arXiv:2611.30852v1 [math.HO] 23 Nov 2026

棋局启示：人工智能时代的数学

Dmitriy Leykekhman

2026年11月23日

1 引言

人工智能的迅速发展使数学处于一个不同寻常的境地。几代人以来，数学一直被视为一种鲜明的人类智力活动。人工智能对这一看法提出了挑战，引发了人们对数学研究、教育以及这一职业未来的诸多疑问。当人工智能能够完成学生的作业时，我们应如何评估学生？在强大的人工智能辅助随时可用的情况下，什么才应构成一篇原创的博士论文？这些发展将如何影响对数学家的需求以及数学研究的组织方式?

数学界在对这一职业未来的担忧与对新可能性的兴奋之间存在分歧。有些人将这一局面描述为一场危机；另一些人则期待数学的黄金时代。大学、资助机构和学术期刊都面临着如何应对的艰难决策，而这项技术的发展速度仍快于人们理解其后果的速度。伴随这些技术变革，制度层面的不确定性已经显现：例如，达特茅斯学院不接受2027—28学年招生周期数学研究生项目的申请 [1]。

当数学面临这一不确定的未来时，国际象棋的历史提供了一个有益的参照。当前正在举行的世界国际象棋锦标赛对弈，为我们反思这段历史提供了恰逢其时的契机。国际象棋已经经历了从人类优势到压倒性计算机优势的转变。然而，人类国际象棋不仅得以延续，而且在许多方面蓬勃发展。发生了哪些变化？哪些得以延续？这一经历又能为数学提供哪些启示?

将国际象棋作为类比并不是什么新鲜事。例如，Eric Weinstein 与 Richard Borcherds 最近的一次谈话中就提到了这一点 [2, ，时间为 1:00:25]。这篇观点文章从历史视角探讨这一类比，考察其可能性与局限性。文章旨在从国际象棋的发展历程中汲取经验，并为数学及其社群在适应人工智能时代的过程中提出可能的发展方向。

2 国际象棋与数学：相似之处

国际象棋与数学有许多共同之处。前六位世界冠军中，有两位是数学家。第二位世界冠军 Emanuel Lasker 在
1900年埃朗根大学，论文题为《关于收敛边界上的级数》 [3]。第五位世界冠军Max Euwe于1926年在阿姆斯特丹大学获得博士学位，论文研究微分不变量 [4]。1964年，他被任命为蒂尔堡大学教授。第六位世界冠军Mikhail Botvinnik于1951年获得电气工程技术科学博士学位。他关于同步电机励磁控制和静态稳定性的研究发表在 1950 [5]。1991年9月7日，费拉拉大学还授予他数学荣誉学位。

随着国际象棋日益职业化，同时在这两个领域取得成功变得更加困难。因此，原本进入莫斯科国立大学力学与数学专业的阿纳托利·卡尔波夫，很快不得不转入要求较低的经济学专业，进入列宁格勒大学就读。令人惊讶的是，他未来的宿敌维克多·科尔奇诺伊帮助他完成了转专业 [6]。当然，如今仍有人在数学和国际象棋两个领域都颇有成就。例如，约翰·纳恩于1978年在牛津获得数学博士学位，研究方向为代数拓扑 [7, 8] ，并于1980年成为英国国际象棋冠军。这两项智力活动在各自的圈子之外仍备受推崇。在二十世纪下半叶，国际象棋与数学都受到广泛关注，令人意外的是，原因大致相同：政治，尤其是冷战。

国际象棋在西方的受欢迎程度随着鲍比·菲舍尔的崛起而达到顶峰。他的职业生涯在20世纪50年代末起飞。1972年，他独力击败苏联国际象棋机器，成为第十一位世界冠军。国际象棋流行的第二波和第三波分别伴随着卡尔波夫—科尔奇诺伊之战和卡尔波夫—卡斯帕罗夫之战。前者是苏联体制的代表卡尔波夫与叛逃者科尔奇诺伊之间的对决，后者则是卡尔波夫与“变革之子”卡斯帕罗夫[9] 之间的较量。1972年至2000年间的世界冠军赛在国际象棋界内外都引起了广泛关注。

冷战期间，数学的地位也日益凸显，各国政府大力资助基础科学和数学。在美国，1958年《国防教育法》明确支持数学教育，并提供研究生奖学金和学生贷款 [10]。数学与统计学博士学位的年度授予数量从1949—50年的160个增至2019—20 [11]年的约2,000个。这种扩张不仅体现在数量上，也体现在院校建设上：授予数学博士学位的美国院校数量增加了一倍多，从1950—1954年的71所增至1970—1974 [12, 年的159所。表 39]各院系的规模也有所扩大。我母校康奈尔大学在1940—1959年间每年授予约三个数学博士学位，而在20世纪60年代，每年授予的数量超过七个。该十年共授予73个博士学位，其中52个是在后半段授予的 [13]。专业与研究基础设施也不断发展：工业与应用数学学会成立于 1952 [14], ；伯克利的数学科学研究所和明尼苏达州的数学及其应用研究所则成立于 1982 [15]。

随着计算机的兴起，这些相似之处仍在延续。最早的国际象棋程序可以追溯到20世纪40年代。就连第六位世界冠军 Botvinnik 也曾致力于研制国际象棋机器，并预言计算机下国际象棋终将强于人类。1997年，Garry Kasparov 在与深蓝的著名对决中以3.5–2.5的比分落败。赛后，卡斯帕罗夫指控计算机团队作弊，公开声称计算机并非独立选择了所有走法，而是偶尔得到了人类协助。听起来是不是很熟悉？单从国际象棋的角度来看，这场败局或许来得太早；然而十年后，人类已无法与计算机匹敌。比赛一结束，所有人便再次开始谈论国际象棋之死。类似的讨论早在20世纪20年代中期就已出现。当时，鲜少输棋的第三位世界冠军何塞·卡帕布兰卡已经在警告国际象棋会因和棋而亡 [16]。

三十年后的今天，我们发现了一个颇为有趣且出人意料的局面：国际象棋比以往任何时候都更受欢迎。如今，每天都有数百万人在线下棋，其中包括许多儿童。国际象棋已不再神秘。过去，只有特级大师——国际象棋高手——能够解释某一步棋或某个局面，即便是他们也常常会犯错。而现在，几乎任何国际象棋程序都能在几秒钟内对任意局面给出准确评估。国际象棋变得更加年轻化，也更加快速。采用古典赛制的锦标赛减少了，但快棋和超快棋赛事却多了许多。年轻棋手占据了赛场的主导地位：当前世界冠军赛的两位参赛者都只有二十岁。如今有大量视频课程，既有免费的，也有价格相当昂贵的，专门讲解特定的开局、兵型、残局或国际象棋技巧。此外，还有许多广受欢迎的国际象棋

直播主，涵盖从世界顶尖棋手到初学者的各个层次，为不同水平的观众提供内容。例如，Hikaru Nakamura 是世界顶尖棋手之一，目前拥有 370 万名粉丝 [17]。许多平台会对重大赛事进行现场直播，并以不同语言提供解说，面向世界各地的观众。

另一方面，几乎没人关注正在进行的世界国际象棋锦标赛。印度、乌兹别克斯坦以及国际象棋界以外，甚至很少有人知道棋手们的名字。

3 国际象棋与数学：差异

当然，国际象棋并不是数学。Norbert Wiener 有一个颇为深刻的观察 [18,第 21]页：

> “数学的优势在于，在这个领域里，一个人的错误往往一目了然，可以用铅笔一划加以改正或抹去。数学常被拿来与国际象棋相提并论，但两者的不同之处在于，数学只看一个人最出色的时刻，而不看最糟糕的时刻。一次疏忽就可能输掉一盘国际象棋，而在众多被丢进废纸篓的尝试中，只要有一次成功地解决了问题，就足以让一位数学家声名鹊起。”

的确，连续走出十步精彩棋，仍可能因为一次失误而输掉比赛。过去十五年来一直位居世界第一的 Magnus Carlsen，其伟大之处与其说在于出色的进攻棋风，不如说在于他极少犯错，同时还能灵活应对棋局中不同的局面和阶段。另一方面，在数学领域，一个绝妙的想法就能让数学家声名大噪，即使他在其他方面的成果并不突出，甚至还存在错误。

在国际象棋中，无论进行多少盘棋局，或研究多少种开局变例，这些努力都不会为量子力学或其他领域有价值的事物提供任何理论基础。然而，国际象棋的优势在于，新想法或新变例的价值可以在棋盘上得到检验。在数学中，新想法或新发展的价值则不那么明确。新思想有时需要很长时间才能在数学界获得认可，而有些思想则会被彻底遗忘。

此外，数学没有国际象棋曾经拥有的奢侈条件：调整的时间。计算机国际象棋的发展速度远低于预期。例如，Botvinnik 曾预计，到 1975 年，国际象棋程序便能达到大师水平；参见 Alexander 的《国际象棋之书》第 2 章“国际象棋与计算机”。 [19][1] Botvinnik 的预期落后了十多年。直到 20 世纪 80 年代末，国际象棋计算机才达到国际大师的水平。此后，它们的棋力迅速提升。在这方面，与国际象棋相比，数学处于相当不利的地位。尽管数学家对人工智能在数学中的作用存在诸多分歧，但他们在一点上意见一致：即使在一年前，也没有人预料到人工智能会取得如此大的进展。

4 接下来会发生什么

1997 年，深蓝击败 Garry Kasparov 后，就再也没有下过一盘棋。相反，它被拆解了，而 IBM 则转向了一个新项目。因此，我们应该预料到，高科技产业很快就会不再涉足数学，转而投向其他领域。

[1] C. H. O’D. Alexander 本人也是一位颇具魅力的人物。他曾两度获得英国国际象棋冠军，并在第二次世界大战期间于布莱切利园参与恩尼格玛项目。

一些科技公司尝试从迅速增长的已证明数学成果中获利，并非毫无可能。在国际象棋领域，ChessBase 等公司 [20] 会出售数据库，其中基本上收录了它们能找到的所有棋局，并配有可按局面或主题高效搜索的工具。我们完全有理由相信，一些公司也会对数学做同样的事。所有数据都有价值——数学成果也不例外——所以，或许这是 arXiv 入局的好机会。

然而，即使我们假设如今享有的所有人工智能和互联网工具都将继续可用，我们仍然需要回答一个问题：数学应当朝哪些新方向发展?

数学的五个新可能方向

数学界并不统一。数学通常分为纯数学、应用数学和计算数学。这些领域之间的界限并不十分清晰，但总的来说，各领域的情况存在相当大的差异。

真正的应用数学——即实际解决现实世界问题的数学——目前似乎没有面临危险。困难的现实问题本质上很难，即使有人工智能辅助，依然如此。如果人工智能帮助解决了一个这样的问题，那很好：我们可以继续处理下一个问题。模型总是可以变得更加复杂和贴近现实，加入更多参数和额外的复杂性。计算数学的情况也类似。无论计算机变得多么快速，总会有一些问题需要依靠其计算能力。

纯数学（或称休闲数学）似乎是另一回事：这一领域目前看起来正陷入危机。到目前为止，政府和大学一直为纯数学提供大量资金，但这种情况可能很快就会改变。人们普遍认为，只要纯数学研究中哪怕有1%最终证明有用，就能为其他所有研究买单；然而，这种看法缺乏依据，也将不再足以作为资助的正当理由。很快，人们就会提出这样的问题：纯数学家拿薪水究竟是在做什么？他们的产出是什么？过去，人们可以列举大量出版物、已证明的成果、书籍和引用来为资助提供依据。如今，有了人工智能辅助，几乎任何人都能做到这些。人类数学家在发展理论方面仍然更出色，但这一优势可能也维持不了多久了。那么，我们应该怎么办?

简而言之，就是要务实并作出调整。新的机遇很多。与国际象棋不同，数学的范围极其广阔。随着这门学科不断拓展，像欧拉或庞加莱那样学识广博的数学家已越来越少。如今，数学包含许多彼此交流甚少的领域。即使在同一个数学系里，各研究小组之间也很少交流，彼此的研究工作也不甚了解。

人工智能的一个优势在于，它接受了**所有** 现有数学文献的训练，能够借鉴不同领域的知识来证明特定结果。数学的一些领域，例如概率论和偏微分方程，彼此关系密切；另一些领域，例如代数几何和泛函分析，其联系则不那么明显。如果这些联系确实存在，人工智能就有能力发现它们。若能看到同一个结果是否也可以借助不同领域的工具来证明，同样会很有意思。从历史上看，这类成果备受推崇：阿蒂亚–辛格指标定理将分析学与《拓扑学》联系起来，而怪兽月光则将有限群论与模函数联系起来。可以肯定，还有许多这样的联系有待发现。如果数学朝这个方向发展，未来的数学家应当掌握更广泛的数学知识，而不是专攻单一领域——从某种意义上说，这将是回归过去数学家的风貌。

另一个想法受到 AlphaZero（AlphaGo 的后继者）的启发。AlphaZero 从国际象棋规则出发，且未接受人类棋局训练，通过

强化学习不断与自身对弈数百万局。在大量计算资源的支持下，它很快达到了超越人类的国际象棋水平[21]。

一个自然的类比是，训练人工智能在不提供人类撰写的证明的情况下，依据指定的推理规则探索一个形式公理系统。例如，一个有趣的实验是以欧几里得公设作为起点交给人工智能，考察它会发展出怎样的数学，包括它认为还需要哪些额外假设。从纯哲学角度来看，这也很有意思。人类的数学是唯一的可能吗？还是说，完全不同的外星数学也可能存在？

教育也是数学不可或缺的一部分。传统上，数学教育一直被认为很有价值，既能为从事各种职业做好准备，也能培养严谨的推理能力和解决问题的技能。如今，人工智能已经能够完成许多学生需要多年学习才能掌握的任务，这种价值便不能再被视为理所当然。数学界必须努力吸引并留住数学专业学生，同时让公众相信，数学教育依然值得投入。这就需要重新思考我们教什么，以及如何阐明其价值：学生应该学些什么？在人工智能时代，数学训练又能让他们胜任什么？随着研究的作用日渐减弱，教育的作用可能会——或许也应该——更加凸显。

最后，我们应该记住，国际象棋和数学都可以美得令人赞叹。要充分领略这种美，需要具备一定的背景知识。过去，许多杂志和报纸都会刊登国际象棋谜题或棋局研究。就连《纽约时报》也曾在星期二刊登国际象棋专栏；该专栏于2014年停刊。在数学领域，情况就没那么乐观了。马丁·加德纳在《科学美国人》上备受赞誉的“数学游戏”专栏，在20世纪80年代初停止定期刊载。

如今情况正在改变。许多 YouTube 频道都在普及数学知识。其中最知名的频道之一是 Grant Sanderson 的 3Blue1Brown [22], ，它制作了高质量的视频。高等数学讲座和课程目前也可以在网上免费获取，其中包括菲尔兹奖得主的讲座和视频课程 [23]。不过，我们还需要做得更多，而且很可能需要采取更系统的方式。我们应该在各个层面普及数学，包括小学。十年前，我在孩子们的小学校园里散步时，惊喜地发现，大多数幼儿园学生和一年级学生都把数学列为自己最喜欢的科目。显然，学校引入了教育类电脑游戏，学生必须解出数学题才能继续闯关。我认为，这种对数学的热情并没有延续到小学的头几个年级之后。像 Brilliant [24] 这样的平台非常受欢迎，学校和大学应该更广泛地推广它们。

6 结论

人工智能创造了许多机遇，今后也将继续如此。人工智能公司在推广产品时，无意间激发了公众对数学的浓厚兴趣。许多过去邀请政治“专家”评论世界事务的热门播客和频道，如今开始邀请真正的数学家来解释正在发生的事情。这是数学界借助这股关注热潮、做出必要调整的机会。然而，时间紧迫，数学界需要迅速行动。

数学家现在最糟糕的做法，就是对现状视而不见，或者一再宣称数学已经死了。我想，没人愿意看到十年后，顶尖大学的数学系里挤满了老人，他们研究着无人关心的问题，还在怀念“美好的旧时光”。

参考文献

[1] 达特茅斯学院瓜里尼研究生与高级研究学院数学系。 https://graduate.dartmouth.edu/admissions/programs/mathematics[2] R. Borcherds 和 E. Weinstein，《菲尔兹奖得主与 Eric Weinstein 谈数学的未来》，C. Jaimungal 主持的访谈，《万物理论》YouTube 视频。 https://www.youtube.com/watch?v=XqgnJyQZGG4[3] E. Lasker，《关于收敛边界上的级数》，《伦敦皇家学会哲学学报》。A辑196卷（1901），431–477页。 https://www.jstor.org/stable/90812.[4] M. Euwe，《四变量中两个协变向量场的微分不变量》，博士学位论文，阿姆斯特丹大学，P. Noordhoff，格罗宁根，1926年。[5] M. M. Botvinnik，《同步电机的励磁控制与静态稳定性》[《同步电机的励磁控制与静态稳定性》], 国家能源出版社，莫斯科—列宁格勒，1950年（俄文）。[6] A. Karpov，Dmitry Gordon 访谈，2007年7月5日，电视访谈，Dmitry Gordon 官方网站上的文字记录（俄文）。 https://gordon.com.ua/tv/a-karpov/.[7] J. D. M. Nunn，《代数拓扑中的一些问题》，哲学博士论文，牛津大学，1978年。[8] J. D. M. Nunn，有限 H空间的同伦类型，《拓扑学》18卷（1979），第1期，17–28页。[9] G. Kasparov 与 D. Trelford，《变革之子：Garry Kasparov 自传》，Hutchinson出版社，伦敦，1987年。[10] 美国众议院，历史、艺术与档案办公室，《国防教育法》。https://history.house.gov/Records-and-Research/Listing/lfp_006/.[11] 国家教育统计中心，《教育统计摘要》，2021年，表325.65：高等教育机构授予的数学与统计学学位，按学位层次和学生性别划分：1949–50至2019–20年间的部分年份。 https://nces.ed.gov/programs/digest/d21/tables/dt21_325.65.asp[12] 国家研究委员会，《博士学位百年：增长与变化的数据分析》，美国国家科学院，华盛顿特区，1978年，表39。 https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED156064.pdf.[13] 康奈尔大学数学系，研究生项目历史。 https://math.cornell.edu/graduate-program-history.[14] 工业与应用数学学会，使命与历史。 https://www.siam.org/about-us/mission-history/.[15] 明尼苏达大学数学及其应用研究所，历史。 https://cse.umn.edu/ima/history。

[16] J. R. 卡帕布兰卡，《莫斯科1925年锦标赛纪实及修改国际象棋的建议》，《古巴双月刊》，21，第2期（1926年3月至4月），第161–168页。爱德华·温特英译，《卡帕布兰卡论莫斯科，*1925*年》， https://www.chesshistory.com/winter/extra/capablanca7.html。[17] H. 中村，*GMHikaru*，YouTube频道。 https://www.youtube.com/GMHikaru[18] N. 维纳，《前神童：我的童年与青年时期》，西蒙与舒斯特，纽约，1953年。[19] C. H. O'D. Alexander，《国际象棋之书》，Hutchinson出版社，伦敦，1973年。[20] ChessBase，《*ChessBase '27—Mega Package*》，2026年11月。 https://shop.chessbase.com/en/products/chessbase_27_mega_package[21] D. 西尔弗等，《通过自我对弈掌握国际象棋、将棋和围棋的通用强化学习算法》，《科学》**362**（2018年），第6419期，第1140–1144页。 https://doi.org/10.1126/science.aar6404。[22] G. 桑德森，*3Blue1Brown*，YouTube频道。 https://www.youtube.com/@3blue1brown[23]R. E. 博赫兹，*Richard E. Borcherds*，YouTube频道。 https://www.youtube.com/channel/UCIyDqfi_cbkp-RU2OaBF-MQ[24] Brilliant，*Brilliant*：互动学习平台。 https://brilliant.org/