

# 掘进巷道过背斜构造内陷落柱巷道支护技术研究

侯艳峰

(山西兰花科技创业股份有限公司朔州分公司)

**摘 要:**为解决掘进巷通过背斜、陷落柱等综合地质构造时支护问题,进行了数值耦合模拟,模拟结果显示90天时,陷落柱和巷道整体应力集中区域融合,预计120天整体垮落。制定了支护措施,支护措施为U型钢棚结合锚索网锚固技术,实施完成后进行了效果考察,考察显示,深部位移形变最大量为26mm,浅部位移形变量最大值为7mm。

**关键词:**地质构造;数值模拟;巷道支护;效果考察

## 0 引言

巷道掘进过程中,褶皱、陷落柱等复杂构造对巷道支护产生严重威胁<sup>[1-3]</sup>。复杂地质构造下,传统的锚杆支护基本无法满足巷道支护安全需求和强度需求<sup>[4-5]</sup>。山西朔州山阴兰花口前煤业三采区4302工作面区域存在陷落柱,同时为背斜褶皱构造,为解决4302巷道掘进过程中穿过背斜、陷落柱构造区域支护问题,现进行了数值模拟研究,制定了支护措施,进行了后期效果考察,研究结果真实可靠,具有一定的理论意义和现实意义。

## 1 4302工作面概况

目前,三采区主采煤层为9(4+9)\*煤层,煤层平均厚度7.3m,顶底板岩层情况如表1所示;采用走向长壁综合机械化采煤方法。工作面内存在陷落柱,勘探陷落柱面积较大,整体位于4302工作面东翼。煤层顶板为泥岩,底板为泥岩,整体情况如图1所示。其中,陷落柱位于上部,距离巷道所在层位水平距离约10m。4302工作面顺槽长800m,工作面切眼长160m,巷道掘进方式为综合机械化掘进。

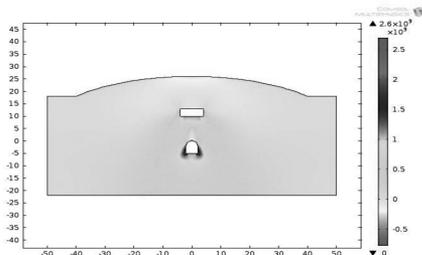
表1 顶底岩层情况表

煤层	类别		岩石名称	厚度平均最小~最大	主要岩性特征(含水性)
9(4+9) #	顶板	老顶	砂质泥岩	3.35 ~ 7.85	灰色,具水平层理,含水性一般。
		直接顶	粉砂岩 泥岩	5.90	
	直接底		砂质泥岩 泥岩	1.30 ~ 1.95	灰黑色或灰白色,含植物化石。
				1.83	

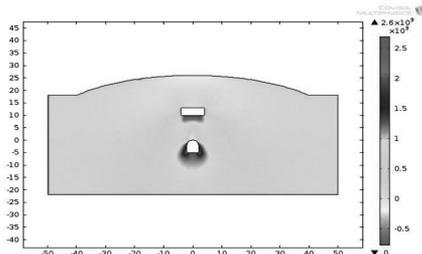
## 2 巷道支护模拟研究及钻探考察

### 2.1 巷道支护模拟

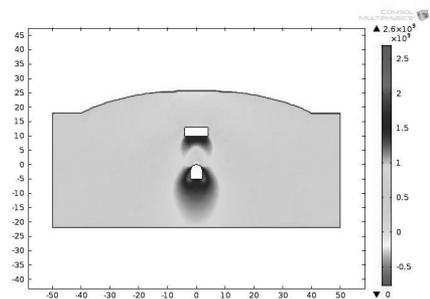
由于工作面位于背斜构造内同时存在有陷落柱,因此综合考虑以上因素,根据巷道断面设计进行围岩应力、应变数值模拟研究。假设煤岩为均匀介质,顶底板岩层均为均匀介质,陷落柱存在于煤岩上层位,距离煤岩8m。现建立瞬态数值计算模型,模型为流-固耦合模型,综合考虑了渗透作用对岩体的影响<sup>[6-11]</sup>。由于数值模型为瞬态模型,基于岩体应力理论,以时间为动态变量进行模拟,故根据数值模型计算得到巷道围岩在0天、30天、60天、90天、120天时巷道围岩的应力分布云图,具体如图1所示;



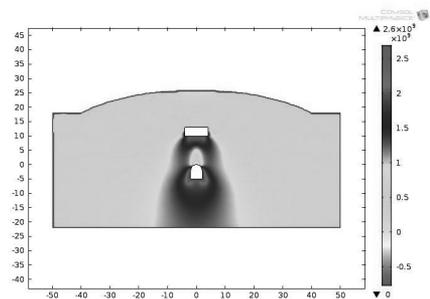
(a)0天时应力分布云图



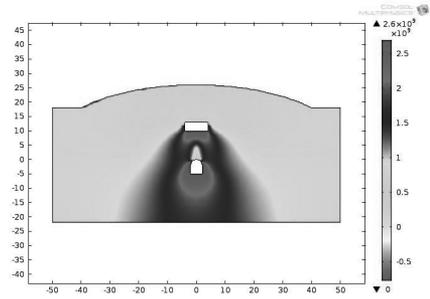
(b)30天时应力分布云图



(c)60天时应力分布云图



(d)90天时应力分布云图



(e)120天时应力分布云图

图1 围岩的应力分布云图

假设上方方形为陷落柱,下面为巷道,顶板岩层受到的竖向力为拱形,由于巷道所处位置为背斜构造,故设置拱形上边界载荷。由图1可知,0-30天

内,围岩应力变化主要集中在陷落柱本体围岩和巷道围岩,应力未出现相互上部和下步相互耦合现象;60天开始,上部陷落柱应力和下部巷道应力出现耦合现象,上部陷落柱出现围岩变形,应力向下部延伸的现象,这种现象随着时间的推移不断间距,到90天时,应力集中区域扩散至融合状态。到第120天时,应力集中区域连贯,推测此时上部陷落柱和下部巷道全部垮塌。综合分析,下部巷道支护强度不足将会导致整体垮落,主要垮落区域在巷道两帮部位。

### 2.2 钻探分析

由于数值模拟基于有限元理论分析,现场进行钻探,通过钻孔施工分析不同是时间点上覆岩层的垮落情况。钻孔施工点为临近废弃巷道,施工图如图2所示。钻孔参数及钻孔施工顺序如表2所示;

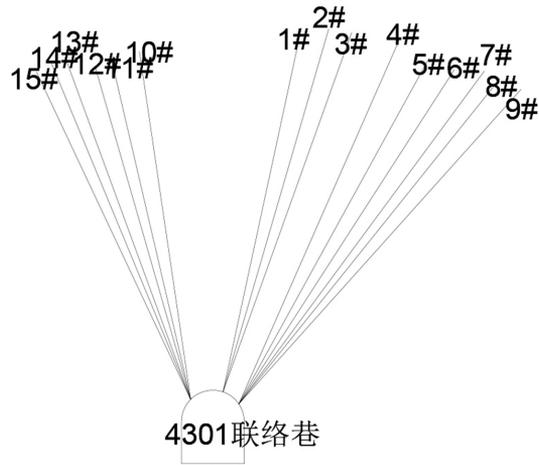


图2 考察钻孔设计图

表2 钻孔参数设计及施工表

孔号	倾角(°)	方位角(°)	钻孔设计深度(m)	施工时间	备注
1#	78	10	62	2016年3月1日	第一组
2#	76	15	62	2016年3月1日	
3#	74	20	65	2016年3月1日	
4#	72	25	64	2016年3月30日	第二组
5#	70	30	61	2016年3月30日	
6#	68	35	65	2016年3月30日	
7#	66	40	63	2016年4月30日	第三组
8#	64	45	62	2016年4月30日	
9#	62	50	65	2016年4月30日	
10#	77	330	60	2016年5月30日	第四组
11#	74	326	64	2016年5月30日	
12#	71	322	62	2016年5月30日	
13#	68	318	64	2016年6月30日	第五组
14#	65	314	60	2016年6月30日	
15#	62	310	60	2016年6月30日	

根据钻孔施工情况分析,第一组钻孔施工过程中,从回渣等情况分析,岩层基本稳定;第二组也基本趋于稳定;第三组钻孔在距离顶板 10~13m 范围返渣异常,之后趋于稳定;第四组,在距离顶板 9~18m 范围内返渣破碎比较大,钻机施工较为轻松;第五组钻孔在 3~30m 范围内出现和第四组相同情况,通过钻孔窥视仪器进行孔内探测,基本和数值模拟结果一致。

### 3 巷道支护措施

根据数值模拟结果可知,巷道支护必须进行刚性加固,抵抗竖向应力集中导致的垮塌。顶板有陷落柱,仅仅采用锚索支护的方式无法满足支护要求。由于锚索锚固技术需要将锚索施工至顶板基岩,以顶板基岩作为支撑点,将顶板岩层进行锚固的技术。4302 工作面顶板存在陷落柱,顶板就存在基岩不稳,在 30 天时会出现垮塌的情况,因此,不能仅使用锚固技术来进行支护工作。需要一种可以提高竖向向上支撑力支护技术,因此可采用 U 型钢结合锚索锚固技术的支护措施。现设计支护措施如图 3 所示。

支护方式采用锚索锚网+U25 型钢支护,锚索均采用  $\Phi 20 \times 4800 \text{mm}$ 。首先施工锚索锚网作业,随后架棚支护。沿巷道轮廓线架设并采用木背板背实。棚梁和棚腿搭接长度为 450mm,通过卡缆使用 U 型卡子开丝 100mm 固定,相邻 2 棚支架间采用 6 个拉杆连接(拉杆采用  $\phi 20$  螺纹钢加工),拉杆应打设牢固并成排上线,U 型钢排间距 0.5m,随后喷浆。

为考察支护效果,巷道支护完成后安装顶板离层仪,对顶板情况进行定期监测考察。

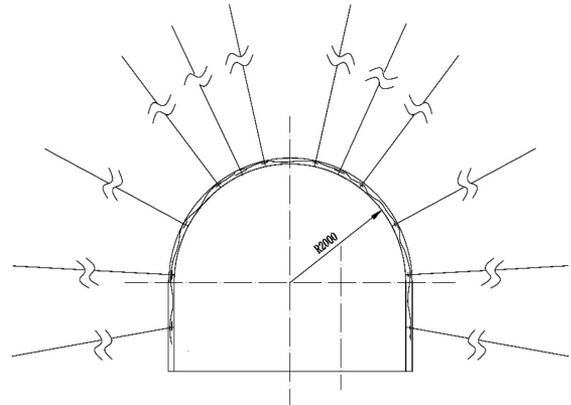


图 3 支护措施示意图

### 4 效果考察

为了解支护措施是否可靠,对顶板进行考察,顶板离层仪安装于巷道顶板,离层仪安装示意图如图 4 所示

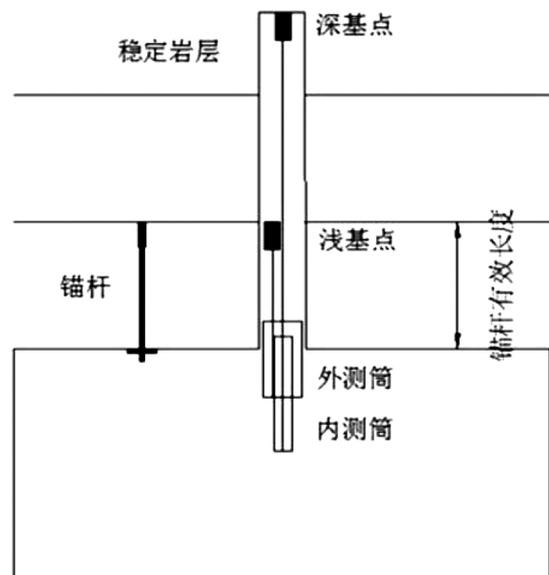


图 4 顶板离层仪安装示意图

通过对 4302 运输巷支护措施进行效果考察,观测了顶板离层仪的 150 天数据,数据如图 5 所示。

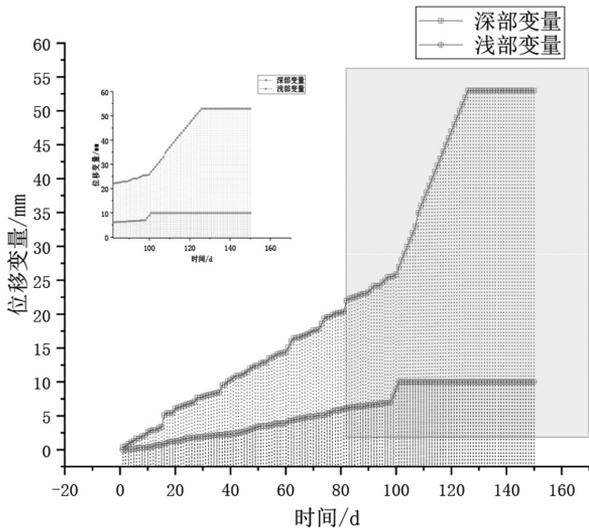


图5 顶板离层仪数据观测

由图5可知,巷道在101天左右时,顶板一直处于下沉状态,深部和浅部均出现了竖向位移,深部最大位移量53mm,浅部最大位移量为10mm。深部在101天之后未出现位移变化,浅部在98天后未出现位移变化。巷道整体位移在安全范围内。

后期对4302运输巷进行现场直观观测时发现,巷道未出现整体大面积沉降,巷道完整性较好,无垮塌、垮落等现象。

## 5 总结

本文通过数值模拟的方法,模拟了在陷落柱、褶皱的共同作用下,巷道围岩演化规律,制定了支护方式并进行了后期效果考察,得到以下结论:

(1)在背斜构造、陷落柱的共同作用下,巷道围岩在90天的时候出现大面积应力集中区域,应力集中区域和顶部陷落柱应力集中区域相重合,120天

时会出现整体垮塌现象;

(2)制定的支护措施为U型钢和锚索锚固技术相结合的措施,增强了整体支撑能力;

(3)进行后期效果考察结果可知,顶板深部最大位移为26mm,浅部最大位移量为7mm,巷道整体未出现大规模变,现场未出现巷道大面积沉降现象,支护措施安全可靠。

综上所述,本文综合运用了理论数值模拟和现场考察等研究方法,研究结果可靠性强,具有一定的指导意义和现实意义。

## 参考文献:

- [1]胡彦博.深部开采底板破裂分布动态演化规律及突水危险性评价[D].中国矿业大学,2020.
- [2]曹敬松.大倾角复杂地质条件下综合机械化采煤技术研究[D].华北理工大学,2020.
- [3]方俊.煤矿井下隐蔽致灾因素定向钻孔探查技术研究[D].西安科技大学,2019.
- [4]孙辉.复合顶板巷道快速掘进技术实践分析[J].中国矿山工程,2021,50(01):65-67.
- [5]张国锋.煤矿掘锚一体机应用及改进分析[J].能源技术与管理,2019,44(02):139-140+146.
- [6]张叶兵.回采工作面过地质构造带超前注浆加固技术研究[J].中国矿山工程,2020,49(04):70-72.
- [7]王树忠.五阳煤矿大采高工作面覆岩运动规律及巷道支护研究[D].中国矿业大学(北京),2015.
- [8]张飞.混凝土预制块砌碛墙巷旁支护沿空留巷[D].重庆大学,2014.
- [9]万首强.埋深超千米的高应力软岩巷道综合支护技术研究与实践[D].内蒙古科技大学,2012.
- [10]李波.近距离煤层开采下位煤层巷道布置及支护技术研究[D].中国矿业大学(北京),2012.
- [11]霍丙杰.复杂难采煤层评价方法与开采技术研究[D].辽宁工程技术大学,2011.