

# 动压影响区松软留顶煤巷道支护技术研究

Research on Support Technology for Soft Top Coal Roadway in Dynamic Pressure Affected Zone

敖翠云(贵州省六盘水市盘州市能源局, 贵州 六盘水 553537)

**摘要:**西南地区某矿为松软煤层,巷道留顶煤,放顶产生的动压导致临近掘进巷道围岩变形严重。针对以上问题,采用多场耦合模拟软件模拟动压影响下围岩应变演化规律,结合现场离层仪观测数据综合分析可知,原支护措施在动压影响下存在围岩失稳危险性。通过施工卸压孔控制动压扩散到支护区域,U型钢+管棚支护提高整体支护强度。防治措施实施完成后,动压影响的巷道围岩最大位移量为50mm,整体变形比较小。防治措施有效控制了动压影响下软煤留顶煤巷支护强度不足的问题。

**关键词:**动压;多场耦合模拟;卸压孔;U型钢+管棚

**中图分类号:**TD325 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-609X(2024)04-0038-05

**Abstract:** A mine in Southwest China is a soft coal seam, the mining face is a comprehensive release working face, the roadway leaves the top coal, and the dynamic pressure generated by the release of the top leads to serious deformation of the surrounding rock of the adjacent tunneling roadway. In view of the above problems, the multi-field coupling simulation software was used to simulate the strain evolution law of the surrounding rock under the influence of dynamic pressure, and combined with the comprehensive analysis of the on-site observation data of the off-loading instrument, it is known that the original support measures have the danger of surrounding rock instability under the influence of the dynamic pressure, and the reasons leading to the instability of the surrounding rock are analyzed, and preventive and curative measures are formulated. Through the construction of pressure relief holes to control the spread of dynamic pressure to the support area, U-beam steel + pipe shed support to improve the overall support strength. After the implementation of preventive measures, the maximum displacement of the tunnel perimeter rock affected by dynamic pressure was 50mm, and the overall deformation was relatively small. The preventive measures effectively control the problem of insufficient support strength of the soft coal roadway under the influence of dynamic pressure.

**Key words:** dynamic pressure; multi field coupling simulation; pressure relief hole; U-shaped steel + pipe shed

## 1 前言

煤矿井下作业过程中,工作面采动形成的动压严重威胁临近巷道支护效果,当掘进区域围岩松软时,支护效果更差。松软煤层留顶煤巷道邻近工作面正常开采过程中,巷道支护采用传统的锚杆+锚索组合支护会出现围岩变形严重的现象。针对松软煤层动压巷道支护问题,专家学者进行了大量研究,且取得了丰硕成果。崔千里等<sup>[1]</sup>结合西北地区松软煤层情况针对留顶巷道支护问题,提出采用新型中空锚杆组合支护提高支护强度的措施,发现中空锚杆注浆支护措施可以有效解决松软煤层支护强度不足的问题,现场取得良好效果。马程<sup>[2]</sup>结合数值模拟研究针对综放工作面围岩运移规律进行了研

究,提出动压影响下综放工作面垮落步长减小,采用综合机械化放顶煤开采时必须进行考虑动压对采面放顶步长的影响。郭志飏等<sup>[3]</sup>结合补偿理论对深部开采巷道支护进行了研究,提出采用U型钢增强支护措施对深部开采动压影响的巷道进行补偿,现场实践应用取得极好效果。其他专家学者针对动压巷道支护措施分别进行了相关研究,研究成果对于巷道支护安全性具有一定指导意义和现实意义<sup>[4-10]</sup>。西南地区某矿煤层松软,巷道支护过程中临近采面开采形成的动压导致巷道变形严重,本文针对该问题展开研究<sup>[11-12]</sup>。

## 2 工程概况

西南地区某矿主采煤层6中煤层,煤层厚度

[作者简介] 敖翠云(1980—),女,汉族,贵州盘州市人,助理工程师,从事采矿工程、煤矿安全管理。

[基金项目] 国家自然科学基金面上项目(52274150)

[引用格式] 敖翠云. 动压影响区松软留顶煤巷道支护技术研究[J]. 中国矿山工程,2024,53(4):38-42.

5.6 m,平均倾角 5°,顶板为泥质砂岩,夹紫红色细粒砂岩、粉砂岩及泥岩,呈互层状,平均厚度 8 m,底板为泥岩,夹粉砂岩,具斜层理,平均厚度 12 m;煤层赋存稳定,构造比较少。6 中煤层比较软,煤层坚固性系数  $f$  为 0.3。110603 工作面位于 6 中煤层,采用综合机械化放顶煤开采,工作面走向长度 850 m,切眼长度 200 m,该工作面为备采工作面,工作面暂未贯通。临近工作面为 110601 工作面,该工作面正常回采。110603 运输巷道距离 110601 工作面比较近,该巷道采用锚杆+锚索组合支护,巷道宽度 6 m,高度 3 m,为矩形断面,锚杆+锚索组合支护完成后巷道断面进行锚网喷浆作业。巷道支护措施如图 1 所示,巷道已经支护区域在临近工作面采动下巷道变形严重,根据考察发现临近工作面放顶后工作面变形严重,顶板位移量如图 2 所示。由图 2 分析可知,临近工作面过巷道以后测点的位移量不断增大,最大位移量达到 636 mm,现场出现巷道顶板下沉,底板鼓起,两帮偏帮的现象,其中顶板位移量最大。110601 工作面开采过程中,工作面回采至临界步长时整体垮落,形成的动压传递到 110603 工作面,导致该工作面支护措施中的锚杆、锚索局部松

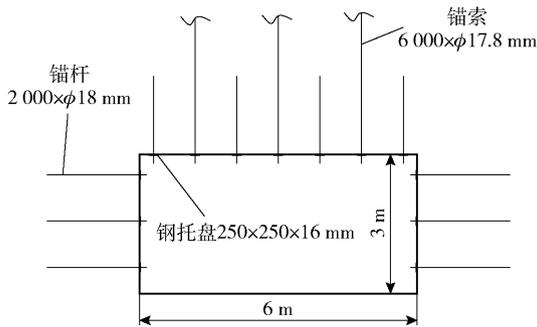


图 1 巷道支护图

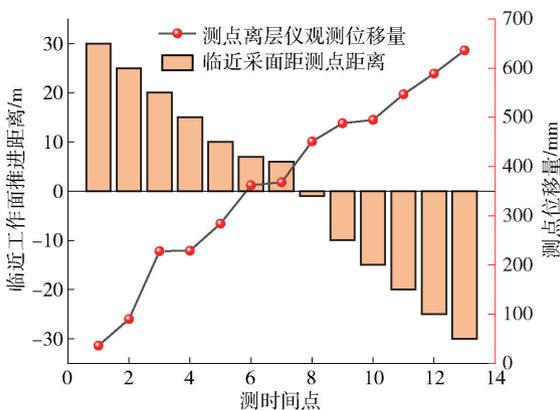


图 2 距离临近工作面不同距离时测点位移考察

动,随着时间推移,支护巷道顶板来压,围岩出现变形严重的现象。

### 3 松软留顶煤巷道围岩稳定性分析

为研究 110601 工作面采动对 110603 运输巷道的影 响,采用软件 COMSOL Multiphysics 对 110603 运输巷道巷道支护后围岩运移规律展开研究。COMSOL Multiphysics 是一款基于有限元理论的耦合模拟软件,可以模拟多孔介质中气相、液相的渗流效应,进行渗流场、应力场耦合模拟研究。煤层中含有瓦斯,煤层中瓦斯渗流作用对煤层应力分布存在一定影响,因此模拟过程中采用 COMSOL Multiphysics 中流-固耦合模型模拟围岩应力分布情况更加精确。

数值模拟建立的几何模型如图 3 所示,模型宽度 260 m,高度 50 m,对模型进行三角形几何剖分。采用软件内部流-固耦合模型,瞬态数值模型。假设煤层为均匀多孔介质,孔隙率为 0.15,顶、底板岩层为均匀介质,由于瓦斯等气体在顶底板岩层中渗流效应不明显,因此不考虑顶、底板岩层气相、液相渗透作用。模型顶部整体受到均匀边界载荷,其他三个边界为固定约束边界,以煤层埋深为依据,通过计算可知顶部承受的边界应力为 312 KPa。对煤层、顶板、底板分别取样,对样本进行测试,测试 6 中煤层、顶板、底板基本力学性质。检测结果见表 1。将测得的基本力学参数插入建立的数学模型中进行计算。

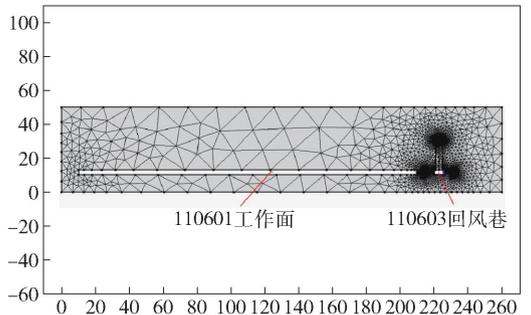


图 3 几何模型

数值模拟动压影响下巷道围岩位移量。110601 工作面回采完毕后,工作面整体垮落,形成动压,假设动压为固定边界弹性应力,依据埋深进行测算产生的动压为 1.76 MPa,动压沿着采空区边界向 110603 回风巷道传导,动压遇到自由边界发生能量衍射效应,随之分散到其他易碎区域。

表1 围岩模拟参数表

岩性	密度/ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	弹性模量/GPa	单轴抗压强度/MPa	泊松比	黏聚力/MPa	内摩擦角/ $(^\circ)$
砂质泥岩	1 701.76	11.76	23.86	2.05	3.16	26.76
泥岩	1 713.83	10.76	21.86	2	3.07	25.68
6中煤层	1 600.14	1.84	12.34	0.66	1.04	20.34

数值模拟采用软件内部流-固耦合模型,瞬态数值模型,模拟步长 10 d,模拟周期 60 d,分析在 110601 综采工作面垮落形成的动压作用下,进行巷

道支护后 10 d、20 d、30 d、40 d、50 d、60 d 围岩应变情况,具体如图 4 所示。

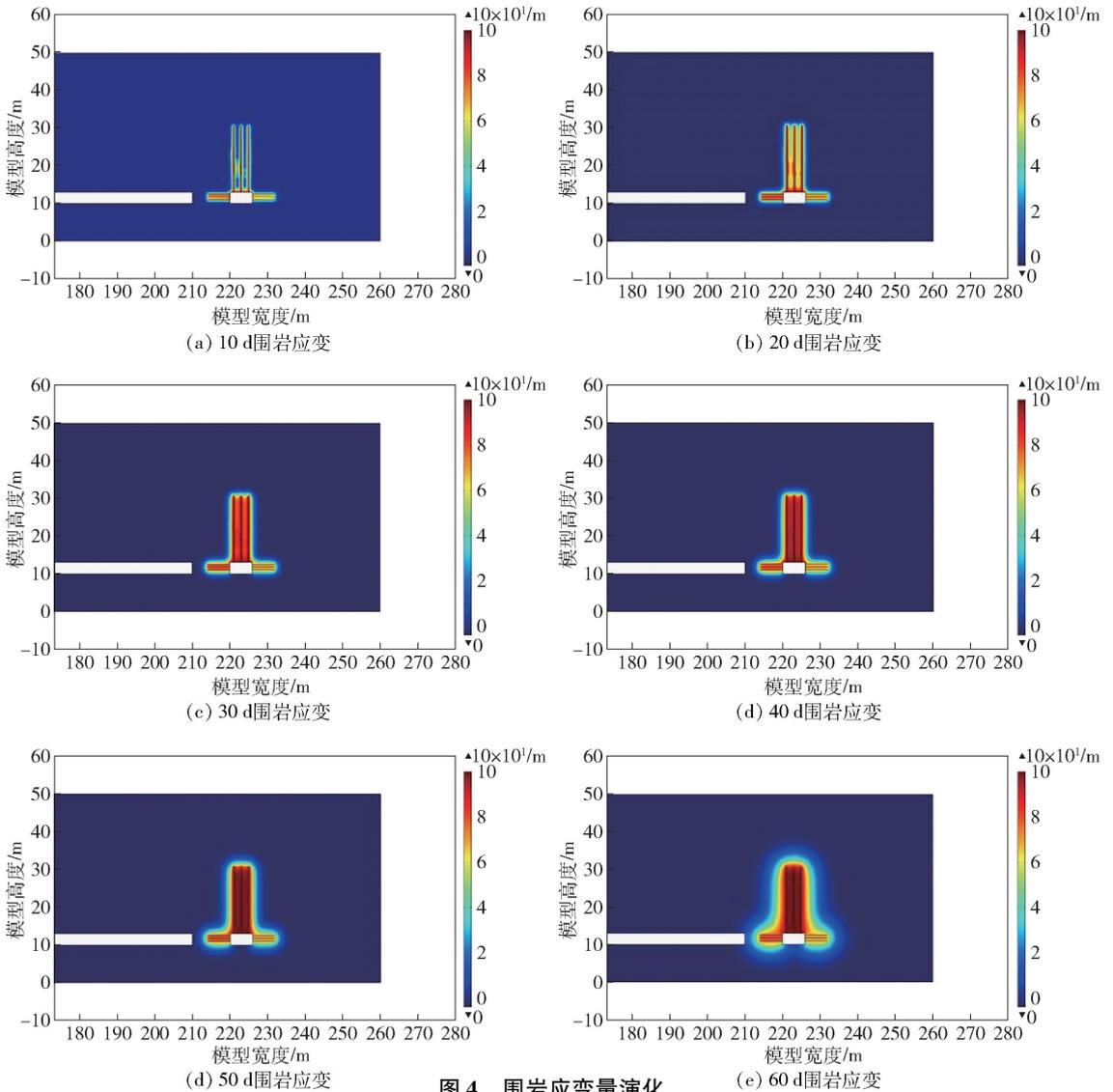


图4 围岩应变量演化

由图 4 分析可知,第 10 d,110601 工作面顶板和两帮未出现明显变化,顶板支护使用的锚索区域出现局部位移量增大现象,为锚固局部松动现象,形成的局部位移量最大值为 30 mm;两帮锚固区域位移量比较小,主要松动区域位于巷道顶板。第 20 d,顶板锚索支护区域整体出现变形严重的现象,最大位移量达到 80 mm,顶板锚固区域整体出现松动。

第 30 d 时,巷道围岩支护区域均出现位移量比较大的现象,最大位移量达到 90 mm。第 40 d 时,锚杆、锚索支护区域位移量达到了 100mm,位移量比较大的区域主要集中在锚固器具周边。第 50 d 时,锚杆、锚索支护区域位移最大值为 100 mm,此时,变形严重区域逐步扩散,扩散至巷道两帮 6 m 范围,预测锚具整体松动,现场会出现锚固失效,甚至锚杆、锚

索断裂的现象。第 60 d 时,锚杆、锚索支护区域位移最大值保持 100 mm,此时,变形严重区域扩散至巷道两帮 8 m 范围,预测 110603 回风巷道与 110601 工作面之间的煤柱出现整体变形,甚至垮塌的现象;110603 回风巷道顶板锚具松动甚至坠落;整体出现 110601 工作面采空区和 110603 回风巷道贯通的现象,巷道完全垮塌。

综合分析,110601 工作面采空区垮落形成的动压传递到锚杆、锚索锚固区域,安装锚杆和锚索施工的钻孔形成自由面区域变形严重,形成局部变形严重区域不断扩大,导致锚固区域逐渐脱锚,支护区域失稳变形严重。且 6 中煤层整体较厚,锚固区域部分分布在煤层中,煤层比较软,约有 2 m 的范围是煤层,动压能量破坏会导致煤层破碎严重,增加了单个锚杆负重,当应力超过锚杆拉拔极限,必然导致锚杆断裂、脱锚。实践研究表明,动压影响区域采用锚固技术支护极易产生围岩变形的现象,尤其松软煤层



图5 巷道变形现场

#### 4.1 卸压措施

为防止 110601 工作面顶板垮落产生的动压影响到巷道支护区域,采用施工卸压钻孔的方式阻断采空区垮落动压传导。卸压钻孔设计如图 6 所示。卸压钻孔孔径 120 mm,钻孔长度 100 m,钻孔间距 5 m。现场施工使用大功率履带式钻机,钻机型号

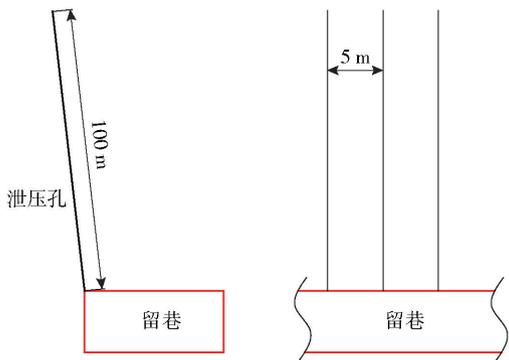


图6 卸压孔设计

留顶支护区域,变形更加严重。60 d 时,110603 回风巷道整体出现垮塌,预留煤柱完全失稳。

#### 4 支护技术优化及效果考察

根据数值模拟结果和现场观测结果可知,在原支护措施下,40 d 时巷道存在整体垮落的危险。现场观测时发现存在巷道顶板下沉严重的现象,沉降情况如图 5 所示。由图 5 情况可知,现场出现局部锚杆断裂、锚索突出现象。综合分析产生以上情况的主要原因为工作面动压传导到顶部区域,且原支护措施强度不足。因此,进行治理的措施主要包括动压影响区域卸压和增强支护。常用的卸压措施为施工卸压孔,当动压产生的应力传递到卸压孔时,卸压孔有效吸收能量,将单向应力分散,形成能量扩散,扩散效应大大削弱了能量大小,因此具有较好的卸压功能。增强支护措施为补偿措施,可通过 U 型钢支护的方式提高巷道断面整体支护强度。

ZDY-LS7200 型,施工效率高,最大钻进深度达到 300 m。现场施工过程中,要时刻关注钻进过程中动力现象,出现卡钻、定钻、钻进不畅的问题必须记录并分析原因,确保工程质量。卸压孔施工为上向孔,钻孔向 110601 工作面一侧,根据相关研究可知,上向孔钻孔深度施工到一定深度可以有效控制采面垮落形成的动压向另一侧蔓延,动压遇到卸压孔形成的自由面会逐步释放能量,在卸压孔法相释放产生裂纹。

#### 4.2 增强支护措施

采用卸压钻孔控制动压向顶板支护区域扩散后,需要对巷道进行 U 型钢增强支护。U 型钢增强支护措施提供竖向和横向支撑力,可有效平衡动压冲击和地应力。U 型钢增强支护措施结合锚杆、锚索组合支护措施。进行支护时采用 U29 型钢,形成矩形支护。U 型钢支护排间距 3 m,中间轴向增加

管棚支护,提高整体支护强度。经实验研究,管棚+U型钢组合支护形成的整体结构体可以有效控制巷道整个断面的内向载荷。增强支护措施如图7所示。顶板安装管棚钢管为6个,两帮各3个,由于巷道变形区域主要集中在顶板位置,因此顶板钢管密度较大。

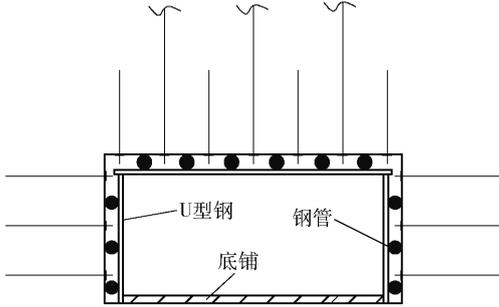


图7 增强支护措施

### 4.3 效果考察

对已采区卸压钻孔和U型钢增强支护的区域进行围岩应变考察。主要观测巷道顶板位移量,采用顶板离层仪进行观测。顶板离层仪安装位置位于巷道中轴线位置,沿着巷道方向间距100 m。观测3个测点数据,观测期间临近110601工作面回采已经通过3个测点,且采空区整体已经垮落,形成的动压已经整体释放。观测周期为14 d,观测结果如图8所示。

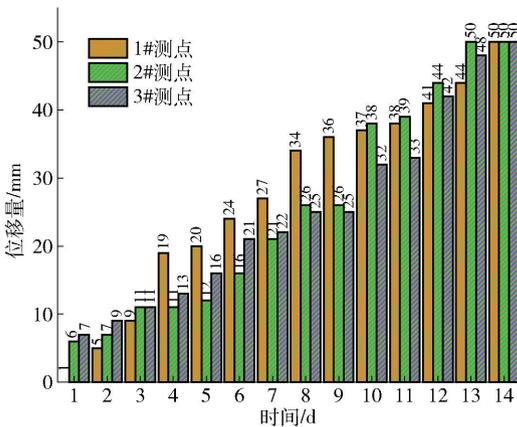


图8 顶板观测结果

由图8分析可知,3个测点最大位移量为50 mm,位移量比较小,当顶板离层仪观测数据到达50 mm时,逐步趋于稳定。其中1#测点在第4~9 d的观测值比其他两个测点观测值高,其主要原因为1#测点距离采空区垮落位置点近,110601工作面采空区垮落动压在该测点位置释放比较快。综合分析,巷道整体变形比较小,位移量比较小。

## 5 结论

西南某矿松软煤层掘进工作面掘进过程中受临近采面采动行程的动压硬性,存在围岩失稳的危险,为保证动压巷道安全掘进,采用数值模拟的方法分析了动压作用下巷道围岩应变变化规律,制定了防治措施,得到以下结论:

(1)在原支护措施下,临近工作面110601工作面回采通过巷道40 d,巷道存在锚固失稳,巷道垮落的风险。

(2)导致巷道变形严重的主要因素为动压影响,采用施工卸压孔的措施控制采空区垮落形成动压,U型钢+管棚增强措施提高巷道支护整体稳定性。

(3)优化支护措施实施完成后,对巷道进行顶板观测,观测结果发现顶板最大位移量50 mm,变形量较小。

综合分析,制定的支护措施有效控制了动压影响下围岩变形严重的问题,研究结果对于其他类似矿井安全生产具有一定推动作用。

### [参考文献]

- [1] 崔千里,于水,王学强,等. 松软厚煤层留顶煤动压巷道支护技术研究[J]. 能源与环境,2023,45(12): 56-61.
- [2] 马程. 综放工作面动压巷道变形破坏特征及防控策略研究[J]. 煤炭技术,2023,42(10): 86-90.
- [3] 郭志彪,李伟涛,何满潮,等. 基于补偿理论的深部软岩动压巷道破坏机理及控制对策[J]. 中国矿业大学学报,2023,52(5): 931-942.
- [4] 刘旭东. 近距离煤层遗留煤柱下巷道稳定机理及控制技术研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2023.
- [5] 孙传保. 动压影响下巷道围岩变形规律及补强支护技术研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2023.
- [6] 杨军,闵铁军,王亚军,等. 无煤柱自成巷动压承载支护作用机理与设计方法[J]. 中国矿业大学学报,2023,52(3): 457-465.
- [7] 潘子恒. 主动支护技术在综放工作面回采巷道超前支护中应用[J]. 中国矿山工程,2023,52(2): 64-69.
- [8] 赵国旺. 多次动压影响煤巷围岩变形规律及支护技术[J]. 采矿技术,2022,22(5): 47-51.
- [9] 何鹏飞. 煤矿动压巷道围岩稳定性协同卸压控制技术研究[J]. 西部探矿工程,2024,36(2): 131-134.
- [10] 李国峰. 工作面动压区顺槽围岩修复支护技术应用[J]. 机械管理开发,2023,38(12): 259-260+263.
- [11] 贾毅超,刘萍,韩森,等. 倾斜煤岩条件回采巷道支护控制技术[J]. 采矿与岩层控制工程学报,2022,4(3): 033029.
- [12] 王跃华,石晋松,韩凯,等. 亚美大宁煤矿动压巷道超前注浆加固技术研究[J]. 煤炭与化工,2023,46(9): 16-19+24.