

3D 打印混凝土的中国智造之路——筑梦数字化建造的自主创新

关键词：自主创新、中国智造、科技报国、工匠精神

在全球新一轮科技革命和产业变革的浪潮中，中国建筑业正加速向数字化、智能化转型。“中国建造”品牌亟需从高速增长向高质量发展转变。3D 打印混凝土技术，作为融合了数字技术、新材料、智能装备的前沿交叉学科，为建筑业的革新提供了颠覆性的解决方案。从最初对国外技术的跟踪模仿，到如今在材料、装备、软件及工程应用等全产业链实现自主创新和局部领跑，中国在 3D 打印混凝土领域走出了一条波澜壮阔的“智造”之路，生动诠释了国家创新驱动发展战略的实践伟力。

1. 关键技术突破：数据见证创新

(1) 材料创新：从“能用”到“好用”的跨越

混凝土是 3D 打印建筑的“墨水”，其性能直接决定了打印的可行性与结构安全性。传统混凝土无法满足 3D 打印所需的流动性、快凝性、层间黏结强度等苛刻要求。

清华大学徐卫国教授团队、同济大学、东南大学、中国建筑材料科学研究总院等科研机构，针对性研发出多种特种 3D 打印混凝土。例如，通过引入高性能外加剂和特种纤维，使打印混凝土的早期强度在数小时内即可达到设计要求，28 d 抗压强度普遍可达 C40~C60 标准，部分实验已突破 C80，解决了打印过程中的塌陷和变形问题。

在层间黏结力方面，通过优化材料配比和打印工艺，层间抗剪强度较早期提升了超过 50%，确保了打印结构的整体性和耐久性。这些自主研发的新型材料，打破了国外在高性能打印材料上的技术壁垒，成本较进口材料降低了 30%~50%。

(2) 装备自主化：从“跟跑”到“领跑”的飞跃

大型、高效、智能的 3D 打印装备是实现技术产业化的核心。

盈创建筑科技(上海)有限公司(Winsun)，是全球最早实现建筑 3D 打印商业应用的企业之一。其自主研发的龙门式 3D 打印设备，最大打印尺寸可覆盖数千平方米。2015 年，盈创在苏州工业园区打印出全球首批 3D 打印多层建筑，包括一栋 1100 m² 的别墅和一栋 6 层高的住宅楼，展示了中国在大型装备上的制造能力。

中建二局、中建八局等大型建筑央企也纷纷投入研发，推出了具有自主知识产权的机器人 3D 打印系统。例如，中建八局研发的“混凝土 3D 打印轮廓工艺技术及装备”，实现了复杂异形构件的毫米级精度打印，施工效率相较传统模板工艺提升了数倍。

中国企业在打印喷头、输送系统、控制系统等核心部件上也取得了突破，部分设备已出口海外。

(3) 软件平台突破：赋能“智慧建造”

智能化的控制与设计软件是 3D 打印混凝土的“大脑”。

国内团队成功开发出集成 BIM(建筑信息模型)技术、路径规划算法、过程监控与反馈调节功能的专用软件包。这些软件能够将复杂的建筑设计模型一键转化为打印机可识别的路径

代码,并能根据打印过程中的实际情况(如材料流动性变化、环境温湿度影响)实时调整打印参数,确保打印质量。

例如,清华大学团队为上海宝山 26.3 m 长 3D 打印混凝土步行桥开发的智能控制系统,就包含了精密的路径规划和分层策略,确保了桥梁复杂曲面结构的精准实现。

2. 实践应用成果: 点亮中国版图

中国 3D 打印混凝土技术已从实验室走向实际工程,应用场景日益丰富。

(1)由清华大学(建筑学院)-中南置地数字建筑研究中心设计的全球最长(26.3 m)3D 打印混凝土步行桥,于 2019 年初落成。该桥梁的打印构件仅用 450h 完成,相比传统工艺,节省了约 2/3 的建造时间和 1/3 的材料。

(2)作为中国未来城市的样板,雄安新区积极引入 3D 打印技术。例如,某企业为雄安市民服务中心部分景观小品、隔离墩等采用了 3D 打印技术,不仅造型独特,而且施工周期缩短了近 70%,建筑垃圾减少了约 80%。

(3)盈创公司在此打印的别墅和住宅楼,证明了 3D 打印技术在民用建筑领域的潜力,其宣称可节省建筑材料 30%~60%,缩短工期 50%~70%,减少人工 50%~80%。

(4)2020 年,全球首个纯 3D 打印的隔离病房在深圳建成,该病房仅用数天时间便完成了主体结构的建造,为抗击疫情提供了快速响应的方案。

此外,在园林景观、市政设施(如公交站、公共厕所)、水利工程(如异形渠道)等领域,3D 打印混凝土也展现出独特优势。

3D 打印混凝土的中国智造之路,不仅是技术革新的故事,更是一堂生动的爱国主义和创新精神教育课。它昭示我们,核心技术是要不来、买不来、讨不来的,唯有坚持自主创新,才能掌握发展的主动权。作为新时代的青年学子,应深刻理解科技创新对于国家前途命运的决定性意义,努力学习科学文化知识,培养创新思维 and 实践能力,以实现“两个一百年”奋斗目标和中华民族伟大复兴的中国梦为己任,勇做走在时代前列的奋进者、开拓者、奉献者,为筑梦数字化建造、建设科技强国贡献青春力量。

3. 从技术封锁到自主创新: 中国科技工作者的家国情怀与时代担当

面对国外技术封锁和行业空白,中国科研人员和工程师们勇于挑战,从零开始,攻克了材料、装备、软件等一系列核心技术难题,将“卡脖子”清单变成了自主创新的“成绩单”。这种精神激励学生勇攀科技高峰,为国家科技自立自强贡献力量。

3D 打印混凝土的每一个成功案例,都离不开对材料配比的千百次调试、对打印路径的精细规划、对结构强度的严格把控。这种精益求精、追求极致的工匠精神,是“中国智造”的灵魂,教育学生在学习和工作中要一丝不苟、追求卓越。

3D 打印技术通过精确控制材料用量,大幅减少了建筑废料(可减少 30%~60%的建筑垃圾),降低了施工现场的粉尘和噪音污染,并可利用工业固废作为打印原料。这与我国“绿水青山就是金山银山”的发展理念高度契合,引导学生树立生态文明意识,践行可持续发展。

无论是清华大学团队为国献智,还是建筑企业将科研成果转化为生产力,都体现了科技工作者将个人理想融入国家发展大局的家国情怀。激励学生将所学知识服务于国家重大战略需求,在实现中华民族伟大复兴的中国梦中实现个人价值。

中国能够在 3D 打印混凝土领域快速突破，也得益于国家层面的政策支持、产学研用的紧密结合以及集中力量办大事的制度优势，为重大科技创新提供了有力保障。

思政点：自主创新精神；工匠精神传承；绿色发展理念；科技报国情怀；社会主义制度优势的体现