

大断面开切眼中导硐超前开挖一次成巷技术

刘伟，惠兴田，马金龙

(西安科技大学 建筑与土木工程学院，陕西 西安 710054)

摘要：为解决大断面开切眼在开挖过程中的顶板下沉量大及底鼓严重问题，提出了一种适合大断面开切眼掘进的中导硐超前开挖一次成巷技术，采用 Midas/GTS 数值模拟研究了在中导硐超前开挖一次成巷与断面分区二次成巷 2 种开挖施工方式下，开切眼围岩变形特点及应力分布特征。研究结果表明：采用中导硐超前开挖技术，顶板下沉量减少 43 mm、底鼓量减少 110 mm，围岩塑性区较小，且巷道围岩受力也均匀，更有利于围岩稳定。在新窑矿 4502 开切眼采用此种开挖技术，矿压监测结果显示顶板下沉量为 98 mm、底鼓量为 172 mm，围岩变形在控制范围内，能维持巷道稳定。

关键词：大断面开切眼；超前开挖；一次成巷；数值模拟

中图分类号：TD353 文献标志码：A 文章编号：0253-2336(2012)09-0016-04

Simultaneous Drifting Gateway Technology of Medium Guide Hole Advanced Excavation for Large Cross Section Open - Off Cut

LIU Wei, HUI Xing-tian, MA Jin-long

(School of Architecture and Civil Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: In order to solve the high roof subsidence and serious floor heave problems occurred in the excavation process of the large cross section open-off cut, the simultaneous drifting gateway technology of medium guide hole advanced excavation for the large cross section open-off cut was proposed. A Midas/GTS numerical simulation was applied to study the surrounding rock deformation features and the stress distribution features of the open-off cut under the condition of simultaneous drifting gateway technology of medium guide hole advanced excavation and the secondary drifting gateway with the cross section slicing. The study results showed that with the simultaneous drifting gateway technology of medium guide hole advanced excavation, the roof subsidence value was reduced by 43 mm, the floor heave value was reduced by 110 mm, the plasticity zone of the surrounding rock was small, the gateway stress were even and would be favorable to the stability of the surrounding rock. The simultaneous drifting gateway technology of medium guide hole advanced excavation was applied to the construction of the open-off cut for No. 4502 coal mining face in Xinyao Mine. The monitoring and measuring results of the mine strata pressure showed that the roof subsidence value was 98 mm, the floor heave value was 172 mm, the surrounding rock deformation were within the control range and the stability of the gateway could be maintained.

Key words: large cross section open-off cut; advanced excavation; simultaneous drifting gateway; numerical simulation

大断面开切眼施工工艺一直是煤矿开采的重要技术，所选择的施工工艺不同，对顶板形成的扰动也不相同，导致围岩应力分布特征、变形特征均有很大区别^[1-3]。随着开切眼断面的增大带来支护难、易冒顶等问题。新窑矿 5 号煤层厚 12.4 m 左右，具有斜交垂直节理，且外生裂隙或节理被石英

脉填充，性脆易碎，易离层。4502 工作面开切眼跨度 6.6 m，高度为 2.8 m，完全处于煤层中。顶板极其破碎，采用断面分区二次成巷掘进时，巷道顶板下沉很大，挖底量超过 700 mm，并多次发生冒顶事故，严重影响工作面安全生产，传统的二次成巷已不能保证安全生产，而通过采用中导硐超前

收稿日期：2012-05-11；责任编辑：曾康生

作者简介：刘伟（1988—），男，湖北荆州人，硕士研究生。Tel: 13629267883, E-mail: liuweixia889@126.com

网络出版时间：2012-09-17 10:33:18；网络出版地址：http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20120917.1033.201209.16_005.html

引用格式：刘伟，惠兴田，马金龙. 大断面开切眼中导硐超前开挖一次成巷技术 [J]. 煤炭科学技术，2012, 40 (9): 16-19.

开挖成功解决了这一问题。中导硐超前开挖是指先在开切眼中部，沿开切眼高度开挖一个导硐，掘进时保持导硐超前一定距离。

施工工艺为：中间导硐掘进→导硐顶板支护→回撤综掘机→左帮扩大→左侧顶板支护→左扩帮部支护→右帮扩大→右侧顶板支护→右侧帮部支护，以此循环掘进。中导硐超前开挖可以保证一定的超前距离，在扩帮时，超前导硐的顶板围岩能先释放一定的应力，实现围岩—支护共同承载，改善支护效果。而二次扩巷要前后经历2次应力重分布，并会产生应力集中，先开挖的一侧受扰动影响较大，两帮受力也不均匀，支护难度大^[4~5]。在工艺上断面区分二次开挖需要支护3次巷帮，耗时耗料。而中导硐超前开挖能一次成巷，且只需支护两帮，大幅缩短了掘巷时间。

1 大断面开切眼开挖数值模拟

笔者采用 Madis/GTS 数值软件模拟巷道在2种不同施工工况下巷道围岩变形及应力分布特征。

1.1 数值模型的建立

新窑矿4502工作面开切眼的净断面为6.6 m×2.8 m，模型尺寸应为净断面的3~5倍，为了模型本身计算方便，根据现场实际情况，建立了宽×高为60 m×30 m的模型。网格的划分根据其重要性及影响程度而定，从开切眼向四周发散，边界处网格尺寸最大。

开切眼单元网格尺寸为0.2 m×0.2 m，发散到模型边缘，网格尺寸可为1 m×1 m。其中锚杆采用植入式桁架单元模拟，煤层及岩石使用平面应变单元。上部边界载荷按埋深450 m计算上部围岩应力，即将上方围岩重力完全转化为外力均布载荷加载到模型顶部。模型底部垂直方向固定，两边水平方向固定。

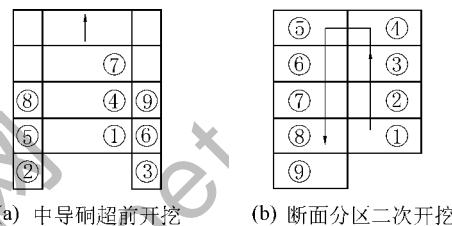
按表1中煤层和岩石的力学参数对模型进行赋值，模型计算采用莫尔—库仑屈服准则对2种工艺进行施工阶段的对比分析。

数值模拟2种方案的情况：①方案Ⅰ，中导硐超前开挖施工顺序如图1a所示，中导硐始终超前后面扩大部分2.8~4.2 m，导硐宽度4.0 m，两帮各扩大1.3 m。先开挖中导硐后，中导硐和扩大部分每次掘进1.4 m。②方案Ⅱ，断面分区二次开挖施工顺序如图1b所示，先沿一侧开挖3.3 m，再

沿回采方向扩至6.6 m。

表1 主要煤岩层力学参数

岩层	容重/ (MN·m ⁻³)	泊松比	弹性模量/GPa	黏聚力/MPa	内摩擦角/(°)
细砂岩	2.1	0.29	4.3	1.5	38
砂质泥岩	1.9	0.31	3.2	1.2	32
煤层	1.3	0.30	1.6	0.8	30
泥岩	1.8	0.31	1.4	1.0	29
砂岩	2.2	0.27	14.0	3.0	46



(a) 中导硐超前开挖 (b) 断面分区二次开挖

①~⑨为施工顺序

图1 2种方案施工顺序

建立模型对2种施工方案进行模拟研究，探讨2种方案在相同支护条件下的开切眼顶底板移近量、两帮移近量、塑性区分布特点，分析比较2种方案的优缺点。

1.2 围岩变形情况分析

图2为2种方案的顶底板和两帮移近量曲线。从图2a可看出，方案Ⅰ与方案Ⅱ相比，中导硐超前开挖时，顶底板最大移近量为300 mm，其中底鼓量占2/3左右，为200 mm；断面分区二次扩巷的顶底板最大移近量为463 mm，底鼓量最大可达310 mm，而且有明显的偏压，对巷道稳定极为不利。从图2b可以看出，方案Ⅰ的两帮移近量最大值为216 mm，而方案Ⅱ却达到308 mm。

断面分区扩巷掘进巷道顶底板和两帮变形量都明显大于中导硐超前开挖。而在掘进过程中，开切眼顶底板及两帮的稳定性至关重要，相比之下中导硐开挖具有明显优势，能更好地控制围岩变形。

1.3 围岩塑性区情况分析

图3为2种方案的围岩塑性区对比。可以看出，采用中导硐超前开挖时围岩塑性区较断面分区二次扩巷要小，而且比较对称，但断面分区呈明显的偏移趋势，先开挖的一侧塑性区比较大，说明二次扩巷技术导致应力集中，巷道围岩受力不均匀，不利于巷道的支护。

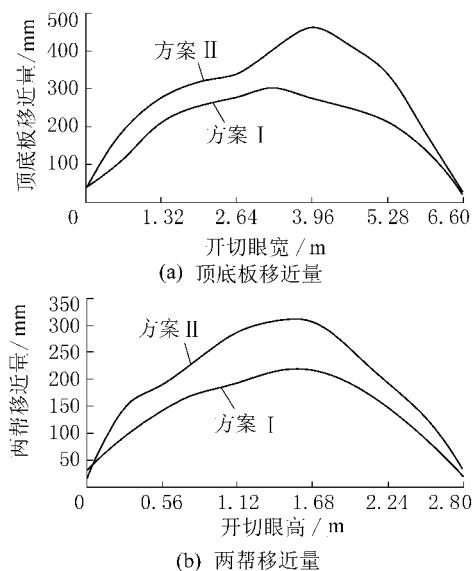


图2 2种方案围岩移近量

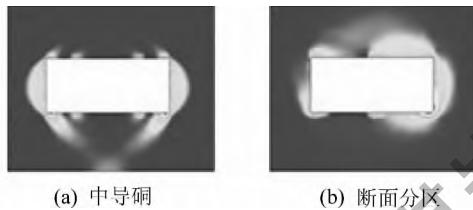


图3 2种方案围岩塑性区分布

2 工程实例

2.1 开切眼支护方案

新窑矿开切眼开挖采用中导硐超前开挖技术，导硐宽度4.0 m，然后两帮各扩1.3 m，最终达到6.6 m宽的开切眼宽度。开切眼支护采用锚杆、锚索及单体支柱临时支护，开切眼整体支护如图4所示。

1) 顶板支护。顶板支护采用长短锚索加锚杆共同支护，长锚索为控顶锚索，短锚索和锚杆为基本支护。全部挂金属菱形网，且导硐顶板支护需配套T100-3800型钢带，锚杆(索)间距均为712 mm，排距为700 mm。施工时保证锚杆预紧力不低于50 kN，锚索预紧力不低于150 kN。

2) 帮部支护。帮部支护均采用φ20-L2000左旋螺纹钢锚杆，配套使用梯子梁和金属菱形网，锚杆间排距均为700 mm。

3) 临时加强支护。开切眼后部采用单体支柱、木垛联合加固，单体支柱双排布置，临时单体支柱间距4.0 m，排距0.7 m，打设到导硐面。滞

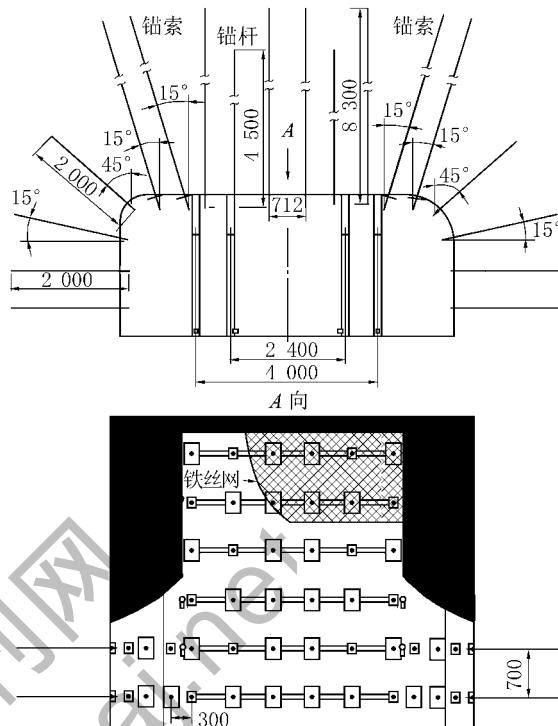


图4 开切眼整体支护

后单体支柱间距2.4 m，排距0.7 m，距离巷帮2.1 m，滞后导硐10 m。木垛布置在单体支柱与巷帮间，采用油松枕木架设，每隔10 m在巷道两侧各架设1组，木垛架设不得超过导硐20 m。

2.2 矿压监测结果分析

新窑矿4502开切眼矿压监测主要内容包括巷道表面变形、顶板离层和锚杆受力。表面变形能反映巷道表面变形情况及巷道断面缩小程度，可判断围岩的运动是否超过其安全最大允许值，是否影响巷道的正常使用；顶板离层能判断顶板锚固区内、外围岩的离层情况以及锚杆支护参数的合理性；锚杆受力其大小可判断锚杆的工作状态及其参数是否合理^[6-10]。图5为开切眼表面位移观测曲线。

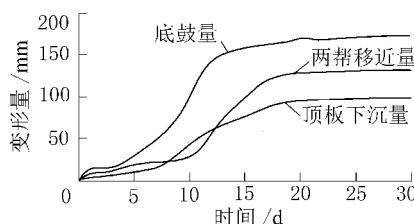


图5 巷道表面变形

图5曲线表明开切眼表面变形可以分为3个阶段，即掘进初期、掘进影响期、掘进稳定期。掘进

初期为1~6 d, 巷道表面变形相对比较小, 变形呈缓慢增长趋势, 底鼓量20 mm, 顶板下沉量10 mm, 两帮移近量16 mm, 属于相对稳定时期; 掘进影响期, 巷道变形呈稳定增长, 在15 d内底鼓量增长至164 mm, 顶板下沉量增至95 mm, 两帮移近量为129 mm; 经过影响期之后巷道变形趋于稳定, 基本没有变化。由于采用中导硐超前开挖工艺以及配套的锚网索联合支护, 巷道表面变形得以控制, 使得巷道最大底鼓量为172 mm, 顶板最大下沉量98 mm, 两帮最大移近量为132 mm。较以前使用断面分区二次成巷技术, 巷道围岩稳定性已得到很好的控制, 图6为顶板离层监测曲线。

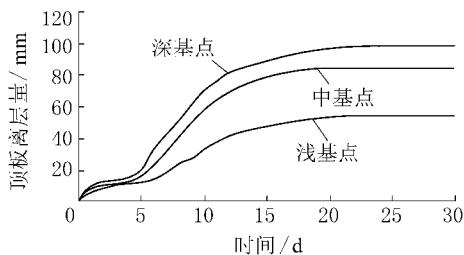


图6 顶板离层监测

从图6可以看出顶板离层曲线也可以分为3段, 而且与图5曲线相对应, 在掘进影响期顶板离层比较明显。数据显示顶板深基点的离层值为99.1 mm, 正好与顶板表面下沉量吻合, 而深基点的深度为8.0 m, 说明深基点已经深入到稳定岩层, 由此佐证8.3 m的控顶锚索已经锚固在稳定岩层内, 进一步说明了支护的合理性, 图7为锚杆工作载荷曲线。

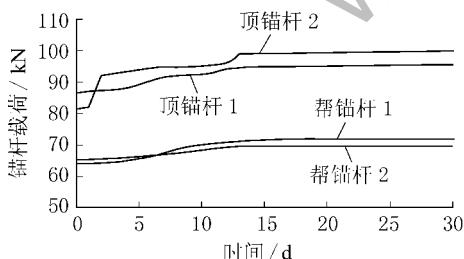


图7 锚杆工作载荷

监测的2组锚杆都是对称布置的, 顶锚杆1、2分别在巷道中线左右1 m处, 帮锚杆1、2分别在两巷帮中线位置。从图7可以看出巷道对称位置的锚索受力相差不大, 说明了中导硐开挖确实能使巷道围岩应力分布均匀。顶锚杆初锚力明显高于帮锚杆, 初锚力大小都符合要求, 此外在顶板锚杆中

初锚力较小的锚杆, 受巷道掘进影响较大。锚杆锚固力大, 初锚力高的锚杆, 基本不受巷道掘进影响, 锚杆锚固力一直维持在一个相对平稳的状态。锚杆的正常锚固力一般为80~90 kN, 而顶锚杆锚固力偏大, 说明锚杆充分发挥了它的作用, 在保持了巷道顶板稳定方面起到了重要作用。

3 结 论

- 1) 采用Midas/GTS数值模拟比较中导硐超前开挖和断面分区二次成巷的开切眼施工方案, 结果表明中导硐超前开挖能更有效地减小巷道表面变形及缩小塑性区范围, 有效地控制巷道顶板稳定性, 更有利于开切眼的维护。
- 2) 中导硐超前开挖时, 巷道表面变形可以分为3个阶段, 其中掘进影响期对围岩影响最大, 影响范围在50~70 m, 超过这个距离后巷道变形趋于稳定。
- 3) 矿压监测数据表明使用中导硐超前开挖技术, 对松软、破碎的顶板也能起到良好的支护效果, 有效地控制巷道变形, 维持巷道围岩稳定性。

参考文献:

- [1] 陈炎光, 陆士良. 中国煤矿巷道围岩控制 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1994.
- [2] 薛道成. 大断面开切眼二次成巷矿压规律分析 [J]. 煤矿开采, 2002, 7 (2): 46~48.
- [3] 阎甲广, 张农, 李桂臣, 等. 深井大跨度开切眼施工方式研究 [J]. 采矿与安全工程学报, 2009, 26 (2): 163~167.
- [4] 刘化全. 综采开切眼大断面施工一次成巷 [J]. 煤炭技术, 2009 (4): 83~85.
- [5] 常全林, 高鲁. 综采开切眼一次成巷与二次成巷的三维数值模拟分析 [J]. 山西煤炭, 2009 (3): 14~16.
- [6] 吴添泉. 大跨度开切眼锚网索支护研究 [J]. 岩土力学, 2004, 25 (S1): 141~143.
- [7] 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.
- [8] 张玉国, 谢康和, 何富连, 等. 锚网索支护软煤综放面开切眼围岩稳定性研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23 (19): 3298~3304.
- [9] 刘文岗, 牛铁奇. 高强组合锚杆锚索补强支护技术在综放工作面开切眼支护控制中的应用 [J]. 中国矿业, 2005, 14 (8): 62~65.
- [10] 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): 2100~2105.