

煤矿巷道支护技术的研究与应用

康红普,王金华,林 健

(煤炭科学研究总院 开采设计研究分院,北京 100013)

摘 要:介绍了煤矿巷道支护类型,分析了巷道支护与围岩的相互作用关系,对目前主要的巷道支护理论进行了评价。着重介绍了锚杆支护成套技术,包括地质力学测试、锚杆支护设计、支护材料、施工机具与工艺、工程质量检测及矿压监测、特殊地质条件支护技术等。通过极软岩巷道与深部沿空留巷实例分析,介绍了锚杆支护的应用效果。实践表明:锚杆支护已经成为我国煤矿巷道首选的、安全高效的主要支护方式,显著提高了巷道支护效果,保证了采煤工作面的安全、快速推进,促进了煤炭产量的大幅度增长。

关键词:煤矿;巷道支护;锚杆支护;成套技术

中图分类号:TD353

文献标志码:A

Study and applications of roadway support techniques for coal mines

KANG Hong-pu, WANG Jin-hua, LIN Jian

(Coal Mining and Design Branch, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China)

Abstract: The roadway support forms in coal mines were introduced, the interaction between supports and rock surrounding roadways was analyzed, and the main roadway support theories were evaluated. The complete rock bolting technique was emphatically introduced, including geomechanics measurements, rock bolting design, bolting materials, construction implements and technologies, quality check and monitoring, support types for special geological conditions. The application effects were discussed on the basis of two case studies: a roadway with very soft surrounding rock, and a deep gob-side entry retaining. The practices pointed out that: rock bolting becomes the first and primary support type with high safety and efficiency for Chinese coal mines, which obviously improves roadway support effects, ensures safe and fast advance of coal faces, and brings about a great increase of coal output.

Key words: coal mine; roadway support; rock bolting; complete technique

我国煤矿主要是地下开采,需要在井下开掘大量巷道,保持巷道畅通和围岩稳定对煤矿建设与生产具有重要意义。随着开采深度、广度及开采强度的不断提高,巷道埋深逐年增加,地质条件日趋复杂化,高地应力巷道、强烈采动影响巷道、松软破碎围岩巷道及特大断面巷道和硐室等复杂困难条件占的比重越来越大,显著增加了巷道支护难度。

煤矿巷道支护经历了木支护、砌碛支护、型钢支护到锚杆支护的漫长过程。多年来国内外的实践经验表明,锚杆支护是经济、有效的支护技术^[1-2]。与

棚式支架支护相比,锚杆支护显著提高了巷道支护效果,降低了巷道支护成本,减轻了工人劳动强度。更重要的是锚杆支护大大简化了采煤工作面端头支护和超前支护工艺,保证了安全生产,为采煤工作面的快速推进和煤炭产量的大幅度提高创造了良好条件。目前,锚杆支护技术已在国内外得到普遍应用,是煤矿实现高产高效必不可少的关键技术之一。

1 煤矿巷道支护形式

根据支护对围岩的作用方式可将煤矿巷道支护

分为 4 类:① 支护力作用在巷道围岩表面的支护方式,如各种类型的支架、喷射混凝土、砌碇支护等;② 支护力不但作用在围岩表面,而且作用在围岩内部的支护方式,如锚杆与锚索支护;③ 改善巷道围岩力学性质,提高围岩强度的加固方法,如各种注浆加固方法;④ 改善巷道围岩应力状态,使巷道处于应力降低区,如各种应力控制技术。

(1) 砌碇支护。砌碇支护是应用很早的支护方式,目前在一些矿井的硐室、大巷中仍然采用。按砌碇支护材料可分为:料石、混凝土砌块、现浇混凝土、现浇钢筋混凝土等。但是,砌碇支护属于刚性被动支护,不仅支护成本高、施工速度慢,劳动强度大,而且不能适应围岩大变形。除特殊巷道和硐室,一般不宜采用。

(2) 棚式支架。棚式支护曾经是煤矿巷道的主要支护方式,在 20 世纪 90 年代初,这种支护所占的比重高达 80% 以上。按支护材料可分为木支架、钢筋混凝土支架及金属支架,其中木支架与钢筋混凝土支架已经逐步被淘汰。金属支架按工作原理分刚性与可缩性支架;按支架材料分为工字钢、U 型钢及其它;按断面分为梯形、拱形、圆形、环形。但是,棚式支架也属于被动支护,支架与巷道表面很难密切接触,控制围岩早期变形的能力差,在复杂困难条件下支护效果差、成本高。棚式支架的用量在逐年减少,被锚杆支护逐渐替代。

(3) 锚喷支护。我国煤矿于 1956 年开始在岩巷中使用锚喷支护,至今已有 50 多年的历史。喷射混凝土可及时封闭巷道周边,实施密贴支护,减少水、风对围岩强度的影响。锚杆可及时支护围岩,起到主动加固作用,充分发挥围岩的自承能力。经过多年来连续不断的研究、试验与推广应用,锚喷支护技术无论在支护理论、支护设计,还是支护材料、施工机具与工艺、质量检测与矿压监测方面都取得了长足发展。锚喷支护不仅成为岩巷首选的、性能优越的支护形式,而且锚杆支护也成为煤巷的主体支护方式(在第 3 节进行详细论述)。

(4) 注浆加固。在破碎煤岩体中开掘或维修巷道,采用棚式支护或锚杆支护很难取得较好的支护效果,围岩注浆加固是一条有效途径。注浆浆液可充填围岩裂隙,将破碎岩体固结,改善围岩结构,增加围岩自身承载能力。目前注浆材料主要有两大类型:水泥基材料和高分子材料,可根据巷道地质与生产条件选取。

(5) 复合支护。复合支护是采用两种或两种以上的支护方式联合支护巷道。如果能充分发挥每种

支护方式的支护性能,做到优势互补,复合支护会有更好的支护效果和更广泛的适用范围。复合支护虽然适用范围广,但支护费用高,成巷速度慢,支护形式选择不匹配时,往往造成各个击破的情况。应针对巷道具体条件,选择合理的复合支护形式,才能达到预期效果。

(6) 应力控制技术。将巷道布置在应力降低区,或采取人工卸压措施,使巷道周边的高应力向深部转移,是巷道围岩变形控制的另一个途径。将巷道布置在应力降低区是首选的方法。巷道布置方向优化、断面形状与尺寸优化,均可改善巷道受力状况。人工应力控制措施主要有切缝、钻卸压孔、爆破及掘卸压巷等方式。由于人工应力控制方法施工比较复杂,目前还没有大面积推广应用。

2 煤矿巷道支护理论

我国学者在巷道支护理论方面做了大量工作,提出多种支护理论,并在生产实践中起到积极的指导作用。以下简单介绍几种理论。

(1) 新奥法支护理论。结合煤炭行业自身特点,对新奥法支护理论进行了较好的完善和发展,形成以下支护原则:采用光面爆破;采用早强喷射混凝土及时封闭巷道周边,实施密贴支护;采用锚喷支护,主动加固围岩,提高其自承能力,在围岩内形成承载圈;实施二次支护;对破碎围岩实施注浆加固;实施动态设计和动态施工等。

(2) 联合支护理论。联合支护理论认为:对于复杂困难巷道,只提高支护体刚度难以有效控制围岩变形,要先柔后刚,先让后抗,柔让适度,稳定支护。联合支护理论在困难巷道中得到比较广泛的应用,但随着围岩条件越来越差,该理论受到了挑战。有些巷道采用联合支护并不理想,需要多次维修和翻修,围岩变形一直不能稳定。

(3) 松动圈支护理论。围岩松动圈支护理论^[3]认为:巷道开挖后一般会出现松动圈,围岩最大变形载荷是松动圈产生过程中的碎胀变形,围岩破裂过程中岩石碎胀变形是支护对象。松动圈越大,碎胀变形越大,围岩变形量越大,巷道支护也越困难。根据松动圈的大小进行了围岩分类,并提出了相应的支护形式。

(4) 围岩强度强化理论。侯朝炯等^[4]提出巷道锚杆支护围岩强度强化理论,认为锚杆支护可提高锚固体的力学参数,改善被锚岩体的力学性能,锚固区域岩体的峰值强度、峰后强度及残余强度均能得到强化;锚杆支护可改变围岩应力状态,增加围压,提高围

岩承载能力。

此外,我国学者采用弹塑性力学、流变力学、损伤力学、大变形力学等理论对巷道围岩变形和破坏特征进行了分析,从不同角度研究了巷道矿压规律及围岩与支护体的相互作用。

3 煤矿巷道锚杆支护技术的发展与现状

我国煤矿锚杆支护技术经历了从低强度、高强度到高预应力、强力支护的发展过程。早期采用的锚杆支护强度刚度低,支护原理上仍属于被动支护。1996—1997年我国引进了澳大利亚锚杆支护技术,高强度锚杆支护技术得到广泛认可。2005年以来,为解决深部高地应力、受强烈采动影响、沿空留巷等复杂困难巷道支护难题,又开发出高预应力、强力锚杆与锚索支护技术,真正实现了锚杆的主动、及时支护,大幅度减少了巷道围岩变形与破坏,支护状况发生了本质改变。2009年,煤炭行业标准“煤巷锚杆支护技术规范”(MT/T1104-2009)发布,标志着煤巷锚杆支护技术已经逐渐成熟。目前,我国很多矿区煤巷锚杆支护率达到60%,有些矿区超过了90%,甚至达到100%。我国煤矿已经形成了有中国特色的煤巷锚杆支护成套技术体系,锚杆支护已经成为煤矿巷道首选的、安全高效的主要支护方式。

3.1 锚杆支护理论的发展

随着锚杆支护技术的快速发展及大量应用,对锚杆支护的作用本质有了更深入、更全面的认识。目前的锚杆支护理论归纳起来有3种模式:①被动地悬吊破坏或潜在破坏范围的煤岩体;②在锚固区内形成某种结构(梁、层、拱、壳等);③改善锚固区围岩力学性能与应力状态,控制围岩变形与破坏。通过不断深入的研究发现,锚杆支护的本质作用以第3种模式为主。同时,借鉴美国煤矿锚杆支护理论与实践经验,发现巷道开挖后立即支护,并施加足够高的安装力,即锚杆预应力,提高锚固体的刚度非常重要^[5]。

锚杆受力曲线可归纳为5种类型(图1)。曲线1对应锚杆预应力很低,属于被动支护,支护作用不明显;曲线5对应高预应力、强力支护,锚杆有效控制了煤岩体扩容变形,锚固区位移差很小;介于曲线1与5之间的曲线2、3、4,虽然锚杆施加了一定的预应力,但都小于临界值,不能有效控制围岩早期的离层。根据对锚杆受力变化特征的分析,得出锚杆支护围岩响应曲线^[6],如图2所示,曲线1~5分别与图1对应。曲线5对应的高预应力、强力锚杆支护能有效控制围岩位移;曲线2锚杆破断之前围岩变形较小,锚杆破断后,围岩位移急剧增大;曲线3围岩发生较大位移

后能趋于稳定;曲线4围岩发生较大位移后不能稳定,而且后期由于锚固力明显降低,围岩位移进一步加大,甚至失稳。

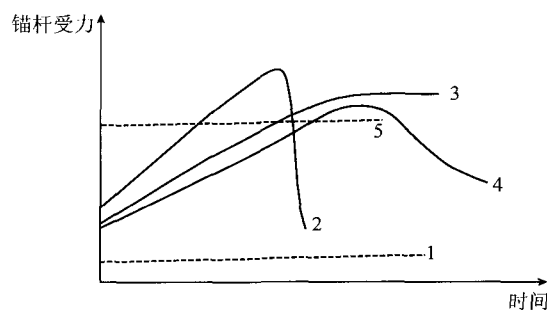


图1 锚杆受力变化曲线

Fig. 1 Variation curves of force along bolts

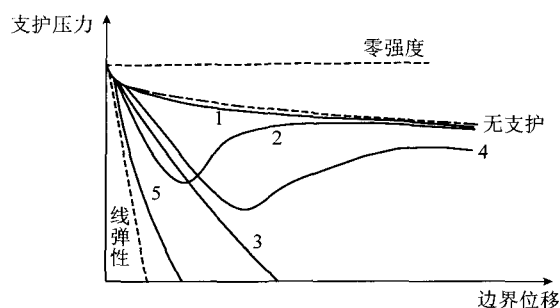


图2 锚杆支护围岩响应曲线

Fig. 2 Response curves of rock bolting

根据上述分析,提出高预应力、强力支护理论^[7]。

(1) 锚杆支护主要作用在于控制锚固区围岩的离层、滑动、裂隙张开、新裂纹产生等扩容变形,将这种不连续变形控制到最小,保持煤岩体的完整性、连续性,使围岩处于受压状态,减小煤岩体强度降低。

(2) 锚杆预应力及其扩散对支护效果起决定性作用。确定合理的预应力,并使其有效扩散是支护设计的关键。托板、钢带与金属网等护表构件在预应力支护系统中发挥极其重要的作用。

(3) 预应力锚杆支护系统存在临界支护刚度。支护刚度小于临界支护刚度,围岩将长期处于变形与不稳定状态;相反,支护刚度达到或超过临界支护刚度,围岩变形得到有效抑制,巷道处于长期稳定状态。

(4) 锚杆支护对围岩弹性变形、峰值强度之前的塑性变形、锚固区整体变形等连续变形控制作用不明显,要求支护系统应具有足够的延伸率,使围岩的连续变形得以释放。

(5) 对于复杂困难巷道,应采用高预应力、强力锚杆组合支护,应尽量一次支护就能有效控制围岩变形与破坏,避免二次支护和巷道维修。

3.2 锚杆支护技术的发展

锚杆支护成套技术包括地质力学测试与评估、锚杆支护设计、支护材料、施工机具与工艺、支护工程质量检测及矿压监测、特殊地质条件支护技术等诸多方面。

(1) 巷道围岩地质力学测试技术。针对围岩三要素:应力、强度及结构,煤炭科学研究总院开采设计研究院开发出煤矿井下煤岩体地质力学快速测试系统^[1],包括小孔径水压致裂地应力测量装置,钻孔触探法强度测定装置及矿用电子钻孔窥视仪。在全国 20 多个矿区进行了 300 余个测站的测量工作,获得了相关矿区井下地质力学数据,并分析了矿区地应力场、围岩强度与结构的分布特征及规律^[8],为巷道布置与支护设计提供了可靠的基础参数。

(2) 锚杆支护设计方法。随着对巷道围岩地质条件复杂性与多变性的深入了解,以及数值计算在采矿工程中的快速发展与应用,动态性、系统性、信息化的设计方法,即动态信息设计法得到普遍认可与应用。支护设计不是一次完成的,而是一个动态过程;初始设计采用数值模拟方法,通过多方案比较确定合理的设计参数;设计充分利用每个过程中提供的信息,实时进行信息收集、分析与信息反馈。

(3) 锚杆支护材料。锚杆支护材料包括杆体及附件、锚固剂、组合构件、金属网、锚索等。

为了满足复杂困难巷道支护要求,开发出高强度螺纹钢锚杆支护系列材料(表 1)。通过杆体结构与形状优化,更有利于提高锚杆锚固效果;通过开发锚杆专用钢材,达到高强度和超高强度级别^[7]。同时,研制出系列树脂锚固剂,W 型、M 型钢带,形成了高强度树脂锚固组合锚杆支护系统。

表 1 锚杆杆体力学性能
Table 1 Mechanical properties of bolt bars

牌 号	公称直径/mm	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率/%
Q235	14 ~ 20	235	380	25
BHRB335	16 ~ 22	335	490	22
BHRB400	16 ~ 22	400	570	22
BHRB500	16 ~ 25	500	670	20
BHRB600	16 ~ 25	600	780	18

针对初期小孔径树脂锚固锚索存在的问题,如锚索直径(15.2 mm)小,破断力小,与钻孔不匹配,易出现拉断现象等,开发出大直径、高吨位锚索。一方面加大了索体直径,最大达 22 mm,提高了索体的破断力,直径 22 mm 的锚索拉断载荷达到 600 kN;另一方

面,采用 19 根钢丝代替了原来的 7 根钢丝,提高了锚索的延伸率。

(4) 锚杆支护施工机具与工艺。锚杆支护施工质量和速度取决于施工机具与施工工艺。我国单体锚杆钻机及配套机具已比较成熟,基本能够满足井下锚杆支护施工的需要。在锚杆、锚索预应力施加设备方面,引进和开发了大扭矩气动扳手、液压扳手,研制出与锚杆钻机配套使用的扭矩倍增器等机具,基本能够满足锚杆螺母扭矩 300 ~ 500 N·m 的要求。研制出系列锚索张拉设备,与高预应力、强力锚索配套使用的张拉设备,额定张拉力达到 450 kN。

为了提高煤巷综掘施工的装备和技术水平,促进煤巷单进水平的大幅度提高,有些矿区引进了先进的连续采煤机和掘锚机组,并在井下应用中取得较好的效果。

锚杆支护施工工艺包括施工机具选择与配置,施工人员组织,施工工序安排,安全技术措施等内容。很多矿区根据本矿区地质与生产条件,通过合理配置施工机具与人员,安排支护各工序的顺序和时间,采用快速安装机具与工艺,缩短每个工序所占时间,并与掘进、运输等环节相配套,形成了煤巷快速施工工艺,显著提高了锚杆支护成巷速度。

(5) 锚杆支护施工质量检测与矿压监测。锚杆支护施工质量检测主要包括锚杆锚固性能和安装质量。开发出系列锚杆拉拔计,用于锚杆锚固力检测;研制出锚杆预紧力检测器具,用于锚杆安装质量检测。此外,还研制出声波锚杆锚固质量检测仪,用于锚固长度、锚固效果检测。

在巷道矿压监测方面,开发出各种测尺、测杆、测枪及收敛计,用于表面位移监测;顶板离层指示仪、多点位移计用于顶板离层和深部位移监测^[9];锚杆测力计、测力锚杆用于监测锚杆受力分布与变化;钻孔应力计用于煤岩体应力变化监测。

此外,还开发出先进的巷道矿压综合在线监测系统。系统由井下与井上部分组成。井下部分包括传感器和监测分站,采集传感器数据,通过井下通讯分站传输至井上。地面连接计算机采集与处理系统,可实时、在线进行矿压监测,及时进行信息反馈,确保巷道安全。

(6) 锚固与注浆联合加固技术。根据煤矿巷道特点,开发出不同形式的注浆锚杆,包括普通注浆锚杆,内锚外注式注浆锚杆,外锚内注式注浆锚杆,可控压注浆锚杆等。对于极破碎煤岩体,还研制出钻锚注浆加固技术,将钻孔、注浆和锚固集于一体,解决了难成孔的破碎煤岩体加固难题。在小孔径树脂锚固预应

力锚索的基础上,研制出树脂与注浆联合锚固锚索,兼有树脂锚固和注浆锚固锚索的优点。

注浆材料除常用的水泥基材料外,还开发出不同类型的化学加固材料,如聚氨酯、脲醛树脂及不饱和聚脂等,以适应不同的围岩条件。

3.3 锚杆支护技术的应用

锚杆支护已经广泛应用于煤矿各类巷道。在千米深井高地应力巷道、软岩巷道、强烈动压影响巷道、沿空掘巷与留巷等复杂困难条件取得较好效果。下面介绍两个典型的应用实例。

3.3.1 极软岩巷道

平庄红庙煤矿是我国典型的软岩矿井。煤层及顶底板岩层胶结差,煤岩体强度低、松散破碎、易风化、易崩解、遇水膨胀等特性,致使巷道支护困难。为了解决该支护难题,在回采巷道进行了锚杆支护研究和试验。

煤层平均厚度 5.99 m,抗压强度仅为 4.8 MPa,层理、节理发育。顶板砂质泥岩强度为 15~25 MPa;直接底也为砂质泥岩,单轴抗压强度为 23.5 MPa,具有膨胀性。以回风巷为例,掘进断面呈直墙半圆拱形,宽 3.8 m,墙高 1.2 m。巷道埋深 350~400 m。

巷道采用树脂全长预应力锚固支护。锚杆直径 22 mm,长度 2.4 m,树脂全长锚固。采用 W 护板与钢筋网(顶板)、菱形金属网(帮)护表。锚杆全部垂直巷道表面打设。锚杆排距 900 mm,间距 850 mm;每排每帮 2 根锚杆,间距 600 mm。锚杆预紧力矩为 400 N·m。锚索直径 22 mm,长度 4.3 m,树脂端部锚固。每 1.8 m 打 3 根锚索。锚索预紧力为 200~250 kN。回风巷锚杆支护布置如图 3 所示。

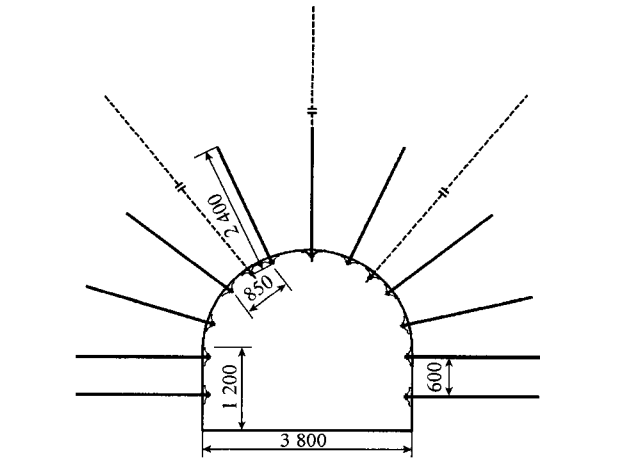


图 3 软岩回采巷道锚杆支护布置

Fig. 3 Layout of bolting in soft rock roadway

在掘进期间,两帮移近量为 79 mm,顶底板移近量为 281 mm,而且主要是底臃量。顶板浅部离层为

14 mm,深部离层为 23 mm。巷道变形量小,围岩完整、稳定。在回采影响期间,巷道在距采煤工作面 40~50 m 范围内开始受到明显采动影响,特别是 30 m 以后影响强烈。在距采煤工作面 3 m 的位置,两帮移进量达到 256 mm;顶板下沉量达到 110 mm。但总体来看,围岩变形不大,满足了安全生产的需要。

3.3.2 深部沿空留巷

为了解决沿空留巷支护难题,在淮南谢一煤矿进行了高预应力、高韧性、强力支护技术研究与试验。

试验巷道为 5121B10 工作面回风巷,煤层平均厚度 1.4 m,倾角 22°,单轴抗压强度为 8.2 MPa。煤层直接顶为泥质砂岩与细砂岩。巷道埋深为 700 m 左右,断面为倒梯形,宽度 5.0 m,中高 2.8 m。

确定回风巷巷内支护采用强力锚杆、锚索组合支护。支护参数:锚杆直径 22 mm,长度 2.4 m,树脂加长锚固。采用 W 钢带与金属网护顶。锚杆排距为 1 000 mm,顶板每排 6 根锚杆,上帮 4 根,下帮 2 根。锚杆预紧力矩为 500 N·m。锚索直径为 22 mm,长度 6.3 m。顶板每 2.0 m 安装 2 根锚索。锚索张拉力为 300 kN。

从巷道掘进到稳定期间,两帮移近量为 149 mm,顶底板移近量为 41 mm,顶板离层很小,支护状况良好(图 4)。

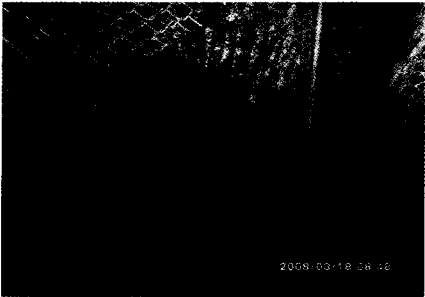


图 4 沿空留巷支护状况

Fig. 4 Support situation of gob-side entry retaining

留巷期间,巷道围岩位移显著增加。从工作面前方 10 m 到后方 90 m 内,顶底板移近量增加 163 mm,但位移总体不大,围岩与充填体稳定。

在留巷复用期间,即作为下一工作面的运输巷,经受了二次采动影响,但回采工作面超前支承压力影响不太明显。部分地段底臃与煤帮变形较大,进行了扩巷。整个留巷复用期间,围岩变形基本控制在允许的范围。以高预应力、强力锚杆与锚索为巷内基本支护,配合加强支护与巷旁充填支护,从掘进、留巷到复用的全过程,基本满足了生产要求,取得了较好的支护效果。

4 结 论

(1) 煤矿巷道支护经历了木支护、砌碛支护、型钢支护到锚杆支护的发展过程。实践证明,锚杆支护是经济、有效的支护技术,是煤矿实现高产高效生产必不可少的关键技术之一。

(2) 煤矿锚杆支护技术经历了从低强度、高强度到高预应力、强力支护的发展过程。目前已开发出包括巷道围岩地质力学测试、动态信息支护设计、高强度与高刚度支护材料、快速施工机具与工艺、工程质量检测与矿压监测及锚固与注浆联合加固在内的锚杆支护成套技术,成为首选、安全高效的主要支护方式。

(3) 高强度、高刚度锚杆支护技术成功应用于千米深井巷道、软岩巷道、强烈动压影响巷道、沿空掘巷与留巷、采空区留巷等复杂困难条件,围岩的强烈变形得到有效控制,取得良好的支护效果。

(4) 锚杆支护技术是继我国煤矿成功应用综合机械化采煤技术以来采掘技术的又一次革命。它不仅保证了采煤工作面的安全、快速、高效推进,煤炭产量和效益的大幅度增长,而且深刻地改变了矿井的开拓部署与巷道布置方式。

参考文献:

- [1] 康红普,王金华. 煤巷锚杆支护理论与成套技术[M]. 北京:煤炭工业出版社,2007.
Kang Hongpu, Wang Jinhua. Rock bolting theory and complete technology for coal roadways[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2007.
- [2] 侯朝炯,郭励生,勾攀峰,等. 煤巷锚杆支护[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,1999.
Hou Chaojiong, Guo Lisheng, Gou Panfeng, et al. Rock bolting for coal roadway[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1999.
- [3] 董方庭,宋宏伟,郭志宏,等. 巷道围岩松动圈支护理论[J]. 煤炭学报,1994,19(1):21-32.
Dong Fangting, Song Hongwei, Guo Zhihong, et al. Roadway support theory based on broken rock zone[J]. Journal of China Coal Society, 1994, 19(1): 21-32.
- [4] 侯朝炯,勾攀峰. 巷道锚杆支护围岩强度强化机理研究[J]. 岩石力学与工程学报,2000,19(3):342-345.
Hou Chaojiong, Gou Panfeng. Mechanism study on strength enhancement for the rocks surrounding roadway supported by bolt[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2000, 19(3): 342-345.
- [5] 康红普,姜铁明,高富强. 预应力在锚杆支护中的作用[J]. 煤炭学报,2007,32(7):673-678.
Kang Hongpu, Jiang Tieming, Gao Fuqiang. Effect of pretensioned stress to rock bolting[J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(7): 673-678.
- [6] 康红普,王金华,高富强. 掘进工作面围岩应力分布特征及其与支护的关系[J]. 煤炭学报,2009,34(12):1 585-1 593.
Kang Hongpu, Wang Jinhua, Gao Fuqiang. Stress distribution characteristics in rock surrounding heading face and its relationship with supporting[J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(12): 1 585-1 593.
- [7] 康红普,王金华,林 健. 高预应力强力支护系统及其在深部巷道中的应用[J]. 煤炭学报,2007,32(12):1 233-1 238.
Kang Hongpu, Wang Jinhua, Lin Jian. High pretensioned stress and intensive bolting system and its application in deep roadways[J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(12): 1 233-1 238.
- [8] 康红普,林 健,颜立新,等. 山西煤矿矿区井下地应力场分布特征研究[J]. 地球物理学报,2009,52(7):1 782-1 792.
Kang Hongpu, Lin Jian, Yan Lixin, et al. Study on characteristics of underground in-situ stress distribution in Shanxi coal mining fields[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2009, 52(7): 1 782-1 792.
- [9] 鞠文君. 锚杆支护巷道顶板离层机制与监测[J]. 煤炭学报,2000,25(S):58-61.
Ju Wenjun. Monitoring technology for rock bolting engineering[J]. Journal of China Coal Society, 2000, 25(S): 58-61.