图 3-4 所示为增材制造专利技术目标市场地区分布，可以看到，中国是目前最大的专利申请目标地，中国作为专利受理局的专利占比达 40.9%，排名第一；排名第二的是美国，相关专利占比为 14.82%；排名第三的是日本，相关专利占比为 10.29%；与技术来源

国相比，前三名的名次未发生变化；韩国、德国、加拿大排名为第四、第五、第六，相关专利占比均不超过 10%。

由此可见，中国、美国、日本是增材制造技术相对发达也集中的地域。

### 3.2.2 中国专利地域分布

申请人省市



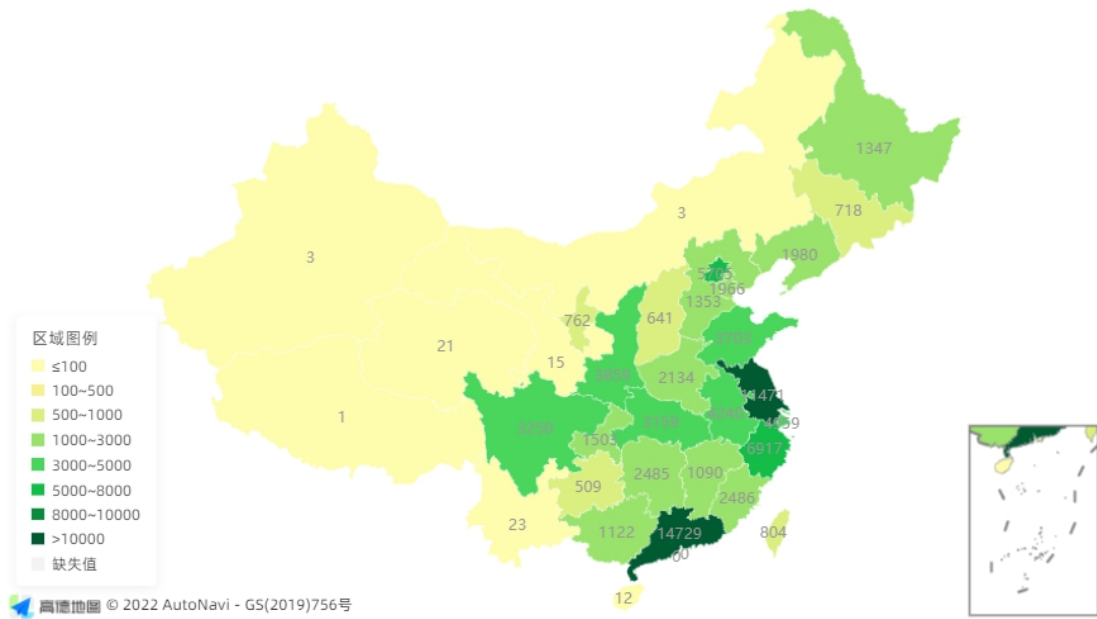


图 3-5 中国增材制造技术专利申请人省市排名

如图 3-5 所示为中国增材制造专利技术各省市排名情况，可以看到广东、江苏、浙江等沿海地区相关专利申请量较大，包揽前三；其中广东、江苏两地相关专利申请量均超过 1 万；排名第四的为北京，相关专利申请量为超过 5,700；排名第五的为上海，相关专利申请量接近 5000；排名第六的省份为安徽，相关专利申请量超过 4200；陕西省排名第七，相关专利申请量为 3859 件。

从以上排名可以看到，沿海地区、一线城市增材制造技术也相对发达，而陕西省作为内陆城市，因为具有优厚的高校科研资源和人才，在此领域也具有自身的优势。

### 3.3 技术生命周期

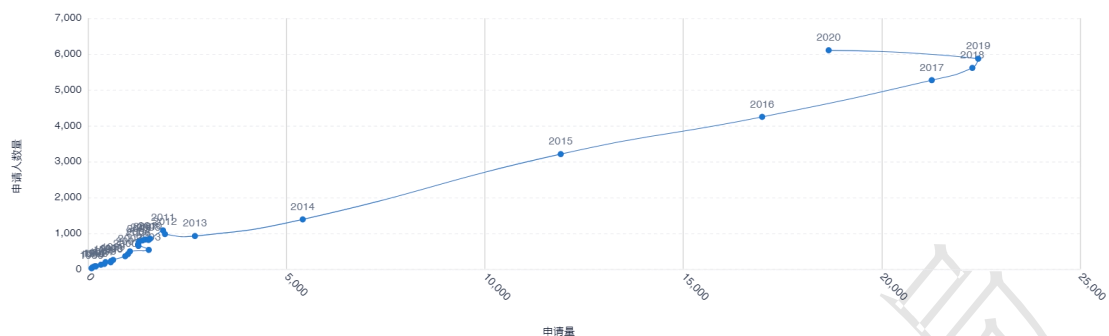


图 3-6 增材制造技术专利生命周期

如图 3-6 所示为增材制造专利技术的生命周期展示，可以看到近 10 年来，增材制造技术一直处于快速发展的状态，目前还处于发展期，未来的发展空间很大。

### 3.4 技术点构成

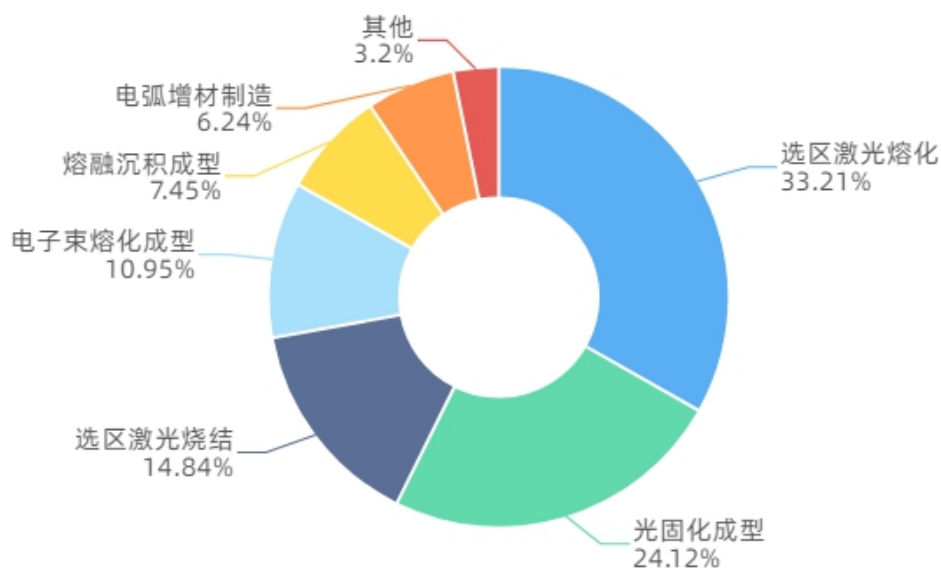


图 3-7 增材制造产业专利技术构成

如图 3-7 所示为增材制造专利技术构成分布情况，可以看到，最主流的技术包括选区激光熔化、光固化成型技术、选区激光烧结、

电子束熔化成型技术、熔融沉积成型技术、电弧增材制造技术。相关专利占比最高的是选区激光熔化，专利占比为 33.21%，其次是光固化成型技术，相关专利占比为 24.12%，专利排名第三的是选区激光烧结技术，相关专利占比为 14.84%。电子束熔融技术、熔融沉积成型技术、电弧增材制造技术相关专利占比较小。

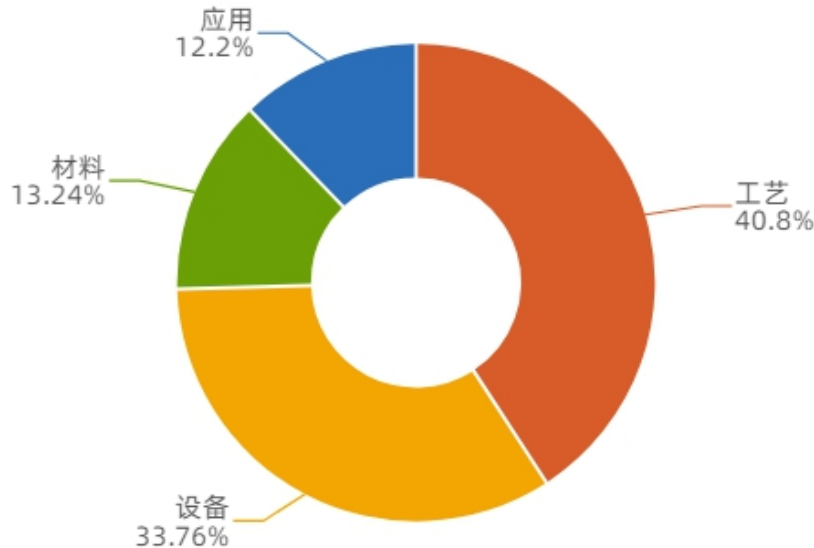


图 3-8 增材制造专利产业分布

如图 3-8 所示为增材制造专利技术在产业链上的分布情况，可以看到，更多的专利还在于增材制造的工艺方法，相关专利占比超过 40%，其次为增材制造设备，工艺的创新往往离不开设备本身，因此设备相关专利与工艺的专利占比数量相差不大，占比为 33.76%，而材料及应用作为产业链的上游和下游，相关专利占比相差不大，分别为 13%和 12%。

从以上数据可以看出，目前专利数量多集中在增材制造工艺方法和设备，处于产业链的中游，而上下游的专利布局较少。

### 3.5 国内外主要申请人

#### 3.5.1 全球申请人排名

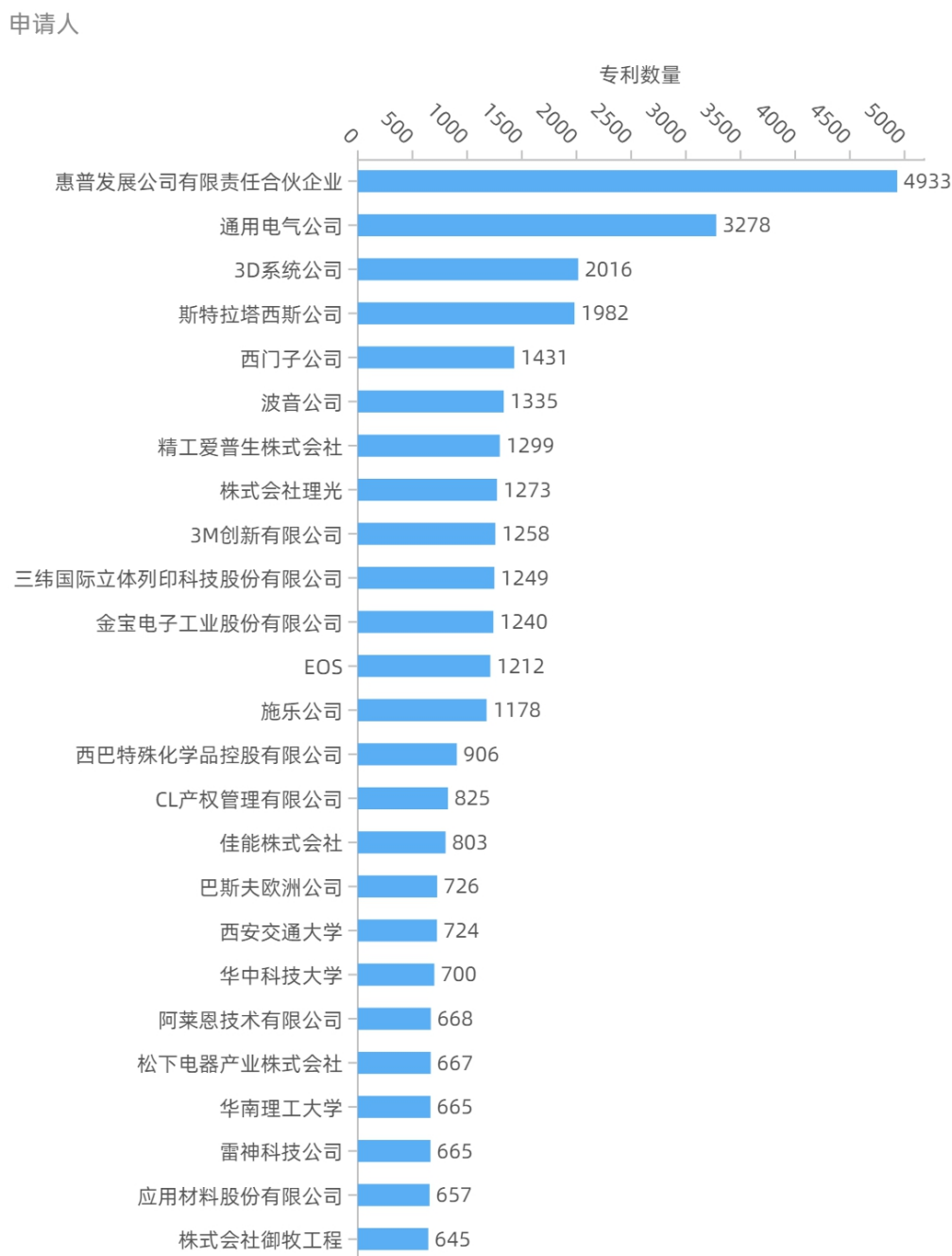


图 3-9 增材制造技术专利申请人排名

如图 3-9 所示为增材制造技术专利申请人排名前 25 的名单，可

以看到，在前 25 的申请人中，绝大多数申请人为外国申请人，而中国上榜的申请人仅有 3 所高校。结合 3.2 章节的分析可以看出，虽然中国增材制造专利数量最多，但是落到具体申请人数量较少，显示出中国专利申请较为分散，研究主体较多。

### 3.5.2 中国申请人排名

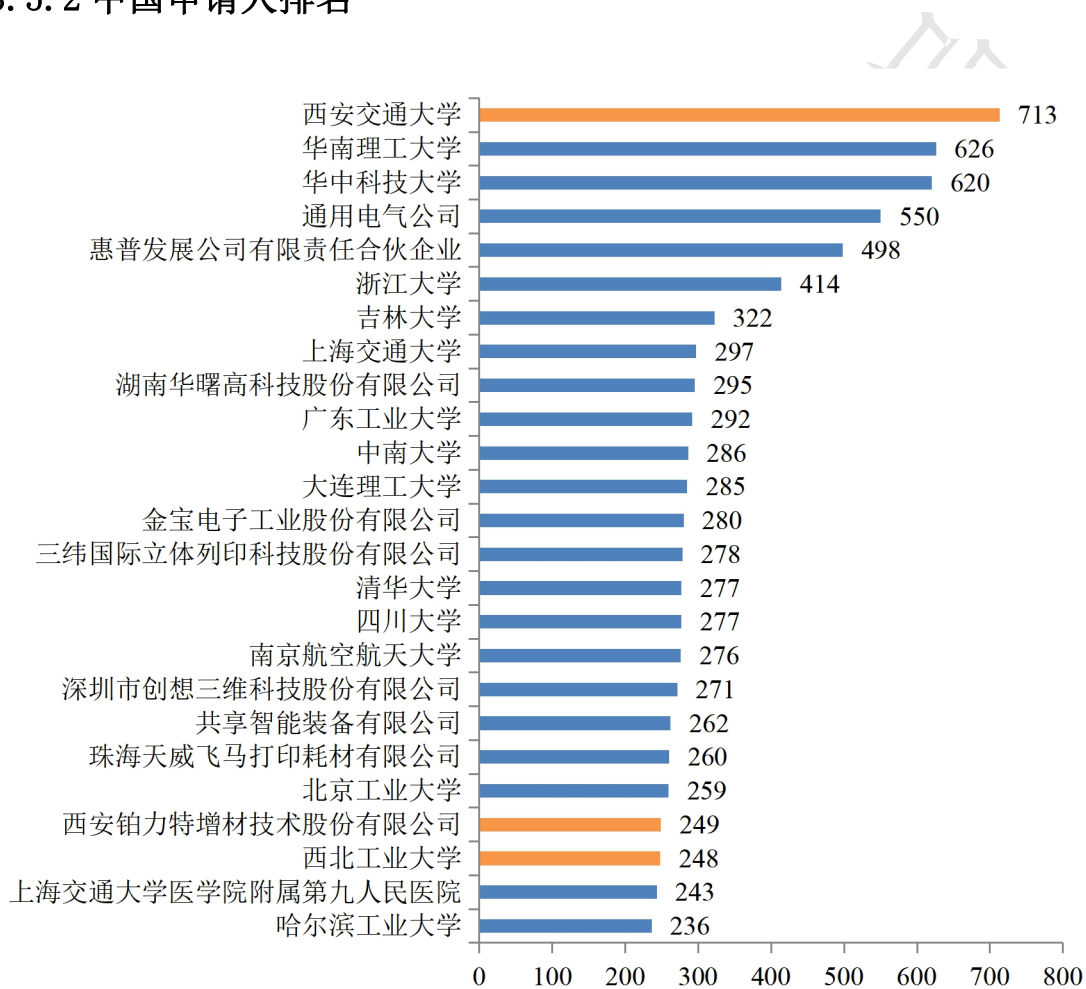


图 3-10 增材制造技术中国专利申请人排名

如图 3-10 所示为增材制造技术中国专利申请人排名情况，可以看到在中国排名前 25 的申请人中，超过一半的申请人为高校。黄色数据条显示的为陕西省申请人，可以看到在前 25 名的申请人中，陕西省的申请人有 3 个，包含两所高校，一家企业，分别是西安交通

大学、西北工业大学和西安铂力特增材技术股份有限公司，其中排名第一的是西安交通大学，相关专利申请量超过 700 件，排名前三的均为高校，第二名华南理工大学，第三名为华中科技大学，排名第四第五的申请人为国外公司在华申请。

从以上数据可以反映出，增材制造技术在国内的研究更多在高校，企业产业化的程度依然需要加强。

### 3.6 小结

增材制造技术相关专利主要集中在中国、美国、日本，欧美地区作为增材制造技术的起源地，在本领域的创新程度依然走在前列，专利集中度更高，并且国外申请人更加注重全球市场的布局。

从整体来看，更多的专利被国外申请人拥有，中国增材制造产业起步较晚，但是已有较多的技术成果，但是产业化依然有待加强。

目前最主流的技术依然是采用激光源进行的增材制造工艺，应用最广泛的是选区激光熔化，其次是光固化成型，排名第三的是选区激光烧结。

现有的专利技术中，涉及增材制造工艺方法的专利占比最大，其次是增材制造相关设备，材料和应用的专利相对较少。

国外的申请人，企业为主要的申请人，而在中国高校申请人占比较高，可见中国增材制造技术的产业化进程还有较长的路要走。

## 第4章 增材制造原材料专利分析

### 4.1 增材制造材料分类

增材制造技术通过三维建模、软件分层离散和数控成型，利用激光束、热熔喷嘴等方式，将不同的材料逐层堆叠成型，制造出实体产品。可用于增材制造的材料主要包括：金属类材料，如钛合金、铝合金、镁合金、不锈钢、高温合金等；聚合物材料如工程塑料、热固性塑料，包括ABS树脂、PA（聚酰胺、尼龙）、PC（聚碳酸酯）、PPFS（聚丙烯）、PEEK（聚醚醚酮）、PETG透明塑料等；陶瓷材料；复合材料如纤维复合材料、纳米复合材料等。

### 4.2 增材制造专用材料专利分析

#### 4.2.1 专利申请趋势

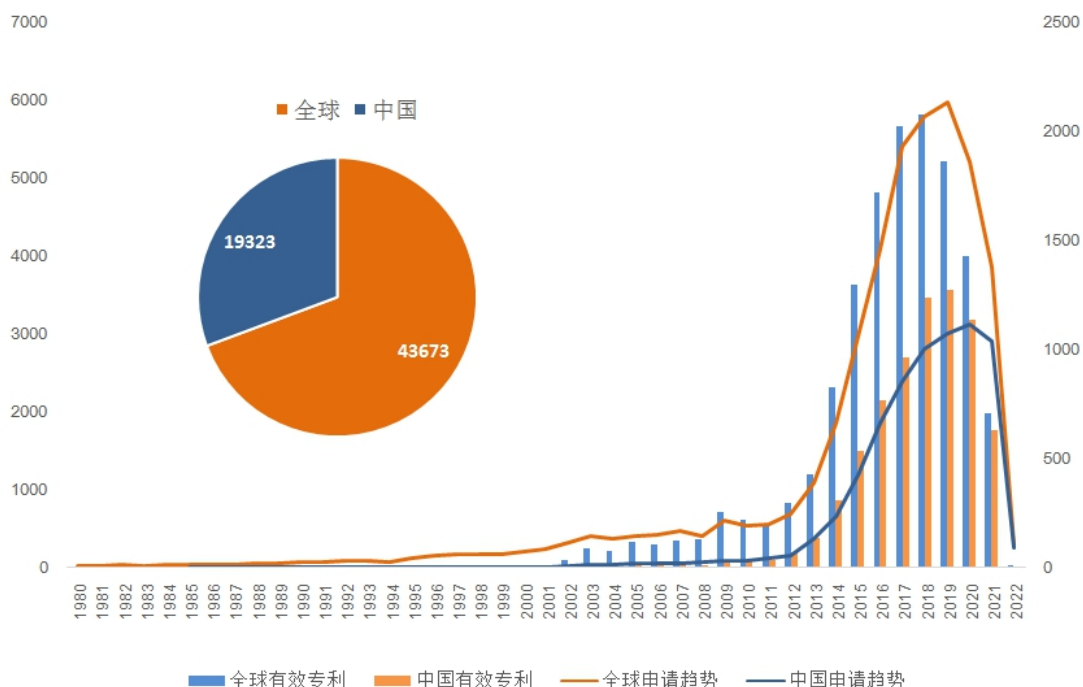


图 4-1 增材制造材料相关专利申请趋势

图 4-1 为增材制造材料相关专利申请趋势，可以看到全球增材制造专利申请趋势总体呈快速发展的状态，大致可分为三个阶段：

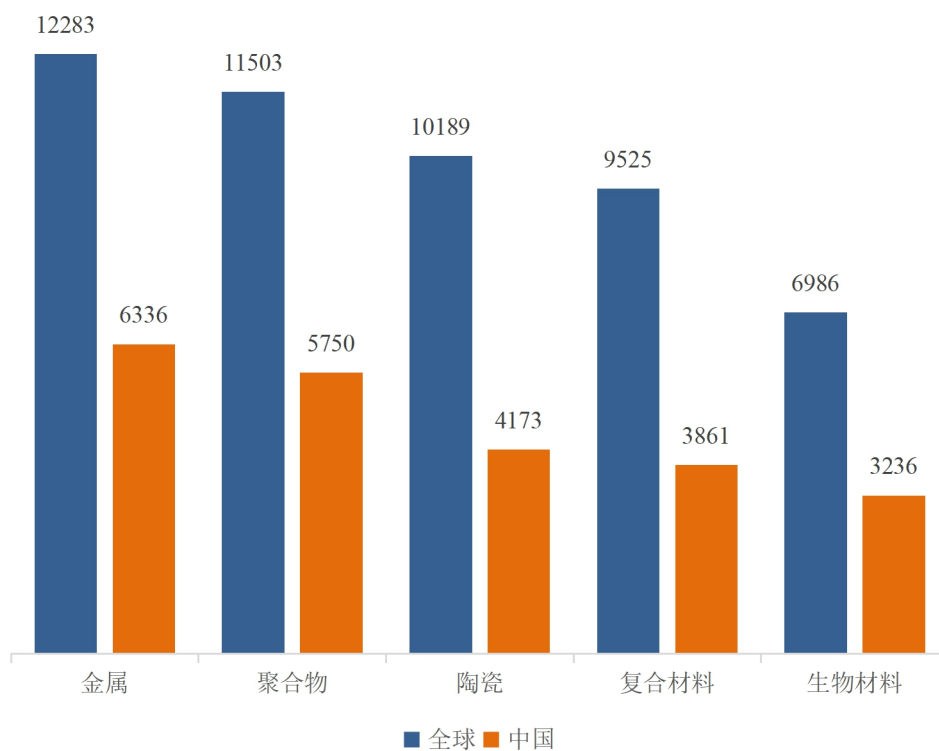
第一阶段：上世纪 80 年代初到上世纪末，增材制造材料相关专利的申请量均比较少，年申请量不超过 20，跟随增材制造技术的发展而发展，处于基础研究阶段，在此时期，中国关于增材制造技术的研究才刚刚开始，材料方向的专利申请量较少，年申请量不超过 10；

第二阶段：本世纪初至 2011 年，在此阶段，增材制造材料相关专利开始呈现逐年递增的状态，尤其是 2000 年之后中国增材制造技术的发展带动增材制造材料制备技术的发展，相关专利也呈现出缓慢增长的态势，在此阶段处于缓慢发展期；

第三阶段：2012 年至今，自从 2012 年开始我国制定并发布相关增材制造产业政策，推动增材制造技术的发展之后，中国的增材制造技术也从缓慢发展阶段进入到快速发展阶段。这一时期，由于全球经济贸易活动更加频繁，技术交流更加便捷，加之最开始的专利技术逐渐期限届满，中国关于增材制造技术的研究取得了较大发展和良好的成果，从而相关专利的申请在全球的专利申请量占比逐渐增大，已经逐渐缩短与发达国家的差距。

## 4.2.2 技术点构成

增材制造专用材料分类



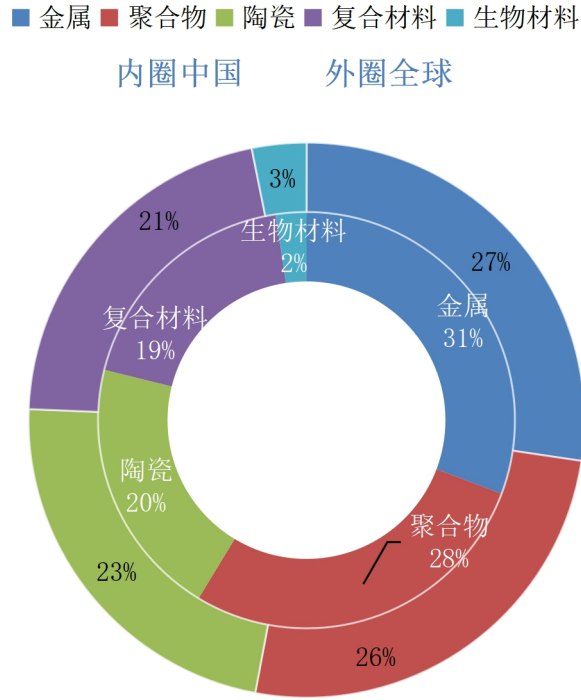


图 4-2 增材制造材料相关专利分类

图 4-2 所示为增材制造材料相关专利分类，可以看出，在所有增材制造专用材料里，金属材料相关专利是最多的，其次是聚合物材料，陶瓷材料和复合材料分别排名第三和第四，而生物材料相关专利较少。从全球和中国的专利技术点构成来看，全球金属材料 and 聚合物材料相关专利占比几乎相同，陶瓷材料和复合材料相关专利占比相差较小，结合中国专利技术点的构成来看，国外聚合物材料相关专利比金属材料相关专利占比更高一些，陶瓷材料、复合材料在外国专利的占比也比中国比例高，生物材料国内外相关专利均比较少。

### 4.2.3 地域分布

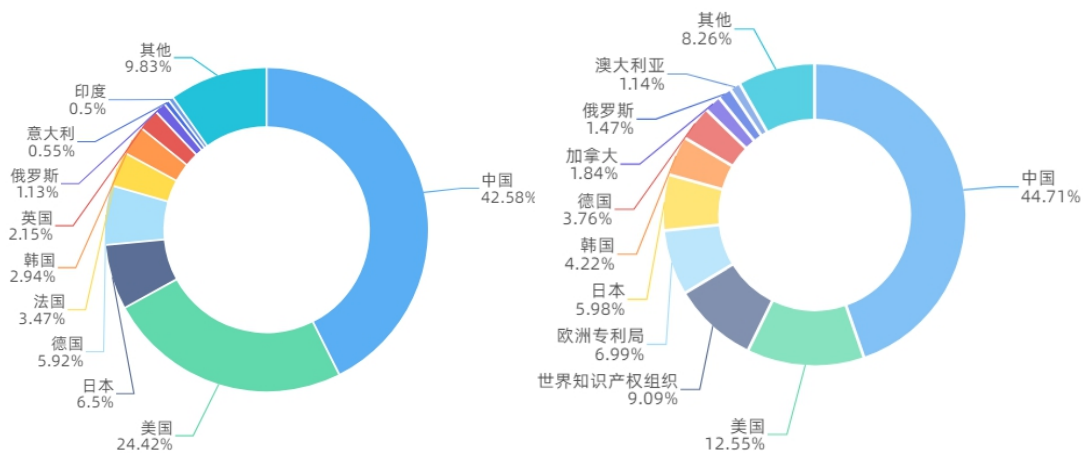


图 4-3 a) 技术来源国

图 4-3 b) 目标市场国

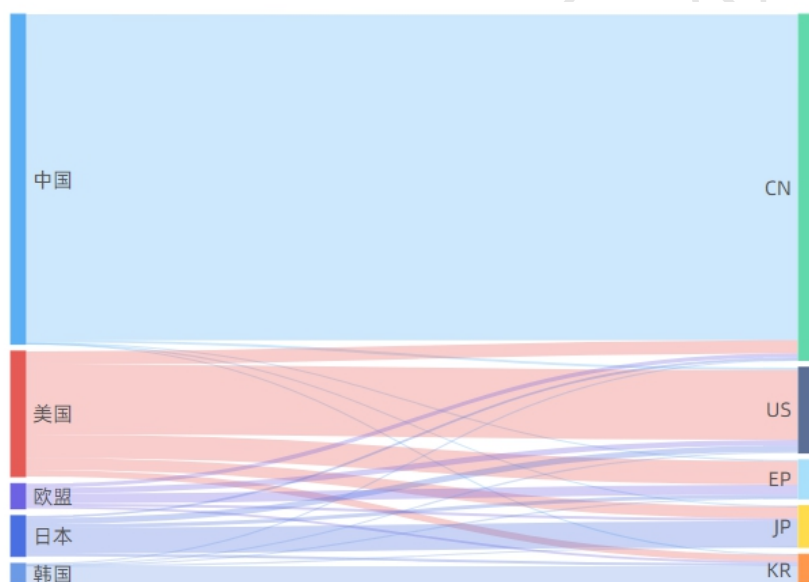


图 4-3 c) 增材制造材料技术流向图

如图 4-3 所示为增材制造材料相关专利的技术来源国及目标市场国分布情况，可以看到目前，中国是增材制造材料相关专利最大的技术来源国，相关专利占比超过 42%，其次是美国，相关专利占比为 24%，排名第三的是日本，相关专利占比 6.5%，与第二名相差较大，由此可以看出，中国、美国是目前增材制造技术最活跃的两大大市场。

表 4-1 增材制造材料相关专利不同时期申请量

时间	全球	中国	中国专利申请量占比
2000 年及以前	1768	29	1.64%
2001-2010 年	4002	479	11.97%
2011-2015 年	6683	2366	35.40%
2016 年至今	28148	15277	54.27%
合计	40601	18151	44.71%

表 4-1 梳理了增材制造材料相关专利不同时期的专利申请情况，可以看到在 2000 年之前，中国增材制造材料相关专利申请极少，占同期全球专利申请量的比例仅有 1.64%；而在之后的十年 2001-2010 年之间，相关专利申请量开始逐渐增加，申请量占同期全球专利申请量比例提高至 11.97%；2011 年-2015 年 5 年时间内，中国增材制造材料相关专利申请量占同期全球专利申请量比例提高至 35.4%，超过了全球 1/3 的数量。而在 2016 年至今 6 年多时间内，申请量比例超过了全球专利数量的一半，总申请量的比例也接近全球总申请量的一半，结合前文发展趋势情况分析可知，增材制造技术在中国的发展主要集中在 2011 年之后。

### 4.2.4 申请人排名

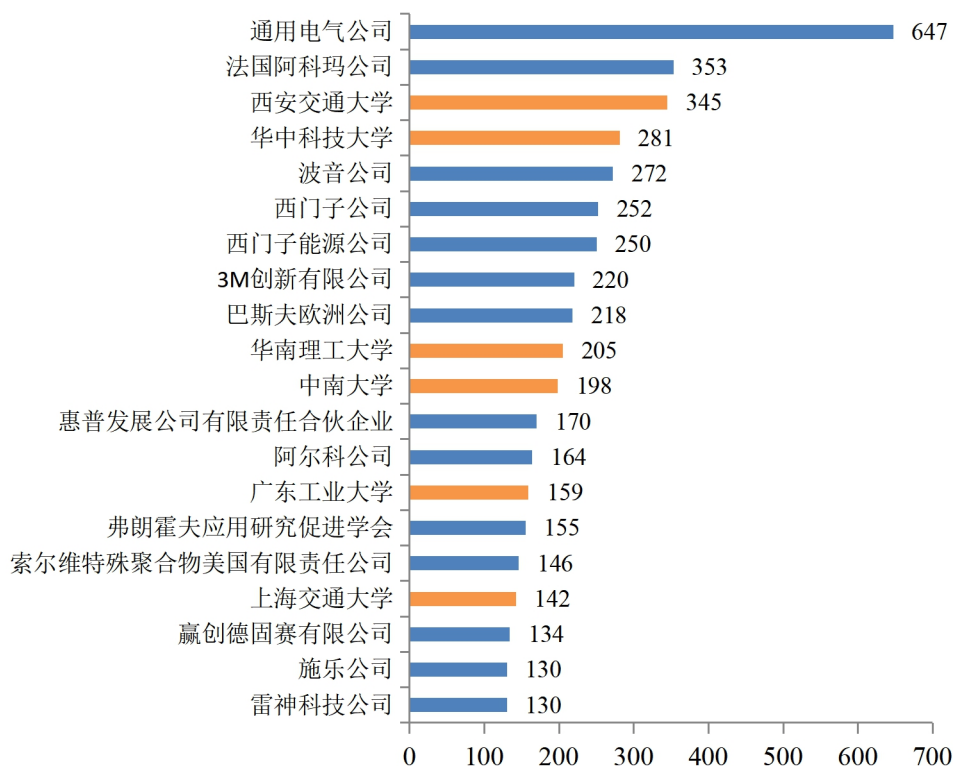


图 4-4a) 申请人排名

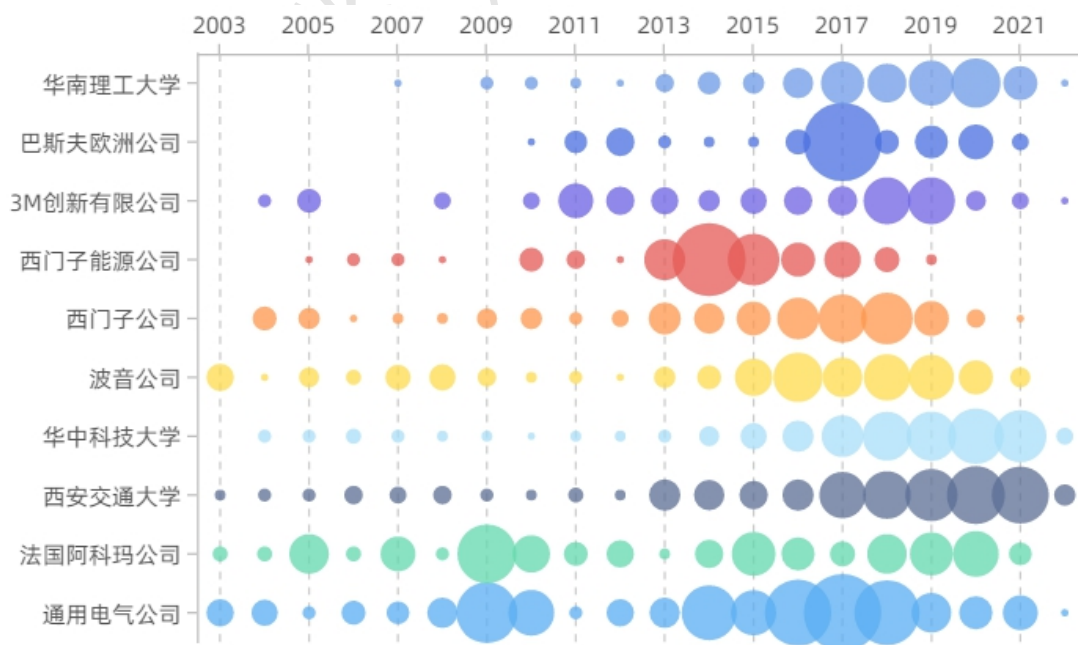


图 4-4b) Top10 申请人趋势

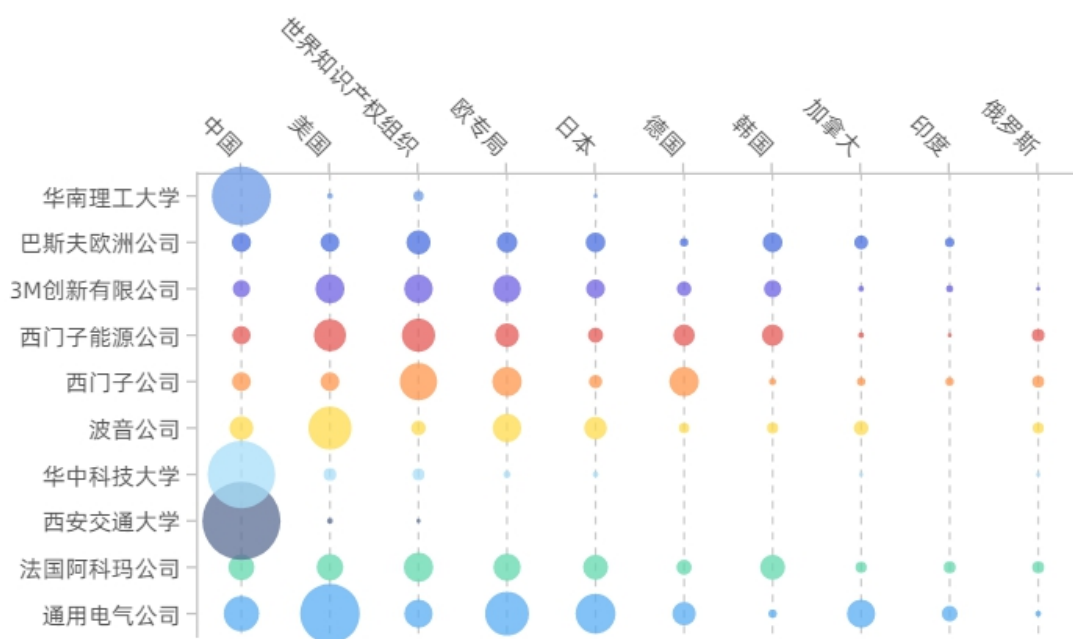


图 4-4c) Top10 申请人专利地域分布

如图 4-4a) 所示为增材制造材料相关申请人专利申请情况，在排名前 20 的申请人中，中国申请人有 6 位，且全部为高校，前 10 名中有 3 所高校，其中西安交通大学大学排名第 3，专利申请量为 345 件，华中科技大学排名第 4，专利申请量为 281 件，华南理工大学排名第 10，专利申请量为 205 件，中南大学、广东工业大学、上海交通大学排名分别为 11、14、17 名，专利申请量不超过 200 件。

图 4-4b) 给出了增材制造材料专利 Top10 申请人趋势，可以看到外国的申请人普遍专利申请时间更早，中国的申请人高校比较突出，西安交通大学、华中科技大学关于增材制造材料的研究起始时间也比较早，华南理工大学稍晚一些，但快速发展时期均在 2014 年之后。

图 4-4c) 给出了 Top10 申请人专利地域分布，可以明显看出中国的申请人专利申请国主要在国内，国际专利申请较少，而国外申请人在不同的地域均有不同程度的布局，市场范围辐射更广。

### 4.3 小结

增材制造材料的研究与增材制造技术的研究趋势基本保持一致，爆发期在 2012 年之后，近年来研究依然处于比较活跃的状态。

增材制造材料相关专利的核心技术点更多掌握在国外申请人手中，目前研究最多的材料为金属材料，其次是聚合物材料、陶瓷材料、复合材料，生物材料研究相对较少。

中国关于增材制造材料的专利申请量较少，占全球专利申请量的比例为 44%，且根据专利申请时间分析，中国关于增材制造材料的专利申请主要集中在 2011 年之后，尤其是 2016 年之后，整体趋势表现为中国力量崛起带动全球的增长。

国外申请人更加注重海外市场的布局，中国申请人的专利申请活动多处于国内，地域布局较为局限。

## 第5章 工艺及设备技术专利分析

### 5.1 光固化成型技术

#### 5.1.1 技术介绍

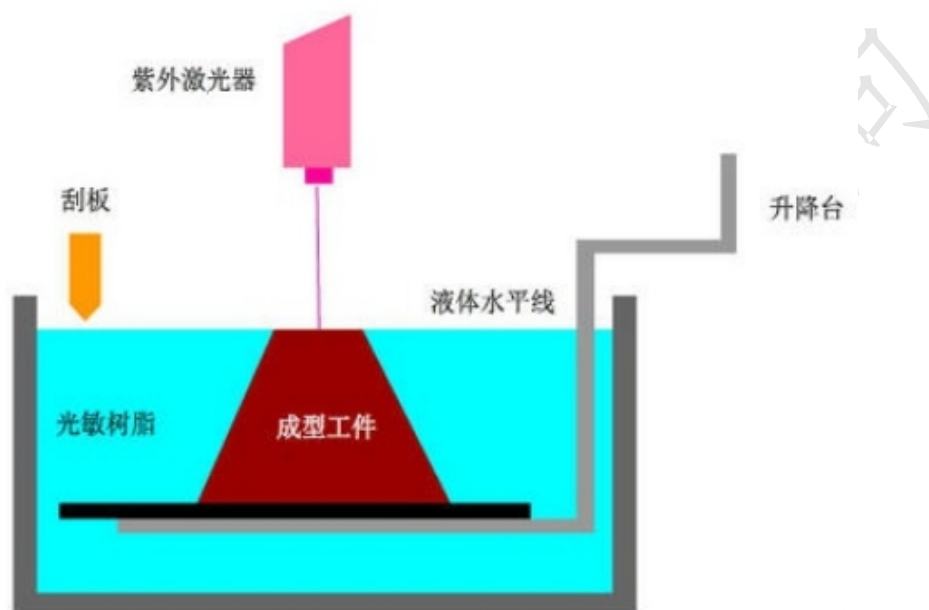


图 5-1 光固化成型技术原理

光固化快速成型（Stereo Lithography Apparatus, SLA）技术，又称立体光固化或立体光刻成型技术。该技术以光敏树脂为原料，在计算机控制下，紫外激光束按各分层截面轮廓的轨迹进行逐点扫描，与位于扫描区域内的树脂薄层产生光聚合反应后固化，形成制件的一个薄层截面。当一层固化完毕后，工作台向下移动一个层厚，在刚刚固化的树脂表面又铺上一层新的光敏树脂以便进行循环扫描和固化。新固化后的一层牢固地粘结在前一层上，如此重复，层层堆积，最终形成整个产品原型。

### 5.1.2 专利申请趋势

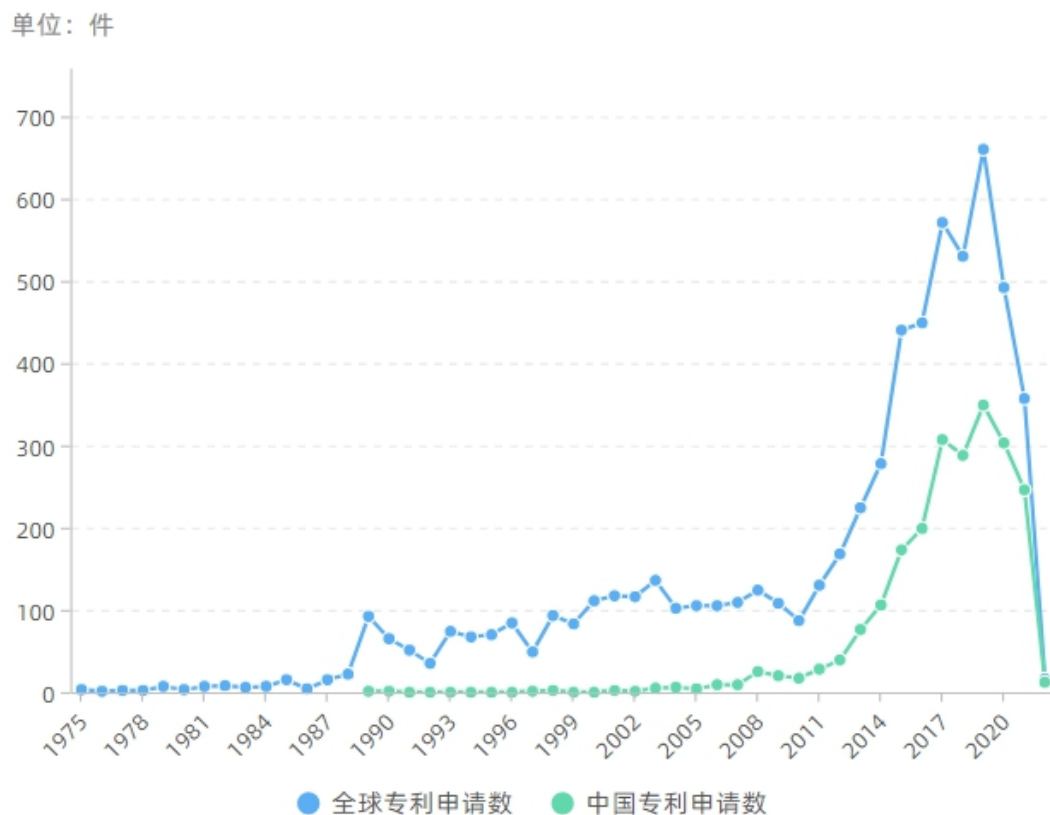


图 5-2 光固化成型技术专利申请趋势

如图 5-2 所示，光固化快速成型技术属于最早研究的增材制造技术之一，1986 年美国博士 Charles W Hull 在其一篇论文中提出使用激光找色光敏树脂表面，并固化制作三维物体的概念，在他提出概念之后，Charles W Hull 申请相关专利 (US4575330B)，1986 年便出现 SLA 的雏形，SLA 也成为最早提出并实现商业应用的成型技术，1988 年，3D 打印行业巨头 3D Systems 公司根据 SLA 成型技术原理制作世界上第一台 SLA 3D 打印机——SLA250，并将其商业化，自此，基于 SLA 成型技术的机型如雨后春笋，相继出现。

中国关于光固化增材制造技术的研究起步较晚，但是自从中国开始研究光固化成型技术之后，相关专利的申请量也出现了明显的

变化，尤其是近 10 年来，中国关于光固化成型技术的专利占全球总专利数的一半，不论是全球还是中国目前的专利申请趋势，都处于增长的状态，由此可见光固化快速成型依然有很大的技术创新空间和市场空间。

### 5.1.3 申请人排名

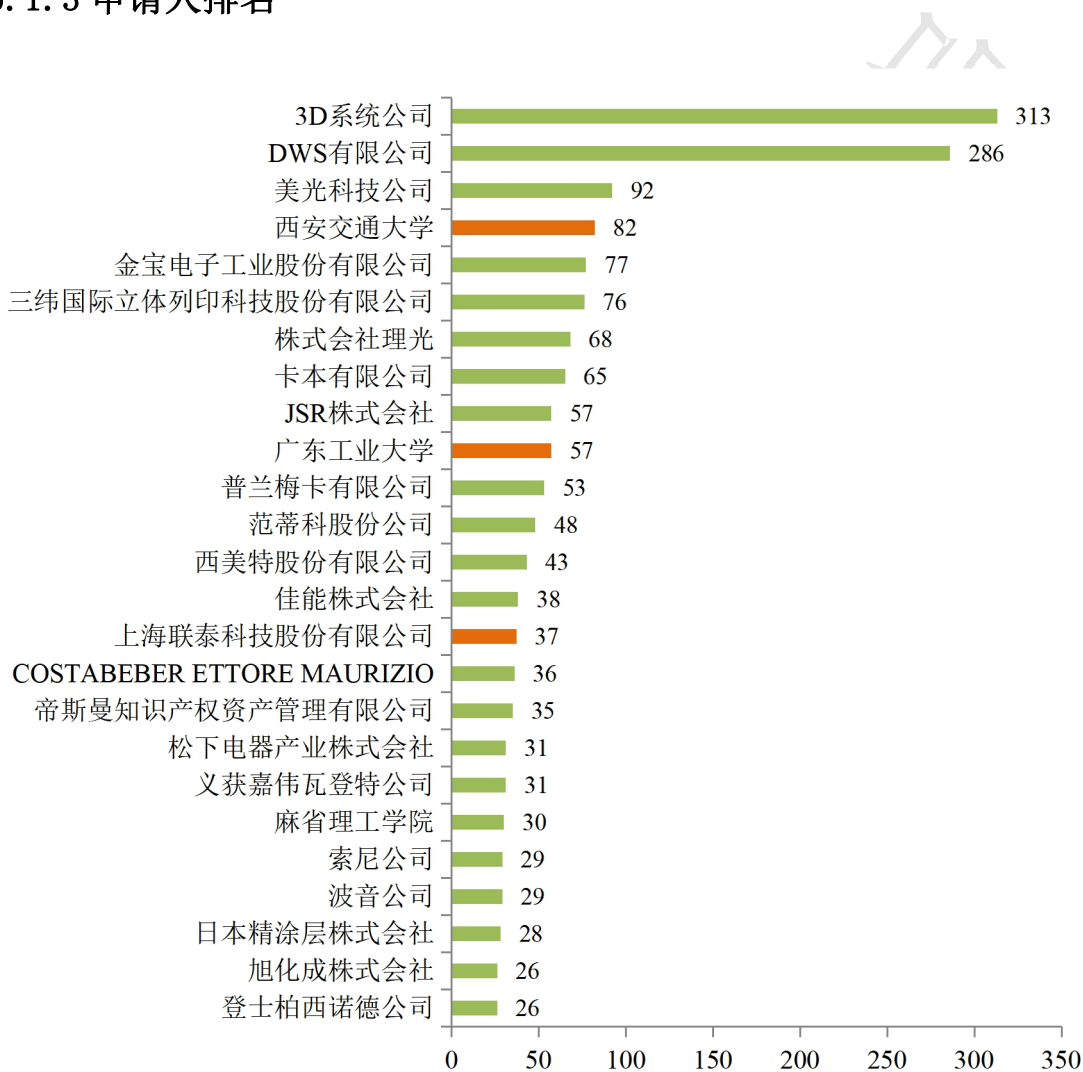


图 5-3 光固化成型技术专利全球申请人排名

如图 5-3 所示，在光固化快速成型技术方向，专利申请量最多的是美国的 3D 系统公司，而在全球前 25 的申请人中，中国申请人仅有两位，其中西安交通大学为陕西省高校，总排名在第四。排名

第二的是意大利增材制造企业 DigitalWax Systems (DWS 公司), 该公司为意大利本土的增材制造设备企业, 专注于研发和生产专业级的快速成型设备, 应用于特殊行业。

前 10 名的申请人中, 除了西安交通大学、DWS 公司之外主要为美国和日本申请人, 由此可见光固化成型技术的主要市场分布。

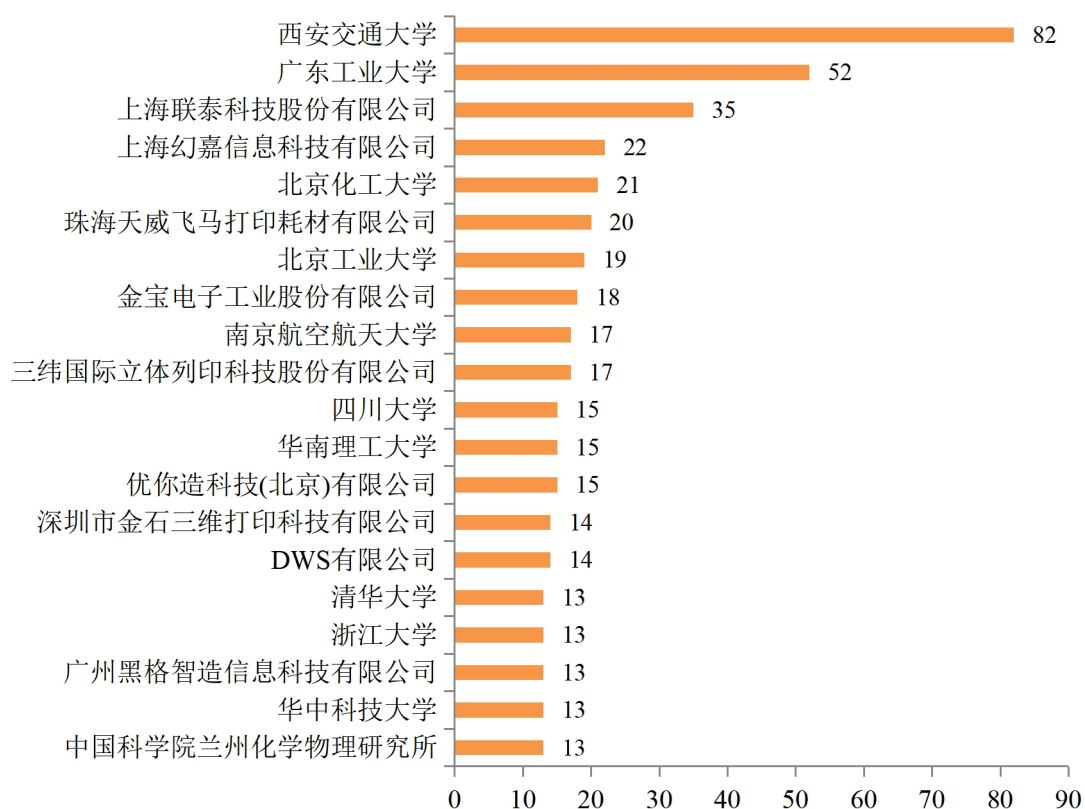
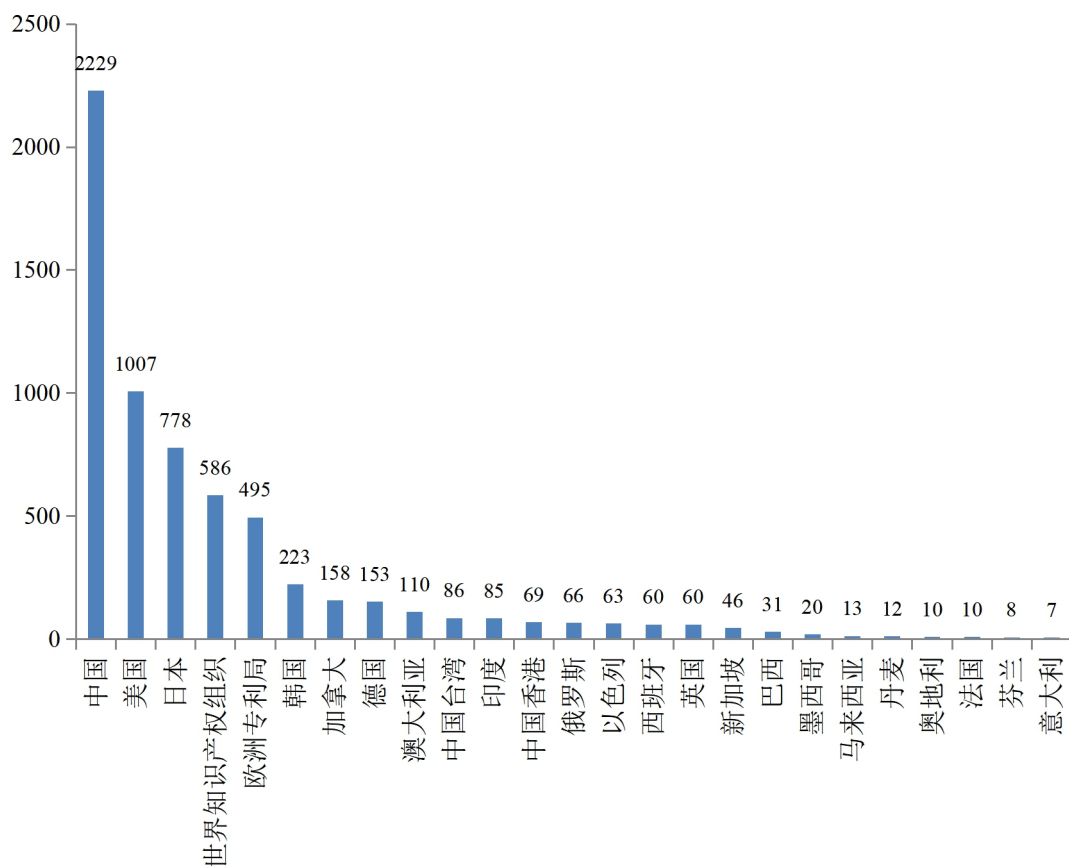


图 5-4 光固化成型技术专利中国申请人排名

如图 5-4 所示为中国光固化成型技术的申请人排名情况, 在中国前 20 名的申请人中, 有一半的申请人为高校, 陕西省高校西安交通大学位列第一, 优势显著, 其次为广东工业大学, 排名第三的是上海联泰科技。

从以上数据可以看出, 在光固化成型技术领域, 产业化的程度依然有很大的提升空间。

### 5.1.4 地域分布



5-5 全球专利地域分布

如图 5-5 所示，目前关于光固化成型技术相关专利分布最多的国家为中国，其次是美国，日本排名第三。

从以上数据可以看出，中国是目前光固化成型技术最大的专利申请目标国，是全球最重要的市场之一，另一方面也说明中国在光固化成型技术方向研究较多，创新活力较强。

结合中国增材制造技术的发展情况，光固化成型是中国增材制造产业发展的第一项分支技术，时至今日，光固化成型也是主流的技术手段之一，因此，有较多的专利储量比较正常。

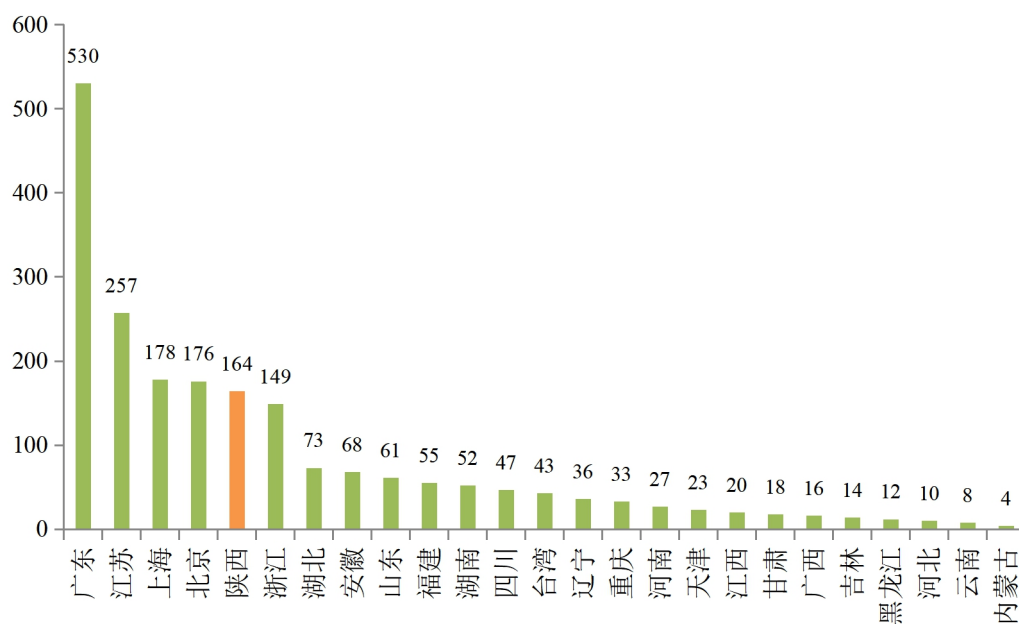


图 5-6 中国省市排名

如图 5-6 所示，可以看到关于光固化技术专利申请量最大的省份是广东，第二是江苏，第三是上海，北京位列第四，陕西省排名第五。结合前文分析，虽然陕西高校西安交通大学在此技术方向的专利申请量排名第一，但是具体到区域省份，专利数量排名稍显落后，也侧面说明陕西省的技术研究主体相对较少。

## 5.2 选择性激光处理技术

### 5.2.1 技术介绍

选择性激光烧结（Selected Laser Sintering, SLS）技术是按照计算机输出的产品模型的分层轮廓，采用激光束，按照指定路径，在选择区域内扫描并熔融已经均匀铺层在工作台上的材料粉末，处于扫描区域内的粉末被激光束熔融后，形成一层烧结层，逐层烧结后，再去掉多余的粉末即获得产品模型。

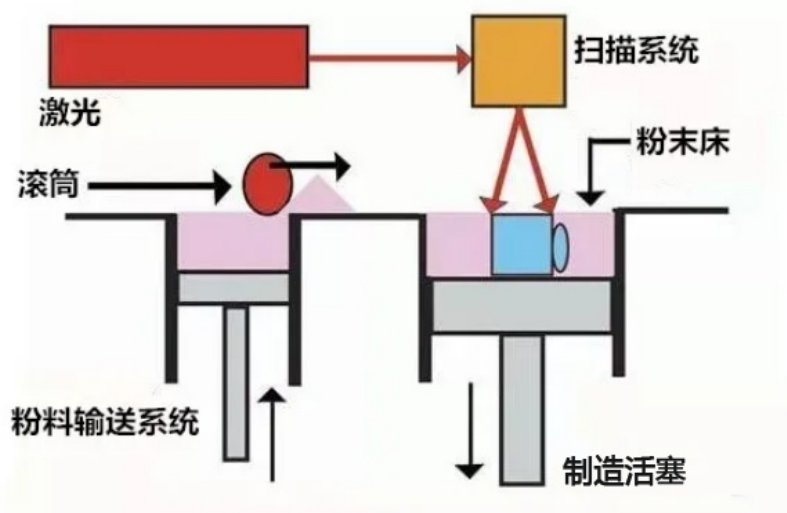


图 5-7 选区激光烧结技术原理

选择性激光烧结的思想首次由美国得州大学的研究生 C R Deckard 于 1986 年提出，不久后组建了 DTM 公司，并于 1992 年推出选择性激光烧结成型机。

目前研究该技术及设备的机构和单位有：DTM 公司、EOS、3D Systems 公司、华中科技大学、中北大学和南京航空航天大学、北京隆源自动成型系统有限公司等。

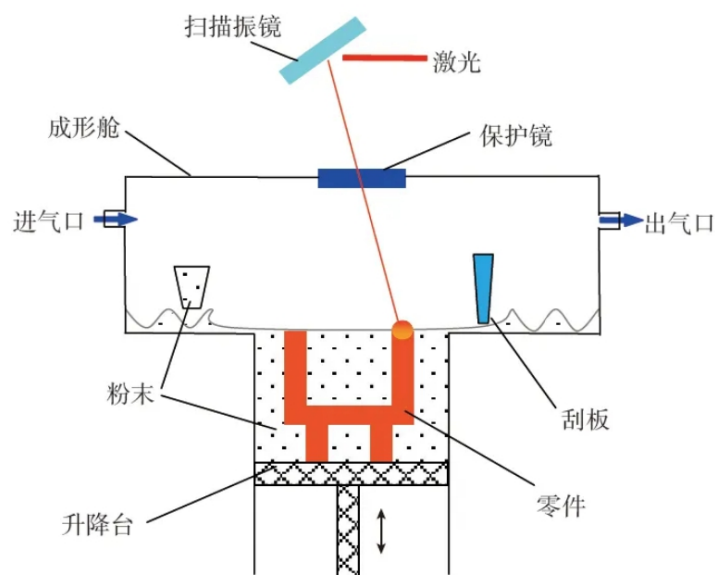


图 5-8 选区激光熔化原理图

选择性激光熔化（Selected Laser Melting, SLM）技术是在选择性激光烧结技术的基础上发展起来的，二者的基本原理类似，即先在计算机上设计出零件的三维实体模型，然后通过专用软件对该三维模型进行切片分层，得到各截面的轮廓数据，将这些数据导入快速成型设备，设备将按照这些轮廓数据，控制激光束选择性地熔化各层的金属粉末材料，逐步堆叠成三维金属零件，选择性激光熔化技术需要使金属粉末完全熔化，直接成型金属件，因此需要高功率密度激光器。

选择性激光熔化技术在激光束开始扫描前，通过水平铺粉辊先把金属粉末平铺到加工室的基板上，然后激光束将按当前层的轮廓信息选择性地熔化基板上的粉末，加工出当前层的轮廓，然后可升降系统下降一个图层厚度的距离，滚动铺粉辊再在已加工好的当前层上铺金属粉末，设备调入下一图层进行加工，如此层层加工，直到整个零件加工完毕。整个加工过程在抽真空或通有气体保护的加工室中进行，以避免金属在高温下与其他气体发生反应。

选择性激光熔化设备主要由激光器、扫描光路系统、铺粉装置、送粉装置、电气控制系统以及计算机系统组成。铺粉系统、送粉系统与激光扫描系统是选择性激光熔化设备的主要组成部分，也是商用及各科研院所设计的选择性激光熔化成型设备中差别最大的部分。

### 5.2.2 专利申请趋势

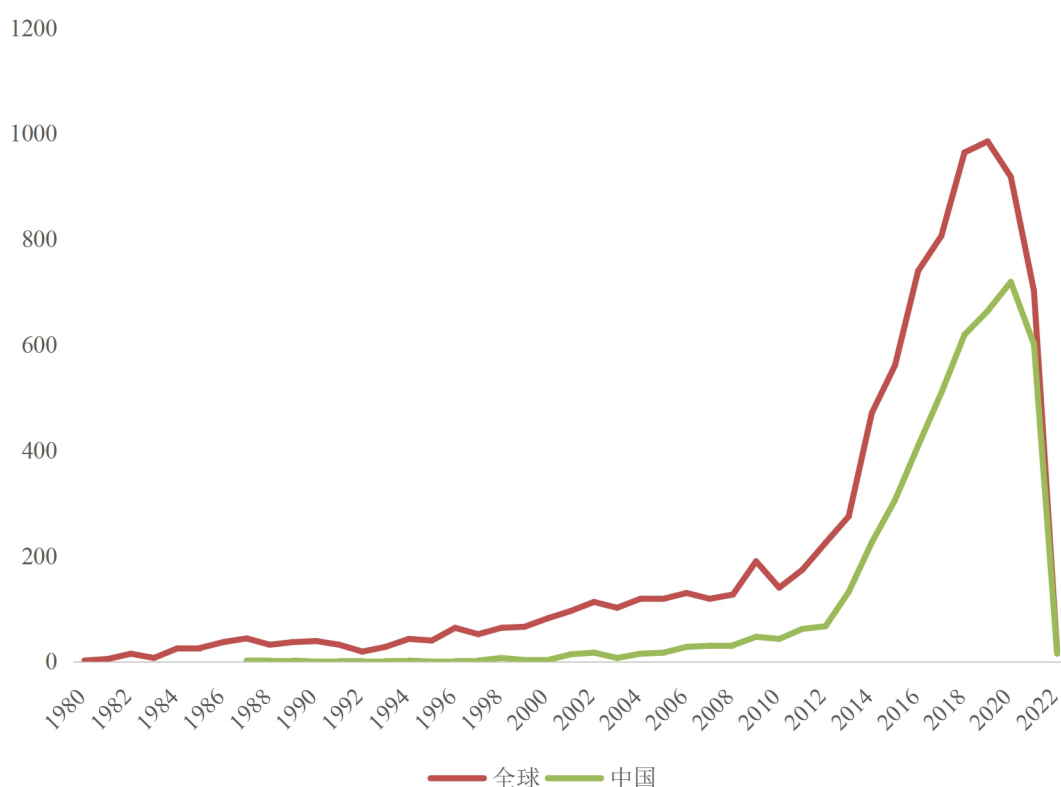


图 5-9 选区激光处理专利申请趋势

如图 5-9 所示，选区激光处理增材制造技术的研究出现较早，于上世纪 80 年代末开始出现相关专利，1998 年开始出现明显的增长，直至 2009 年，之后从 2011 年至 2019 年专利数量一直处于快速增长阶段。

该技术的发展可以分为如下几个阶段。

#### (1) 萌芽期 (1980~1997 年)

在这一期间，选择性激光处理技术的申请量缓慢增长，在这段时期，申请人集中在美国、德国，主要的申请人是DTM公司，之后，DTM公司依然继续进行申请，但申请人的数量出现增加，不过每个申请人的年申请量依然不大。选择性激光处理技术的发展依赖于计算机技术及新材料的出现，人们很早就认识到选择性激光处理技术加工的速度和精度依赖于计算机离散运算的能力，因此选择性激光处理技术的研究在计算机运算速度没有大幅度提升前一直没有大规模展开。到2000年后，计算机运算速度大幅提升，加之新材料研发的突破性进步，使得选择性激光处理技术的研究也开始逐渐热门起来。

### （2）成长期（1998~2010年）

1998年，选择性激光处理技术的年申请量增加，并且在2001年后，年申请量基本呈逐年上升趋势。在此阶段，中国关于激光熔化增材制造技术的研究逐渐加强，相关专利申请量也呈现增长态势。

### （3）快速发展期（2011至今）

随着世界经济贸易的发展及全球经济竞争格局的变化，增材制造已经成为制造行业最大的技术变革，影响着制造行业的整体发展，同时由于技术瓶颈的突破，政策的引导，在2011年之后开始，关于选区激光熔化技术的发展更加迅速，应用范围更加广泛。

### 5.2.3 申请人排名

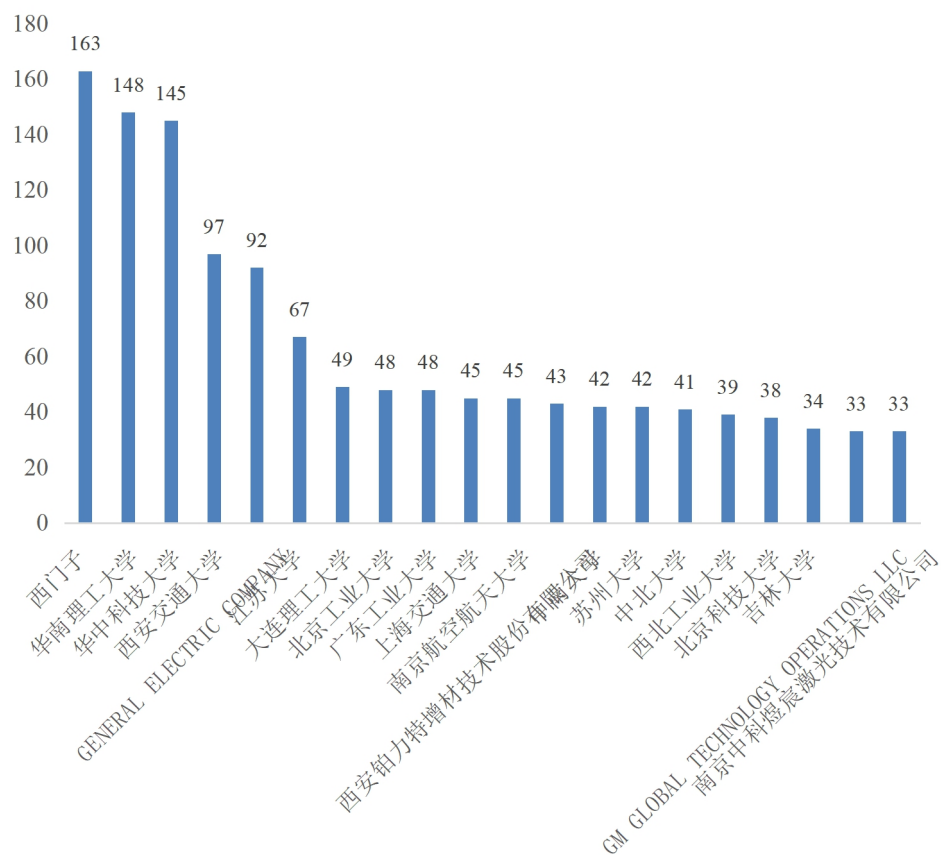


图 5-10 全球申请人排名

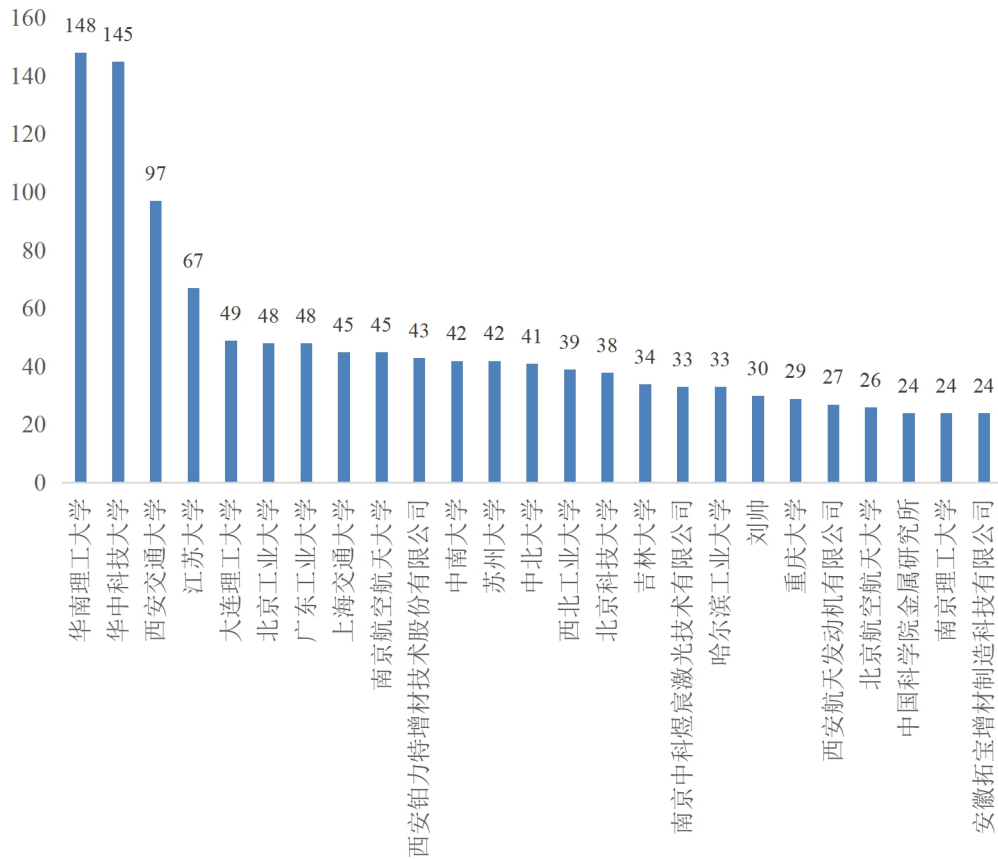


图 5-11 中国申请人排名

如图 5-10、5-11 所示选区激光处理相关专利申请人的排名情况，第一名是西门子，在前 20 名的申请人中，不同于光固化成型技术的情况，中国上榜的申请人数量较多，可以看到中国关于选区激光处理技术方向研究成果较多，已经具备明显的技术实力。而中国排名靠前的申请人中，较多为高校申请人，也侧面反映出选区激光处理技术目前产业化进程有待加强。

### 5.2.4 地域分布

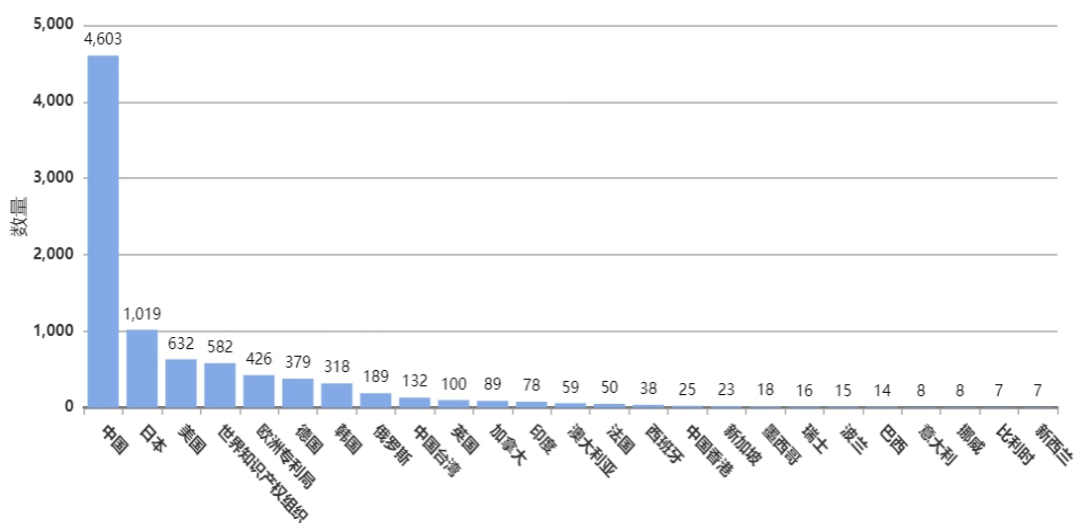


图 5-12 选区激光处理技术专利全球地域分布

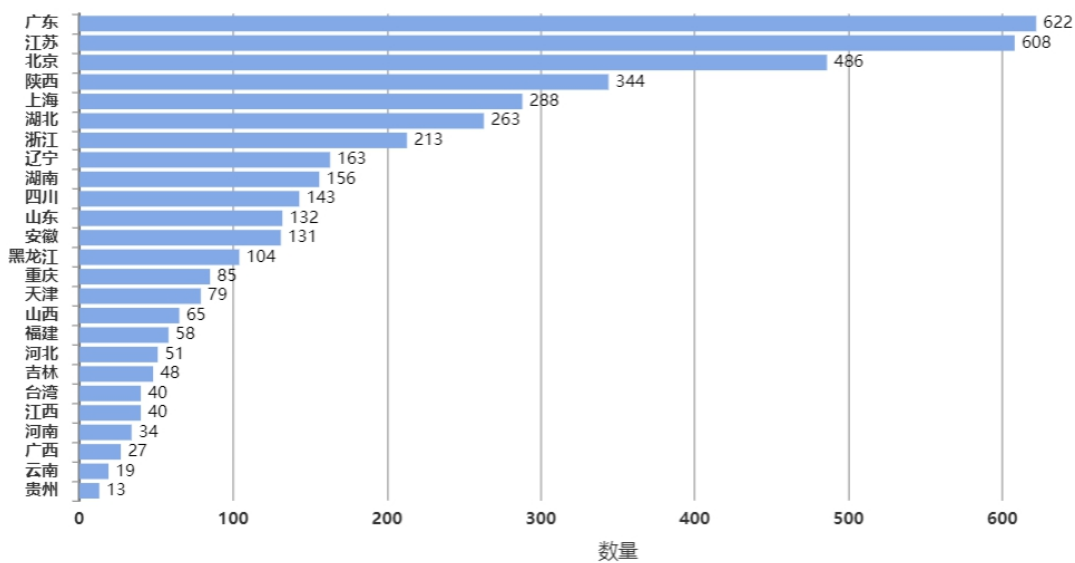


图 5-13 选区激光处理技术专利中国省市分布

如图 5-12、5-13 所示，选区激光处理技术目前专利分布最多的国家为中国，其次是日本、美国。在中国，专利申请量排名前三的是广东、江苏、北京，陕西省排名第四，可以看到在国内陕西省选区激光处理技术处于技术水平较高的位置。

## 5.3 熔融沉积成型技术

### 5.3.1 技术介绍

熔融沉积成型（Fused Deposition Modeling, FDM）技术采用热熔喷头装置，使得熔融状态的 ABS 丝，按模型分层数据控制的路径从喷头挤出，并在指定的位置沉积和凝固成型，逐层沉积和凝固，最终形成整个产品原型。该技术由美国的 Dr.Scott Crump 于 1988 年提出，由美国 Stratasys 公司在 20 世纪 90 年代初推出商品化设备，该公司在 1999 年开发出水溶性支撑材料，因而此后该技术被广泛应用于 RP 的各行业当中。

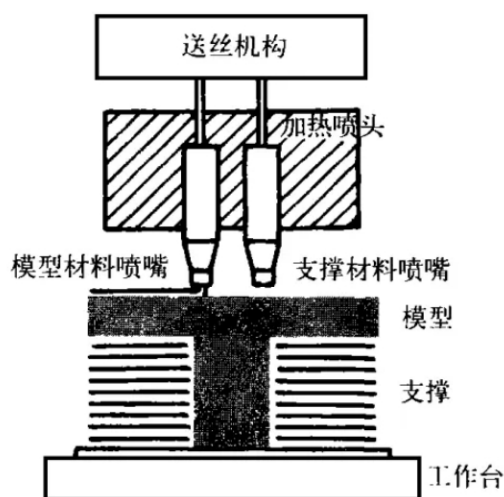


图 5-14 熔融沉积成型技术原理

1993 年起 Stratasys 公司先后推出了多款设备，尤其是在 1998 年，该公司推出的 FDM-Quantum 机型，其最大成型体积为 600mmx500mmx500mm，并可同时控制两个挤出头喷出丝束，因此其成型速度是以往机型的 5 倍。1999 年，该公司开发出水溶性支撑材料，有效解决了复杂内部形状，尤其是复杂孔洞中的支撑材料难以去除或是根本无法去除的难题。澳大利亚的斯温伯尔尼理工大学

(Swinburne University of Technology) 开发了用于分层实体制造工艺的金属 - 塑料复合材料。目前, 研制熔融沉积成型技术设备的主要有美国 Stratasys 公司、MedModeler 公司与我国的清华大学等。3D systems 公司也研究熔融沉积成型, 其推出的小型三维成型设备 Invision3-D Modeler 系列, 该系列机型设备采用多喷头结构, 成型速度较快, 材料也具有多种颜色, 同时也采用溶解性支撑, 原型制作稳定性能较好, 成型过程中几乎无噪声。

同济大学与上海富奇凡合作开发出 TSJ 型快速成型设备, 此设备具有一种螺旋挤压机构和喷丝头, 其关键部件是一个专利成型头。该技术广泛应用, 具体应用有: 日本丰田公司用于加工车上部件、福特公司用于加工部件的衬板、美国 Rapid models 公司与 Prototypes 公司为一生产厂商用于制作玩具、Mizunos 公司用于制造体育用品、韩国现代公司用于制造车模。

熔融沉积成型 (Fused deposition modeling, FDM), 是一种将各种热熔性的丝状材料 (蜡、ABS 和尼龙等) 加热熔化成形的方法, 是 3D 打印技术的一种, 又被称为 FFM 熔丝成型 (Fused Filament Modeling) 或 FFF 熔丝制造 (Fused Filament Fabrication), 后面两个不同名词主要只是为了避开前者 FDM 专利问题, 然而核心技术原理与应用其实均是相同的。热熔性材料的温度始终稍高于固化温度, 而成型的部分温度稍低于固化温度, 热熔性材料挤喷出喷嘴后, 随即与前一个层面熔结在一起, 一个层面沉积完成后, 工作台按预定的增量下降一个层的厚度, 再继续熔喷沉积, 直至完成整个实体零件。

FDM 成型原理相对简单, 将低熔点丝状材料通过加热器的挤压头熔化成液体, 使熔化的热塑材料丝通过喷头挤出, 挤压头沿零件

的每一截面的轮廓准确运动，挤出半流动的热塑材料沉积固化成精确的实际部件薄层，覆盖于已建造的零件之上，并在 1/10s 内迅速凝固，每完成一层成型，工作台便下降一层高度，喷头再进行下一层截面的扫描喷丝，如此反复逐层沉积，直到最后一层，这样逐层由底到顶地堆积成一个实体模型或零件。

先用 CAD 软件建构出物体的 3D 立体模型图，将物体模型图输入到 FDM 的装置。FDM 装置的喷嘴就会根据模型图一层一层移动，同时 FDM 装置的加热头会注入热塑性材料 (ABS (丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物) 树脂、聚碳酸酯、PPSF (聚苯砜) 树脂、聚乳酸和聚醚酰亚胺等)，材料被加热到半液体状态后，在电脑的控制下，FDM 装置的喷嘴就会沿着模型图的表面移动，将热塑性材料挤压出来，在该层中凝固形成轮廓。FDM 装置会使用两种材料来执行打印工作，分别是用于构成成品的建模材料和用作支架的支撑材料，透过喷嘴垂直升降，材料层层堆积凝固后，就能由下而上形成一个 3D 打印模型的实体。

#### **FDM 技术的优点：**

- 1、成本低。FDM 技术用液化器代替了激光器，设备费用低；原材料的利用效率高且没有毒气或化学物质污染，使得成本大大降低。
- 2、采用水溶性支撑材料，使得去除支架结构简单易行，可快速构建复杂的内腔、中空零件以及一次成型的装配结构件。
- 3、原材料以材料卷得的形式提供，易于搬运和快速更换。
- 4、可选用多种材料，如各种色彩的工程塑料 ABS、PC、PPS 及医用 ABS 等。
- 5、原材料在成型过程中无化学变化，制件的翘曲变形小。
- 6、用蜡成型的原型零件，可以直接用于熔模铸造。

### FDM 技术的缺点:

- 1、原型的表面有较明显的条纹，成型精度相对较低，最高精度 0.127mm。
- 2、沿着成型轴垂直方向的强度比较强。
- 3、需要设计和制作支撑结构。
- 4、需要对整个截面进行扫描涂覆，成型时间较长，成型速度相对 SLA 慢 7%左右。
- 5、原材料价格昂贵。

材料是 3D 打印技术的关键所在，对于 FDM 来说也不例外，FDM 系统的材料主要包括成型材料和支撑材料，成型材料主要为热塑性材料，包括 ABS、PLA、人造橡胶、石蜡等；支撑材料目前主要为水溶性材料。

### 5.3.2 专利申请趋势

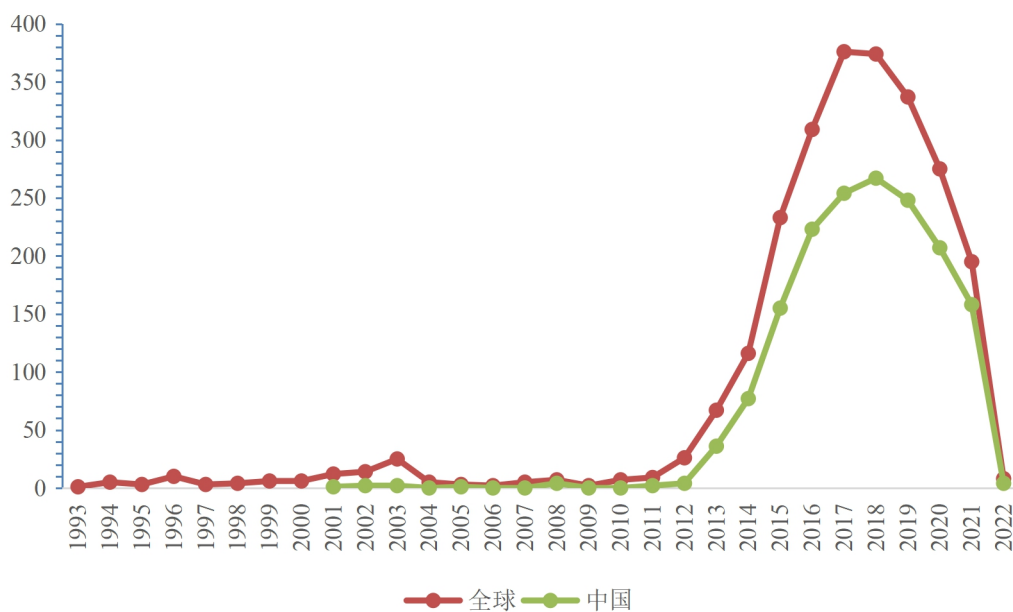


图 5-15 熔融沉积成型专利申请趋势

如图 5-15 所示为熔融沉积成型专利申请趋势，可以看到熔融沉

积技术在国内起步较晚，相关专利申请主要开始于本世纪初。

总体来看，在 2012 年之前，关于熔融沉积成型的专利数量较少，2012 年到 2018 年之间，关于熔融沉积技术的专利呈现出快速增长态势。国内关于熔融沉积技术的研究始于上世纪末本世纪初，国内开始研究的主体主要有清华大学、北京殷华等。加之中国关于增材制造产业的大力推进和扶持，在 2012 年之后呈现快速发展。

### 5.3.3 申请人排名

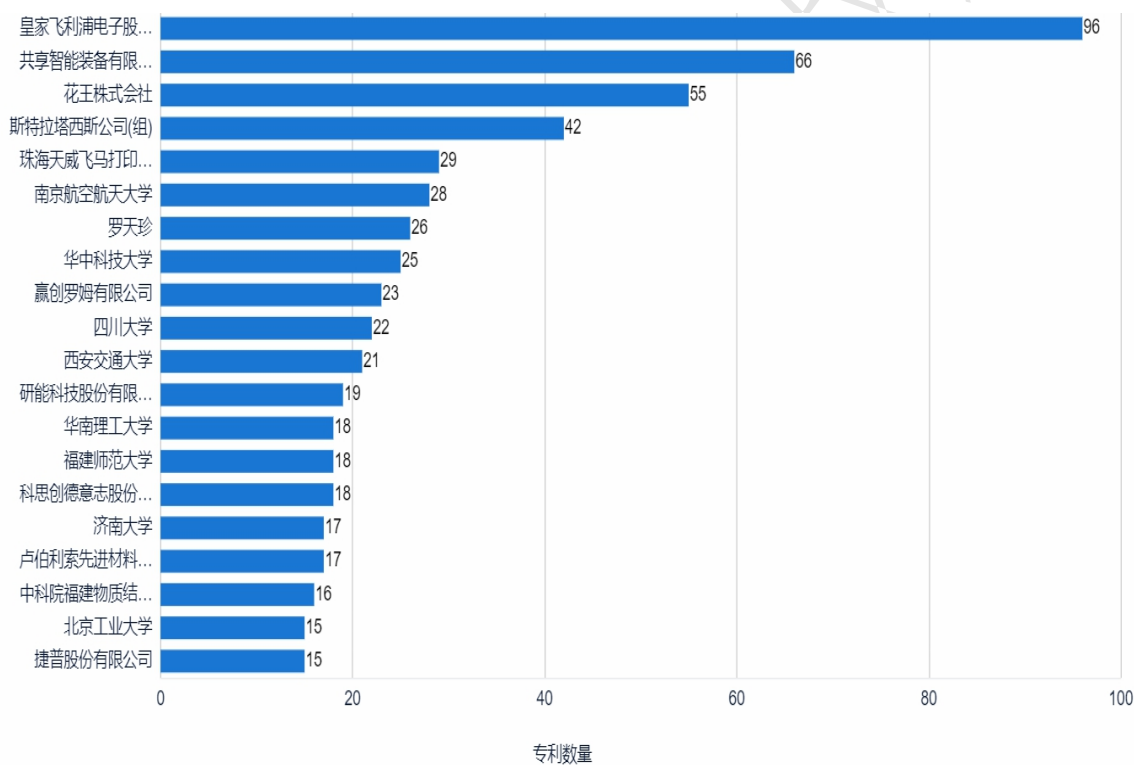


图 5-16 熔融沉积成型专利全球申请人排名

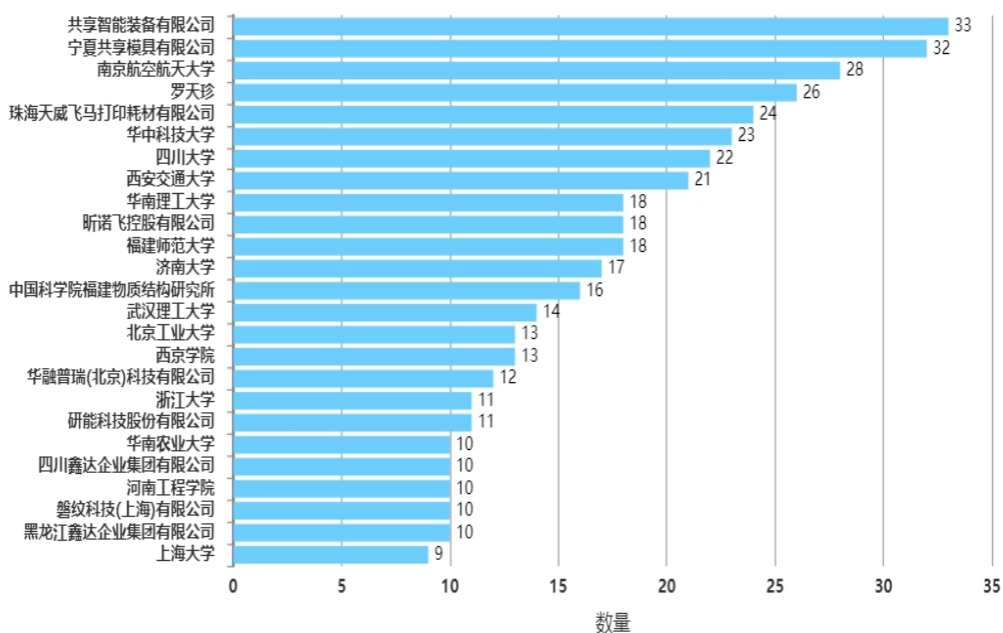


图 5-17 熔融沉积成型专利中国申请人排名

如图 5-16、5-17 所示，熔融沉积成型技术相关专利前 20 名的申请人主要以国外申请人为主，在中国的申请人中，也出现了部分国外公司，而本地高校西安交通大学依然排名在前列，但是相关专利数量处于中等水平。可以看到熔融沉积技术在陕西省的研究并不是十分抢眼，与光固化成型技术和选区激光处理技术情况不同。

### 5.3.4 地域分布

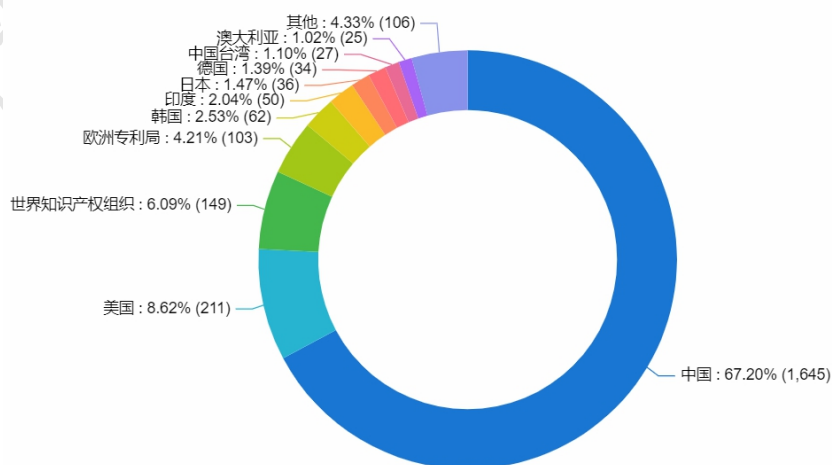


图 5-18 熔融沉积成型专利全球地域分布

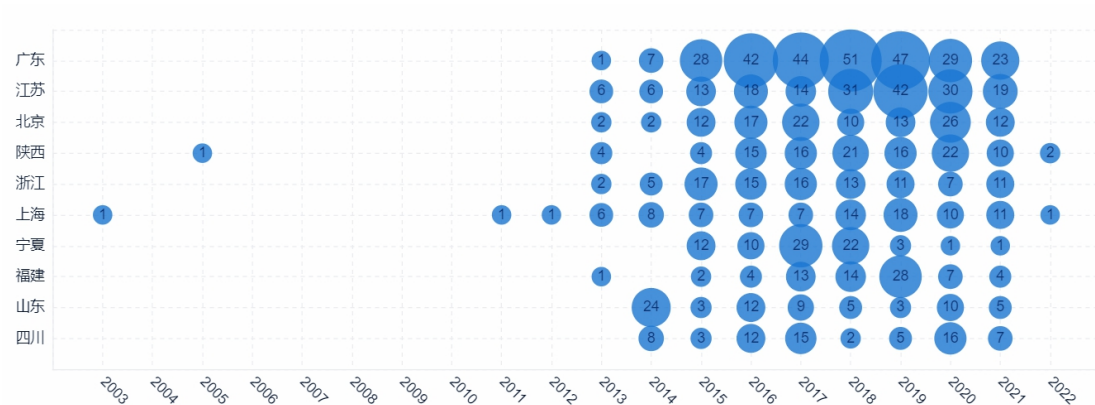


图 5-19 中国专利地域分布及趋势

如图 5-18、5-19 所示，关于熔融沉积成型技术的专利主要分布国家在中国、美国，结合前文分析，中国申请人在全球排名中并不是靠前，但是中国作为受理局的专利申请量最大，侧面反映出中国关于熔融沉积成型技术的研究主题较多，相对分散。

根据中国各省市的申请趋势看到，广东、江苏、北京分列前三，依然是实力显著的省份，关于熔融沉积技术的专利申请在 2018、2019 年分别达到最大值，陕西省排名第四，近几年相关专利申请量没有特别大的变化，整体比较平稳。

## 5.4 电子束熔化技术

### 5.4.1 技术介绍

电子束熔融技术（Electron Beam Melting）是近年来一种新兴的先进金属快速成型制造技术，经过密集的深度研发，现已广泛应用于快速原型制作、快速制造、工装和生物医学工程等领域。其原理是将零件的三维实体模型数据导入EBM设备，然后在EBM设备的工作舱内平铺一层微细金属粉末薄层，利用高能电子束经偏转聚焦后在焦点所产生的高密度能量使被扫描到的金属粉末层在局部微小区域产生高温，导致金属微粒熔融，电子束连续扫描将使一个个微小的金属熔池相互融合并凝固，连接形成线状和面状金属层。

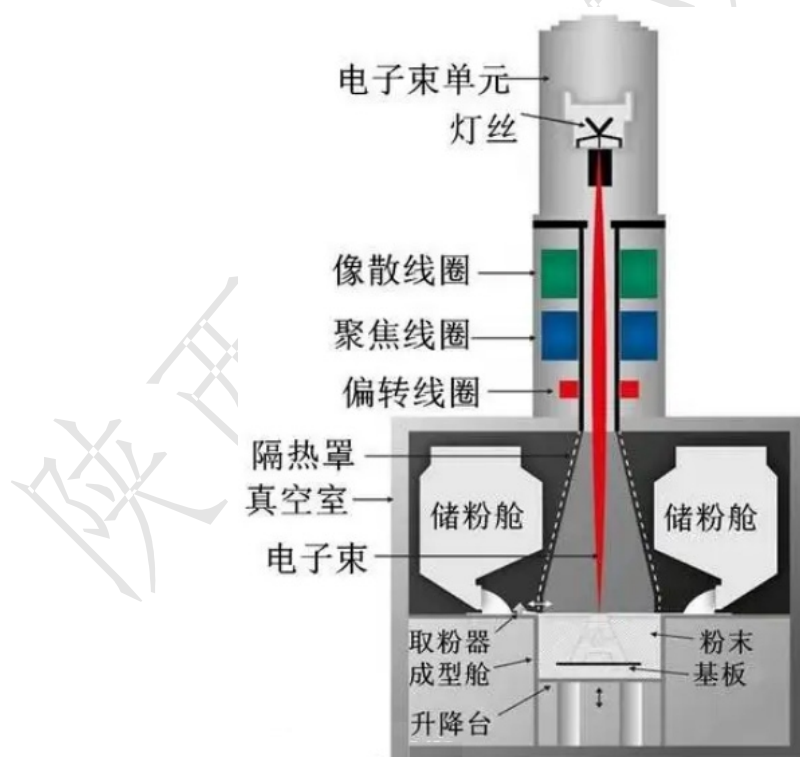


图 5-20 电子束熔化成型技术原理

技术特点：

### 优势:

1. 具有直接加工复杂几何形状的能力，如空腔、网格结构等，近净成型，尺寸精度达到 $\pm 0.2\text{mm}$ ;
2. 在窄光束上达到高功率的能力，成型效率较高，达到 $55\sim 80\text{cm}^3/\text{hr}$ ，与砂模铸造或熔模精密铸造相比，显著缩短生产周期;
3. 真空熔炼排除了杂质（如氧化物和氮化物），保证材料的高强度;
4. 能熔炼难熔金属，并且可以将不同的金属熔合;
5. 成型环境温度高（ $700^\circ\text{C}$ 以上），零件残余应力小;
6. 成型过后的剩余粉末可以回收再利用。

### 不足:

1. 成型设备需另配备抽真空系统，而且需要维护，增加了成本;
2. 打印过程会产生 X 射线（合理设计真空腔可以有效屏蔽射线）

EBM 技术采用金属粉末为原材料，其应用范围相当广泛，尤其在难熔、难加工材料方面有突出用途，包括钛合金、钛基金属间化合物、不锈钢、钴铬合金、镍合金等，其制品能实现高度复杂性并达到较高的力学性能。此技术可用于航空飞行器及发动机多联叶片、机匣、散热器、支座、吊耳等结构的制造。

因具有直接加工复杂几何形状的能力，EBM 工艺非常适于小批量复杂零件的直接量产。该工艺使零件定制化成为可能，而且为 CAD to metal 工艺优化的零件，可以获得用其它制造技术无法形成的几何形状，因此，零件将因无与伦比的性能而对客户体现其价值。该工艺直接使用 CAD 数据，一步到位，所以速度很快，设计师从完成设计开始，在 24 小时内即可获得全部功能细节。与砂模铸造或熔模精密铸造相比，使用该工艺，交货期将被显著缩短。

美国航空航天局 (NASA) 兰利研究中心最早开发了电子束熔丝增

材制造技术，并将其与 CAD 软件相结合进行金属零件的制备，Taminger 等采用电子束熔丝增材制造技术在 2219 铝合金板上沉积 2319 铝合金。结果表明，在其它参数不变的条件下，将移动速度从 40 增加到 80 cm/min 时，增材层有效增长率及高宽比均减小，并成功制造了无缺陷、性能优良、近净成形的钛和铝部件。

意大利 Avio 公司采用瑞典 Arcam 公司所生产的电子束熔化装备 (EBM) 生产了 TiAl 低压涡轮叶片。德国 MTU 航空发动机公司，除了将 LSF 技术应用于航空发动机零部件的修复之外，近期也开始测试采用 SLM 技术直接制造的航空发动机小型压气机静子件。罗尔斯罗伊斯航空发动机公司同样也在考虑将金属直接增材制造技术应用于其先进航空发动机的轻量化构件的直接制造。普惠公司 (Pratt&Whitney) 则依托 MTU 航空发动机公司，也在开展 SLM 技术直接制造 PurePower PW1100G-JM 航空发动机零部件的测试工作。



Avio 公司是 GE 航空的一部分，他们开发了新的金属 3D 打印技术用于制造新的 LEAP 发动机。这种工艺制造的喷气式发动机的涡轮叶片，新的电子束比传统的激光烧结强大十倍，一次加工成型的金属钛厚度提高了 4 倍。生产效率得到了极大的提高，现在生产一个 8 叶的涡轮叶片只需要 7 个小时，每年可以节约 160 万美元能源成本。



目前，美国 GE 公司已拥有各类金属直接增材制造装备 300 多套，在航空发动机金属零件的直接增材制造方面已走在国际前列。近期，美国 GE 公司基于其航空发动机高端零件直接制造的需求，通过收购美国 Morris 公司和意大利 Avio 公司，重点开展了航空发动机零件的 SLM 和 EBM 制造研究和相关测试。美国 Morris 公司采用 SLM 技术生产了大量的航空发动机零件，已经拥有超过 20 台最先进的 SLM 设备。2013 年底，GE 公司宣布，将采用 SLM 技术为其下一代的 GE Leap 发动机生产喷油嘴，每年的产量将达到 40000 个。GE 公司发现，采用 SLM 技术生产喷油嘴，生产周期可缩短 2/3，生产成本降低 50%，同时可靠性得到了大大的提高。

由于 EBM 3D 打印机和粉末是昂贵的，因此该技术尚未用于大规模生产一点也不奇怪，它主要被用来制造一些小系列的零件，这些零件通常具有复杂的结构。

EBM 已经在医学、航空和汽车等行业中得到了应用。值得一提的是，EBM 应用程序诞生于医疗行业。有了 EBM，就有可能生产出功能齐全的定制颅骨植入物，由于 EBM 部件通常很坚固，这个部件肯定和头骨一样坚固甚至更强。

相比于电弧增材制造技术和激光增材制造技术，电子束增材制造技术具有能量密度高和能量利用率高的特点，根据填充材料的不

同，电子束增材制造技术主要分为电子束选区熔化 (electron beam selective melting, EBSM) 技术和电子束熔丝增材制造 (electron beam freeform fabrication, EBFF) 技术。

目前，国内外学者的研究更多地集中于电子束选区熔化技术，并取得了一系列成果，不过电子束选区熔化技术存在金属粉末材料制备成本较高、易受污染、利用率低、清理工作繁琐、难以制造大尺寸零件等不足之处。电子束熔丝增材制造技术在大型复杂结构件的一体化成形和高精尖受损零部件的增材修复方面具有很大的优势，主要表现在 3 个方面：①具有很高的沉积效率，电子束的功率输出可以达到几十千瓦，能够实现很高的沉积速率 (15 kg/h)；②高真空环境保护，电子束熔丝增材制造技术在 10Pa 高真空环境中进行，可以有效地避免加工过程中有害气体的影响，避免粉尘污染，非常适合 Ti、Al 等活泼金属材料的加工；③减少加工缺陷，电子束具有极强的穿透能力，熔池较深，能够对增材成形件产生重熔效应，减少增材制造过程中产生的层间未融合及气孔缺陷。

### 5.4.2 专利申请趋势

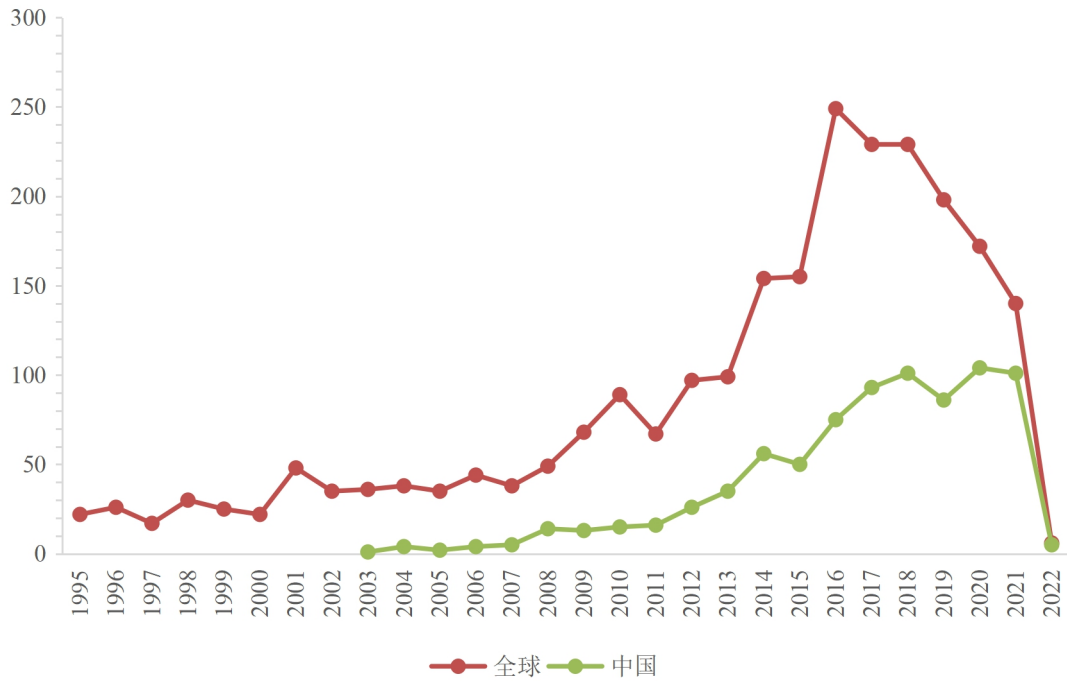


图 5-21 电子束增材制造技术专利申请趋势

如图 5-21 所示为电子束增材制造技术专利申请趋势，可以看到中国关于电子束增材制造技术的研究相对较晚，但是由于 2003 年之后中国关于电子束增材制造技术的研究进一步推动了全球技术研究发展，专利申请量也呈现出明显的增长态势。

根据近几年的专利数据来看，不同于其它技术分支连年增长的态势，电子束增材制造相关专利在国外的专利申请近几年呈现下降趋势。

## 5.4.3 申请人排名

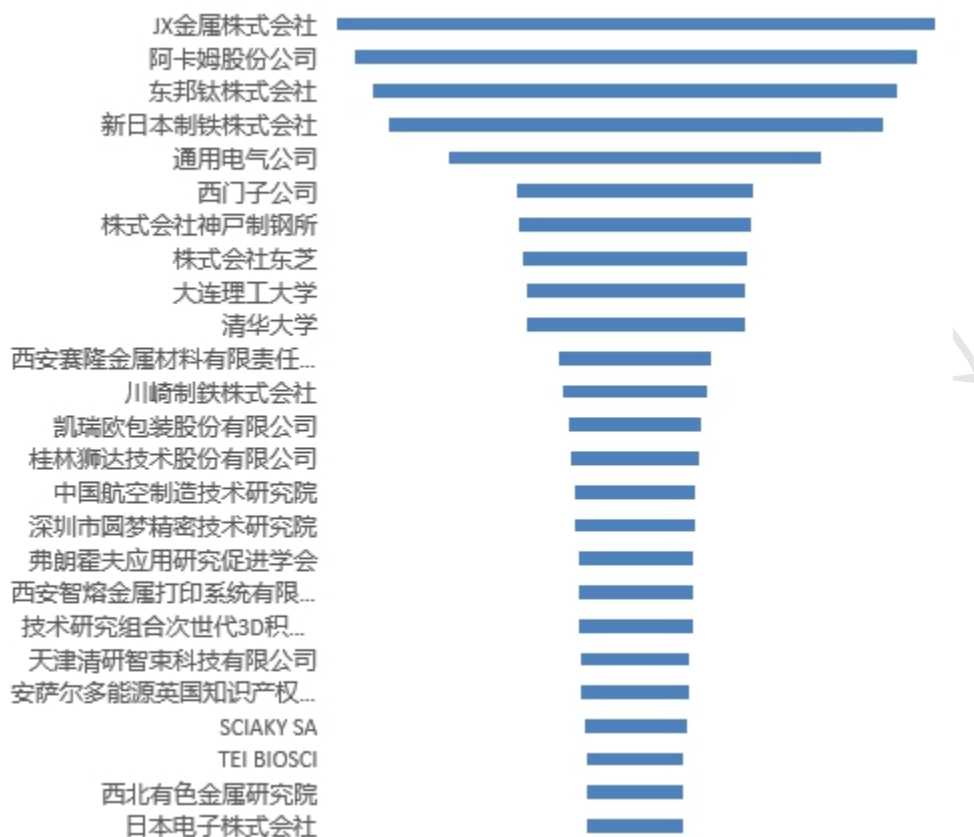


图 5-22 电子束增材制造技术全球申请人排名

如图 5-22 所示，电子束增材制造技术全球前 25 的申请人中，中国有多个申请人上榜，如以大连理工大学、清华大学为代表的高校申请人，中国航空制造技术研究院为代表的科研院所，西安赛隆金属、桂林狮达、西安智熔金属为代表的企业申请人。

可以看到电子束增材制造技术虽然起源于国外，但是中国研究主体后来居上，形成了多项技术成果，取得了一定的成效。

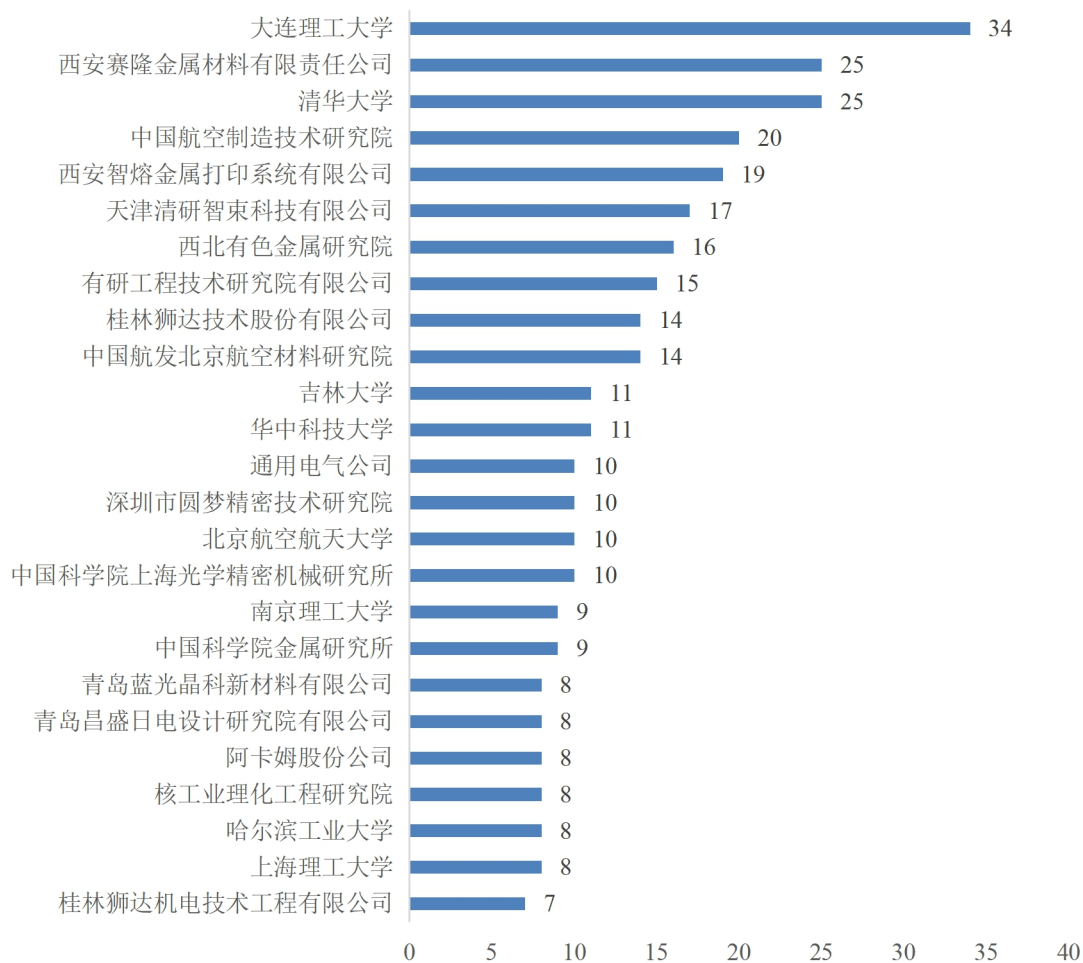


图 5-23 电子束增材制造技术中国申请人排名

如图 5-23 所示，中国电子束增材制造技术的前 25 的申请人中，申请人类型较为多样，有企业、科研院所、高校、国外申请人等。排名第一的是大连理工大学，相关专利申请量为 34 件，与清华大学并列排名第二的是陕西省的企业，西安赛隆金属，相关专利申请量为 25。

从以上数据可以看出，高校作为电子束增材制造技术的研究主体占比较高，结合前文中国电子束增材制造技术的趋势可以看到，目前在国内关于增材制造技术的研究有较大的发展空间。

### 5.4.4 地域分布

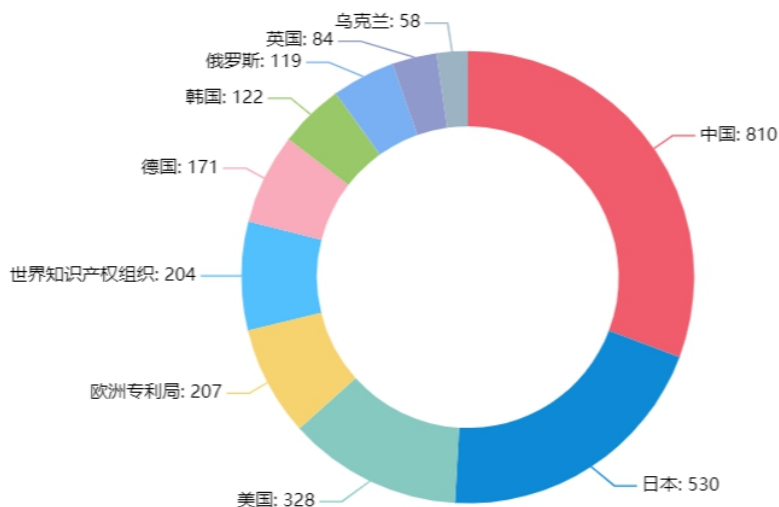


图 5-24 电子束增材制造技术专利地域分布

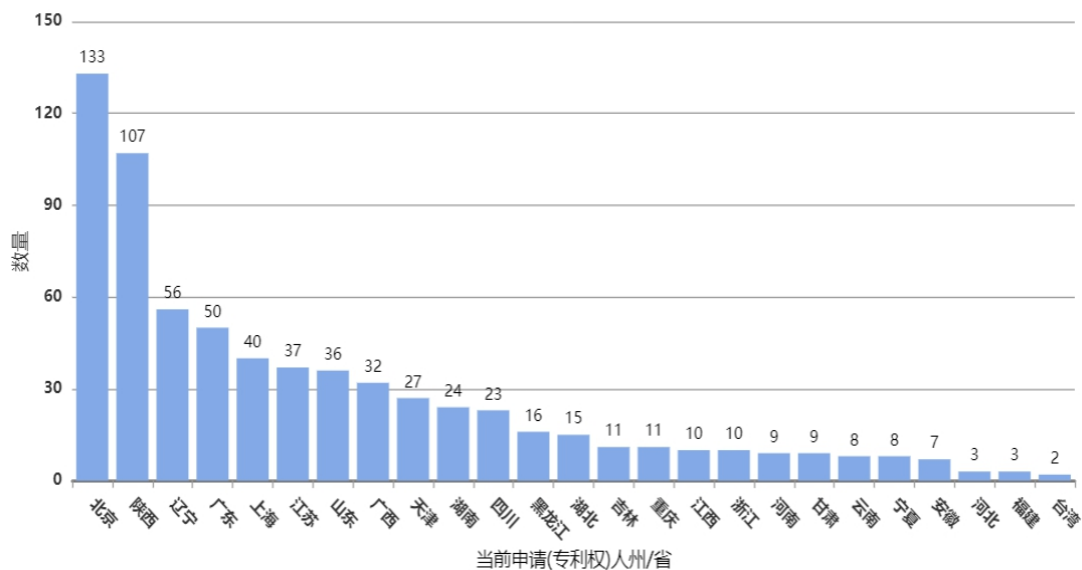


图 5-25 电子束增材制造技术专利中国省市排名

如图 5-24、5-25 所示，电子束增材制造技术相关专利主要集中在中国、日本、美国、欧洲，在国内，北京、陕西、辽宁等地具有较多专利储备。

不同于其他技术分支，广东、江苏电子束增材制造技术相关专

利申请量在国内排名稍显落后，也侧面反映出该技术的技术集中区域。

## 5.5 电弧增材制造技术

### 5.5.1 技术介绍

电弧增材制造 (Wire Arc Additive Manufacture, WAAM) 是一种以焊接技术为基础，采用电弧或等离子弧为热源将金属焊丝熔化，按照逐层堆积原理，根据三维数字模型，由线-面-体制造出接近产品形状和尺寸要求的三维金属坯件的先进数字化制造技术，主要形式有熔化极气体保护焊 (Gas Metal Arc Welding, GMAW)、钨极氩弧焊 (Tungsten Inert Gas Welding, TIG)、等离子弧焊 (Plasma Arc Welding, PAW) 等。为提高成形质量，研究人员在 GMAW 技术的基础上开发了冷金属过渡 (Cold metal transfer, CMT) 技术，该技术实现了低的热输入，可以获得更高尺寸精度和更优性能的成形件。与激光增材制造和电子束增材制造技术相比，电弧增材制造技术沉积效率更高、成本较低，可以实现大尺寸零件的快速成形，因而成为众多高校和机构的研究热点。

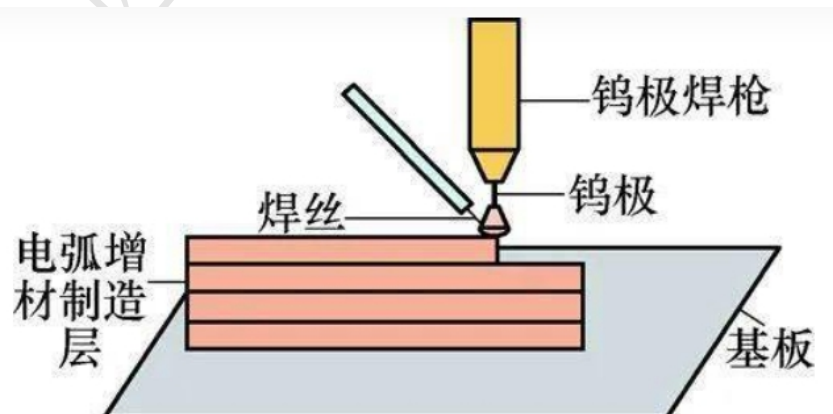


图 5-26 电弧增材制造技术原理

电弧送丝增材制造技术，即 WAAM (Wire and Arc Additive Manufacturing) 技术采用焊接电弧作为热源将金属丝材熔化，按设定成形路径在基板上堆积每一层片，层层堆敷直至成形金属件。与上述采用粉末原料的多种增材制造技术相比，WAAM 的材料利用率更高，成型效率高，设备成本低，对成型件的尺寸基本无限制，虽然成形精度稍差，成型件微观组织粗大，但仍是与激光增材制造方法优势互补的 3D 增材成形技术。

电弧增材制造技术因以电弧为载能束，热输入高，成形速度快，适用于大尺寸复杂构件低成本、高效快速近净成形。面对特殊金属结构制造成本及可靠性要求，其结构件逐渐向大型化、整体化、智能化发展，因而该技术在大尺寸结构件成形上具有其他增材技术不可比拟的效率与成本优势。电弧增材制造 3D 打印技术是将焊接方法与计算机辅助设计结合起来的一种加工技术，即用计算机提供的三维数据来控制焊接设备，然后通过分层扫描和堆焊的方法来制造金属元件。



近年来，WAAM 技术在国外发展相对成熟，许多大型航空航天企

业及高校积极开发 WAAM 技术，制造了大型金属结构件。克莱菲尔德大学采用 MIG 电弧增材制造技术制造钛合金大型框架构件，见上图，沉积速率达到每小时数千克，焊丝利用率高达 90%以上，该产品的成形时间仅需 1h，产品缺陷很少。欧洲空中客车（Airbus）、庞巴迪（Bombardier）、英国宇航系统（BAE system）以及洛克希德·马丁英国公司（Lockheed Martin-UK）、欧洲导弹生产商（MBDA）和法国航天企业 Astrium 等，均利用 WAAM 技术实现了钛合金以及高强钢材料大型结构件的直接制造，大大缩短了大型结构件的研制周期。L.Martin 以 ER4043 焊丝为原料，采用电弧增材的方法研制出了大型锥形筒体，高约 380mm；Bombardier 采用电弧增材技术在大型平板上直接制造了大型的飞机肋板，长约 2.5m，宽约 1.2m。



国内武汉天昱智能制造有限公司研发出基于电弧 3D 打印核心专利技术，进行自主开发的集电弧/等离子弧/激光于一体的微铸锻复

合 3D 打印大型设备，可打印金属范围 5000mm × 2000mm × 1500mm，涵盖大、中、小各种规格不同材料复杂样件。英国的核电站增材制造自动化单元由库卡六轴机器人组成，在  $\phi$  3.5m 的转盘上装载着二轴机械手，机器人通过进行“TOPTIG”电弧焊的方式来完成增材制造，系统中集成了金属焊丝送入焊枪，机器人按照计算机辅助设计模型的路径来创建三维几何形状。该系统可用于制造大型泵和阀的壳体或压力容器，有效降低初始成本和避免昂贵的锻件或铸件。

实践证明，电弧增材制造技术经济效益非常大，应用前景也十分广阔。随着研究广度和深度进一步拓展，对电弧增材制造技术的研究将重点集中在以下几个方面。

### （1）优化工艺

对成形工艺、成形系统、成形材料之间的关系进行深入研究，优化成形工艺，实现焊接技术与数控加工之间有效集成。开发更加先进的控制技术，实现对熔滴的几何尺寸、过渡速度和温度的有效控制；进一步研究薄壁复杂件成形过程中焊接热应力对成形质量的影响。

### （2）开发更加稳定的系统

研发控制精度高、可靠性好、柔性高的闭环控制成形系统。系统应能够实时监控焊枪在成形过程中的位置，自动调整焊接工艺参数，能够实现对执行过程各环节进行控制。同时，将多种焊接工艺、多轴 CNC 加工单元结合在一起，以提高焊接效率，提高成形件的精度，并可以实现快速成形功能梯度材料的金属成形件。研发先进的焊接机器人技术，从而进一步扩大焊接成形范围。

### （3）开发配套成形材料

电弧增材制造成形技术几乎没有专门的成形材料，仍然在沿用

结构钢焊接材料，难以实现多功能、复杂化的要求，因此开发系列化和专业化的成本低、强度高、成形性能好又能满足成形功能化金属成形件成形材料就成了当务之急。

#### (4) 提升产品质量

未来，随着金属电弧增材制造机理的拓展深化和金属电弧增材制造工艺的深入研究，电弧增材制造的效率将会得到明显改善，金属电弧增材制造的致密度会得到大大提升，零件的力学性能会得到提高，表面质量和其他物理性能也会得到改善。

### 5.5.2 专利申请趋势

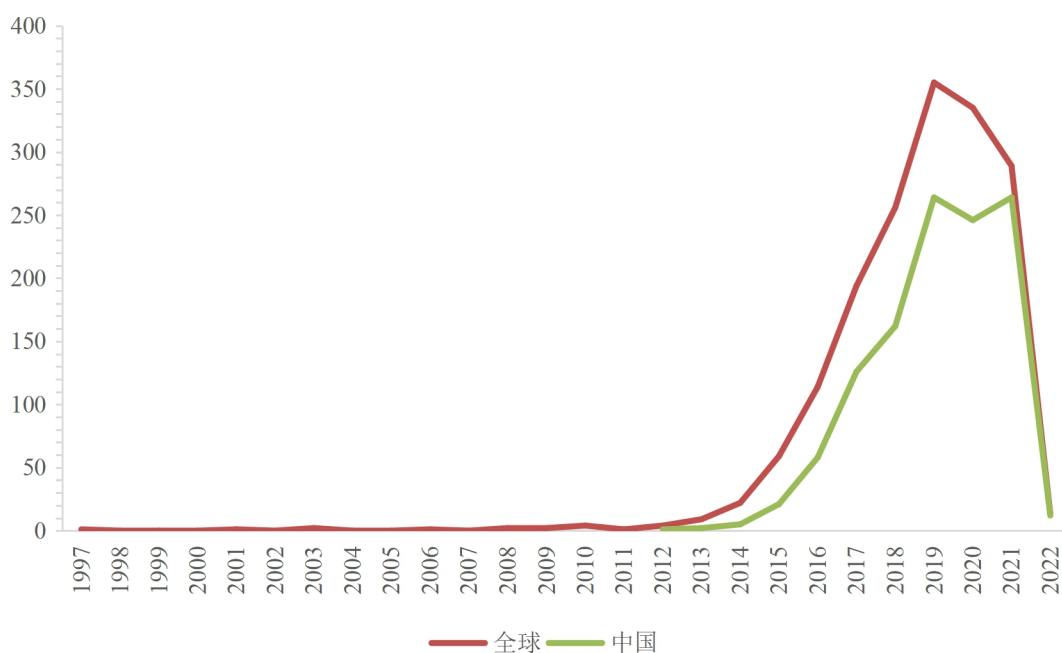


图 5-27 电弧增材制造技术专利申请趋势

如图 5-27 所示为电弧增材制造技术专利申请趋势，可以看到，关于电弧增材制造技术的研究相比其他技术分支来看较晚，在 2011 年之前，相关专利数量很少，尚处于研究阶段。

从 2012 年开始，关于电弧增材制造技术的专利数量开始呈现快

速增长，处于快速发展阶段。

近三年的数据显示电弧增材制造技术相关专利出现小幅度的降低，但是基于专利公开的滞后性和国际专利的审查周期较长等因素，近两年的数据仅作参考，预估不会出现明显下降。

基于电弧的金属结构 3D 打印技术，未来很有希望成为一种生产小批量、特殊合金部件的方法，甚至是在实际产品制造中都有可能广泛被使用。因其与传统工艺（包括锻造和铸造）的整体成本相比，在材料损耗和成本节约方面优势显著，从零件的概念化到最终制造的生产时间将大大减少，但也有一定的局限性，表现为，基于熔化金属实现的金属结构 3D 打印，目前更适合塑性好的金属材料，对于难焊金属材料的电弧增材还有很多困难，还需要大量的研究和验证。

### 5.5.3 申请人排名

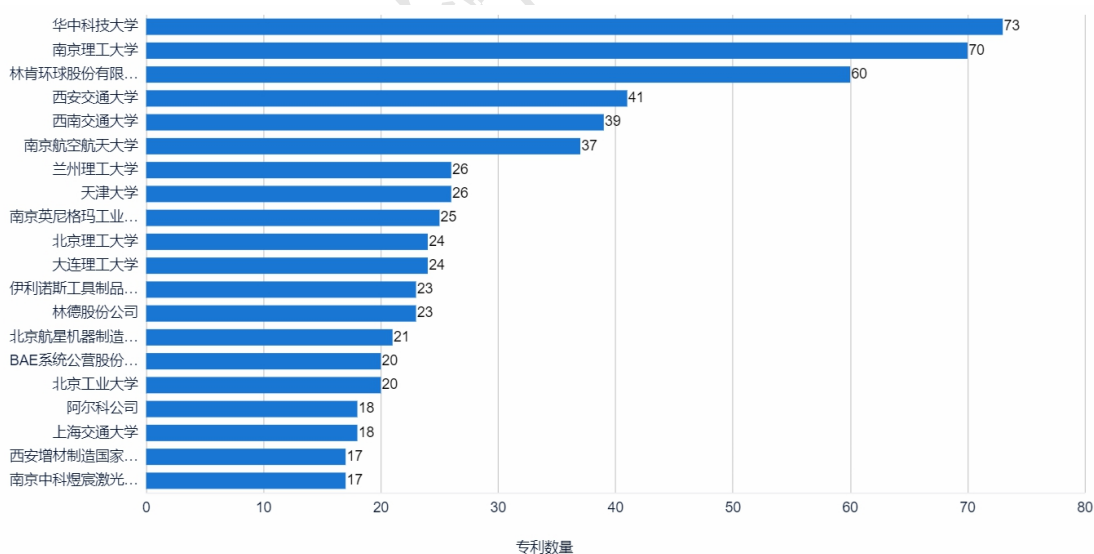


图 5-28 电弧增材制造技术全球专利申请人排名

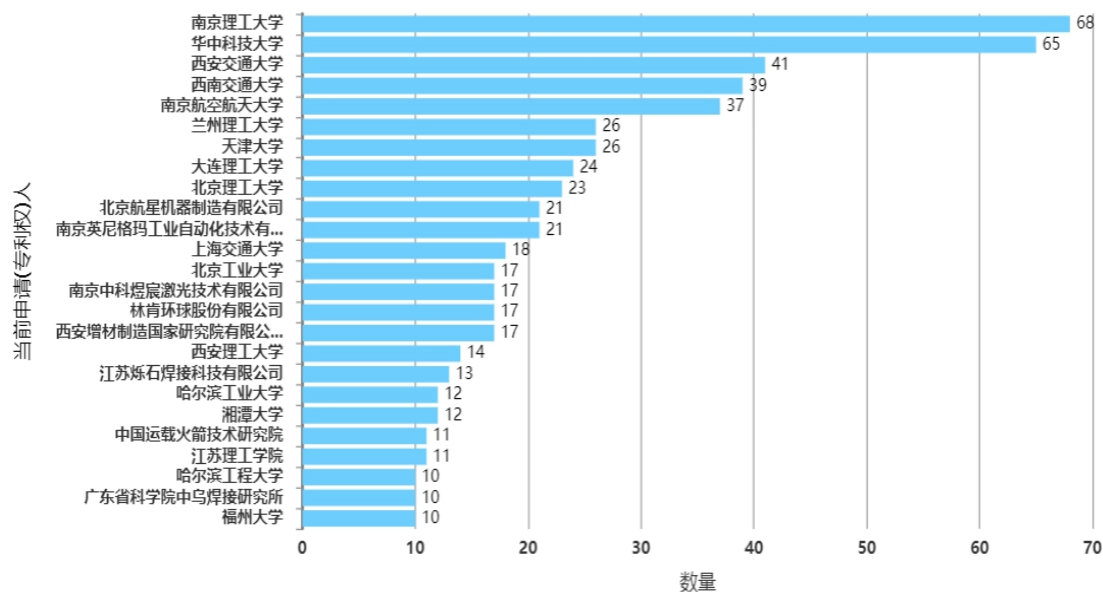


图 5-29 电弧增材制造技术中国专利申请人排名

如图 5-28、5-29 所示，电弧增材制造技术相关专利主要以中国申请人为主，尤其是中国高校，如华中科技大学、南京理工大学、西安交通大学、南京航空航天大学等。

由以上数据可以看出，中国在电弧增材制造技术方向有着良好的技术研究基础，形成了多样的技术成果。

### 5.5.4 地域分布

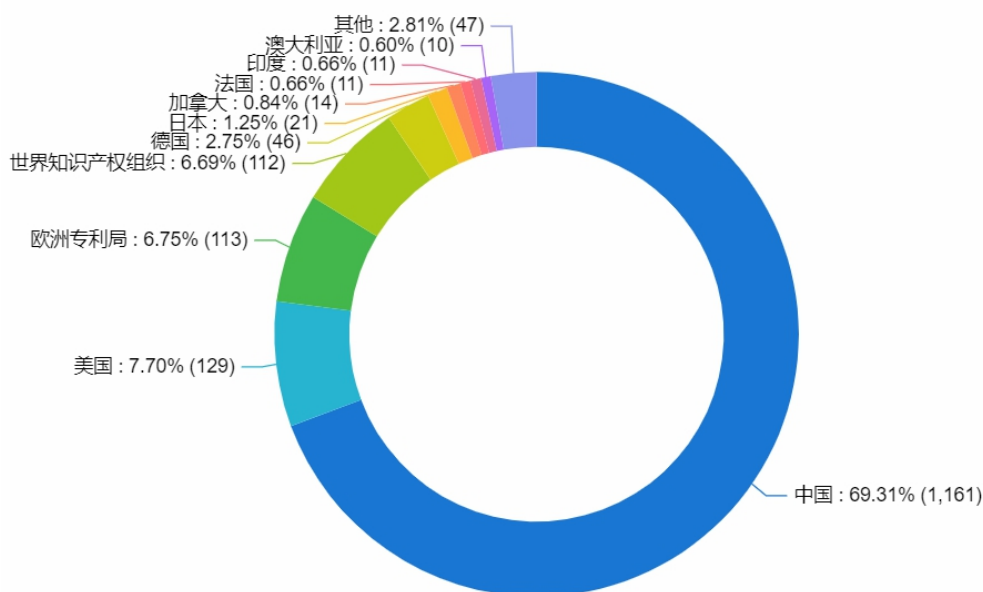


图 5-30 电弧增材制造技术专利全球地域分布

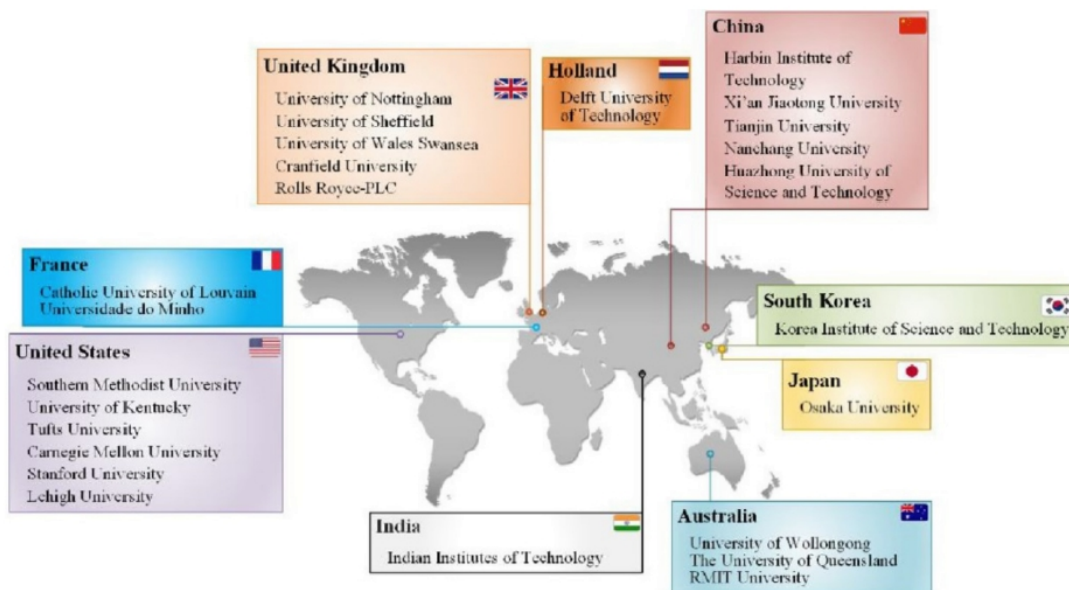


图 5-31 全球各地的增材制造研究机构

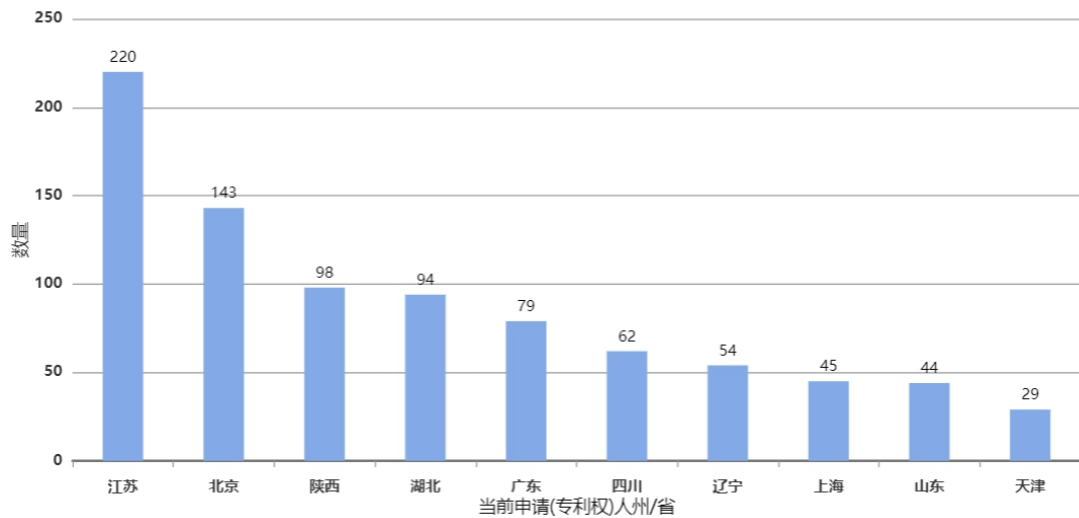


图 5-32 电弧增材制造技术专利中国省市分布

如图 5-30、5-31、5-32 所示，电弧增材制造技术相关专利的主要分布国家为中国、美国、欧洲、德国、日本等区域。

目前，电弧增材制造研究机构的分布情况与专利申请分布情况基本吻合。

在国内，江苏、北京、陕西分列前三名，而增材制造技术强省广东关于电弧增材制造技术相关专利数量相对较少，可以看到陕西在电弧增材制造技术方向处于国内水平较高的位置。

## 5.6 小结

目前，主流的增材制造技术主要为选择性激光熔化、选择性激光烧结、立体光固化成型、电子束熔化等手段，电弧增材制造技术是近年来才发展起来的一种增材制造工艺。

中国目前相关专利申请量已经超过美国成为全球申请量最大的专利申请国，各工艺相关的专利申请量均排名第一，陕西省在各技术分支的专利申请量均排名在全国前 5。

国外的重点申请人有 3D 系统公司、斯特拉塔西斯、惠普、西门子、通用电气等知名跨国企业；中国的主要申请人包括西安交大、华南理工、华中科技、上海联泰、西安铂力特、中科煜宸、华曙高科等优秀的产业主体。

广东、浙江、江苏、北京等地域技术创新活力更强，专利申请量更多，具有更加明显的优势。

陕西省知识产权研究会

## 第 6 章 陕西省增材制造现状分析

增材制造从 20 世纪 80 年代开始崭露头角以来，已取得飞速发展，增材制造是对传统制造方法的巨大变革，为制造产业提供了一种全新的制造模式，在医疗、航空航天、汽车、建筑、国防、消费领域具有广泛应用。

### 6.1 产业基础

陕西省关于增材制造技术的研究始于 20 世纪 90 年代初，是国家增材制造产业最为发达的地区之一，也是我国增材制造技术研发中心之一，陕西省集中了以卢秉恒院士为核心，黄卫东、李涤尘、赵万华、洪军等多位长江学者为代表的科研人才和一批增材制造技术的研发、中试和产业化人才；形成了高校、企业、研究院所等形式的创新实体，主要代表有西安铂力特、赛隆金属、陕西恒通智能、西安交通大学、西北工业大学、国家增材制造创新中心等市场主体；产业链涵盖了上游原材料、中游工艺技术及设备、下游应用及服务，目前来看，陕西省增材制造产业已经具备一定的发展基础。

### 6.2 产业目标

到 2023 年，创新体系建设不断完善，建设 1-2 个世界顶尖水平的共性技术研发平台，组建 1 个创新联合体和 3-5 个新型研发机构，省级以上各类研发平台达到 20 个；科技创新能力明显提高，完成不少于 10 项“揭榜挂帅”产业技术攻关任务，实施 30 项前沿性技术攻关项目，在航空航天、军工、核能、医疗、汽车等重大领域实现典型应用；人才聚集效应更加突显，培养引进具有国际领先水平科

技创新团队 1-2 个、国内一流水平科技创新团队 3-5 个，培养集聚高水平研发人才 500 人左右，打造一支具有国际视野的市场经营人才队伍；产业集聚效应明显增强，百亿级增材制造产业园区达到 3 个，孵化、培育、引进科技型中小企业达 100 家以上，科创板上市企业总量突破 5 家，带动医疗、文旅、教育等新兴应用驱动产业快速增长，上下游整体产业链产值达到 1000 亿规模。（陕西省增材制造产业发展三年行动计划（2021 年—2023 年）修改稿）

### 6.3 产业主体构成

#### 6.3.1 企业代表

##### 6.3.1.1 铂力特

西安铂力特增材技术股份有限公司（简称“铂力特”）成立于 2011 年 7 月，是中国增材制造产业联盟副理事长单位。铂力特的业务范围涵盖金属增材制造服务、设备、原材料、工艺设计开发、软件定制化产品等，构建了较为完整的金属增材制造产业生态链。铂力特申请了相关自主知识产权 200 余项，拥有各种金属增材制造设备 80 余套，可成形材料包括钛合金、高温合金、铝合金、铜合金、不锈钢、模具钢等多个种类，涉及 50 余种材料。

铂力特运用金属增材制造技术的专业经验，通过持续创新为航空、航天、国防、能源、医疗、模具、汽车等行业客户提供服务。目前，铂力特已与空中客车、法国赛风集团、中航工业、中国航天集团等国内外知名企业建立合作关系，是空客在亚洲第一个金属 3D 打印供应商。2017 年，铂力特“金属增材制造智能工厂”项目荣获“工业和信息化部智能制造试点示范项目”。2018 年，铂力特的总

营业收入为 2.91 亿元，同比增长了 32.3%。2019 年 7 月 22 日，铂力特正式在上交所科创板挂牌上市，证券简称：铂力特，证券代码：88333，也是首批登陆科创板企业中唯一的增材制造公司。

### 6.3.1.2 西安增材制造国家研究院有限公司

国家增材制造研究院国家增材制造创新中心是国家落实《中国制造 2025》而布局规划建设增材领域唯一的国家级创新中心。中心以国家战略目标和制造创新发展为导向，瞄准重大设备、重要材料、关键工艺、核心软件、核心元器件等前沿共性关键技术，以及创新技术、转化技术、孵化技术，通过多学科交叉创新和“政产学研金用”协同创新，打造完整创新链、产业链，带动整个制造业的转型升级，服务中国制造强国战略。股东有陕西金融控股集团有限公司、北京恒创增材制造技术研究院有限公司、北京煜鼎增材制造研究院有限公司、大连美吉姆教育科技股份有限公司、机械科学研究总院江苏分院有限公司、武汉华科三维科技有限公司、河北鼎盛新城实业有限公司、渭南高新区火炬科技发展有限责任公司、西北有色金属研究院、西安新材料产业发展有限公司、陕西煤业化工新型能源有限公司、陕西瑞特快速制造工程研究有限公司、安泰科技股份有限公司等 13 家公司及西安交通大学、清华大学、北京航空航天大学、华中科技大学、西北工业大学等 5 所高校。

国家增材制造创新中心拥有一支以 2 名中国工程院院士、5 名特聘教授、2 名陕西省百人计划专家为技术带头人，以高级工程师和博士学历工程师为技术骨干，以硕士、专业技术人员为实施主体的核心研发队伍。现有员工 230 多人，研发人员占比 80% 以上，硕士以上学历占 80% 以上，已获得“陕西省三秦学者创新团队”荣誉称号。

## 6.3.2 高校院所

### 6.3.2.1 西安交通大学

西安交通大学是国家教育部直属的具有理工特色的综合性研究型大学，国家一级重点学科 8 个，国家重点实验室 5 个、国家工程（技术）研究中心 7 个、国家工程实验室 3 个、国家国际科技合作基地 5 个、2011 协同创新中心 1 个、省部级重点科研基地 148 个，建有国家西部能源研究院、中国西部质量科学与技术研究院。师资队伍中有两院院士 45 名，据 ESI 公布的数据，截至 2021 年 5 月，学校 16 个学科进入世界学术机构前 1%，4 个学科进入前 1‰，工程学进入前万分之一。

西安交通大学高端装备研究院依托机械工程学院组建成立，承担着机械工程学科在新的时期“为国铸器、智造未来”的神圣使命，研究院以“四个面向”为指引，大力推进学科交叉融合，聚焦航空航天、机器人与智能系统、设计科学与基础部件、医工交叉、**先进制造**、精密工程、装备智能诊断与控制、新能源装备与质量工程等领域开展研究，并设立全球访问学者机制，引领核心就是自主研发，全力打造高端装备、智能制造领域核心技术攻关和创新人才培养高地。

先进制造技术研究所依托于是由中国工程院院士、我国增材制造（3D 打印）领域的领军人物卢秉恒教授于 1994 年领衔创立，其前身是我国机械制造学科的主要创始人之一——顾崇銜教授成立的机械制造工艺组。经过 20 多年的发展，研究所形成了由教师、专职科研人员与实验技术人员共同组成的强大科研团队，共计 60 余人，其中院士 1 人，国家领军、特聘教授（青年）9 人，国家杰出/优秀

青年基金获得者 4 人，全国百篇优博/上银优博获得者 5 人，目前研究所在读博士与硕士研究生近 500 人。

研究所承担了学院专业核心课“机械制造技术基础”，专业课“先进制造技术”、“增材制造技术”、“微纳制造技术”、“产品设计与开发”等课程的建设和教学工作。其中由卢秉恒院士主编的“机械制造技术基础”教材先后获得国家“九五”到“十二五”的规划教材建设，完成了 4 次修订，发行 20 余万册，并建成了陕西省精品课程。

研究所坚持面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康，不断增强科技创新能力，提升科技竞争力，形成了以增材制造（3D 打印）、高端/智能制造装备、复材成形及检测、微纳制造、生物制造及检测等特色研究方向，是机械制造系统工程国家重点实验室、快速制造国家工程研究中心、高端制造装备协同创新中心的重要组成部分。近五年先后承担了 973，863，国家重点研发计划、高端数控机床与基础制造装备国家科技重大专项、国家自然科学基金重大仪器专项和重点项目等 30 余项，获得“国家技术发明二等奖”两项。

研究所国际交往广泛，与美、德、英、法、意、新等 10 多个国家和地区的高等学校和研究机构建立了合作关系。每年有来自多个国家的外国留学生来研究所攻读硕/博士研究生，同时每年约有 20 余名硕博士前往世界知名大学进行联合培养和攻读学位。

在新的历史起点上，研究所在卢秉恒院士的带领下，秉承“做一流学问，创顶尖技术”的理念，深入学习贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想，聚焦立德树人根本任务，坚持“四个面向”的科学研究，推进“机械工程”学科的“双一流”建设，奋力书写新

时代发展新篇章。

### 6.3.2.2 西北工业大学

西北工业大学（简称西工大）坐落于陕西西安，是一所以发展航空、航天、航海等领域人才培养和科学研究为特色的多科性、研究型、开放式大学，是国家“一流大学”建设高校（A类），隶属于工业和信息化部。在扎根西部、献身国防的建设历程中，书写了新中国历史上的多个“第一”，为武器装备研制、国防领域关键核心技术自主安全可控和西部建设提供了有力支撑，是连续两次被中共中央、国务院、中央军委联合授予“重大贡献奖”的唯一高校。

在增材制造技术领域，也涌现出了以黄卫东教授为主要代表的创新团队，承担多项增材制造政府项目，在本领域具有先进的理念和丰富的经验。

## 6.4 技术创新分析

### 6.4.1 专利保护情况

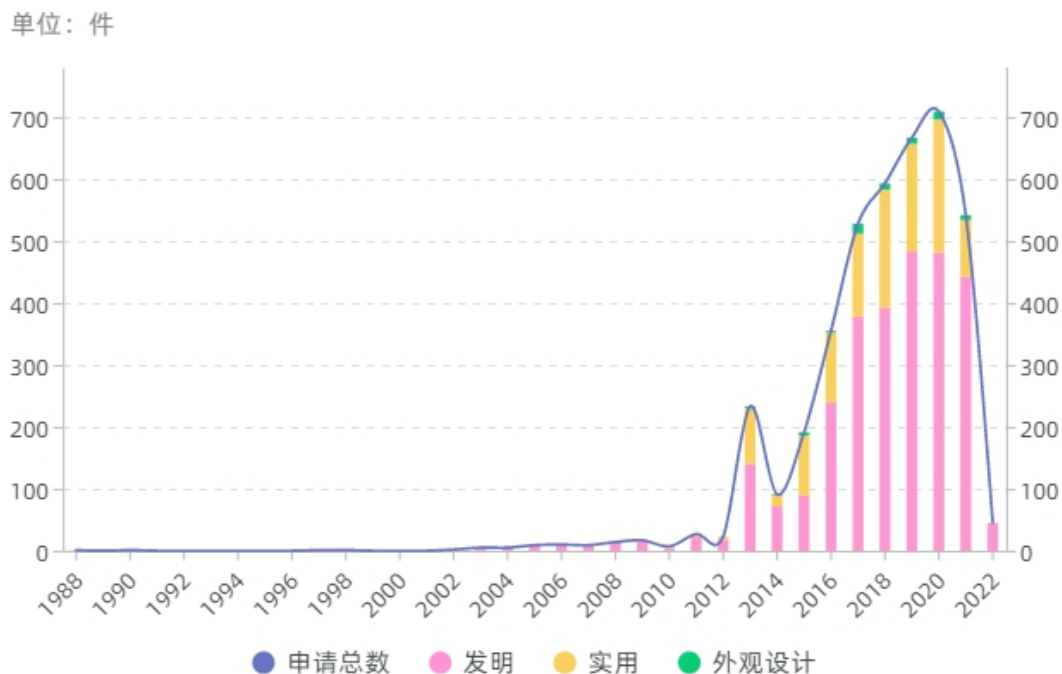


图 6-1 陕西省增材制造技术专利保护情况

如图 6-1 所示，陕西省增材制造产业起步时间在国内属于较早的省份，西安交通大学卢秉恒教授属于在国内最先一批开展研究的技术专家之一，从陕西省的专利申请数量来看，从上世纪 80 年代末期至本世纪初，十多年的时间里总体处于研究阶段，在这一阶段主要以卢秉恒教授所研究的光固化快速成型技术为主；从本世纪初开始，专利申请量有所增加，但是主要的申请人还是以西安交通大学为研究主体的高校，2008 年西安工程大学、西安科技大学也相继提出了光固化快速成型技术相关专利，2009 年开始出现了以企业为主体的申请人，陕西省增材制造技术开始迈开产业化的第一步。

2013 年，工信部开始酝酿增材制造顶层设计和统筹规划，科技部首次将增材制造纳入《国家高技术研究发展计划（863 计划）和

国家科技支撑计划制造领域 2014 年度备选项目指南》，之后国内增材制造专利便呈现出快速增长的态势，陕西省作为早期的研究省份，专利数量从 2013 年之后也呈现出显著的增长变化，至今为止，专利数量依然处于增长状态，可见在陕西省，关于增材制造技术的研究热度依然很高，发展空间很大。

从专利类型分布来看，发明专利数量一直为申请量最大的类型，整体技术创新程度较高。

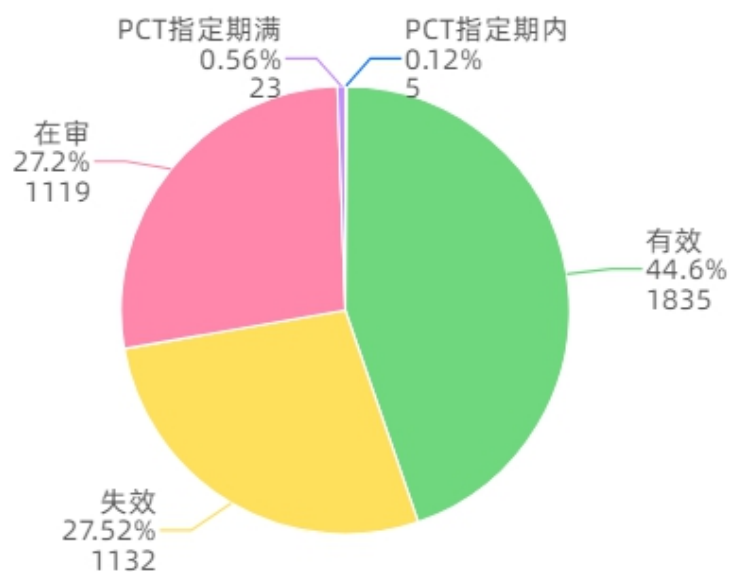


图 6-2 陕西省增材制造专利当前法律状态分布

如图 6-2 所示，陕西省增材制造技术相关专利目前有效专利占比为 45%，在审专利占比 27%，失效专利占比不到 1/3，同时可以看到虽然有国外专利的布局，但总体来看专利保护程度较高，整体质量较好。

### 6.4.2 技术成果分布区域

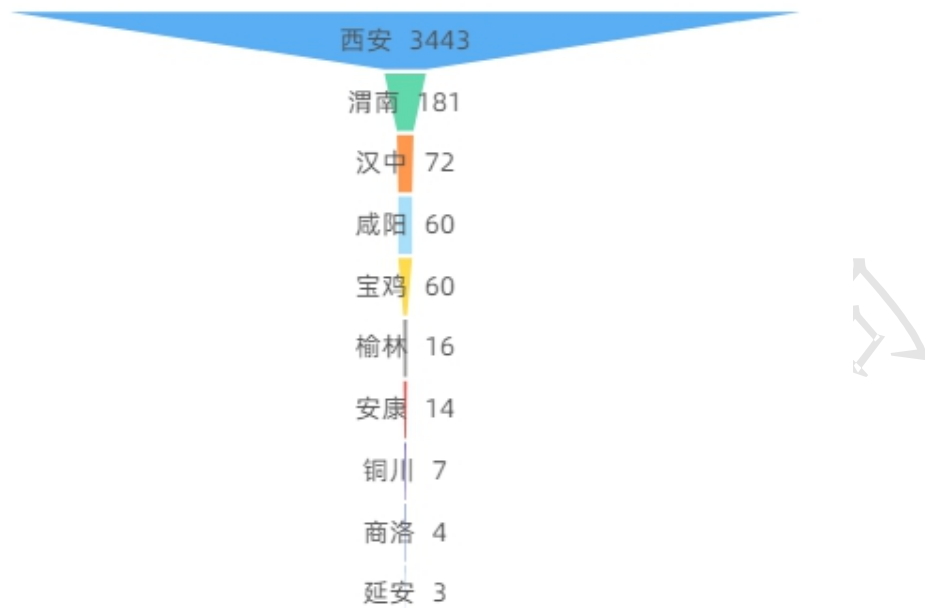


图 6-3 陕西各市增材制造专利分布

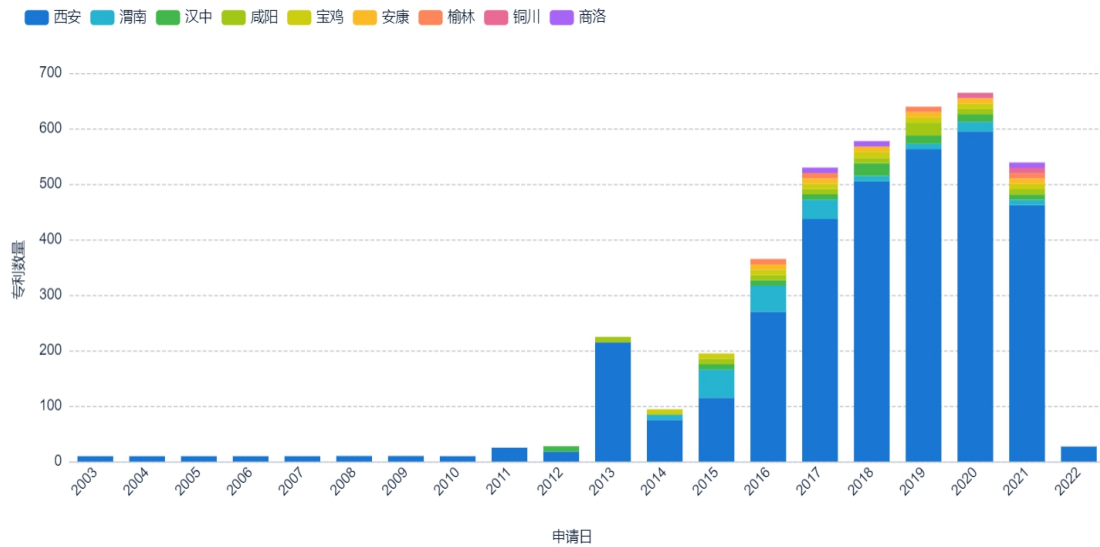


图 6-4 陕西各市增材制造专利申请趋势

如图 6-3、6-4 所示，陕西省增材制造专利主要集中在西安市，相关专利申请量超过 3000 件，相关申请人包括西安交通大学、西北工业大学、西安铂力特增材技术股份有限公司、西安增材制造国家研究院有限公司、西安理工大学、西安科技大学、西安赛隆金属材

料有限责任公司等；排名第二的是渭南市，专利申请量为 181 件，主要申请人代表有渭南高新区火炬科技发展有限公司、渭南鼎信创新智造科技有限公司、陕西聚高增材智造科技发展有限公司等；排名第三的是汉中市，专利申请量为 72 件，主要申请人为陕西理工大学；咸阳市、宝鸡市专利数量相同，均为 60 件，咸阳市主要申请人陕西工业职业技术学院，宝鸡市的主要申请人有宝鸡高新智能制造技术有限公司、陕西爱骨医疗股份有限公司等。榆林市、安康市、铜川市、商洛市、延安市专利数量较少；榆林市主要以榆林学院和个人申请人为主；安康市申请人主要为陕西弘毅特电子科技有限公司和个人申请人；铜川市申请人主要为镁高镁诺奖(铜川)新材料有限公司；商洛市的申请人主要为陕西云叶叶电子网络科技有限公司、商洛学院和个人申请人；延安市的申请人主要为延安大学。

表 6-1 渭南市有效专利分布情况

当前申请(专利权)人	专利数量	技术方向
铂力特(渭南)增材制造有限公司	13	设备、医疗器械
陕西斐帛科技发展有限公司	10	辅助装置、工艺
陕西非凡士三维科技有限公司	7	3D 打印机
陕西天企司服科技有限公司	6	电弧、激光增材制造、铜合金增材制造
渭南职业技术学院	5	陶瓷打印辅助装置、医疗器械
渭南鼎信创新智造科技有限公司	5	激光制造工艺
陕西聚高增材智造科技发展有限公司	4	激光制造、PEEK 材料的制造工艺
陕西博鼎快速精铸科技	3	聚合物增材工艺

有限责任公司		
陕西英博金属技术有限公司	2	金属粉末处理装置

表 6-1 为渭南市有效专利当前的基本分布情况，可以看到，有效专利最多的是陕西增材制造产业龙头企业铂力特的分公司，其次，陕西斐帛科技、非凡士三维、天启伺服科技、渭南职业技术学院、渭南鼎信、陕西聚高、陕西博鼎、陕西英博等均有不同数量的有效专利。总体来看，渭南市增材制造产业表现出专利数量少、技术方向比较分散的局面。

### 6.4.3 技术分支

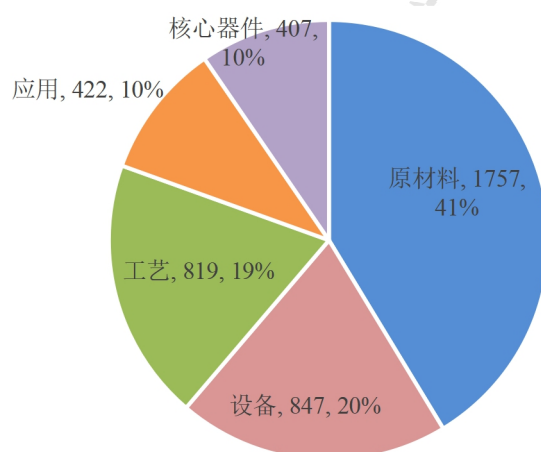


图 6-5 陕西省增材制造专利技术分布

如图 6-5 所示，陕西省增材制造专利包括设备、工艺方法、材料、应用及软件，覆盖了全部的产业链。其中原材料、设备、工艺方向均有较多专利分布，关于核心元器件和应用的专利占比较小。

#### 6.4.4 陕西省增材制造专利申请人排名

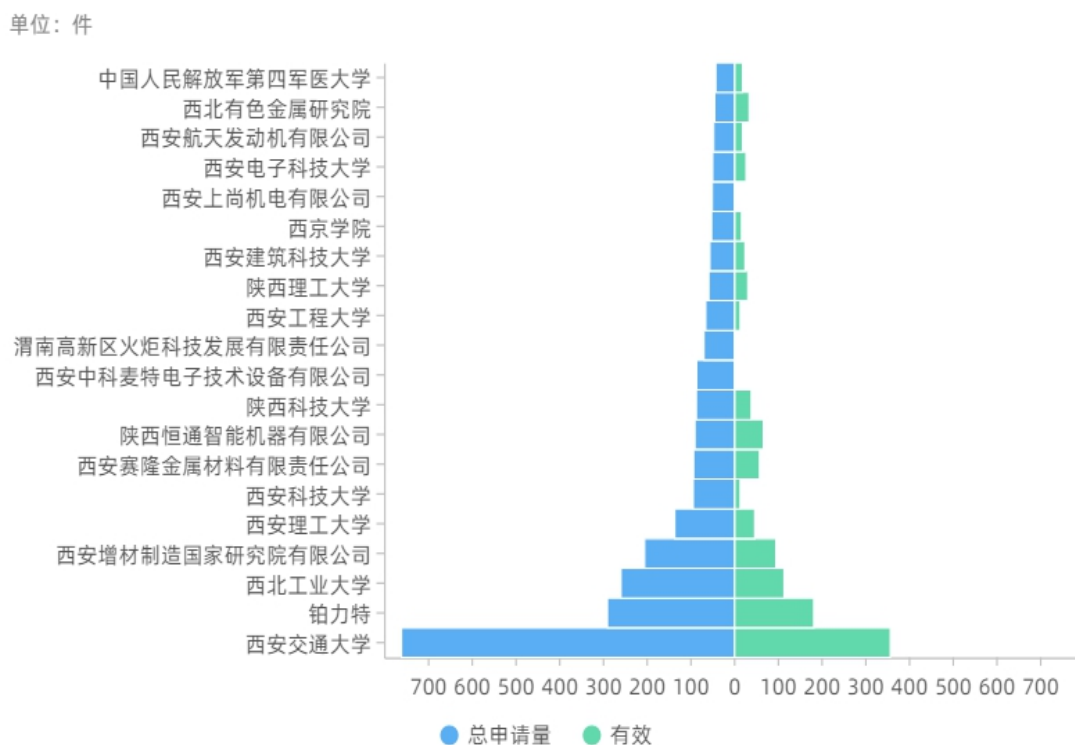


图 6-6 陕西省增材制造相关专利申请人排名

如图 6-6 所示，可以看到在排名前 25 位的申请人中，高校作为申请人的数量超过一半，排名前三的申请人中有两个高校申请人，排名前五的申请人中有三个高校申请人，可以看到在陕西省内，高校在增材制造产业当中的地位。西安交通大学为排名第一的申请人，相关专利申请量占陕西省总数据的 20% 以上，实力显著；排名第三的申请人为西安铂力特增材技术股份有限公司。

从以上申请人中可以看到，陕西省目前关于增材制造的研究主体具有一定的数量和规模，对于后期发展整个产业链有着良好的研究基础。

## 6.4.5 创新研究团队介绍

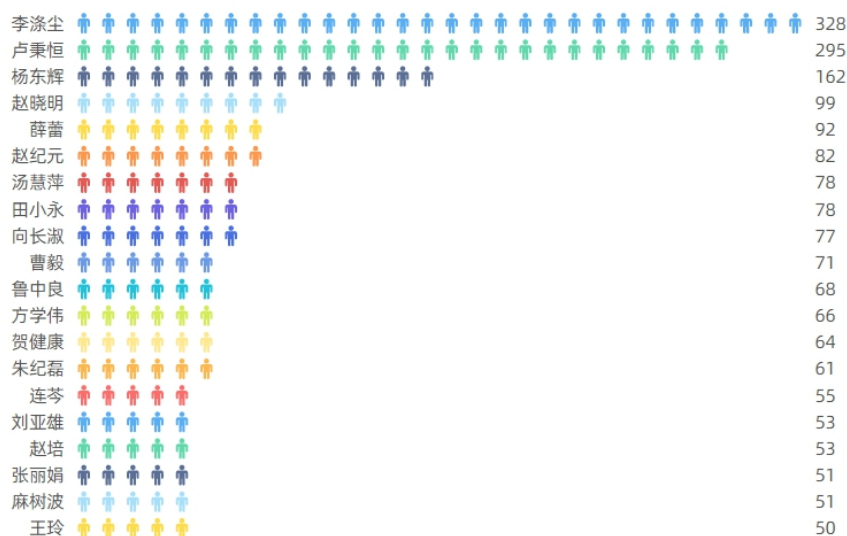


图 6-7 陕西省增材制造领域专利发明人排名

如图 6-7 所示，陕西省增材制造领域专利的发明人中，排名第一的为李涂尘，相关专利申请量超过 300 件，排名第二的是卢秉恒院士，相关专利申请量为 281 件，前两名均为西安交通大学的创新研究人员，排名第三的是杨东辉，相关专利申请量为 160，排名第四的是赵晓明，相关专利申请量 95，排名第五的是薛蕾，相关专利申请量为 87，排名第三第四第五发明人均均为铂力特的创新研究人员，侧面反应出铂力特在增材制造技术领域的实力。

陕西省在增材制造领域的起步在国内属于较早的一批，因此形成了具有显著影响力的团队，具体如下：

## (1) 西安交通大学卢秉恒团队

卢秉恒现为中国工程院院士，西安交通大学教授，博士生导师。现任西安交通大学机械工程学院院长，快速制造国家工程研究中心（筹建）负责人，国务院机械学科评议组召集人，国家基金委工材部第二届咨询委员会委员，国家基金委机械学科评议组负责人，

中国机械工程学会生物制造分会副理事长，中国机械制造工艺协会副理事长，全国高校金属切削机床学会理事长，“高档数控机床与基础制造装备重大专项”总体组组长。

卢秉恒是我国 3D 打印领域的第一个院士，卢秉恒教授于 1993 年在国内率先开拓光固化快速成形制造系统研究，开发出具有国际首创的紫外光快速成形机及有国际先进水平的“机、光、电”一体化快速制造设备和专用材料，形成了一套国内技术先进的产品快速开发系统，其中 5 种设备、3 类材料已形成产业化生产，对提高我国制造业竞争能力及迎接入关挑战起到重要作用。

卢秉恒团队代表性成果有以下几项：一是基于快速原型的快速制造集成系统的研究与应用示范（“十五”国家科技攻关）；二是产品开发的快速模具制造集成技术及设备（863 计划）；三是节水灌溉设备快速开发平台技术与设计软件研制（863 计划）；四是节水产品激光快速成形技术研究（863 计划）；五是 IC 制造中压印光刻工艺与设备的研究开发（863 计划）；六是分层制造过程仿真与工艺材料优化（国家自然科学基金）；七是人工骨活化机理及仿生设计制造技术基础研究（国家自然科学基金重点项目）；八是微压印成形的相变构型与保真转移（973 计划）；九是超高速切削加工及其数控装备（973 计划）：发表论文 400 多篇，其中被 SCI、EI 收录 100 多篇。

## （2）西北工业大学黄卫东团队

黄卫东教授，博士生导师。国家杰出青年科学基金获得者，教育部长江学者奖励计划特聘教授，国家自然科学基金委员会金属学科评审专家，中国机械工程学会增材制造分会副理事长，国家科学技术部 3D 打印专家组首席专家，国家智能制造重大工程项目专家组成员，国家增材制造创新中心副主任，3D 打印领域世界首本国际杂

志《3D 打印和增材制造》(3D Printing and Additive Manufacturing)编委。曾任中国铸造学会理事长,《铸造》和《中国铸造》(China Foundry)杂志编委会主任、凝固技术国家重点实验室主任。团队代表还有林鑫教授,博士生导师,材料学院副院长,金属高性能增材制造与创新设计工业和信息化部重点实验室主任,“万人计划”领军人才,科学技术部中青年科技创新人才,教育部“新世纪优秀人才支持计划”入选者,陕西省“特支计划”科技创新人才,英国皇家学会“牛顿学者”,目前担任陕西省增材制造军民融合产业联盟秘书长,中国热处理学会高能密度热处理技术委员会副主任,全国增材制造标准化委员会委员,第五届全国新材料产业发展战略咨询委员会学术委员,中国材料研究学会凝固科学与技术分会常务理事,中国机械工程学会增材制造技术分会委员。团队主持包括国家重点研发计划项目、973 计划、863 计划、国家自然科学基金、国防基础研究、预研和推广应用项目等 20 余项国家和省部级科研项目。

团队依托的凝固技术国家重点实验室,是我国 3D 打印技术研发最出色的单位之一,主要发展名为“激光立体成形”的 3D 打印技术,该技术通过激光熔化金属粉末,几乎可以打印任何形状的产品,其最大的特点是,使用的材料为金属,打印的产品具有极高的力学性能,能满足多种用途。

## 6.5 陕西增材制造产业定位分析

### 6.5.1 企业数量

经检索,增材制造企业数量全国为 12994 家,近五年成立的企业有 4060 家,其中陕西省增材制造企业 379 家,2017 年之后成立

的企业数为 128 家。

省份	企业数量	占比	各省2017年之后成立企业数	2017年后各省新企业占比	2017年后成立企业占本省总数比例
广东	2381	18.32%	740	18.23%	31.08%
江苏	2029	15.61%	811	19.98%	39.97%
浙江	1190	9.16%	461	11.35%	38.74%
山东	815	6.27%	238	5.86%	29.20%
上海	723	5.56%	175	4.31%	24.20%
北京	629	4.84%	105	2.59%	16.69%
安徽	540	4.16%	207	5.10%	38.33%
河南	457	3.52%	98	2.41%	21.44%
四川	447	3.44%	124	3.05%	27.74%
辽宁	404	3.11%	87	2.14%	21.53%
福建	397	3.06%	122	3.00%	30.73%
陕西	379	2.92%	128	3.15%	33.77%
湖北	375	2.89%	110	2.71%	29.33%
湖南	367	2.82%	113	2.78%	30.79%
天津	292	2.25%	87	2.14%	29.79%
河北	286	2.20%	93	2.29%	32.52%
江西	193	1.49%	64	1.58%	33.16%
重庆	179	1.38%	69	1.70%	38.55%
广西	135	1.04%	34	0.84%	25.19%
山西	123	0.95%	32	0.79%	26.02%
黑龙江	120	0.92%	33	0.81%	27.50%
贵州	95	0.73%	16	0.39%	16.84%
吉林	93	0.72%	23	0.57%	24.73%
宁夏	68	0.52%	19	0.47%	27.94%
内蒙古	64	0.49%	15	0.37%	23.44%
甘肃	63	0.48%	15	0.37%	23.81%
云南	40	0.31%	11	0.27%	27.50%
新疆	36	0.28%	9	0.22%	25.00%
海南	23	0.18%	14	0.34%	60.87%
香港	22	0.17%	1	0.02%	4.55%
青海	18	0.14%	5	0.12%	27.78%
台湾	9	0.07%	0	0.00%	0.00%
西藏	2	0.02%	1	0.02%	50.00%

图 6-8 各省增材制造企业数量分布

如图 6-8 所示，陕西省增材制造产业相关企业的数量为 379，占全国总企业数的比例为 2.92%，企业数量排名为第十二名，处于中上游水平。排名第一的省份为广东省，企业数量为 2381，占比为 18.32%，排名第二的省份为江苏省，企业数量为 2029 家，占比为 15.61%，排名前两名的省份增材制造企业数量均超过了 2000 家。排名第三的浙江省增材制造企业数量为 1190，占比为 9.16%，是唯一一个企业数量在 1000-2000 区间内的省份，从第四名往后的省份增材制造企业数量均未超过 1000 家，陕西省与前三名的数量相差分别

为 6 倍、5 倍和 3 倍，可以看到陕西省增材制造技术的发展还有很大的提升空间。

### 6.5.2 发明人数量

省份	发明人数量	占比	长江学者	万人计划	千人计划	教授学者	院士团队 人才数量
广东	4981	14.50%	1	4	4	135	11
江苏	4464	13.00%	11	10	4	290	20
北京	2835	8.26%	19	26	7	164	30
浙江	2374	6.91%	5	7	6	152	23
陕西	2292	6.67%	11	8	3	150	53
上海	2146	6.25%	10	14	5	150	13
湖北	1705	4.97%	6	8	11	152	19
山东	1485	4.32%	3	3	0	118	2
四川	1294	3.77%	4	5	2	54	8
辽宁	1095	3.19%	6	10	3	184	33
安徽	1013	2.95%	0	1	0	49	2
福建	969	2.82%	1	5	2	72	1
黑龙江	868	2.53%	10	6	1	141	17
天津	787	2.29%	1	1	4	86	2
河南	784	2.28%	0	0	0	33	0
湖南	749	2.18%	1	3	1	70	2
重庆	630	1.83%	1	0	0	32	0
广西	558	1.62%	0	0	0	20	0
吉林	480	1.40%	3	1	1	78	52
河北	447	1.30%	1	0	0	56	0
江西	371	1.08%	0	0	0	29	0
宁夏	286	0.83%	0	0	0	5	0
贵州	261	0.76%	0	0	0	6	0
内蒙古	254	0.74%	0	0	0	11	0
台湾	250	0.73%	0	0	0	0	0
甘肃	231	0.67%	1	1	0	21	2
山西	229	0.67%	0	0	0	48	0
云南	195	0.57%	0	1	0	23	3
新疆	121	0.35%	0	0	0	8	0
香港	36	0.10%	0	0	0	0	0
青海	16	0.05%	0	0	0	0	0
海南	14	0.04%	0	0	0	0	0
西藏	4	0.01%	0	0	0	2	0

图 6-9 各省科技人才分布情况

如图 6-9 所示为全国各省增材制造相关人才情况，可以看到作为专利发明人的人才数，陕西省有 2292 名发明人，在全国排名第五，本省发明人数量占全国发明人数量的比例为 6.67%，与前两名的省

份相比，数量有一倍之差，从量的角度来说排名处于中上游水平。从人才类型方面来讲，陕西省长江学者人才数为 11，排名并列第二，万人计划人才数为 8，排名并列第六名，千人计划人才数为 3，排名并列第八，教授学者人才数为 150，排名并列第六，院士团队人才数为 53，排名第一。从人才的类型及水平来看，陕西省在增材制造领域拥有比较丰富的人才梯队，人才水平总体来看处于中上游。

### 6.5.3 各技术专利储备量

地域/省份	专利申请量	地域/省份	专利申请量	地域/省份	专利申请量	地域/省份	专利申请量	地域/省份	专利申请量
原材料		核心元器件		工艺		设备		应用	
全球	24225	全球	10403	全球	26738	全球	27020	全球	28585
中国	11406	中国	6991	中国	10149	中国	20111	中国	7724
中国占比	47%	中国占比	67%	中国占比	38%	中国占比	74%	中国占比	27%
广东	1494	广东	1213	江苏	1257	广东	4532	广东	925
江苏	1464	江苏	1059	广东	1235	江苏	2402	江苏	781
北京	1059	浙江	547	北京	1075	浙江	1835	上海	773
陕西	827	安徽	395	陕西	819	安徽	1188	北京	654
上海	654	北京	346	上海	595	上海	998	陕西	382
浙江	643	陕西	304	湖北	523	北京	974	浙江	362
湖南	499	上海	301	湖南	420	四川	891	四川	299
山东	466	四川	300	浙江	408	陕西	847	山东	279
湖北	459	湖北	294	辽宁	383	山东	709	湖北	255
辽宁	375	山东	279	四川	309	福建	676	安徽	248
安徽	365	河南	202	山东	277	湖北	643	福建	189
四川	344	天津	195	黑龙江	209	河南	594	湖南	174
黑龙江	251	辽宁	175	安徽	179	天津	563	辽宁	156
福建	249	福建	172	福建	160	湖南	394	天津	133
江西	202	湖南	171	重庆	155	重庆	313	广西	111
天津	174	黑龙江	154	江西	135	河北	303	重庆	110
河南	151	重庆	113	天津	133	辽宁	288	河北	107
重庆	143	江西	83	吉林	101	宁夏	270	河南	89
吉林	137	广西	68	台湾	100	黑龙江	256	黑龙江	76
广西	120	河北	61	河北	84	广西	255	吉林	69

图 6-10a) 各省不同技术分支专利分布情况

技术方向大类	全球	中国	陕西
金属增材制造	27.2%	31.8%	56.4%
非金属增材制造	72.8%	68.2%	43.6%

图 6-10b) 技术方向大类专利数据分布情况

产业链技术分支		全球	中国	陕西省	
上游	原材料	聚合物	22.20%	24.00%	16.20%
		金属	24.40%	27.50%	34.00%
		陶瓷	19.90%	17.70%	22.30%
		复合材料	19.40%	16.80%	19.40%
		生物材料	14.20%	13.90%	8.30%
	核心器件	激光器	28.6%	28.9%	38.3%
		振镜	4.8%	6.3%	10.8%
		数控系统	2.1%	2.2%	4.2%
		伺服电机	5.5%	7.6%	11.1%
		喷嘴/喷头	56.7%	52.8%	34.4%
		高能电子枪	0.1%	0.1%	0.5%
		喷涂机器人	2.3%	2.1%	0.7%
中游	工艺	49.70%	33.50%	49.20%	
	设备	50.30%	66.50%	50.80%	
下游	应用	航空航天	5.80%	6.50%	12.10%
		医疗	39.00%	39.70%	43.60%
		汽车	4.60%	4.10%	1.40%
		模具	20.40%	20.50%	21.80%
		日用消费	5.20%	5.90%	3.80%
		能源	3.80%	3.00%	1.40%
		建筑	20.00%	17.30%	12.80%
		文创	1.20%	2.90%	3.10%

图 6-10c) 全球、中国及陕西在增材制造产业各技术分支专利占比

如图 6-10 所示，陕西省在各技术分支的排名均比较靠前，可以看到陕西省在全国范围内，关于增材制造技术的研究水平较高。但与广东、江苏、北京、浙江等地具有比较显著的差距。

陕西省在产业链上中下游均有专利布局，但是布局的技术方向有所差异，原材料方向的专利主要为金属材料，核心元器件方向主要为激光器和喷头，而中游的工艺和设备专利数量比较平均，下游的应用重点为医疗、模具方向，而根据报道陕西省增材制造技术在

航空航天领域的应用较多，推测部分技术成果可能涉及保密并未申请专利或者以国防专利类型进行保护。

全球、中国在非金属增材制造方向的专利申请量更高一些，而陕西省则在金属增材制造方向的专利储备更高，足以看到陕西省在金属增材制造方向的技术优势。

## 6.6 陕西省相关支撑项目

### 6.6.1 陕西省推进高质量项目建设行动方案

2021年《陕西省推进高质量项目建设行动方案》印发，按照这份行动方案，陕西将依托秦创原创新驱动平台，加快重点产业“卡脖子”技术攻关，持续加大对创新驱动、先进制造、减碳降污、数字经济等领域项目谋划支持力度，围绕23条重点产业链的延链、补链和强链做好重大产业链项目的招引储备和落地服务，争取用一年时间实现省市县三级重点项目完成投资1.5万亿元以上，创新驱动、先进制造、传统产业升级项目投资达到1000亿元以上，拉动全省投资增长7%左右，高新技术产业年度投资增长10%左右。

这里的23条重点产业链，是从陕西省6大支柱14个重点产业领域筛选而来，分别是：数控机床、光子、航空、重卡、生物医药、钛及钛合金、新型显示、集成电路、太阳能光伏、输变电装备、乳制品、民用无人机、氢能、**增材制造**、钢铁深加工、乘用车（新能源）、物联网、富硒食品、煤制烯烃（芳烃）深加工、铝镁深加工、陶瓷基复合材料、智能终端、传感器。

2021年，陕西对外公布了23条重点产业链的“链长”，其中数控机床、光子、航空等11条标志性重点产业链由省级领导担任“链长”，其他12条重点产业链由相关省级部门领导担任“链长”。

### 6.6.2 西安多举并行发展增材制造产业

在 2022 年，《2022 年西安市科技工作要点》和《2022 年西安秦创原创新驱动平台建设工作要点》印发，明确要以秦创原平台建设为主阵地，以促进两链融合为主线，集中资源要素，汇聚高能级平台，强化技术供给，精准对接创新资源，促进技术成果服务市场。为此，西安市科技局围绕全市 19 条产业链，特别编制了《西安市重点产业链创新资源图谱》。

基于近三十年的发展与突破，目前西安市增材制造技术研发处于全国领先水平，建立了国家工程研究中心、工程实验室等研究机构，专利技术数量居全国前列，多项重要研究成果应用于多个产业领域，培育形成了一批从事增材制造设备生产、材料制备、产品加工及技术服务的专业化企业，应用领域涵盖航空、航天、汽车、军工、模具、电子电器、造船等诸多领域，城市增材制造产业发展特点突出。

### 6.6.3 其他陕西省增材制造产业动态

2021 年 11 月，省市合理谋划增材制造产业链建设，召开推动增材制造产业高质量发展联动机制和协同推进工作会。

2022 年 4 月 11 日，李建勋总工赴省科技厅对接工作，就秦创原工作总结梳理、重点产业布局、成效宣传推广等工作进行汇报。

2022 年 4 月，西安市科技局参加全省秦创原工作研讨论证会，研究部署科技企业培育、西安兰州共建国家区域科创中心等工作；会同市财政局赴启迪之星、国家超算（西安）中心、碑林环大、大普激光等调研秦创原专项建设情况；根据全市增材制造企业名录，形成增材制造设备企业名册。

2022年6月28日，省科技厅与西安交通大学、西安市科技局、西咸新区管委会联合举办了秦创原增材制造产业链提升工作系列活动——增材制造技术在医疗领域应用交流对接会。在交流对接会上，中国工程院院士、国家增材制造创新中心主任、省增材制造产业链首席顾问卢秉恒等专家学者和企业代表围绕增材制造技术发展及在医疗领域的应用等方面分别作了专题报告。西北工业大学、西安交通大学及空军军医大学口腔医院、唐都医院、西安交通大学第二附属医院、西安国际医学中心等参会代表围绕增材制造医疗产品设计研发、材料、应用场景及存在问题等进行了交流，并提出了意见建议。会议期间，与会人员参观了增材制造技术在医疗领域应用创新成果展。国家增材制造创新中心与西咸新区秦创原创新促进中心、西安康拓医疗技术股份有限公司与西安交通大学、维度（西安）生物医疗科技有限公司与空军军医大学签署了产业链和创新链框架合作协议。秦创原创新促进中心进行了秦创原总窗口产业孵化政策推介，并发布了15项增材制造领域揭榜挂帅项目。

陕西在增材制造和医疗领域实力雄厚，汇聚了一批高水平科研机构、医疗单位和龙头企业，增材制造技术在医疗领域应用有着很好的基础。省科技厅将充分发挥创新资源优势，实施好增材制造

“两链”融合重点专项，依托秦创原创新驱动平台，建立增材制造专业孵化器，举办增材制造创新创业大赛，孵化培育一批科技型企业。

## 第 7 章 结论与建议

### 7.1 结论

#### 7.1.1 欧美技术发源，中国后来居上

从专利申请趋势来看，增材制造产业的专利申请开始于 20 世纪 80 年代后半期，在 2001 年之前，主要以国外的申请人为主，2001 年之后中国申请逐渐增多，但是增幅较小，自 2012 年中国政府相继出台增材制造的相关政策，大力发展增材制造产业之后，中国专利数量的快速增加，展现了中国不容小觑的技术创新实力，也慢慢改变了全球的竞争格局，从 2013 年之后，中国专利带动了全球专利数量的整体快速增长。

另外根据 IFI CLAIMS 专利服务公司发布了最新的年度报告，基于美国专利和商标局的数据，3D 打印（增材制造）被列为 2020 年增长最快的第九项技术。据统计，2021 年，国内共有 3D 打印融资案例 34 例，国外 108 例，相比于 2020 年均有增长，国外投资案例增长 56.5%，与 2019 年和 2020 年对比，全球资本对 3D 打印的投入逐年递增。

近年来，增材制造产业逐渐深入各个领域，航空航天、衣食住行，逐渐多了增材制造的影子，在 2019 年末爆发新冠疫情以来，增材制造全球规模虽受疫情有所影响，但依然呈现增长态势，2021 年增材制造产业规模达到 152.46 亿美元，整体规模增速为 19.5%，已经超过 2020 年的增速 7.5%。因此可以看到全球范围内 3D 打印产业技术仍在快速发展阶段，具有很大的发展空间。

### 7.1.2 美国主导产业发展，我国仍处于成长期

增材制造技术被称为“第三次工业革命”，正在逐步影响着传统制造行业和其他相关行业，增材制造相关的专利技术 1986 年诞生在美国，该项技术的落地应用也是开始于上世纪 80 年代的美国，从 1986 年到 2000 年，增材制造技术处于技术引进及研究的起始阶段，有一定的成果产生，总体专利申请数量较少，在此阶段，全球在此领域的专利主要集中在美国、日本、德国等地。

我国增材制造技术的研究开始于 1989 年，从 1989 年到 2011 年，我国开始逐步发展增材制造技术，研究主题多为高校，如清华大学、华中科技大学、西安交通大学、西北工业大学等，在此阶段，形成了显著的技术成果，专利数量呈现比较平稳的增长；2012 年对于增材制造产业的发展来说，是一个里程碑的时刻，被业内称为 3D 打印技术科普元年，其背景是英国《经济学人》发表专题文章，称 3D 打印（增材制造）将是第三次工业革命。这篇文章引发了人们对 3D 打印的重新认识，3D 打印开始在社会普通大众中传播开来，至此之后，有关于增材制造的技术升级、行业变革、企业并购事件逐渐增加，2013 年我国工信部开始酝酿增材制造顶层设计和统筹规划，科技部也首次将增材制造纳入 863 计划和国家科技支撑计划项目征集指南中，因此，从 2012 年开始，增材制造相关专利的数量呈现出比较快速的增长。

表 7-1 各时间段中国增材制造专利占比情况

时间	中国专利申请量占比	中国专利累计占比
2000 年及以前	4.69%	4.69%
2001-2010 年	12.09%	9.28%
2011-2015 年	36.06%	21.18%
2016-2020 年	45.93%	37.41%
2021 年至今	47.28%	39.53%

根据前期对各个时间段专利的申请情况进行检索，如表 1 所示，也可以印证中国在增材制造领域的专利申请爆发期在 2011 年之后，更具体地是在 2012 年之后。

### 7.1.3 激光熔化处理技术为主流，新的应用正在激活市场

根据数据显示，目前主流的工艺技术依然是激光处理技术，而电弧、电子束为能量源的专利占比相对较低。

从应用领域来看，航空航天一直是增材制造应用的热门方向，汽车领域、医疗领域均已经形成较好的应用。近几年在文创领域、建筑领域出现了较多的增材制造的案例，增材制造的应用越来越走进日常生活和工作。总体来看，主流的技术依然有较大的市场，而新的应用对于增材制造产业的整体发展至关重要。

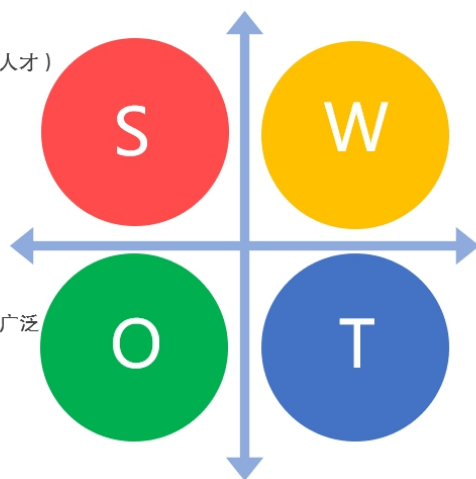
### 7.1.4 陕西省发展迅速，产业链更待完善

#### 优势

产业初具规模，国内名列前茅  
研发创新资源丰富（校、企、人才）  
政府支撑度高

#### 机会

产业规模递增，应用应用更加广泛  
国家大力发展增材制造产业  
政府牵头，护航产业发展



#### 劣势

人才数量不足  
产业链不完善  
龙头企业较少  
产业化程度较低  
核心元器件依赖进口

#### 威胁

其他省份增材制造产业大力发展，  
市场份额有限  
国外先进技术的冲击

图 7-1 陕西省增材制造产业发展定位分析

#### 7.1.4.1 产业优势

##### (1) 产业初具规模，国内排名位于前列

从专利数据来看，陕西省在增材制造产业领域的专利申请量总体排名在国内排行第7，技术创新水平处于产业的中上游，涉及企业数量位列全国第12位，专利相关的发明人才数量位列全国第5位。

从产业结构上来看，产业链涉及上游原材料、中游的工艺及设备、下游的应用及服务。形成了西安铂力特、赛隆金属、欧中材料、航天六院等产业链主力军。

陕西省在增材制造产业的技术水平、企业数量和人才团队，均处于国内比较前列的位置，为增材制造产业的发展提供了良好的基础。

##### (2) 研发创新资源丰富

从企业层面来看，行业内领军企业西安铂力特作为科创板上市企业，西安铂力特凭借自身优势，带动了陕西增材制造技术的大力发展，辐射周边企业和产业关联企业，拉动增材制造产值，为本地经济发展带来了显著的效果，同时，铂力特承担陕西省“两链”融合增材制造重点专项，作为增材制造产业链的“链主”企业，承担了“国家重点研发计划”、“智能制造”、“工业强基工程”国家重大专项研究等多个增材制造技术研发以及应用推广科研项目，并取得大量科技成果，已经形成了系统的金属3D打印增材制造技术体系，如3D打印金属粉末材料制备技术、SLM激光选区技术、大尺寸增材制造装备硬件结构设计、控制系统技术、金属基纳米复合材料零件的成形技术、多激光高效率双向铺粉控制技术以及连续纤维增强复合材料零件的成形技术等，形成了自身的专利技术集。

西安赛隆金属也是陕西省增材制造产业链主之一，在秦创原创

新驱动平台的政策和资源加持下，西安赛隆实现了快速发展，企业自主研发的国内首台电子束 3D 打印设备和国内唯一的 3D 打印金属粉末制备装置，国内市场占有率均达到 90%以上；高品质金属粉末粉床电子束 3D 打印技术与装备产业化项目开工建设，项目建成后将带动陕西 3D 打印设备与产品开发再上新台阶。公司先后入选 2021 年全国硬科技企业之星榜单和陕西省隐形冠军培育库，被评为陕西省“专精特新”中小企业、陕西省瞪羚企业。

从高校院所来看，陕西省拥有诸如西安交通大学、西北工业大学、西北有色金属研究院在增材制造领域均为一流的高校院所。同时，西安拥有多个国家级研究中心及重点实验室等研究平台，其中，西安交通大学快速制造工程研究中心是国内增材制造领域唯一的国家级工程研究中心，主要开展非金属材料及金属材料的增材制造；西北工业大学凝固技术国家重点实验室主要研究激光立体成形技术和激光选区熔化技术；西北有色金属研究院金属多孔材料国家重点实验室主要从事增材制造球形粉末制备技术和粉床电子束选区熔化成形技术及装备研究；位于西安的我国第二家国家级制造业创新平台—国家增材制造创新中心，则重点解决 3D 打印产业共性的、关键的技术难题，服务高端装备制造、医疗、文化创意等产业快速发展。

从产业技术人才来看，陕西省汇集了如增材制造领域唯一的院士卢秉恒，特聘教授李涤尘、黄卫东、赵万华、洪军，以及三秦学者汤慧萍等为代表的领军人物，形成了增材制造技术的研发、中试和产业化人才队伍，这些人力储备是推动陕西省增材制造产业发展的重要基础。

因此可以看到陕西省拥有良好的企业基础、高校研发资源和人

才力量，研发创新资源丰富，对于增材制造产业的快速发展具有重要的支撑作用。

### （3）陕西省科技厅、秦创原科研创新资源支撑

《2022年西安市科技工作要点》和《2022年西安秦创原创新驱动平台建设要点》印发，明确要以秦创原平台建设为主阵地，以促进两链融合为主线，集中资源要素，汇聚高能级平台，强化技术供给，精准对接创新资源，促进技术成果服务市场。

增材制造产业便是其中的重点产业链之一，由西安市科技局局长李志军担任该产业链“链长”，将增材制造作为城市重点产业进行壮大发展。在增材制造产业链部署工作开展以来，省科技厅坚持围绕产业链部署创新链、围绕创新链布局产业链，聚力攻克关键核心技术，做强做大“链主”企业，夯实产业链基础，促进了增材制造产业快速发展。之后，省科技厅将加快秦创原创新驱动平台建设，支持国家增材制造研究院发展，聚力推进两链融合深度发展，支持高校院所、企业加强国际科技合作，与国内外高水平创新主体共建创新平台、实施创新项目、联合培养创新人才，加速增材制造技术创新、丰富增材制造应用场景，为产业转型升级、新旧动能转化提供支撑。

#### 7.1.4.2 发展机会

##### （1）产业规模递增，应用更加广泛

根据数据显示，近年来全球增材制造产业的规模一直处于递增状态，近5年的平均增长率约为20%，中国增材制造产业的规模近5年平均增长率约为27%，陕西省增材制造产业近几年也呈现快速增长趋势。陕西省增材制造专利数量已超过4000件，2016年到2021年的专利平均增长率为28%，可以看到增材制造产业目前依然处于

成长期。

目前，增材制造技术已经在航空航天、日常消费、电子、模具制造、教育、文创、医疗、船舶制造等行业展开了应用，因此可以看到，增材制造技术的下游市场十分广泛，增材制造产业的快速发展将推动多个行业创新升级，共同推进国家经济发展。

### （2）国家大力发展增材制造产业

我国自从开始研究增材制造技术以来，取得了多项技术成果，2013年之后，国家陆续出台了多项政策，以支撑增材制造产业的发展，如2015年国务院印发的《中国制造2025》，工信部、发改委、财政部门联合发布的《国家增材制造产业发展推进计划（2015-2016年）》；2016年国务院印发的《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》，重点打造增材制造产业链；2017年工信部、发改委等部门联合印发的《国家增材制造产业发展行动计划（2017-2020年）》。各项国家举措均对增材制造产业的发展。在此背景之下，陕西省依托现有产业基础，大力发展增材制造产业亦是大势所趋。

### （3）政府牵头，护航产业发展

陕西十分重视增材制造产业的发展，先后出台包括《陕西省增材制造产业发展规划（2016—2020年）》《陕西省智能工程实施方案》等政策，支持增材制造产业的发展。省科技厅组织多批次的重点项目进行关键技术攻关和成果转化。2014年，陕西成立增材制造产业技术创新联盟，通过统筹协调全省增材制造技术和产业相关资源，提升陕西省在增材制造相关领域的研究、开发、制造、服务水平，促进增材制造技术及装备的推广和应用，有效推动了增材制造产业与其他相关产业结合协同发展。2017年，西安国家增材制造创新研究中心成立。该中心以国家战略性目标和制造业创新发展为导向，

瞄准重大设备、重要材料、关键工艺、核心软件、核心元器件等共性关键技术，进行自主研发与技术集成，突破行业技术瓶颈，打造完整的创新链。

同时为了保证增材制造产业的稳步发展，2021年《陕西省推进高质量项目建设行动方案》印发，按照这份行动方案，陕西将依托秦创原创新驱动平台，围绕23条重点产业链的延链、补链和强链做好重大产业链项目的招引储备和落地服务，其中就包括增材制造产业。

2022年，围绕增材制造产业领域，省科技厅将持续部署实施“两链”融合重点专项，发布一批“揭榜挂帅”技术需求，支持建设2到3家新型研发机构，培育2到3个省级科技创新团队，加快企业上市培育，力争实现全省增材制造产业产值增速突破30%。从团队建设、技术攻关、政策服务到资金配套均给与了大力支持，对增材制造产业的发展提供了强有力的保障。

#### 7.1.4.3 产业劣势

目前，虽然陕西省增材制造产业取得了不错的成果，但是仍然有一些不足之处，限制着产业的发展。

##### (1) 高端人才比较少

影响力较大的高端人才如卢秉恒教授、黄卫东教授、李涤尘教授等，均在增材制造技术领域有着30年的积累，而年轻的高端人才数量稍显不足。

##### (2) 产业链不完善

根据专利检索分析情况，陕西省增材制造产业虽然在产业链的上中下游均有所涉及，但是并不完善，从上游原材料来说，主要的材料类别为金属类材料，如钛合金、高温合金、不锈钢、模具钢等，

其次是陶瓷基材料，在聚合物材料、生物材料等方向专利较少，侧面反应在这些技术方向有所不足。

### （3）龙头企业较少

目前，在全国范围内比较知名的增材制造企业较少，仅有铂力特、赛隆金属等比较知名的企业，而上海、广东等发达地区，头部企业数量更多，对于产业的影响力更强。

### （4）产业化程度低

由于目前国内消费市场对于增材制造技术认识不够全面，增材制造成本高，且容易受到打印尺寸、材料种类的限制，因此，下游的应用仍有待扩展。而且目前虽然陕西省增材制造产业的研究成果较多，但是落地转化为市场的比例依然较小，因此产业化程度还有较长的路要走。

### （5）核心元器件依赖进口

虽然我省增材制造产业发展过程中，形成了多项原创技术，也研发出了一流的设备，但是对于一些高性能的核心元器件依然存在着依赖进口的局面，如扫描振镜，激光器、高性能打印头等，主流的增材制造设备的发展仍然受制于国外企业的专利保护。

## 7.1.4.4 存在威胁

目前，陕西省增材制造产业的发展依然存在着一定的外部威胁，在发展的同时，也需要时刻关注外部因素的影响，时刻关注产业发展动向，提高应对激烈竞争格局的能力。

### （1）外省发展对于市场份额的挤占

我国增材制造产业的发展起源于1989年，经济发达的省份均竞相开展该技术的研究，目前，从专利数量、专利申请企业数量和发明人数量等综合排名，广东、江苏、北京、浙江等地区相比陕西省

均有明显的优势，因此陕西省增材制造产业在大力发展的过程中，已经面临着其他省份发展带来的压力。

## （2）国外先进技术的冲击

增材制造技术起源于美国，后在美欧国家逐渐发展，我国虽然起步时间不算太晚，但是最先进的技术，大多依然来自于国外，中国在增材制造技术领域依然存在较多的技术空白；在市场应用方面，国外的下游市场比国内的更加广泛。因此，陕西省增材制造产业的发展甚至于国内增材制造技术的发展均会受到国外先进技术的冲击。

## 7.2 建议

### 7.2.1 立足现有创新资源，强化金属增材制造技术，加强专利布局

陕西省在增材制造产业各技术分支的专利申请量在国内排名属于前列。其中，原材料相关专利申请量国内排行第 4，核心元器件相关专利申请量国内排行第 6，工艺相关专利国内排行第 4，设备相关专利国内排行第 8；虽然排名均在国内排名的前 1/3，但是与前几位的差距比较明显。综合来看，陕西省增材制造技术创新水平在国内处于中上水平。

结合图 6-10 b)及相关报道，在金属增材制造技术方向，西安铂力特在国内属于龙头企业，在陕西省增材制造产业链当中担当链主的角色，因此，陕西省可以依赖现有的研发创新资源，加快技术创新研发速度，加强并巩固现有的技术优势，强化金属增材制造产业链；同时，根据不同的技术分支，探索更多的产业技术，加强成果保护，提高专利储备量。

另一方面，陕西省增材制造技术相关专利申请主要局限于国内，海外专利布局较少，目前，已有国际专利申请的单位较少，包括西

安增材制造国家研究院有限公司（6件）、西安交通大学（5件）、西安铂力特（3件）、陕西斯瑞新材料股份有限公司（2件），而增材制造技术已经成为全球竞争最激烈的技术之一，对于我国传统的制造业升级发展十分重要，对于实施《中国制造2025》也具有重大意义，因此，为了进一步加快产业链布局，提高陕西省增材制造产业的竞争力，陕西省需要加强海外市场的专利布局，为国际合作交流、市场布局奠定必要的基础。

### 7.2.2 加强原材料及核心元器件的研发，弥补产业链短板

陕西省所申请的增材制造专利中，原材料相关专利占比约41%，设备相关专利占比约20%，工艺相关专利占比约为19%，应用与核心器件相关专利占比均为10%，可以看出陕西省核心元器件分支的专利储备较少，因此建议陕西省各研究主体能够进一步开展增材制造技术创新研究。

表 7-1 核心元器件重点研究高校

排名前列的重点高校	合作方向
浙江大学	打印喷头
华南理工大学	打印喷头、数控系统、扫描振镜
西安交通大学	打印喷头、数控系统、激光器
华中科技大学	扫描振镜、喷涂机器人
西安理工大学	伺服电机

表 7-1 给出了申请人排名在前的重点研究高校，陕西省可与在此方向研究较多的高校如浙江大学（打印喷头）、华南理工大学（打印喷头、数控系统、扫描振镜）、西安交通大学（打印喷头、数控系

统、激光器)、华中科技大学(扫描振镜、喷涂机器人)、西安理工大学(伺服电机)展开合作研究。

另一方面,可与本地光学系统实力较高的西安光机所、矩光科技、必盛激光、中科汇纤等企业开展合作,提升核心元器件的研发及应用,同时在此方向布局专利,提升专利储备数量,进一步完善当前的产业链技术,补足短板。

### 7.2.3 建立高端人才培养机制,打造增材制造中坚力量

根据《中国战略性新兴产业研究与发展-增材制造》,从国内范围来看,增材制造领域人才总量不足,培养能力较差、管理人才匮乏、缺少权威认证是主要的短板。陕西省目前也存在同样的问题,虽然有领先的技术团队,如西安交通大学和西北工业大学相关技术团队,但总体来看,高端人才储备较少。

陕西省在2016年发布《陕西省增材制造产业发展规划(2016年—2020年)》,明确指出要夯实人才队伍建设。建议陕西省依托现有的创新中心、实验室等,重点培养专业团队、技术骨干和技术带头人;立足现有的资源条件,深化产教融合,对产教融合型企业给予“金融+财政+信用”的组合式激励,并按规定落实相关税收政策,推动高等院校、职业院校和行业企业形成命运共同体。目前陕西省在此方面已有多所院校开设增材制造相关专业及课程,西安交通大学、西北工业大学均有增材制造技术的研究机构和研究人才,同时,西安航空学院、西安建筑科技大学、西安思源学院也相继获批增材制造技术专业的设立,因此,建议增材制造企业可以与以上高校建立人才定期技能培训制度或者人才定点培养制度,通过资助、补贴、设立基金、税收优惠、政府购买服务等方式支持企业开展技术技能

培训，为增材制造产业培养和输送相应人才；另一方面，加大力度构建科技中介服务机构，培养复合型人才。

#### 7.2.4 依托产业联盟和孵化基地等组织，强化产学研合作，以“科技引领”推动产业高质量发展

经分析，陕西省目前在增材制造产业的材料、设备、应用方向均有一定的研究基础和技术成果，但是总体来看，在材料方面，主要研究方向为金属增材制造技术，非金属和生物增材制造技术研究较少，从技术创新合作方向来看，校企合作专利技术成果较少。

目前，陕西省在增材制造产业链发展工作已经建立了良好的产业基础，建议充分利用现有科创资源，依托陕西省增材制造产业技术创新联盟和渭南高新区火炬科技发展有限公司，汇集产业链相关企业，围绕增材制造产业技术需求，积极开展与高校的产学研合作，探索更全面更先进的增材制造技术，以需求为导向，用科技来引领，努力消除经济与科技脱节的现象，有效构筑科技成果转化过程的中间桥梁，增强成果转化动力，推动陕西省增材制造产业的高质量发展。

#### 7.2.5 加强下游应用拓展，融合产业链条

目前，增材制造技术已经在航空航天、电子、医疗等领域展现出良好的应用效果。陕西省在增材制造的应用也产生诸多成效，但是大规模应用依然有待拓展。陕西省增材制造相关专利中应用相关专利占比为 5%，占比偏低。作为陕西省增材制造产业链链主企业的西安铂力特，2021 年的收入来源主要有航空航天占比 57.27%，工业机械占比 32.11%，科研院所占比 7.6%，医疗研究占比 2.98%，其他

占比 0.04%；按照业务种类区分，定制化产品收入来源占比 50%，自研设备及配件收入占比为 40%，代理销售设备 7%，原材料销售占比 3%。将专利分布情况和链主企业的收入来源结合分析可以看到，陕西省增材制造产业的下游市场还有很大的拓展空间。

建议陕西省后期可立足市场、拓展应用，构建新兴产业与传统产业融合发展的新模式，鼓励并支持跨领域、跨行业的应用拓展。比如鼓励并促进高校与唐都医院、康拓医疗等医疗行业开展技术融合研究与应用项目，加快增材制造技术与医疗技术的融合；鼓励相关企业、高校与陕汽、比亚迪等车企开展技术合作及试验应用，促进增材制造技术与汽车制造行业的融合；鼓励并支持相关学校采用增材制造的教学模型，使教学内容实物化，解决传统教具加工成本较高、更新周期长的问题，同时实现教具定制化服务，加强增材制造技术与教育行业的融合；鼓励公众设施应用，如建设“增材制造主题公园”，在公园中设置增材制造长椅、亭子等公共设施，同时在公园设立增材制造技术科普专栏，加强增材制造技术科普，深化增材制造技术在大众心中的印象，提高技术传播度，加强增材制造技术与建筑、与大众的融合。

在应用拓展的过程中，建议联盟组织、高校可以定期组织增材制造技术大赛与公开宣传活动，建立增材制造应用示范基地，在普及技术的同时，也可以为产业发展遴选人才，通过拓展下游应用市场、加强产业融合，才能应对当前市场份额有限的局面，推动我省增材制造产业的升级，实现跨越式发展。

### 7.2.6 打造区域产业集群，培育优质企业

目前，陕西省已经形成了多个产业集群，增材制造技术的研究

和应用主体分布于西安高新区、经开区、航天基地和渭南市等区域，建议陕西省可以在此基础之上，打造区域产业集群，加强产业集群建设基础保障，发挥龙头骨干企业的示范带动作用，对龙头骨干企业给予重点扶持，鼓励将配套中小企业纳入共同的供应链管理、质量管理、标准管理、合作研发管理等，提升专业化协作和配套能力，支持龙头骨干企业建立开放性研发平台向中小配套企业开放，推动协同制造和协同创新。重点培育一批“专精特新”、“瞪羚企业”等优质企业。

### 7.2.7 完善支撑体系，保障产业发展

建议陕西省相关政府部门，设立增材制造发展专项资金，对重点项目、产业园区、创新平台、孵化基地、高端人才等方面提供政策及资金支撑，加强对于企业研发费用的支持，落实税收优惠政策。促进校企合作，提高院所及高校的科技成果转化能力，并对相关创新合作、成果转化、示范应用给予重点支持和资金扶持。进一步完善增材制造标准体系，规范增材制造流程，提高陕西省在增材制造领域内的话语权。对产业集群发展定期评价，加强预警和引导。以培训、研讨、展览、项目对接等方式为媒介，促进人才、技术、资本、服务、信息等创新要素的流动和共享。搭建国际沟通渠道及平台，鼓励并支持省内企业、高校开展国际交流合作，紧跟国际先进技术的发展，鼓励有条件的产业主体“走出去”，加强国际合作，从各个方面完善支撑保障体系，全力护航增材制造产业发展。