

# 赵固二矿回采巷道顶板离层机理及支护对策

李国盛\*, 蒋帅旗, 吉祥

(河南理工大学 能源科学与工程学院, 河南 焦作 454003)

**摘要:**目前常规预应力锚索大多数情况下只能起到增强巷道破碎围岩承载强度的作用,很难对破碎围岩起到悬吊作用.以河南省新乡市赵固二矿为工程应用背景,综合现场调研、理论分析和数值模拟等方法,探讨分析了赵固二矿回采巷道顶板离层机理,研究分析了其悬吊失效的原因,据此,设计采用了以长-短锚杆间搭配间隔布置的方案,间排距为900 mm×800 mm,并进行了数值模拟与工业性试验.结果表明:试验巷道的顶板下沉量和两帮移近量有了明显的减小,提高了围岩的稳定性.

**关键词:**顶板离层;巷道支护;长-短锚杆;数值模拟

**中图分类号:**TD353      **文献标志码:**A      **文章编号:**1672-9102(2017)03-0056-06

## Mechanism and Support Countermeasure of Roof Caving in Zhaogu 2<sup>nd</sup> Mine Mining Roadway

Li Guosheng, Jiang Shuaiqi, Ji Xiang

(School of Energy Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China)

**Abstract:** The conventional prestressed anchor cable can only play the role of strengthening the bearing strength of the surrounding rock of the roadway, and it is difficult to play the suspension effect on the broken rock. Based on the application background, comprehensive field investigation, theoretical analysis and numerical simulation of Zhaogu 2<sup>nd</sup> Mine in Xinxiang City, Henan Province, the mechanism of roof segregation in Zhaogu 2<sup>nd</sup> Mine mining roadway is discussed and analyzed. The reason is that the design adopts the scheme of spacing between long and short anchors, and the interval is 900 mm×800 mm, and the numerical simulation and industrial test are carried out. Results show that the roof sinking amount and the roadway's side migration are obviously reduced and the stability of the surrounding rock is improved.

**Keywords:** roof abscission layer; roadway support; long-short anchor; numerical simulation

随着煤矿开采深度加大,岩体应力急剧增加,巷道维护十分困难,常常是前掘后翻,需要多次返修,维护费用很高,矿井出现了越来越多的使用传统方法难以控制的软岩巷道,并且随着矿井开采深度逐渐向深部延伸,原岩应力与构造应力不断升高,巷道围岩体表现出明显的大变形、高地压、高水压、长时间持续流变的特性,使得高应力大断面巷道的支护与维护问题显得越来越突出.

高应力大断面破碎围岩巷道稳定性控制问题,已成为当今地下工程中最为复杂的难题之一,巷道支护成本高、变形剧烈、持续时间长,严重制约着深部矿井开采的高产、高效、低耗及安全生产水平<sup>[1-4]</sup>.经过多年的发展,关于煤矿巷道围岩变形破坏机理,尤其对浅部巷道、深井巷道、回采巷道、准备巷道以及动压巷道、静压巷道取得的研究,已取得了丰硕的成果.我国在煤矿巷道支护领域成绩斐然,“九五”期间我国学者

收稿日期:2017-02-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51434006)

\*通信作者, E-mail: lgscakuang@126.com

完成了完整的高强螺纹钢树脂锚杆巷道支护体系,比较而言,这套体系成本更加经济且支护效果十分显著,随着这套支护体系的推广,其已在各类岩土工程得到推广使用<sup>[5-11]</sup>.但现有的锚杆-锚索支护在深部矿井造成巷道围岩变形较大,巷道顶板普遍出现较明显的离层现象,且顶板下沉量大,在许多位置由于锚索延伸率较低出现锚索断裂的情况,支护效果不够显著.

因此,通过采用FLAC<sup>3D</sup>数值模拟以及工业性试验,研究分析了赵固二矿回采巷道顶板变形特征,优化了巷道支护形式,提高了围岩的稳定性,对我国深部复杂条件下巷道围岩支护提供重要的参考价值.

## 1 顶板岩层结构及基点位移探测

### 1.1 顶板离层钻孔探测

河南能源化工集团焦煤公司赵固二矿位于新乡市与焦作市之间的接壤处,煤田属于太行山复背斜隆起带,位于南侧东翼,地层走向北东方向60°,倾向东南,平均倾角9°~13°,呈地垒、地堑、掀斜断块等组合形式,主要为断裂构造,赵固二矿主要巷道平均埋深800 m,主采煤层是2-1煤层.通过在赵固二矿1105工作面采用巷道顶板钻孔摄影对顶板离层情况进行了观测并进行数据分析.

在1105回风巷道前方1160 m开始,钻孔之间间隔为50 m,目前共7个.钻孔深度10 m,直径32 mm,钻孔布置如图1所示.

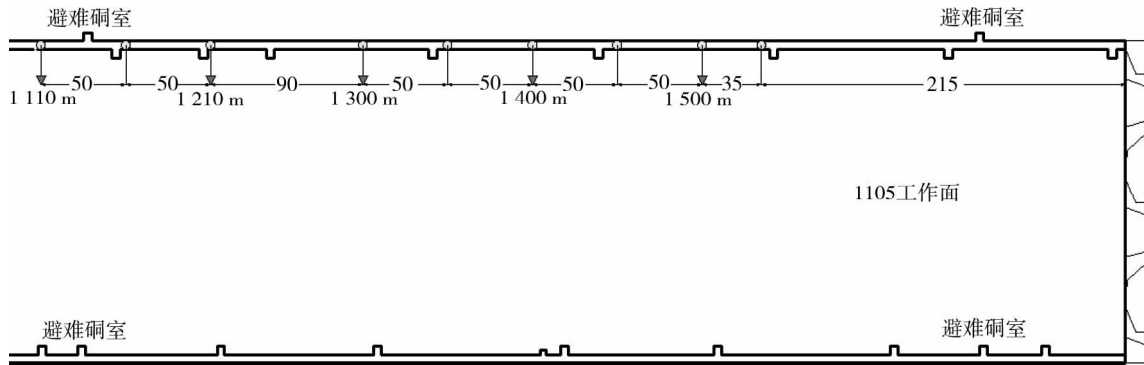


图1 1105回风巷道顶板窥视钻孔布置

通过对1105回风巷道顶板钻孔窥视柱状图(如图2所示)进行分析,得到以下结论:(1)钻孔1显示在3.3 m深处比较破碎,裂隙较为发育;(2)钻孔2显示在2.7~4.7 m范围内均比较破碎,裂隙较为发育;(3)钻孔6显示在2~3 m范围内顶板较破碎,在4.2 m处有长裂隙;(4)钻孔7显示2.9~4.2 m处分布有较多裂隙,3.8 m处存在长裂隙.

综上所述,1105回风巷道顶板钻孔的窥视结果显示,在距离巷道顶板2~5 m范围内的裂隙较为发育,许多测点处出现大裂隙,该范围内顶板较为破碎.

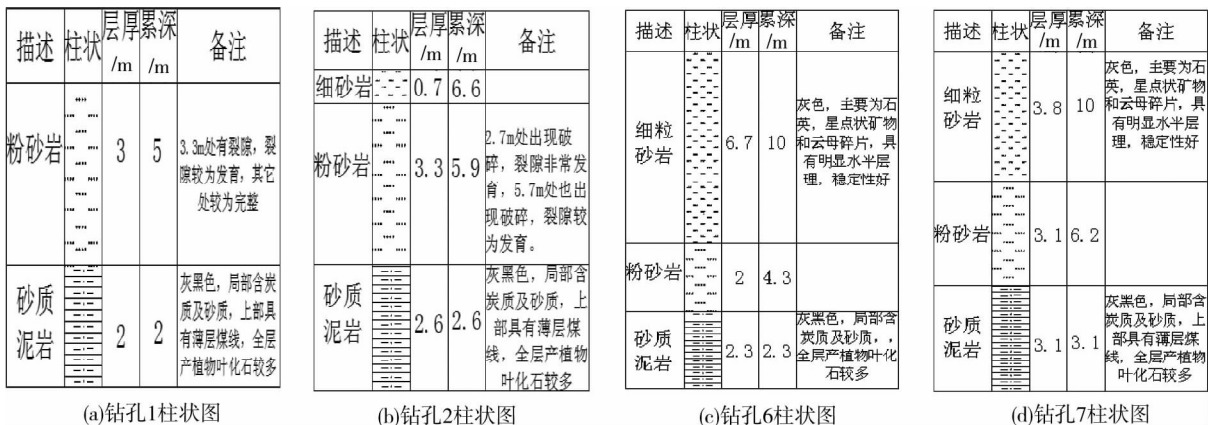


图2 钻孔窥视柱状图

## 1.2 顶板深基点位移观测

在赵固二矿安装深基点位移计,设计顶板采用1,3,4,7 m等4个基点,对回采巷道顶板离层和两帮位移等问题进行研究,可以深入了解顶板岩层离层变化量,为支护方案的设计及优化支护形式具有重要意义。

利用深基点位移计监测结果如图3所示,1105回风巷道顶板最大位移量为137 mm;在进行观测的前14 d内,顶板位移变化量较小;从14 d开始顶板位移变化量逐渐增大;顶板0~2 m处顶板位移增大到40 mm后基本稳定,0~7 m与0~4 m处顶板位移较大,且0~4 m处的顶板位移仍有增大的趋势。

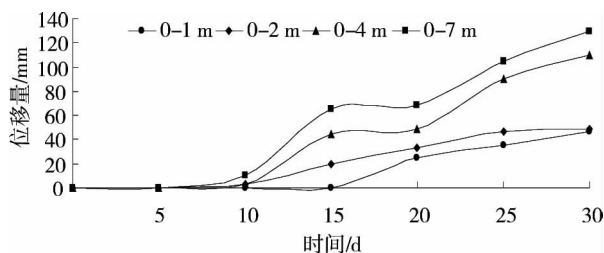


图3 1105回风巷道深基点位移

## 2 巷道顶板离层与锚索破断数值模拟

### 2.1 建立模型

根据1105工作面具体情况及数值模拟的需要,模拟原有支护方案下1105回风巷道锚索的受力情况。在模型建立时注意模型边界的选取,模型上部模拟到老顶区域,并在上部施加换算后的均布载荷,以体现上覆岩层的影响,并且其节点移动不受限制;由于研究模型内部巷道顶板围岩移动及应力场规律,模型不允许水平移动,以上节点处理与实际工程影响的范围内是相符的。具体的岩体和煤体参数如表1和表2所示。煤质情况: $M, A, V, Q, FC, S$ 分别为1.54, 13.78, 7.37, 30.03, 8.45, 0.34。模型块度大小按梯度分布,为细致观测巷道近处岩体变形、受力情况,块度尺寸在 $xz$ 面为1 m×1 m,模型尺寸为60 m×60 m×60 m(长×宽×高),模型如图4所示。

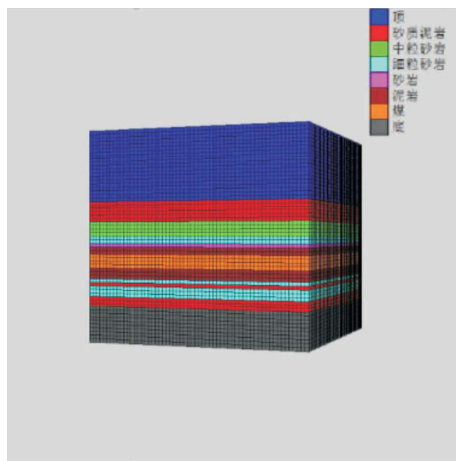


图4 模型

表1 2-1煤层顶底板岩石力学指标数据表

位置	密度/(kg/m <sup>3</sup> )	抗拉强度/MPa	抗剪强度/MPa	抗压强度/MPa	内聚力/MPa	内摩擦角
顶板	2 700	—	34.89	47.95	8.45	36°1'
底板	2 700	1.92	—	15.55	5.00	—

表2 各层岩石物理力学参数表

岩石名称	密度/(kg/m <sup>3</sup> )	抗拉强度/MPa	抗压强度/MPa	弹性模量/GPa	变形模量/GPa	泊松比
砂质泥岩	2 594	4.52	31.84	6.20	4.26	0.18
中粒泥岩	2 672	3.18	6.32	10.26	8.00	0.27
细粒砂岩	2 708	11.14	119.61	26.08	17.22	0.40
泥岩	2 724	5.61	6.26	9.91	5.77	0.25
砂岩	2 633	4.67	9.45	12.05	6.65	0.20

### 2.2 巷道开挖离层特征

图5a是巷道开挖的垂直应力云图。从图中可以看出巷道顶底板附近应力减小,由于岩(煤)体发生塑性破坏,承受力的作用明显减弱,出现应力降低;上部垂直压力向巷道两帮转移,两帮出现应力集中现象。

图5b为巷道开挖无支护平衡时的巷道围岩垂直位移云图。图5揭示了巷道顶板离层特征:开挖后顶板煤层表层处在两向应力状态下,受到水平应力作用后首先破坏,发生相对离层,从而对其上位煤层的有效压应力大大减小,使上位煤层由三向应力变为倾向两向应力状态,进而又发生破坏;但因为下部岩层

的支撑作用,应力状态相对要好,产生的位移量相比下位岩层要小,以此推进,直到发展到顶板上部煤体深部时,煤体相对位移发生趋于零,应力状态接近三向应力状态,能够承受较高的应力,进而保持稳定。

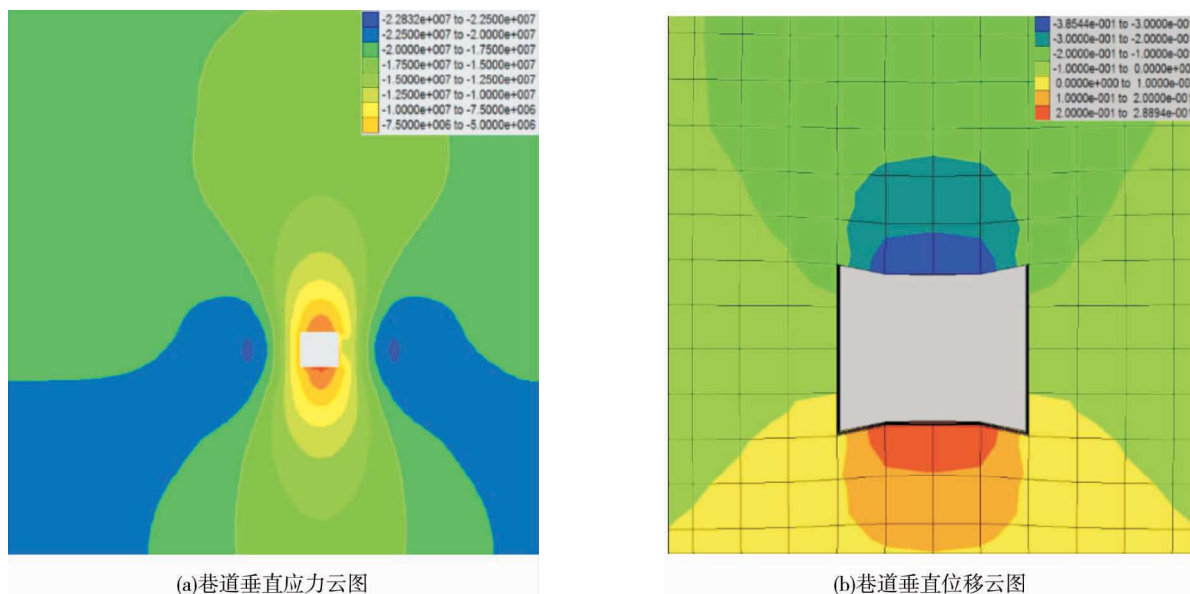


图5 巷道垂直变化

### 2.3 锚索失效分析

目前现用长度为 8 m, 直径为 15.24 mm 锚索延伸率较低, 在延伸量达到 231 mm 时即发生破断。按照赵固二矿原有的支护方案, 在 1105 回风巷道顶板利用传统的锚索-锚杆联合支护, 通过数值模拟(图 6) 可以看出, 顶板离层量达到 385 mm, 远远超过赵固二矿所用锚索的延伸量, 锚索发生破断, 造成支护失效。

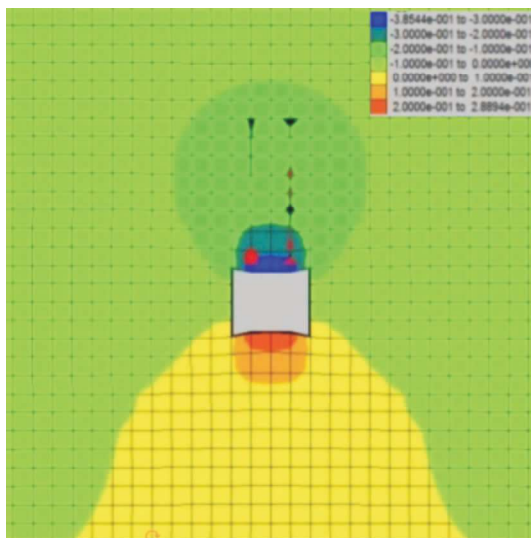


图6 锚索破断时巷道位移量

## 3 支护方案优化设计与应用

### 3.1 优化方案设计

为了克服锚杆-锚索支护在赵固二矿 1105 工作面回采巷道中所存在的缺陷, 通过采用 FLAC<sup>3D</sup> 数值模拟从控制巷道变形的角度对现有的支护方案进行优化设计, 提出了采用长-短锚杆联合支护的方案。

由长锚杆与围岩(煤)作用机理可知, 长锚杆特别适用于软岩大变形巷道的支护。针对赵固二矿大变形巷道区域, 进行有目的的现场工业性应用, 提出支护方案如图 7 所示。长-短锚杆搭配支护形式确定以后, 运用数值模拟对锚杆间排距进行参数优化。

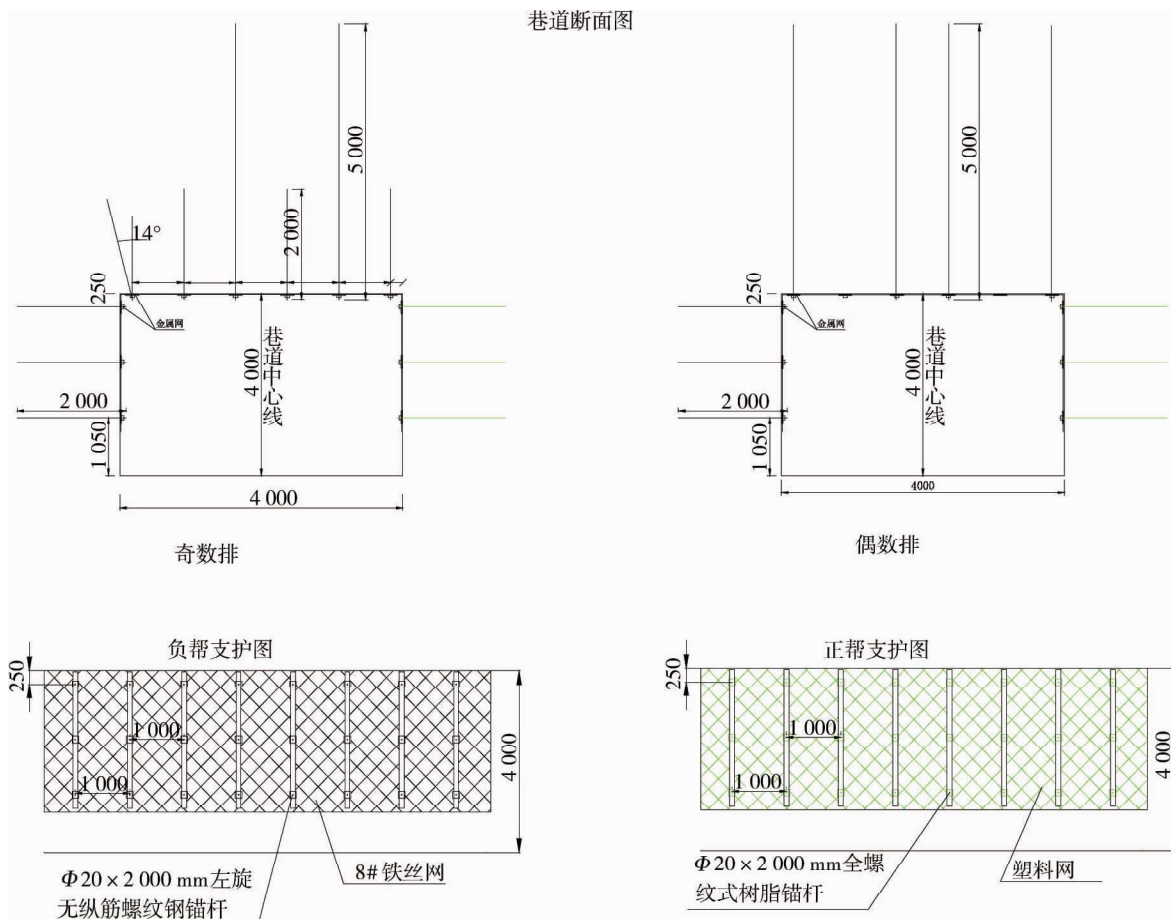


图 7 巷道支护方案

1) 当锚杆排距不变时,不同的间距对顶板离层量的影响的分析.从图 8a 看出,锚杆间距从 900 mm 增大到 1 000 mm 的过程中,巷道顶板离层量明显增大,顶板离层量增大了 26 mm;当锚杆间距从 900 mm 减小到 800 mm 时,顶板离层量减小了 8 mm.可见当锚杆间距从 900 mm 继续减小时,对巷道顶板离层的控制作用不明显,且巷道变形量在工程的要求范围之内.数值模拟优化结果表明将锚杆间距设为 900 mm 时合理.

2) 当锚杆间距不变时,不同的排距对顶板离层量的影响分析.如图 8b 所示,锚杆排距从 800 mm 增加到 1 000 mm 的过程中,顶板离层量增大了 49 mm;当锚杆排距从 1 000 mm 减小到 900 mm 时顶板离层幅度约为 13 mm.可见锚杆排距从 800 mm 增大到 900 mm 时支护效果差距十分明显,数值模拟优化结果表明将锚杆排距设为 800 mm 时合理.

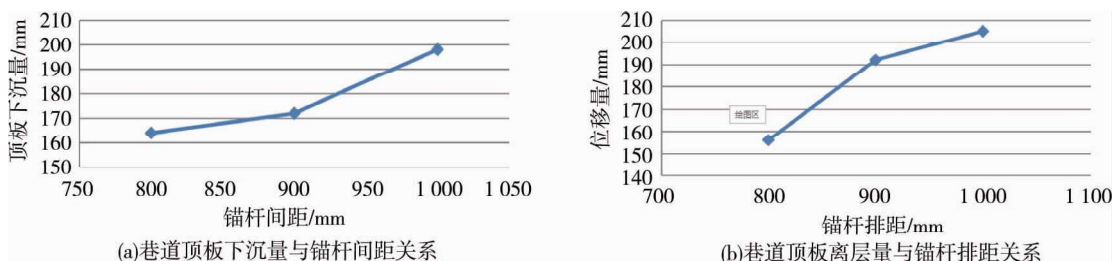


图 8 巷道顶板离层量与锚杆间排距之间关系曲线

### 3.2 现场工业性应用

根据赵固二矿的具体情况,选取 11030 回风巷道安装 30 m 长锚杆进行试验.通过测量计算出顶板和两帮的移近量,并利用数学分析方法算出测量值与期望值的差值.其中,测点 3,测点 4 和测点 5 布置为长-短锚杆支护,测点 1,测点 2,测点 6,测点 7 和测点 8 为传统的锚杆-锚索支护,测站布置如图 9 所示.数据

观测期间每2 d 测量1次,记录数据并计算出顶板离层量及两帮位移量,生成巷道位移变化曲线.

实测数据如图10所示,绘出不同测点的巷道两帮移近量及顶板离层量示意图.通过分析图10可以得出:

1) 赵固二矿高应力大断面巷道变形量较大,沿着靠近工作面的方向,顶板离层量和两帮移近量趋势上逐渐增大.

2) 在长-短锚杆的试验阶段以及靠近试验巷道的测点相比于非试验巷道的测点,顶板离层量和两帮移近量都明显减小,说明在赵固二矿回风巷道巷道支护中,长-短锚杆支护相比于传统的锚杆-锚索支护有着明显的优势,对顶板起到了更好的悬吊作用,提高了巷道的整体稳定性.

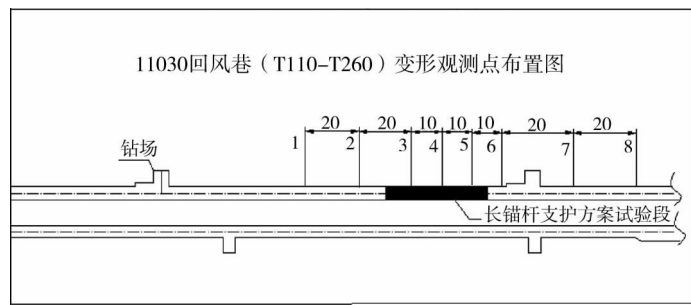


图9 位移观测布置

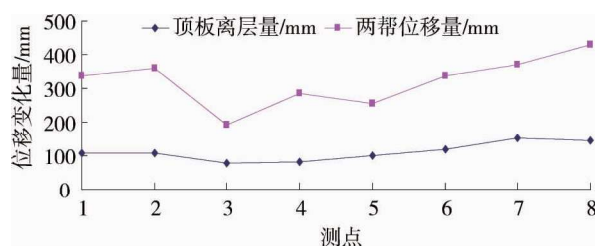


图10 巷道位移量

## 4 结论

1) 1105 回风巷道顶板离层量较大,达到 137 mm 且仍有上升的趋势,考虑到锚索的延伸率较低,可能出现锚索延伸量不够造成被拉断,影响支护效果.

2) 顶板离层量达到 385 mm,已超过赵固二矿所用锚索的延伸量,锚索发生破断,造成支护失效.

3) 长-短锚杆间搭配间隔布置,间排距为 900 mm×800 mm,其中第一排为长-短锚杆搭配支护,第二排为 4 根长锚杆支护.试验巷道的顶板下沉量和两帮移近量有了明显的减小,提高了巷道围岩的稳定性.

## 参考文献:

- [1] 徐龙仓,李军平.提高支护强度控制深部巷道围岩变形[J].矿山压力与顶板管理,2004(3):23-25.
- [2] 李夕兵,古德生.深井坚硬矿岩开采中高应力的灾害控制与碎裂诱变[C]//香山第175次科学会议.北京:中国环境科学出版社,2002:101-108.
- [3] 姜耀东,赵毅鑫,刘文岗,等.深部开采中巷道底鼓问题的研究[J].岩石力学与工程学报,2004,23(7):2398-2400.
- [4] 翟新献,李化敏.深井软岩巷道围岩变形特性的研究[J].煤,1995,4(4):24-25.
- [5] 马元,靖洪文,陈玉桦.动压巷道围岩破坏机理及支护的数值模拟[J].采矿与安全工程学报,2007,24(1):109-113.
- [6] 杨永刚,张海燕,解盘石.复杂围岩环境下大断面巷道支护系统研究与实践[J].采矿与安全工程学报,2009,26(3):109-113.
- [7] 张国锋,于世波,李国峰,等.巨厚煤层三软回采巷道恒阻让压互补支护研究[J].岩石力学与工程学报,2011,30(8):1619-1626.
- [8] 戴俊,郭相参.煤矿巷道锚杆支护的参数优化[J].岩土力学,2009,30(s1):140-143.
- [9] 马念杰,詹平,何广,等.顶板中软弱夹层对巷道稳定性影响研究[J].矿业工程研究,2009,24(4):1-4.
- [10] 康红普.煤巷锚杆支护成套技术研究与实践[J].中国矿业大学学报,2004,33(5):524-527.
- [11] 严红,何富连,张守宝,等.垮冒煤巷顶板模拟分析与支护研究[J].中国煤炭,2010,36(10):43-47.