3D 打印技术形塑新军事革命

沈丁立

（复旦大学国际问题研究院　200433）

DOI:10.13405/j.cnki.xdwz.2014.02.011

蒸汽动力技术、电力技术以及数字化技术是人类社会进入到 18 世纪下半叶之后三大工业革命的标志。其中，以数字化技术为标志的第三次工业革命的最新发展，就是三维（3D）打印技术。

现代二维（2D）打印是在平面上以墨粉喷印出文字与图像，三维打印则是在此基础上，通过特种技术将特种质材喷印出三维立体实物。目前发展的 3D 打印技术通过高能激光或电子束照射到质材使之逐层熔化并沉积生长，质材则为金属、树脂或陶瓷等。在将 3D 打印技术用于航空航天时，相应的材料通常为结构金属钛与 M100 钢等。与传统钢铁相比，金属钛具有比重小、强度大、耐蚀耐热以及延伸性优越等特点。

3D 打印技术的基础，是现代数字扫描与控制技术以及基于当代能源束的材料生成技术。首先它使用三维数字化设计，通过实物扫描或创新设计，建立 3D 物体模式；然后精确按照模型，用能源束将融化的质材喷射成物体。按照 3D 打印的制造技术，整个过程具有研制简化、生产快速、受控精确、材料节省、成本骤降等优点。

传统制造工艺采用的是对原材料切割、磨削、腐蚀、熔融等手段以获得零部件，再通过拼装、焊接等方法合成最终成品，因此是典型的“减材制造”。但是，3D 打印技术则完全根据计算机图象来设计，以分层淀积材料的办法直接造出任何所需形状的物体，而无需原胚与模具，所以也被称作“增材制造”，具有“近终成形”一体化的巨大优势。与传统铸造和锻造技术相比，3D 打印不仅成形部件尺寸更大，而且用材最多可减 95%，加工成本同时急剧下降。

作为第三代工业革命的最新发展，3D 打印走过了一条不凡道路。1948 年，美国施乐公司生产出世界上首台静电复印机。1958 年，激光原理在实验室被发现，两年后激光在实验室问世。之后，科学家开始研究激光技术和激光调制技术在打印机中的作用，并于 1971 年制出世上第一台激光打印机。又经过二十多年的技术完善与成本控制，这种二维平面的激光打印术逐步成熟，现已走入千家万户。在 2D 激光打印的市场化过程中，科学家同时将此原理延伸到 3D 的立体打印中。1984 年，3D 打印物体技术在美国出现，两年后首台商业 3D 打印机即告成功。

3D 打印这一划时代的先进技术甫一问世，就受到了大国的高度重视。美军首先将它运用到空军的战机制造上。1985 年，美国空军开始秘密研发钛合金激光成形技术。美军认为，如将 3D 打印技术用在战机制造上，所产生的威力将极为可观。众所周知，钛金属在航空业上已得到广泛使用，其密度仅为钢铁一半，但强度则远超绝大多数合金。如通过激光将钛融化并将它逐层喷出飞机部件，将大大提速美国的战机制造。几年以后，美国的这一动向被公开披露。至 2002 年，美军战机终于装上了由激光成形的钛合金部件。

据报道，由于 3D 制造存在着钛合金变形与断裂问题，美军曾长期无法生产高强度与大尺寸的激光成形钛合金构件，尤其是无法生产能满足空军对战机主承力机械要求的大尺寸复杂部件。由于未能实现市场期待，美国钛合金激光成形制造业的领头羊 Aeromet 公司被迫倒闭。美国的一些国家研究所也无法突破这一难关，只能进行小尺寸的钛合金增材打印以及零件表面修复。

随着欧洲和中国在钛合金 3D 打印领域的追赶，这种局面发生改变。2013 年，美国芝加哥的世界著名电子束公司 Sciaky 宣布，它用比激光束功率更强的电子束实现了三维钛合金打印。该公司使用功率高达 42 kW 的电子束枪，成功打印出尺寸达到 5.8 m×1.2 m×

1.2 m 的钛金属零件。不仅如此，这种超高速打印技术还能在一小时内印耗 15 ～ 40 磅的金属钛，这超出同行打印速度至少两倍，在世界处于领先。

美国在 3D 打印技术上的独大刺激着后来者，各国于是快步追赶，我国尤为突出。在美方于 1992 年解密其 3D 研发计划后，我国从 1995 年开始跟进。在美军于 2002 年将 3D 打印部件用于战机后，我国又提速了自己的技术研发，在短短十年内取得了举世瞩目的突破。

其中，中国航空工业集团（中航工业）为我国首艘航母“辽宁号”配套所研发的第四代舰载机，取得了普遍关注。为在最短时间内推出我国第一款重型舰载多用途战斗机 J-15（歼 15），中航工业旗下的沈阳飞机工业公司采取了先进的数字化协同设计，不仅将 3D 数字化引入设计流程，还发展出五级成熟度管理模式。在关键的战机主承力部件制造中，中航与北京航空航天大学（北航）合作，极其快速地发展了我国的打印技术，使得部件的成形与应用速度大幅提高。由于歼 15 的整个前起落架都采用了 3D 打印，这款新型战机的结构强度有了质的提升，其首飞也就大为提前。

2011 年以来，我国航空工业出现井喷。中国先进战机 J-15、J-16、J-20 以及 J-31 先后崭露峥嵘，它们或进入测试，或接近定型 / 列装。其中 J-15 为四代舰载机，J-16 是海军航空兵使用的三代半战机，而 J-31 和 J-20 则是我国重型 / 轻型隐形战机，均属第五代，不仅配备先进雷达，还应在不使用后燃器的情况下具备长时间超音速巡航的能力。J-31 的原型机有双前轮，具备舰载机的基本特征，其改进版有望成为下一代的舰载机。

中国先进战机群的集体问世，均有我国 3D 打印技术的强大支持。进入新世纪以来，中国 3D 打印技术突飞猛进——北航在 3D 打印的原理上取得领先，中航工业的团队则在激光焊接快速成形工艺上一再创造世界水平，目前已能生产尺寸达 4 m 量级、面积达 12 m^2 的复杂钛合金构件，性能完全满足主承力结构要求。在解决了材料变形和缺陷控制的难题后，我国生产的钛合金结构部件已成为中国航空力量的一项独特优势，并已形成产能。据报道，目前我国先进战机上的钛合金构件所占比例已超 20%，隐形战机 J-31 和 J-20 用上这些部件后，飞机结构重量减轻，推重比提升，我国空军战力因此显著提高。

凭借激光钛合金成形技术，我国在航空材料科学领域第一次走在了世界先进水平的前列，这为我国航空工业的进一步发展打下了坚实基础。去年，“飞机钛合金大型复杂整体构件激光成形技术”荣获了国家技术发明奖的一等奖。

3D 打印在军事领域的发展与竞赛只是刚刚开始，加入这场战略竞赛的国家将越来越多。在欧洲，英国空军已成功试飞装配了 3D 打印部件的战机。可预期中美欧等各方还将全面拓展 3D 打印的广泛运用，不仅在军用方面，而且在广泛的工业与民用领域。即使在军事应用上，3D 打印枪械与导弹部件已经成功，这还是 3D 打印技术小试身手。3D 打印不仅用于材料制造，它在材料与装备维修上同样有着广泛前途。各国之间的 3D 打印赶超，还有可能进入太空范畴。总之，一场由材料制造所引起的全新军事革命，已经拉开了帷幕。

作者简介：沈丁立，1989 年于复旦大学取得理学博士学位，1989 ～ 1991 年在美国普林斯顿大学从事军控博士后研究，1996 年为艾森豪威尔学者。现为复旦大学特聘教授，国际问题研究院副院长，军备控制与地区安全研究项目主任。上海市政协对外友好委员会特聘成员、上海市府任命的上海会议大使；中国南亚学会副会长、上海国际关系学会副会长、美国亚洲协会全球理事、美国圣路易斯华盛顿大学荣誉兼职教授。

