

深孔不耦合装药爆破技术卸压效果验证

邵昌尧, 刘志刚

(山东能源淄矿集团 唐口煤业公司, 山东 济宁 272055)

摘要 为验证不耦合装药结构爆破技术对应力集中区域的卸压效果, 采用了理论探讨和现场试验手段进行了研究。通过研究发现增加煤体内部裂隙发育可以有效增加卸压效果, 而不耦合装药爆破恰好能够将爆破能量用于裂隙的发育。在比较基础上选择水作为耦合介质, 并选取一段现场实测具有应力集中现象的巷道作为试验对象, 通过电磁辐射监测及现场动态监测得知不耦合装药爆破卸压后巷道围岩应力集中情况得到有效缓解, 卸压效果明显。

关键词 不耦合装药; 装药结构; 卸压爆破; 水介质

中图分类号 TD325.44 **文献标识码** B **文章编号** 1006-6225 (2015) 03-0110-04

Pressure-relief Effect Verification of Deep-hole Uncoupled Charge Blasting Technology

由于煤矿井下开采深度的不断增加, 冲击地压灾害出现的频率和强度持续增大。国内外专家及现场工程技术人员对此开展了大量研究工作, 提出了众多新技术并成功运用到现场, 其中爆破卸压技术^[1]即是行之有效的一种防冲解危技术。爆破卸压方法可使煤体强度降低, 储能性减小, 从冲击地压启动机理上弱化冲击地压发生概率。不耦合装药^[2]可以使炸药能量得到较为充分的利用, 爆破产生的能量可以增加煤体内裂隙的产生和扩展, 有利于降低煤岩体内的应力集中程度。

本文通过对已经出现应力集中的区域采取深孔不耦合装药方式进行卸压爆破, 进而验证该技术对于巷道周围应力集中区域解危的效果。

1 卸压爆破防治冲击地压机理

1.1 爆破卸压防治冲击地压机理分析

爆破卸压^[3]是一种冲击地压主动防治措施, 主要原理是通过爆破方法破坏煤岩体物理结构, 使煤岩体产生众多的裂缝, 巷道围岩应力高峰向深部转移, 并降低煤岩体弹性模量, 使弹性能转换消耗, 从而使煤岩体强度和能量方面均达不到冲击地压启动条件, 有效避免冲击地压发生。图1所示为巷道卸压爆破前后围岩体内应力分布状态的变化情况, 从图中可以看出卸压爆破后压力峰值向巷道围岩深部进行了转移, 从而解决了巷道近距离围岩体的应力集中, 有效保护了巷道安全。

1.2 煤体爆破损伤演化分析

为了研究煤体在爆破过程中的裂隙发育情况,

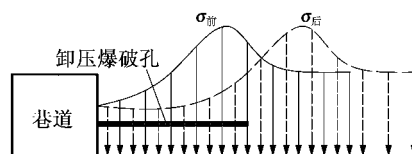


图1 巷道爆破卸压前后压力分布状态

从而达到卸压爆破裂隙可控的目的, 增加爆破卸压效果, 需要对煤体爆破损伤机理进行研究。

煤体爆破损伤过程是一种复杂的动力学发展过程^[4]。根据防冲卸压爆破作用原理可知卸压爆破大多都是深孔爆破, 因此可以假设该类爆破是在无限介质的煤体中进行^[5], 建立研究模型如下: 根据爆破内部作用机理, 所装炸药最小抵抗线 W_{min} 超过临界抵抗线 W 时, 则可近似认为炸药位于无限的煤体介质中, 此时爆炸后, 在煤体的自由面上看不到爆炸痕迹, 爆炸只发生在煤体介质内部, 卸压爆破一般采用延长药包柱状装药结构, 因此建立模型如图2所示, 图中 L 为卸压爆破孔总长度, L_1 为延长药包长度, L_2 为封孔长度, R 为爆破漏斗底圆半径。

煤体介质内部发生爆破后, 原始裂隙进一步扩展, 煤体产生损伤, 被激活的裂纹数^[6]服从概率密度函数中的类正态分布(1)与混合 Weibull 分布(2):

$$X \sim N(\mu, \sigma^2) \quad (1)$$

$$W(m, \frac{1}{\mu_0}) \quad (2)$$

而由上述2种近似分布的理论推理与现场裂隙变化观测可知爆破孔周围会形成爆破空腔(原爆

收稿日期 2014-09-22

作者简介 邵昌尧(1971-), 男, 山东淄博人, 高级工程师, 生产副矿长, 主要从事采煤技术、安全监管、灾害预防等方面工作。

引用格式 邵昌尧, 刘志刚. 深孔不耦合装药爆破技术卸压效果验证[J]. 煤矿开采, 2015, 20(3): 110-113.

[DOI] 10.13532/j.cnki.cn11-3677/td.2015.03.031

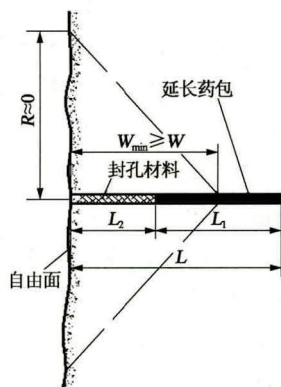


图2 卸压爆破延长药包柱状装药结构模型

破孔与扩大空腔)、粉碎区、裂隙区以及震动区^[6]，如图3所示。

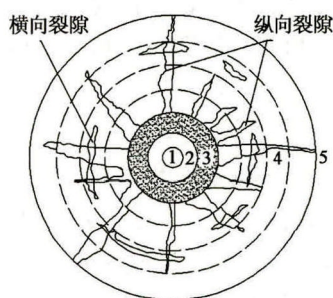


图3 无限煤体介质内部爆破作用示意图

煤体内裂隙的产生主要来源于爆炸应力波的作用和爆生气体的准静态作用^[7]。因此，在研究卸压爆破煤体损伤破坏机理时必须同时考虑到两者对煤体的不同作用情况，而爆破孔周围的裂隙又可分为原生裂隙和爆破产生的新生裂隙。

首先在爆破后，爆破孔在爆破作用下形成一定空腔，称为爆破空腔，空腔外围煤体受到强烈压缩而粉碎，产生较大塑性变形，形成粉碎区。其次，煤体在爆炸应力波作用下产生大量初始裂隙，而当爆炸应力为环向拉应力时，煤体内部原生裂隙激活，并发育为新裂隙。如果忽略爆炸冲击波粉碎作用，则该区域可认为是在环向拉应力作用下，形成数条辐射状的径向裂隙。再次，爆生气体楔入煤体裂隙中，使煤体裂隙继续发育。此时的爆生气体膨胀应力作用可看作是一个准静态应力场，裂隙在此应力场作用下产生二次扩展。从而使煤体损伤进一步演化，径向裂隙形成过程见图4(a)。

当爆破作用产生向心拉应力时，煤体质点进行径向移动，当拉应力超过煤体的抗拉强度时，煤体被拉裂而产生环向裂隙，其形成过程见图4(b)。

同时由于各向的应力相互作用，煤体内还可能形成剪切裂隙^[8]。这些径向、环向和剪切裂隙相

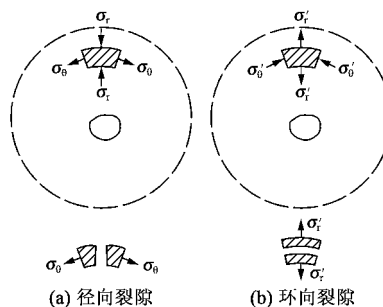


图4 爆破孔裂隙区裂隙发育示意图

互交错而形成的区域称为裂隙区。

裂隙区以外的煤体介质，爆炸应力波和爆生气体应力将快速衰减为震动波的形式，此种形式只能引起煤体质点产生弹性振动，而不能使煤体产生新的破坏，当震动波能量被完全转化后，爆破作用全部结束，该区域即为震动区。

2 不耦合装药结构卸压爆破理论分析

2.1 不耦合爆破卸压效果预测

爆破卸压主要目的是增加裂隙区范围，破坏煤体整体性，使煤体物理性能改变，聚能性降低。因此，卸压爆破就需要尽量将爆破能量用于裂隙区的扩展，减少粉碎区耗能。

装药结构合理与否关系到炸药爆破能量利用率，对爆破效果有直接影响^[9]。一般耦合装药爆破容易引发较大的冲击力，大量能量消耗在粉碎区，真正用于扩大裂隙的能量较少。不耦合装药爆破原则上属于控制爆破的一种特殊形式，可有效降低爆炸冲击波对孔壁的冲击，减少粉碎区范围，从而较多的能量用于裂隙区，促进裂缝的发育。

不耦合装药^[2-3,8-11]是指炮孔或药室内部充填有耦合介质的装药方法，使用不耦合装药相对耦合装药可有效增加膨胀气体的作用时间，如图5。由图可看出不耦合装药爆破可延长爆破能量的作用时间，使煤体受力时间增加，裂隙发育更充分，而且不耦合装药爆破又可以降低爆破初始应力，最大范围地减小了煤体粉碎程度，相应提高了爆破效果。

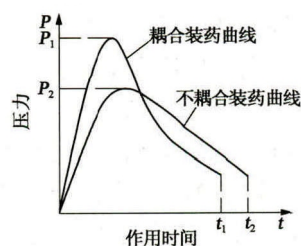


图5 不同装药结构爆炸作用压力-时间曲线

爆破卸压采用不耦合装药的方式目的就是延长炸药爆破时应力波对煤体作用的持续时间,充分利用炸药爆破能量。使爆破产生的能量主要用于增加拓宽煤体的裂隙,从而减少能量在破碎区的损耗,增加能量作用于裂隙区的比例,进而减小煤岩体内的应力集中程度。并能有效提高卸压爆破效率和延米爆破量,节约成本。

2.2 不耦合介质的选择

不同装药方式及不同耦合介质对于爆破卸压效果各不相同,现阶段工程爆破中通常采用的耦合介质为水和空气,而水相对于空气具有难压缩性,可以使爆破能量较少流失,从而将大多数能量用于裂隙区,因此,水比空气更利于能量的传递,如表 1 所示^[3]。而且,使用水耦合介质进行爆破可以有效减少粉尘、飞石及有毒气体的产生和溢出。

表 1 不耦合装药介质参数^[3]

不耦合系数	介质	平均最大压应力 / Pa		平均最大拉应力 / Pa	能量换算值
		理论值	实验值		
1.65	空气	357	355	6.27	0.0114
	水	411	405	7.19	0.0146
1.71	空气	221	223	3.96	0.0044
	水	319	331	5.87	0.0097
1.85	空气	162	154	2.74	0.0021
	水	472	271	4.77	0.0065
2.01	空气	118	117	2.06	0.0012
	水	228	228	4.04	0.0046

水耦合介质能使得压力均匀传递,而且由于水相对空气密度高,从而使爆轰产物不容易膨胀,因此,炸药在水介质中爆炸所形成的冲击波作用时间变长。从能量角度来看,水耦合介质可有效保存能量,减少能量前期碎岩损失。综上所述,水耦合介质内进行爆破所形成的爆炸效果更好,对煤体内裂隙发育更为有效。因此,为获得最佳卸压效果,验证试验不耦合装药结构中的耦合介质选用水。

3 不耦合装药结构卸压爆破效果验证

3.1 效果验证地点概况

验证地点在某深部开采矿井 4302 胶带巷掘进工作面,该巷埋深为 892 ~ 1095m,位于 3_上煤层,根据煤层及顶、底板物理力学试验可知,煤层的坚固性系数为 2 ~ 3,含水率 2.38%。单轴抗压强度平均为 19.25MPa,其动态破坏时间平均为 72ms,弹性能量指数平均值为 13.17,冲击能量指数测试平均值为 2.39,顶板各分层弯曲能量指数的和为 24.25kJ,底板岩层弯曲能量指数为 32.04kJ,鉴定结果表明 3_上煤层具有强冲击倾向性,顶板具有弱

冲击倾向性。由于巷道掘进期间出现煤粉量超标等应力集中现象,对安全生产造成极大影响。为了有效降低应力集中情况,确保安全掘进,拟采取深孔爆破措施进行卸压。

3.2 爆破参数

3.2.1 爆破器材

雷管:1 ~ 5 段同期毫秒延期电雷管,延期时间不超过 130ms。炸药:采用煤矿许用三级乳化炸药,药卷规格 $\phi 27\text{mm} \times 300\text{mm}$,200g/支。起爆电源:FD150 - 200T 型矿用安全网路闭锁发爆器。

3.2.2 爆破孔参数

为了使孔之间的距离适中,既能保证贯通裂隙,起到最佳的卸压效果,又能够实施简单并且不会对围岩结构过度破坏,根据巷道所在围岩的特性以及孔的半径和炸药的性质,得出爆破孔之间的最佳距离公式为:

$$a = rV_d \sqrt{\frac{2\mu\rho_0}{(1-\mu)\sigma_{\max}}} \quad (3)$$

式中, ρ_0 为炸药密度, g/cm^3 ; $\sigma_{\max}$ 为岩石的极限抗拉强度,MPa; r 为爆破孔半径,m; V_d 为炸药爆速,m/s; μ 为岩石的泊松比。

根据验证用三级乳化炸药及煤体物理力学性质,理论计算可得 $a = 981\text{mm}$,考虑到验证地点巷道围岩及支护情况,结合经验分析,此处验证试验爆破孔间距 a 选择为 2m。

爆破孔直径 50mm,在巷道两帮垂直于煤帮施工,施工高度距底板 1.2m,孔深 15m (深度达到实测压力峰值区域),单排布置,如图 6 所示。

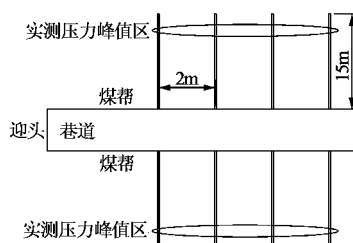


图 6 试验区域卸压爆破孔布置

3.2.3 单孔装药量

$$q = kW^2f_c(n) \quad (4)$$

式中, k 为常系数; $f_c(n) = [(1+n^2)/2]^{1.4}$ 为爆破作用指数函数(根据经验确定); W 为临界抵抗线; $n = r/W$ 为爆破作用指数。

将相关参数数值代入公式(4)验算可得 $q \approx 0.65\text{kg}/\text{m}$,装药长度选择为 4m,单孔装药量 $Q = 2.6\text{kg}$ 。

3.2.4 装药结构

为了提高爆破孔利用率,增加了应力波的动压和爆轰气体静压作用时间,降低炸药消耗量和改善爆破的安全性。采用环向不耦合反向装药结构,耦合介质为水,不耦合系数为 1.85。

按图 7 所示,把煤矿许用三级乳化炸药进行捆扎固定后装入内径 30mm 的 PVC 管内,装药后将 PVC 管两端用隔水封堵材料进行防水处理。最后把装药后的 PVC 管放进爆破孔底部,为了增加耦合效果,放置前需要安装居中固定装置,以使炸药位于爆破孔中心位置。在爆破孔上部植入溢水管,下部植入注水管。由于爆破孔封堵质量直接影响爆破作用时间与效果,因此用炮泥将爆破孔剩余长度全部封实。完成封孔后,通过注水管将水注入孔内,等到溢水管向外溢水时,表明水已注满,此时停止注水,小心抽出注水管与溢水管后再进一步修补封孔炮泥,以达到最佳封孔质量。

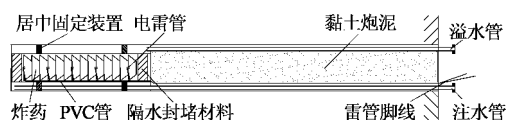


图 7 爆破孔装药及封孔结构示意图

3.2.5 起爆

采用 FD150-200T 型矿用安全网路闭锁发爆器进行起爆,由于现场爆破声音较小,且巷道两帮爆破后无明显变形,为了有效验证爆破孔是否完全起爆,要求单孔爆破。

3.3 卸压效果检测

卸压爆破实施前通过煤粉监测与电磁辐射监测得知巷道迎头外 5~10m 位置有煤粉量与电磁辐射值超标现象,煤粉量最大达到 23kg/m,电磁辐射强度最高达 512,如图 8(a) 所示,表明此处有应力集中现象,共在巷道两帮距迎头 5~10m 范围内实施 8 次卸压爆破。爆破后由于深部煤体松散无法利用钻屑法进行校验,因此,最终选择电磁辐射法与现场动态观测法进行效果验证。

从校验情况来看,经过爆破卸压处理的工作面其电磁辐射强度的幅值显著下降,最大强度值下降为 102,小于临界值 150,如图 8(b) 所示,现场煤炮、来压等情况也明显减少,表明此次爆破卸压起到了显著效果。

4 结论

(1) 卸压爆破只发生在煤体介质内部,且一般采用延长药包柱状装药结构,因此所建立的无限

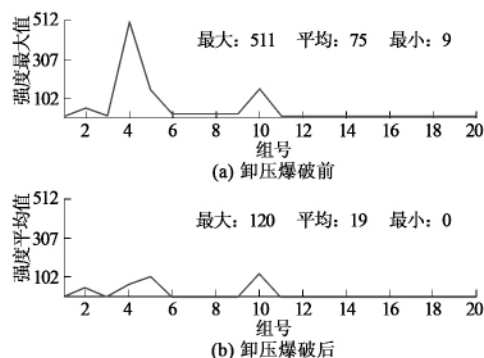


图 8 电磁辐射监测强度曲线

煤体内部卸压爆破模型具有可行性。

(2) 水介质不耦合装药用于应力集中情况的解危时效果明显,而且有效降低了爆破粉尘、瓦斯、有毒有害气体等的产生,并提高了炸药利用效率,具有更好的卸压效果。

(3) 水介质不耦合装药结构居中固定装置的应用可有效避免炸药周围耦合介质分布不均的问题。

(4) 下一步研究重点将放在爆破参数的进一步优化上,如孔深、孔间距、装药量、装药结构及迎头超前爆破卸压参数等。

参考文献

- [1] 邹德蕴. 煤岩体蠕变失稳及预测方法 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2012.
- [2] 陈玉凯, 代方军. 空气底部间隔装药对爆破效果的影响 [J]. 轻金属, 2003 (1): 7-12.
- [3] 金志成. 不耦合装药爆破方法防治冲击地压的研究 [D]. 太原: 中北大学, 2013.
- [4] 杨小林, 王梦恕. 爆生气体作用下岩石裂纹的扩展机理 [J]. 爆炸与冲击, 2001 (2): 111-116.
- [5] 孙博. 煤体爆破裂纹扩展规律及其试验研究 [D]. 焦作: 河南理工大学, 2011.
- [6] 王辉. 爆炸荷载下岩石爆破损伤断裂机理研究 [D]. 西安: 西安科技大学, 2003.
- [7] 陈寿峰, 刘殿书, 高全臣, 等. 卸压控制爆破设计方法研究 [A]. 中国力学学会、中国工程爆破协会. 第七届全国工程爆破学术会议论文集 [C]. 中国力学学会、中国工程爆破协会, 2001.
- [8] 刘志刚. 基于声发射原理的冲击地压监测装备研究及应用 [D]. 青岛: 山东科技大学, 2011.
- [9] 宗琦, 孟德君. 炮孔不同装药结构对爆破能量影响的理论探讨 [J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22 (4): 641-645.
- [10] 李锦秀, 刘志刚, 谭云亮, 等. 一种地下岩体声发射信号聚焦传感装置 [J]. 中国: CN202057805U, 2011-11-30.
- [11] 刘志刚, 刘业献, 郭晓胜, 等. 一种高灵敏度地下岩体应力光电传感装置 [J]. 中国: CN203216648U, 2013-09-25.

责任编辑: 于健洲