

应用研究·煤矿·

断层临近区工作面回风顺槽围岩变形及其控制

Deformation and Control of Wall Rock of Working Face Return Air Laneway in Fault Adjacent Area

顾以春, 钱秀, 李岗 (南京安吉特矿山工程有限公司, 江苏 南京 211100)

摘要:为研究断层对巷道围岩稳定性,本文以某矿201和203工作面回风顺槽为工程背景,采用FLAC^{3D}数值模拟方法研究受采动和断层共同影响下巷道围岩塑性区形态分布特征和应力场分布特征,揭示受采动和断层共同影响下201和203工作面回风顺槽的矿压显现规律。研究结果表明:巷道过断层段的围岩塑性区形态具有明显的非均匀分布特征,且巷道浅部围岩发生破坏,出现“卸荷”现象,围岩深部逐渐形成较为明显的应力集中区域;煤柱过断层段围岩塑性区破坏形态较为均匀,其巷道围岩最大主应力分布范围近似呈对称分布。针对过断层段围岩破坏较为严重,在现有支护基础上提出对应的补强支护方案,有效控制围岩的变形。

关键词:断层;采动影响;矿压显现;补强支护

中图分类号: TD355 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2022)02-0047-07

Abstract: In order to research the effect of faults on the stability of roadway wall rock, in this article, the return air laneways of 201 and 203 working faces of a certain mine are used as the engineering background, the FLAC^{3D} digital simulation method is used to research the morphological distribution features and stress field distribution features of roadway wall rock plastic zone to reveal the law of strata behaviors of the return air laneways of 201 and 203 working faces under joint affect of mining and faults. The research result shows that the wall rock plastic zone where the roadway passes through the fault section has remarkable uneven distribution features, and failures occur in the shallow wall rock of roadway, with unloading phenomenon, and remarkable stress concentration zone is gradually formed in the deep wall rock; the failure morphology of wall rock plastic zone where the coal pillar passes through fault section is relatively uniform, and the distribution range of maximum principal stress of roadway wall rock seems to be symmetrically distributed. Aiming at the severe failure where the wall rock passes through fault section, the corresponding reinforced supporting solution is put forward based on the existing supporting method to effectively control the deformation of wall rock.

Key words: fault; mining effect; strata behaviors; reinforced supporting

1 前言

随着我国煤矿开采深度的逐年增加和采掘活动的影响,再加上断层构造带等地质特征因素的影响,导致大量回采巷道处于困难条件,围岩变形量大、支护体失效严重、冒顶事故时有发生,为了保证巷道的正常使用和工作安全,许多矿井花费大量人力和支护材料对回采巷道进行维护和翻修,严重影响了矿井的正常接续和安全生产。

断层对围岩变形破坏的影响机理是围岩控制的关键。针对此问题,国内外学者进行了有益地探究。彭苏萍^[1]通过建立了高角度的不同开采方法的两组不同断层模型,分析研究煤层顶板变形规律产生的矿压显现规律,从而得到煤岩体受采动影响断层活化断裂滑移失稳,煤岩体应力不正常现象。刘德乾^[2]利用离心模型实验法,针对煤岩体的应力和变形特征进行了实验研究,通过研究开采过程中煤柱和顶底板应力的传递规律以及构造因素产生的影响,认为断层结构面的存在改变了顶板变形和受力的连续性,断层两侧顶板的受力状态明显不同,并沿结构面形成应力集中带。李志华^[3]以济三煤矿6303工作面地质条件为背景,采用物理数学模型及

[作者简介] 顾以春(1984-),男,助理工程师,主要从事矿山开采与爆破工程方面的技术研究。

[引用格式] 顾以春,钱秀,李岗.断层临近区工作面回风顺槽围岩变形及其控制[J].中国矿山工程,2022,51(2):47-53.

数值模拟软件模拟,研究了工作面分别从在断层上盘及下盘向断层开采时采动诱发矿压冲击情况,研究认为工作面距离断层越近,断层活化滑移量及滑移速度越大,工作面在断层下盘向断层开采会导致工作面发生冲击矿压危险性更高。马念杰、李季、赵志强等^[4-5]推导出了不均匀应力场条件下圆形巷道围岩塑性区的边界方程,发现了“蝶形”不规则塑性区及其形成的力学机制,应力场大小与方向、巷道断面形状、岩性组合等关键因素对巷道围岩塑性区形态具有不同程度的影响。

以上文献主要研究断层对围岩变形的影响,但受采动和断层共同影响对巷道围岩变形的研究却鲜有涉及。因此,本文针对某矿201工作面回风巷和203工作面回风巷为工程背景,采用数值模拟研究方法,研究断层上下盘活动效应下巷道受开采扰动下的矿压显现及围岩变形规律,揭示巷道断层活化机制对巷道变形破坏失稳机理,针对性提出巷道补强支护方案。

2 工程概况

某矿地处陕北黄土高原南部,属黄土高原中等

切割区,侵蚀构造地形,煤炭资源丰富。矿区南北长约5~7 km,东西宽约3~8 km,形状不规则,井田面积约为15.4885 km²,设计生产能力60万t/a,主采煤层为K2煤层,开拓方式为斜井开拓,采煤方法为单一煤层长壁采煤法,全部垮落法处理采空区。根据该矿生产接续计划,将于2021年9月起对二盘区201、203工作面进行回采。根据邻近矿井地质资料和二盘区大巷掘进过程中断层揭露情况,预计201工作面至203工作面之间存在与工作面推进方向平行且横贯井田境界东西两侧的3DF4断层,落差1~3 m。巷道平面布置如图1所示。目前,201工作面已经形成,掘进过程中201回风顺槽左帮揭露多条小断层,距201工作面回风巷开口850~1260 m,3DF4断层沿巷道走向穿过巷道顶板中心,顶板破碎带较为发育,围岩变形量较大,巷道未穿过断层位置围岩变形量较小,围岩实际变形情况如图1所示。203工作面回风巷与201工作面回风巷之间留设30 m煤柱,属于正掘进巷道,在距巷道开口1600 m到203工作面切眼位置3DF4断层穿过。

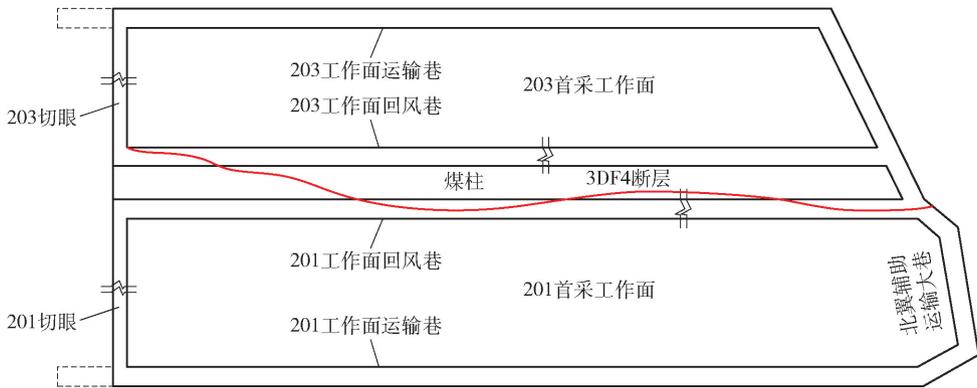


图1 巷道平面布置图

3 数值模拟

3.1 数值模型建立

根据该矿201和203综采工作面的地质条件,利用FLAC^{3D}5.0数值模拟软件建立数值模型,研究掘巷阶段巷道穿断层段与未穿断层段围岩塑性区和应力场分布特征。数值模型尺寸(长×宽×高)为410 m×120 m×120 m,具体如图2所示。对模型的四周施加水平方向位移约束,模型顶部和底部根据埋深施加应力边界条件:顶部应力为2.1125 MPa,底部应力为5.1125 MPa;整个模型施加竖直方向和水平方向体力为梯度应力,取侧压系数取1.7。本

数值模型采用弹塑性本构模型,破坏准则采用Mohr-Coulomb准则。模型各岩层围岩力学参数见表1。



(a) 巷道过断层

(b) 巷道未过断层

图2 201工作面回风巷围岩变形情况

表1 岩层物理力学参数

岩层	容重/kg·m ⁻³	体积模量/GPa	剪切模量/GPa	抗拉强度/MPa	内摩擦角/(°)	黏聚力/MPa
黄土	2 580	6.25	5.65	2.83	35	3.5
细粒砂岩	2 575	5.85	5.35	1.31	30	3.45
砂质泥岩	2 570	6.85	5.35	1.93	35	3.45
泥岩	2 540	5.75	4.30	1.90	17	1.16
煤	1 450	2.41	1.63	0.47	20	0.85
泥岩	2 530	5.75	4.38	1.26	17	1.16
砂质泥岩	2 560	6.85	5.35	2.50	35	3.45
断层破碎带	1 400	0.24	0.561 5	0.078 5	10	0.082 5

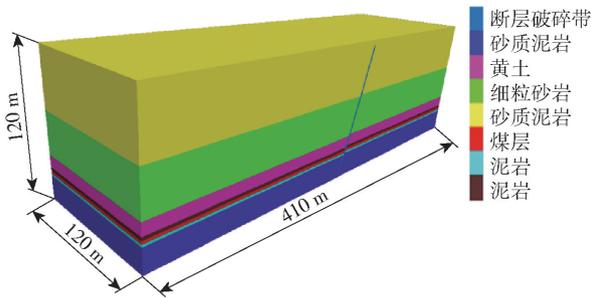


图2 数值计算模型

3.2 掘巷阶段巷道围岩塑性区分布形态

图3所示为201与203工作面回风巷穿过断层段围岩塑性区分布形态,巷道穿断层段与未穿断层段围岩塑性区最大破坏深度见表2。

201工作面回风巷和203工作面回风巷处于断层三种相对位置时围岩塑性区分布形态可知,断层的位置对巷道围岩塑性区形态的分布特征具有显著影响:整个断层破碎带完全处于塑性破坏状态。由图3(a)和图3(c)可得,201和203回风巷过断层段

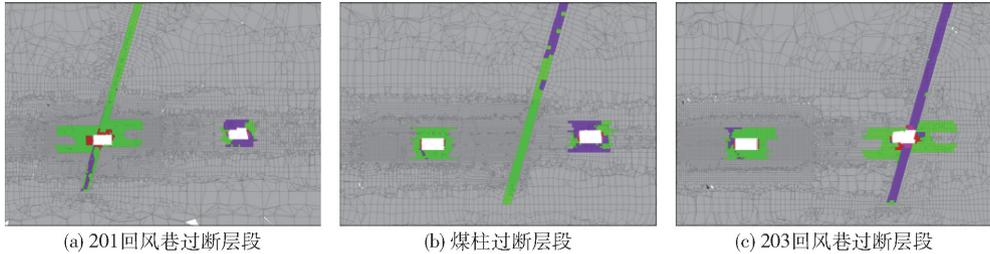


图3 巷道过断层与未过断层段围岩塑性区分布形态

表2 巷道穿断层段与未穿断层段围岩塑性区最大破坏深度

	顶板	底板	煤柱侧	煤壁侧
	(上/下盘)	(上/下盘)		
201回风巷穿断层段	2.3 m/	2.1 m/	7 m	6 m
201回风巷	3.7 m	0.5 m		
201回风巷穿断层段	2 m	2.2 m	1.8 m	1.8 m
煤柱穿断层段	1.9 m	1.85 m	1.85 m	1.8 m
203回风巷穿断层段	2.1 m	2 m	2 m	1.6 m
203回风巷穿断层段	0.9 m/	3.4 m/	6.2 m	5 m
203回风巷	2 m	8 m		

于上盘顶板的塑性区最大破坏深度明显小于下盘,位于上盘底板的塑性区最大破坏深度明显大于下盘,且顶底板塑性区分布形态沿岩层倾向延伸扩展,煤壁侧塑性区最大破坏深度小于煤柱侧。

由图3(b)可得,煤柱过断层段的围岩塑性区形态的分布特征较为均匀,顶底板塑性区最大破坏深度大于两帮。

3.3 掘巷阶段巷道围岩应力场分布特征

图4所示为201与203工作面回风巷穿过断层段围岩最大主应力分布形态(FLAC^{3D}软件系统默认围岩受压为负,拉力为正)。

掘巷阶段,断层的位置对巷道围岩最大主应力场的分布特征具有显著影响:巷道浅部围岩发生塑性破坏,因此出现“卸荷”区域,深部围岩逐渐出现应力集中现象。由图4(a)可得,201巷道顶底板深

的围岩塑性区形态具有明显的非均匀分布特征,位

部围岩出现应力集中现象,顶板深部围岩(距巷道顶板9.52 m)最大主应力为10 MPa,约为原岩应力(7.2 MPa)的1.4倍,底板深部围岩(距巷道顶板11.2 m)最大主应力为26 MPa,约为原岩应力的3.6倍;由图4(c)可得,203巷道顶、底板深部围岩出现应力集中现象,顶板深部围岩(距巷道顶板8.4 m)最大主应力为10 MPa,约为原岩应力的1.4倍,底板深部围岩(距巷道顶板11.2 m)最大主应力为

18 MPa,约为原岩应力的2.5倍。

由图4(b)可得,201回风巷和203回风巷围岩最大主应力有近似相同的分布特征。201回风巷与203回风巷顶底板深部(距巷道顶板5.6 m)均出现应力集中现象,最大主应力为10 MPa,约为原岩应力的1.4倍;巷道周围浅部围岩最大主应力为2 MPa,约为原岩应力的0.25倍。

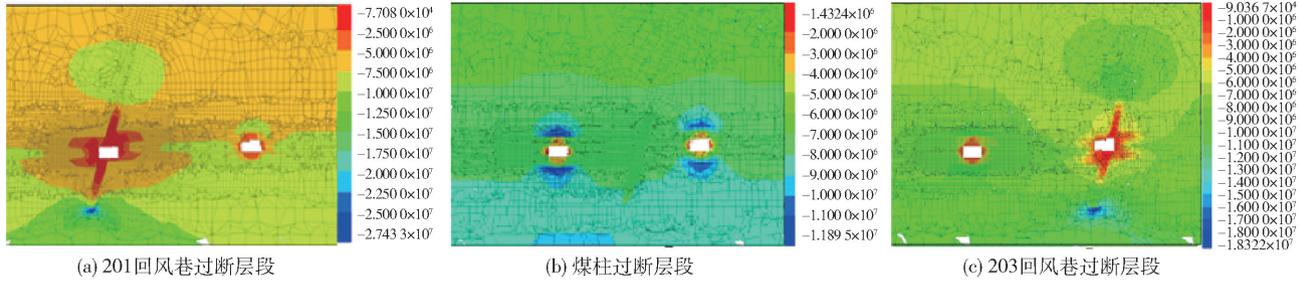


图4 巷道穿断层段与未穿断层段围岩最大主应力分布形态

4 支护参数优化

根据前文数值模拟研究结果可知,巷道过断层位置顶板变形量较大,在现有的支护条件下若受到201工作面回采影响时存在冒顶风险;未过断层位置巷道顶板变形量较小,现有的支护条件下受201工作面回采影响时顶板相对稳定。为保证回采期间巷道的安全稳定,需要在巷道过断层顶板位置补打

锚索,超前工作面影响范围内配合单体液压支柱支护顶板。

4.1 补强支护建议

为对巷道进行有效的补强支护,分别模拟直径为15.24 mm、17.8 mm和21.6 mm的三种锚索补强支护效果,综合选取最优支护方案。拟定超前工作面补强支护方案见表3。

表3 超前工作面补强支护方案

位置	序号	补强措施
巷道穿过断层段	方案1	顶板断层位置补打一根 $\phi 15.24\text{ mm} \times 11\ 600\text{ mm}$ 锚索,排距1.6 m;超前支护范围30 m,一个断面架设四根DW30-250/100单体液压支柱,间排距 $1.2\text{ m} \times 0.8\text{ m}$
	方案2	顶板断层位置补打一根 $\phi 17.8\text{ mm} \times 11\ 600\text{ mm}$ 锚索,排距1.6 m;超前支护范围30 m,一个断面架设四根DW30-250/100单体液压支柱,间排距 $1.2\text{ m} \times 0.8\text{ m}$
	方案3	顶板断层位置补打一根 $\phi 21.6\text{ mm} \times 11\ 600\text{ mm}$ 锚索,排距1.6 m;超前支护范围30 m,一个断面架设四根DW30-250/100单体液压支柱,间排距 $1.2\text{ m} \times 0.8\text{ m}$
巷道未穿过断层段	方案1	超前支护范围25 m,一个断面架设三根DW30-250/100单体液压支柱,间排距 $1.6\text{ m} \times 1.0\text{ m}$

4.2 补强支护效果分析

1) 巷道过断层段

图5所示为201回风巷过断层段超前工作面5 m位置补强支护与原支护后顶板变形量曲线图。从图中可以看出,选取不同直径补强锚索效果存在差别: $\phi 21.6\text{ mm} > \phi 17.8\text{ mm} > \phi 15.24\text{ mm}$;顶板表面变形量减小明显,自由端和锚固端变化较小。顶

板具体变形减小量见表4。

图6所示为203回风巷过断层段超前工作面5 m位置补强支护与原支护后顶板变形量曲线图。从图中可以看出,选取不同直径的补强锚索效果存在差别: $\phi 21.6\text{ mm} > \phi 17.8\text{ mm} > \phi 15.24\text{ mm}$ 。顶板表面变形量减小明显,自由端和锚固端变化较小。顶板具体变形量见表5。

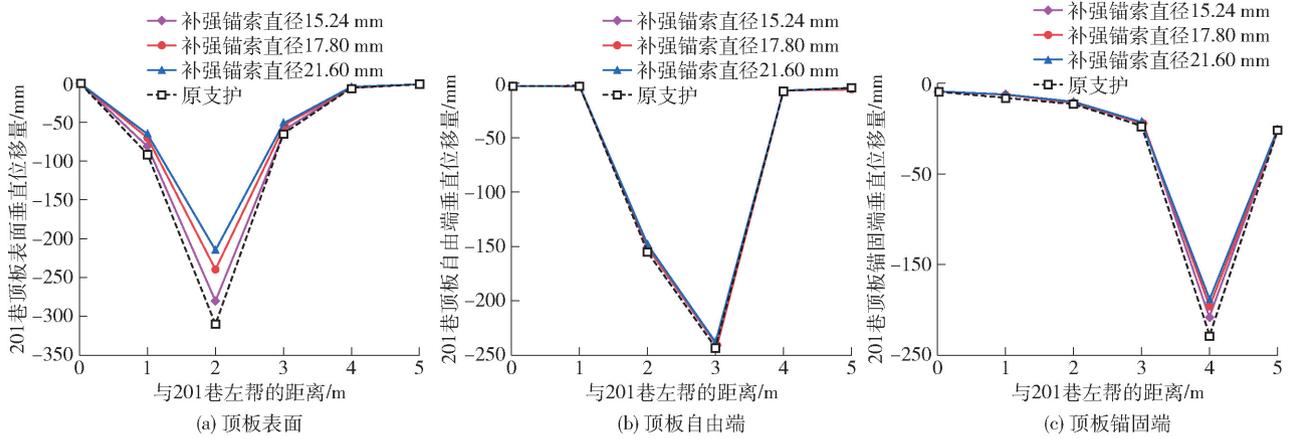


图5 201回风巷过断层段超前5 m位置补强支护效果分析

表4 201回风巷过断层段超前工作面5 m位置补强支护与原支护后顶板变形量

支护方案	顶板表面 变形减小量/mm	顶板自由端 变形减小量/mm	顶板锚固 端变形减小量/mm
φ15.24 mm × 11 600 mm 锚索配合 DW30-250/100 单体液压支柱	30.51	3.12	2.1
φ17.8 mm × 11 600 mm 锚索配合 DW30-250/100 单体液压支柱	70.62	4.003	3.3
φ21.6 mm × 11 600 mm 锚索配合 DW30-250/100 单体液压支柱	95.08	5.01	4.0

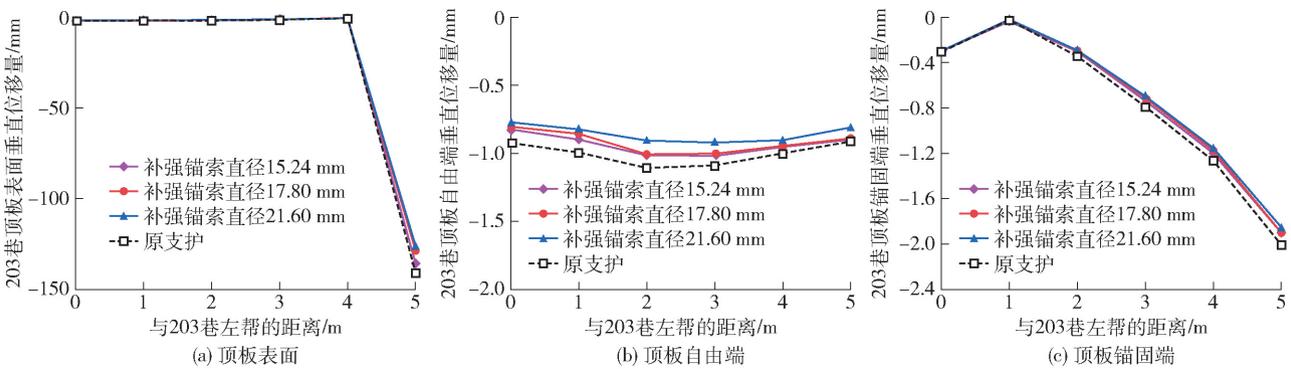


图6 203回风巷过断层段超前5 m位置补强支护效果分析

表5 203回风巷过断层段超前工作面5 m位置补强支护与原支护后顶板变形量

支护方案	顶板表面变形 减小量/mm	顶板自由端 变形减小量/mm	顶板锚固端 变形减小量/mm
φ15.24 mm × 11 600 mm 锚索配合 DW30-250/100 单体液压支柱	4.93	0.09	0.1
φ17.8 mm × 11 600 mm 锚索配合 DW30-250/100 单体液压支柱	11.06	0.098	0.112
φ21.6 mm × 11 600 mm 锚索配合 DW30-250/100 单体液压支柱	13.69	0.198	0.15

2) 巷道未过断层段

图7所示为201回风巷和203回风巷未过断层段超前工作面5 m位置补强支护与原支护后顶板表面变形量曲线图。从图中可以看出,采用DW30-250/100单体液压支柱超前支护时,顶板表面变形减小量较小。201回风巷补强支护后顶板表面最大

变形量减小0.286 mm;203回风巷补强支护后顶板表面最大变形量减小0.101 mm。

综合分析对比过断层段三种补强支护方案和未过断层段补强支护方案的效果可知,过断层段采用锚索配合单体液压支柱补强支护可有效减小顶板表面下沉量,未过断层段采用单体液压支柱补强支护

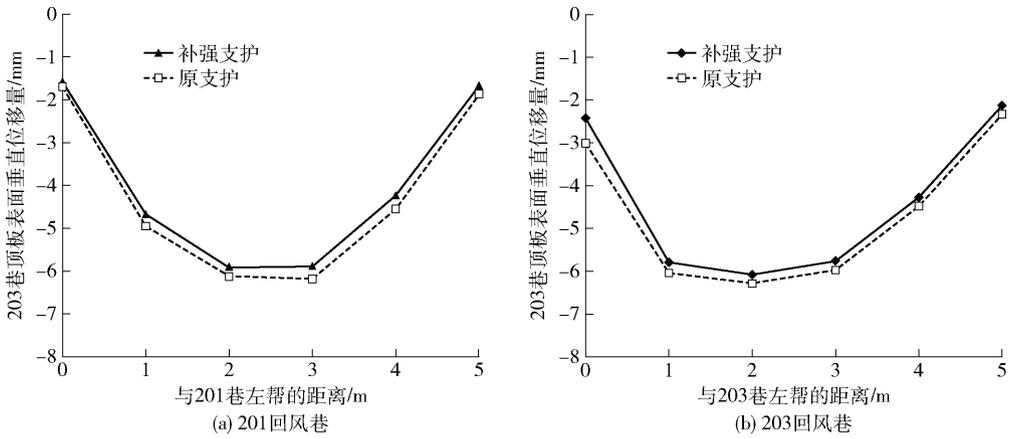


图7 巷道未过断层段顶板表面超前5 m位置补强支护效果分析

顶板下沉量减小较小。

(1)对于过断层段巷道补强支护效果而言,顶板表面变形减小量>顶板自由端和锚固端变形减小量,补强锚索效果 $\phi 21.6\text{ mm} > \phi 17.8\text{ mm} > \phi 15.24\text{ mm}$ 。

(2)对于未过断层段巷道补强支护效果而言,顶板变形量未发生明显减小,顶板在原支护条件小较为完整。

4.3 方案确定

为保证201工作面回采阶段保证超前工作面影响范围内巷道顶板稳定性,减轻工作面采动超前支承压力对巷道的影响,确保留巷达到较好的技术指标,需对工作面前方进行超前补强支护。

巷道过断层位置顶板补强支护方案:顶板断层位置补打一根 $\phi 17.8\text{ mm} \times 11\ 600\text{ mm}$ 锚索,排距1.6 m,每孔3节MSCK2360型树脂药卷端头锚固;超前支护范围30 m,一个断面架设四根DW30-250/100单体液压支柱,间距1.2 m,排距0.8 m。具体支护方案如图8所示。

巷道未过断层位置顶板补强支护方案为:超前支护范围为25 m,一个断面架设三根DW30-250/100单体液压支柱,间距1.6 m,排距1.0 m。具体支护方案如图9所示。

5 结论

(1)当巷道穿过断层段时,巷道顶底板穿过断

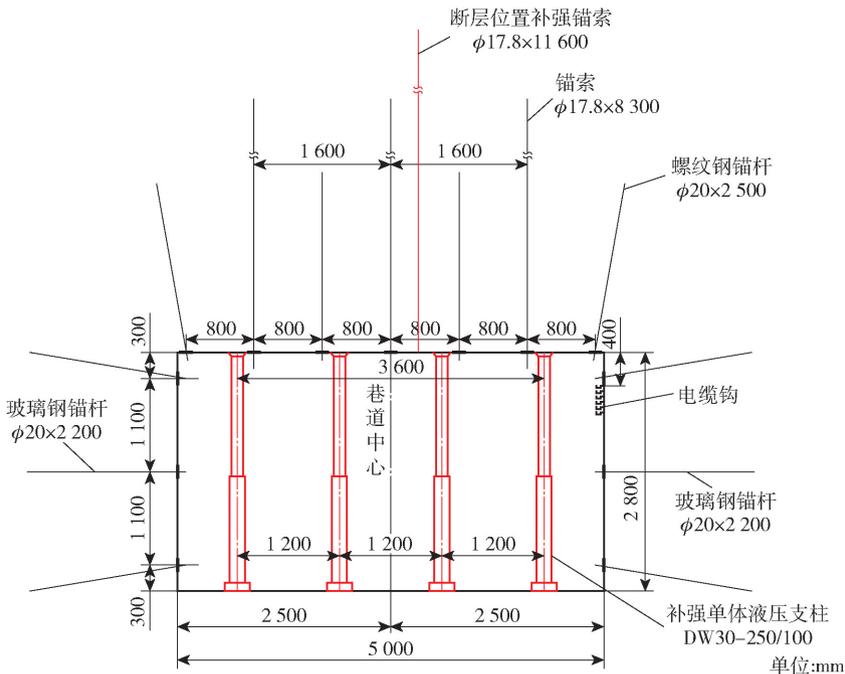


图8 巷道过断层段顶板补强支护方案

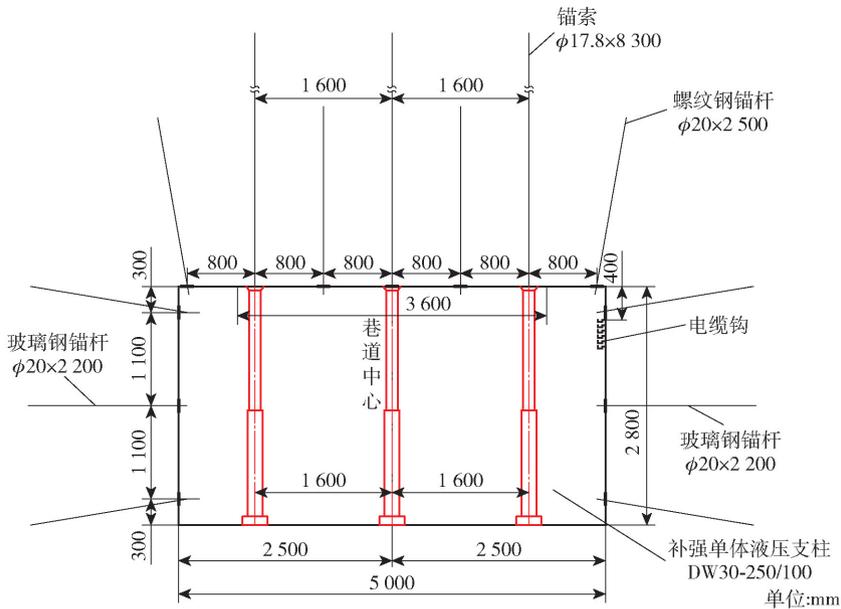


图9 巷道未过断层段顶板补强支护方案

层的位置变形量最大,未穿过断层位置变形量较小,相较于顶底板,两帮变形量较小;当巷道未穿过断层段时,巷道围岩变形量差别较小,顶底板中部位置变形量最大,两帮偏顶底板位置变形量最大。

(2)针对巷道过断层段顶板变形量大的问题,提出了三种补强支护方案,在考虑安全、经济和现场施工等综合因素下确定补强支护方案为:①巷道过断层段,断层位置补打一根 $\phi 17.8\text{ mm} \times 11\ 600\text{ mm}$ 锚索,间距 1.6 m ,超前补强范围为 30 m ,配合一个断面架设三根DW30-250/100单体液压支柱,间排距 $1.2\text{ m} \times 0.8\text{ m}$;②巷道未过断层段超前支护范围为 25 m ,一个断面架设三根DW30-250/100单体液压支柱,间排距 $1.2\text{ m} \times 1.0\text{ m}$ 。

[参考文献]

- [1] 彭苏萍,孟召平,李玉林. 断层对顶板稳定性影响相似模拟试验研究[J]. 煤田地质与勘探,2001,4(3):1-4.
- [2] 刘德乾. 埋深煤体采动过程顶板聚压与煤柱受力的关联性及其断层结构影响[D]. 徐州:中国矿业大学,2009.
- [3] 李志华. 采动影响下断层滑移诱发煤岩冲击机理研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2009.
- [4] 马念杰,李季,赵志强. 圆形巷道围岩偏应力场及塑性区分布规律研究[J]. 中国矿业大学学报,2015,44(2):206-213.
- [5] 李季,马念杰,丁自伟. 基于主应力方向改变的深部沿空巷道非均匀大变形机理及稳定性控制[J]. 采矿与安全工程学报,2018,35(4):670-676.