

DOI: 10.7511/jslx20230502005

ChatGPT 在计算结构力学领域的应用初探与浅析

阎军*, 姜立哲, 耿东岭

(大连理工大学 工业装备结构分析国家重点实验室 工程力学系, 大连 116024)

摘要: OpenAI 开发的人工智能聊天机器人 ChatGPT 自发布以来, 受到了社会各界的广泛关注。凭借卓越的分析计算能力和良好的开放性, 该模型已作为一种全新服务信息检索和问题解决的助手。平面桁架结构作为结构力学中的常见结构, 在工程实践中通常采用刚度法编写计算程序; 然而, 初学者或缺乏力学背景的研究人员难以高质量地快速完成编程任务。本文首先简要介绍了 ChatGPT 的原理及应用, 然后以使用 ChatGPT 快速生成平面桁架计算程序为例, 探索并展示了 ChatGPT 辅助完成计算结构力学程序编制的卓越性能与具体使用方法, 最后讨论了以 ChatGPT 为代表的生成式人工智能在计算结构力学程序开发中的应用和挑战。

关键词: ChatGPT; 计算结构力学; 人工智能; 强化学习

中图分类号: O302 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-4708(2023)03-0499-06

1 引言

ChatGPT 是由 OpenAI 开发并于 2022 年 11 月正式发布的一款人工智能 AI (Artificial Intelligence) 聊天机器人, 该模型是 GPT-3 模型的改进版本(称为 GPT-3.5)。ChatGPT 在 GPT-3 的基础上利用了人类反馈强化学习 RLHF (Reinforcement Learning from Human Feedback)^[1] 进行微调, 最终在 1750 亿参数规模的数据集上进行训练^[2]。由于其出色的分析和计算能力与全天候的可用性, 该平台开放的第 1 周就有 100 万用户注册使用, 并认为是人工智能提供的在线搜索信息或解决方案的一种全新水平的服务。

ChatGPT 的核心是生成预处理转换器模型 GPT (Generative Pre-trained Transformer)^[3]。该模型训练过程中采用段落化的描述性语句作为输入, 其数据集标签是基于人脑产生的真实答复。基于此类数据库训练的 GPT 模型, 能够具有一定类人脑的逻辑推理能力, 可以根据用户的输入, 提供具有较强逻辑连贯性的预测结果。ChatGPT 相较于前代的 GPT 而言, 采用了强化学习器进行训练。

该学习器能够对生成的回应进行评分, 再由训练师根据模型预测的质量, 为强化学习模型提供奖励, 进一步优化模型性能。ChatGPT 还能够保持输入输出响应的状态, 从而保证用户进行持续性对话。

由于 ChatGPT 出色的响应输出与感知质量, 其很快被认为是“行业下一个大的颠覆者”^[4]。早期的学术研究发现, ChatGPT 能够通过复杂的美国专业法律认证核心考试^[5]。Fijačko 等^[6]测试了 ChatGPT 回答美国心脏协会 (AHA) 基础生命支持 (BLS) 和高级心血管生命支持 (ACLS) 考试问题的准确性。在该研究中, 虽然 ChatGPT 未达到任何一项考试的及格门槛, 但相较于以往的人工智能系统, ChatGPT 提供的答案总体来说较为相关、准确, 并且与复苏指南的一致性优于以前的研究。

ChatGPT 是生成式的人工智能, 其不仅能分析现有的数据, 还可以生成新的数据。Dowling 等^[7]对 ChatGPT 帮助撰写研究报告的潜力进行了结构化测试。首先, 让 ChatGPT 完成学者常做的 4 项工作, (1) 提出新想法, (2) 综述文献, (3) 数据处理与识别, (4) 实证检验。其次, 再由经验丰富的学者组成小组对 ChatGPT 预测结果进行评分。最后, 发现评分结果中得分最高的是第 (1) 项工作。这表明 ChatGPT 更擅长做创新性的工作, 通过其强大的学习能力与跨领域的知识连接性, 为研究者提供创造性的新想法。

人工智能的一个目标是产生人工通用智能 AGI (Artificial General Intelligence), 即能够执行各种智能任务的 AI^[8]。ChatGPT 是第一批倾向

收稿日期: 2023-05-02; 修改稿收到日期: 2023-05-23.

基金项目: 国家重点研发计划 (2021YFA1003501); 国家自然科学基金 (U1906233); 大连市支持高层次人才创新创业 (2021RD16); 辽宁省兴辽英才计划 (XLYC2002108); 中央高校基本科研业务费专项资金 (DUT22ZD209) 资助项目.

作者简介: 阎军* (1978-), 男, 博士, 教授
(E-mail: yanjun@dlut.edu.cn).

于 AGI 的项目之一,此外,还有 Siri, Alexa 和 LaMDA 等项目。其一定程度上具有类似人类智能的能力,在单个任务中可能不会超过专业人员的水平,但其在数据处理规模、响应速度和跨领域方面具有压倒性的优势。

OpenAI 已经在计算机领域应用于程序的编制与解释,并初步体现出其辅助程序编制的高效率和规范化等方面的优势^[9]。但其在计算结构力学领域的程序编制探索和分析的研究工作还非常有限,甚至空白。本文研究针对上述工程需求,开发了快速且高质量完成计算结构力学中平面桁架计算程序编制任务的方法。需要特别说明的是,OpenAI 于 2023 年 3 月 14 日发布了 GPT-4 模型。据报告称,GPT-4 是对 ChatGPT 的显著改进,可以图像作为输入。但其与 ChatGPT 同样存在许多相同的问题,如对话容量限制、回答存在偏见以及对不存在研究的引用等^[10]。

2 ChatGPT 在计算结构力学中的应用探索

桁架结构(Truss Structure)是一种由杆件直接相连组成的结构系统。桁架结构中的杆件均为二力杆,并通过节点连接在一起。桁架结构的优点是材料利用率高,结构重量轻,传力路径明确,便于分析和设计。桁架结构常见于桥梁、屋顶和塔架等建筑和工程领域。

平面桁架结构(Planar Truss Structure)是一种特殊的桁架结构,其所有节点和杆件都位于同一个平面内。平面桁架结构可以承受同一平面内的荷载,并将荷载通过杆件内部的轴向力传递。平面桁架结构简单,且分析相对容易。在计算结构力学中,可以根据刚度法编写平面桁架计算程序。通过输入结构参数,计算出桁架的应力、应变和变形等相关参数,从而评估结构的变形和强度。本文以平面桁架计算程序为例,探索和展示 ChatGPT 在计算结构力学领域程序编制中的应用,并给出初步的心得与讨论。

ChatGPT 的模型预测质量很大程度上取决于

训练数据的准确性,但更多的情况是用户提供的问题和提示难以令 ChatGPT 理解,无法发挥其最大的效用。作为预训练语言模型 PLM(Pre-trained Language Model),ChatGPT 的研究思路通常是“预训练-微调”,即将经过预训练的模型应用于下游任务中,并根据下游任务中的数据进行模型的微调^[11]。然而,随着 PLM 体量的不断增大,对其进行微调的硬件和数据需求以及实际代价也在不断上涨。因此,为降低模型总体参数量以提高其训练效率,Prompt 工程技术应运而生。

融入了 Prompt 的新训练模式大致可以归纳成“预训练-微调-预测”,即重新调整下游任务的形式使其类似于预训练任务,从而帮助 PLM 回忆起在预训练阶段所学习的知识。如在输入中加入描述场景和情感的词汇可以使模型回忆起相应的场景和情感分类标签。这就可以解释为什么 Fijačko 等^[6]在研究中发现基于场景的问题中,ChatGPT 不仅提供了问题的答案,而且还提供了有洞察力的解释来支持给定的答案。

通过选择合适的 Prompt,可以控制模型的预测输出,从而将一个完全无监督训练的预训练语言模型用于各种下游任务的解决。经过尝试,在提问时应注意以下几点来提高使用效率。

(1) 角色指定。通过指定模型要扮演的特定角色来引导 ChatGPT 的输出。

(2) 场景描述。使用关键词描述任务的具体场景和环境。

(3) 制定目标。确保模型完成编写代码任务,而不是给出编程思路。

(4) 详细描述。充分详细的描述能够让模型更好地理解任务要求和数据结构。

(5) 一步一步来。这是一种用来鼓励 ChatGPT 生成反思和沉思性文本的技巧。

(6) 控制生成。ChatGPT 的单次会话生成字符数与持续聊天记忆能力都存在限制,可以通过主动引导分成多个会话来避免会话响应在任意位置中断和新对话中变量名发生改变等问题。

根据以上建议,具体研究过程如下。

用户输入:

我希望你作为一个结构力学计算程序的研究者,使用 python 语言编写求解平面桁架结构的节点位移和杆件内力的代码,你编写的程序首先需要读取输入文件中的信息,输入信息的格式为:第 1 行为节点总数、第 2 行为固定节点编号、第 3 行为杆件数、第 4 行为节点的 x 坐标、第 5 行为节点的 y 坐标、第 6 行为杆件左节点编号、第 7 行为杆件右节点编号、第 8 行为抗拉刚度、第 9 行为荷载节点号、第 10 行为荷载在 x 方向上的分量、第 11 行为荷载在 y 方向上的分量,同一行中的多个元素用“,”隔开。具体的 input 文件如下:

```
4
2
6
```

(续)

```

0,1,0.5,0.5
0,0,0.2887,0.8660
1,3,2,1,2,1
4,4,4,3,3,2
4800000,4800000,4800000,4800000,4800000,4800000
4
90.710
-70.710

```

输出的结果需要给出产生位移的节点编号和相应产生的 x 和 y 方向的位移,以及每个杆件的最终长度和杆件内力。代码中应该包含读取数据、计算单元刚度矩阵、组集总刚度矩阵、求解节点位移、计算杆件杆端力等过程。直接生成完整的代码,在代码中写出简单的注释,尽量压缩字符数,不要着急,让我们一步一步来。如果你因为最大字符数限制的原因,无法在一条信息中将代码显示完整,请分成多条消息显示,并在我向你发送“继续”时,给出下一部分的内容。

ChatGPT 响应:

```

1     import numpy as np
2
3     # 读取输入文件并初始化节点、杆件和载荷信息
4     with open("input.txt", "r") as f:
5         n_node = int(f.readline().strip())           #节点总数
6         n_fixed_node = list(map(int, f.readline().strip().split(","))) #固定节点编号
7         for i in range(len(n_fixed_node)):
8             n_fixed_node[i] -= 1
9         n_bar = int(f.readline().strip())           #杆件数
10
11        # 初始化节点坐标和载荷信息
12        coord = np.zeros((n_node, 2))               #节点坐标
13        load = np.zeros((n_node, 2))               #节点载荷
14        x_coord = list(map(float, f.readline().strip().split(","))) #节点 x 坐标
15        y_coord = list(map(float, f.readline().strip().split(","))) #节点 y 坐标
16        for i in range(n_node):
17            coord[i][0] = x_coord[i]
18            coord[i][1] = y_coord[i]
19
20        # 初始化杆件信息
21        bar = np.zeros((n_bar, 4))
22        left = list(map(int, f.readline().strip().split(","))) #读取左节点
23        right = list(map(int, f.readline().strip().split(","))) #读取右节点
24        k = list(map(float, f.readline().strip().split(","))) #读取抗拉刚度
25        for i in range(n_bar):
26            bar[i][0] = left[i] - 1 #杆件左节点编号
27            bar[i][1] = right[i] - 1 #杆件右节点编号
28            bar[i][2] = k[i] # 抗拉刚度
29
30        # 初始化载荷信息
31        load_node = int(f.readline().strip()) - 1
32        load[load_node][0] = float(f.readline().strip())
33        load[load_node][1] = float(f.readline().strip())
34
35        # 初始化载荷向量
36        p = np.zeros((2*n_node, 1))
37        p[2*load_node] = load[load_node][0]
38        p[2*load_node+1] = load[load_node][1]
39
40        # 初始化刚度矩阵和节点位移向量
41        K = np.zeros((2*n_node, 2*n_node))
42        u = np.zeros((2*n_node, 1))
43
44        # 计算杆件长度和杆件方向余弦
45        L = np.zeros(n_bar)
46        cos = np.zeros((n_bar, 2))
47        sin = np.zeros((n_bar, 2))
48        for i in range(n_bar):
49            left_node = int(bar[i][0])
50            right_node = int(bar[i][1])
51            x1 = coord[left_node][0]
52            y1 = coord[left_node][1]
53            x2 = coord[right_node][0]
54            y2 = coord[right_node][1]
55            L[i] = np.sqrt((x2-x1)**2 + (y2-y1)**2) #计算杆件长度
56            cos[i][0] = (x2-x1)/L[i]
57            cos[i][1] = (y2-y1)/L[i]
58            sin[i][0] = -cos[i][1]
59            sin[i][1] = cos[i][0]

```

(续)

```

60     # 计算刚度矩阵
61     for i in range(n_bar):
62         left_node = int(bar[i][0])
63         right_node = int(bar[i][1])
64         k = bar[i][2]
65         kx = k*cos[i][0]**2 + k*sin[i][0]**2
66         ky = k*cos[i][1]**2 + k*sin[i][1]**2
67         kxy = k*cos[i][0]*cos[i][1] + k*sin[i][0]*sin[i][1]
68         K[2*left_node][2*left_node] += kx
69         K[2*left_node+1][2*left_node+1] += ky
70         K[2*left_node][2*left_node+1] += kxy
71         K[2*left_node+1][2*left_node] += kxy
72         K[2*right_node][2*right_node] += kx
73         K[2*right_node+1][2*right_node+1] += ky
74         K[2*right_node][2*right_node+1] += kxy
75         K[2*right_node+1][2*right_node] += kxy
76
77     # 处理固定节点和载荷节点的边界条件
78     for i in range(len(n_fixed_node)):
79         node = n_fixed_node[i]
80         K[2*node][2*node] = 1
81         K[2*node+1][2*node+1] = 1
82         u[2*node] = 0
83         u[2*node+1] = 0
84
85     # 求解节点位移向量
86     u = np.linalg.solve(K, p)
87
88     # 输出结果
89     print("位移结果: ")
90     for i in range(n_node):
91         print("节点", i+1, "的位移: x=", round(u[2*i][0], 3), " y=", round(u[2*i+1][0], 3))
92     print("杆件内力: ")
93     for i in range(n_bar):
94         left_node = int(bar[i][0])
95         right_node = int(bar[i][1])
96         k = bar[i][2]
97         L0 = L[i]
98         L1 = L0 + u[2*right_node][0] - u[2*left_node][0]
99         L2 = L0 + u[2*right_node+1][0] - u[2*left_node+1][0]
100        delta_L = L2*cos[i][1] - L1*cos[i][0]
101        f = k*delta_L
102        print("杆件", i+1, "的长度: ", round(L1, 3), ", 内力: ", round(f, 3))

```

以图 1 所示结构为例,在 python_3.8 与 numpy_1.10 环境下,将使用 ChatGPT 生成的程序计算与参考解进行对比,结果列入表 1 和表 2。

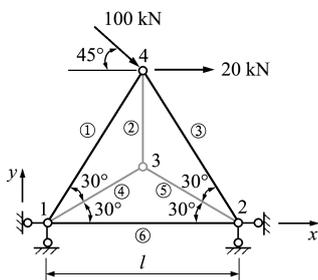


图 1 示例结构
Fig. 1 Example structure

可以看出,ChatGPT 作为一种生成式人工智能,能快速生成准确的答案,提高科研工作的效率。这为研究人员提供了一种高效准确的科研工具,有助于学者快速实现新的科研想法,并验证相关假设。同时,这也有助于推动计算结构力学领域的技术创新和学术研究的进展。

此外,ChatGPT 也为初学者提供了一种简单直观的学习途径。ChatGPT 使用自然语言描述问题并获得解决方案,使得初学者能够更快地掌握计算结构力学程序编制的技能,这对于推广和普及计算结构力学程序具有积极意义。

表 1 节点位移

Tab. 1 Nodal displacement

节点号	X 方向位移			Y 方向位移		
	ChatGPT	参考解*	相对误差/%	ChatGPT	参考解*	相对误差/%
3	0	0	0	-0.5×10^{-5}	-0.5×10^{-5}	0
4	3.8×10^{-5}	3.8×10^{-5}	0	-0.7×10^{-5}	-0.7×10^{-5}	0

注: * 参考解由依据力法方程解析求解获得。

表 2 杆件长度与杆件内力
Tab. 2 Member length and internal force

杆件号	杆件长度			杆件内力		
	ChatGPT	参考解*	相对误差/%	ChatGPT	参考解*	相对误差/%
1	1.0000	1.0000	0	61.2303	61.2303	0
2	0.5773	0.5773	0	-19.6535	-19.6535	0
3	1.0000	1.0000	0	-120.1857	-120.1857	0
4	0.5774	0.5774	0	-19.6522	-19.6522	0
5	0.5774	0.5774	0	-19.6522	-19.6522	0
6	1.0000	1.0000	0	0.0000	0.0000	0

3 生成式人工智能对计算结构力学的促进与挑战浅析

ChatGPT 发布后的火爆程度与广泛的社会评论引起了许多学者的关注,由于其强大的计算能力和信息处理能力,ChatGPT 正在逐渐成为研究者的重要辅助工具。

3.1 生成式人工智能对计算结构力学发展的促进

ChatGPT 在科研过程中的出现带来了新的可能性,其可以帮助研究者快速迭代识别相关概念,从而加速研究过程。如研究者可以使用 ChatGPT 进行文献综述,能够突破个人无法学习所有学科知识的局限性。ChatGPT 可以总结多个学科领域知识的相关性,建立前所未有的知识连接,为研究者提供新的灵感与解决方案。

此外,ChatGPT 在数据分析、程序编写和结论制定等研究过程中的应用也已经基本成熟。如通过使用 ChatGPT 生成平面桁架计算程序,研究者可以在更短的时间内完成复杂的编程和计算任务,这无疑对科研过程产生了深远影响。

以 ChatGPT 为代表的生成式人工智能将在新的研发模式中成为混合创新团队的一员,能够提供更大的问题解决空间,贡献新的想法和概念,并获得更高的创新绩效。

3.2 生成式人工智能对计算结构力学的挑战

ChatGPT 的易用性和与日常使用的应用程序的集成也带来了新的挑战。一方面,虽然 ChatGPT 可以快速获取并整合大量信息,但由于训练数据集中可能存在的偏见和误导信息,会导致其生成的内容并不完全准确。因此,研究者在使用 ChatGPT 时,必须谨慎对待其提供的结果,并进行必要的事实核查;另一方面,ChatGPT 虽然可以加速研究过程,但在一些需要深入思考和理解的问题上,仍无法替代人类研究者,事实上从本文展示的算例可以看出,使用者还是需要学习并掌握计算结构力学的基本理论、数据结构 and 程序框架等。因此,研

究者应当正确地利用 ChatGPT,将其视为一个辅助工具,而不是研究的全部。

面对这些挑战,需要制定和实施相关的使用政策和指导原则,以确保 ChatGPT 的使用是负责任的,并持续地研究以了解和改进 ChatGPT 的局限性。同时,应该鼓励研究者进行更多的批判性思维和创新性思考,而不仅仅是依赖 ChatGPT。

4 结 论

ChatGPT 作为一个对所有人开放的人工智能应用程序,可以帮助克服由于缺乏数据驱动知识或技术而存在的一些困难。然而,也应该清楚地认识到 ChatGPT 等工具依旧面临着许多挑战。

(1) 数据质量和偏差。模型的输出可能会受训练数据集中的任何偏差影响。为了让模型提供准确和无偏见的反馈,必须使用一个高质量数据集。

(2) 模型输出的可解释性。ChatGPT 可以生成类似人类的文本,但生成结果的机制没有透明度,可能会使理解模型的反馈并决定其是否准确和相关变得困难。

(3) 隐私和安全。ChatGPT 可能会访问和处理问题中的敏感信息,需要确保这些信息得到合适的保护,并符合适用的隐私法。此外,ChatGPT 可能用来在考试或作业中作弊。

(4) 伦理问题。人工智能模型的广泛使用可能引发一系列伦理问题,如取代人类工作职位,以及对边缘化群体的潜在影响。

ChatGPT 标志着人工智能从算法智能迈向语言智能的转变,在现实世界与人工智能、真实与虚拟和人与机器的交互活动中,都实时发挥着积极而重要的作用^[12]。在即将到来的人工智能与工业生产相结合的工业 5.0 时代中,ChatGPT 的问答机制和自然语言处理技术,可以在工业生产现场与工人和管理人员对话,提供实时指导和解决方案。从产品设计扩展到物流管理,再到质量控制等方面,

ChatGPT 将实现智能化协同,提高生产效率和质量,为智能制造和自动化生产提供更多的可能性。

参考文献(References):

- [1] Ouyang L, Wu J, Jiang X, et al. Training language models to follow instructions with human feedback [EB/OL]. 2022. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2203.02155>.
- [2] Brown T B, Mann B, Ryder N, et al. Language models are few-shot learners [EB/OL]. 2020. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.14165>.
- [3] Radford A, Narasimhan K, Salimans T, et al. Improving language understanding by generative pre-training [EB/OL]. 2018. https://cdn.openai.com/research-covers/language-unsupervised/language_understanding_paper.pdf.
- [4] Grant. A new chat bot is a ‘code red’ for Google’s Search business [EB/OL]. New York Times, 2022.
- [5] Bommarito M I, Katz D M. GPT takes the bar exam [EB/OL]. 2022. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2212.14402>.
- [6] Fijačko N, Gosak L, Štiglic G, et al. Can ChatGPT pass the life support exams without entering the American heart association course? [J]. *Resuscitation*, 2023, **185**:109732.
- [7] Dowling M, Lucey B. ChatGPT for (finance) research: The bananarama conjecture [J]. *Finance Research Letters*, 2023, **53**:103662.
- [8] Kissinger H, Schmidt E, Huttenlocher D P, et al. *The Age of AI: And Our Human Future* [M]. Hachette UK, 2021.
- [9] Surameery N M S, Shakor M Y. Use ChatGPT to solve programming bugs [J]. *International Journal of Information Technology and Computer Engineering*, 2023, **3**(1):17-22.
- [10] Kendrick C. The Efficacy of ChatGPT: Is it time for the librarians to go home? [EB/OL]. 2023. <https://scholarlykitchen.sspnet.org/2023/01/26/guest-post-the-efficacy-of-chatgpt-is-it-time-for-the-librarians-to-go-home/>.
- [11] Liu P F, Yuan W Z, Fu J L, et al. Pre-train, prompt, and predict: A systematic survey of prompting methods in Natural Language Processing [EB/OL]. 2021. <http://doi.org/10.48550/arXiv.2107.13586>.
- [12] Watson R T, Webster J. Analysing the past to prepare for the future: Writing a literature review a roadmap for release 2.0 [J]. *Journal of Decision System*, 2020, **29**(3):129-147.

Preliminary exploration and analysis of ChatGPT’s application in the field of computational structural mechanics

YAN Jun*, JIANG Li-zhe, GENG Dong-ling

(State Key Laboratory of Structural Analysis for Industrial Equipment, Department of Engineering Mechanics,
Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: Since its launch, ChatGPT, an artificial intelligence chatbot developed by OpenAI, has garnered widespread attention from various sectors of society. Thanks to its exceptional analytical computing capabilities and admirable openness, this model has been employed as a new assistant for service information retrieval and problem-solving. Plane truss structures, commonly seen in structural mechanics, are often analysed utilizing stiffness method in engineering practice. However, beginners or researchers lacking a background in mechanics might struggle to efficiently accomplish high-quality programming tasks. This paper first provides a brief introduction of the principles and applications of ChatGPT. It then uses the rapid generation of plane truss calculation programs created by ChatGPT as an example, exploring and demonstrating the outstanding performance and specific usage methods of ChatGPT in aiding the generation of computational structural mechanics programs. Finally, the paper discusses the applications and challenges of generative artificial intelligence, represented by ChatGPT, in the development of computational structural mechanics programs.

Key words: ChatGPT; computational structural mechanics; artificial intelligence; reinforcement learning

引用本文/Cite this paper:

阎 军, 姜立哲, 耿东岭. ChatGPT 在计算结构力学领域的应用初探与浅析 [J]. 计算力学学报, 2023, **40**(3):499-504.

YAN Jun, JIANG Li-zhe, GENG Dong-ling. Preliminary exploration and analysis of ChatGPT’s application in the field of computational structural mechanics [J]. *Chinese Journal of Computational Mechanics*, 2023, **40**(3):499-504.