

巷道支护理论与技术

特厚煤层对采对掘巷道锚网强力支护技术研究

郝登云¹, 陈海俊², 王 龙²

(1. 天地科技股份有限公司 开采设计事业部, 北京 100013; 2. 山西世德孙家沟煤矿有限公司, 山西 保德 036604)

[摘要] 针对特厚煤层对采对掘回采巷道支护难题, 以阳煤集团孙家沟煤矿 13313 工作面回风巷为工程背景, 分析了特厚煤层对采对掘巷道的受力特征及变形规律。结合地质力学评估, 通过数值模拟等方法, 提出了该巷道的锚杆支护方案并进行工业性试验。矿压监测结果表明, 该支护方案有效地控制了巷道的整体变形, 避免了二次修巷, 降低了巷道支护成本及工人劳动强度, 为该矿井及类似条件下巷道支护提供了参考。

[关键词] 特厚煤层; 对采对掘; 强力支护; 矿压监测

[中图分类号] TD353 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-6225 (2018) 04-0039-06

Study of Bolt Intensity Supporting Technology under Mining and Tunneling along Opposite Direction with Extra Thick Coal Seam

HAO Deng-yun¹, CHEN Hai-jun², WANG Long²

(1. Coal Mining & Designing Department, Tiandi Science & Technology Co., Ltd., Beijing 100013, China;

2. Shanxi Shide Sunjiagou Coal Mine Co., Ltd., Baode 036604, China)

Abstract: To difficulty problem of roadway supporting with mining and tunneling all along the opposite direction under extra thick coal seam, it taking 13313 ventilation roadway of Sunjiagou coal mine of Yangmei group as project background, and then mechanics characteristic and deformation law were analyzed. With geomechanics evaluation, according numerical simulation, rock and bolt supporting scheme for the roadway was put forward and then industry testing was proceed. The pressure monitoring results showed that the total deformation of roadway could be controlled effectively, and then second roadway repairing could be avoided, so roadway supporting cost and labour intensity could be decreased, it referenced for similar situation.

Key words: extra thick coal seam; mining and tunneling opposite direction; intensity supporting; pressure monitoring

对于采用单翼布置或开采强度较大以及地质条件复杂的矿井, 采掘接替紧张问题较为突出, 为了保证正常的采掘衔接, 在毗邻工作面回采的同时, 沿上一区段工作面边缘相迎掘进下一区段工作面的回采巷道, 便会出现工作面与巷道对采对掘情况^[1-3]。此类巷道是在未稳定采空区边缘和采动应力影响下掘进, 将承受掘进和采动应力等多重应力的叠加影响, 巷道维护比较困难^[4-7], 尤其是特厚煤层放顶煤工作面沿底掘进的回采巷道, 该问题更为突出。

孙家沟煤矿因采掘衔接紧张, 在 13309 工作面回采期间, 为准备出 13311 工作面的回采系统, 其回风巷就是迎采动掘进, 工作面布置如图 1 所示。当 13311 工作面回风巷与 13309 工作面相距 200m 左右时, 巷道开始变形, 甚至出现了小范围的冒顶现象, 直到 13309 工作面推过 150m 左右才逐渐趋于稳定。13309 工作面回采结束后, 13311 工作面

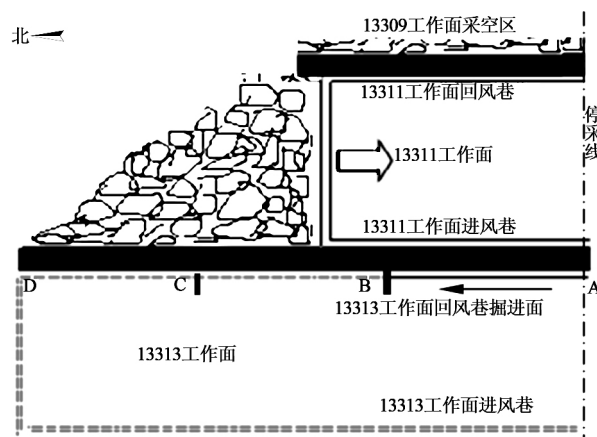


图1 13313 工作面回风巷平面位置

巷道变形严重, 部分巷道顶底板和两帮移近量达到了 2m 左右, 不得不多次起底返修, 严重影响了矿井正常的安全生产。13311 工作面回采期间, 又要准备 13313 工作面的回采系统, 13313 工作面回风巷也不得不迎采动掘进, 为了避免出现类似 13311

[收稿日期] 2018-05-11

[基金项目] 国家自然科学基金煤炭联合基金资助项目 (U1261211)

[作者简介] 郝登云 (1988-), 男, 河南辉县人, 硕士, 助理研究员, 从事巷道矿压与支护技术方面的研究工作。

[引用格式] 郝登云, 陈海俊, 王 龙. 特厚煤层对采对掘巷道锚网强力支护技术研究 [J]. 煤矿开采, 2018, 23 (4): 39-44.

[DOI] 10.13532/j.cnki.cn11-3677/td.2018.04.010

工作面回风巷的变形现象, 对该巷道合理支护方式和参数开展研究就显得十分必要和及时。

1 工程背景

孙家沟矿井已实现机械化开采(一矿一井一面), 采煤方法为走向长壁综采放顶煤采煤法, 全部垮落法管理顶板。13313 工作面北部 50m 为原同保煤矿准备巷, 南部为 13 号煤北回风巷, 西部为尚未开采的 13315 工作面, 东部为正在回采的 13311 工作面, 工作面走向长 1600m, 倾斜长 150m, 开采 13 号煤层, 煤层平均厚度为 13m 左右, 煤层倾角为 6° 左右, 平均埋深约 250m。煤层直接顶为黑色泥岩, 平均厚度 1.93m, 含砂质泥岩薄层; 基本顶为灰黑色砂质泥岩, 总厚度平均约 8.02m, 夹砂岩条带, 具滑面; 直接底为黑色砂质泥岩, 平均厚度 2.1m; 老底为灰色石灰岩, 平均厚度 2.6m。工作面回风巷为矩形断面, 宽 4.8m, 高 3.6m, 沿煤层底板掘进。

2 现场地质力学测试

2.1 地应力测试

采用水力压裂的方法对该巷道周围进行了地应力测试, 所测区域最大水平主应力 16.65MPa, 最小水平主应力 9.15MPa, 垂直应力 5.58MPa, 测试区域地应力场在量值上属于中等应力值区域, 应力场类型为 $\sigma_H > \sigma_h > \sigma_v$, 最大水平主应力定向北偏西 33.6° 。而 13313 工作面回风巷为南北向, 因此最大水平主应力方向与巷道轴线呈锐角关系, 有利于巷道的维护。由于巷道围岩最大水平主应力大于垂直主应力, 在支护设计时要注重控制巷道顶板围岩的稳定性。

2.2 煤岩体强度测试

对 13313 工作面回风巷顶板进行了煤岩体强度测试以及围岩结构观察, 13 号煤强度主要集中在 18~23MPa, 直接顶泥岩岩层强度主要集中在 48~52MPa, 基本顶砂质泥岩岩层强度主要集中在 55~60MPa, 顶板完整性较好, 局部存在少量的裂隙。综合评价 13 号煤体中硬, 有利于巷道维护。

2.3 顶煤及煤帮可锚性测试

2.3.1 帮锚杆拉拔力试验

巷道围岩锚杆拉拔力试验的目的是判定巷道围岩的可锚性, 评价锚杆、树脂、围岩锚固系统的性能和锚杆的锚固力。在 13313 工作面回风巷巷帮进行了锚杆锚固力拉拔力测试, 锚杆材质为 HRB500 高强度左旋无纵筋螺纹钢锚杆, 直径 20mm, 共试

验了 3 根锚杆, 其中 2 根使用了 MSCKb2360 树脂锚固剂, 另 1 根使用了 MSCKb2380 树脂锚固剂, 拉拔力分别达到了 159kN, 161kN 和 165kN 后, 仍保持完好。按照单根锚杆的拉拔力不得低于设计值的 90% 计算, 帮锚杆锚固力设计值最少可以达到 177kN。

2.3.2 顶煤锚索和巷帮锚索预应力试验

锚索锚固性能试验采用不同直径、不同长度、不同型号锚固剂进行了多次试验, 详细试验结果见表 1 所示。

表 1 锚索预应力试验结果统计

锚索规格型号	长度/m	锚固剂	张拉力/kN	泵压/MPa
顶锚索 1×19, $\phi 21.8\text{mm}$	5.2	MS23155	325	52
	5.2	MS23155	313	50
	8.2	MS23155	319	51
	8.2	MS23155	350	56
帮锚索 1×7, $\phi 17.8\text{mm}$	4.2	MSCK23100	198	50
	4.2	MSCK23120	205	52

由表 1 可以看出, 长度为 5.2m 和 8.2m 的顶煤锚索, 其预应力能达到 313~350kN, 为锚索破断载荷的 51%~56%。4.2m 长的帮锚索预应力可拉到 200kN 左右, 为帮锚索破断载荷的 55%。

2.4 帮锚杆预紧力测试

预应力是锚杆能够实现主动支护最主要的因素之一, 确定合理的预应力水平是提高巷道锚杆支护效果的重要途径。通常情况下, 锚杆预应力是通过给锚杆螺母施加一定的预紧力来实现的, 因此, 锚杆预紧力是锚杆支护的关键参数之一。为了掌握井下现场锚杆预紧力情况, 在 13313 工作面回风巷进行了锚杆预紧力测试试验, 锚杆材质为 HRB500 高强度左旋无纵筋螺纹钢锚杆, 直径 20mm、长度 2400mm, 共试验了 3 根锚杆, 试验结果见图 2。

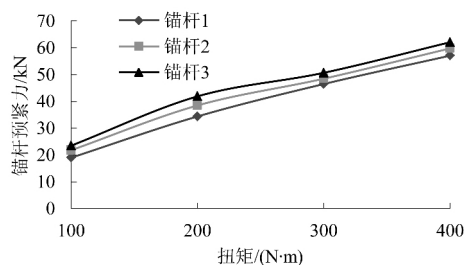


图 2 锚杆杆体预紧力随螺母扭矩变化

从图 2 可知, 随着锚杆螺母扭矩的增大, 锚杆预紧力基本呈现直线增长趋势, 当螺母扭矩由 $100\text{N} \cdot \text{m}$ 增加到 $400\text{N} \cdot \text{m}$ 时, 锚杆预紧力增大到 60kN 左右, 达到杆体屈服载荷的 38%, 属于比较合理的预紧扭矩。

3 巷道支护参数设计

3.1 13313 工作面回风巷原支护方案

13313 工作面回风巷设计断面净宽 4600mm, 净高 3400mm, 掘进断面宽 4800mm, 掘进高度 3600mm。

13313 工作面回风巷原支护方案为: 巷道顶板采用 4500mm×220mm×4mm (5 眼) W 钢带, 钢带上按眼孔布置 4 根 $\phi 21.6\text{mm} \times 12000\text{mm}$ 的锚索, 锚索垫片为 240mm×200mm×80mm (铸铁托盘), 锚索锚固剂采用 1 支 MSCKa23120, 要求锚索初始张拉力 $\geq 250\text{kN}$ 。巷道布置 1 根 $\phi 20\text{mm} \times 2000\text{mm}$ HRB335 左旋无纵筋螺纹钢锚杆, 垫片为 100mm×100mm×10mm 的平托盘, 锚杆采用 1 支 MSC-Ka2380 的锚固剂, 要求锚固力 $\geq 70\text{kN}$, 预紧扭矩 $\geq 150\text{N} \cdot \text{m}$ 。

巷道煤柱帮侧布置 4 根 $\phi 20\text{mm} \times 2000\text{mm}$ HRB335 左旋无纵筋螺纹钢锚杆, 间排距均为 1000mm, 锚杆垫片为 200mm×200mm×8mm, 锚固剂采用 1 支 MSCKa2360, 要求锚固力 $\geq 50\text{kN}$, 预紧扭矩 $\geq 120\text{N} \cdot \text{m}$ 。工作面侧帮除了按煤柱帮侧的支护方案布置锚杆外, 每隔 3 排打设 2 根 $\phi 17.86\text{mm} \times 5200\text{mm}$ 的锚索, 并用槽钢相连, 锚固剂采用 1 支 MSCKa23120, 要求锚索张拉力 $\geq 160\text{kN}$ 。

3.2 巷道支护设计原则

根据 13313 工作面回风巷特定的地质和开采条件, 在进行锚杆支护设计时需要坚持以下支护设计原则^[8]:

(1) 一次支护 采用足够高的支护强度与刚度, 实现一次支护就能有效控制巷道在整个服务期间的变形, 保证巷道围岩稳定, 不需要二次支护和加强支护。

(2) 高强度和高刚度的支护系统 对采对掘巷道受强烈动压影响, 围岩变形大, 应采用高预应力、强力锚杆与锚索支护, 甚至是全锚索支护。通过采用高强度锚杆材料及大直径、大吨位锚索钢绞线提高支护强度。

(3) 高预应力 预应力是锚杆支护能否有效的关键影响因素, 因此, 无论是锚索还是锚杆都要采用高预应力, 实现主动支护, 发挥锚杆支护作用, 更重要的是通过施加高预应力也提高了支护系统的刚度。

(4) 分段支护 对采对掘巷道各段所处的围岩环境及受力特征不同, 锚杆支护设计也应分段设

计, 根据各段受力特点提出有针对性的锚杆支护方案。

3.3 13313 工作面回风巷顶板支护方式选择

文献 [9] 研究表明: 锚杆支护主要作用在于控制锚固区围岩的离层、滑动、张开裂隙等扩容变形与破坏, 在锚固区内形成次生承载层, 最大限度地保持锚固区围岩的完整性, 避免围岩有害变形的出现, 提高锚固区围岩的整体强度和稳定性。由于锚索的强度、长度、预应力和承载能力远大于锚杆, 因此顶板全锚索支护时形成的次生承载层厚度和强度要比使用锚杆时所形成的次生承载层大得多, 其承载能力也显著提高。

现场应用也表明^[10], 与采用锚杆支护时相比, 松软煤层碎胀顶板巷道采用高预应力、短锚索支护后, 顶板下沉量、两帮移近量和底鼓量分别降低了 95%, 84% 和 72%, 巷道支护状况发生了质的变化。

因此, 确定采用长短锚索结合的方式来支护 13313 工作面回风巷顶板, 一种为短锚索, 用来代替锚杆, 主要作用是对煤层直接顶起组合加固作用, 形成厚度远大于锚杆支护时的次生承载层。另一种为长锚索, 主要作用是将短锚索、金属网和 W 钢带所形成的次生承载层与围岩的主承载层相连, 提高次生承载层的稳定性。

3.4 锚索支护作用数值模拟

根据 13313 工作面地质资料及地应力测试结果, 利用 FLAC^{3D} 数值模拟软件对 13313 工作面回风巷建立了数值模型, 分析支护参数的变化对巷道围岩的影响, 以选择合理的支护参数。模型范围为长、宽和高分别为 100m, 20m 和 30m。模型两侧限制水平位移, 底部限制垂直位移, 上部施加覆岩自重应力, 覆岩压力 5.58MPa。模型采用摩尔—库仑破坏准则。

固定其余支护参数, 分别改变短锚索长度和短锚索数量, 分析巷道顶板下沉值、两帮移近量和底鼓情况, 其结果分别见图 3 和图 4。

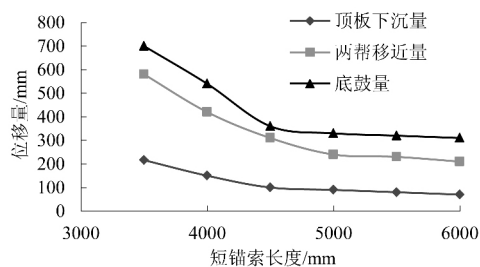


图3 顶板短锚索长度对巷道围岩变形的影响

由图3可以看出, 当短锚索长度由 3500mm 增

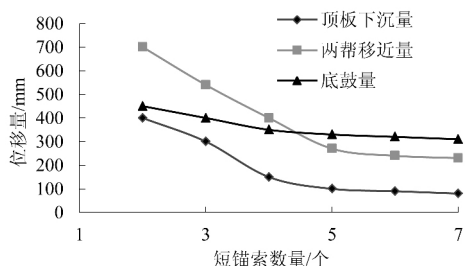


图4 顶板短锚索数量对巷道围岩变形的影响

加到 5000mm 时,巷道顶板下沉量降低了 58.3%,两帮移近量降低了 58.6%,底鼓量降低了 54.2%。而当短锚索长度由 5000mm 增加到 6000mm 时,巷道顶板下沉量只比 5000mm 时降低了 22.2%、两帮移近量降低了 12.5%、底鼓量降低了 5%。由此可见即使短锚索长度增至 6000mm,支护状况与 5000mm 时相差不大。可见,顶板短锚索长度为 5000mm 左右时比较合理。

已有研究结果表明^[11],锚索越长,施加的预应力水平应越大,才能充分发挥锚索的支护作用,当锚索预应力水平在 80~150kN 时,锚索合理长度为 4000~6000mm。随着预应力水平的增加,锚索长度可以适当加长,但锚索长度一般过长,根据 13313 工作面回风巷实际地质条件,补强的长锚索长度确定为 8200mm。

由图 4 可以看出,当每排短锚索数量由 2 根增加到 5 根时,巷道顶板下沉量降低了 75%,两帮移近量降低了 61.4%,底鼓量降低了 26.6%。而当每排短锚索数量由 5 根增加到 7 根时,巷道顶板下沉量只比 5 根时降低了 20%、两帮移近量降低了 15%、底鼓量只降低了 6%。由此可见即使将短锚索数量增至 7 根,巷道支护状况与 5 根时相差不大。可见,顶板每排 5 根短锚索比较合理。

3.5 支护方案

13311 工作面回风巷整体情况与 13313 工作面回风巷基本相似,13311 工作面回风巷与 13309 工作面相距 200m 的时候开始整体变形,甚至出现了几次小范围的冒顶,直到与 13309 工作面错开 150m 左右才趋于稳定,巷道顶底板和两帮移进量均在 2m 左右。参考 13311 工作面回风巷的支护方案及变形情况,再结合数值模拟结果,提出了 13313 工作面回风巷锚杆支护方案,如图 5 所示。

3.5.1 AB 和 BC 段

AB 段巷道虽然掘进时是在实体煤中进行,但当 13311 工作面回采过来后,该段巷道就成为有煤柱留巷段,要经受 13311 工作面回采动压影响。BC 段为动压影响段,要经受工作面超前和滞后动

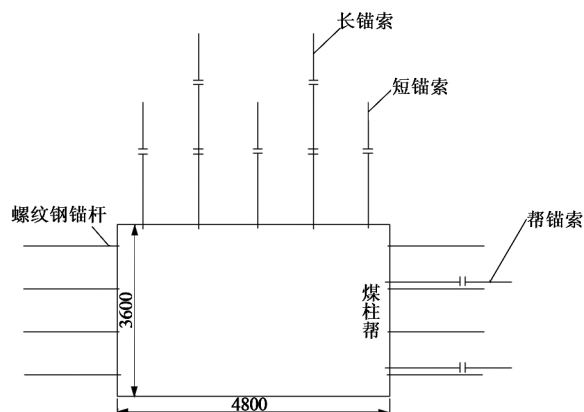


图5 13313 工作面回风巷支护参数

压的影响,AB 段和 BC 段的巷道维护都相对困难,这两段巷道采用相同的支护方案。

顶板支护 短锚索选用 $\phi 21.8\text{mm} \times 1 \times 19$ 股高强度低松弛预应力钢绞线,长度为 5200mm,每排 5 根,间距 1000mm,排距 1000mm。采用 1 支 MSK23120 和 1 支 MSCK2335 树脂加长锚固,锚固长度为 1890mm。托板采用高强度可调心 W 型托板,规格 300mm $\times$ 280mm $\times$ 14mm,配套调心球垫,托板高度不低于 50mm,两凹槽间距 210mm,托板承载能力不低于 607kN,用双层经纬网进行巷道护顶,所选材料为 10 号铁丝,网孔为 50mm $\times$ 50mm,网片为 5200mm $\times$ 1100mm,网片采用搭接方式进行连接,搭接长度 100mm,采用 16 号铅丝联接,双丝双扣梳辫法隔孔相连,并不得小于 3 扣。

长锚索布置方式 8200mm 的长锚索布置在 5200mm 的短锚索两排中间,每排 2 根,间距 2000mm,排距 1000mm。材料及锚固方式同短锚索一致。与钢筋托梁配合使用。托梁采用直径 16mm 的钢筋,长度为 2600mm,与 W 型锚索托板配套使用,钢筋中对中间距 210mm。

锚索全部垂直顶板布置,要求锚索初始张拉力不低于 300kN,预紧力损失后不低于 180kN。

巷帮支护 锚杆采用 $\phi 20\text{mm}$ 的 HRB500 高强度左旋无纵筋螺纹钢筋,长度 2400mm,杆尾螺纹为 M22,采用 1 支 MSCKa2360 树脂锚固剂,锚固长度为 820mm。螺母为 M22 的高强锚杆螺母,配合高强托板,调心球垫和尼龙垫圈,托板为拱型高强度托板,托板尺寸 150mm $\times$ 150mm $\times$ 10mm,承载能力 $\geq 210\text{kN}$ 。采用 W 钢护板护表,宽 280mm,长 450mm,厚度不低于 4mm。巷帮铺设经纬网,材料为 10 号铁丝,网孔为 50mm $\times$ 50mm,网片为 3500mm $\times$ 1100mm,两网片之间搭接 100mm,采用 16 号铅丝联接,双丝双扣梳辫法隔孔相连,并不

得小于3扣。每排4根锚杆,锚杆间排距为900mm×1000mm,全部垂直煤帮打设。锚杆预紧扭矩为400N·m。

煤柱帮每排打设2根锚索,锚索间排距为1800mm×1000mm。采用锚索为 $\phi 17.8\text{mm} \times 1 \times 17$ 股高强度低松弛预应力钢绞线,长度4200mm。承载能力 $\geq 353\text{kN}$,采用1支MSCKa23100树脂锚固剂锚固,锚固长度1130mm。采用高强度可调心托板,规格为300mm×300mm×12mm,高度不低于56mm。帮锚索垂直煤柱帮打设,锚索初始张拉力不低于200kN,预紧力损失后不低于120kN。

3.5.2 CD段

该阶段位于滞后动压影响段之后,为沿煤柱掘巷段,此时相邻的13311工作面上覆岩层移动基本结束,回采引起的侧向支承应力也基本趋于稳定;同是由于采用了宽煤柱护巷,巷道处于侧向支承应力相对较小的区域,因此,巷道掘进并不会影响到相邻工作面上覆岩层所形成的岩层结构,因此,与前两个阶段相比,该阶段巷道的维护相对容易。该段顶板支护方案及两帮锚杆支护均与AB和BC段相同,唯一不同是该段巷道煤柱侧的锚索布置,虽然煤柱帮每排仍打设2根锚索,但锚索间排距调整为1800mm×2000mm。

4 支护效果观测与分析

4.1 观测内容及方法

为了掌握对采对掘巷道矿压显现规律,检验13313工作面巷道锚杆支护效果,对13313工作面巷道进行了锚索锚杆受力和巷道围岩表面位移监测。

预计13313工作面回风巷掘进至1400m位置时将13311回采工作面相遇,在1200m位置处布置表面位置和锚杆索测力计观测站,随着13311工作面回采和13313工作面回风巷的掘进,可全面监测在上区段工作面全程动压影响期间锚索锚杆受力和巷道变形情况。测站包括2个巷道表面位移监测断面,1个锚杆受力监测断面,1个锚索受力测站。

(1) 巷道表面位移 巷道表面位移测点采用十字布点法。在顶底板中部垂直方向和两帮水平方向各钻直径28mm、深400mm的孔,将直径30mm、长400mm的木桩打入孔中。顶板和上帮木桩端部安设弯形测钉,底板和下帮木桩端部安设平头测钉。两监测断面沿巷道轴向间隔1.0m。测点安设后,立即进行观测,并将观测值填入记录表

中。从测站安设始至13311工作面推过后150m期间,每天观测2次;其他巷道掘进期间,每天1次,掘巷完成1周后,每周2次。

(2) 锚杆(索)受力观测 锚杆(索)受力采用锚杆测力计进行观测,观测断面上所有锚索和锚杆都安装测力计,安设完成后,立即进行观测,并将观测值填入记录表中。随后测试频度与表面位移观测相同。

4.2 观测结果分析

典型的监测曲线分别见图6、图7和图8。由图6可以得出,掘进面离13311回采面50m左右时,顶板锚索受力开始增大,随后随着与13311回采面靠近,顶板锚索受力逐渐增大。从掘进面与13311回采面相会开始,一直到工作面后方80m左右范围,锚索受力明显增加,当巷道位于工作面后方150m以外时,围岩应力重新分布逐渐趋于稳定,顶板锚索受力也随之趋于稳定,达到250~300kN,约为锚索破断力的50%。说明所选锚索强度及预张力大小合适,较好地控制了巷道顶板离层及两帮围岩变形。

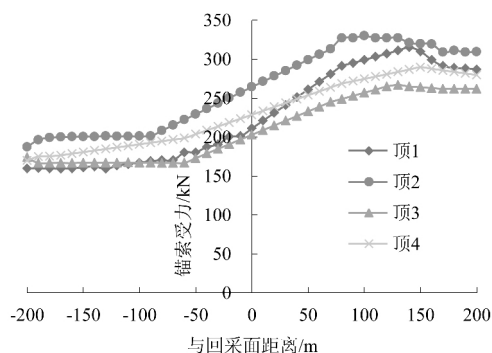


图6 顶锚索受力曲线

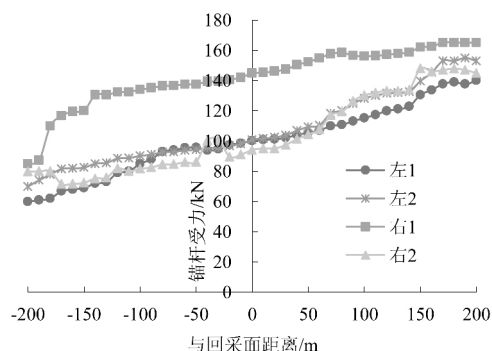


图7 帮锚杆受力曲线

由图7可知:与巷道顶板锚索受力相比,帮锚杆受力增大的时间要早一些,当掘进面离13311回采面170m左右时,巷道帮锚杆受力即开始增大,随后随着离13311回采面距离的减小,巷帮锚杆受

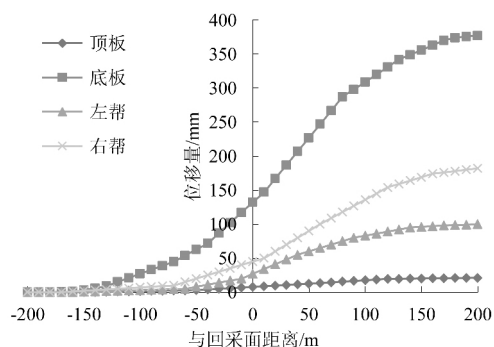


图 8 巷道表面位移监测曲线

力逐渐增大。从掘进面与 13311 回采面相会开始,一直到工作面后方 80m 左右,锚杆受力都处于明显增加阶段;当巷道位于工作面后方 150m 以外时,两帮锚杆受力趋于稳定,达到 140~160kN,约为锚杆破断力的 70%。说明所选锚杆强度及预紧力大小合适,较好地控制了巷道两帮的围岩变形。

由图 8 可知:巷道在实体中掘进阶段围岩变形很小,当掘进面距离 13311 回采面 100m 左右时,由于 13311 工作面超前支承压力的影响,围岩应力不断增大,巷道变形量增加,且底板底鼓量明显大于顶板下沉量,煤柱侧煤帮变形量大于实体煤侧变形量。

从掘进面与回采面相会开始,一直到工作面后方 80m 左右,巷道变形速度明显增加,当巷道位于工作面后方 150m 以外时,巷道表面变形也随之趋于稳定。其中以底鼓最为明显,达到 380mm 左右,两帮移近量达 300mm 左右,顶板几乎没有下沉。

5 结 论

(1) 现场地应力测试结果表明最大水平主应力方向与巷道轴线呈锐角关系,有利于巷道的维护。同时,巷道围岩最大水平主应力大于垂直主应力,在巷道支护设计时要注重控制巷道顶板围岩稳定性。

(2) 特厚煤层对采对掘巷道是一类比较特殊的巷道,它在成巷过程中及成巷后都要受到相邻工作面开采动压的影响,依据巷道围岩应力特点,可

将整条巷道分为 3 段:第 1 段为实体煤掘进段,该段后期为有煤柱留巷段;第 2 段为迎采动掘巷段,可分为超前和滞后动压影响段,观测表明,当掘进面距回采面 50m 时,巷道围岩开始变形;工作面后方 80m 左右为剧烈影响阶段,该段巷道是支护的重点和难点。第 3 段为沿煤柱掘巷段。

(3) 提出了巷道顶板采用全锚索、两帮采用锚杆加锚索的高预应力强力支护方案,有效地控制了对采对掘巷道围岩变形破坏。工程实践表明,巷道顶底板最大移近量约 400mm,两帮移近量 380mm,巷道维护状况良好;取消了先前使用的加柱和木垛等加强支护措施,降低了支护成本,减轻了工人的劳动强度。

[参考文献]

- [1] 赵 瑶,王 珏,高明仕,等. 陈四楼矿迎采动沿空掘巷技术研究及应用 [J]. 煤炭工程, 2012, 44 (6): 41-43.
- [2] 裴晓建,徐金海,刘 涛. 特厚煤层迎回采面沿空掘巷区段煤柱宽度研究 [J]. 煤矿开采, 2016, 21 (4): 73-77.
- [3] 王 猛,柏建彪,王襄禹,等. 迎采动面沿空掘巷围岩变形规律及控制技术 [J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29 (2): 197-202.
- [4] 张 农,李学华,高明仕. 迎采动工作面沿空掘巷预拉力支护及工程应用 [J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23 (12): 2100-2106.
- [5] 张 雷. 对采对掘合理煤柱宽度及围岩控制技术研究 [J]. 煤炭科技, 2016 (3): 34-40.
- [6] 杨海楼,于 洋,朱庆庆. 对采对掘巷道围岩稳定与分段控制技术 [J]. 煤炭工程, 2013, 45 (10): 11-14.
- [7] 张晨曦,臧传伟,张 强,等. 留顶煤大断面巷道围岩失稳机理及支护对策研究 [J]. 中国煤炭, 2016, 42 (8): 60-77.
- [8] 康红普,王金华. 煤巷锚杆支护成套理论体系 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2007.
- [9] 康红普. 煤巷锚杆支护成套技术研究与实践 [J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24 (21): 3959-3864.
- [10] 颜立新. 软煤层碎胀顶板巷道高预应力短锚索支护技术 [J]. 煤炭科学技术, 2010, 38 (8): 39-43.
- [11] 王金华,康红普,高富强. 锚索支护传力机制与应力分布的数值模拟 [J]. 煤炭学报, 2008, 33 (1): 1-6.
- [12] 周龙寿,丁立丰,郭啟良. 不同压裂介质影响下绝对应力测值的试验研究 [J]. 岩土力学, 2013, 34 (10): 2869-2876.

[责任编辑: 王兴库]

欢迎订阅

欢迎赐稿

欢迎惠登广告

电话: (010) 84262728 (010) 84262052 传真: (010) 84262728 电子信箱: MKKC@chinajournal.net.cn