

人类大脑奥秘提供坚实基础”。

可以毫不夸张地说，系列成果不仅为理解大脑的“智慧密码”提供了前所未有的“高清地图”，巩固了我国在介观脑图谱领域的国际影响力，更进一步彰显了中国科研团队在这一领域的领先优势。

绘制大脑“高清图谱”

如果我们将大脑想象成为一座拥有千万亿人口的“超级城市”，脑图谱就是这座城市的“高清地图”，它不仅能清晰地显示出大脑的“城市分区”，还能标注出“多巴胺快递员”的派送路线和“记忆编码电路”的铺设路径。

蒲慕明院士指出，在一般的医院中，脑影像的分辨率非常低，无法得到非常明确的单细胞层面的联接情况。因此，目前神经科学界和脑科学界的一个重大课题，是将各种细胞类型之间的网络结构分析清楚，这就是介观神经联接图谱的研究内容，人们用它来回答“大脑里有哪些细胞，它们分别在哪里、它们之间到底是如何联接、如何分工合作”等问题的。

我们都知道前额叶皮层是大脑里的“控制中心”，它掌管着人类日常生活中的高级认知功

能，比如记忆、注意、决策和行为控制。科学家指出，由于猕猴与我们拥有相似的大脑结构，尤其是在前额叶皮层方面表现出高度的同源性，构建猕猴前额叶的单神经元联接图谱，有助于建立更精准的神经疾病模型，也能为诸如抑郁症等疾病的诊断和干预提供结构依据。因为精神分裂症、抑郁症等常常涉及前额叶与其他脑区的异常连接。

过往的研究，类似于俯瞰城市交通，能看出主干道的分布，却看不清每一辆车的具体行驶轨迹。要想真正理解大脑中每一条“信息高速公路”的起点、终点和具体路径，就需要更加精细的观察方式，也就是单神经元层面的研究。

此番，研究人员将带有荧光标记的病毒注射到猕猴前额叶皮层中的19个位点，让神经元发光，这样科学家就能追踪每一根神经纤维的走向，然后利用高分辨率的成像技术产生出了体量巨大的数据——相当于10万部高清电影、接近PB（1000TB）量级的数据。

如何在如此巨大体量的数据中准确、高效地重构出大量神经元的投射图谱呢？研究人员受“电脑在线游戏”的启发，开发了一款名为Gapr的大规模单神经元重构系统，结合AI全自动重构和多人同时参与的协同

校对，最终完成了猕猴前额叶2231个神经元的完整投射图谱。

通过与团队之前绘制的小鼠前额叶单神经元投射图谱进行比较，研究人员有了惊人的发现：灵长类大脑的神经连接模式比小鼠更为“精简高效”，这可能是实现高级认知功能的重要特征。

这一发现打破了原先“物种越高等，单神经元连接越复杂”的假设：灵长类大脑的单神经元结构并非更复杂，而是采取了更专一的投射靶向、更高效的联接模式。研究人员做了一个形象的比喻：灵长类大脑如同员工数量庞大、人人分工明确的“大公司”，而小鼠大脑如同员工数量少、人人都是多面手的“小公司”。

猕猴前额叶皮层的单细胞分辨率全脑联接图谱的首次绘制，让我们得以看清大脑中信息传输的“精密线路图”，不仅为我们揭示了大脑如何实现注意力、记忆、决策等复杂认知功能背后可能的神经基础，也能帮助人们从精确神经连接的角度来重新认识大脑的工作原理。美国科学院院士、麻省理工学院麦戈文脑研究所所长Robert Desimone将这一成果为“杰作”。

技术加持，破解大脑之谜

大脑“地图”的绘制离不