附件1

大断面动压煤巷围岩控制理论与锚索桁架

支护系统公示

一、基本情况

**项目名称：**大断面动压煤巷围岩控制理论与锚索桁架支护系统

二、主要完成人及情况

**1.主要完成人：**何富连、郭金刚、殷帅峰、李桂臣、谢生荣、刘洪涛、陈冬冬、王玉怀、张守宝、张 军

**2.主要完成人情况：**

（1）何富连

中国矿业大学（北京）。全面负责项目研究与应用，对科技创新1、2、3做出了突出贡献：①创立了大断面动压煤巷覆岩活动与矿山压力非对称响应控制理论；②研发了恒阻性伸缩式和真同轴框架式锚索桁架结构；③研发了推引锚固系统；④提出了锚索桁架非对称支护技术，建立了煤岩顶板—桁架结构随态设计防控体系。

（2）郭金刚

大同煤矿集团有限责任公司。负责锚索桁架现场应用及大断面煤巷非对称矿压现场实测等相关研究工作，对科技创新2、3做出了重要贡献：①负责大断面动压煤巷矿山压力非对称控制的现场研究；②研发了锚索桁架顶板煤岩体大范围控制方法；③研发了锚索桁架非对称支护关键装置，参与建立了煤岩顶板—桁架结构随态防控支护体系。

（3）殷帅峰

华北科技学院（中国煤矿安全培训技术中心）。全面负责相关发明创造的前期测试、理论研究和现场应用工作，对创新点1、2、3做出了重要贡献：①提出了基本顶破断精准定位技术，发现了动压煤巷外侧推压型板块失稳传导模式；②明确了煤岩顶板—桁架结构的耦合关系，主导测试并规模化应用了锚索桁架支护技术和推引锚固技术；③研发了锚索桁架非对称支护技术体系，主导了煤岩顶板—桁架结构随态防控参数设计。

**3.完成人合作关系说明**

（1）大断面动压煤巷覆岩活动与矿山压力非对称响应控制理论方面。①何富连、谢生荣、刘洪涛、张守宝以国家自然科学基金重点项目为依托，对基本顶板块破断回转失稳、煤体基础损伤塑化、支承压力向内跃迁规律进行了系统研究，揭示了煤巷直接顶“挤压扩容异变—剪切错动下沉—矿压逆增破坏”非对称矿压作用显现机制；②何富连、谢生荣、张守宝以“煤泥岩硐室群区淋涌水特大断面巷道环形协同控制”项目为依托，对复杂多类煤泥岩巷道变形破坏规律、宏观矿压响应特征及支护方案优化设计进行了深入研究；③殷帅峰、王玉怀针对大断面动压煤巷非对称强矿压安全隐患，研发了“一种顶板灾害预警装置”发明专利装置。

（2）高性能系列化锚索桁架结构和锚固组合体研发方面。①何富连、谢生荣、张守宝以“大跨度复合泥岩顶板煤巷预应力桁架锚索联合支护技术研究”项目为依托，研发了高预应力桁架锚索系统核心部件——新型专用桁架连接器，阐明了预应力桁架锚索控制系统与煤巷围岩的相互作用机理；②殷帅峰、何富连、王玉怀、张守宝、陈冬冬以“特厚煤层大断面煤巷推引锚固与复向支护系统研究”项目为依托，研发了以“防破损推送装置—推引底盘”和“导向装置—U型卡夹”为核心构件的推引锚固装置，此外郭金刚、何富连等以此项目为启发，获授权发明专利“一种巷道桁架锚索的大范围支护方法及支护装置”；③何富连、李桂臣以锚索桁架锚固点可靠承载为研究目标，开展了锚索桁架技术与固化微膨胀技术、旋喷锚固强化技术的现场应用。

（3）锚索桁架非对称支护理论与技术体系构建方面。①何富连、谢生荣、张守宝、殷帅峰以“大断面强采动综放煤巷破坏机制与锚索桁架控制系统”项目为依托，研发了分别由锚索—钢筋组合圈梁与锚索—槽钢可伸缩梁集成的两种锚索桁架结构，建立了大断面强采动综放煤巷锚索桁架非对称控制系统；②殷帅峰、张军针对综放沿空送巷非对称强矿压控制难题，采用应力释放型和离层断裂型工程软岩支护对策控制顶板；③郭金刚、何富连、殷帅峰以动压煤巷稳定控制为研究内容，获授权发明专利“一种沿空巷道非对称支护装置”。

三、主要完成单位情况

**1.主要完成单位：**中国矿业大学（北京）、华北科技学院（中国煤矿安全培训技术中心）、大同煤矿集团有限责任公司、中国矿业大学

**2.主要完成单位及创新推广贡献**

（1）中国矿业大学（北京）

全面负责项目理论研究、发明创造和现场应用工作，对动压煤巷覆岩活动规律、恒阻性伸缩式和真同轴框架式锚索桁架结构研发、煤岩顶板—桁架结构随态防控体系构建等方面的深入研究和推广应用做出了突出贡献。

①建立了弹塑性煤体基础支承的采场和煤巷基本顶悬板大结构破坏失稳模型，得出了岩板断裂位态及板块破断回转失稳—煤体基础损伤塑化—支承压力向内跃迁的互馈作用规律。

②研发了具有锚位合理、抗剪优越、复向大范围施力与整体闭锁自调适功能的恒阻性伸缩式和真同轴框架式连接锁紧的锚索桁架结构，实现了板块失稳传导模式的有效控制。

③明晰了煤岩顶板—桁架结构的耦合关系，数值模拟得出了锚索桁架非对称支护畸变密度同步强化特征，BP网络设计了锚索桁架非对称支护关键参数。

④建立了煤岩顶板—桁架结构随态防控体系，揭示了动压煤巷直接顶“挤压扩容异变—剪切错动下沉—矿压逆增破坏”非对称矿压显现机制与不同锚索桁架构型随态设计防控原理。

⑤建成了大同、阳泉、平朔、华昱、潞安、晋能、霍州、宁东、冀中能源等全国典型煤炭基地大断面动压煤巷锚索桁架围岩控制科技创新示范工程，有效解决了千米深井、煤泥岩软弱围岩、特厚煤层综放、叠加超高支承压力等大断面动压煤巷强矿压控制难题，对推动行业科技进步起到了巨大的引领作用。

（2）华北科技学院（中国煤矿安全培训技术中心）

具体负责技术研发、成果转化和现场应用工作，对基本顶破断后板块失稳传导模式确定、锚索桁架非对称支护技术研发和规模化应用、煤岩顶板—桁架结构随态防控体系构建等方面的深入研究和推广应用做出了具体贡献。

①通过板结构破断进程中的微震、反弹、声发射信号特征采集分析，得出了“外侧推压—正上沉降—内侧回转”三种板块结构失稳传导模式，为煤巷岩板结构破坏失稳判定提供重要科学依据。

②开发了推引锚固离层塌孔通过能力相似模拟试验平台，现场工程实践得出了推引锚固可实现锚固剂顺利通过顶板破碎塌孔区，保障锚索桁架可靠锚固的结论。

③建立了锚索桁架非对称支护模型，得出了锚固岩梁中性轴非对称下移特征和非对称支护顶板挠度和弯矩变化规律，明晰了更大范围锚固体处于受压应力状态且使得重点部位强化调控机理。

④主导了煤岩顶板—桁架结构随态防控体系的构建，综合理论计算、数值模拟和BP神经网络方法，建立了顶板失稳破坏模式与锚索桁架和锚固体构型的支护关联，形成了锚索桁架非对称支护随态设计防控体系。

⑤体负责了皖北矿区、华晋矿区和昌恒矿区等典型煤炭基地大断面动压煤巷锚索桁架围岩控制系统示范工程建设和推广应用工作。

（3）大同煤矿集团有限责任公司

具体负责关键技术试验应用、科技成果规模化现场应用等工作，对大断面动压煤巷非对称矿压实测控制、锚索桁架支护理论和效果评价、锚索桁架顶板煤岩体大范围控制技术研发、煤岩顶板—桁架结构随态防控支护体系构建等方面的深入研究和推广应用做出了具体贡献。

①实测得到工作面动压煤巷侧基本顶主弯矩分布规律和破断时的反弹压缩场，得到了断裂关键块体发生回转失稳的灾变条件，揭示了大断面动压煤巷直接顶“挤压扩容异变—剪切错动下沉—矿压逆增破坏”非对称矿压作用显现机制。

②研发了锚索桁架顶板煤岩体大范围控制方法，建立了大断面动压煤巷锚索桁架大范围复向控制技术体系，阐明了锚索桁架支护能够在水平和铅垂方向同时提供大范围预紧力和支护力的优越性。

③构建了煤岩顶板—桁架结构随态防控支护体系：“外侧推压”型失稳传导模式采用恒阻性伸缩式锚索桁架非对称支护系统全过程调控顶板“挤压扩容异变”；“正上沉降”型失稳传导模式采用似同轴集成式锚索桁架系统控制顶板“剪切错动下沉”；“内侧回转”型失稳传导模式采用真同轴框架式锚索桁架非对称支护系统防控大跨度顶板“矿压逆增破坏”。

④具体负责了大同煤矿集团有限责任公司马道头矿、同忻矿、晋华宫矿等典型矿井大断面动压煤巷锚索桁架围岩控制系统示范工程建设和推广应用工作。

（4）中国矿业大学

具体负责锚索桁架支护理论、固化微膨胀和碎岩锚固强化技术研发和试验应用工作，对似同轴集成式锚索桁架支护理论探究、固化微膨胀和碎岩强化组合体构建、锚索桁架非对称支护体系建设等方面的深入研究和推广应用做出了具体贡献。

①系统研究了似同轴集成式锚索桁架结构的支护理论和技术优越性，实现了锚索高预紧力张拉和桁架结构锁紧一体化功能，并完成了其规模化应用和多种复杂围岩适用性研究。

②提出在锚固中掺入混合型膨胀剂，参与树脂锚固剂共聚反应，增加共聚物分子本身占有体积而抵消固化收缩，将固化收缩转化为固化微膨胀，强化锚固性能。

③研发了集钻孔施工与孔壁旋喷加固于一体的锚固系统强化控制方法与技术，基于松散煤体与复合浆液固结体“两介质—三界面”结构，形成了煤体、复合浆液、锚固剂与锚索组成的大范围高可靠性锚固体，实现了锚索桁架在松散破碎煤岩中的高效锚固。

④具体负责了淮北矿区和兖州矿区等典型煤炭基地大断面动压煤巷锚索桁架围岩控制系统示范工程建设和推广应用工作。

四、提名单位意见

大断面动压煤巷量大面广、快速递增且属于居煤矿各类事故首位之顶板事故的高发场所，其稳定可靠和安全畅通是现代化矿井安全高效绿色生产的保障之本。由于煤系地层深埋软弱特性、煤巷断面大幅扩大化、煤巷围岩与采场大结构一体化变形破坏、采动压力大规模变迁聚集及其直接剧烈影响等因素复杂作用，大断面动压煤巷围岩控制迄今已成为亟需攻克的世界性采矿难题。

该项目在大量国家和企业的研究计划支持下，综合运用新理论、新方法和新技术开展全面系统攻关研究并取得了创新性成果：开创了大断面动压煤巷覆岩一体化活动与矿山压力非对称响应控制理论；研制成功恒阻性伸缩式、似同轴集成式和真同轴框架式连接锁紧的锚索桁架结构；创出了推引锚固、固化微膨胀和碎岩强化组合体技术；最终创建了集顶板破断准确算测方法、新型锚索桁架、随态设计防控技术于一体的科学化锚索桁架支护系统。项目研究在大断面动压煤巷围岩控制科技领域获得重大进展，达到了国际领先水平。

项目成果获省部级科技进步一等奖3项，省部级二等奖24项；授权发明专利35项；发表学术论文131篇，SCI、EI检索86篇；出版专著16部。项目成果不仅在煤巷强矿压控制难题乃至绿色千万吨矿井群创新发展方面取得了关键突破和标志性成果，而且在十余个大型集团公司下属的众多煤矿推广应用中产生了极为显著的经济和社会效益，对推动行业科技创新和进步起到了重要的示范引领作用。

提名该项目为国家科学技术进步奖二等奖。

五、项目简介

该项目属于能源领域，矿山支护工程、矿山压力工程和煤矿开采。

我国作为世界第一产煤大国的产量主体——井工开采煤炭资源的埋藏深度达数百米甚至逾千米，煤系沉积地层普遍为软弱煤岩体。煤炭大型集约智能化开采必然伴随着巷道断面大幅扩大化及采场上覆岩层破断失稳和地层压力大规模变迁聚集，资源节约型矿井建设发展又使得采区煤巷缺失传统宽大煤柱保护并直面采动大范围高峰值支承压力作用，由此形成的大断面动压煤巷围岩控制难题对采矿理论与技术提出了紧迫严峻的挑战。目前对于动压煤巷围岩与采场岩层大结构一体化变形破坏研究的广度和深度不足，缺乏与大断面煤巷矿山压力及其显现不同规律分类对应的系列化新型锚索桁架结构和锚固技术，更难以全面形成科学化的锚索桁架支护体系以有力推进量大面广煤巷围岩的安全高效控制。针对上述理论与技术难题，攻关研发了大断面动压煤巷围岩控制理论与锚索桁架支护系统，创新成果如下：

**创新点1：创立了大断面动压煤巷覆岩活动与矿山压力非对称响应控制理论。**建立中部采场采空和周边弹塑性煤体基础支承的采场和煤巷基本顶悬板大结构破坏失稳模型，计算分析岩板断裂深入基础上方位态及板块破断回转失稳—煤体基础损伤塑化—支承压力向内跃迁的互馈作用规律，得出基于煤巷基本顶断裂相对于煤巷优化位置不同组合的“外侧推压—正上沉降—内侧回转”三种板块结构失稳传导模式，揭示了相应的直接顶“挤压扩容异变—剪切错动下沉—矿压逆增破坏”非对称矿压作用显现机制与随态设计防控原理。

**创新点2：研发了高性能系列化锚索桁架结构和锚固组合体。**开发了锚位合理、抗剪优越、复向大范围施力与整体闭锁自调适功能的恒阻性伸缩式、似同轴集成式及真同轴框架式连接锁紧的锚索桁架结构，新建的推引锚固、固化微膨胀和碎岩强化组合体解决了围岩大纵深塑化破坏锚固难题，进而实现了对顶板运移矢量场存在本质差异的三种失稳破坏模式的有效控制。

**创新点3：构建了锚索桁架非对称支护理论与技术体系。**集建了岩板破断位置的计算预测、微震监测、钻孔窥视的分级趋准定位方法，达成了顶板失稳破坏模式与锚索桁架和锚固体构型的分类关联优化，明晰了煤岩顶板—桁架结构的耦合关系及桁架支护的不对称度和参数标准，形成了集破断准确算测方法、新型锚索桁架、随态设计防控技术于一体的科学化锚索桁架支护系统。

项目不仅在覆岩结构运动精准认知和围岩控制理论的科学研究方面获得重大进展，而且在千米深井、煤泥岩软弱围岩、特厚煤层综放、叠加超高支承压力等大断面动压煤巷强矿压控制难题乃至绿色千万吨矿井群创新发展方面取得了关键突破和标志性成果**。**获省部级科技进步一等奖3项，其它省部级二等奖24项。授权发明专利35项，发表学术论文131篇，SCI、EI检索86篇，出版专著16部。研究成果在十余个大型集团公司下属的众多煤矿推广应用，合计与企业完成研究计划项目48项，近三年新增利润19.1亿元。

六、客观评价

（1）相关科技成果获奖

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **项目名称** | **获奖年度/类别/等级** | **第一完成人** | **备注** |
| 1 | 大跨度复合泥岩顶板煤巷预应力桁架锚索联合支护技术研究 | 2009年中国煤炭工业科学技术奖一等奖 | 何富连 | 附件2.2.8 |
| 2 | 特厚煤层大断面煤巷推引锚固与复向支护系统 | 2018年**河北省科技进步一等奖** | 殷帅峰 | 附件2.2.11 |
| 3 | 煤泥岩硐室群区淋涌水特大断面巷道环形协同控制 | 2012年中国煤炭工业科学技术奖一等奖 | 何富连 | 附件2.2.15 |

（2）相关成果鉴定意见

①“大跨度泥岩煤巷预应力桁架锚索联合控制技术”

由中国煤炭工业协会组织钱鸣高院士、闫莫明研究员、宋元明教授级高工等专家组成鉴定委员会，对该项目进行了鉴定，鉴定意见如下：…全面揭示了大跨度泥岩煤巷的载荷、破坏和应力分布特征，…桁架锚索施加的复向预应力和支护力使锚固区中性轴位置下移，降低了煤巷中部顶板的挠度。…桁架锚索系统锚固点位于巷道两肩窝不易破坏的三向受压岩体内，使顶板的支护力沿整个桁架结构呈“凹槽型”路径大范围的合理分布，改善了软弱泥岩顶板受力状态。…研发了高预应力桁架锚索系统核心部件——新型专用桁架连接器集成了桁架系统的连接、锁紧和高预应力的张拉功能。…项目实施取得了显著的经济和社会效益，…煤巷桁架锚索的研究成果达到了国际领先水平。

②“大跨度厚层泥岩复合顶板煤巷预应力组合支护”

由山西省科学技术厅组织宋振骐院士、郭敏泰教授、刘修源研究员等专家组成鉴定委员会，对该项目进行了鉴定，鉴定意见如下：…提出了高预应力桁架锚索—单体锚杆（索）—钢筋托梁网组合支护结构体系和相应的技术方案，…研发的新型专用桁架连接器集成了桁架系统的连接和锁紧功能，解决了水平预紧力的张拉难题。…降低了劳动强度和支护成本，对推动全国采准巷道支护技术改革的进程有重要意义，具有推广应用前景。…项目成果达到国际领先水平。

③“大断面强采动综放煤巷破坏机制与锚索桁架控制系统”

由中国煤炭工业协会组织朱德仁教授、赵庆彪教授级高工、康红普院士等专家组成鉴定委员会，对该项目进行了鉴定，鉴定意见如下：研究了偏应力不变量分布规律，阐明了巷道围岩应力分布和变形破坏的不对称机制及顶板控制原理。…揭示出强采动煤巷顶板煤岩体水平变形破坏的全过程：相邻综放面开采期间的剧烈挤压变形破坏，…本工作面叠加采动影响期的“松扩”大变形过程。发明了以同轴型连接锁紧器为核心部件的新型高预应力锚索桁架结构及其防治强采动煤巷冒顶方法，…研发了分别由锚索—钢筋组合圈梁与锚索—槽钢可伸缩梁集成的两种锚索桁架结构。…形成了大断面强采动综放煤巷锚索桁架控制系统。…取得了显著的经济和社会效益，研究成果达到了国际领先水平。

（3）国际学术会议评价

2019年7月23至25日，美国采矿、冶金和勘探协会在西弗吉尼亚州组织召开了“38届国际采矿岩层控制会议”，何富连发表了学术论文并应邀作“大断面强采动影响综放煤巷围岩控制”的大会专题报告，引起了与会专家的热烈讨论并得到高度认可。国际知名Minova USA公司技术副总裁、大会组织委员Stephen C. Tadolini特别在会议期间安排了对何富连学术报告的深度访谈交流，尔后他作出的客观评价是：“我对何富连教授的学术论文和专题报告非常感兴趣。…在世界采矿界，此煤巷控制理论和锚索桁架技术具有创新性，能够改进矿山安全和提高产能。…这项创新性研究和实践对国际采矿界极具价值并予以强烈推荐。”

七、应用情况

项目研究成果在山西新元煤炭有限责任公司、山西中新唐山沟煤业有限责任公司、中煤华晋集团有限公司得到全面应用，并推广应用至大同、平朔、华昱、潞安、晋能、霍州、宁东、淮北、兖州、焦作、冀中能源等典型煤炭基地，合计与企业完成研究计划项目48项。应用研究成果解决了大断面动压煤巷围岩控制难题，揭示了基本顶岩板破断和板块结构失稳传导规律，提出了大断面煤巷矿压非对称响应控制理论。锚索桁架支护技术的应用，有力推进了量大面广煤巷围岩的可靠控制，实现了矿井安全高效绿色生产。研究成果具有广阔的应用前景和巨大的经济社会效益。

八、主要知识产权和标准规范等目录

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 授权号 | 授权日期 | 权利人 | 发明人 |
| 发明专利 | 一种用于巷道顶板支护的可伸缩型锚索桁架装置及方法 | ZL201410817222.2 | 2016年08月17日 | 中国矿业大学（北京） | 何富连 |
| 发明专利 | 一种用于巷道锚索锚固剂安装的整体推引式方法 | ZL201510080827.2 | 2017年03月29日 | 中国矿业大学（北京） | 何富连 |
| 发明专利 | 一种用于沿空巷道顶板的非对称锚梁结构及其支护方法 | ZL201410699725.4 | 2017年09月26日 | 中国矿业大学（北京） | 何富连、张广超 |
| 发明专利 | 全井工区段无煤柱无沿空平巷的采煤方法 | ZL201510262398.0 | 2017年05月10日 | 中国矿业大学（北京） | 何富连、谢生荣 |
| 发明专利 | 一种特大断面开切眼顶板控制的桁架锚索布置方法 | ZL201310373080.0 | 2015年10月14日 | 中国矿业大学（北京） | 何富连 |
| 发明专利 | 一种巷道桁架锚索的大范围支护方法及支护装置 | ZL201711307702.4 | 2019年04月09日 | 中国矿业大学（北京） | 郭金刚、何富连、朱恒忠、张广超 |
| 发明专利 | 一种沿空巷道非对称支护装置 | ZL201610021233.9 | 2018年02月27日 | 中国矿业大学（北京） | 郭金刚、何富连、殷帅峰 |
| 发明专利 | 一种顶板灾害监测装置 | ZL201810650558.2 | 2019年10月08日 | 华北科技学院 | 殷帅峰、王玉怀 |
| 发明专利 | 一种软岩沿空巷道非对称支护装置 | ZL201510799462.9 | 2018年01月02日 | 华北科技学院 | 殷帅峰、程根银、王波、李红涛 |
| 发明专利 | 一种加固深部矿井松散煤层巷道围岩的方法 | ZL201810161549.7 | 2019年04月30日 | 中国矿业大学 | 李桂臣、贾斌义、孙长伦、郝文军、何锦涛、杜乐乐、吕金帅、刘哲 |