

提起3D打印技术,相信很多人都不陌生。3D打印机已经进入寻常百姓家,以实实在在的金属、陶瓷、塑料、砂等不同原材料为“墨水”,在电脑控制下把这些打印材料层层叠加,最终将计算机上的蓝图变成实物。

3D打印就是极限了吗?如果再赋予其新的维度,4D打印又可能带来哪些颠覆性变革?北京交通大学Rheobot(流变机器人)团队将天马行空的想象落地生花,他们利用自主研发的新型磁控触变材料和全球首台4D打印机,打造出了“会自主变形”的黑科技。近日,记者走进4D打印实验室,揭秘这里的“变形金刚”是如何炼成的。

“变形金刚”般的4D打印是如何炼成的

4D打印比3D打印多了什么

学期结束,实验不止。在北京交通大学Rheobot实验室,机械与电子控制工程学院副教授、90后青年科学家李振坤正和同学们一起,用一台桌面级4D打印机探索流变机器人的更多可能性。精密的喷头遵循编程设定,向外喷射出灰褐色物质,几分钟内,一个简易的流变机器人打印完成。Rheobot团队成员、北京交通大学硕士研究生徐海天拿起这块约两根手指大小的结构,验证其是否能按预期运动、变形。

徐海天介绍:“它是一种非接触式的控制,很适合一些极端的环境,像对狭窄空间的探索、运动,再前沿一点的方向,它甚至可以到人体里面。”

虽有物理阻隔,靠徐海天依托磁场的“隔空”控制,这个流变机器人依然像翅膀一样伸展、折叠。全球第一款流变机器人就诞生在这个实验室。Rheobot,正是“流变机器人”的英文,这一概念是2023年李振坤根据自主研发的磁控流变记忆材料在全世界首次提出的。

李振坤表示:“我们在普通的材料里加入了纳米磁性功能颗粒,还有一些其他成分,让这个材料将来可以动态地进行响应。比如我们做人形机器人的面部皮肤,它可以实时和人去交互,生成表情。我们要在微观上给材料构造,让它具有自我组装的功能,组装成我们想要的结构;有了这样的结构之后,它在宏观上会表现出我们想要的特性。”

这样的创新,如同给混凝土掺入微小钢筋,通过施加磁场使其进一步定向排列,从而彻底改变了材料性能。有了如此智能的材料,再配以编程设计,4D打印的“密码”得以破解,进而能实现对物体变形过程的精准控制,甚至可以切换坚硬或柔软等不同状态,让其适应更复杂的场景。举个例子,如果想4D打印一朵花,设定“遇湿开花”,那么它就能在雨天自动绽放。

“相比于3D(三维),4D打印多出了一个时间维度。因为3D打印出的是静态的、不会动的物体,而4D打印相当于给材料植入了一套程序,在特定的条件下,比如遇到水、光、热,或者在我们使用的磁场作用下,打印出的结构就能随着时间的推移,自行改变形状或功能。”李振坤说,这就是4D打印的神奇之处。

李振坤介绍:“将来我们去考察一个4D打印的结构,我们是让它动起来,这就是在一个时空当中



李振坤用4D打印机打印出的智能软体夹持系统进行柔性抓取。

正在实验中的4D打印机。

相关链接

4D打印的材料“密码”

形状记忆合金:金属的“记忆魔法”。形状记忆合金是4D打印中重要的材料之一,其中最具代表性的是镍钛合金。它具有独特的晶体结构,在不同温度下会发生相变。在4D打印过程中,技术人员根据设计需求精确控制形状记忆合金在不同区域的分布与结构,结合编程设定的温度变化条件,实现对物体变形过程的精准调控。例如,在制造复杂的航空航天零部件时,利用形状记忆合金在高温下恢复预设形状的特性,可实现零部件的自组装和自适应调整,大大提高制造精度与效率。

形状记忆聚合物:塑料的智能变身。形状记忆聚合物种类繁多,成本相对较低,且易于加

工成形。它的形状记忆效应源于其内部的分子链结构。当受到外界刺激时,分子链的构象发生变化,从而实现形状改变。在生物医学领域,形状记忆聚合物有着巨大的应用潜力。例如,可降解的形状记忆聚合物制成的血管支架,在低温下可以被压缩成细小的形状,通过导管轻松送入血管病变部位。随着体温的作用恢复到原来的形状,撑开狭窄的血管,在完成使命后逐渐降解,避免二次手术取出的麻烦。

磁控智能材料:未来的软体机器人。磁控智能材料是4D打印材料家族中的重要成员,在航空航天、生物医疗等多个领域展现出独特的应用价值。这类材料主要包括磁性流体、磁

流变弹性体等,它们由聚合物或有机溶剂组成的基体和均匀分散在其中的微/纳米磁性颗粒组成。在磁场的作用下,磁性颗粒会迅速排列形成特定的结构,从而使材料的力学性能发生显著变化。

智能水凝胶:遇水“变形记”。水凝胶是一种亲水性的高分子网络材料,能够吸收大量水分并保持一定的形状,在4D打印中的应用主要基于这种材料所具有的溶胀和收缩特性。不同的水凝胶对不同的环境因素(如pH值、离子强度等)有不同的响应。在药物控释领域,水凝胶制成的微球可以根据体内环境的变化释放药物。

据光明日报

了;但即使我们不让它动,它也已经比3D打印多了微观结构可以被编程的维度。4D打印不需要那么复杂,我们把功能直接写在它的结构里,让它真正能够做到功能和结构一体化。实际上它是一个强仿生,不仅仅是从形态上仿生,还是从功能上仿生,比如生物在什么地方有肌肉,那我们就在什么地方给它打上像肌肉功能一样的结构。”

4D打印技术有哪些应用前景

李振坤揭秘,4D打印过程中,材料被充上磁场,形成最小的

磁性单元,在一系列磁场智能响应下,实现对自身状态的感知和调控,仿佛“变形金刚”。在李振坤的计划中,磁控4D打印技术或将最先应用到低空经济等新兴产业。李振坤拿实验室里一款4D打印出来的飞机蒙皮装置举例,这是一个包围飞机骨架,形成气动外形的锥形构件。

李振坤表示,蒙皮有几个作用,一个是减少阻力,另一个是调节飞机的飞行状态,让它更适应气流。它本身是静态,可能会有一些被动变形。随着低空经济需求的进一步发展,现在对蒙皮提出了更高要求,它能不能主动改变

形状?如果飞行器有了这样的功能,可以大大增加飞行稳定性,也可以减少阻力、降低油耗。现在的变形蒙皮实际上是在皮下面做了一些机械结构,带动了皮去发生变化。而我们通过4D打印,在机翼的主体结构里埋入了一些线圈,通过给线圈通电,让它主动运动,产生周期性的变化。

在材料上做文章,4D打印的前景将更宽广。李振坤在和机器人工程师交流时发现,以塑代钢是产业发展的新路径,4D打印技术能否革新塑料的性能?

“底层逻辑是一样的,就是在

打印材料挤出对它同时进行充磁。人形机器人翻跟头、行走,都需要很高的材料强度。我们就提出了开发一种新的材料以及新的打印方式,用普通塑料可以打出特种塑料的强度,并且成本没有很大增加。人形机器人用了这样的材料,重量会降低,跟人交互的安全性会提高,另外还能提高续航。”李振坤说。

全球首台4D打印机是如何被创造出来的

在Rheobot实验室,一个又一个材料被青年学者注入“生命力”。实际上,4D打印概念早在多年前就被美国麻省理工学院最先提出,李振坤于2018年首次读到4D打印方法的论文时尚未博士毕业。那时,他欣喜地找到导师、磁性液体专家李德才教授,希望借他山之石再寻创新。

李振坤表示:“开始的时候跟着国外的工艺走,我发现有一个问题,工艺过于复杂了。当时我就想到能不能在打印机里把充磁和磁畴编程两件事放在一起,也就是一体化工艺。这项技术由我们开发出来、发表论文之后,又被麻省理工学院的科技媒体报道了。”

2024年,承载着一体化工艺的全球首台桌面级4D打印机Mag 4D Printer问世,并入选中关村论坛常设展。李振坤始终坚持,再尖端的技术,如果只停留在论文里就失去了意义,科技最终要真正改变生活。4D打印技术从实验室走向市场,李振坤也从青年科学家化身科普达人,让硬核科技变得可触可感。

李振坤介绍:“打印机在2025年全国科普月的中国科技馆主场展示,被很多观众体验。我们和科技馆的馆长一起提出了一个理念,能不能把实验室搬到科技馆?我们让科技馆的孩子当场体验到实验室的研究过程,通过这个体验,他了解了包括材料学、智能制造,还有机器人相关的知识,这也是我们做这件事的初衷。”

尽管4D打印技术目前尚在概念验证阶段,李振坤期待,它的普及一定会在不远的一天到来,并为我们创造更加便捷、智能、美好的未来。李振坤表示:“等我们把这项技术做得再成熟,将来也希望这款机器就像现在的3D打印机一样走进千家万户,让每一个爱动手的孩子都可以制作自己想要的4D打印的结构,就像有了生命一样。”

图文来源:央广网、北京日报