Source: *Lianhe Zaobao*, p9
Date: 7 January 2025

科技新视野 王亚强

AI发展的“双三元组”框架带来新思考

人工智能（AI）的发展正经历从实验室到工业化的重要转折，正如英伟达首席执行官黄仁勋不久前在美国两党政策中心的对话中所说，AI数据中心正在成为这个时代的“工厂”。

2020年8月，乔治敦大学安全与新兴技术中心（CSET）的本·布坎南在一份重要报告中，首次将AI技术的关键要素，即数据、计算能力和算法用于科技发展与国家安全的综合分析。这三个要素构成现代AI成功发展的基础。

科技三元组：数据、计算能力和算法

计算能力作为AI的“引擎”，代表着可用于机器学习系统的算力资源。图形处理单元（GPU）和专用AI加速计算加速器（如张量处理单元TPU）的进步，极大地缩短训练复杂模型所需的时间，使得大规模数据集群的训练，以及先进AI模型的训练成为可能。

数据则是AI的“燃油”，机器学习模型需要大量高质量的数据来学习模式并进行准确预测。近年来，大数据的爆炸式增长，为AI的蓬勃发展提供燃料，能在自然语言处理、图像识别等多个领域，训练出表现优异的模型。

算法是AI的“涡轮”，不仅为AI解决特定任务提供基础，还能通过学习不断提高模型的性能，极大地推动AI能力的进步，并持续降低计算单位能耗成本。

工业化三元组：能源、土地、政策与治理

然而，随着AI跨越研究和实验室状态，开始全面进入工业化阶段，为AI训练与推理订制的大型数据中心，正成为这个进程中的关键环节。作为AI工厂的原型模态，它即将在不远的将来改变产品设计、生产流程和服务模式，传统的科技三元组已无法涵盖当下AI发展的全貌。因此，我们率先提出一个补充性的AI工业化三元组：能源、土地和政策，创造一个全面的“双三元组”框架，从技术和工业化两个维度来更全面地分析AI的发展。

在工业化三元组中，稳定的能源供应成为首要考虑因素。AI工作负载由于现代AI模型（如GPT-3的1750亿参数和GPT-4.0的1.8万亿参数）的规模和复杂性，要求大量计算能力，从而消耗巨大能源。国际能源署（IEA）在2024年的报告中预测，全球数据中心的电力消耗，将从2022年的460太瓦时（TWh）增加到2026年的1000太瓦时，这样21.34%的年均复合增长率，是目前全球电力消耗增长率（2.2%）的将近10倍。高盛公司在2024年6月的报告指出，尽管美国过去10年的电网规模增长，一直稳定在0的水平，但在数据中心为主要推力的推动下，未来10年将实现年均2.4%的增长。传统能源的局限性促使主要玩家将核能作为重要选择：微软重启三里岛核电站（2024年9月），甲骨文和谷歌计划建造小型模块化核反应堆（2024年9月、10月），亚马逊也公布收购几个小型核反应堆的计划（2024年10月）。

土地作为第二个关键要素，在AI数据中心的选址、建设和开发中发挥着重要作用，它不仅要提供支持设施所需的空间，还要确保便捷获取多样化能源资源。适合这些要求的土地已成为稀缺资产，在市场上受到各大科技公司追捧。

政策与治理构成第三个支柱。政策是指政府为应对开发AI数据中心的紧迫需求和挑战，而采取的具体短期措施和监管行动；治理则关注建立、维持和演变框架、标准和法规的长期战略能力。二者的结合决定着一个国家在AI领域的发展速度和方向，并应对着AI发展所带来的变化。

这样，除了传统的AI“科技三元组”之外，我们补充的AI“工业三元组”共同构成一个更加全面的“双三元组”框架，为国家和企业在AI竞赛中提供新的机会和挑战。与传统的AI三元组相比，双三元组为参与者提供更多操作空间——如果管理得当，不需要六个要素全部具备即可成功，有些短板可以通过其他优势来弥补。

双三元组对新加坡AI路径意味着什么

对新加坡而言，双三元组框架带来新的思考。新加坡在计算能力、数据、算法（包括AI人才）、土地和能源等要素上面临挑战。例如，能源和土地限制数据中心的扩建。然而，近期东南亚地区以及新加坡对于民用核技术的讨论，以及新加坡在政策和治理能力方面的优势，可能可以弥补在其他AI双三元组中的禀赋劣势。

几代新加坡领导人一直坚信，在这个小而战略意义重大的城市国家内持有外国资产，对于繁荣和国家安全至关重要。1960年代，像美孚和蚬壳这样的公司开设的炼油厂，为新加坡的稳定发挥重要作用，但时代已经改变。金融资产价值高且占地面积小，体现为数据而非实物商品。这使得数据成为一种理想的资产类别——一种现在与AI机会紧密相连的资产。

然而，考虑到民用核电作为稳定电力来源的前景，新加坡在政策和治理能力方面的良好基础，展现显著优势。如果核能成为一种选择，土地和能源将不再是新加坡参与AI工业化的障碍，而在政策设计和实施的持久和有效性方面的优势，将得以充分发挥。尽管公众可能对民用核电的安全性存在各种疑虑，但政府有能力创造一个既安全又可靠的示范项目，不仅可以支持有限土地上的数据中心，还可以为更大的能源独立铺平道路。

黄循财总理作为成功应对冠病疫情的关键领导者之一，展现与公众开放透明交流的强大能力。这一优势将在追求核能驱动的AI数据中心的战略目标中，发挥重要作用。

新加坡政府不仅在公众接受度上有所准备，也在技术和安全方面积极布局，寻求与美国、中国等在AI和跨境数据传输领域的合作。2024年7月，美国国务卿布林肯访新期间，两国签署民用核合作协议。AI已被列为新加坡下一阶段发展的主要战略目标，核能支持的AI数据中心，或将成为实现这一战略的重要组成部分。

与此同时，马来西亚柔佛地区的AI数据中心迅速崛起，利用土地和能源优势，以及政策开放和国际关系平衡，弥补在算力、数据和人才方面的相对劣势。然而，快速建设也带来土地利用、生物多样性、水资源治理和碳中和等新问题。妥善处理这些问题，才能确保AI工业化试验的顺利推进。

新加坡正面临关键机遇。能否继续推动公私部门协作，取得显著进展，将国家转变为AI工业化的卓越实验室和全球创新中心？AI的发展充满挑战和不确定性，唯有准确把握节奏与规律，才更能培育和释放国家的潜力与优势。期待新加坡以卓越治理能力，再次成为小国在高新科技发展中的典范与可信赖伙伴。

作者是新加坡国立大学李光耀公共政策学院公共管理硕士（MPA）

Source: Lianhe Zaobao © SPH Media Limited. Permission required for reproduction.