



北京航空航天大学
B E I H A N G U N I V E R S I T Y

第二十四届“冯如杯”学生创意大赛

机器蜘蛛侠

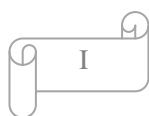
——新型爬墙机器人

2014 年 4 月 7 日

摘要

随着高层建筑的日益增多，随之而来的高层作业难度也逐步提升，高层隐患日益凸显。市场的需求推动着爬墙机器人的发展，各国都已有了一定的成果。不过，目前已有的爬墙机器人由于技术和原理的缺陷，适用范围受到一定的制约，实用性也大打折扣。因此仿照蜘蛛爬墙方式，设计一种新型爬墙机器人，对爬墙原理和方式进行创新，取名为“机器蜘蛛侠”。该机器人采用铝合金桁架作为主体，借助足底装填的涂有黏胶的吸附小片黏在墙上作为着力点，通过不断替换小片来进行爬墙运动，结构简单，体积轻便，有效载荷高，对墙面要求低，实用性大大提高。

关键词：爬墙机器人，瞬干胶，吸附小片



目录

第一章 引言	1
1.1 创意背景	1
1.2 现有产品情况	1
第二章 机器蜘蛛侠的主要设计	3
2.1 结构设计	3
2.2 运动过程	7
第三章 可行性分析	11
3.1 受力分析	11
3.2 行程分析	11
3.3 成本分析	12
第四章 产品前景	13
4.1 产品优势	13
4.2 使用前景	13
4.3 产品升级空间	13
项目总结	15
参考文献	16

第一章 引言

1.1 创意背景

随着城市建筑物高度的不断攀升，高层建筑的作业问题也日益凸显，如高层建筑的探测、救援等任务难以解决。高空作业的危险率一直居高不下。另外，高层建筑的隐患也需要值得重视，一旦发生突发事件，救援难度远大于一般建筑。2010 年 11 月 15 日上海静安区高层住宅大火，造成 58 人遇难，这给人们敲响了警钟。而如果能有一种机械进行攀爬到达事发地点进行探测，无疑会给救援工作带来很大的便利。因此，为了解决这些困难，我们迫切需要开发一种爬墙机器人，能够依附在墙上代替人进行危险高空作业。受到蜘蛛爬墙的启发，设计了一种采用铝合金桁架作为主体，借助足底装填的涂有瞬干胶的吸附小片黏在墙上作为着力点，通过不断替换小片来进行爬墙运动的爬墙机器人，因其外形酷似蜘蛛，取名为“机器蜘蛛侠”。

1.2 现有产品情况

因为爬墙机器人的实用性，目前各国都对其进行了深入的研究，也有了不少研究成果，很多国家都已经生产出样品机。爬墙机器人最大的难点在于如何能贴附在墙面上行走。目前来说，大致有三种贴附原理。第一种是利用电磁铁原理。主要就是在足部安装电磁铁，通电时足部能吸引铁质墙壁，从而产生摩擦力吸附在墙壁上，通过不同的足交替吸附墙壁来实现爬墙功能。这种爬墙机器人优点在于吸附力足够大，可携带较重的有效载荷，但同时局限性也同样明显。首先对墙面的要求很苛刻，必须是铁质墙壁，实用性就大打折扣了。同时因为是电磁铁吸附，所以耗电量也比较明显。受限于电量，该机器人的行程比较近。第二种是利用真空吸附原理。也就是足部安装吸盘，通过将吸盘内部抽成真空，利用大气压强产生正压力，从而产生摩擦力吸附在墙上，同样也是足部交替前进^[1]。这种爬墙机器人实用性较为广泛，在光滑墙面上均能实现功能。但是局限于真空技术，可提供的摩擦力并不是非常大，也就意味着有效载荷

比较小。同时由于吸盘的局限，所爬墙面需要比较光滑，在一些凹凸墙面很难有所作为。第三种是气动式，在机器人尾部斜向安装旋动喷气装置，利用该装置同时产生升力和正压力，通过车轮与墙面形成摩擦力并前进^[2]。这种机器人适用范围广泛，可适用于各种墙面。但该机器人稳定性能很差，不能很好地吸附墙面，并有翻车、坠落的风险，所以可靠性并不高。

第二章 机器蜘蛛侠的主要设计

2.1 结构设计

机器蜘蛛侠长 640.61mm，宽 304.68mm，高 201.08mm，最大步距有 700mm，整体图见图 1。机器蜘蛛侠为了减轻重量，整体采用桁架结构，吸附墙壁主要利用速干胶。通过粘有速干胶的小片黏在墙上，提供吸附力和前进支点，同时四足交替铺设小片前进。主要通过步进电机和伺服电机控制机器人动作，采用单片机编程实现自主控制。机器蜘蛛侠共分为三部分：吸附部分（足部）、前进部分（四肢）和控制部分（躯干）。由于整个机器人内部并无高功率用电器，可用普通蓄电池作为电源。

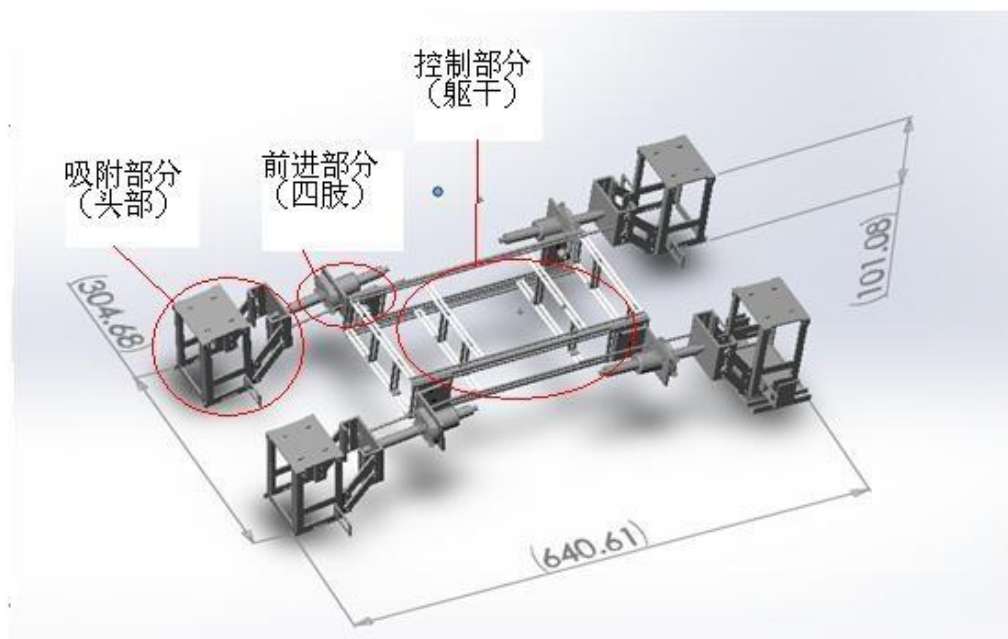


图 1 机器蜘蛛侠整体图

2.1.1 吸附部分

吸附部分即机器人的四足，是机器蜘蛛侠的最主要部分，主要任务是提供机器蜘蛛侠吸附墙壁的吸附力和摩擦力。主要结构如图 2。

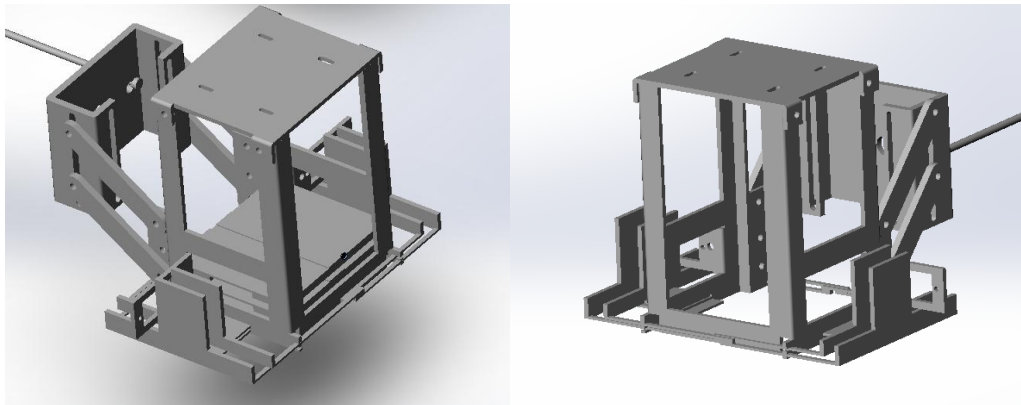


图 2 机器蜘蛛侠足部（右为不装填吸附小片状态）

吸附部分又分为两部分。一部分负责整个足部的升降，另一部分负责存储吸附小片并控制小片的替换。

吸附小片（见图 3）尺寸为 $66 \times 56 \times 3.5$ ，外侧面涂上速干胶，在接触墙壁后短时间内可黏在墙壁上。内侧为一张光滑薄膜，与下一片小片外侧，防止速干胶干掉。外侧同时附有凹槽，可卡在足底，黏在墙上后可借助凹槽向整个机器人提供吸附力，并可以此为支点向上攀爬。小片为一次性物品，使用后即留在在墙上。

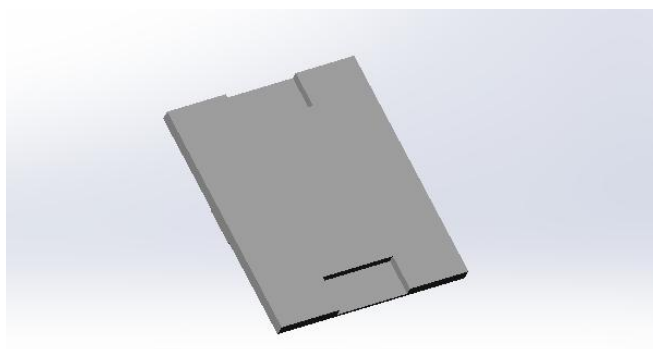


图 3 吸附小片示意图

足底通过步进电机控制升降自身的升降。足部升降配合着吸附小片的替换和整体的前进，同时提供正压力保证吸附小片贴附在墙上，每一只足各需一个步进电机完成此功能。图 4 为足部升降示意图。

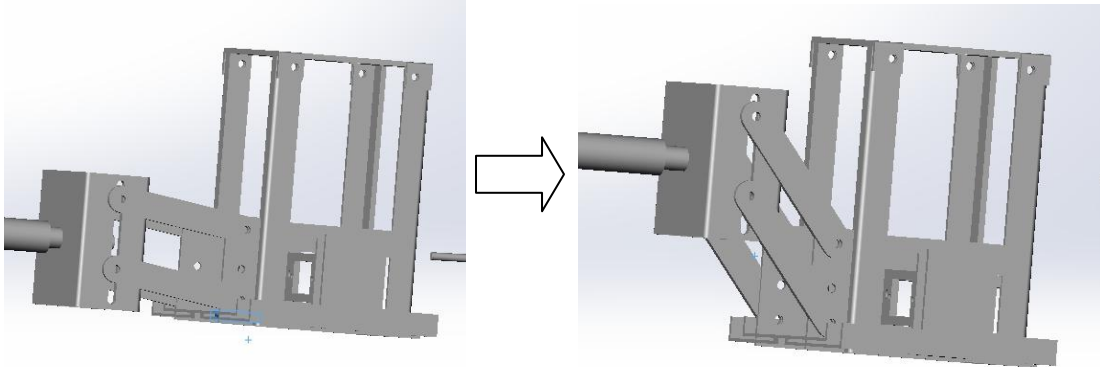
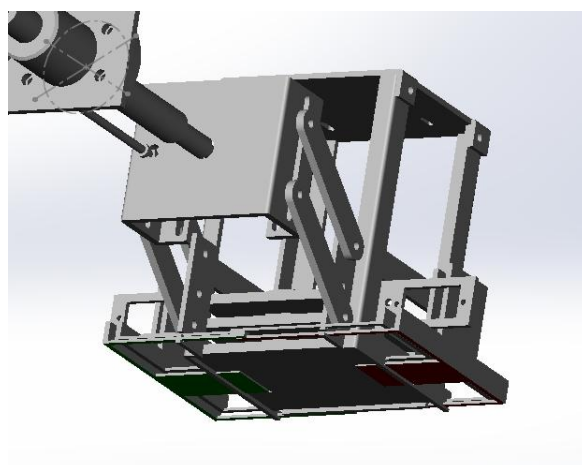
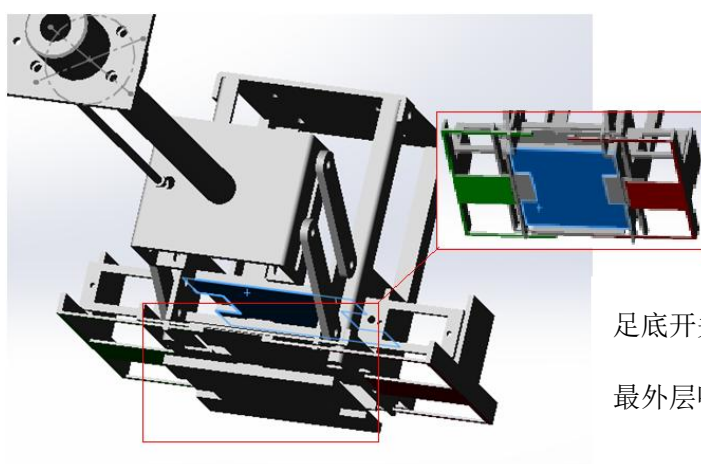


图 4 足部升（左）降（右）示意图

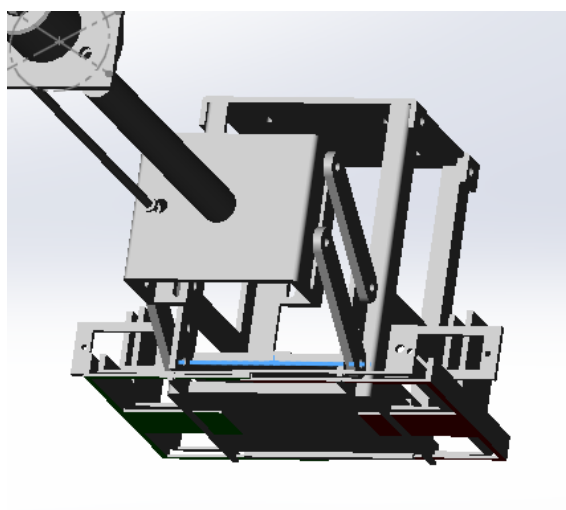
控制吸附小片部分常态是将吸附小片锁紧在足底，当需要替换吸附小片时，需要松开足底卡住小片的开关，由内置弹簧将已使用的小片顶出，在开关合上后将下一片吸附小片顶到开关处，然后进行下一次粘附。小片平时不装填在机器人内，在需要使用时可提前进行吸附小片的装填工作。足底开关的打开使用两个伺服电机，因为有四只足，所以需要八个伺服电机。图 5 为吸附小片替换的全过程。



足底开关夹紧状态



足底开关打开，
最外层吸附小片脱出



足底开关重新关闭，第二片
小片取代第一片小片位置

图 5 足底工作过程图

2.1.2 前进部分

前进部分即四肢，主要是由步进电机构成的伸缩装置组成。四肢既是足部与躯干的连接部分，也是为整个机器人行进提供动力的部位。通过步进电机带动四肢的伸缩，配合着足部的吸附小片的替换和吸附墙壁，从而达到在墙面行走的效果。

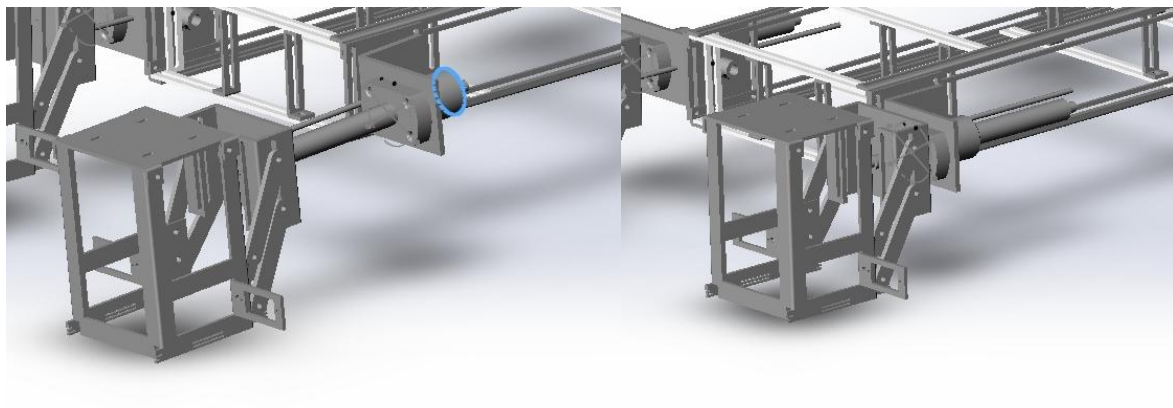


图6 肢体伸（左）缩（右）示意图

2.1.3 控制部分

控制部分主要采用单片机编程，而单片机装在机器蜘蛛侠中间躯干部位的桁架里。通过单片机连接控制八个伺服电机（四足各有两个）和八个步进电机（四足各有一个控制升降，四肢各有一个控制伸缩）。利用电脑软件模拟整个运动过程，然后对每个电机的动作进行模拟，最后编程，通过电信号控制机器蜘蛛侠的运作。在控制电路上还需要连接信号收发装置，便于接受远程遥控。

2.2 运动过程

以下机器蜘蛛侠向前行进一步的全部运动过程：

(1).机器蜘蛛侠起步时四足出于收缩状态，四足底部最外层吸附小片均与墙壁黏在一起，足底开关处于关闭状态，此时机器人可在墙壁悬停，进行探测等有效工作。

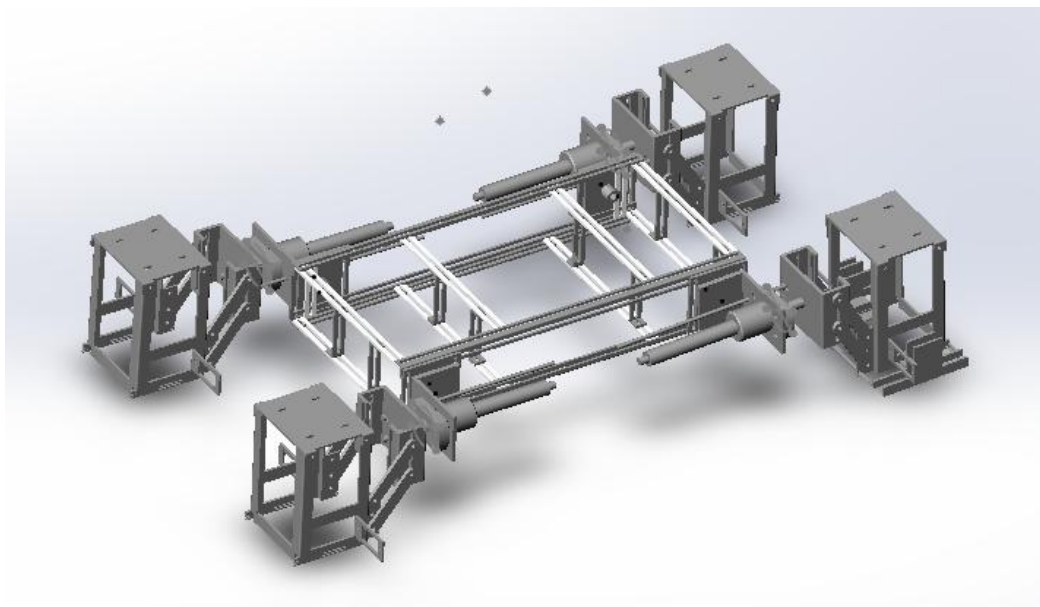


图7 运动步骤(1)

(2).当机器人开始运动时，首先利用两只前足的伺服电机打开前足的底部开关，脱离已粘附在墙上的吸附小片，然后利用步进电机将两只前足伸展抬起，此时与墙壁贴附的力集中在两只后足上。

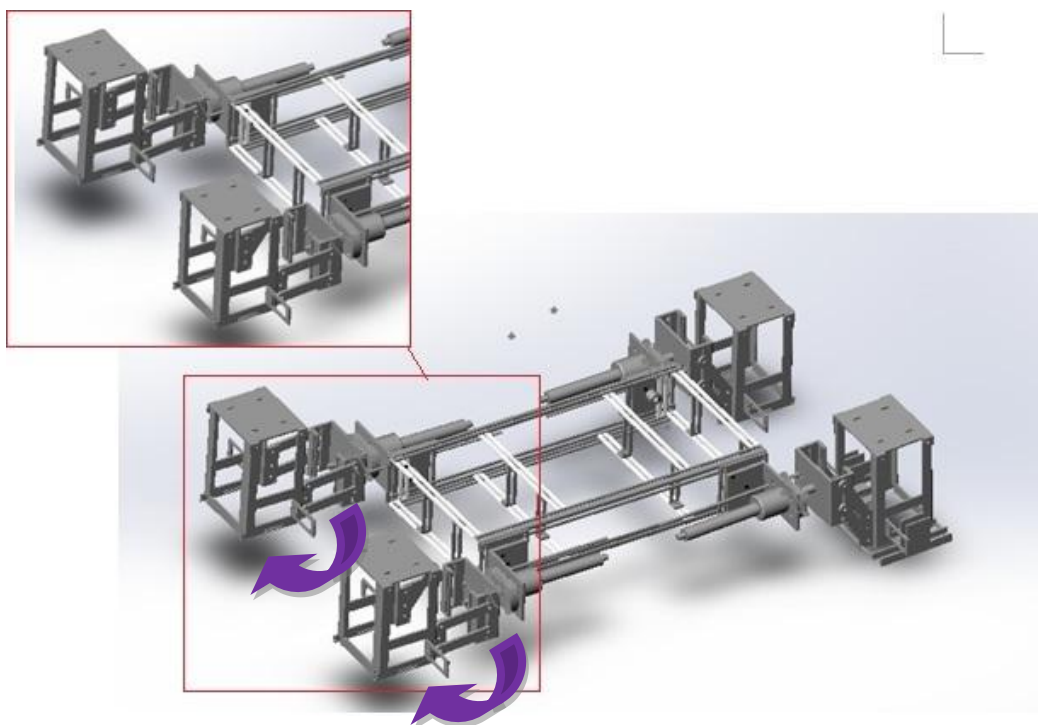


图8 运动步骤(2)

(3).两只前肢的步进电机开启，两只前肢伸出带动两只前足向前移动。此时后足仍贴附在墙壁上。

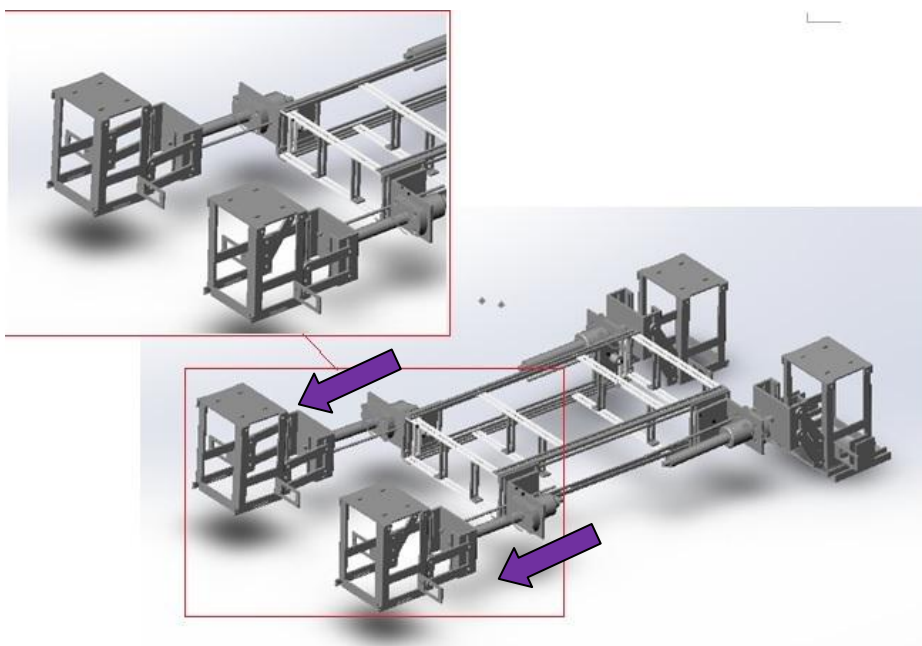


图9 运动步骤(3)

(4).前足的底部开关重新关闭，新的吸附小片由弹簧顶到足底。前足收缩降低接触墙壁并贴紧墙壁，前肢收缩，后肢伸展，机器蜘蛛侠躯干部位前移。

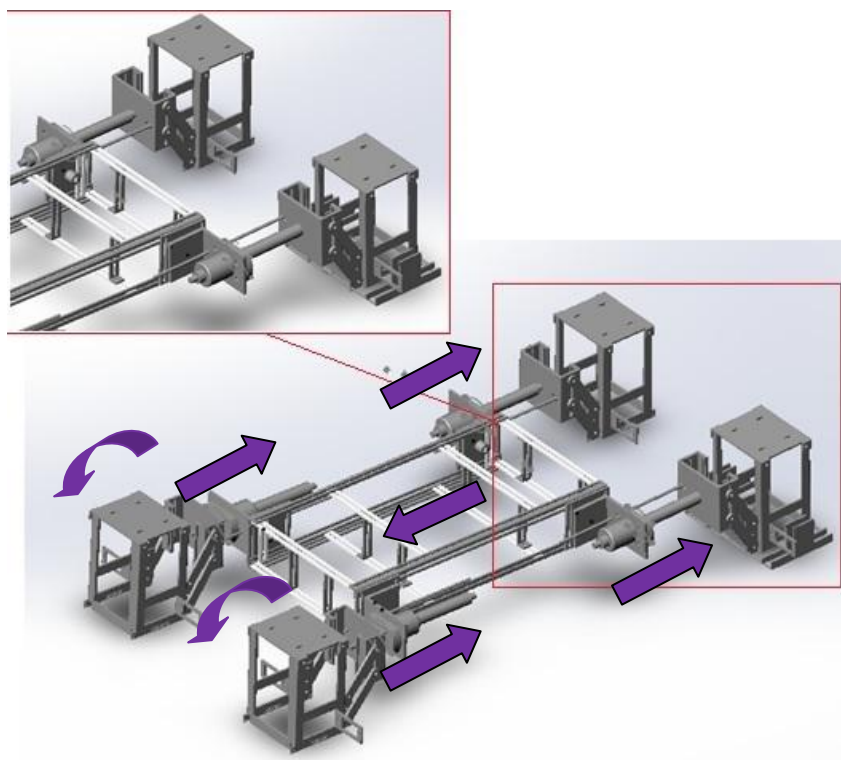


图10 运动步骤(4)

(5).后足底部开关打开，脱离已附在墙上的吸附小片，然后后足抬高。

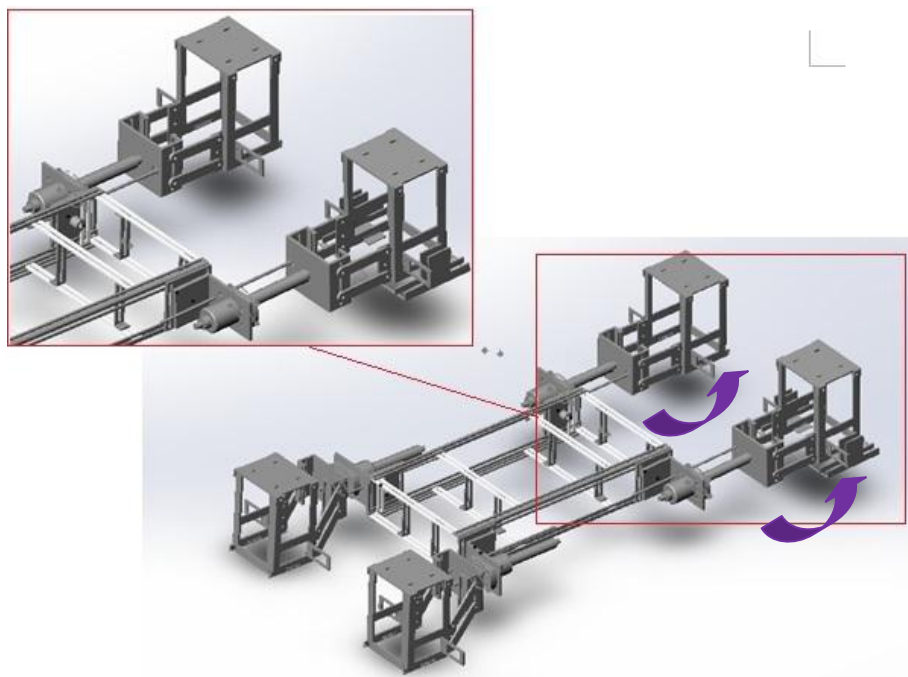


图 11 运动步骤(5)

(6).后肢收缩，然后后足收缩降低，关闭底部开关（参照前足动作），新顶出的吸附小片黏在墙上，此时回复到步骤(1)状态，一个运动周期完成。

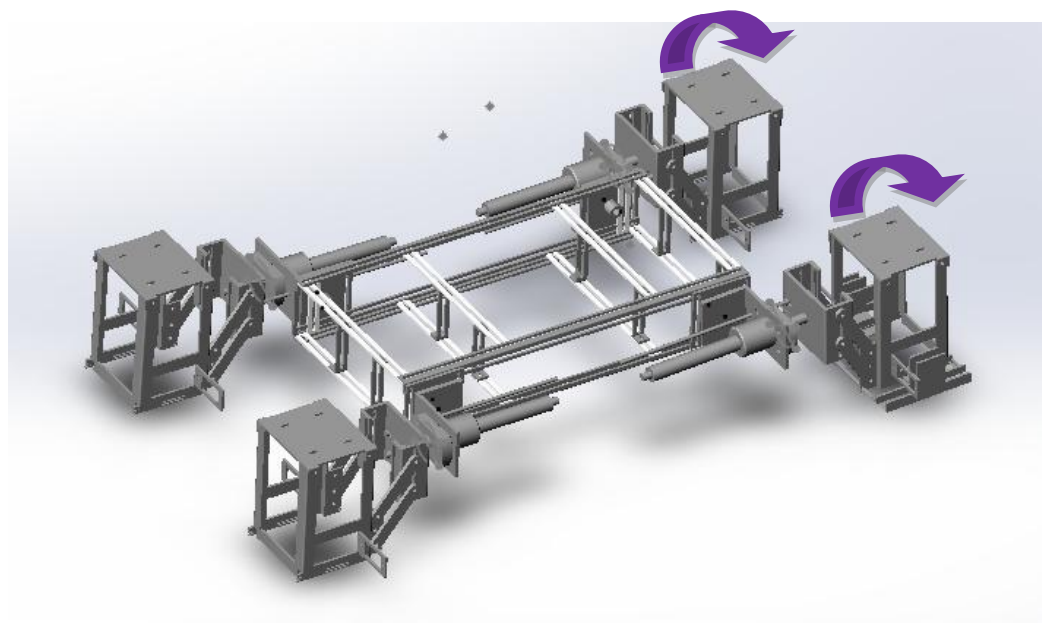


图 12 运动步骤(6)（与步骤(1)相同）

第三章 可行性分析

3.1 受力分析

本产品难度在于如何利用附有黏胶的吸附小片吸附在墙上，为保证爬墙效果，需从两方面来着手。一方面尽可能的减轻机器人重量，故此机器人主体部位采用桁架结构，关键部位采用铝合金，在保证使用强度的前提下最大限度的减轻重量。另一方面即需要一种具备强力粘性和瞬干特性的黏胶来涂在吸附小片的表面，通过提高粘性保证使用效果。机器蜘蛛侠预计质量共 5kg，有效载荷按 2kg 计算，在爬墙过程中，受力极限为两只足黏在墙上的时候，即单靠两只足黏在墙上需要提供能承担整个机器人所需的黏力。

目前经查阅资料，乐泰 401 瞬干胶较为合适。首先，它在 1 至 5s 内就能提供有效粘性。其次，它的粘合性比较好。经过实验，每一平方厘米的接触面积能提供 1 公斤左右的切向拉力^[3]。一片小片与墙的接触面积约为 30 平方厘米，考虑到接触不充分，两只足完全能提供使机器人贴附在墙上的黏力。故机器蜘蛛侠原理可行。

3.2 行程分析

此机器人设定步距为 70cm，即每前进一步可行进 70cm。每只足内部最多可装填 60 片吸附小片，即总行程可达到 40 米左右，已经可以达到部分高楼的高度。如果需要更大行程，可考虑将四足加高或者将步距加大。

3.3 成本分析

成本具体如下：

表 1 机器蜘蛛侠成本计算表

项目	步进电机驱动芯片	导线等接插件	制板费	单片机	步进电机	伺服电机	加工经费	总计
规格	L298n			80c51	直流5v, 200g	航模舵机		
金额（元）	19*8	50	100	16*2	20*8	20*8	1500	2154

主要费用还是细小零件的加工费用，造价比现有的爬墙机器人低，如果能实现量产，价格会进一步降低。

第四章 产品前景

4.1 产品优势

机器蜘蛛侠相比于同类产品，具备很多优势：

第一，此机器人爬墙原理为黏胶粘附支点，不同于电磁式吸附和真空式吸附，对墙面并无太多要求，适应性很强，适用于水泥、玻璃、瓷砖等大多数墙面，并且在保证接触面积足够大的前提下允许墙面有一定的不平度；

第二，此机器人结构简单轻便，控制复杂度低，出故障的概率就会小很多；

第三，此机器人原理简单，不需要附加其他装置，如抽气装置、电磁铁装置等，使得有效载荷可以进一步扩大；

第四，，此机器人功率较低，对电池要求较低，耗电少，节能减排。

第五，造价低廉，性价比高。

4.2 使用前景

机器蜘蛛侠主要针对高层建筑作业设计，功能较为专一。主要载荷一般为探测器或者摄像头。可在高层建筑发生突发事件比如火灾时，使用此机器人携带摄像头先行探路，从外部进入事故现场，在第一时间把第一手资料传回地面，方便人们制定救援计划。

4.3 产品升级空间

未来机器蜘蛛侠具有很大的升级空间，以提升性能，使实用性进一步提升：

第一，可以将四肢加长，足部加厚，以提供更大步距，使机器人行程更长，实用性更好；

第二，可以在机器人足部加装传感器，可以探测墙面状况，自动选择最优路线；

第三，可以在机器人腰部等关节部位伺服电机，使机器人运动更加灵活方便，以便能使机器人完成更多的任务；

第四，可寻找更加环保的、能自动分解的材料制作吸附小片，来减少吸附小片附着在墙上造成的污染。

项目总结

为解决现有爬墙机器人的适用范围不广、可靠性不高的问题，机器蜘蛛侠从爬墙黏结介质入手，寻找了一种全新的爬墙方式，并同时配套设计了一系列结构和动作来实现爬墙功能，结构轻便，能在各种墙面上使用，使用范围广。但同时机器蜘蛛侠还存有一定的问题，比如受到吸附小片填充空间的限制，爬墙行程受到影响；受到瞬干胶性能影响，爬行速度不能太快；吸附小片和瞬干胶会残留在墙上。这些都是在以后的升级产品中需要解决的问题。

参考文献

- [1]高玮玮、陈再良、宦洪才．基于气压传动原理五足式爬墙机器人的设计与制作[J]．苏州大学学报(工科版)，2006，(4)
- [2]徐聪、韩奉林、刘曼玉、张瑞强、陈帅．一种斜推式爬墙机器人的分析与设计[J]．设计与制造，2003，(5)
- [3]张中举．乐泰胶的特点及使用[J]．汽车与配件，2000，(1)