

# 综放工作面混凝土柔模工艺 沿空留巷技术应用研究

王 龙

(山西兰花科技创业股份有限公司大阳煤矿分公司)

**摘 要:**综采放顶煤沿空留巷采动影响范围大、顶板活动时间久、动压影响剧烈、应力集中系数高,巷道极易变形失稳,维护困难。本文结合大阳煤矿 3405 工作面的具体条件,提出了混凝土充填构筑柔模工艺,针对性地采用了高预应力、高强度锚杆(索)作为巷内基本支护,单体液压支柱配套铰接顶梁加强支护和柔模混凝土充填体预应力承载结构,有效地控制了沿空留巷围岩变形。上述研究成果在工程实践中得到了成功应用,并创造了良好的社会技术效益,对其它类似条件巷道充填沿空留巷提供了一定的理论指导。

**关键词:**综放工作面;沿空留巷;柔模混凝土墙充填

## 0 引 言

综采放顶煤沿空留巷由于采高较大且需要经历 2 次采动高应力作用,巷道围岩应力集中系数高,围岩采动损伤严重,松动区和塑性强化区范围明显增大,巷道极易变形失稳,维护十分困难。但随着矿井现代化、机械化、生产集约程度的提高,设备功率尺寸的加大,回采巷道断面的布置要求也越来越高,留巷长度往往超过千米,受两次采动高应力影响,留巷

断面收缩严重,无法满足通风和瓦斯抽采的空间要求,在支护强度不匹配的情况下甚至会发生变形失稳,留巷围岩稳定控制对实施无煤柱连续开采以及煤与瓦斯共采的制约变得愈加突出,合理解决复杂顶板条件下综放沿空留巷空间维护难题,是解决煤、气绿色开采缓解现场生产迫切需要和技术实施难度较大矛盾的关键所在。

## 1 工程概况

3405综放工作面采用“Y”型通风系统,两进一回。在3405工作面轨道顺槽进行沿空留巷,将胶带顺槽作为工作面主进风巷,轨道顺槽作为副进风巷,通过留巷和回风顺槽回风,形成3405工作面Y型通风系统,消除上隅角瓦斯超限威胁,保证工作面安全高效生产。采煤工作面直接顶为灰黑色泥岩,局部有粗粉砂岩,中上部有小煤层,厚3.66m。根据原煤炭工业部颁发的缓倾斜煤层顶板分类方案,采煤工作面直接顶类别按期在开采过程中的表现分为4类,其中1类又分为两个压类,根据直接顶分类指标,3405工作面直接顶为中等稳定顶板。

基本顶为深灰色细砂岩,硅钙质胶结,局部含大量白云母片,有时含炭质条带,厚7.6m,初次(周期)来压明显。根据已采工作面情况,当煤层被采后,直接顶呈悬臂梁状态,能悬露一定时间,随支架前移,能够顺利垮落,直接顶初次垮落步距约为20m。当直接顶垮落后,基本顶悬露一定距离后呈周期性断裂下沉,其作用力主要作用在前方煤壁上和采空区直接顶垮落岩石上,只有少部分作用力通过直接顶作用于支架上,其初次来压步距约为30m-35m,周期来压步距为13m-20m。因此,支架主要支撑直接顶自重,在周期来压期间支撑基本顶通过直接顶作用于支架上的部分作用力,其合力按6-8倍采高计算直接顶岩石自重。

## 2 巷道支护方式分析

原支护采用直径为20mm,长度为2.4m的高强度高强度螺纹钢锚杆的锚固力大于18T锚杆支护。帮锚杆采用与顶板锚杆相同材料进行支护,该锚杆可适应沿空留巷围岩大变形的要求;锚索采用直径22mm,长度5300mm,1×19股高强度低松弛预应力钢绞线,采用特制钢筋梯子梁及金属网护顶。

### 2.1 胶带顺槽超前支护

胶带顺槽超前支护采用4.2m的 $\pi$ 形梁加单体柱加强支护,分别在距工作面煤帮侧和保安煤柱侧600mm处支设单体柱,距工作面煤帮侧单体柱1.6m处支设单体柱,每根 $\pi$ 形梁下执行“一梁三柱”,支柱排距0.9m( $\pm 100$ mm),超前单体柱“横成列、竖成行”偏差不超过 $\pm 100$ mm。遇到顶板破碎时必须密集支护,有片帮现象时必须背好帮,行人侧宽度不小于0.8m,高度不小于1.8m。过破碎机处无法支设“一梁三柱”时,采用“一梁两柱”配合抬棚支护。超前支护用DW35-300/110X型单体柱支护,分别由三个生产班进行支护,超前支护距离要保证每班不少于40m(距工作面煤壁),超前支护内浮煤必须清净,所有支护的单体柱(柱经110mm)初撑力不小于90KN(9.4MPa),每根单体柱必须支护在底板完好,若底板不好时需穿铁柱鞋(煤帮往里的不穿铁柱鞋),所有单体柱必须挂防倒链(每根单体柱“柱顶相连”且“连锁有效”), $\pi$ 形梁必须设有防掉保护,超前支护内所有锚索加锚索防射装置。

### 2.2 轨道顺槽超前支护

(1)轨道顺槽超前支护采用3.8m和1.6m的 $\pi$ 形梁加单体柱组合加强支护,3.8m的 $\pi$ 形梁下执行“一梁三柱”,单体柱打在距非采侧煤帮0.8m、1.8m和3.6m的位置;1.6m的 $\pi$ 形梁下执行“一梁两柱”,单体柱打在距回采侧煤帮0.6m、1.4m的位置。所有单体柱“横成列、竖成行”,偏差不超过 $\pm 100$ mm。

(2)遇到顶板破碎时必须密集支护,有片帮现象时必须背好帮,行人侧宽度不小于0.8m,高度不小于1.8m,超前支护分别由三个生产班进行支护,3405轨道顺槽超前支护距离要保证每班不少于50m(距工作面煤壁),采用DW35-300/110X型单体柱支护,超前支护内浮煤必须清净,所有支护的单体柱(柱经110mm)初撑力不小于90KN(9.4MPa),每根

单体柱必须支护在底板完好,所有单体柱必须挂防倒链(每根单体柱“柱顶相连”“连锁有效”)、 $\pi$ 形梁必须设有防掉保护,超前支护内所有锚索加锚索防射装置。

(3)对轨道巷保安煤柱侧煤帮进行锚索补强支护,锚索与原巷道使用锚索统一,规格为:直径22mm,长度5300mm,1×19股高强度低松弛预应力钢绞线。

锚索补强支护示意图如图1所示:

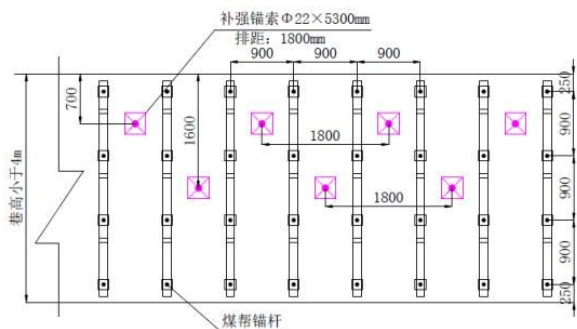


图1 锚索补强支护示意图

### 3 沿空留巷支护方式

#### 3.1 轨道顺槽留巷后顶板支护

(1)轨道顺槽留巷后顶板支护:机尾过渡架侧面及留巷后顶板采用一梁三柱的方式进行支护,单体柱型号为DW35-300/110X, $\pi$ 型梁为3800mm,在距留巷墙体600mm处和距保安煤柱600mm处各支设单体柱,在所支设2根单体柱中间再支设1根单体柱,中间支设的单体柱分别距两侧单体柱1550mm; $\pi$ 型梁排距为900mm±100mm,留巷支护长度不少于120m,具体见图2。

(2)后端头3架不放顶煤,排尾过渡支架上铺双层金属顶网(规格为8m×1.05m),用来维护后溜机尾的工作空间,和巷道超前支护顶网搭接好,并且顶梁前端网下垂梁沿不小于800mm,便于下一循环挂网时的联接,铺金属顶网时,长边双层搭接,短边与巷道顶网搭接不少于500mm,用联网丝联好,每米不少于5扣,每扣扭结不少于3圈,所有单体柱和 $\pi$ 型梁必须设有防掉、防倒保护。随着循环的推进,将影响采煤机即将割煤的工作面侧的单体柱逐根回掉,严禁超前回撤,造成三角区的片帮冒顶。

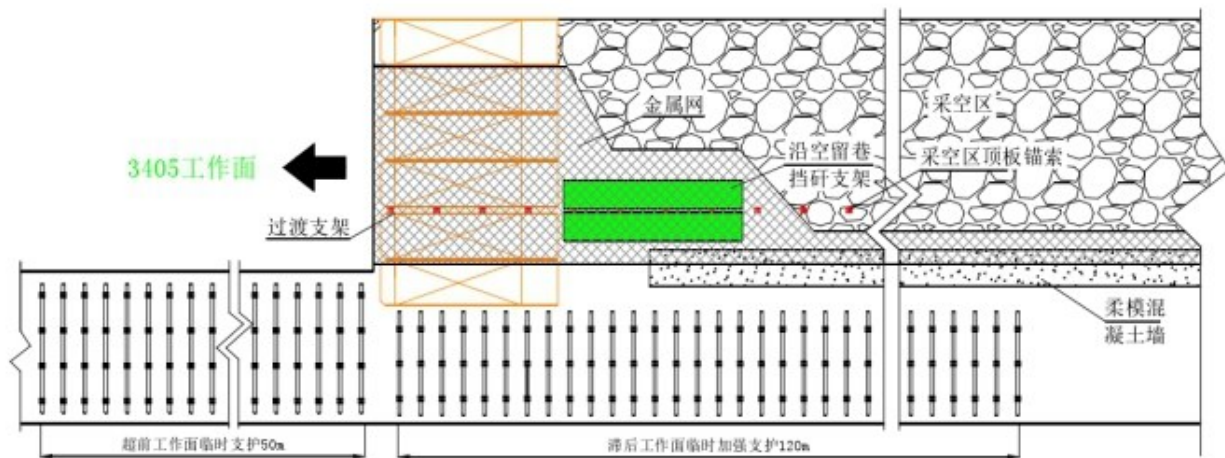


图2 沿空留巷临时加强支护平面示意图

### (3) 充填区域顶板维护

根据生产地质条件,顶板稳定性较差,为了保证沿空留巷充填工作的顺利进行,防止顶板离层、冒落及向上传递支护阻力,保持充填体上方顶板完整与稳定及其重要。根据庄矿 3405 工作面生产地质条件,为缓解顶板回转下沉,防止顶板在充填材料凝固固化期间对巷旁支护结构造成的压破坏,需要对充填体上部区域的顶板进行支撑。具体支护方案见图 3。

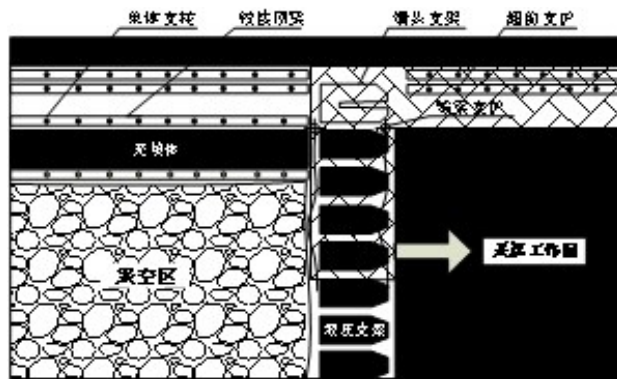


图3 充填区域顶板支护布置示意图

### (4) 充填体参数设计

3405 工作面留巷宽度为 4.4m。在一级顶板区巷旁支护宽度为 1.5m,在二级顶板区和超高区巷旁支护参数需进行加强。

锚栓杆体选用  $\Phi 22 \times 1.65\text{m}$  的 500 号高强螺纹钢,锚栓杆体两端都设有丝扣,每端丝扣长度不小于 150mm;杆体两端各配一套高强度托板、调心球形垫和尼龙垫圈,托板采用  $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 12\text{mm}$  拱形高强度托盘;墙体成型 3d 后,在留巷内通过扭矩扳手给锚栓施加 300N.m 的预紧扭矩,锚栓的间排距为  $700\text{mm} \times 750\text{mm}$ 。

待浇筑空间采用沿空留巷挡矸支架进行围护,该支架为两架一组迈步自移式,支护强度不小于 1.2MPa,巷旁充填每天根据工作面推进度,按 3m 或

4m 步距充填,最大步距不超过 5m。

在超前工作面 50m 和滞后工作面 120m 范围内进行临时加强支护,滞后工作面采用一梁三柱临时加强支护,棚距都为 0.9m,在二级顶板区域棚距缩至 0.8m。单体柱的型号为 DW35-300/110X,滞后  $\pi$  型梁长 3.8m。

根据该工作面生产地质条件,充填体强度无法阻止前期直接顶的旋转下沉,故采用分层充填承载机制,充分发挥墙体的“让-抗”协调承载性能。其次,直接顶垮落难以充满采空区,按切顶型巷旁支护设计,切断下位基本顶所需的支护阻力为 5.04MPa,因此,砂浆中水泥与砂子的配比为 1:1,巷旁支护用 C40 混凝土使用 42.5 普通硅酸盐水泥,C50 混凝土使用 52.5 普通硅酸盐水泥,充填体凝固后一天强度实验室测试为 5.5MPa,3 天强度 7.5MPa,7 天强度 9.2MPa,可满足切顶要求。根据工作面推进速度,1d 充填一次,每次充填 3m,充填体尺寸宽  $\times$  高为:  $1.5\text{m} \times 3\text{m}$ ,充填墙体为水泥材料,抗压强度较大,抗拉能力较差,为进一步增加充填体的稳定性和抗变形性,在充填体内预先插入充填体预应力承载结构,其示意图见图 4 所示。

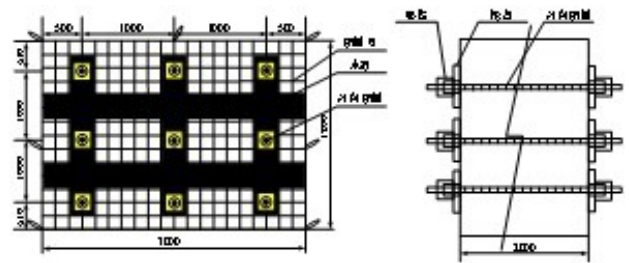


图4 充填墙体加固示意图

## 4 留巷矿压观测效果分析

### 4.1 充填体变形



柔模墙体变形是其与围岩相互作用关系的反映,墙体自身要历经两次强采动影响,为保证在下区段工作面回采时能够正常使用,首次开采扰动的稳定性尤为重要。留巷期间充填墙体的变形曲线如图5所示,可见充填体变形速度出现2次峰值,说明基本顶沿充填体外再次破断,破断后形成砌体梁结构,围岩迅速趋于稳定,可将充填体变形分为4个阶段。

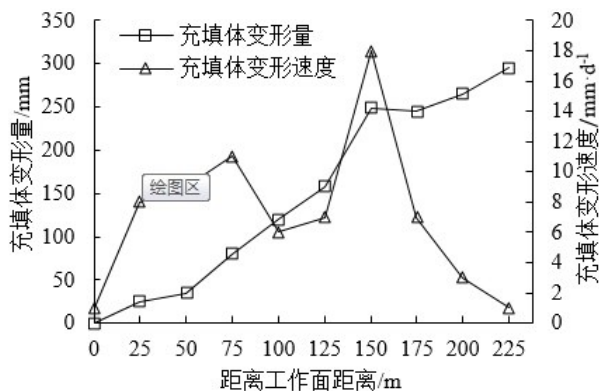


图5 充填墙体变形特征

第1阶段:0~25m内充填体构筑还未承受较大的载荷,但墙体自身具有较大的初阻力,其变形量较小,变形速度快速增加。

第2阶段:25~110m内上覆岩层活动加剧,充填体变形量占其总变形量的84.7%。在基本顶形成结构发生2次破断的过程中,充填体承受载荷增加,变形加剧,在此阶段内其纵向变形速度有2个峰值,该阶段充填体的纵向变形量是留巷稳定后总变形量的主要组成部分。

第3阶段:110~155m,应力远离工作面后方之后,围岩采动损伤严重,基本处于运动终止状态。充填体与顶板的相互作用已基本近似稳定,充填体的纵向变形速度趋近于零,变形量随还会增加,但增幅明显低于上一阶段。

第4阶段:155m以后充填墙体的变形逐渐趋于稳定,变形速度为0~0.3mm/d,充填体的变形量为

289.5mm,压缩率为7.3%,未达到巷旁充填墙体材料的最大承载能力,满足二次回采的需要。

#### 4.2 留巷围岩变形

由于围岩与充填墙体存在支护与被支护的关系,两者是互相制约协调运动的,其变形规律基本相似,但在某些细节上其巷旁支护与围岩变形仍旧存在一定的差异,围岩变形见图6。

(1)两帮移近量以实体煤帮为主。留巷稳定后,两帮移近量为661mm,其中实体煤帮水平位移达486.5mm,占两帮移近量的73.6%。巷道围岩变形稳定后,实煤体侧顶板与充填体侧顶板下沉量分别达到了291.2mm和335.9mm。

(2)与充填体变形速度相比,在基本顶第1次破断时,实体煤帮承载能力较好;在基本顶第2次破断时,实煤体帮承载能力下降,其变形速度明显增大,峰值为37.5mm/d,比充填体变形速度快。

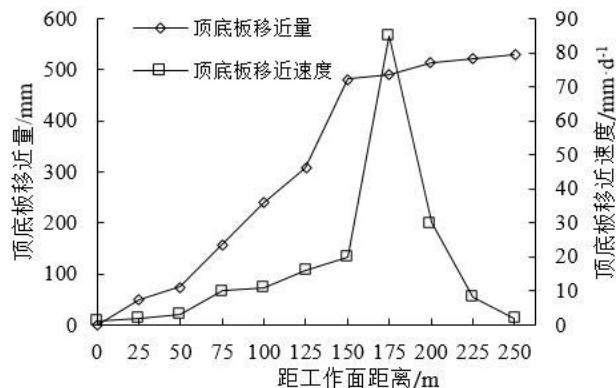


图6 顶底板变形特征

#### 4.3 沿空留巷维护状况

图7为沿空留巷施工及巷道维护情况的现场照片。从图中可以看出,混凝土柔模浇筑效果好,采用预应力充填体承载结构接顶效果好,充填体及时承载,除底鼓量比较大之外,留巷效果达到了预期目的,取得了满意的效果。



(a)维护效果1(80m)



(b)维护效果2(100m)

图7 沿空留巷施工及巷道维护实景

综上,巷内基本支护(高强锚杆索支护系统)与加强支护(单体液压支柱配合铰接顶梁)配合混凝土柔模充填体预应力承载加固结构,有效维护了沿空留巷作业空间,留巷围岩稳定性较好。

## 5 结论

(1)使用内基本支护(高强度锚杆索支护系统)加强支护(单体液压支柱配套铰接顶梁)配合混凝土充填构筑柔模巷旁支护及充填体预应力承载,该方法支护时顶底板与两帮最大变形量分别为580mm和600mm,巷旁充填墙体有效的适应并控制了留巷顶板活动。

(2)结合大阳矿混凝土充填构筑柔模工艺沿空留巷矿压观测结果,将采动留巷阶段充填墙体变形分为四个变形阶段,巷道围岩变形以底鼓与实体煤帮变形为主。

(3)混凝土柔模墙体有效的适应并控制了留巷顶板活动,留巷空间能够满足生产需求,为其它复杂顶板条件下综采放顶煤沿空留巷稳定控制技术的推广提供了一定的理论指导。

## 参考文献:

- [1]杨朋,华心祝.深井大断面沿空留巷底板裂隙分形特征动态演化规律试验研究[J].岩土力学,2017,38(1):351-358.
- [2]余明高,李龙飞,褚廷湘,等.瓦斯抽采下沿空留巷工作面采空区漏风机制研究[J].安全与环境学报,2016,16(2):108-113.
- [3]康红普,姜鹏飞,蔡嘉芳.锚杆支护应力场测试与分析[J].煤炭学报,2014,39(8):1521-1529.
- [4]何团,黄志增,李春睿,等.特厚煤层综放工作面侧向煤体应力时空演化特征[J].采矿与安全工程学报,2018,35(1):100-105.
- [5]和树栋,张轶,刘威.沿空留巷技术研究现状与展望[J].现代矿业,2016,3(3):6-10.
- [6]李胜,李军文,范超君,等.综放沿空留巷顶板下沉规律与控制[J].煤炭学报,2015,40(9):1989-1994.