



倾斜带式输送机输送带更换成套技术装备研制与应用

寇子明 杨俊 张立冬 吴娟

倾斜带式输送机分为上运带式输送机和下运带式输送机。向上运输时输送机倾角为 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ，此倾角适用于输送堆积密度为 $0.4 \sim 2.5 \text{ t/m}^3$ 的散装物料或成品；向下运输时，倾角不宜过大，最大倾角为 -27° 。

在煤炭和非煤矿山等行业，每年约有500亿t的松散物料（矿石、煤炭、砂石、水泥等）运输是通过倾斜带式输送机来完成的，具有一定张力的输送带在承载所有物料的同时，还要与滚筒、托辊等传动部件互相作用，产生周期性的交变应力和应变，特别是在长距离、高速、重载运输的过程中，输送带极易产生磨损、老化现象，如不及时更换，在冲击载荷与重力势能的作用下，极易发生断带等恶性事故。只要有1台输送机出现故障，整个带式输送机运输系统都要停止运行；因此，解决带式输送机输送带更换问题具有重要意义。

换带过程主要涉及对倾斜布置的输送带进行夹带（防跑带）、切带（准备换带）、收旧带、卷旧带、放新带等作业。长期以来上述作业过程都是以人工操作为主，配用简易工具或装置为辅。在现场作业过程中，不仅费时费力，而且极易发生重大事故。笔者通过分析传统换带作业存在的缺陷，发明了基于履带牵引技术的全新换带工艺及成套技术装备，大幅提高了换带作业的效率及安全性。

带式输送机输送带连续换带步骤

带式输送机输送带连续换带工艺属于连续换带法，即旧带接新带同步拉放，在回收旧带的同时将新带铺设于输送机上。具体工艺分为准备阶段、

输送带更换阶段以及硫化调试阶段。

准备阶段

准备阶段分为以下2步：

（1）带式输送机停机后，在井口老汉柱处安装夹紧装置，夹紧输送机下层输送带。同时放开张紧装置，启动送带装置，使上层输送带前进一段距离，然后使用夹紧装置固定上层输送带。

（2）上下2层输送带固定牢固后，将下层输送带在驱动器附近切断，然后将上层输送带掀至地面。接着使用调度绞车配合夹紧装置将输送带通过履带式连续输送带更换装置，牵引出多余的旧输送带放置在外部导轨；然后使用绞车牵引，使新输送带依次穿过输送带导轨、换带装置并与下层输送带固定。

更换阶段

输送带更换阶段分为以下3步：

（1）准备工作完成后，启动履带式连续收带装置，利用收带装置的后备保护机构夹紧上下2层输送带，将老汉柱处的输送带夹紧装置松开后，开始更换输送带。

（2）向下铺设新输送带的同时回收旧输送带，在每一段新输送带铺设完毕后，都需要关闭履带式连续换带装置并启动2个后柱式绞车，拖动户外的新输送带存放平台与导轨对齐，保证新输送带不会发生倾斜或弯曲。到达地面的旧输送带使用卷带装置进行收卷，每隔一段距离使用切带装置切断输送带，利用吊车拖走。

（3）当新旧输送带连接卡移动到驱动滚筒上

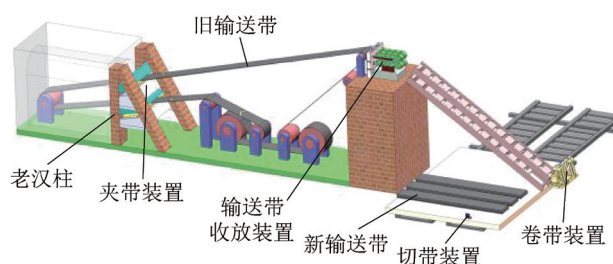
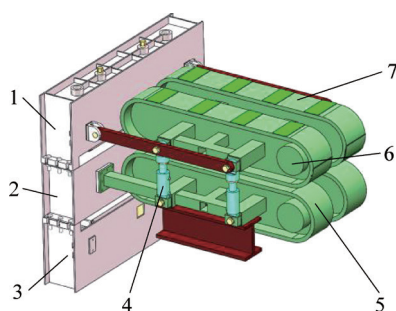


图1 倾斜换带工艺示意



1—上刹车厢；2—中刹车厢；3—下刹车厢；4—压紧油缸；
5—下履带底盘；6—液压驱动马达；7—上履带底盘

图2 履带牵引式连续收放带装置

方时，关闭履带式连续换带装置，拧紧老汉柱前的夹紧装置并固定输送带。

硫化调试阶段

硫化调试阶段分为以下2步：

(1) 松开新旧输送带连接卡，取出地板上剩余的旧输送带并进行回收；同时，利用回柱绞车将新输送带的两端牵引到驱动滚筒上方的硫化平台，安装硫化装置。

(2) 输送带完成硫化后，试运行带式输送机并调试。倾斜换带工艺如图1所示。

带式输送机输送带成套装备设计

履带牵引式连续收放带装置

履带牵引式连续收放带装置，包括上刹车厢、中刹车厢、下刹车厢、压紧油缸、上履带底盘、液

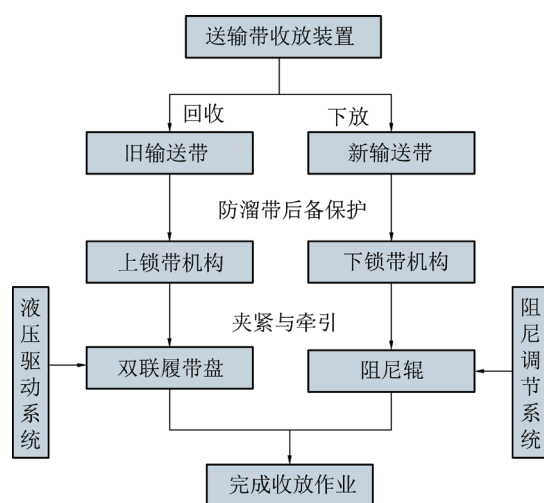


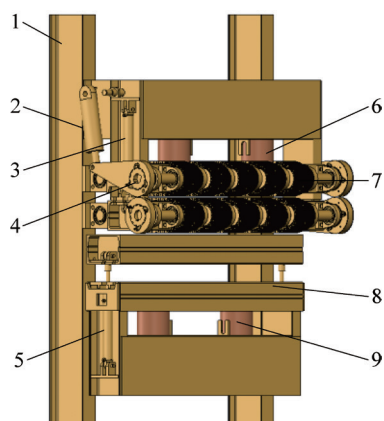
图3 连续收放装置工作流程

压驱动马达、下履带底盘等组成，如图2所示。

当旧输送带被切断后，上端旧输送带穿过上中刹车厢的缝隙，并从上下履带底盘之间引出，下端旧输送带与新输送带接头连接后穿过中下刹车厢的缝隙；此时，装置发出压紧油缸动作，将上端旧输送带夹紧，为拉带动作提供足够的压力，防止输送带与履带面出现滑移现象；其次，上下2对液压马达驱动履带底盘利用摩擦力拉出旧输送带；装置前端的上中下3个刹车厢用于防止在拉带过程中可能出现的跑带事故。整个收放带装置基于机电液一体化技术，由机械主机、液压系统及电器控制箱等组成，自动化程度高，安全可靠。连续收放装置工作流程，如图3所示。

夹带装置

在进行输送带切断之前需要在老汉柱处夹紧输送带，防止输送带下溜。目前，带式输送机输送带的主要夹带装置是打上人工板卡，该夹带方法不连续；主要是通过绞车或人工把输送带从井口处往外拉出一段距离，然后通过人力工具在井口附近打上人工板卡，而对于长距离、大坡度及运送量大的主斜井输送带，拉带时一般采用多台绞车。将输送带拉出并打上人工板卡通常需要4~5 h才能完成，因此研究了一种新型夹带装置，通过设计上下夹体



1—老汉柱；2—步进拉带液压缸；3—上起吊缸；
4—棘轮机构；5—下起吊缸；6—上刹车油缸；
7—齿形链；8—夹体；9—下刹车油缸

图4 夹带装置结构三维效果

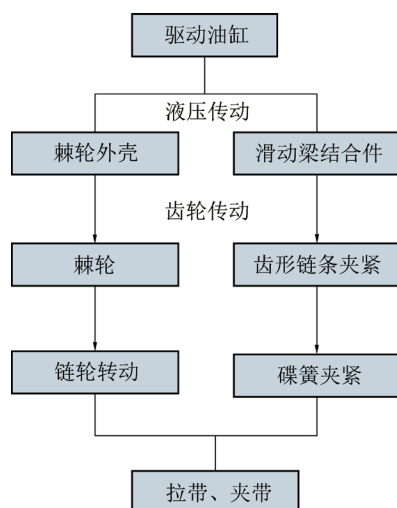
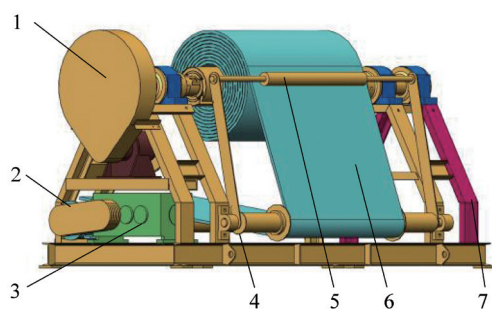


图5 夹带装置工作流程

机构，实现了上层输送带和下层输送带的同步夹紧，驱动油缸带动棘轮外壳和齿形链轮偏转，实现工作过程中齿形链条对上层输送带的夹紧和拉带功能。通过设计多条齿形链条夹紧输送带，实现了多点加压，使输送带压力分布均匀，避免了因输送带变形夹紧而产生额外方向的压力；新设计不仅增加了装置的使用寿命，也使夹紧输送带更加稳定安全可靠。夹带装置结构三维效果和工作流程如图4、图5所示。

卷带装置

带式输送机输送带长度从几百米到几千米不



1—棘轮外壳；2—驱动电机；3—无级变速；
4—反馈链轮；5—压紧托辊；6—输送带；7—机架

图6 卷带装置结构示意图

等，在换带装置抽出旧输送带之后，需要利用卷带装置将旧输送带成卷。因此，卷带是换带过程中不可缺少的一个环节，卷带是否顺利关乎整个输送带更换过程的效率，基于此研究了一种钢丝绳芯输送带卷带装置。

钢丝绳芯输送带卷带装置是将电机驱动系统、无级调速机构、齿轮减速机构、鼓形托辊、压紧托辊及卷筒安装在卷带装置机架上，其中电机驱动系统、无级调速机构、齿轮减速机构和鼓形托辊通过螺栓固定在卷带装置机架上，压紧托辊通过压紧托辊底座固定于鼓形托辊，各机构之间通过齿轮链条连通，卷筒一端设置棘轮棘爪机构防止停机时卷筒倒转，构成与带式输送机输送带更换装置同步的卷带装置。该装置解决了带式输送机输送带更换现场卷带效率低、易跑偏、不同步等问题。卷带装置结构如图6所示。

在带式输送机换带装置抽出旧带后，为了保证旧输送带的卷带与换带装置同步运转而不拖带，提高整体输送带更换工艺的效率，鼓形托辊可有效防止输送带的跑偏并具有自适应纠偏功能，可保证输送带成卷整齐紧密，反馈链轮可根据卷装直径变化，反馈给无级变速器，通过调节速比使卷绕线速度恒定。卷带装置工作流程如图7所示。

由于输送带厚度较厚，如果采用圆柱形卷筒则会在输送带端头处卷径产生突变，不仅会造成输送带收卷张力不稳定，而且也会导致电机收卷的负

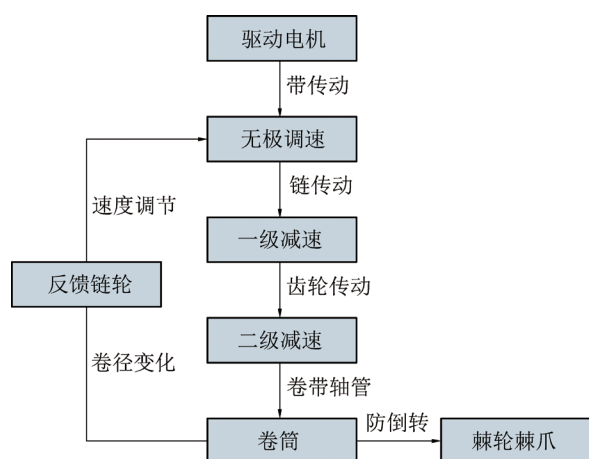


图7 卷带装置工作流程

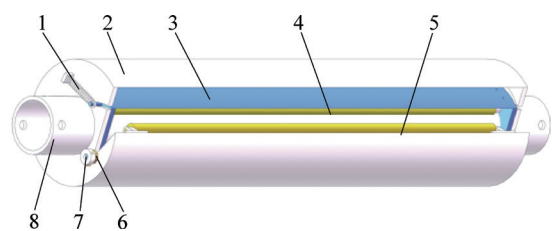
载力矩发生突变，虽然这种突变在现场不会严重影响卷带作业过程，但日积月累将对电机造成损伤。蜗形卷筒结构如图8所示。

收卷过程中，圆柱形卷筒在输送带端头处存在断层现象，是因为输送带厚度较厚，所以这种断层现象就更加明显，而蜗形卷筒不存在断层现象（图9）。

卷筒的另一重要作用是夹紧输送带端头，并牵引端头实现收卷，如果夹紧不均匀、夹紧力不够或者夹紧后在收卷过程中出现松动等问题都会影响卷带效果，甚至导致收卷失败。全新设计的蜗形卷筒采用双偏心压辊同步加压，夹紧力大，并且夹紧后不易松动；其工作过程是：首先将输送带端部伸进2个偏心压辊之间，然后转动扳扣使得2个偏心压辊逐渐靠近并压紧输送带，在压紧过程中，偏心压辊会自动偏转至近芯端表面与输送带表面接触，远芯端则远离输送带，当收卷时输送带受到偏心压辊的拉力，这种拉力是通过偏心压辊与输送带表面的摩擦力来实现的。收卷完毕后，只要转开棘爪，安装在伸缩板上的偏心压辊则会随着伸缩板一起被弹簧牵引着缩回到卷筒外壳内，导致2个偏心压辊分离，从而松开输送带，蜗形卷筒夹带与松带过程如图10所示。

钢丝绳芯输送带切割装置

在煤矿带式输送机输送带更换工艺中，由于



1—弹簧；2—卷筒外壳；3—伸缩板；4—偏心压辊 I；5—偏心压辊 II；6—棘轮机构；7—扳扣；8—卷带芯轴

图8 蜗形卷筒结构示意图

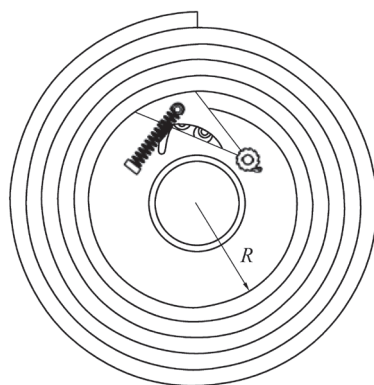


图9 蜗形卷筒收卷效果

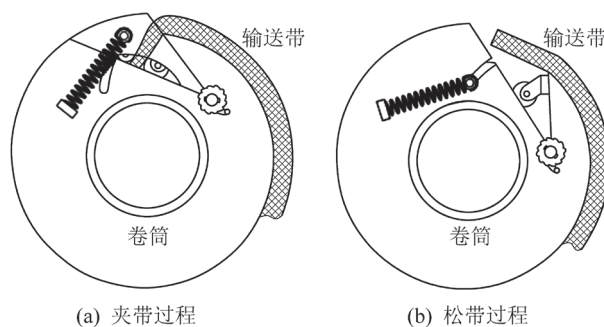
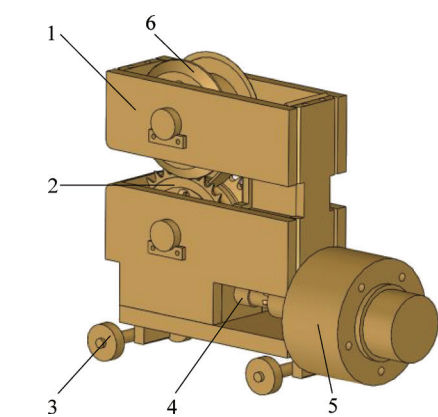


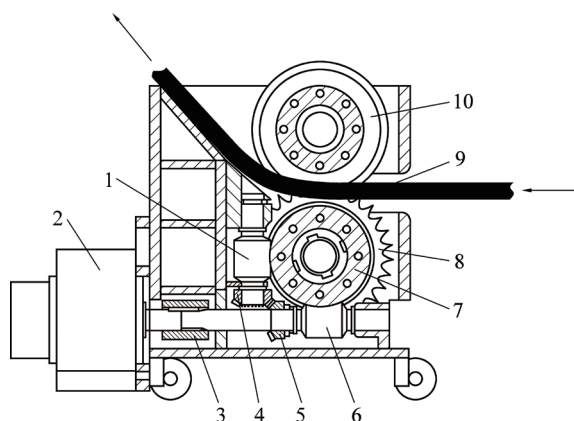
图10 蜗形卷筒夹带与松带过程示意

输送带距离长，周围空间有限，不可能一次拉出全部的旧输送带，因此在更换了一段距离之后就需要对输送带进行切断。矿用带式输送机输送带中的钢丝绳直径从4~12 mm不等，上下2层以橡胶覆盖，厚度一般为17~33 mm，这给输送带的切割带来了各种困难。传统切割装置使用的是钢材切割机，此类装置在切割输送带时需要多人共同作业，效率低下，切割过程中烟雾弥漫，火花四射，无法在井下巷道或者室内使用。基于上述问题，研究了一种钢



1—上壳体；2—齿切刀；3—下壳体；
4—蜗轮蜗杆机构；5—液压马达；6—盘切刀

图11 钢丝绳芯输送带切割装置



1—蜗杆Ⅱ；2—液压马达；3—联轴器；4—锥齿轮Ⅱ；5—
锥齿轮Ⅰ；6—蜗杆Ⅰ；7—蜗轮；8—齿切刀；9—钢丝绳芯
输送带；10—盘切刀

图12 双蜗杆切带装置内部结构示意图

钢丝绳芯输送带连续切割装置，如图11所示。

钢丝绳芯输送带切割装置由1对齿切刀与1对圆盘形切刀相互啮合构成，其中1对齿切刀装配于上箱体，1对盘切刀装配于下箱体。由液压马达通过蜗轮蜗杆机构带动齿切刀转动，蜗杆与液压马达连接，蜗轮布置于1对齿切刀中间；使用蜗轮蜗杆机构，切割力矩增大，更容易切断输送带。由于采用定切刀与齿切刀相互咬合的剪切力切割输送带，因此整个过程没有有害气体及火花产生。

此外，为了使蜗轮蜗杆机构齿面受力减小，设计了一种双蜗杆单蜗轮驱动机构驱动齿切刀转

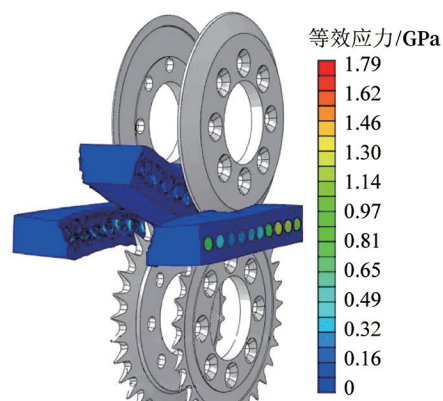


图13 切割装置切割仿真结果

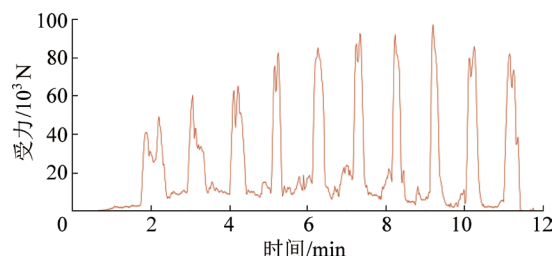


图14 齿切刀切割受力曲线

动，如图12所示。液压马达输出轴通过联轴器与蜗杆Ⅰ相连，蜗杆Ⅰ上的锥齿轮Ⅰ与蜗杆Ⅱ上的锥齿轮Ⅱ配合传动，使得液压马达同时驱动蜗杆Ⅰ和蜗杆Ⅱ共同带动同一个蜗轮旋转，当使用双蜗杆驱动时，蜗杆Ⅰ与蜗杆Ⅱ会共同承担所受负载，这使得单个蜗杆齿面受力会大幅减小。

在ABAQUS软件中对带厚33 mm的钢丝绳芯输送带进行动力学切割仿真，如图13所示。根据仿真结果可以看出，运用齿切刀与盘切刀配合可以很好地切断钢丝绳芯输送带。

齿切刀切带时受力曲线如图14所示。由图14可知，刚开始切割时，齿切刀组接触到橡胶，所受力逐渐从0增大到5 000 N；当接触到钢丝绳时，齿切刀组受力陡然增加，第1根钢丝绳给齿切刀组的最大反作用力为45 000 N，当第1根钢丝绳切断后，齿切刀组受力又恢复到8 000 N左右，随后剩下的钢丝绳也被切断；由于已经切断的钢丝绳对齿切刀组有摩擦阻力作用，且切割时输送带初始部位的钢丝绳约束力较小，钢丝绳在齿槽内存在滑移现

表1 带式输送机输送带参数

特性	参数
输送带型号	ST-4500
输送带长度/m	9 850
更换长度/m	4 860
输送带宽度/mm	1 800
巷道坡度/(°)	5.13
输送带单位质量/(kg·m ⁻¹)	89.1
换带速度/(m·min ⁻¹)	6



图16 现场换带作业

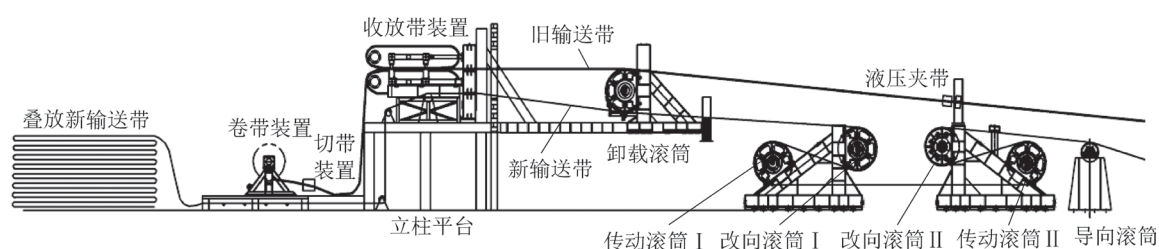


图15 换带装备现场布置

象,使得前3根钢丝绳切割时对齿切刀组的反作用力减弱,随着切带的深入,切割过程越来越稳定,此时钢丝绳对齿切刀组的反作用力要比前面大,平均受力为80 000 N。

现场应用

履带牵引式连续换带成套装置方案理论上可满足拉旧带送新带动作的连续进行,但实际的换带工作根据煤矿斜井的不同而存在差异,以在山西某煤炭公司主斜井进行现场带式输送机输送带更换作业为例,本次现场应用的输送带参数见表1。换带装备现场布置如图15所示。

现场应用过程中,履带收放装置额定牵引力达1 000 kN,换带速度经过现场测试和计算保持在6 m/min左右,与理论分析结果接近,切带速度保持在1.4 m/min,相较于传统砂轮磨切效率提升明显。利用该输送带更换工艺和成套换带装备,长度为4 860 m的输送带不到20 h便更换完毕。现场换带作业如图16所示。

结语

针对目前倾斜式带式输送机输送带更换安全性差、效率低等问题,提出了一种安全高效的输送带更换工艺,并对带式输送机输送带更换工艺中涉及到的收放带装置、夹带装置、卷带装置、切带装置进行了设计与研究。随后在山西大同某矿进行了现场应用,使用此换带工艺更换长度为4 860 m的输送带时速度可达6 m/min,切带速度可达1.4 m/min,收旧带与同步放新带的时间为20 h,与人工换带相比效率提高了60%以上,并且整个换带过程安全可靠,符合大倾角、长距离的换带需求。

■ 助理编辑: 李艾稣

作者简介:

第一作者: 寇子明, 教授, 博士生导师, 博士。
E-mail: zmkou@163.com

作者单位: 太原理工大学机械与运载工程学院;
山西省矿山流体控制工程实验室;
矿山流体控制国家地方联合工程实验室

基金项目: 国家自然科学基金面上资助项目 (52174147)