**一、项目基本情况**

项目名称：矿用强力带式输送机全传动链智能监测与防控系统

主要完成人：毛清华、马宏伟、张旭辉、窦伯林、宋金全、李铮、王川伟、樊红卫、薛旭升

完成单位（所有）：西安科技大学、洛阳威尔若普检测技术有限公司

西安重装韩城煤矿机械有限公司、[宁夏广天夏电子科技有限公司](https://www.baidu.com/link?url=hjbNe89y7hbrIzLsfLZt4tpCyOByiKeRSpKxp2nL7_Apocuu8THv3eEhwb7G3V-b&wd=&eqid=b0ad713100001e89000000025ebbf750" \t "https://www.baidu.com/_blank)

提名单位：陕西省煤炭学会

**二、项目简介**

矿用强力带式输送机是大多数煤矿的主运输系统，由于存在强力带式输送机关键部件预警技术落后、人工检测钢丝绳芯输送带不可靠、断带抓捕系统不可靠和下运式带式输送机防飞车保护技术落后等问题，导致托辊、滚筒与输送带摩擦发热引起着火事故、断带事故和下运式带式输送机飞车事故。针对上述问题，本成果研发了矿用强力带式输送机全传动链智能监测与防控系统，实现了强力带式输送机钢丝绳芯输送带、电机、滚筒和托辊全传动链智能监测，有效防控断带和飞车事故发生，对于确保煤矿安全生产和提高煤矿经济效益具有重要的意义。

项目取得的主要科技成果：

（1）矿用强力带式输送机全传动链智能监测与防控系统

研发了钢丝绳芯输送带智慧专家监测系统、带式输送机电机、滚筒和托辊等关键部件故障预警系统、智能联动控制的断带抓捕系统和下运式带式输送机防飞车保护系统。集上述子系统于一体，构建了矿用强力带式输送机全传动链智能监测与防控系统，实现了全传动链智能监测和断带事故、飞车事故的防控。

（2）钢丝绳芯输送带智慧专家监测系统

发明了高灵敏度弱磁检测传感器，提出了钢丝绳芯输送带钢芯损伤和接头抽动的弱磁信号智能识别方法；提出了基于机器视觉的皮带异物与纵向撕裂智能识别方法；研发了钢丝绳芯输送带智慧监测专家系统，实现了钢丝绳芯输送带缺陷的精确定位、定性、定量检测，以及皮带异物与纵向撕裂的检测与报警，能够全年无时间盲区监测输送带运行状态，结合变频控制系统，可以防控断带事故发生。

（3）带式输送机电机、滚筒和托辊等关键部件故障预警系统

提出了强力带式输送机电机、滚筒、托辊红外图像特征提取与智能识别方法，建立了基于红外热像的故障预警模型，制定了故障预警方案。研发了基于红外热像的强力带式输送机关键机械部件故障诊断与预警系统，实现了强力带式输送机关键部件故障诊断和故障预警。

（4）断带智能抓捕系统和下运式带式输送机防飞车智能保护系统

提出了抓捕器群智能联动控制方法和下运式带式输送机防飞车判定方法，研发了带式输送机智能联动控制的电液式、电磁式断带抓捕系统和下运式带式输送机防飞车保护系统，实现了输送带断带高可靠抓捕和下运式带式输送机防飞车可靠保护。

依托本成果发表论文22篇，其中SCI/EI收录12篇；授权发明专利13项、实用新型9项，受理发明专利2项。项目主要成果已由洛阳威尔若普检测技术有限公司、西安重装韩城煤矿机械有限公司和宁夏广天夏电子科技有限公司进行转化，成果中钢丝绳芯输送带智慧监测专家系统在山西煤炭运销集团口泉煤业有限公司、神木市新窑煤业有限公司等多家煤矿应用，2017-2019年产生经济效益12974.59万元。本项目成果经科技查新表明：相关文献未见述及本成果完全相同的报道。2019年12月，项目通过中国煤炭工业协会组织的成果鉴定，结论为：本项目研究成果达到了国际先进水平。本项目成果的进一步推广应用，将会有力促进我国煤矿带式输送机的智能化水平，对防控断带事故发生和煤矿安全生产具有重要意义，社会经济效益显著。

**三、主要知识产权证明目录（限10条）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家（地区） | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
| 1 | 发明专利 | 煤矿钢丝绳芯带式输送机智能监控系统及监控方法 | 中国 | ZL201310071806.5 | 2015-07-08 | 1722012 | 西安科技大学 | 马宏伟,毛清华,张旭辉,姜俊英,陈渊,曹现刚 |
| 2 | 发明专利 | 钢丝绳芯输送带缺陷智能识别方法及系统 | 中国 | ZL201210352699.9 | 2015-04-08 | 1630993 | 西安科技大学 | 马宏伟,张旭辉,毛清华,陈海瑜,曹现刚,张大伟,姜俊英 |
| 3 | 发明专利 | 一种煤矿钢丝绳芯输送带硫化接头结构识别方法 | 中国 | ZL201710320049.9 | 2019-03-29 | 3312976 | 西安科技大学 | 毛清华 |
| 4 | 发明专利 | 一种电磁磁电效应式传感器 | 中国 | ZL200910064519.5 | 2011-09-28 | 846194 | 洛阳威尔若普检测技术有限公司 | 窦毓棠,杨旭,窦伯英,窦柏 |
| 5 | 发明专利 | 一种基于二叉树支持向量机的分类方法 | 中国 | ZL201210352700.8 | 2015-07-08 | 1721870 | 西安科技大学 | 毛清华,马宏伟,张旭辉,陈海瑜,张大伟,姜俊英 |
| 6 | 发明专利 | 一种基于机器视觉的锚杆异物及皮带撕裂检测系统 | 中国 | ZL201710454340.5 | 2019-03-22 | 3301679 | 西安科技大学 | 马宏伟,王川伟,薛旭升,毛清华,杨文娟,张旭辉,等 |
| 7 | 发明专利 | 一种基于机器视觉的皮带运输机安全智能保障系统  | 中国 | ZL201710454337.3 | 2018-10-12 | 3104388 | 西安科技大学 | 马宏伟,王川伟,薛旭升,毛清华,杨文娟,张旭辉,等 |
| 8 | 发明专利 | 一种下运式皮带输送机防飞车保护系统及方法  | 中国 | ZL201610444377.0 | 2017-11-17 | 2701336 | 西安科技大学 | 毛清华,马宏伟,张旭辉,程瑞鹏,董明,王川伟,薛旭升 |
| 9 | 发明专利 | 带式输送机关键部件红外监测预警系统 | 中国 | 201610086172.4 |  |  | 西安科技大学 | 张旭辉,杨文娟,马宏伟,毛清华,曹现刚,王川伟 |
| 10 | 实用新型 | 一种电磁同步型断带抓捕器 | 中国 | ZL201521070069.8 | 2015-05-25 | 5228886 | 西安科技大学 | 张旭辉,毛清华,马宏伟,王鹏,陈标,等 |

**四、推广应用及社会经济效益**

**4.1 应用情况**

项目主要成果已由洛阳威尔若普检测技术有限公司、西安重装韩城煤矿机械有限公司和[宁夏广天夏电子科技有限公司](https://www.baidu.com/link?url=hjbNe89y7hbrIzLsfLZt4tpCyOByiKeRSpKxp2nL7_Apocuu8THv3eEhwb7G3V-b&wd=&eqid=b0ad713100001e89000000025ebbf750" \t "https://www.baidu.com/_blank)进行转化，成果在山西煤炭运销集团口泉煤业有限公司、神木市新窑煤业有限公司等多家煤矿应用，大大提高了矿用强力带式输送机运行的安全性，推广应用前景广阔，具体应用情况如下：

（1）钢丝绳芯输送带缺陷弱磁信号智能识别技术有力推进了洛阳威尔若普检测技术有限公司的钢丝绳芯输送带缺陷弱磁监测系统向智慧监测系统发展，应用效果良好，有效提升了公司产品技术水平，获得了矿方的良好评价。该技术有力推进了钢丝绳芯输送带缺陷弱磁监测系统向智慧监测系统发展，中国煤炭工业协会组织鉴定为“研发成果达到了国际先进水平”，有效地预防了钢丝绳芯输送带断带事故发生，延长了输送带的使用寿命，对煤矿安全生产和提高经济效益具有重要的意义。

（2）断带智能抓捕技术在实际应用中，运行良好，有效提升了西安重装韩城煤矿机械有限公司断带抓捕系统技术水平，较大降低了断带抓捕系统的维护时间和维护成本，获得了矿方的良好评价。本公司带式输送机配备断带智能抓捕系统后，提高了带式输送机运行的安全性和预防了带式输送机断带事故发生，对煤矿安全生产具有重要的意义，其经济和社会效益显著。

（3）基于机器视觉的锚杆异物及皮带撕裂检测技术在实际中，应用效果良好，有效提升了公司[宁夏广天夏电子科技有限公司的产品技术水平。该技术有力推进了皮带运输机纵向撕裂、异物检测及物料堆积检测向智能监测方向发展，实现了异物和撕带的准确识别，有效预防了皮带纵向撕裂事故发生，获得了矿方的良好评价，对煤矿安全生产和提高经济效益具有重要的意义。](https://www.baidu.com/link?url=hjbNe89y7hbrIzLsfLZt4tpCyOByiKeRSpKxp2nL7_Apocuu8THv3eEhwb7G3V-b&wd=&eqid=b0ad713100001e89000000025ebbf750)

 [（4）钢丝绳芯输送带智慧监测专家系统应用到山西煤炭运销集团口泉煤业有限公司和神木市新窑煤业有限公司等煤矿企业，可以实时检测到皮带内部钢芯接头处的位移情况，及时发现因皮带外部受损引起的内部钢芯断裂、锈蚀等情况。配备钢丝绳芯输送带智慧监测专家系统后，在生产的同时完成钢丝绳芯输送带内部损伤的实时准确监测，减少了强力带式输送机的停机时间和检查能耗，较大地提高了强力带式输送机的运煤量，有效地预防了钢丝绳芯输送带断带事故发生，延长了输送带的使用寿命，对煤矿安全生产和提高经济效益具有重要的意义。](https://www.baidu.com/link?url=hjbNe89y7hbrIzLsfLZt4tpCyOByiKeRSpKxp2nL7_Apocuu8THv3eEhwb7G3V-b&wd=&eqid=b0ad713100001e89000000025ebbf750)

**[4.2 社会经济效益](https://www.baidu.com/link?url=hjbNe89y7hbrIzLsfLZt4tpCyOByiKeRSpKxp2nL7_Apocuu8THv3eEhwb7G3V-b&wd=&eqid=b0ad713100001e89000000025ebbf750)**

[成果已由洛阳威尔若普检测技术有限公司、西安重装韩城煤矿机械有限公司和宁夏广天夏电子科技有限公司进行转化，成果中钢丝绳芯输送带智慧监测专家系统在山西煤炭运销集团口泉煤业有限公司、神木市新窑煤业有限公司等多家煤矿应用，2017-2019年产生经济效益12974.59万元，新增利润1883.33万元。](https://www.baidu.com/link?url=hjbNe89y7hbrIzLsfLZt4tpCyOByiKeRSpKxp2nL7_Apocuu8THv3eEhwb7G3V-b&wd=&eqid=b0ad713100001e89000000025ebbf750)

[由于强力带式输送机工况复杂、载荷交变、运量大和异物撕裂皮带等，导致输送带断裂事故时有发生。输送带断裂后果非常严重，不仅会给煤矿造成巨大的经济损失，甚至会造成人员伤亡，给煤矿生产和安全造成巨大危害。据澳大利亚统计， 一条皮带在其生命周期中发生一次断裂可能性约有20%。价值数百万元甚至更多的钢丝绳芯输送带，一旦发断裂事故，在很短时间内可能全部毁坏，造成巨大的经济损失。即使能够修补，也需要相当的人力和时间，对正常生产产生极大影响。近几年国内强力带式输送机的使用量越来越大，其应用范围越来越广，断带事故频发。据不完全统计：河南某大型国有矿业集团在过去10年间，共发生输送机断带事故24起，事故不仅造成大量的经济损失，更是造成了人员伤亡。陕西某矿业公司主斜井发生钢芯输送带断带事故，断带后煤下滑导致巷道堵塞严重，经济损失上亿元。](https://www.baidu.com/link?url=hjbNe89y7hbrIzLsfLZt4tpCyOByiKeRSpKxp2nL7_Apocuu8THv3eEhwb7G3V-b&wd=&eqid=b0ad713100001e89000000025ebbf750)

[由于驱动滚筒与皮带磨擦发热、托辊卡死与皮带摩擦发热等，导致输送带着火。某煤矿发生了一起罕见的井下输送带着火事故，死伤多人，损失惨重，其原因是托辊故障，与输送带长时间磨擦发热引起，输送带着火问题已成为威胁煤矿安全生产的主要事故之一。由于超载、打滑等原因，带式输送机速度失控，导致飞车事故，造成物料大量堆积，堵塞巷道，飞车时瞬间大量堆积的物料及设备破损后飞溅的碎块，均对人身安全构成直接的威胁，大大缩短了设备的使用寿命。](https://www.baidu.com/link?url=hjbNe89y7hbrIzLsfLZt4tpCyOByiKeRSpKxp2nL7_Apocuu8THv3eEhwb7G3V-b&wd=&eqid=b0ad713100001e89000000025ebbf750)

[基于上述问题，本成果研发了矿用强力带式输送机全传动链智能监测与防控系统。通过钢丝绳芯输送带智慧专家系统，实现了钢丝绳芯输送带缺陷的精确定位、定性、定量检测，以及皮带异物与纵向撕裂的检测与报警，能够全年无时间盲区监测输送带运行状态。如果钢丝绳芯输送带智慧专家系统对断带识别漏报，断带智能抓捕系统可以确保输送带可靠抓捕，有效防控断带事故发生。通过基于红外热像的电机、滚筒、托辊等关键部件故障诊断与预警系统，可以预防输送带着火事故发生。防飞车智能保护系统，可以有效防控下运式带式输送机飞车事故发生。](https://www.baidu.com/link?url=hjbNe89y7hbrIzLsfLZt4tpCyOByiKeRSpKxp2nL7_Apocuu8THv3eEhwb7G3V-b&wd=&eqid=b0ad713100001e89000000025ebbf750)

[综上上述，矿用强力带式输送机全传动链智能监测与防控系统可以实现强力带式输送机全传动链自动检测与智能识别，可以有效对断带事故、着火事故和飞车事故进行预警和防控，避免事故发生带来的巨大经济损失，甚至人员伤亡，减少了煤炭运输现场作业人员，降低了工人的劳动强度，提升了煤矿运输的智能化管控水平。该成果的推广应用，对煤矿安全生产具有重要意义，社会效益显著。](https://www.baidu.com/link?url=hjbNe89y7hbrIzLsfLZt4tpCyOByiKeRSpKxp2nL7_Apocuu8THv3eEhwb7G3V-b&wd=&eqid=b0ad713100001e89000000025ebbf750)

1. **客观评价**

本项目经中国煤炭工业协会组织专家鉴定，技术成果达到国际先进水平，科技查新报告结论为：“相关文献未见述及与查新项目研究内容及技术完全相同的报道”。部分国内外同行在重要学术刊物的评价如下：

1. 项目组完成的“An Improved Skewness Decision Tree SVM Algorithm for the Classification of Steel Cord Conveyor Belt Defects”研究论文，在Jaroslav Homisin的论文“Removal of systematic failure of belt conveyor drive by reducing vibrations”中被引用并评价为“The conveyor belt may be overloaded, which may result in its rupture, vibration of the conveyed material, the conveyor belt slipping off the drive drum, uncontrolled running of the conveyor belt and the like. Similar problematics is presented also by Mao et al.”。
2. 项目组完成的“Noise Reduction of Steel Cord Conveyor Belt Defect Electromagnetic Signal by Combined Use of Improved Wavelet and EMD”研究论文，在Huanguo Chen的论文“The Bivariate Empirical Mode Decomposition and Its Contribution to Grinding Chatter Detection”中被引用为“The EMD approach can decompose signals into several intrinsic mode functions (IMFs) which distribute from high frequency to low frequency。
3. 项目组完成的“Analysis and Design an Electro-hydraulic Type Belt Capture Device for Belt Conveyor”研究论文，在Wenjun Yin的论文“Parameters Optimization of a Hydraulic Buffer System for Belt Arrestor in Downward Belt Conveyors”中被引用并评价为“Zhang et al. presented an electro-hydraulic control type capture device solution and estimated the response time after analyzing a kinematic model of the device”。
4. 项目组完成的“矿用强力带式输送机智能监控技术研究进展”研究论文，在祝宝君的论文中被引用并评价为“实现对带式运输机的智能调控”；在天津工业大学刘晓雪的硕士论文中引用为“带式输送机监控系统主要功能包括检测功能、控制功能、语音通信功能、视频监控功能、显示及历史记录归档功能和报警功能”。
5. 项目组完成的“改进邻域粗糙集的输送带缺陷特征约简算法”研究论文，在吉林大学张潇的论文中被引用并评价为“提取了输送带的12个缺陷特征，采用改进的邻域粗糙集约简算法最后得到5个有效特征，利用“一对多”C-SVM分类，在保证识别准确率的同时提高了对缺陷的识别速度”。
6. 项目组完成的“带式输送机托辊红外图像分割与定位算法”研究论文，被郭清华发表在《矿业安全与环保》的论文“[基于光纤测温的托辊轴温检测及热传导模型研究](https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=ENER202001014&dbcode=CJFQ&dbname=CJFDTEMP&v=" \t "https://kns.cnki.net/kcms/detail/kcmstarget)”引用并评价为“提出了利用红外热像仪实时采集托辊、滚筒的红外图像，结合红外图像处理及识别技术实现对托辊、滚筒的自动分类识别”。
7. 项目组完成的“[基于红外热像的带式输送机监测与预警系统](http://kns.cnki.net/kns/detail/detail.aspx?QueryID=4&CurRec=1&DbCode=CJFD&dbname=CJFDLAST2017&filename=JGHW201704012&urlid=&yx=" \t "http://kns.cnki.net/kns/brief/_blank)”研究论文，在候华金的论文中被引用并评价为“运用红外热成像检测技术形成带式运输机各组件的温度红外图像，并对运输机各部件故障进行判断并预警”。
8. **完成单位及完成人合作关系说明**

本项目由西安科技大学联合洛阳威尔若普检测技术有限公司、西安重装韩城煤矿机械有限公司和宁夏广天夏电子科技有限公司合作完成。

西安科技大学毛清华、马宏伟、张旭辉根据目前强力带式输送机关键部件预警技术落后、人工检测钢丝绳芯输送带不可靠、断带抓捕系统不可靠和下运式带式输送机防飞车保护技术落后等问题，提出并研发了矿用强力带式输送机全传动链智能监测与防控系统。王川伟参与了基于机器视觉的锚杆异物及皮带撕裂检测技术、关键部件故障预警系统开发等方面的研究。樊红卫参与了钢丝绳芯输送带缺陷弱磁信号降噪方法研究。薛旭升参与了基于机器视觉的锚杆异物及皮带撕裂检测、下运式带式输送机防飞车保护系统研发等方面的研究。

西安科技大学与洛阳威尔若普检测技术有限公司一起合作研发钢丝绳芯输送带智慧监测专家系统。西安科技大学提出了钢丝绳芯输送带钢芯损伤和接头抽动的弱磁信号智能识别方法。洛阳威尔若普检测技术有限公司发明了高灵敏度弱磁检测传感器和研发了钢丝绳芯输送带缺陷弱磁在线检测系统，并将西安科技大学研发的钢丝绳芯输送带缺陷弱磁信号智能识别方法应用到钢丝绳芯输送带缺陷弱磁监测系统中，形成了钢丝绳芯输送带智慧监测专家系统。相关技术通过了中国煤炭工业协会鉴定，鉴定结果为 “国际先进”。

西安重装韩城煤矿机械有限公司宋金全将西安科技大学研发的断带智能抓捕技术应用到公司的断带抓捕系统中，提升了公司断带抓捕系统技术水平，并在带式输送机断带智能抓捕技术的推广应用方面做了大量的工作。西安科技大学与宁夏广天夏电子科技有限公司一起合作，共同对制约智慧矿山信息应用与系统开发技术的瓶颈问题进行分析研究。西安科技大学研究了基于机器视觉的锚杆异物及皮带撕裂检测技术，宁夏广天夏电子科技有限公司将基于机器视觉的锚杆异物及皮带撕裂检测技术应用皮带运输机撕裂及物料堆积检测系统中，有力推进了公司的皮带运输机撕裂及物料堆积检测系统向智能监测方向发展，在基于机器视觉的锚杆异物及皮带撕裂检测技术推广应用方面做了大量的工作。