仿刺猬变形履带机构

潘济安　宗芸萱　王琪恒 / 辽宁省实验中学
指导教师　唐　彪

◉ 研究背景

履带式车辆（例如推土机）在泥泞的道路上工作平稳，移动自如。但如果在平坦路面行驶，轮式车辆就比履带式车辆移动速度快很多。

看到这些，我们就考虑可否把轮式移动和履带式移动结合起来，同时解决履带车辆移动速度较慢和轮式车辆越障能力较差的问题。

电视节目《动物世界》中播放过刺猬与老虎相遇的情形：无论老虎怎么攻击刺猬，刺猬只将身体变形，卷曲成球状，将刺朝外保护自己，老虎便无计可施；当老虎走开时，刺猬又恢复成正常“行走”时扁长的体态。看到这种情景，我们就有了一个想法：如果可以模仿刺猬身体的 2 种变形状态，研制具有变形能力的移动机构，实现几何结构的可变性，实现运动状态或形式的转变，就能使其具有较大的移动灵活性，满足在多种环境中的运动需要。

由于轮式和履带式移动机构有各自的优缺点，如果将轮式和履带式移动机构的优点组合，重新发明出 1 种轮式和履带式移动机构可相互转换的新型变形履带机构，也许会大大提高车辆的移动速度和越障能力。有了这个想法后，我们向老师叙述了设计新型变形履带机构的想法，得到了老师的大力支持和帮助。随后，我们 3 个同学一起讨论组成了研究小组，上网查阅了现在正在使用的各种机械设备和装置的移动方式，并认真阅读了相关的资料。我们发现，变形履带机构的适应性、灵活性、机动性和越障性能在我国还有很大的提升空间，由此我们开始了本课题的研究。

◉ 研究目标与设计

➲ 研究目标

针对轮式移动和履带移动机构各自的优缺点，以及目前常用变形履带机构的特点，设计并研制 1 种工作效率高、控制较简单、能够自由转换的变形履带机构。

新型变形履带机构应具有如下特点：

◈ 能够在复杂环境中移动，体积较小；

◈ 履带机构变形方便，原动机构工作载荷较小；

◈ 履带变形过程中能量消耗小，且在履带周长基本不变时，能够实现履带周长自动保持。

➲ 仿刺猬形体变化实现履带机构变形

刺猬在日常生活中，身体处于正常状态，这时的身体比较长；但在遇到“敌人”时，便会蜷起身体，缩紧全身肌肉，形成 1 个圆球，此时的身体相对高一些，全身的刺处于直立状态，使“敌人”无从下口，如图 1 所示。

我们想到，如果模仿刺猬，将 2 种不同变形状态结合起来，即将承载面积较大的履带机构与快速移动的轮式机构有机地结合在一起，同时面向不同路况和工作环境，使履带机构实现快速变形。因此，我们设计的履带变形机构应同时具有履带移动的高平稳性和适应性，以及轮式移动的快速和高效的特点。

根据以上刺猬身体变形特点及轮式、履带机构的运动原理，我们设计了仿刺猬变形履带机构。该履带机构采用 4 杆机构进行变形，成为可根据工作环境变形的移动机构，图 2 展示了该变形履带机构的概念图。

➲ 履带变形机构

我们设计的履带变形机构模仿刺猬身体变形的特点，结合四边形可变形原理，运用 4 杆机构实现履带机构变形，将扁长形履带机构与圆形轮式机构相结合，使其实现履带运动和轮式运动，如图 3 所示。

刺猬在身体变形过程中，尽管肌肉和皮肤会收缩，但变化量比较小。因此我们想到，变形履带机构也必须设计履带周长保持机构，以保证履带周长基本



图 1　刺猬身体变形

不变，防止履带脱落。根据上述履带变形机构的工作需要，我们设计了履带变形所需的周长保持 4 杆机构。

➲ 变形履带机构整体设计

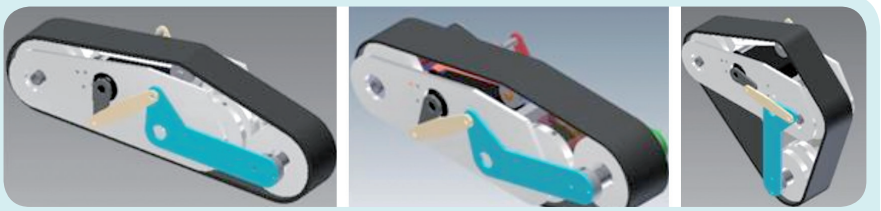
刺猬遇到强大的敌人时，为了保护自己，通过肌肉和皮肤运动，把身体蜷成球形。履带机构变形过程中，一方面用变形机构实现形状变化，另一方面用保持机构实现履带周长基本不变。为了减小变形履带机构的体积和重量，我们模仿刺猬对腹、腿和尾部的收缩，把保持 4 杆机构和变形 4 杆机构组合设计成 1 种联动 4 杆机构（见图 4），使履带在变形的同时实现履带周长基本不变。

在实际设计过程中，通过 1 个支撑轴变形机构中的构件与周长保持机构中的构件连接在一起，实现 2 种机构的联动工作。

模仿刺猬身体变形特点，设计变形履带机构时，可把驱动和传动装置同时封装在履带机构内部。

⦿ 仿刺猬变形履带机构的应用

综合上述设计理念，对变形履带机构进行分析。为体现其整体的运动状态，将变形履带机构安装在 1 个车体上，形



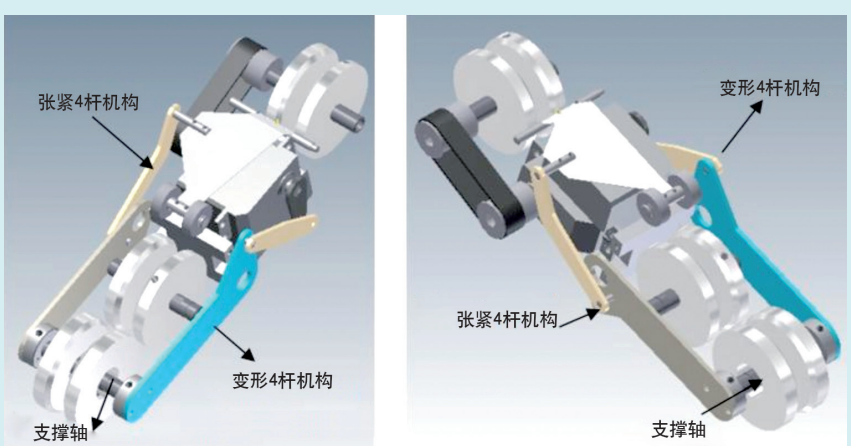
（a）履带水平移动　（b）履带 30° 移动　（c）轮式移动

图 2　变形履带机构概念

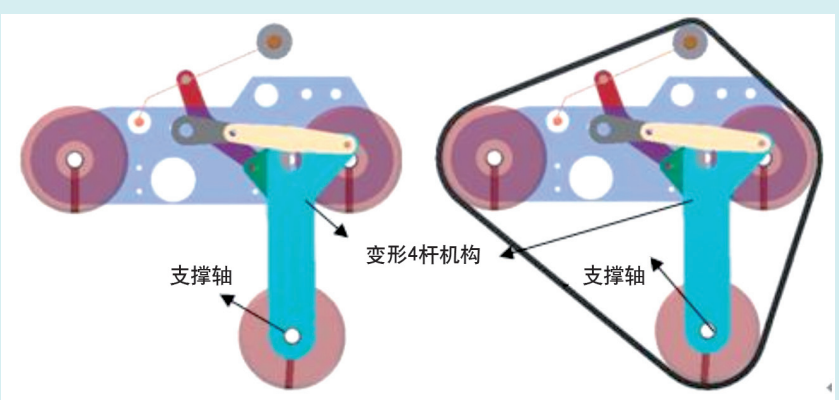


（a）履带机构水平状态　（b）履带机构 30° 状态　（c）履带机构轮式状态

图 3　履带变形状态图



（a）履带机构变形前



（b）履带机构变形后

图 4　联动 4 杆机构模型

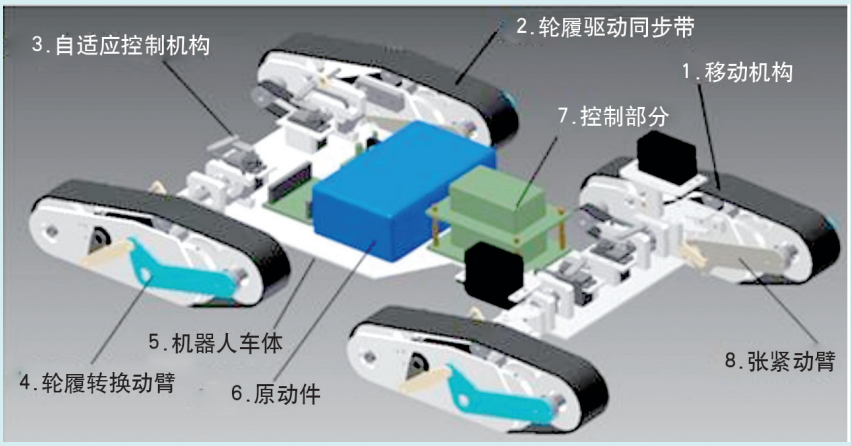


图 5　移动载体结构

成 1 个移动载体，如图 5 所示。当移动载体在崎岖不平的路面行驶时，履带状态能够提供充足的驱动力；当不需要很大驱动力的时候，可以将机构变形为 4 轮驱动的轮式机构从而实现运动效率的提高。

各个零件在工厂加工完成后，将各个零件按照装配图组装起来。通过遥控器控制，该移动载体能够完成各种动作。通过实验我们发现，该移动载体同时具备履带式和轮式移动功能，完全能够在各种复杂环境中运动。

⦿ 应用前景

我们设计的这种仿刺猬变形履带机构具有高度的环境适应性，能够在各种特殊环境中移动，尤其当乱石丛与松软泥土环境同时存在时，变形履带机构可以模仿刺猬身体变形，实现效率较高的轮式移动与越障能力较强的履带移动之间的快速转换。在履带移动与轮式移模式的快速转换过程中，履带周长基本保持不变，因此具有较强的运动稳定性和控制灵活性。此机构体积小、重量轻，具有广泛的市场应用前景。

⦿ 创新点

◈ 原理方面，模仿刺猬身体的变形状态设计履带移动机构。

◈ 结构方面，设计联动 4 杆机构，在履带周长基本不变的情况下实现履带机构变形。

◈ 功能方面，研制具有变形能力的移动机构，实现几何结构的可变性及运动状态或形式的转变，使其具有较大的移动灵活性，满足多种环境中的运动需要。

⦿ 收获与体会

一年多的课外研究性学习活动，使我们发现问题、提出问题及运用所学知识解决问题能力得到了大幅度提高。研究过程中，我们研究小组 3 人进行了讨论、调研、设计和实验工作。其中，潘济安主要完成选题、设计、画图等工作；宗芸萱主要完成查新和撰写报告；王琪恒主要完成加工、记录等工作。

通过研究仿刺猬变形履带机构，我们深切体验到实践、创新的价值和意义所在，感受到书本上的知识确实为我们打下坚实的基础，但是要应用到实际中还是有很多困难需要克服。活动过程也使我们更深刻地体会到科研工作的严谨与艰辛。在今后的学习与工作中，我们会继续保持严谨认真的科学态度，这将是我们成长历程中的宝贵财富！

该项目获得第 27 届全国青少年科技创新大赛创新成果竞赛项目中学组工程学一等奖。

专家评语

该仿刺猬变形履带机构在复杂工作环境中进行变形，实现了轮式与履带移动的转换，增强了对环境的适应性，提高了移动机构的运行效率。建议进一步开展根据环境变化智能分析、主动变形并实现远程控制。■