

从特种加工到智能能量场制造

中科院宁波工业技术研究院先进制造所激光与智能能量场制造团队 张文武执笔



张文武，中科院宁波工研院所属先进制造所所长助理，高级研究员，博导，浙江省第五批“千人计划”入选者。曾任美国GE（通用电气公司）全球研发总部激光加工与测量系统实验室制造与材料技术部高级工程师，2012年以“旗舰人才”加入中科院，创建激光与智能能量场制造团队。

目前，特种加工已经解决了一系列传统制造所面对的工程难题，但其经济体量远远落后于传统制造。现代科技的进步要求制造业跨越传统制造与特种加工的壁垒，以多能场融合的战略更优地解决工程问题。系统研究多能场融合制造的工程方法之一是智能能量场制造。该工程方法将能量场、物质和信息看作工程优化的自由度，从而在根本上消除制造方法之间的壁垒。

传统加工与特种加工

在参观河南两家普通的工厂时，笔者欣喜地看到激光被用于现代化的生产线，高效率高质量地完成切割和焊接工作。特种加工产业虽然不大，但已经广泛深入生产第一线。

热能与机械能是人类首先掌握、驾驭的能量场。石器时代，人类以硬质石材为工具，造出更多的工具和器件。青铜器和铁器时代，人类则用铜和铁促进了生产力的提高。大工业革命之前，人类的制造组织形式是以人工为主的手工业作坊。随着煤炭和蒸汽机的大规模使用，大规模能源的方便供给启动了工厂这样的生产形式。大规模批量化生产、标准化生产、自动化智能化生产等都是在工厂这种大框架下

逐步演绎出来。

人类的制造工程已经发展出许多分支，加工工艺被笼统地分为传统加工和特种加工。以机械力为主的有直接机械接触的加工目前是制造业的主流，被泛称为传统制造。传统制造的规模和影响是如此之大，以致于相关专业被称为机械工程专业，培养的人才被称为机械工程师。相对来讲，以非机械力（声、光、电、磁、化学、离子束、电子束及水射流等）为主的加工工艺，或具备非直接接触特征的加工工艺，或工作于超常情况下（如高速冲击变形）的加工工艺，被称为特种加工。特种加工的兴起源于一战、二战时期的各种新材料、新结构的使用，尤其是高温、高硬度合金以及陶瓷等难加工材料与结构。于是，各种不受限于难加工材料硬度、脆性或传热特性的能量场，包括电化学、电火花、超声波、电弧、离子束、水射流及激光等工艺被研发出来，获得一定范围的推广和重视。

但是，有历史特定缘由的传统和特种加工之分产生了一系列负面影响，在当今时代应该纠正，从而使制造技术更好地服务于新时代的创新。传统加工未必是最优的解决方案，但由于其长期发展，已经较

好解决了加工问题，使得特种加工丧失了应有的发展空间，导致特种加工的边缘化。比如，车削，人们发展了各种刀具以应对超硬材料加工。实际上，水射流加工、激光加工以及电化学放电加工都有车削的潜力，并在某些情况下可以做得更好，包括更节能、更高速等。特种加工不去竞争这些传统加工的优势领域，自甘边缘化。换句话说，特种加工应该争取在所有加工领域的机会。

特种加工的发展困境

许多特种加工技术已经发明了数十年，但其产业化规模却不尽如人意。工业激光2012年全球产值80亿美元，水刀或电加工的情况也类似，远不如传统加工行业。以中高端激光加工为例，由于用户需求少，系统接单交付，交货期长，系统价位偏高，连配套的光学器件也贵得惊人，导致了激光加工的准入门槛偏高，影响其长期市场规模，恶性循环。其实，一旦找准大规模市场应用，批量化生产，系统的成本是可以大规模降低的，激光打标机在中国的发展就是典型案例。

特种加工如何走向批量化生产是值得深思的问题。业内许多企业规模不大，同类产品间标准化推行不力，使用上又不充分以客户为中心，导致系统的易用性差。针对这些方面，该领域应该向IT行业学习。这样的创新并不需要技术上的大突破，却可以产生显著的效果。

特种加工的另一问题是过于重视硬件技术的提高，却对应用技术和商业化的普通要求有所忽视。比如，激光领域聚集了大量的物理学家，该领域每年的年会都有大量的

技术指标突破，但系统可靠性与成本如何却不是关注热点。其实，技术发展到一定程度，要想大规模应用，就应该踏踏实实地解决应用问题，将系统从高科技变为傻瓜式产品，让大众毫不费力地享受功能服务，不必太劳心劳力，不必雇佣高端人才。

从特种加工到智能能量场制造

本来特种加工和传统加工两者的目标是一样的，都是为了解决材料的成形加工问题，但由于传统加工历史性的先行出现和先行发达，使得特种加工的发展空间受限。

其实，特种加工的兴起标志着制造工程进入“能量场制造”时代，按照技术演化趋势分析，更理想的发展路线应该是不再区分加工手段究竟是机械力或是其他能量，而应该系统研究、充分关注如何集成、优化各种能量场，获得更简洁、合理的工程解决方案。目前的现实却是，由于制造工程的过度细分，能量场的融合、集成、优化创新遇到了教育、人才、资源、体制、思维等方方面面的不必要障碍。即使是研究特种加工的工程人才，也可能过于专注于自己的“传统”能量场，缺乏跨越与交叉的主动性和能动性。

人们曾经倡导混合型工艺或多能量场融合工艺，比如，磨粒水射流加工、激光与水射流的合并、ECM与EDM的混合、激光加热与机械车削的结合，以及超声辅助钻削等，这些混合工艺取得了意想不到的成功。但这些只是冰山之一角，是智能能量场制造的初级阶段。从工程优化的自由度来看，多一个场多一



智能能量场制造中的动态制造工程模型
(Dynamic M-PIE Flow Model)

个维度，优化空间变了，一些单一能量场难以解决的问题可能迎刃而解。

笔者提出智能能量场制造，尝试从工程方法上彻底消除这种本不该存在的障碍。智能能量场制造系统研究工程系统中能量、物质、信息相互作用耦合的规律，提出广义能量场的概念，将物质、信息、能场的各种变化一视同仁，全部作为工程优化的自由度，解决工程矛盾，实现系统状态的指定演化，如附图所示。

实际上，不存在单一能量场的加工工艺，因为我们生活与四维时空，身处一定的周边环境。环境温度场、磁场、重力场、介质场及压力场等都在起作用，只不过许多时候大家忽略罢了。机械力只是各种力的一种，激光、电子束、超声、水射流等也毫无特殊性，只不过是工程上可用的能量场的选项。智能能量场制造强调系统性集成优化能量场，强调信息、物质、能量的协调合力，目标是最优地解决工程矛盾。

特种加工与三维/多维制造

智能能量场制造还期待以能量场的方法实现真正意义上的三维及多维制造。3D打印技术是三维增材制造技术的俗称，经历了近30年的发展，正处于新的快速发展突破时期。其基本思想是将复杂形体分

层，通过计算机控制，用各种工艺手段将成形材料由点到面，由面到体地制造出来。其本质是数字化三维制造。

有人声称3D打印技术将引发第三次工业革命。实际上，制造技术分为增材、减材、不增不减制造三大类，3D打印是数字化分层增材制造的一种，需要与其他制造方法联合才能在未来市场竞争中赢得优势地位。但3D打印等数字化制造技术的深刻影响不容忽视，它昭示着大规模个性化分布式制造和功能优先制造时代的开始。

换句话说，目前的制造模式是批量化大工业生产，兴起于源自欧洲的大工业革命，以汽车业的发展为典型代表。当智能化、数字化制造技术进一步发展，制造的门槛进一步降低，设计师的地位将进一步上升，传统大工厂的生产模式可能让位于设计师群体主导的全球动态合作，大规模分布式制造的时代。制造业的革命正在进行中，但不仅仅因为3D打印，更是因为以多能场融合制造为特征的数字化智能化制

造。3D打印技术已经成为全球热点，4D打印的概念也被提出。我们生活在四维时空中，具备显著四维时空可控性的制造可以被泛称为4D制造，比如制造出的三维物体可以在预定的时间发生预定的变形或功能变化。

有更多的制造新趋势让人目不暇接，比如云制造、大数据、体性（WIKI-Style）创新制造，等等。目前，以3D打印、特种加工、绿色智能、全球网络为代表的先进制造技术引起了全社会的关注，如何在新工业革命中获取先机成为各国的战略研究重点。

一些特种加工技术已经难称特种了，比如传统的水射流加工，被广泛用于石材、玻璃、金属板材的切割。但人类制造的总体需求是不变的，那就是实现三维/多维的智能仿生制造。从这个角度来讲，特种加工应该面向未来，作出更大的贡献。目前流行的3D打印工艺存在一系列缺点，需要革新。特种加工，或多能场融合的加工，面临新工业革命中的新任务，那就是，结合智

能化技术，在提升能量精细控制的同时，在全部工程自由度下（信息，物质，能量）优化三维/多维制造技术。沿此思路，水射流加工等可否实现微纳米加工精度？可否实现精细3D雕刻？可否与增材制造融合，实现更合理的制造？这是新的创新领域。

结语

中国制造业总产值在2012年已经是世界首位，达到美国的1.26倍。中国特种加工发展迅速，但相比国际先进水平仍有较大差距，并且很少有突破性原创技术。因此，中国制造不仅仅应该赶超世界制造业的先进水平，还必须重视技术创新，发展先进的制造思想。智能能量场制造提出工程优化自由度的理念，很自然地拆除了传统与特种加工之间的藩篱，是面向未来的制造思想的有益探索。

特种加工在新时代有新的使命，那就是全局优化三维/多维制造技术。MW

（收稿日期：20140119）

哈斯强势助阵第八届中国数控机床展 ——豪华阵容开启“产业联盟”时代新篇章

哈斯（HAAS）将在CCMT 2014上盛装亮相，在其位于N1-300、面积为156m²的展位内展出包括DS—30SSY、VF—2SS、EC—400、VF—2、VF—5/50在内的立式加工中心、卧式加工中心、车削中心等5台数控机床，以及哈斯HRT系列的转台，可谓阵容豪华。

针对本届CCMT展会提出的“新变化·新未来”主题，哈斯配备Y轴的高性能双主轴车削中心DS—

30SSY将完美诠释“all in one”理念的独特魅力。

哈斯自动数控机械（上海）有限公司总经理牟德华先生谈及行业发展的新变化时认为：“未来，制造业的竞争将不再局限于单个公司或单件产品间的竞争，而转变为‘产业联盟’之间的较量，这样的较量其实已经在不断变化的市场格局中呼之欲出了。”

致力于走在行业前沿的哈斯通



过自身的技术优势及与各个环节的密切合作，正在不断发挥产业联盟带来的巨大力量，而这股力量将在未来几年更加强而有力。更多精彩内容请至哈斯CCMT展位获取。