

高伸缩性的升降式监控云台设计

王成运, 田丰, 赵善杰, 上官思伟, 马钰腾, 陈大伟

(中国矿业大学机电工程学院, 徐州 221116)

摘要: 在对国内外各类升降机构的分析、借鉴基础上, 提供了一种适用于探测搜救机器人的具有高伸缩性的升降式监控云台设计方案。提出了一种以卷簧式挠性件为支撑机构, 可伸缩杆为辅助支撑机构, 齿轮、链轮等为传动机构的刚柔双属性自动升降机构传动方案, 为传统升降机原始体积大、伸缩性能差的弊端提供了一种新型解决方案。经过实际测试, 本文提供的具有高伸缩性的升降式监控云台可在 60s 时间内平稳顶升至 2m 目标行程, 并可在搭载于探测搜救机器人的基础上, 有效地拓宽图像捕捉装置的视野范围, 使原探测搜救装置的狭窄空间通过能力与探测搜救能力得到了明显提升。

关键词: 机器人; 高伸缩性; 自动升降; 挠性件; 卷簧; 监控云台

中图分类号: TH211+.6

Design of monitoring PTZ with high scalability

WANG Chengyun, TIAN Feng, ZHAO Shanjie, SHANG Guansiwei, MA Yuteng,
CHEN Dawei

(School of Mechatronic Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou
221116)

Abstract: Provided a design scheme of a lifting PTZ with high-scalability for detecting search and rescue robots based on the analysis and reference of various lifting mechanisms at home and abroad. It proposed a rigid-flexible dual-property automatic lifting mechanism transmission scheme which adopts a roll-up spring as a supporting mechanism, a gear and a sprocket as a transmission mechanism, and a telescopic rod as an auxiliary supporting mechanism, which provides a new solution for the disadvantages of the traditional lifting mechanisms with large original volume and poor telescopic performance. Through the actual test, the mechanism can raise to the target stroke of 2 meters in 60s smoothly and widen the field of view of the image capturing device effectively based on the detection and rescue robot, which improves the ability of passing the narrow space and rescuing obviously.

Keywords: robot, high scalability, automatic lifting, flexible component, roll-up spring, PTZ

0 引言

随着现代社会的快速发展及人口数量的急剧增长, 向空中发展已成为一大空间拓展趋势, 而与此同时, 高空设备中的检修工作也大大增加了城市生存成本及风险, 因此多国都在进行着可伸缩性设备的研制, 并取得了一定的成果; 另一方面, 在矿业等领域, 瓦斯爆炸威胁不容小觑, 而由于瓦斯密度相对较小, 分布于巷道等地上方, 不便于作业人员采集及测量其浓度, 此时便需要具有可伸缩性功能云台的探测机器人进行辅助作业。

此外, 近年来矿难、山火、核电事故及武力冲突等灾难时有发生; 同时, 地震、海啸、洪水等自然灾害也严重威胁着人们的生命安全。灾后环境复杂、空间狭小, 有时施救人员急于探知灾难现场的内部险情, 却又无法或不敢贸然进入现场。而探测救援机器人的应用便可

基金项目: 中国矿业大学大学生创新创业训练计划项目 (201810149)

作者简介: 王成运 (1999-), 男, 学生, 主要研究方向: 机械设计

通信联系人: 田丰 (1972-), 男, 中国矿业大学讲师, 主要研究方向: 智能检测与控制, 机器人技术及煤矿救援技术. E-mail: kdtf@163.com

同时起到提高救援效率与减少人员伤亡的作用，其在灾难救援中的作用愈发重要。

截至目前，许多国家及相关研究机构发明了各式各样的探测救援机器人，部分机器人具有云台伸缩功能，但该类机器人有着一个通病：原始体积大、伸缩幅度小、受环境限制明显，因此在复杂的地势情况下容易受到障碍物过高、沟壑过深等因素的干扰，为了获得更宽阔的监视视野、减少机器人视野受约束程度及减小原始体积，便要求机器人具备高伸缩性升降云台，这就需要在机器人的云台上设计、安装一种具有高伸缩性的升降装置，使其能够搭载云台实现上下移动，从而使云台具有对更大区域的监控、检测能力。

1 升降装置的分类、比较与选取

1.1 升降机装置分类

根据升降形式的不同，现有的升降机大致可以分为三类：

①刚性升降形式，利用刚性特征对工作平台进行顶升、收缩及支撑作用，常用的结构形式有丝杠式、柱塞式、剪叉式及齿轮齿条式等；

②柔性升降形式，主要通过拉拽的方式，实现升降作业，常见于柔性升降机的拉拽机构有钢丝绳、链条等；

③刚柔双属性升降，进行此形式升降的机构，在顶升作业时呈现刚性，收缩状态时呈现柔性，不仅可以减少升降机在收缩状态时的占地空间，还可使升降机的内部机构布置更加灵活多变。^[1]

1.2 升降机装置比较

1.2.1 刚性升降装置

①丝杠式：利用丝杠将机构的旋转运动转变为直线运动的特性实现对平台的升降功能，其属于螺旋形式顶升机构，具有运行平稳、传动准确及结构紧凑等优点，但由于本身升降原需以丝杠本身为基准，原始高度较高，故其虽可以实现使平台升降的功能，但并不能达到拥有高伸缩性的目的，其本身升降比仅可达到 1:1，图 1 为滚珠丝杠式升降机构的工作原理图。

②柱塞式：在单作用式液压缸中，压力油只进入液压缸的一腔，靠液压力使之实现单方向运动，其反方向运动则靠自重及外部载荷等来实现；而在双作用式液压缸中，如图 2 所示，活塞两个方向的运动则通过两腔交替进油、依靠液压力的作用实现。柱塞仅需缸套进行支承而不与缸套接触，且缸套极易加工，故适于做长行程液压缸，且易于控制。但与此同时，其缸套的原始高度相对较高、液压装置原始体积相对较大，导致其伸缩性能受限明显，故此类型升降装置不利于高伸缩比性能的实现。

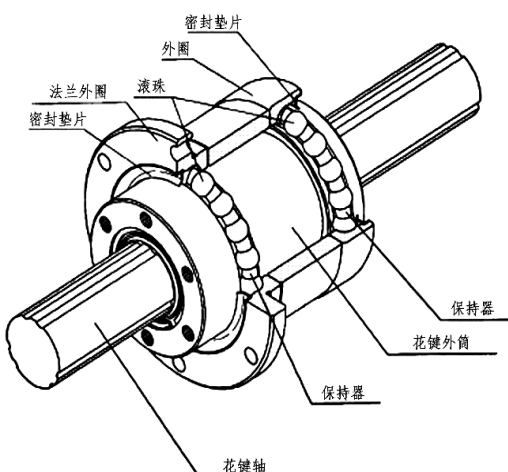


图1 滚珠丝杠式

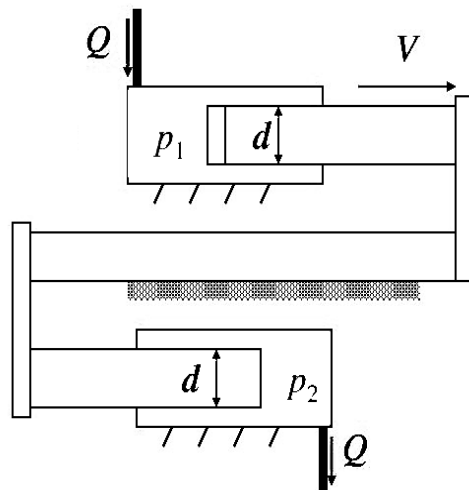


图2 柱塞式（双作用式）

③剪叉式：剪叉式升降机构如图3所示，其包括剪叉装置与驱动执行装置。驱动机构驱动执行装置产生小位移行程的并将驱动力传递给剪叉装置；而剪叉装置所具有的折叠伸展的特性，使其在受到驱动时，将驱动装置的小位移放大成较大行程，使得升降平台得以实现上下运动。该类型装置结构紧凑、承载量大且操控性好，因而得到了广泛应用。但此机构也因需有剪叉装置做主体而拥有较大的原始体积，并且还有着升降过程中台面较难实现匀速、升降行程较小等缺点。

④齿轮齿条式：齿轮齿条机构如图4所示，其包括齿轮机构与齿条机构。动力通过齿轮传递给齿条，从而将齿轮的旋转运动转变为齿条的竖直方向的直线运动，驱动平台进行升降作业^[2]。该类升降机构具有工作连续、升降速度快、操作简单、同步性好等优点，同时，齿轮齿条机构易于将平台调平且定位较精准，此优点对我们的升降机构设计提供了一个方向，即利用齿轮齿条式的类似机构以便实现精准定位与控制。但齿轮齿条式升降机构也因齿条本身长度较长而难以实现高伸缩性能。

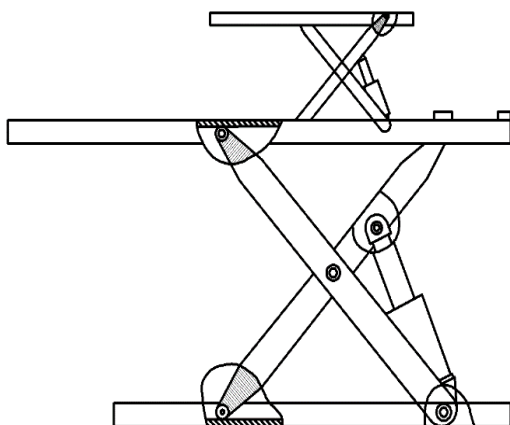


图3 剪叉式

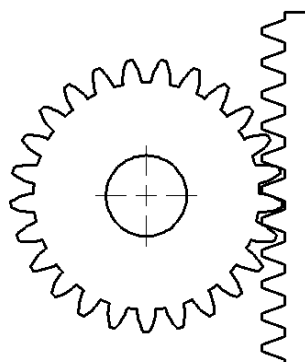


图4 齿轮齿条式

1.2.2 柔性升降装置

①钢丝绳式：钢丝绳式机构技术较为成熟，在各种升降平台上被广泛运用，可以分为卷
90 入式和顶升式两种工作形式。卷入式包括卷筒与钢丝绳两部分，驱动装置带动卷筒进行转动，
并通过钢丝绳的收放实现平台的升降，常用于施工用升降机；顶升式包括液压柱塞与钢丝绳
两部分，液压柱塞通过顶伸或收缩，带动钢丝绳以实现平台升降。该型升降机构具有定位性
能好、布置灵活及运行平稳等优点，但是对升降高度的限制比较明显，并受其工作原理所限，
在高度方向有着较高的要求，导致其原始体积较大。

②链条式：链条式机构以电机与链轮为驱动机构，通过链轮、链条及传动轴等实现其传
95 动，该型机构定位性好、精度高，并且结构简单，常用于升降高度不大的低速场合。根据链
条所置结构及位置来看，配重式结构简单，但是运行平稳性较差；侧置式结构平稳性好，但
制造成本较高；封闭式升降机构结构较为复杂，且成本高。除此之外，链条式升降机构仍需
要较大的原始高度以保证其升降运动的实现。

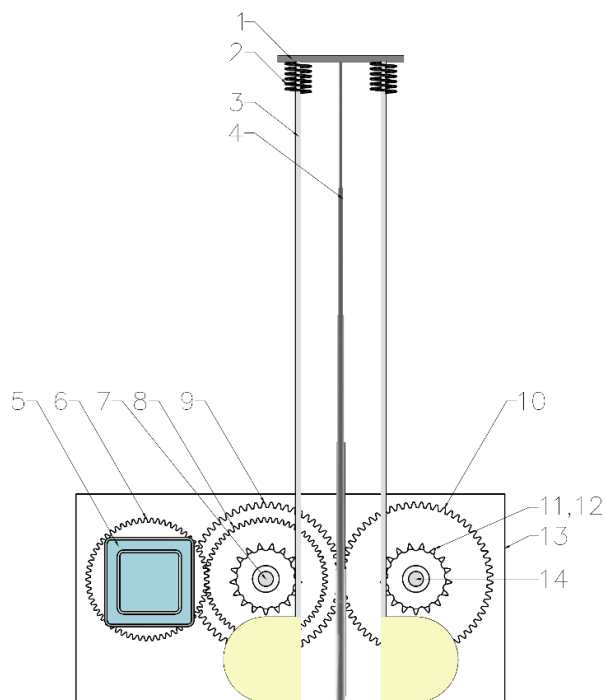
1.2.3 刚柔双属性升降装置

刚柔双属性升降机构是近些年来才出现的一种在进行升降作业时呈现刚性，可对物体或
平台进行顶升，以完成指定物体在规定时间内上升或下降规定行程的目标，在不进行作业时
呈现柔性，可进行折叠压缩以减小装置所占空间大小的具有充分布置灵活性的新型升降装
置。此类装置为传统升降机构的伸缩比例小的、机构灵活性差的弊端提供了一种新的解决方
105 案。但是到目前为止，大多数双属性升降机构均采取以链条、钢丝绳为作为辅助顶升机构，
支撑架等作为刚性支撑机构的工作形式，这种机制使得升降机构仍不具有原始体积小、优
势。而卷簧机构的双属性为我们对升降机构的研究提供了一种新的方向，由于卷簧机构的刚
性，升降机同时拥有了顶升与支撑能力，使得因支撑架等刚性机构引起的升降机原始体积大
的问题迎刃而解，其柔性更是使其伸缩比例大、机构灵活性好的优势得以充分保证。

为实现搭载于探测搜集机器人的升降式监控云台拥有着原始体积小、伸缩比例大特性的
110 目标，本文提出了一种以卷簧机构为支撑顶升机构的新型升降机设计方案，为探测搜救机器
人的狭缝通过能力提供了充分保障。

2 升降系统的总体设计与工作原理

根据探测搜集机器人搭载的工作条件及总体要求，本文提出的升降机构系统的结构主要
115 由电机控制驱动系统、齿轮链条传动单元、顶升支撑机构、减震机构、云台及箱体 6 部分构
成，其整体结构如图 5 所示。



1-云台 2-减震弹簧 3-卷簧 4-伸缩杆

5-电机 6,8,9,10-齿轮 7,14-传动轴 11,12-链轮 13-箱体

图 5 升降系统总体结构示意图

箱体 13 安装在机器人为升降机预留的凹槽内，可以充分提高探测搜救机器人的空间利用率，使机器人在增添升降系统的情况下，长宽高三个维度上的尺寸尽可能小的变化，有效避免了由于升降系统的安装导致狭缝通过性下降的情况发生。

云台 1 是升降系统的重要组成部分，其上表面可以对图像采集器、气体检测仪等仪器进行承载，并可搭配机器人的运动、探测采集仪器的自身旋转能力，为探测搜救机器人获得更加广阔的视野、拥有更加强大的工作能力提供了基础保障，下表面与卷簧、减震弹簧及伸缩杆相连接，使升降机提供的顶升力作用在云台上，使云台可以跟随卷簧的伸缩进行升降作业。卷簧、减震弹簧与收缩杆在云台下表面的布置方式如图 6 所示^[3]。

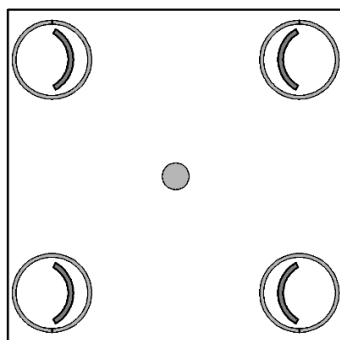


图 6 卷簧、减震弹簧与收缩杆于云台下表面的布置示意图

电机控制驱动系统由步进电机、驱动器等部件组成，本系统采用 57HS22 两相混合式步进电机、DM542 步进电机驱动器，并采用 MyRio 开发平台，使系统可以通过上位机进行无

线控制，能够在不需人工现场干预的情况下实现对电机转速及运行状态的精准控制、对升降机的升降位移进行实时准确监测，并可以通过电限位检测等反馈方式，使升降机始终运行在人为设定的安全作业行程内。控制驱动系统设计如图 7 所示。

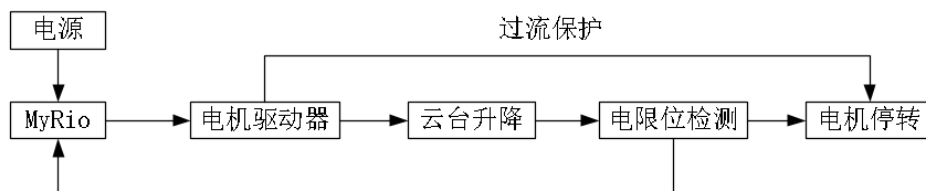


图 7 电机控制驱动系统设计

传动单元由齿轮、链轮及传动轴等零件组成，图 5 中齿轮 6 传递电机输出轴动力至齿轮 8 和传动轴 7，并通过传动轴 7 对两个链轮进行驱动，传动轴 14 上的齿轮 10 通过与传动轴上 7 的齿轮 9 啮合继续对动力进行传动，进而通过传动轴 14 对链轮 11、链轮 12 进行驱动。其中齿轮 9 与齿轮 10 的模数、齿数等各项参数均相同，通过二者啮合，在传动动力的同时，使得两传动轴的转动拥有了方向相反、转速相同的特征，传动单元方案如图 8。并通过图 5 所示链轮与卷簧的布置配合方案，使四个卷簧对云台的同步顶升得以实现，而为使链轮能够对卷簧进行准确驱动，需要在卷簧上根据驱动链轮的节距及齿厚等参数进行精准打孔，此时可采用激光切割等形式进行加工，实际使用卷簧模型如图 9 所示。

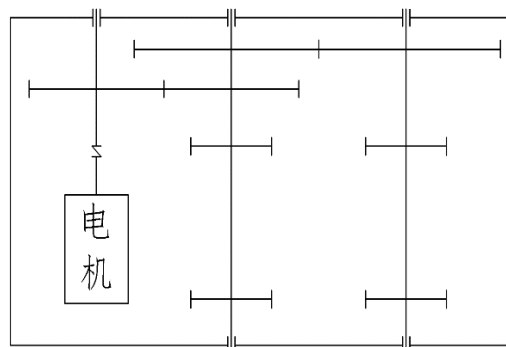


图 8 传动单元方案图



图 9 卷簧（打孔）模型图

升降支撑机构包括四个卷簧与一个伸缩杆，在升降机上升过程中，卷簧机构为云台的上升提供所需的动力，同时起到对云台的顶升与支撑作用，伸缩杆作为辅助支撑机构，对云台起着高度方向支撑、其余方向限制运动的作用^[4]，使升降机构在伸缩杆不发生失稳的前提下仅拥有两个自由度，在机器人运动过程中，可以有效避免因产生的加速度及颠簸等因素所造成的卷簧失稳的问题的发生，在下降过程中，为在实现精准控制的同时避免在重力加速度作用下云台等机构迅速下降所可能造成的部分零件受损的问题发生，卷簧仍会在驱动执行机构链轮的作用下，对下降速度与定位起到精准控制的作用，同时，也对云台提供一个方向竖直向上的支撑力，以减小下降作业时重力加速度对机构造成的冲击。

由于此升降系统常以收缩状态搭载在运行于恶劣路况的探测搜救机器人上，而云台搭载的图像采集仪器或探测仪器往往是一些难以承受长时间持续震动或短时间剧烈震动的精密

仪器，为了保障升降系统的正常工作，减震措施便成为了系统中必不可少的一部分，如图 5 所示，本文所设计的减震系统由四个减震弹簧组成，其上端与云台相连接，在升降系统处于收缩状态时，减震弹簧的下端与上箱体相接触，并由于云台的部分重力作用处于压缩状态，在探测搜救机器人工作于恶劣路况时，减震弹簧可以为云台及其搭载的装置起到很好的缓冲、减震作用，与此同时，若在极其恶劣的工作情况下由于不可抗力导致卷簧机构失稳或断裂，由于重力及支撑杆的辅助支撑作用，云台会出现竖直下降的情况，此时，在云台快要下降至上箱体表面的一段时间，减震弹簧可为云台提供充分的缓冲，使其平稳着陆。

3 防腐措施

由于此升降机设计方案主要搭载于使用场合常为废墟、巷道等恶劣环境的探测搜救机器人，因此，为保障升降系统的使用安全与稳定，防腐便成为了应该纳入考虑范围的一个重要问题，以尽量减小水汽及不可预知的化学成分对升降机构的影响。

而在此升降系统中，封闭于箱体内部的零件受到腐蚀的程度相对较弱，此处不作讨论，但升降系统中有可能直接暴露在外界的机构受到外界腐蚀的概率却不容小觑，因此，对与卷簧、伸缩杆及箱体等机构的防腐措施进行进一步研究便有着很大的实际意义。对于卷簧机构，其上有着为与链轮相配合以实现传动而打的孔，同其临近为打孔区域有着对氧亲和性的差异，在周围有水汽作用时，便会在此处形成大量原电池^[5]，从而对卷簧进行腐蚀，并由此造成应力集中，使卷簧机构的使用寿命大打折扣，为尽量减弱此类腐蚀对卷簧造成影响，可以通过镀锌、镀铝^[6]等防腐工艺对卷簧表面进行强化，以增强其抵抗腐蚀的能力；对于减震弹簧与伸缩杆，其在升降系统中也起着极其重要的作用，因此，其表面也应通过镀锌等工艺进行表面处理；对于箱体，由于其表面积较大且在升降系统实际作业中仅起支撑、固定作用，其表面可以通过涂装防腐涂料以起到防护作用，同时，每隔一定周期，要对其表面涂料进行检查、涂装。

4 结论

本文给出了一种以卷簧机构为顶升支撑件的具有高伸缩性的升降式监控云台设计方案。着重介绍了当前升降机的类型，并针对高伸缩性与机构布置灵活性、紧凑型对各类升降机构的优势与弊端进行了分析论证，在此基础上提出了一种新型刚柔双属性的升降机构方案，并对其远程控制、云台减震及整机防腐措施做出了论述，为现有升降机原始体积大、伸缩比例小的弊端提供了一种新型解决方案。经过样机搭建与试验，此升降机构拥有在云台及负载质量 500g 的状态下实现 60 秒内平稳顶升 2m、20s 内完全恢复原收缩状态的能力。本文提供的升降系统适用于要求具有较小原始体积及广阔的监控检测能力的探测搜集机器人，由于此方案中采用的卷簧所具有的挠性特征，故对云台及其搭载的探测仪器的重量有着较高的限制，若使用此升降方案进行设计应予以重视。

190

[参考文献] (References)

195

- [1] 杜干.升降平台升降机构研究现状分析[J].机械工程与自动化, 2013, 2013(2): 205-207.
- [2] 徐长航,吕涛,陈国明,尹树孟.自升式平台齿轮齿条升降机构错齿优化动力学分析[J].机械工程学报,2014,50(19):66-72.
- [3] 卢伟,宋爱国,凌云.卷簧式浅层月壤取样器设计及动力学分析[J].航天器工程,2011,20(04):86-92.
- [4] 范峰岩.车载多级丝杠升降系统的设计[J].山西电子技术,2018(06):8-10.
- [5] 张志鑫.工程机械的腐蚀与防护措施[J].建设机械技术与管理, 2009,22(09):146-151.
- [6] 陈曦.起重机械的腐蚀机理及防护措施[J].南方农机,2019,50(03):112.