

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2021.04.014

露天矿临近最终边帮控制爆破技术

卢子冬, 南俊, 宋晓鸣

(山西同德爆破工程有限责任公司, 忻州 034000)

摘要: 为研究露天矿不同控制爆破技术对最终边帮的治理效果, 以及对爆破振动波衰减和作业循环速度的影响等问题, 着重探究PVC空气间隔预裂爆破方法对最终边帮控制爆破的适用性。以山煤集团河曲旧县露天煤业有限公司首采区大规模边帮治理工程为例, 采用混装车可直接装药、PVC空气间隔柱间隔的新型空气间隔预裂爆破法同常规爆破法、密集缓冲孔法、传统预裂爆破法进行对比试验的手段, 通过大量对比试验, 监测各自控制爆破方法爆后边帮壁面平整度、保留岩体完整性和降振效果, 以及作业循环时间, 分析各自控制效果及优劣, 得出结论: PVC空气间隔预裂爆破法在山煤露天矿可取得远优于常规爆破方法、密集缓冲孔法且不亚于传统预裂爆破的爆后壁面平整度和保留岩体完整性, 相较于常规爆破降振率达到57%, 且易于实现机械化、重复作业, 作业时间缩减率为47.3%, 有利于加快循环进度, 实现边帮快速爆破处理。

关键词: 露天矿; 永久边帮; 预裂爆破; 空气间隔

中图分类号: TD824 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-487X(2021)04-0096-05

Controlled Blasting Technology of Open-pit Mine Final Side

LU Zi-dong, NAN Jun, SONG Xiao-ming

(Shanxi Tond Blasting Engineering Ltd., Xinzhou 034000, China)

Abstract: In order to study the treatment effect of different controlled blasting techniques on the final side wall of open pit mine, as well as the influence on the attenuation of blasting vibration wave and the operating cycle speed, the applicability of PVC air interval pre-splitting blasting method to the final side wall controlled blasting was emphatically explored. With coal group in Shanxi Coal Import and Export Group Hequ Jiuxian Coal Group Co., Ltd, the first mining area of large-scale slope treatment project as an example, the conventional car can direct charge, PVC air interval of a new type of air column spacing interval pre-splitting blasting with conventional method, dense, slow punching method, the traditional means of comparing the pre-splitting blasting experiment, through a large number of contrast test, Monitor the smoothness of the back wall surface, the effect of retaining the integrity of rock mass, the effect of vibration reduction and the operation cycle time of each controlled blasting method, and analyze the control effect and advantages and disadvantages of each method. The results indicate that PVC air pre-splitting blasting in the mountains between coal pit can achieve far better than the conventional blasting method, intensive punching method and as the traditional pre-splitting blasting of surface roughness and retain integrity of rock mass, compared with the conventional blasting vibration reduction rate of 57%, it is easy to realize mechanization, repeated operation. Operation time reduced rate of 47.3%, which is beneficial to speed up the cycle progress and realize the rapid side blasting treatment.

Key words: open-pit coal mine; permanent slope; pre-split blasting; air separation column

收稿日期: 2021-06-18

作者简介: 卢子冬(1990-), 男, 山西省忻府区人, 工程师, 硕士, 从事爆破技术理论研究, (E-mail)474332164@qq.com。

露天矿开采过程中, 矿田边界处永久边帮大范围滑坡、垮塌造成车辆跌落、落石造成人员伤亡等事故层出不穷。究其原因, 在运用爆破手段形成永久

边帮的过程中, 爆破方法选择不当, 扰动原岩应力, 使得边帮节理裂隙进一步发育是重要影响因素。另一方面, 边帮治理因所使用方法不当, 工艺复杂, 掌握难度较大, 常常会滞后于整座矿山循环作业, 甚至影响露天开采进度。针对露天矿边帮治理出现的两项问题, 学者和工程师们做了很多尝试: 张士磊、王劲翔、朱必勇等人在露天矿生产过程中^[1-3], 根据不同的现场生产条件进行了技术改进和数值模拟; 李顺波、谢烽、段军、张晓平、梁瑞等人研究了空气间隔装药结构在爆后岩石块度、炸药节省率等方面的优势^[4-8]; 张耿城、高启栋等人则对露天爆破振动波监测方法和动态响应特征等方面进行了深入探讨^[9,10]; 更有部分露天矿作业现场采用密集缓冲孔来达到减震、平整壁面的爆破效果。总结前辈学者以往的工程经验, 永久边帮特殊爆破方法可总结为三类: 密集缓冲孔降震爆破方法、传统预裂爆破方法和空气间隔预裂爆破方法。针对山煤集团河曲旧县露天煤业有限公司首采区大规模边帮治理工程的边帮处理要求和进度要求, 采用混装车可直接装药、空气间隔柱间隔的新型空气间隔预裂爆破法同常规爆破法、密集缓冲孔降震爆破法和传统预裂爆破法进行对比试验的手段, 通过监测和对比爆后边帮成形效果和爆破振动对被保留岩体的扰动, 以及作业循环时间, 探讨空气间隔预裂爆破法在山煤露天对边帮治理效果、减小被保留岩体扰动和加快循环进度方面的适用性, 获得高效、快速处理大规模边帮的工程经验。

1 工程概况

山煤集团河曲旧县露天煤业有限公司首采区赋存有不同厚度的 8# - 14# 煤, 年产 8 Mt, 储煤丰富^[11]。矿田首采区呈长条带状推进, 两侧边帮延伸, 成帮工程较大, 对台阶推进进度形成考验。永久边帮之上多修建有环状矿区汽车永久运输大道, 对边帮成帮质量要求很高。

露天矿永久边帮分布如图 1 所示。

首采区两永久边帮长度约 8 km, 岩层自上覆砂岩至下部 13# 顶板岩均需采用控制爆破手段成形边帮, 工程量巨大, 因此总结一套成熟、高效的边帮成帮控制爆破方法很有必要。

2 爆破方案分析

1) 密集缓冲孔降震爆破方法在主爆区后需形成永久边帮处布置一排密集不装药炮孔, 孔径与主

爆区炮孔相同, 但孔距仅为 7~10 倍孔径, 主爆区后排炮孔距离缓冲孔为 1/2 主爆区排距。密集缓冲孔在主爆区与边帮之间形成一道屏障, 既可以降低爆破引起的边帮振动, 又有利于边帮形成, 减少爆破作用对边帮岩石的破坏。该方案具有施工工艺和机械简单, 操作方便, 但边帮成形效果欠佳, 适用于结构疏松, 岩性较软的岩层边帮形成。

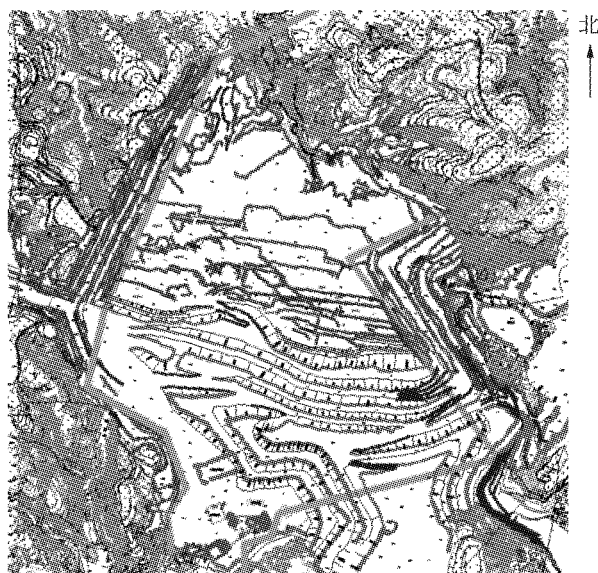


图 1 露天矿永久边帮线分布图

Fig. 1 Permanent slope line of the open-pit mine

2) 传统预裂爆破方法即在主爆区后布置密集预裂孔进行不耦合装药。在主爆区起爆前先起爆预裂孔, 使预裂缝提前形成, 有效地阻断爆破振动波向炮区后永久边帮传递, 避免对原有岩石扰动。该方案边帮成形效果好, 但工序和火工品种类繁琐, 适用于结构完整, 岩性坚硬的岩层边帮爆破。

3) 空气间隔预裂爆破方法为避免多起爆弹繁琐操作, 使用导爆索一次起爆所有药柱, 同时为避免传统空气间隔柱因导爆索穿爆时炸裂, 采用 PVC 空气间隔柱将传统预裂爆破径向不耦合改为轴向非连续装药^[12], 相邻预裂孔装药段间隔, 在降低炸药单耗, 提前形成预裂缝, 减小主爆区对边帮岩石扰动的同时, 解决了传统预裂爆破方法施工工艺复杂, 径向不耦合装药操作困难, 难以形成连续快速作业的问题。该方法可装填多孔粒状铵油炸药降低成本, 但需严格炮孔控制装药段和空气间隔段的交错位置, 否则易使壁面坑洼, 难以取得理想爆破效果, 适用于岩层高度较大的边帮控制爆破。

常规爆破孔与三种特殊炮孔装药结构如图 2 所示。

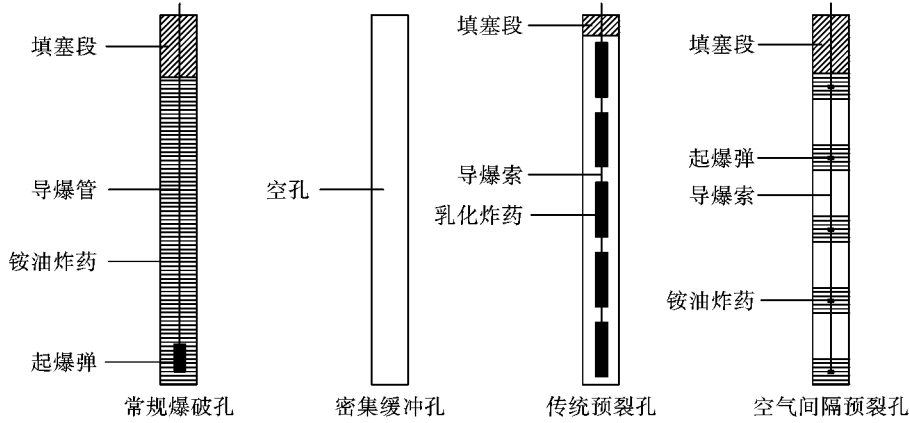


图2 四种爆破方法装药结构示意图^[13]

Fig. 2 Charge schematic diagram of four methods

3 爆破方案设计

台阶高度为8 m,因岩层具有明显煤岩分界面,炮孔底部可不设超深,深度设计为8 m,炮孔采用 $\phi 140$ mm孔径。传统无边帮防护手段的爆破方法将单位炸药消耗量控制在 0.28 kg/m^3 ,孔排距采用 $6 \text{ m} \times 5 \text{ m}$;密集缓冲孔边帮防护手段在距离后排炮

孔2.5 m处,即1/2排距处设置一排孔距1 m的不装药缓冲空孔;传统预裂爆破边帮防护手段和PVC空气间隔预裂爆破边帮防护手段在距离后排炮孔3.5 m处设置一排孔距为1.4 m的预裂孔,线装药密度设计为 1350 g/m ,预裂孔先于主爆孔齐响。

密集缓冲孔与传统预裂爆破炮孔布置如图3所示。

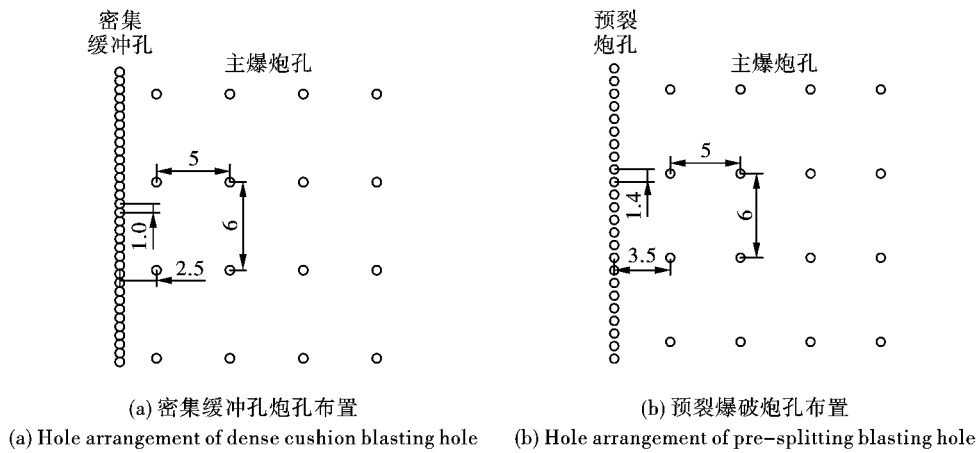


图3 两种爆破方法炮孔布置示意图(单位:m)

Fig. 3 The hole layout diagram of two blasting methods(unit:m)

4 爆破效果对比分析

在同一台阶高度、相同岩性条件下,保证主爆区孔网参数、单孔药量和起爆网路不变,爆后使用相同反铲剥离技术对四种不同边帮控制爆破手段进行处理,观察其边帮壁面的平整度和保留岩体的完整性。爆后不同效果如图4所示。

采用传统无边帮防护手段的爆破方法,爆后其边帮根据边缘炮孔所在位置呈现锯齿状,表面凹凸不平,且保留岩体多为粉碎块状,边帮成形效果极差;采用密集缓冲孔边帮防护手段,爆后边帮少部分

呈现凸出和凹洼,边帮平整度极大程度倚仗反铲剥离技术,保留岩体粉碎块状较多,边帮成形效果一般;采用传统预裂爆破边帮防护手段,爆后壁面平整度较高,且保有部分炮孔痕,爆后保留岩体结构稳定,完整度较高;PVC空气间隔预裂爆破边帮防护手段,爆后边帮壁面呈现小部分呈现浅凹痕,整体壁面平整,保留岩体无粉碎块体,完整度较高。

可以得到结论:PVC空气间隔预裂爆破边帮防护手段较传统爆破方法对爆后壁面平整度和完整性起到了很好的保障作用,边帮成形效果不亚于传统预裂爆破。

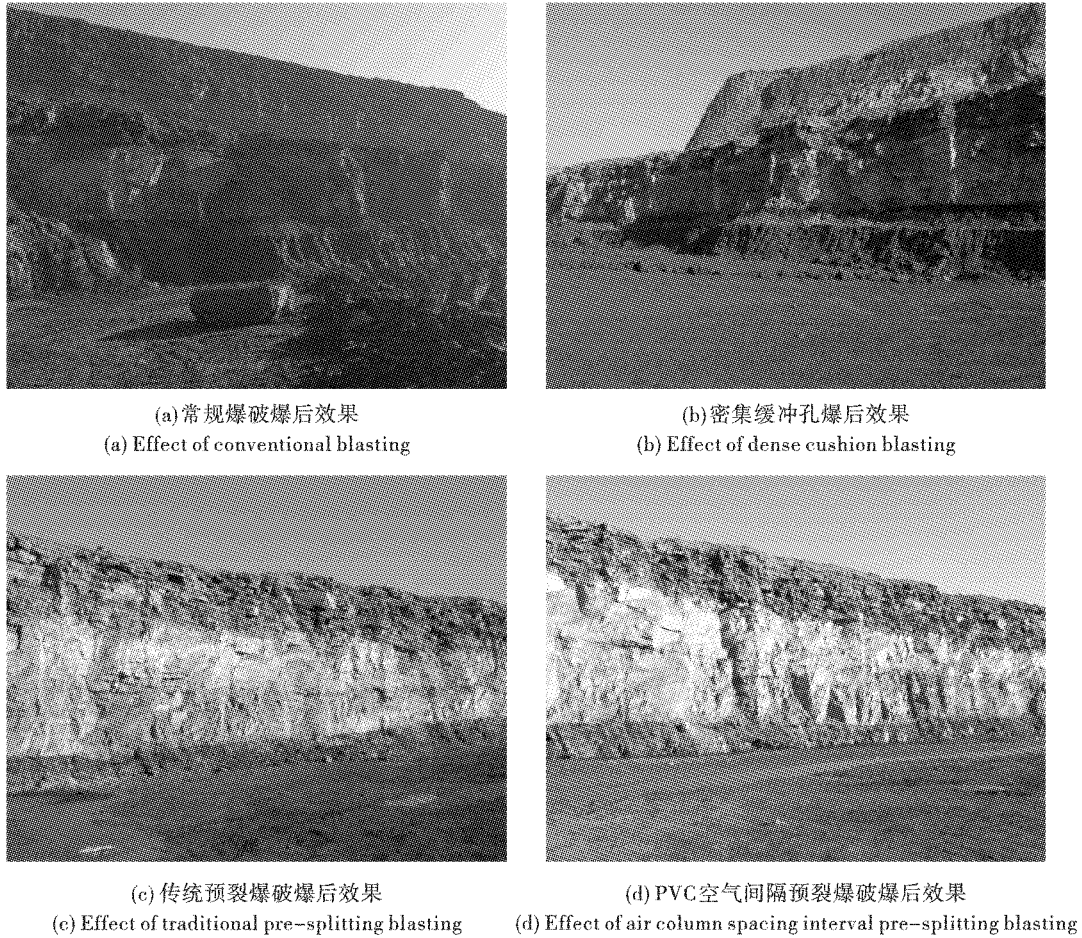


图4 四种爆破方法爆后效果图

Fig. 4 Blasting effect of four methods

5 爆破振动对比分析

在台阶高度同为8.0 m的条件下,运用混装车操作系统严格控制主爆区单孔装药量为70 kg,利用数码电子雷管实现逐孔起爆,预裂孔滞后100 ms齐响,保证四组爆破试验最大单段起爆药量和单爆区总药量相同。在距离拟成形边帮正后方100 m处设置TC-4850型测振仪,采集爆破振动数据。

采集到的爆破振动数据如图5所示。

传统爆破方法未采取任何边帮防护措施,爆后其三通道矢量合成测振数据峰值振速为0.476 cm/s,与根据萨道夫斯基经验公式 $v = K(\sqrt[3]{Q/R})^\alpha$ 计算出的理论振动数据0.482 cm/s基本一致(该露天矿的地形地质条件系数K和衰减指数 α 经反复试验,分别取值150和1.8),说明测振数据准确。

采用密集缓冲孔边帮治理手段,爆后其三通道矢量合成测振数据峰值振速为0.429 cm/s,略小于传统无边帮防护措施爆破方法,说明其对边帮降振起到的作用微乎其微。

采用传统预裂爆破边帮防护手段,爆后其三通

道矢量合成测振数据峰值振速为0.177 cm/s,远小于传统无边帮防护措施爆破方法,说明传统预裂爆破方法在爆前形成的预裂缝可有效阻隔爆破振动波的传播,对振动波起到很大的衰减作用^[14]。

采用PVC空气间隔预裂爆破边帮防护手段,爆后其三通道矢量合成测振数据峰值振速为0.204 cm/s,远小于传统无边帮防护措施爆破方法,略大于传统预裂爆破峰值振动速度,说明其能有效阻隔爆破振动波的传播,起到近似于传统预裂爆破的振动波衰减效果。

6 循环作业时间对比分析

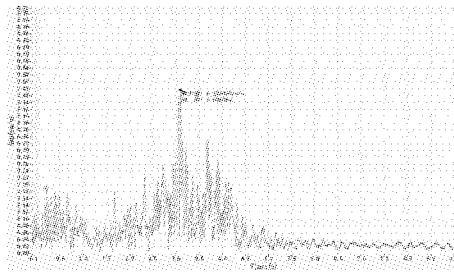
传统预裂爆破操作流程如图6所示。

PVC空气间隔预裂爆破操作流程如图7所示。

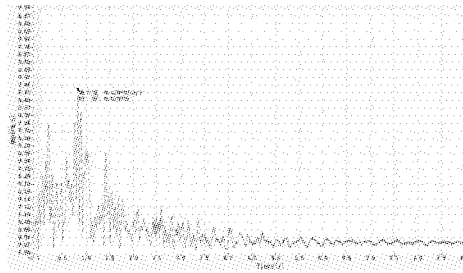
相较于传统预裂爆破繁琐的操作工序,PVC空气间隔预裂爆破采用现场混装车机械化装药,可精确控制装药段药量,避免了人工切割乳化炸药造成的质量偏差;PVC空气间隔预裂爆破装药段耦合,避免固定药卷竹片居中而影响成缝效果^[15];PVC空气间隔预裂爆破实现混装车装药一下起爆弹一下

PVC 空气间隔柱—混装车装药的循环作业,易于操作人员熟练掌握,可将处理时间由 93 min/孔·人缩

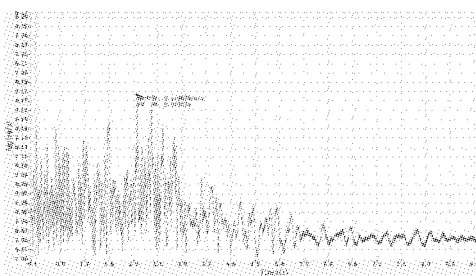
减至 49 min/孔·人,缩减率为 47.3%,有利于实现边帮成形大规模快速作业。



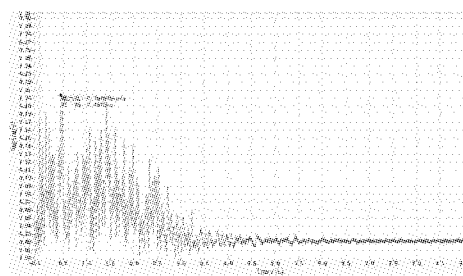
(a) 常规爆破测振数据
(a) Vibration data of conventional blasting



(b) 密集缓冲孔测振数据
(b) Vibration data of dense cushion blasting



(c) 传统预裂爆破测振数据
(c) Vibration data of traditional pre-splitting blasting



(d) PVC 空气间隔预裂爆破测振数据
(d) Vibration data of air column spacing interval pre-splitting blasting

图 5 四种爆破方法测振数据图

Fig. 5 Vibration data chart of four methods

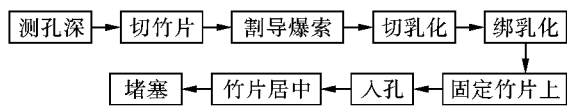


图 6 传统预裂爆破操作流程

Fig. 6 Flow chart of traditional pre-split blasting operation

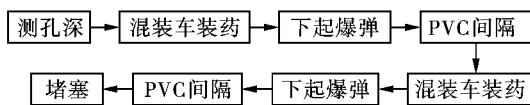


图 7 PVC 空气间隔预裂爆破操作流程

Fig. 7 Flow chart of pre-split blasting operation by PVC air separation column

7 结语

PVC 空气间隔预裂爆破技术可在加快循环进度的同时,取得远优于常规爆破方法和密集缓冲孔方法且不亚于传统预裂爆破方法的爆破效果:

1)PVC 空气间隔预裂爆破技术对取得极佳的最终边帮保护效果,壁面平整度和保留岩体完整性较高。

2)PVC 空气间隔预裂爆破技术对爆破振动的衰减达到 57%,与传统预裂爆破接近。

3)PVC 空气间隔预裂爆破技术可实现机械化

作业,可缩减约 47.3% 作业时间,有利于加快循环作业速度。

参考文献 (References)

[1] 张士磊. 预裂爆破作用下节理岩质边坡损伤区测试研究[J]. 爆破,2020,37(3):74-77.

[1] ZHANG Shi-lei. Damage zone test of jointed rock slope under pre-split blasting [J]. Blasting, 2020, 37(3):74-77. (in Chinese)

[2] 王劲翔,王 凯,李廷春,等. 水泥浆封堵深孔预裂爆破合理封堵长度[J]. 科学技术与工程,2020,20(26):10690-10695.

[2] WANG Jin-xiang, WANG Kai, LI Ting-chun, et al. Reasonable block length of deep hole pre-splitting blasting by slurry [J]. Science, Technology and Engineering, 2020, 20(26):10690-10695. (in Chinese)

[3] 朱必勇,焦文字,寇向宇,等. 基于数值模拟的预裂爆破参数优化研究[J]. 有色金属(矿山部分),2019(4):32-36.

[3] ZHU Bi-yong, JIAO Wen-yu, KOU Xiang-yu, et al. Based on the numerical simulation of the pre-splitting blasting parameters optimization research [J]. Non-ferrous Metals (Mine), 2019(4):32-36. (in Chinese)