

For citation: Zhang Ming-Dong, Xu Qiao. Design and simulation of frog like jumping robot // Grand Altai Research & Education — Issue 1 (24)\*2025 (DOI: 10.25712/ASTU.2410-485X.2025.01) — EDN: <https://elibrary.ru/NLJXRM>

UDK 004.896

## DESIGN AND SIMULATION OF FROG LIKE JUMPING ROBOT

ZhangMing-Dong<sup>1</sup>, Xu Qiao<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hubei key Laboratory of Digital Textile Equipment, School of Mechanical Engineering and Automation, Wuhan Textile University, Wuhan, 430073, China  
E-mail: 2537679476@qq.com

**Abstract.** When the existing mobile robot encounters an obstacle with a certain height, it will be very difficult for it to move. Jumping robots can jump obstacles, have good movement performance, and can be applied to a variety of complex terrains, and the majority of scholars are full of interest in jumping robots. In order to improve the shortcomings of mobile robots, this paper designs a frog-like jumping robot driven by a combination of motor and spring. By analyzing the physiological characteristics of frogs and their bouncing rules, a simplified model of frogs was established. On the basis of this simplified model, the prime mover, spring, gear and other parts were selected, and the one-sided transmission system was proposed, and the jumping mechanism model was established. The simulation software Adams was used to simulate the simplified model, analyze the motion curve diagram, the force of the spring, etc., and study the structure to test the feasibility of the model.

**Keywords:** Frog; Jumping robot; Kinematics; Simulation analysis

## 仿青蛙跳跃机器人设计与仿真

张明栋, 徐巧

<sup>1</sup> 武汉纺织大学, 湖北省数字化纺织装备重点实验室, 机械工程与自动化学院, 武汉 430073  
E-mail: 2537679476@qq.com

**摘要:** 现有的移动机器人在遇到有一定高度的障碍物时, 其移动就会非常困难. 跳跃机器人可以跳跃障碍, 运动性能良好, 可以应用于各种复杂的地形, 广大学者对跳跃机器人充满了兴趣. 为了改善移动机器人的缺点, 本文设计了一种电机-弹簧组合驱动的仿青蛙跳跃机器人. 通过分析蛙类生理特性与其弹跳规律, 建立了青蛙的简化模型. 在此简化模型基础上, 对原动件, 弹簧, 齿轮等零件进行选型, 并提出了单侧的传动系统, 建立了跳跃机构模型. 利用仿真软件 Adams 对简化模型进行仿真, 分析运动曲线图, 弹簧的受力等, 研究结构检验了模型的可行性.

**关键词:** 青蛙; 跳跃机器人; 运动学; 仿真分析

### 0 引言

目前, 现有的传统机器人如移动机器人, 包括轮式和履带式, 通常具备较强稳定性和承载能力. 然而, 在面对高度远超其自身的障碍时, 移动机器人往往难以应付, 因此迫切需要设计一种具有较强越障能力, 优秀机动性, 能够灵活处理复杂地形的移动机器人, 跳跃机器人出现了.

跳跃机器人致力于模仿动物的生理结构和行为特征, 以应用于人工机器人的设计与制造. 该研究领域将跨越生物学, 工程学和计算机科学等多个学科, 以开发出具有高度智能和强大适应性的机器人系统, 具备广泛的应用前景. 借鉴蛙

类的生理结构和运动方式, 研究人员得以深入探讨生物系统的原理, 为生物学和生态学等领域带来全新的启示.

冯文博等人设计一种以气动人工肌肉为驱动器的跳跃机器人, 这种机器人具有更好地仿生性能, 运用拉格朗日法进行动力学分析, 获得动力学方程, 利用 ADMAS 和 Matlab 仿真验证了动力学方程的正确性, 为进一步的研究工作奠定了基础. 王猛等人提出了一种单侧跳跃模型, 通过运用 D-H 法, 建立了起跳阶段与腾空阶段, 以及前肢和后肢的运动学方程, 并进行了正, 逆运动学分析, 验证了其研究结果的正确性, 为仿青蛙跳跃机器人理论分析奠定了基础. 焦磊涛等人, 设计了一种利用气动的跳跃机构, 能够满足军事任务的需求, 运用拉格朗日法进行了动力学分析, 并利用 ADAMS 和 Matlab 联合仿真对动力学方程验证其正确性. 朱翔宇等人, 提出了一种控制系统, 可以实时检测跳跃机器人姿态, 通过半自主式控制, 实现了姿态调整和跳跃运动. 曹国强等人设计了一种变形轮式跳跃机构, 建立了机构的运动学和动力学模型, 详细分析了机构的跳跃过程, 并对机构进行了优化设计, 有效储存了能量. 任毅豪等人设计了一种平面连杆机构跳跃模型, 根据此模型, 建立了起跳过程的运动学和动力学数学模型, 得到了各关节力矩与各关节运动轨迹以及质心速度, 质心加速度间的关系, 并结合遗传算法, 优化得出了最佳的跳跃轨迹. 黄昔光等人设计了一种仿青蛙机器人的机构模型, 并提出了一种运动学分析方法, 通过建立平面机构模型, 获得了该机构跳跃过程中姿态与关节角的关系, 得出的分析结果符合青蛙跳跃的一般规律. 王松等人, 设计了一种基于气动肌肉的六连杆仿蛙跳机器人, 在 ADMAS 中进行跳跃运动仿真, 通过分析仿真结果, 验证了前脚着地的可靠性及优势.

本文的重点将集中在青蛙跳跃机器人设计与仿真, 以深入了解其工作原理, 并分析其设计优势与缺陷.

## 1 仿青蛙机器人跳跃的原理

### a. 青蛙的跳跃过程

青蛙的跳跃过程可以分为起跳阶段, 腾空阶段与落地阶段, 如图1-1.

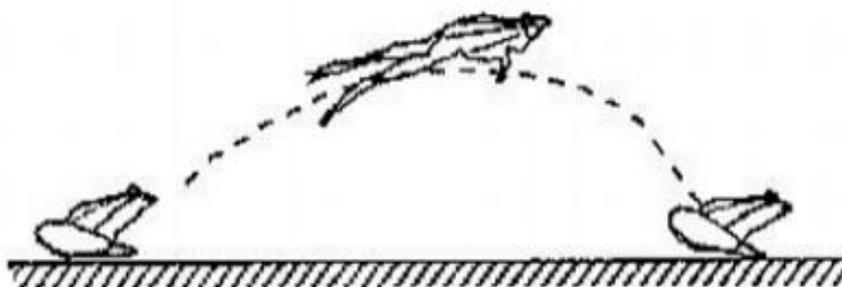


图1-1跳跃过程  
Figure1-1. Jump process

起跳阶段: 青蛙需要寻找一个适合跳跃的起点. 这个起点应该足够稳定, 能够提供足够的支撑力, 使其能够安全起跳. 调整其身体姿势, 将重心后移, 准备发力. 此时, 青蛙的前腿会紧贴地面, 后腿则会弯曲, 准备进行爆发性的跳跃. 青蛙

的肌肉会进行预紧, 增加肌肉的弹性势能, 为即将到来的跳跃做好准备. 青蛙后腿的肌肉会突然收缩, 释放出巨大的能量. 这种快速的肌肉收缩会产生强大的推力, 使青蛙迅速离开地面. 在起跳过程中青蛙的身体重心会迅速前移, 帮助其更好地腾空并向前推进. 青蛙的后腿关节会迅速伸展, 使后腿快速伸直, 进一步推动青蛙的身体向上和向前移动.

腾空阶段: 在空中飞行过程中, 青蛙会通过调整四肢的位置和角度来保持身体的平衡. 这种平衡调整有助于青蛙在飞行过程中保持稳定, 以便准确到达目标地点. 青蛙还可以通过调整其四肢的运动轨迹来改变其飞行路径. 例如, 它可以调整前腿和后腿的角度, 以改变其飞行的方向或高度.

落地阶段: 青蛙前肢先着地, 前肢在整个落地阶段起着重要的支撑作用, 当靠近地面时, 青蛙开始调整自身的身体姿势, 准备着陆, 而且青蛙会弯曲其四肢, 以减少着陆时的冲击力.

通过分析青蛙的跳跃过程, 得出重心和后腿是跳跃能力的关键因数.

## 1.2 青蛙生理结构的简化模型

如图1-2 是青蛙生理结构的简化模型. 1是前肢起支撑作用, 2是青蛙的躯干, 且长度长于前肢. 3是大腿, 4是小腿, 各个连接处均是转动副连接, 大腿粗于小腿.

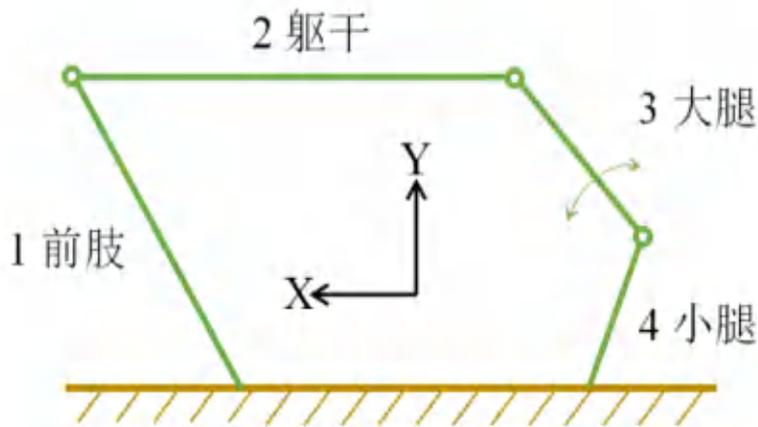


图1-2简化模型  
Figure1-2. Simplified model

## 2 仿真青蛙跳跃机器人的建模

### 2.1 设计准则与动力源选择

考虑设计的总体质量不宜过大, 约为 2kg. 青蛙的弹跳性能, 主要考虑在草地, 田野等地形, 即青蛙的弹跳高度和水平距离. 弹跳高度约 40mm.

本文选择电机与齿轮传动, 弹簧蓄力弹跳的装置进行配合.

### 2.2 传动系统设计

本项目拟采用电机-弹簧组合驱动, 依据驱动系统的对称原理, 研究单边驱动系统. 传动系统如图2-1.

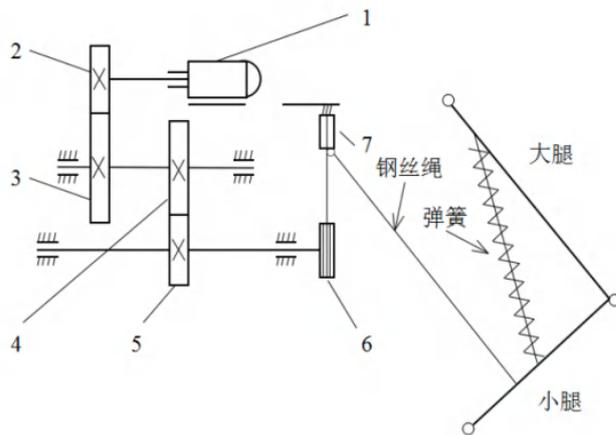


图2-1 单侧传动系统:  
 1 – 为电动机; 2/5 – 均为直齿轮;  
 4 – 为缺齿齿轮; 6 – 为卷筒;  
 7 – 为固定筒  
 Figure 2-1. Single-sided  
 transmission system:  
 1 – the motor; 2/5 – spur gears;  
 4 – the gear with missing teeth;  
 6 – the reel; 7 – the fixed cylinder

传动方式: 电动机输出转矩, 转轴带动齿轮, 齿轮转动带动卷筒转动, 转筒收缩钢丝绳使弹簧收缩, 随后齿轮 4 进入无齿一段后, 弹簧停止收缩, 弹簧势能释放, 使整个装置弹跳。

根据能量转换的关系, 假设整个过程是一种理想状态, 没有摩擦, 不考虑空气阻力等干扰, 弹簧的弹性势能在起跳过程中转化为了青蛙机器人的重力势能和动能, 然后下落过程就是动能和势能之间的转换. 根据能量守恒定律, 可得出如下关系:

$$\frac{1}{2}k\Delta x^2 = \frac{1}{2}mv^2 + mgh \quad (3.1)$$

其中  $k$  为弹簧的弹力系数,  $\Delta x$  为弹簧的压缩量,  $m$  为整个系统的质量,  $v$  为装置的竖直方向上的速度,  $g$  为重力加速度.

当装置跳跃到最高点时, 其整体的竖直方向速度为零, 满足关系如下:

$$\frac{1}{2}k\Delta x^2 = mgh \quad (3.2)$$

根据能量守恒关系来对弹簧进行选型. 通过转矩 ( $T$ ) 的大小来对电机进行选型, 齿轮的选型考虑传递效率 ( $\eta$ ) 以及传动比 ( $i$ ). 如下公式 (3), (4), (5).

$$\eta_{\text{总}} = \eta_1 \eta_2 \eta_1 \eta_1 \quad (3)$$

$$T = F \times d \quad (4)$$

$$i_{\text{总}} = \frac{T_{\text{输出}}}{\eta_{\text{总}} \times T_{\text{输入}}} \quad (5)$$

齿轮传动的效率, 轴承的传动效率, 最大压缩量时的弹力  $F$ , 卷筒半径为  $d$ .

### 2.3 总体装置建模

设计与计算完成之后, 进行整体系统的建模与装配, 装配体如图2-2, 爆炸图如图2-3.

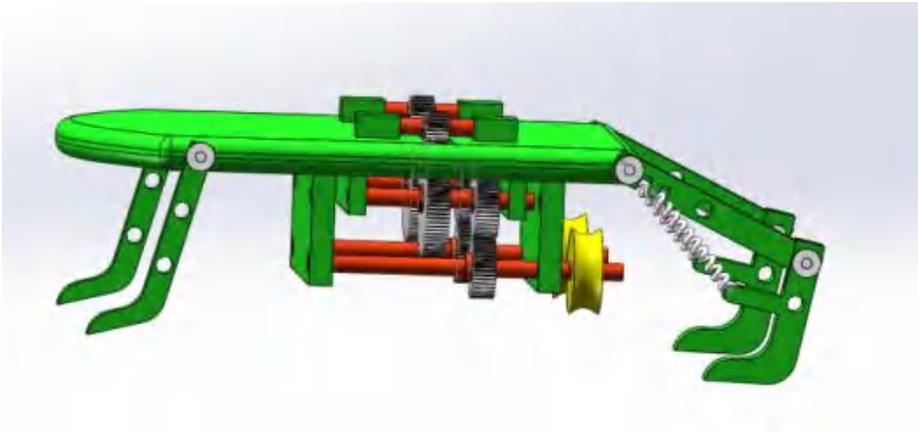


图2-2 装配体  
Figure 2-2. Assembly

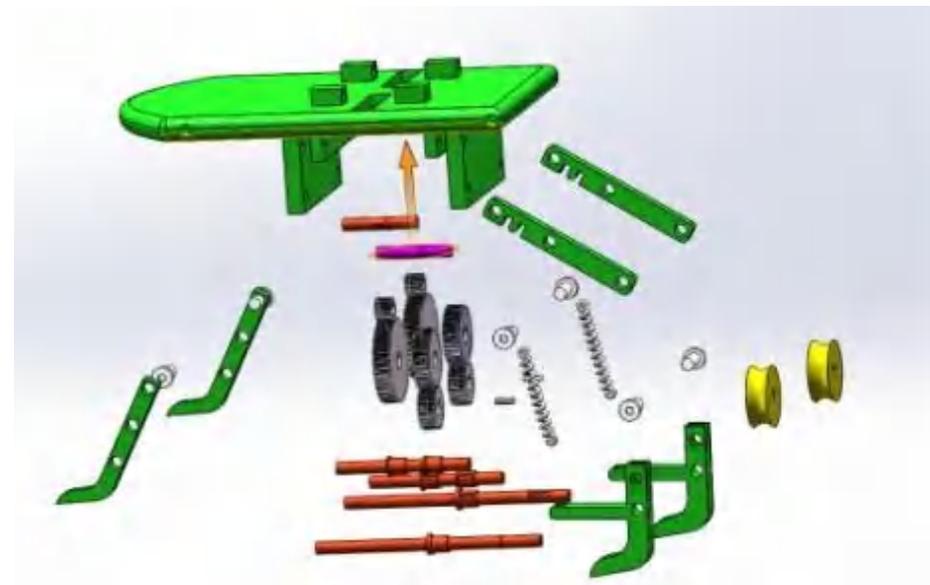


图2-3爆炸图  
Figure2-3.  
Exploded view

## 3 基于 ADAMS 的虚拟样机仿真分析

### 3.1 建立装配体的等效模型

为了便于在 ADAMS 软件进行仿真分析, 将整体的装配体模型进行简化, 得到如下图3-1 所示的模型.

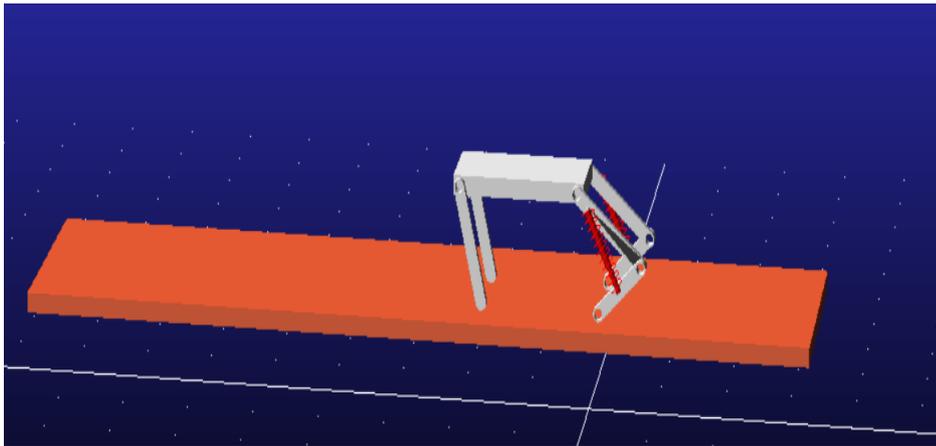


图3-1 简化模型  
Figure 3-1.  
Simplified model

简化模型建立之后, 需要进行各自定义的约束才能进行仿真分析. 如图3-2.

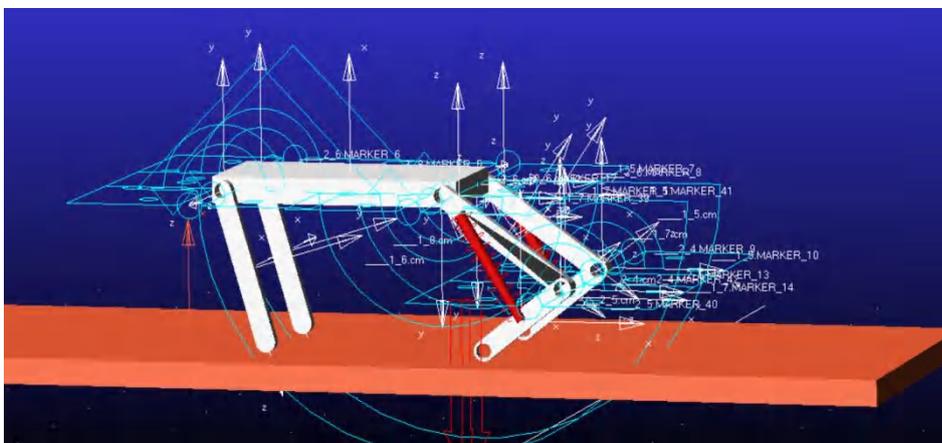


图3-2 定义约束后的模型  
Figure3-2. Model  
after defining  
constraints

### 3.2 仿真分析

位移分析可以直观的看出到仿青蛙跳跃机器人的跳跃性能, 主要分析整个机构的质心处的位移.

首先分析其质心  $y$  方向上的位移, 如图3-3, 最开始的一段时间内  $y$  方向的位移是基本不变的, 其原因是青蛙起跳时需要蓄力, 整体不会跳跃. 机构下降模仿青蛙收腿蓄力的过程,  $y$  方向位移下降, 最后机构弹起,  $y$  方向位移上升. 图3-4, 展示了  $x$  方向的位移, 其变化过程主要呈现一个反向抛物线运动的趋势, 随着机构升高,  $x$  方向的位移变化率越来越小, 到达最高点时, 机构动能为 0, 整体的运动过程基本符合能量守恒定律. 通过分析位移可以得出, 此跳跃机构符合青蛙跳跃的一般规律.



图3-3 质心在 Y 方向上的位移

Figure 3-3. Displacement of the center of mass in the y-direction

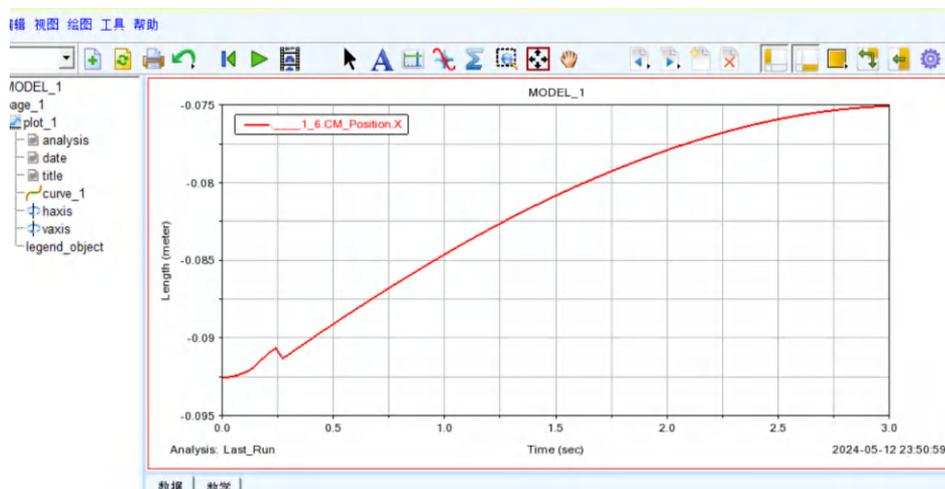


图3-4 质心在 X 方向上的位移

Figure 3-4. Displacement of the center of mass in the X direction

在分析过程中，弹簧力也是非常重要的一环。如图3-5是弹簧力的变化曲线，从图中的峰值变化可以看出弹簧进行了蓄力及爆发的过程，符合弹簧可以蓄力、具有爆发性的特点，并且在落地阶段弹簧还具有吸收能量、减少地面冲击的能力。

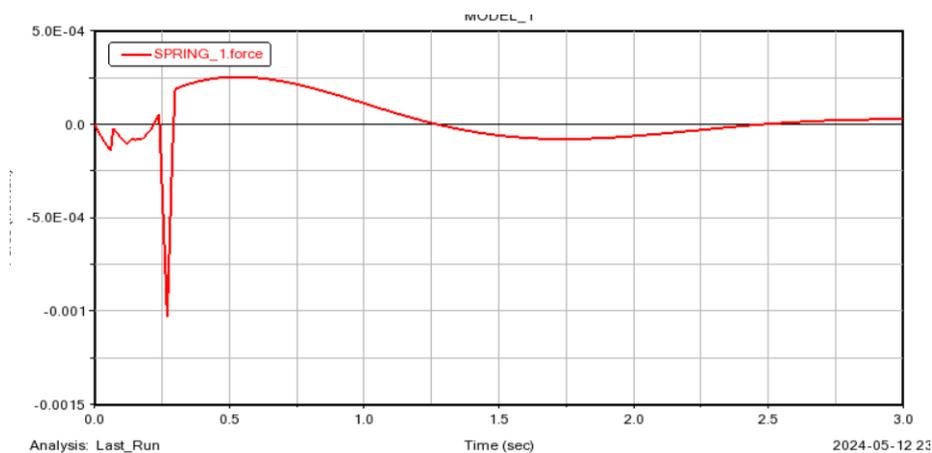


图3-5 弹簧力变化曲线  
Figure 3-5. Spring force analysis

## 4 结论

仿生跳跃机器人参考了自然界跳跃生物的特性和运动方式进行设计，其结构具备科学性，这种跳跃机器人具有强大的越障能力，适用于各种复杂地表环境。仿青蛙跳跃机器人是一种新型的跳跃机器人，其研究也在不断的发展。

在查阅相关文献的基础上，根据自然界蛙类的生理构造特点，设计出了一种电动弹簧复合驱动的仿青蛙跳跃机器人。使用 ADAMS 2019 对简化的 3D 模型分析的研究结果表明，采用弹性元件作为末端驱动器，可以实现仿蛙弹跳的爆发力。

本文的研究集中于对仿青蛙机器人进行模型设计和运动学分析，通过仿真技术对其运动特性进行了深入的探讨。然而，由于实验条件的限制，本研究并未涉及到青蛙跳跃动作的轨迹规划与优化设计等更为复杂的方面。

## 参考文献

- [1] 冯文博, 樊继壮, 赵杰. 气动仿青蛙跳跃机器人动力学分析 [J]. 机械与电子, 2015, (11): 72-76.
- [2] 王猛, 臧希喆, 樊继壮, 赵杰. 仿青蛙跳跃机器人运动学研究 [J]. 系统仿真学报, 2010, (1): 102-106.
- [3] 焦磊涛, 张伟, 仲军, 樊继壮, 王猛. 仿青蛙跳跃机器人的动力学分析 [J]. 哈尔滨商业大学学报 (自然科学版), 2013, (6): 694-698.
- [4] 朱翔宇, 樊继壮, 蔡鹤皋. 仿青蛙跳跃机器人控制系统设计 [J]. 机械与电子, 2011, (8): 64-67.
- [5] 曹国强, 李鹏越, 叶长龙, 李邦宇. 仿青蛙变形轮式跳跃机器人的机构优化 [J]. 机械设计与制造工程, 2023, 第 52 卷 (8): 51-56.
- [6] 任毅豪, 郑亮. 仿青蛙机器人跳跃之力学分析与轨迹优化 [J]. 力学季刊, 2017, 第 38 卷 (2): 289-295.
- [7] 黄昔光, 杭祖权. 仿青蛙机器人运动学分析 [J]. 机械设计, 2012, (3): 23-24, 40.
- [8] 王松, 苑明海, 黄锦婷, 王海东, 鲁义刚. 蛙跳机器人的结构设计与仿真分析 [J]. 机械与电子, 2017, 第 35 卷 (9): 69-72.

## References

- [1] Feng Wenbo, Fan Jizhuang, Zhao Jie. *Mechanical & Electronics*, 2015, (11): 72-76
- [2] Wang Meng, Zang Xizhe, Fan Jizhuang, Zhao Jie. *Journal of System Simulation*, 2010, (1): 102-106.
- [3] Jiao Leitao, Zhang Wei, Zhong Jun, Fan Jizhuang, Wang Meng. *Journal of Harbin University of Commerce (Natural Science Edition)*, 2013, (6): 694-698.
- [4] Zhu Xiangyu, Fan Jizhuang, Cai Hegao. Design of control system of imitation frog jumping robot [J]. *Mechanics and Electronics*, 2011, (8): 64-67.
- [5] Cao Guoqiang, Li Pengyue, Ye Changlong, Li Bangyu. Mechanism optimization of frog-like deformation wheeled jumping robot [J]. *Mechanical Design and Manufacturing Engineering*, 2023, Vol.52(8): 51-56.
- [6] Ren Yihao, Zheng Liang. Mechanical analysis and trajectory optimization of frog robot jumping [J]. *Mechanics Quarterly*, 2017, Vol.38(2): 289-295.
- [7] Huang Xiguang, Hang Zuquan. *Mechanical Design*, 2012, (3): 23-24,40.
- [8] Wang Song, Yuan Minghai, Huang Jinting, Wang Haidong, Lu Yigang. Structural design and simulation analysis of frog jumping robot [J]. *Mechanics & Electronics*, 2017, Vol.35(9): 69-72.