



戴文祥,潘卫东,李 猛,等.近距离煤层强扰动巷道布置与支护技术研究[J].煤炭科学技术,2020,48(12): 61-67. doi:10.13199/j.cnki.cst.2020.12.006
DAI Wenxiang, PAN Weidong, LI Meng, et al. Study on layout and support technology of strongly disturbed roadway in contiguous coal seam [J]. Coal Science and Technology, 2020, 48 (12): 61 - 67. doi: 10.13199/ j.cnki.cst.2020.12.006

近距离煤层强扰动巷道布置与支护技术研究

戴文祥¹,潘卫东²,李 猛¹,张 剑³

(1.中煤大同能源有限责任公司塔山煤矿,山西 大同 037001;2.中国矿业大学(北京) 能源与矿业学院,北京 100083;
3.天地科技股份有限公司,北京 100013)

摘 要:针对上层煤残留煤柱集中应力影响下,回采巷道布置难度大、支护困难等一系列问题,以中煤大同能源有限责任公司塔山煤矿 30515 综放工作面为背景,采用理论分析、数值模拟、现场实测等方法,研究了上覆煤柱集中应力在底板的传递特征,30515 工作面合理煤柱及巷道布置方式,围岩支护参数优化等。研究结果表明:在底板不同深度上,距离煤柱均布载荷越远,应力的分布范围越大,但影响程度越小。3-5 号煤层巷道基本布置在距离上层煤底板 20 m 的层位,此时,至上覆煤柱中心水平距离 25 m 以远煤柱应力集中的影响趋近于 0。为了最大限度节约煤炭资源,30515 大采高综放工作面的回采巷道可以采用沿空掘巷的方式进行掘进,经过计算,区段煤柱留设宽度为 8 m 时,峰值应力小于煤柱的承载极限,煤柱完整性较好,回采巷道不会出现大的变形。“锚网索+钢带”的联合支护方式能够控制回采巷道围岩变形,30515 运输巷在掘进过程中全程无明显矿压显现。研究结论对类似条件下巷道的支护提供了指导。

关键词:特厚煤层;极近距离;沿空掘巷;围岩控制;巷道支护

中图分类号:TD353 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-2336(2020)12-0061-07

Study on layout and support technology of strongly disturbed roadway in contiguous coal seam

DAI Wenxiang¹, PAN Weidong², LI Meng¹, ZHANG Jian³

(1.Datong City, Shanxi Province, Tashan Coal Mine, China Coal Datong Energy Co., Ltd., Datong 037001, China; 2.School of Energy and Mining Engineering, China University of Mining and Technology-Beijing, Beijing 100083, China; 3.Tiandi Technology Co., Ltd., Beijing 100013, China)

Abstract: In view of a series of problems such as difficulties in layout of entry and supporting under the influence of concentrated stress of residual coal pillars in the upper coal seam, based on the background of No.30515 fully-mechanized top-coal caving face in Tashan Coal Mine of China Coal Datong Energy Co., Ltd., theoretical analysis, numerical simulation, field measurement and other methods have been used to study the transfer characteristics of the concentrated stress of the overlying coal pillar in the floor, the reasonable arrangement of coal pillar and roadway in No.30515 working face, and the optimization of the surrounding rock control support parameters. The results show that at different depths of the floor, the farther away the load is uniformly distributed from the coal pillar, the greater the stress distribution range and the smaller the influence degree. The entry layout of No.3-5 coal seam is basically at a level 20 m away from the upper coal floor. At this time, the stress in all directions approaches to 0 at a position 25 m away from the overlying coal pillar. In order to save coal resources to the maximum extent, the entry of No.30515 large-cutting height fully-mechanized top-coal caving face can be excavated along the gob. After calculation, the peak stress is less than the bearing limit of the coal pillar when the width of coal pillar in the section is 8 m, the integrity of the coal pillar is better, and the working face will not have large deformation due to mining disturbance. The combined support mode of “anchor mesh cable + steel belt” can control the surrounding rock deformation of the mining roadway. There is no obvious pressure in the whole process of No.30515 belt driving along the trench. The research conclusions provide a reference for the support of entry under similar conditions.

Key words: extra-thick coal seam; extremely close distance; gob-side entry driving; surrounding rock control; roadway support

收稿日期:2020-08-28;责任编辑:朱恩光
基金项目:国家重点研发计划资助项目(2018YFC0604501)
作者简介:戴文祥(1969—),男,山东济宁人,工程师。E-mail:dw_xwsx@126.com
通讯作者:潘卫东(1982—),男,辽宁宽甸人,副教授。E-mail:pwd@cumb.edu.cn

0 引 言

我国煤田近距离煤层煤炭储量占比很大,约占整个煤炭总储量的 25%,国内很多矿区都面临近距离煤层群开采技术问题,如大同、新汶、汾西等矿区,而近距离煤层开采巷道围岩控制是我国煤矿普遍面临的技术性难题。与单一煤层开采相比,近距离煤层开采巷道围岩所处的空间更为复杂,巷道围岩应力环境恶劣,动压影响十分显著,近距离煤层巷道稳定关系着煤炭开采的安全。由于上、下层煤间距小,开采相互影响特别显著,受上层煤采动扰动,下层煤巷道顶板完整性受到破坏,控制和维护难度很大。对此,国内学者进行里多角度探索。柏建彪等^[1]运用锚杆支护围岩强度强化理论,提出了综放工作面沿空掘巷围岩控制机理,并成功地应用于工程实践。王志强等^[2]针对特厚煤层综放开采煤柱留设宽度和接续工作面巷道围岩控制技术的问题,引入错层位外错巷道布置采煤法,并结合数值模确定了联合锚固区域支护参数方案。孙福玉^[3]以某矿 103 工作面运输巷为工程背景,研究综放窄煤柱沿空掘巷围岩变形破坏特征、灾变失稳过程及提高围岩承载能力的机理,现场工业试验验证了支护方案的合理性。

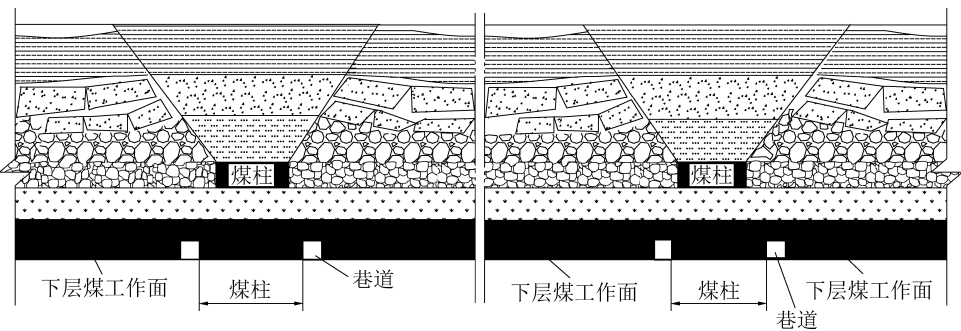


图 1 反向内错布置方式
Fig.1 Reverse internal stagger arrangement

随着开采规模日益扩大,煤炭资源储量日渐减少,内错布置留设煤柱大以及煤炭资源损失多的缺点越发明显^[8],如何实现资源高采出率一直是采矿界关注的焦点。塔山煤矿目前开采的 30515 综放工作面,设计生产能力 3.00 Mt/a,井田位于山西省大同煤田东翼中东部边缘地带,该矿正在开采的 30515 综放工作面。工作面地层走向近似东西,倾向北,倾角为 2°~9°,平均为 4°。工作面所在区域呈一单斜构造,工作面趋势为南高北低,底板标高为 +979—+1 024 m,平均+1 002 m。巷道合理布置新方式成为近距离煤层提高煤炭资源采出率的关键,

康红普等^[4]分析了目前煤矿锚索支护存在的问题,在高预应力强力支理论的基础上,提出高预应力、长度较短的强力锚索全断面垂直岩面布置,是高地压、大变形巷道的有效支护方式。王卫军等^[5]将围岩有关力学参数视为随机变量,以煤帮稳定极限状态为基础,应用工程可靠性理论,分析了回采巷道煤帮锚杆支护的可靠性,建立了可靠度计算模型,为优化回采巷道锚杆支护参数提供了一种新的方法。以上研究虽对近距离特厚煤层巷道布置与围岩控制提出了可靠的解决方案,但多数具有特定性,不同的地质环境,仍需再进行研究。中煤大同能源有限责任公司塔山煤矿 30515 工作面与上覆 2 号煤层已采工作面同向相错布置,上下两层煤间距平均 4.64 m,属于近距离煤层采空区下综放开采。为了保证 30515 工作面安全掘进,对小煤柱沿空掘进巷道进行应力分析,选择 30515 工作面回风巷合理支护参数,制定针对性措施防止巷道的变形和破坏。

1 采空区下特厚煤层巷道布置形式

在生产实践中,对于近距离煤层群开采,下层煤巷道通常采用内错布置^[7]。两巷相向布置在上层煤工作面采空区下方,如图 1 所示。

为此采用同向相错的巷道布置方式,如图 2 所示。改变区段巷道内错布置方位,采用同向布置方式,将上覆煤柱布置在工作面内,则可大幅提高煤炭资源采出率^[7]。另外,借鉴塔山煤矿以往经验,3-5 号煤层留设窄煤柱开采,利用小煤柱提供的天然低应力环境,可进一步提高采区采出率,实现煤炭资源的高效采出。

2 同向布置内错距、小煤柱宽度的确定

2.1 2 号煤层煤柱集中应力在底板中的分布

对近距离煤层开采而言,下层煤开采过程中矿

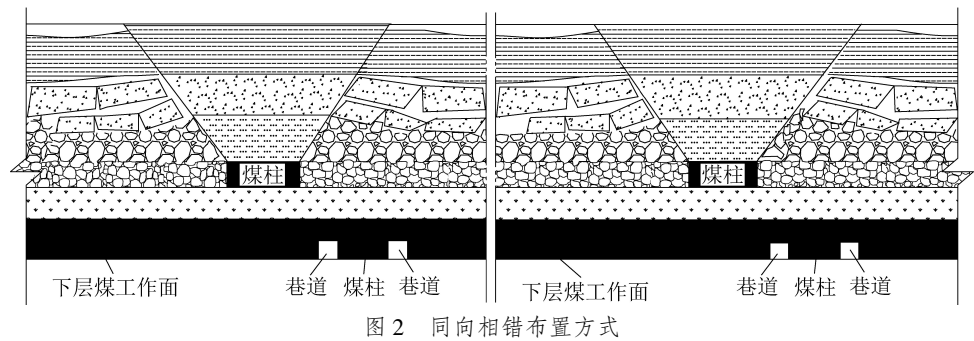


图 2 同向相错布置方式

Fig.2 Co-directional staggered arrangement

山压力显现特征,主要受到上层煤开采后底板所处的应力环境,及煤柱集中应力分布特征影响。上覆 2 号煤层采用长壁工作面开采后,残留区段煤柱受到的载荷形态非常复杂。假定煤柱受到均布载荷作用,在给定煤柱宽度大小的条件下,给出煤柱集中应力在底板不同深度的分布曲线,进而分析煤柱集中应力在底板的传递和扩散规律^[9]。宽 30 m 煤柱在

底板的应力分布如图 3 所示。

由图 3 可得在底板不同深度上,距离煤柱均布载荷越远,应力的分布范围越大,且影响程度越小。3-5 号煤层巷道基本布置在距离上层煤底板 20 m 的层位,此时,至上覆煤柱中心水平距离 25 m 以远煤柱应力集中的影响趋近于 0,因此巷道布置在此处有利于围岩稳定^[10-11]。

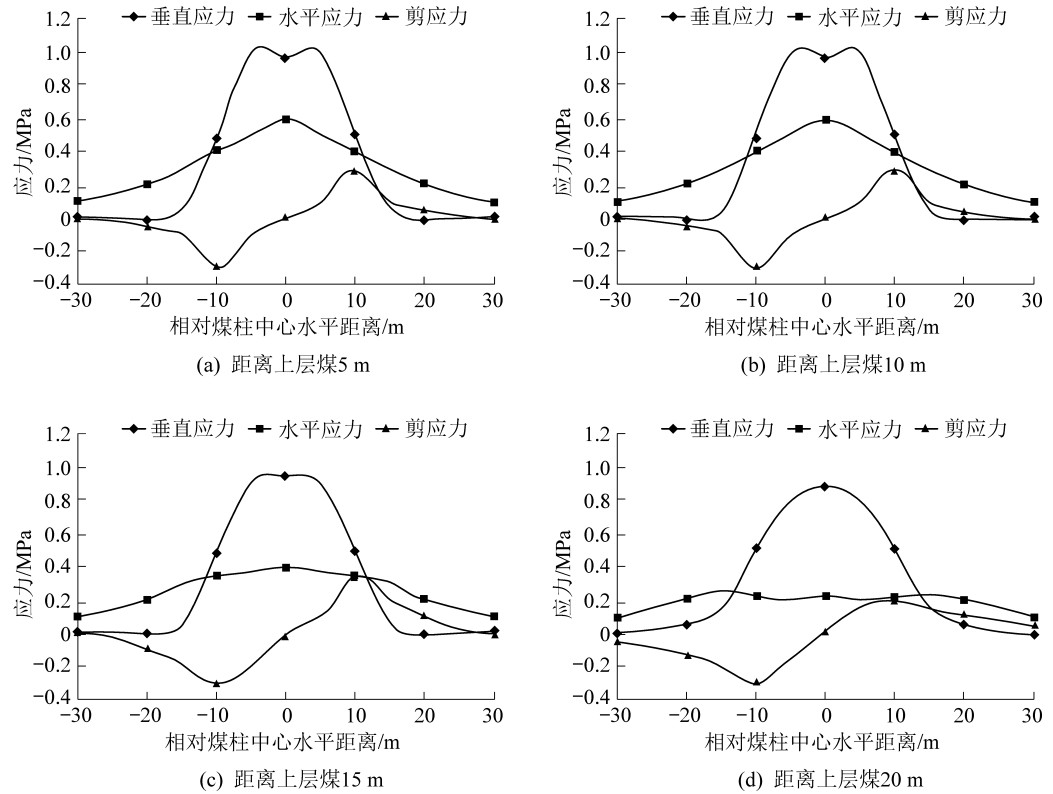


图 3 煤柱集中应力在底板分布

Fig.3 Distribution of concentrated stress of coal pillar in floor

2.2 小煤柱宽度确定

采用沿空掘巷的方式留设小煤柱,侧方邻近工作面回采后,基本顶在采空区侧形成弧形平衡拱结构,如图 4 所示。

巷道侧塑性区宽度 L_1 按下式计算:

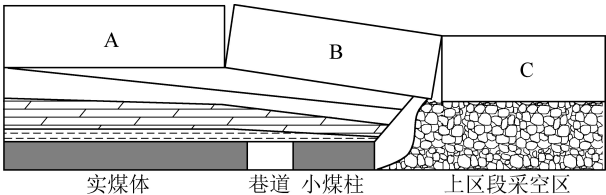
$$L_1 = B \left[\frac{(H + C_0 \cot \varphi_0)(1 - \sin \varphi_0)}{C_0 \cot \varphi_0} \right]^{\frac{1 - \sin \varphi_0}{2 \sin \varphi_0}} \quad (1)$$


图 4 沿空掘巷小煤柱分区破坏模型

Fig.4 Partition failure model of small pillar in gob-side entry driving

式中: B 为区段巷道宽度,取 5.2 m; H 为埋深,取 400 m; C_0 为围岩黏聚力,由实验室测得,取 2.9 MPa; φ_0 为煤岩体本身的层理面等交界面的内摩擦角,由实验室测得,取 34° 。

小煤柱采空区侧塑性区 L_2 的宽度计算公式为

$$L_2 = \frac{M\lambda}{2\tan \varphi_0} \left[\frac{K\gamma H + C_0/\tan \varphi_0}{C_0/\tan \varphi_0 + P_0/\lambda} \right] \quad (2)$$

式中: M 为煤层一次性采出厚度,取 18 m; λ 为侧压系数,取 0.21; φ_0 为内摩擦角,取 34° ; K 为回采引起的应力集中系数,取 3; γ 为上覆岩层的平均容重,取 2.5 t/m^3 ; H 为开采深度,取 400 m; C_0 为黏聚力,取 4 个分层的黏聚力平均值 2.9 MPa; P_0 为上区段平巷支架对下帮的支护阻力,根据现场实测,取 630 kN。

小煤柱体较稳定弹性区 L_3 ,考虑到煤层厚度和锚固区域的稳定而增加的煤柱宽度的值为^[12-13]

$$L_3 = (0.3 \sim 0.5)(R_1 + L_2) \quad (3)$$

式中: R_1 为锚固区域合理稳定宽度,取 3 m。

根据式(1)—式(3)得小煤柱宽度 $D=L_1+L_2+L_3=8.0 \text{ m}$ 。其中, L_3 的安全系数取 0.3。3-5 号煤层综放开采留设区段小煤柱宽度小于 15.3 m 时,煤柱内垂直应力小于原岩应力。采用沿空掘巷的方式更有利于维护区段巷道围岩的稳定,沿空掘巷条件下小煤柱理论合理宽度为 8 m。

2.3 煤柱合理宽度数值模拟

以 30501、30515 工作面的地质采矿特征为原型,采用 3DEC 软件建立数值模型,模拟不同煤柱宽度下煤体的应力分布规律^[14-15],从而确定合理的煤柱宽度。模拟方案中的煤柱宽度分为 5、8、10、12、15 m 共 5 种,通过模拟 30501 工作面 and 相邻 30515 工作面回采过程,分析煤柱的应力分布规律,进而确定煤柱的合理宽度。模拟煤岩层物理力学参数见表 1、表 2。

表 1 煤岩块体物理力学参数

Table 1 Physical and mechanical parameters of coal and rock blocks

岩性	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	杨氏模 量/GPa	泊松比	黏聚力/ MPa	内摩擦 角/ $(^\circ)$	抗拉强 度/MPa
砂质泥岩	2 420	25.01	0.25	2.60	55.26	6.32
粉砂岩	2 738	39.23	0.15	3.27	61.42	8.65
碎屑岩	2 147	26.07	0.23	2.55	52.45	7.41
粉砂、砂质泥岩	2 180	27.42	0.20	2.95	55.45	6.38
2 煤	1 290	14.43	0.40	1.20	37.18	2.15
高龄质泥岩	2 287	17.97	0.24	2.55	42.45	4.06
3-5 煤	1 310	15.32	0.37	1.20	39.37	2.80
砂质泥岩	2 120	24.28	0.21	2.41	40.26	6.29

表 2 煤岩层节理面力学参数

Table 2 Mechanical parameters of coal seam joint surface

岩性	法向刚 度/GPa	切向刚 度/GPa	黏聚力/ MPa	内摩擦 角/ $(^\circ)$	抗拉强 度/MPa
砂质泥岩	5.5	5.3	0.75	22.8	0.42
粉砂岩	6.3	4.4	1.35	25.6	1.57
碎屑岩	2.5	1.4	0.65	22.8	0.38
粉砂、砂质泥岩	1.5	1.7	0.45	25.0	0.25
2 煤	1.2	1.6	0.05	14.9	0.05
高龄质泥岩	1.3	1.7	0.32	20.0	0.23
3-5 煤	1.7	1.6	0.09	11.0	0.04
砂质泥岩	4.0	3.0	0.50	13.0	0.50

30501 工作面和 30515 工作面之间的区段煤柱须承受 2 次开采扰动的影响,因此要求该煤柱在 30501 工作面一次扰动和 30515 工作面二次扰动作用下均能够保持相对完整,不会发生大的变形,其承受的应力水平不会超过其承载极限而发生破坏。根据数值模拟监测结果,获得煤柱在 2 次扰动情况下的应力变化规律。

1) 煤柱受一次扰动的应力变化规律。在 30501 工作面开采过程中,当工作面推至接近一次见方,覆岩发生大面积整体破断时,对区段煤柱的作用最为显著,若此时煤柱应力小于其承载极限,则采动对煤柱的影响较小,煤柱的安全性较高。

30501 工作面推至 170 m 时,煤柱内部应力变化曲线如图 5 所示。可以看出,受一次扰动煤柱内部应力呈现先升高后降低的变化趋势,并且在距煤壁 9 m 位置出现应力峰值,其大小为 20.2 MPa,在距煤壁 15 m 的位置,垂直应力基本接近其原岩应力,受开采扰动影响较小。实验室测定的 3-5 煤单轴抗压强度为 9.83~21.47 MPa,平均为 14.63 MPa,同时实际煤柱的承载极限要大于实验室测定结果,因此分析可以得出,距煤壁 8~10 m 的煤体应处于弹性区,完整性较好,主要承载上覆岩层的垂直压力。

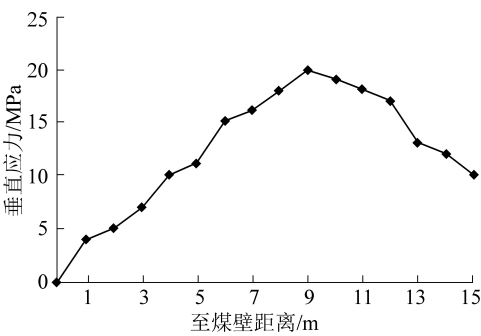


图 5 煤柱受一次扰动其内部应力

Fig.5 Stress of coal pillar subjected to a primary disturbance

2)不同宽度煤柱受二次扰动的应力分布特征。根据数值模拟方案,30515 工作面开采时模拟 5 种煤柱宽度,分别为 5、8、10、12 和 15 m。当工作面推至接近其与 30501 面共同组成的二次见方时,覆岩大面积垮落对区段煤柱的安全性影响最大,因此对此时的煤柱应力进行监测。整理数据得出相应应力变化曲线(图 6)。

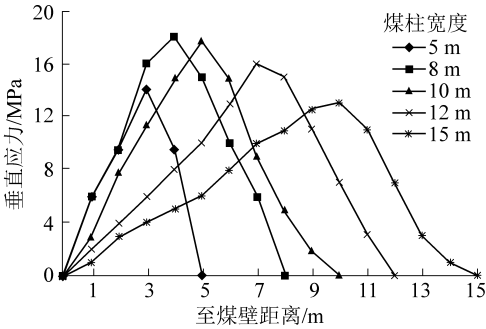


图 6 煤柱受二次扰动其内部应力

Fig.6 Stress of coal pillar subjected to secondary disturbance

由图 6 可得,随着深入煤壁距离的增大,煤柱应力基本呈先增大后减小的变化趋势。当煤柱宽度为 5 m 时,煤柱内部峰值应力为 14.3 MPa,此时应力较小,主要是由于煤柱在承受覆岩静压和开采动压的影响下,煤体破坏较为严重,煤柱内部的弹性区消失,承载能力降低,因此宽 5 m 的煤柱显然是不合适的。

当煤柱留设宽度为 8、10 m 时,其内部应力的变化情况基本类似,峰值位置距煤壁 4~5 m,大小分别为 18.3、17.8 MPa,此时应力峰值位置位于煤柱的弹性核区。并且峰值应力小于煤柱的承载极限,煤柱完整性较好,区段巷道受开采扰动影响不会出现大的变形。

煤柱留设宽度为 12、15 m,与宽 10 m 相比,应力峰值分别降低 15.90、12.88 MPa,此时煤柱峰值应力远小于其承载极限,煤柱安全性更高,但造成一定煤炭资源浪费。

因此,从煤柱应力分布角度分析,当煤柱宽度为 8~10 m 时,煤柱承载能力较高且完整性较好,在保证煤柱拥有较高安全性的同时能够最大限度缩小煤柱宽度,避免资源浪费。故根据数值模拟结果,塔山煤矿区段煤柱留设宽度选择 8 m。

3 30515 工作面巷道支护设计及应用效果

沿空巷道围岩经历多次采动的影响,浅部围岩易破坏^[16],因此需提高锚杆支护的强度,塔山煤矿采用高预紧力锚杆、锚索协调支护的方式。锚杆支护系统必须能够适应多次采动的影响,有效控制围

岩的变形与破坏,避免多次支护与翻修。针对回风巷所处的应力环境,对回风巷加强支护^[17-18]。根据现场调研及相关应用研究,在支护材料的强度上提出更高的要求,对支护设计提出更合理的参数,是围岩控制的关键,对此,结合现场实际应用情况,对 30515 工作面支护材料及参数进行如下优化。

1)锚杆杆体:30515 回风巷锚杆杆体为左旋无纵筋螺纹钢,400 号锚杆钢材。杆体直径 22 mm,屈服载荷 152 kN,极限拉断力 217 kN,延伸率 18%。杆尾螺纹规格 M24×3,采用滚压加工工艺成型,锚杆杆体采用强度等级为 6 级高强螺母,支护现场配备宽 280 mm,厚 4 mm,长度为 450 mm 的 W 型钢护板作为护表构件,排距 900 mm,间距 900 mm。30515 运输巷锚杆杆体为左旋无纵筋螺纹钢,335 号锚杆钢材。杆体直径 22 mm,屈服载荷 125 kN,极限拉断力 186 kN,延伸率 18%。杆尾螺纹规格 M24×3,采用滚压加工工艺成型,锚杆杆体采用强度等级为 6 级高强螺母,支护现场配备宽 280 mm,厚 3 mm,长 450 mm 的 W 型钢护板作为护表构件。排距 1 000 mm,间距 1 000 mm。锚杆预紧力矩要求不小于 400 N·m。

2)采用 150 mm×150 mm×10 mm 的可调心式锚杆托板,配合使用调心球垫和减摩垫片,承载力不得低于 198 kN。

3)W 钢带:30515 回风巷采用宽 280 mm,厚 4 mm,长度 5 000 mm 的 W 型钢带作为护顶构件,每隔 900 mm 开椭圆形孔。30515 运输巷采用宽 280 mm,厚 3 mm,长度 5 200 mm 的 W 型钢带作为护顶构件,每隔 1 000 mm 开椭圆形孔。

4)锚索及配套:30515 回采巷道索体均采用 1×19 股高强度低松弛预应力钢绞线,公称直径 21.8 mm,极限强度 1 860 MPa,极限破断力 582 kN,延伸率不小于 5%,配套锁具^[19]。回风巷采用高强度拱形可调心托板 300 mm×300 mm×16 mm,含调心球垫,承载力不得低于 524 kN。运输巷采用高强度拱形可调心托板 300 mm×300 mm×14 mm,含调心球垫,承载力不得低于 524 kN^[20]。采用“四四间隔”布置,每隔 1 800 mm 在巷道中部打 4 根锚索,间距为 1 500 mm,垂直顶板岩层。

综合以上,优化 30515 工作面回风巷、运输巷支护方案如图 7、图 8 所示。

30515 回风巷全长 1 965 m,应用加强支护方案,回采初期,回风巷和运输巷的压力均不大,回风巷矿压显现主要在推进 300~900 m 段,该段同时受

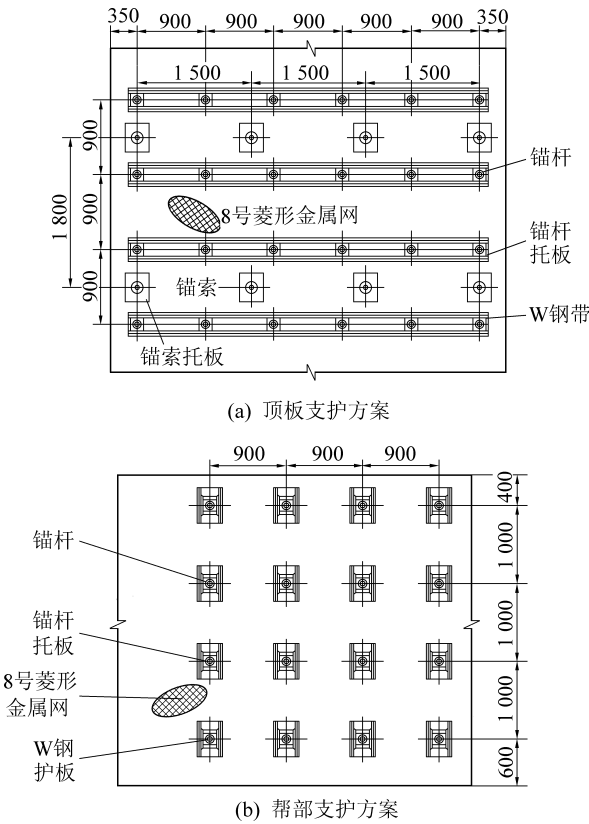


图 7 30515 回风巷支护方案

Fig.7 Support scheme of No.30515 tail entry

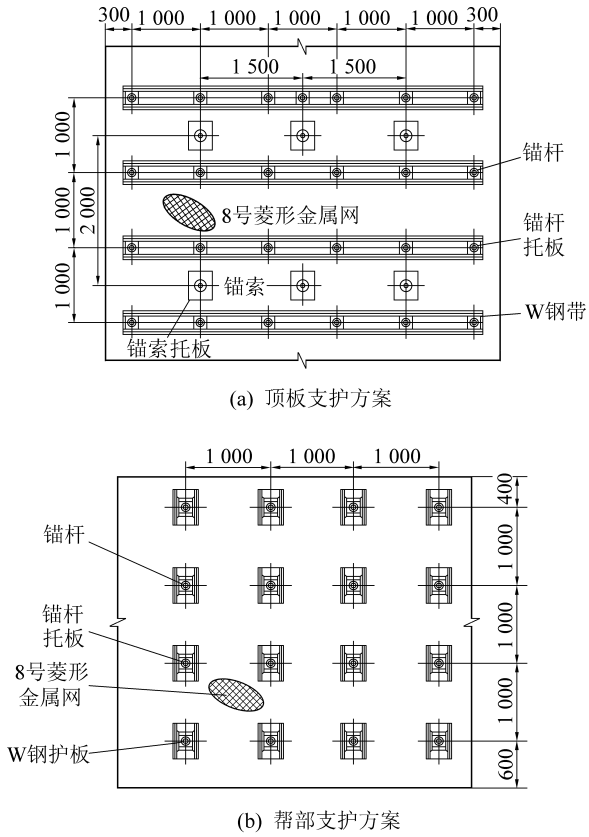


图 8 30515 运输巷支护方案

Fig.8 Support scheme of No.30515 head entry

断层破碎带、背斜轴部影响,其余地段的矿压显现不明显。30515 运输巷在掘进过程中全程压力无明显显现,目前工作面已经推进 1 200 m,在 30515 工作面回采期间保持了良好的稳定性。

4 结 论

- 1)数值模拟得到上层煤煤柱的应力集中在底板的传递、扩散规律。下层煤布置工作面时,巷道布置在至上覆煤柱中心位置水平距离 25 m 远,可使得巷道处于应力降低区内。
- 2)根据理论分析、数值模拟相关结果,在保证煤柱拥有较高安全性的同时,最大限度地缩短煤柱宽度、避免资源浪费。30515 工作面煤柱宽度选为 8 m,此时,巷道距离上覆煤柱边缘 28 m,处于应力降低区。
- 3)30515 工作面回风巷增加了锚杆强度、钢带及钢护板厚度,增强了护表强度等支护措施,目前该工作面已经回采 1 200 m,回采期间区段巷道保持了良好的稳定性。

参考文献 (References) :

[1] 柏建彪,王卫军,侯朝炯,等.综放沿空掘巷围岩控制机理及支护技术研究[J].煤炭学报,2000,25(5):478-481.
BAI Jianbiao, WANG Weijun, HOU Chaojiang, et al. Study on surrounding rock control mechanism and support technology of gob side entry in fully mechanized top coal caving[J]. Journal of China Coal Society, 2000, 25(5): 478-481.

[2] 王志强,石磊,苏越,等.特厚煤层错层位外错巷道围岩控制技术研究[J].矿业科学学报,2018,3(5):470-476.
WANG Zhiqiang, SHI Lei, SU Yue, et al. Study on the surrounding rock control technology of the outer staggered roadway in the extra thick coal seam[J]. Journal of Mining Science, 2018, 3(5): 470-476.

[3] 孙福玉.综放开采窄煤柱沿空掘巷围岩失稳机理与控制技术[J].煤炭科学技术,2018,46(10):149-154.
SUN Fuyu. Instability mechanism and control technology of surrounding rock in gob side driving with narrow coal pillar in fully mechanized caving mining [J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(10): 149-154.

[4] 康红普,林健,吴拥政.全断面高预应力强力锚索支护技术及其在动压巷道中的应用[J].煤炭学报,2009,34(9):1153-1159.
KANG Hongpu, LIN Jian, WU Yongzheng. Full section high prestressed strong anchor cable support technology and its application in dynamic pressure roadway[J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(9): 1153-1159.

[5] 王卫军,侯朝炯.回采巷道煤帮锚杆支护可靠性分析[J].岩石力学与工程学报,2001,20(6):813-816.
WANG Weijun, HOU Chaojiang. Reliability analysis of bolt

- support for coal side of mining roadway[J]. Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2001, 20(6): 813-816.
- [6] 刘爱卿, 张 剑. 近距离特厚煤层小煤柱沿空掘巷支护技术研究[J]. 煤炭技术, 2018, 37(7): 82-84.
- LIU Aiqing, ZHANG Jian. Study on supporting technology of gob-side roadway driving along small pillars in short-distance and extra-thick seam [J]. Coal Technology, 2018, 37(7): 82-84.
- [7] 李志海. 西铭矿 12513 工作面皮带顺槽支护技术[J]. 山西焦煤科技, 2013, 37(10): 38-40, 43.
- LI Zhihai. Ximing Coal Mine 12513 working face belt trench support technology [J]. Shanxi Coking Coal Science and Technology, 2013, 37(10): 38-40, 43.
- [8] 程永刚. 近距离煤层群下部回采巷道合理布置方式研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2014(7): 167-168.
- CHENG Yonggang. Study on rational layout of mining roadways in the lower part of close seam group [J]. Inner Mongolia Coal Economy, 2014(7): 167-168.
- [9] 任志成, 孔德中, 宋高峰. 近距离煤层群上层煤区段煤柱合理宽度研究[J]. 煤矿开采, 2014, 19(2): 38-41.
- REN Zhicheng, KONG Dezhong, SONG Gaofeng. Study on reasonable width of coal pillars in upper coal seam section of close coal seam group [J]. Coal Mining Technology, 2014, 19(2): 38-41.
- [10] 杨利东. 近距离煤层开采不同层间距对采场影响分析[J]. 煤炭与化工, 2019, 42(6): 5-9, 12.
- YANG Lidong. Analysis of the influence of different intervals on stope in close seam mining [J]. Coal and Chemical Industry, 2019, 42(6): 5-9, 12.
- [11] 李 卓, 刘代雄, 刘 训, 等. 某矿近距离煤层回采巷道围岩控制研究[J]. 现代矿业, 2019, 35(3): 78-80, 92.
- LI Zhuo, LIU Daixiong, LIU Xun, *et al.* Study on surrounding rock control of mining roadway in close seam of a mine [J]. Modern Mining, 2019, 35(3): 78-80, 92.
- [12] 郭相平. 采动影响沿空掘巷小煤柱合理宽度与围岩控制技术[J]. 煤矿开采, 2014, 19(6): 54-59, 16.
- GUO Xiangping. Mining affects the reasonable width of small pillars and surrounding rock control technology in goaf driving roadway [J]. Coal Mining Technology, 2014, 19(6): 54-59, 16.
- [13] 谭志文. 孤岛综放面矿压规律及小煤柱回采巷道围岩控制技术研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2016.
- [14] 刘海云. 窄煤柱沿空掘巷锚杆支护技术[J]. 煤, 2012, 21(9): 16-17, 81.
- LIU Haiyun. Bolt support technology for narrow coal pillar roadway driving along goaf [J]. Coal, 2012, 21(9): 16-17, 81.
- [15] 张宁博, 欧阳振华, 孔令海. 坚硬顶板近距离煤层覆岩运移与应力演化特征[J]. 煤矿安全, 2016, 47(1): 216-219.
- ZHANG Ningbo, OUYANG Zhenhua, KONG Linghai. Characteristics of overlying strata migration and stress evolution in hard roof near coal seam [J]. Safety in Coal Mines, 2016, 47(1): 216-219.
- [16] 郭光华. 浅谈动压影响巷道的围岩变形机理与支护分析[J]. 能源技术与管理, 2018, 43(1): 55-57.
- GUO Guanghua. Brief discussion on deformation mechanism and support analysis of surrounding rock affected by dynamic pressure [J]. Energy Technology and Management, 2018, 43(1): 55-57.
- [17] 唐宗明. 郭屯煤矿大埋深高地压沿空掘巷锚网支护技术研究与应用[D]. 青岛: 山东科技大学, 2017.
- [18] 何建文, 崔晋武. 小煤柱沿空掘巷条件下巷道稳定性支护控制分析[J]. 煤炭与化工, 2019, 42(6): 105-107, 111.
- HE Jianwen, CUI Jinwu. Analysis of roadway stability support control under gob-side driving conditions with small coal pillars [J]. Coal and Chemical Industry, 2019, 42(6): 105-107, 111.
- [19] 谢永存, 邹 虎. 大断面复合顶板硐室围岩稳定性规律及支护对策[J]. 煤矿安全, 2019, 50(6): 153-157.
- XIE Yongyong, ZOU Hu. Stability law of surrounding rock of large cross-section compound roof chamber and supporting countermeasures [J]. Safety in Coal Mines, 2019, 50(6): 153-157.
- [20] 王志明. 瑞龙煤业 150107 工作面运输巷围岩控制技术研究[J]. 能源技术与管理, 2019, 44(1): 125-127.
- WANG Zhiming. Research on the control technology of surrounding rock along belt groove in 150107 working face of Ruilong Coal Industry [J]. Energy Technology and Management, 2019, 44(1): 125-127.