DOI:10.13532/j.cnki.cn11-3677/td.2010.04.031
第 15卷 第 4期 (总第 95期)
2010年 8月
煤 矿 开 采
Coal mining Technology
Vol. 15 No. 4 (Series No. 95)
August 2010

无人工巷旁充填沿空留巷支护技术与工艺研究

马念杰[1], 白忠胜[1,2]
(1. 中国矿业大学 (北京) 资源与环境工程学院, 北京 100083; 2. 冀中能源股份有限公司, 河北 邢台 054000)

[摘 要] 利用矿山压力基础理论、锚杆支护设计理论方法, 综合目前高地压支护围岩松动圈理论, 根据相近地段采样的标本进行数值模拟计算, 比照沿空掘巷的支护方案, 结合回采巷道维修时被动支护方案的比较分析, 融合巷道岩层深部的岩体力学特性, 选择合理的巷道围岩控制方法及锚梁网支护技术参数、单体液压支柱配合十字铰接顶梁, 回采期间还预埋注浆锚杆并采用迈步垛式支架控制顶板急速下沉, 形成网矸墙。通过现场矿压观测, 修正了支护参数, 找到了解决邢台矿区沿空留巷支护的方法, 使所留巷道的支护经济、稳定、可靠。减少顶板事故, 降低维修费用和维护时间, 达到安全高效的目的。

[关键词] 无人工巷旁充填; 沿空留巷; 预埋锚杆; 网矸墙
[中图分类号] TD353 [文献标识码] A [文章编号] 1006-6225 (2010) 04-0051-06

Research on Supporting Technology and Technics of Retaining Roadway along Gob with Stowing One Side

MA Nian-jie[1], BAI Zhong-sheng[1,2]
(1. Resources & Environment Engineering School, China University of Mining & Technology (Beijing), Beijing 100083, China;
2. Jizhong Energy Co., Ltd, Xingtai 054000, China)

Abstract: This paper applied numerical simulation to calculating different supporting methods on the basis of basic underground pressure theory, anchored bolt supporting method and loose circle theory. By comparing retaining roadway along gob with driving roadway along gob, it found a solution for supporting roadway retained along gob by selecting rational surrounding rock control method and supporting parameters of anchored beam mesh, single hydraulic prop with "+" articulated roof beam and controlling roof fast subsidence. Supporting parameters were amended after on-the-spot observation and this made roadway supporting economical, stable and reliable.

Key words: stowing one side of roadway; retaining roadway along gob; pre-buried anchored bolt; mesh-refuse wall

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

沿空留巷是在上区段工作面采过后, 将运输巷保留下来作为区段工作面开采时的回风巷。这种方式又称为"巷道二次利用"、"一巷两用"、"单巷开采系统"等。沿空留巷技术是煤矿开采及回采巷道支护技术的一项重大改革, 对提高煤炭资源采出率、降低巷道掘进率、缓解采掘紧张关系和实现矿井集约化生产有显著效果。采区中的各类巷道产生严重变形和破坏的主要原因是受采动压力的影响, 所以减轻巷道受压变形和破坏的原则性措施, 一是在空间上使巷道位置躲开支承压力强烈作用区; 二是在时间上避开支承压力剧烈影响区。

1 沿空留巷应力分布分析

(1) 沿空留巷对基本顶进行强制切顶时, 应尽量选取工作阻力较大的支架支撑。支撑阻力较小时, 工作面基本顶可能会在煤壁处断裂, 达不到切顶的效果; 当支撑阻力足够大时, 才能确保工作面基本顶沿支撑点断裂, 实现强制切顶的目的。

(2) 切顶支架在保证工作阻力足够的前提下, 还应考虑其随基本顶变形的协调一致。若支架不能随基本顶岩层下沉进行变形调节, 将会导致所承基本顶压力的急剧增大, 最终导致支架被压坏。

(3) 沿空巷道的煤帮一侧相对稳定, 其支护较为简单; 而采空区一侧的压力情况相对复杂, 需加强对支护设计的研究。

(4) 采空区一侧巷帮的侧向压力主要表现为矸石体的散体压力, 最大为 47.2 kPa。支护设计时, 要确保支护结构的工作阻力大于此值, 以防止支护结构被推动后发生横向位移, 从而引起墙后土体发生滑动, 引发上覆岩层的新一轮运动和应力调整, 使稳定后的顶板岩层失稳。

2 沿空留巷技术研究

巷道在工作面回采过程中, 要经历强烈的采动

[收稿日期] 2010-05-10
[作者简介] 马念杰 (1959-), 男, 辽宁铁岭人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为矿山压力及控制。

影响。大量的理论研究和生产实践表明，提高巷道围岩的自身强度，并正确选择合理的支护方式，是保证回采巷道稳定、达到使用要求，确保回采生产安全的基本条件。特别是在沿空留巷的实践中，预留巷道要经历 2次采动影响，巷道能否保证留得住、确保使用安全就成为沿空留巷技术能否实现的基础和前提。当前巷道支护发展最为成熟和应用最为广泛的主要有锚杆支护和锚杆与锚索联合加强支护 2种支护形式。

2.1 确定支护参数

锚杆支护时，应根据周边岩体极限平衡区的深度预测值及相应的围岩类别，确定巷道支护形式，继而进行支护参数设计。在围岩变形较大巷道，尤其是采用沿空留巷、沿空掘巷的无煤柱护巷巷道中，通常采用锚网（索）+钢带的巷道支护形式。

锚带网支护由锚杆、钢带及金属网组成。锚杆将松动的岩层悬挂到坚硬的岩层上，防止松动的岩块冒落；钢带作为锚杆的联系构件，可以防止锚杆间的岩石离层、垮落，从而提高锚固层的整体性；金属网用来维护锚杆间的围岩，防止小块松散岩石掉落。

当锚杆支护已无法使巷道顶板处于稳定状态时，这时应考虑加锚索进行加强支护。锚索的作用是通过锚固在深部坚硬岩层上的强力锚索将下部有滑落移动趋势的潜在危岩、锚网支护体吊起，从而避免潜在危岩垮落。

2.2 沿空留巷特种组合支护

选择适宜的巷旁支护，可以对直接顶离层和底鼓进行有效地控制，减轻巷内支架的负担，减少顶底板移近量，避免巷内支架严重变形和破坏，增强预保留巷道的稳定性，使巷道达到 2次使用的目的，从而减少掘进工程量、改善采掘接替紧张关系、提高煤炭采出率。国内常见的留巷支护方式主要有矸石带支护、木垛支护、密集支护和高水材料充填体支护 4种。结合相关留巷的经验，确定邢台矿区沿空留巷采用“单体强制切顶”、“锚索、锚网和单体配铰接顶梁相结合主动支护”、“π型钢背裱半圆木、锚压金属经纬网阻隔冒落矸石形成‘网—矸石’墙、无人工巷旁充填”的沿空留巷方式。从技术经济角度和安全性分析，该留巷方式成本较低，工序少、对工作面影响比较小，操作灵活、效率高、工作安全，特别适合中厚煤层。

根据工作面顶板岩层活动规律对沿空巷道的作用与影响分析，结合工作面回采后留巷巷道周边围岩的运动变化规律，在工作面推进后，对留巷巷道进行了特种组合支架的加强支护设计，以使巷道的应力调整和变形发展与设计要求相适，达到实现无人工巷旁充填沿空留巷的目的。

2.2.1 强制切顶支架设计

通常情况下，凡直接顶能及时垮落，并使上覆岩层获得支承和平衡，这种顶板在回采影响期间的附加变形量（顶板下沉）约为煤层采厚的 10%，一般不超过采厚的 20%。但是，对于直接顶过薄或直接顶为坚硬不易及时垮落的岩层，由于回采过程中不能形成平衡的裂缝带，导致顶板大面积悬露，常常引起工作面前方煤体内应力急剧增加和顶板下沉量的增大，其附加变形量甚至能达到煤层采厚的 40%以上。在这种情况下，设置强力的切顶支架是减少巷道顶板下沉、减小工作面前方应力和控制难冒落顶板的主要措施。

强制切顶支架设计由一组设置在巷道采空区侧边缘、沿巷道走向方向的 π型钢与相邻的单体液压支柱组合完成。其设置为：π型钢和单体顶端通过十字顶梁连接构成切顶支点（并在巷道走向方向连接构成切顶线），底端通过自行设计的特制铁鞋连接在一起，以避免支架受压钻底，并以此增阻摩擦、平衡采空区侧冒落矸石的侧压力。切顶组合支架设置如图 1所示。

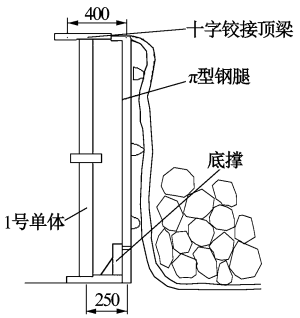

图 1　强制切顶组合支护结构

2.2.2 巷道两帮加固

由邢台矿区的的经验可知，当工作面回采过程中，巷道两帮移近较为剧烈，不仅影响了巷道的使用净宽，还导致了巷帮侧向压力增加，不利于巷旁支护和两帮的稳定。因此，必须对预留巷道进行两帮的加固。

两帮加固方式为补打帮锚索、采空区帮与顶板结合处补打顶锚杆加固经纬网。加固时，在煤帮距顶板 1.2 m处打 1排锚索梁，其锚索角度向顶板倾斜 15°，间距 1.5 m，并设置使其与采空区帮 π型钢支架背不少于 3根的半圆木，半圆木规格为 φ180 mm，长 1400 mm，在顶板靠近采空帮一侧补

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

打 2排顶锚杆，其中一排紧贴转角处 π 型钢支架上方并向采空区倾斜 15°，另一排距此排偏向煤帮方向 400mm处，垂直向上锚固；锚杆间距 600mm，规格为 φ22mm×2200mm螺纹钢锚杆。

2.3 确定支护方案

（1）根据沿空留巷围岩的工程特性，结合极限平衡区深入围岩中的深度 R′，提出了适合沿空留巷围岩的分类方法。极限平衡区深入岩体中的深度 R′按下式计算：

$$R' = R - r_0$$

$$R = r_0\left[\frac{(k_1\gamma H + k_2 C\cot\varphi)(1-\sin\varphi)}{P_i + k_2 C\cot\varphi}\right]^{\frac{1-\sin\varphi}{2\sin\varphi}}$$

根据确定后的围岩类别进行相关的支护形式与支护参数设计。

（2）确定邢台矿区沿空留巷采用“单体强制切顶”、“锚索、锚网和单体配铰接顶梁相结合主动支护”、“π 型钢背裱半圆木、锚压金属经纬网阻隔冒落矸石形成‘网—矸石’墙、无人工巷旁充填”的沿空留巷方式。

（3）设计出强制切顶组合，即：π 型钢和单体顶端通过十字顶梁连接构成切顶支点，并沿巷道走向构成切顶线，底端通过自行设计的特制铁鞋连接在一起，以避免支架受压钻地，并以此增阻摩擦、平衡采空区侧冒落矸石的侧压力。

3 沿空留巷案例分析

3.1 葛泉矿 1528工作面概况

葛泉矿 1528工作面北侧为 DF5—9断层，西侧为 1526设计工作面，东侧为 F502断层，南侧为 1527工作面。工作面煤层标高在 −190～−60m，对应的地面标高为 110～138m，地面主要以农田为主。沿空留巷预留巷道为位于葛泉矿 2号煤南翼七采区 1528工作面的运输巷，工程量 500m，巷道规格为 3.6m×2.8m（宽×高）。1528工作面开采 2号煤层，最薄处 2.2m，最厚处达 2.6m，平均厚度 2.35m，煤层倾角 0～25°，平均倾角 15°。直接顶为泥质粉砂岩，基本顶为细砂岩，属于中等稳定围岩，直接顶为 3类顶板。

3.2 沿空留巷矿压分析

为了准确掌握留巷巷道在上区段工作面回采后的应力形变情况，回采中对留巷巷道进行了巷道变形量、顶板离层值、单体的活柱下缩量及工作阻力等项目的监测，并对留巷支护方案改进后的简易支架及摩擦支柱活柱下缩量进行了矿压观测工作。

3.2.1 初次采动巷道变形观测

取 5号测点作全变形典型曲线，该测点超前 56m始测，至工作面推过后 241m后停止监测，因而能较好地描述整个回采影响下的巷道变形全过程，如图 2、图 3。

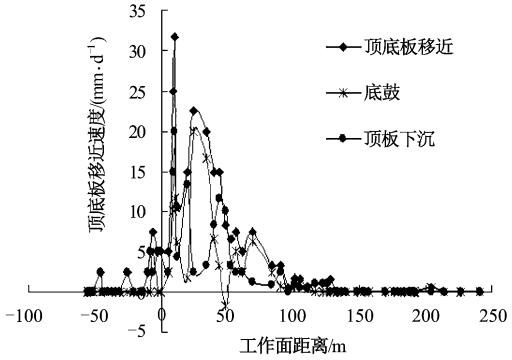

图 2　顶底板移近速度与工作面距离关系

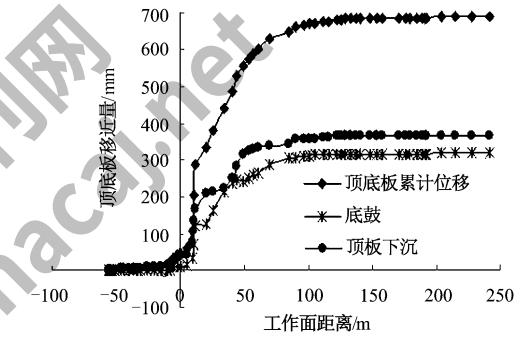

图 3　顶底板累计移近与工作面距离关系

底顶移近速度峰值出现在工作面后方约 10m处，约为 32mm/d，此时，顶板下沉速度也达到峰值，约 20mm/d。底鼓峰值则出现在工作面后方约 25m处，约 20mm/d。可知，工作面回采后，顶板岩层的运动要比底板岩层剧烈；从累计位移看，顶板的总下沉量要大于总底鼓量。

两帮移近速度峰值出现在工作面后方约 10m处，约 30mm/d，此时，右帮（采空区一侧）位移速度也达到峰值，约 26.7mm/d。左帮移近速度峰值则出现在工作面前方 8m处，约 20mm/d。可知两帮移近在工作面前方，主要表现为煤体一侧的外鼓，在工作面后方主要表现为采空区一侧的外鼓；从累计位移看，采空区侧的总位移要大于煤体侧的总位移。

3.2.2 顶板离层观测

沿空留巷巷道顶板离层，在运输巷超前工作面设站 4组，每组 2套离层仪，分别设在垂巷断面内靠近实体煤帮和采空帮各设 1套。每套 4个基点，分别是 15m，10m，6m和 3m。根据不同基点的刻

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

度来判断出顶板离层位置及离层值。典型曲线如图 4、图 5所示。工作面超前测点 20m时始测，靠近煤帮侧（左侧）工作面推过 47m后停止监测，靠近采空区侧（右侧）在测点破坏时停测（工作面推过 6m即破坏），曲线能较好地描述巷道 2种不同位置处的顶板离层情况。

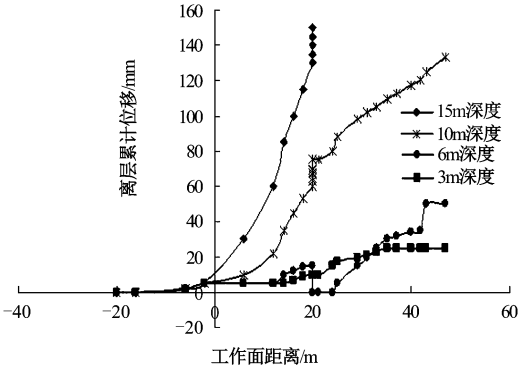

图 4　顶板（煤帮一侧）累计离层量

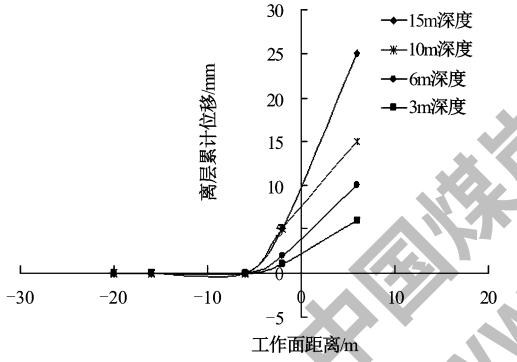

图 5　顶板（采空区侧）离层累计量

巷道每个测点共安装左、右两组监测仪，左侧靠近煤体，右侧靠近采空区。监测结果表明：

（1）不同位置的顶板离层规律　总的说来，无论是速度还是累计离层值，靠近煤体侧的顶板都会较靠近采空区侧的小，顶板相对稳定，这与顶板下沉的规律是一致的。分析其原因，主要是由于煤体对顶板的支撑作用。

（2）离层速度、累计离层量随工作面推进变化规律　在工作面前方约 6m以远地区，巷道顶板基本未出现离层现象，说明此时顶板相对稳定，下沉不剧烈；从工作面前方约 6m处开始，离层现象出现，离层速度迅速增加，近煤帮测点在工作面后方 15m处出现峰值，最大达到 25mm/d，近采空区侧测点速度呈线性增长，在工作面推过 6m后测点即发生破坏，在此阶段，累计离层值也迅速增大；工作面后方 20m开始，顶板进入稳定离层变化阶段，累计离层位移稳定增加（在此阶段，右侧测点和左侧 15m测点均因离层值超过量程而未能再测，故曲线只能揭示左侧 10m、6m和 3m深度离层发展情况）。

（3）顶板不同深度的离层规律　为了监测不同深度的顶板活动情况，每组仪器设置了 15m、10m、6m、3m深度的测点。从各测点的离层速度和累计离层情况看，总的规律表现为：$V_{15} > V_{10} > V_6 > V_3$，$S_{15} > S_{10} > S_6 > S_3$。式中，V为离层速度；S为累计离层值。

巷道左侧（靠近煤帮侧），顶板在 15m处离层强烈，在工作面推过 20m后，离层值超过量程导致测点损坏；其余 3个测点离层现象明显，其中 10m处离层累计值较大，离层现象持续时间长（到监测结束尚未收敛）；6m和 3m处顶板的离层运动相对平缓，累计离层值相对较小，并在工作面后方约 40m处收敛。巷道右侧（靠近采空区侧），离层速度和累计离层位移都呈线性发展，速度和累计离层值均随着测点深度的增加而增大。

由此可知，直接顶板的离层运动通常随着测点深度的增加而增大。

3.2.3　沿空留巷二次采动影响

取其中一测点的监测结果作全变形典型曲线，测点预先设置，至工作面推过后停止监测，因而能较好地描述整个回采影响下的巷道形变全过程，如图 6、图 7所示。

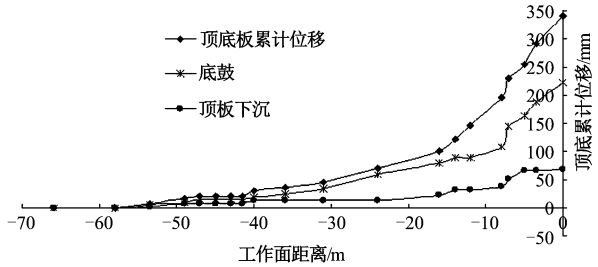

图 6　顶底板累计位移与工作面距离关系

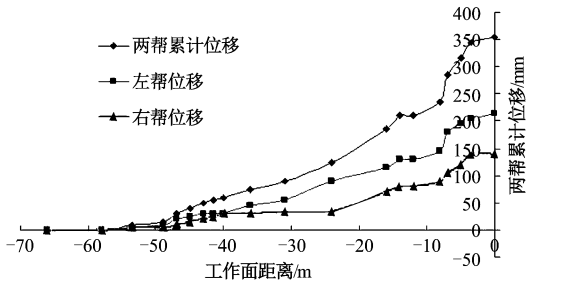

图 7　两帮累计位移与工作面距离关系

监测结果显示，留巷巷道在本工作面的采动影响下，具有以下典型特征：

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

（1）巷道变形的基本特征　总的说来，随着工作面的推进，巷道变形变化比较剧烈，顶底和两帮移近速度、累计移近位移均增长迅速，表现出本工作面回采时留巷巷道较为剧烈的矿压显现。从移近结果看，顶底和两帮的最终移近相差不大，两帮移近要略大于顶底移近（两帮累计位移 355 mm，顶底累计位移 341 mm）。这是由于“本工作面回采时巷道的压力主要是由巷旁煤柱支承压力重叠引起，而非上部岩层急剧沉降导致”的结果。

（2）顶底板移近随工作面推进变化规律　根据顶底移近曲线，可将巷道顶底板运动分为 4个带：无影响带、运动始发带、急剧运动带和采空冒落带。巷道顶底板运动在工作面前方约 58 m以远地区受采动影响较小，顶底岩层稳定、基本无位移为无影响带；58 m至 41 m距离内，顶底开始出现移近现象，但此时变形速度较小（小于 3 mm/d），累计移近量仅占总移近量的 1%，为运动始发带；从 41 m开始，变形速度急剧增大，在工作面附近，顶底移近速度达到峰值（约为 50 mm/d），累计移近迅速增加，移近量占总移近量的 94%以上，为急剧运动带；工作面推过后，巷道支架回撤，采空区直接顶岩层迅速垮落，为采空冒落带。

分析顶底移近构成，可知顶底移近主要表现为底鼓，底鼓的速度和累计位移均大于顶板下沉，其中底鼓量约占总移近量的 65%，。这说明在本工作面回采过程中，留巷巷道的主要压力不是顶板下沉引起，而是由于巷旁支承体引起的。

（3）两帮移近随工作面推进变化规律　巷道两帮在工作面前方约 54 m以远地区受采动影响不明显，基本无位移；54 m至 47 m距离内，开始出现移近现象，但此时变形速度较小（小于 3.5 mm/d），累计移近量约占总移近量的 8.5%；从 47 m开始至工作面，变形速度急剧增大；在工作面前方约 7 m处，移近速度达到峰值（约为 50 mm/d），累计移近迅速增加，移近量占总移近量的 91.5%以上。

分析移近位移构成，两帮移近中主要以煤帮外鼓为主，煤帮外鼓的速度和累计位移均大于采空区侧外鼓。其中煤帮外鼓约占总移近量的 61%，采空区外鼓约占移近量的 39%。分析原因，主要是由于采空区侧压实后的冒落矸石强度要大于破碎的煤体强度，且留巷时在采空区侧进行了较大强度的护帮支护，因而外鼓现象要远远小于煤帮。

通过 1528工作面的实际资料计算得到，用于强制切顶的最大支撑力为 1500 kN，最小支撑力为 775 kN，用于强制切顶的单体液压支架最大压缩量为 45 mm。1528工作面沿空留巷基本顶断裂点发生在巷道外侧，基本顶不会在巷道煤壁帮断裂。当基本顶沿支撑点发生断裂后，基本顶断裂后巷道端所需纵向支撑力 300 kN，横向支撑力为 85 kN，基本顶最大悬顶长度为 6.0 m。

工作面采动时，巷道表现许多与上工作面回采时不一样的矿压显现和变形规律，正确认识这些规律的不同，分析其产生的原因，对于在不同工作阶段采取有针对性的措施，提高工作效率和确保安全，有着极其重要的意义。

1528工作面回采后的观察结果表明，组合支护的应用使留巷巷道的应力形变得到了更好地控制，上工作面回采后留巷巷道稳定，达到了预期的设计目标，并大大减少了支护结构的损坏，因而具有良好的经济和社会效益。

4　结论

在总结和分析前人研究成果的基础上，以葛泉矿 1528运输巷不同时段巷道围岩变形规律的现场实测和分析为依托，通过理论分析、现场实测和专用支护结构的设计加工等多种方法和手段，对特种组合支护切顶护帮无人工巷旁充填沿空留巷技术进行了深入系统的全面研究，取得了以下几方面的研究成果：

（1）以极限平衡区深入围岩内的深度为分类指标，提出了重复采动影响巷道的围岩分类方法，系统提出与重复采动影响巷道矿压显现规律相适宜的工作面回采巷道锚网（索）支护设计准则，优化受两次采动影响的 1528运输巷的锚杆支护参数与支护形式。

（2）根据巷道在不同的区段和部位的变形和应力特征不尽相同的特点，提出了特种“组合支护”的设计思想和理念。将各类切顶、让压、变形协调、刚性支撑等功能不同的支架（如简易支架、摩擦支柱、液压单体和 π 型钢支架等）进行组合选用，以增强支护的针对性和实效性。

（3）根据回采工作面直接顶和基本顶岩层的移动、断裂、垮落规律，提出无巷旁充填沿空留巷中靠近采空区一侧的支护原则——兼顾支护阻力与支架缩量 2个重要的支护参数，使足够的支护阻力和足够的支架可缩量相匹配。

（4）自行设计、加工、制造同时具有垂直支护阻力和水平护帮推力，融切顶与护帮为一体的特种组合支架，辅以与之配套的十字铰接顶梁和护帮金属网，形成一套可以同时实现强制切顶与矸石护

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

帮功能的特种组合支护支架。

（5）形成系统的半边挂网挡矸、纵向锚索辅助加强支护、先切顶、后卸压的无人工巷旁充填沿空留巷施工方法。在强制切顶的基础上，采用“支架切顶背裱半圆木锚网阻隔无充填”的新型护帮形式。通过“顶接十字顶梁”、“底穿特制铁鞋”等措施提高支架顶底的摩擦阻力以平衡采空区侧向压力，然后在其后背裱半圆木、锚固挂压双层金属经纬网形成“网—矸石阻隔墙”，以替代人工巷旁充填进行护帮。

（6）留巷巷道受到初次采动影响及重复采动影响时，表现出明显不同的矿压显现规律：在工作面的采动影响下，巷道处于支承压力的重叠区内，随着工作面的推进，围岩变形增长迅速。沿空留巷的变形量要比用宽煤柱护巷大 20%左右；受本工作面采动影响时，巷道的压力主要是由巷旁煤柱支承压力重叠引起，这与上工作面及煤柱护巷工作面回采时巷道压力主要由于上部岩层急剧沉降导致的全然不同；在不同的巷道压力下，两次采动时巷道变形也表现出各自不同的特征：上工作面回采时，巷道变形的主要特点为靠采空区一侧的顶板下沉量远大于靠煤帮一侧、采空区帮变形比煤帮变形要大得多；而受本工作面采动影响时，巷道无论是两帮移近还是两侧顶板下沉，变形都相差不大。

（7）研究成果的工业试验与应用取得了良好的社会和经济效益。

但无人工巷旁充填沿空留巷存在漏风及对工作面通风系统的影响问题有待进一步的研究。研究成果对放顶煤沿底全煤围岩等稳定性相对较差巷道的参考价值有待深入分析。

[参考文献]

[1] 苏清政，郝海金．巷旁充填体可缩性对沿空留巷顶板运动的适应性分析［J］．焦作工学院学报，2002，21（5）．

[2] 陆士良．无煤柱护巷的矿压显现［M］．北京：煤炭工业出版社，1982．

[3] 钱鸣高，刘听成．矿山压力及其控制［M］．北京：煤炭工业出版社，1984．

[4] 王宜振，等．矸石带充填沿空留巷技术的应用［J］．山东煤炭科技，2002（6）．

[5] 侯朝炯，易宏伟，柏建彪．高水灰渣速凝材料巷旁充填沿空留巷的试验研究［J］．煤炭科学技术，1995，23（2）：2—5．

[6] 房桂来，李洪明，孙海良．沿空掘巷锚杆锚网支护［J］．煤炭科学技术，1998，26（5）：23—26．

[7] 马念杰，侯朝炯．采准巷道矿压理论及应用［M］．北京：煤炭工业出版社，1995．

[8] 贾安立．基于多块体平衡岩梁的煤巷锚杆参数设计方法研究［D］．北京：中国矿业大学（北京），2006．

[责任编辑：王兴库]

（上接 64页）

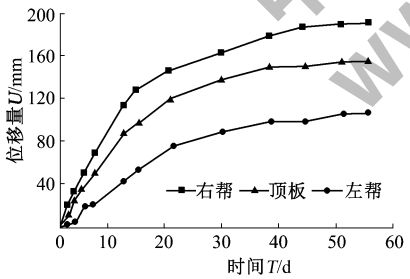

图 3　巷道表面位移—时间曲线

直接顶间离层量最大为 26mm，也是均匀增加。从离层量看，应该是顶板的松动，不会是出现了离层现象。

回风巷右帮表面位移量 186mm，左帮表面位移量 98mm，总体收敛量最大为 284mm，比预计 400mm的收敛量要小得多，支护效果明显。

截止到目前，2123工作面回风巷没有返修，没有发生片帮、冒顶等事故；从总位移量看，顶板和两帮收敛总量在允许的范围内，表明支护效果良好，达到了预期的效果。

4　结论

（1）从表面收敛观测的位移看，试验巷道是稳定的，支护效果良好。

（2）试验巷道采用岩层结构分析的方法设计是可行的，而且效果明显，可以适用于深部大地应力情况下的全煤巷道支护设计。

（3）2123工作面回风巷支护的成功，为黄沙矿深部全煤巷道支护设计提供了很好的参考依据，也有效地缓解了采掘衔接紧张的局面，为冀中能源集团其他煤矿的类似巷道支护提供了可行的范例，具有良好的推广应用前景。

[参考文献]

[1] 杨建辉，杨万斌，付跃升．煤巷板裂结构顶板分层稳定跨距分析［J］．煤炭科学技术，1999，27（8）．

[2] A.A.鲍里索夫．王庆康译．矿山压力原理与计算［M］．北京：煤炭工业出版社，1986．

[3] 杨建辉，杨万斌，武梅良．煤巷板裂结构顶板锚杆设计方法及应用［J］．煤炭科学技术，2000，28（10）．

[责任编辑：王兴库]

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net