

3D 打印，走下神坛

撰文 / 朱辉杰

长久以来，在二维图文打印领域，人们为“所见即所得”（What You See Is What You Get）的目标而努力——计算机屏幕上看到的和打印在纸面上的结果一模一样。现在，人们开始在三维实体领域追求“所见即所得”，“3D 打印”技术“DUANG”的一下出现了。



用传统加工技术无法制造的典型部件

“3D 打印”是一种以数字化三维模型文件为基础的直接制造技术，几乎可以制造任意形状三维实体，即使这些实体包含大量的薄壁、镂空和不规则、复杂特征，也可以轻而易举地“打印”出来。

奥巴马的蝴蝶翅膀

在中国公众的视角中，“3D 打印”

是一种因美国总统奥巴马而忽然热起来的气息。实际上，在 2013 年奥巴马总统发表国情咨文盛赞 3D 打印技术之前，中国已经有了 3D 打印类的技术研发和相关产品，只不过它的名字是“增材制造”，或者是“快速原型”和“积层制造”。这些称谓在制造、建筑和医疗等领域并不算罕见，但对于公众而言，显然不够通俗化（麻省理工学院在 1995 年第一次提出 3D 打印的概念），更没有受到政策和产业层面太多的重视。

2012 年，美国总统奥巴马宣布白宫将投资三千万美元建立 National Additive Manufacturing Innovation Institute（国家增材制造创新学院）。2013 年初，奥巴马在国情咨文中进一步强调了 3D 打印技术的重要性，并指出这项神奇的技术有可能使人类的

创造力发生巨大的变革。

奥巴马不仅让 3D Systems 和 Stratasys 这两家美国公司的市值飙升，还扮演了“蝴蝶翅膀”的角色，全世界都猛然掀起了 3D 打印的风潮。2013 年 5 月，新加坡总理李显龙在讲话中专门强调了 3D 打印技术，同时新加坡经济与发展局投资三千万新币打造东南亚 3D 打印研究中心。2013 年 7 月，中共中央总书记、国家主席、中央军委主席习近平在考察东湖高新区时，观看了 3D 打印的最新研究成果后说：“这个技术很重要，要抓紧产业化”。

此后一两年，3D 打印这个字眼高频率地出现在了我国各级政府的战略发展和产业政策文件中。在“中国制造 2025”的纲领中，特别指出了 3D 打印技术的重要性。2015 年 2 月 28 日，工信部、国家发改委、财政部还联合



有史以来第一位被 3D 扫描和打印的美国总统

发布了《国家增材制造产业发展推进计划(2015-2016年)》，这是首部以国家部委名义联合发布的增材制造产业发展计划。

十年无人知、一朝天下闻

3D 打印火了！它是突然从石缝里蹦出的猴子吗？实际上，早在 1892 年，美国已经出现利用分层制造原理制作地形图的技术，只不过那时候的材料、工艺都不支持大规模的商业化产品。进入上世纪 80 年代，美国 3M 公司的 Alan J. Herbert (1982 年)、日本名古屋工业研究所的小玉秀男 (1980 年)、美国 UVP 公司的 Charles W. Hull (1984 年) 和日本大阪工业技术研究所的丸谷洋二 (1984 年)，各自独立地提出了快速原型的技术设想，尽管实现的材料和方式各异，但均以多层叠加和固化的方式来产生实体。



Charles W. Hull 3D 打印之父

1986 年，Charles W. Hull (亦称 Chuck Hull) 在美国首先获得了光固化立体造型设备 (SLA，立体平

板印刷) 的专利，并将快速原型技术推向商业化实用领域。选择性激光烧结 (SLS) 技术、熔融沉积原型 (FDM) 由其他人研发并持有专利，虽然有些发明者获取专利的时间早于 Charles W. Hull，但商业化时间都晚于 Charles W. Hull，因此，世界范围公认 Charles W. Hull 是 3D 打印之父。2014 年，Charles W. Hull 和爱迪生、莱特兄弟、爱因斯坦一样，进入了美国专利商标局的发明家名人堂。

在中国，早在上世纪 90 年代初，西北工业大学、清华大学、华中科技大学、北京航空航天大学、华南理工大学和南京航空航天大学等高校的科研机构已经陆续开始从事“快速原型”基础工艺技术和产品的研发工作，多年来他们一直在“增材制造”的学术领域和专业应用层面默默耕耘，帮助国内汽车、工模具、建筑和消费品等领域的制造企业开展应用。如今，在强大的政策感召力之下，3D 打印迅速成为了一个前景可观的产业，西北工业大学、清华大学和华中科技大学等相关科研机构，包括快速原型业内的一些老牌国内公司，得到了突如其来的、广泛的关注和支持，3D 打印在全国各地“开花结果”，真有“十年无人知、一朝天下闻”的感觉。一位业内人士对记者说：“做了十几年的快速成型，始终起色不大，五年前，还在到处拉

投资，最近一两年幸福突然就来了，有点不太真实的感觉”。

3D 打印技术的多元化

围绕 3D 打印技术的演进，世界范围陆续出现了不同的基础材料和工艺技术。有些技术利用熔化或软化塑性材料来打印“实体”，如上文提到的选择性激光烧结 (SLS) 和熔融沉积式 (FDM)，还有一些技术用液体材料作为打印的“墨水”，如立体平板印刷 (SLA)。每种技术虽然都基于增材制造原理，但都有各自的优缺点，市场上已经出现的 3D 打印机采用了不同的工艺和材料，适用于不同的领域。3D 打印技术的多元化满足了不同应用的需求，也使得制定统一的行业标准变得困难。

下面是增材制造的常见技术工艺，当然，这些技术的专利权基本都被 3D Systems、Stratasys 和 EOS 等国外公司掌握着，这也间接造成了主流 3D 打印设备的价格居高不下。

(1) 液体材料增材制造系统 (Liquid-Based AM System)。

◎ Stereolithography Apparatus (SLA)。

◎ PolyJet。

◎ Multi-Jet Printing System (MJP)。

◎ Perfactory。



3D 打印中国先行者，从左至右依次是颜永年教授、卢秉恒院士、史玉升教授、王华明教授



利用粉末选择性激光烧结 SLS 技术制造 Miller 91 赛车模型的部件

◎ Solid Object Ultraviolet-Laser Printer。

◎ Bioplotter。

◎ 3D Bioprinting。

◎ Rapid Freeze Prototyping。

(2) 固体材料增材制造系统 (Solid-Based AM System)。

◎ Fused Deposition Modelling (FDM)。

◎ Benchtop System。

◎ Selective Deposition Lamination (SDL)。

◎ Laminated Object Manufacutring (LOM)。

◎ Ultrasonic Consolidation。

(3) 粉末材料增材制造系统 (Powder-Based AM System)。

◎ Selective Laser Sintering (SLS)。

◎ ColorJet Printing (CJP)。

◎ EOSINT Systems。

◎ Electron Beam Melting (EBM)。

◎ LaserCUSING。

◎ Selective Laser Melting (SLM)。

◎ Phenix PXTM Series。

◎ Microsintering。

◎ Digital Part Materialization。

此分类方法参考:《3D Printing and Additive Manufacturing—Principles and Applications》, 蔡志楷 Chee Kai Chua,

Kah Fai Leong。

工业级 3D 打印设备仍是主流

按照应用环境分类, 3D 打印设备可以简单地分为工业级和桌面级。

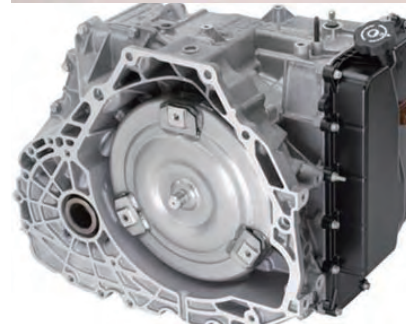
工业级 3D 打印设备在 20 世纪 90 年代中晚期, 就已经在国内科研教育、航空航天、船舶制造、模具、汽车和消费品等行业得到了应用, 这些设备最早均被称为“快速原型机”。

国内的工业级 3D 打印设备包括: 北京隆源自动成型系统有限公司基于激光粉末烧结 (SLS) 技术开发的 AFS 系列激光快速成型机, 武汉滨湖机电基于金属粉末熔化技术开发的 SLM 成型机, 北京殷华激光快速成形与模具技术有限公司基于熔融挤出成型工艺 (FDM) 开发的 MEM 系列成型机, 长沙华曙高科基于 SLS 技术开发的 FARSOON 系列快速成型机。

国外工业级设备则包括 3D System 公司的 ZPrinter 系列、ProX 系列 (SLS\SLA\DMP)、ProJet 系列 (SLA) 和 sPro 系列 (SLS), 以及 Stratasys 公司的 Fortus 系列 (FDM) 等。

这些大型工业级 3D 打印设备价格高昂, 体积庞大, 成型速度快, 能制造 200mm (短边) 以上的中大型实体, 精度普遍达到 $\pm 0.1 \sim 0.2\text{mm}/100\text{mm}$ 。此类设备往往放置于地面上工作, 个别大型设备需要 380V 工业电支持。

3D 打印技术主要有三个应用场景, 一是快速制造原型件验证设计, 二是“打印”蜡模、砂型支持铸造生产, 三是直接制造可用的功能件。目前的工业级 3D 打印设备, 在国内主要被用于第一、第二类场景, 以加快新产品研发, 解决一些传统加工方法无法克服的难题。相对而言, 国内直接利



使用北京隆源快速原型机制造的部件



武汉滨湖机电的 HRPS 快速成型机



3D System 公司的 SLA 快速成型机 ProJet 6000HD

用 3D 打印设备制造可用功能件的比例并不高, 而国外接近 50% 的 3D 打印应用属于这一类。

在工业级设备领域, 国产设备和国外设备相比, 平均技术能力差距并不

大,但是在核心部件(如激光器)、打印材料、耗电量、设备损耗、可维护性、软件能力和外观设计等方面,还存在很大的上升空间。当然,国产设备的价格往往大幅低于同类国外产品。

桌面级 3D 打印异军突起

2013 年,随着 3D 打印设备的小型化,FDM 技术专利的到期,同时聚乳酸(PLA)、ABS 和尼龙材料的价格日益白菜价,桌面级 3D 打印市场开始井喷式发展。这类设备普遍采用熔融层积成型技术(FDM),将丝状材料融化后逐层喷涂成型。桌面级 3D 打印设备普遍价格便宜,从最初近万美元的水平,迅速滑落到数千美元,最近一年,最廉价的桌面 3D 打印机已经跌破 1000 美元,这远低于工业级设备的价格。

FDM 原理的桌面级 3D 打印设备体积小,工作噪音小,和普通喷墨、激光打印机一样,完全可以放在办公室和家庭的桌面上工作,它们在打印

小尺寸实体件时灵巧迅速、功能简单、操作简单,精度也完全能满足一般用户的要求。



太尔时代的 UP BOX 桌面 3D 打印机

当然,2013 年后推出的大部分廉价 FDM 桌面级 3D 打印机不能达到工业级“所见即所得”的要求,受限于精度和材料属性,它们的产成品用于把玩则足矣,也可以辅助工程教育、设计教育、动漫产业或中小型产品设计企业,更可以面向个人三维爱好者,但很难直接用于大规模工业生产。

桌面级 3D 打印机虽然不够“高端”,但是它将“快速成型”技术带到了公众视野中,而不仅仅局限在工业领域。3D 打印技术能在最近两三年

掀起热潮,桌面级 3D 打印机功不可没。可以说,基于 FDM 技术的廉价桌面级 3D 打印机正在将三维打印技术拉下神坛。

2015: 3D 打印应用光速发展元年

2014 年,3D 打印机的重要核心技术激光烧结(Laser Sintering)专利到期,技术发展的撬棍从几家快速原型行业巨头手中释放出来,再一次引爆了整个 3D 打印市场。不同于 FDM 的技术局限性,有了激光烧结技术的支撑,成型材料的品种多了起来,包括石蜡、高分子材料、金属和陶瓷粉都在可选范围内,成型件的性能会变得更加日益多元化,用途也更为广泛。

专利壁垒的瓦解,让更多的力量涌入 3D 打印市场成为可能,进而推动整个产业的上行。2014 年,惠普公司宣布进军商用 3D 打印市场,并预计到 2021 年全球 3D 打印机和相关软件、服务的规模将达到 110 亿美元,远远超过 2012 年的 22 亿美元。梅格惠特曼甚至透露,惠普公司已经解决了一系列制约 3D 打印被广泛采用的技术问题。



惠普公司发布的 Multijet Fuse 工业级 3D 打印机

惠普这样的 IT 巨头的加入只是一个方面,中小企业、机构和个人的广泛参与也是产业发展的动力。2014 ~ 2015 年间,创新众筹网站

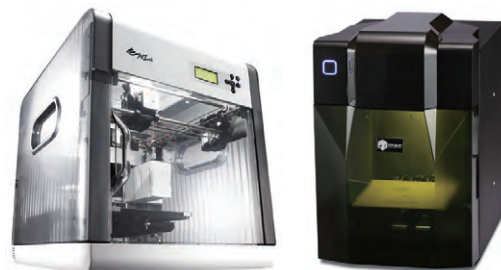


Stratasys 公司的 uPrint SE Plus 桌面型 3D 打印机



2015年最 in 经济型桌面 3D 打印机

撰文 / 朱辉杰



我至今仍然记得，2003 年第一次看到的那台进口快速原型机，也就是如今的 3D 打印机。那台设备价值逾百万，不到一公斤的打印材料也需要三万多元。即使企业财大气粗，也并不敢像喷墨打印机那样随便使用，设备放在单独的房间里，被小心翼翼地“伺候”着。

十多年后的今天，工业级大型 3D 打印机逐渐放低身价，开始以十万计价，而 FDM 技术的桌面级 3D 打印机干脆上演“跳水”，不断突破价格底线。FDM 专利壁垒打破、用户购买量

迅速上升、开源硬件成本下降、PLA/ABS 材料便宜，被认为是桌面 3D 打印机价格不断下探的原因。

笔者在北京某大型连锁文印服务公司里，见到了价格不到五千元的桌面 3D 打印设备，用来给客户打印简单的手板模型，打印一个光敏树脂的魔兽模型只需要不到两百块钱。这个价格甚至比很多大幅面彩色喷墨打印机还便宜，真有点“旧时王谢堂前燕，飞入寻常百姓家”的感觉。

这些廉价的桌面 3D 打印机受限

于 ABS\PLA 材料特性和可打印体积，虽然无法满足大规模工业生产的需要，也无法直接制造功能性部件。但是，在教育、建筑设计、工业设计、动漫影像和医疗等领域，足够用于造型品和模型手板的打印了，非常适合教育机构、中小企业和个人用户。也许在未来几年里，越来越便宜的桌面级 3D 打印机会走进每一个家庭，就像当年计算机进入 PC 时代一样。

在本期中，我们就为读者介绍几款可用性很高的“白菜价”3D 打印机。

Kickstarter 上的经济型、桌面级三维打印机项目，比过去数年的相关项目总和都多。

我们完全可以预见，在未来 2 ~ 3 年，商业用途的桌面级 3D 打印机，将不仅仅停留在 FDM 层面，技术垄断被逐渐打破后，激光烧结技术也将迅速被引入并普及化，打印材料的分布将更为广泛，打印成本更加低廉。

未来几年内，设计师、工程师和中小企业可以用不高的成本、在几个

小时内，把设计创意变成实物产品，并通过网络推向全球市场。终端用户也可以通过网络挑选产品的三维数字化原型，并提出修改意见，最终用 3D 打印机制造，从而以较低的成本定制个性化产品。

2015 年，注定是三维世界“所见即所得”进程中的重要转折年，考虑工业生产成本和产量的平衡点，3D 打印未必会短时间内大规模改变工业生产的主流模式。但是，3D 打印技术从

工业范畴扩展到更多生产、生活领域已经是显而易见的趋势，而时间和空间上更为离散的、需求定义更为个性化的“智造”时代，即将到来。

感谢新加坡南洋理工大学 Kason Leong 先生，Kickstarter 网站编辑 Dawn，华中科技大学吴刚博士对本文做出的贡献。