

# 大脑模拟现状 2025

## 速览

“大脑模拟现状报告 2025” 全部已发布材料的核心摘要

**大脑模拟模型**是通过计算机程序在物理细节上数字式地复制大脑：包括神经连接、活动、连接随时间的变化方式，以及行为如何从中产生。此类大脑模型将是无可替代的科学工具，提供一种数字化手段来研究神经系统疾病的发病机制、认知如何形成，甚至对进化解解决复杂计算问题的方案进行逆向工程。

**没有任何其他工具（包括 AI）能够同时兼顾如此高的生物真实性与实验可控性。**尽管术语相似，但现代 AI 架构与大脑有着本质的区别。正如水晶模仿钻石的光芒一样，AI 模仿大脑行为虽然令人信服且极其有用；但只有实验室培育的钻石才真正具备实物的本质。

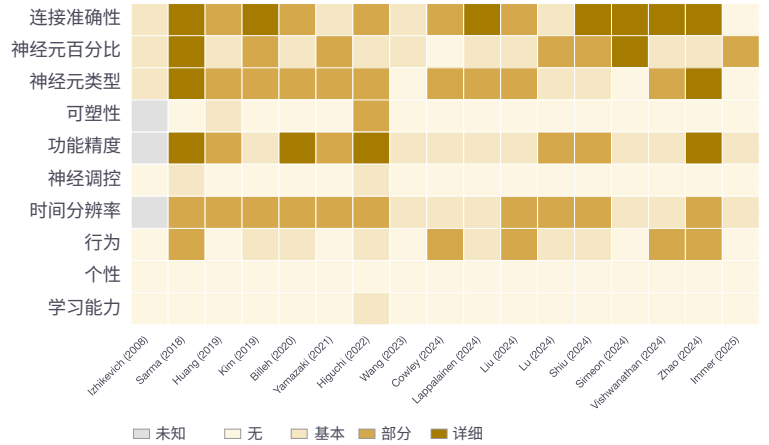
**报告的一个关键见解是：提升大脑模拟模型的主要障碍不是硬件或算法，而是更多且更高质量的实验数据。**尽管自 1980 年代以来，数据获取能力每十年增长约五倍（见图），但我们尚未在单细胞分辨率下记录过任何生物的完整大脑。即使是对于像线虫或果蝇这样的小型生物，现有数据依然稀缺且不完整。打个比方，神经科学家希望获得一整套数小时的高清彩色影像库，而目前只有几分钟模糊、断续的黑白片段，且覆盖范围不到理想场景的百分之一。

“

**提升大脑模拟模型的主要障碍不是硬件或算法，而是更多且更高质量的实验数据。**

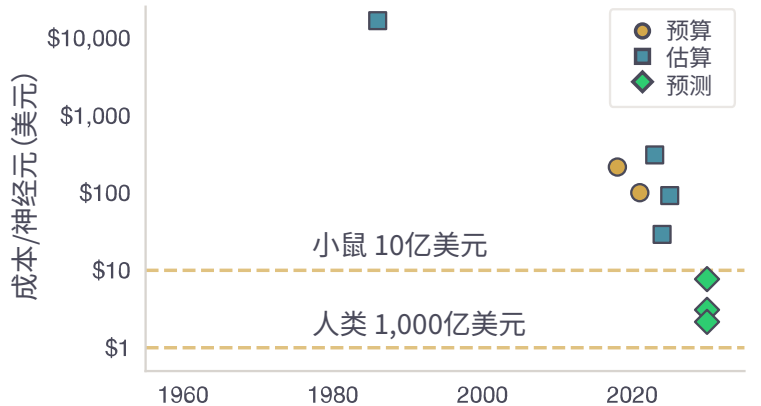
### 1 模拟能力

一幅热力图，比较了 12 项里程碑式神经模拟在 10 个生物学维度上的仿真保真度，显示连接性建模较强，但行为验证仍然有限。



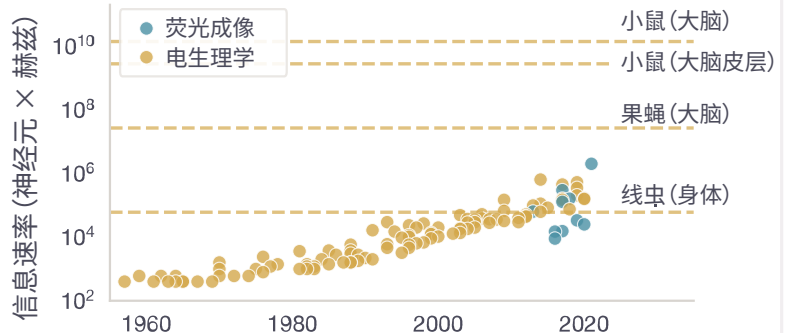
### 2 每个神经元的连接组学成本

连接组学成本从 1986 年的约 16,000 美元/神经元持续下降，预计到 2030 年将趋近约 1 美元/神经元；其中小鼠全脑连接组的预算门槛约为 10 亿美元，人类约为 1,000 亿美元。

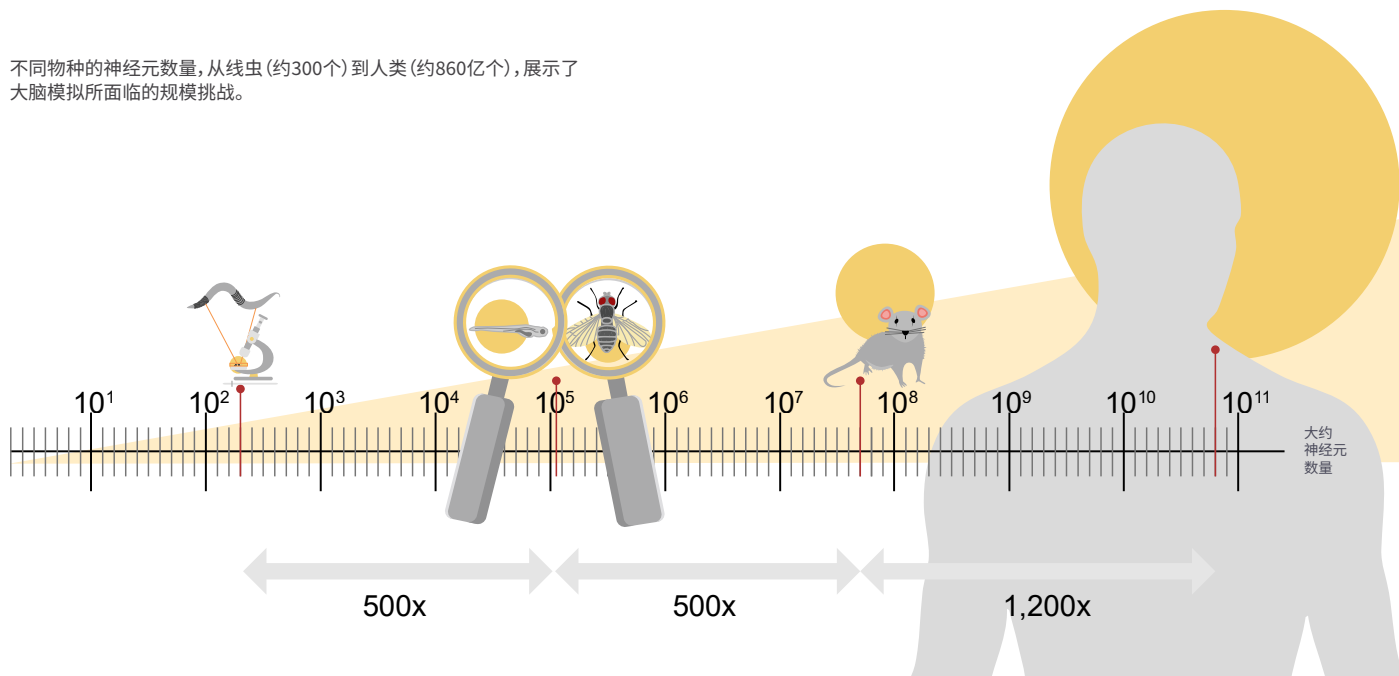


### 3 神经记录信息速率

1960 至 2020 年间的神经记录信息速率变化趋势，目前仅在线虫和果蝇的尺度上接近全脑覆盖。



不同物种的神经元数量,从线虫(约300个)到人类(约860亿个),展示了大脑模拟所面临的规模挑战。



**规模使问题复杂化:** 一个足以追踪神经元分辨率的小鼠大脑精确图谱体量巨大,其规模类似于地球的高分辨率重建图。而人类大脑还要比这大出约 1,000 倍。同时捕获大脑的多个物理维度极其困难。这就像一个十面魔方:在一个面上取得进展往往会打乱其他面。记录速度越快,图像就越小;捕捉的内容越多,分辨率就越低。

但在神经元数量低于 100 万个的生物(如果蝇、小鱼、蜜蜂或蚊子)规模上,忠实捕捉大脑的所有方面已日益可行。这意味着这些生物的大脑模拟模型可能会在十年内问世。一个百万级以下神经元的大脑模拟项目成本可能在一两亿美元左右。这样的项目有助于回答若干关键问题:多大规模、什么质量的数据能带来多大的模型提升?哪些结构是必不可少的,哪些只是锦上添花?这些问题必须在将模型扩展至哺乳动物大脑之前得到解答。

一只小鼠大脑的神经元数量是果蝇的 500 倍,但其大脑体积却是果蝇的 10,000 倍;人类大脑的神经元数量约为果蝇的百万倍,体积则大出 3,000 万倍。这两个案例都面临着超越单纯规模的挑战。全脑记录的物理限制意味着很可能需要基于局部数据进行外推。此外,围绕动物和人类福利的伦理约束在复杂性和相关性上也在不断增加。

今天,全球专门关注大脑模拟的人员总数加起来还坐不满一间会议室。过去 20 年,全球用于基础神经科学的总资金约为每年 5 亿美元,仅占美国国立卫生研究院(NIH)年度预算的 1% 左右,且分散在许多小型学术资助中。任何个人或资助方进入该领域,都有可能产生巨大的影响力。

## 更多内容请访问

[brainemulation.mxschons.com](http://brainemulation.mxschons.com)

### 完整报告 / 报告

完整的 200 余页技术分析报告,附摘要。

### 文章 / 文章

关于大脑模拟及其意义的通俗解读。

### 数据与图表 / 资源

所有数据集、插图和代码均采用 CC BY 4.0 许可协议。

### 预算估算器 / 估算器

估算大脑模拟项目的成本与时间线。

“

今天,全球所有专门关注大脑模拟的人员加起来甚至坐不满一间会议室。[...] 任何进入该领域的个人或资助者都能产生巨大的影响力。

# 跨越数量级的大脑模拟项目

如果拥有更多资源，可以做什么？以下是按资金量级和领域分类的项目构想。

资金估算	领域建设	数据采集	技术研发	基础设施	资金与竞赛
~\$100K+	<ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>路线图制定</b>: 技术、未知领域、生物体</li> <li>· <b>研讨会系列/专题讨论会</b></li> <li>· <b>在线讲座系列</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>Neurocrawl</b>: 按物种分类的计算神经科学公开数据集</li> <li>· 全目录</li> <li>· <b>数据缺口分析</b>: 识别每种生物最相关的缺失数据</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>AI驱动文献挖掘</b>, 面向大脑模拟</li> <li>· <b>小规模技术试点</b>, 在现有实验室开展</li> <li>· <b>指标与基准</b>, 用于大脑模拟模型</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>算力额度</b>, 向机构/实验室提供</li> <li>· <b>报告规范清单</b>, 用于神经科学出版物, 及期刊推行</li> <li>· <b>OpenWorm IT 贡献</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>挑战赛与奖项</b>, 例如”基于AI的标注”或”最通用模拟”</li> <li>· <b>学术会议专题赞助</b> (NeurIPS, SFN, ICLR等)</li> <li>· <b>经济影响报告</b>: 单位经济效益、潜在市场规模</li> </ul>
~\$1M+	<ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>领域建设机构</b>, 协调路线图与会议</li> <li>· <b>Epoch.ai/OWID式趋势追踪</b>, 用于大脑模拟领域</li> <li>· <b>政府游说</b>, 推动科学投资</li> <li>· <b>深度技术路线图</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>多模态数据采集</b>, 跨记录与扫描模式</li> <li>· <b>电生理空白填补</b>, 针对线虫/果蝇/斑马鱼</li> <li>· <b>分子标注</b>, 在神经组织中 (如100种分子)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>科学原型</b>: 小型化双光子显微镜、病毒条形码、电压成像</li> <li>· <b>基于AI的校对与分割增强</b></li> <li>· <b>AI与昆虫大脑对比研究</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>移植OpenWorm</b>到其他生物以标准化计算神经科</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>“大脑模拟版Kaggle”</b>: 针对神经数据集挑战的持续性公</li> <li>· 开竞赛</li> <li>· <b>更大规模奖项</b></li> <li>· <b>种子资金</b>, 用于大脑模拟机构 (营利性/FRO)</li> <li>· <b>学术资助</b>, 用于各类博士学位</li> </ul>
~\$10M+	<ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>启动聚焦研究组织 (FROs)</b>, 例如”结构到功</li> <li>· 能”、新型模型生物</li> <li>· <b>大脑模拟大学研究所</b> (种子资金)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>10mm<sup>3</sup>小鼠大脑</b>成像与重建</li> <li>· <b>集成数据集</b>: 结构+功能+行为</li> <li>· <b>个体间比较</b>: 5-20个昆虫个体的记录与扫描</li> <li>· <b>线虫端到端提案</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>工业级原型</b>: 三光子显微镜、下一代扩增显微技术 (ExM)、</li> <li>· 条形码试剂盒</li> <li>· <b>X射线断层扫描/电压成像</b>, 用于小型哺乳动物</li> <li>· <b>探索性技术</b>: 可塑性、同一性、神经胶质</li> <li>· <b>缩放定律</b>, 基于海量新数据集</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>同步辐射光束线</b> (初步建设)</li> <li>· <b>微型AWS</b>: 将计算与大规模数据集整合于一体</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>X-Prize风格的挑战赛</b></li> </ul>
~\$100M+	<ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>昆虫级大脑模拟模型攻坚</b></li> <li>· <b>大脑模拟研究院</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>首个小鼠连通图谱</b></li> <li>· <b>结构到功能的可行性研究</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>专用芯片开发</b>, 用于显微镜/模拟</li> <li>· <b>全规模同步辐射</b>或X射线断层扫描中心</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>大脑模拟制造原型设施</b> (BrainFab) (中心化)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>风险投资基金</b>, 用于大脑模拟</li> <li>· <b>DARPA式计划</b>, 用于大脑模拟</li> <li>· <b>慈善捐赠基金</b>, 面向该领域</li> </ul>
~\$1B+	<ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>小鼠大脑模拟模型攻坚</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>综合性小鼠多模态数据集</b></li> <li>· <b>部分人类连通图谱</b></li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>“大脑工厂” (BrainFab)</b>, 具备机器人与先进扫描能力</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>“大脑计划 (BRAIN Initiative) 2.0”</b>或大型慈善财团</li> </ul>
~\$10B+	<p>约在十年或更久之: <b>建立类似人类基因组计划/CERN 级别的大型联盟</b>, 汇聚政府、慈善界与产业界力量, 共同推进人类大脑模拟模型。</p>				