

基于生成式人工智能的热带气旋科学插画优化 ——风致表面热交换(WISHE)物理机制视觉化

陈弘正

黄冈师范学院机电与智能制造学院, 湖北省黄冈市

DOI: 10.62836/jer.v4n1.0921

摘要: 风致表面热交换(WISHE)是解释热带气旋发展的重要理论,但其涉及多重物理机制相互作用和非线性特征,使得准确理解和呈现WISHE过程成为科学传播的难点。本研究尝试运用生成式人工智能(Generative AI)技术,探索以科学知识建构为导向的热带气旋插画优化方法,以期提升WISHE机制可视化效果及公众对该物理机制的理解。研究以ChatGPT和Midjourney为AI工具,构建了一个涵盖文献分析、提示词设计、图像生成与迭代的循环优化 workflow。ChatGPT从文献中提取关键科学信息,用于设计Midjourney的提示词,生成科学准确且具有视觉冲击力的插画。之后,通过ChatGPT进行量化和定性评估,并根据评估结果调整提示词,以提高图像的准确性和视觉效果。研究结果表明,AI生成的插画能有效捕捉热带气旋的关键气象过程,例如角动量守恒、边界层流入和潜热释放,并清晰展现摩擦力、热通量等细节信息。本研究证实了结合生成式AI和科学知识建构,可以有效优化热带气旋科学插画,并为气象学领域的科学传播教育提供新思路。

关键词: 生成式人工智能; 科学插画; 热带气旋; 风致表面热交换(WISHE); 教育技术

Optimization of Tropical Cyclone Scientific Illustrations Based on Generative AI—Visualization of the Wind-Induced Surface Heat Exchange (WISHE) Mechanism

Hung-Cheng Chen

School of Mechatronics and Intelligent Manufacturing, Huanggang Normal University, Huanggang, Hubei

Abstract: Accurately understanding and presenting the Wind-Induced Surface Heat Exchange (WISHE) mechanism is crucial for effective communication of this vital theory in tropical cyclone development. However, the inherent complexity of its multi-level physical processes and non-linear characteristics poses significant challenges for scientific visualization. This research explores a novel, knowledge-construction-driven approach to optimizing tropical cyclone scientific illustrations using generative AI, aiming to enhance the visualization of the WISHE mechanism and improve public understanding of this phenomenon. The study employs ChatGPT and Midjourney in a cyclic optimization workflow involving literature analysis, prompt engineering, and iterative image generation. ChatGPT analyzes scientific literature to extract key information, which guides the design of prompts for

Midjourney to generate scientifically accurate and visually compelling illustrations. These images are then evaluated quantitatively and qualitatively using ChatGPT, and prompts are iteratively refined based on the evaluation results. Results demonstrate that AI-generated illustrations can effectively capture essential meteorological processes associated with the WISHE mechanism, such as angular momentum conservation and boundary layer dynamics. This study highlights the potential of combining generative AI with a knowledge-construction approach to optimize scientific illustrations and enhance science communication in meteorology education.

Keywords: Generative AI; scientific illustration; tropical cyclone; Wind-Induced Surface Heat Exchange (WISHE); educational technology

1 引言

1.1 研究背景

热带气旋是一种极具破坏力的自然现象，对沿海地区的人类活动、经济和生态系统造成重大影响。因此，深入理解热带气旋的动力学对预测和减轻这些灾害具有重要意义[1-8]。热带气旋的研究涉及多个学科，涵盖大气物理、流体力学和热力学等领域。在这些研究中，风致表面热交换（Wind-induced Surface Heat Exchange, WISHE）机制被认为是热带气旋强度与维持的重要物理机制之一[1-3,5]。它描述了海面风场与热通量之间的正反馈机制[1-3]。简单来说，强风导致海面粗糙度增加，促进海水蒸发，向大气输送大量水汽和潜热，形成有利于热带气旋发展的温暖湿润环境。反过来，热带气旋加强，导致风速增大，进一步促进海面热通量，形成正反馈回路。

尽管科学家们已经对WISHE机制进行了广泛研究，但其复杂的物理过程使得在学术界和公众中理解这一概念仍然具有挑战性[1-3,7]。科学插画作为一种将复杂科学概念直观呈现的工具，近年来，生成式人工智能AI（Generative AI）技术的发展也为科学插画的创作提供了新的可能[9]。运用ChatGPT和Midjourney等生成式AI工具可以根据文本描述自动生成图像，并且可以通过不断优化模型和提示词来提高图像的准确性和视觉效果

果，这使得生成式AI技术引入科学插画显得尤为必要[9]。

1.2 研究目的

本研究的目的是通过生成式人工智能技术，优化热带气旋科学插画的表现效果，特别是在展示WISHE物理机制方面，结合ChatGPT的语言理解能力和Midjourney的图像生成能力，提高图像的准确性和表现力。本研究将分为以下几个步骤：第一、利用ChatGPT分析和总结现有关于WISHE机制和热带气旋动力学的文献，提取关键信息和科学事实。第二、根据ChatGPT的分析结果，设计和优化Midjourney的提示词，使其能够生成准确且具有视觉冲击力的热带气旋科学插画。第三、对生成的图像进行定量和定性评估，分析其与科学事实的一致性，并通过不断调整提示词来提高图像的准确性和视觉效果。

2 文献回顾

2.1 热带气旋动力学的理论基础

热带气旋的形成与演变是一个复杂的动力学过程，涉及大气层中多种物理现象的相互作用。关键理论包括摩擦力的影响、径向流入的形成以及热量传递机制的作用[1-8]。在这些动力学过程中，海洋与大气之间的热量交换，特别是通过WISHE机制实现的热量传递，被视为决定气旋强度的核心因素之一[1-3,7]。研究表明，气

旋中的上升气流通过边界层的径向流入从海洋表面获得热量，这一过程显著增强了热带气旋的强度[4,5]。

2.2 风致表面热交换(WISHE)的物理机制

WISHE机制是一种复杂的物理过程，通过蒸发将海洋表面的热量传递给大气中的气流，推动了热带气旋的强度和发展[1]。这一机制不仅依赖于海洋表面的温度差异，还受到热带气旋内部动力学结构的影响。研究表明，WISHE机制在热带气旋的形成和增强过程中起到不可替代的作用[5]。在实际应用中，理解并准确表现WISHE机制的挑战在于其涉及的多重物理机制相互作用和非线性特征。理论研究指出，WISHE机制的有效性取决于多个因素，包括海洋表面的风速、湿度梯度以及气旋的径向和垂直流动[5]。这些因素的相互作用使得WISHE机制成为热带气旋研究中一个高度复杂的领域。

2.3 科学插画在气象学中的应用

科学插画在帮助理解复杂气象现象中发挥了重要作用。然而，传统的科学插画在表现热带气旋等复杂现象时，往往难以准确捕捉其动态特性和多维度特征[9]。例如，在展示WISHE机制时，传统插画难以有效传达其非线性和多层次的动态过程，这限制了科学传播的效果[6]。生成式AI技术，如Midjourney和ChatGPT，则为科学插画提供了新的可能性。通过AI生成的插画，研究人员可以更精确地展示复杂的气象过程，这些工具不仅提高了插画的科学准确性，还增加了其在教育和公众传播中的应用潜力。

3 热带气旋科学插图创作与优化

在本研究中，我们采用了生成式人工智能技术来优化热带气旋科学插图的创作过程，特别是关于风致表面热交换(WISHE)机制的可视化。以下部分将详细说明所选择的生成式人工智能模型、提示词设计过程以及图像生成与迭代过程(如图1所示)。

优化热带气旋科学插图的生成与迭代流程

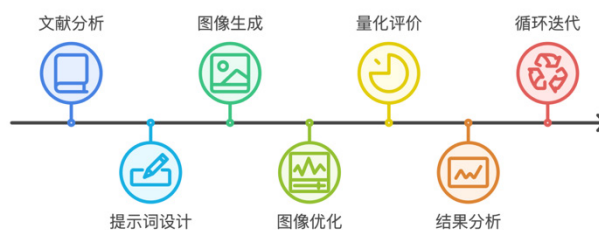


图1. 热带气旋科学插图生成与迭代流程

3.1 生成式人工智能模型的选择及 workflow

本研究中，我们选择了几种主要的生成式人工智能模型来进行科学插图的生成和优化，包括Midjourney和ChatGPT。Midjourney是一款专门针对视觉图像生成的AI模型，具有出色的图像生成能力，尤其是在艺术性和细节表现上。该模型能够根据输入的提示词生成高质量的图像，并且具有高度的灵活性，可以通过提示词的细微调整生成多样化的图像风格。这使其在创作热带气旋这类具有复杂结构和多层次细节的科学插图时，表现出色。ChatGPT则是一款强大的多模态生成式AI，在本研究中主要用于设计和调整提示词及识别评价图像。该模型拥有丰富的知识库，能够理解和分析复杂的科学概念，并将这些概念转化为适合图像生成的文本提示。它在提示词的创建和调整过程中起到了关键作用，确保生成的提示词能够准确地反映科学事实。

3.2 提示词设计与调整

在生成科学插图的过程中，提示词的设计至关重要。提示词不仅决定了图像生成的基础风格，还直接影响到图像中所呈现的科学事实的准确性和细节表现，其设计流程分述如下：

(1) 初步设计：提示词的设计首先依赖于对科学文献的深入理解。根据文献中对热带气旋结构、WISHE机制以及相关的动力学过程的描述，我们藉由ChatGPT参考前期研究的提示词模版初步设计了基本提示词[9]。这些提示词主要包括了热带气

旋的核心结构、热量从海洋表面到大气层的传递过程、摩擦力对径向流入的影响等关键要素。

(2) 文献探究：在描述WISHE机制时，我们藉由ChatGPT引导的提示词，使其设计提示词针对参考文献的内容加以梳理及探究[1-8]，其中，特别强调了潜热的释放和风速的增强如何促进热带气旋的强化。这一过程涉及了文献中提到的摩擦力如何增强径向流入，以及热量如何在边界层和对流层中传递的细节。

(3) 调整与优化：随着图像生成的初步结果出现，我们发现某些提示词可能过于宽泛或不够具体，导致图像在科学细节及视觉美学上的综合表现不够准确与平衡。因此，我们运用ChatGPT 4o多模态的能力检视生成图像是否满足预期的效果，藉此逐步细化了提示词的描述，增加了更多的技术细节，例如热量分布特征、摩擦力的作用范围以及不同层次的温度梯度等。

3.3 图像生成与迭代过程

在提示词初步设计完成后，我们进入了图像生成和迭代的关键阶段。这一过程中的每次迭代都旨在不断提升图像的科学准确性和视觉表现力。

(1) 初始图像生成：图2a和图2b代表了我们的初始尝试结果，这两张图像展示了热带气旋的基本结构和热量传递过程。其提示词如下：

Exploded cutaway infographic of a tropical cyclone's detailed structure, vivid depiction of swirling winds enhancing heat flux from the ocean surface, detailed layers showing the interaction of latent heat with the boundary layer, intricate visuals of thermal exchanges and moisture rising from the ocean, dynamic energy transfer fueling cyclone intensification, intense and scientifically precise, atmosphere charged with powerful heat and moisture dynamics, dramatic lighting to highlight the energy transfer, shadows adding depth to the cyclone's structure, --ar 3:2 --s 350 --q 2

其中，--ar代表图像纵横比例，--s代表风格化强度强弱（0-1000），--q则代表图像品质高低。

图2a展示了一个热带气旋的横切图，呈现出强

烈的螺旋风场和海洋表面热通量增强的视觉效果。该图像以鲜明的颜色和阴影突出热力交换过程和从海洋上升的水汽，整体画面充满了动态能量和张力。值得一提的是，图像有效地展示了螺旋风场如何增强海洋表面的热通量，这与文献中关于风速增加促进热量从海洋向大气层转移的描述相符[1-3]。而图2a中呈现的热交换过程和水汽的上升与热带气旋强度增强的热力学过程一致。这种热力学过程被认为是气旋增强的重要机制[1-3]。

图2b则展示了热带气旋的横切图，但它更强调了气旋的中心结构和动态热力过程。图像通过色彩对比和细腻的线条，强调了海洋表面与气旋结构之间的能量转移。其中在科学事实准确性的检验上，图2b中明确展示了气旋的眼墙结构，这与文献中对于眼墙周围强烈对流和热力上升过程的描述一致[1-3]。另外，图2b也展现了从海洋到大气层的能量转移过程，这与气旋增强过程中的热力学原理相符，特别是与边界层动力学和热力交换相关的物理机理[1-8]。

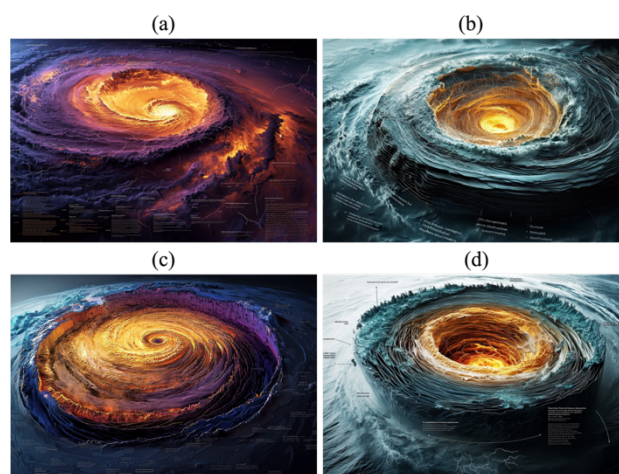


图2. 热带气旋WISHE机制AI生成图像

(2) 图像优化策略：进一步检视图2a及图2b发现，这些初步图像在动态性和细节表现上仍有不足，因此我们在以图生图的基础上对Midjourney图像提示词进行了进一步的优化。由ChatGPT分别评价这两张图所呈现的内容与上述提示词的内涵的一致性。评价的方向以图像是否具备科学事实的准确性与视觉效果的审美来综合评价。其中科学事实的准确性系与参考文献的内容相互比对。以图2a为

例，其提示词初步优化如下（对应生成图像为图2c）：

Exploded cutaway infographic of a tropical cyclone's detailed structure, vivid depiction of swirling winds enhancing heat flux from the ocean surface, detailed layers showing the interaction of latent heat with the boundary layer, intricate visuals of thermal exchanges, moisture rising from the ocean, and the role of friction in influencing wind speed and radial inflow, dynamic energy transfer fueling cyclone intensification, intense and scientifically precise, atmosphere charged with powerful heat and moisture dynamics, dramatic lighting to highlight the complex energy exchanges and frictional processes, shadows adding depth to the cyclone's structure with nuanced color gradations to depict thermal variations across different layers. --ar 3:2 --s 350 --q 2

同理，图2d则为图2b对应的优化结果（限于篇幅，其提示词未列出）。

相比于图2a，图2c在科学事实的准确性和视觉效果的审美性方面均有明显的提升。图2c更好地展示了摩擦力与径向流入的影响，以及不同层次间的热力交换过程，使得科学内容更加细致和准确。而在视觉效果上，图2c更具层次感和动态性，色彩的运用也更加丰富，极大地增强了图像的视觉吸引力和冲击力。这些改进使得图2c在科学与艺术的结合上达到了一个更高的水平。

相似的，相比于图2b，图2d在科学事实的准确性和视觉效果的审美性方面都有显著提升。图2d更好地展示了垂直运动、角动量守恒和眼墙结构的细节，使得科学内容的呈现更加准确且易于理解。同时，视觉效果上，图2d无论在层次感、色彩和动态性方面均有更好的表现，提升了图像的吸引力和视觉冲击力。因此，图2d在科学与艺术的结合上达到了一个更高的水平。

（3）量化评价结果：对于生成图像的评价除了上述主观的观察外，本研究透过ChatGPT多模式的能力来进行客观的评价。主要是输入图像并由ChatGPT比较这四张图，评价其是否能基于科学事实

的准确性及视觉效果的审美性上平衡的展示WISHE的物理现象。并依序给出各个面向的评分，每个面向分数介于0到10分。其中关于科学事实的准确性的评价细分为2个子面向，分别是1.明确展示眼墙流动结构，2.明确展示边界层热力交换细节。而关于视觉效果的审美性的评价细分为2个子面向，分别是1.色彩与层次感的表现，2.视觉冲击力与细节表现。表1为量化评分结果。

表1. ChatGPT评价AI图像

图像编号	科学事实准确性		视觉效果审美性		总分 (0-40)
	眼墙流动 结构展示	边界层热力 交换展示	色彩与层 次感表现	视觉冲击力 与细节表现	
	(0-10)	(0-10)	(0-10)	(0-10)	
图2a	4	3	5	4	16
图2b	5	4	6	5	20
图2c	7	6	7	7	27
图2d	8	8	8	8	32

总的来说，图2d在科学准确性与视觉效果上达到最佳平衡，详细展示了WISHE的关键物理过程，并且视觉吸引力强。图2c则展示了较为清晰的科学细节和动态过程，视觉效果也有提升，但相较图2d仍稍显不足。至于图2b，对WISHE的展示有一定进步，但仍处于相对基础的层次。而图2a作为初期图像，无论在科学准确性还是视觉表现上，都相对简单和基础。

4 科学插图创作难点与优化策略

4.1 WISHE科学插图关键困难点

本研究旨在利用生成式人工智能创作能清楚呈现WISHE物理现象的科学插图，过程中面临三大挑战：（1）复杂物理过程的呈现：WISHE现象涉及风速、热交换、摩擦力、热通量、径向流入和垂直运动等多种物理过程的交互作用，如何以准确、直观且易懂的方式呈现这些过程的动态交互作用，是一大挑战；（2）层次感与细节的平衡：为精准呈现WISHE过程，需展示气旋内部多层结构和热力交换的细节，但过多细节可能导致图像过于复杂，降低视觉清晰度。如何在细节丰富性和层次清晰度之

间取得平衡,是另一项考验,及(3)兼顾视觉效果与科学准确性:成功的科学插图除了准确传达科学事实,还需具备视觉吸引力。如何在运用色彩、阴影、动态性和深度感等设计元素的同时,避免过度简化或误导科学内容,也是一大挑战。

4.2 AI生图 workflows 中的逐步优化过程

本研究提出的AI生图 workflow 包含三个逐步优化的阶段,用于提升科学插画的品质:

(1) 确定初始概念与图像生成:首先根据初步构思,生成展现热带气旋基本结构和热量传递过程的初始图像。

(2) 增强科学准确性与细节表现:针对初始图像中缺乏细节的问题,改进提示词,更精确地呈现 WISHE 物理现象,例如摩擦力对风速和热量交换的影响、径向流入、垂直运动和角动量守恒等。

(3) 平衡视觉效果与科学准确性:在确保科学准确性的同时,提升图像的视觉效果,例如热带气旋的动态性和内部结构的层次感等,并尝试整合不同侧重点,全面展示 WISHE 过程的关键元素。

5 结论与建议

本研究探讨了运用生成式人工智能技术优化热带气旋科学插画的创作,尤其关注于风致表面热交换(WISHE)物理机制的可视化。研究以 ChatGPT 和 Midjourney 为 AI 工具,建构了一个涵盖文献分析、提示词设计、图像生成与迭代的循环优化 workflow。透过 ChatGPT 分析 WISHE 机制和热带气旋动力学的文献,提取关键科学信息与事实,并以此为基础设计和优化 Midjourney 的提示词,生成兼具科学准确性和视觉冲击力的插画。最后,利用 ChatGPT 对生成的图像进行定量和定性评估,并根据评估结果调整提示词,以提高图像的科学性和美学价值。

研究结果显示,结合生成式 AI 和科学知识建构可以有效地优化热带气旋科学插画的创作。AI 生成的插画能够精确地捕捉热带气旋中与 WISHE 机制相关的关键气象过程,例如角动量守恒、边界层径向流入和潜热释放,并能清晰地展现摩擦力、热通量、不同层次温度梯度等细节信息。此外,研究发

现,ChatGPT 的引入可以有效地弥补 AI 模型在科学知识理解方面的不足,并透过人机协作的方式,将科学家的专业知识融入到图像生成的过程中,从而更好地确保图像的科学准确性。

重要的是,本研究所提出的循环优化 workflow 具有可迁移性,未来可以被推广至其他物理现象的可视化研究。例如,在解释全球暖化现象时,可以利用此 workflow 生成图像,清晰地呈现温室气体浓度上升、地球能量平衡变化、冰川融化和海平面上升等过程。又例如,在展示量子力学中的量子纠缠现象时,可以利用此 workflow 生成图像,将两个相互影响的粒子状态以更直观的方式呈现出来。

总之,本研究验证了生成式 AI 技术应用于科学插画创作的可行性和优势,并为气象学领域乃至其他科学领域的科学传播提供了新的思路和方法。未来研究可以进一步探讨如何将生成式 AI 与其他科学可视化技术相结合,以更好地展示复杂的科学现象,并提升公众对科学的理解。

致谢

本论文接受国家自然科学基金“似台风涡旋通过复杂地形的路径动力模式”(项目编号:42275064);黄冈师范学院博士基金项目“似台风涡旋通过地形模拟与扩增实境科普应用”(项目编号:2042022027)、黄冈师范学院教学研究项目“教育大语言模型于现代教育技术的应用研究”(项目编号:0601202435)及黄冈师范学院博士基金项目“似台风涡旋通过地形模拟与大语言模型融合应用”(项目编号:204202535904)的资助,特此致谢。

参考文献

- [1]Emanuel, K. A. The Theory of Hurricanes[J]. Annual Review of Fluid Mechanics, 1991, 23: 179-196.
- [2]Emanuel, K. Tropical Cyclones[J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2003, 31: 75-104.
- [3]Emanuel, K. 100 Years of Progress in Tropical Cyclone Research[J]. Meteorological Monographs, 2018, 59: 15-1.
- [4]Smith, R. K. and Montgomery, M. T. Understanding

- Hurricanes[J]. Weather, 2016, 71: 9.
- [5]Montgomery, M. T. and Smith, R. K. Recent Developments in the Fluid Dynamics of Tropical Cyclones[J]. Annual Review of Fluid Mechanics, 2017, 49: 541-574.
- [6]Wang, Y. Tropical Cyclones and Hurricanes | Hurricane Dynamics[Z]. Encyclopedia of Atmospheric Sciences. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382225-3.00488-6>.
- [7]Chan, J. C. The Physics of Tropical Cyclone Motion[J]. Annual Review of Fluid Mechanics, 2005, 37: 99-128.
- [8]Wang, Y. Q. and Wu, C. C. Current Understanding of Tropical Cyclone Structure and Intensity Changes – A Review[J]. Meteorology and Atmospheric Physics, 2004, 87: 257-278.
- [9]Chen, H. C. Harnessing AI for Scientific Illustration: Exploring Tornado Dynamics Through Midjourney[C]. 2023 12th International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST), IEEE, 2023: 136-141.

