

文章编号: 0253-9993(2012)10-1618-06

浅埋深回采工作面冲击地压发生机理及防治

蓝 航^{1 2 3} 杜涛涛^{1 2 3} 彭永伟^{1 2 3} 张传玖⁴ 秦子晗^{1 2 3}

(1. 天地科技股份有限公司 开采设计事业部 北京 100013; 2. 煤炭科学研究总院 开采设计研究院 北京 100013; 3. 中国煤炭学会 岩石力学与支护专业委员会 北京 100013; 4. 神华新疆能源有限责任公司 宽沟煤矿 新疆 呼图壁 831200)

摘 要: 通过分析新疆某矿一段时间内现场矿压显现情况并结合实测微震和工作面支架压力数据, 获得了冲击地压发生机理: 坚硬厚层顶板是冲击地压发生的主要力源, 采煤工艺影响和支架支护质量低导致顶板压力转移到工作面煤壁上, 形成了煤体应力集中和弹性能量积聚, 推进速度过快加剧了煤体应力和能量积聚程度, 在煤体自身强冲击倾向性作用下导致冲击地压发生。据此提出冲击地压防治原则: 避免坚硬厚层顶板的压力转移到煤壁上形成应力集中。具体方法为及时切断坚硬顶板, 对煤体进行卸压爆破, 并提高工作面支架初撑力。现场实践表明, 防治效果明显。

关键词: 浅埋深; 回采工作面; 冲击地压; 机理; 防治

中图分类号: TD324

文献标志码: A

Rock-burst mechanism and prevention in working face of shallow buried coal-seam

LAN Hang^{1 2 3}, DU Tao-tao^{1 2 3}, PENG Yong-wei^{1 2 3}, ZHANG Chuan-jiu⁴, QIN Zi-han^{1 2 3}

(1. Coal Mining & Design Department, Tiandi Science & Technology Co., Ltd., Beijing 100013, China; 2. Coal Mining & Design Branch, China Coal Research Institute Beijing 100013, China; 3. Rock Mechanics & Supporting Professional Committee, China Coal Society, Beijing 100013, China; 4. Kuangou Colliery, Shenhua Xinjiang Energy Co., Ltd., Hutubi 831200, China)

Abstract: After analyzing series monitoring data of micro-seismic and powered support pressure in Xinjiang, rock-burst mechanism was obtained. Thick and hard roof is main pressure source of rock-burst. Bad and delayed supporting make roof pressure transferred on coal-wall ahead of mining face. Thus, elastic energy and stress concentration formed, and fast mining speed aggravates energy and stress concentration degree. In this instance, rock-burst is inevitable because of strong burst liability of coal-seam. Based on this, rock-burst prevention principle was established that avoiding transferring hard and thick roof pressure to coal-wall. The prevention methods included broken blasting of hard roof, pressure-relief blasting of coal-body and increasing setting load of powered supports. The practice shows that prevention methods are effective.

Key words: shallow buried depth; working face; rock-burst; mechanism; prevention

冲击地压是一种由于受到采动影响, 积聚在煤岩体中的弹性能突然释放而发生的动力灾害。已有研究表明, 冲击地压发生频度与开采深度成正相关关系。开采深度越大, 冲击地压显现越频繁。煤矿开采实践表明, 冲击地压只是在开采到一定深度后才开始发生^[1]。据统计, 我国煤矿发生冲击地压的最小采深绝大部分都在 400 m 以上。从冲击地压发生的

地点来看, 在回采工作面发生的冲击地压较少, 绝大部分冲击地压都发生在掘进或回采巷道中^[2]。值得注意的是, 近年来在西部一些采深小于 400 m 的矿井也开始发生严重冲击地压。2010-10-08, 新疆某矿采深为 317 m 的 W1143 缓倾斜工作面在下端头发生一次强烈冲击, 导致工作面采煤机摇臂震断, 液压支架立柱折弯, 死亡 4 人, 这是新疆采煤史上首次发生

收稿日期: 2011-09-15 责任编辑: 王婉洁

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)资助项目(2010CB226806)

作者简介: 蓝 航(1978—), 男, 湖北利川人, 高级工程师, 博士。Tel: 010-84263121-8201, E-mail: hlan527@163.com

致人死亡的严重冲击地压灾害。该起冲击地压有 2 个明显特征: 一是采深较浅(<350 m); 二是在回采工作面发生, 破坏能量巨大。这在我国煤矿深部条件下动力灾害显现频繁的背景下显得比较特殊, 但也不是个案, 因此, 对这种浅埋深回采工作面发生的冲击地压不容忽视。弄清冲击地压发生的机理是对防治冲击地压的前提条件。在冲击地压机理研究方面, 早已提出了多个理论及模型^[3-5]。近年来, 随着采深增大冲击显现日益频繁, 对冲击地压发生机理的研究还在不断深入, 文献[6]通过细观实验探讨了煤岩体在外界因素影响下内部微裂纹产生、发展并诱发冲击地压的机制。文献[7]采用双状态变量本构模型模拟了冲击地压的黏滑特性及其动力失稳过程。文献[8]将冲击地压过程分为层裂和失稳 2 个阶段, 描述了重力场条件下冲击煤层的失稳机制。文献[9]采用数值模拟方法对煤岩串联组合模型进行了变形与破裂过程的研究, 认为该过程符合冲击地压的基本现象。文献[10]提出了矿震诱发冲击地压的震动破坏机制假设。文献[11]从矿震激发震动波能量的角度分析了动静载组合作用下巷道煤体的冲击破坏机理。文献[12]建立了断层滑移诱发煤岩冲击的黏滑-黏弹脆性体突变模型。但由于冲击地压发生的类型和影响因素众多, 目前还没有一种理论或模型能考虑所有影响因素并对每一种冲击地压都做出合理解释, 而且这些研究大都还是停留在理论或实验室阶段, 很难在现场得到有效验证, 从而导致不能有效指导防冲实践。在这种情况下, 从冲击地压显现的宏观现象(矿压显现规律、冲击发生特征等) 入手确定出冲击危险源不失为一种可行的方法。本文以 W1143 工作面为试验点, 主要采用微震和支架压力监测手段, 通过分析冲击地压显现时的监测数据, 得到该工作面冲击地压发生机理并提出防治措施。

1 工作面概况

W1143 综采工作面煤层为 B4-1, 埋深 317 m, 走向长 1 495 m, 斜长 162 m, 倾角 $10^{\circ} \sim 16^{\circ}$, 煤厚平均 3 m, 采高 3 m; 直接顶为粉砂岩, 厚度 12 m; 直接顶上方为 B4-2 煤层, 平均厚 2.5 m; 其上为直达地表的砂岩互层。直接底为层状中砂岩, 厚度 5.2 m; 基本底为粗砂岩, 厚度 12.99 m。

W1143 工作面于 2010-10-08T9:00 发生了一起冲击地压, 煤层和底板岩石突出容积约 247 m^3 , 造成了人员伤亡和设备损坏的严重后果。W1143 工作面北部为 W1141 工作面采空区, 南部为 W1145 工作面(未采), 东部上方有 B4-2 煤层中的 W114(2)1 和

W114(2)3 采空区。图 1 为工作面采掘平面。

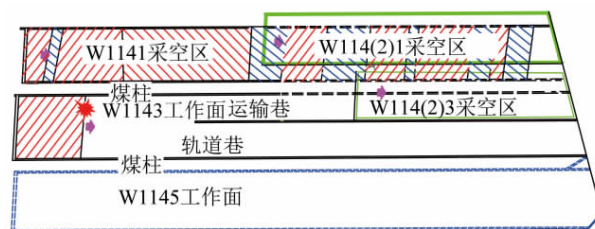


图 1 W1143 工作面平面

Fig. 1 Plan of W1143 working face

根据煤炭科学研究总院开采设计研究分院对 B4-1 煤层及其顶、底板进行的冲击倾向性试验结果, B4-1 煤层具有强冲击倾向性, B4-1 顶板具有弱冲击倾向性, B4-2 煤层顶板具有强冲击倾向性, B4-1 煤层底板无冲击倾向性。

2 监测系统

浅埋深回采工作面发生冲击地压比较罕见, 其发生机理不清楚, 由此造成对冲击地压的防治缺乏理论指导。对冲击地压进行有效防治的前提是必须弄清冲击地压的危险区域和危险时期, 因此, 建立冲击地压监测技术体系是必须进行的前提工作。根据 W1143 工作面受 W1141 工作面采空区的影响和冲击地压主要发生在回采工作面下端头附近的特点, 在 W1143 工作面除了进行常规的钻屑法监测, 还安装了覆盖工作面范围的 8 通道 ARAMIS M/E 微震监测系统, 位于工作面下部(靠近运输巷) 5 号、15 号、25 号和 35 号支架上的 4 台 CDW-60 支架压力记录仪分别对围岩破坏和工作面支架压力进行实时监测。

3 工作面矿压显现分析

该工作面从 2011 年 3 月初开始试验推进, 在试验推进中, 先后采取了顶板爆破、煤体卸压爆破、底煤处理、卸压硐室等解危措施保证试验推进阶段的安全, 并最终根据监测分析结果对这些解危措施进行优选和参数优化。

3.1 3 月 13 日矿压显现分析

2011-03-13 中班, 作业人员进入工作面接班后, 采煤机司机将停在 33 号支架处的采煤机开启空刀下行到机头, 正式割煤进刀, 下部三角煤割完后, 采煤机空刀上行, 当采煤机上行到 9 号至 17 号支架时, 突然发生一声巨响, 底板震动、作业人员被弹起, 电缆从电缆槽内抛出, 一根调整支撑刮板输送机的单体从底板抛起落到电缆槽上, 在 17 号至 26 号支架段工作面煤壁上上部煤体冲出, 发生片帮、扬起大量的粉尘, 底臃严重, 煤壁冲击抛出煤体有数十吨, 大部分被抛到刮板

输送机上,少量被抛到支架中间。

由于此时工作面微震系统和支架压力记录仪尚未安装到位,因此没有相关监测数据。但此次矿压显现是在采煤机完成斜切进刀并在割完下部三角煤上行至工作面 16 号支架至 28 号支架之间时出现的,通过现场调研,发现此时由于支架没及时前移,空顶距过大,初步分析是由于顶板下沉或突然断裂产生的压力没被支架承担,而转移到工作面煤壁前方,造成煤壁应力集中,加上此时处于工作面来压的特殊时期,更加剧了煤壁应力集中程度,在煤体自身强冲击倾向性的诱导下,形成了此次矿压显现。

3.2 6 月 12 日矿压显现分析

2011-06-12 分别在 19:34、23:13 和 23:30 发生了 3 次强烈矿震,发生地点在 W1143 工作面下部 14~20 号支架的区域,造成支架推移连杆震动,人员被抬起,在工作面割煤过程中煤壁煤炮声频繁且剧烈。ARAMIS M/E 微震系统监测到了这 3 次震动,其震源坐标分别为 (2940715, 4848936, 1347), (2940686, 4848984, 1340) 和 (2940741, 4848856, 1352), 如图 2 所示。震动能量分别为 40、10 和 3.64 kJ。

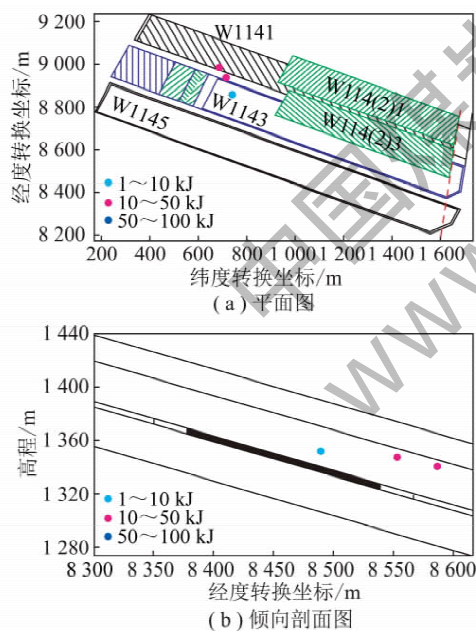


图 2 “6·12”矿压显现的微震定位

Fig. 2 Location of 3 micro-seismic matters on 12th of July

如图 2 所示,6 月 12 日 3 次矿压显现主要由 3 次工作面下部超前范围内顶板突然破坏产生的震动引起。在 15 号支架安装的 CDW-60 支架压力记录仪记录下了这 3 次矿震发生时的支架压力变化情况(图 3)。如图 3 所示,矿震发生时,支架压力迅速升高后急剧降低,结合微震定位结果,这是由于顶板岩层突然破坏产生了震动并改变了顶板状态,加上支架

初撑力和工作阻力都较低(不到 20 MPa),从而使支架急剧卸压。6 月 12 日为工作面进入双面见方的末期,顶板活动比较剧烈,由于在此期间已对工作面进行了切顶爆破和超前预裂顶板爆破等处理措施,虽然产生了 3 次矿震,但顶板压力已大大释放,因此没有造成更为强烈的矿压显现或者灾难性冲击地压,说明顶板处理措施发挥了很好的作用。

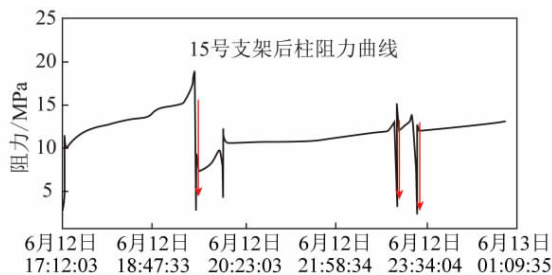


图 3 “6·12”矿压显现时的支架压力变化情况

Fig. 3 Pressure variation of powered support on 12th of July

4 冲击地压发生机理

4.1 微震规律分析

对 4 月 11 日到 6 月 26 日的微震数据进行分析,得到在此期间工作面微震事件能量大于 100 kJ 的在沿工作面倾向剖面的分布图(图 4)。图 4 说明 W1143 工作面开采引起的微震事件主要分布于工作面下部附近的顶板岩层,由此可认为造成 W1143 工作面强烈矿压显现的主要力源为 B4-1 煤层顶板(弱冲击倾向)和其上 B4-2 煤层顶板(强冲击倾向)。

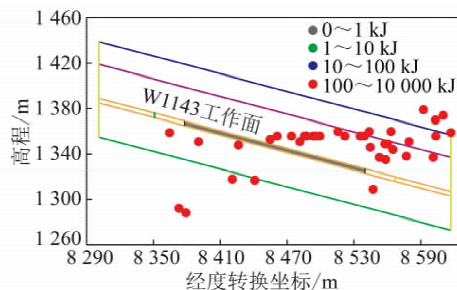


图 4 工作面倾向剖面微震事件分布

Fig. 4 Micro-seismic matters distribution on dip section of working face

4.2 支架阻力分布分析

对 4 月 11 日到 6 月 26 日的支架压力数据进行了统计分析,图 5 为工作面 15、25 和 35 号支架的初撑力分布的统计结果。W1143 工作面采用的是 ZY5500/17/35 型掩护式液压支架,该支架的额定初撑力和工作阻力分别为 31.5 MPa 和 34.2 MPa。

由图 5 可知,工作面支架初撑力大都小于其额定初撑力 31.5 MPa。经统计,工作面所监测支架的初撑力分布在 0~8 MPa 的数据占了 11.52%;在 8~16

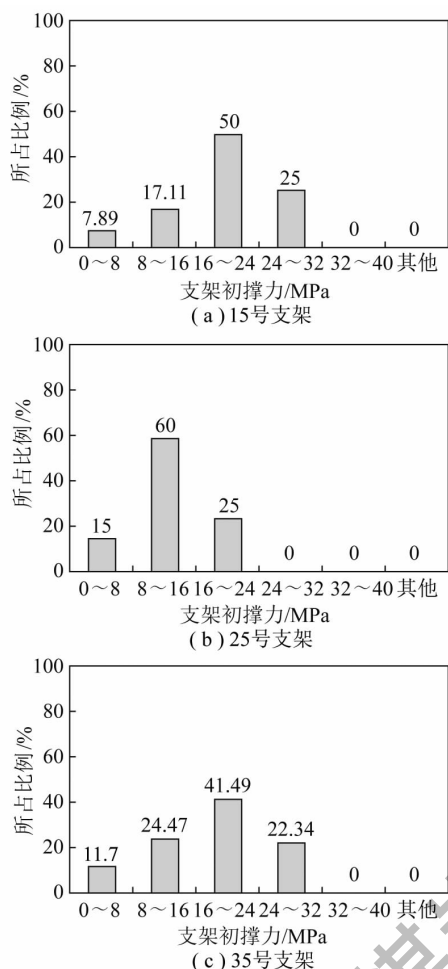


图5 工作面支架初撑力分布

Fig. 5 Setting load distribution of powered supports

MPa 的数据占了 33.86%; 在 16 ~ 24 MPa 的数据占了 38.83%; 在 24 ~ 32 MPa 之间的数据占了 15.78%。由此可见, 工作面下部支架的初撑力绝大部分没有达到额定初撑力的要求, 各架的初撑力平均约 70% 在 24 MPa 以下。由于支架初撑力不够, 导致支架工作阻力不能有效支撑顶板而使顶板压力转移到具有强冲击倾向性的工作面前方煤体中, 增大了冲击地压危险。

分析初撑力偏小的原因主要有: ① 泵站压力不够或管路损失过大; ② 工人移架后升架时间短, 升柱不到位, 支架接顶不充分; ③ 工作面支架立柱维护不到位, 支架管路存在漏液、串液现象。

4.3 推进速度对矿压显现的影响

已有研究^[13-15]表明, 在冲击地压危险工作面, 工作面推进速度与矿压显现有非常明显的关系。推进速度过大, 煤岩体应力和能量将不能及时释放, 从而将造成煤岩体弹性能量的积聚, 增大冲击危险。图 6 为从 4 月 11 日到 6 月 22 日的工作面日推进度与微震累积能量及频次的变化曲线。

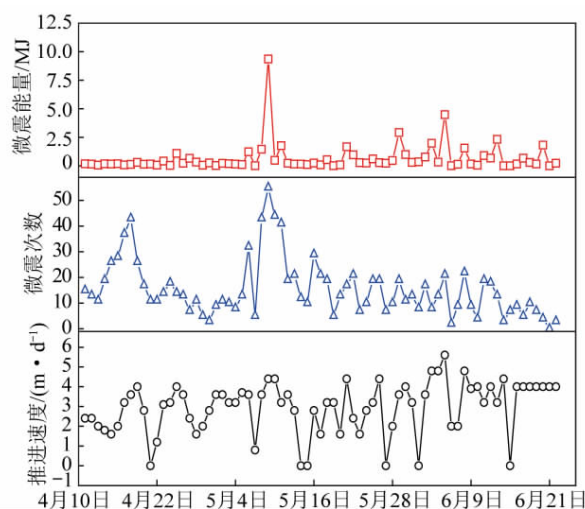


图6 推进速度与微震能量及次数关系

Fig. 6 Relationship of mining speed, micro-seismic energy and frequency

图 6 表明, 工作面推进速度每达到一个峰值时, 微震事件的能量也达到一个峰值, 工作面推进速度与微震能量具有显著的正相关关系。在采取了顶板处理措施的情况下, 每天微震事件的能量和最大一天 (5 月 9 日) 接近 10^7 J, 每天能量和超过 10^6 J 有 11 d, 其余皆在 10^5 J 以下。6 月 16 日至 22 日, 推进速度保持在 4 m/d, 微震能量和事件数都较小, 说明工作面推进速度保持均衡有利于煤岩体能量平稳释放。

4.4 冲击地压发生原因

根据试验推进以来的微震和支架监测数据及实际矿压显现情况分析, 并结合 W1143 工作面“10·8”工作面冲击地压灾害显现特征, W1143 工作面动力灾害的最主要致灾因素是 B4-1 煤层顶板及其上部的坚硬厚层覆岩, W1143 工作面动力灾害类型为顶板型冲击地压。“10·8”灾害的直接原因是有一较长时间没有进行放顶工作, 导致顶板在工作面后方形成悬顶, 顶板压力转移到工作面前方煤体中, 煤体中积聚了大量的弹性能。到 10 月 4 日至 8 日, 工作面处于顶板“见方”的特殊时期, 加剧了煤体应力的集中程度, 而且推进速度过快 (超过 6.4 m/d), 导致积聚的弹性能不能及时释放, 在煤体自身为强冲击倾向性的内在因素的作用下, 造成了严重的灾害事故。

试验推进阶段出现的几次矿压显现都与顶板活动 (来压、见方) 和支架没能及时有效地支撑顶板有关, 也说明了 B4-1 煤层顶板及其上的坚硬厚层覆岩是工作面发生动力灾害的重大危险源。

5 防治原则及方法

针对坚硬厚层顶板这一重大危险源, 提出冲击地

压防治的主要防治技术原则是:避免坚硬厚层顶板的压力转移到煤壁上形成应力集中。次要防治原则是:及时转移煤体应力和释放能量,并减弱煤体冲击倾向性。合理的防治方法包括:及时切断坚硬顶板,在局部危险区域(钻屑超标处)对煤体进行卸压爆破,对煤体注水以改变其冲击倾向性,另外,要提高工作面支架的初撑力,并及时护顶,使支架起到对顶板的有效支撑作用,防止工作面上方顶板压力转移到煤体上。为此,现场确定主要采用切顶爆破和煤体卸压爆破2种方法进行工作面冲击地压的防治。

5.1 工作面切顶爆破

切顶高度应满足冒落矸石充满或基本充满采空区,对上覆岩层起支撑或垫层作用。同时破坏其上部基本顶的完整性,使上覆岩层较易垮落,从而减弱顶板垮落的冲击强度。W1143工作面采高3 m,并取岩石碎胀系数为1.3,为把采空区充满的放顶高度应为 $3/(1.3-1)=10\text{ m}$,考虑安全系数和现场施工方便,确定W1143工作面放顶高度为15 m。钻孔所用设备为ZDY800煤矿用全液压坑道钻机及配套钻杆。

从上巷(轨道巷)5 m处的支架起,每12 m一个炮孔(即每8付支架),炮眼布置在相邻两付支架底座前端对应的顶板中,共布置16个炮孔,炮眼采用ZDY800型钻机及配套钻杆施工,炮眼直径75 mm,炮眼深15.3 m,水平方向沿煤层走向,仰角75°。如图7所示。钻孔内装药长度为10.3 m,封孔长度5 m,装药密度2.8 kg/m,从下端头开始每2个炮眼为一组,连线方式采用串联,正向一次起爆。

根据对工作面采取切顶爆破前的支架压力监测数据,工作面周期来压步距大约在25 m左右,因此,确定工作面每推进20 m进行一次工作面切顶爆破。

5.2 煤体卸压爆破

根据钻屑监测结果,对工作面及巷道应力集中区进行卸压爆破处理,释放煤体积聚的弹性能。钻孔设备为手持煤电钻、麻花钻杆(每节长1 m)和直径42 mm钻头。煤帮炮眼采用煤电钻、麻花钻杆配合 $\phi 42\text{ mm}$ 钻头施工(炮眼可利用钻屑法监测钻孔)。炮眼距底板1.2 m,眼深10 m,间距5 m,单排布置,炮眼角度平行于底板、垂直于煤帮(图8)。

钻孔采用反向装药,封孔长度3.0~3.5 m,装药长度为6 m,装药密度为0.8 kg/m。一个炮眼中采用3个炮头,一次爆破3~5个孔。联线方式,孔内并联,孔间串联。爆破顺序从工作面侧开始沿巷道向外进行,以便使高应力区域向外转移,远离工作面。

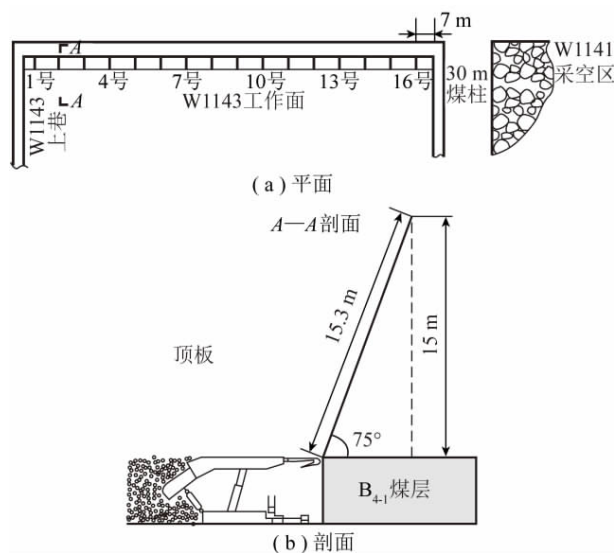


图7 切顶爆破钻孔布置

Fig. 7 Bore-holes distribution graph of roof broken blasting

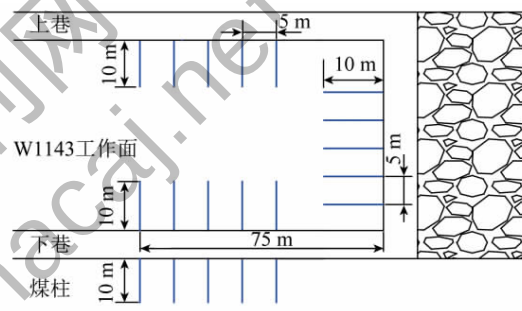


图8 煤体卸压爆破钻孔布置

Fig. 8 Borehole distribution of pressure-relief blasting of coal-body

6 防治效果

对于卸压效果,现场采用钻屑法进行检验,图9为爆破前后工作面某个钻孔煤体钻屑量变化情况。

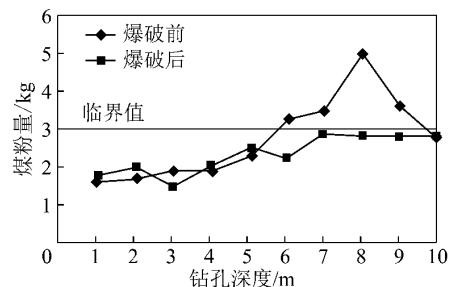


图9 切顶爆破前后煤粉变化

Fig. 9 Drilling volume variation before and after roof-broken blasting

由图9可知,在进行顶板及煤体卸压爆破后,原先超标的煤体钻屑量大大降低,位于临界值以下,说明上述防治措施取得了较好的效果。W1143工作面目前已安全推进630 m,在此期间经历了几次较强烈

的矿压显现,但都保证了人员和设备的安全。

7 结 论

(1) 尽管 W1143 工作面埋深较浅,但仍具有厚层坚硬顶板冲击地压发生最典型的条件。坚硬厚层顶板是导致 W1143 工作面发生冲击地压的主要力源,支架支护不及时和初撑力过低导致顶板压力转移到工作面煤壁上,形成工作面煤壁应力集中和弹性能积聚,推进速度过快加剧了煤体应力和能量积聚程度,在煤体自身强冲击倾向性作用下导致冲击地压发生。W1143 工作面动力灾害类型为坚硬顶板型冲击地压。

(2) 为防止 W1143 工作面发生灾害性冲击地压,应极力避免坚硬厚层顶板的压力转移到煤壁上形成应力集中。针对 B4-1 煤层特殊的顶板条件,将 B4-1 煤层 12 m 顶板及时切断并充填满采空区,以免形成悬顶;在生产过程中应尽可能做到追机移架,并保证支架初撑力,及时发挥支架有效支撑顶板的作用。

(3) 在 W1143 工作面主要实施了工作面切顶爆破和煤壁卸压爆破。现场实践表明,顶板处理措施有效降低了坚硬顶板悬顶造成工作面煤壁应力和能量集中的影响。煤体卸压爆破使煤体高应力向煤体深部转移,降低了工作面的冲击危险。现场防治取得了满意的效果。

参考文献:

- [1] 齐庆新, 冀林名. 冲击地压理论与技术[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2008.
- [2] 蓝 航, 齐庆新, 潘俊锋, 等. 我国煤矿冲击地压特点及防治技术分析[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(1): 11-15.
Lan Hang, Qi Qingxin, Pan Junfeng, et al. Analysis on features as well as prevention and control technology of mine strata pressure bumping in China[J]. Coal Science and Technology, 2011, 39(1): 11-15.
- [3] 李玉生. 冲击地压机理及其初步应用[J]. 中国矿业学院学报, 1985(3): 37-43.
Li Yusheng. Preliminary application of rockburst mechanism[J]. Journal of China Mining Institute, 1985(3): 37-43.
- [4] 王淑坤. 冲击地压机理[J]. 岩石力学与工程学报, 1996, 15(S): 500-503.
Wang Shukun. The mechanism of rockburst[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1996, 15(S): 500-503.
- [5] 抚顺矿务局和阜新矿业学院冲击地压研究组. 冲击地压机理的探讨[J]. 阜新矿业学院学报(自然科学版), 1985(S): 65-71.
Rockburst Research Group of Fushun Mining Bureau and Fuxin Mining Institute. Discussion on rockburst mechanism[J]. Journal of Fuxin Mining Institute(Natural Science), 1985(S): 65-71.
- [6] 赵毅鑫, 姜耀东, 张 雨. 冲击倾向性与煤体细观结构特征的相
- 关规律[J]. 煤炭学报, 2007, 32(1): 64-68.
- Zhao Yixin, Jiang Yaodong, Zhang Yu. The relationship between bump-prone property and microstructure characteristics of coal[J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(1): 64-68.
- [7] 尹光志, 代高飞, 皮文丽, 等. 冲击地压的滑块模型研究[J]. 岩土力学, 2005, 26(3): 359-364.
Yin Guangzhi, Dai Gao-fei, Pi Wenli, et al. Study on rock burst using stick slip model[J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(3): 359-364.
- [8] 潘立友, 王崇革, 李兴伟. 冲击地压的一维层裂模型[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(S): 2054-2056.
Pan Liyou, Wang Chongge, Li Xingwei. Lamination spallation model of underground impact pressure[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(S): 2054-2056.
- [9] 刘建新, 唐春安, 朱万成, 等. 煤岩串联组合模型及冲击地压机理的研究[J]. 岩土工程学报, 2004, 26(2): 276-280.
Liu Jianxin, Tang Chun'an, Zhu Wancheng, et al. Rock-coal model for studying the rockburst[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2004, 26(2): 276-280.
- [10] 苗小虎, 姜福兴, 王存文, 等. 微地震监测揭示的矿震诱发冲击地压机理研究[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(6): 971-975.
Miao Xiaohu, Jiang Fuxing, Wang Cunwen, et al. Mechanism of microseism-induced rockburst revealed by microseismic monitoring[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011, 33(6): 971-975.
- [11] 曹安业, 范 军, 牟宗龙, 等. 矿震动载对围岩的冲击破坏效应[J]. 煤炭学报, 2010, 35(12): 2006-2010.
Cao Anye, Fan Jun, Mou Zonglong, et al. Burst failure effect of mining-induced tremor on roadway surrounding rock[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(12): 2006-2010.
- [12] 李志华, 冀林名, 曹安业, 等. 采动影响下断层滑移诱发煤岩冲击机理[J]. 煤炭学报, 2011, 36(S1): 68-73.
Li Zhihua, Dou Linming, Cao Anye, et al. Mechanism of fault slip induced rockburst during mining[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(S1): 68-73.
- [13] 王金安, 焦申华, 谢广祥. 综放工作面开采速率对围岩应力环境影响的研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(6): 1118-1124.
Wang Jin'an, Jiao Shenhua, Xie Guangxiang. Study on influence of mining rate on stress environment in surrounding rock of mechanized top caving mining face[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(6): 1118-1124.
- [14] 谢广祥, 常聚才, 华心祝. 开采速度对综放面围岩力学特征影响研究[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(7): 963-967.
Xie Guangxiang, Chang Jucai, Hua Xinzhu. Influence of mining velocity on mechanical characteristics of surrounding rock in fully mechanized top-coal caving face[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2007, 29(7): 963-967.
- [15] 王 磊, 谢广祥. 综采面推进速度对煤岩动力灾害的影响研究[J]. 中国矿业大学学报, 2010, 39(1): 70-74.
Wang Lei, Xie Guangxiang. Influence of mining velocity on dynamic disasters in the coal mass at a fully mechanized mining face[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2010, 39(1): 70-74.