

采动影响下斜井围岩加固技术

姚广¹, 王卫军², 凌涛², 彭刚², 王金²

(1. 湖南科技大学 土木工程学院, 湖南 湘潭 411201; 2. 湖南科技大学 能源与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要:针对采动影响下巷道围岩反复维修加固仍无法满足正常需要的现状,以高坑煤矿暗斜井为工程背景,通过理论分析和现场实践的方法分析巷道破坏特点及破坏原因.结合支护原理及动压巷道底鼓控制原理,提出了暗斜井围岩的加固方案.数值模拟及现场实践结果表明,采用高强度的锚网喷索联合支护方式后,暗斜井在受到上方工作面采动影响的情况下巷道两帮及顶底板移近量在一段时间内趋于稳定,巷道的变形得到了有效控制.

关键词:采动影响;数值模拟;支护

中图分类号:TD353

文献标志码:A

文章编号:1672-9102(2015)01-0007-07

On the technology of wall rocks reinforcing in incline shaft under the influence of mining

YAO Guang¹, WANG Weijun², LING Tao², PENG Gang², WANG Jin²

(1. School of Civil Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. School of Mining and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: In view of the repeated – maintenance mining roadway surrounding rock that is still unable to meet the needs of the normal situation under the influence of mining, this paper, under the engineering background of belt slope in Gaokeng Coal Mine, analyzes the roadway damage characteristics and the reasons by using the method of theoretical analysis and field practice. Combined with the supporting principle and fundamental of floor heave with dynamic pressure, the reinforcement scheme in belt slope is proposed. Numerical simulation and field practice results show that when slope is in the condition of influence of mining in working face, the two ribs convergence and the roof – to – floor convergence tend to be stable over a period of time with the high strength support of the anchor – net – guniting – cable combined supporting method, and in this way the deformation of roadway has been effectively controlled.

Key words: influence of mining; numerical simulation; support

采动影响下的巷道围岩稳定性控制,一直是采矿工程难点问题之一,国内外学者在巷道支护方面做了大量卓有成效的工作,针对受采动影响的巷道围岩也提出了行之有效的支护方法^[1-5],但是在以往的研究工作中,对复杂条件下巷道围岩的稳定性、支护失效的力学机理、所处应力环境和变形的力学机理研究较少;而高坑矿的暗斜井巷道是由顶板、两帮和底板组成的复合结构体,与圆形断面有很大区别,其受力变形机理及支护方法均有不同.尽管众多学者对动压巷道的支护机理进行了大量的研究与实践,但受采动影响的巷道支护仍存在许多亟待解决的问题.

收稿日期:2014-09-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51434006;51374105);湖南省教育厅资助项目(14C0427);湖南科技大学研究生创新基金资助项目(S130003);煤矿安全开采技术湖南省重点实验室开放基金资助项目(201206)

通信作者:王卫军(1965-),男,湖南涟源人,博士,教授,研究方向:巷道围岩控制. E-mail: wjwang@hnust.cn

1 工程条件分析

1.1 工程概况

萍乡高坑煤矿由于目前开采的煤炭资源较少,现要进行立井工业广场煤柱开采.高坑煤矿暗皮带斜井布置在原工业广场扫边槽底板中,巷道由上到下分别布置在扫边槽底板、垫底槽层位及底部砾岩层位中,为矿井三水平以下主要的运煤系统.

通过 X 射线衍射仪对暗皮带斜井所收集的 4 个岩样进行了分析,分析结果:石英占 69.4%;纤硅镁石占 2.5%;斜绿泥石占 5%;水钙沸石占 23.1%.

1997 年高坑煤矿在暗皮带斜井上方开采 -100 m 标高至 -140 m 标高扫边槽煤层,开采最低标高处与下部暗皮带斜井相距 36 m,受其采动影响,暗皮带斜井变形严重,严重影响生产.过去采用锚网梁喷及拱棚等支护方式,由于已开挖较长时间,并经受了工作面采动的影响,致使巷道变形较为严重,并产生了两帮挤进、底鼓、片帮和开裂等现象(见图 1).



图 1 绘制结果

1.2 巷道破坏特点及原因分析

1.2.1 巷道破坏特点

根据现场调查及总结发现,高坑煤矿暗皮带斜井受采动影响较为突出,该巷道围岩变形具有如下特点:

1) 变形受采动影响明显.暗皮带斜井上方进行煤层开采时,巷道围岩在受采动影响下出现破坏变形现象,当回采工作结束后变形趋于稳定,巷道受到上方采煤的采动影响即需要加固维修一次.

2) 底鼓严重.该暗斜井底板安装有运输皮带,由于采动的影响,出现了两帮挤进、片帮和顶板下沉等现象,而底鼓最为严重,使巷道断面缩小,影响皮带运输工作,也威胁到安全生产.

3) 围岩松动范围大.经过对现场 2 个钻孔的窥视结果可知:在暗皮带斜井顶板围岩中,在 2.5 m 以内位置裂隙最为发育,在 3.9~4.2 m 的位置,可见明显的裂隙,而且较为松散;对于帮部围岩,裂隙最为发育的岩体段位于在 2.0 m 以内,其它部分较完整.

1.2.2 巷道破坏原因分析

根据巷道围岩应力环境和围岩岩性综合分析,巷道破坏的主要原因有以下几点:

1) 暗皮带斜井围岩中含较多的斜绿泥石和水钙沸石等,此种围岩具有遇水后容易软化、泥化和膨胀等特征,而在巷道使用过程中并没有注意防水,因此易导致巷道的破坏.

2) 巷道围岩支护不合理.该斜井巷道过去在顶板和两帮采用锚网梁喷及拱棚等支护方式,但强度不够无法完全控制围岩变形,相对而言,底板未进行任何控制措施,而应力释放和体积膨胀大部分发生在底板这个薄弱环节,致使底鼓现象严重.

3) 巷道受采动影响.采动影响的强烈程度是巷道除了围岩自身条件外的最重要的影响因素,对工作面支承压力传播规律的研究结果表明:采动影响直接导致巷道围岩的应力大幅度增加,给巷道围岩支护体系增加负担,导致巷道围岩不同程度的变形破坏.

2 支护方案的确定

2.1 支护原理

一般合理的巷道支护形式是大幅度提高支护系统的初期支护刚度与强度,有效控制围岩不连续变形,保持围岩的完整性,同时支护系统应具有足够的延伸率,允许巷道围岩有较大的连续变形,使高应力得以释放.对于受采动影响的巷道而言,控制的对象不仅仅是周边松动破碎的围岩,还需考虑后期采动对巷道稳定性的影响,与传统的“先柔后刚、先让后抗”的支护理念相比,受采动影响的复杂巷道支护应该是“先刚后柔再刚、先抗后让再抗”,最大限度地保持围岩完整性,尽量减少围岩强度的降低^[6-10].

对于受采动影响大的巷道,仅仅使用一种支护方式很难控制住巷道的变形破坏,在这种情况下,大多采用联

合支护技术,有锚喷+注浆+锚索、锚杆+网+锚索、U 型棚+锚杆等等,联合支护方式一般费用较高.

2.2 数值模拟

2.2.1 采动影响下暗斜井围岩变形分析

为分析暗斜井受采动影响时围岩动态变形特征,建立高坑矿暗斜井数值模型,模型力学参数见表 1. 伴随工作面推进,底板暗斜井围岩塑形区状态如图 2 至图 5 所示.

表 1 各岩层力学计算参数

岩层	容重 $\gamma/(\text{g}/\text{cm}^3)$	切变模量 S/GPa	体积模量 B/GPa	内摩擦角 $\Phi/(\text{^\circ})$	内聚力 C/MPa	抗拉强度 R_t/MPa
页岩	2.50	4.52	6.74	30	2.67	1.20
扫边槽煤层	1.40	1.34	4.33	18	1.07	0.60
页岩	2.50	4.52	6.74	31	2.67	1.20
垫一煤层	1.43	1.38	3.98	20	1.13	0.63
细砂岩	2.44	10.22	20.87	38	4.23	1.85
垫二煤层	1.43	1.38	3.98	20	1.13	0.63
细砂岩	2.44	10.22	20.87	37	4.23	1.83

从图 2 至图 5 可知,随着扫边槽煤层的开挖,暗斜井受采动影响,巷道围岩塑性区的范围逐渐变大. 在工作面与暗斜井水平距离由 10 m 推进至 -20 m 过程中,超前支承压力对巷道顶底板围岩影响显著,顶底板围岩变形剧烈.

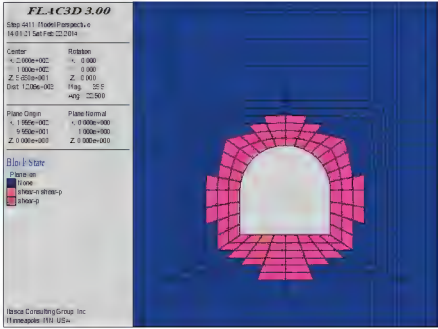


图 2 暗斜井初始掘进后塑形区状态

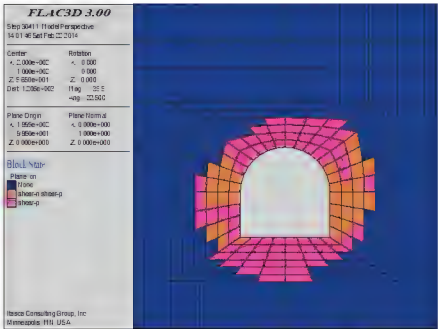


图 3 工作面与底板暗斜井水平距离 40 m 时塑形区状态

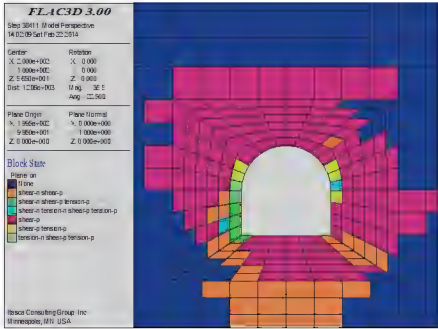


图 4 工作面与底板暗斜井水平距离 10 m 时塑形区状态

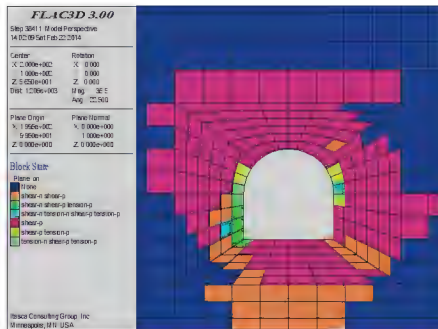
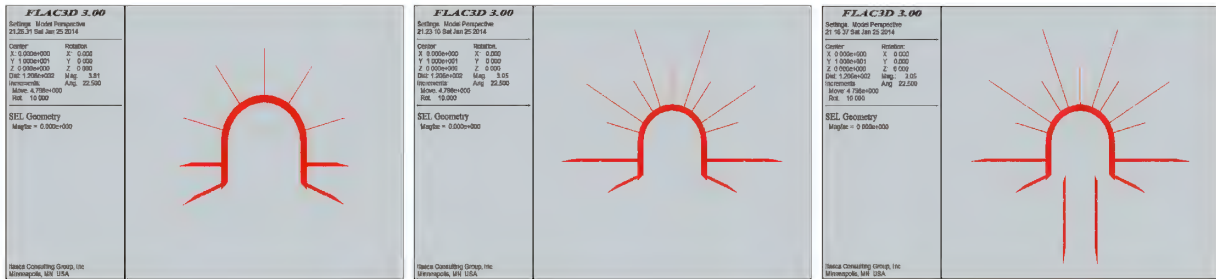


图 5 工作面与底板暗斜井水平距离 -20 m 时塑形区状态

2.2.1 采动影响下暗斜井围岩控制分析

为分析扫边槽煤层推进过程中围岩的应力变化,采用 $\text{FLAC}^{3\text{D}}$ 软件模拟不同支护方式下的支护效果. 方案 1 是不进行支护,方案 2 是“锚杆、网、喷+注浆”支护,方案 3 是“锚杆、网、喷+注浆+锚索”支护,方案 4 是“锚杆、网、喷+注浆+全断面锚索支护”的联合支护方案. 各方案支护体见图 6,各方案围岩应力分布模拟结果如图 7 所示. 从图 7 中可知,方案 2 中锚杆支护对两帮围岩压力有一定的改善作用,但由于锚杆长度有限,对深部围岩的承载能力较小,顶底板围岩压力无明显改善. 方案 3 中锚索支护可以大大加强对深部围岩的承载能力,改变了顶板和两帮的应力状态,削弱底鼓现象. 方案 4 中底板锚索支护可以更好地稳定底板围岩应力,促进巷道整体稳定. 随着支护种类和强度的不断增加,围岩的力学性能得到了改善,其自身的承载能力也得到了加强,暗皮带斜井的周围形成了一个有效的承载结构,确保了巷道的稳定.

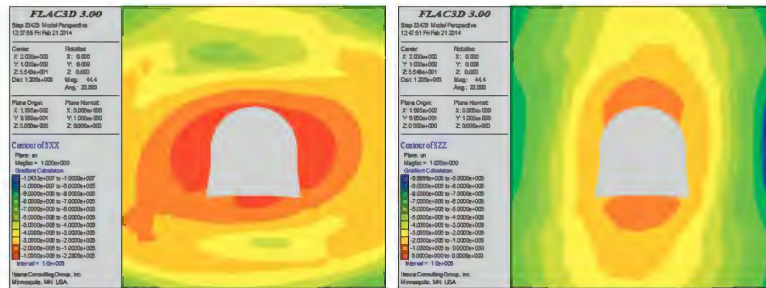


(a) 方案 2 支护体

(b) 方案 3 支护体

(c) 方案 4 支护体

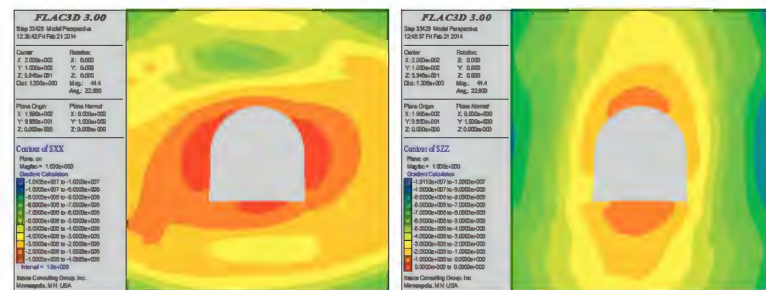
图 6 支护体



水平方向

垂直方向

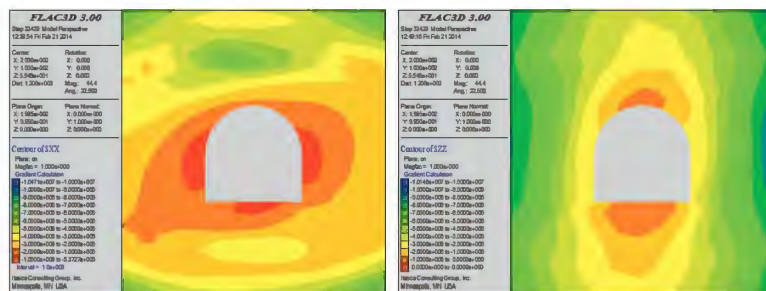
(a) 方案一



水平方向

垂直方向

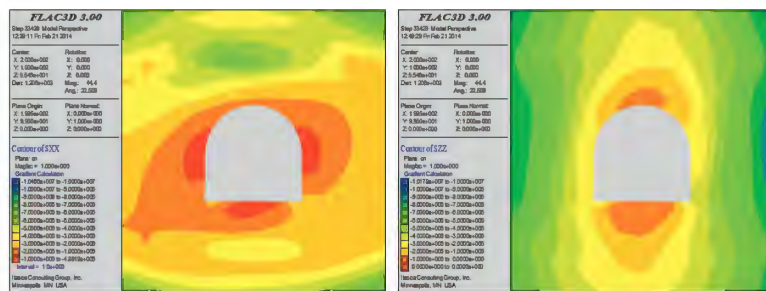
(b) 方案二



水平方向

垂直方向

(c) 方案三



水平方向

垂直方向

(d) 方案四

图 7 各方案围岩应力分布云图

2.3 支护效果数值分析

经过数值计算,暗皮带斜井井筒围岩经4种方案支护后,所得到的围岩变形曲线见图8所示.从位移变化曲线来看,在无支护情况下,当受到采动影响时,各部位变形都较大,其中顶底板移近量为792 mm,两帮移近量为850 mm,此变形量严重影响井筒的正常使用,方案二~方案四在方案一的基础上提出“锚杆+锚索”的综合治理技术,从位移变化曲线来看,各部位变形都较方案一小得多,其中方案四中顶底板移近量减少508 mm,两帮移近量减少663 mm,这说明修复后的方案有利于巷道围岩的稳定,特别是进行两帮锚索和底板锚索支护后,提高了岩体的整体性,并增强了支护与围岩的承载作用,大大减少全断面的变形,抑制了帮部和底板的鼓出,达到稳定的效果.

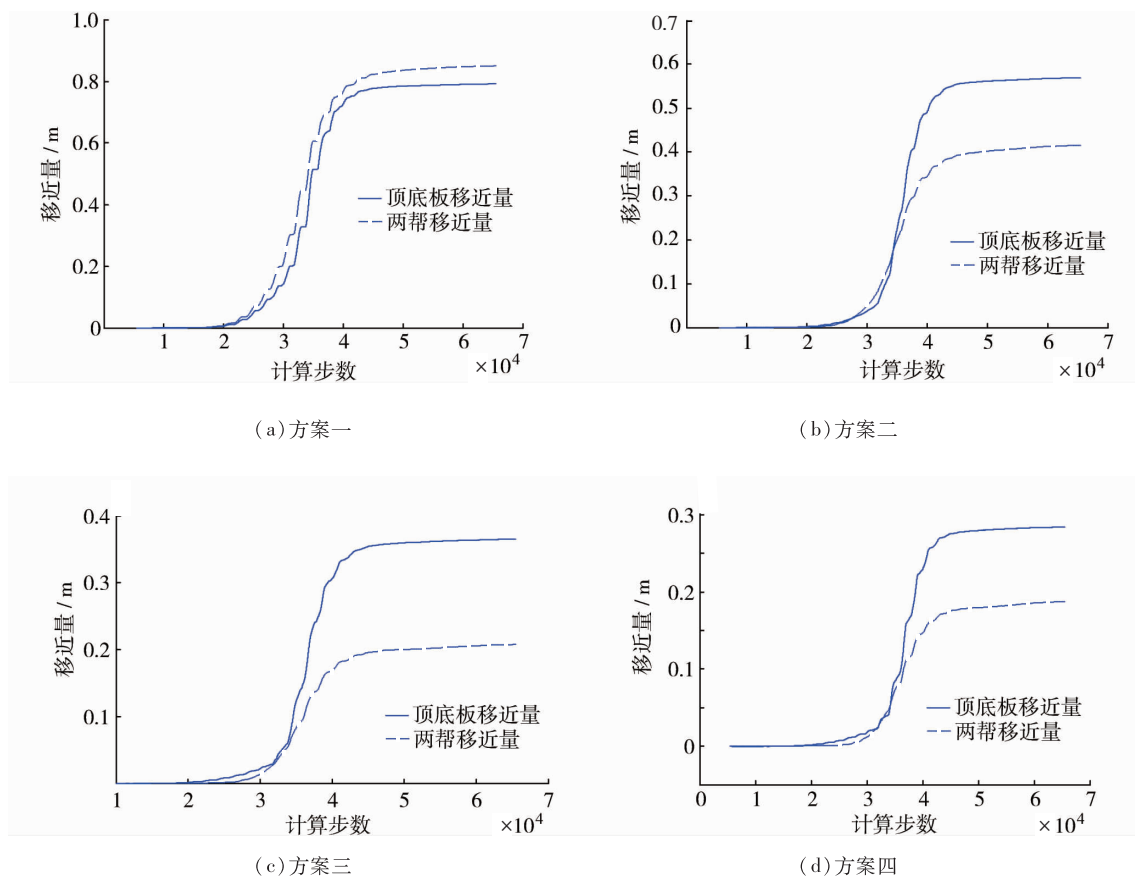


图8 各方案位移曲线

2.4 支护方案

通过现场观测、动压巷道底鼓控制原理及数值模拟结果,该暗斜井巷道的支护主要从以下几个方面考虑:

- (1) 必须以加强全断面支护强度为主线,兼顾两帮和顶板的控制,加固帮角和底板是本支护方案最重要的手段.
- (2) 支护时要考虑加固拱顶和两帮,阻止高应力向硐室底板转移.
- (3) 考虑围岩遇水后容易软化、泥化和膨胀等特征,因此,在井筒和巷道使用过程中应注意防水,及时封闭围岩.

根据以上思路提出对整个巷道断面采用“锚杆、金属网、喷浆、锚索”的联合支护方案(如图9),以提高围岩的整体性和强度,强调进行底板锚索支护,发挥底板深层完整岩体的作用.

1) 锚杆支护. 选用直径20 mm,长度2 200 mm左旋无纵筋高强度螺纹钢锚杆,锚杆材质为BHRB500左旋无纵筋螺纹钢. 每根锚杆使用3卷K2350树脂锚固剂,预紧力不低于100 kN,锚杆间排距为800 mm ×

800 mm, 底角锚杆应向下倾斜 20° 安装。

2) 金属网. 金属网为 $\Phi 6$ mm, 网格 80×80 mm. 金属网接茬处必须有锚杆加钢筋梯子梁将其上紧并紧贴岩面, 网间搭茬长度不少于 100 mm, 钢筋梯子梁由直径 12 mm 圆钢焊制而成。

3) 封闭围岩. 巷道全断面喷射水泥砂浆, 喷层的厚度在 30 ~ 50 mm, 封闭围岩。

4) 锚索支护. 采用钢绞线制作, 直径为 17.8 mm, 长度 4.5 m, 树脂端部锚固, 锚固长度为 1 500 mm. 每根锚索使用 5 卷 Z2350 型树脂药, 预紧力不低于 100 kN. 锚索垫板采用可压缩性垫板装置. 两帮和拱顶锚索的间排距为 $2\,400\text{ mm} \times 2\,400\text{ mm}$, 帮部每 2 根锚索作为 1 组并采用梯子梁连接, 形成一个整体, 维护松散围岩的进一步变形; 底板锚索间排距为 $1\,600\text{ mm} \times 2\,400\text{ mm}$, 2 根锚索通过一定尺寸的槽钢连接起来, 槽钢的长度为 1.8 m。

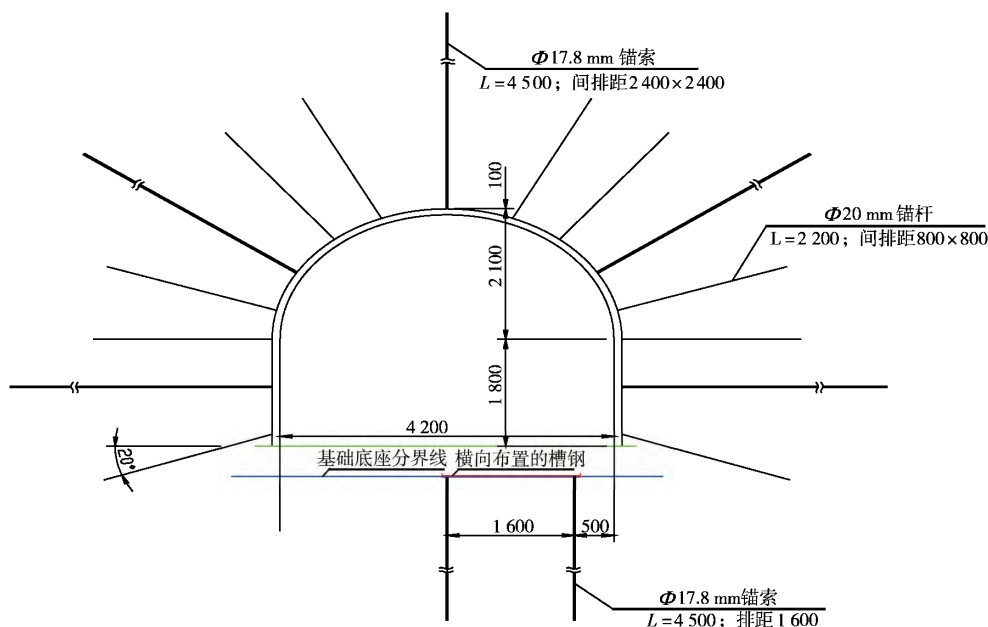


图 9 全断面支护图

3 工程实践

由于该暗皮带斜井掘成时间较长, 加上之前采动的影响, 巷道变形已经较大, 为保证断面的正常使用, 应进行返修前的扩巷, 巷道设计宽 4.2 m, 高 3.9 m, 2013 年 9 月开始按照设计要求对斜井进行支护, 在巷道施工过程中, 两帮和顶底板的移近量变化不大. 2014 年 3 月扫边槽煤层进行开采, 斜井围岩变形量监测图如图 10 和图 11 所示. 从图 10 和图 11 可以看到, 在扫边槽开采过程中, 3 个监测点中顶底板移近量最大为 168.5 mm, 左右帮移近量为 119.3 mm, 但围岩变形均在允许范围之内, 且变形最终趋于稳定。

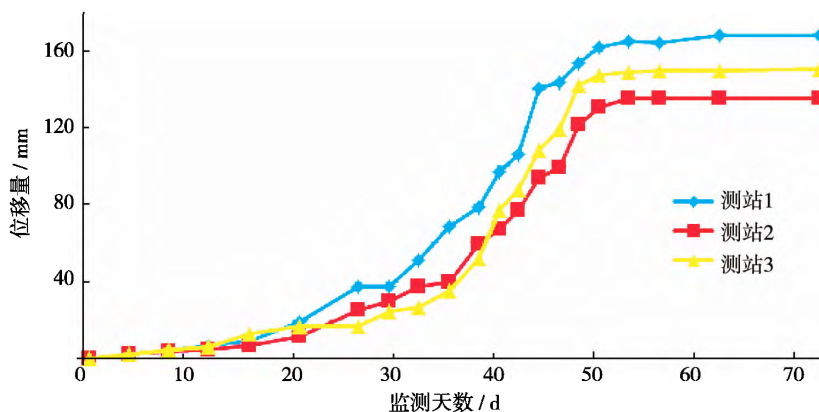


图 10 斜井顶底板移近量

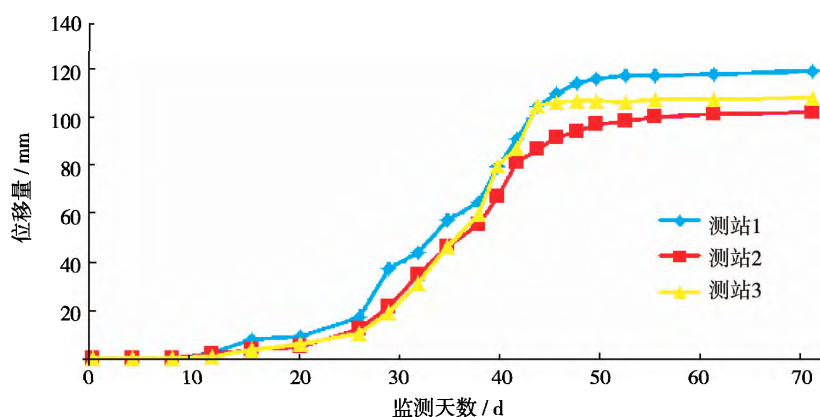


图 11 斜井两帮移近量

4 结论

1) 随着扫边槽煤层的开挖,暗斜井受采动影响,巷道围岩塑性区的范围逐渐变大.超前支承压力对巷道顶底板围岩影响显著,顶底板围岩变形剧烈.

2) “锚杆、金属网、喷浆、锚索”的高强度联合支护方案中锚索支护可以大大加强对深部围岩的承载能力,改变了顶板和两帮的应力状态,削弱底鼓现象,而底板锚索支护能更好地稳定底板围岩应力,促进巷道整体稳定.

参考文献:

- [1] 林惠立,石永奎.深部构造复杂区大断面硐室群围岩稳定性模拟分析[J].煤炭学报,2011,36(10):1619-1623.
- [2] 王卫军,罗立强,黄文忠,等.高应力厚层软弱顶板煤巷锚索支护失效机理及合理长度研究[J].岩石力学与工程学报,2014,31(1):17-21.
- [3] 李学华,黄志增,杨宏敏,等.高应力硐室底鼓控制的应力转移技术[J].中国矿业大学学报,2006,35(3):296-300.
- [4] 余伟健,王卫军,文国华,等.深井复合顶板煤巷变形机理及控制对策[J].岩土工程学报,2012,34(8):1501-1508.
- [5] 吴海,张农,王卫军,等.深部倾斜岩层巷道变形特征模拟与控制技术[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2013,28(1):6-12.
- [6] 王其洲,谢文兵,荆升国,等.构造复杂区硐室群围岩失稳机理及控制技术研究[J].采矿与安全工程学报,2014,31(2):263-269.
- [7] 王卫军,李树清,欧阳广斌.深井煤层巷道围岩控制技术及试验研究[J].岩石力学与工程学报,2006,25(10):2013-2107.
- [8] 刘泉声,张华,林涛.煤矿深部岩巷围岩稳定与支护对策[J].岩石力学与工程学报,2004,23(21):3732-3737.
- [9] 罗立强,王卫军,屈延嗣,等.深井岩巷分步联合支护技术应用[J].广西大学学报(自然科学版),2013,38(1):228-234.
- [10] 王卫军,彭刚,黄俊.高应力极软破碎岩层巷道高强度耦合支护技术研究[J].煤炭学报,2011,36(2):223-228.