

## 微观世界里的特种兵——藻类细胞机器人

20世纪60年代,一部荣获奥斯卡最佳视觉效果大奖的科幻电影《神奇旅程》描述了科学家驾驶“微型潜水艇”在人体内的冒险之旅,将大众的视线转移到了神奇的微观世界。现实世界中,在微观领域进行探索和操作需要一类小的机器人作为帮手,它们的尺寸要小到能够在微米甚至是纳米尺度执行特定任务,这就是微型机器人。微型机器人由于个体大小,在研制过程中主要面临3个方面挑战:能源、驱动和控制。微型机器人不能像宏观机器人那样外接电线或携带电池为其供能;也不能装载电机来产生运动;此外,如何无线遥控微型机器人在小尺度空间按指令运动及作业也是需攻克难题。

针对这些问题,国内外已开展了几类微型机器人的研究,包括磁驱动微型机器人、光驱动微型机器人、热驱动机器人、化学气泡推动机器人、微生物机器人等。藻类细胞机器人是这些机器人中的一种。藻类细胞尺寸通常为几微米至几十微米,具有眼点和鞭毛,能够从周围液体环境中获取能量,并高效地将化学能转化为其鞭毛的机械能,驱动自身向前游动。它们的游动速度可达110  $\mu\text{m/s}$ ,即每秒运动距离是其自身体长的3~10倍,可以称得上是微观世界里的“高速跑车”。在它身体前端的“眼点”,能够感知特定波长光线的刺激,并迅速做出响应,这就是它的趋光性。藻类细胞得天独厚的优势自然而然地解决了微型机器人面临的供能和驱动问题,如何控制它按人的意愿运动及执行任务,这是科研人员待解决的问题。

藻类细胞在水中是任意游动的,如何实现其机器人化运动及向外界做功是生物学与机器人学交叉领域的难点问题。2005年,Weibel等首次报道了利用衣藻细胞趋光性控制细胞在微流控管道内往复运动,并通过衣藻细胞带动直径1~6  $\mu\text{m}$ 的聚苯乙烯小球运动<sup>[1]</sup>,但该研究中衣藻细胞是在一段直管道内往复运动。为了控制藻类细胞进行更复杂的运动,笔者所在的研究团队(中国科学院沈阳自动化研究所微纳制造课题组)开发了藻类细胞引导系统(Algae Guiding System, AGS)。通过该系统我们可以控制藻类细胞定向运动,使其依次通过十字形微流控管道,遍历4条管道后又回到出发点,如图1所示。通过合理规划AGS

光源的运动,我们可实现藻类细胞机器人在二维空间沿任意设定路径的运动,包括沿三角形、长方形、方波形等路径运动<sup>[2]</sup>。

在微观世界中藻类细胞机器人既然可以按操作者的意愿运动,能否利用藻类细胞机器人来搬运货物呢?答案是肯定的!在控制藻类细胞机器人定向运动的基础上,通过对机器人的群体控制,我们成功实现了对微小物体的准确抓取、可控输运和精准释放。通过照射光斑可以控制藻类细胞机器人聚集到直径100  $\mu\text{m}$ 颗粒周围,在移动光斑时藻类细胞群体可推动颗粒随着光斑而运动,关闭光斑即实现了颗粒的释放<sup>[3]</sup>。

除了控制藻类细胞机器人定向运动,我们又进一步实现了藻类细胞机器人的阵列化旋转。结合光诱导介电泳技术(O DEP),建立了藻类细胞在O DEP微环境中的转动状态模型和受力模型,实现了对藻类细胞的快速捕获及阵列化旋转,且通过改变光强可有效调节细胞旋转速度<sup>[4]</sup>,如图2。构建的藻类细胞旋转阵列有望作为微尺度马达阵列,在微流控及生物驱动领域发挥重要作用。

藻类细胞作为微型机器人,解决了以往微型机器人在能源、驱动、控制方面遇到的问题。通过对藻类细胞机器人进行控制,我们的研究团队实现了藻类细胞机器人的定向运动、旋转及对微结构的输运。藻类细胞机器人作为一种新型微型机器人,是微观世界里的特种兵,它们将在生物驱动、药物输运、环境监测和微纳制造等方面为人类做出贡献。

### 参考文献

- [1] Weibel D B, Garstecki P, Ryan D, et al. Micrococcus: Microorganisms to move microscale loads[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2005, 102(34): 11963-

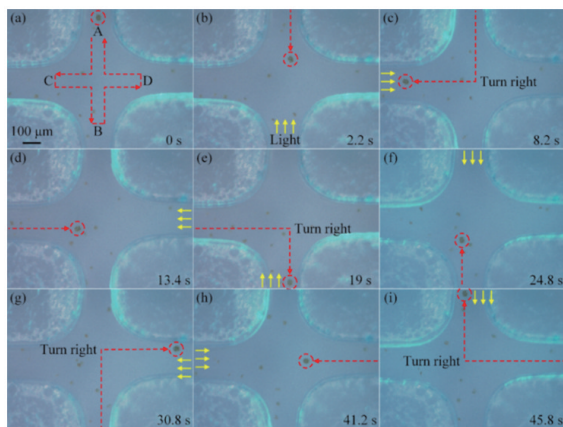


图1 藻类细胞机器人在微流控管道十字路口“右转”运动

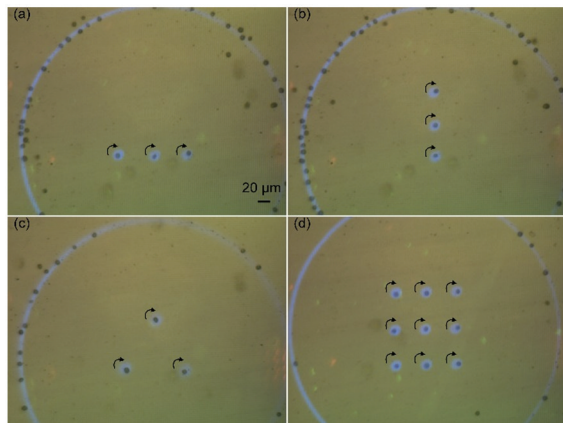


图2 藻类细胞定向旋转阵列

11967.

- [2] Xie S X, Jiao N D, Tung S, et al. Controlled regular locomotion of algae cell microrobots [J]. Biomedical Microdevices, 2016, 18(3): 47.
- [3] Zhang C, Xie S X, Wang W X, et al. Biosynthetic tweezers actuated by microorganisms: Modeling and analysis[J]. Soft Matter, 2016, 12(36): 7485-7494.
- [4] Xie S X, Wang X D, Jiao N D, et al. Programmable micrometer-sized motor array based on live cells[J]. Lab on a Chip, 2017, 17(12): 2046-2053.

### 文/焦念东,解双喜

**作者简介** 焦念东,中国科学院沈阳自动化研究所,副研究员;解双喜,中国科学院沈阳自动化研究所,博士研究生。

(责任编辑 王丽娜)