

褐煤矿区弱胶结砂岩巷道支护技术研究

范明建¹ 秦旭卫² 林 健¹ 韩永富² 张 辉^{1,3}

(1. 天地科技股份有限公司 开采设计事业部 北京 100013; 2. 内蒙古大雁集团有限公司 敏东矿区项目部 内蒙古 海拉尔 021000;
3. 河南理工大学 能源科学与工程学院 河南 焦作 454000)

摘要:为解决褐煤矿区弱胶结砂岩巷道变形量大的难题,在地质力学测试、黏土矿物成分分析、可锚性试验研究的基础上,提出了强力承压拱、全断面及时支护、全长预应力锚固、强力护表及预应力有效扩散等巷道支护措施,实现了对褐煤矿区弱胶结砂岩巷道强力锚网索一次支护。结果表明:高预紧力强力锚杆支护系统取消了架棚支护,降低了支护成本,减轻了劳动强度,巷道整体收敛率控制在3%以内;巷道两帮最大移近量为55 mm,顶底板最大移近量为38 mm。

关键词:弱胶结砂岩;褐煤矿区;高预紧力全长锚固;围岩稳定性

中图分类号:TD353 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2014)04-0005-04

Study on Support Technology of Mine Roadway with Weak Cemented Sandstone in Lignite Mining Area

FAN Ming-jian¹, QIN Xu-wei², LIN Jian¹, HAN Yong-fu², ZHANG Hui^{1,3}

(1. Department of Mining and Design, Tiandi Science and Technology Company Limited, Beijing 100013, China;
2. Project Department of Mindong Mining Area, Inner Mongolia Dayan Group Corporation Limited, Hailar 021000, China;
3. School of Energy Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: In order to solve a high deformation problem of a mine weak cemented sandstone roadway in lignite mining area, based on the geomechanics test, composition analysis on the clay mineral and the study on the bolting test, a powerful pressure bearing arch, time support of the full cross section full length pre-stress bolting, powerful surface protection, pre-stress effective spreading and other roadway support principles were provided, a single powerful bolt/steel mesh/anchor support of the mine weak cemented sandstone roadway in lignite mining area was realized. The results showed that the high pretension powerful bolt support system could eliminate the timber square support, reduce the support cost and the labor intensity. The integrated convergence of the mine roadway was controlled within 3%. The max convergence between the two sidewalls was 55 mm and the max convergence between the roof and floor was 38 mm.

Key words: weak cemented sandstone; lignite mining area; high pretension full length bolting; stability of surrounding rock

0 引言

我国褐煤成煤时代以中生代的晚侏罗世时期为主,主要分布在内蒙古东部与东北三省相连的东三盟地区,如扎赉诺尔、霍林河、伊敏河、大雁等煤田^[1]。敏东一矿位于内蒙古呼伦贝尔草原伊敏河中下游的东侧,是我国典型的褐煤软岩矿井。矿井

主采煤层为强度低、节理裂隙发育、结构破碎的褐煤,煤层顶底板均为胶结性弱且极易风化的粉砂岩、细砂岩及含砾砂岩。部分岩层砂岩含水且揭露后易形成流砂,岩石单轴抗压强度均小于5.0 MPa。同时,煤层顶底板砂岩中黏土矿物含量较高,具有明显的遇水软化和膨胀特性。巷道开挖后,顶板与两帮最大变形量达到800 mm以上,变形破坏严重。掘

收稿日期:2013-12-25;责任编辑:杨正凯 DOI:10.13199/j.cnki.est.2014.04.002

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAB13B02);国际科技合作资助项目(2010DFB73070);国家自然科学基金委员会与神华集团有限责任公司联合资助项目(U1261211)

作者简介:范明建(1981—),男,山东滕州人,助理研究员,硕士。Tel:13811397108,E-mail:fanmingjian@163.com

引用格式:范明建,秦旭卫,林健等.褐煤矿区弱胶结砂岩巷道支护技术研究[J].煤炭科学技术 2014,42(4):5-8.

FAN Ming-jian, QIN Xu-wei, LIN Jian et al. Study on Support Technology of Mine Roadway with Weak Cemented Sandstone in Lignite Mining Area [J]. Coal Science and Technology 2014, 42(4): 5-8.

进期间,巷道累计底鼓量达1 000 mm以上,需对底板起底修复。矿井岩巷变形较为严重,且维护量大,严重影响了巷道的稳定性。软岩巷道支护形式主要有全刚性支护、刚性支护+柔体垫层支护、U钢可缩性支架支护、锚(注)网喷支护等形式^[2-3]。在防治底鼓方面,采用打底角锚杆、架设金属支架反底拱、浇筑混凝土反底拱等措施。笔者在对现场生产与地质条件分析的基础上,采用地质力学现场测试、岩性分析、围岩可锚性试验、初始支护设计、现场试验、支护参数修正等综合手段,对褐煤矿区弱胶结砂岩条件下的巷道支护技术进行系统研究。通过支护参数合理化设计、新型支护材料和支护工艺的引进、现场试验与支护效果评价,确定褐煤矿区弱胶结砂岩条件下锚杆合理锚固形式和支护参数,以期达到对褐煤矿区弱胶结砂岩巷道围岩控制的目的。

1 工程概况

敏东一矿西翼运输大巷是该矿重要的煤炭运输巷道,设计长度598 m。巷道开口于16-3煤层中,沿13°煤层倾角上山掘进,分别穿越16-3煤层顶板、16-3上煤层以及16-3上煤层顶板等煤岩层。巷道底板标高为+340—+440 m,埋深为260~360 m。除部分穿越煤层的巷道段之外,巷道绝大部分围岩为胶结性差、强度低、易风化的粉砂岩、细砂岩或含砾砂岩。16-3煤层位于16-3上煤层下部14.85 m处,16-3上煤层平均厚6.34 m,直接顶为1.70 m厚的粉砂岩,基本顶为6.35 m厚的含砾砂岩,底板为7.05 m厚的粉砂岩;16-3煤层平均厚20.00 m,直接顶为4.45 m厚的粉砂岩,基本顶为3.35 m厚的细砂岩,底板为7.62 m厚的粉砂岩。

2 地质力学现场测试及黏土矿物成分分析

2.1 地质力学现场测试

1) 钻孔窥视。采用全景钻孔窥视仪对矿井含煤地层的顶板围岩结构进行观测^[4],绝大多数砂岩胶结性较差,岩层含有明显的裂隙带和破碎带,孔壁存在明显的泥化现象。个别钻孔出现严重塌孔,导致窥视终止。

2) 围岩强度测试。采用围岩强度原位测试装置,对10 m范围内巷道围岩强度进行测试,巷道顶板砂岩抗压强度集中在1.00~3.00 MPa,平均为2.17 MPa;底板粉砂岩抗压强度3.00~5.00 MPa,平均4.44 MPa;帮部煤体抗压强度6.00~10.00

MPa,平均8.46 MPa。

3) 地应力测试。由于褐煤巷道围岩结构普遍松散破碎,考虑到地应力测试的成功率不高,采用水压致裂法对矿井地应力大小和方向进行现场测试。结果显示:矿井最大主应力为7.87~9.21 MPa(水平),方向为N5.2°—39.6°W;最小主应力3.94~4.75 MPa(水平),垂直主应力8.63~9.16 MPa。

2.2 黏土矿物成分分析

采用X射线衍射定量分析法,对矿井煤层顶底板岩石成分进行分析。煤层顶底板砂岩岩石矿物以石英为主,含量为49.8%~60.4%。16-3上煤层底板砂岩黏土矿物含量最高达48.0%,其他砂岩层黏土矿物含量为28.2%~45.9%。黏土矿物成分主要有伊蒙混层、高岭石、伊利石、绿泥石类等,其中以伊蒙混层和高岭石为主。高岭石最高绝对含量28.8%,伊蒙混层最高绝对含量13.95%。研究资料表明:围岩中蒙脱石含量超过8%时,便对围岩的胀缩性产生很大影响。基于高岭石的遇水软化和蒙脱石的遇水膨胀特性,判断矿井主要岩层均具有明显的遇水膨胀和软化特征。

3 岩石巷道支护技术分析

3.1 岩体可锚性试验

煤矿软岩巷道一般具有强度低、胶结性弱、可锚性差的特点。根据围岩的可锚性能确定合理锚固参数是软岩巷道锚杆支护的关键。因此,在选择巷道锚杆支护参数之前,必须通过锚杆拉拔力试验,判断巷道围岩的可锚性^[5]。采用φ18 mm×2 100 mm的等强全螺纹锚杆和φ15.24 mm、φ17.8 mm的锚索进行拉拔力试验。结果表明,采用1支K2350锚固剂时,锚杆平均拉拔力为51.99 kN;采用1支K2350和1支Z2350锚固剂时,锚杆平均拉拔力为91.13 kN。φ15.24 mm、φ17.8 mm的锚索分别采用2支长度500 mm的锚固剂时,平均锚固力分别为94.72 kN和126.29 kN。由此可知,弱胶结砂岩围岩条件下锚杆、锚索的锚固力普遍偏低。同时,在钻孔内含有夹矸和水时,对锚杆的锚固力的影响更加明显。文献[6-8]指出,随着钻孔中积水量和流水量的不同,锚固力急剧降低。因此,针对褐煤矿区弱胶结砂岩围岩条件可锚性差的状况,应尽量对锚杆实行全长锚固,以保证锚杆的锚固效果。

3.2 支护设计原则

针对弱胶结、易风化砂岩条件以及围岩结构特

征 对西翼运输大巷提出以下支护设计原则:①强力承压拱原则。由于巷道围岩胶结性弱、结构松散破碎,在巷道断面形状选择时,应尽量选取自稳能力较强的拱形断面,同时提高支护系统的强度和刚度,保证巷道围岩的稳定性。②即时封闭与全断面支护原则。黏土矿物成分分析表明:矿井岩层具有明显的遇水软化和膨胀特性,同时岩石易风化。在巷道掘进过程中,应做到即时封闭围岩,减少围岩暴露时间,避免水和空气对围岩抗压强度和结构的影响。同时,对巷道进行全断面支护,避免因局部失稳而造成整个巷道断面的变形与破坏^[9]。③全长预应力锚固原则^[10~16]。对锚杆进行全长预应力锚固,一方面可以提高锚杆在弱胶结砂岩中的拉拔力,保证锚杆的锚固效果;另一方面,高预紧力的施加,可提高巷道支护效果,有效控制围岩初期变形,实现锚杆的主动支护。④强力护表与预应力扩散原则^[17]。松散破碎、胶结性差的煤岩体采用锚杆支护时,锚杆间的巷道围岩易形成“网兜”和“鼓包”现象。在选择护表构件时,应选择强度高、护表面积大的支护构件,提高锚杆的作用范围和支护系统的护表强度。⑤支护系统各构件与参数的相互匹配原则。巷道支护系统中各支护构件的形式、强度和参数必须相互匹配^[18],避免因局部不合理而造成整个支护系统的失效。

3.3 支护形式与参数

西翼运输大巷围岩松散,为保证支护效果,巷道断面选用自稳能力较强的直墙半圆拱形。掘进断面宽度4 500 mm,拱高2 250 mm,墙高1 300 mm,底拱深度600 mm。根据巷道支护设计原则,确定西翼运输大巷采用“锚网索喷+混凝土底拱”联合支护的形式。巷道开挖后立即进行初喷,避免因外界水分侵入而加快围岩风化速度。采用全长预应力锚固锚杆锚索联合支护系统进行永久支护,最后对巷道表面进行复喷。最终确定巷道主要支护参数如下:①锚杆支护:选用屈服强度335 MPa、 $\phi 20\text{ mm} \times 2 100\text{ mm}$ 的左旋无纵筋螺纹钢锚杆,杆尾螺纹长度150 mm,配强度与杆体相匹配的螺母、调心球垫、拱型托板、尼龙减摩垫圈等。采用3支不同凝固速度的低黏度树脂锚固剂,在慢速树脂药卷凝固之前,对锚杆施加300~350 N·m的预紧转矩,实现锚杆的全长预应力锚固,锚杆间排距为900 mm×900 mm。②锚索支护:选用 $\phi 17.8\text{ mm} \times 6 300\text{ mm}$ 低松弛预应力钢绞线锚索,采用低黏度树脂药卷加长锚固托板

为300 mm×300 mm×12 mm高强度可调心拱形托板,锚索间排距2 000 mm×1 800 mm,垂直于巷道表面,初始锁定张拉力150 kN。③护表构件:护网为钢筋直径6.5 mm的冷拔钢筋网,同时配强度高、护表面积大的W钢护板作为锚杆的附属构件进行护表,W钢护板长度450 mm,宽度280 mm,厚度4 mm。④底板支护:在掘进工作面后方30~50 m内对巷道顶拱进行集中施工,实现掘进与底板支护的平行作业。沿底弧表面铺钢筋网,打锚杆并浇筑混凝土,混凝土厚度300 mm。西翼运输大巷支护如图1所示。

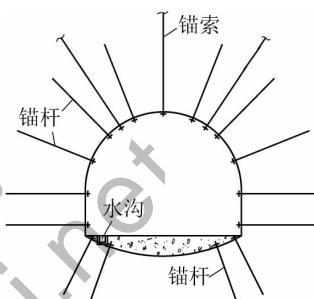


图1 西翼运输大巷支护

3.4 支护效果分析

在掘进期间,巷道变形量在距掘进工作面30~40 m趋于稳定,两帮最大移近量为55 mm,为巷道初始宽度的1.2%,顶板最大下沉量为13 mm,最大底鼓量为25 mm。巷道没有发生明显变形和破坏,顶板和两帮岩体始终保持着完好状态,巷道变形监测曲线如图2所示。高预紧力强力锚杆锚索支护形式提高了单根锚杆的支护强度,虽然锚杆单价较全螺纹锚杆高,但新支护形式加大了锚杆的间距,减少了单位面积使用锚杆(索)的数量并取消了钢棚支护,大幅降低了支护材料总成本,每米巷道减少材料成本约1 717.5元,技术经济效益显著。

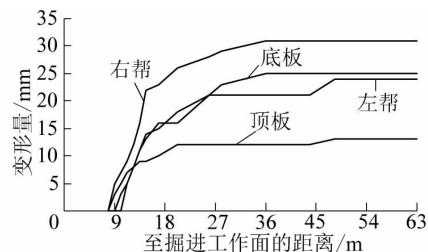


图2 巷道变形监测曲线

4 结 论

1) 褐煤巷道顶底板砂岩胶结性弱,强度低,易风化是造成巷道支护难度大的主要原因。矿井岩巷

围岩采用“锚网索+架设钢棚”联合支护不能有效控制围岩变形，巷道陷入“前掘后修、反复维修”的状况。合理选择锚杆的锚固形式和参数，保证锚杆(索)具有较高的锚固力，是巷道锚杆永久支护的关键。

2) 针对褐煤矿区弱胶结砂岩条件下，巷道围岩结构松散，黏土含量高，遇水易泥化、软化的特点，采用强力承压拱、及时封闭围岩、全断面支护、强力护表与预应力有效扩散、支护构件及参数相互匹配等支护原则，解决了弱胶结砂岩条件下巷道锚杆支护技术难题。

3) 敏东一矿西翼运输大巷采用高预应力强力锚杆锚索支护系统，巷道变形量比原支护降低了90%以上，并取消了钢棚支护，支护成本得到控制，减轻了劳动强度和施工难度，实现了巷道快速有效支护。

参考文献：

- [1] 尹立群. 我国褐煤资源及其利用前景[J]. 煤炭科学技术, 2004, 32(8): 12-14, 23.
- [2] 伍永平, 于水, 高喜才, 等. 深部软岩巷底鼓控制技术[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(6): 5-7, 65.
- [3] 范明建. 浅谈煤矿软岩巷道支护技术[C]//采矿工程学新论: 北京开采所研究生论文集. 北京: 煤炭工业出版社, 2005: 273-278.
- [4] 康红普, 林健, 张晓. 深部矿井地应力测量方法研究与应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(5): 929-933.
- [5] 李元刚, 刘刚, 龙景奎. 深部巷道预应力协同支护数值分析[J]. 采矿与安全工程学报, 2011, 28(2): 204-208.
- [6] 张盛. 水和温度对锚杆锚固力的影响及其对策[D]. 焦作: 焦作工学院, 2003: 72-73.
- [7] 宋根祥, 张盛, 勾攀峰, 等. 水对树脂锚杆锚固力的影响性研究[J]. 矿冶工程, 2005, 25(10): 11-14.
- [8] 勾攀峰, 陈启永, 张盛. 钻孔淋水对树脂锚杆锚固力的影响分析[J]. 煤炭学报, 2004, 29(6): 680-683.
- [9] 康红普. 软岩巷道底鼓机理及防治[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1993: 79-86.
- [10] 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.
- [11] 林健. 高强度高刚度强力锚固支护体系在深部高应力软岩巷道的应用研究[J]. 煤矿开采, 2006, 10(6): 59-62.
- [12] 林健, 范明建, 司林坡, 等. 近距离采空区下松软破碎煤层巷道锚杆锚索支护技术研究[J]. 煤矿开采, 2010, 14(4): 45-62.
- [13] 康红普, 王金华, 林健. 煤矿巷道支护应用实例分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(4): 649-664.
- [14] 范明建. 锚杆预应力与巷道支护效果的关系研究[D]. 北京: 煤炭科学研究院, 2007: 78-79.
- [15] 吴拥政. 全长预应力锚固强力支护系统应用研究[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(11): 27-30, 35.
- [16] 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): 680-685.
- [17] 王强, 吴拥政. 煤矿井下锚杆预紧力控制研究[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(1): 29-32.
- [18] 牛福龙. 锚杆锚索变形匹配技术在巷道支护中的应用[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(6): 27-29, 33.

(上接第4页)

求，煤壁稳定性的分析与判别将是能否采用超大采高综采的关键，国产装备除采煤机与国外尚有一定差距外，在液压支架、刮板输送机等领域已经相对成熟，完全能够满足要求。总体而言，在现有7m超大采高综采工作面积累经验的基础上，结合矿井深部开采的特点，再融入先进科技成果，我国深部超大采高综采技术必将进入新的发展水平。

参考文献：

- [1] 王金华. 我国大采高综采技术与装备的现状及发展趋势[J]. 煤炭科学技术, 2006, 34(1): 4-7.
- [2] 李建民, 耿清友, 周志坡, 等. 我国煤矿综采技术应用现状与发展[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(10): 55-60.
- [3] 王国法, 庞义辉, 刘俊峰. 特厚煤层大采高综放开采机采高度的确定与影响[J]. 煤炭学报, 2012, 37(11): 1777-1782.
- [4] 夏艳华. 大采高长工作面地表移动变形规律研究[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(11): 35-37.
- [5] 王国法. 煤矿综采自动化成套技术与装备创新和发展[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(11): 1-5.

- [6] 南清安, 顾大钊. 7.0m 超大采高工作面配套设备关键技术[J]. 神华科技, 2011(5): 22-25.
- [7] 高亮. 补连塔煤矿7m厚煤层开采取得的成果和推广意义[J]. 内蒙古煤炭经济, 2013(2): 46-49.
- [8] 程骏, 张严敬, 荣和芳, 等. 7m大采高综采液压支架设计及配套[J]. 煤矿开采, 2013, 18(1): 25-27.
- [9] 马立强, 张东升, 孙广京, 等. 厚冲积层下大采高综放工作面顶板控制机理与实践[J]. 煤炭学报, 2013, 38(2): 199-203.
- [10] 付玉平, 宋选民, 邢平伟, 等. 浅埋厚煤层大采高工作面顶板岩层断裂演化规律的模拟研究[J]. 煤炭学报, 2012, 37(3): 366-371.
- [11] 张飞, 巩志忠, 许国平, 等. 大采高综采设备在斜沟煤矿厚煤层回采中的应用[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(10): 45-48.
- [12] 王治伟. WC80EJ 支架搬运车在神东7m大采高工作面快速安装中的应用[J]. 煤矿机械, 2011, 32(3): 176-178.
- [13] 李新坡, 何思明, 徐骏, 等. 层状岩质边坡临界高度极限分析上限解[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2007, 39(1): 44-47.
- [14] 朱润生. 神东上湾煤矿综采工作面开机率分析[J]. 华北科技大学学报, 2006, 3(1): 22-24.
- [15] 孙庆先, 韦义, 杨新高. 红柳林煤矿大采高综采覆岩“两带”高度的综合探测[J]. 煤炭学报, 2013, 38(S1): 283-286.