



02 期

2026年

FANG ZHEN TIAN DI

仿真天地

主办:中国仿真学会

● 读懂人工智能中的不确定性:AI为什么会犯错?

—— 中国仿真学会不确定性系统分析与仿真专委会

● 当大模型学会了“进化论”:智能优化算法的设计革命

—— 中国仿真学会资源规划仿真与决策专委会

● 风雨无阻的“移动标靶”:仿真技术如何打造实战化训练机器人

—— 中国仿真学会机器人系统仿真专委会



编者按



随着科学技术不断发展，仿真科学已成功地应用于工业、农业、商业、教育、军事、交通、社会、经济、医学、生命、生活服务等众多领域，并发挥着重要的不可替代的作用。仿真科学已经成为继理论和实验 / 观察这两种传统的科学研究范式之后第三种科学研究范式。为进一步加强中国仿真学会科普工作，学会推出《仿真天地》科普专栏，旨在以浅显、通俗易懂的方式，让公众接受仿真科学知识、推广仿真科学技术的应用，倡导科学方法、传播科学思想与弘扬科学精神。

本期推荐《读懂人工智能中的不确定性：AI 为什么会犯错？》、《当大模型学会了“进化论”：智能优化算法的设计革命》、《风雨无阻的“移动标靶”：仿真技术如何打造实战化训练机器人》三篇文章。



读懂人工智能中的不确定性：AI 为什么会犯错？

——中国仿真学会不确定性系统分析与仿真专委会

当大模型学会了“进化论”：智能优化算法的设计革命

——中国仿真学会资源规划仿真与决策专委会

风雨无阻的“移动标靶”：仿真技术如何打造实战化训练机器人

——中国仿真学会机器人系统仿真专委会

读懂人工智能中的不确定性：AI 为什么会犯错？

中国仿真学会不确定性系统分析与仿真专委会

人脸识别解锁、车载导航、线上问诊、短视频推荐等人工智能（AI）功能早已融入我们的日常生活。但大家或多或少都遇到过 AI “翻车” 的情况：导航带你走进死胡同、手机认错人脸、辅助驾驶误判路况等。很多人疑惑，明明 AI 经过海量数据训练，为什么还是会频繁出错？其实核心答案很简单：AI 和人类一样，也有拿不准、预测失误的时候，这就是 AI 自带的不确定性。

一、为什么要关注 AI 的“不完美”？

传统的电脑程序十分死板，按照固定代码运行，输入什么就会输出确定性的结果。但 AI 和普通程序不同，它不靠死板代码，而是像学生一样通过海量数据自学成才，自己总结事物规律。这种学习方式让 AI 能灵活应对复杂现实场景，却也注定其无法实现完美、精准的预测。

现实世界中天气、路况、人体状态、用户行为都没有固定规律，且 AI 的学习素材有限，不可能见过所有突发、极端场景，预测难免出现偏差。日常刷视频、趣味识图这类场景中，AI 出错无伤大雅；但在自动驾驶、医疗诊断、资金风控等关键领域，失误就可能造成安全事故或财产损失。研究 AI 的不确定性，不是为了彻底消灭错误（技术上也无法实现），而是提前预判 AI 的失误风险，让 AI 技术安全、可信地为我们服务。

二、不确定性的两种分类

AI 中不确定性基本可以归为两类，一类是偶然不确定性，一类是随机不确定性，两者本质不同、改善方式也不一样。

1. 偶然不确定性：世界本身就充满变数

这种错误和 AI 模型本身没有关系，是现实世界自带的随机变化，属于永远无法彻底消除

的误差。例如，气温忽高忽低、车辆刹车距离随路况变化、人体身体指标每日波动。哪怕 AI 学习得再优秀、算法再完善，也没办法精准捕捉数据中每一个细微的随机波动。我们只能通过积累大量数据，摸清波动规律，尽量降低这类随机误差带来的影响。

2. 认知不确定性：AI “见识太少” 犯的错

这是 AI 最主要、也最值得优化的出错原因，简单说就是没见过、没学过，所以不会。AI 的所有知识都来自训练数据，它只会根据学过的场景做预测。如果一直用晴天路况数据训练自动驾驶 AI，遇到大雾、积雪、逆光等陌生场景，就很容易预测失误；只学过常见病症的医疗 AI，也很难精准识别罕见病。更危险的是，AI 面对完全陌生的场景，依然会给出笃定的预测结果，很容易误导使用者，这也是目前 AI 技术优化的重点方向。

三、如何让 AI 学会管控预测不确定性？

想要减少 AI 失误，核心不是强行让 AI 永不犯错，而是让 AI 拥有自我判断的能力：清楚自己什么时候靠谱、什么时候拿不准。目前行业主流有两种简单实用的技术方案。

1. 集成学习：多人合议，减少误判

这项技术的逻辑是集体商议，不再让单个 AI 独自做决定，而是同时启用多个擅长不同场景的 AI 模型一起预测。如果所有 AI 得出的结论高度一致，说明场景熟悉、预测靠谱；如果大家答案各不相同、分歧很大，就说明场景复杂、不确定性高，需要人工复核确认，极大降低了单一 AI 的出错概率。

2. 贝叶斯神经网络：不绝对断言，只讲概率

普通 AI 只会给出确定性预测结果，而贝叶斯神经网络会输出概率化预测结果。比如不会直接判定病灶良性或恶性，而是给出“良性概率 85%、恶性概率 15%”的预测结果。它还能同时捕捉两种误差来源，分清是数据本身的随机波动，还是 AI 自身见识不足导致的失误，多用于自动驾驶、医疗诊断等严苛场景。

四、不确定性量化与管控应用

不确定性量化与管控早已悄悄融入生活，默默守护着我们使用 AI 的安全可信。

1. 守护自动驾驶行车安全

遇到大雾、雨雪、路面结冰、道路施工等复杂路况，AI 的识别准确率会大幅下降。借助

不确定性量化技术，车载 AI 能主动察觉自己预测不稳，随即自动减速、发出预警，提醒驾驶员接管车辆，避免 AI 盲目决策引发交通事故。



图 1 智能驾驶应对复杂路况时的不确定性（图源：央视新闻）

2. 辅助医疗诊断规避误诊

AI 可以快速筛查医学影像，高效识别常见病灶，减轻医生工作压力。但面对特征模糊的疑难杂症和罕见病，AI 会主动识别出自身预测的不确定性，标记可疑病灶并推送医生复核，既提升了常规诊疗效率，又守住了医疗安全底线，有效减少误诊、漏诊问题。



图 2 人机协同下的智能辅助诊断（图源：央视新闻）

3. 智能风控拦截金融风险

手机支付、转账过程中，智能风控系统在后台运行。对于日常常规交易，会快速自动通过风控；一旦遇到异地大额转账、陌生设备登录、异常高频交易等可疑行为，系统会判定为高风险不确定场景，自动启动人工审核、冻结风险交易，有效拦截盗刷、电信诈骗等金融风险。

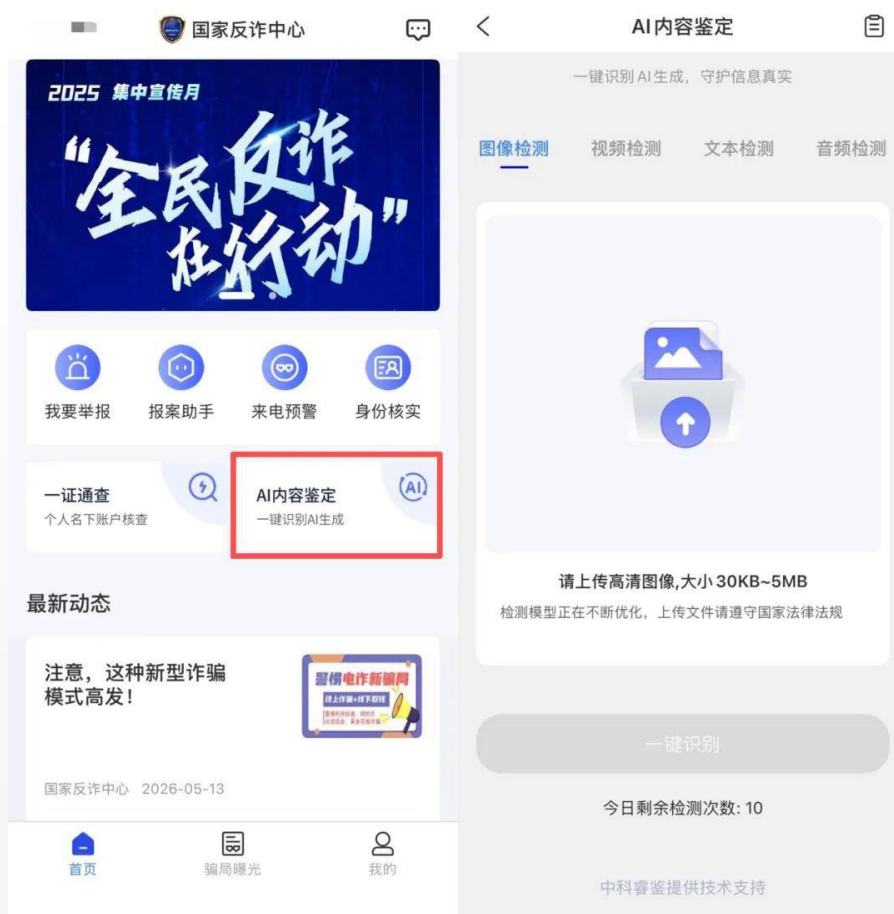


图3 AI赋能的金融风险防控（图源：国家反诈中心APP）

五、总结：接纳AI的不完美，让AI更可信

世界自带的随机波动无法消除，但AI见识不足、经验不够导致的预测失误，可通过积累数据、迭代算法持续优化。AI的发展方向，不是打造永不犯错的完美AI，而是实现AI自知局限，人类掌控风险。安全可信的AI将依托不确定性量化与管控实现人机协同，在熟悉场景高效服务，在陌生场景主动止损，为人们生活更好赋能。

参考文献

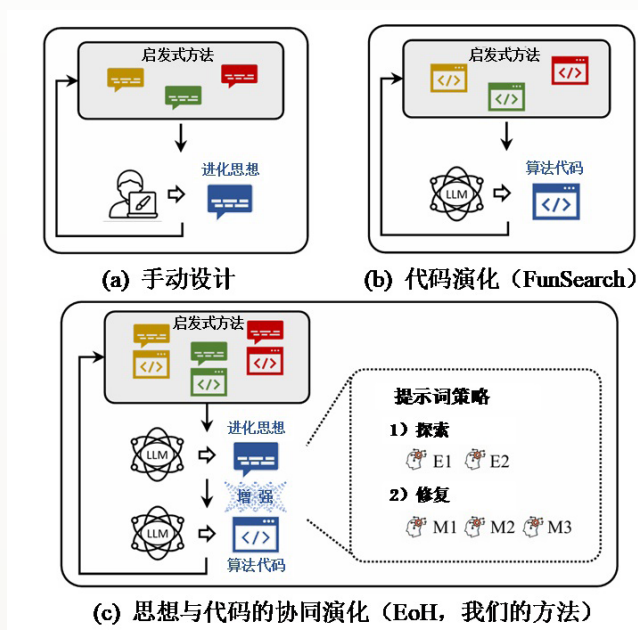
- [1] 周志华 . 机器学习 [M]. 清华大学出版社 , 2016.
- [2] 李航 . 统计学习方法 [M]. 清华大学出版社 , 2019.
- [3] Gal Y, Ghahramani Z. Dropout as a Bayesian Approximation: Representing Model Uncertainty in Deep Learning[C]. ICML, 2016: 1050-1059.
- [4] 张钊 , 朱军 , 苏航 . 迈向第三代人工智能 [J]. 中国科学 : 信息科学 , 2020, 50(9): 1281-1302.
- [5] Kendall A, Gal Y. What Uncertainties Do We Need in Bayesian Deep Learning for Computer Vision?[C]. NeurIPS, 2017: 5580-5590.

当大模型学会了“进化论”：智能优化算法的设计革命

中国仿真学会资源规划仿真与决策专委会

大语言模型写代码不稀奇，但让它和进化算法联手，自己设计出超越人类专家水准的启发式算法，这可能吗？

香港城市大学等机构发表的突破性研究《Evolution of Heuristics: Towards Efficient Automatic Algorithm Design Using Large Language Model》^[1] 给出了肯定答案。这项被称为 EoH 的工作，让大语言模型（LLM）作为“创新引擎”，引导进化算法探索庞大的算法设计空间，自动生成解决复杂优化问题的高性能启发式规则。这一突破性进展实现了从“专家驱动”到“模型驱动”的算法设计范式转移，通过自动化构建和迭代启发式规则，极大地规避了传统研发中耗时且昂贵的人工试错环节。



更重要的是，这项研究的时间线早于谷歌的 FunSearch 和 DeepMind 的 AlphaEvolve，

是全球最早将 LLM 与进化计算深度融合以实现自动算法设计的开创性框架之一。

一、双重进化：思想与代码的协同突破

EoH 的核心创新在于同时进化思想的自然语言描述和它的代码实现^[1]。传统方法要么依赖耗时的手工设计，要么仅进化代码（如 FunSearch）。EoH 另辟蹊径，让 LLM 像生物进化一样，同时迭代优化算法的高层“思想”（核心逻辑的自然语言描述）和底层“代码”实现，形成高效的协同设计闭环。

二、五大策略：智能探索算法空间

EoH 通过五类策略性提示工程，指导 LLM 在广阔算法空间中进行智能搜索^[1]：

- 探索策略：引导模型抽象现有启发式的核心“设计模式”，创造结构新颖的变体。
- 差异化探索策略：要求模型生成与成功启发式差异最大的新启发式，扩大搜索覆盖。
- 改造策略 - 结构优化：引导模型对启发式逻辑结构进行诊断和重组。
- 改造策略 - 参数调优：指导模型系统调整启发式内部的权重、阈值等参数。
- 改造策略 - 简化：要求模型识别并移除冗余组件，生成更简洁高效的版本。

三、三大应用：实验验证卓越性能

在三个经典组合优化问题上，EoH 展现出卓越性能^[1]：

- 在线装箱问题：EoH 设计的启发式仅用 2000 次 LLM 查询，性能优于需要百万次查询的 FunSearch。
- 旅行商问题：EoH 生成的引导局部搜索策略，在 TSPLib 测试集上平均求解质量显著优于 OR-Tools 等先进方法。
- 流水车间调度问题：在 Taillard 实例集上，EoH 将平均与最优解的差距缩小到 0.23%，远优于经典人工启发式。

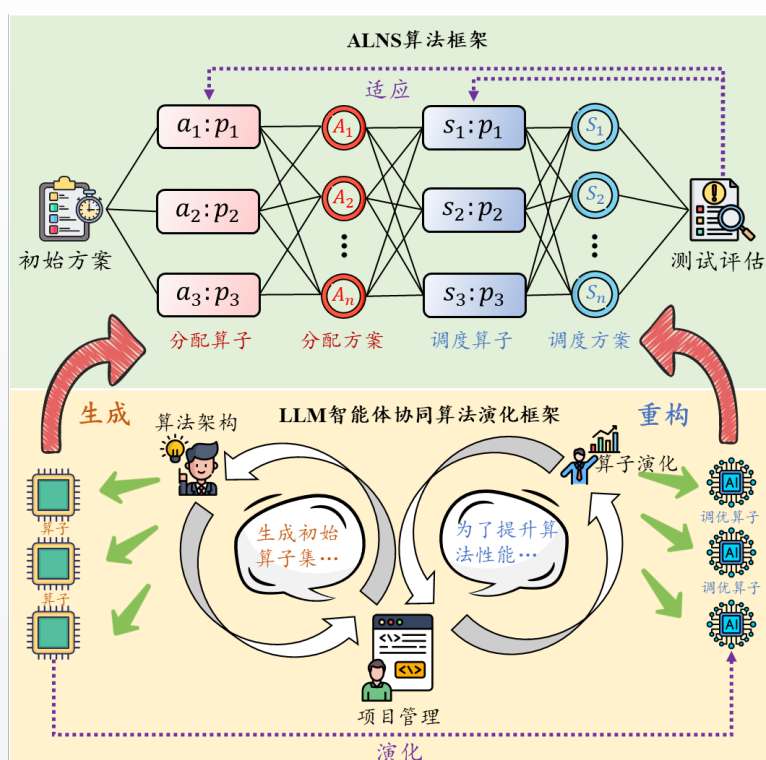
四、关键洞察：思想与代码必须同行

消融实验表明，同时进化思想和代码的完整 EoH 框架表现最佳^[1]。思想和代码如同“战略”与“战术”——只优化代码容易迷失方向，只讨论思想无法落地验证。两者协同进化实现了高效搜索和可靠实现，解释了为何 EoH 能用更少计算成本达到更好效果。

五、从实验室到世界冠军

EoH 开创的范式激发了广泛探索，目前已有一些探索性工作：

在应用问题层面，该范式解决了众多高价值工程挑战。针对地球观测卫星调度，发表在《Engineering》的 AgentAD 研究构建了多智能体协作系统^[3]，通过分布协同实现了对算法分步骤的演化设计。后续研究则应用于复杂敏捷对地观测卫星调度，使用双层优化模型对自适应大领域搜索算法（Adaptive Large Neighborhood Search, ALNS）进行了面向特定场景实现动态演化，并发表在《Engineering Management^[4]》。发表在《European Journal of Operational Research》的文章使用双种群协同进化框架显著提升在轨卫星运行收益^[7]。



在方案创新层面，方法论不断丰富完善。在 NeurIPS 2024 上，LLaMEA 框架将 LLM 深度嵌入为元启发式核心组件^[8]，在 ICLR 2025 上，ReEvo 框架引入自我反思机制提升进化效率^[9]。在 AAAI 2026 上，EoH-S 框架自动化生成启发式策略集合^[5]。

真正彰显工业级实力的里程碑，是团队在运筹优化“世界杯”CVRPLIB BKS 车辆路径问题全球挑战赛中斩获冠军。华为与高校联合团队将“大模型+进化计算”架构应用于求解器设计，击败全球顶尖学术与商业求解器。在 EoH 的基础上，香港城市大学提出了 OptVerse-CityU，在公开基准和现实物流场景中均展现卓越性能与稳定性。

Score				
CVRP BKS Challenge				
January 12, 2026 15:00 UTC → February 12, 2026 02:30 UTC				
Challenge ended 0.15031 days ago				
Pos	Team	Score	BKSs	Last Update
1	OptVerse-CityU	1,800.31632	51	2026/02/11 15:52:19 (Xl-n8968-k634)
2	IQrouting	904.11095	27	2026/02/12 01:52:06 (Xl-n5961-k184)
3	Sub-Appro	267.49942	6	2026/02/11 00:53:52 (Xl-n2168-k138)
4	AII-SII+	156.15780	8	2026/02/10 18:17:26 (Xl-n3888-k1010)
5	AII-S-HGS	103.62808	4	2026/02/04 22:20:12 (Xl-n3804-k20)
6	Galileo	75.99384	3	2026/02/11 07:06:54 (Xl-n1608-k39)
7	Sorry I'm Late	0.25263	0	2026/02/01 18:19:03 (Xl-n1048-k237)

这一系列技术汇聚于开源平台 LLM4AD^[2]，其应用扩展至图像对抗攻击、流体力学建模^[6]、飞行器设计乃至因果推断等上百个跨学科任务，展现出“大模型进化论”作为通用工具的无限潜能。

当算法开始自我进化，创新的边界便不再由人类预设的规则所限定。EoH 及其引发的研究，正如一道穿透复杂性问题迷雾的轨迹。

此刻，你最想用这种“大模型进化论”，去自动设计一个什么领域的算法呢？

参考文献

[1] Liu, F., Tong, X., Yuan, M., Lin, X., Luo, F., Wang, Z., & Wang, Z. (2024). Evolution of Heuristics: Towards Efficient Automatic Algorithm Design Using Large Language Model. *Nature Machine Intelligence*.

[2] Romera, A. K., et al. (2024). LLM4AD: A Platform for Algorithm Design with Large Language Model. *arXiv preprint arXiv:2412.17287*.

[3] AgentAD Research Group. (2025). A Large Language Model-based Multi-Agent Framework to Autonomously Design Algorithms for Earth Observation Satellite Scheduling Problem. *Engineering*.

[4] Wang, Z., et al. (2026). LLM-assisted Adaptive Large Neighborhood Search for Agile Earth Observation Satellite Scheduling. *Engineering Management*.

- [5] Liu, F., Liu, Y., Zhang, Q., Tong, X., & Yuan, M. (2026). EoH-S: Evolution of Heuristic Set Using LLMs for Automated Heuristic Design. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI 2026)*.
- [6] Zhang, Y., Zheng, K., Liu, F., Zhang, Q., & Wang, Z. (2025). AutoTurb: Using Large Language Models for Automatic Algebraic Model Discovery of Turbulence Closure. *Physics of Fluids*.
- [7] Zhou, Y., et al. (2025). A Dual-Population Cooperative Evolution Framework for Agile Earth Observation Satellite Scheduling. *European Journal of Operational Research*.
- [8] Chen, L., et al. (2024). LLaMEA: Large Language Model as Evolutionary Algorithm. *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*.
- [9] Xu, H., et al. (2025). ReEvo: Reflective Evolutionary Algorithm with Large Language Models. *International Conference on Learning Representations (ICLR)*.

风雨无阻的“移动标靶”：仿真技术如何打造实战化训练机器人

中国仿真学会机器人系统仿真专委会

一、射击训练的“痛点”：固定靶标难贴近实战

仿真技术如何帮助打造一款能应对恶劣天气的射击训练机器人？本文带你一探究竟。随着城市反恐形势日益复杂，提升武警、公安的应急处突能力已成为社会治安体系建设的重要内容。目前，我国大部分部队和武警单位的射击训练仍以固定靶标或简易轨道靶为主。

但是无论人工制造暴雨、大雾，还是借助自然恶劣天气掩护突袭，都对部队全天候作战能力提出更高要求。轻武器作战能力仍是现代战争基础，因此如何贴近实战提升士兵射击精度与心理素质，已成各国训练改革重点。



图1 多用途无人战术运输平台

二、解决方案：能“动”会“演”的移动靶标机器人

针对上述问题，本文介绍一种专门用于恶劣天气射击训练的移动装甲靶标机器人。该机器人能模拟人体蹲起、探身、旋转等动作，在雨雪、雾霾中稳定运行，提升训练逼真度。

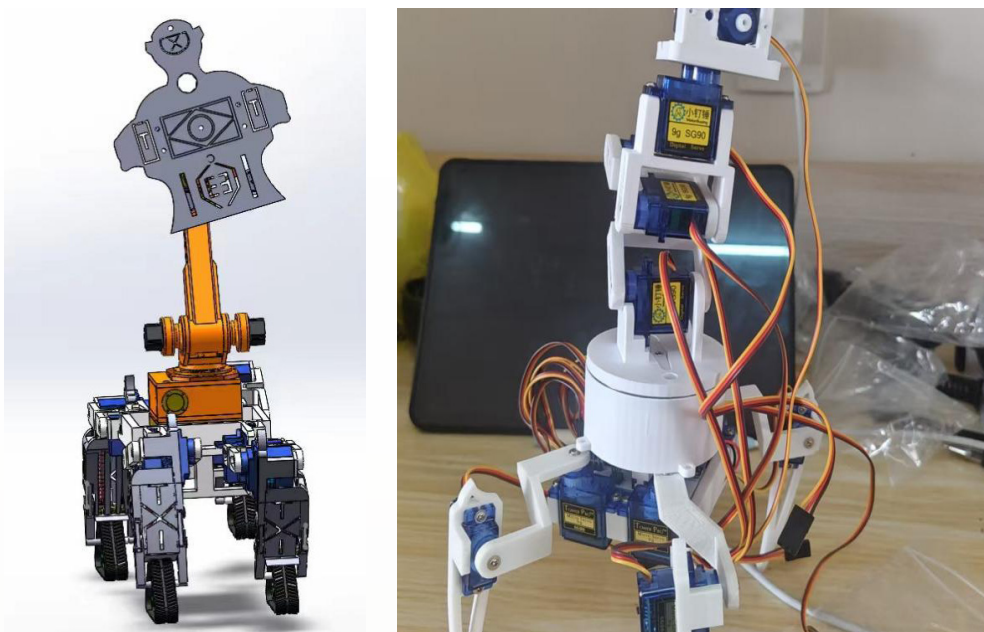


图2 总装模型与小型样机对比图

移动靶标机器人采用模块化设计，分为移动底盘和靶身两大部分。移动底盘采用四轮独立驱动与四轮转向结构，兼顾高速行驶稳定性和小半径机动性。防撞气囊既保护车身，也让靶车与障碍物保持距离。

靶身集成升降、旋转、摆动三自由度系统，模拟人体蹲起、侧身、探身等战术动作。人形靶标采用高密度复合板材制成，表面覆有人体轮廓硅胶蒙皮，模拟真人尺寸与外观特征。

三、仿真技术的“助攻”：动一动，算一算

靶标机器人的稳定性应该如何保证呢？这里用到了仿真技术。利用 ADAMS 软件建立虚拟样机，模拟射击工况下的抗倾覆性能。通过对移动靶标进行车身平稳性分析，

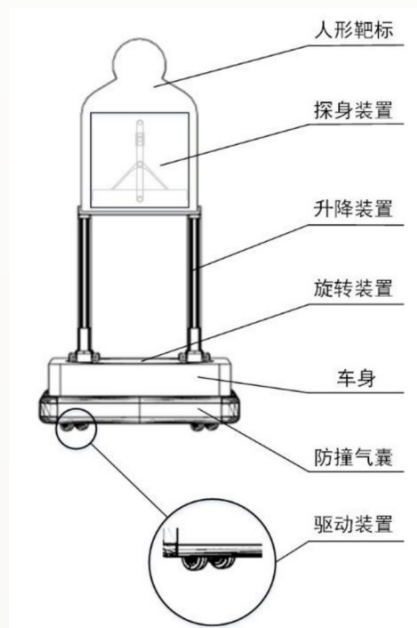


图3 靶标整体结构 UG 简模

能更准确判断车辆动力学性能。

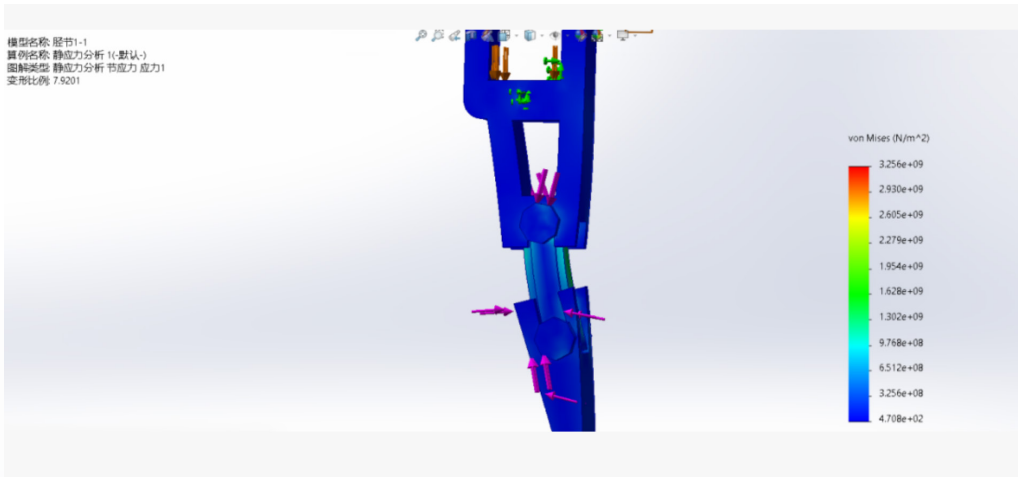


图 4 膝关节运动稳定性仿真结果

除了运动稳定性仿真，研究还构建了以可编程逻辑控制器（PLC）为核心的控制系统。手动模式下，操作人员可控制底盘与靶身动作；自动模式下，系统支持预置路径，实现路线储存与调用。靶身可升降、旋转、摇晃。姿态传感器监测机器人状态，异常时触发报警。通过仿真验证，系统响应快、抗干扰强，可在恶劣天气下稳定运行。

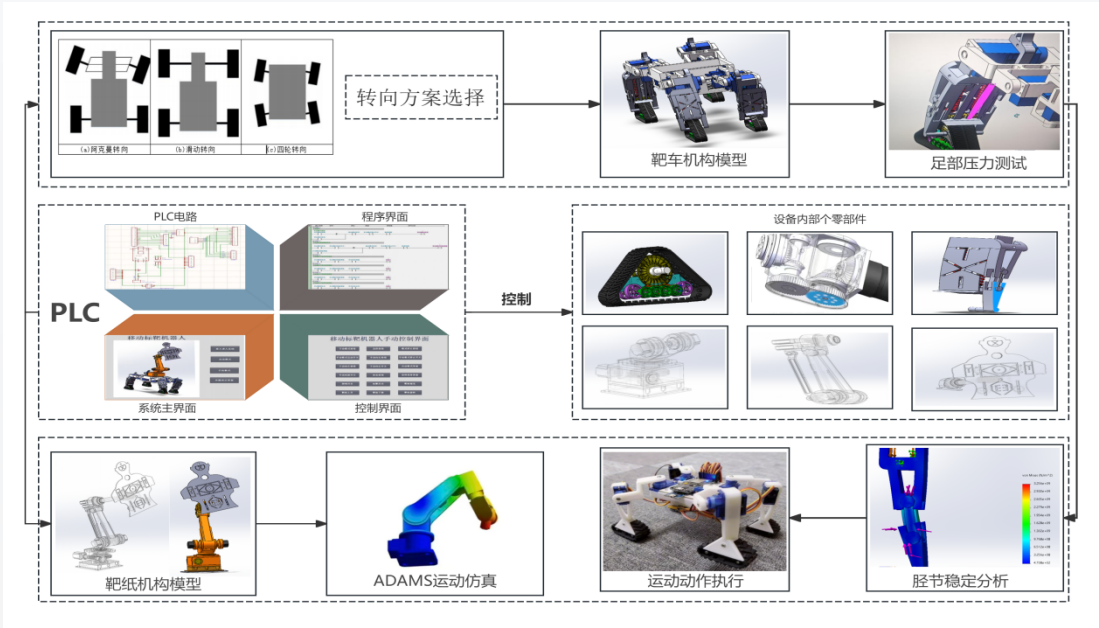


图 5 可编程逻辑控制器（PLC）控制算法流程

通过动力学仿真与实验验证，优化车体质心分布与悬挂参数，确保在连续射击冲击下仍保持稳定。

四、成果与展望

该机器人可在恶劣天气条件下稳定运行，有效模拟人体动作与移动轨迹，显著提升训练的实战性与难度。可应用于模拟城市反恐、野外作战等复杂场景，提升射击精准度和战术应变能力。作为地面无人装备的补充，可与其他训练系统集成，构建数字化训练场。并且未来可进一步增加自主导航、敌我识别、射击成绩自动评估等功能，推动训练装备向更高层次发展。可以说，正是依托仿真技术的反复打磨与验证，这款风雨无阻的移动标靶机器人才得以完善性能、稳定落地。

