(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)实用新型专利

(10)授权公告号 CN 202513492 U
(45)授权公告日 2012.10.31

(21)申请号 201120548537.3

(22)申请日 2011.12.23

(73)专利权人 北京国网富达科技发展有限责任公司
地址 100070 北京市丰台区南四环西路 188 号总部基地六区 13 栋

(72)发明人 李红旗 郭志广 王启源 曹向勇 解玉文 邓占云 王睿

(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127
代理人 戴云霓

(51)Int.Cl.
H02G 1/02(2006.01)
B64C 39/02(2006.01)

(ESM)同样的发明创造已同日申请发明专利

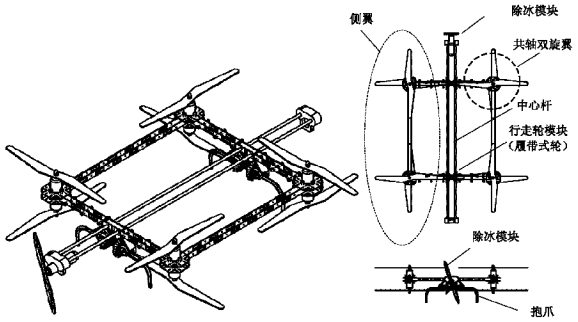
权利要求书 2 页 说明书 12 页 附图 3 页

(54)实用新型名称

线航两栖电力线路综合维护机器人

(57)摘要

一种线航两栖电力线路综合维护机器人，所述线航两栖电力线路综合维护机器人包括：飞行子系统，当所述机器人处于飞行作业模式时，通过所述飞行子系统执行电力线路的远距离或近距离巡航；线上子系统，当所述机器人处于线上作业模式时，通过所述线上子系统实现所述机器人在所述电力线路上的行走；作业子系统，当所述机器人处于线上作业模式时，通过所述作业子系统对所述电力线路进行维护作业；所述飞行子系统、所述线上子系统和所述作业子系统采用独立可拆装的模块化结构，所述线上子系统和所述作业子系统安装于所述飞行子系统的主框架上。



CN 202513492 U

1. 一种线航两栖电力线路综合维护机器人，其特征在于，所述线航两栖电力线路综合维护机器人包括：

飞行子系统，当所述机器人处于飞行作业模式时，通过所述飞行子系统执行电力线路的远距离或近距离巡航；

线上子系统，当所述机器人处于线上作业模式时，通过所述线上子系统实现所述机器人在所述电力线路上的行走；

作业子系统，当所述机器人处于线上作业模式时，通过所述作业子系统对所述电力线路进行维护作业；

所述飞行子系统、所述线上子系统和所述作业子系统采用独立可拆装的模块化结构，所述线上子系统和所述作业子系统安装于所述飞行子系统的主框架上。

2. 根据权利要求 1 所述的线航两栖电力线路综合维护机器人，其特征在于，所述飞行子系统包括：

机翼框架模块，通过方形排列的 4 对共轴双旋翼结构，实现所述机器人的飞行与降落；

飞控模块，通过对所述机翼框架模块中各个旋翼的旋转方向以及转速进行控制，实现对所述机器人飞行姿态的调整。

3. 根据权利要求 2 所述的线航两栖电力线路综合维护机器人，其特征在于，所述机翼框架模块包括：中心杆以及可绕所述中心杆旋转的一对侧翼；

每个侧翼包括：方形机翼框架以及设置于所述方形机翼框架顶角上的 2 对共轴双旋翼结构；

当所述机器人切换至所述飞行作业模式时，所述一对侧翼绕所述中心杆向上旋转并展平；当所述机器人切换至所述线上作业模式时，所述一对侧翼绕所述中心杆向下旋转并合拢于所述电力线路的下方。

4. 根据权利要求 2 所述的线航两栖电力线路综合维护机器人，其特征在于，所述线上子系统包括：

行走轮模块，采用履带式轮的结构，在所述电力线路上行走；

抱爪模块，包括位于当所述行走轮模块两侧的一对抱爪，当所述机器人处于线上作业模式时，一对抱爪处于抱紧状态，将所述电力线路环抱于所述行走轮模块和所述抱爪模块之间；当所述机器人处于所述飞行作业模式或者等待下线模式时，所述一对抱爪处于张开状态；

线控模块，控制所述行走轮模块和所述抱爪模块的工作状态。

5. 根据权利要求 1 所述的线航两栖电力线路综合维护机器人，其特征在于，所述作业子系统包括下列模块中的一种或多种：

巡检模块，完成电力线路的线上巡检作业；

除冰模块，采用棍棒敲击的方式清除所述电力线路的覆冰；

清障模块，清除所述电力线路上的障碍；

吊装模块，吊装所述电力线路上的其他线上作业设备；

所述飞巡检模块、除冰模块、清障模块和吊装模块采用独立可拆装的模块化结构。

6. 根据权利要求 1 所述的线航两栖电力线路综合维护机器人，其特征在于：

所述飞行子系统，还用于当所述机器人处于线上作业模式，且检测到所述电力线路上

的障碍为不可逾越的大型障碍时，将所述机器人的工作模式切换为飞行作业模式以跨越所述大型障碍。

7. 根据权利要求 1 所述的线航两栖电力线路综合维护机器人，其特征在于，所述的线航两栖电力线路综合维护机器人还包括：

电源模块，用于为所述机器人提供电力支持；

所述机器人，当检测到电源电量低于设定阈值时，停止执行线路巡航以及线上作业，等待操作指令后，执行下线和降落任务。

线航两栖电力线路综合维护机器人

技术领域

[0001] 本实用新型涉及电力技术领域，特别涉及一种线航两栖电力线路综合维护机器人。

背景技术

[0002] 我国水电资源集中在西南部，太阳能资源集中在西北地区的戈壁、沙漠中，而电力消耗大户却集中在东部地区。因此，未来“绿电”的长距离运输无法避免。我国幅员辽阔、地形多变，而且近年极端天气频繁，这都对智能电网的可靠性、安全性提出了更高的要求。保障电网“坚强”、提高智能电网可靠性的重要一环是线路的巡检与维护。

[0003] 现行高压输电线路的运行维护模式多为人工常规作业方式，不仅劳动强度大、工作条件艰苦，而且劳动效率低，特别是在遇到电网穿越高山、大川等特殊地形，线路紧急故障，异常气候条件，滑坡、泥石流、冰雪等地质灾害，线路维护人员要依靠地面交通工具或徒步行走、利用肉眼来巡查电网设施、利用普通工具处理设备缺陷、人工进行覆冰清除、清障等线路作业。

[0004] 随着我国国民经济的持续快速发展，这种人工作业方式已经不适应现代化电网建设与发展的需求。“坚强智能电网”急需“智能”、“坚强”的电力巡检和维护方式。基于此，以现代智能技术为基础，研究一种高效的智能维护装备，以实现输电线路的自动日常巡检和紧急处理，进而保障智能电网的“坚强”，具有重要的现实价值和社会意义。目前线上机器人的研究主要集中于巡线和除冰作业。

[0005] 一、巡线机器人

[0006] 巡线机器人的发展大致经历了两个阶段。始于 20 世纪 80 年代末的早期巡线机器人没有越障能力，只能在一个档距内运行。这类巡线机器人的代表机型有日本佐藤建设工业株式会社于 1993 年研制的“架空输电导线损伤自动检测机器人”和加拿大魁北克水电研究院的 Serge Montambault 等人研制的 HQ LineRover。此外，泰国国王科技大学和日本工业大学于 2001 年合作研制的“自主巡线机器人”也只能在一个档距内运行、不具备越障能力。此后，加拿大魁北克水电研究院开发的 LineScout、日本多家机构合作开发的 Expliner 等多种机器人可以在一个耐张段内行走，但存在机构复杂、重量大、控制难度大等缺点。

[0007] 从上世纪末开始，国内也对巡检机器人进行了大量的研究和开发。沈阳自动化研究所研制的机器人，通过手臂绕竖直方向的轴线旋转实现越障。山东科技大学、山东大学等研制了三臂巡检机器人，该机器人由行走驱动装置和柔性摆动臂机构组成。其中行走驱动装置由三个独立的单体（或称为手掌）组成，柔性摆动臂由肩关节、大臂、肘关节、小臂、腕关节和手等部分组成。武汉大学、上海大学、北京航空航天大学、中科院自动化研究所等也进行了巡线机器人的研究。北京国网富达科技发展有限责任公司也在巡线机器人方面做了大量了研究。

[0008] 上述巡线机器人中，具有越障能力的，一般结构尺寸大、质量大、实用性差；不具备越障能力的，其巡线作业范围则受到极大限制。目前仍没有十分成熟、可靠的产品可用。

[0009] 关于直升机巡线系统的研究和开发方面，华北电力大学于 2004 年开发了一种电力巡检线路机器人及其控制系统，使用蓄电池为发动电机、检测传感器以及数据链路系统提供电源。2007 年 8 月份，福建省首次利用直升机对超高压输电线路进行空中巡检，使用一架红色 Z-11 直升机载着 2 名电力巡线人员从福建罗源停机坪出发，巡检福建连接华东电网的重要线路。东北电网公司齐齐哈尔超高压局研发的科研项目直升机巡线自动提示系统，已在 2009 年在送电专业中得到应用。

[0010] 相比于有人机，无人机机器人利用无人直升机灵活机动的特点，能够代替巡线工作人员进入地形复杂的区域进行巡视，可以提高巡检效率，降低巡检工作风险，与有人机相比，无人机巡线一次性投资小，巡线成本更低。

[0011] 山东电力科学研究院所研制的巡检无人机可以携带红外热像仪、可见光 CCD 等设备，在导线的侧方或侧上方，按事先设定的路径和速度沿输电线路飞行，对杆塔的损坏、变形、被盗、绝缘子的破损和污秽、线夹松脱、销钉脱落、异物悬挂、导线断股、接头接触不良、局部热点等故障进行检查，并将实时的可见光视频与红外视频展示到后台软件，为巡检人员提供事故隐患的相关数据。该系统于 2010 年 4 月年在山东电力公司获得成功应用和推广。

[0012] 二、除冰机器人

[0013] 国内外对输电线路覆冰的除冰技术和装置的开发都相当重视，先后提出了 30 余种除冰技术。根据工作原理，这些除冰技术可归纳为 4 类 :热力除冰法、机械除冰法、自然被动法和其他方法，应用最多的是热力除冰和机械除冰两种方式。这些除冰技术中只有 7 种方法通过了防冰或除冰检验 (4 种为热力法，3 种为机械法)。热力除冰方法虽然除冰效果好，但是采用的融冰技术耗费的成本较高，能耗比机械除冰方法高出 100 多倍，并且有的需要增加线路负荷，还有的线路不便进行融冰，热力融冰方法存在一定的弊端。而采用能耗低的机械碰撞除冰法，其效果比热力除冰法要高出 30 ～ 100 倍，其成本也远远低于热力融冰。

[0014] 此外还开发了多种输电线路除冰装置，如加拿大魁北克水电局研制出一种手动牵拉滑轮除冰装置，通过操作人员在地面拉动牵引绳，使滑轮沿着导线除冰方向运动，利用滚轮上前端的刀片将冰破坏。为克服手动牵拉滑轮除冰装置的不足，加拿大魁北克水电局研制出一种远程遥控紧凑型电车除冰装置，但该装置无越障能力。美国 Roger Hansen 于 2001 年发明了一种架空输电线路振动除冰装置，该装置为可控电子机械式振动器，半永久性安装于导线上，冰雪传感器安装于机械式振动器附近。振动器通过一个安装于附近的电流变压器驱动。

[0015] 进入 21 世纪，随着线路覆冰现象的增多，国内对输电线路除冰的研究也在增多。例如山东电力科学研究院研制的非越障除冰机器人、中国科学院自动化所研制的多臂除冰机器人系统、哈尔滨工业大学研制的小型单导线除冰机器人等。山东电力科学研究院于 2009 年引进加拿大魁北克水电公司的除冰检测机器人，通过一年左右的时间消化吸收再创新，研制出架空输电线路除冰检测机器人。该机器人以移动机构为本体，装配除冰刀具，融合可见光检测、红外检测等技术，以遥控方式，在单档间距内、单根线路上进行带电除冰和检测作业。在国内首次实现了在同一移动平台上集成除冰、可见光检测、红外检测、压接管电阻测量等带电作业功能。该机器人还具备抗强电磁干扰能力，在 500KV、1000A 的架空线路上作业时具有安全性、可靠性和环境适应性。该机器人于 2011 年 1 月在南方电网公司获

得成功应用。

[0016] 从目前的技术现状可以看出，现有的输电线路用机器人系统或者不能越障，仅仅能够在单档内运行；或者质量过重、越障功能不可靠；并且往往功能单一，投入产出比小。

[0017] 更重要的是，上述的所有巡线和除冰机器人的上、下线问题和线间故障问题完全没有解决，采用常规的人抬肩扛上、下线的方式无疑使机器人的应用受到极大限制，极大地降低了机器人的实用性，甚至使输电线路机器人应用陷入了“以智能技术解决问题却带来更大问题”的尴尬局面。而简单的巡线无人机系统虽然起、落、上、下，灵活机动，但仅仅限于远距离巡视，功能较为单一，不能近距离执行线上复杂任务，如除冰或者清障等。

[0018] 输电线路智能维护装备亟需技术突破“智而不能”的尴尬局面，真正做到“上能上的去、下能下的来、远能飞的远、近能靠的近、障能越得过、行能用的省、专能干得好、广能多功能”；使智能机器人技术在输电线路综合维护中“既好用又能用、既智能又可靠”，为坚强智能电网的“坚强”运行提供有力支撑。

实用新型内容

[0019] 针对现有技术的缺陷，本实用新型实施例提供一种线航两栖电力线路综合维护机器人，该方案既利用多旋翼无人机技术的高稳定性、易操控性和灵活性，又利用线上机器人技术的针对性和智能性，使二者有机结合，从而克服两种技术各自的局限性，最大限度地发挥二者在“坚强智能电网”综合维护中的优越性。

[0020] 为了实现上述目的，本实用新型实施例提供一种线航两栖电力线路综合维护机器人，所述线航两栖电力线路综合维护机器人包括：飞行子系统，当所述机器人处于飞行作业模式时，通过所述飞行子系统执行电力线路的远距离或近距离巡航；线上子系统，当所述机器人处于线上作业模式时，通过所述线上子系统实现所述机器人在所述电力线路上的行走；作业子系统，当所述机器人处于线上作业模式时，通过所述作业子系统对所述电力线路进行维护作业；所述飞行子系统、所述线上子系统和所述作业子系统采用独立可拆装的模块化结构，所述线上子系统和所述作业子系统安装于所述飞行子系统的主框架上。

[0021] 所述飞行子系统包括：机翼框架模块，通过方形排列的 4 对共轴双旋翼结构，实现所述机器人的飞行与降落；飞控模块，通过对所述机翼框架模块中各个旋翼的旋转方向以及转速进行控制，实现对所述机器人飞行姿态的调整。

[0022] 所述机翼框架模块包括：中心杆以及可绕所述中心杆旋转的一对侧翼；每个侧翼包括：方形机翼框架以及设置于所述方形机翼框架顶角上的 2 对共轴双旋翼结构；当所述机器人切换至所述飞行作业模式时，所述一对侧翼绕所述中心杆向上旋转并展平；当所述机器人切换至所述线上作业模式时，所述一对侧翼绕所述中心杆向下旋转并合拢于所述电力线路的下方。

[0023] 所述线上子系统包括：行走轮模块，采用履带式轮的结构，在所述电力线路上行走；抱爪模块，包括位于当所述行走轮模块两侧的一对抱爪，当所述机器人处于线上作业模式时，一对抱爪处于抱紧状态，将所述电力线路环抱于所述行走轮模块和所述抱爪模块之间；当所述机器人处于所述飞行作业模式或者等待下线模式时，所述一对抱爪处于张开状态；线控模块，控制所述行走轮模块和所述抱爪模块的工作状态。

[0024] 所述作业子系统包括下列模块中的一种或多种：巡检模块，用于完成电力线路的

线上巡检作业；除冰模块，用于采用棍棒敲击的方式清除所述电力线路的覆冰；清障模块，用于清除所述电力线路上的障碍；吊装模块，用于吊装所述电力线路上的其他线上作业设备；所述飞巡检模块、除冰模块、清障模块和吊装模块采用独立可拆装的模块化结构。

[0025] 所述飞行子系统，还用于当所述机器人处于线上作业模式，且检测到所述电力线路上的障碍为不可逾越的大型障碍时，将所述机器人的工作模式切换为飞行作业模式以跨越所述大型障碍。

[0026] 所述的线航两栖电力线路综合维护机器人还包括：电源模块，用于为所述机器人提供电力支持；所述机器人，当检测到电源电量低于设定阈值时，停止执行线路巡航以及线上作业，等待操作指令后，执行下线和降落任务。

[0027] 本实用新型实施例的线航两栖电力线路综合维护机器人，既利用多旋翼无人机技术的高稳定性、易操控性和灵活性，又利用线上机器人技术的针对性和智能性，使二者有机结合，从而克服两种技术各自的局限性；该方案可以取得以下有益效果：

[0028] (1) 可以促进电力线路智能机器人和无人机的技术改进和完善，为机器人技术的研究和开发提供理想的开发和应用平台；

[0029] (2) 可以促进电力线路智能巡检和维护系统方案的建立和实施；

[0030] (3) 可以促进建立具有相当规模的、国际先进的智能电网机器人和相关智能装备基地，为后续的研发工作提供系统的、完善的专业级试验环境；

[0031] (4) 可以革新电力线路巡检和维护的人工作业方式，提高线路维护的自动化水平和作业效率；

[0032] (5) 为电力线路的巡检和维护提供了实用化、创新性的解决方案；实用新型实施后，可以带来巨大的经济效益和社会效益。

附图说明

[0033] 图 1 为本实用新型实施例的线航两栖电力线路综合维护机器人总体功能框图；

[0034] 图 2 为本实用新型实施例的线航两栖电力线路综合维护机器人飞行状态示意图；

[0035] 图 3 为本实用新型实施例的线航两栖电力线路综合维护机器人线上运行状态示意图；

[0036] 图 4 为本实用新型实施例的线航两栖电力线路综合维护机器人上线过程示意图；

[0037] 图 5 为本实用新型实施例的线航两栖电力线路综合维护机器人下线过程示意图。

具体实施方式

[0038] 为使本实用新型实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本实用新型实施例中的附图，对本实用新型实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例是本实用新型一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本实用新型中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本实用新型权利要求保护的范围。

[0039] 本实用新型实施例提供一种线航两栖电力线路综合维护机器人系统，为输电线路日常巡检和紧急处理提供了一个良好的平台。该机器人系统是一种全新的技术方案，在国内外相关研究领域尚无其他先例。它融合了多旋翼无人机技术和线上机器人技术，可以说

是起源于线上机器人，而具有了无人机一样的翼。

[0040] 该机器人系统将多旋翼无人机技术和线上机器人技术融合应用于电力线路的综合维护，既利用多旋翼无人机技术的高稳定性、易操控性和灵活性，又利用线上机器人技术的针对性和智能性，使二者有机结合，从而克服两种技术各自的局限性，最大限度地发挥二者在“坚强智能电网”综合维护中的优越性。

[0041] 该机器人系统采用蜂式两栖 8 旋翼无人机总体结构。不仅能如蜜蜂般灵活地上、下线和跨越塔杆等难越障碍；而且采用多用途、模块化设计，更换安装不同操作模块可实现不同的功能，如：配备无线视觉系统，可用于日常的线路巡检；配备机械除冰模块，可用于输电线路的覆冰清除；配备清障机械手，可进行清障操作；甚至加装特殊的主动夹持模块还能完成对普通除冰机器人等线上设备的吊装上、下线操作。

[0042] 本实用新型实施例的线航两栖电力线路综合维护机器人系统具有如下十个主要特性：

[0043] 1、远距离巡检

[0044] 线航两栖机器人以无人机方式代替人工巡线，可设定航点自动巡航，实现长距离、全天候、多地形智能巡线；加装可见光、红外、紫外、热成像等特殊模块实现昼夜巡航、故障检测等多种功能。

[0045] 机器人构成正方排列的 4 个共轴双旋翼（8 旋翼驱动）结构，能如蜜蜂般灵活地上下线、跨越塔杆，顺利完成在线监测、除冰、及直升机高空巡检等等功能；实现垂直起降、悬停和原位转向等高难度动作。具体地，通过共轴双旋翼的反向旋转抵消旋翼反作用力，通过共轴双旋翼的转速控制实现机器人原地转向等复杂动作。

[0046] 8 旋翼的优点：提高 70％的主动升力，高稳定性、易操控性和灵活性，易于实现垂直起降、悬停和原位转向等高难度动作。多旋翼冗余，更高系统稳定性和可靠性，如：单个旋翼失效后，其他旋翼通过转速控制仍能保持系统平衡。

[0047] 2、上、下线

[0048] 需近距离执行任务时，机器人首先落线，后降翅，进而抱线前进，完成给定巡检、维护或除冰作业。

[0049] 具体地：机器人通过飞行的方法上下线，自动运行，无需人工爬塔和手工拉拽、大大降低高压带电作业的危险性；上线时机器人从地面飞起至线路正上方，缓慢下落至线上，抱紧保护装置；下线时，飞控和旋翼系统开始运行，垂下机翼受力自然升起，松开保护装置后，机器人向线路正上方飞起，稳定后飞落地面。

[0050] 3、线上带电运行

[0051] 线上完全带电作业运行。

[0052] 4、多作业模式

[0053] A、近距离导线巡检

[0054] B、除冰

[0055] C、清障

[0056] D、近距离故障处理

[0057] E、加装其他部件实现的其他相关线上设备的上、下线与安装、拆卸

[0058] 机器人落线后可以在导线上行走，利用携带的巡检模块、除冰模块、清障模块、吊

装模块等实现可见光检测、红外检测、自动除冰等作业，构成一种线路综合维护机器人，做到有险即至、有冰即除、有障即清，最大限度的减小覆冰、杂物等对输电线路的影响，保证供电安全。

[0059] 5、紧急状况处理

[0060] 快速进入现场，飞行或落线执行火灾、恐怖袭击等恶性事件监控和处理。

[0061] 6、更换电池

[0062] 该机器人可以进行能源电量的自动检测，当检测到电源电量低于设定阈值时，机器人自动停止线路巡航或线上作业，等待操作指令后，执行下线和降落任务。该设定阈值可以是保证机器人飞离导线并降落所需电池能量的 2 倍。降落后电池更换完成继续作业任务。

[0063] 7、跨越各种障碍

[0064] A、小型障碍自动跨越

[0065] 针对小障碍频繁的线路，通过特殊设计的履带式轮结构，使线航两栖机器人不必下线即可自动越过小型障碍，从而大大的减少了系统的操作复杂度。

[0066] B、飞越大型障碍

[0067] 线上作业时，遇到不可自动逾越的障碍，如耐张线塔等，机器人飞起，飞越障碍后落线，继续执行近距离作业任务。

[0068] 8、采用飞控、线控双系统，双传感器冗余设计，保障系统可靠性。即，对于机器人的飞行作业模式和线上作业模式采用独立的控制体系，利用控制系统冗余大大提高机器人的稳定性和可靠性。通过空中和线上两栖作业的解决方案，为线路自动巡检和维护提供了全新的工作方法。

[0069] 9、模块化设计

[0070] 综合维护，一机多用 :采用多用途、模块化设计，更换安装不同操作模块可实现不同的功能 :线路巡检配备的无线视觉模块、机械除冰模块、清障机械手、特殊夹持模块等。

[0071] 机器人的所有部件模块化设计，方便更换和拆装。例如共轴双旋翼为一个整体，可以独立拆装。所有线上作业部件甚至行走轮组件均为模块化设计，既方便换装也能够完全拆除。如，当仅进行无人机巡检作业时可以完全拆除线上作业的相关部件，从而大大节省系统耗能。

[0072] 10、可扩展的智能性

[0073] 采用飞控和线控双系统设计使机器人的控制中心为现代高速数字信号处理系统，为线航两栖机器人的进一步智能化和拓展提供了巨大的空间。利用人工智能和模式识别技术实现线路和障碍识别，实现完全自主上下线和故障自动识别，直至实现基于线路识别的完全自主巡检和任务处理等。

[0074] 本实用新型实施例的线航两栖电力线路综合维护机器人系统采用仿生总体结构设计，如蜜蜂般灵活，既能快速飞行又能线上作业。因此，线航两栖机器人系统又可以称为蜂式两栖机器人。该系统为线上智能机器人这只虎，插上了飞的翅膀。“为虎添翼”，可以概括整个线航两栖机器人系统的设计理念。即，将现有的无人机技术、多旋翼技术、线上机器人技术有机融合，构成了整个线航两栖机器人系统的理论和实践基础。

[0075] 本实用新型实施例的线航两栖电力线路综合维护机器人系统包括下列子系统 :1、

飞行子系统；2、线上子系统；3、作业子系统；三大子系统互相融合而又相对独立。子系统间配合采用模块化的连接方式，既能够快速更换不同系统，又能够使某一子系统独立工作，从而极大地提高了机器人的灵活性和实用性。

[0076] 本实用新型实施例的线航两栖电力线路综合维护机器人系统采用飞行子系统、线上子系统和作业子系统，三极并进、平行联动的系统设计思路。整个线航两栖机器人系统遵循模块化设计原则、可靠性高的双重冗余设计原则，其总体架构为：

[0077] 1、机器人构成正方排列的 4 个共轴双旋翼 (8 翼驱动) 结构，实现垂直起降、悬停和原位转向等高难度动作，并通过遥控方式实现机器人上、下线路。

[0078] 2、飞行子系统的主框架上可安装不同的模块化作业部件和线上运动部件，完成具体线上任务，如：

[0079] 1) 巡检

[0080] 2) 除冰

[0081] 3) 异物清除

[0082] 4) 吊装等。

[0083] 3、图 1 为本实用新型实施例的线航两栖电力线路综合维护机器人系统的整体功能框图，如图 1 所示，该机器人系统包括 3 大子系统，每个子系统下面又包含多个功能模块，这些子系统以及下述的功能模块都采用独立可拆装的模块化设计，使该机器人的使用更灵活、方便。其中：

[0084] (1) 飞行子系统包括：机翼框架模块，飞控模块，无线通信模块以及遥操作模块；

[0085] (2) 线上子系统包括：行走轮模块，抱爪模块和线控模块；

[0086] (3) 作业子系统包括：巡检模块，除冰模块，清障模块和吊装模块。

[0087] 此外，该机器人系统还包括为这几个子系统提供电力支持的电源模块以及提供传感数据的传感模块。

[0088] 下面详细介绍本实用新型实施例的线航两栖电力线路综合维护机器人系统的 3 个子系统工作原理：

[0089] 线航两栖电力线路综合维护机器人包括：飞行子系统，当所述机器人处于飞行作业模式时，通过所述飞行子系统执行电力线路的远距离或近距离巡航；线上子系统，当所述机器人处于线上作业模式时，通过所述线上子系统实现所述机器人在所述电力线路上的行走；作业子系统，当所述机器人处于线上作业模式时，通过所述作业子系统对所述电力线路进行维护作业。

[0090] 优选地，所述飞行子系统、所述线上子系统和所述作业子系统采用独立可拆装的模块化结构，所述线上子系统和所述作业子系统安装于所述飞行子系统的主框架上。

[0091] 一、飞行子系统

[0092] 飞行子系统主要包括：机翼框架模块，通过方形排列的 4 个共轴双旋翼结构，实现所述机器人的飞行与降落；飞控模块，通过对所述机翼框架模块中各个旋翼的旋转方向以及转速进行控制，实现对所述机器人飞行姿态的调整。此外，还包括用于传输数据的无线通信模块以及对飞行子系统的飞行进行控制的遥操作模块。

[0093] 所述飞行子系统，还用于当所述机器人处于线上作业模式，且检测到所述电力线路上的障碍为不可逾越的大型障碍时，将所述机器人的工作模式切换为飞行作业模式以跨

越所述大型障碍。

[0094] 优选地，本实施例的线航两栖机器人采用创新的新型绝缘材料机器人主框架及高压保护方法，新型绝缘材料充当电控系统和高压线路间的绝缘屏障，提高电控部件可靠性和稳定性。

[0095] 1) 机翼框架模块和飞控模块

[0096] 图 2 为本实用新型实施例的线航两栖电力线路综合维护机器人系统的飞行状态示意图，图 3 为本实用新型实施例的线航两栖电力线路综合维护机器人系统的线上运行状态示意图。图 4 为本实用新型实施例的线航两栖电力线路综合维护机器人系统的上线过程示意图，图 5 为本实用新型实施例的线航两栖电力线路综合维护机器人系统的下线过程示意图。如图 2-5 所示：

[0097] 所述机翼框架模块包括：中心杆以及可绕所述中心杆旋转的一对侧翼；每个侧翼包括：方形机翼框架以及设置于所述方形机翼框架顶角上的 2 个共轴双旋翼结构；当所述机器人切换至所述飞行作业模式时，所述一对侧翼绕所述中心杆向上旋转并展平；当所述机器人切换至所述线上作业模式时，所述一对侧翼绕所述中心杆向下旋转并合拢于所述电力线路的下方。

[0098] 通过该机翼框架模块，线航两栖机器人以无人机方式代替人工巡线，可设定航点自动巡航，实现长距离、全天候、多地形智能巡线；加装可见光、红外、紫外、热成像等特殊模块实现昼夜巡航、故障检测等多种功能。通过正方排列的 4 个共轴双旋翼 (8 翼驱动) 结构，线航两栖机器人可以实现垂直起降、悬停和原位转向等高难度动作；其中，8 旋翼的优点是：提高 70％的主动升力，高稳定性、易操控性和灵活性，易于实现垂直起降、悬停和原位转向等高难度动作。

[0099] 本实用新型实施例的线航两栖电力线路综合维护机器人系统的飞控模块可以采用下述产品型号：

[0100] A、电机：

[0101] 可以采用 Scorpion S5545-150Kv 无刷电机设计，最高功率可达 3800W。

[0102] Scorpion 马达使用目前最高的生产加工技术制作，金属材料也是选择最好的，定子上的硅钢片采用 0.2mm，使得马达效率提高，采用耐高温 200 度的 N50 磁铁及胶水，以及耐高温达 180 度的线材，使用耐高温材料的 Scorpion 马达飞行使用中可避免马达产生的高温而烧毁。

[0103] B、电调：

[0104] Scoprion Commander 系列电调是市场上最佳性价比的产品，所有的零组件皆采用高品质零组件，并在最先进的工厂进行生产组装测试、优越的制造与设计能力提供了长年无故障的运行保证。

[0105] Scoprion Commander 系列电调包装中还包括了一个如邮票大小的编程红外线接收模快、以及一个如信用卡大小的红外线遥控器、有了此编程系统、对电调进行编程就如同调整电视般容易。

[0106] 2) 传感模块：

[0107] 采用 MEMS LandMark20 GPS/AHRS 作为机器人系统位姿的主传感器。MEMS LandMark20 GPS/AHRS 是一个超低功耗、小体积、轻重量、高精度的数字姿态和航向参考系

统 (AHRS)，它提供了内置温度补偿的 RS485 输出，包括加速度，角速度，航向，横滚和俯仰角度及海拔高度信息，并有一个 10Hz 位置数据更新率的 16 频道 C/A 编码 GPS 接收器。此元件坚固耐用，能够抵抗环境的冲击和震动。

[0108] 3) 无线通信模块以及遥操作模块 ：

[0109] 无线通信模块包含了视频采集及无线通信功能，可以采集机器人及线路的图像，并通过无线网络传输到远端的地面控制系统。这样可以在远端地面上观察运行状态。无线通信模块还负责传输机器人自身工作状态信息到地面控制系统，然后通过遥操作模块将地面控制人员的遥操作指令发送给该线航两栖机器人。

[0110] 无线通信模块以及遥操作模块解决了在山峦起伏地区采用机器人进行线路巡检和维护的问题。达到提高巡线效率，及时发现隐患、加快危机状态反应速度、实时处理线上紧急事故、降低劳动强度的目的。无线通信模块可提供下行视频和双向数据通道，实现机上多路图像的切换传输，在监控中心可以对远在数百公里外的电力塔和输电线做仔细观察，遥操作模块可支持操作人员遥控机器人，保证了在恶劣环境下也能对电力线路进行安全监控和实时维护。

[0111] 二、线上子系统

[0112] 线上运行子系统具有可扩展的智能性。采用双系统设计使机器人的控制中心为现代高速数字信号处理系统，为线航两栖机器人的进一步智能化和拓展提供了巨大的空间。利用人工智能和模式识别技术实现线路和障碍识别，实现了完全自主上下线和故障自动识别，而且实现了基于线路识别的完全自主巡检和任务处理等。飞控、线控双系统，双传感器冗余设计，保障可靠性。

[0113] 再次参考图 2，该线航两栖机器人的线上子系统包括 ：行走轮模块，采用履带式轮的结构，在所述电力线路上行走 ；抱爪模块，包括位于所述行走轮模块两侧的一对抱爪，当所述机器人处于线上作业模式时，一对抱爪处于抱紧状态，将所述电力线路环抱于所述行走轮模块和所述抱爪模块之间 ；当所述机器人处于所述飞行作业模式或者等待下线模式时，所述一对抱爪处于张开状态 ；线控模块 (图中未示)，控制所述行走轮模块和所述抱爪模块的工作状态。

[0114] 1) 线控模块

[0115] 本实施例中，线上子系统的控制部分采用 Maxon 公司的高精密度直流无刷伺服电机系统，配套行星齿轮减速机，加装高分辨率 MR 系列磁编码器，配合可组网的 Can 些列 ACJ 驱动器和核心部件为 TI28 系列高性能数字信号处理器的主控板，构成高精密直流伺服运动控制系统。

[0116] 系统特性 ：

[0117] A、速控 ：速度同步性极高且扭矩波动极低，PI 控制器确保电机速度的实际值与预设值高度一致 ；

[0118] B、复合运动合成 ：可以实现诸如斜线、三角形、梯形和更多更复杂轮廓的运动曲线、轻松设置软启动和制动 ；

[0119] C、位控 ：零点可任意定义，对于带线性霍尔传感器的无刷伺服电机，其位置精度高达 1/3000 圈 ；

[0120] D、参考信号采集与限位开关 ：运动过程中可随时捕捉和定义 ；

[0121] E、扭矩控制：通过调整限流值来实现对扭矩的控制；

[0122] F、参数存储：驱动器的所有设置参数均可保存，不会因为断电而丢失。

[0123] 2) 行走轮模块

[0124] 通过特殊设计的履带式轮结构，使线航两栖机器人不必下线即可自动越过小型障碍，从而大大的减少了系统的操作复杂度。

[0125] 3) 抱爪模块

[0126] 当进行线上作业时，采用抱爪模块来抱紧输电线路；当执行巡线任务时，松开抱爪模块，通过飞行子系统进行输电线路的巡检。

[0127] 三、作业子系统

[0128] 本实用新型实施例的线航两栖机器人系统的所有部件采用模块化设计，方便更换和拆装。例如，飞行子系统中，机翼框架模块的共轴双旋翼结构为一个整体，可方便的实现换装；所有线上作业部件甚至行走轮模块均为模块化设计，既方便换装也能够完全拆除，仅进行无人机巡检作业，从而大大节省系统耗能。

[0129] 本实施例线航两栖机器人的作业子系统包括下列模块中的一种或多种：巡检模块，用于完成电力线路的线上巡检作业；除冰模块，用于采用棍棒敲击的方式清除所述电力线路的覆冰；清障模块，用于清除所述电力线路上的障碍；吊装模块，用于吊装所述电力线路上的其他线上作业设备。

[0130] 1) 巡检模块

[0131] A、远距离巡检：

[0132] 该机器人可以携带红外热像仪、可见光 CCD 等设备，在导线的侧方或侧上方，按事先设定的路径和速度沿输电线路飞行，对杆塔的损坏、变形、被盗、绝缘子的破损和污秽、线夹松脱、销钉脱落、异物悬挂、导线断股、接头接触不良、局部热点等故障进行检查，并将实时的可见光视频与红外视频展示到后台软件，为巡检人员提供事故隐患的相关数据。该机器人利用无人机灵活机动的特点，代替了巡线工作人员进入地形复杂的区域进行巡视，提高巡检效率，降低巡检工作风险，与有人机相比，无人机巡线一次性投资小，巡线成本更低。与单旋翼无人直升机相比，该系统具有更高的能源利用效率、更好的操控性、更灵活的飞行动作、更加稳定的姿态和抗风等级、更智能化的飞行过程等优点。该系统还具有自主起降、自动返航等功能，降低了该系统的使用门槛。

[0133] B、近距离巡检：

[0134] 通过自动控制方式或遥操作方式完成输电线路线上巡检作业。巡线作业包括对线路安全通道内的安全事故隐患进行巡视，以及对线路的机械电气故障，包括绝缘子劣化和污秽、导线的机械破损、连接金具机械松脱等故障进行检测。用可见光成像和机器人视觉检测技术检测大部分表面故障现象，用红外成像检测诸如局部过热等故障。

[0135] 在该机器人系统中，安装了摄像头和配套的云台系统，它一方面用来直观地远程观察线路周边的情况，另一方面它用来获取线路图像，再经过图像处理技术识别出道路的方向，从而实现机器人自主行走。这里选用的云台系统可以是进口的车载高速云台摄像机。视频图像采集模块采集摄像头传过来的图像信息，并输到用户端。

[0136] 另外值得一提的是，在照明系统失效的或者低照度的情况，该摄像头具有夜视功能，因此在选择云台摄像头系统时还定做了红外夜视灯，安装在摄像头上方。

[0137] 2) 除冰模块

[0138] 为预防覆冰引起的灾害，可以采用一种有效的除冰手段，在灾害发生前就将冰除去。线航两栖机器人能够根据输电线路覆冰情况及时除冰，从而最大限度的减小覆冰对输电线路的影响，保证其安全运行。

[0139] 输电线路导线除冰模块采用模拟棍棒敲击的方式除冰，是属于机械式除冰的一种。经过多次试验验证，表明该装置可以除去单边厚度达 30mm 的覆冰，除冰效果良好。

[0140] 3) 清障模块

[0141] 线航两栖机器人通过装配特定的清除工具，如夹钳、动力扳手、断接引工具等进行异物清除作业。

[0142] 4) 吊装模块

[0143] 线航两栖机器人可以针对不同设备定制吊装方案和模块。

[0144] 四、线航两栖机器人的其他模块 ：

[0145] 1) 功能传感器

[0146] 根据功能需求可选用 ：1、超声波测距及避障系统，2、温度传感器，3、可燃气体传感器等多种传感器。

[0147] 2) 电源模块

[0148] 由于隧道内的特殊环境，机体内自备高能量密度的 24v20Ah 锂聚合物 (Li-Poly) 电池，同时也可外接交流 220v 电源，机体自带适配器 ；实现双电源系统供电模式。

[0149] 该线航两栖机器人可以进行能源电量的自动检测，达到保证机器人飞离导线并降落所需电池能量的 2 倍时，机器人自动停止线上运行或巡航作业，等待操作者命令，运行下线和降落任务。降落后电池更换完成继续作业任务。

[0150] 结合前述实施例的线航两栖机器人结构原理，本实用新型实施例的线航两栖电力线路综合维护机器人系统的运行过程为 ：

[0151] 1、远距离作业时，机器人以 8 旋翼无人机形式执行巡检等任务。单独执行此任务过程中，可完全拆除线上子系统和作业子系统，整个飞行子系统单独运行。由于线航两栖机器人系统所采用的 4 个共轴双旋翼 (8 旋翼) 的独特结构，使机器人既能够快速飞行，又能够执行原地改变航向、侧飞、后飞等灵活飞行任务。这一过程如同蜜蜂寻找目标的飞行动作。

[0152] 1) 巡检

[0153] 利用巡检模块的可见光、红外或紫外传感器对线路及其周边环境进行巡查。

[0154] 2) 紧急事故监控与处理

[0155] 对紧急事故线段进行全方位监控和应急处理 (应急处理时需加装应急处理模块)。

[0156] 2、作业初期，机器人以 8 旋翼无人机形式飞行至作业地点，准备执行作业任务。这一过程如同蜜蜂飞至实物地点的飞行动作。该过程中，由于线航两栖机器人系统所采用的 4 个共轴双旋翼 (8 旋翼) 的独特结构，使机器人既能够快速飞入任务区，又能够原地改变航向、侧飞、后飞等灵活飞行以达到执行任务的最佳位姿。

[0157] 3、当需要近距离执行任务时，机器人降落至作业线上，夹紧抱爪，然后自然降低侧边旋翼，依靠线上子系统实现线路上的行进。从而最大限度的接近线路，以利于执行线上巡

检、清除异物、除冰等复杂任务；并减少飞行耗能，从而大大增加了机器人的作业任务时间。线上运行过程启动后，作业子系统中相应的作业模块同步启动，执行相应线上近距离作业。这一过程如同蜜蜂飞达目标后的觅食动作。这些线上作业包括：

[0158] 1）巡检

[0159] 利用巡检模块的可见光、红外或紫外传感器对线路进行近距离检查。

[0160] 2）除冰

[0161] 利用作业子系统中的除冰模块对线路覆冰进行清除。

[0162] 3）异物清除

[0163] 利用作业子系统中的异物清除模块对线路异物进行清除。

[0164] 4）吊装

[0165] 利用作业子系统中的吊装模块吊装其他线上作业设备。

[0166] 4、线上运行过程中，遇到各种障碍时，跨越各种障碍。

[0167] 1）小型障碍自动跨越

[0168] 针对小障碍频繁的线路，通过特殊设计的履带式轮结构，使线航两栖机器人不必下线即可自动越过小型障碍，从而减少了系统的操作复杂度。

[0169] 2）飞越大型障碍

[0170] 线上作业时，遇到不可自动逾越的障碍，如耐张线塔等，机器人飞起，飞越障碍后落线，继续执行近距离作业任务。

[0171] 5、任务执行完毕或者需要更换电池时，机器人飞起，飞离作业点后降落，更换电池后继续前述步骤。

[0172] 本实用新型实施例的线航两栖电力线路综合维护机器人，既利用多旋翼无人机技术的高稳定性、易操控性和灵活性，又利用线上机器人技术的针对性和智能性，使二者有机结合，从而克服两种技术各自的局限性；该方案可以取得以下有益效果：

[0173] (1) 本实用新型可以促进电力线路智能机器人和无人机的技术改进和完善，为机器人技术的研究和开发提供理想的开发和应用平台；

[0174] (2) 本实用新型可以促进电力线路智能巡检和维护系统方案的建立和实施；

[0175] (3) 本实用新型可以促进建立具有相当规模的、国际先进的智能电网机器人和相关智能装备基地，为后续的研发工作提供系统的、完善的专业级试验环境；

[0176] (4) 本实用新型可以革新电力线路巡检和维护的人工作业方式，提高线路维护的自动化水平和作业效率；

[0177] (5) 本实用新型为电力线路的巡检和维护提供了实用化、创新性的解决方案；实用新型实施后，可以带来巨大的经济效益和社会效益。

[0178] 以上实施例仅用以说明本实用新型实施例的技术方案，而非对其限制；尽管参照前述实施例对本实用新型实施例进行了详细的说明，本领域的普通技术人员应当理解：其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改，或者对其中部分技术特征进行等同替换；而这些修改或者替换，并不使相应技术方案的本质脱离本实用新型实施例各实施例技术方案的精神和范围。

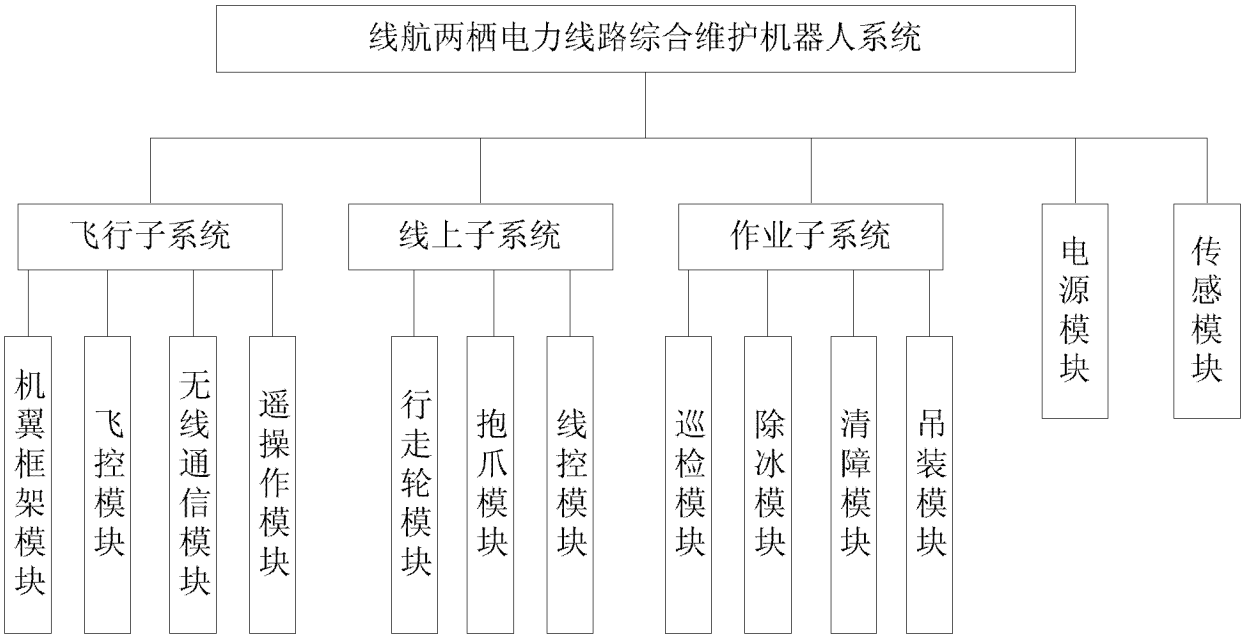

线航两栖电力线路综合维护机器人系统
飞行子系统
线上子系统
作业子系统
电源模块
传感模块
机翼框架模块
飞控模块
无线通信模块
遥操作模块
行走轮模块
抱爪模块
线控模块
巡检模块
除冰模块
清障模块
吊装模块

图 1

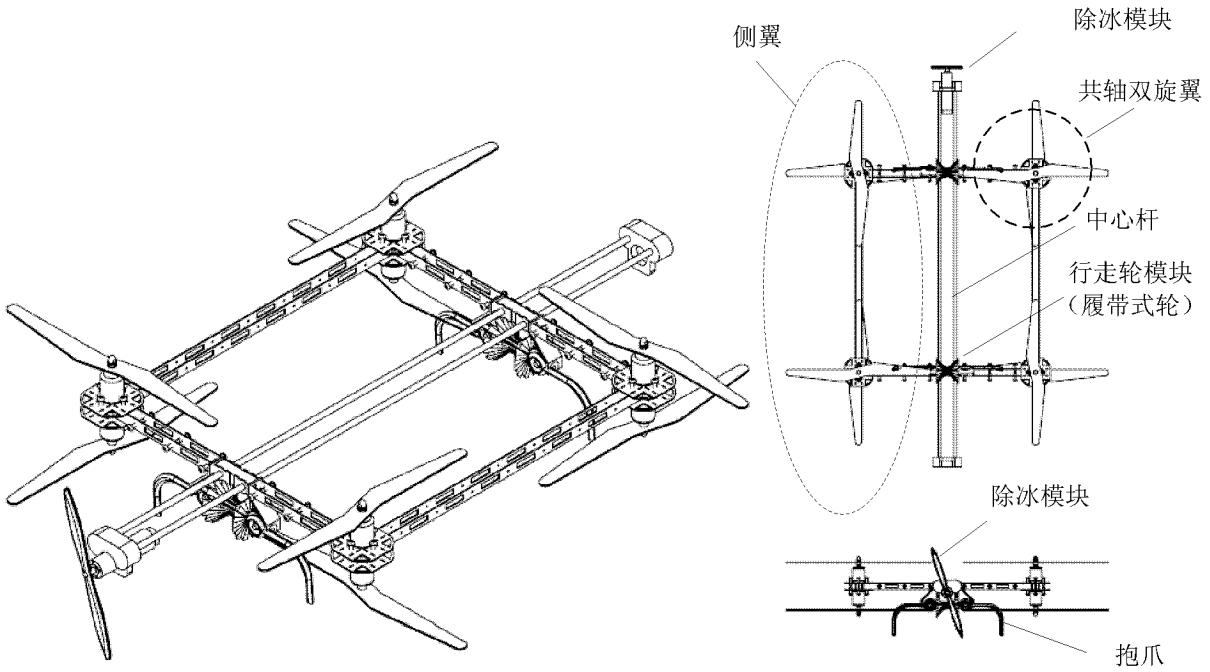

侧翼
除冰模块
共轴双旋翼
中心杆
行走轮模块
（履带式轮）
除冰模块
抱爪

图 2

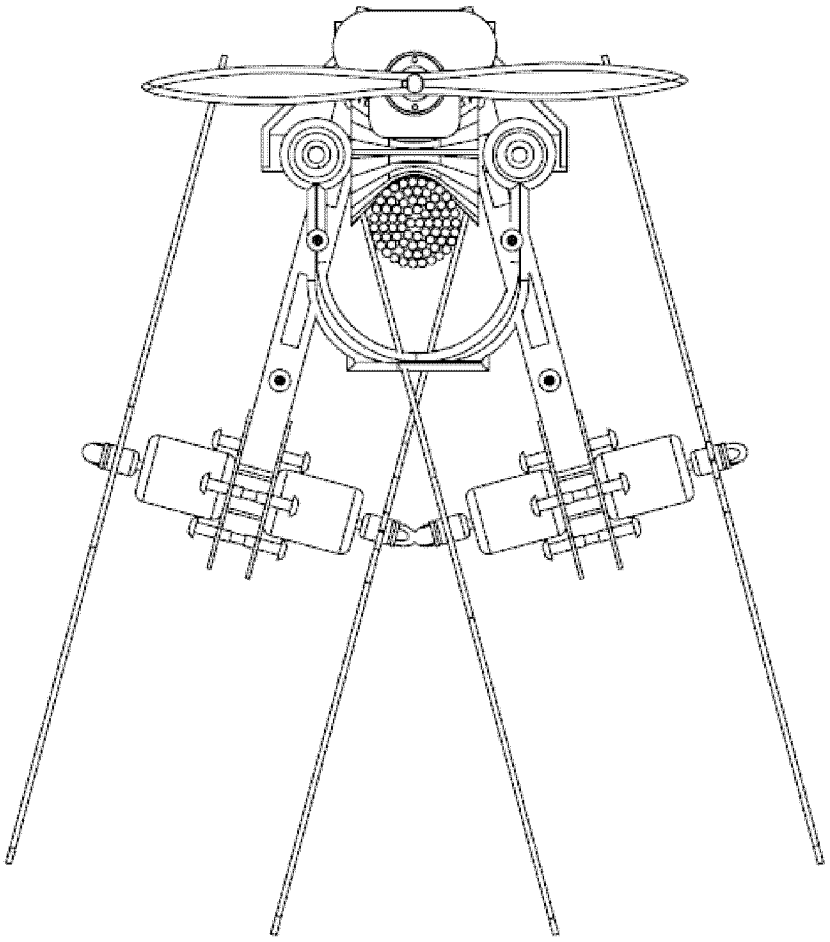


图 3

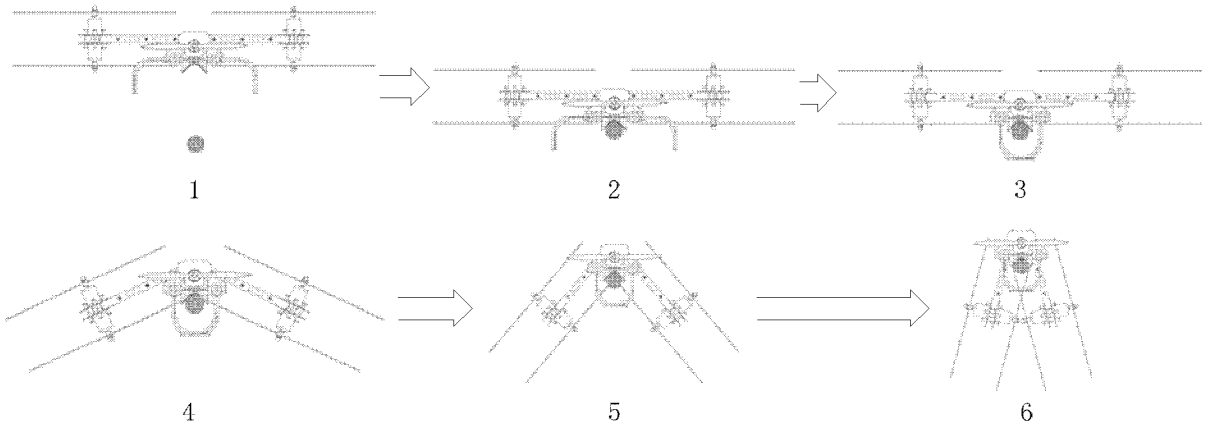


图 4

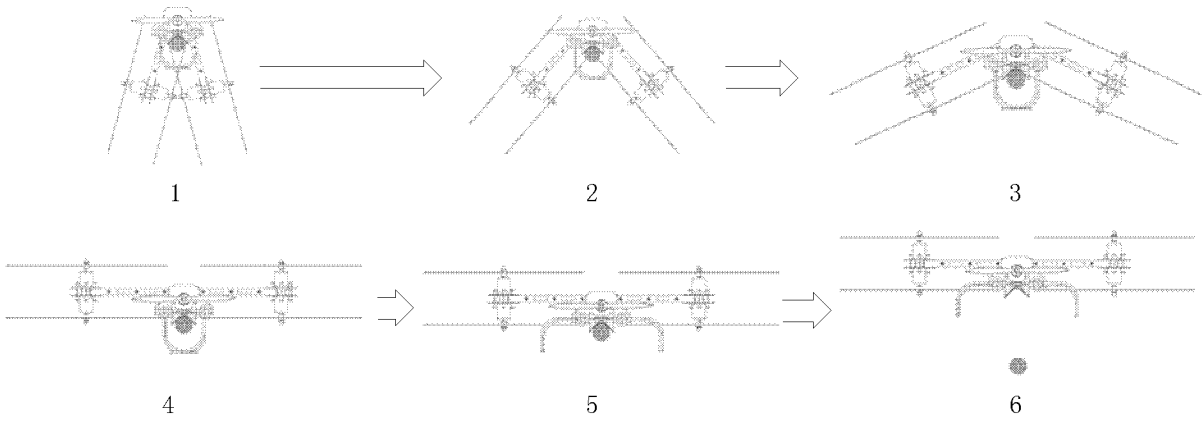


图 5